

621.396.61  
N18

A.M. NAZAROV, A.A. TADJIYEV, Ya.T. Y

# RADIOSIGNAL UZATUVCHI QURILMALAR



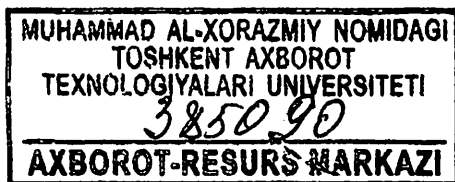
TOSHKENT

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS  
TA'LIM VAZIRLIGI**

**A.M.NAZAROV, A.A.TADJIYEV, Ya.T.YUSUPOV**

# **RADIOSIGNAL UZATUVCHI QURILMALAR**

**5350700-“Radioelektron qurilmalar va tizimlar”  
bakalavriat ta'lim yo'nalishi talabalari uchun  
o'quv qo'llanma**



**TOSHKENT – 2017**

UO'K: 621.396.61  
KBK 32.848  
N-18

N-18 A.M.Nazarov, A.A.Tadjiyev, Ya.T.Yusupov. Radiosignal uzatuvchi qurilmalar.  
-T.: «Fan va texnologiya», 2017, 308 bet.

ISBN 978-9943-11-620-7

O'quv qo'llanmada radiouzatuvchi qurilmalarning turlari va asosiy xarakteristikalari, quvvat kuchaytirgichlar, ulardagi aktiv elementlarning xarakteristikalari va ish rejimlari, ekvivalent sxemalari, quvvat kuchaytirgichlarda quvvatlarni qo'shish usullari, quvvat kuchaytirgichlarda ta'minot, siljitish va moslashuv zanjirlari, tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlar, tranzistorli va varaktorli chastota ko'paytirgichlar, keng polosali kuchaytirgichlar, avtogeneratorlarning sxemalari, kvarts rezonatori asosida ishlaydigan avtogeneratorlar, modulyatorlar turlari, sxemalari va ishlash prinsiplari, radiouzatuvchi qurilmalarning tashuvchi signal generatorlari va chastota sintezatorlari, raqamli chastota sintezatorlari, turli maqsadlarga mo'ljallangan radiouzatuvchi qurilmalar, ularning ishlash prinsiplari, radiouzatuvchi qurilmalarda parazit to'lqinlarning kelib chiqish sabablari va ularni bartaraf etish usullari, optik aloqa liniyalari, radiouzatuvchi qurilmalarda elektromagnit moslashuv muammolari kabi masalalar yetarli darajada keng yoritilgan.

O'quv qo'llanma oliy o'quv yurtlarining 5350700-“Radioelektron qurilmalar va tizimlar” bakalvriat ta'lim yo'nalishi talabalari, radiouzatuvchi qurilmalar sohasiga qiziquvchilar uchun mo'ljallangan.

\*\*\*

В учебном пособии рассмотрены вопросы: назначения, области применения и основные характеристики радиопередатчиков и их составных частей; усилители мощности; статистические характеристики и режимы работы активных элементов; сложение мощностей усилителей мощности; цепи питания, смещения и согласования усилителей мощности; умножители частоты; широкополосные усилители; авtogенераторы; работающие на основе кварцевого резонатора; модуляторы; генераторы несущих сигналов и синтезаторы частоты; цифровые синтезаторы частоты; радиопередатчики различного назначения; паразитные колебания в передатчиках; оптические линии связи; электромагнитная совместимость радиопередающих устройств.

Учебное пособие предназначено студентам по направлению образования: 5350700-«Радио-электронные устройства и системы», лицам интересующимися вопросами радиопередающих устройств.

\*\*\*

In the manual questions are considered: assignment, areas application and the main characteristics of radio transmitters, power amplifiers, statistical characteristics and operation modes of active elements, addition of capacities in the power amplifier, supply circuits, offsets and coordination in power amplifiers, separately excited generators, frequency multipliers, wideband amplifiers, self-excited oscillators, the self-excited oscillators working on the basis of the quartz resonator, modulators, generators of carrier signals radio-transmitting devices and frequency synthesizers, numeral frequency synthesizers and quantum standards, singularities of creation of radio transmitters of different function, spurious oscillations in transmitters, communication optical lines, electromagnetic compatibility of the radio-transmitting devices.

The manual is intended students of directions of formation 5350700-«Radio-electronic devices and systems», to persons by the interested questions of the radio-transmitting devices.

UO'K: 621.396.61  
KBK 32.848

Taqrizchilar:

D.A. Davronbekov – t.f.n., dotsent;  
A.A. Yarnuxamedov – t.f.n. dotsent;

*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetining 2017-yil 13-yanvardagi 7-sonli qaroriga ko'ra chop etildi.*

ISBN 978-9943-11-620-7

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2017.

## KIRISH

Har qanday radioaloqa tizimi tarkibida ta'minot manbaining doimiy toki energiyasini elektromagnit tebranishga o'zgartirish va ushbu tebranishlarni boshqarish funksiyasini bajaruvchi radiouzatish qurilmasi mavjud bo'ladi.

Dastlabki yillardanoq radiouzatuvchi qurilmalar texnikasi rivojlanib bordi. Yangi radiostansiyalar qurilib, yangi (yuqori) chastotalar diapazonlarini o'zlashtirishga kirishildi. Xususan, o'tgan asrning 40-yillariga kelib, metrli, detsimetrli va santimetrli to'lqin diapazonlari jadallik bilan o'zlashtirila boshlandi. Aynan ushbu diapazonlardan foydalanish tufayli televizion tasvirni yuqori sifat bilan uzatishni amalga oshirish, modulyatsiyani amaliyotga tadbqiq etish, xabarlarini uzatish uchun radiorele aloqa liniyasidan foydalanish imkoniyati mavjud bo'ldi. Yangi chastotalar diapazonlarining o'zlashtirilishi yuqori chastotali va o'ta yuqori chastotali tebranishlarni shakllantirish va kuchaytirish uchun zarur bo'lgan yangi elektron asboblari yaratilishini talab qildi.

Keyingi yillar radiouzatuvchi qurilmalar texnikasiga yarimo'tkazgichli asboblarning kirib kelishi bilan xarakterlanadi. Radiouzatuvchi qurilmalar texnikasida lampalarning tranzistorlar bilan almashtirilishi, ushbu asboblarning muhim afzalliklari: kichik og'irlik va tashqi o'lchamlari, ishlashga bir lahzada tayyorligi, uzoq muddatligi, ta'minot manbaidan talab qiluvchi kichik kuchlanishi kabilar bilan bog'liq. Hozirda tranzistorlar nafaqat kichik quvvatli radiouzatkichlar va qo'zg'atkichlarda, balki yuqori quvvatli radiouzatkichlarda ham qo'llanilmoqda. Shu bilan birga radiouzatkichlarning kichik quvvatli qismlarida va qo'zg'atkichlarda integral mikrosxemalardan keng foydalanilmoqda, radiouzatkichlarning sifat ko'rsatkichlarini o'lchash va ularni boshqarish uchun esa mikroprotessorli qurilmalardan foydalanilmoqda.

So'nggi yillarda elektromagnit tebranishlarni shakllantirish va kuchaytirish uchun kvant usullari qo'llanilmoqda. O'ta yuqori chastotali tebranishlarni kuchaytiruvchi asbob – lazerlardan amaliyotda foydalanilmoqda. Millimetrlar va submillimetrlar to'lqin diapazonlarini o'zlashtirish jadallik bilan olib borilmoqda.

Elektron asboblarning yangi ishlanmalari, mikroelektronika va integral mikrosxemalar sohasidagi yutuqlar radiouzatuvchi qurilmalarning asosiy texnik xarakteristikalarini muhim darajada yaxshiladi

va shu bilan birga ishonchlilikning oshishi va energiya ta'minotining kamayishi bilan bir qatorda, qurilma og'irligining kamayishi va tashqi o'lchamlarining kichiklashishiga olib keldi. Bundan tashqari, radio-uzatuvchi qurilmalar nazariyasida ilmiy va texnologik muammolarga yangicha yondashish boshlandi.

Ushbu "Radiosignal uzatuvchi qurilmalar" o'quv qo'llanmasi kirish, 16 ta bob, glossariy va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat bo'lib, fanning o'quv dasturi asosida tayyorlangan.

O'quv qo'llanmaning birinchi bobi radiouzatuvchi qurilmalar to'g'risidagi umumiy ma'lumotlar, ularning klassifikatsiyalanishi, asosiy xarakteristikalar, funksional sxemalari va radiouzatuvchi qurilmalarga qo'yiladigan talablar kabi masalalarga bag'ishlangan.

Ikkinchi bobda quvvat kuchaytirgichlarning asosiy elementlari va parametrlari, quvvat kuchaytirgichlarda aktiv elementlar, ularning ish holatlari va ish holatlarini aniqlash, quvvat kuchaytirgichlar uchun aktiv elementlarni tanlash, kirish signali, siljish va manba kuchlanishini quvvat kuchaytirgichning ish holatiga ta'siri, quvvat kuchaytirgichlarda yuklama xarakteristikalar, quvvat kuchaytirgichlardagi aktiv elementlarning umumiy elektrodini tanlash, yuqori chastotalarda ishlovchi quvvat kuchaytirgichlarda bipolyar va maydoniy tranzistorlarni ishlatish to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Uchinchi va to'rtinchi boblar quvvat kuchaytirgichlarda quvvatlarni qo'shishning turli usullari, quvvat kuchaytirgichlarda ta'minot, siljitish va moslashuv zanjirlariga bag'ishlangan bo'lib, ushbu zanjirlarning sxemalari, ishlash prinsipi va ularni sozlash usullari yetarli darajada yoritilgan.

Beshinchi bob tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlar, ulardagi quvvat muvozanati, turli sxemalariga, oltinchi bob esa chastota ko'paytirgichlar, ularning asosiy xarakteristikalar, tranzistorli va varaktorli chastota ko'paytirgich sxemalari, ishlash prinsiplariga bag'ishlangan. Yettinchi bob keng polosali kuchaytirgichlarga bag'ishlangan.

Sakkizinchi va to'qqizinchi boblar avtogeneratorlar, ularning tenglamalari, sxemalari, chastota turg'unligi va unga ta'sir qiluvchi omillar, tranzistorli avtogenerator sxemalari, kvars rezonatorlari asosida ishlovchi avtogeneratorlar, kvars rezonatorlarining xususiyatlari va parametrlari, uning ekvivalent sxemalari, ketma-ket va parallel rezonans chastotalari, kompleks qarshiligi, gibrid va integral mikrosxemalarda yig'ilgan avtogeneratorlar va ularning ishlash prinsiplari keng yoritilgan.

O'ninchi bob modulyatorlar deb nomlangan bo'lib, ushbu bobda modulyatsiya usullari va ularning xarakteristika hamda ko'rsatkichlari, amplituda modulyatori, chastota va faza modulyatorlari, impulsli modulyator, ularning turli sxemalari va ishlash prinsipi kabi ma'lumotlar yetarli darajada keltirilgan.

O'n birinchi va o'n ikkinchi boblarda radiouzatuvchi qurilmalarning tashuvchi signal generatori, chastota sintezatori va ularning turlari, asosiy xarakteristikalari, bevosita va bilvosita sintez usuliga asoslangan chastota sintezatori, raqamli chastota sintezatori va ularning sxemalari hamda ishlash prinsipi, shu bilan birga chastota sintezatorlarida kvant standartlarini ishlatishga oid ma'lumotlar keltirilgan.

O'n uchinchi bob turli maqsadlarga mo'ljallangan radiouzatuvchi qurilmalarga bag'ishlangan bo'lib, ushbu bobda radioeshittirish, professional radoaloqa, televideniye, radiorele, sotali, troposfera hamda sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimlari radiouzatkichlari, ularning turli xarakteristikalari, funksional sxemalari, ishlash prinsiplari, shu bilan birga radiouzatuvchi qurilmalarning rivojlanish istiqbollari haqida bayon qilingan.

O'n to'rtinchi bobda radiouzatuvchi qurilmalarda parazit to'liqlar, ularning yuzaga kelish sabablari hamda ushbu parazit to'liqlarni bartaraf etish usullari keltirilgan. O'n beshinchi bob optik aloqa liniyalariga bag'ishlangan.

O'n oltinchi bobda radiouzatuvchi qurilmalarning elektromagnit moslashuv muammolari, elektromagnit moslashuv muammosining kelib chiqish sabablari, radiouzatuvchi qurilmalarning asosiy va keraksiz to'liqin tarqatishlari hamda radioelektron vositalar elektromagnit moslashuvini ta'minlashning asosiy yo'nalishlari kabi masalalar ko'rib chiqilgan.

O'quv qo'llanmaning oxirida glossariy keltirilgan bo'lib, atamalarning rus va ingliz tilidagi tarjimasi ham berilgan.

Mazkur o'quv qo'llanmani tayyorlashda so'nggi yillarda chop etilgan bir qator xorijiy adabiyotlardan keng foydalanildi. Masalan, o'quv qo'llanmasining 1-, 2-, 6-, va 13-boblari [1] adabiyotning mos ravishda 1.4-bo'limi, 8- va 6-boblaridagi materiallar asosida; 10- va 13-boblari [2] adabiyotning 5-bobi hamda 6.13- va 8.6-bo'limlaridagi materiallar asosida; 3-, 4-, 5-, 7-, 10-, 11-, 12- va 16-boblari esa [3] adabiyotning 3-, 6-, 9-, 11-, 12-, 17-, 19-, 24-, 26- va 29-boblaridagi materiallar asosida tayyorlandi.

O'quv qo'llanma Toshkent davlat texnika universiteti "Radio-texnik qurilmalar va tizimlar" kafedrası professor-o'qituvchilarining "Radiosignallarni uzatuvchi qurilmalar" fani va unga turdosh bir necha fanlardan bir necha yillar davomida olib borgan mashg'ulotlarining mahsulidir.

O'quv qo'llanma texnika fanlari doktori, professor A.M. Nazarovning umumiy tahriri ostida tayyorlangan bo'lib, kirish, 3-, 4-, 7-, 12- va 13-boblari A.M. Nazarov; 2-, 5-, 8-, 9-, 14- va 15-boblari texnika fanlari nomzodi, dotsent A.A. Tadjiyev; 1-, 6-, 10-, 11- va 16-boblari katta o'qituvchi Ya.T. Yusupov tomonidan yozilgan. Glossariy ham Ya.T.Yusupov tomonidan radiotexnika, aloqa va axborotlashtirish hamda telekommunikatsiya texnologiyalari sohalariga oid izohli atamalar lug'atidan tanlab olingan va tuzilgan.

Mualliflar ushbu o'quv adabiyotining yaxshilanishi yo'lida bildirgan fikr-mulohaza va takliflari uchun Toshkent axborot texnologiyalari universiteti dotsentlari X.S. Soatov va D.A. Davronbekovlarga o'z minnatdorchiliklarini izhor etishadi.

# 1. RADIOUZATUVCHI QURILMALARNING VAZIFASI, TURLARI VA ASOSIY XARAKTERISTIKALARI

## 1.1. Radiouzatuvchi qurilmalar to'g'risida umumiy ma'lumotlar

**Radiouzatuvchi qurilma** deb antenna orqali fazoda tarqatiladigan yuqori va o'ta yuqori chastotali tebranishlarni generatsiyalovchi (shakllantiruvchi) va ularni boshqaruvchi radiotexnik qurilmaga aytiladi.

Radiouzatuvchi qurilma (RUQ) lar ikkita asosiy vazifani bajarishga mo'ljallangan bo'lib, bular yuqori va juda yuqori chastotalar tebranishlarini shakllantirish va ularni boshqarish, ya'ni uzatilayotgan xabarga mos modulyatsiyalashdir. Quyida asosiy ta'rif va tushunchalar keltirilgan.

- Axborot – voqea, hodisa yoki obyekt to'g'risidagi ma'lumotlar yoki ular majmuasi.

- Xabar – u yoki bu axborotga mos keluvchi belgilar (simvollar) to'plami.

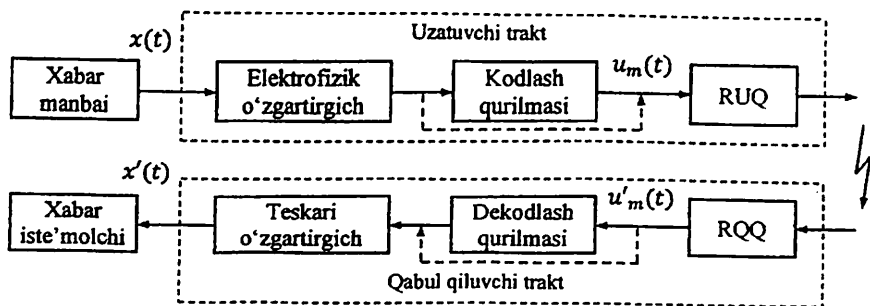
- Axborot signali – uzatilayotgan xabarni aks ettiruvchi fizik jarayon.

- Elektr signali – biror bir fizik jarayonning bir yoki bir nechta parametrni xabarga mos ravishda o'zgarishi.

Radiouzatuvchi qurilmalar (qisqacha radiouzatkichlar (RU)) har qanday radioaloqa va radioeshittirish tizimining tarkibiga kiradi. Bir kanalli axborot uzatish tizimini ko'rib chiqamiz (1.1-chizma). Rasmdan ko'rinadiki, axborot uzatish tizimi xabar manbai va xabar iste'molchi, uzatuvchi va qabul qiluvchi traktlardan tashkil topgan.

Xabar  $x(t)$  manbadan elektrofizik o'zgartirgich yordamida elektr signali  $u_m(t)$  ga aylantiriluvchi uzatuvchi traktga beriladi. Xabarni elektromagnit to'lqinlar orqali uzatish uchun radiouzatkichda generatsiyalanadigan yuqori chastotali tebranishlardan foydalaniladi, elektr signali  $u_m(t)$  esa ushbu tebranishlarni boshqarish uchun ishlatiladi, ya'ni modulyatsiya amalga oshiriladi. RUQda hosil bo'lgan yuqori chastotali modulyatsiyalangan tebranish uzatish antennisiga (ochiq fazoda tarqatiluvchi elektromagnit maydon energiyasiga aylantiriladi) beriladi.





1.1-chizma. Radioaloqa tizimining funksional sxemasi

Qabul qilish tomonida qabul qiluvchi antenna qabul qilinayotgan elektromagnit maydon energiyasini qaytadan yuqori chastotali tebranish energiyasiga aylantiradi. Qabul qilish qurilmasida yuqori chastotali tebranishni kuchaytirish va detektorlash natijasida birlamchi elektr signali  $u'_m(t)$  ajratib olinadi. Undan so'ng esa teskari elektrofizik o'zgartirgich yordamida  $x'(t)$  xabarga aylantiriladi. Turli xalaqitlarning ta'siri sababli qabul qilingan signal  $x'(t)$  bilan belgilanadi.

Uzatuvchi va qabul qiluvchi traktlardagi kodlash va dekodlash qurilmalari har doim ham mavjud bo'lmashligi mumkin, u holda 1.1-rasmda shtrix chiziq bilan ko'rsatilganidek, elektrofizik o'zgartirgich chiqishidagi signal RUQ kirishiga, RQQ chiqishidagi signal esa teskari elektrofizik o'zgartirgich kirishiga bevosita ta'sir etadi.

Demak, radiouzatkich radioaloqa tizimining asosiy funksiyalaridan biri – yuqori chastotali modulyatsiyalangan tebranishlarni shakllantirish va antennaga uzatishni amalga oshiradi.

## 1.2. Radiouzatuvchi qurilmalarning klassifikatsiyasi

**Radiouzatkichlar** vazifasi, foydalanish sohasi, chiqish quvvati, chastotasi, modulyatsiya turi va boshqa ko'rsatkichlari bo'yicha turlarga bo'linadi.

*Vazifasiga ko'ra* aloqa bog'lovchi, telemetrik, radiolokatsion, radionavigatsion, radioeshittirish, televizion, radioboshqarish, radio-xalaqit va boshqa turlardagi RUQlarga bo'linadi.

*Foydalanish sohasiga ko'ra* stasionar yoki mobil (olib yuriluvchi, tashiluvchi, aviatsion va kosmik bortli) RUQlarga bo'linadi.

*Chiqish quvvatiga ko'ra* kam quvvatli (100 Vt gacha); o'rtacha quvvatli (10 kVt gacha); katta quvvatli (1000 kVt gacha); o'ta katta

quvvatli (1000 kVt dan yuqori) RUQLarga bo'linadi. Yarimo'tkazgichli asboblarda RUQLar kamquvvatli (o'nlab millivatt), o'rtacha quvvatli (yuzlab millivatt-o'nlab vatt), katta quvvatli (yuzlab vatt-bir necha kilovatt) RUQLarga bo'linadi.

*Ishchi chastotalar diapazoniga ko'ra* Radio bo'yicha Xalqaro maslahat komissiyasi tavsiyasiga ko'ra foydalaniladigan chastotalar diapazoniga muvofiq (1.1-jadval).

Qurilmaning ishchi chastotalar diapazoni aktiv element va tebranish konturining turi bilan aniqlanadi. Yuqori chastotali radiouzatuvchi qurilmalarda aktiv element sifatida tranzistor, radiolampa va mikrosxemalar, tebranish konturi sifatida esa oddiy sig'im va induktivliklar ishlatiladi. O'ta yuqori chastotali RUQLarda aktiv element sifatida magnetron, klistron, LOV (qaytgan to'lqin lampasi), LBV (yuguruvchi to'lqin lampasi) lar, tebranish konturi sifatida esa volnovodlar va rezonatorlar ishlatiladi. Optik diapazonda esa lazer generetorlari va svetovodlar ishlatiladi.

*Modulyatsiya turiga ko'ra* amplituda modulyatsiyali (AM), chastota modulyatsiyali (ChM), faza modulyatsiyali (FM) va ularning kombinatsiyali hamda impulsli RUQLarga bo'linadi.

*Ishlash turi (nurlatish turi) ga ko'ra* telefon, bir polosali, impulsli va boshqa RUQLarga bo'linadi.

*Aktiv elementlariga ko'ra* lampali, tranzistorli, klistronli va boshqa RUQLarga bo'linadi.

1.1-jadval

### Chastotalar diapazoni klassifikatsiyasi

Diapazon nomi	Chastota diapazoni	To'lqin uzunligi diapazoni
JPCh – juda past chastotalar (o'ta uzun to'lqinli diapazon)	3–30 kHz	Miriametrli
PCh – past chastotalar (uzun to'lqinli)	30–300 kHz	Kilometrli
O'Ch – o'rta chastotalar (o'rta to'lqinli diapazon)	0,3–3 MHz	Gektometrli
YuCh – yuqori chastotalar (qisqa to'lqinli diapazon)	3–30 MHz	Dekametrlil
JYuCh – juda yuqori chastotalar (ultra qisqa to'lqinli)	30–300 MHz	Metrlil

UYuCh – ultra yuqori chastotalar	0,3–3 GHz	Detsimetrli
O‘YuCh – o‘ta yuqori chastotalar	3–30 GHz	Santimetrli
HTYuCh – haddan tashqari yuqori chastotalar	30–300 GHz	Millimetrli
GYuCh – giper yuqori chastotalar	300–3000 GHz	Submillimetrli

### 1.3. Radiouzatuvchi qurilmalarning asosiy xarakteristikalar

Har qanday radiouzatkich ma’lum talablarni qanoatlantiruvchi ko‘rsatkichlar to‘plami orqali xarakterlanadi. Ushbu talablar davlat yoki soha standartlari, yoki meyoriy hujjatlarida belgilangan bo‘ladi. Ushbu barcha ko‘rsatkichlar (shu bilan birga ularga qo‘yiladigan talablar) ni asosiy uchta guruhga bo‘lish mumkin.

#### 1. Energetik ko‘rsatkichlar.

- Radiouzatkichning chiqish quvvati  $P_{chiq}$  ma’lum darajada radioaloqa tizimining ta’sir etish (ishlash) uzoqligi, ishonchliliga va xalaqitbardoshlilikini belgilaydi. Zamonaviy radiouzatkichlarning quvvati vattning ulushlaridan to million vattgacha oraliqda bo‘ladi.

- Radiouzatkichning foydali ish koeffitsiyenti (FIK)  $\eta = P_{chiq}/P_{0\Sigma}$ , bunda  $P_{0\Sigma}$  – ta’minot manbai talab qiladigan yig‘indi quvvat. FIK ko‘p hollarda kam quvvatli radiouzatkichlarning gabarit (tashqi) o‘lchamlari va og‘irligini, katta quvvatli va juda katta quvvatli radiouzatkichlarni yaratish va ekspluatatsiya (foydalanish) qiymatini belgilaydi. Zamonaviy radiouzatkichlarning sanoat FIK o‘ndan bir ulushdan o‘n protsentlargacha bo‘ladi. Uzatkichning chiqish quvvati va FIK birinchi navbatda oxirgi kuchaytirgichning ish rejimi katta quvvatli va energiya iste’molchi sifatida bo‘lishini belgilaydi.

#### 2. Modulyatsiyaning sifat ko‘rsatkichlari

- Modulyatsiya turi va parametrlari (AM, ChM, FM, IM va b.).
- Modulyatsiya jarayonidagi chiziqli va nochiziqli buzilishlar  $k_b$ .
- Foydali signalning xalaqitga nisbati  $P_s/P_x$ .
- Raqamli axborotni uzatishdagi xatolik ehtimolligi  $p$ .

Ushbu ko‘rsatkichlar modulyator va kaskadlarning ish sifatini ifodalaydi.

#### 3. Elektromagnit moslashuv ko‘rsatkichlari.

- Ishchi chastota  $f_i$ .

- Chastota diapazoni  $f_{min} - f_{max}$ .

Radiouzatish qurilmasining ishchi chastotasi uning qo'llanilishi va ishlash sharoitlaridan kelib chiqib belgilanadi. Zamonaviy RUQLari bir necha kilogersdan yuz gigagersgacha va undan yuqori chastotalar (optik diapazon) da ishlaydi.

- Chastotaning nisbiy nostabilligi (nobarqarorligi)  $\Delta f / f_r$ .

Ishchi chastotaning barqarorligi radioaloqa tizimining ishlash ishonchliligi va xalaqitbardoshligini oshirishga imkon yaratadi (qabullagichlar o'tkazish polosasini kichiklashtiradi). Yuqori barqarorlik berilgan chastotalar diapazonida bir vaqtda o'zaro xalaqitlarsiz ishlovchi radioaloqa tizimlarining sonini oshirishga imkon yaratadi. Zamonaviy RUQLari  $10^{-3} - 10^{-6}$  chastotalar nisbiy nobarqarorligiga ega. Ba'zi hollarda, sinxron radioeshittirish tizimlarida ishlovchi RUQLari chastotasining yuqori barqarorligi talab etiladi (masalan, yuqori tezlikli axborot uzatish tizimlari, o'lchash tizimlari va b.). Chastotaning barqarorligi qo'zg'atkichning ish sifatiga bog'liq.

- Ikkilamchi nurlanishlar nisbiy sathi  $k_i = 10 \lg \frac{P_{i\Sigma}}{P_{chiq}}$ .

Mavjud meyor bo'yicha, yangidan yaratiladigan radiouzatkichlar har qanday ikkilamchi nurlanishlarining quvvati  $25 \cdot 10^{-6} - 10^{-3}$  Vt dan oshmasligi kerak.

- Antenna orqali nurlatilayotgan ishchi chastotalar polosasidan tashqaridagi tebranishlarning yig'indi quvvati  $P_{i\Sigma}$ .

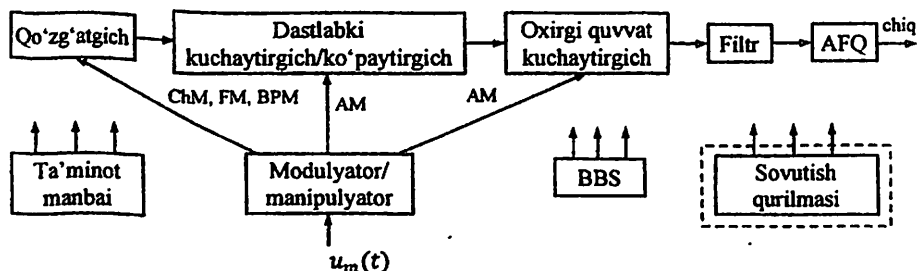
Radiouzatkichlarning asosiy chastotalar polosasidan tashqari va ikkilamchi nurlanishlari radioaloqa tizimining ish sifatini yomonlashtirmaydi, ammo ushbu nurlatishlar boshqa radiotizimlarga nisbatan xalaqit hisoblanadi. Shuning uchun bunday nurlanishlarning sathiga qat'iy cheklashlar (chegara) qo'yiladi, bunda radioliniya bir vaqtda o'zaro xalaqitlarsiz ishlashi inobatga olinadi, ya'ni radioaloqa tizimlarining elektromagnit moslashuv muammosi yechiladi.

Chiquvchi filtrlar tizimining sifati nurlatish chastotalar polosa kengligi, asosiy chastotalar polosasidan tashqari va ikkilamchi nurlanishlar quvvatini belgilaydi.

Radiouzatish qurilmasiga radioaloqa tizimi uchun umumiy bo'lgan talablar (RUQ ishonchliligi, uning gabarit o'lchamlari va og'irligi) bilan birga o'ziga xos (mexanik mustahkamlik, nam o'tkazmaydigan, ishchi harorat diapazoni, maxsus muhitda xodim uchun optimal sharoit kabi) boshqa talablar ham qo'yiladi.

#### 1.4. Radiouzatuvchi qurilmalarning funksional sxemalari

Radiouzatki chning umumlashgan sxemasi 1.2-rasmda keltirilgan. Yuqori chastotali tebranish sodda holda avtogenerator, murakkab holda chastotalar sintezatori hisoblanuvchi qo'zg'atkichda hosil qilinadi. Qo'zg'atkichlar kam quvvatli qilib loyihalanadi, zarur chiqish quvvati tebranishlarni kuchaytirish hisobiga ta'minlanadi: avvaliga boshlang'ich kaskadlarda (ko'p hollarda chastota ko'paytirish), so'ng katta quvvatli oxirgi kaskadda. Radiouzatki ch chiqishida ortiqcha (zararli) tebranishlarni so'ndirish uchun filtr qo'llaniladi. Hamma zamonaviy radiouzatki chlar ko'p kaskadli bo'ladi. Tebranishlarni boshqarish modulyator (uzluksiz axborot signalini uzatishda) yoki manipulyator (diskret axborot signallarini uzatishda) yordamida amalga oshiriladi. Agar uzatki chda amplituda modulyatsiyasidan foydalanilsa, u holda modulyator quvvat kuchaytirgichning oxirgi yoki dastlabki kaskadiga ta'sir ko'rsatadi. Boshqa hollarda (chastota, fazasi yoki bir polosali modulyatsiyalar) modulyator qo'zg'atkichga ta'sir ko'rsatadi.



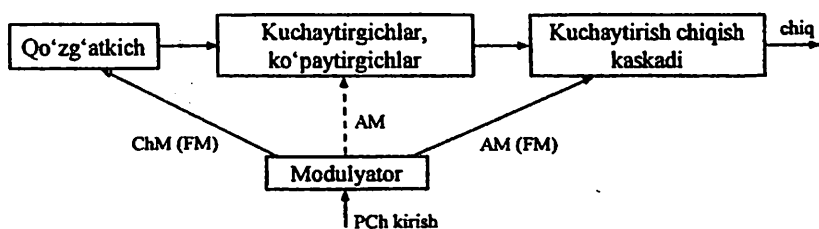
1.2-chizma. Radiouzatki chning umumlashgan sxemasi

Shakllantirilgan va quvvat bo'yicha kuchaytirilgan elektromagnit tebranishlar nurlatilishi uchun bevosita antennaga yoki antenna-fider qurilmasi (AFQ)ga, yoki aloqa liniyasiga (kabel yoki optik tolali) beriladi. Ko'rib chiqilgan sxema elementlari radiouzatki ch traktini tashkil qiladi. Ta'minot bloki, sovutish qurilmasi, boshqarish, blokirovkalash va signalizatsiya (BBS) tizimi qurilmasi RUQsining ishlashini va xizmat ko'rsatuvchi xodimlar uchun foydalanish xavfsizligini ta'minlaydi. Radiouzatki chlarda har doim ham sovutish qurilmasi bo'lmasligi mumkin, shu sababli 1.2-chizmada sovutish qurilmasi shtrix chiziq bilan keltirilgan.

Radiouzatki chlarning aniq sxemalari ularga qo'yiladigan texnik talablar – ishchi chastota, chiqish quvvati, barqarorligi va boshqa

talablarga ko'ra bir-biridan farqlanishi mumkin. Quyida radiouzatkichlarning namunaviy sxemalari va ularning asosiy elementlarini ko'rib chiqamiz.

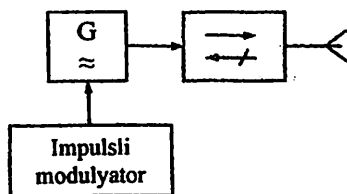
1. Kilometrli (30–300 kHz), gektometrli (300–3000 kHz), dekametrlil (3–30 MHz) va metrli (30–300 MHz) diapazon RUQsi yuqori chastota traktining funksional sxemasi 1.3-rasmda keltirilgan. Boshlang'ich yuqori chastotali tebranish kam quvvatli past chastotali qo'zg'atkichda shakllantiriladi va ko'p kaskadli tranzistorli quvvat kuchaytirgichda kuchaytiriladi. Chastotasi esa chastota ko'paytirgich yordamida ko'paytiriladi. Kerak hollarda ushbu ko'paytirish trakti keng polosali va qayta sozlanmaydigan qilib tanlanadi.



1.3-chizma. RUQ yuqori chastota traktining funksional sxemasi

Sodda holda RUQsining ikki funksiyasi – elektromagnit tebranishlarni shakllantirish va ularning modulyatsiyasi yuqori chastota barqarorligi talab etilmaydigan va chiqish quvvati nisbatan katta bo'lmagan holatlarda amalga oshiriladi. Misol uchun, chastotaning nisbiy nobarqarorligi  $10^{-3}$  bo'lgan va chiqish quvvatini bitta yarimo'tkazgich asbob ta'minlaydigan impulsli modulyatsiyada, ushbu RUQning funksional sxemasi 1.4-chizmada keltirilgan.

Generator chiqishidagi ventill antennadan keladigan tashqi ta'sirlardan himoyalash uchun ishlatiladi. Ushbu sxema bo'yicha qurilgan RUQsi yaqin lokatsiya va navigatsiya, radiojavob qaytaruvchi radiotizimlarning o'ta yuqori chastota traktida qo'llaniladi.



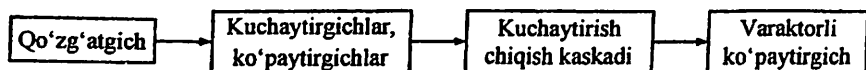
1.4-chizma. Bitta yarimo'tkazgich asbob asosidagi radiouzatkichning funksional sxemasi

Tor polosali metrli to'liqlar RUQlarida avtogeneratorming chastotalar barqarorligini oshirish uchun ko'pincha qo'zg'atkichni past chastotada ishlaydigan qilib quriladi va bir yoki bir nechta oraliq ko'paytirgichlar qo'llaniladi.

Kam quvvatli RUQsida ( $P_{chiq} < 1 \text{ Vt}$ ) ko'paytirgich ko'pincha 2-3 kaskaddan iborat bo'ladi, katta quvvatli uzatkichlarda ( $P_{chiq} > 10 \text{ Vt}$ ) kaskadlar soni 4-5 tagacha oshiriladi.

Amplituda modulyatsiyasi har doim oxirgi kaskadda amalga oshiriladi (bir polosali radiouzatkichlarda modulyatsiyalangan tebranish kuchaytiriladi). Ushbu diapazon radiouzatkichlarining FIK 30-40% ni tashkil qiladi.

2. Detsimetrli (300-3000 MHz) va santimetrli (3-30 GHz) diapazon RUQsi o'ta yuqori chastota traktining funksional sxemasi 1.5-chizmada keltirilgan. Trakt chiqishida bir qator chastota ko'paytirgich kaskadlari ulanadi (misol uchun, varaktorli). Chastota ko'paytirgichlar 100-1000 MHz chastotada tranzistorli kaskadlar beradigan tebranish quvvatini yanada yuqori chastotalar quvvatiga aylantiradi. Odatda kaskadlar soni berilgan chiqish chastotasi, quvvati va FIKga bog'liq bo'lib, uncha ko'p (1-3) bo'lmaydi.



1.5-chizma. RUQ o'ta yuqori chastota traktining funksional sxemasi

Radiouzatgich o'ta yuqori chastota traktining o'ziga xos xususiyati tranzistorli kaskadlar sonining ko'paytirilishi, chunki bu yerda tranzistorlar quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti uncha katta bo'lmagan ( $K_p = 2-4$ ) chastotada ishlaydi. Ko'paytirgichlarda yuqori chastotali quvvat yo'qotilishi va tranzistor ishlashining yomonlashishi detsimetrli va ayniqsa santimetrli diapazon radiouzatkichlarining FIKini 8-12 % gacha kamaytiradi.

### 1.5. Radiouzatuvchi qurilmalarga qo'yiladigan ba'zi asosiy talablar

RUQlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

Professional RUQlarda ishchi chastota ( $f_{ish}$ ) bitta yoki bir nechta bo'lishi mumkin (ba'zi hollarda  $10^4 - 10^9$  ga teng bo'lishi mumkin), bu esa turli vaqtlarda aloqa qilishni ta'minlaydi. Bundan tashqari bir ish

diapazonidan ikkinchi ish diapazoniga o'tish vaqti juda qisqa bo'lishi kerak. Bunday hollarda avtogenerator o'rniga chastota sintezatorlari ishlatiladi.

Nurlatilayotgan ikkilamchi (zararli) to'lqinlar quvvati  $25 \cdot 10^{-6} - 10^{-3}$  W dan oshishi kerak emas. RUQlar ishlatilishi uchun qulay, manba energiyasini kam sarflashi va foydali ish koeffitsiyenti iloji boricha katta bo'lishi kerak.

Radiouzatuvchi qurilmalarga konstruktiv va elektr jihatdan qo'yiladigan talablar radiosistemaga qo'yilgan texnik shartlardan kelib chiqadi.

### *Nazorat savollari*

- 1. Radiouzatuvchi qurilmalar qanday vazifani bajaradi?*
- 2. Radiouzatuvchi qurilmalar qanday turlarga bo'linadi?*
- 3. Radiouzatuvchi qurilmalarda qanday aktiv elementlar ishlatiladi?*
- 4. Chastotalar diapazonining bo'linishlari va nomlanishlarini aytib bering.*
- 5. Radiouzatuvchi qurilmalarning ko'rsatkichlari nechta guruhga bo'linadi?*
- 6. Radiouzatkichning umumlashgan sxemasini chizing va qismlari bajaradigan vazifalarni aytib bering.*
- 7. Kilometrli, gektometrli, dekametrlil va metrli diapazon RUQsining funksional sxemasini chizing va uning qismlari bajaradigan vazifalarni aytib bering, ushbu diapazon RUQlarining FIK necha foizni tashkil qiladi?*
- 8. Detsimetrli va santimetrli diapazon RUQsining funksional sxemasini chizing va uning qismlari bajaradigan vazifalarni aytib bering, ushbu diapazon RUQlarining FIK necha foizni tashkil qiladi?*
- 9. Radiouzatuvchi qurilmalarga qanday talablar qo'yiladi?*

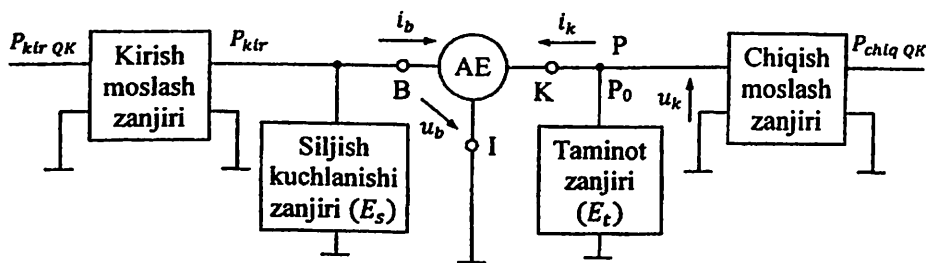


## 2. QUVVAT KUCHAYTIRGICHLAR, ULARDAGI AKTIV ELEMENTLARNING STATIK XARAKTERISTIKALARI VA ISH REJIMLARI

### 2.1. Quvvat kuchaytirgichlarning asosiy elementlari va parametrlari

**Quvvat kuchaytirgich (QK)** – tashqi qo‘zg‘atkich orqali shakllantirilgan doimiy elektr maydon energiyasini elektromagnit to‘lqin energiyasiga o‘zgartirish yo‘li orqali yuqori chastotali elektromagnit tebranishlar quvvatini kuchaytirish uchun mo‘ljallangan kaskad bo‘lib, RUQning asosiy kaskadlaridan biri hisoblanadi. Doimiy elektr maydon energiyasini elektromagnit tebranish energiyasiga o‘zgartiruvchi elementlar *aktiv element* (AE) lar deb ataladi.

Quvvat kuchaytirgich sxemasi (2.1-chizma) aktiv element, moslovchi zanjir, ta‘minot va siljish manбайдan iborat. QK kirishiga qo‘zg‘atkich deb ataluvchi oldingi kaskaddan  $f$  chastotali elektromagnit tebranish beriladi, QKning yuklamasi vazifasini navbatdagi kaskadning kirish qarshiligi yoki antennaga uzatuvchi liniya bajaradi.



2.1-chizma. *Quvvat kuchaytirgichning funksional sxemasi*

*Moslovchi zanjirlar* ikkita asosiy vazifani bajaradi:

1) moslash: kirish quvvatini AEga va AEning chiqish quvvatini yuklamaga nisbatan to‘liq uzatish uchun qarshilikni o‘zgartirish. Bunda kirish moslash zanjiri qarshiligini qo‘zg‘atkichning chiqish qarshiligiga teng qilib o‘zgartirish, chiqish moslash zanjiri esa yuklama qarshiligini AEning optimal rejimga erishish uchun zarur bo‘lgan qarshilikka o‘zgartirishni amalga oshiradi.

2) filtrlash: ta‘minot va siljish manbai zanjiri bilan birgalikda aktiv element elektrodida optimal ish holati uchun zarur bo‘lgan tok va kuchlanish tebranishining shaklini ta‘minlash.

Ta'minot zanjiri doimiy kuchlanish manbai  $E_t$  va doimiy hamda o'zgaruvchan tok zanjirlarini ajratuvchi – blokirovkalovchi elementlardan tashkil topgan.

Siljish kuchlanishi zanjiri qayd qilingan doimiy siljish kuchlanishi manbai  $E_s$  yoki avtomatik siljish zanjiri va blokirovkalash elementlaridan iborat.

Bundan tashqari quvvat kuchaytirgich tarkibiga tuzatish zanjiri, parazit to'liqlarni hosil qilishga to'sqinlik qiluvchi zanjir, aktiv elementni ortiqcha yuklanishdan himoyalovchi elementlar kirishi mumkin.

Quvvat kuchaytirgichlar quyidagi **parametrlar** bilan xarakterlanadi:

- chiqish quvvati  $P_{chIQ QK}$ ;
- kirish quvvati  $P_{kir QK}$ ;
- aktiv elementning kirishiga uzatilayotgan quvvat  $P_{kir}$ ;
- quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_P = P_{chIQ QK}/P_{kir QK}$ ;
- ishchi chastotalar diapazoni  $f_{min} - f_{max}$ ;
- nisbiy ishchi chastota polosasi  $\frac{\Delta f}{f_{o'r}} = 2 \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max} + f_{min}}$ ;
- aktiv elementning ta'minot manбайдan iste'mol qiluvchi doimiy tok quvvati  $P_0$ ;

• quvvat kuchaytirgichning to'liq FIK  $\eta = P_{chIQ QK}/(P_0 + P_{kir QK})$  yoki  $\eta = (P_{chIQ QK} - P_{kir QK})/P_0$ ,  $P_{kir QK} \ll P_0$  ekanligini e'tiborga olsak, u holda  $\eta \approx P_{chIQ QK}/P_0$ ;

• yuklamaga berilayotgan quvvat (A'ning tashqi zanjirga beruvchi quvvati)  $P_k = \sum P_n$ ,  $P_n$  – nchi garmonika quvvati;

• elektron FIK  $\eta_e = P_k/(P_0 + P_{kir QK})$ , ammo ko'pincha  $P_0 \gg P_{kir QK}$  bo'lgani uchun  $\eta_e = P_k/P_0$ ;

• birinchi garmonika bo'yicha FIK  $\eta_1 = P_1/P_0$ ;

• kirish moslash zanjirining uzatish koeffitsiyenti  $k_{kir} = P_{kir}/P_{kir QK}$ ;

• chiqish moslash zanjirining uzatish koeffitsiyenti  $k_{chIQ} = P_{chIQ QK}/P_1$ ;

• AE kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_P = P_1/P_{kir}$ ;

• AEdan ajraluvchi quvvat  $P_a = P_0 - P_k$ ;

• ikkilamchi (nomaqbul) tebranishlarning nisbiy sathi

$$k_{ik} = 10 \lg \left( \frac{1}{P_{chIQ QK}} \sum P_i \right);$$

•  $\Delta f_{ishchi}$  dan tashqaridagi  $i$ -chi tebranish quvvati  $P_i$

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDA  
TOSHKENT AXBOROT  
TEKNOLOGIYALARI UNIVERSITETI  
385090

Quvvat kuchaytirgichlarning *nisbatan muhim parametrlari* chiqish quvvati (uni ko'paytirish kerak), elektron FIK va kuchaytirish koeffitsiyenti (ayniqsa O'YuCh diapazonida) hisoblanadi.

Quvvat kuchaytirgichlar energetik va chastota parametrlaridan tashqari yana bir qator ko'rsatkichlar bilan xarakterlanadi, masalan, ishonchlilik, tashqi ta'sirlarga bardoshlilik, tashqi o'lchamlari, og'irligi, texnologik tuzilishi va boshq.

QK parametrlarining son qiymatlari ishchi chastotaga, radiotizim vazifasiga va RUQ tuzilishidagi joylashgan o'rniga bog'liq. Masalan, 1 kHz–10 GHz chastotalar diapazonida ishlovchi QK quyidagi son qiymatlariga ega bo'lishi mumkin:  $P_{chiq} = 100 \text{ Vt} - 1 \text{ mV}$ ,  $\eta_e = 70 - 90\%$ ,  $K_p = 3 - 20$  (bitta kaskadniki), tor polosali QKlarda nisbiy chastota polosasi (1–10)%, keng polosali QKlarda 100%, ikkilamchi (nomaqbul) tebranishlarning ruxsat etilgan sathi  $k_{ik} = -(50 - 60) \text{ dB}$ .

## 2.2. Quvvat kuchaytirgichlarda aktiv elementlar

QK uchun aktiv element quvvat kuchaytirgichning ishchi chastotalar qiymati, quvvati va vazifasi asosida tanlanadi. QKlarda ko'p hollarda aktiv element sifatida *bipolyar tranzistorlar* (BT) va *maydoniy tranzistorlar* (MT), maxsus hollarda esa *aktiv diodlar* ishlatiladi. QKning funksional sxemasi (2.1-chizma) dan ko'rinadiki, aktiv elementning elektrodlaridan biri kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiy hisoblanadi. Eng katta quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  umumiy elektrod sifatida emitter va istokdan foydalanilgan holda yuz beradi. O'YuCh diapazonida umumiy emitter sxemasi bo'yicha qurilgan QK kuchaytirish koeffitsiyenti umumiy baza sxemasi bo'yicha qurilgan QK kuchaytirish koeffitsiyentidan kichik bo'ladi. 1 GHz dan katta chastotalarda QK umumiy baza sxemasi bo'yicha quriladi. ***Bundan keyingi ma'lumotlarda BT umumiy emitter (UE) sxemasi bo'yicha ulangan, MT umumiy istok (UI) bo'yicha ulangan deb qaraymiz.***

Aktiv elementning xususiyatlarini o'rganishda uning kirish ta'sirlariga reaksiyasini bilish kerak bo'ladi. Aktiv elementda inersionlik jarayoni yuzaga kelmaydigan nisbatan past chastotalarda tok – kuchlanishning oniy funksiyasi hisoblanadi. Ushbu holda AE statik (ya'ni, doimiy tokda olingan) VAXlar  $i_{kir}(u_{ktr}, u_{chiq})$ ,  $i_{chiq}(u_{kir}, u_{chiq})$ , orqali to'liq aniqlanadi.

Statik VAXlarni umumiy emitter sxemasi bo'yicha ulangan (2.2a,b-chizma) va umumiy istok sxemasi bo'yicha ulangan (2.2c,d-

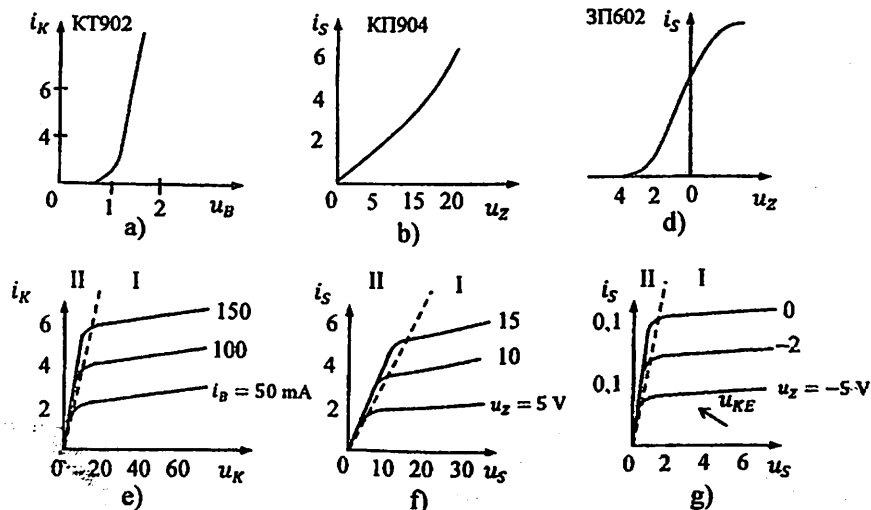
chizma) BT va MT misolida ko'rib chiqamiz.  $I_{kir}(u_{kir}, u_{chiq})$  bog'liqlikka  $u_{chiq}$  doimiy bo'lganda *o'tish xarakteristikasi* deyiladi.  $p-n$  o'tish boshqaruvli MT uchun "chap" xarakteristikasi mavjud bo'lib, bu shuni bildiradi, o'tish xarakteristikasining asosiy ishchi sohasi  $u_{kir} = 0$  o'qdan chap tomonda joylashgan bo'ladi. Bunday aktiv elementning normal ishlashi uchun uning kirishiga berkituvchi siljish kuchlanishi berilishi kerak.

O'tish xarakteristikasi sohasini ikkita sohaga ajratish mumkin:

- I soha: chiqish kuchlanishi  $u_{chiq}$   $u_{kir}$  ga nisbatan  $i_{chiq}$  tokiga juda ham kichik (muhim bo'lmagan) ta'sir ko'rsatadi;

- II soha:  $i_{chiq}$  tokiga  $u_{chiq}$  kuchlanishining ta'siri  $u_{kir}$  ta'siriga nisbatan juda katta.

2.2a-c-chizmada ko'rsatilgan o'tish xarakteristikalari kam kuchlanganlik ish holati sohasiga mos keladi. Kichik bog'liqlik  $i_{chiq}(u_{chiq})$  sababli o'tish xarakteristikasi turli chiqish kuchlanishlarida bitta to'g'ri chiziqqa mos tushadi. O'tish xarakteristikasining xususiyati kichik chiqish toki tugatilgandan keyin ham boshqaruvchi elektrodda bir-muncha kuchlanishning mavjud bo'lishidir. Bunday kuchlanish chiqish tokining *kesish kuchlanishi*  $u_{kes}$  deb ataladi.



2.2-chizma. Tranzistorlar statik VAXlari: a)-d) – kam kuchlanganlik ish holati o'tish; e)-g) – chiqish.

$u_{kir}$  doimiy bo'lganda  $i_{chiq}(u_{chiq})$  bog'liqlikka *chiqish statik xarakteristikasi* deb ataladi (2.2d-f-rasm). Chiqish xarakteristikalari ham ikki sohaga bo'linadi:

- I soha: kamkuchlanganlik sohasi, bunda chiqish kuchlanishi chiqish tokiga juda kam ta'sir ko'rsatadi;

- II soha: o'takuchlanganlik sohasi, bunda chiqish kuchlanishi chiqish tokiga juda kuchli ta'sir ko'rsatadi.

Ikki soha xarakteristikalarining egilish nuqtalari orqali o'tkazilgan chegaraviy rejim chizig'i orqali shartli ajratilgan to'yinish sohasi deb ataluvchi II sohada kollektor o'tishi ochiladi, bu esa baza tokini kollektor tokining kamayishiga teng miqdorda ko'payishiga olib keladi.

Chiqish xarakteristikalari ba'zi hollarda volt-amper xarakteristikalari (VAX) deb ham ataladi. Bu xarakteristikalar orqali tokning uzatish koeffitsiyentini aniqlash mumkin. VAX yuzasida to'rtta soha joylashgan.

**1. Kesilish sohasi.** Chiqish kuchlanishi chiqish tokiga kam ta'sir ko'rsatadi. Bu sohada emitter va kollektor o'tish zonalari teskari siljigan.

**2. Aktiv soha.** Bu sohada ham chiqish kuchlanishi chiqish tokiga kam ta'sir ko'rsatadi. Bu sohada emitter o'tish zonasi to'g'ri, kollektor o'tish zonasi esa teskari siljigan. AE kam kuchlanganlik ish holatida bo'ladi.

**3. To'yinish sohasi.** Bu sohada chiqish kuchlanishi chiqish tokiga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Bu sohada emitter va kollektor o'tish zonalari to'g'ri siljigan bo'ladi.

**4. Teshilish sohasi** – tok tashuvchi zarrachalarni elektr maydoni ta'sirida keskin oshib ketish sohasi, bu sohada chiqish toki katta bo'lganligi sababli aktiv element bu sohada ishlatilmaydi, chunki u ishdan chiqishi mumkin.

Aktiv elementning o'tish va chiqish xarakteristikalari to'g'ri chiziq bo'laklari bilan approksimatsiyalanadi. Ushbu approksimatsiya bo'lakli-to'g'ri chizikli approksimatsiya deb ataladi. U injenerlik hisob-kitobi uchun zarur bo'lgan aniqlikka ega.

Quvvat kuchaytirgichning ishchi chastotasi, kuchaytirish quvvati va RUQ vazifasi asosida QKning aktiv elementi tanlanadi. Kichik va o'rta quvvatli radiouzatkichlar to'liq tranzistorlardan quriladi, bunda quvvatlarni ko'priksimon qo'shish tizimidan (10 kVt gacha) va quvvatlarni fazoda qo'shishdan foydalaniladi. 450 MHz chastotada ishlovchi radiolokatsion stansiyaning quvvat kuchaytirgichi 25 Vt li

bipolyar tranzistorlardan v<sup>ig</sup>ilgan bo'lib, fazalashtirilgan antenna panjarasi yordamida va impulsli ish holatda 600 kVt ga yetkaziladi.

Ma'lumki, maydoniy tranzistorlar bipolyar tranzistorlardagi bir qator kamchiliklardan holi. Bipolyar tranzistorlarda musbat teskari aloqa mexanizmi mavjud: haroratning oshishi tranzistor tokining ko'payishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida tranzistorlarni qo'shimcha qizishiga olib keladi. Bipolyar tranzistorlardan farqli ravishda maydoniy tranzistorlar tokining harorat koeffitsiyenti manfiy. Bu nisbatan katta quvvatli maydoniy tranzistorlarni ishlab chiqish va ularni parallel ulash masalalarini, keng polosali kuchaytirgichlarda qo'llanilishini, shu bilan birga katta quvvatli O'YuCh bipolyar tranzistorlari uchun havfli bo'lgan A rejimda ishlovchi kuchaytirgichlarda qo'llanilish imkoniyatini beradi.

Maydoniy tranzistorlarning yana bir afzalligi – zaryadlarning to'planish va tarqalish jarayonining mavjud emasligi bo'lib, bu Btlarga nisbatan Mtlarning tezkorligini oshiradi. Shuning uchun Mtlarning chegaraviy ishchi chastotalari bir necha marotaba yuqori hisoblanadi. Masalan, Shotki zatvorli MTning nazariy eng yuqori chastotasi 80–100 GHz ni tashkil etadi.

Kalit rejimida ishlovchi kuchaytirgichlarda maydoniy tranzistorlarning qayta ulanish vaqti kichik. Katta quvvatli MT 800 V gacha manba kuchlanishi va 1–2 kVt chiqish quvvati sathida 20–30 A gacha tok bilan ishlaydi.

BTning o'tish sig'imi qo'yilgan kuchlanishga kuchli bog'liq bo'lib, bu amplituda-faza konvensiyasiga, ya'ni chiqish tebranishi fazasining amplitudaga bog'liqligiga olib keladi. Bundan tashqari sig'imning noxiziqiligi parazit parametrik effektlarga, masalan ishchi chastotadan ikki marta kichik chastotada o'z-o'zini qo'zg'atishga olib kelishi mumkin. Maydoniy tranzistorlar nisbatan chiziqli xarakterga ega bo'lib, chiziqli kuchaytirgichlarda qo'llanilishi afzal hisoblanadi. Mtlarning ushbu xususiyati ularni avtogeneratorlarda qo'llanganda chastotaning nobarqarorligini kamaytirishga imkon yaratadi.

Mtlarning kamchiliklariga ularning Btlarga nisbatan kirish qarshiligining chastotaga kuchli bog'liqligini keltirish mumkin. Bu Mtlardagi keng polosali kuchaytirgichlarda aloqa zanjirining murakkablashishisha olib keladi. Nisbatan yuqori bo'lmagan chastotalarda (bir necha gigagersgacha) BT shovqini MT shovqinidan kichik. 4 GHz gacha chastotalarda Btlardan ko'proq foydalaniladi, undan yuqori chastotalarda Mtlardan foydalanish afzal hisoblanadi.

Tranzistorlar umumiy emitter (UE, umumiy baza (UB) va umumiy kollektor (UK) sxemalari bo'yicha ulanishi mumkin. UK sxemasi juda kam hollarda ishlatiladi. UKli kaskad  $f_{cheg}$  dan kichik chastotalarda quvvat bo'yicha sezilarli kuchaytirishga erishadi. Ueli kuchaytirgich  $f_{cheg}$  chastota yaqinida bir birlik kuchaytirishga, UBli AE esa  $f_{cheg}$  dan juda katta chastotalarda ishlashi mumkin.  $0,2f_{cheg}$  dan past chastotada UBli sxemaning afzalligi – tok bo'yicha uzatish koeffitsiyentining barqarorligidir. Bu emitter tokining zaruriy shaklini ta'minlash evaziga kichik chastotali va nohiziqli buzilishlarga ega kuchaytirgichni qurish imkonini beradi.

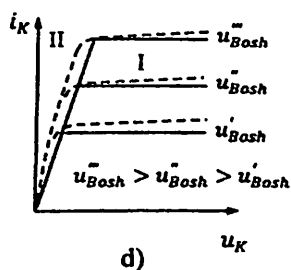
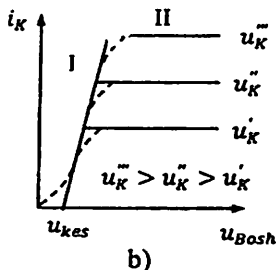
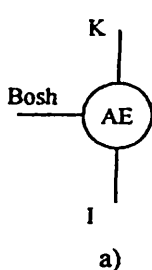
AElar VAXlarining o'xshashligini hisobga olib, noinersion AE tushunchasini kiritamiz. Noinersion AE bu – uch elektrodli asbob bo'lib, elektrodlardagi oniy tok va kuchlanish orasidagi bog'lanish statik VAX orqali aniqlanadi. Nonersion AENing VAXsi nohiziqli, ammo uning uchun quyidagilarni e'tiborga olish lozim:

- QKda AE kuchli signal rejimida ishlaydi, bunda ishchi nuqtaning bir sohadan boshqa sohaga o'tishi bilan bog'liq bo'lgan VAXning nohiziqililigini e'tiborga olish lozim (o'tish VAX – chiqish toki mavjud bo'lgan sohadan chiqish toki mavjud bo'lmagan sohaga o'tish, chiqish VAX – kamkuchlanganlik sohadan o'takuchlanganlik sohaga o'tish);

- Kuchli signal rejimida xarakteristikaning nohiziqililigini alohida sohalar ichida muhim ahamiyatga ega emas.

Ushbu rejimlarning xususiyatlari tanlangan VAX approssimatsiyasining varianti maqbulligini tasdiqlaydi, demak sohadan sohaga o'tishni e'tiborga oladi va soha ichida nohiziqilikka ta'sirchan emas. Noinersion AENing o'tish va chiqish VAXsi 2.3-chizmada keltirilgan, bunda I va II – mos ravishda kamkuchlanganlik va o'takuchlanganlik rejimi sohalari.

Noinersion AE xarakteristikasining soddalashgan approssimatsiyasidan foydalanib, uning o'tish va chiqish xarakteristikasi uchun quyidagi ifodalarga ega bo'lamiz.



2.3-chizma. *Noinersion AE sxemasi a), uning o'tish b) va chiqish d) VAXlari.*

O'tish xarakteristikasi:

- kamkuchlanganlik sohasi uchun

$$i_k = S(u_b - u_{kes}), \quad (2.1)$$

bunda,  $S = di_k/du_b$  – statik o'tish VAXsining qiyaligi;

- o'takuchlanganlik sohasi uchun  $i_k \neq i_k(u_b)$ .

Chiqish xarakteristikasi:

- o'takuchlanganlik sohasi va chegaraviy rejim uchun

$$i_k = S_{cheg}(u_k), \quad (2.2)$$

bunda,  $S_{cheg} = di_k/du_b$  – chegaraviy rejimlar chizig'ining qiyaligi;

- kamkuchlanganlik sohasi uchun  $i_k \neq i_k(u_k)$ .

### 2.3. Chiqish toklarining garmonik tahlili

Kritik ish holatida ishlayotgan inersiyasiz AEning chiqish toklari garmonikalarini ko'rib chiqamiz. AEning kirish qismiga  $u_{kir}(t)$  ko'rinishidagi garmonik kuchlanish ta'sir qiladi deb faraz qilamiz. Chiqish toki  $i_{chiq}(t)$  va kirish kuchlanishi  $u_{kir}(t)$  orasida fazaviy siljish yo'q. Bu holatda AEning chiqish qismidagi tok ham garmonik ko'rinishda bo'ladi va uni Furrye qatoriga yoyib yozish mumkin. Furrye qatori – bu har qanday davriy signalni cheksiz sinusoidal va kossinusoidal karrali argumentli tashkil etuvchilar va doimiy tashkil etuvchi yig'indisi ko'rinishida ifodalashdir:

$$i_{chiq}(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\Omega t + \varphi_n), \quad (2.3)$$



yoki uni boshqacha ko'rishda yozish mumkin:

$$i_{chiq}(t) = I_0 + I_1 \cos(\Omega t) + I_2 \cos(2\Omega t) + \dots + I_n \cos(n\Omega t), \quad (2.4)$$

bunda  $I_0$  – chiqish tokining doimiy tashkil etuvchisi,  $I_1$  – chiqish tokining o'zgaruvchan asosiy tashkil etuvchisi yoki birinchi garmonikasi deyiladi. Uning davri umumiy chiqish tokining davriga teng, qolgan tashkil etuvchilar yuqori garmonikalar deyiladi. AE chiqish tokining amplitudasi qancha katta bo'lsa, uning doimiy va asosiy hamda yuqori tashkil etuvchilari ham shuncha katta qiymatga ega bo'ladi va ular chiqish tokining maksimal amplitudasi bilan proporsionallik koeffitsiyentlari orqali bog'langan, ya'ni

$$\begin{aligned} I_0 &= \alpha_0 i_{chiq \max}; & I_1 &= \alpha_1 i_{chiq \max}; \\ I_2 &= \alpha_2 i_{chiq \max}; & I_n &= \alpha_n i_{chiq \max}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

$\alpha_n$  – proporsionallik koeffitsiyentlari yoki Berg koeffitsiyentlari deb ataladi. Bu koeffitsiyentlar kesish burchagi  $\theta$  ga bog'liq bo'ladi va ularning qiymati jadval shaklida yoki grafik holda beriladi (2.4-chizma).

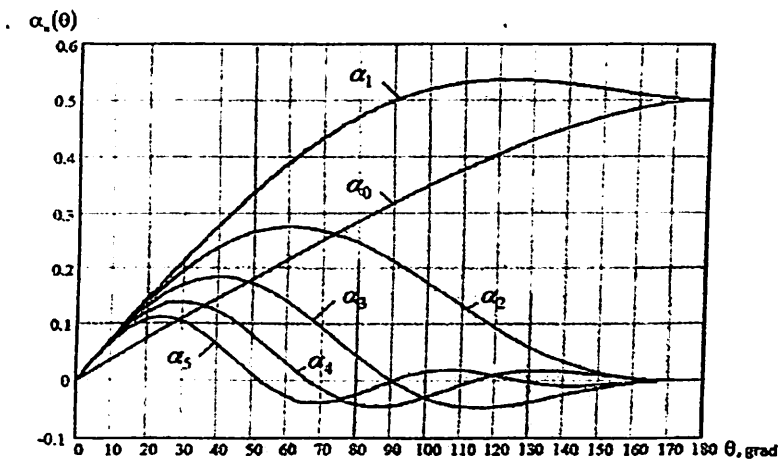
$\alpha_n(\theta)$  koeffitsiyentlaridan tashqari  $\gamma_n(\theta)$  Berg koeffitsiyentlari ham mavjud bo'lib, ular orasida quyidagi bog'liqlik mavjud:

$$\gamma_n(\theta) = \alpha_n(\theta)(1 - \cos \theta). \quad (2.6)$$

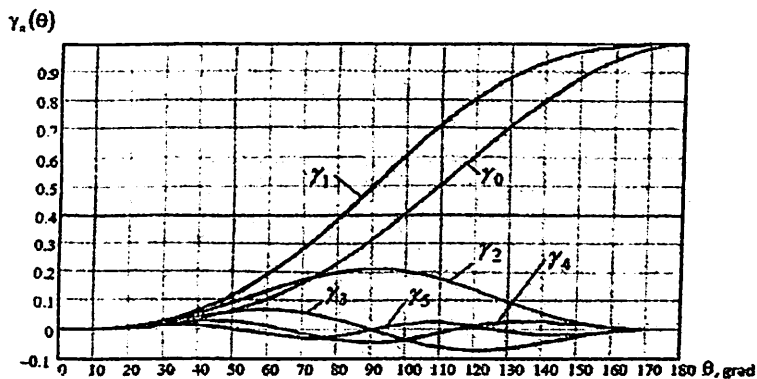
$\gamma_n(\theta)$  Berg koeffitsiyentlarining grafigi 2.5-chizmada keltirilgan.

$\alpha_n(\theta)$  koeffitsiyentlaridan NEdan o'tayotgan kosinusoidal impulslarning maksimal qiymati  $I_{max}$  o'zgarmas bo'lgan holatda foydalaniladi.

$\gamma_n(\theta)$  koeffitsiyentlaridan NEdan o'tayotgan kosinusoidal impulslarning maksimal qiymati o'zgaruvchan bo'lgan holatda foydalaniladi.



2.4-chizma.  $\alpha_n(\theta)$  Berg koeffitsiyentining kesish burchagiga bog'liqligi



2.5-rasm.  $\gamma_n(\theta)$  Berg koeffitsiyentining kesish burchagiga bog'liqligi

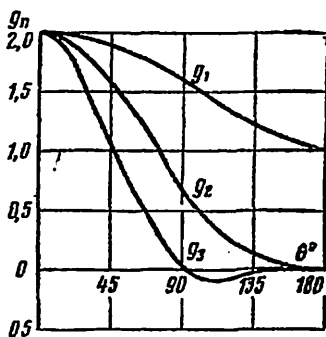
2.4- va 2.5-chizmalardagi  $\alpha_n(\theta)$  va  $\gamma_n(\theta)$  grafiklardan ko'rinib turibdiki, kesish burchagi  $\theta$  ning ma'lum bir qiymatlarida  $\alpha_n(\theta)$  va  $\gamma_n(\theta)$  koeffitsiyentlari o'zlarining eng katta qiymatiga ega bo'ladilar, demak shu kesish burchaklarida NE orqali o'tuvchi tokning u yoki bu garmonikalari o'zlarining eng katta – maksimal qiymatlariga erishadilar. Masalan,  $\alpha_1(120^\circ) = 0,54$ ;  $\alpha_2(60^\circ) = 0,27$  va  $\alpha_3(40^\circ) = 0,18$ , ya'ni  $\theta_n = \frac{120^\circ}{n}$  qiymatlarida;  $\gamma_1(180^\circ) = 1$ ,  $\gamma_2(90^\circ) = 0,2$  va  $\gamma_3(60^\circ) = 0,05$ , ya'ni  $\theta_n = \frac{180^\circ}{n}$  qiymatlarida o'zlarining eng katta qiymatlariga erishadilar.

Tokning shakl ko'effitsiyentini Berg ko'effitsiyentlari orqali yozish mumkin, u holda

$$g_n(\theta) = \frac{I_n}{I_0} = \frac{\alpha_n(\theta)}{\alpha_0(\theta)} = \frac{\gamma_n(\theta)}{\gamma_0(\theta)}. \quad (2.7)$$

2.6-chizmada tok shakl ko'effitsiyentining kesish burchagiga bog'liqligi keltirilgan.

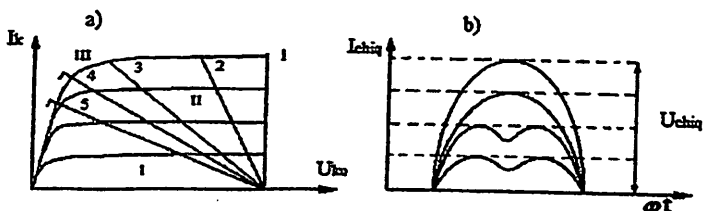
Kesish burchagi  $\theta$   $0^\circ$  dan  $180^\circ$  gacha o'zgarganda tokning shakl ko'effitsiyenti  $g_n(\theta)$  ning qiymati 2 dan 1 gacha kamayadi, kesish burchagi  $\theta = 90^\circ$  bo'lganda  $g_1 = \pi/2$  bo'ladi.



2.6-chizma. Tokning shakl ko'effitsiyentini kesish burchagiga bog'liqligi

#### 2.4. Aktiv elementning ish holatlari

Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlardagi aktiv elementning kirish va chiqish qismiga bir vaqtning o'zida katta o'zgaruvchan kuchlanish ta'sir etadi. AE chiqish kuchlanishi o'zgarishining toklarga ta'siriga qarab, ish holati ikki turda bo'lishi mumkin: chiqish kuchlanishi  $u_{chiq}$  tokka kam ta'sir etuvchi holat, chiqish kuchlanishi tokka kuchli ta'sir etuvchi holat. Umuman olganda mana shu ta'sirga qarab generatordagi AEning ish holatini to'rt turda bo'lishi mumkin. Generatorning bu ish holatlarini aktiv elementning volt-amper xarakteristikasi (VAX) yuzasida joylashtiriladigan dinamik xarakteristika, ya'ni butun bir davr davomida tok va kuchlanish nuqtalarini birlashtiruvchi to'g'ri chiziqqa qarab aniqlash mumkin. Bu ish holatlari kamkuchlanganlik (KKH), kritik (KH), o'takuchlanganlik (O'KH) va kalitli ish holatlari bo'lishi mumkin (2.7-chizma).



2.7-rasm. Volt-amper xarakteristika sohasida dinamik xarakteristikaning joylashishi: a) – dinamik xarakteristikaning ish holatlari; b) – chiqish tokining shaklini AEning ish holatiga bog‘liqligi.

Agar dinamik xarakteristika aktiv (II) va kesish (I) sohalarida joylashgan bo‘lsa, generatorning ish holati kamkuchlanishli (KKH) deb ataladi. Agar dinamik xarakteristika (3) qisman to‘yingan (III) sohaga o‘tsa, u holda ish holati o‘takuchlanishli (O‘KH) deb ataladi. Bu ikki ish holatini kritik ish holati (KH) ajratib turadi. Bu holatga 2-dinamik xarakteristika to‘g‘ri keladi. To‘rtinchi ish holat kalitli deyiladi. Bu ish holatida aktiv element ish nuqtasi davrning birinchi yarmida to‘yinish sohasida (AE ochiq holatda), davrning ikkinchi yarmida esa kesish sohasida (AE yopiq holatda) joylashadi.

## 2.5. Quvvat kuchaytirgichlardagi aktiv elementlarning ish holatini aniqlash

Aktiv element va manba kuchlanishi  $E_m$  berilgan bo‘lsin. AEning ish holatini va yuklama  $Z_{yu}$  ni shunday tanlash kerakki, AEning energetik ko‘rsatkichlari: foydali chiqish quvvati  $P_1$ , foydali ish koeffitsiyenti (FIK)  $\eta$ , quvvatni kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  maksimal qiymatga ega bo‘lsin. Bizga ma’lumki, chiqish quvvati  $P_{ch1q1}$  eng katta qiymatga  $Z_{yu} = R_{yu}$  da, ya’ni yuklama aktiv bo‘lgan holda erishadi. Bu holda  $\cos \varphi = 1$ ,  $\varphi = 90^\circ$  bo‘ladi va foydali chiqish quvvati quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$P_1 = 0,5U_{yu}I_{ch1q1}. \quad (2.8)$$

Kirishdagi ta’sir qiluvchi signalning amplitudasi  $U_{ktr}$  va siljish kuchlanishi  $E_s$  berilgan, uni doimiy deb hisoblaymiz. Yuklamadagi kuchlanish  $U_{yu}$  ni o‘zgartirib, AEning energetik ko‘rsatkichlari qanday o‘zgarishini ko‘rib chiqamiz. Yuklamadagi kuchlanish  $U_{yu}$  ning kichik

qiymatlarida AEning ish holati kamkuchlanishli bo'ladi. Bu ish holatda  $U_{yu} < U_{yu\ kr}$  bo'lib, kuchlanish ta'sirida chiqish tokining impulsi amplitudasi deyarli o'zgarmaydi (biroz kamayadi), impuls shakli kosinusoidal ko'rinishda bo'ladi. Kamkuchlanishli ish holatida chiqish toklari  $I_{chiq0}$ ,  $I_{chiq1}$  qiymati biroz kamayadi. Manba kuchlanishi  $E_m$  doimiy va  $I_{chiq0}$  toki kam o'zgargani uchun manbadan olinayotgan quvvat  $P_0$  ham  $U_{yu} < U_{yu\ kr}$  bo'lganda kam o'zgaradi (2.8-chizma)

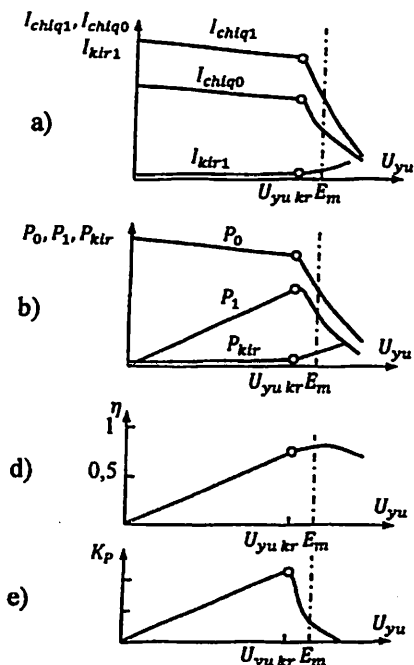
$$P_0 = E_m I_{chiq0}. \quad (2.9)$$

Foydali chiqish quvvati  $P_1$   $U_{yu} < U_{yu\ kr}$  bo'lganda, yuklamadagi kuchlanish  $U_{yu}$  oshishi bilan (2.8) ifodaga binoan ko'payib boradi. Kam kuchlanganlik ish holatida kirishdagi quvvat ham deyarli o'zgarmaydi. Bu ish holatida foydali ish koeffitsiyenti va quvvatni kuchaytirish koeffitsiyenti kuchlanish oshishi bilan kattalashib boradi, chunki  $P_1$  ning qiymati oshib boradi. Manbadan olinayotgan quvvat  $P_0 = const$  bo'ladi.

Foydali chiqish quvvati, foydali ish va quvvatni kuchaytirish koeffitsiyentlari  $U_{yu} = U_{yu\ kr}$  nuqtada o'zining eng katta qiymatlariga erishadilar, chunki  $P_1$  ko'payadi,  $P_{ktr} = const$ . Bu holda kritik ish holati vujudga keladi (2.8-chizma).  $U_n > U_{nkr}$  bo'lganda AEning ish holati o'takuchlanishli bo'ladi. Chiqish toki impulsi amplitudasida pasayishlar sodir bo'ladi va bu pasayishlar  $U_{yu}$  oshib borishi bilan ko'payadi. 2.8-chizmada energetik ko'rsatkichlarni yuklamadagi kuchlanishga bog'liqligi ko'rsatilgan.

Bu esa chiqish  $I_{chiq1}$ ,  $I_{chiq0}$  toklarining kamayishiga olib keladi. Bu toklar keskin kamayadi, kirish toki esa keskin ko'payadi. Bu toklar kamayishi hisobiga  $U_n > U_{nkr}$  bo'lganda  $P_1$  va  $P_0$  lar ham keskin kamayishni boshlaydi.  $P_{ktr}$  esa oshib boradi, 2.8-chizmadagi grafiklardan ko'rinib turibdiki, foydali ish koeffitsiyenti va quvvatni kuchaytirish koeffitsiyentlari ham pasayib boradi.  $P_1$ ,  $P_0$ ,  $K_p$  lar o'zining maksimal qiymatiga kritik ish holatida, ya'ni  $U_n = U_{nkr}$  bo'lganda erishadi.

Energetik ko'rsatkichlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, kritik ish holati AE uchun eng qulay ish holati bo'lib hisoblanadi va amalda ko'p qo'llaniladi, chunki foydali chiqish quvvati  $P_1$ , foydali ish koeffitsiyenti  $\eta$  va quvvatni kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  lar eng katta qiymatlarga erishadi.



2.8-chizma. Energetik ko'rsatkichlarning yuklamadagi kuchlanishga bog'liqligi: a) – chiqish va kirish toklari; b) – chiqish va kirish quvvatlari; d) – FIK; e) – quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti.

## 2.6. Quvvat kuchaytirgich uchun aktiv elementni tanlash

Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlar uchun AE berilgan ish chastota  $f_0$  va antenna-fider quvvati  $P_F$  ga qarab tanlanadi. Odatda AEning parametrlari ko'rsatilgan adabiyotlarda AEning kollektor-emitteriga qo'yilgan kuchlanishning maksimal qiymati  $U_{KE \text{ max}}$ , chiqish tokining maksimal qiymati  $I_{K \text{ max}}$ , kollektordagi issiqlik sifatida ajralayotgan sochilish quvvati  $P_{K \text{ max}}$ , baza-emitter kuchlanishining eng katta qiymatlari  $U_{BE \text{ max}}$  va yuqori chegaraviy chastota  $f_{cheg}$  ko'rsatiladi. Chastota oshishi bilan AEning quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti keskin kamaya boshlaydi. Shuning uchun tanlangan AEning quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_P = 2 \dots 3$  dan kam bo'lishi kerak emas.

Yuqorida qayd qilingandek, maksimal chiqish quvvati yuklamaga kritik ish holatida uzatiladi va tok impulsining maksimal qiymati  $I_{K_m}$

bo'ladi. Agar manba kuchlanishi  $E_m$  berilgan bo'lsa, yuklamadagi kritik kuchlanish quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_{yu\ kr} = E_m - U_{KE\ min\ kr} = E_m - I_{Km}/S_{kr}. \quad (2.10)$$

Kollektor tokining birinchi garmonikasi  $I_{K1}$  ni tokning maksimal qiymati  $I_{Km}$  orqali ifodalaymiz

$$I_{chiq1} = \alpha_1(\theta)I_{chiq\ max} = \alpha_1(\theta)I_{Km}. \quad (2.11)$$

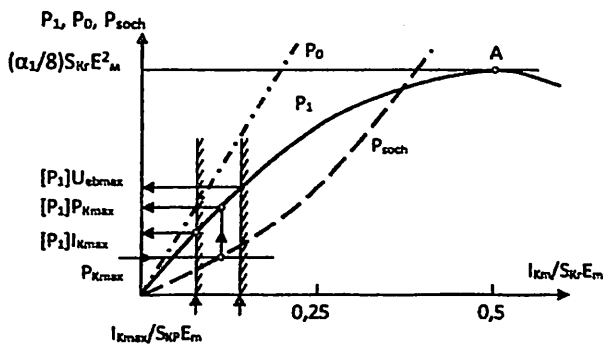
(2.8), (2.10) va (2.11) ifodalardan nominal chiqish quvvatini topamiz

$$P_{chiq1} = 0,5\alpha_1(\theta)I_{Km}E_m(1 - I_{Km}/S_{kr}E_m). \quad (2.12)$$

Nominal quvvat keshish burchagi  $\theta = 90^\circ$  va yoyilish koeffitsiyenti  $\alpha_1(\theta) = 0,5$  bo'lgan hol uchun topilgan.  $P_{chiq1}(\theta)$  funksiya parabola ko'rinishiga ega (2.9-chizma).

Bu rasmdagi A nuqtada tokning maksimal qiymati  $I_{Km} = 0,5S_{kr}E_m$  ga teng bo'ladi. Real AE bunday quvvatni ishlab berolmaydi ( $P_{chiq1} = 0,125\alpha_1(\theta)S_{kr}E_m^2$ ), chunki kollektor toki  $I_{Kmax}$  ning mumkin bo'lgan qiymati  $0,5S_{kr}E_m$  dan ancha kichik. (2.12) ifodadagi  $I_{Km}$  o'rniga  $I_{Kmax}$  ni qo'yib, cheklangan va mumkin bo'lgan chiqish quvvatini tok bo'yicha to'liq ishlatilgan AE uchun topamiz ( $1 - I_{Kmax}/S_{kr}E_m$ ). Bundan tashqari AEning chiqish quvvati kollektordagi mumkin bo'lgan sochilish quvvati bilan ham chegaralangan bo'lishi mumkin. Quvvat muvozanatidan ma'lumki, sochilish quvvati  $P_{soch} = P_0 - P_{chiq1} \leq P_{K\ max}$  ga teng.  $P_0$  va  $P_{chiq1}$  quvvatlarni  $I_{Km}$  orqali ifodalaymiz

$$P_{soch} = \alpha_0(\theta)I_{Km}E_m - 0,5\alpha_1(\theta)I_{Km}E_m(1 - I_{Kmax}/S_{kr}E_m). \quad (2.13)$$



2.9-chizma. Maksimal foydali quvvatni mumkin bo'lgan parametrlar yordamida aniqlash

2.9-chizmada mumkin bo'lgan  $P_{Kmax}$  quvvatdan sochilish quvvatining cheklangan qiymatini topish ko'rsatilgan

$$P_{soch} = (1/\eta - 1)P_1 = 0,5P_{chiq1}. \quad (2.14)$$

Ba'zi hollarda  $P_{Kmax}$  adabiyotlarda ko'rsatilmasligi mumkin, u holda ko'rsatilgan harorat qarshiligini  $R_t$  (grad/W), kollektor o'tish zonasining haroratining ( $t_{nmax}^0$ ) va berilgan muhit haroratining ( $t_{muh}^0$ ) qiymatidan foydalanib  $P_{Kmax}$  ni topish mumkin.

$$P_{Kmax} = (t_{nmax}^0 - t_{muh}^0)/R_t, \quad (2.15)$$

bunda  $t_{muh}^0$  – atrof-muhitning harorati.

Tranzistorning ish holati yana uning kirish qismidagi quvvatga ham bog'liq bo'ladi ( $P_{kir\ soch}$ ). Ammo bu quvvat kollektordagi quvvatga nisbatan juda kichkina va uni hisobga olmasa ham bo'ladi. Tranzistorda  $E_m + U_{yu} = U_{KE\ max}$  shart bajarilishi kerak. Agar  $\xi = U_{yu}/E_m$  birga yaqin bo'lsa, kollektor kuchlanishini  $E_k = U_{KE\ max}/2$  qilib olib, tranzistorning nominal quvvatini to'g'ri tanlash mumkin va kollektorda kuchlanish bo'yicha  $U_{KE\ min}$  ga teng bo'lgan qiymatni saqlash mumkin. Bunday ehtiyot shart juda foydalidir, chunki texnik shartga asosan tranzistorni bir vaqtda tok va kuchlanishni maksimal qiymatda ishlatib bo'lmaydi.



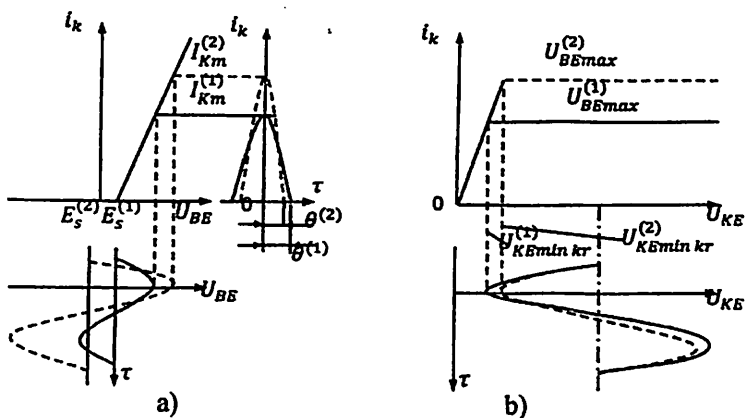
## 2.7. Kesish burchagi $\theta$ va manba kuchlanishini aniqlash

Kesish burchagi  $\theta$  va manba kuchlanishi  $E_m$  hisoblanishi kerak bo'lgan ish holatining xarakteristikalarini aniqlab beradi. Ana shu xarakteristikalarni o'zgartirib AEni eng qulay ish holatiga erishish mumkin. Kesish burchagini tanlashda ikki xil vazifa qo'yilishi mumkin.

1: Manba kuchlanishi  $E_m$  va chiqish toki amplitudasining maksimal qiymati  $I_{Km}$  beriladi va AEdan iloji boricha katta foydali quvvat  $P_{chiq}$  olish kerak. Odatda  $I_{Km} = I_{Kmax}$ ,  $S_{kr}$  va  $E_m = U_{yu kr}$  aniqlangan holda  $P_{chiq1}$  ning eng katta qiymati  $\theta = 120^\circ$  da bo'ladi. Buning uchun  $\alpha(120^\circ) = 0,536$  va kollektor tokining birinchi garmonikasi  $I_{k1}$  maksimal qiymatga ega bo'lishi kerak.

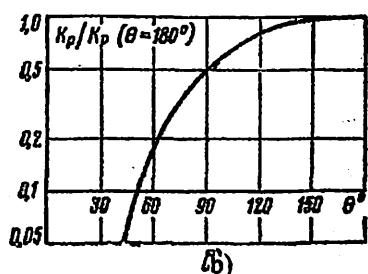
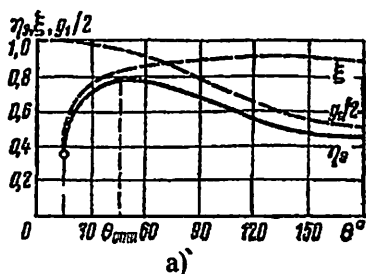
Agar kesish burchagi  $\theta$  ni  $90^\circ$  gacha kamaytirsak u holda  $P_{chiq1}$  ning qiymati atigi 7% ga kamayadi, ammo foydali ish koeffitsiyenti  $\eta$  ( $g=0,9$  bo'lganda) 0,60 dan 0,71 gacha ko'payadi. Shu bilan birga sochilish quvvati  $P_{soch1}$  deyarli ikki barobar kamayadi. Kesish burchagini yanada kamaytirish AE kirish qismining ish holatining yomonlashishiga olib keladi. Kirishdagi kuchlanish  $u_{kir}$ , siljish kuchlanishi  $E_s$ , kirishdagi  $P_{kir}$  lar kattalashadi, natijada quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti kamayadi. Shunga asosan aytish mumkinki, kesish burchagining  $\theta = 90^\circ$  qiymati eng qulay (optimal) hisoblanadi.

2. Foydali chiqish quvvati  $P_{chiq1}$  va manba kuchlanishi  $E_m$  berilgan. AE  $P_{chiq1kr}$  dan oshiq quvvat bo'yicha tanlangan deb hisoblaymiz. Kesish burchagini shunday tanlash kerakki, AEning foydali ish koeffitsiyenti maksimal bo'lsin. Tok impulsining amplitudasi va kuchlanish cheklanmagan hamda  $P_{chiq1kr} = const$  deb hisoblab, kesish burchagi  $\theta$  ning o'zgarishi FIK  $\eta$  ga qanday ta'sir ko'rsatishini ko'rib chiqamiz (2.10-chizma). Kesish burchagi  $\theta$  kamayishi bilan tok impulsining amplitudasi  $I_{Km}$  va kollektordagi qoldiq kuchlanish  $U_{Kmin} = I_{Km}/S_{cheg}$  oshadi, lekin  $U_{yu kr}$  va  $\xi_{kr}$  kamayadi.  $\eta = 0,5g_1(\theta)\xi_{kr}$  qiymati kesish burchagini  $180^\circ$  dan boshlab kamaytirganda, oldin oshib boradi, chunki  $\xi_{kr}$  bu holda deyarli o'zgarmaydi,  $g_1(\theta)$  esa oshib boradi (2.11a-chizma).



2.10-chizma. Kesish burchagining ikkita qiymatida tok impulsi a) va kuchlanishining b) grafigi.

Lekin kesish burchagi  $\theta < 70^\circ - 80^\circ$  bo'lganda tokning shakl koeffitsiyenti  $g_1(\theta)$  ning o'sishi kamayadi,  $\xi_{kr}$  ning kamayishi  $I_{Km}$  va  $U_{KEmin\ kr}$  lar oshishi hisobiga keskinlashadi. Shuning uchun kesish burchagining kichik qiymatlarida FIK qiymati ham kamayadi. Demak FIKning maksimal qiymati kesish burchagining ma'lum optimal qiymatlarida bo'ladi (2.11a-chizma). Real AElarda FIK  $\eta = 50^\circ - 80^\circ$  ni tashkil etadi va  $S_{kr}$  hamda  $E_m$  larga bog'liq bo'ladi. Ba'zi hollarda  $\theta$  ning kamayishi va  $I_{Km}$  ning oshishi bilan kirishdagi signal  $u_{kir}$  ham oshib boradi. Shuning uchun quvvat kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  kesish burchagi  $\theta$  ning kichik qiymatlarida juda kamayib ketadi va uni oldingi kaskadlarda kompensatsiya qilish ancha qiyindir.



2.11-chizma. FIK (a) va kuchaytirish koeffitsiyentining (b) kesish burchagiga bog'liqligi

Umuman olganda,  $\theta > 75^\circ - 90^\circ$  atrofida olish kerak. Kesish burchagi kichik qiymatlarini kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  katta bo'lgan hollarda olish kerak.

*Manba kuchlanishini tanlash.* Manba kuchlanishi  $E_m$  ning optimal qiymatini tanlashda AEning quvvat bo'yicha to'liq ishlatilmagan holini nazarda tutib tanlash kerak. Buning uchun nominal manba kuchlanishini saqlab, AEni tok bo'yicha to'liq ishlatmaslik kerak. U holda manba kuchlanishini ishlatish koeffitsiyenti  $\xi_{kr}$  va FIK chiqishdagi qoldiq kuchlanish  $U_{chiq\ min\ kr} = I_{Km}/S_{kr}$  ni pasayishi hisobiga katta bo'ladi. Shuning uchun AEni tok bo'yicha to'liq ishlatish kuchlanish bo'yicha esa to'liq ishlatmaslik tavsiya etiladi.

## 2.8. Kirish signali amplitudasini, siljish va manba kuchlanishini quvvat kuchaytirgichining ish holatiga ta'siri

RUQ loyihalashtirilayotganda  $U_{ktr}$  va  $E_m$  larning quvvat kuchaytirgichga ta'sirini hisobga olish kerak, chunki quvvat kuchaytirgichni sozlash jarayonida ularni o'zgartirib, optimal qiymatini topishga to'g'ri keladi. Bundan tashqari AM modulyatsiya siljish kuchlanishi  $E_s$  ning o'zgarishi hisobiga, AM signalni kuchaytirish  $I_{ktr}$  ning o'zgarishi hisobiga bo'ladi.

Dastavval kuchaytirgich xarakteristikalariga kirishdagi ta'sir qiluvchi kuchlanish  $I_{ktr}$  ta'sirini ko'rib chiqamiz. Faraz qilamiz,  $E_s$ ,  $E_m$ ,  $R_n$  berilgan va  $E_s = E'$  bu holda

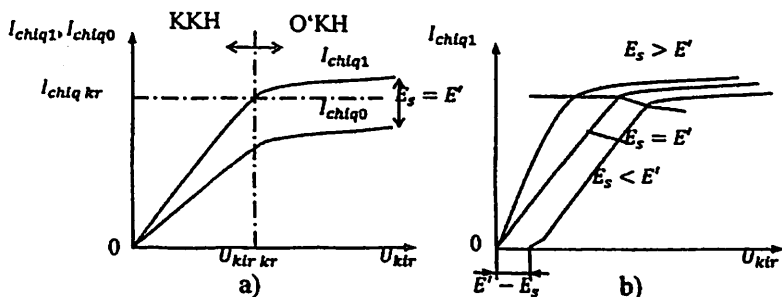
$$\cos \theta = -\frac{E_s - E'}{U_{ktr}} = 0, \quad (2.16)$$

ya'ni, kesish burchagi  $\theta = 90^\circ$  bo'ladi va kirish kuchlanishga bo'qliq bo'lmaydi.

Kirish signalining kichik qiymatlarida chiqish toki  $I_{chiq1}$  kichik bo'ladi, AE kamkuchlanganlik holati (KKH) da, ya'ni  $U_{yu} < U_{yu\ kr}$  da ishlaydi. Chiqish tokining shakli kosinusoida shaklida bo'ladi. Chiqish toki  $U_{ktr}$  ga proporsional ravishda o'zgaradi.  $U_{ktr}$  yanada oshishi davomida tok impulsida chuqurliklar paydo bo'ladi, AE o'takuchlanganlik holati (O'KH)ga o'tadi va chiqish tokining amplitudasi deyarli o'zgaraydi.

$E_s = E'$ ,  $E_s < E'$  va  $E_s > E'$  teng bo'lgan holdagi  $I_{ch1q1}, I_{ch1q0} = f(U_{ktr})$  funksiyaning grafigi 2.12-chizmada keltirilgan.

Agar siljish kuchlanishi  $E_s > E'$  bo'lsa, u holda  $I_{ch1q1} = f(U_{ktr})$  funksiya oldingi vaziyatiga nisbatan chap tomonga suriladi va  $U_{ktr}$  har bir nuqtasiga  $E_s = E'$  bo'lgan holatga qaraganda katta tok to'g'ri keladi. Shuning uchun AE o'takuchlanganlik ish holatiga  $U_{ktr}$  ning kichikroq qiymatida erishadi. Agar  $E_s < E'$  bo'lsa,  $U_{ktr} < E_s - E'$  kichik qiymatda bo'ladi, bu paytda AE yopiq holatida bo'ladi, ya'ni undan chiqish toki oqib o'tmaydi,  $U_{ktr} > E_s$  da AE ochiladi va undan chiqish toki oqib o'ta boshlaydi va bu tok kamkuchlanganlik holatda oshadi, ( $U_{ktr}$  va  $\theta$  o'shishi hisobiga) o'takuchlanganlik holatda deyarli o'zgarmaydi.

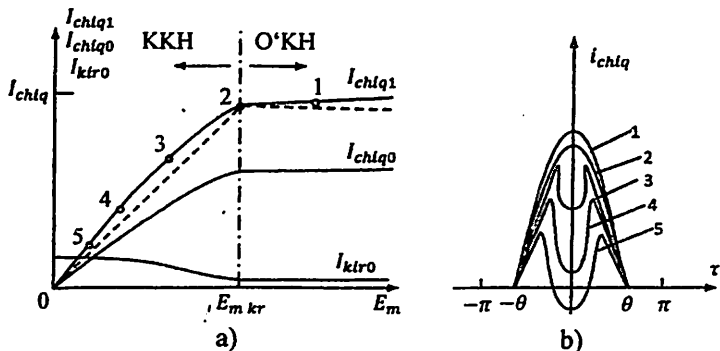


2.12-chizma. Chiqish toklarining kirish kuchlanishiga bog'liqligi: a) – chiqish toki va uning doimiy tashkil etuvchisining kirish kuchlanishiga bog'liqligi; b) – chiqish tokining siljish kuchlanishiga bog'liqligi.

Manba kuchlanishi  $E_m$  ning ta'sirini kritik holatda ko'rishdan boshlaymiz,  $U_{yu} = U_{kr}$  va  $E_m = E_{mkr}$ . Manba kuchlanishining oshishi bilan qoldiq kuchlanish  $U_{ch1qmin} = E_m U_{yu}$  ham oshib boradi va  $U_{ch1qmin} > U_{ch1qmin kr}$  bo'lganda ish holati kamkuchlanganlik holatida bo'ladi. Tok impulsining amplitudasi va shakli kirish signaliga qarab aniqlanadi va shuning uchun  $E_m > E_{mkr}$ , bo'lganda  $I_{ch1q0}$  va  $I_{ch1q1}$  toklar deyarli o'zgarmaydi. Manba kuchlanishi  $E_m$  kamayishi bilan, ya'ni  $E_m < E_{mkr}$  bo'lganda Aning chiqish elektrodidagi qoldiq kuchlanish kritik kuchlanishdan kichik bo'ladi. Tok impulsida chuqurliklar paydo bo'ladi (2.13-chizma). Chiqish toklari  $I_{ch1q0}$  va  $I_{ch1q1}$  kamayadi. Manba kuchlanishining qiymati nolga teng bo'lganda Aning

chiqishidagi tok ham nolga teng bo'ladi (2.13b-chizma). O'ta kuchlanganlik ish holatida chiqish toklari manba kuchlanishiga proporsional ravishda kamayadi, kirish bir biroz o'sadi.

Siljish va manba kuchlanishlarining generator parametrlariga ta'sirini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, siljish ( $E_s$ ) va manba kuchlanishini ( $E_m$ ) barqarorlashtirish kerak. Bu holda kuchaytirgichning energetik ko'rsatkichlari deyarli o'zgarmaydi.

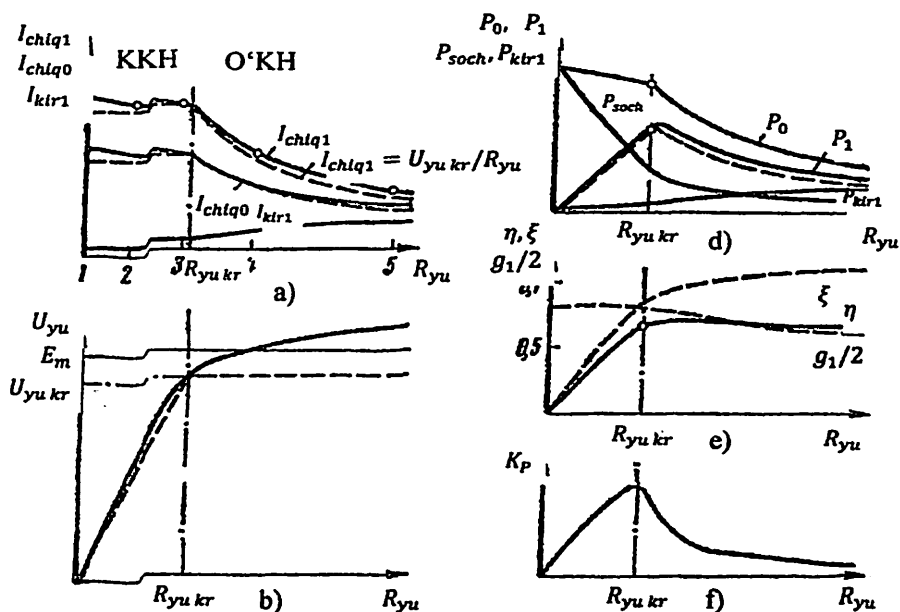


2.13-chizma. a) – chiqish toklarining manba kuchlanishiga bog'liqligi; b) – chiqish tokining turli nuqtalardagi shakli.

## 2.9. Quvvat kuchaytirgichning yuklama xarakteristikallari

Generatorning energetik ko'rsatkichlari hamda AE toklarining yuklama qarshiligiga ( $R_{yu}$ ) bog'liqligi uning yuklama xarakteristikallari deb ataladi. Bu xarakteristikalar quvvat kuchaytirgichni kerakli ish holatiga sozlashda ishlatiladi. Yuklama aktiv bo'lgan holatdagi, ya'ni  $Z_{yu} = R_{yu}$  ish holatlarini ko'rib chiqamiz. Quvvat kuchaytirgich umumiy emitterli bo'lib, tranzistorda qurilgan va uning yuklamasidagi kuchlanish garmonik tebranish  $U_{yu}(\tau)$  bo'lsin.  $R_{yu}$  qiymati o'zgarganda yuklamadagi kuchlanish ham o'zgaradi  $U_{yu} = R_{yu} I_{chlq1}$ . Biz bilamizki, chiqish tokining amplitudasi  $U_{yu}$  ga bog'liqdir (2.8-chizma). Bu bog'liqlikning har bir nuqtasiga iste'molchi qarshiligining o'z qiymati  $R_{yu} = U_{yu}/I_{chlq1}$  to'g'ri keladi.  $R_{yu}$  ni argument sifatida olib,  $I_{chlq1} = f(R_{yu})$  va  $U_{yu} = f(R_{yu})$  ko'rinishdagi bog'liqlikning yuklama xarakteristikalarini quramiz (2.14-chizma). Yuklamadagi qarshilik oshishi bilan yuklama kuchlanishi  $U_{yu}$  ham keskin osha boshlaydi va

tok  $I_{ch1q1}$  asta-sekin biroz kamayadi. AE kam kuchlanganlik holatida (KKH) bo'ladi.



2.14-rasm. Quvvat kuchaytirgichning yuklama xarakteristikalarini:  
 a) – yuklama toklarining; b) – kuchlanishining; d) – quvvatlarning;  
 e) – tok shakl koeffitsientining; f) – FIKning yuklama qarshiligi  $R_n$  ga bog'liqligi.

Chiqish toklari  $I_{ch1q1}$  va  $I_{ch1q0}$  ozgina kamayadi, kirish toki  $I_{kir}$  biroz ko'payadi.  $R_{yu} = R_{yu\ kr}$  bo'lganda kritik holat vujudga keladi.  $R_{yu}$  ni yanada oshirsak  $R_{yu} > R_{yu\ kr}$  bo'lganda  $U_{yu}$   $U_{yu\ kr}$  kuchlanishdan oshib ketadi va uning oshishi endi sekinlashadi. AE o'takuchlanganlik ish holatiga (O'KH) o'tadi va chiqish tokining impulsida chuqurlik paydo bo'ladi (2.13-chizma). Shu sababli chiqish toklari keskin kamayadi, kirish toki ko'payadi. Shunday qilib, kamkuchlanganlik holatida chiqish toklari, o'takuchlanganlik holatida esa yuklamadagi kuchlanish  $U_n$  deyarli o'zgarmaydi. U holda quyidagilarni yozish mumkin.

$$I_{chiq1} = \begin{cases} I_{chiq1\ kr}, & \text{agar } R_{yu} \leq R_{yu\ kr}, \\ U_{yu\ kr}/R_{yu}, & \text{agar } R_{yu} > R_{yu\ kr}. \end{cases} \quad (2.17)$$

$$U_{yu} = \begin{cases} I_{chiq1\ kr} R_{yu}, & \text{agar } R_{yu} \leq R_{yukr}, \\ U_{yu\ kr}, & \text{agar } R_{yu} > R_{yukr}. \end{cases} \quad (2.18)$$

Manba kuchlanishi  $E_m = const$  bo'lgani uchun manbadan olinayotgan quvvat  $P_0 = E_m I_{chiq0} = f(R_{yu})$  doimiy tok  $I_{chiq0} = f(R_n)$  grafigini qaytaradi. Foydali quvvat  $P_1$  kamkuchlanishli ish holatda ( $R_{yu} < R_{yu\ kr}$ ) yuklama qarshiligi  $R_{yu}$  ga proporsional ravishda o'zgaradi.  $R_{yu} = R_{yu\ kr}$ , ya'ni kritik ish holatida o'zining maksimal qiymatiga erishadi va o'takuchlanganlik holatida ( $R_{yu} > R_{yu\ kr}$ ) esa kamayadi. Aktiv elementning qizishiga sarf bo'layotgan sochilish quvvati  $P_{soch} = P_0 - P_1$  bilan aniqlanadi. Yuklama qarshiligi  $R_{yu} = 0$  bo'lganda manbadan olinayotgan quvvatning deyarli hammasi AEning chiqish qismida sarflanadi.  $R_{yu}$  oshishi bilan  $P_{soch}$  kamkuchlanganlik holatida keskin kamayadi, o'takuchlanganlik ish holatida sekinroq kamayadi. Sozlanmagan yuklamada  $P_1 \approx 0$  bo'ladi va shu tufayli AE og'ir ish holatida ishlaydi. Shuning uchun quvvat kuchaytirgichni sozlash jarayoni kirish  $U_{ktr}$  va manba kuchlanish  $E_m$  larning kichik qiymatlarida amalga oshiriladi. Ta'minot manbaining kuchlanishini ishlatish koeffitsiyenti  $\xi = f(R_{yu})$  ning grafigi  $U_{yu} = f(R_{yu})$  chizig'ini takrorlaydi, chunki  $\xi = U_{yu}/E_m$ ,  $E_m = const$ . Tokning shakl koeffitsiyenti  $g = I_{chiq1}/I_{chiq0}$  kamkuchlanganlik ish holatida deyarli o'zgarmaydi va o'takuchlanganlik holatida tok impulsida chuqurliklar paydo bo'lishi tufayli sekin ko'payishni boshlaydi. Shuning uchun FIK o'takuchlanganlik ish holatining boshlang'ich qismida maksimal qiymatga erishadi. 2.14-rasmdan ko'rinib turibdiki, quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$   $R_{yu} < R_{yu\ kr}$  bo'lganda yuklama qarshiligiga proporsional ravishda o'sadi,  $R_{yu} > R_{yu\ kr}$  bo'lganda ta'sir qiluvchi quvvat oshgani uchun kamayadi.

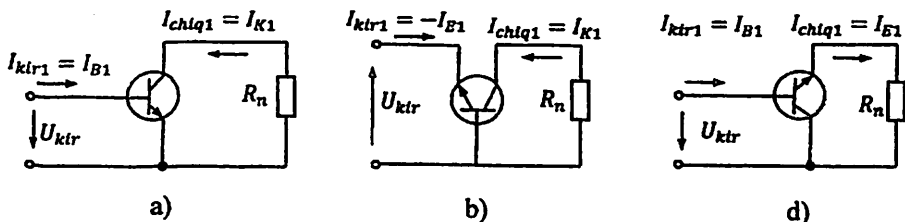
Yuklama karakteristikalarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, kritik ish holati AE uchun eng qulay ish holati bo'lib hisoblanadi va amalda ko'p qo'llaniladi, chunki foydali chiqish quvvati  $P_1$ , foydali ish koeffitsiyenti  $\eta$  va quvvatni kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  lar eng katta qiymatlarga erishadilar. Boshqa ish holatlari o'takuchlanishli va kamkuchlanishli ish holatlari esa alohida talablar qo'yilganda ishlatiladi.

Bu talablar jumlasiga AM modulyatsiyani amalga oshirish, modulyatsiya paytida nochiziqli buzulishlarni kamaytirish, modulyatsiyalangan signallarni kuchaytirishlar kiradi.

## 2.10. Quvvat kuchaytirgichdagi aktiv elementlarning umumiy ulanish elektrodini tanlash

Bir vaqtni o'zida ham chiqish qismiga, ham kirish qismiga tegishli bo'lgan elektrod umumiy elektrod deyiladi. Uch elektrodli aktiv elementlarni umumiy emitterli (katodli) (2.15a-chizma), umumiy bazali (to'rtli) (2.15b-rasm), umumiy kollektorli (anodli) (2.15d-chizma) qilib ulash mumkin.

Umumiy emitterli sxemada kirish tokining birinchi garmonikasi  $I_{ktr1}$  baza toki  $I_{B1}$  ga teng bo'ladi, umumiy bazali sxemada kirish toki bo'lib emitter toki xizmat qiladi  $I_{ktr1} = -I_{E1}$ , umumiy kollektorli sxemada esa emitter toki chiqish toki vazifasini bajaradi  $I_{chiq1} = I_{E1}$ .



2.15-chizma. Aktiv elementni umumiy emitterli (a), umumiy bazali (b), va umumiy kollektorli d) qilib ulash sxemalari.

Aktiv elementlarning bu ulanishiga qarab ularni kirish va chiqish parametrlari ham xar hil bo'ladi. Bular qatoriga kirish o'tkazuvchanligi  $Y_{ktr} = 1/Z_{ktr} = I_{ktr1}/U_{ktr}$ , kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti  $K_U = U_{yu}/U_{ktr}$ , tok bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti  $K_I = I_{chi1}/I_{ktr1}$ , quvvat bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti  $K_P = P_1/P_{ktr1}$  ni kiritish mumkin. Buning sababi kirish, chiqish va o'tish o'tkazuvchanliklar umumiy emitterli, bazali va kollektorli sxemalarda turli xil bo'lishidir. Ayniqsa o'tish o'tkazuvchanligining ta'siri katta bo'ladi. Bu o'tkazuvchanlik teskari reaksiya va to'g'ri o'tish kabi zararli hodisalarni keltirib chiqaradi.

Teskari reaksiya natijasida chiqish zanjirining xususiyatlari o'zgaranda kirish zanjirining ish holati va parametrlari o'zgaradi.



To'g'ri o'tish hodisasi bu – yuklamadagi manba kuchlanishi o'chirilganda ham tok paydo bo'lishidir.

Umumiy emitterli va umumiy bazali sxemalarning xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz. Umumiy kollektorli sxemaning kuchaytirish koeffitsiyenti kam bo'lgani uchun radiosignallarni uzatuvchi qurilmalarda u kuchaytirgich sifatida deyarli ishlatilmaydi.

Umumiy emitterli sxemada  $I_{kir1} = I_{B1} = S_{B1} U_{kir}$ . Kirishdagi quvvat  $P_{kir1} = 0,5 U_{kir} I_{B1}$ , chiqishdagi sozlangan yuklamadagi quvvat ( $R_{yu} = G_{yu}$ )  $P_{E1} = 0,5 U_{yu} E I_{K1}$ .

Quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti

$$K_P = P_{E1}/P_{kir1} = U_{nE} I_{K1}/U_{kir} I_{B1} = K_{UE} K_{IE}. \quad (2.19)$$

Bipolyar tranzistorlarda  $K_{IE} = h_{21E} = 30-50$ ,  $K_{UE} \approx 10-20$  ga teng, u holda quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti ham katta bo'ladi va taxminan  $K_P = 300-1000$  ni tashkil etadi.

Umumiy bazali sxemada  $I_{kir1} = -(I_{B1} + I_{K1})$  va ta'sir qiluvchi quvvat  $P_{kir1B}$  kirishdagi quvvat  $P_{kir1E}$  ga nisbatan ancha katta bo'ladi:

$$P_{kir1} = 0,5 U_{kir} (I_{B1} + I_{K1}) = (1 + h_{21E}) P_{kir1E}. \quad (2.20)$$

Aktiv element kollektor tokini boshqarish uchun sarf bo'ladigan kirishdagi quvvat  $P_{kir1}$  ikkala sxemada bir xil bo'ladi.

Oldingi kaskaddan olinayotgan ortiqcha quvvat  $h_{21E} P_{kir1E}$  umumiy bazali sxemada yuklamaga o'tkaziladi va kollektorda ishlab berilayotgan umumiy foydali quvvat bilan birgalikda ajraladi.

$$P_{1B} = P_{1E} + h_{21E} P_{kir1E} = \left( \frac{1}{K_{UE}} + 1 \right) P_{1E}. \quad (2.21)$$

$K_{IE} = 10 - 20$  bo'lganda, umumiy bazali sxemadagi quvvat  $P_{1B}$  umumiy emitterli sxemadagi  $P_{1E}$  ga nisbatan 10-15% oshadi. Umumiy bazali sxemaning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti umumiy emitterli sxemaga nisbatan  $h_{21}$  marta kam bo'ladi.

$$K_{PB} = \frac{P_{1B}}{P_{kir1B}} = \frac{(1 + 1/K_{UE}) P_{1E}}{(1 + h_{21E}) P_{kir1E}} \approx K_{UE}. \quad (2.22)$$

Bu ifodadan ko‘rinib turibdiki, umumiy bazali sxemada quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti kuchlanishni kuchaytirish koeffitsiyentiga teng. Tokning kuchaytirish koeffitsiyenti esa birga yaqin bo‘ladi:

$$K_{PB} = K_{UB}, K_{IB} = 1. \quad (2.23)$$

Umumiy emitterli va bazali sxemalarni kirish o‘tkazuvchanliklarini ko‘rib chiqamiz. Umumiy emitterli sxemada  $Y_{kirE} = G_{kirE} = I_{B1}/U_{ktr}$ , umumiy bazalida esa  $Y_{kirB} = 1 + h_{21E}$  marta oshadi:

$$Y_{kirB} = G_{kirB} = (I_{B1} + I_{K1})/U_{kir} = 1 + h_{21E}/G_{kir1}. \quad (2.24)$$

Shunday qilib, past chastotalarda umumiy bazali sxemani quvvat bo‘yicha kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_{PB}$  va kirish o‘tkazuvchanligi  $Y_{kirE} = 1/G_{kirB}$  kichik bo‘lgani uchun, umumiy bazali sxema umumiy emitterli sxemaga nisbatan yomon ko‘rsatkichlarga ega. Lekin chastota oshishi bilan umumiy bazali sxemaning afzalligi yaqqol namoyon bo‘ladi.

Umumiy elektrodni tanlashda quyidagi tavsiyalarga rioya qilish kerak. Lampali sxemalarda setka-anod sig‘imi katta bo‘ladi, shuning uchun sxemani umumiy katodli qilish mumkin. Bu sxema 1 MHz chastotada ancha yaxshi ishlaydi.

Quvvat 100-200 W bo‘lganda tetrod va pentodlar ishlatiladi. Ularning  $S_{as}$  sig‘imi 1-2 daraja past bo‘ladi va yuqori chastotalarda (100 MHz gacha) ishlash imkonini beradi. Bundan yuqori quvvat olish kerak bo‘lganda va chastota 10 MHz dan oshganda triodlar umumiy setkali qilib ishlatiladi.

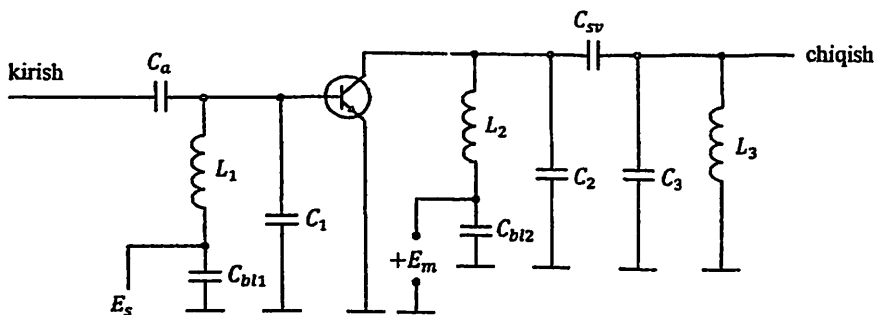
Tranzistorli quvvat kuchaytirgichlarda umumiy emitterli yoki umumiy bazali sxemalar ulanish sharoitga qarab tanlanadi. Odatda umumiy bazali sxema yuqori chastotalardi ishlatiladi, chunki bunday sxemaning kuchaytirish koeffitsiyenti ancha turg‘un bo‘ladi. Umumiy emitterli sxema yuqori chastotalarda nisbatan yomon ishlaydi. Ularni kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_{PE} < 1$  bo‘ladi. Ular past chastotada yaxshi ishlaydilar va bu diapazonda ularni kuchaytirish koeffitsiyenti katta bo‘ladi. Quvvat kuchaytirgichning turg‘unligini oshirish uchun neytralizatsiya sxemalari qo‘llaniladi. Bu sxemalar aktiv elementlarning o‘tish o‘tkazuvchanligini neytralizatsiya qiladi. Shuni ta’kidlash kerakki, hozirgi paytda ishlab chiqarilayotgan radiolampa va tranzistorlar neytralizatsiya sxemalariga muhtoj emaslar.

## 2.11. Yuqori chastotalarda ishlovchi quvvat kuchaytirgichlarda bipolyar tranzistorlarni qo'llash

Oldingi bo'limlarda nisbatan past chastotalarda ishlovchi quvvat kuchaytirgichlardagi aktiv elementlarning ishlash usuli ko'rib chiqilgan edi. Yuqori chastotalarda ishlovchi quvvat kuchaytirgichlardagi aktiv elementning ishlash xususiyatlarini bipolyar tranzistor misolida ko'rib chiqamiz.

Bunday quvvat kuchaytirgichlarda kremniydan yasalgan ko'p elementli  $n-p-n$  turdagi bipolyar tranzistorlar ishlatiladi. Bunday katta quvvatli bipolyar tranzistor tarkibida parallel ulangan yacheykalar soni bir necha mingni tashkil qiladi. Ko'p hollarda, yuqori chastotalar diapazonida ular quvvat kuchaytirgichda umumiy emitterli qilib ulanadi. Bunday quvvat kuchaytirgichning prinsipial sxemasi 2.16-chizmada keltirilgan. Ushbu sxemada:  $L_1C_1$  – kirish moslovchi zanjiri;  $L_2C_2C_{sv}L_3C_3$  – chiqish moslovchi zanjiri;  $E_s$  – siljish kuchlanishi manbai;  $C_{bt1}, C_a$  – siljish kuchlanishi zanjiri (blokirovka va ajratuvchi kondensatorlar);  $E_m$  – ta'minot manbai;  $AE$  – bipolyar tranzistor.

Bipolyar tranzistorning asosiy xarakteristikalari volt-kulon xarakteristikasi (VKX) va volt-amper xarakteristikasi (VAX) hisoblanadi.



2.16-chizma. Umumiy emitterli bipolyar tranzistor asosidagi quvvat kuchaytirgichning prinsipial sxemasi

Emitter o'tish sohasi (zonasi) diffuzion sig'imining volt-kulon xarakteristikasi – bu emitterdan bazaga kelayotgan asosiy bo'lmagan tok tashuvchi zarralar ( $q_{dtf}$ ) ning emitter o'tish sohasidagi kuchlanish ( $u_{eoi}$ ) ga bog'liqligidir, ya'ni

$$q_{dif} = q_0(e^{u_{eo'}/\varphi_t} - 1), \quad (2.25)$$

bunda,  $q_0$  – bazadagi asosiy bo‘lmagan zaryad;  $\varphi_t = kT/q_e$  – harorat potentsiali ( $\varphi_t = 0,026$  V);  $k$  – Bolsman doimiysi;  $T$  – tranzistorning absolyut harorati;  $q_e$  – elektron zaryadi.

Rekombinatsiya qarshiligining volt-ampere xarakteristikasi – bu rekombinatsiya toki ( $i_\beta$ ) ning emitter o‘tish sohasidagi kuchlanish ( $u_{eo'}$ ) ga bog‘liqligidir, ya’ni

$$i_\beta = q_{dif}/\tau_\beta = (q_0/\tau_\beta) \left( e^{\frac{u_{eo'}}{\varphi_t}} - 1 \right), \quad (2.26)$$

bunda,  $\tau_\beta$  – tok tashuvchi zarralarning yashash vaqti (rekombinatsiya vaqti).

Tok generatorining volt-ampere xarakteristikasi – bu kollektor toki ( $i_k$ ) ning emitter o‘tish sohasidagi kuchlanish ( $u_{eo'}$ ) ga bog‘liqligidir, ya’ni

$$i_k = q_{dif}/\tau_t = (q_0/\tau_t) \left( e^{\frac{u_{eo'}}{\varphi_t}} - 1 \right), \quad (2.27)$$

bunda,  $\tau_t$  – tok tashuvchi zarralarning tranzistor bazasidan o‘tish vaqti.

Yuqorida keltirilgan ifodalar tranzistor ekvivalent sxemasidagi  $R_\beta$  va  $C_{dif}$  noxiziqli elementlarni to‘liq tavsiflaydi. (2.27) ifoda tok generatorining kamkuchlanganlik va kritik ish holatidagi volt-ampere xarakteristikasi hisoblanadi.

Ekvivalent sxemadagi qolgan barcha elementlar chiziqli hisoblanadi. Quvvat kuchaytirgichni loyihalash uchun quyidagilar inobatga olinishi kerak:

- 1) Tranzistor ekvivalent sxemalarining parametrlari  $r_b, r_e, r_k, C_{ka}, C_{kp}, L_b, L_e, L_k$  larning qiymatlari;
- 2) Tranzistorning statik kuchaytirish koeffitsiyenti  $\beta_0 = I_{k0}/I_{b0}$  qiymati; statik kuchaytirish koeffitsiyenti  $\beta_0$  vaqt davomida o‘zgaradigan tok  $i_k$  va kuchlanish  $u_k$  ga bog‘liq bo‘ladi va  $\beta_0 = f(t)$  deb yozish mumkin, hisoblashda vaqt bo‘yicha doimiy o‘rtacha qiymat ishlatiladi:  $B = i_k/\tau_\beta = \tau_\beta/\tau_t$ , odatda  $B = 15-30$ ;

3) Tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining dinamik ish holatdagi qiymati  $\beta = I_{k1}/I_{b1}$ , tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining asbolyut qiymati tok  $i_k$ , kuchlanish  $u_k$  va chastota  $f_{ish}$  ga bog'liq bo'ladi;

4) Statik volt-ampere xarakteristika parametrlari  $S, U_{kes}, S_{cheg}$  lar qiymatlari;

5) Tranzistorning chegaraviy chastotalari qiymatlari:  $f_\beta$  – tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti  $|K_1| = |\beta|(f_\beta) = (1/\sqrt{2})\beta_0$  bo'lgan paytdagi chastota;  $f_t - |\beta| = 1$  bo'lgan paytdagi maksimal chastota.

Bipolyar tranzistor parametrlarining bir-biriga bog'liqligi quyidagi ifodalar orqali topiladi:

$$S = BS_{ktr},$$

bunda,  $S_{ktr}$  – tranzistor kirish xarakteristikasining qiymati;

$$\omega_\beta = 1/\tau_\beta; \quad \omega_t = 1/\tau_t; \quad \omega_\alpha = 1/\tau_\alpha,$$

bunda,  $\omega_\beta = 2\pi f_\beta; \omega_t = 2\pi f_t; \omega_\alpha = 2\pi f_\alpha; f_t = Bf_\beta; f_\alpha = f_t + f_\beta; i_\beta = q_{dif}/\tau_\beta.$

## 2.12. Quvvat kuchaytirgichlarda maydoniy tranzistorlarni ishlatish

Yuqori chastotalar diapazonida (1,5 GHz gacha) ishlovchi quvvat kuchaytirgichlarda aktiv element sifatida katta quvvatli maydoniy MDYa-tranzistorlar, o'ta yuqori chastotalar diapazonida (30–60 GHz) esa Shotki zatvorli maydoniy tranzistorlar ishlatiladi. Ko'p hollarda maydoniy tranzistorlar umumiy istokli (UI) qilib ulanadi. Bu esa quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining ( $K_p$ ) katta bo'lishini ta'minlaydi. Maydoniy tranzistorlar ish holati quyidagicha tanlanadi.

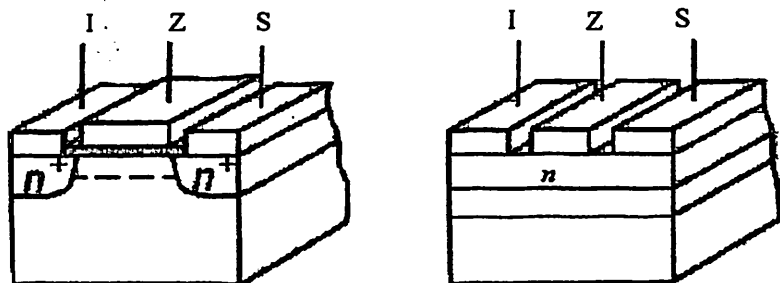
Tranzistorning zatvoriga:

- stok tokini kesish ish holatini yaratadigan o'zgarmas siljish kuchlanishi  $E_s$  (+ yoki – ishorali) beriladi;

- zatvordagi kuchlanishning oniy qiymati  $u_z(t)$  kesish kuchlanishi  $U_{kes}$  dan katta bo'lgan ( $u_z(t) > U_{kes}$ ) davrda stok toki oqib o'tadigan kirish kuchlanishi beriladi.

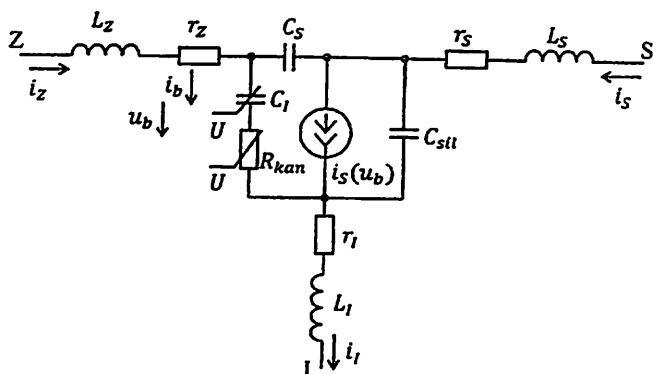
Tranzistor stokiga asosiy tok tashuvchi zarralarning – elektronlarning  $n$ -turidagi kanaldan oqib o'tishini ta'minlaydigan o'zgarmas kuchlanish  $E_m$  beriladi.

2.17-chizmada maydoniy tranzistorlar yacheykalarining tuzilishi, 2.18-chizmada MDYa va Shotki maydoniy tranzistorlarining ekvivalent sxemasi keltirilgan. Ekvivalent sxemada:  $L_Z, L_I, L_S$  – zatvor, istok va stoklar tarmog'ining induktivligi;  $r_Z$  – zatvor metalidagi yo'qotishlar qarshiligi;  $r_I, r_S$  – kanallarning boshqarilmaydigan qismining qarshiligi;  $C_I, C_S$  – zatvor tagidagi siyraklashgan qatlamni istok va stok tomonidagi sig'imgilar;  $R_{kan}$  –  $n$  kanalning boshqariladigan qismining va kanal hamda istok tomondagi siyrak qatlam orasidagi o'tish qatlamining qarshiligi;  $C_{SI}$  – stok-istok kontaktlarining sig'imi.



2.17-chizma. MDYa-Shotki maydoniy tranzistorlari yacheykalarining tuzilishi

MDYa-tranzistor kremniy materialidan tayyorlanadi va parallel ulangan bir xil turdagi yacheykalar to'plamidan iborat bo'ladi. Stok elektrodiga musbat kuchlanish berilganda, kanalda paydo bo'ladigan elektronlar toki unga ta'sir qilayotgan ko'ndalang elektr maydoni bilan boshqarilishi, ya'ni modulyatsiya qilinishi mumkin. Bu maydon ta'sirida  $n$  kanaldagi elektronlar konsentratsiyasi o'zgaradi.



2.18-chizma. Maydoniy tranzistorlarning ekvivalent sxemasi

Shotki maydoniy tranzistorlari arsenib galiy materialidan, ba'zi hollarda fosfid indiydan tayyorlanadi. Bu materiallarda tok tashuvchi zarrachalarni harakatchanligi kremniyga nisbatan yuqoriroq bo'ladi, shuning uchun ular asosidagi maydoniy tranzistorlar yuqori chastotalarda va tez ishlaydi. Lekin shu bilan birga, arsenid galiyini issiqlik o'tkazuvchanligi kremniyga nisbatan past, bu undan katta quvvatli Shotki tranzistorlarini yasash imkoniyatini kamaytiradi. Fosfid indiyning (InP) issiqlik o'tkazuvchanligi va zarralarning elektr maydoni ta'sirida harakatchanligi galiy arsenidga (GaAs) nisbatan yuqori, lekin kuchlanishga chidamliligi kam teskari yo'nalishdagi toki esa kattaroq bo'ladi.

Shotki maydoniy tranzistorlarida kanalidagi elektronlar oqimini modulyatsiya qiluvchi ko'ndalang elektr maydoni Shotki baryeriga teskari siljish kuchlanishi berilganda paydo bo'ladi. Bu holda zatvor tagida elektronlari siyraklashtirilgan soha paydo bo'ladi.

Zatvordagi kuchlanishni o'zgartirib, elektronlari siyraklashtirilgan sohaning chuqurligini, ya'ni kanalning balandligini va stok tokini o'zgartirish mumkin. O'ta yuqori chastota diapazonida maydoniy tranzistorlarda xuddi bipolyar tranzistordek quvvatlar olish mumkin, lekin maydoniy tranzistorlarning ishchi chastotasi taxminan uch marta katta bo'ladi.

Maydoniy tranzistor ekvivalent sxemasining alohida xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

MDYa-tranzistor ekvivalent sxemasining eng muhim elementi bo'lib, toki ( $i_s$ ) stok sig'imi ( $C_1$ ) dagi boshqaruvchi kuchlanish ( $u_b$ ) ga

bog'liq bo'lgan generator hisoblanadi. Bu funksiya  $i_S(u_b)$  uchun quyidagi ifoda to'g'ri bo'ladi:

$$i_S = \begin{cases} S(u_b - U_{kes}), & u_b > U_{kes}; \\ 0, & u_b < U_{kes}. \end{cases} \quad (2.28)$$

Ekvivalent sxemaning qolgan elementlarini chiziqli deb hisoblash mumkin. Shotki maydoniy tranzistor ekvivalent sxemasining tok generatori uchun yuqorida qayd qilingan MDYa-tranzistor ekvivalent sxemasining ifodasi to'g'ri keladi. Istok tomonidagi siyraklashgan qatlam sohasining sig'imi differensial qiymat bo'lib, volt-ampere xarakteristika bilan ifodalanadi:

$$C_I(u_b) = C_I(U_{b0}) \left( \frac{\varphi_{bar} - U_{b0}}{\varphi_{bar} + u_{bar}} \right)^\nu = \frac{dq_I}{du_b}, \quad (2.29)$$

bunda,  $q_I, u_b - C_I$  sig'imdagi zaryad va boshqaruvchi kuchlanish;  $\varphi_{bar}$  – Shotki bayerining potentsiali,  $\varphi_{bar} = 0,7 \dots 0,8$  V;  $C_I(U_{b0}) - U_{b0}$  doimiy kuchlanishdagi sig'im;  $\nu \approx 1/3$ .

Kanalning noxiziqli qarshiligi  $R_{kan}$  kuchlanish va tokning oniy qiymatlari nisbati bilan aniqlanadi:

$$R_{kan} = \frac{u_R}{i_R} = \frac{\tau_{kir}}{C_I(u_b)},$$

bunda,  $\tau_{kir} = 1,5 \cdot 10^{-12}$  s – ekvivalent sxema kirish zanjirining vaqt doimiysi. Ekvivalent sxemaning qolgan elementlari kuchlanishga kam bog'liq bo'lib, ularni chiziqli deb hisoblash mumkin. Maydoniy tranzistorlardagi quvvat kuchaytirgichni hisoblash uchun, bundan tashqari tranzistor parametrlarining maksimal mumkin bo'lgan qiymatlari:  $u_{Cm}, u_{Zm}, u_{C-Zm}, i_{Cm}$ , stokdagi quvvat  $P_m$  kerak bo'ladi. Maydoniy tranzistorlarning ekvivalent sxemasi 2.18-chizmada keltirilgan.

Chegaraviy chastota  $f_{cheg} = \omega_{cheg}/2\pi$ , bunda  $\omega_{cheg} = 1/\tau_t$ ;  $\tau_t = l_{ef}/v$ . Bu ifodalarda  $\tau_t$  – tok tashuvchi zarralarning kanalni boshqariladigan qismidan o'tish vaqti;  $l_{ef}$  – zatvorni effektiv uzunligi;  $v = (1,1-1,3) \cdot 10^7$  sm/s – elektronlarning o'rtacha dreyf (siljish) tezligi.



Ekvivalent sxemaga asosan maydoniy tranzistorlardagi quvvat kuchaytirgichning parametrlari quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

$$\omega_{cheg} = \frac{S}{C}; \quad K_i = -\frac{j\omega_{cheg}}{\omega}; \quad r_{kir} = r_z + r + r_y + \omega_{cheg}L_y; \quad (2.30)$$

$$x_{kir} = \omega L_y - r_y \frac{\omega_{cheg}}{\omega} - \frac{1}{\omega C}; \quad (2.31)$$

$$K_p = \left(\frac{\omega_{cheg}}{\omega}\right)^2 R_S / (r_z + r + r_y + \omega_{cheg}L_y). \quad (2.32)$$

Shotki maydoniy tranzistorlar volt-amper xarakteristikalarining ko'rsatkichlari:  $S$ ,  $S_{cheg}$ ,  $U_{kes}$  lar bipolyar tranzistorlar ko'rsatkichlariga o'xshash bo'ladi.

Shotki maydoniy tranzistorlar ekvivalent sxemasining ko'rsatkichlari va hisob formulalari, Shotki tranzistorlarining asosiy parametrlari radiouzatuvchi qurilmalar yo'nalishidagi rus tilidagi adabiyotlarda batafsil keltirilgan.

## Nazorat savollari

1. Aktiv elementning statik xarakteristikalarini deganda nimani tushunasiz?
2. Aktiv element qanday hollarda inersiyasiz va inersiyali hisoblanadi?
3. Aktiv elementning statik xarakteristikalarini approksimatsiyalash deganda nimani tushunasiz?
4. Berg koeffitsiyenti kesish burchagi va tokning shakl koeffitsiyentiga qanday bog'liq?
5. Qanday elektrod umumiy deb hisoblanadi? Aktiv elementni umumiy elektrodi qanday tanlanadi?
6. Teskari reaksiya deb nimaga aytiladi? O'tish o'tkazuvchanligi nima?
7. Umumiy emitterli sxema qachon ishlatiladi?
8. Umumiy bazali sxema qanday afzallikka ega?
9. Umumiy kollektorli sxemaning qanday kamchiliklari bor?
10. Aktiv elementlar ish holatining necha turini bilasiz va ularni qanday aniqlash mumkin?
11. Quvvat kuchaytirgichning qanday energetik ko'rsatkichlarini bilasiz?
12. Kamkuchlanganlik va o'takuchlanganlik ish holati qachon ishlatiladi?
13. Quvvat kuchaytirgich uchun aktiv element qanday tanlanadi?
14. Siljish kuchlanishi kuchaytirgichning xarakteristikalariga qanday ta'sir ko'rsatadi?
15. Yuklama xarakteristikasi deganda nimani tushunasiz?
16. Kuchaytirgichni sozlash jarayoni qanday bajariladi?
17. Nima uchun foydali chiqish quvvati o'takuchlanganlik ish holatida kamayadi?

### 3. QUVVAT KUCHAYTIRGICHLARDA QUVVATLARNI QO'SHISH

Ko'p hollarda radiouzatuvchi qurilmalardan talab qilinadigan chiqish quvvati yagona aktiv element beradigan quvvatdan ortiq bo'ladi. Chiqish quvvatini oshirish uchun alohida aktiv elementlarning quvvatlarini quyidagi usullar bilan qo'shiladi: parallel, ikki taktli, aktiv elementni ko'priksimon ulash va fazoda quvvatni qo'shish usullari.

#### 3.1. Aktiv elementlarni parallel ulash

Aktiv elementlarni parallel ulash usuli asosan aktiv element birlamchi quvvatini ko'p emitterli yuqori chastota tranzistorlarida, shuningdek bir vattgacha chiqish quvvati bo'lgan kuchaytirgichlarda quvvatni kuchaytirish uchun ishlatiladi. Bunda chiqish quvvatining ko'payishi alohida aktiv elementlar chiqish toklarining yig'indisidan iborat bo'lgan umumiy tokning oshishi hisobiga bo'ladi. Bitta kristaldagi bir necha ming yarimo'tkazgichli elementlarni korpuslangan aktiv element ichidagi bir necha kristallarni parallel ulashdan ham foydalaniladi.

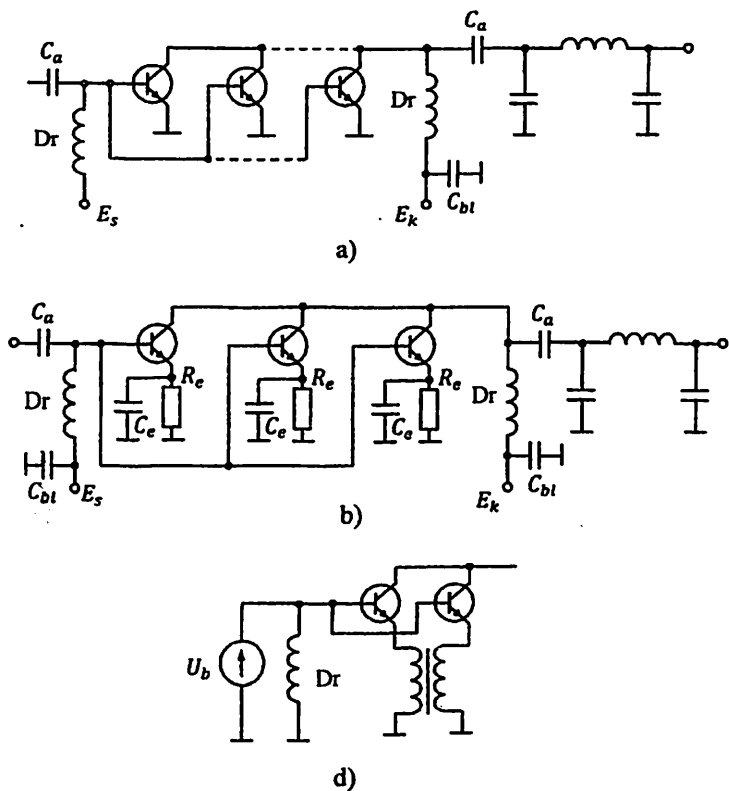
Parallel ulangan aktiv elementlar sonining cheklanishi:

- moslash zanjirlarini qurish jarayonini qiyinlashtiradigan  $R_e Z_{kir}$  va aktiv elementning optimal qarshiligining kamayishi;
- tarkibidagi elementlar bo'yicha tok va kuchlanish taqsimlanishining notekisligi, natijada esa quvvat summatorlarining samarasi pasayishi bilan bog'liq.

3.1-chizmada ko'rsatilgan sxemadagi quvvat kuchaytirgichi misolida aktiv elementning parallel ulanishida tok, kuchlanish va quvvat uchun asosiy ifodalarni va ulardan kelib chiquvchi xususiyatlarni ko'rib chiqaylik.

$n$  ta parallel ulangan bir xil aktiv elementlarni yig'indi kollektor va baza toklarining o'zgarmas tashkil etuvchisi va birinchi garmonikasi amplitudalari mos ravishda quyidagiga teng:

$$I_{k1} = nI'_{k1}, \quad I_{k0} = nI'_{k0}, \quad I_{b1} = nI'_{b1}, \quad I_{b0} = nI'_{b0}.$$



3.1-chizma. Parallel ulangan AElardagi quvvat kuchaytirgich sxemasi:  
 a) – bevosita parallel; b) – avtosiljitiqli;  
 d) – simmetriyalovchi transformatorli.

Hamma parallel ulangan aktiv elementlarning kollektor kuchlanishlari va qo'zg'alish kuchlanishlari amplitudalari bir xil bo'ladi (3.1a-chizma):  $U_k = U'_k$ ,  $U_b = U'_b$ .

Har bir aktiv element  $P'_1 = 0,5U_k I'_{k1}$  birinchi garmonika quvvatini beradi va manbadan ( $E_m$ )  $P'_0 = E_m I'_{k0}$  quvvat oladi. Bunda optimal rejim realizatsiyasi uchun kerak bo'lgan umumiy yuklama qarshiligi  $R_k = U_k / I_{k1} = U_k / n I'_{k1} = R'_k / n$ , bunda  $R'_k = U_k / I'_{k1}$  –  $P'_1$  quvvatga ega bo'lgan bir aktiv elementli kuchaytirgich uchun kerak bo'lgan yuklama qarshiligi.

$n$  ta aktiv elementni qo'zg'atish uchun zarur kirish quvvati  $P_{ktr} = nP'_{ktr1}$ , kirish qarshiligi  $Z_{ktr} = \frac{U_b}{I_{b1}} = \frac{U_b}{nI'_{b1}} = \frac{Z'_{ktr1}}{n}$ , bunda  $Z'_{ktr1}$  - bitta AE kirish qarshiligi.

Tabiiyki,  $R_k = R_k/n$  qarshilikka yuklangan  $n$  ta bir xil AE parallel ulansa tok, kuchlanish va quvvat bo'yicha uzatish koeffitsiyenti, shuningdek foydali ish koeffitsiyenti  $R_k$  ga ulangan AEnikiga o'xshash bo'ladi.

Amalda esa, toklari bir-biridan farq qilishida ko'proq namoyon bo'ladigan, texnologik parametrlarning turlichaligi bilan bog'langan AElarning bir xil emasligini e'tiborga olishga to'g'ri keladi.

AE rejimlarining nosimmetrikligi o'lchovi sifatida kollektor toklarining birinchi garmonikalari va toklarni doimiy tashkil etuvchilarining o'zaro nisbati xizmat qilishi mumkin. Shu ravishda, ikki tranzistor uchun  $U_k$  va  $I_b$  parametrlari teng bo'lganda  $Y$ -parametrlar sistemasidan foydalanib, quyidagini olamiz:

$$I'_{k1}/I'_{k1} = (S'_1 - \Delta R_k)/(S'_1 + \Delta R_k),$$

bunda,  $\Delta = S'_1/R'_{chiq} - S''_1/R'_{chiq}$ ;  $S_1$  - birinchi garmonika bo'yicha AE o'tish xarakteristikasi tikligi;  $R_{chiq}$  - AEning garmonik kuchlanish generatoridan qo'zg'algandagi chiqish qarshiligi.

Bu nisbatning mumkin bo'lgan qiymatlari sxemaning turi va vazifasiga bog'liq va loyihalash jarayonida texnik topshiriqdan aniqlanadi. Amalda AE rejimlarini simmetrik ko'rinishga olib kelish uchun emitterli avtosiljitish va reaktiv simmetriklovchi zanjirlar (simmetriklovchi transformatorlar) qo'llaniladi.

Emitterli avtosiljishdan foydalanganda (3.1b-rasm) katta VAX qiyaligi, mos ravishda katta emitter tokiga ega aktiv element AE katta kuchlanishli avtosiljitish hosil qiladi, bu esa kesish burchagining kamayishiga, demak doimiy tashkil etuvchini va kollektor tokining birinchi garmonikasining kamayishiga olib keladi.

Garmonik tebranishlar generatoridan qo'zg'aladigan kam quvvatli generatorlarda moslovchi zanjirlardan foydalanish ko'proq samara beradi.

Katta quvvatli AE kirish zanjirida, odatda tok generatoridan qo'zg'alish rejimiga yaqin rejim hosil qilinadi. Bu holda kesish burchagi  $\theta$  siljish kuchlanishiga kam bog'liq bo'ladi, shuning uchun avtosiljitish samarasi keskin pasayadi. Bundan tashqari, emitter zanjirida

qarshilikdan foydalanish, bu qarshilikda katta quvvat tarqalishi sababli kaskadning energetik ko'rsatkichining yomonlashishiga olib keladi.

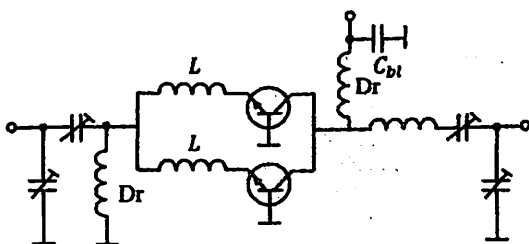
Katta quvvatli kaskadlarda reaktiv simmetriklovchi zanjirlardan foydalanish samarasi ko'proqdir. Uzun va o'rta to'lqin diapazonlarida bu kuchli magnit bog'lanishga va kichik induktiv sochilishiga ega bo'lgan simmetriklovchi transformator bo'lishi mumkin. Bunday kaskad sxemasi 3.1d-chizmada ko'rsatilgan. Agar transformatoridagi magnit bog'lanish 100% ga yaqin bo'lsa, ya'ni  $M = L$ , sxemaga simmetriklovchi transformatorni kiritish orqali qo'zg'atish kuchlanishini oshirmaslik mumkin. Natijada sxemada emitter toklari tenglashadi va oqibatda kollektor toklari ham deyarli bir-biriga yaqinlashadi. Bunda kollektor toklarini kesishli va kesmaslik rejimlari samarali simmetriklanadi. Bu sxema kamchiligi unda ikki o'ramli transformatorning qo'llanishi bo'lib, ultra qisqa va o'ta yuqori chastota diapazonlarida undan foydalanish qiyinchiliklar tug'diradi.

O'ta yuqori chastota va ultra qisqa to'lqin diapazonlarida AE rejimlarini simmetriklashtirish masalasi emitter toklarini tenglashtiruvchi reaktiv zanjirlar yordamida yechilishi mumkin. Misol qilib, 3.2-chizmada keltirilgan sxemani ko'rsatish mumkin. Bu sxemada induktivlik  $L L \gg Z_{kir1b}$  shartidan topiladi. Bunda  $I'_e = I''_e$  bo'ladi.

Umumiy bazali ulanish sxemasi uchun tok bo'yicha uzatish koeffitsiyenti

$$K_{Ib} = \frac{1}{1 + jf/f_{cheg}}$$

$I_{k1} = K_{Ib}I_e$  bo'lgani uchun toklardagi tafovut  $f_{cheg}$  va undan katta chastotalarda sezilishi mumkin.



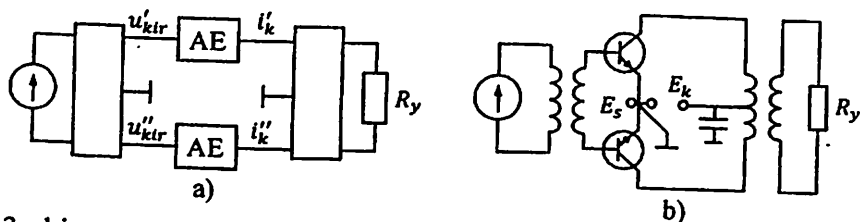
3.2-chizma. Reaktiv simmetriklovchi zanjirlar asosidagi quvvat kuchaytirgich sxemasi

AE ni parallel ulanish sxemasining asosiy kamchiliklari:

- moslovchi zanjirni hosil qilish qiyinchiligi. Bu o'z navbatida  $R_e Z_{kir}$  qarshilikni haqiqiy qismi va  $R_k$  yuklama optimal qarshiligini kamayishi bilan bog'liq;
- tarkibidagi elementlar bo'yicha tok va kuchlanish taqsimotining notekisligi tufayli quvvatlarni qo'shish samarasi pasayishi.

### 3.2. Aktiv elementlarning ikki taktli ulanishi

Ikki bir xil aktiv elementdan iborat ikki taktli quvvat kuchaytirgich sxemasi AE larni parallel ulash sxemasi kabi ikki marta ko'p foydali quvvat beradi, ta'minot manбайдan ikki marta ko'p quvvat oladi va bitta AE li sxemaga nisbatan ikki marta ortiq qo'zg'atish quvvati talab qiladi (3.3a-chizma). Bunday quvvat kuchaytirgichining prinsipial sxemasi 3.3b-chizmada keltirilgan.



3.3-chizma. AE lar ikki taktli ulanishli quvvat kuchaytirgich funksional (a) va prinsipial (b) sxemasi.

Ideal holatda AE kirishidagi kuchlanishlar fazasi bo'yicha ishchi chastotaning yarim davriga siljigan bo'ladi, ya'ni

$$u''_{kir}(t) = u'_{kir}(t + T/2).$$

Bunday siljish kirish kuchlanishidan bir-biriga qarama-qarshi fazali ikki kuchlanish hosil qiluvchi faza siljituvchi zanjir bilan amalga oshiriladi. Bir xil parametrli tranzistorlar uchun ham chiqish (kollektor) toklarining fazasi bunday kirish kuchlanishlarida asosiy garmonika davrining yarmiga siljigan bo'ladi (3.4-chizma):

$$i''_{kir}(t) = i'_{kir}(t + T/2).$$

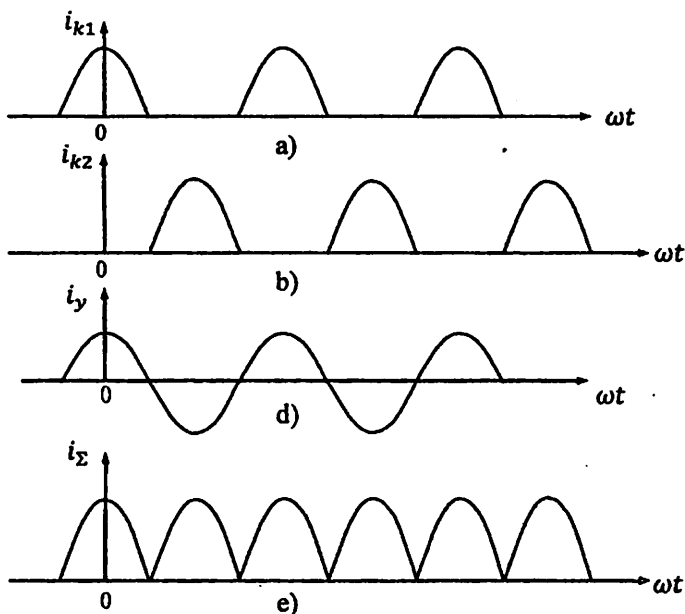
Aktiv element umumiy yuklamaga ikkinchi faza siljituvchi zanjir orqali ulanadi, bu zanjir yordamida yuklamada birinchi va ikkinchi aktiv element toklari farqiga proporsional tok ajraladi:

$$i_{yuk}(t) = i_k''(t) - i_k'(t).$$

$i_k''(t)$  va  $i_k'(t)$  toklarni Furrye qatoriga yoyib, ularning farqi faqat toq garmonikalardan iborat ekanligini topamiz

$$i_{yuk}(t) = 2[I_{k1} \cos(\omega t + \varphi_1) + I_{k3} \cos(3\omega t + \varphi_3) + \dots],$$

bu esa chiqish kuchlanishini filtrlashni osonlashtiradi.



3.4-chizma. Ikki taktli quvvat kuchaytirgich sxemasida toklarning vaqtga bog'liqligi,  $\theta = 90^\circ$

AEni kesish burchagi  $180^\circ$  va  $90^\circ$  li kosinus shaklidagi impulslar bilan ishlash rejimida chiqish tok spektrida asosiy garmonikadan tashqari hamma toq garmonikalar bo'lmaydi. Shunday qilib,  $\theta = 90^\circ$  va AEning chiziqli-bo'lakli xarakteristikalarida sxemaning umumiy kuchlanish zanjirida (3.4e-chizma) quyidagi toklar yig'indisi oqadi



$$i''_k + i'_k = 2[I_{k0} + I_{k2} \cos(2\omega t + \varphi_2) + I_{k4} \cos(4\omega t + \varphi_4) + \dots],$$

uning tarkibida doimiy tashkil etuvchilar va juft garmonikalar qatnashadi.

Bunday holat ta'minot manbai blokirovkasi masalasini yengilash tiradi, radiouzatkichning kaskadlari o'rtasida ta'minlash manbai orqali vujudga keladigan noxush aloqani kamaytiradi.

Shunday qilib, quvvat kuchaytirgichlarining ikki taktli sxemalari  $90^\circ$  li kesish burchagi rejimida ishlaganda, deyarli yuqori foydali ish koeffitsiyentini saqlagan holda yuqori garmonikalardan qutulish imkonini beradi. Ikki taktli sxemaning bunday xususiyati undan yuqori garmonikalarni boshqa usullar bilan filtrlashning imkoni bo'lmagan yoki murakkab bo'lganda, masalan ko'p oktavali keng polosali kuchaytirgichlarda foydalanishga imkon beradi.

Ba'zi hollarda AEni ikki taktli ulanishini qo'llash quvvat kuchaytirgichi chiqishidagi filtrga bo'lgan talabni yumshatishga va undan voz kechishga imkon beradi. Bundan tashqari ikki taktli sxema o'zining yerga ulanish nuqtasini simmetrikligi tufayli qulayroqdir, qachonki yuklamani ham yerga ulanishi simmetrik bo'lsa.

Ikki taktli quvvat kuchaytirgichida AE ishlash rejimi ikki bosqichda hisoblanadi. Birinchi bosqichda bitta AEni berilgan quvvatni yarmiga teng quvvat bo'yicha rejimi berilgan AE uchun haqiqiy bo'lgan hisoblash usulidan foydalanib hisoblanadi. Ikkinchi bosqichda ikki taktli sxema uchun rejim qayta hisoblanadi:

$$P_{kir} = 2P'_{kir}; \quad R_{ktr} = 2R'_{kir}; \quad X_{kir} = 2X'_{kir}; \quad U_{k1} = 2U'_k;$$

$$R_k = 2R'_k; \quad I_{k0} = 2I'_{k0}; \quad P_0 = 2P'_0; \quad P_1 = 2P'_1.$$

Rejimni tavsiflovchi boshqa kattaliklar  $K_p = 2K'_p, \eta_1 = \eta'_1$  o'zgar-masdan qoladi.

Eslatib o'tish kerakki, chiqish signali spektridan yuqori garmonikalarni butunlay chiqarib tashlash quvvat kuchaytirgichini ideal simmetriyasi holatida ham mumkin emas, ya'ni AEni chiqish tokidagi  $\theta = 90^\circ$  kesish burchagi bilan kelayotgan kosinussimon impulslarni shakllanishining o'zi quyidagi sabablarga ko'ra iloji yo'q:

- AEning o'tish xarakteristikalarining noxizirliligi;
- AEning inersion xususiyati;
- kesish rejimidagi o'tish jarayonlari;

– yuklamaning nochiziqililigi;

– AE parametrlarining harorat va vaqtga bog‘liq ravishda o‘zgarishi;

– quvvat kuchaytirgichi yelkalarini AE va passiv elementlar parametrlarini bir xil emasligi hisobiga, shuningdek montaj simmetriyasidan chetlanish sababli (quvvat kuchaytirgichi yelkalarini asimmetriyasi tranzistor rejimi simmetriyasini buzilishiga olib keladi).

AE rejimlari simmetriyasi buzilishini bartaraf qilishning bir necha yo‘llari mavjud.

1. Rejimlarni qo‘lda sozlash, ayniqsa lampali sxemalarda. Bunday sozlash yetarli darajada murakkab va ko‘p vaqt talab qiladi, quvvat kuchaytirgichining ishlash sharoitlari (harorat, yuklama, qo‘zg‘alish darajasi) o‘zgarganda hamda AE eskirganda kam samara beradi.

2. Manfiy teskari bog‘lanishni qo‘llash. Umumiy bazali quvvat kuchaytirgichlarida tok bo‘yicha 100% li manfiy teskari bog‘lanish, umumiy emitterli ulanishda esa kuchlanish bo‘yicha 100% teskari bog‘lanish bo‘ladi.

3. Ikki tur o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan aktiv elementlar asosida ikki taktli sxemalarni qo‘llash (bipolyar tranzistorlar uchun  $p-n-p$  va  $n-p-n$ ; maydoniy tranzistorlar uchun esa  $p$ -kanalli va  $n$ -kanalli), ya‘ni komplementar asboblardan asosidagi quvvat kuchaytirgichlari (3.5-chizma), bunda aloqa zanjirlari murakkabligi pasayadi. Bunday AElar asosida ikki aktiv elementdan tashqari kuchlanish berish uchun drossel, ajratuvchi kondensatorlar va avtosiljitish qarshiligidan iborat bo‘lgan

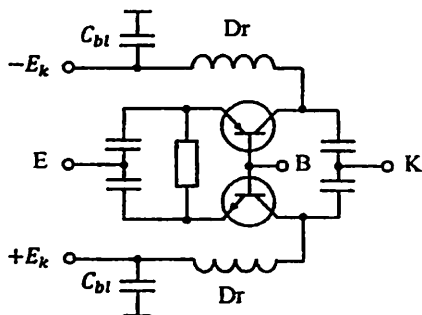
Bunda kirish zanjiri atigi ikki elementdan ( $L_{kir}$  va  $C_{kir}$ ) iborat bo‘lib, bir qator vazifalarni bajaradi:

– modullarni qarama-qarshi fazadagi garmonik tok bilan qo‘zg‘atadi;

– rezonans sharoitida qo‘zg‘atish toklari amplitudalari tengligi hisobiga yelka rejimlarini simmetriklaydi;

– umumiy bazali ulangan modullar kichik qarshiligini oldingi kaskad tranzistorining optimal kollektor qarshiligiga ( $R_{k\ opt}$ ) transformatsiyalaydi;

– agar oldingi kaskad kuchaygan rejimda ishlayotgan bo‘lsa, qo‘zg‘alish tokini stabillaydi, natijada chiqish quvvatini ham.



3.5-chizma. Ikki taktli quvvat kuchaytirgichlar uchun komplementar modul sxemasi

4. Metrli va detsimetrli to'liq diapazonida ikki taktli quvvat kuchaytirgichlari (100 Vt) da ishlatish uchun mo'ljallangan maxsus tranzistorlarning paydo bo'lishi: KT991AC va KT901AC (350...700 MHz, 55 Vt; 220-400 MHz, 125 Vt).

Ikki taktli quvvat kuchaytirgichlarining afzalliklari:

- tebranish quvvatini bir taktli sxemaga nisbatan ikki marta ortishi;
- tanlovchi zanjirlarsiz (filtrlarsiz) garmonik shakldagi chiqish kuchlanishini olish imkoniyati va kuchaytirgichning bu bilan bog'langan keng polosaliligi ( $\theta = 90^\circ$  da);
- bir taktli quvvat kuchaytirgichlariga qaraganda ta'minot manbaini blokirovka qiluvchi zanjirlarga bo'lgan talablarning unchalik qat'iy emasligi.

Ikki taktli quvvat kuchaytirgichlarining kamchiligi ularda aktiv elementlar rejimi simmetriyasini ta'minlash uchun bir xil parametrli tranzistorlarni tanlash zarurligi hisoblanadi.

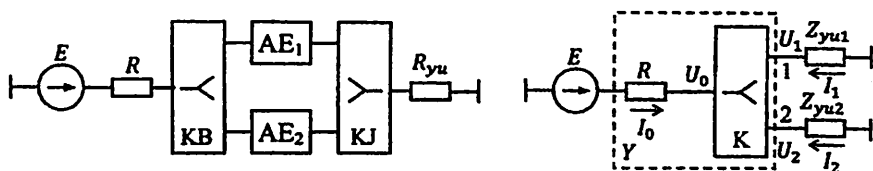
Aktiv elementlarni ikki taktli va parallel ulanish sxemalar kombinatsiyasi radiouzatkich chiqish quvvatini oshirish uchun ishlatiladi. Bunda sxema quyidagicha quriladi. Kirish signali transformator yordamida  $2n$  ta kanalga bo'linadi, bunda,  $n$  – ikki taktli sxemaning har bir yelkasidagi kanallar soni. Har bir yelkadagi aktiv element chiqishlari parallel ulangan bo'ladi. Magnit o'tkazgich parametri bo'ylab transformator o'ramlarining tekis taqsimlanishi aktiv element rejimlarining tekislanishiga va kuchaytirgich ishonchliligining ortishiga olib keladi.

### 3.3. Aktiv elementlarning ko'priksimon ulanishi

Aktiv elementlarni parallel va ikki taktli ulanishiga xos bo'lgan kamchiliklarni ularning o'rtasidagi o'zaro aloqani yo'qotish yo'li bilan bartaraf etish mumkin. Ana shu maqsadda ko'priksimon sxemada qurilgan kuchaytirgichlar (KQK) qo'llaniladi.

Ko'priksimon qurilma deb shunday to'rtqutblikka aytiladiki, uning yordamida ikki va undan ortiq aktiv elementlarni bitta yuklamaga birgalikda va o'zaro alohida ishlashi amalga oshiriladi (3.6-chizma).

Ko'priksimon quvvat kuchaytirgichlarining nominal rejimida aktiv elementlar bir xil parametrlarga ega bo'lib, bir xil rejimlarda ishlaydi. Ko'prik-bo'lgich (KB) aktiv elementlar o'rtasida quvvatni teng taqsimlaydi, ko'prik-jamlagich (KJ) esa aktiv elementlarning bir xil quvvatlarini umumiy yuklamada qo'shib beradi. Bunda quvvatlarni bo'lish va qo'shish yo'qotishsiz ro'y beradi (reaktiv elementlarni bir xil deb faraz qilinadi).



3.6-chizma. Ko'priksimon quvvat kuchaytirgichning funksional sxemasi

Ko'priklarni nominal rejimidagi asosiy xususiyati bo'lgan o'zaro mustaqil ishlashi o'zini hech qanday namoyon qilmaydi. Nominal rejimdan chetlanishda aktiv elementlarni bir-biridan ajratish shunda namoyon bo'ladiki, ko'prik-bo'lgich birinchi aktiv elementni qo'zg'atish kuchlanishini o'zgarmas holda ushlab turadi, ko'prik-jamlagich esa birinchi aktiv element yuklamasi qarshiligini ikkinchi aktiv element rejimlarini har qanday o'zgarishida ham o'zgartirmasdan ushlab turadi va aksincha.

Ko'prik-bo'lgich ko'priksimon xususiyatlarga agar ko'prik chiqishlaridagi o'zaro o'tkazuvchanlik  $Y_{21} = 0$  bo'lgandagina ega bo'ladi. Bu oltiqutblik ko'prikka qator shartlarni qo'yadi. U aktiv qarshilikka ega bo'lishi kerak, bu esa ko'prik-bo'lgich chiqishlari orasiga  $2R_{bal\ b} = -1/\xi_{21}$  qarshilikni ulash orqali amalga oshiriladi, bunda  $\xi_{21}$  - bo'lgichning balans qarshiligi.

Eslatib o'tish kerakki, nominal rejimda  $R_{bal}$  qarshiligida quvvat ajralmaydi, chunki bu qarshilik sxemaning ekvipotensial nuqtalari orasiga ulangan.

Quvvat kuchaytirgichlarida aktiv elementlarni ulash ko'priklari quyidagi ko'rinishda bo'lishi mumkin:

– bir xil fazali va qarama-qarshi fazali keng polosali fazasurgichlari bilan; bunda quvvat qo'shilishi, yetarli kaskadlararo ajratish va yalpi ishchi chastota to UQT diapazonigacha o'zgarmas transformatsiya koeffitsiyenti ta'minlanadi;

– kvadraturali (kam quvvatli kuchaytirgichlar uchun); bunda kaskadlararo aloqalar sezilarli darajada susayadi, ko'p kaskadli kuchaytirgich barqarorligi esa ortadi.

Eng ko'p qo'llaniladigan sinfazali va kvadraturali ko'priklar hisoblanadi. Ikki ko'prik turi belgilangan xususiyatlar bilan xarakterlangan holda sezilarli tafovutga ham egadir. Agar tranzistorlarning kirish qarshiliklari bir-biriga teng holda o'zgarsa, sinfazali ko'prik bo'lgichning kirish qarshiligi o'zgaradi, kvadraturali ko'prik bo'lgichniki o'zgarmasdan qoladi. Bu xususiyatdan amalda foydalaniladi. Muhit haroratining sezilarli o'zgarishi sharoitlarida, shuningdek boshqa sabablarga ko'ra ko'priksimon kaskad tranzistorlarining kirish qarshiliklari bir vaqtini o'zida va bir xil o'zgaradi. Bu holda kvadraturali ko'prik bo'lgichi o'zidan oldingi kaskadga yuklama qarshiligini o'zgartirmasdan saqlaydi. Sinfazali bo'lgich bunday xususiyatga ega emas. Biroq, bunda sinfazali ko'prik bo'lgichi foydali ish koeffitsiyenti 1 ga yaqin qolgan holda, kvadraturali bo'lgichniki faqat tranzistorlarning kirish qarshiligi bilan moslashish rejimida 1 ga yaqinlashib o'zgaradi, chunki kvadraturali ko'prik bo'lgichi kirish qarshiligi doimiyliги yuklamalarni nominal qiymatdan og'ishida generator quvvatining bir qismini ko'prik ballastida ajralishi hisobiga bo'ladi. Tahlil natijasi ko'rsatadiki, kvadraturali ko'prik bo'lgichi FIK  $Z_1 = Z_2 = R + jX$  bo'lganda quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\eta_K = 4 \frac{R}{R_0(1 + R/R_0)^2 + (X/R_0)^2} \quad (3.1)$$

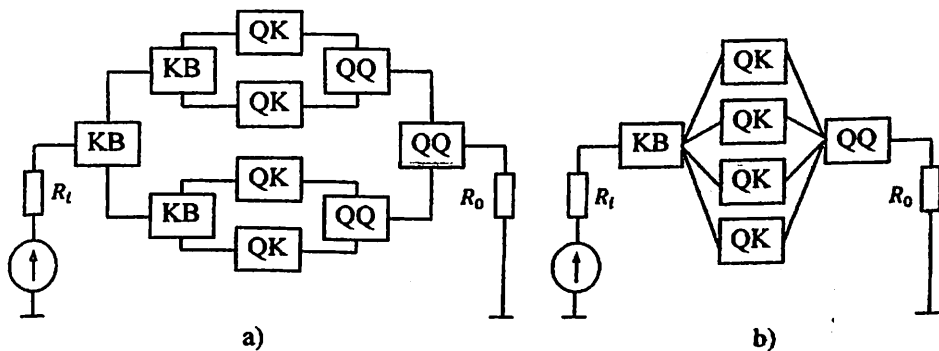
O'ta yuqori chastota diapazonida tranzistorlarning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti uncha katta emas. Bunday sharoitlarda kvadraturali ko'prik bo'lgichini tranzistorlarning kirish qarshiligi bilan

moslashtirilmasa, kaskadning kuchaytirishi sezilarli kamayib ketishi mumkin. Sinfazali ko'prik bo'lgichlari tranzistorlarning kirish qarshiligi bilan bunday moslashtirishga muhtoj bo'lmagani tufayli kaskadlararo ulardan foydalanganda sozlash unchalik qiyin bo'lmaydi.

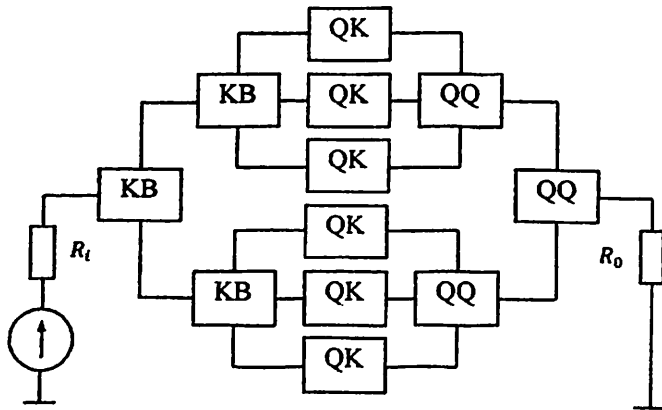
Kvadraturali ko'prikka ega bo'lgan kuchaytirgichning chiqish qarshiligi uning kirish qarshiligi singari tranzistorlar parametrlarining bir xil o'zgarishida o'zgarimasdan qoladi, sinfazali ko'prik ishlatilsa, bu qarshilik o'zgaradi.

Agar  $R_i$  va  $R_0 = R_{yu}$  qarshiliklar barqaror bo'lsa (3.6-chizma), har qanday ko'prik ham kuchlanish bo'yicha chuqur ajratishni ta'minlaydi. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarda  $R_i$  – oldingi kaskad chiqish qarshiligi,  $R_0 = R_{yu}$  esa keyingi kaskad kirish qarshiligi. Bundan kelib chiqadiki, bu qarshiliklar kvadraturali ko'priklardan foydalanilsa, barqaror bo'ladi. Demak, bunday ko'priklar yaxshiroq ajralish beradi.

Bir necha kuchaytirish modullarining quvvatlarini zarurati bo'lganda, funksional sxemalarni qurishning turli variantlaridan foydalanish mumkin. Agar quvvat kuchaytirgichi soni  $N = 2^n$  bo'lsa, ikki qutbli ko'priklarning kaskadli ulanishidan (3.7a-chizma) foydalanish mumkin. Istalgan  $N$  soni uchun ko'p qutbli ko'priklar ishlatiladi (3.7b-chizma). Agar  $N$  bir necha o'nlikdan iborat bo'lsa, ko'p qutbli ko'prik kombinatsiyalari qo'llaniladi (3.8-chizma).



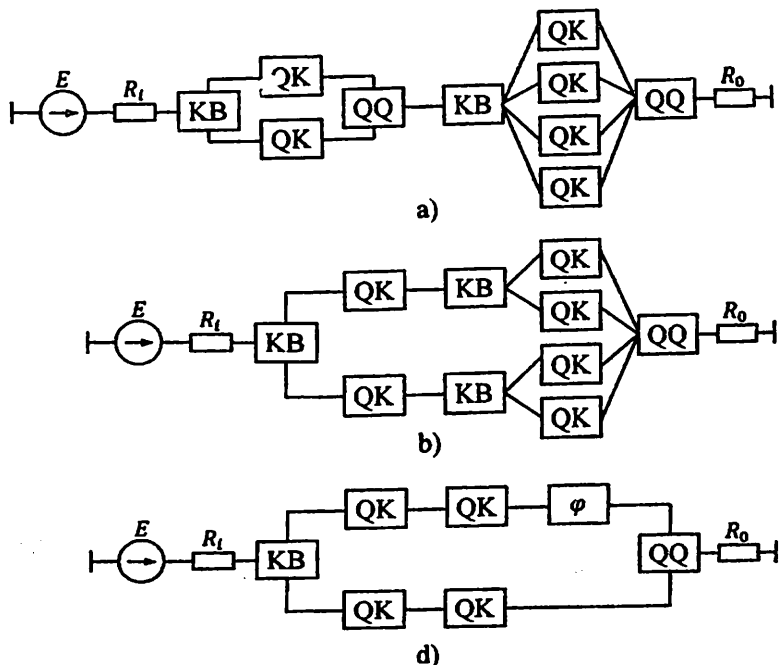
3.7-chizma. Ko'priklarni kaskadli ulash (a) va ko'p qutbli ulash (b) quvvat kuchaytirgichlarining funksional sxemalari



3.8-chizma. *Kombinatsiyali ko'p qutbli ko'priklarli quvvat kuchaytirgichning funksional sxemasi*

Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarni qurishda qo'shimcha variantlar yuzaga keladi. Masalan, ko'p kaskadli kuchaytirgichni 3.9a-chizmada keltirilgan sxemalar bo'yicha bajarishsh mumkin. 3.9b-chizmadagi variant uchun kaskadlararo aloqa zanjiri soddalashadi va buning evaziga FIK va kuchayish ortadi, shuningdek kuchaytirgichning polosaviy xususiyatlari yaxshilanadi. Biroq, bunda kanallarning fazaviy va amplitudaviy xarakteristikalarining bir xilligi uchun ancha yuqori talablar qo'yiladi.

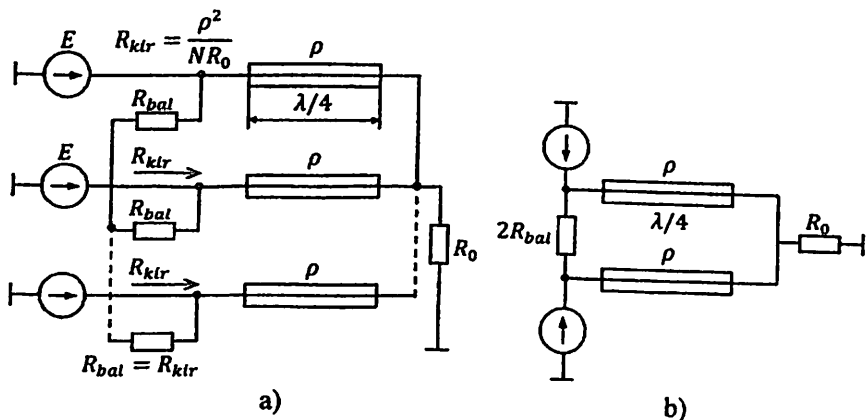
Ba'zida ikki kaskadli quvvat kuchaytirgichlarini 3.9d-chizmada ko'rsatilgan sxema bo'yicha yig'iladi, bunda ishonchlilikni qandaydir kamayishi hisobiga detallar soni bir muncha iqtisod qilinadi. Ammo kanallardagi faza o'zgarishini tekislash uchun  $\varphi$  – faza surgichini ulashga to'g'ri keladi.



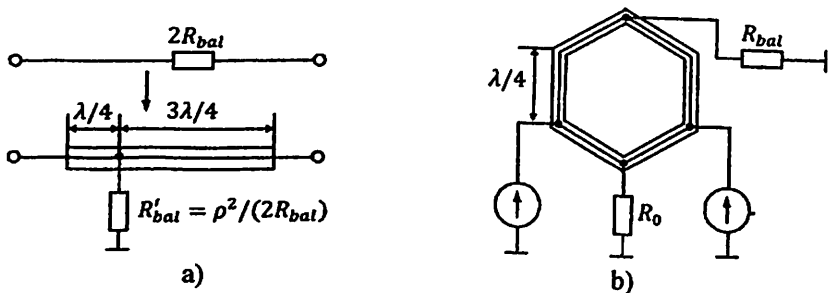
3.9-chizma. Ko'p kaskadli ko'priksimon quvvat kuchaytirgichlar funksional sxemalarning variantlari

Quvvatni bo'lish va qo'shish uchun ko'prik sxemalari variantlarini keltiramiz. 3.10-3.15-chizmalarda quvvatni qo'shish rejimida ulangan va keng tarqalgan ko'priklar elementlarining qarshiliklari bog'lanishi (munosabati) ko'rsatilgan. Bunda,  $R_o$  – generatorlarning quvvati yig'iladigan qarshilik;  $\rho$  – liniyaning to'liq qarshiligi. Agar ko'prik quvvatni bo'lish rejimida ishlatilsa, u holda  $R_o$  sifatida generatorning ichki qarshiligi tushuniladi.





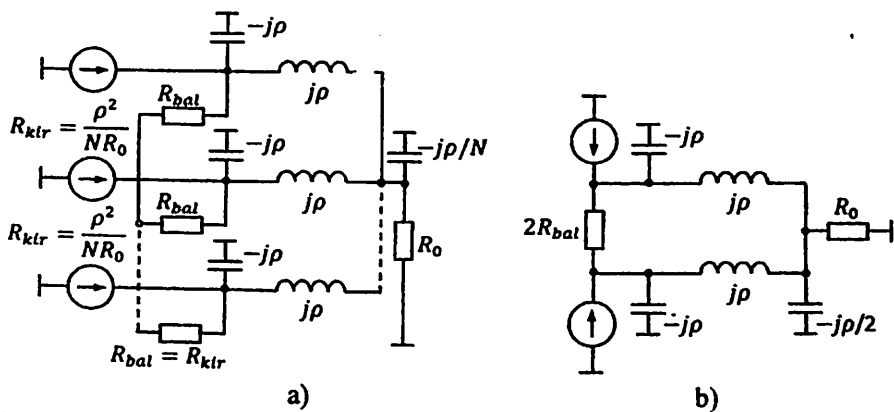
3.10-chizma. Sinfaz ko'priklarning liniyadagi ekvivalent sxemalari: a) –  $N$  ta kirishli ko'pqtbli ko'prik; b) – xususiy holat.



3.11-chizma. Ballast qarshiligi yerga ulanmagan (a) va ballast qarshiligi yerga ulangan (b) sinfazali ko'prik sxemalari.

Sinfazali va kvadraturali ko'priklar (3.12-3.14-chizmalar) ajratishdan tashqari,  $\rho$  parametri mos ravishda tanlansa, qarshiliklarni kerakli transformatsiya koeffitsiyentini ta'minlab berishi mumkin. T-simon ko'priklar (3.13-chizma) kvadraturali ko'prikka o'xshash (3.14a-chizma) qayd qilingan transformatsiya koeffitsiyentiga egadir. 3.14a-chizmada kvadratura ko'prigini transformatsiyalovchi turi ko'rsatilgan.

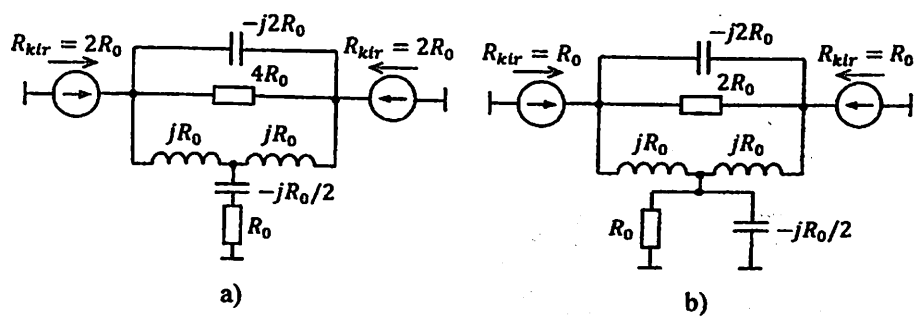
3.10-, 3.12-, 3.13-, 3.14b-chizmalardagi ko'priklarning kamchiligi yerga ulanmagan ballast qarshiliklar bo'lib, o'ta yuqori chastotalarda ular korpusga beradigan xususiy parazit sig'imi hisobiga qo'shimcha quvvat yo'qotilishiga olib keladi. Yerga ulangan ballast qarshiliklari issiqlikni oluvchi radiator bilan bog'lanishi (kontakti) evaziga katta quvvat ajratishi mumkin.



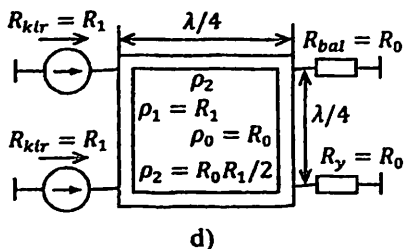
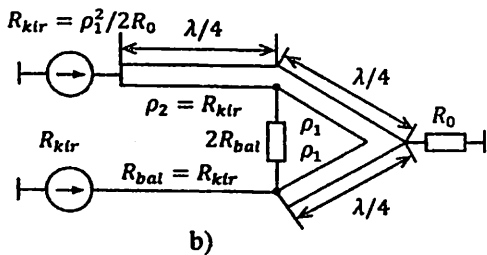
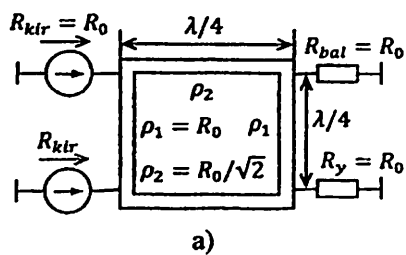
3.12-chizma. To'plangan elementlardagi sinfazali ko'prik sxemalari: a) –  $N$  kirishli ko'pqtbli ko'prik; b) –  $N = 1$  bo'lgandagi xususiy hol.

Yerga ulanmagan qarshiliklar tizimini yerga ulangan qarshiliklar tizimi bilan almashtirish mumkin. Eng sodda holda ( $N = 2$ ), bunday almashtirish 3.11a-chizmada ko'rsatilgan. Bunda 3.10b-chizmadagi ko'prik ma'lum bo'lgan "gibrid halqa"ga o'zgaradi (3.11b-chizma).

Ko'priksimon qurilmalarni transformatorlarda  $LC$  parametrlari taqsimlangan liniyalarda bajariladi. Transformator-liniyalar asosidagi sinfazali ko'prik qurilmasida ko'prikning keng polosaliligi va manbalarning o'zaro mustaqilligi  $R_{bal}$  qarshiligi va liniyalarning to'lqin qarshiligi  $\rho_1$  va  $\rho_2$ :  $R_{bal} = \rho_1 = \rho_2 = R_{yu}/2$  ni mos ravishda tanlash yo'li bilan ta'minlanadi.



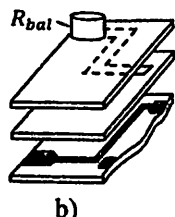
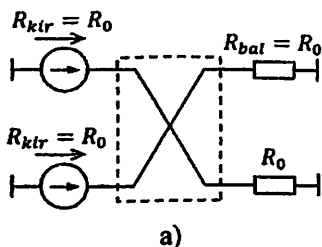
3.13-chizma. To'plangan elementlardagi T-simon ko'prik sxemalari



3.14-chizma. Liniyadagi kvadraturali ko'prik sxemalari:  
 a) – kvadratli ko'prik; b) –  $\lambda/4$  uzunlikdagi liniya kesmasi  
 qo'shilgan sinfazali (3.10b-rasm) ko'prik asosidagi kvadratli ko'prik;  
 d) – kvadratli transformasiyalovchi ko'prik,  $\rho = \sqrt{0,5R_0R_1}$

LC elementlari qo'llangan sinfazali ko'prik sxemasi ikkita  $\Pi$ -simon zanjirlardan foydalanish orqali amalga oshirilishi mumkin,  $\omega_1 L_1 = \omega L_2 = 1/(\omega C_1) = X = 2/(\omega C_2)$ . Ikkita kirish qismini ajratish uchun  $R_{bat} = 2R_{yu}$ ,  $X = R_{yu}\sqrt{2}$  shartini bajarish kerak bo'ladi, bundan  $R_{bat} = 2X\sqrt{2} = \sqrt{2}X$ .

Ko'p sonli aktiv elementlarning quvvatlarini qo'shish kerak bo'lsa, ko'priklarni yanada murakkab sxemalaridan foydalaniladi, ya'ni ko'p qutbli ko'priklar deb ataluvchi sinfazali va ko'pfazali ko'priklardan va ko'priklar kombinatsiyasidan foydalaniladi.



3.15-chizma. Bog'langan liniyalardagi kvadraturali ko'prik ekvivalent sxemasi: (a) va tuzilishi (b).

Ko'priksimon sxemada avariya rejimida  $N$  sonli umumiy elementlardan  $M$  sonli aktiv elementlar ishdan chiqqan holda yuklamadagi tok  $I_{yu} = (1 - M/N)I_0$  bo'ladi va chiqish quvvati  $P_{\Sigma} = P_1 N (1 - M/N)^2$  gacha tushib ketadi, bunda  $P_1$  - bitta aktiv elementning chiqish quvvati.

Balans qarshiliklarda  $P_{bal} = (N - M)P_1 - P_{\Sigma} = P_1 M (1 - M/N)$  quvvat ajraladi. Avariya rejimida ko'priksimon sxemalar FIK  $\eta_{av} = P_{\Sigma}/P_1(N - M) = 1 - M/N$ . Biroq bu ifodalar kuchaytirgichning ekvivalent EYuK va chiqish qarshiligi yuklamaga bog'liq bo'lmagan generator tomonidan qo'zg'atilgandagina doimo to'g'ri bo'ladi. Bunday generatorni **chiziqli** deb ataymiz.

Real sharoitlarda esa ko'priksimon kaskad nochiziqli generatoridan qo'zg'atiladi. Uning ekvivalent EYuK va chiqish qarshiligi yuklama rejimidan, natijada uning qarshiligiga bog'liq bo'ladi. Avariya rejimida ko'priksimon sxemalarning kirish qarshiligi ko'priksimon sxemasiga va rad etish turiga bog'liq ravishda shunchalik o'zgarib ketishi mumkinki, natijada oldingi kaskad zo'riqish rejimiga o'tadi. Bunday holda ko'priksimon sxemalarning kirishidagi kuchlanish kirishga chiziqli generator ta'sir qilgan holatdagidan kamroq bo'ladi, chunki qo'zg'atuvchi kaskad avariya rejimiga o'tsa, uning ekvivalent EYuK pasayadi. Demak, ishdan chiqmay qolgan tranzistorlarning qo'zg'alish darajasi ham pasayadi. Bu avariya rejimida chiqish quvvatini qo'shimcha kamayishga olib keladi. Agar bunday qo'shimcha quvvat yo'qotishni oldini olish kerak bo'lsa, oldingi kaskad kollektor kuchlanishining foydalanish koeffitsiyentini normal rejimda quyidagi formuladan topish kerak bo'ladi:

$$\xi_{norm} = \xi_{kr} \left( \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - 2 \frac{M R_0 P_q}{N U_{kkr}}} \right), \quad (3.2)$$

bunda,  $\xi_{kr}$  - kollektor kuchlanishidan kritik rejimda foydalanish koeffitsiyenti;  $P_q$  - normal sharoitlarda ko'priksimon kaskadning to'la qo'zg'alish quvvati;  $U_{kkr}$  - kritik rejimda oldingi kaskad tranzistoridagi kuchlanish amplitudasi;  $R_0 = R_{yu}$  - oldingi kaskad tranzistorining zo'riqishsiz ish rejimidagi kirish qarshiligi.

Agar (3.2) formula bo'yicha hisoblashda ildiz ostida manfiy qiymat paydo bo'lsa, bu degani  $R_0, P_q, U_{kkr}$  larni berilgan qiymatlarida

$N$  ta tranzistordan  $M$  tasining ishdan chiqishi natijasida yaroqli tranzistorlarni qo'zg'alishining pasayishi kuzatiladi.

Quvvatlarni ko'priksimon usulda qo'shish usulini generatorlar orasida ajratishni ta'minlay olmaydigan boshqa usullar bilan taqqoslagan holda shuni aytish mumkinki,  $N$  ta aktiv elementdan  $M$  tasining ishdan chiqishini har qanday ko'rinishida (qisqa tutashuv, uzilish va h.k.) ham ko'priksimon sxema yuklamasida quvvat ajaraladi. Quvvatlarni qo'shishning galvanik ajratishsiz usullari bunday kafolat bera olmaydi.

O'YuCh radiouzatuvchi qurilmalarida ko'priksimon kaskadlari mikropolosali uzatish liniyalari asosida, masalan halqasimon quvvat summatori ko'rinishidagi sinfazali ko'priksimon qurilmada bajariladi. Bunda liniya qirqmalari uzunligi  $\lambda/4$ , liniyalar to'lqin qarshiligi  $\rho = R_{yu}\sqrt{2}$  balans qarshiligi  $R_{bal} = 2R_{yu}$  bo'ladi. Ko'pincha quvvatlarni qo'shish uchun bog'langan mikropolosali liniyalarda bajarilgan kvadraturali ko'priksimon qurilmalar ishlatiladi:

- tandem summator;
- Lange ko'prigi (to'qnash-sterjen liniyalarda);
- kvadrat ko'prigi.

Quvvat bo'lgichlari sifatida qo'llaniladigan namunaviy kvadraturali ko'priksimon qurilmalarga tandem summatorlari va Lange ko'prigi qurilmalari misol bo'la oladi. Ularda kirish quvvati ikkiga bo'linib, kuchaytirgichlarning chiqish quvvatlari qo'shiladi.

3.14b-chizmadagi kvadraturali ko'prikn 3.10b-chizmada keltirilgan sinfazali ko'prik kirishlarini biriga  $\lambda/4$  uzunlikdagi liniya bo'lagini qo'shish yo'li bilan olish mumkin.

3.14b-chizmadagi ko'prik 3.14a-chizmadagi ko'prikdan ikkita afzalligi bor: u uchta liniyada bajarilgan va qarshilik transformatsiyasiga ega. Uning kamchiligi esa ballast qarshilikni yerga ulanmaganligi hisoblanadi.

Bog'langan liniyalardagi kvadraturali ko'prik (3.15-chizma) 3.10-3.14-chizmalardagi ko'priklarga qiyoslaganda nisbatan keng chastota oralig'ida samarali galvanik ajratishni ta'minlaydi.

Kvadraturali quvvat summator-bo'lgichlar amaliyot uchun muhim bir xususiyatga ega: butun bir kuchaytirgich kaskadi (trakti) chiqish qarshiligi doimo haqiqiy qiymatga ega (agar kuchaytirgichlarning kirish qarshiliklari o'zaro bir xil bo'lsa).

Aktiv elementlarni birgalikda umumiy yuklamaga ishlashining asosiy afzalliklarini keltiramiz:

- ikki taktli sxema quvvatni ikki marta oshiradi va chiqish tokining juft garmonikalarini so'ndiradi, bu esa yuqori garmonikalarni filtrlash muammosini osonlashtiradi;

- quvvatlarni qo'shishning ko'priksimon sxemasida aktiv elementlarni o'zaro mustaqil ishlash rejimiga erishiladi (AE ajratishi), bu esa AE parametrlarini turlicha bo'lishi, shuningdek avariya holatlari sharoitida ahamiyatlidir;

- kuchaytirishi taqsimlangan kuchaytirgichlarda aktiv elementlar guruhining qo'shilishi quvvatni ko'tarishga va kuchaytirgich chastota o'tkazish oralig'ini kengaytirishga imkon beradi (bir necha oktavagacha);

- bitta quvvati katta aktiv elementni shu quvvatni beruvchi aktiv elementlar guruhiga almashtirilishi AE issiqlik rejimini issiqlik oqimining tarqalishi hisobiga yengillashtiradi.

### 3.4. Quvvatlarni fazoda qo'shish

Quvvatlarni qo'shishni fazoda signal tarqatish va qabul qilishda fazalangan antenna panjarasi yordamida amalga oshirish mumkin. Ular hozirda keng qo'llanilmoqda. Fazalangan antenna panjarali qo'llanilgan radioelektron tizimlarda boshqariladigan elektron fazasurgichlar va almashlab ulagichlar (pereklyuchatel) dan foydalanish evaziga katta aniqlik bilan yo'nalish diagrammasi shaklini va holatini o'zgartirish, bir vaqtning o'zida bir necha mo'ljallarni tanlash va kuzatib borish mumkin.

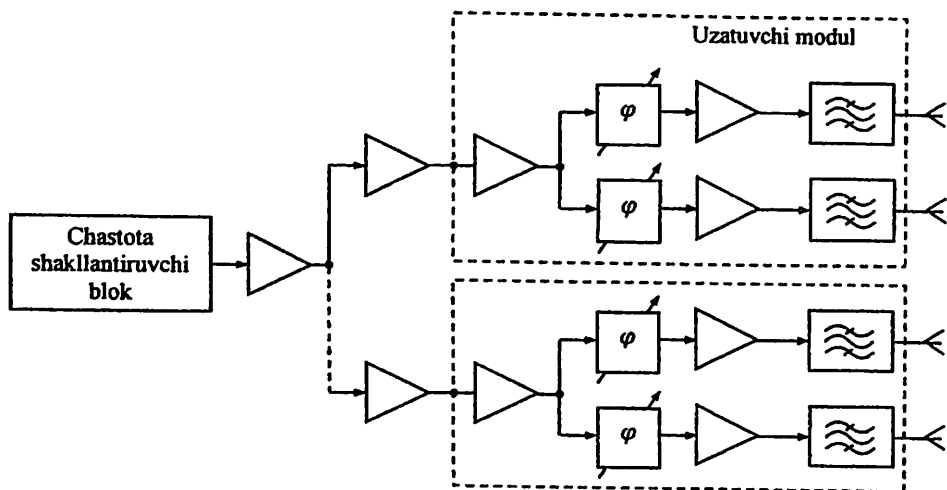
Fazalangan antenna panjarasi (FAP) yordamida fazoda ko'plab yuqori chastota generatorlari quvvatlarini samarali qo'shish mumkin. Ba'zi FAP tarkibiga kiruvchi nurlantiruvchi elementlar va kanallar soni bir necha o'n mingga borishi mumkin. FAP uchun signallarni shakllantiruvchi radiouzatuvchi qurilmalar oddiy radiouzatkichlarga qaraganda ancha murakkabdir. Lekin FAPli radioelektron tizimlarda berilgan yo'nalishda oddiy bir kanalli radiouzatkichda uzatish mumkin bo'lgandan ancha katta quvvat uzatilishi mumkin. Bundan tashqari, o'tkir burchak ostida yo'naltirilgan antenna panjaralaridan foydalanish bir vaqtda ishlayotgan radioelektron tizimlarning o'zaro bir-biriga ta'sirini kamaytiradi, ya'ni ularning elektromagnit moslashuvchanligini yaxshilaydi.

Fazalangan antenna panjaralari antenna sirti bo'yicha taqsimlangan nurlantiruvchi elementlar yig'indisidan iborat bo'lib, ularni chiqishidagi signallar fazasi bo'yicha shunday taqsimlanganki, ularning quvvatlari

fazoning berilgan yo'nalishida bir-biriga qo'shiladi. Buning uchun FAPning har bir kanalida kompyuterda boshqariladigan fazasurgichlar joylashtiriladi (3.16-chizma). FAP turlari:

- passiv FAP, ularda nurlantirgichlarni aktiv element-kuchaytirgichlari yoki avtogeneratorlari bo'lmaydi, radiouzatkichlar yagona qo'zg'atkich va ko'p kanalli quvvat kuchaytirgichiga ega bo'ladi;

- aktiv FAP (AFAP), ularda har bir kanalda xususiy kuchaytirgich yoki O'YuCh avtogeneratori bo'ladi, boshqarish tizimi hamma radiouzatkichlarning sinxron ishlashini ta'minlab beradi.



3.16-chizma. *Uzatuvchi aktiv fazalangan antenna panjarasining funksional sxemasi*

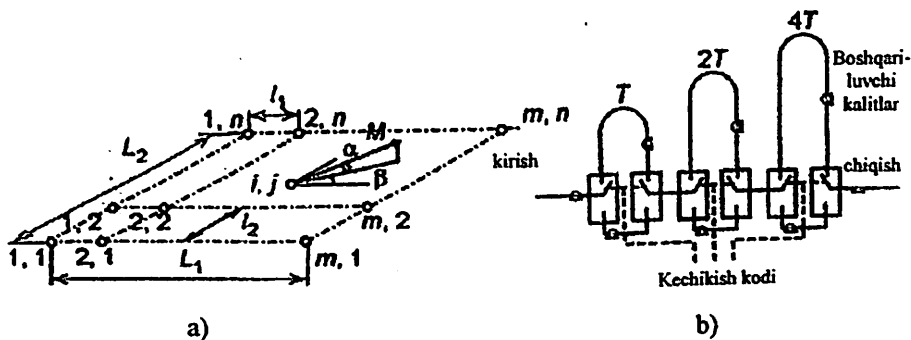
Faraz qilaylik, FAP nurlantiruvchi elementlari antenna aperturasi tekisligida to'g'ri burchakli to'r tugunlarida elementlar orasidagi minimal  $l_i$  va  $l_j$  masofada mos ravishda tekis taqsimlangan bo'lsin, berilgan nurlanish yo'nalishi  $M$  esa FAP simmetriya o'qlari va burchaklarga nisbatan xarakterlanadi (3.17a-chizma).

$M$  yo'nalishida shakli buzilmagan to'lqinning tekis frontini hosil qilish uchun nurlantirgichda istalgan nomer ostida to'lqinning fazoviy kechikishini kompensatsiya qilish kerak  $\Delta t_{ij} = (il_1 \cos \alpha + jl_1 \cos \beta)c$ , bunda  $i = 1, 2, \dots, -n$ ,  $j = 1, 2, \dots, -n$ ,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s – yorug'lik tezligi.

Agar, masalan,  $M$  yo'nalishida  $u_j(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + \varphi(t)]$  signalini shakllantirish kerak bo'lsa, u holda bunday signal fazodagi to'liqin frontida o'rin topadi, qachonki  $i, j$  nomerli FAP elementi quyidagi signalni nurlantirgan taqdirda

$$u_{ij} = U_0 \cos[\omega_0(t - \Delta t_{ij}) + \varphi(t - \Delta t_{ij})] = U_0 \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \Delta\varphi_{ij}(t)], \quad (3.3)$$

bunda,  $\varphi(t)$  – faza bo'yicha modulyatsiya qonuni.



3.17-chizma. Yassi antenna (a) va vaqt kechikishi boshqariluvchi qurilma (b)

Yuqorida olingan ifodadan kelib chiqadiki, signal kechiktirish liniyasi orqali  $\Delta t_{ij}$  kechikish vaqti bilan o'tkazilishi yoki fazasurgich orqali  $\Delta\varphi_{ij}(t) = -\omega_0 \Delta t_{ij} + \varphi(t - \Delta t_{ij}) - \varphi(t)$  faza siljishi bilan o'tishi kerak.

Vaqt bo'yicha kechiktirish diskret qurilmasi turli uzunlikdagi uzatish liniyalari bo'laklarini kommutatsiya qilish prinsipi bo'yicha bajariladi (3.17b-chizma). O'YuCh uzib-ulagich (pereklyuchatel)larida  $p - i - n$  diodlari, boshqariladigan sirkulyatorlar va boshqa elementlar qo'llaniladi.

Boshqariladigan fazasurgichlar yuguruvchi to'liqin lampalarida varaktorli diodlar asosida reaktiv elementlardan iborat diskret uzib-ulagichlar ko'rinishida yig'iladi.

Fazalangan antenna panjarasili radiouzatkichlarga qo'yiladigan asosiy talablar:

- antenna yo'nalishi diagrammasi holatini tezda elektron boshqarish imkoniyati;
- fazodagi nurlantirish yo'nalishida katta quvvat olish.



Xulosa qilib aytganda, FAPli radiouzatkichlar qurishning xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- berilgan quvvat yig'indisini olish uchun quvvat bo'lgichlari orqali tarqatiladigan bir kanalli qo'zg'atkichdan foydalaniladi va signal har bir kanaldagi kechiktirish qurilmasi FAP nurlantirgichlariga uzatiladi;

- sxemadan katta quvvatli qo'zg'atkichni olib tashlash uchun fazalangan avtogeneratorlariga ega bo'lgan va to'g'ridan-to'g'ri FAP bo'linish chegarasida joylashgan aktiv antenna panjaralari ishlatiladi, ular tuzilishi jihatidan kuchaytirgichlardan soddarroq bo'ladi;

- avtogeneratoridagi rezonans tizimning elektron sozlanishi boshqariladigan sig'imli elementlar – varikaplar yordamida amalga oshiriladi;

- avtogeneratorli radiouzatkichlarning fazalash tizimi to'liq boshqariladigan fazasurgichlarda quriladi;

- FAP faza generatorida fazaviy siljish sinxronlashtirish signali kerak bo'lgan sinxronlash chastotasidan yanada kichik bo'lishi mumkin, bunda faza bo'yicha boshqarish xarakteristikasi tikligi ko'tarilishi mumkin;

- tashuvchi signal fazasining barqarorligiga qo'yilgan qattiq talablarni e'tiborga olinsa, fazani ilgarilab ketishini avtomatik sozlash tizimini qo'llash maqsadga muvofiqdir, FAPli radiouzatkichlarlar strukturasi tanlashda boshqarish maqsadlari uchun raqamli prosessor ko'zda tutiladi.

### ***Nazorat savollari***

1. *Quvvat kuchaytirgichning chiqish quvvatini oshirish qanday usullar orqali amalga oshiriladi?*

2. *Parallel ulangan AElardagi QK sxemasini chizing va ishlash prinsipiini tushuntiring.*

3. *Reaktiv simmetriklovchi zanjirlar asosidagi quvvat kuchaytirgich sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*

4. *AEni parallel ulanish sxemasining asosiy kamchiliklari nimalardan iborat?*

5. *AElar ikki taktli ulanishili quvvat kuchaytirgich funksional va prinsipial sxemasini chizing.*

6. *QK ikki taktli ulanishi qanday afzalliklarga ega?*

7. Aktiv elementlarni ikki taktli va parallel ulanish sxemalar kombinatsiyasi qachon ishlatiladi?

8. Ko'priksimon qurilma deb qanday qurilmaga aytiladi?

9. Ko'priksimon quvvat kuchaytirgichning funksional sxemasini chizing.

10. Quvvat kuchaytirgichlarida aktiv elementlarni ulash ko'priklari qanday ko'rinishlarda bo'lishi mumkin?

11. Ko'priklarni kaskadli ulash, ko'p qutbli va kombinatsiyali ko'p qutbli ulash quvvat kuchaytirgichlarining funksional sxemalarini chizib bering.

12. Aktiv elementlarni birgalikda umumiy yuklamaga ishlashining asosiy afzalliklarini aytib bering.

13. Quvvatlarni fazoda qo'shish qanday qurilma yordamida amalga oshiladi?

14. FAPli radiouzatkichlarga qanday talablar qo'yiladi?

## 4. QUVVAT KUCHAYTIRGICHLARDA TA'MINOT, SILJITISH VA MOSLASHUV ZANJIRLARI

Quvvat kuchaytirgich tarkibiga aktiv element, tok bilan ta'minlash, siljitish va moslashuv zanjirlari kiradi. Tashqi zanjirlar elementlarini hisoblash uchun aktiv element rejimini hisoblash natijasida olingan quyidagi elektr kattaliklar xizmat qiladi:

- ta'minot manbai kuchlanishi  $E_m$  va siljitish kuchlanishi  $E_s$ ;
- aktiv element yuklamasining optimal qarshiligi  $R_k$  (tranzistor ekvivalent sxemasidagi tok generatori chiqishlariga qayta hisoblangan qiymati);
- aktiv element kirish qarshiligi  $Z_{kir} = R_{kir} + jX_{kir}$  (yoki kirish o'tkazuvchanligi  $Y_{kir} = G_{kir} + jB_{kir}$ ).

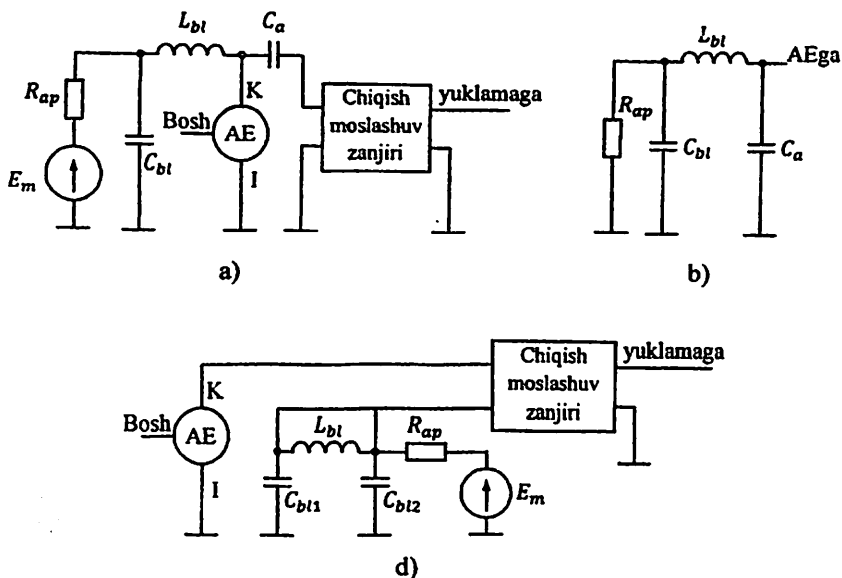
### 4.1. Ta'minot zanjirlari

**Ta'minot zanjirlari** (TZ) o'zgarmas tok kuchlanishi  $E_m$ , blokirovka va ajratish elementlaridan iborat (4.1-chizma). Ta'minot zanjirlarining ikki turi mavjud:

- 1) parallel – bunda ta'minot manbai  $E_m$ , aktiv element va moslashuv zanjiri bir-biriga parallel ulangan (4.1a-chizma);
- 2) ketma-ket – bunda ta'minot zanjirining hamma elementlari ketma-ket ulangan va moslashuv zanjiri tok o'tkazadi deb olinadi (4.1d-chizma).

Blokirovka elementlari  $C_{bl}$  va  $L_{bl}$  lar ta'minot manbaida ro'y beradigan yuqori chastotali quvvat yo'qotishlarini bartaraf qilish uchun va uzatkich kaskadlari orasida ta'minot manbai orqali vujudga keladigan noxush aloqaning oldini olish uchun mo'ljallangan.

Ajratuvchi elementlar  $C_a$  parallel ta'minot zanjirlari ishlatilganda berilgan va keyingi kaskadlar aktiv elementlarini o'zgarmas tok bo'yicha bir-biridan ajratishga xizmat qiladi. Blokirovka va ajratish elementlari aktiv elementning o'zgaruvchan tok bo'yicha ish rejimiga ta'sir etmasligi kerak.



4.1-chizma. QKda AE ta'minot zanjirining sxemalari:  
 a) – parallel; b) – PCh uchun ekvivalent; d) – ketma-ket.

Ta'minlashning parallel sxemasi uchun

$$1/(\omega_{min} C_a) \ll R_k; \quad \omega_{min} L_{bl} \gg R_k$$

ifodalari o'rinlidir, bunda  $\omega_{min}$  – ishchi diapazon minimal chastotasi.

Blokirovka sig'imi  $C_{bl}$ ,  $L_{bl}$  va  $C_a$  bilan birgalikda kuchaytirgichning ishchi chastotasidan ancha kichik bo'lgan chastotaga sozlangan tebranish konturini hosil qiladi. Konturning rezonans chastotasida yuqori chastotali tebranishlar borligida aktiv element manfiy qarshilik xususiyatiga ega bo'ladi, bu esa parazit tebranishlarning yuzaga kelishiga sabab bo'ladi. Ularni yo'qotish uchun antiparazit qarshilik  $R_{ap}$  qo'llaniladi va maksimal tekis so'nish xarakteristikasiga ega bo'lgan past chastota filtri kabi tok manbai zanjiri kiritiladi. Bu holda  $C_{bl} \approx C_a$ ;  $R_{ap} = \sqrt{L_{bl}/(2C_{bl})}$  bo'ladi. Bunda elementlar qiymatini hisoblash ketma-ketligi quyidagicha bo'ladi:

- 1)  $\omega_{min} L_{bl} \gg R_k$ ;
- 2)  $R_{ap} \leq 0,1 R_k$ ;
- 3)  $C_{bl} = L_{bl}/(2R_{ap}^2) \approx C_a$ .

Ketma-ket ta'minlash zanjiri uchun shunga o'xshash ravishda

$$\begin{aligned} 1) & 1/(\omega_{min} C_{bl1}) \leq 0,1R_k; \\ 2) & R_{ap} \leq 0,1R_k; \\ 3) & L_{bl} = C_{bl1} R_{ap}^2. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Ketma-ket ta'minlash zanjirida ikkinchi blokirovka sig'imi  $C_{bl2}$  ishtirok etganda (4.1d-chizma) elementlarni hisoblash formulalari parallel zanjirnikidagidek o'zgarasdan qoladi, ammo hisoblash tartibi boshqacha bo'ladi, ya'ni

$$\begin{aligned} 1) & 1/(\omega_{min} C_{bl1}) \leq 0,1R_k; \\ 2) & R_{ap} \leq 0,1R_k; \\ 3) & C_{bl2} \approx C_{bl1}; \\ 3) & L_{bl} = 2C_{bl1} R_{ap}^2. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Ketma-ket sxemaning parallel sxemadan afzalligi shundaki,  $R_{ap}$  ning bir xil qiymatlarida  $C_{bl}$  va  $L_{bl}$  qiymatlari ancha kichik bo'ladi.

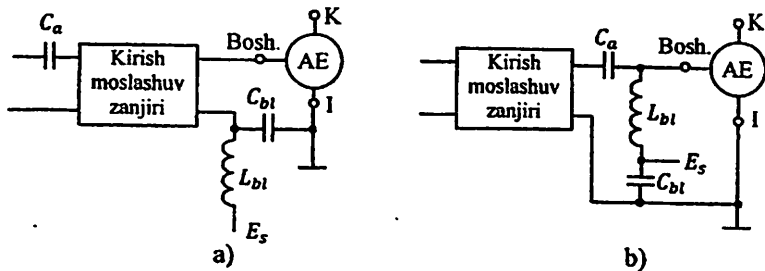
## 4.2. Siljitish zanjirlari

**Siljitish zanjiri** (SZ) o'zgaras kuchlanish manbai  $E_s$  va blokirovka elementlaridan iborat bo'ladi. Siljitish zanjirlari ikki tur bo'ladi:

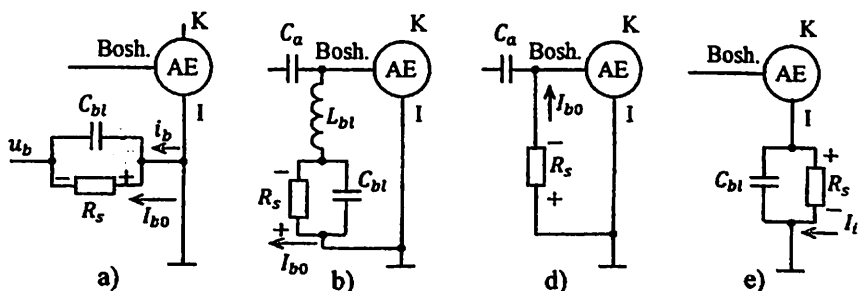
- ketma-ket yoki parallel qayd qilingan (o'zgaras siljish kuchlanishi beruvchi);

- avtomatik siljitish zanjiri. Bunda avtosiljitish  $R_s$  – avtosiljish qarshiligida kirish tokining o'zgaras tashkil etuvchisi oqayotgan paytda hosil bo'ladigan kuchlanish tushuvi natijasida paydo bo'ladi.

4.2- va 4.3-chizmalarda siljitish sxemalarining variantlari keltirilgan.



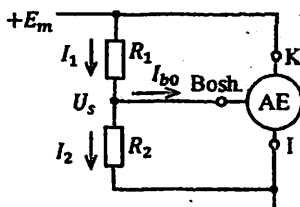
4.2-chizma. Qayd qilingan siljitish sxemalari: a) – ketma-ket; b) – parallel.



4.3-chizma. Avtosiljitish sxemalari: a) – ketma-ket; b) – parallel; d) – soddalashtirilgan parallel; e) –  $I_{10}$  tokidagi.

Qayd qilingan (qo'zg'almas) siljitish sxemalarida yoki alohida qayd qilingan tok manbai  $E_s$  yoki o'zgarmas (doimiy) kuchlanish  $E_m$  manbai ishlatiladi, bu holda siljish kuchlanishi  $R_1 - R_2$  rezistorli kuchlanish bo'lgichidan beriladi (4.4-chizma). Bu sxemada  $U_s = E_m - I_1 R_1$ ,  $I_1 = I_{B0} + I_2$ ;  $I_2 = U_s / R_2$ . Bundan

$$U_s = E_m \frac{R_2}{R_1 + R_2} - I_{B0} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}; \quad R_2 \gg |Z_{ktr1}|.$$



4.4-chizma. Ta'minot manbai siljitish sxemasi

Siljish kuchlanishi manba kuchlanishi  $E_m$  kabi qutblarga ega bo'lib, ikki tashkil etuvchidan iborat:

1) manba kuchlanishi va kuchlanish bo'lgichidan ( $R_1 - R_2$ ) keluvchi o'zgarmas kuchlanish;

2) parallel ulangan  $R_1$  va  $R_2$  dan kirish toki  $I_{B0}$  oqishi natijasida qujudga keladigan avtosiljish.

Avtosiljitish zanjirlarida (4.3a-d-chizmalar) siljish kuchlanishi aktiv element boshqaruvchi elektrodi tokining doimiy tashkil etuvchisi hisobiga ( $I_{B0}$ ) paydo bo'ladi, ya'ni aktiv elementning to'g'rilash xususiyatidan kelib chiqqan holda. Agar  $R_s \gg |Z_{kir}|$  bo'lsa, avtosiljitish qarshiligidagi quvvat  $P_{kir}$  yo'qotishlarini hisobga olmas ham bo'ladi, bunda  $U_s = I_{B0}R_s$  va  $R_s = U_s/I_{B0}$ ,  $|Z_{kir}|$  - kirish qarshiligining moduli.

4.3-chizmada ko'rsatilgan sxemada  $R_s$  orqali  $I_{B0}$  istok toki oqadi. Bu yerda siljitish kuchlanishi  $R_s$  ning o'sha qiymatida bir qancha katta bo'lishi mumkin, chunki  $U_s = I_{B0}R_s = (I_{B0} + I_{K0})R_s$ , bunda  $I_{K0}$  - kollektordagi o'zgarmas tok bo'lib,  $I_{K0} \gg I_{B0}$ .  $I_{K0}$  qiymati aktiv element ishchi rejimidan topiladi (2.2-bo'limga qarang).

Bipolyar tranzistorlarda yig'ilgan sxemalarda  $I_{B0}$  - rekombinatsiya toki,  $I_{B0} = I_{K0}/B$ ,  $B$  - tranzistorning kuchaytirish koeffitsiyenti.

Maydoniy tranzistorlarda  $I_{B0}$  - zatvorning boshlang'ich toki, u bir milliamper atrofida bo'ladi. Shuning uchun maydoniy tranzistorlarda yig'ilgan quvvat kuchaytirgichlarida qayd qilingan (qo'zg'almas) siljish kuchlanishi yoki 4.3e-chizmada ko'rsatilgan sxema bo'yicha avtosiljitish qo'llaniladi. Bu sxemaning kamchiligi  $R_s$  qarshiligida ortiqcha quvvat ajralishi hisoblanadi.

Siljitish sxemalarini taqqoslashdan quyidagilar kelib chiqadi:

- istalgan qutblardagi istalgan siljitish kuchlanishlarini  $U_s$  hosil qilish mumkin;

- avtosiljitish uchun alohida o'zgarmas kuchlanish manbai talab qilinadi;

- maxsus tok manbaiga ega bo'lish shart emas;

- faqat manfiy qutbli siljish kuchlanishi (mavjud bo'lganda) mumkin bo'lgan kesish burchaklari  $\theta$  diapazonini chegaralab qo'yadi.

Bipolyar tranzistor optimal rejimi uchun siljish kuchlanishi boshqaruvchi zaryad birinchi garmonikasining amplitudasi ( $Q_{B1}$ ) ga bog'liq, natijada kirish quvvati  $P_{kir}$  ga bog'liq bo'ladi

$$U_s = U_{kes} - \gamma_0(\pi - \theta)Q_{B1}/C_e,$$

bunda,  $\gamma_0$  – Furye yoyish koeffitsiyenti;  $\gamma_0 = f(\theta)$ ;  $\theta$  – kesish burchagi;  $C_e$  – tranzistorning baryer sig'imi.

Qo'zg'almas siljitish zanjirlaridan foydalanish kirish quvvati  $P_{kir}$  ni o'zgarishi tranzistorning o'zgarish tok bo'yicha ish rejimining optimal qiymatidan o'zgarib ketishiga olib kelishi sababli, maqsadga muvofiq emas. Bunda kombinatsiyalashgan siljitish qo'llaniladi: tranzistor bazasiga  $E_s = U_{kes}$  kuchlanishi beriladi va  $U_{avt} = -\gamma_0(\pi - \theta)Q_{B1}/C_e$  avtosiljitish ta'minlanadi.

$R_s$  qiymatini aniqlaymiz. Avtosiljish baza toki  $I_{B0} = I_{K0}/B$  bilan berilayotgan bo'lsin, u holda  $-I_{B0}R_s = -\gamma_0(\pi - \theta)Q_{B1}/C_e$  bo'ladi, bundan  $I_{K0} = \gamma_0(\theta)\omega_t Q_{B1}$  va  $f_t = Bf$  ekanligini e'tiborga olib, siljish qarshiligi uchun quyidagini olamiz

$$R_s = \frac{\gamma_0(\pi - \theta)\tau_\beta}{\gamma_0(\theta)C_e}, \quad (4.4)$$

bunda,  $\tau_\beta$  – rekombinatsiya vaqti, ya'ni asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti;  $f_t$  – aktiv elementning chegaraviy ishchi chastotasi.

Shunday qilib, talab etilayotgan siljitish siljish qarshiligi  $R_s$  va  $U_{kes}$  o'zgarish kuchlanishlar bilan ta'minlanadi.

4.4-chizmadagi siljitish sxemasi uchun kerakli rejim agar  $E_m R_2 / (R_1 + R_2) = U_{kes}$ ;  $R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = R_s$  bo'lganda o'rnatiladi.

Bipolyar tranzistorlardagi siljitish zanjirlari quyidagi *xususiyatlarga* ega:

1. Kesish burchagi  $\theta = 90^\circ$  bo'lganda  $R_s = \tau_\beta / C_e$  bo'ladi va bunda  $R_s$  sifatida korreksiyalovchi rezistor –  $R_{z\ korr}$  ( $R_{z\ korr} = \tau_\beta / C_e$ ) ishlatilishi mumkin.

2.  $R_2$  qarshilikni keng harorat oralig'ida stabillash uchun tranzistor tayyorlangan materialdan tayyorlangan dioddan foydalaniladi. Bu diod ochiq holatda bo'lganda  $U_{kes}$  kuchlanishi qiymati tashqi harorat keng diapazoni o'zgarsa ham saqlanib qoladi.

3. Blokirovka elementlaridan tashkil topgan konturlar rezonans chastotalarida vujudga keladigan parazit tebranishlarni bartaraf qilish uchun siljitish zanjiriga antiparazit qarshilik  $R'_{ap} = L'_{bl} / (2C_{bl})$  kiritiladi.



### 4.3. Moslashuv zanjirlari

#### 4.3.1. Moslashuv zanjirlariga bo'lgan talablar

Ma'lumki quvvat kuchaytirgichdagi AE uchun eng qulay rejim kritik ish holatidir. AE kritik ish holatida ishlashi uchun uning chiqish qismiga  $R_{chliq} = R_{nkr}$  qarshilikni ulash kerak. Lekin ko'p hollarda yuqori chastotali signallarni qabul qiluvchi qurilmalarning qarshiligi xususan antenaning  $Z_n$  qarshiligi o'zgaruvchan bo'lib,  $R_{nkr}$  qarshilikdan ancha farq qiladi va chastotaga bog'liq bo'ladi. Antenaning bu qarshiligi chiqish kaskadi uchun yuklama qarshiligi bo'lib xizmat qiladi. Oraliq kaskadlar uchun esa undan keyingi kaskadlarning kirish qarshiligining yuklamasi bo'ladi. Bundan shuni aytish mumkinki, moslashuv zanjiri (MZ) ning asosiy vazifasi yuklama qarshiligini AEning chiqish qarshiligiga moslab berishdir. MZning ikkinchi vazifasi – yuqori garmonikalarni filtrlab berishidir. RUQLarda parazit to'lqinlarni yo'qotishga katta talablar qo'yiladi. Chiqish kaskadining yuqori ishchi bo'lmagan garmonikalari yuklamada quvvat paydo qilishi kerak emas. Oraliq kaskadlarda ishlatilayotgan MZlarga bo'lgan talablar bir muncha pastroqdir, lekin shu bilan birga qarshiklarni yaxshi moslashtirish uchun MZ elementlarini shunday tanlash kerakki, keyingi kaskadning kirish qismidagi tok garmonik ko'rinishga ega bo'lishi kerak. Odatda lampali kaskadlar uchun kritik qarshilik  $R_{nkr} = 1000-5000$  Om ni, tranzistorli kaskadlar uchun esa  $R_{nkr} = 20-200$  Om ni tashkil etadi.

Moslashuv zanjirlari ikki xil bo'ladi.

1. Bitta ishchi chastotada moslaydigan zanjirlar. Bunday zanjirlarda  $f_{kir}$  chastota o'zgarganda moslashuv zanjirini qaytadan sozlash lozim bo'ladi. Ular *tor polosali moslashuv zanjirlari* deyiladi.

2. Berilgan ( $f_{yu} - f_q$ ) chastotalar oralig'ida moslashuvchi zanjirlar. Bu holda qarshiliklarni moslash ( $Z_n = R_{nkr}$ ) berilgan chastota o'raliq'ida amalga oshiriladi. Bunday moslashuv zanjirlarida kirishdagi chastota  $f_{kir}$  o'zgarishi bilan MZni qaytadan sozlash shart bo'lmaydi. Bu zanjirlar *keng polosali moslashuv zanjirlari* deyiladi. Ular tor polosali zanjirga nisbatan birmuncha qulaylikka egadir. Moslashuv zanjirlarida quvvat sarf bo'lishi kuzatilganligi tufayli, buni loyihalash vaqtida nazarda tutish kerak.

Moslovchi zanjirlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

1. Asosiy  $\omega$  chastotada yuklamaning  $Z_n(\omega)$  kompleks qarshiligini umumiy holda  $Z_{ktr}(\omega)$  kompleks qarshiligiga o'zgartirib berishi kerak va u artiv element (AE) uchun optimal ( $R_{ekv}$  qarshilikka yaqin yoki unga teng bo'lgan) hisoblanadi. Aks holda generator foydasiz ish holatida ishlaydi, bunda uning chiqish quvvati va foydali ish koeffitsiyenti kamayadi, shuningdek, uzatiladigan signalning buzilishi vujudga keladi. Xususan, agar ikkinchi kaskad uzatkichning oxirgi kaskadi bo'lsa, uning yuklamasi to'g'ridan-to'g'ri antennaning  $Z_A(\omega)$  kirish qarshiligi, yoki fiderning  $Z_F(\omega)$ , yoki antennadan oldin quyiladigan moslashtirish qurilmasining  $Z_{MQ}(\omega)$  qarshiligi, yoki yuqori garmonikalarini so'ndirish uchun uzatkich chiqishiga qo'yiladigan chiqish tebranish tizimining kirish qarshiligi bo'lishi mumkin. Kaskadlararo zanjirlarda yuklama sifatida keyingi kaskaddagi AEning kirish qarshiligi xizmat qiladi, u oldingi kaskad AE uchun optimal  $Z_{ktr}(\omega)$  qarshilikka o'zgartirilishi kerak. Birinchi kuchaytirish kaskadning kirish qarshiligi avtogenerator yoki uning bufer kaskadi, yoki uzatkich qo'zg'atgichi yoki chastota sintezatori uchun optimal yuklamaga yaqin bo'lgan  $Z_{ktr}(\omega)$  qarshilikni ta'minlash kerak bo'ladi.

2. Chiqish va kaskadlararo aloqa zanjirlarining ma'lum kirish qarshiliklarini  $Z_{kir}(n\omega)$  yuqori garmonikalar chastotalarida va shunga o'xshash, chiqish va kaskadlararo aloqa (moslovchi) zanjirlarining ma'lum chiqish qarshiliklarini  $Z_{chiq}(n\omega)$  ta'minlashi kerak. Bu shunga bog'liqlik, katta quvvatli kaskadlarda AE nochizikli ish holatida ishlaydi. Tashqi qo'zg'atishli generatorning ko'p sxemalarida bu qarshiliklarning qiymatlarini nisbatan kichik yoki ularning asosiy chastotadagi qiymatlariga solishtirilganda nisbatan yuqori bo'lishini ta'minlash yetarli. Masalan, rezonans yuklamali lampali tashqi qo'zg'atishli generatorlarda odatda  $|Z_{ktr}(n\omega)| \ll |Z_{ekv}(\omega)|$ ,  $|Z_{chiq}(n\omega)| \ll |Z_{ktr}(\omega)|$ , shart bajariladi va shu bilan birga lampa anodida va kirishida kuchlanishni garmonik shaklga yaqin bo'lishi ta'minlanadi. Biroq bigarmonik ish holatida ishlaydigan generatorlarda va shakllantiruvchi konturli kalitli generatorlarda aloqa zanjirlari yuqori garmonikalar chastotalarida ma'lum kirish va chiqish qarshiliklariga ega bo'lishi kerak. Bundan tashqari, aloqa zanjirlari parazit tebranishlarni vujudga kelish xavfini minimumgacha kamaytirish, yoki umuman bo'lmasligiga erishishi uchun aloqa zanjirlari ko'proq pastroq va ish diapazonidan yuqori chastotalarda yetarlicha yuqori kirish va chiqish qarshiliklarini ta'minlashi kerak bo'ladi.

3. Parazit tebranishlarning quvvatlari ruxsat etilgan qiymatdan oshib ketmasligi uchun yuklamadagi yuqori garmonikalarni filtrlash kerak (keyingi kaskad kirishida, antennada yoki uning oxirgi kaskad uchun moslashtirish qurilmasida).

4. Sezilsiz quvvat yo'qotishlarini kiritish, ya'ni asosiy chastotada aloqa zanjirining yuqori foydali ish koeffitsiyentini ta'minlash.

5. Keng diapazonli generatorlarda ishchi chastotalar diapazonida berilgan xarakteristikalarni saqlab qolish. Xususan, ularni qurishda ishchi chastotaning ortishi bilan elektron asbob kirish va chiqish sig'implari o'tkazuvchanliklari va ularning chiqishlari induktiv qarshiliklarining ortishini hisobga olish zarur bo'ladi. Bundan tashqari keng diapazonli aloqa zanjirlarida elektron asbob quvvati bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini chastotaga bog'liqligining kamayishini kompensatsiyalash ko'zda tutilishi mumkin.

6. Berilgan tebranishlar quvvati, toklar va kuchlanishlarda ishlashni ko'zda tutadi.

Oxirgi kaskad chiqish moslashuv zanjirlarini qurishda berilgan o'tkazish oralig'ini (yoki ishchi chastotalar diapazonini), maksimal foydali ish koeffitsiyentini va tebranish quvvatini yuqori sathida ishlash imkoniyatini saqlagan holda yuklamada yuqori garmonikalarni filtrlashni yuqori darajada olishga tegishli qarama-qarshi talablar qo'shiladi. Shuning uchun bu yerda ko'pincha yuqori garmonikalarni filtrlash masalasi uzatgichning alohida o'rnatiladigan chiqishdagi tebranish tizimiga yuklanadi.

#### 4.3.2. Tor polosali quvvat kuchaytirgichlari moslashuv zanjirlari

*Tor polosali quvvat kuchaytirgichlari* deb nisbiy ishchi chastota oralig'i bir foiz atrofida bo'lgan kuchaytirgichlarga aytiladi (maksimal chastota qiymatining minimal qiymatga nisbati 1,3...1,5 dan oshmaydi).

*Kirishdagi moslashuv zanjiri* quyidagilarni ta'minlaydi:

- qo'zg'atkich yuklama qarshiligiga maksimal quvvat berishni ta'minlaydi, ya'ni aktiv elementning kirish qarshiligi  $Z_{kir}$  ni  $R_{qo'iz}$  ga aylanishi maksimal bo'ladi;

- aktiv element kirishidagi kuchlanish  $U$  va tok  $I$  shakllari garmonik ko'rinishda bo'ladi, ya'ni filtr vazifasi bajariladi.

*Chiqishdagi moslashuv zanjiri* ta'minlaydi:

- aktiv elementning optimal rejimi uchun kerak bo'lgan kollektor qarshiligi  $R_K$  ga quvvat kuchaytirgichi yuklama qarshiligini to'raligicha aylantirib berish;

- aktiv element kollektor kuchlanishini filtrlash.

*Kaskadlararo moslashuv zanjirlari* quyidagilar uchun mo'ljallandi:

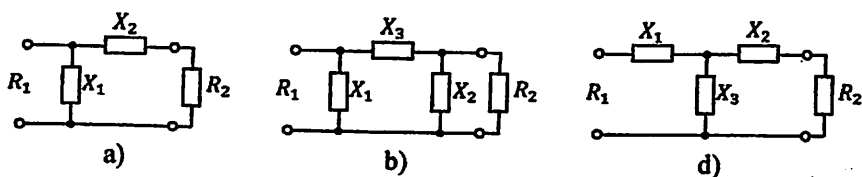
- keyingi kaskad aktiv elementi kirish qarshiligini oldingi kaskad aktiv elementi kollektorining optimal qarshiligiga o'zgartirish  $R_K$ ;

- kaskadning kirishidagi va chiqishidagi kuchlanish va toklarning garmonik shaklini ta'minlash.

Shunday qilib, moslashuv zanjirlari ikkita turli vazifani bajaradi, birinchidan qarshilikni o'zgartiradi, ikkinchidan kuchlanish va tokni filtrlaydi. Bunda ular kerakli chastota o'tkazish oralig'ini ta'minlab berishi (AChX, FChXlar quvvat kuchaytirgichi uchun) va kam miqdorda xususiy yo'qotishlarga ega bo'lishi lozim.

Chiqish kaskadlari moslashuv zanjirlariga garmonikalar filtratsiyasi bo'yicha qattiq talablar qo'yiladi: radiouzatuvchi qurilmalarni vazifasi, quvvati va chastota diapazoniga bog'liq ravishda ortiqcha (nomaqbul, ikkichlamchi) nurlanishlar quvvati  $25 \cdot 10^{-6} - 10^{-3}$  Vt dan oshmasligi kerak.

Sodda moslashuv zanjirlari sifatida  $\Gamma$ -;  $\Pi$ -; va T-simon reaktiv to'rtqutbliklar yoki ularning o'zaro aralashgan variantlari qo'llaniladi (4.5-chizma).



4.5-chizma. a) –  $\Gamma$ -simon; b) –  $\Pi$ -simon; d) – T-simon reaktiv to'rtqutbliklar shaklidagi moslashuv zanjirlari

Misol tariqasida reaktiv elementlarining funksiyalari aniq belgilangan  $\Gamma$ -simon to'rtqutblik ishlashini ko'rib chiqaylik: 1)  $jX_2$  elementi  $R_2$  qarshilikni talab qilingan  $R_1$  qarshilikka o'zgartirib beradi; 2)  $jX_1$  elementi yuzaga keladigan reaktiv tashkil etuvchini bartaraf etadi.

Moslashuv zanjirlarini tanlashda quyidagi shartlarni e'tiborga olish zarur.

1. Moslashuv zanjiri soddaroq bo'lishi uchun uning tashkil etuvchilari (komponentlari) sifatida aktiv elementning ekvivalent sig'imi va induktivligidan foydalanish maqsadga muvofiq.

2. Yuklamaga ulangan moslashuv zanjirining aslligi katta bo'lishi ( $Q > 3-5$ ) lozim, faqat shundagina zanjir filtrlash xususiyatlariga ega bo'ladi.

3. Yuklama qarshiligining haqiqiy qismi kichik bo'lsa (bir necha Om), u holda zanjirning filtrlash xususiyatlarini saqlab qolish uchun yuklamani konturga ketma-ket ulash, agar bu qarshilik nisbatan kattaroq bo'lsa (bir necha o'n va yuzlab Om) yuklamani konturga parallel ulash lozim. Bu narsa manbaning ichki qarshiligiga ham tegishli.

4. Kirish zanjirining quvvat bo'yicha uzatish koeffisiyentini oshirish uchun uning xususiy aslligini oshirish kerak  $Q = \sqrt{L/C}/r_{yoiqot}$ . Har bir chastota diapazonida induktiv aslligi  $Q_L$  ning maksimal qiymatiga, natijada  $Q_0$  ning maksimal qiymatiga mos keladigan induktivlik  $L$  ning optimal qiymatlari mavjud.

#### 4.3.3. Keng polosali quvvat kuchaytirgichlari moslashuv zanjirlari

*Keng polosali quvvat kuchaytirgichi* deb ishchi diapazon chastotasining maksimal qiymatini uning minimal qiymatiga bo'lgan nisbati 1,5...2 dan oshmagan, ya'ni o'n va undan ortiq foizlarni tashkil etadigan kuchaytirgichlarga aytiladi.

Ideal moslashuv zanjirlari ishchi chastotaning hamma diapazonida o'zgarmas kirish qarshiligiga ega bo'lishi kerak. Bu shart hamma vaqt ham bajarilmaydi. Amalda kirish qarshiligini quyidagi ruxsat etilgan og'ishi beriladi  $\Delta Z_{ktr} = \Delta R_{ktr} + j\Delta X_{ktr}$ .

Keng polosali moslashuv zanjirlari asosan uch ko'rinishda bajariladi.

1. Past chastota filtri asosidagi moslashuv zanjiridan, agar  $f_{max}/f_{min}$  nisbati 3-5 dan oshmagan taqdirda foydalaniladi. Moslashuv zanjirlari bunda ketma-ket ulangan  $\Gamma$ -simon zanjirlardan iborat bo'ladi. Bu zanjirlar uchun quyidagi xususiyatlar xarakterlidir:

- kirish qarshiligi yuklama qarshiligidan katta:  $R_{ktr} MZ > R_{yuk}$ ;
- $C_1$  sig'imi kirish kuchlanishi filtrlanishiga ko'maklashadi;
- $L_3$  induktivlik chiqish toki filtrlanishiga yordam beradi.

*Afzalliklari* – aktiv element elektrodleri orasidagi sig'implar va induktivliklardan past chastota filtri sifatida foydalanish imkoniyati mavjudligidan iborat.

Past chastota filtri bazasidagi moslashuv zanjirlarini hisoblash jarayoni bizga ma'lum bo'lgan filtrlarni loyihalash usullariga tayanadi. Eslatib o'tish lozim,  $f_{max}$  qiymati mujassamlashgan LC elementlarini yaratish imkoniyatini belgilab beradi, bu qiymat bir necha gigagersni tashkil etadi.

2. Magnit aloqali transformatorlar asosidagi moslashuv zanjirlari bitta funksiyani –  $f_{max}/f_{min} < 50$ ; 10 MHz chastotalargacha bo'lgan oraliqda qarshiliklarni o'zgartirishni bajaradi.

Bunday moslovchi transformatorlar halqasimon ferritlarda yig'iladi. Bunda transformatorlash koeffitsiyenti  $N = R_{kir}/R_{yuk} = \omega_1/\omega_2$ , bunda  $\omega_1$  va  $\omega_2$  – mos ravishda transformatorning birlamchi va ikkilamchi o'ramlarining soni.

3. "Transformator–liniya" (T–L) qurilmalari negizidagi moslashuv zanjirlari tebranish manbaidan yuklamaga qarab tarqalayotgan ikki o'tkazgichli uzatish liniyasini hosil qiluvchi ikki o'ramli toroidal yoki sterjen ferrit o'zagidan iborat. Bunday transformator o'ramlaridan oqayotgan toklar o'zaro teng bo'lib, qarama-qarshi yo'nalgani sababli, bu toklar o'zakda deyarli magnit oqimini hosil qilmaydi. "Transformator–liniya" qurilmalari negizidagi moslashuv zanjirlarida quvvat yo'qotish yig'indisi 0,05–0,1 dB dan oshmaydi.

Bitta "T–L" qurilmasini sodda ulanishida transformatsiya koeffitsiyenti  $N = 1$  ga teng bo'ladi. Bu ko'rsatkichga erishish uchun bir necha bir xil T–L qurilmalarini parallel va ketma-ket ulangan variantlaridan foydalaniladi. Agar 3 ta T–L qurilmasini shunday ulasakki, bunda ularni kirishi parallel ulangan bo'lib, chiqishi ketma-ket ulangan bo'lsa, u holda  $N = 9$  bo'ladi. Haqiqatan ham yuklamadagi tok amplitudasi  $I_{yuk} = I_{kir}/3$ , kuchlanish amplitudasi  $U_{yuk} = 3U_{kir}$  bo'lsa,  $R_{kir} = U_{kir}/I_{kir} = R_{yuk}/9$  bo'ladi, bunda  $R_{yuk} = U_{yuk}/I_{yuk}$ .

Boshqa sxemalardan foydalanib, butun va kasr qiymatli  $N > 1$  transformatsiya koeffitsiyentli oshiruvchi transformatorlar hosil qilinadi.

Bunday moslashuv zanjirlarining chastota o'tkazish oralig'ini kengaytirish uchun T–L qurilmalarida rezonans vujudga kelishini oldini olish kerak bo'ladi. Buning uchun:

– T–L liniyani to'liq qarshiligi  $\rho$  ga teng qarshilikli yuklamaga yuguruvchi to'liq rejimini ta'minlagan holda ulanadi;

– liniya uzunligi  $l_1$  ni  $l_1 < \lambda/4$  shartidan tanlanadi, bunda  $\lambda$  – yuqori ishchi chastotaga mos keladigan liniya uzunligi.

Ko‘rsatilgan shartlar bajarilganda T–L qurilmalari keng chastota (0,5–100 MHz) oralig‘ida o‘zgaras transformatsiya koeffitsiyentiga ega bo‘ladi.

Transformatorlardagi ikki simli liniyalar o‘rniga ko‘pincha egiluvchan lentali koaksial liniyalar qo‘llaniladi.

T–L qurilmalari tanlovchanlik xususiyatlariga ega bo‘lmagani sababli, quvvat kuchaytirgichning AB, B va C rejimida aktiv elementni bir taktli ulanishida asosiy chastota garmonikalarida ham quvvat generatsiyasiga olib keladi. Bunday parazit generatsiyalarni yo‘qotish uchun aktiv elementni A sinfida yoki ikki taktli B sinfida ulanadi.

#### 4.3.4. Moslashuv zanjirlarida quvvatning sarf bo‘lishi va foydali ish koeffitsiyenti

Moslashuv zanjirlari real elementlarining reaktiv tashkil etuvchilari bilan birgalikda aktiv tashkil etuvchilari ham mavjud. Shu sababli aktiv element ishlab chiqarayotgan quvvatning ma‘lum qismi moslovchi zanjirda sarf bo‘ladi. Yuklama qabul qilayotgan foydali quvvatning ( $P_y$ ) aktiv element chiqishidagi quvvatga nisbati moslovchi zanjirlarning foydali ish koeffitsiyenti deb ataladi.

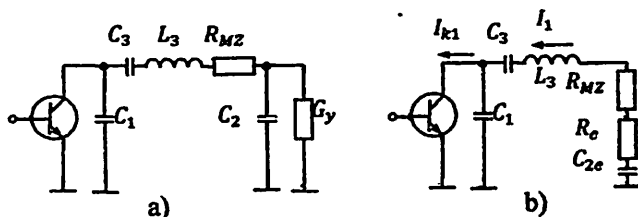
$$\eta_{MZ} = \frac{P_y}{P_{chiq1}} = 1 - \frac{P_{MZ}}{P_{chiq1}}, \quad (4.5)$$

bunda,  $P_{MZ}$  – moslovchi zanjirda sarf bo‘layotgan quvvat. Chiqish kaskadlaridagi moslovchi zanjirlar foydali ish koeffitsiyentining iloji boricha katta bo‘lishiga erishish kerak. Oraliq kaskadlarda moslovchi zanjir foydali ish koeffitsiyentini nisbatan kichikroq qilish mumkin, buning uchun chiqish kaskadining quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti ( $K_p$ ) katta bo‘lishi kerak.

Moslovchi zanjirning foydali ish koeffitsiyentini aniqlash uchun aktiv element konturiga qisman ulangan va tranzistorli kaskaddagi sxemalarini ko‘rib chiqamiz. Quvvatning sarf bo‘lishi asosan induktivlikda bo‘ladi, deb hisoblaymiz va moslovchi zanjirlar quvvatni sarf qilayotgan elementining aktiv tashkil etuvchisini  $R_{MZ}$  bilan belgilaymiz. U holda induktivlikning ishchi chastotasidagi aslligi  $Q_L = \omega L/R_{MZ}$  bo‘ladi.

Tranzistorli kaskadning moslovchi zanjirlarida (4.6-chizma)  $R_{MZ}$  va o'tkazuvchanlik  $G_o$ , zanjirning turli tarmoqlariga ulangan. Foydali ish koeffitsiyentini aniqlash uchun, avval  $G_o$ , va  $jB_2$  larni ketma-ket ekvivalent sxemadagi umumiy qarshiligini topamiz.  $R_e = G_o / (G_o^2 + B_2^2)$ .

Foydali ish koeffitsiyentini hisoblash uchun  $R_y$  ni  $R_e$  ga almashtirish kerak.



4.6-chizma. Tranzistorli kaskaddagi moslovchi zanjir sxemasi:  
 a) – induktivlikdagi sarfni hisobga olgan sxema; b) – FIKni hisoblash uchun o'zgartirilgan sxema.

$h = -X_{3C}/X_C$  ekanligini nazarda tutib quyidagi ifodani olamiz:

$$R_{MZ} = \frac{X_{3L}}{Q_L} = \frac{X_3 - X_{3C}}{Q_L} = \frac{(1+h)|X_3|}{Q_L}. \quad (4.6)$$

Sxemaga  $R_{MZ} \ll R_e$  bo'lgan qarshilikni ulash konturning moslash xususiyatini deyarli o'zgartirmaydi.  $B_3^2 = G_y G_{ykr} = 1/X_3^2$  bo'lgani uchun, moslovchi zanjirlarning qarshiligini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$R_{MZ} \approx \frac{1+h}{Q_L \sqrt{G_y G_{ykr}}}; \quad R_e \approx \frac{1}{G_y + G_{ykr}};$$

$$\eta_{MZ} \approx 1 - \frac{R_{MZ}}{R_e} = 1 - \frac{1+h}{Q_L} \left( \sqrt{\frac{G_y}{G_{ykr}}} + \sqrt{\frac{G_{ykr}}{G_y}} \right). \quad (4.7)$$

Bundan ko'rinib turibdiki, 4.8a-chizmadagi sxemaning  $h$  parametrining (induktivlik) oshishi filtrlashni yaxshilaydi, shu bilan birga moslovchi zanjirlarning foydali ish koeffitsiyentini kamaytiradi.



Shunday qilib, ko'rib chiqilgan moslovchi zanjirlarning sxemalarida yuqori garmonikalarni filtrlashni yaxshilash hamma vaqt quvvatning sarf bo'lishini ko'paytiradi.

### *Nazorat savollari*

- 1. Quvvat kuchaytirgich tarkibi qanday elementlar va zanjirlardan iborat?*
- 2. Ta'minot zanjirlari deb nimaga aytiladi va ularning qanday turlari mavjud?*
- 3. Quvvat kuchaytirgichlarda parazit tebranishlarning kelib chiqish sababini aytib bering.*
- 4. Siljitish zanjirlari deb qanday zanjirlarga aytiladi va ularning qanday turlarini bilasiz?*
- 5. Bipolyar tranzistorlardagi siljitish zanjirlari qanday xususiyatlarga ega?*
- 6. Tor polosali quvvat kuchaytirgichlari deb qanday kuchaytirgichlarga aytiladi?*
- 7. Sodda moslashuv zanjirlari sifatida qanday ko'rinishdagi reaktiv to'rtqutbliklardan foydalaniladi?*
- 8. Keng polosali quvvat kuchaytirgichi deb qanday kuchaytirgichlarga aytiladi?*
- 9. Keng polosali moslashuv zanjirlari qanday afzalliklarga ega?*
- 10. Moslovchi zanjirlarga qanday talablar qo'yiladi?*
- 11. Tranzistorli chiqish kaskadlarida yuklama va kritik qarshiliklar qanday munosabatda bo'ladi?*
- 12.  $\Gamma$ -, T-,  $\Pi$ -ko'rinishdagi aloqa zanjirining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 13. Tranzistorli kaskaddagi moslovchi zanjirning FIK nimaga bog'liq?*

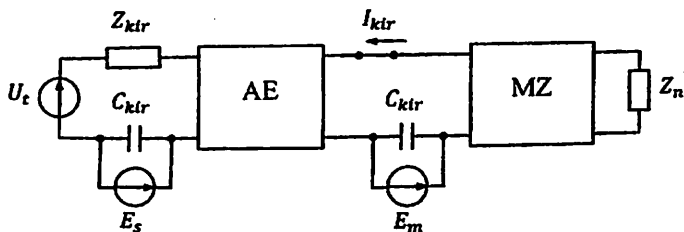
## 5. TASHQI TA'SIR OSTIDA ISHLOVCHI GENERATORLAR

### 5.1. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlar to'g'risida umumiy tushuncha

Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlar radiosignallarni uzatuvchi qurilmalarning asosiy qismlaridan biri bo'lib, bu qurilma manbadan olayotgan energiyani davriy tashqi ta'sir ostida yuqori chastotali energiyaga aylantirib beradi. Boshqacha qilib aytganda, bu qurilmalarning chiqishidagi yuqori chastotali radioto'lqinlar kirish signali ta'sirida yuzaga keladi. Odatda bunday generetorlarning kirish va chiqish qismidagi radioto'lqinlarning chastotasi bir xil bo'ladi, ya'ni  $f_{kir} = f_{chiq}$ . Agar ushbu chastotalar farq qilsa, ya'ni  $f_{kir} < f_{chiq}$  bo'lsa, qurilma chastota ko'paytirgich;  $f_{kir} > f_{chiq}$  bo'lsa, chastota bo'lgich deb ataladi.

Aktiv element (AE) sifatida bu qurilmalarda radiolampalar, tranzistorlar, tiristorlar, Gann diodlari, yuguruvchi to'lqin lampalari (YuTL) va qaytgan to'lqin lampa (QTL) lari ishlatilishi mumkin.

Har qanday tashqi ta'sir ostida ishlovchi generator tarkibida AE, ta'sir qiluvchi zanjir, iste'molchi asosiy manba, siljish manbai va moslovchi zanjir bo'ladi (5.1-chizma).



5.1-chizma. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorning funksional sxemasi

Davriy ta'sir etuvchi to'lqin manbai  $u_t(t)$  va siljish manbai  $E_s$  AE ning kirish qismida  $u_{kir}(t)$  ko'rinishidagi kirish kuchlanishini yuzaga keltiradi.

$$u_{kir}(t) = E_s + u_t(t). \quad (5.1)$$

Ushbu kuchlanish ta'sirida va asosiy  $E_m$  manba ulangan paytda AEning chiqish qismida davriy chiqish toki ( $i_{chiq}(t)$ ) oqib o'tadi va bu tok moslovchi zanjirda  $u_n(t)$  ko'rinishdagi kuchlanish pasayishini vujudga keltiradi. Natijada AEning chiqish qismida quyidagi ko'rinishdagi chiqish kuchlanishi paydo bo'ladi:

$$u_{chiq}(t) = E_m - u_n(t) = E_m - Z_n(j\omega)i_{chiq}(t), \quad (5.2)$$

bunda:  $u_n(t)$  – yuklamadagi kuchlanish,  $Z_n(j\omega)$  – AE chiqish qismining qarshiligi (yuklamasi).  $Z_n(j\omega)$  moslovchi zanjirni chiqishiga ulangan real iste'molchi qarshiligidan ancha farq qilishi mumkin.

Moslovchi zanjirning asosiy vazifasi iste'molchi qarshiligini ( $Z_n$ ) AE ning chiqish qarshiligiga aylantirib berishdir, bu holda quvvat generatorining kirish qismidan chiqish qismiga deyarli to'liq uzatiladi.

Strukturaviy sxemadagi  $C_{chiq}$  va  $C_{kir}$  sig'implar asosiy va siljish manbalarini yuqori chastotali toklardan saqlaydi. Moslovchi zanjir tanlash xususiyatiga ega va shu tufayli uning qarshiligi  $Z_{mz}(\omega)$  yuqori garmonikali to'liqlar uchun kam, ish chastotasidagi to'liq, ya'ni asosiy garmonika uchun katta bo'ladi

$$Z_{mz}(N\omega_{kir}) \gg Z_n(n\omega_{kir}), \quad n \neq N.$$

Shuning uchun chiqishdagi kuchlanish  $u_{chiq}(\tau)$  davriy garmoonikali bo'ladi.

$$u_{chiq}(\tau) = E_m - u_{nN} \cos(N\tau + \varphi_{chiq} + \varphi_{nN}). \quad (5.3)$$

## 5.2. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlarda quvvat muvozzanti

Manbadan olinayotgan energiyani yuqori chastotali to'liq energiyasiga aylantirish AEning chiqish qismida amalga oshiriladi. Bunday generatorlarning asosiy energetik ko'rsatkichlariga quyidagilarni kiritish mumkin: manbadan olinayotgan quvvat –  $P_0$ ,  $N$ -chi garmonika uchun foydali chiqish quvvati –  $P_{chiqN}$ , foydali ish koeffitsiyenti –  $\eta$ , quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti –  $K_p$ .

Manbadan olinayotgan quvvat qanday va nimalarga sarf bo'lishini ko'rib chiqamiz. Bu quvvat manba kuchlanishi  $E_m$  bilan chiqish tokining o'zgarmas tashkil etuvchisi  $I_{0chiq}$  ning ko'paytmasiga teng

$$P_0 = E_m I_{0chiq}. \quad (5.4)$$

Yuqorida qayd qilingandek, asosiy manba kuchlanishi iste'molchidagi kuchlanish  $u_n(\tau)$  va AE ning chiqish qismidagi kuchlanishlar yig'indisidan iborat

$$E_m = u_n(\tau) + u_{chiq}(\tau). \quad (5.5)$$

(5.5) ifodaning chap va o'ng qismini chiqish  $i_{chiq}(\tau)$  ga ko'paytiramiz va davr bo'yicha integrallaymiz. Natijida AE ning chiqish qismi uchun quvvat muvozanati tenglamasini keltirib chiqaramiz

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} E_m i_{chiq}(\tau) d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} u_n(\tau) i_{chiq}(\tau) d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} u_{chiq}(\tau) i_{chiq}(\tau) d\tau. \quad (5.6)$$

(5.6) tenglamaning chap qismi manbadan olinayotgan quvvatni tashkil etadi, ya'ni:

$$P_0 = E_m I_{0chiq} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} E_m i_{chiq}(\tau) d\tau. \quad (5.7)$$

(5.6) tenglamaning o'ng qismidagi birinchi tashkil etuvchi o'zgaruvchan yuqori chastotali quvvat  $P_{chiqN} = u_n(\tau) i_{chiq}(\tau)$  bo'lib hisoblanadi

$$P_{chiqN} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} u_n(\tau) i_{chiq}(\tau) d\tau.$$

Ikkinchi tashkil etuvchi esa AE ning chiqish qismida bo'layotgan lampa anodining yoki tranzistor kollektorining qizishiga ketayotgan quvvat hisoblanadi va iloji boricha bu quvvatni kamaytirishga harakat qilish kerak

$$P_{sarf} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} u_{chiq}(\tau) i_{chiq}(\tau) d\tau.$$

Shunday qilib, quvvat muvozanati tenglamasini soddaroq qilib yozsak quyidagi ifodani olamiz:

$$P_0 = P_{chiqN} + P_{sarf}. \quad (5.8)$$

Demak, manbadan olinayotgan quvvatning bir qismi yuqori chastotali foydali quvvatga va Aning chiqish elektrodini qizishiga sarf bo'lar ekan. RUQda ish chastotasi bo'lib, ko'p holda birinchi garmonika hisoblanadi u holda quvvat muvozanati tenglamasini yanada soddaroq yozish mumkin.

$$P_0 = P_{chiq1} + P_{sarf}. \quad (5.9)$$

Yuqorida qayd qilingan quvvat muvozanati AE ning chiqish qismi uchun keltirib chiqarildi.

Endi AE ning kirish qismi uchun quvvat muvozanati ifodasini yozamiz. AE ning kirish qismida siljish kuchlanishi  $E_s$  va ta'sir qiluvchi signal  $u_t(\tau)$  quvvat muvozanatiga sabab bo'ladi. Yuqorida Aning chiqish qismi uchun qilingan o'zgartirishlarni kirish qismi uchun qo'llab quvvat muvozanatining tenglamasini keltirib chiqaramiz

$$P_{kir1} + P_{s0} = P_{kir\ sarf}. \quad (5.10)$$

bunda:  $P_{kir1} = 0,5U_{kir1}I_{kir1} \cos \varphi_{kir1}$  - ta'sir qiluvchi manbaning quvvati,  $P_{kir\ sarf}$  Aning kirish qismida sarf bo'layotgan quvvat,  $P_{s0} = E_s I_{k10}$  - siljish kuchlanishi manbaining quvvati.

Quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti yuqori chastotali quvvatning kirish quvvatiga bo'lgan nisbati bilan aniqlanadi:

$$K_P = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}}. \quad (5.11)$$

Foydali ish koeffitsiyenti (FIK) esa yuqori chastotali quvvatning manbadan olinayotgan quvvatga nisbati orqali aniqlanadi:

$$\eta = \frac{P_{chiq}}{P_0}. \quad (5.12)$$

Sarf qilinayotgan quvvatni hisobga olganda foydali ish koeffitsiyentini quyidagicha yozish mumkin:

$$\eta = 1 - \frac{P_{sarf}}{P_0}$$

### 5.3. Foydali ish koeffitsiyentini oshirish usullari

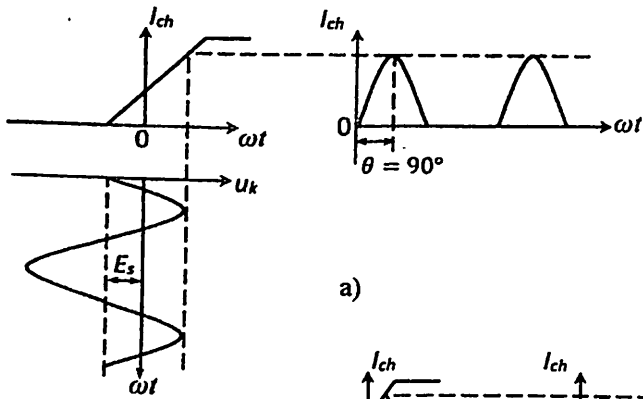
Ma'lumki foydali ish koeffitsiyenti (FIK) yuqori bo'lishi uchun foydali chiqish quvvati  $P_{chiq}$  iloji boricha katta bo'lishi kerak. FIKni oshirish yo'llarini ko'rib chiqamiz, buning uchun FIK ifodasini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{I_{chiqN} U_{nN}}{I_{chiq0} E_m} \cos \varphi_{nN} \quad (5.13)$$

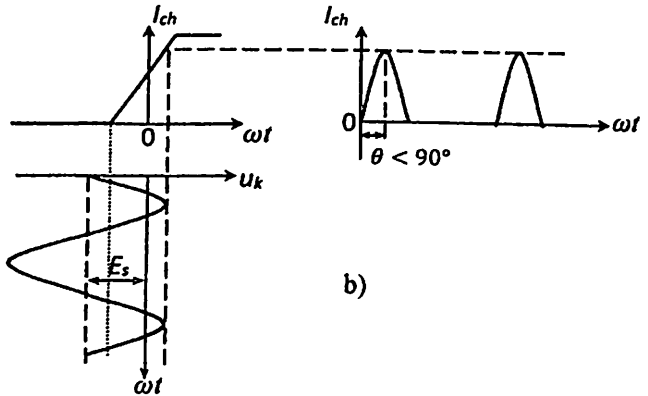
Chiqish toklarini nisbatini  $g_N$  bilan, kuchlanishlar nisbatini  $\xi$  bilan belgilaymiz. U holda  $g_N = I_{chiqN}/I_{chiq0}$  – tok N chi garmonikasining shakl koeffitsiyenti,  $\xi = U_{nN}/E_m$  esa manba kuchlanishining qancha qismi ishatilayotganini ko'rsatuvchi koeffitsiyent deb ataladi. U holda FIKni quyidagicha yozish mumkin:

$$\eta = 0,5g_N\xi \cos \varphi_{nN} \quad (5.14)$$

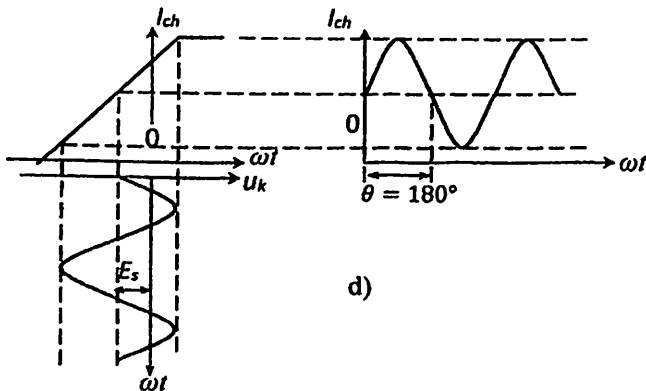
Generator sozlangan yuklamaga ishlayapti deb qabul qilamiz, u holda  $N = 1$  bo'ladi. Bundan tashqari  $\xi = const$  deb faraz qilamiz va bu holda FIK faqat tokning shakl koeffitsiyentiga bog'liq bo'ladi.  $g_N = I_{chiqN}/I_{chiq0}$  ni esa siljish kuchlanishi  $E_s$  ni va ta'sir qiluvchi kuchlanish qiymatini o'zgartirib, ko'paytirish va kamaytirish mumkin. AE chiziqli holatda ishlaganda, tok butun davr davomida oqib o'tadi. Bu tokning o'zgaruvchan yuqori chastotali tashkil etuvchisi ( $I_{chiq1}$ ), o'zgar-mas tashkil etuvchidan ( $I_{chiq0}$ ) kichik bo'ladi. Natijada  $g < 1$  va FIK kichik bo'ladi. AEning bu ish holati A rejimidagi ish holati deb ataladi va bu  $E_s$  ning kichik qiymatlarida vujudga keladi. Bu ish holatining grafik ko'rinishi 5.2d-chizmada keltirilgan. Endi  $E_s$  qiymatini shunday ko'paytiraylikki, natijada tok AE dan davrning yarmida oqib o'tsin, ya'ni kesish ish holatida bo'lsin. Tokning shakl koeffitsiyenti oshib boradi. Bu ish holati B rejimidagi ish holati deyiladi (5.2a-chizma).



a)



b)



d)

5.2-chizma. Aktiv elementning chiziqli hamda nochiziqli kesish ish holatlarining diagrammalari: a) – B rejimi; b) – C rejimi; d) – A rejimi.

$E_s$  ni ko'paytirishni davom ettirsak, chiqish toki impulsining kengligi kamayib boradi va tokning shakl koeffitsiyenti  $g \rightarrow 2$  ga intiladi va bu ish holati C rejimidagi ish holati deyiladi (5.2b-chizma). B va C rejimidagi ish holati AE ning nochoziqli ish holati hisoblanadi. Bu holatlarning ko'rsatkichi qilib kesish burchagi  $\theta$  kiritilgan. Kesish burchagi AE ning toki davrning qancha qismida oqib o'tayotganini ko'rsatadi.

Demak aktiv elementni A rejimidagi ish holatida kesish burchagi  $\theta = 180^\circ$  (5.2d-chizma), B rejimidagi ish holatida  $\theta = 90^\circ$  (5.2b-chizma), C rejimidagi ish holatida  $\theta < 90^\circ$  (5.2a-chizma) bo'ladi.

Odatda  $\theta$  ning qiymati  $90^\circ - 90^\circ$  oraliqda olinadi, ya'ni RUQLar B va C rejimidagi ish holatida ishlatiladi, chunki  $g > 1$  va  $\eta$  yuqori bo'ladi. A rejimidagi ish holat RUQLarda deyarli ishlatilmaydi. Ko'p hollarda  $g$  va  $\xi$  larning qiymatini o'zgartirib FIKni 65-75% gacha yetkazish mumkin.

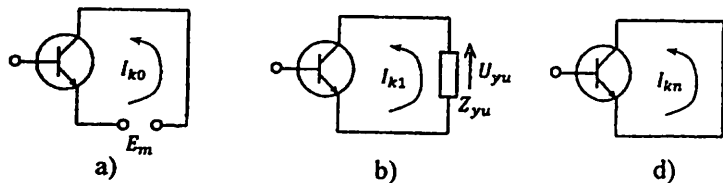
#### 5.4. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generator sxemasini tuzish

Yuqorida tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorning struktura va ekvivalent sxemalarini ko'rib chiqqan edik. Endi bunday generator sxemalarini tuzushning umumiy qoidalarini ko'rib chiqamiz.

Aktiv elementning kirish va chiqish qismidagi davriy tok cheksiz yuqori garmonikalari toki yig'indisidan iboratdir. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generator sxemalarini shunday tuzish kerakki, unda tokni barcha tashkil etuvchilari uchun berk kontur bo'lishi kerak va yuklamada kerakli garmonika tokining quvvati ajralib chiqishi kerak. U holda real quvvat kuchaytirgich sxemasi uchta ekvivalent sxemaning xususiyatlarini mujassamlashtirishi kerak.

Tokning doimiy tashkil etuvchisi uchun tuzilgan sxema (5.3a-chizma) tarkibida ta'minlovchi manba  $E_m$  va aktiv element (AE) bo'ladi. Bu ikki elementdan tuzilgan berk zanjirdan doimiy tok oqib o'tadi.





5.3-chizma. Quvvat kuchaytirgichini ideallashtirilgan ekvivalent sxemasi: a) – tokning doimiy tashkil etuvchisi uchun; b) – birinchi garmonika uchun; d) – yuqori garmonikalar uchun.

Tokning birinchi garmonikasi uchun tuzilgan sxema tarkibida aktiv element (AE) va yuklama  $Z_{yu}$  bo‘ladi (5.3b-chizma). Bu zanjirdan faqat yuqori chastotali asosiy garmonika toki oqib o‘tadi. Yuqori garmonikalar uchun qarshilik deyarli nolga teng bo‘ladi (5.3d-chizma) va quvvat ajralmaydi, berk zanjirdan yuqori garmonikalar toki oqib o‘tadi. Real sxemalarda bu toklarning oqib o‘tadigan yo‘llari, blokirovka qiluvchi elementlar orqali bir-biridan ajratiladi. Bunday elementlarga sig‘im va induktivlikni kiritish mumkin. Blokirovka qiluvchi kondensator yuqori chastotali toklarga deyarli qarshilik ko‘rsatmaydi, doimiy tok uchun esa katta qarshilik ko‘rsatadi. Blokirovka qiluvchi induktivlik – drossel doimiy toklarni o‘tkazadi, lekin o‘zgaruvchan tok uchun katta qarshilik ko‘rsatadi. Quvvat kuchaytirgichda ishlatiladigan aktiv elementlarning ko‘pchiligi uch qutbli bo‘ladi (tranzistor, lampali triod). Ularning bir elektrodi albatta umumiy bo‘ladi, ya‘ni u ham kirish, ham chiqish qismiga tegishli bo‘ladi. Odatda umumiy elektrod shunday tanlanadiki, bunda energetik ko‘rsatkichlar yuqori bo‘lishi kerak. Ko‘p hollarda umumiy elektrod “yerga” yoki shassiga ulanadi. Bu esa aktiv element elektrodleri orasidagi va montaj parazit sigi‘mlarini kamaytirishga imkon beradi.

### Nazorat savollari

1. Tashqi ta’sir ostida ishlovchi generator deb qanday qurilmaga aytiladi?
2. Tashqi ta’sir ostida ishlovchi generatorda qanday aktiv elementlar ishlatiladi?
3. Tashqi ta’sir ostida ishlovchi generatorning strukturaviy sxemasi nimalardan tashkil topgan?
4. Quvvat muvozanati deganda nimani tushunasiz?

5. Nima uchun RUQLarda AE nohiziqli kesish ish holatida ishlatiladi?
6. Ish holatining qanday turlarini bilasiz?
7. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorning sxemalari qanday tuziladi?
8. Blokirovka qiluvchi elementlar qanday vazifani bajaradi?
9. Ketma-ket ta'minlash sxemasini chizing va tushuntiring.
10. Parallel ta'minlash sxemasini chizing va tushuntiring.
11. Ketma-ket ta'minlash sxemasining qanday kamchiligi bor?
12. Parallel ta'minlash sxemasining qanday kamchiligi bor?

## 6. CHASTOTA KO'PAYTIRGICHLAR

### 6.1. Chastota ko'paytirgichlarning qo'llanilishi, klassifikatsiyasi va asosiy xarakteristikalari

Chiqishidagi chastota qiymati kirishidagi chastota qiymatidan karrali marotaba katta bo'lgan qurilma *chastota ko'paytirgich* deb ataladi.

Kvars yordamida barqarorlashtirilgan past chastotali tebranishlar spektrini nisbatan yuqori chastotalar diapazoniga ko'chirish uchun RUQlarida chastota ko'paytirgich (ChK) lardan foydalaniladi. Bundan tashqari chastota ko'paytirgichlar:

- chastota va faza modulyatsiyasini chuqurlashtirish (kengaytirish);
- katta kuchaytirish koeffitsiyentli radiochastota traktlari o'z-o'zidan qo'zg'atilishiga yo'l qo'ymaslik;
- avtogeneratorning chastota barqarorligiga keyingi kaskadlar ta'sirini kamaytirish;
- yuqori quvvatli tranzistorlar bo'lmaganda zaruriy ishchi chastotaga mo'ljallangan yuqori chastotadagi katta quvvatli (kuchli) tebranishlarni olish (talab qilinadigan katta quvvat past chastotada olinib, keyin esa ChK yordamida yuqori chastotalarga o'tkaziladi) maqsadida ishlatiladi.

Ma'lumki chastota, butun son  $n$  marta ko'paytiriladi,  $n$  – ko'paytirish koeffitsiyenti (darajasi) deb ataladi. Chastota ko'paytirish – bu nochiziqli jarayon bo'lib, ChK tarkibida nochiziqli element bo'ladi. ChK funksional sxemasi 6.1-chizmada keltirilgan. Kirishiga  $\omega$  chastotali tebranish berilganda, chiqishida  $n\omega$  chastotali tebranish hosil bo'ladi.



6.1-chizma. *Chastota ko'paytirgich funksional sxemasi*

Kirish zanjiri quvvatni nochiziqli element (NE) ga nisbatan to'liq uzatish uchun, chiqish zanjiri esa yuklama qarshiligini optimal rejimni ta'minlovchi NE elektrodlaridagi qarshilikka moslashtirish uchun xizmat qiladi. Bundan tashqari, kirish va chiqish zanjirlari tanlovchanlik

xususiyatiga ega: kirish zanjiri  $\omega$  chastotali tebranishlarni, chiqish zanjiri esa  $n\omega$  chastotali tebranishlarni o'tkazadi.

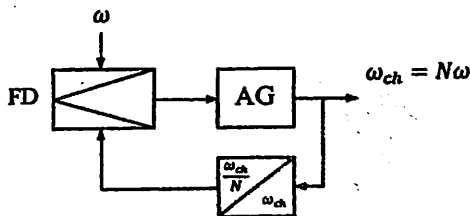
Tranzistorli ChKlar namunaviy sxemalarining chiqish zanjiri sifatida bog'langan konturlar asosidagi filtrlardan, uch konturli filtrlardan va rejektorli filtrlardan foydalaniladi. ChKlardagi NE sifatida bipolyar va maydoniy tranzistorlari, yarimo'tkazgich diodlar ishlatiladi.

ChKlar ishlash prinsipi bo'yicha uchta guruhga bo'linadi. Birinchi guruh ChKlarda NEga asosiy chastotali davriy tebranish berilishi natijasida kerakli  $N$  garmonikaga ega bo'lgan tok spektri hosil bo'ladi va ushbu  $N$ -garmonika filtr yordamida ajratib olinadi. Ushbu guruhga bipolyar tranzistor, maydoniy tranzistor, lampa, diod, varaktor va boshqa NElardan iborat chastota ko'paytirgichlar kiradi.

Ikkinchi guruh chastota ko'paytirgichlarga  $N\omega$  chastotaga yaqin chastotada ishlovchi va  $\omega$  chastotali turg'un tebranish bilan sinxronizatsiyalanuvchi avtogenerator asosida chastota ko'paytirgichlar kiradi.

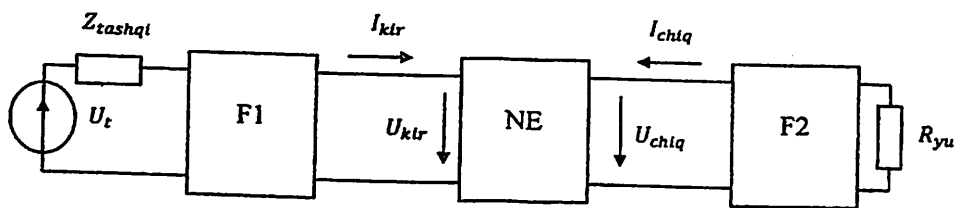
Uchinchi guruh chastota ko'paytirgichlariga  $N\omega$  chastotaga yaqin chastotada ishlovchi, chiqish kuchlanishi faza detektoriga beralidigan bo'luvchi ( $N$ ) ga qurilmali avtogenerator asosidagi chastota ko'paytirgichlar kiradi. Faza detektorining ikkinchi kirishiga chastotasi ko'paytirilishi kerak bo'lgan tebranish manbadan beriladi. Faza detektor chiqishidagi signal avtogenerator fazasini shunday sozlaydiki (to'g'rilaydiki), bunda uning chastota  $N\omega$  ga teng bo'ladi (6.2-chizma).

Chastota ko'paytirgichning asosiy parametrlari quyidagilar: chastotani ko'paytirish koeffitsiyenti  $N$ , chiqish quvvati  $P_{chiq}$ , quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$ , foydali ish koeffitsiyenti (FIK)  $\eta$ . Bundan tashqari ba'zi hollarda chastota ko'paytirgichni amplituda va chastota xarakteristikalari, chiqish kuchlanishi fazasining turg'unligi, harorat o'zgariganda chiqish quvvatini o'zgarishi alohida ahamiyatga ega bo'ladi.



6.2-chizma. Chiqish chastotasini bo'lishga va chastota fazasini avtomatik sozlashga asoslangan chastota ko'paytirgichning funksional sxemasi

Chastota ko'paytirgichni aktiv elementi kesish ish holatida bo'lgan quvvat kuchaytirgich asosida ishlab chiqish mumkin. Uning strukturaviy sxemasi 6.3-chizmada keltirilgan.



6.3-chizma. Chastota ko'paytirgichning strukturaviy sxemasi

Sxemadagi kirish filtri  $F_1$   $\omega_{kir}$  chastotaga sozlangan bo'lib, ta'sir qiluvchi manbaning chiqish qarshiligini nochiziqli elementning (NE) kirish qarshiligiga moslab beradi. Chiqish filtri  $F_2$  esa nochiziqli element uchun yuklama qarshiligi  $R_{yu}$  ni optimal qilib beradi. Bundan tashqari u yuklamaga faqat  $N\omega_{kir}$  signalni o'tkazadi, qolganlarini so'ndiradi. Nochiziqli element sifatida elektron lampa, tranzistor, varaktor va klistronlar ishlatilishi mumkin.

Chastotani ko'paytirish jarayonida generatorning chiqish konturi kerak bo'lgan garmonikaga sozlanadi va konturda ushbu ko'paygan chastotali to'lqinning quvvati ajralib chiqadi. Bunda  $u_k = E_s + U_n \cos \omega t$  ko'rinishdagi ta'sir qiluvchi to'lqin berilganda, chiqish kuchlanishi  $u_{ch} = E_s - U_{nN} \cos N\omega t$  ko'rinishda bo'ladi. Chastota ko'paytirish jarayonida kesish burchagi  $\theta$  ni to'g'ri tanlash muhim, chunki foydali quvvat  $P_N$ , foydali ish koeffitsiyenti  $\eta$  va garmonika toklarining amplitudasi  $I_{k0}$  uning qiymatiga bog'liq bo'ladi.

## 6.2. Inersiyasiz to'rtqutblik chastota ko'paytirgichlar

Chastota ko'paytirgichi bo'lgan RUQLarni loyihalashda, chastota ko'paytirishni qanday amalga oshirish masalasini hal etishga to'g'ri keladi. Bularga chastota ko'paytirgichni bitta yoki bir nechta kaskadda amalga oshirish, chastota ko'paytirgichni chiqish yoki oraliq kaskadlarda amalga oshirish, qanday nochiziqli element tanlash kabilarni kiritish mumkin. Bu masalalarni hal etish quvvat kuchaytirgich va chastota ko'paytirgich energetik ko'rsatkichlarining o'zaro munosabatiga bog'liq bo'ladi. Ko'paytirgich va kuchaytirgich energetik

ko'rsatkichlari bir xil bo'lganda, chastota ko'paytirishni barcha kaskadlarda, yomon bo'lganda oraliq kaskadlarda, yaxshi bo'lganda chiqish kaskadida amalga oshirish kerak bo'ladi.

Quvvat kuchaytirgich va chastota ko'paytirgichning energetik ko'rsatkichlarini bir-biri bilan taqqoslaymiz. Aniqlik kiritish uchun nohiziqli element sifatida, umumiy emitterli qilib ulangan va past chastotalarda ( $\omega_{kir} < \omega_{cheg}$ ) ishlayotgan tranzistorni olamiz. Bu holda tranzistor inersiyasiz hisoblanadi. Kollektor kuchlanishi kollektor va baza toklariga ta'sir qilmaydi deb qabul qilamiz.

Energetik ko'rsatkichlarini bir-biri bilan taqqoslash natijasi, nohiziqli element (NE) ning qaysi parametri uni foydali quvvatini chegaralashiga bog'liq bo'ladi.

Misol tariqasida chegaralovchi parametr sifatida kollektor tokining amplitudasi  $I_{kmax}$  ni qabul qilamiz. U holda Nening kirishiga  $u_{kir} = E_s + U_{be1} \cos \omega t$  ko'rinishidagi kuchlanish ta'sir qilganda garmonikalar toki quyidagi formula orqali topiladi:

$$I_{k0} = I_{kmax} \alpha_0(\theta); \quad I_{kN} = I_{kmax} \alpha_N(\theta). \quad (6.1)$$

Yoyish koeffitsiyenti  $\alpha_N$  kesish burchagi  $\theta_N = \theta_{opt} = 120^\circ/N$  bo'lganda eng katta qiymatiga ega bo'ladi.

$$\alpha_N(\theta_N) = \alpha_1(120^\circ)/N = 0,536/N. \quad (6.2)$$

$F_2$  filtrning kirish qarshiligini  $N\omega_{kir}$  chastotada  $R_n$  ga teng, boshqa chastotalarda kichik deb hisoblaymiz va kollektordagi kuchlanishning oniy qiymatini topamiz:

$$u_{KE}(t) = E_m - U_{nN} \cos N\omega, \quad (6.3)$$

bunda  $E_m$  – manba kuchlanishi;  $U_{nN} = U_{KN}R_n$ .

Chastota ko'paytirgichning energetik ko'rsatkichlarini quyidagi ifodalar orqali yozamiz.

Kollektor zanjiridagi  $N$ -garmonika quvvati

$$P_N = 0,5U_{nN}I_{KN}. \quad (6.4)$$

Manbadan olinayotgan quvvat

$$P_U = E_m I_{K0}. \quad (6.5)$$

Foydali ish koeffitsiyenti

$$\eta = P_N/P_0. \quad (6.6)$$

Quvvatni ko'paytirish koeffitsiyenti

$$K_{PN} = P_N/P_{ktrN}, \quad (6.7)$$

bunda  $P_{ktrN} = 0,5U_{BE}I_{B1}$  – ChK kirishidagi quvvat.

Endi quvvat kuchaytirgich va chastota ko'paytirgich ko'rsatkichlarini bir xil sharoitda taqqoslaymiz, ya'ni ikkala qurilmada ham tranzistor kritik ish holatida ishlayapti va  $E_m$ ,  $I_{K0}$  va  $\xi$  parametrlari bir xil deb hisoblaymiz. Bundan tashqari kesish burchagini  $\theta_1 = 90^\circ$ ,  $\theta_N = \theta_{opt} = 120^\circ/N$  deb qabul qilamiz va quvvat kuchaytirgich va chastota ko'paytirgichning energetik ko'rsatkichlarini taqqoslash natijasida quyidagi ifodalarni olamiz:

$$\frac{P_N}{P_1} = \frac{\alpha_N(\theta_{opt})}{\alpha_1(90^\circ)} \approx \frac{1}{N}; \quad (6.8)$$

$$\frac{\eta_{eN}}{\eta_{e1}} = \frac{g_N(\theta_{opt})}{g_1(90^\circ)}. \quad (6.9)$$

Ko'paytirish koeffitsiyenti  $N = 2, 3, 4$  bo'lganda  $g_N(\theta_{opt})$  ning qiymati 1,27; 1,26; 1,25 bo'ladi va deyarli o'zgarmaydi. Demak foydali ish koeffitsiyenti uchun quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$\eta_{eN}/\eta_{e1} \approx 1,25/1,27 \approx 0,8; \quad g_1(90^\circ) = 1,57. \quad (6.10)$$

Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, chastota ko'paytirgich foydali ish koeffitsiyenti shastotani ko'paytirish koeffitsiyentiga bog'liq emas, kuchaytirgichniki  $\eta_{e1} = 65 - 70\%$  bo'lganda, ko'paytirgichniki  $\eta_{eN} = 50 - 55\%$  bo'ladi. Foydali quvvat esa  $N$  marta kamayadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, ChKlarda generatorning kritik holati yuklama qarshiligining katta qiymatida ro'y beradi.

$$\frac{R_{nN}}{R_n} = \frac{I_{K1} U_{Kkr}}{I_{KN} U_{Kkr}} = \frac{\alpha_1(\theta_1)}{\alpha_N(\theta_{opt})} \approx N; \quad (6.11)$$

$$\frac{U_{BEN}}{U_{BE1}} = \frac{SI_{Km}}{1 - \cos \theta_{opt}} \frac{1 - \cos \theta_1}{SI_{Km}} = \frac{1}{1 - \cos \theta_{opt}} \approx 0,46N^2, \quad (6.12)$$

bunda,  $\cos \theta_{opt} \approx 1 - \theta_{opt}^2/2$ ;  $\theta_{opt} = 2\pi/3N$ .

Chastota ko'paytirish koeffitsiyentini quvvat kuchaytirgich koeffitsiyentiga nisbati quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{K_{PN}}{K_{P1}} = \frac{P_N P_{kir1}}{P_{kirN} P_1} = \frac{1 U_{BE1}^2 \gamma_1(\theta_1)}{N U_{BEN}^2 \gamma_1(\theta_{opt})} \approx \frac{1,23}{N^2}. \quad (6.13)$$

Bunda

$$\gamma_1(\theta_{opt}) \approx 0,6(1 - \cos \theta_{opt})^{3/2} + \dots \quad (6.14)$$

Taqqoslash shuni ko'rsatadiki, chastota ko'paytirgichning energetik ko'rsatkichlari quvvat ko'rsatkichnikidan ancha kichik ekan va ular  $N$  oshishi bilan keskin kamayadi. Shuning uchun chastota ko'paytirgichni amalda ishlatishda uning chastota ko'paytirish koeffitsiyentini  $N$  ni 3, 4 dan oshirish kerak emas, chunki u holda energetik ko'rsatkichlar juda kamayib ketadi. Agar kollektor kuchlanishini baza va kollektor toklariga ta'siri bo'lsa, bu ko'rsatkichlar yanada kamayadi.

### 6.3. Tranzistorli chastota ko'paytirgichlar

Tranzistorli chastota ko'paytirgich sifatida bipolyar tranzistor (BT) va maydoniy tranzistor (MT) li chiqish zanjiri  $n\omega$  chastotaga sozlangan quvvat kuchaytirgich (QK) lardan foydalanish mumkin. Bunday chastota ko'paytirgichlarda chastotani ko'paytirish tranzistor volt-amper xarakteristika (VAX) sining nochiziqiligi hisobiga amalga oshadi.

Agar quvvat kuchaytirgich AB, B yoki C rejimida ishlasa, u holda tranzistor chiqish toki  $i_k(t)$  spektri tarkibida asosiy chastota bilan birgalikda yuqori chastotalari ham mavjud bo'lgan kosinusoidal impulslar shaklida bo'ladi. Chiqish zanjirida  $i_k(t)$  muayyan  $u_k(t)$  kuchlanishni hosil qiladi. Chiqish zanjirining yetarlicha yuqori aslligida



$u_k(t)$  kuchlanish  $n\omega$  chastotali garmonik tebranish shaklida bo'ladi. Natijada yuklamaga  $n$ -garmonika quvvati  $P_n = I_{kn}U_{kn}/2$  uzatiladi, bunda  $I_{kn}, U_{kn}$  - chiqish toki va kuchlanishining  $n$ -garmonikasi amplitudalari.

Chastota ko'paytirgichlarda aktiv elementning ish rejimi bir qator xususiyatlarga ega:

1. Tranzistorlar yordamida chastota ko'paytirish kichik quvvatlarda amalga oshiriladi, chunki  $QK \text{ FIK} \gg ChK \text{ FIK}$ .

2. Aktiv element (NE) ning boshqaruvchi elektrodidagi kuchlanish shakli garmonik bo'ladi:  $u_b = E_s + U_{b1} \cos \omega t$ , bunda  $E_s$  - siljish doimiy kuchlanishi;  $U_{b1}$  - boshqaruvchi kuchlanish 1-garmonikasining amplitudasi.

3. Agar NE sifatida BT ishlatilsa, u holda energetik xarakteristikaning chastotaga bog'liqligini kamaytirish uchun korrektorlovchi zanjir ishlatiladi. Asosan emitter korreksiyasi qo'llaniladi.

4. Chiqish toki  $n$ -garmonikasining amplitudasi  $I_{kn} = \alpha_n(\theta) i_{k \max}$  yoki  $I_{kn} = \gamma_n(\theta) S U_{b1}$  ga teng bo'ladi, bunda  $\alpha_n(\theta)$  va  $\gamma_n(\theta)$  - kosinusoidal impulsni garmonik tashkil etuvchilarga ajratish koeffitsiyentlari yoki Berg koeffitsiyentlari deb ataladi. Chiqish quvvati  $P_{ch}$  ni oshirish uchun kesish burchagi  $\theta$  ni shunday tanlash kerakki, natijada amplituda  $I_{kn}$  ning qiymati eng katta bo'lishi lozim.  $\alpha_n(\theta)$  va  $\gamma_n(\theta)$  Berg koeffitsiyentlarining grafiklari 2.4- va 2.5-chizmalarda keltirilgan.

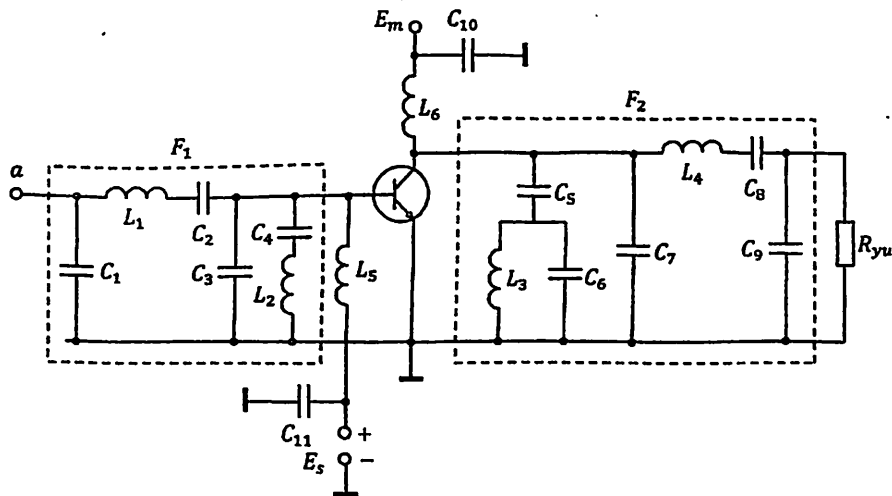
5. Tokning eng katta amplitudasi  $\alpha_n(\theta)$ ,  $\gamma_n(\theta)$  funksiyalarining ekstremum qiymatlariga mos keladi.  $I_{kn}$  ni hisoblash uchun  $\alpha_n(\theta)$  koeffitsiyentidan foydalanilsa, optimal kesish burchagi  $\theta_{opt} = 120^\circ/n$  ga mos keluvchi  $\alpha_n(\theta)$  ning birinchi ekstremumini tanlash maqsadga muvofiq.  $\gamma_n(\theta)$  koeffitsiyentlaridan foydalanilganda esa  $\theta_{opt} = 180^\circ/n$ .

$I_{kn}$  ni hisoblash uchun  $\alpha$  yoki  $\gamma$  koeffitsiyentlaridan qaysi birini tanlashda quyidagiga asoslaniladi:

•  $P_{ch}$  ning maksimal qiymati talab etilsa, unda  $\alpha$  koeffitsiyentlaridan foydalaniladi;

•  $K_t$  ning maksimal qiymati talab etilsa, unda  $\gamma$  koeffitsiyentlaridan foydalaniladi.

Tranzistorli chastota ko'paytirgichning prinsipial sxemasi 6.4-chizmada keltirilgan.

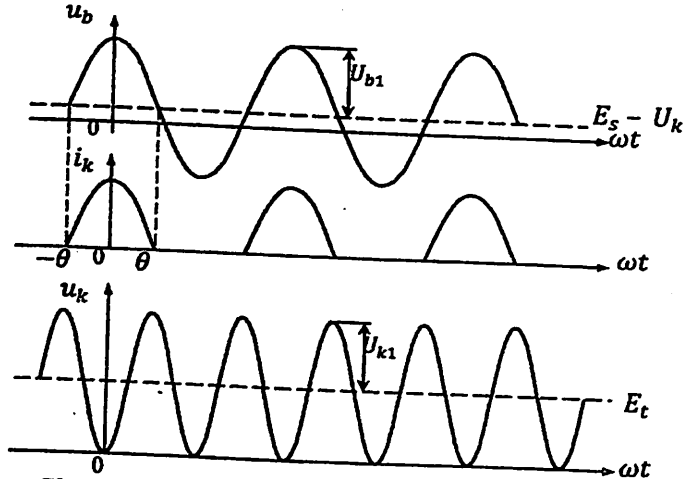


6.4-chizma. *Tranzistorli chastota ko'paytirgichning prinsipial sxemasi*

$F_1$  va  $F_2$  filtrlar tranzistorning baza va kollektorida garmonik shakldagi kuchlanishlarni hosil qiladi. Bunda filtrlarning qarshiligi  $F_1$  uchun  $\omega_{kir}$  va  $F_2$  uchun  $n\omega_{kir}$  chastotalardan tashqari qolgan barcha chastotalar uchun kichik bo'lishi talab etiladi. Kaskadning kirishi va chiqishiga  $\Pi$ -simon filtrlar ( $C_1, L_1, C_2, C_3$  va  $C_7, L_4, C_8, C_9$ ) dan tashqari qo'shimcha elementlar:  $L_2, C_4$  va  $C_5, C_6, L_3$  ulangan. Ularning parametrlari shunday tanlanadiki, bunda  $L_2, C_4$  va  $L_3, C_6$  konturlarning rezonans chastotasi  $n\omega_{kir}$  bilan bir xil bo'lishi,  $\omega_{kir}$  chastotada  $C_5$  sig'imning qarshiligi  $L_3, C_6$  konturning induktiv qarshiligiga teng bo'lishi kerak.  $\Pi$ -simon kirish filtri yordamida  $a$  nuqtada  $\omega_{kir}$  chastotasida oldingi kaskad uchun optimal qarshilik ta'minlanadi.  $\Pi$ -simon chiqish filtri  $n\omega_{kir}$  chastotasida tranzistor uchun optimal yuklama vazifasini bajaradi.

Tranzistorli chastota ko'paytirgich aktiv elementining ish rejimini hisoblashda (ya'ni  $I_{kn}, P_n$  va  $\eta_n = P_n/P_0$  qiymatlarni hisoblash uchun) tranzistorli quvvat kuchaytirgich aktiv elementining ish rejimini hisoblash uchun olingan ifodalardan foydalanish mumkin, ya'ni  $I_{k1}, P_1$  va  $\eta_1$  qiymatlari o'rniga  $I_{kn}, P_n$  va  $\eta_n = P_n/P_0$  qiymatlari hisoblanadi.

6.5-chizmada  $n = 2$  ga ko'paytirishda chastota ko'pyatirgichdagi tranzistor ish rejimini aniqlovchi asosiy elektrik kattaliklarning vaqt diagrammalari keltirilgan.



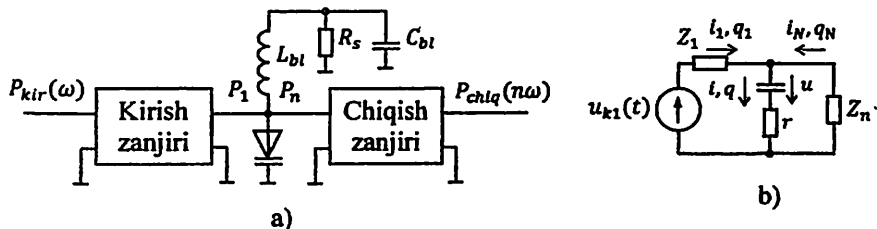
6.5-chizma. Chastotani ikkiga ko'paytirishda  $u_b$ ,  $i_k$  va  $u_k$  larning vaqtga bog'liqligi

Tranzistorli chastota ko'paytirgichlarning afzalligi shundaki, chastota ko'paytirilganda kirish quvvati ham kuchayadi. Kirish quvvatining kuchayishi ta'minot manbai quvvati  $E_t$  ning  $n\omega$  chastotali tebranish quvvatiga o'zgartirilishi natijasida yuzaga keladi.

Tranzistorli chastota ko'paytirgichning kamchiligi shundan iboratki, tebranish chastotasi  $\omega$  ning va ko'paytirish darajasi (koeffitsiyenti)  $n$  ning kattalashishi bilan chiqish quvvati, FIK va kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_p$  ning kamayishidir. Amaliyotda tranzistorli chastota ko'paytirgichlar O'YuCh diapazonigacha bo'lgan chastotalarda qo'llaniladi va uchdan katta bo'lmagan ( $n \leq 3$ ) ko'paytirish darajasiga ega bo'ladi.

#### 6.4. Varaktorli chastota ko'paytirgichlar

Diodli chastota ko'paytirgichning nochiziqli elementi sifatida ko'pincha yig'indi (barer va diffuziya) sig'imining volt-kulon xarakteristikasi chiziqli bo'lgan  $p-n$  o'tishli diod – varaktordan keng foydalaniladi. Varaktor tebranish amplitudasi katta bo'lgan holatda (tebranish davrining bir qismida  $p-n$  o'tish ochiq, boshqasida yopiq bo'lgan holatda) ishlash uchun mo'ljallangan. Varaktorli chastota ko'paytirgichning funksional sxemasi 6.6-chizmada keltirilgan.



6.6-chizma. Varaktorli chastota ko'paytirgichning funksional (a) va ekvivalent (b) sxemasi.

Doimiy tok bo'yicha varaktor rejimi avtosiljishli qarshilik  $R_s$  orqali ta'minlanadi. Kirish va chiqish zanjirlari (F1 va F<sub>n</sub> filtrlar) kirish signalining manba va yuklamadagi garmonikasini filtrlash uchun hamda yuklama va manbani varaktor bilan moslashishi uchun xizmat qiladi. Filtrlashda yuklama orqali oqib o'tuvchi tok spektrida  $n\omega_1$  chastotali tashkil etuvchiga ega bo'lish, kirish signali manbaidan oqib o'tuvchi tok spektrida esa  $\omega_1$  chastotali tashkil etuvchiga ega bo'lish kerak. Ideal filtrlashda  $i_1 = I_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ ;  $i_n = I_n \cos(n\omega t + \varphi_n)$ . Amaliyotda ushbu talablarni F1 uchun past chastotalar filtri (PChF), F<sub>n</sub> uchun polosali filtr (PF) qanoatlantiradi.

F1 filtr tashqi yuklama qarshiligini eng katta FIK yoki yuklamada eng katta quvvat  $P_{chiq_n}$  ni olish uchun zarur bo'lgan qarshilikka o'zgartiradigan moslashuvchi zanjir bilan birlashtiriladi.

Chastota ko'paytirgich xarakteristikalarini sifatida quyidagi parametrlar olinadi:

- kirish chastotasi  $\omega$ ;
- kirish quvvati  $P_{kir}$ ;
- ko'paytirish darajasi (koeffitsiyenti)  $n$ ;
- chiqish chastotasi  $n\omega$  (yuzlab gigagers);
- varaktor kirishidagi birinchi garmonika quvvati  $P_1 = 0,5I_1U_1 \cos \varphi_1$ , bunda  $\varphi_1$  -  $\omega$  chastotada  $i$  va  $u$  tebranishlar orasidagi fazaviy burchak,  $\cos \varphi_1 > 0$ ;

- varaktor chiqishidagi  $n$ -garmonika quvvati  $P_n = 0,5I_nU_n \cos \varphi_n$ , bunda  $\varphi_n$  -  $n\omega$  chastotada  $i_n$  va  $u_n$  tebranishlar orasidagi fazaviy burchak,  $\cos \varphi_1 < 0$  (100 mVt...10 Vt);

- elektron FIK  $\eta_n = P_n/P_1$  [0,8 (n=2)...0,2 (n=10)];

- kirish va chiqish zanjirlarining quvvat uzatish koeffitsiyentlari:

$k_{ktr} = P_1/P_{ktr}$ ,  $k_{chiq} = P_{chiq}/P_n$  (0,7-0,9 oralig'ida o'zgaradi);

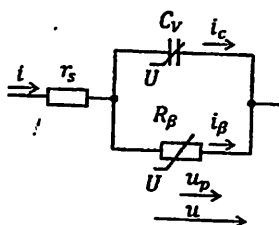
- ChK to'liq FIK  $\eta = P_{chiq}/P_{ktr} = \eta_n k_{ktr} k_{chiq}$ ;
- ikkilamchi spektr tashkil etuvchilarini bostirish koeffitsiyenti

$$k_{ik} = 10 \lg \left( \frac{1}{P_{chiq}} \sum_{i=1}^{\infty} P_i \right), \quad (6.15)$$

bunda  $P_i$  – ChK chiqishidagi  $i$  nchi ikkilamchi spektr tashkil etuvchilarning quvvati;  $k_{ik} = (-40) - (-80)$  dB;

- kirish signali spektri egallaydigan chastotalar polosasi  $\Delta\omega$ .

Varaktor parametrlarini diodning ekvivalent sxemasi asosida tahlil etamiz (6.7-chizma).



6.7-chizma.  $p$ - $n$  o'tishli diod ekvivalent sxemasi

Bunda baryer va diffuziya sig'imining yig'indisi  $C_V(u_p) = C_{bar}(u_p) + C_{dif}(u_p)$  differensial sig'im  $C_V = dq/du_p$  hisoblanadi, bunda  $q$  – sig'imdagi zaryad;  $u_p$  –  $p$ - $n$  o'tishdagi kuchlanish;  $R_\beta = du_p/di_\beta$  – rekombinatsiya qarshiligi;  $i_\beta$  – rekombinatsiya toki;  $r_s$  – diod yo'qotish qarshiligi.

Diod sig'im sifatida ishlatilishi uchun  $1/(\omega C_V) < R_\beta$ ;  $1/(\omega C_V) \gg r_s$  sharti bajarilishi lozim. U holda diod ekvivalent sxemasida aktiv qarshilik hisobiga e'tiborga olmasa ham bo'ladigan chastotalar diapazoni  $1/(R_\beta C_V) \ll \omega \ll 1/(r_s C_V)$  yoki  $\omega_\beta \ll \omega \ll \omega_{cheg}$  ga ega bo'ladi.

Varaktor parametrlari:

- baryer sig'im  $C_{bar}(U_{spr})$  ( $U_{spr}$  – AE sinovi natijasida beriladi);
- yo'qotish qarshiligi  $r_s$ ;
- chegaraviy chastota  $\omega_{cheg}(U_{spr}) = 1/[r_s C_{bar}(U_{spr})]$ ;
- asllik  $Q(U_{spr}, \omega) = 1/[\omega C_{bar}(U_{spr}) r_s] = \omega_{cheg}/\omega$ ;

- zaryad tashuvchilar yashash vaqti  $\tau_{\beta}$ ;
- maksimal ruxsat etilgan berkituvchi kuchlanish  $u_{re}$ ;
- maksimal ruxsat etilgan sochilish quvvati  $P_{re}$ ;
- yopiq  $p-n$  o'tishning tiklanish vaqti  $t_{\beta}$ .

Quyidagilar varaktorning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi (6.8-chizma):

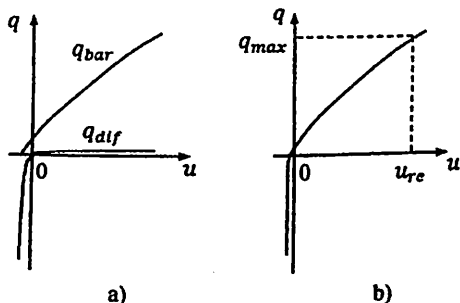
1. Baryer sig'im volt-farad xarakteristikasi (VFX)

$$C_{bar}(u_t) = C_{bar}(U_{spr}) \left( \frac{\varphi_k + U_{spr}}{\varphi_k + u_t} \right)^{\nu}, \quad (6.16)$$

bunda,  $\varphi_k = 0,5-0,7$  V – potentsiallarning kontaktdagi farqi;  $\nu = 0,2-1,0$  – o'tish xarakteristikasi  $\nu = 1/3$  yoki ko'pincha  $\nu = 1/2$ .

2. Volt-kulon xarakteristikasi (VKX)  $q(U_{spr})$ . Sig'im  $C_{bar}$  differensial kattalik sifatida aniqlanadi:  $C_{bar} = dq_{bar}/du$ , bunda  $q_{bar}$  – kuchsizlangan soha zaryadi. VFXsini integrallab,

$$q_{bar} = \int_{-\varphi_k}^U C_{bar} du = \frac{C_{bar}(U_{spr})}{1-\nu} (\varphi_k + U_{spr})^{\nu} (\varphi_k + u_t)^{1-\nu}. \quad (6.17)$$



6.8-chizma. Varaktorning  $q_{bar}$ ,  $q_{dif}$  (a) va yig'indi sig'im (b) VKXlari.

Shunga o'xshash, diffuziya sig'imi uchun  $q_{dif} = q_0(e^{U/\varphi_t-1})$ , bunda  $q_0$  –  $p-n$  o'tish kuchsizlangan sohasi muvozanat zaryadi,  $q_0 < 0$ ;  $\varphi_t = -0,026$  V – issiqlik potentsiali;  $u$  – dioddagi kuchlanish.

VKXsining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga oluvchi approksimatsiya turi bo'lakli-chiziqli approksimatsiya hisoblanadi

(6.9-chizma). Approksimatsiyalangan VKX analitik ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

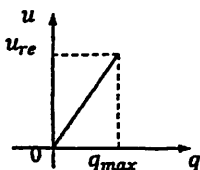
$$u = \begin{cases} q/C_{bar}, & 0 \leq q \leq q_{max}; \\ 0, & q \leq 0, \end{cases} \quad (6.18)$$

bunda,  $C_{bar} = q_{max}/u_{re}$  - varaktor baryer sig'imi;  $q_{max}$  - varaktorda maksimal ruxsat etilgan kuchlanishga mos keluvchi maksimal zaryad  $C_{bar} \cdot u = u_{re}$ ,  $C_{bar} = q_{max}/u_{re}$ ,  $\varphi_k \ll u_{re}$  deb faraz qilib,  $q_{max}$  qiymatni olamiz:

$$q_{max} = \frac{C_{bar}(U_{spr})}{1-v} (\varphi_k + U_{spr})^v u_{re}^{1-v}. \quad (6.19)$$

Shunday qilib,

$$C_{bar} = \frac{C_{bar}(U_{spr})}{1-v} \left( \frac{\varphi_k + U_{spr}}{u_{re}} \right)^v. \quad (6.20)$$



6.9-chizma. Varaktor VKX approksimatsiyasi

### Nazorat savollari

1. Chastota ko'paytirgich qanday qurilmaga aytiladi?
2. Chastota ko'paytirgich qanday maqsadlarda ishlatiladi?
3. Chastota ko'paytirgichlar nechta guruhga bo'linadi?
4. Chastota ko'paytirgichlarning asosiy parametrlari qaysilar?
5. Chastota ko'paytirgichni strukturaviy sxemasini chizing va ishlash usulini tushuntiring.
6. Tranzistorli chastota ko'paytirgichlarning afzalligi nimada?

7. *Varaktorli chastota ko'paytirgichning funksional sxemasi va uning ekvivalent sxemasini chizing, tushuncha bering.*

8. *Varaktorning volt-kulon xarakteristikasini keltiring.*

9. *Chastota ko'paytirgichni qanday energetik ko'rsatkichlarini bilasiz?*

10. *Nima uchun ko'paytirish koeffitsiyentini 4 dan katta qilib tanlab bo'lmaydi?*



## 7. KENG POLOSALI KUCHAYTIRGICHLAR

### 7.1. Keng polosali kuchaytirgichlar to'g'risida umumiy ma'lumot

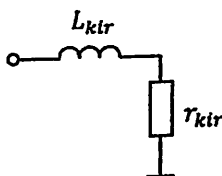
Keng polosali kuchaytirgichlar asosan spektri keng bo'lgan radioto'lqinlarni kuchaytirishda va uzatishda ishlatiladi. Lekin tor spektrli radioto'lqinlarni uzatishda ham ular bir qancha afzalliklarga ega. Tor polosada ishlovchi RUQlarda bir ishchi chastotadan ikkinchisiga o'tganda konturlarning ishchi diapazonini o'zgartirish kerak bo'ladi. Bundan tashqari, qayta sozlanuvchi konturlardan foydalanish RUQlarning murakkablashishiga va ishonchliligining kamayishiga olib keladi. Keng polosali kuchaytirgichlarni (KPK) ishlatish bu muammoni ancha yengillashtiradi. Keng polosali kuchaytirgichlar universal bo'lib, ulardan bittasining asosida turli xil diapazonda ishlovchi RUQlarni qurish mumkin. Bu esa RUQlarni loyihalashni ancha osonlashtiradi. Kuchaytirgichlarda ishlatiladigan keng polosali moslovchi zanjirlar ferrit transformatorlarida, quyi chastota filtrlarida, LC polosali filtrlarda, koaksial kabel bo'laklarida yasalishi mumkin.

Ferritli transformatorlar asosan kengligi bir necha oktavadan iborat bo'lgan kuchaytirgichlarda ishlatiladi va oraliq kaskadlardagi barcha o'zgaruvchan rezonans zanjirlardan qutilish imkonini beradi.

Polosa kengligi bir oktavadan oshgan RUQlarda yuqori garmonikalarni filtrlash uchun jilgichlar orqali ulanadigan kengligi bir oktavadan kichik bo'lgan bir nechta filtrlar ishlatiladi. Buning natijasida keng polosali RUQlarning ish diapazoni bir necha kichik diapazonlarga bo'linadi. Ko'p oktavali RUQlarda alohida polosali bir nechta (odatda uchta) kuchaytirgichlarni ishlatish, jilgichlar orqali ulanadigan o'zgaruvchan filtrlarni yo'qotish imkonini beradi. Keng polosali kuchaytirgichning moslovchi zanjirlariga alohida talablar qo'yiladi. Chiqish kaskadlardagi moslovchi zanjirlar aktiv elementlarni chiqish va yuklama qarshiliklarini butun ish diapazonida moslab berishi hamda filtrlashi kerak. Oraliq kaskadlardagi moslovchi zanjirlar qarshilikni moslashdan tashqari, kuchaytirgichni amplituda-chastota xarakteristikasini korreksiya qilib berishi va oldingi kaskad uchun yuklamani moslab berishi kerak.

## 7.2. Kengligi bir oktavadan kichik bo'lgan kuchaytirgichlar.

Metrlı va detsimetrli to'liq diapazonlarida asosan kengligi bir oktavadan oshmagan kuchaytirgichlar ishlatiladi. Bunday quvvat kuchaytirgichlarning moslovchi zanjirlarini oddiy induktivlik, sig'im yoki koaksial kabel bo'laklarida qurish mumkin. Umumiy emitterli tranzistorli keng polosali kuchaytirgich sxemalarini ko'rib chiqamiz. Bunday tranzistorli kuchaytirgichlar  $3f_{cheg}/h_{21e}$  dan yuqori chastotalarda ishlatilganda uning tokni uzatish koeffitsiyenti  $h_{21e}$  ish chastotasiga teskari proporsional bo'ladi. Demak, kollektor tokining amplitudasini butun ish diapazonida bir xil qilib turishi uchun chastota oshishi bilan baza tokini ham oshirish kerak bo'ladi. Chunki ish diapazonining quyi chastotalarida kuchaytirgichning tokni uzatish koeffitsiyenti katta bo'ladi, yuqori chastotalarda esa kamayadi. Shuning uchun kuchaytirgichning kirish qismidagi moslovchi zanjirni loyihalayotganda tranzistor kirish qarshiligining parametrlarini hisobga olish kerak. Chastota  $f > 3f_{cheg}/h_{21e}$  va kollektor yuklamasi aktiv bo'lganda, umumiy emitterli qilib ulangan tranzistorning kirish qarshiligi  $Z_{kir}$  induktiv xarakterga ega bo'lgan reaktiv  $X_{kir} = \omega L_{kir}$  va chastotaga bog'liq bo'lmagan aktiv  $r_{kir}$  tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi (7.1-chizma). Tranzistorning chastotaga bog'liq bo'lgan tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini butun ish diapazonida bir xil qilish uchun parallel yoki ketma-ket tebranish konturidan iborat bo'lgan sodda moslovchi zanjirlarni ishlatish mumkin (7.2- chizma).

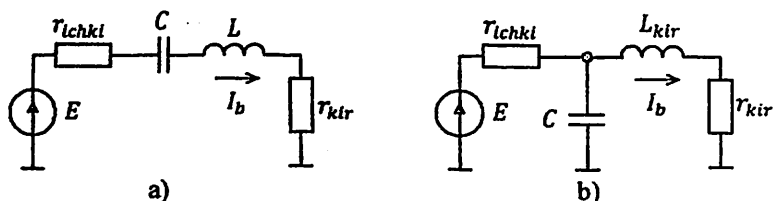


7.1-chizma. Tranzistor kirish qarshiligining ekvivalent sxemasi

Bunday moslovchi zanjirlar tranzistor kirish qarshiligining ekvivalent sxemasi elementlaridan va yakka konturdan iborat bo'ladi.

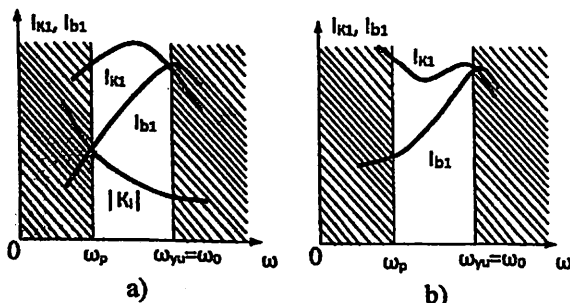
Ketma-ket va parallel moslovchi zanjirlar ishlatilgan kuchaytirgichlarda tokni uzatish koeffitsiyentini chastota bo'yicha korreksiyasi, ya'ni baza va kollektor toklarining chastotaga bog'liqligi 7.3a-b-chizmalarda keltirilgan. Bu chizmalardan ko'rinib turibdiki, moslovchi

zanjirning rezonans chastotasi  $\omega_0$  ni ish diapazoni yuqori chastotasi  $\omega_{yu}$  ga tenglashtirish ( $\omega_0 = \omega_{yu}$ ) chastota ortishi bilan tranzistor baza toki amplitudasining oshishiga olib keladi. Bu holda kollektor tokining notekisligi  $\omega_p \dots \omega_{yu}$  chastotalar oralig'ida (taxminan bir oktavada) atigi 8-10% tashkil etadi. Buning uchun ketma-ket moslovchi zanjir sxemasidagi (7.2a-chizma) kontur induktivligining aslligi  $Q = \omega_{yu}L/r_{ktr} \approx 2,3$ , parallel sxemadagi (7.2b-chizma) kontur induktivligini aslligi  $Q = 4,5$  bo'lishi va moslovchi zanjir oldingi kaskad (generator) bilan rezonans chastotada moslashgan bo'lishi kerak.



7.2-chizma. Tokni kuchaytirish koeffitsiyentini korreksiya qiluvchi zanjir: a) – ketma-ket konturli; b) – parallel konturli.

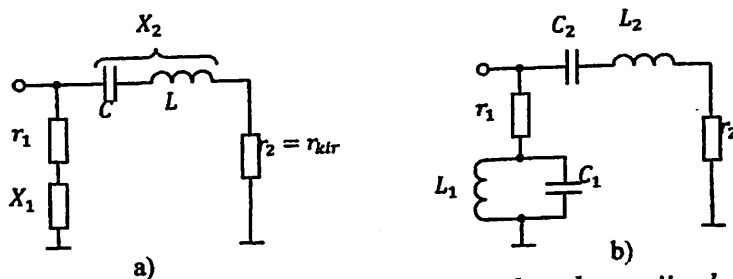
Umuman olganda, oldingi kaskadning ichki qarshiligi  $R_{ichki}$  ni hisobga olgan holda kirish zanjirining aslligi ikki marta kichik bo'lishi kerak, ya'ni a) sxema uchun 1,15 ga teng, b) sxema uchun 2,25 ga teng. Demak, moslovchi zanjirning rezonans chastotasini  $\omega_0 = \omega_{yu}$  ga tenglashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki  $\omega_0 < \omega_{yu}$  bo'lganda  $I_{k1}$  keskin kamayadi,  $\omega_0 > \omega_{yu}$  da esa  $\omega_p \dots \omega_{yu}$  chastota oralig'ida kollektor tokining notekisligi ortadi.



7.3-chizma. Baza ( $I_{b1}$ ) va ( $I_{k1}$ ) kollektor toklarining chastotaga bog'liqligi: a) – ketma-ket kontur uchun; b) – parallel kontur uchun.

Ketma-ket moslovchi zanjirning kirish qarshiligi  $\omega_0 = \omega_{yu}$  chastotada tranzistor qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi  $r_{kir}$  ga teng bo'ladi. Bu zanjir qarshilikni transformatsiya qilish xususiyatiga ega emas. Bu uning asosiy kamchiligidir. Bunday moslovchi zanjirni kam quvvatli kuchaytirgichlarda ishlatish tavsiya qilinadi, ularda  $r_{kir} \approx 50$  Om ni tashkil etadi. Parallel moslovchi zanjir qarshilikni transformatsiyalash qobiliyatiga ega va  $\omega_0 = \omega_{yu}$  bo'lganda transformatsiyalash koeffitsiyenti  $K \approx Q^2 \approx 20$  ga teng. Bu moslovchi zanjirni katta quvvatli keng polosali tranzistorli kuchaytirgichlarda ishlatish tavsiya etiladi, ularda  $r_{kir} \approx 1$  Om ni tashkil etadi.

Ko'rib o'tilgan amplituda-chastota xarakteristika (AChX) ni korreksiya qiluvchi sxemalar «ortiqcha» quvvatni qaytaruvchi sxemalar turkumiga kiradi. Yuqori chastotalarda moslovchi zanjir kirish qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi  $r_{kir}$  ish diapazonining quyi chastota yaqinida moslanmagan kompleks qarshilikka aylanadi va oldingi kaskad berayotgan quvvatni pasaytiradi. Buning asosiy sababi bu kaskad uchun yuklama endi kompleks bo'lib, moslanmagan bo'ladi va quvvatning ko'p qismi aktiv elementning qizishi uchun sarf bo'ladi. Bu kamchiliklarni yo'qotish uchun moslovchi zanjir sxemasiga qo'shimcha zanjir ulanadi va undagi qarshilik ballast qarshilik deyiladi (7.4-chizma). Bunday sxemalar yuqorida qayd qilingan xususiyatlarni saqlagan holda kirishdagi qarshilikni doimiy qilib turadi.

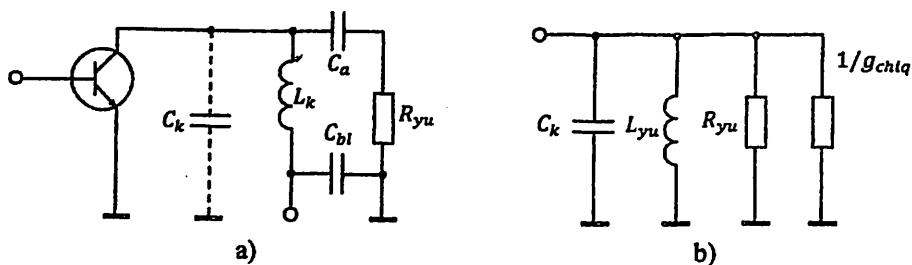


7.4-chizma. Keng polosali kuchaytirgichning qo'shimcha zanjir ulangan korreksiya qiluvchi kirish qismi: a) – doimiy qarshilik zanjiri; b) – parallel kontur zanjiri.

Keng polosali kuchaytirgichlarni kvadraturali ko'prik sxemalari asosida qurish mumkin. Ularning kirish qarshiligi yuklama o'zgarganda doimiy bo'lib turadi.

### 7.3. Kuchaytirgichning chiqish qismi uchun korreksiya qiluvchi zanjirlar

Tranzistorli keng polosali kuchaytirgichlarni chiqishdagi chastota ora'ligini kengligiga asosan tranzistor kollektor tarmog'ining sig'imi  $C_k$  va induktivligi  $L_k$  ta'sir qiladi (7.5-chizma).



7.5-chizma. a) – keng polosali kuchaytirgich chiqish qismining sxemasi; b) – ekvivalent sxemasi.

Nisbatan uncha yuqori bo'lmagan chastotalarda va  $\omega L_k \ll 1/\omega C_k$  bo'lganda  $L_k$  ning chastota oralig'i kengligiga ta'sirini hisobga olmasa bo'ladi. U holda  $\omega C_k$  sig'imli o'tkazuvchanlikni chastota oralig'iga ta'sirini kamaytirish uchun tranzistorni chiqish qismiga paralel qilib  $L_{yu}$  induktivlikni ulash kerak (7.6-chizma).  $C_k$  sig'im va  $L_{yu}$  induktivlik paralel konturni tashkil etadi va ishchi chastotaning o'rta qiymatiga mos qilib sozlanadi.  $C_a$  – ajratuvchi sig'im bo'lib yuklama  $R_{yu}$ ni va manbani bir-biridan ajratadi. Sxema berilgan chastota oralig'ida to'g'ri ishlashi uchun  $C_k$ ,  $L_{yu}$ ,  $R_{yu}$  va tranzistor chiqish o'tkazuvchanligini aktiv tashkil etuvchisi  $g_{chIQ}$  dan iborat bo'lgan konturni aslligi nisbatan kichik bo'lishi kerak.

Parallel kontur qarshiligini quyidagi ifoda orqali yozish mumkin:

$$Z_n = R/(1 + j\xi), \quad (7.1)$$

bunda,  $\xi = (\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)Q$  – kontur nosozligi,  $R = R_{yu}/(1 + R_{yu}g_{chIQ})$  – rezonans chastotadagi kontur qarshiligi,  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{yu}C_k}}$  – kontur rezonans chastotasi,  $Q = R/\omega_0 L_{yu}$  – kontur aslligi. Agar  $\omega_0$ ,  $\omega_p$ ,  $\omega_{yu}$  chastotalar o'zaro quyidagicha

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_p \omega_{yu}} \quad (7.2)$$

bog'langan bo'lsa, past chastotadagi ( $\omega_p$ ) kontur nosozligi ( $\xi_p$ ) va yuqori chastotadagi ( $\omega_{yu}$ ) kontur nosozligi ( $\xi_{yu}$ ) modul jihatdan teng bo'ladi.

$\xi_p = \xi_{yu} = 0,3$  bo'lganda kontur o'tkazuvchanligining reaktiv tashkil etuvchisi aktiv tashkil etuvchidan 3,3 marta kichik bo'ladi. O'tkazuvchanlikni aktiv tashkil etuvchisi berilgan chastota oralig'ida atigi 10% o'zgaradi. Demak, bunday kontur nosozligini hisobga olmasa bo'ladi.

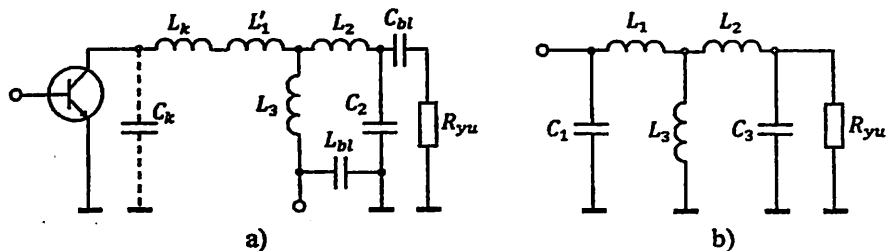
(7.1) va (7.2) ifodalardan foydalanib  $\xi$  orqali kontur aslligini yozamiz:

$$Q_0 = \frac{|\xi|}{\left(\sqrt{\frac{\omega_{yu}}{\omega_p}} - \sqrt{\frac{\omega_p}{\omega_{yu}}}\right)} \quad (7.3)$$

Kuchaytirgich chiqish zanjirini amaldagi aslligi quyidagicha bo'ladi:

$$Q_{chiq} = \omega_0 C_k R_{yu} / (1 + g_{chiq} R_{yu}). \quad (7.4)$$

Demak  $\xi = 0,3$  bo'lganda, 7.5-chizmada sxema amalda qo'llanilishi uchun  $Q_{chiq} < Q_0$  bo'lishi kerak. Bir oktavali kuchaytirgichlar uchun  $Q_0 = 0,424$  bo'ladi. Bir konturli sxema chiqish qarshiligini transformatsiya qilolmaydi va yuqori garmonikalarni filtrlash xususiyati ham past bo'ladi. Chiqish qarshiligini transformatsiya qilish kerak bo'lganda va  $\omega L_k \ll 1/\omega C_k$ , ya'ni  $L_k$  hisobga olish kerak bo'lgan hollarda, murakkab chiqish zanjirlarini ishlatishga to'g'ri keladi. Bu turga o'zaro bog'langan ikki konturli sxemani misol keltirish mumkin (7.6-chizma). Bu sxemada  $C_k$  va  $L_k$  birinchi kontur tarkibiga kiradi,  $C_1 = C_k$ ,  $L_1 = L_k + L'_1$ . Bunday chiqish zanjirlari yuqori garmonikalarni yaxshi filtrlaydilar.



7.6-chizma. a) – ikki konturli chiqish zanjiri elektr sxemasi;  
b) – ekvivalent sxemasi.

### Nazorat savollari

1. Keng polosali kuchaytirgich deganda nimani tushunasiz?
2. Keng polosali kuchaytirgichlar qanday afzalliklarga ega?
3. Parallel konturli korreksiya qiluvchi zanjirni transformatsiyalash koeffitsiyenti qanchaga teng?
4. Kuchaytirgichni chiqish qismi uchun korreksiya qiluvchi zanjirlarni ish usulini tushuntiring.
5. Kuchaytirgichni chiqish qismi uchun korreksiya qiluvchi zanjirlarning qaysi elementlari polosa kengligiga ta'sir qiladi?

## 8. AVTOGENERATORLAR

### 8.1. Avtogeneratorlar to'g'risida umumiy tushunchalar

*Avtogenerator* – ta'minot manbai energiyasini tashqi ta'sirsiz yuqori chastotali energiyaga aylantiruvchi qurilma bo'lib, RUQlarning asosiy qismlaridan biri hisoblanadi. Avtogenerator radiosignallarning birlamchi manbai bo'lib, u shakllantirayotgan to'liqlarning chastotasi va amplitudasi faqat sxema elementlariga bog'liq bo'ladi. Avtogenerator (AG) tarkibida albatta aktiv element va tebranish konturi bo'ladi. Aktiv element manba energiyasini tebranish konturiga kelib tushishini boshqarib, to'liqin amplitudasini doimiy qilib turadi. Tebranish konturi esa shakllantirayotgan to'liqin energiyasining chastotasini belgilab beradi. Avtogeneratorlar RUQlarda yuqori chastotali tashuvchi signallar shakllantirib berish uchun, radioqabul qiluvchi qurilmalarda geterodin sifatida va nazorat-o'lchov asboblari hamda televizorlarda ishlatiladi. Bir kaskadli RUQlarda avtogeneratorlarning quvvati uzatuvchi qurilmaning quvvatiga teng bo'lishi kerak, ko'p kaskadli radiouzatuvchi qurilmalarda AG chastotasining turg'unligiga katta e'tibor beriladi. Chastota turg'unligini oshirish uchun AGni tashqi muhit ta'siridan himoya qilish kerak: bular qatoriga ta'minot manbai kuchlanishini, muhit haroratini, silkinishlar, elektromagnit va yadro nurlanishini kiritish mumkin. Tebranish konturi induktivlik va sig'imdan yoki kvars rezonatori konturidan tuzilgan bo'lishi mumkin. Zamonaviy avtogeneratorlarda, keyingi paytlarda o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan rezonatorlar (tebrantirgichlar) ishlatilmoqda.

Avtogeneratorning chastota turg'unligiga bo'lgan talabdan tashqari parazit amplituda modulyatsiyasi va ikkilamchi nurlanishlar sathiga ham qat'iy talablar qo'yiladi.

*Avtogeneratorning vazifasi* yuqori (YuCh) va o'ta yuqori chastotalarda (O'YuCh) tebranishlarni generatsiyalashdan (ishlab chiqishdan) iborat. Avtogeneratorda o'zgarmas tok manbaining energiyasi YuCh yoki O'YuCh tebranishlar energiyasiga aylantirish amalga oshiriladi. AG radiouzatuvchi va radioqabul qiluvchi qurilmalarining tarkibida yuqori chastotali tashuvchi signallar ishlab beruvchi kaskad hisoblanadi.

AGni bir necha belgilariga ko'ra *sinflarga bo'lish* mumkin. *Chastotalar diapazoni bo'yicha* ular ikkita katta YuCh va O'YuCh guruhlariga bo'linadi. Ular orasidagi chegara taxminan 300 MHz ni



tashkil qiladi. Bundan tashqari foydalaniladigan elektr zanjirlari bo'yicha ham farq bo'lishi mumkin. YuCh generatorlarda bunday zanjirlar jamlashtirilgan (oddiy sigim, induktivlik), O'YuCh generatorlarida taqsimlangan parametrlil bo'lishi mumkin, (fider liniyalari va to'lqin o'tkazgichlar).

Avtotebranishlar chastotasini *stabillash usublari* quyidagilar bo'lishi mumkin:

- oddiy tebranish tizimlaridan foydalanilgan parametrik;
- rezonator sifatida kvarts rezonatorini ishlatish;
- dielektrik rezonatorli (faqat O'YuCh diapazonida);
- yuqori energetik sathda joylashgan atomlarni induksiyalangan qo'zg'atish hisobiga molekulyar.

10 GHz dan yuqori diapazonda ishlaydigan molekulyar generatorlar asosan chastota etaloni sifatida foydalaniladi.

*Elektron asbob turi va sxemasi bo'yicha* avtogeneratorlar ikki asosiy guruhga bo'linadi:

- tranzistor yoki elektrovakuum asbobi qo'llanishli va musbat teskari aloqadan foydalanishli;

- manfiy aktiv o'tkazuvchanlikli O'YuCh generator diodini (tunnel, lavin yoki Gann diodi) ikki qutbli sifatida qo'llanishli.

Radiosignallarni uzatuvchi qurilmaning boshqa qismlari bilan o'zaro ta'siriga ko'ra avtogeneratorlar avtonom rejimda ishlaydigan, tashqi signal orqali chastotani sinxronlash rejimida ishlaydigan va qurilma tarkibida chastotani avtomatik sozlaydigan turlarga ajratiladi.

Radiotexnik qurilma tarkibida *foydalanishi bo'yicha* avtogeneratorlarni quyidagicha ajratish mumkin:

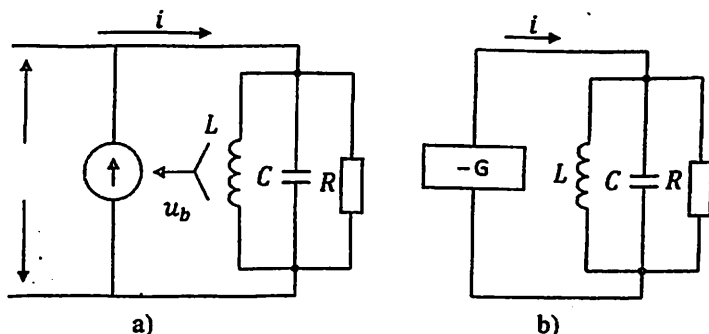
- qurilmaning barcha kaskadlari va qismlari ishini sinxronlaydigan chastotaviy stabilligi oshirilgan tayanch yoki etalon avtogeneratorlar;

- chastota bo'yicha qayta sozlanadigan (shu jumladan chastota sintezatori tarkibida) diapazonli avtogeneratorlar.

Avtogenerator ishini quyidagi *asosiy parametrlar* xarakterlaydi: chastotalar diapazoni yoki qayd qilingan chastota qiymati, yuklamadagi avtotebranishlar quvvati, chastota turgunligi (uzoq vaqtli va qisqa vaqtli).

Tebranish tizimli avtogenerator yig'ilishining ikki asosiy prinsipi bo'lishi mumkin. Birinchi turdagi avtogeneratorlarda nochiqli tok generatori  $i(u_b)$  ko'rinishda tasavvur qilinadigan elektron asbob qo'llaniladi (bu yerda  $u_b$  – boshqaruvchi kuchlanish (8.1a-chizma). Teskari aloqa zanjiri hisobiga tebranish tizimlaridan signal quvvatining

bir qismi elektron asbob kirishiga beriladi. Kuchaytirishdan so'ng berilgan tebranishlar yo'qotishlarni kompensatsiyalash va avtotebranishlarni barqaror ish holatini ushlab turish uchun tebranish tizimiga teskari zanjir orqali qaytadi. Bunda tebranish tizimidan olinadigan va yana unga qaytadigan tebranishlar fazalari tengligidan iborat bo'lgan sinxronlash sharti bajarilishi zarur.

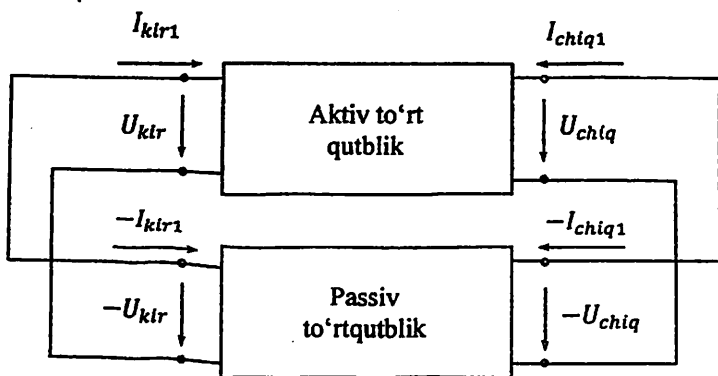


8.1-chizma. a) – *nochiziqli tok generatori ishlatilgan avtogenerator;*  
 b) – *diodli generator ishlatilgan avtogenerator.*

Avtogeneratorlar ikkinchi turining asosini maxsus generator diodlari tashkil qiladi. Ularning ekvivalent sxemasi manfiy aktiv o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi (masalan, volt-amper xarakteristikaga tushuvchi oraliq yoki asbobda signalning kech qolishi). Bunday asbob tebranish tizimiga ulanganida undagi yo'qotishlarni kompensatsiyalaydi va buning natijasida avtotebranishlarning barqaror ish holati ta'minlanadi. Ikkinchi turdagi AGLarning ekvivalent sxemasi 8.1b-chizmada keltirilgan.

## 8.2. Avtogenerator tenglamasi

Avtogenerator sxemasini quvvat kuchaytirgich asosida qurish mumkin. Buning uchun quvvatning bir qismini MZ chiqish qismidan AEning kirish qismiga teskari aloqa zanjiri orqali uzatish kerak. Umuman olganda AG sxemasi berk tutash zanjirga ulangan aktiv va passiv to'rtqutblikdan iborat bo'ladi (8.2-chizma).



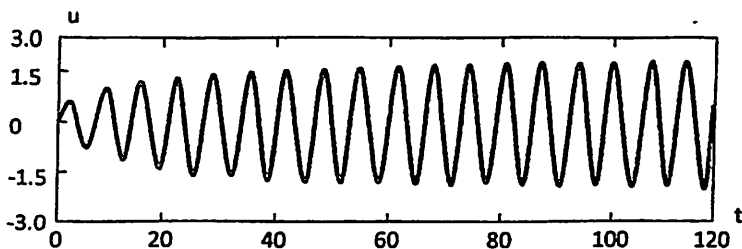
8.2-chizma. Avtogeneratorning umumlashtirilgan sxemasi

AG sxemasi bundan tashqari aktiv ikkiqutblik, uchqutblik va to'rtqutblikdan tuzilishi mumkin. Aktiv to'rtqutblik sifatida elektron lampa, tranzistor, klistronlar bo'lishi mumkin. Passiv to'rtqutblik tarkibida tebranish konturi, yuklama, teskari aloqa zanjiri mavjud bo'ladi. Yuklama qarshiligida ( $Z_y$ ) AG shakllantirayotgan foydali quvvat ajratiladi.

AGda to'liqlarni shakllantirish jarayonini ko'rib chiqamiz. AG qurilmasiga ta'minot manbai ulangandan keyin, unda noturg'un ish holati vujudga keladi. AE va konturning fluktuasiya toklari natijasida tebranish konturida yuzaga kelgan to'liqlar avval tebranish rezonans chastotasida ajratib olinadi so'ng aktiv to'rt qutblik yordamida kuchaytiriladi. Tebranish konturi yuzaga kelgan to'liqlarning chastotasini belgilab beradi:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Bu to'liqlar AG ning kirish qismiga teskari aloqa zanjiri orqali uzatilib, aktiv element orqali kuchaytirilib, yana konturga kelib tushadi va jarayon yana qaytariladi. Natijada to'liqlar amplitudasi borgan sari oshib boradi (8.3-chizma).



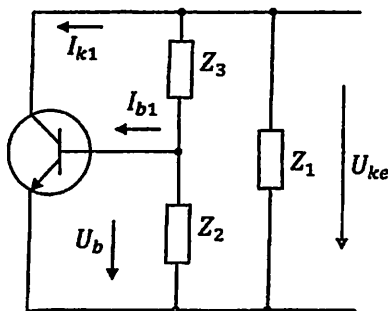
8.3-chizma. Avtogeneratorning qo'zg'atish sharti bajarilayotgan vaqtdagi to'liqlar amplitudasining oshib borishi

Avtogeneratorlarning amaliy sxemalarini umumlashtirilgan uch nuqtali sxema orqali ifodalash mumkin (8.4-chizma).

**AGning asosiy tenglamasi** quyidagicha yoziladi:

$$(1 - S_1 k Z_y) u_{ktr} = 0, \quad (8.1)$$

bunda,  $S_1$  – qiyalik;  $k$  – teskari aloqa koeffitsiyenti;  $Z_y$  – AG qarshiligi.



8.4-chizma. Avtogeneratorning umumlashtirilgan uch nuqtali sxemasi

AGning statsionar ish holatini quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$\hat{S}_1 \hat{k} \hat{Z}_y = 1. \quad (8.2)$$

$\hat{S}_1$  – Aning kompleks qiyaligi bo'lib, u kollektor toki  $\hat{I}_{k1}$  ni ta'sir etuvchi kuchlanish amplitudasi bilan bog'laydi.

$$\dot{i}_{k1} = \dot{S}_1 \dot{U}_T. \quad (8.3)$$

Teskari aloqa koeffitsiyentini quyidagicha yozish mumkin:

$$\dot{k} = -\frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3}. \quad (8.4)$$

Aktiv elementning yuklama qarshiligi:

$$\dot{Z}_y = \frac{\dot{Z}_1(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3)}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3}. \quad (8.5)$$

Teskari aloqa koeffitsiyenti ( $\dot{k}$ ) ni iste'molchi qarshiligiga ko'paytmasi boshqaruvchi qarshilik deb ataladi.

$$\dot{Z}_b = \dot{k}\dot{Z}_y = \frac{\dot{Z}_1\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3}. \quad (8.6)$$

U holda AGning statsionar ish holatini boshqacha yozish mumkin:

$$\dot{S}_1\dot{Z}_b = 1. \quad (8.7)$$

$\dot{k}, \dot{Z}_y, \dot{Z}_b$  lar AGning umumlashtirilgan parametrlari bo'lib xizmat qiladi.  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3$  qarshiliklar tarkibiga tebranish konturining qarshiligidan tashqari aktiv elementning parazit xususiyatlari ham kiradi. Bular aktiv elementning kirish, chiqish va o'tkazuvchanlik qarshiliklaridir. (8.2) tenglamadagi  $\dot{S}_1, \dot{k}, \dot{Z}_y$  qiymatlarini modul va faza ko'paytirgichlari tarzida yozamiz.

$$\dot{S}_1 = S_1 e^{j\varphi_s}, \quad \dot{k} = k e^{j\varphi_k}, \quad \dot{Z}_y = |Z_y| e^{j\varphi_y}$$

$\varphi_s, \varphi_k, \varphi_y$  – aktiv elementning qiyaligi, teskari aloqa koeffitsiyenti va yuklama qarshiligi fazalari. U holda (8.1) tenglama ikkita tenglamadan iborat bo'ladi:

### Amplituda balans tenglamasi

$$S_1 k |\dot{Z}_y| = 1. \quad (8.8)$$

### Fazalar balans tenglamasi

$$\varphi_S + \varphi_k + \varphi_y = 0. \quad (8.9)$$

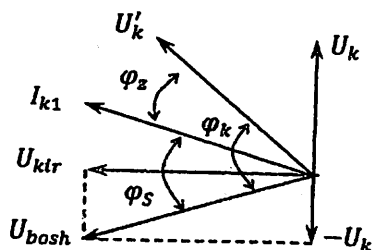
Yuqorida aytib o'tildiki, ta'minot manbai avtogenerator sxemasiga ulanganda shakllantirilayotgan to'liqlarning amplitudasi borgan sari oshib boradi, ya'ni avtogeneratorning *qo'zg'atish sharti* bajariladi

$$|\dot{S}_1| |\dot{k}| |\dot{Z}_y| > 1. \quad (8.10)$$

Chunki kollektor tokining birinchi garmonikasi  $I_{k1}$  tebranish konturidan o'tib, unda quyidagi ko'rinishdagi kuchlanish pasayishini hosil qiladi

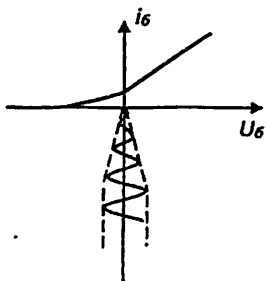
$$U_k = I_{k1} Z_y = S_1 Z_y U_y. \quad (8.11)$$

Bu "ikkilamchi" kuchlanishning ( $U_k''$ ) amplitudasi birlamchi kuchlanishning ( $U_k'$ ) amplitudasidan katta bo'ladi (8.5-chizma). AG noxiziqli xarakterga ega, ya'ni to'liqlar chastotasi oshishi bilan, aktiv elementning qiyaligi noziqli ravishda kamayib boradi (8.6-chizma). Natijada to'liqlar amplitudasi kamayib "ikkilamchi" va "birlamchi" kuchlanish tenglashadi va AG statsionar ish holatining amplitudalar balans sharti (8.8) bajariladi.



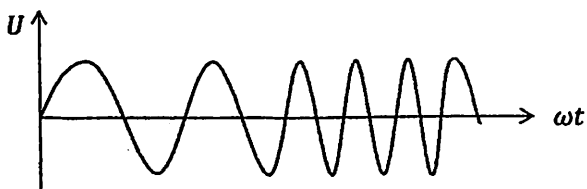
8.5-chizma. Avtogeneratorning ishlashiga oid vektor diagramma

Ikkilamchi kuchlanishni ( $U_k''$ ) vektori “birlamchi” kuchlanish ( $U_k'$ ) vektoridan faza bo‘yicha oldinda boradi. Demak AG ishlab berayotgan to‘lqin amplitudasining maksimal qiymati oldingi holatga qaraganda tezroq erishiladi, boshqacha qilib aytganda ishlab chiqarilayotgan to‘lqin siqiluvchi sinusoidani eslatadi, ya’ni to‘lqin chastotasi borgan sari oshib boradi (8.7-chizma).



8.6-chizma. Aktiv element qiyaligining noxhiziqli ravishda kamayib borishi

Chastota o‘zgarishi bilan tebranish konturining ekvivalent qarshiligi  $Z_k$  ham o‘zgaradi. Konturdagi kuchlanish va zanjirdan oqib o‘tayotgan tok orasidagi faza siljishi ( $\varphi_z$ ), chastota o‘zgarishi  $\Delta\omega$  xususiy chastota  $\omega_0$  dan qancha farq qilsa, shuncha oshadi. Chastotaning oshishi vektorlar orasidagi  $\varphi_z$  burchagini oshishiga olib keladi va vektor  $U_k'$  “birlamchi” vektor  $U_k$  yaqinlashadi. (8.5-chizma)



8.7-chizma. Siqiluvchi sinusoida

“Ikkilamchi” va “birlamchi” vektorlarning fazalari bir-biriga mos tushganda chastotalarni oshish jarayoni to‘xtaydi. Demak,  $\varphi_s + \varphi_k + \varphi_y = 0$  shart bajariladi va bu tenglama AG chastotasini belgilab beradi.  $\varphi_s + \varphi_k + \varphi_y > 0$  bo‘lganda chastota oshadi,  $\varphi_s + \varphi_k + \varphi_y < 0$  bo‘lganda esa kamayadi.

Agar tebranish konturining va AENing parametrlari ma'lum bo'lsa, (8.8) va (8.9) tenglamalardan to'liq amplitudasini aniqlash mumkin. AGLarni loyihalashda odatda to'liq chastotasi va amplitudasi berilgan bo'ladi, u holda (8.8) va (8.9) tenglamalardan sxemaning parametri va strukturasi aniqlash mumkin. Tenglama ikkita parametrlar esa ko'p bo'lganligi uchun ba'zi parametrlarini oldindan qabul qilishga to'g'ri keladi.

### 8.3. Avtogenerator sxemalari

Avtogeneratorlarning chastota turg'unligi yuqori bo'lishi uchun tebranish konturida quvvat sarf bo'lishi iloji boricha kam bo'lishi kerak. Demak  $\dot{Z}_1 = r_1 + jX_1$ ,  $\dot{Z}_2 = r_2 + jX_2$  va  $\dot{Z}_3 = r_3 + jX_3$  kompleks qarshiliklarning aktiv tashkil etuvchilarini salmog'i kichik bo'lishi kerak:  $r_1/X_1 \ll 1$ ,  $r_2/X_2 \ll 1$ ,  $r_3/X_3 \ll 1$ . U holda boshqaruvchi qarshilik uchun ifoda ancha soddalashadi:

$$\dot{Z}_b = \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = \frac{(r_1 + jX_1)(r_2 + jX_2)}{r_1 + r_2 + r_3 + j(X_1 + X_2 + X_3)} \approx \frac{X_1 X_2}{r + jX}, \quad (8.12)$$

bunda,  $r = r_1 + r_2 + r_3$ ;  $X = X_1 + X_2 + X_3$ .

Aktiv to'rtqutblikni inersiyasiz va uning qiyaligi  $S_1$  ni faqat haqiqiy qismdan iborat deb hisoblaymiz, u holda boshqaruvchi qarshilik  $Z_b = R_b + jX$  aktiv qarshilik  $R_y$  ga teng bo'ladi va AENing statsionar ish holatini quyidagicha yozish mumkin

$$S_1 R_b = 1.$$

$\dot{Z}_b = R_b$  bo'lishi uchun reaktiv qarshiliklar yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak

$$X = X_1 + X_2 + X_3 = 0. \quad (8.13)$$

(8.12) tenglamaning surati haqiqiy bo'lgani uchun boshqaruvchi qarshilikni aktiv qarshilik orqali yozish mumkin

$$R_b = X_1 X_2 / r. \quad (8.14)$$



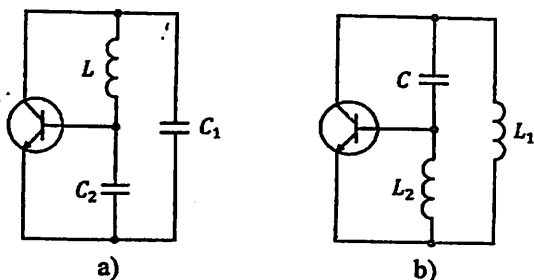
$X_1, X_2$  va  $X_3$  reaktiv qarshiliklar AG chastotasiga kuchli bog'liq bo'ladi va amplitudasiga esa deyarli bog'liq bo'lmaydi. (8.13) tenglama AG ishlab berayotgan to'lqin chastotasini belgilab beradi. Aktiv element qiyaligi  $S_1 > 0$  bo'lgani uchun boshqaruvchi qarshilik  $R_b$  ham musbat ishorali va haqiqiy bo'lishi kerak. Shuning uchun  $r > 0$  bo'lganda  $X_1$  va  $X_2$  reaktiv qarshiliklar ishorasi bir xil,  $X_3$  niki esa qarama-qarshi bo'lishi kerak. Shunday qilib uch nuqtali avtogenerator sxemalari ikki turli bo'lishi mumkin:

a) uch nuqtali sig'imli sxema (8.8a-chizma)

$$X_1 < 0, X_2 < 0, X_3 > 0. \quad (8.15)$$

b) uch nuqtali induktivli sxema (8.8b-chizma)

$$X_1 > 0, X_2 > 0, X_3 < 0. \quad (8.15)$$



8.8-chizma. Avtogeneratorning uch nuqtali sxemasi:  
a) – sig'imli, b) – induktivli.

Quvvat sarf bo'lishi kam bo'lgan holda, teskari aloqa koeffitsiyenti va iste'molchi qarshiligini aniqlovchi formulani yozamiz

$$K = -\frac{r_2 + jX_2}{r_1 + r_2 + j(X_2 + X_3)} \approx -\frac{jX_2}{rX_2 + jX_3}. \quad (8.16)$$

(8.13) tenglamadan ko'rinib turibdiki,  $X_2 + X_3 = -X_1$  va teskari aloqa koeffitsiyenti haqiqiy bo'lib,  $X_2$  va  $X_1$  qarshiliklar nisbatiga teng bo'ladi

$$k \approx X_2/X_1. \quad (8.17)$$

Yuklama qarshiligi ham haqiqiy bo'lib, quyidagicha ifodalanadi

$$\dot{Z}_y \approx R_y \approx X_1^2/r. \quad (8.18)$$

Agar  $\dot{Z}_1$ ,  $\dot{Z}_2$  va  $\dot{Z}_3$  kompleks qarshiliklarning har biri ketma-ket ulangan sig'im va induktivlikdan iborat bo'lsa, tebranish tizimi bir konturli bo'lib, bitta xususiy chastotaga ega bo'ladi.  $\dot{Z}_1$ ,  $\dot{Z}_2$  va  $\dot{Z}_3$  qarshiliklar tarkibiga tarmoqlangan zanjir – parallel konturlar kirs, tebranish tizimi ikki konturli, uch konturli va h.k., mos ravishda ikkita yoki uchta xususiy chastotaga ega bo'ladi. Bunday avtogeneratorlar ish holatini tahlil qilish ancha murakkab bo'ladi. Real hollarda AG sxemalari ko'p konturli bo'lib, ulardagi har bir  $\dot{Z}_1$ ,  $\dot{Z}_2$  va  $\dot{Z}_3$  qarshiliklar parallel ulangan aktiv, hamda passiv elementlardan va blokirovka qiluvchi elementlardan iborat bo'ladi.

AG shakllantirayotgan chastotaning turg'unligi tebranish konturining aslligiga, aktiv elementning parametrlariga va ish holatiga bog'liq bo'ladi. Chastotaning o'zgarishiga asosan tranzistor ish holati va uning sig'implari hamda qiyaligining faza burchagi  $\varphi_s$  sababchi bo'ladi.  $\varphi_s$  qancha katta bo'lsa chastotaga ta'sir qiluvchi omillar ham shuncha ko'p bo'ladi. Shuning uchun AGlarda, chegaraviy chastotasi  $f_{cheg}$  yuqori bo'lgan tranzistorlar ishlatiladi. AG ishlab berayotgan chastotada ular uchun inersion hodisa kuzatilmaydi va  $f_0 < (0,1 - 0,3) f_{cheg}$  bo'ladi. Bu shart bajarilmasa aktiv element qiyaligining kompleks xarakterini va tranzistorning boshqa o'tkazuvchanliklarini hisobga olish kerak bo'ladi.

#### 8.4. Avtogeneratordagi aktiv elementning ish holati

Chastota turg'unligi yuqori bo'lgan avtogeneratorlarda tranzistorning ish holati ancha yengil bo'lishi kerak. Shuning uchun manba kuchlanishini va kollektor toki impulsining amplitudasini quyidagi shartga qarab tanlash kerak:

$$i_{km} < (0,2 - 0,4)i_{kmax}; \quad E_k < (0,3 - 0,5)U_{kmax}.$$

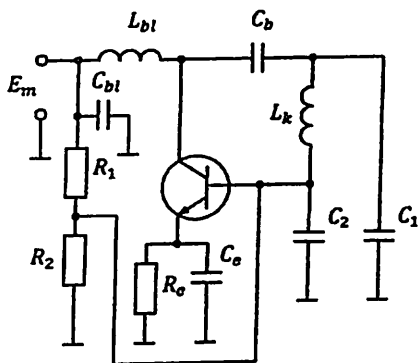
$i_{kmax}$  va  $U_{kmax}$  lar tranzistor hujjatida ko'rsatilgan mumkin bo'lgan eng katta kollektor toki va kuchlanishining qiymati.

Kollektor tokini qiymati  $i_{km} < 2-3$  mA bo'lganda tranzistorning parametrlari haroratga kuchli bog'liq bo'ladi. Bundan tashqari  $i_{km}$  kamayishi bilan AGning chiqishida shovqin signal ko'payish ehtimoli bor, bu parazit amplituda va faza modulyatsiyasini vujudga keltiradi va chastota turg'unligini kamaytiradi. Kollektor tokining katta qiymatlarida VAX qiyaligining moduli  $|S|$  ko'paya boshlaydi, shu bilan birga unga proporsional ravishda kirish zanjirining vaqt doimiysi  $\tau_s = 1/\omega_s$  va faza burchagining qiyaligi  $\varphi_s = -\arctg \omega_{cheg} \tau_s$  ham oshadi. Shuning uchun fazalar balansi sharti bajarilishi uchun kontur sozlangnligini  $f_{cheg}$  chastotaga nisbatan buzib, faza xarakteristikasini kichik qiymatlarida ishlashga to'g'ri keladi, bu esa chastota turg'unligini yanada pasaytiradi. AG yaxshi ishlashi uchun kollektor tokining qiymati  $i_{km} = 5 - 20$  mA atrofida bo'lishi kerak. AG ish holati kam kuchlanganlik qilib tanlanadi va manbani ishlatish koeffitsiyenti  $\xi = (0,2-0,3)\xi_{cheg}$  atrofida olinadi. O'ta kuchlanganlik ish holatida esa ishlab chiqarilayotgan chastotaga manba kuchlanishining ta'siri kuzatiladi, bundan tashqari tranzistorni chiqish o'tkazuvchanligi ham ko'payadi. Natijada tebranish konturining aslligi kamayadi.

Yuqori turg'unli to'lqinlar olish uchun kesish burchagini  $60^\circ < \theta < 120^\circ$  atrofida olish kerak. Siljish kuchlanishini baza zanjiridagi rezistorli bo'lgichlar va emitter zanjiriga qarshilik ulash orqali olish tavsiya etiladi. Bu qarshilikning qiymati  $R_e = (25-50)/S_0$  atrofida bo'ladi. AGning FIK  $\eta_k = r_{vn}/(r_{vn} + r_{kon})$  ga teng bo'ladi.  $r_{vn}$  - kiritilgan qarshilik,  $r_{kon}$  - konturning xususiy qarshiligi. Ularning qiymati 0,1-0,3 Om ni tashkil etadi. AG va undan keyingi kaskad orasiga emitterli qaytargich qo'yib  $r_{vn}$  ning qiymatini kamaytirish mumkin. Buning natijasida yuklama parametrlarining to'lqin chastotasiga ta'siri kamayadi.

### 8.5. Tranzistorli avtogenerator sxemalari

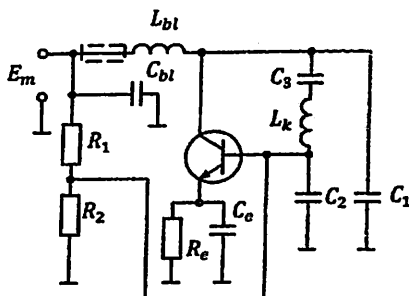
Tranzistorli AGlar ko'p holda sig'imli yoki induktivli uch nuqtali qilib olinadi. Sig'imli uchta nuqtali sxema nisbatan yuqori chastota turg'unligiga ega (8.9-chizma). Bu sxemada  $C_1$  va  $C_2$  sig'imlarning mavjudligi tranzistor kirish  $C_{kir}$  va chiqish  $C_{chiq}$  sig'imlarining chastota turg'unligiga ta'sirini kamaytiradi.



8.9-chizma. Avtogeneratorning sig'imli uchta nuqtali sxemasi

Bu sxemaning qulayligi yana shundan iboratki, ul'tra yuqori chastota diapazonida (tranzistorning inersion ( $f_{cheg} > 0,3f_s$ ) xususiyati namoyon bo'lgan vaqtda) teskari aloqa koeffitsiyentining fazasi  $\varphi_{ta}$  va qiyalikning o'rtacha fazasi  $\varphi_s$  bir-birini o'zaro kompensatsiya qilishadi ( $\varphi_{ta} + \varphi_s = 0$ ). Demak, tranzistor sozlangan yuklamaga ishlaydi va nisbatan katta quvvatni beradi. Ishlab berilayotgan chastota tebranish konturining xususiy chastotasi bilan ustma-ust tushadi.

Amalda sig'imli uchta nuqtali sxemaga qaraganda, Klapp sxemasi (8.10-chizma) ko'proq ishlatiladi. Bu sxemada kontur induktivligiga ketma-ket qilib, qo'shimcha  $C_3$  sig'im ulangan. Bu tebranish konturini kollektor zanjiriga ulanish koeffitsiyentini kamaytiradi va yuqori xarakteristik qarshilikka ( $\rho$ ) hamda yuqori asllikka ( $Q$ ) ega bo'lgan konturni ishlatish imkonini beradi. Bundan tashqari teskari aloqa koeffitsiyentini va ulanish koeffitsiyentini bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda alohida o'zgartirish mumkin bo'ladi.



8.10-chizma. Avtogenerator Klapp sxemasi

AGni loyihalashda tranzistor turi, uning ish holati, asosiy parametrlari  $I_{k1}$ ,  $I_{k0}$ ,  $S_1$  lar tanlanadi. AGni hisoblashda tranzistorning xarakteristikasi qisman chiziqli approksimatsiya qilib olinadi.

### 8.6. Avtogeneratorning chastota turg'unligi

Atrof muhit ko'rsatkichlari, yani harorat, bosim, namlik hamda ta'minot manbaining noturg'unligi, bundan tashqari har xil mexanik ta'sirlar, aktiv element toklarining shovqinli tashkil etuvchilari va tebranish tizimlarining issiqlik shovqinlari avtogenerator tebranishining chastotasi va amplitudasiga ta'sir ko'rsatadi. Avtogenerator chastotasi o'zgarishini keyingi kaskadlarda to'g'rilab bo'lmaydi. Shuning uchun chastota turg'unligiga qo'yilgan talablarni faqat avtogeneratorning o'zida bajarish talab etiladi. Ma'lumki avtogeneratorning chastota turg'unligi  $\Delta f/f$  uning asosiy parametrlaridan biri bo'lib hisoblanadi va vaqt bo'yicha nisbiy o'zgarishi bilan harakterlanadi  $y(t) = \Delta\omega/\omega_0 = \Delta f/f$ . Chastota turg'unligining o'zgarishi ikki xil bo'lishi mumkin: qisqa muddatli ( $< 1s$ ) va uzoq muddatli ( $> 1s$ ). Uzoq muddatli chastota o'zgarishi avtogenerator chastotasining sekin o'zgarishiga bog'liq. Bunga asosan tashqi muhit harorati, bosimi, namligi va ta'minot manbai kuchlanishining o'zgarishi ta'sir qiladi. Qisqa muddatli chastota o'zgarishi avtogenerator chastotasining keskin fluktuatsion o'zgarishi bilan aniqlanadi va ular AE toklarining shovqinli tashkil etuvchilari hamda tebranish konturining issiqlik shovqini ta'sirida vujudga keladi.

Avtogeneratorning kirish qismiga ta'sir qiluvchi kuchlanishni quyidagicha yozish mumkin:

$$U_{ktr}(t) = [U_{ktr0} + U_f(t)] \cos[\omega_0 t + \varphi(t)], \quad (8.19)$$

bunda,  $U_f(t) \ll U_{ktr0}$  – amplitudaning kichik o'zgarishi,  $\varphi(t)$  – faza siljishi, AG real chastotasining nominal qiymatidan o'zgarishi orqali aniqladi. Chastotaning oniy qiymati  $\omega(t)$ , uning absolyut  $\Delta\omega(t)$  va nisbiy  $y(t)$  o'zgarishi quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_0 + d\varphi(t)/dt; \\ \Delta\omega(t) &= \omega(t) - \omega_0 = d\varphi(t)/dt; \\ y(t) &= \Delta\omega(t)/\omega_0 = (1/\omega_0) d\varphi(t)/dt. \end{aligned}$$

Chastota o'zgarishining absolyut va nisbiy qiymati ma'lum qiymatdan katta bo'lishi mumkin emas

$$|\Delta\omega(t)| < \Delta\omega_{max}, \quad |y(t)| < y_{max}.$$

U holda  $\Delta\omega_{max}$  – chastota o'zgarishining maksimal absolyut turg'unligi,  $y_{max}$  – chastota o'zgarishining maksimal nisbiy turg'unligi deyiladi. Zamonaviy radiouzatuvchi qurilmalarda nisbiy chastota o'zgarishi  $y_{max}$   $10^{-5}$ – $10^{-7}$  atrofida bo'ladi. Chastotaning nisbiy o'zgarishi  $y(t)$  radiouzatuvchi qurilmada shakllantirilayotgan radiosignal va halaqit signalarining asosiy xususiyatlarini aniqlaydi, shuning uchun uni tasodifiy jarayon deb qarash kerak. Unga shunday xarakteristikalar kiritish kerakki, bu xarakteristikalar yordamida (8.19) tenglama orqali ifodalanadigan to'liqini to'la aniqlash imkoni bo'lsin. Izlanishlar shuni ko'rsatadiki,  $y(t)$  ni stasionar tasodifiy jarayon deb qarash mumkin emas va oddiy statistik xarakteristikalarni (dispersiya, korrelyatsiya funksiyasi) bu holda qo'llash mumkin emas.

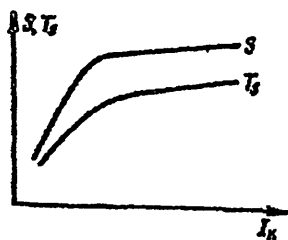
### 8.7. Avtogeneratorning chastota turg'unligiga ta'sir qiluvchi omillar

Avtogeneratorning chastota turg'unligiga ta'sir qiluvchi omillar quyidagilardir.

**Mexanik ta'sir.** Silkinish, davriy mexanik tebranishlar, kuchli zarba harakatdagi RUQLarda sodir bo'ladi. Bunday ta'sirlar avtogeneratorlarga albatta salbiy ta'sir ko'rsatadi. Odatda texnik hujjatda silkinish tebranishining amplitudasi va chastotasi ko'rsatiladi. RUQLar mana shunday ko'rsatilgan mexanik silkinish va tebranishlarga bardosh berib, o'z parametrlarini o'zgartirmasdan ishlashi kerak. Mexanik silkinishlar avtogenerator va boshqa bloklardagi radioelementlarni siljitib, ular orasidagi masofani o'zgartiradi. Bu esa elementlar va montaj simlari orasidagi sig'imning o'zgarishiga olib keladi. Sig'imning o'zgarishi esa avtogenerator chastotasiga ta'sir etadi. Bunday mexanik ta'sirlarni yo'qotish uchun aktiv element simlarini va uning o'zini mahkamlash, bosma montaj usulini ishlatish, alohida bloklarni maxsus silkinishlarga bardosh beruvchi smolalar bilan quyish kerak. Ba'zi hollarda alohida bloklar va aktiv elementlar amortizator hamda prujinalar yordamida mahkamlanadi. Mexanik ta'sirni oldindan hisoblab bo'lmaydi. Uni tekshirish uchun maxsus tebranish stendlarida RUQLar

va alohida bloklar sinab ko'riladi. Bu stendlardagi tebranishlarning amplitudasi va chastotasi keng ko'lamda o'zgarishi mumkin.

**Ta'minot manbai**  $E_t$  va siljish kuchlanishi  $E_s$  chiziqli passiv elementlarga va tebranish konturiga ta'sir qilmaydi. Lekin ular aktiv element ish holatiga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Kuchlanishning o'zgarishi o'tish hududining sig'imini va kollektor tokini o'zgartiradi, bu esa o'z navbatida AE VAXsi qiyaligi  $S$  ni, hamda vaqt doimiysi  $T_s$  ni o'zgartiradi. Bu parametrlarning kuchlanish va tokga bog'liqligi quyidagi 8.11 va 8.12-chizmalarda ko'rsatilgan. Bir xil AENing xususiyatlari bir-biridan farq qiladi va shuning uchun ularni AG chastotasiga ta'sirini aniq qilib hisoblash juda murakkab. Har bir aniq (konkret) AE uchun alohida hisob ishlarini bajarish kerak.



8.11-chizma. AE qiyaligi va vaqt doimiysining kollektor tokiga bog'liqligi



8.12-chizma. Kollektor sig'imining ta'minot manbai kuchlanishiga bog'liqligi

AG chastotasiga siljish kuchlanishining ta'sirini ko'rib chiqamiz, bularga quyidagilarni kiritish mumkin:

1. Kollektor toki  $I_k$  ning kattalashishi  $T_s$  ning o'sishiga olib keladi. Buning natijasida faza  $\varphi_s$  modul bo'yicha o'sadi ( $\Delta\varphi_s < 0$ ), va chastota kamayadi;

2. VAX qiyaligi  $S$  ning oshishiga kesish burchagi  $\theta$  va o'tkazuvchanliklar  $B_{a1}, B_{a2}, B_{a3}$  kamayishi sabab bo'ladi;

3. Baza toki  $I_b$  ning oshishi tranzistor kirish o'tkazuvchanligini o'zgartiradi, shu bilan birga teskari aloqa koeffitsiyenti fazasi  $\varphi_k$  ni ham o'zgartiradi.  $\varphi_k$  sxema turiga va o'tkazuvchanliklar yig'indisining ishorasiga bog'liq bo'ladi. Sig'imli uch nuqtali sxema uchun  $B_{a2} + B_{a3} > 0$ ,  $\varphi_k > 0$  va induktivli sxema uchun  $B_{a2} + B_{a3} < 0$ ,  $\varphi_k < 0$ .

Ta'minot manbai kuchlanishi  $E_t$  o'garishining chastotaga ta'sirini ham yuqorida qayd qilingan mulohazalar bilan tushuntirish mumkin. Ammo bu holda  $E_t$  ning kollektor sig'imi  $C_k$  ga bevosita ta'sirini hisobga olish kerak. Chastotaning  $E_t$  va  $E_s$  ta'sirida o'zgarishi bir lahzada sodir bo'ladi. Lekin  $E_t$  va  $E_s$  oshishi natijasida quvvat oshadi, AE qiziydi, buning natijasida chastota kamayadi. AEning bu qizishi bir lahzada emas, balki bir necha sekund davomida sodir bo'ladi. Shuning uchun chastota avval  $E_t$  oshishi ta'sirida keskin o'zgaradi va keyin esa tranzistor qizishi natijasida asta-sekin o'zgaradi.

**Atruf muhitning harorati** RUQLarning hamma elementlariga ta'sir etadi. Harorat o'zgarganda ham AEning, ham tebranish konturlarining xususiyatlari o'zgaradi. Haroratning tebranish konturiga ta'sirini ko'rib chiqamiz. Tebranish konturidagi sig'im va induktivlikka haroratning ta'siri sig'im harorat koeffitsiyenti (SHK)  $\alpha_C$  va induktivlik tebranish koeffitsiyentlari (ITK)  $\alpha_L$  bilan xarakterlanadi, ya'ni

$$\Delta C/C = \alpha_C \Delta t^0; \quad \Delta L/L = \alpha_L \Delta t^0.$$

Yassi kondensator turidagi kondensator uchun quyidagi ifodani yozishimiz mumkin:

$$S = \varepsilon S_p / 4\pi d;$$

bunda,  $S_p$  – plastinalar yuzasi,  $d$  – plastinalar orasidagi masofa,  $\varepsilon$  – dielektrik singdiruvchanlik.

Bundan  $\alpha_C$  ning harorat koeffitsiyentlarining chiziqli o'lchami ( $\alpha_l$ ) ga hamda dielektrik singdiruvchanlik ( $\alpha_\varepsilon$ ) ka bog'liqligini topish mumkin  $\alpha_C = 2\alpha_{lS} - \alpha_{ld} + \alpha_\varepsilon$ .

Alyuminiy, latun kabi materiallar uchun  $\alpha_l = 20 \cdot 10^{-6}$ , havo uchun namlik 0 % bo'lganda  $\alpha_\varepsilon \approx 1 \cdot 10^{-6}$  va namlik 100 % bo'lganda  $\alpha_\varepsilon \approx 20 \cdot 10^{-6}$ . Demak havoli kondensatorlar uchun  $\alpha_C \approx 50 \cdot 10^{-6}$ , keramik kondensatorlar uchun  $\alpha_C \approx \alpha_\varepsilon \approx (100-200) \cdot 10^{-6}$  ga teng. Titan-keramika asosida tayyorlangan kondensatorlar uchun  $\alpha_C$  manfiy bo'ladi, ya'ni sig'im harorat oshishi bilan kamayadi  $\alpha_\varepsilon \approx (-100-700) \cdot 10^{-6}$ .

Manba ulanganda AE qizishi tufayli chastota kamayadi. 20-30 minutdan keyin chastota o'zgarishi to'xtaydi. Chastota o'zgarishi  $10^{-4}$ – $10^{-5}$ ni tashkil etadi. Harorat o'zgarishidan himoya qilish uchun AGni termostatda saqlash kerak. AG va keyingi kaskadlar orasida



albatta kirish qarshiligi katta bo'lgan bufer kaskadi bo'lishi kerak. Lampali kaskadlarda bufer kaskad vazifasi umumiy turli kaskad, tranzistorli kaskadlarda esa buni emitteg qaytargichlari bajaradi.

### *Nazorat savollari*

1. *Avtogenerator qanday qurilma va u qanday vazifani bajaradi?*

2. *Avtogeneratorning strukturaviy sxemasini chizib bering.*

3. *Avtogeneratorning asosiy tenglamasini yozib bering.*

4. *Avtogeneratorning qo'zg'atish sharti nima?*

5. *Amplitudalar balansi deganda nimani tushunasiz?*

6. *Fazalar balansi deganda nimani tushunasiz?*

7. *Avtogeneratorni qanday uch nuqtali sxemalarini bilasiz? Ushbu sxemalarni chizib ko'rsating.*

8. *Avtogeneratorlarda qanday tranzistorlar ishlatilishi mumkin?*

9. *Avtogeneratorni loyihalashda nimalarga e'tibor berish kerak?*

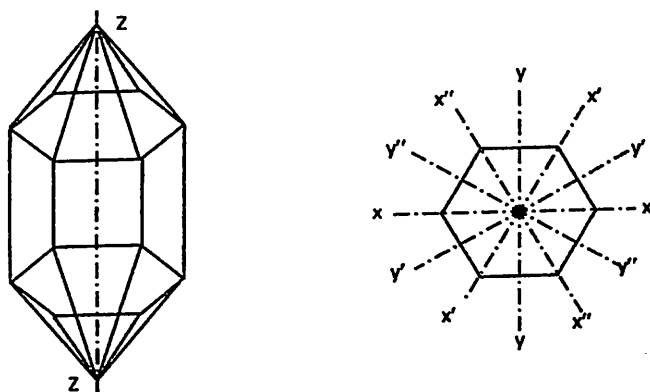
10. *Avtogeneratorlarning chastota turg'unligi deganda nimani tushunasiz? Chastota turg'unligiga ta'sir qiluvchi omillarni sanab bering.*

11. *Atrof-muhit harorati avtogeneratorga qanday ta'sir ko'rsatadi?*

## 9. KVARS REZONATORI ASOSIDA ISHLAYDIGAN AVTOGENERATORLAR

### 9.1. Kvars rezonatorlarining xususiyatlari

Avtogeneratorning chastota turg'unligi yuqori bo'lishi uchun tebranish konturining aslligi  $Q$  katta bo'lishi kerak. Oddiy tebranish konturlari (LC) ning aslligi eng yaxshi holda  $Q = 250 - 300$  ni tashkil etadi va bu kontur yordamida chastota turg'unligi  $\Delta f/f = 10^{-2} - 10^{-3}$  bo'lgan radioto'lqinlarni olish mumkin. Bundan yuqoriroq  $\Delta f/f$  qiymatini olish uchun rezonator (rezonator) lar asosida ishlaydigan tebranish konturidan foydalanish kerak. Rezonatorlar tabiiy yoki sun'iy kristallardan tayyorlanadi. Bunday kristallar p'zoelektrik xususiyatga ega, masalan, kvars shular jumlasiga kiradi. Uning kimyoviy formulasi  $\text{SiO}_2$ . Bu kristallar olti qirrali prizmani eslatadi (9.1-chizma).



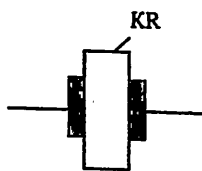
9.1-chizma. a) – kvars plastinkasining ko'rinishi;  
b) – ko'ndalang kesimi.

Kvars anizotropik xususiyatga ega. Uning asosiy parametrlari kristallografik o'qlari yo'nalishiga bog'liqdir. Kvarsni bitta optik  $ZZ$  (9.1a-chizma), uchta mexanik o'qlari  $YY$  (9.1b-chizma), uchta elektrik o'qlari  $XX$  (9.1b-chizma) mavjud. Kvars kristallaridan rezonator tayyorlash uchun to'g'ri to'rtburchak yoki doira shaklida plastina qirqib olinadi.

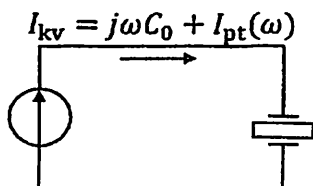
**Kvars rezonatorining tuzilishi.** Qirqib olingan plastinalar simmetriya o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Kristallografik o'qlar

yo'nalishi rezonatorning xarakteristikalariga katta ta'sir ko'rsatadi, ayniqsa, chastotaning harorat koeffitsiyentiga (ChHK). Kristallografik o'qlari yo'nalishi bo'yicha o'tgan chiziq kesish chizig'i deyiladi.

Kvars rezonatorining tuzilishi yassi kondensatornikiga o'xshaydi. Kvars rezonatori kvars plastinasidan va unga biriktirilgan, kontur elektrodleri vazifasini bajaruvchi ikkita metall kontaktdan iborat. Kontakt sifatida kumush yoki mis surilgan qatlamdan foydalaniladi (9.2-chizma). Kvars plastinasi ana shu kontaktleri bilan germetik idishga solinadi. Kvars sxemaga ulanganda unga ta'sir etayotgan doimiy kuchlanish ( $U$ ) kvars plastinasini deformatsiya qiladi. Deformatsiya maydon kuchlanganligiga proporsional bo'ladi. Deformatsiya ta'sirida plastinalarning o'lchami o'zgaradi. Bu esa uning kontaktlerida elektr zaryadlarining paydo bo'lishiga olib keladi. Plastina deformatsiyalanishi va uning natijasida zaryad paydo bo'lishi to'g'ri va teskari p'yezo hodisasidir. Agar rezonatorga o'zgaruvchan kuchlanish ulansa, uning elektrodleridagi zaryad o'zgarishi zanjirda qo'shimcha tok hosil qiladi.



9.2-chizma. Kvars rezonatorining tuzilishi



9.3-chizma. Garmonik kuchlanish ta'sirida ishlaydigan kvars rezonatorining sxemasi

Bu qo'shimcha tokdan tashqari asosiy tok kvars plastinasidan xuddi sig'imdan o'tayotgan tok kabi oqib o'tadi (9.3-chizma), ya'ni tok ikki qismdan iborat bo'ladi

$$I_{kv} = j\omega C_0 + I_{pt}(\omega). \quad (9.1)$$

O'zgaruvchan kuchlanish chastotasi plastina tebranishi bilan mos tushganda «p'yezotok»  $I_{pt}(\omega)$  keskin oshib ketadi. Plastinani deformatsiyasi turlicha bo'lishi mumkin: siqilishi yoki cho'zilishi, siljishi, burilishi va egilishi. Bu deformatsiya natijasida kvars rezonatorida to'lqinlar paydo bo'ladi. To'lqin chastotasi asosiy garmonika chastotasiga va unga karrali bo'lgan mexanik yuqori

garmonikalar chastotasiga teng bo'lishi mumkin. Tebranish chastotalari deformatsiya turiga va plastina qalinligiga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi

$$F_{kv} = k_f/d, \quad (9.2)$$

bunda,  $d$  – plastina qalinligi, [mm];  $k_f$  – chastota koeffitsiyenti,  $k_f = 1,7-3,5$  MHz·mm.

Chastotani oshirish uchun plastina qalinligini kamaytirish kerak. Sanoatda ishlab chiqarilayotgan rezonatorlar plastinasining qalinligi  $d = 0,2 - 0,3$  mm ni tashkil etadi. Bunday rezonatorlarning asosiy garmonikasida chastota  $f = 15 - 30$  MHz dan oshmaydi. Bundan yuqori chastotalar olish uchun yuqori garmonikalarda ishlash kerak bo'ladi.

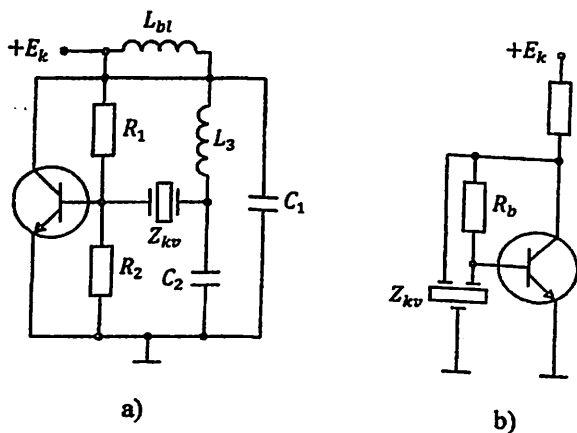
## 9.2. Kvars rezonatorining parametrlari

Kvars rezonatorlarining aslligi ( $Q$ ) juda yuqori bo'lib,  $10^5 - 10^6$  ni tashkil etadi. 3- va 5-garmonikalarida ishlaganda kvars rezonatorining aslligi deyarli o'zgarmaydi va 7-garmonikadan boshlab asllik biroz kamayadi.

Chastotaning harorat koeffitsiyenti (ChHK) muhit haroratiga bog'liq bo'ladi va  $-60^\circ \dots + 100^\circ \text{C}$  harorat oralig'ida  $\pm(100-200) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  qiymatlarga ega bo'ladi. Agar muhit harorati keng ko'lamda o'zgarib tursa, yuqori turg'unlikli chastotalar olish uchun kvars rezonatori maxsus termostatga solinadi va bu termostatning harorati avtomatik ravishda  $10^{-2} - 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$  aniqlik bilan doimiy qilib turiladi. Kvars rezonatorlari eskirish xususiyatiga ega, ya'ni bir necha oy ishlagandan keyin uning chastotasi o'zgaradi, odatda kamayadi. Kvars plastinasiga qo'yilgan quvvatning oshishi eskirish hodisasini tezlashtiradi. Ammo kvars rezonatori AG sxemasiga ulanganda, unga qo'yilgan quvvat plastina hujjatida ko'rsatilgan, ruxsat etilgan  $P_{kv \max}$  quvvatdan oshishi kerak emas, aks holda kvars rezonatori ishdan chiqishi mumkin (elektrodlari ko'chib ketishi mumkin, plastina elektr jihatdan izolyatsiyasini yo'qotishi mumkin). Kvars rezonatorining geometrik o'lchamlari, tebranish turi va plastinaning kesish turi bo'yicha uning asosiy parametrlari: ketma-ket rezonans chastotasi  $\omega_{kv}$ , asllik  $Q$ ,

sig'imler nisbati  $C_k/C_0$ , chastotaviy harorat koeffitsiyenti  $ChHK_{kv}$  va ruxsat etiladigan quvvat tarqalishi aniqlanadi.

Kvars rezonatorlarda avtotebranishlar fazaviy karakteristikada qiyalikning yuqori qiymatiga mos keladigan chastotada, ya'ni  $\omega_{kv}$  yoki  $\omega_p$  yaqinida bo'ladi.  $\omega_{kv}$  chastotada qo'zg'atishli va kvars rezonatori teskari aloqa zanjiriga kiritilgan sxema keng qo'llaniladi. Kvarsli avtogeneratorning bunday sxemasi 9.4a-chizmada keltirilgan. 9.4b-chizmada esa integral turidagi kvarsli avtogenerator sxemasi keltirilgan.



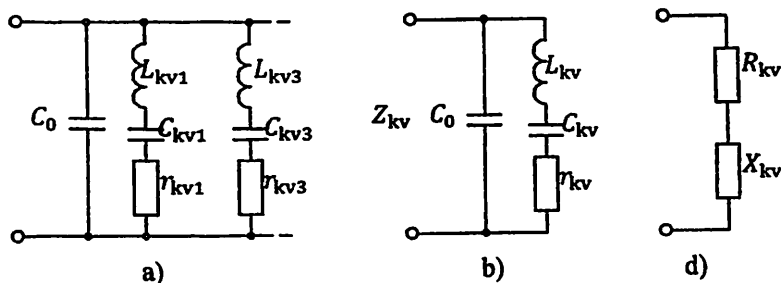
9.4-chizma. Kvars rezonatorli avtogenerator sxemalari: a) – kvars rezonatori teskari aloqa zanjiriga kiritilgan sxema; b) – integral turidagi kvarsli avtogenerator sxemasi.

### 9.3. Kvars rezonatorlarining ekvivalent sxemalari

Kvars rezonatorining elektr zanjiridagi ishlash usuli ekvivalent sxema yordamida tushuntiriladi. Rezonatorning ekvivalent sxemasi parallel ulangan statik sig'im  $C_0$  va ketma-ket ulangan cheksiz konturlardan iborat. Ketma-ket kontur ba'zi hollarda rezonatorning dinamik tarmoqlari deb ham ataladi. Bular tarkibiga kvars plastinasining elementlari  $L_{kvn}$ ,  $C_{kvn}$ ,  $Z_{kvn}$  ( $n = 1, 3, 5, \dots$ ) lar kiradi. Dinamik tarmoqning asosiy vazifasi rezonator p'yezotokining chastotaga bog'liqligini rezonans chastota yaqinida modellashtirishdir. Statik sig'im  $C_0$  tarkibiga kvars plastinasining va unga ulangan kontakt simlarning sig'imi kiradi. Kvars rezonatorining ekvivalent sxemasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi (9.5-chizma).

Statik sig'im qiymati ko'p hollarda  $C_0 \approx 3-10$  pF bo'ladi.

Dinamik tarmoqdagi induktivlik  $L_{kv n}$  va sig'im  $C_{kv n}$  kvarts plastinasining elastik va inersion xususiyatlarini belgilab beradi. Plastinaning aktiv qarshiligi  $\eta_{kv n}$  esa energiya sarflanishini belgilaydi.



9.5-chizma. Kvarts rezonatorini ekvivalent sxemasi:  
 a) – to‘liq; b) – bitta rezonans chastota uchun; d) – ketma-ket almashtirish sxemasi.

Dinamik tarmoqdagi induktivlik  $L_{kv n}$  sig'im  $C_{kv n}$  va qarshilik  $\eta_{kv n}$  oddiy konturdagi induktivlik, sig'im va qarshiliklardan keskin farq qiladi. Plastinaning induktivligi  $L_{kv n}$  oddiy induktivlikdan bir necha marta katta, sig'im  $C_{kv n}$  oddiy sig'imdan bir necha marta kichik bo'ladi. Konturning qarshiligi  $\eta_{kv n}$  chastotaga bog'liq bo'lib, bir Om dan bir necha ming Om gacha bo'lishi mumkin. Kvarts konturining xarakteristik qarshiligi  $\rho_{kv n} = (L_{kv n}/C_{kv n})^{1/2} = 10^5 - 10^8$  ni tashkil etadi. Kvarts rezonatori konturining aslligi juda katta bo'ladi

$$Q_{kv n} = \frac{\rho_{kv n}}{\eta_{kv n}} = 10^4 - 10^7.$$

### 9.3.1. Kvarts rezonatorining ketma-ket va parallel rezonans chastotalari

Kvarts rezonatorining ketma-ket konturi ketma-ket rezonans chastotasi uchun javobgardir. Bu chastota asosiy chastota bo'lib, kvarts rezonatorining hujjatlarida ko'rsatiladi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\omega_{kv} = 1/\sqrt{L_{kv}C_{kv}}. \quad (9.3)$$

Dinamik tarmoqdagi konturlarning aslligi juda katta bo'lganligi uchun, ularning bir-biriga ta'siri sust bo'ladi. Shuning uchun kvars rezonatori faqat bitta garmonikada ishlaganda ekvivalent sxemaning ancha soddalashtirilgan ko'rinishidan foydalanish mumkin. Masalan, birinchi asosiy garmonika uchun ekvivalent sxema quyidagicha bo'ladi (9.5b-chizma).

Qolgan yuqori garmonikalarni dinamik konturlari hisobga olinmaydi. Hamma turdagi tebranishlar uchun kontur sig'imi  $C_{kv}$  statik sig'im  $C_0$  dan ancha kichkina bo'ladi, ya'ni  $\frac{C_{kv}}{C_0} = 10^{-3} - 10^{-4}$  ga teng. Konturning parallel rezonans chastotasini quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

$$\omega_p = 1 / \sqrt{L_{kv} \frac{C_{kv} C_0}{C_{kv} + C_0}} = \omega_{kv} \sqrt{1 + \frac{C_{kv}}{C_0}} \approx \omega_{kv} \left(1 + \frac{C_{kv}}{2C_0}\right). \quad (9.4)$$

Kvars rezonatorining ulanish koeffitsiyenti juda kichkina bo'lib,  $P \approx C_{kv}/C_0 \approx 10^{-3}$  ni tashkil etadi. Shuning uchun tashqi sxema parametrlarining o'zgarishi ketma-ket va parallel chastota rezonanslariga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi. Birinchi garmonika uchun tuzilgan ekvivalent sxema ketma-ket ulangan  $L_{kv}$ ,  $C_{kv}$ ,  $r_{kv}$  va parallel ulangan statik sig'im  $C_0$  lardan iborat bo'ladi (9.5b-chizma).

### 9.3.2. Kvars rezonatorining kompleks qarshiligi

Kvars rezonatorining kompleks qarshiligi ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{Z_{kv}} = j\omega C_0 + \frac{1}{r_{kv} + j\omega L_{kv} \frac{1}{j\omega C_{kv}}} = j\omega C_0 + \frac{1}{r_{kv}(1 + j\nu)}, \quad (9.5)$$

bunda,  $\nu$  – ishlab berilayotgan chastota  $\omega$  va ketma-ket rezonans chastota  $\omega_{kv}$  orasidagi farq, ya'ni nosozlik (rasstroyka):

$$\nu = \frac{\omega_{kv} L_{kv}}{r_{kv}} \left( \frac{\omega}{\omega_{kv}} - \frac{\omega_{kv}}{\omega} \right) \approx Q_{kv} \frac{2(\omega - \omega_{kv})}{\omega_{kv}}. \quad (9.6)$$

Avtogeneratorning chastotasi odatda  $\omega_{kv} < \omega < \omega_p$  oraliqda bo'ladi. Bu oraliqda  $\omega C_0 \approx \omega_{kv} C_0$  ga teng, u holda kompleks qarshilikni quyidagicha yozish mumkin

$$\dot{Z}_{kv} \approx \eta_{kv}(1 + j\nu)/(1 - \tau_0\nu + j\tau_0), \quad (9.7)$$

bunda,  $\tau_0 = \omega_{kv} C_0 \eta_{kv}$ .

U holda rezonatorning to'liq qarshiligi ketma-ket ulangan aktiv  $R_{kv}$  va reaktiv  $X_{kv}$  qarshiliklaridan iborat bo'ladi (9.5b-chizma).

$$\dot{Z}_{kv} = R_{kv} + jX_{kv}, \quad (9.8)$$

bunda,  $R_{kv} = \eta_{kv}/[(1 - \tau_0\nu)^2 + \tau_0^2]$ ;  $X_{kv} = R_{kv}[\nu(1 - \tau_0\nu) - \tau_0]$ .

Ko'p hollarda  $\tau_0 = \omega_{kv} C_0 \eta_{kv} \ll 1$  bo'lgani uchun (9.7) ifodaning mahrajidagi  $\tau_0\nu$  va  $j\tau_0$  ni hisobga olmasa ham bo'ladi va kvars rezonatorining qarshiligi

$$\dot{Z}_{kv} \approx \eta_{kv}(1 + j\nu); \quad R_{kv} \approx \eta_{kv}; \quad X_{kv} = \nu\eta_{kv} \quad (9.9)$$

ga teng bo'ladi.

Parallel rezonans chastota  $\omega_r$  atrofida kvars rezonatori parallel kontur sifatida namoyon bo'ladi va quyidagi ifodalarni yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{kv} &= R_{kv0}/[1 + j(\nu - \nu_p)]; \\ R_{kv} &= R_{kv0}/[1 + j(\nu - \nu_p)^2]; \\ X_{kv} &= -(\nu - \nu_p)R_{kv}, \end{aligned} \quad (9.10)$$

bunda,  $\nu_p = 1/\tau_0$  - parallel rezonans chastotasi  $\omega_r$  ni kema-ket rezonans chastota  $\omega_{kv}$  ga nisbatan umumlashtirilgan nosozligi;  $R_{kv0} = \eta_{kv}/\tau_0^2 = \eta_{kv}/(\omega_{kv} C_0)^2$  - kvars rezonatorining rezonans qarshiligi.

Avtogeneratorlarda kvars rezonatori *induktiv qarshilik yoki ketma-ket kontur* sifatida ishlatilishi mumkin. Agar  $\nu$  ning qiymati  $0 < \nu < \nu_p$  oraliqda bo'lsa kvars rezonatorining reaktiv qarshiligi induktiv xarakterga, undan katta bo'lsa  $\nu > \nu_p$  sig'im xarakteriga ega bo'ladi. Rezonatorning bu xususiyati AG sxemalarini qurishda faqat ma'lum bir chastotada radioto'lqinlar olish uchun qo'llaniladi. Yuqorida qayd qilingan xususiyatlar turli sxemada avtogeneratorlarni yig'ishga imkon beradi. Ularning chastota turg'unligi hozirgi zamon talablariga to'la javob beradi.



#### 9.4. Kvars rezonatorlari induktiv qarshilik sifatida ishlatilgan avtogenerator sxemalari

Amalda keng ishlatiladigan kvars rezonatorli avtogeneratorlar sxemalarining turi juda ko'p. Lekin shunga qaramay ularni *ikki guruhga* bo'lish mumkin.

1. Kvars rezonatorlari induktiv qarshilik sifatida ishlatilgan avtogenerator sxemalari.

2. Kvars rezonatorlari ketma-ket konturi sifatida ishlatilgan avtogenerator sxemalari.

Birinchi guruhdagi sxemalarda kvars rezonatori, umumlashtirilgan ekvivalent sxemadagi  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  kompleks qarshiliklarning birortasini o'rninga qo'yiladi (8.4-chizma). Bu sxemada avtogeneratorning qo'zg'atish shartini kvars rezonatori belgilab beradi va kvars rezonatori ishdan chiqsa avtogenerator to'lqinlar ishlab bermaydi. Shuning uchun, bu sxemada avtogeneratorning qo'zg'atish sharti faqat kvars rezonatorining ekvivalent qarshiligi induktiv xarakterga ega bo'lgan chastotada bajarilishi kerak.

Bunday avtogeneratorlar (AG) sxemasi uch nuqtali bo'lib, ularda induktiv kontur o'rninga kvars rezonatori ishlatiladi.

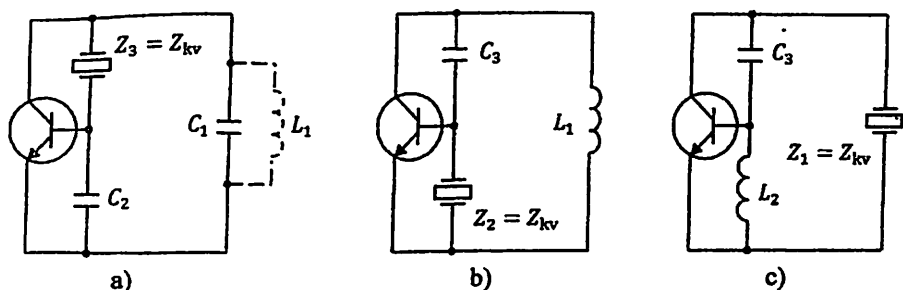
Sxema sig'imli uch nuqtali yoki induktiv uch nuqtali bo'lishi mumkin. Bunday avtogeneratorlarning sxemasi 9.6-chizmada keltirilgan.

Sig'imli uch nuqtali sxemaning chastota turg'unligi nisbatan yuqori bo'ladi. Amalda ko'proq kvars rezonatori tranzistorning kollektor va bazasi orasiga ulangan sxemalar ishlatiladi. Bunday avtogeneratorlar uchun statsionar ish holati

$$\dot{S}_1 \dot{Z}_b = 1 \quad (9.11)$$

ifoda orqali aniqlanadi, bunda  $\dot{Z}_b$  – boshqaruvchi qarshilik bo'lib

$$\dot{Z}_b = -\dot{Z}_1 \dot{Z}_2 / (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3). \quad (9.12)$$



9.6-chizma. Avtogeneratorning uch nuqtali sxemalari: a) – sig‘imli; b) va d) – induktivli.

$\omega_{kv} < \omega < \omega_p$  chastota oralig‘ida kvarts rezonatorining reaktiv qarshiligi  $X_{kv}$  induktiv xarakterga ega bo‘ladi.  $C_1$  va  $C_2$  sig‘imlar qarshiligi va aktiv element volt-amper xarakteristikasining qiyaligi  $S_1 = S_{1V} + jS_{1M}$  deyarli o‘zgarmaydi va ularni chastotaga bog‘liq bo‘lmaydi deb hisoblash mumkin. Bu holda AG chastotasi  $\omega = \omega_{kv}$  bo‘ladi deyish mumkin.  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3$  tarkibiga kiruvchi aktiv elementning o‘tkazuvchanligi  $\dot{Y}_1, \dot{Y}_2, \dot{Y}_3$  lar AGning ishiga deyarli ta‘sir ko‘rsatmaydi. Buning uchun aktiv elementning ish holati va parametri to‘g‘ri tanlangan bo‘lishi kerak. Chastota turg‘unligi yuqori bo‘lgan avtogeneratorlarda yuklama bilan bog‘liqlik sust bo‘ladi va aktiv elementning energiyasi asosan kvarts rezonatorida sarf bo‘ladi. Natijada  $\dot{Z}_1$  va  $\dot{Z}_2$  qarshiliklarni reaktiv deb hisoblash mumkin:

$$\dot{Z}_1 \approx jX_1; \quad \dot{Z}_2 \approx jX_2; \quad \dot{Z}_3 \approx R_{kv} + jX_{kv}, \quad (9.13)$$

u holda boshqaruvchi qarshilik

$$\dot{Z}_b = X_1 X_2 / [R_{kv} + j(X_1 + X_2 + X_{kv})] \quad (9.14)$$

ga teng bo‘ladi.

(9.14) ifodani AG statsionar holatini aniqlaydigan tenglamaga, ya‘ni (9.11) ifodaga qo‘yib, va aktiv elementning volt-amper xarakteristikasi qiyaligini  $S_1 = (S_V + jS_M)\gamma_1(Q)$  ekanligini nazarda tutib, hamda haqiqiy va mavhum qismga ajratib quyidagi ifodani olish mumkin

$$S_V \gamma_1(Q) R_b = 1; \quad X_1 + X_2 + X_{kv} - S_M \gamma_1(Q) R_{kv} R_b = 0, \quad (9.15)$$

bunda,  $R_b = X_1 X_2 / R_{kv}$ ;  $\nu$  – chastotaning nosozlik koeffitsiyenti.

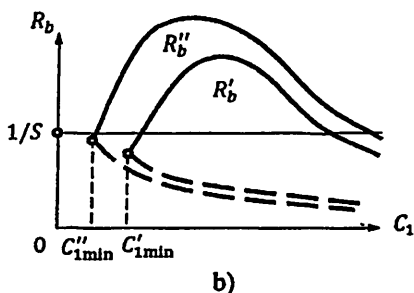
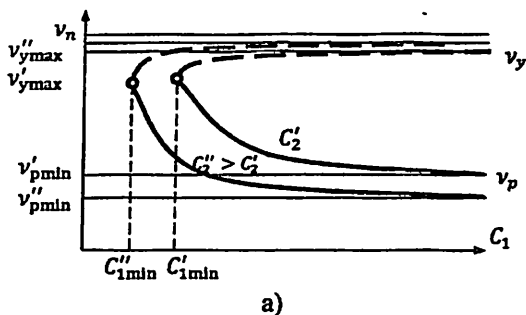
(9.14) va (9.15) tenglamalarni birgalikda yechib nosozlik koeffitsiyenti  $\nu$  ni va  $\gamma_1(Q)$  yoyilish koeffitsiyentini topish mumkin ( $R_{kv}$  va  $X_{kv}$   $\nu$  ga bog‘liq bo‘ladi). Nosozlik koeffitsiyenti  $\nu$  AG chastotasini,  $\gamma_1(Q)$  esa to‘lqinlar amplitudasini aniqlaydi. Agar AE VAX qiyaligining fazasi kichik bo‘lsa, ya‘ni  $S_M \approx S_1$  bo‘lsa (9.15) tenglamani soddaroq qilib yozish mumkin:

$$S\gamma_1 R_{kv} = 1; X_1 + X_2 + X_{kv} = 0. \quad (9.16)$$

$S_M \approx S_1$  tranzistorli avtogeneratorlarda,  $\omega_{kv} \approx 0,5\omega_s$ , ya‘ni inersiyasiz bo‘lgan holda amalga oshishi mumkin. Avtogeneratorning boshqaruvchi xarakteristikalari  $C_1$  va  $C_2$  sig‘imni chastotaga va ish holatiga ta‘sirini aniqlab beradi. Bunda  $E_p$  va  $E_s = const$  deb hisoblanadi. Chastota va boshqaruvchi qarshilikning  $C_1$  sig‘imga bog‘liqligini quyidagi 9.7-chizmada ko‘rsatilgan. Bu grafikdan ko‘rinib turibdiki, kvars rezonatori AEning kollektori va bazasi orasiga ulanganda avtogenerator  $C_1$  sig‘im keng ko‘lamda o‘zgaranda ham to‘lqinlar ishlab berishi mumkin. Bu holda boshqaruvchi qarshilik  $R_b$  va avtogeneratorning ish holati keskin o‘zgarishi mumkin, lekin chastota  $\omega$  kam o‘zgaradi. Demak, bunday sxemada chastotani yuqori turg‘unligi saqlanib turadi.

Tranzistorning haroratga, ta‘minot manbaiga va vaqtga bog‘liq bo‘lgan reaktiv parametrlari keskin o‘zgarishi mumkin, lekin bu holat chastota o‘zgarishiga kam ta‘sir ko‘rsatadi.  $C_1$  va  $C_2$  sig‘imlar qiymatining oshishi yuqorida qayd qilingan parametrlarning chastotaga bo‘lgan ta‘sirini kamaytiradi. Lekin ularni cheksiz oshirish mumkin emas.  $C_1$  va  $C_2$  sig‘imlarning kattaligi ma‘lum qiymatga yetganda  $R_b$  kuchayib ketadi va to‘lqinlar ishlab chiqilmaydi.

Avtogenerator yaxshi ishlashi uchun regeneratsiya ko‘rsatkichi  $SR_b = 4-7$  atrofida bo‘lishi kerak. Avtogeneratorga berilgan tok va kuchlanish nominal qiymatdan past bo‘lishi kerak. Avtogeneratorni yuqori garmonikalarda ishlatish uchun  $C_1$  sig‘imga parallel qilib  $L_1$  induktivlik ulanadi.  $L_1 C_1$  konturning parametri shunday tanlanadiki, uning qarshiligi past garmonikalarda induktiv harakterga, tanlangan ish chastotasida sig‘im harakterga ega bo‘lishi kerak.



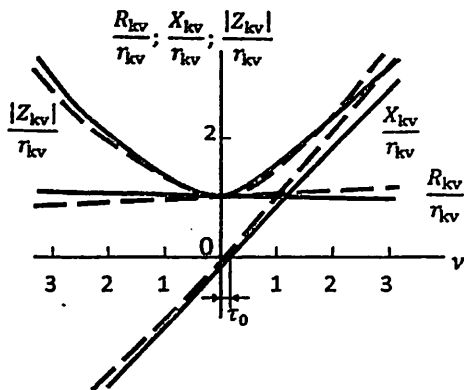
9.7-chizma. *Chastota (a) va boshqaruvchi qarshilikning (b)  $C_1$  sig'imga bog'liqligi*

Bu holda past chastotalarda AG qo'zg'atish sharti  $C_1 R_b > 1$  bajarilmaydi. Tanlangan  $\omega$  chastotadan yuqori chastotalarda aktiv elementning qiyaligi (VAX qiyaligi) sig'im  $C$  va boshqaruvchi qarshilik ( $R_b$ ) kamaygani uchun avtogenerator to'liqin ishlab bermaydi. Demak  $L_1$  induktivlik ulanganda avtogenerator faqat tanlangan kerakli chastotali to'liqin ishlab beradi.

### 9.5. Kvars rezonatorlari ketma-ket kontur sifatida ishlatilgan avtogenerator sxemalari

Bunday sxemada kvars rezonatori teskari aloqa zanjiriga ulangan. Sxemada bu konturdan tashqari yana bir oddiy kontur bor. Ikkinchi oddiy kontur avtogeneratorning qo'zg'atish sharti bajarilishi uchun kerak. Shuning uchun kvars rezonatori ishdan chiqqanda avtogenerator ish faoliyatini to'xtatmaydi. Bunday sxemalarda kvars rezonatorining kompleks absolyut qarshiligi ( $R_{KV}$ ) ketma-ket rezonans chastotasida  $\omega_{KV}$  eng kichik qiymatga ega bo'ladi va  $\omega_{KV}$  chastotadan boshqa

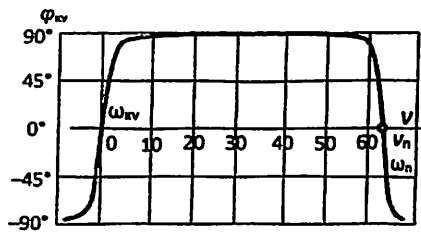
chastotalarda keskin oshib ketadi. Buni 9.8-chizmadagi grafikdan ko'rish mumkin.



9.8-chizma. Kvars rezonatori qarshiligining chastotaga bog'liqligi

Tranzistorli avtogeneratoring sxemasini ko'rib chiqamiz. Bu sxema uch nuqtali sxema bo'lib, teskari aloqa zanjiriga kvars rezonatori  $Z_{kv}$  va qo'shimcha qarshilik  $r_{bo'1}$  ulangan.

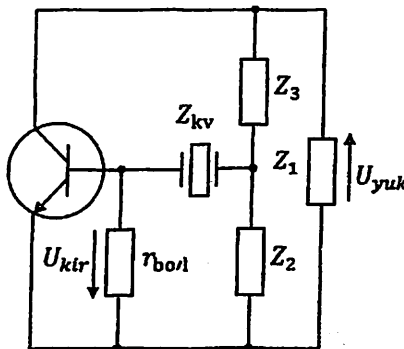
Avtogeneratoring tebranish tizimi ikki konturdan iborat (9.10-chizma). Birinchisi: kollektor yuklamasi ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ) va ikkinchisi: teskari aloqa konturi ( $r_{bo'1}, Z_{kv}, Z_2$ ). Ikkinchi kontur parametrlari to'g'ri tanlanganda uning aslligi  $Q$  kvars rezonatorining aslligiga teng bo'ladi, va kollektor konturining aslligidan ancha katta bo'ladi, ya'ni  $Q_{ta} \gg Q_k$ . Shu sababli avtogenerator ishlab berayotgan chastotani teskari aloqa konturi belgilab beradi va chastota  $\omega = \omega_{kv}$  bo'ladi. Bu holda  $r_{bo'1}, Z_{kv}$  dan iborat bo'lgan zanjirning uzatish koeffitsiyenti eng katta qiymatga ega bo'ladi. Kollektor konturini qayta sozlaganda unda faza siljishi  $\varphi_s$  kuzatiladi. Bu siljish kvars fazasi  $\varphi_{kv}$  bilan kompensatsiya qilinadi. Kvars fazasi  $\varphi_{kv}$  juda katta qiyalikka ega, buni faza-chastota xarakteristikadan ko'rish mumkin (9.9-chizma). Fazalar balansi  $\varphi_{kv} + \varphi_{ta} + \varphi_s = 0$  amalga oshishi uchun chastotaning ozgina o'zgarishi kifoya qiladi, ya'ni avtogenerator oldingi ish holatiga qaytib keladi.



9.9-chizma. Kvars rezonatorining faza-chastota xarakteristikasi

Avtogenerator stasionar ish holatining tenglamasidagi ( $\dot{S}_1 \dot{Z}_b = 1$ )  $S_1$  ni haqiqiy deb qaraymiz va boshqaruvchi qarshilik uchun  $\dot{Z}_b = \dot{k} \dot{Z}_{yuk}$  tenglama tuzamiz. Teskari aloqa koeffitsiyentini  $\dot{k} = k_t k_{bo'l}$  ga teng deb olamiz. Bunda  $k_t = -\dot{Z}'_2 / (\dot{Z}'_2 + \dot{Z}_3)$  - uch nuqtali sxemaning teskari aloqa koeffitsiyenti;  $k_{bo'l} = r_{bo'l} / (r_{bo'l} + \dot{Z}_{kv})$  - bo'lgichning uzatish koeffitsiyenti,  $\dot{Z}'_2$  esa  $1/\dot{Z}'_2 = 1/\dot{Z}_2 + 1/(r_{bo'l} + \dot{Z}_{kv})$  formuladan aniqlanadi. U holda boshqaruvchi qarshilikni quyidagicha yozish mumkin:

$$\dot{Z}_b = - \frac{r_{bo'l} \dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3)(r_{bo'l} + \dot{Z}_{kv} + \dot{Z}_2) - \dot{Z}_2^2}. \quad (9.17)$$



9.10-chizma. Tranzistorli avtogeneratorning sxemasi

(9.17) ifodaga yuklama va kvars rezonatori konturlarining qarshiligi kiradi:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 &= r_n + jX_n = r_n(1 + ja_n), \\ r_{bo'l} + \dot{Z}_{kv} + \dot{Z}_2 &= r_{bo'l} + R_{kv} + j(X_{kv} + X_2) = r(1 + ja_k). \end{aligned}$$

Umumlashtirilgan nosozlikni quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\alpha_n = X_n/r_n = 2Q_n(\omega_0 - \omega_n)/\omega_n, \quad (9.18)$$

$$\alpha_k = (X_{kv} + X_2)/r = 2Q'_{kv}(\omega_0 - \omega_{kv})/\omega_{kv}, \quad (9.19)$$

bunda,  $Q_n$  – yuklama konturining aslligi,  $\omega_n$  – uning xususiy chastotasi;  $Q'_{kv} = Q_{kv}(1 - k_{bo'l})$  – teskari aloqa konturining aslligi,

$$k_{bo'l} = r_{bo'l}/(r_{bo'l} + R_{kv}).$$

$X_2$  qarshilikka proporsional bo'lgan tashkil etuvchi kvarts rezonatorining xususiy chastotasini ketma-ket rezonans chastotaga nisbatan juda kam o'zgartiradi.  $Z_1 = jX_1$  va  $Z_2 = jX_2$  ekanligini inobatga olib, boshqaruvchi qarshilik ifodasini quyidagicha yozamiz:

$$\dot{Z}_b = \frac{k_{bo'l}R_{bo}}{(1 + j\alpha_k)(1 + j\alpha_n) + m^2} = \frac{k_{bo'l}R_{bo}}{1 + m^2 - \alpha_k\alpha_n + j(\alpha_k + \alpha_n)}, \quad (9.20)$$

bunda,  $R_{bo} = X_1X_1/r_n$ ;  $m^2 = X_2^2/r_n r$ .

Boshqaruvchi qarshilikni avtogeneratorning statsionar ish holati formulasiga qo'yib, uni haqiqiy va mavhum qismiga bo'lib, quyidagi ifodalarga ega bo'lamiz

$$S\gamma_1(\theta)R_b = 1; \quad \alpha_k + \alpha_n = 0. \quad (9.21)$$

Aktiv boshqaruvchi qarshilik  $R_b = k_{bo'l}R_{bo}/(1 + m^2 + \alpha_n^2)$  ga teng.  $S\gamma_1(\theta)R_b = 1$  ifoda avtogenerator signalining amplitudasini,  $\alpha_k + \alpha_n = 0$  esa chastotasini belgilab beradi.  $\alpha_k + \alpha_n = 0$  tenglamaga  $\alpha_n = X_n/r_n = 2Q_n(\omega_0 - \omega_n)/\omega_n$  va  $\alpha_k = (X_{kv} + X_2)/r = 2Q'_{kv}(\omega_0 - \omega_{kv})/\omega_{kv}$  ni qo'yib quyidagi ifodalarni olamiz:

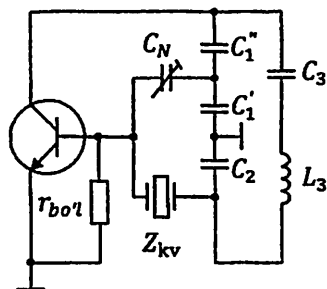
$$2Q'_{kv}(\omega_0 - \omega_{kv})/\omega_{kv} = -2Q_n(\omega_0 - \omega_n)/\omega_n. \quad (9.22)$$

Avtogeneratorning chastotasi ketma-ket chastota rezonansiga teng ( $\omega_0 \approx \omega_{kv}$ ) deb hisoblab, quyidagi ifodani olamiz:

$$\omega_0 - \omega_{kv} = (\omega_n - \omega_{kv})Q_n/Q'_{kv}. \quad (9.23)$$

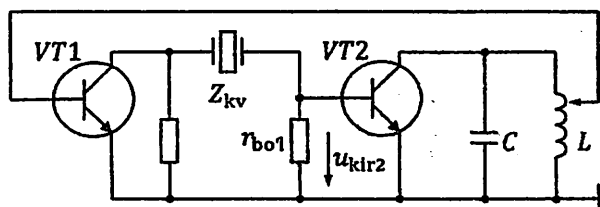
Bu holda kontur sozlanishi o'zgartiranda avtogeneratorning chastotasi  $\omega_0$   $\omega_{kv}$  dan  $(\omega_n - \omega_{kv})Q_n/Q'_{kv}$  ga proporsional ravishda

o'zgaradi. Agar  $Q_n \approx 10^2$ ,  $Q'_{kv} \approx 10^5$  bo'lsa, u holda  $Q_n/Q'_{kv} \approx 10^3$  ga teng bo'ladi. Bunday avtogeneratorlar kvars rezonatorida ajralayotgan quvvat  $P_{kv}$  AEda ajralayotgan quvvatdan kichkina bo'ladi  $P_{kv} < P_1$ . Bu kvars avtogeneratorlarning yaxshi tomonidir. Boshqa afzalliklaridan yana biri shuki, kollektor konturini o'zgartirib kerakli mexanik garmonikani olish mumkin.  $C_0$  statik sig'imni neytrallab, 15-, 17-garmonikagacha to'lqinlar olish mumkin.  $C_0$  sig'imni neytrallash parazit ya'ni zararli bo'lgan to'lqinlarni yo'qotish imkonini beradi. 5-garmonikagacha bo'lgan to'lqinlarni olishda  $C_0$  sig'im,  $r_{bo1}$  qiymatini ratsional tanlash yo'li bilan kompensatsiya qilinadi. Undan yuqori garmonikalarda  $C_0$  sig'imga parallel qilib induktivlik ulanadi. Ba'zi hollarda neytrallash uchun maxsus neytrodin sig'im  $C_N$  ishlatiladi (9.11-chizma).



9.11-chizma. *Kvars rezonatorining statik sig'imini neytrallash sxemasi*

Ba'zi hollarda kvars rezonatorli avtogeneratorlarning boshqa sxemalari ham ishlatilishi mumkin. Bunga misol qilib ikki konturli avtogenerator sxemasini (9.12-chizma) keltirish mumkin.



9.12-chizma. *Ikki kaskadli, kvars rezonatorli avtogeneratorning sxemasi*



Bu sxemada VT2 tranzistorning bazasiga  $u_{kir2}$  kuchlanish  $r_{bo1}$  qarshilik orqali uzatiladi. Bu kuchlanishning amplitudasi kvars rezonatori qarshiligining absolyut qiymatini va  $r_{bo1}$  qarshilikka nisbatiga bog'liq bo'ladi. Avtogeneratorning ish holati va uning parametrlari to'g'ri tanlanganda, qo'zg'atish sharti ketma-ket chastota yaqinida bajariladi. Bu holda kvars rezonatorining qarshiligi  $Z_{kv}$  kichik  $r_{bo1}$  qarshilikning uzatish koeffitsiyenti katta bo'ladi.

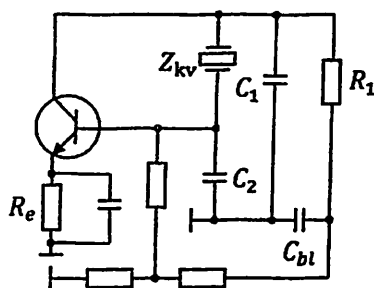
Bu va shunga o'xshash sxemalarni kvars rezonatorli avtogeneratorning umumiy tenglamalari orqali tahlil qilish mumkin. Har bir ko'rib chiqilgan avtogeneratorlarning o'ziga xos afzalliklari va kamchiliklari bor. Lekin ularning haroratga bog'liq bo'lgan chastota turg'unligi deyarli bir xil bo'ladi.

## 9.6. Gibrid va integral mikrosxemalarda yig'ilgan avtogeneratorlar va ularning vazifasi

Avtogeneratorlarga bo'lgan talablar asosida avtogeneratorning tuzilishi har xil bo'lishi mumkin. Hozirgi paytda avtogeneratorning tuzilishi oddiy, sig'im va induktivlik elementlarda, polosali chiziqli elementlarda, gibrid va integral mikrosxemalarda ishlab chiqilmoqda.

Gibrid variantli tuzilishida avtogeneratorning asosiy qismi mikrosxemalarda yig'iladi. Mikrosxemadan tashqarida aktiv element, kvars rezonatori va tebranish konturining ba'zi elementlari montaj qilinadi. Mikrosxema sifatida ko'p hollarda kuchaytiruvchi sxemalardan foydalaniladi. Integral mikrosxemalarda yig'ilgan avtogeneratorning hajmi va vazni kichkina, montaj puhtaligi esa ancha yuqori bo'ladi, ya'ni silkinish va tebranishlarga bemaol bardosh beradi. Bu jihatdan gibrid sxemada yig'ilgan avtogeneratorlar mikrosxemali avtogeneratorlarga qaraganda biroz orqada qoladi. Oddiy va gibrid sxemali avtogeneratorning tuzilishi AEni qizimasdan ishlashiga imkon beradi, ya'ni AEni sovutish masalasini oson hal etish mumkin bo'ladi. Oddiy va gibrid sxemali avtogeneratorlarda AEdan issiqlikni tarqatib yuborish masalasi bir xil bo'ladi. Integral mikrosxemalarda yig'ilgan avtogeneratorlarda AEni qizishi hisobiga bo'ladigan issiqlikni tarqatish ancha muammo bo'ladi, chunki AE mikrosxemaning ichida joylashgan bo'ladi. Gibrid sxemali avtogeneratorning quvvati mikrosxemali avtogeneratorning quvvatidan katta bo'ladi, bu degani gibrid sxemali avtogeneratorlar yuklamaga katta quvvat beradi. Gibrid va integral sxemali avtogeneratorlarda iloji boricha induktivlik g'altaklarini

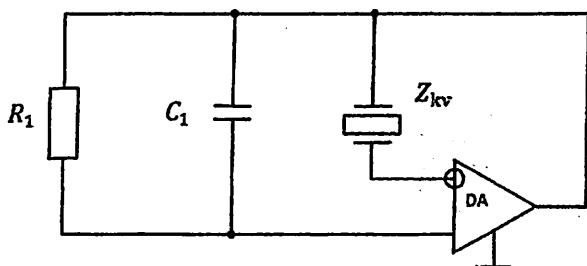
ishlatmaslik kerak, chunki ularni aniq qilib tayyorlash ancha qiyin. Bunday avtogeneratorlarda kvars rezonatori baza va kollektor orasiga ulanadi. Avtogeneratorning sxemasi 9.13-chizmada keltirilgan.



9.13-chizma. Induktivligi bo'lmagan va kvars kollektor va baza orasiga qo'yilgan avtogenerator sxemasi

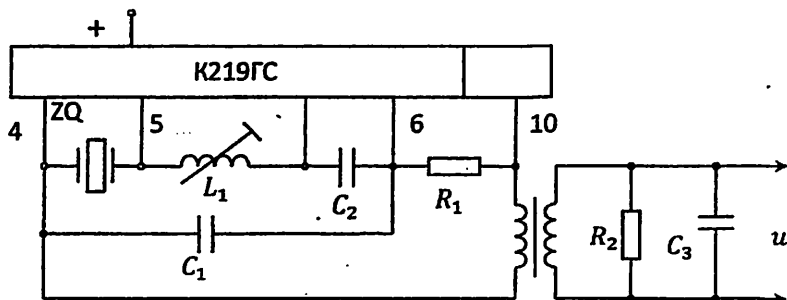
Bu sxemada  $C_1$  sig'imga parallel ravishda kvars rezonatori  $Z_{kv}$  ulangan. Agar rezonatorni yuqori garmonikalarda ishlatish kerak bo'lsa,  $R_1$  qarshilikni shunday tanlash kerakki, tanlangan chastotadan boshqa chastotalarda avtogeneratorni qo'zg'atish sharti  $S_{1k}Z_k > 1$  bajarilmasligi kerak.

Tanlangan chastota uchun  $R_1$  qarshilik blokirovka qiluvchi element bo'lib xizmat qiladi. Integral variantda yig'ilgan avtogeneratorning sxemasi 9.14-chizmada keltirigan. Bu sxemada avtogeneratorning asosiy qismi integral sxema DA bo'lib, kvars rezonatori  $Z_{kv}$ , sig'im  $C_1$ , qarshilik  $R_1$  tashqarida montaj qilinadi. B'azi hollarda  $C_1$  va  $R_1$  elementlar integral mikrosxema tarkibida bo'lishi mumkin, bu holda faqat kvars rezonatori tashqarida bo'ladi.



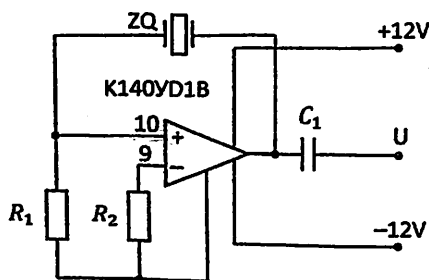
9.14-chizma. Integral mikrosxemali avtogenerator

Bulardan tashqari avtogeneratorlarni boshqa sxemalari ham mavjud. Avtogeneratorlarda K218, K219, K221, K224, K228 seriyadagi gibrid chiziqli-impulsi mikrosxemalarni ishlatish mumkin. K219 seriyadagi mikrosxema kvarts rezonatori bilan birgalikda 1-30 MHz diapazonda yuqori turg'unlikli to'liqlinlar olish imkonini beradi. K219ГC mikrosxema esa radiosignallarni 30-70 MHz diapazonda ishlab beradi (9.15-chizma).



9.15-chizma. Mikrosxemada yig'ilgan avtogenerator sxemasi

Avtogeneratorning ko'p elementlari tashqarida bo'lgani uchun hajmi nisbatan katta bo'ladi. Avtogenerator chastotasiga uncha yuqori talablar qo'yilmaganda va chastota past bo'lganda operatsion mikrosxemalar ishlatish mumkin. Masalan, quyidagi sxema chastotalarni 1-50 kHz diapazonda ishlab beradi (9.16-chizma).



9.16-chizma. Operatsion kuchaytirgichda yig'ilgan avtogenerator sxemasi

## Nazorat savollari

1. Kvars rezonatori qanday vazifani bajaradi? Kvars rezonatorini nechta kristallografik o'qi bor?
2. Kvars rezonatorini tebranish chastotasi qanday ifoda bilan aniqlanadi?
3. Kvars rezonatorini ekvivalent sxemasini chizing.
4. Kvars rezonatorining ketma-ket chastota rezonansi qanday aniqlanadi?
5. Uch nuqtali avtogenerator sxemalarini chizing?
6. Uch nuqtali sig'imli avtogeneratorning afzalligi nimadan iborat?
7. Kvars rezonatorni kompleks qarshiligi ketma-ket chastota rezonansida qanday qiymatlarga ega bo'ladi?
8. Kvars rezonatorlari ketma-ket induktivlik konturi sifatida ishlatilgan avtogeneratorni qanday afzalligi va kamchiligi bor?
9. Ikki kaskadli, kvars rezonatorli avtogenerator sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
10. Integral turidagi kvarsli AG sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
11. Kollektor va baza orasiga kvars qo'yilgan avtogenerator sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

## 10. MODULYATORLAR

### 10.1. Modulyatsiya turlari

**Modulyatsiya** deb, yuqori chastotali tashuvchi tebranishning bir yoki bir nechta parametrini modulyatsiyalovchi past chastotali signal orqali boshqarishga aytiladi. Yuqori chastotali tebranish umumiy holda quyidagi ko'rinishda ifodalanadi

$$u(t) = U \cos(\omega t + \varphi) = U \cos \Psi, \quad (10.1)$$

bunda,  $U$  – amplituda;  $\omega$  – chastota;  $\varphi$  – boshlang'ich faza;  $\Psi$  – tebranish oniy fazasi.

Modulyatsiyalangan yuqori chastotali tebranish axborot tashuvchi signal hisoblanadi, shuning uchun yuqori chastotali (YuCh) tebranish chastotasini tashuvchi chastota deyiladi. Yuqori chastotali tebranish amplitudasi  $U$  yoki fazasi  $\Psi$  ni boshqaruvchi past chastotali signal yordamida o'zgartirib, modulyatsiyaning ikkita asosiy turini hosil qilamiz: *amplituda modulyatsiyasi (AM)* va *burchak modulyatsiya (BM)*. Modulyatsiyalovchi signal AM, ChM va FM uchun

$$u_m(t) = U_m \cos(\Omega_m t + \varphi_m) \quad (10.2)$$

shaklida yoki impulsli modulyatsiyada impulslar ketma-ketligi shaklida bo'lishi mumkin.

$\Omega_m$  yagona chastota emas balki chastota polosasini ifodalaydi. Masalan, radioeshittirishda AM jarayonida modulyatsiyalovchi signal tovush chastotalar polosasidan (20–20000 Hz) tashkil topadi.

Amplituda modulyatsiyasini hosil qilish usullaridan bir polosali va impulsli amplituda modulyatsiyalari ko'proq ishlatiladi. Burchak modulyatsiyasi chastota va faza modulyatsiyalariga ajratiladi. Turli modulyatsiya sxemalari ushbu ikkita usulni yoki ularni boshqa usullar bilan birlashtiradi. Masalan, televideniya turli axborotni uzatish uchun AM ham ChM ham ishlatiladi. Impulsli modulyatsiya amplituda modulyatsiyasi bilan birgalikda impulsli-amplituda modulyatsiyasini (IAM) hosil qiladi.

Amplituda modulyatsiyasi uzun, o'rta, qisqa to'lqin diapazonlarida (500 kHz dan 30 MHz gacha) qo'llaniladi. Chastota modulyatsiyasi esa 30 MHz dan yuqori chastotalar diapazonlarida qo'llaniladi. Faza

modulyatsiyasi uzatish traktidagi murakkab sxemasi sababli ChMga qaraganda kamroq ishlatiladi. Faza modulyatsiyasi guruhli xabarlarini uzatishda qo'llaniladi.

*Impulsi modulyatsiya* (IM) quyidagi turlarga ega: impulsi amplituda modulyatsiyasi (IAM); impulsi chastota modulyatsiyasi (ICHM); impulsi faza modulyatsiyasi (IFM); impulsi kenglik modulyatsiyasi (IKM).

Modulyatsiya turi signal egallaydigan polosa kengligiga, axborot uzatish sifatiga, uzatilayotgan axborot miqdoriga yoki tezligiga, qabullash qurilmasi ta'sirlanuvchanligiga va tizim radiouzatkichini quvvatiga ta'sir ko'rsatadi.

Modulyatsiya radiouzatkichining qaysi qismida (joyida) va qanday amalga oshirilishiga bog'liq ravishda modulyatsiya usullari sinflarga bo'linadi. Modulyatsiyani amalga oshiruvchi hamma usullarni qamrab oluvchi *ikki juft modulyatsiya usuli* farqlanadi: *ichki va tashqi hamda bevosita va bilvosita*.

*Ichki modulyatsiya* usuli generator ichki jarayoniga, tebranishni shakllantirish mexanizmiga boshqaruvchi signal orqali ta'sir etish yo'li bilan amalga oshiriladi. Shuning uchun yuqori chastotali tebranish generatoriga bevosita (to'g'ridan-to'g'ri) boshqaruvchi signal bilan ta'sir etish orqali amalga oshiriladigan modulyatsiya usullari *ichki modulyatsiya* deb ataladi.

Tashqi modulyatsiya usulida tebranishlarni shakllantirish mexanizmiga ta'sir etmasdan, uzatkich YuCh trakti generatoridan tashqaridagi boshqa qurilma orqali tashuvchi tebranish parametrlari boshqariladi. Bu holda uzatkich YuCh traktiga qo'shimcha ravishda passiv to'rtqutbliklar ulanadi. Tashqi modulyatsiya passiv qurilmalar yordamida amalga oshiriladi, bunday qurilmalarning tashuvchi tebranish quvvatini uzatish koeffitsiyenti 1 dan katta emas.

RUQlarda ichki modulyatsiya tashqi modulyatsiyaga qaraganda ko'proq ishlatiladi, chunki ichki modulyatsiya energetik samarador va YuCh traktiga qo'shimcha qurilmalar ulash talab etilmaydi. Tashqi modulyatsiyaning qo'llanilishi cheklangan: generatorda modulyatsiyalashning umuman iloji bo'lmaganda yoki u yoki bu sabablarga ko'ra maqsadga muvofiq bo'lmagandagina qo'llaniladi. Tashqi modulyatsiya usuli lazerli radiouzatkichlarda va ba'zi O'YuCh radiouzatkichlarida ishlatiladi.

Radiouzatkichlarda modulyatsiyani amalga oshirilishiga qarab, *bevosita va bilvosita* modulyatsiya usullari bir-biridan farqlanadi.

Tashuvchi tebranishning modulyatsiyalanuvchi parametri ga bevosita (to'g'ridan-to'g'ri) boshqaruvchi signal bilan ta'sir etish natijasida amalga oshiriladigan modulyatsiya usullari *bevosita modulyatsiya usullari* deb ataladi. Bevosita modulyatsiyada boshqaruvchi signalda turli o'zgartirishlar amalga oshiriladi yoki dastlabki modulyatsiya amalga oshirilib, kerakli modulyatsiya turiga o'zgartiriladi. RUQLarda nisbatan amplituda va chastota modulyatsiyasidan ko'proq foydalaniladi.

**Modulyator** – bu RUQning kaskadi bo'lib, unda modulyatsiya amalga oshiriladi. 10.1-chizmada modulyatorning funksional sxemasi keltirilgan. Sxemaning asosiy elementi bu kirish signalining spektrini o'zgartiruvchi nohiziqli element (NE) hisoblanadi.



10.1-chizma. *Modulyator funksional sxemasi*

NE sifatida diod va tranzistorlardan foydalaniladi. Kirish va chiqish moslovchi zanjirlari NE optimal ish rejimini va manbadan NEga quvvatning nisbatan to'liq uzatilishini hamda chiqish quvvatini yuklamaga uzatilishini ta'minlaydi.

## 10.2. Amplituda modulyatorlari

### 10.2.1. Amplituda modulyatsiyasining xarakteristikalarini va ko'rsatkichlari

Amplituda modulyatsiyasida tashuvchi tebranish amplitudasi modulyatsiyalovchi signalning o'zgarish qonuniga mos ravishda o'zgaradi. Odatda signal murakkab spektrga ega bo'lib, sodda bo'lishi uchun modulyatsiyalovchi signal sifatida oddiy garmonik tebranishni olamiz.

$$u_{\Omega}(t) = U_{\Omega} \cos \Omega t, \quad (10.3)$$

bunda,  $U_{\Omega}$  – modulyatsiyalovchi signal amplitudasi;  $\Omega$  – chastota.

U holda amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan tashuvchi tebranish quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$u_{AM}(t) = U_0(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t, \quad (10.4)$$

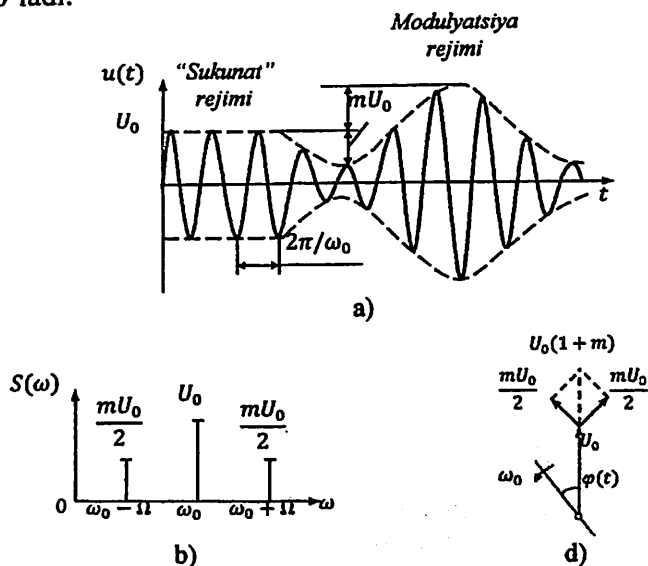
bunda,  $U_0$  – tashuvchi tebranish amplitudasi;  $m = U_\Omega/U_0$  – modulyatsiya koeffitsiyenti,  $0 < m \leq 1$ .

10.2a-chizmada AM signalning vaqt diagrammasi keltirilgan, bunda  $U_{max} = U_0(1 + m)$ ;  $U_{min} = U_0(1 - m)$  bo'lib, bundan  $m = (U_{max} - U_{min})/(U_{max} + U_{min})$  ekanligini ko'rish mumkin.

10.2b-chizmada AM signalning spektr diagrammasi keltirilgan bo'lib, uning spektr tashkil etuvchilari quyidagicha aniqlanadi:

$$u_{AM}(t) = U_0 \cos \omega_0 t + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t. \quad (10.5)$$

Chastotalar polosasi  $\Omega_{min} - \Omega_{max}$  bo'lgan murakkab modulyatsiyalovchi signal uchun AM signal spektrining kengligi  $2\Omega_{max}$  ga teng bo'ladi.



10.2-chizma. Garmonik AM signalning vaqt (a), spektr (b) va vektor (d) diagrammalari.

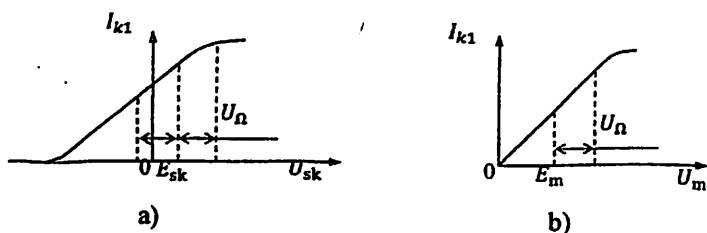


Amplituda modulyatsiyasida statik va dinamik modulyatsion xarakteristikalar farqlanadi.

**Statik modulyatsion xarakteristika** (SMX) deb modulyator chiqishidagi YuChli tebranish amplitudasini past chastotali signal ta'sirida o'zgaruvchi elektrik kattalikning modulyatsiyalovchi faktoriga (masalan,  $U_m$  – manba kuchlanishi;  $U_{sk}$  – siljish kuchlanishi) bog'liqligiga aytiladi. 10.3-chizmada statik modulyatsion xarakteristikalariga namunalar ko'rsatilgan. SMXlar asosida garmonikalar koeffitsiyenti minimal bo'lganda maksimal modulyatsiya koeffitsiyentini olish uchun NEning ish rejimi tanlanadi.

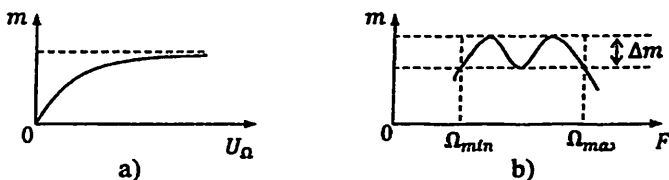
$$k_g = \frac{1}{I_{\Omega 1}} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{\Omega n}^2}. \quad (10.6)$$

Nochiziqli buzilishlar bo'lmashi uchun  $E_{sk}(t)$  va  $U_m(t)$  lar xarakteristikaning chiziqli qismi sohasida o'zgarishi,  $E_{sk}$  va  $E_m$  esa chiziqli qismining o'rtasiga mos kelishi kerak.



10.3-chizma. Statik modulyatsion xarakteristika

**Dinamik modulyatsion xarakteristika** (DMX) amplitudaviy va chastotaviy (10.4-chizma) bo'lishi mumkin. *Amplitudaviy DMX* – bu modulyatsiya koeffitsiyenti  $m$  ning modulyatsiyalovchi signal amplitudasi  $U_n$  ga bog'liqligidir. U orqali modulyatsiya koeffitsiyenti  $m$  ning kerakli qiymatini olish uchun zarur bo'lgan past chastotali signal amplitudasi aniqlanadi.



10.4-chizma. Amplitudaviy (a) va chastotaviy (b) dinamik modulyatsion xarakteristikalar.

Chastotaviy DMX – bu modulyatsiya koeffitsiyenti  $m$  ning modulyatsiyalovchi signal chastotasi  $\Omega$  ga bog‘liqligidir. U orqali modulyatsiyalovchi signalning chastota polosasi  $\Omega_{min} \dots \Omega_{max}$  da  $\Delta m/m$  parametr aniqlanadi.

Amplituda modulyatsiyasida YuChli tebranish amplitudasi vaqt bo‘yicha modulyatsiyalovchi signal qonuniga mos o‘zgaradi, ya’ni

$$u(t) = U_0(1 + m \cos \Omega t)$$

va mos ravishda AE ishlash sharti ham o‘zgaradi, natijada esa chiqish quvvati, FIK va boshqa energetik ko‘rsatkichlari o‘zgaradi. Amplituda modulyatorlarida uchta energetik rejim farqlanadi:

1. “Sukunat” rejimi yoki tashuvchi tebranish rejimi: bu holat modulyatsiyalovchi signal bo‘lmagan holatga mos keladi, ya’ni  $m = 0$ . Modulyator chiqish quvvati  $P_0 = 0,5U_0^2/R_{yu}$ ,  $R_{yu}$  – yuklama ekvivalent qarshiligi;

2. Maksimal rejim:  $\cos \Omega t = 1$  va YuCh tebranish amplitudasi maksimal bo‘lgan holatga mos keladi;  $U_{max} = U_0(1 + m)$ . Bunda  $P_0 = 0,5U_{max}^2/R_{yu} = (1 + m)^2 P_0$ ,  $m = 1$  bo‘lganda  $P_{0 max} = 4P_0$  bo‘ladi.

3. Minimal rejim:  $\cos \Omega t = -1$  va YuCh tebranish amplitudasi minimal bo‘lgan holatga mos keladi;  $U_{min} = U_0(1 - m)$ . Bunda  $P_0 = 0,5U_{min}^2/R_{yu} = (1 - m)^2 P_0$ ,  $m = 1$  bo‘lganda  $P_{0 min} = 0$  bo‘ladi.

Shunday qilib, AMda modulyator chiqish quvvati vaqt bo‘yicha asta-sekin o‘zgaradi:  $P_m(t) = P_0(1 + m \cos \Omega t)^2$ ;  $P_{orr} = \frac{1}{T} \int P_0 dt = P_0(1 + m^2/2)$ ,  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .  $m = 1$  bo‘lganda  $P_{orr} = 1,5P_0$ , ya’ni AM signal spektrida yon tomon tashkil etuvchilarining paydo bo‘lishi hisobiga YuChli tebranishning chiqish quvvatini  $0,5P_0$  ga oshishiga olib keladi.

AM ham ichki ham tashqi usul bilan amalga oshirilishi mumkin. Tashqi AM o‘z navbatida bevosita va bilvosita yo‘l bilan amalga

oshirilishi mumkin. Ammo barcha tashqi AM yuqori chastotali tebranish quvvatini yo'qotishga olib keladi, shuning uchun ham energetik jihatdan samarasiz hisoblanadi.

Ichki AM esa ushbu kamchiliklardan holi, shuning uchun zamonaviy radiouzatkichlarda keng qo'llaniladi. Odatda ichki AM ko'proq tashqi qo'zg'atishli generatorlarda amalga oshiriladi (misol uchun chiqish quvvat kuchaytirgichlarda). Ushbu generatorlarda AE elektrodlariga beriladigan manba va siljish kuchlanishlarini o'zgartirish yo'li orqali elektrik rejim o'zgarishiga erishiladi. AE chiqish elektrodidagi manba kuchlanishini o'zgartirish hisobiga amalga oshiriladigan amplituda modulyatsiyasi chiqish elektrodida modulyatsiya yoki generator chiqish zanjirida modulyatsiya deb ataladi. AE turli boshqaruvchi elektrodida siljish kuchlanishini o'zgartirish bilan bog'liq amplituda modulyatsiyasi boshqaruvchi elektrod (baza) siljishli modulyatsiya, baza modulyatsiyasi, kirish elektrodida modulyatsiya deb ataladi.

Zamonaviy radiouzatkichlarda nisbatan ko'proq manba kuchlanishini o'zgartirish orqali AM hosil qilinadi. Ma'lumki, modulyatsiyalovchi tebranish RUQning ikkita (yoki undan ko'p) kaskadiga ta'sir etadi. Bu holda oxirgi kaskad kombinatsiyalangan modulyatsiya rejimida ishlaydi, chunki modulyatsiyalanuvchi ikkita faktor: YuChli tebranish amplitudasi va AE manba kuchlanishi modulyatsiyalovchi signal qonuni bo'yicha o'zgaradi.

### **10.3. Kollektor kuchlanishini o'zgartirib amplitudasi modulyatsiyalangan signallarni shakllantirish (kollektor modulyatsiyasi)**

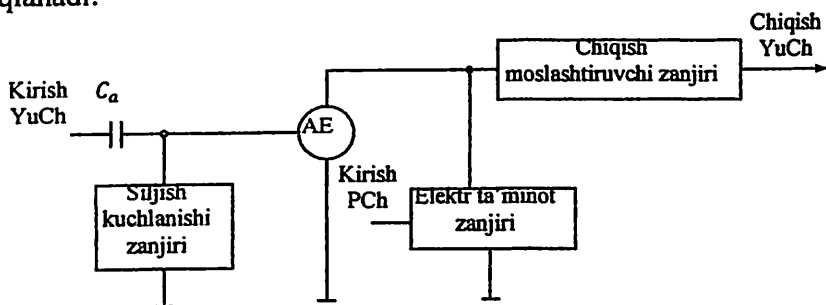
AM signalni shakllantirishning bu usulida past chastotali modulyatsiyalovchi signal AEning kollektoriga kuchlanish beruvchi zanjirga beriladi (10.5-chizma). Natijada kollektordagi kuchlanish quyidagiga teng bo'ladi:

$$u_k(t) = E_m + U_\Omega \cos \Omega t, \quad (10.7)$$

bunda,  $E_m$  – elektr manba kuchlanishi;  $U_\Omega$  – past chastotali modulyatsiyalovchi signal amplitudasi.

AEning ish nuqtasi va optimal ish holati uning dinamik xarakteristikasi asosida olingan statik modulyatsion xarakteristikasi

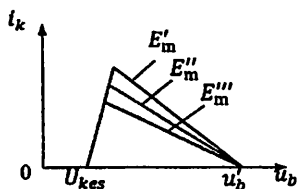
orqali aniqlanadi. AEning o'tish dinamik xarakteristikasi (VAX)  $i_k(u_b)$  (10.6-chizma) bipolyar va maydoniy tranzistorlar (BT va MT) ning quyidagi formula bilan approksimatsiyalanadigan statik VAXsi orqali aniqlanadi:



10.5-chizma. Kollektor kuchlanishini o'zgartirib AM signalni shakllantirish qurilmasining funksional sxemasi

$$i_k = S(u_b - U_{kes}), \quad (10.8)$$

bunda,  $u_b$  – kirishga beriladigan boshqarish kuchlanishi va  $U_{kes}$  – AE ishida kollektor (stok) toki kesilish ish holatiga o'tishiga mos kuchlanish.



10.6-chizma. Garmonik tebranish shaklidagi kuchlanish bilan boshqarilayotgan AE dinamik xarakteristikasi ( $E'_m > E''_m > E'''_m$ )

AEning kollektor toki zo'riqish ish holati (rejimi) da quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$i_k = S_{cheg} u_k, \quad (10.9)$$

bunda,  $S_{cheg}$  – VAX qiyaligining chegaraviy va zo‘riqish ish holatdagi qiymati.

Modulyatsiya kuchlanishi  $U_{\Omega} = 0$  bo‘lgan dinamik ish holatida

$$u_k = E_m + U_{k1} \cos \omega t; \quad (10.10)$$

$$u_b = E_{sk} - U_{b1} \cos \omega t, \quad (10.11)$$

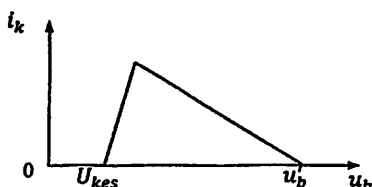
bunda,  $E_{sk}$  – siljish kuchlanishi,  $U_{k1}$  va  $U_{b1}$  – kollektor va boshqarish kuchlanishlarining birinchi garmonikasi amplitudasi.

(10.9) ifodani (10.7) ga qo‘yib va  $\cos \omega t$  ni (10.10) ifodadagi  $U_{b1}$  orqali ifodalab, AE VAXsining zo‘riqish ish holati uchun quyidagi formulani olamiz:

$$i_k = -S'_{din}(u - u'_b),$$

bunda,  $u'_b = E_{sk} + E_m U_{b1}/U_{k1}$ ;  $S'_{din} = S_{cheg} U_{k1}/U_{b1}$  – VAXning dinamik ish holatidagi qiyaligi.

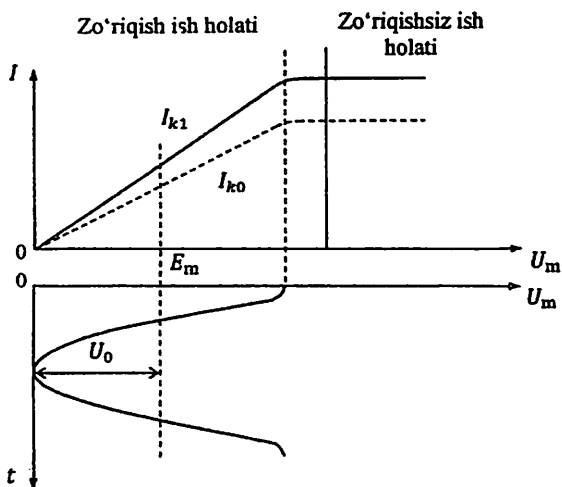
Aning approksimatsiyalangan VAXsi 10.7-chizmada keltirilgan.



10.7-chizma. Modulyator Aning o‘tish dinamik VAXsi

Amplituda modulyatorining statik modulyatsion xarakteristikasini Aning dinamik VAXsidan foydalanib quramiz.

10.8-chizmadan ko‘rinadiki, AE zo‘riqishsiz ish holatida bo‘lsa, uning kollektor toki impulslarini shakli o‘zgarmaydi. Zo‘riqish ish holatida ( $E_m$  kichiklashishi natijasida) kollektor toki impulsida chuqurlik hosil bo‘ladi va kuchlanish amplitudasi kichiklashadi. Natijada zo‘riqishsiz ish holatida kollektor toki birinchi garmonikasi  $I_{k1}$  qiymati o‘zgarmaydi va zo‘riqish ish holatida ( $E_m$  kattalashishi natijasida)  $I_{k1}$  qiymati kichiklashadi.

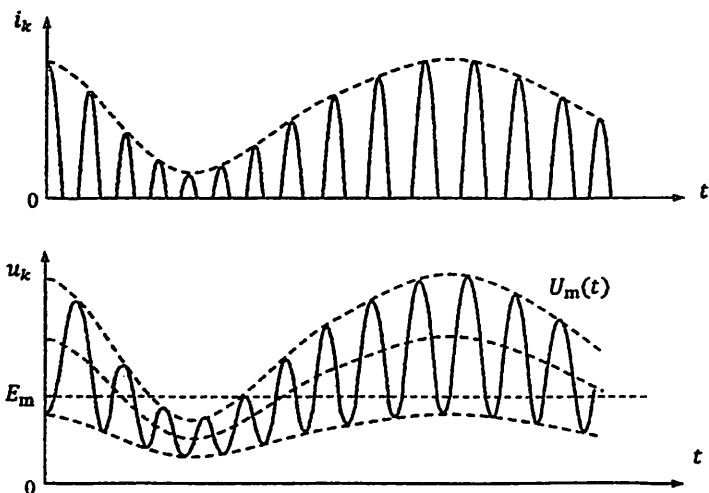


10.8-chizma. Kollektor kuchlanishini boshqarish orqali modulyatsiyada statik modulyatsion xarakteristika

Ushbu xarakteristikaning chiziqli qismi zo'riqish ish holati sohasiga to'g'ri keladi. Manba kuchlanishi  $E_m$  chiziqli qismining o'rtasiga mos qilib tanlanadi va  $m = 1$  bo'lganda maksimal ish holati (rejimi) kuchlanish bo'yicha chegaraviy holatga mos keladi.

$E_m$  kuchlanishi orqali modulyatsiyada AE chiqish toki va kuchlanishi tebranishining shakli 10.9-chizmada keltirilgan.

AE ish holatini hisoblashni maksimal ish holatidan boshlaymiz, bunda  $P_{max} = (1 + m)^2 P_0$  ekanligini e'tiborga olamiz. Maydoniy tranzistor uchun boshqaruvchi kuchlanish shakli garmonik, katta quvvatli bipolyar tranzistor uchun boshqaruvchi zaryad garmonik deb hisoblaymiz. Kollektor toki impulsi kesish burchagini  $60^\circ - 120^\circ$  oralig'ida tanlanadi. Shunday qilib, SMXning ishchi qismi uchun  $U_n = kI_{k1}$  o'rinni va modulyatsiyalashda  $I_{k1}(t) = I_{k1}(1 + m \cos \Omega t)$  ekanligini e'tiborga olsak, unda  $U_\Omega(t) = E_m(1 + m \cos \Omega t)$ , bunda  $E_m = kI_{k1}$  bo'lib, bundan esa  $m = U_\Omega/E_m$  kelib chiqadi.



10.9-chizma.  $E_m$  kuchlanishi orqali modulyatsiyada  $u_k$  va  $i_k$  vaqt diagrammalari

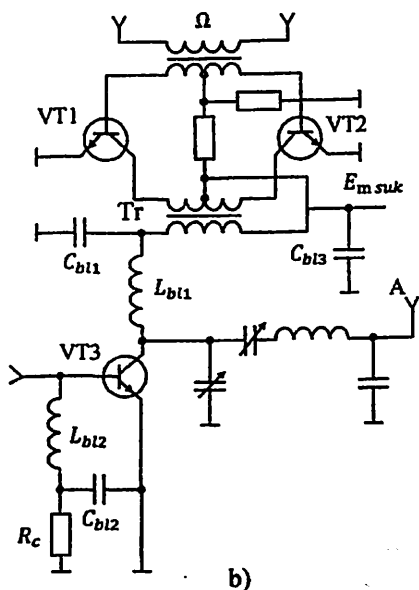
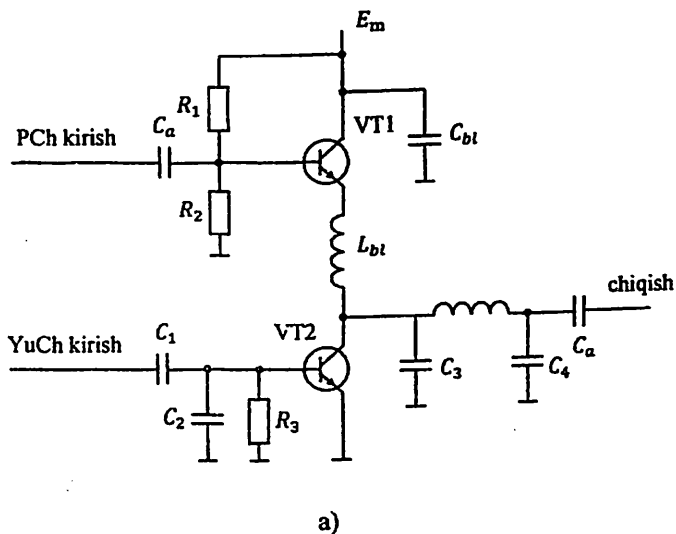
Kollektor manbai kuchlanishi  $U_{m \max} < u_{kre}/2$  munosabatga ko'ra tanlanadi, bunda  $u_{kre}$  – ruxsat etilgan maksimal kirish kuchlanishi. AE maksimal ish holati hisobidan so'ng

$$E_m = U_{m \max} / (1 + m) \quad (10.12)$$

hisoblanadi va kollektorga keluvchi modulyatsiyalovchi signal amplitudasini aniqlaymiz:  $U_{\Omega} = E_m m$ .

Modulyatsiya jarayonida kollektor toki  $U_m$  ga proporsional ravishda 0 dan  $I_{k0 \max}$  gacha o'zgaradi. Demak  $I_{k0 \max} = I_{k0}(1 + m)$  bo'lsa, u holda kollektor toki PChli tebranish amplitudasi  $I_{\Omega} = m I_{k0}$  bo'ladi. U holda kuchaytirgichdan talab etiladigan quvvat  $P_{\Omega} = 0,5 I_{\Omega} U_{\Omega} = 0,5 m^2 I_{k0} E_m$ .  $m = 1$  bo'lganda PChli kuchaytirgich quvvati "sukunat" ish holatidagi modulyator tebranish quvvatiga teng.

Tranzistor kollektori modulyatsiyali quvvat kuchaytirgich sxemasi 10.10-chizmada keltirilgan.



10.10-chizma. Kollektor modulyatsiyasili tranzistorli quvvat kuchaytirgich sxemasi: a) – kuchlanish  $U_{\Omega}$  QK orqali VT1 g'a beriladi; b) – kuchlanish  $U_{\Omega}$  ikki taktli QK va transformatorning ikkilamchi chulg'ami orqali beriladi.



Kollektor kuchlanishini o'zgartirib amalga oshiriladigan amplituda modulyatsiyasining *afzalliklari*:

- modulyatordagi AE energetik samarali, ya'ni zo'riqish ish holatida ishlaydi, natijada modulyatsiyani RU chiqish kaskadida amalga oshirish mumkin bo'ladi;

- RUning modulyatordan oldingi kaskadlari nisbatan samarali chegaraviy rejimda ishlatiladi.

*Kamchiliklari*:

- yuqori chastotali chiqish kaskadining quvvatiga teng bo'lgan quvvatli PChK qo'llanilishining zarurligi;

- $m$  ning 1 ga teng qiymatini olish uchun AE zo'riqish ish holatining zarurligi, bu esa quvvat kuchaytirish koeffitsiyentining kamayishiga va nochiziqli buzilishlarning kattalashishiga olib keladi;

- tranzistorli modulyatorlar uchun manba kichik doimiy kuchlanishining (QKga nisbatan ikki marta kichik) zarurligi.

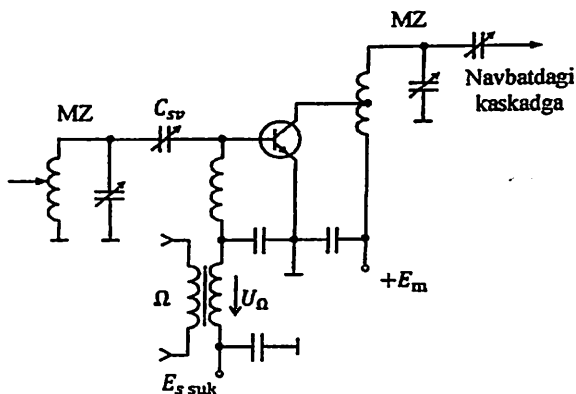
#### 10.4. Siljish kuchlanishini o'zgartirib amplitudasi modulyatsiyalangan signallarni shakllantirish

Modulyatsiyalovchi kaskadda (10.11-chizma) AE kirishidagi siljish kuchlanishi  $E_s$  axborot signaliga mos ravishda o'zgaradi:

$$E_s = E_{sk} + U_{\Omega} \cos \Omega t. \quad (10.13)$$

Modulyatsiyalovchi QK sxemasi kuchlanish manbai  $E_{sk}$  bilan  $U_{\Omega}$  amplitudali modulyatsiyalovchi kuchlanish manbaini ketma-ket ulash orqali amalga oshiriladi.

$E_s$  kuchlanish kollektor toki tashkil etuvchilari  $I_{k0}$  va  $I_{k1}$  larga ta'sir etib, zo'riqishsiz ish holatida ushbu tashkil etuvchilar  $\gamma_0(\theta)$  va  $\gamma_1(\theta)$  koeffitsiyentlarga proporsional bo'ladi. Ushbu bog'liqliklar nochiziqli bo'lganligi sababli baza siljishining o'zgarishi hisobiga  $m = 1$  uchun kollektor tokining buzilishsiz modulyatsiyasini olish imkoni yo'q. Baza siljishli modulyatsiyadan kichik nochiziqli buzilishlar ish holatida  $m = 0,6 - 0,7$  bo'lganda foydalaniladi.



10.11-chizma. Siljish kuchlanishini o'zgartirib modulyatsiyalash quvvat kuchaytirgich sxemasi

Zo'riqishsiz (kam kuchlanganlik) ish holatida toklarning bekilish kuchlanishi ( $E_{s \min} = U_{kes} - U_b$ ) ga bog'liqligi  $I_{k1}(E_s)$ ,  $I_{k0}(E_s)$  ni chiziqli deb hisoblaymiz, bunda  $I_{k1} = I_{k0} = 0$  – kritik (chegaraviy) ish holatigacha, doimiy – zo'riqish ish holatida. U holda

- kollektor zanjirida  $E_m$  dan iste'mol qilinuvchi quvvat  $P_0 = I_{k0}(E_s)E_m$  tok shakli  $I_{k0}(E_s)$  kabi o'zgaradi;

- $P_1 = 0,5I_{k1}^2(E_s)R_k$  quvvat  $I_{k1}^2(E_s)$  ga proporsional va parabola shaklida bo'ladi;

- FIK  $\eta = P_1/P_0 = 0,5\xi g_1(\theta)$  bo'lib,  $g_1$  – tokning shakl koeffitsiyenti:

$$g_1(\theta) = I_{k1}(E_s)/I_{k0}(E_s) = const, \quad (10.14)$$

shuning uchun  $\eta(E_s)$  tok  $I_{k1}(E_s)$  ga proporsional bo'ladi.

Modulyatsiyalovchi kaskadda buzilishlar minimal bo'lishi uchun AEning nominal quvvati uning maksimal ish holatidagi quvvatidan kichik bo'lmazligi lozim:

$$P_{1 \text{ nom}} \geq P_{1 \text{ max}} = P_{1 n}(1 + m)^2. \quad (10.15)$$

Kaskadni hisoblash kritik ish holatini tanlash orqali maksimal ish nuqtasini tanlashdan boshlanadi, bunda nochiziqli buzilishlarni kamaytirish uchun kollektor tokining kesish burchagi  $\theta_{max}$  ni

110°–120° qilib tanlaymiz. Hisoblashlar natijasida: tok, kuchlanish, quvvat, FIK,  $R_k$  qarshilik va boshq. aniqlanadi:

- “sukunat” ish holatida  $E_{sk}$  va  $E_m$  aniqlanadi;
- axborot signali kuchlanishi  $U_{\Omega} = E_{sk \max} - E_{sk}$ ;
- modulyator quvvati  $P_{\Omega} = 0,5 I_{\Omega} U_{\Omega}$ ,  $I_{\Omega}$  – kirish toki birinchi garmonikasining amplitudasi.

Siljish kuchlanishi orqali bo‘ladigan modulyatsiyaning FIK kichik bo‘ladi, bu esa uni professional radiouzatuvchi qurilmalarda qo‘llash imkoniyatini kamaytiradi. Bunday modulyatsiya tasvir uzatishda, ya’ni keng polosali signalni (6 MHz) modulyatsiya qilishda ishlatiladi.

### 10.5. Bir polosali amplituda modulyatori

Amplitudasi modulyatsiyalangan signalda foydali axborot ushbu signal spektrining yon polosalari tarkibida bo‘ladi. Ushbu yon polosalar bir xil axborot tashiydilar. Agar ushbu yon polosalardan birini bartaraf qilsak, quyidagi *afzalliklarga* ega bo‘lamiz:

- radioaloqa uzoqligini saqlab qolgan holda radiouzatkich quvvatini kamaytirish;
- uzatilayotgan signal polosasini ikki marta qisqartirish, buning natijasida esa radioqabullagich o‘tkazish polosasini (oralig‘ini) qisqartirish (toraytirish) hamda bitta aloqa liniyasida kanallar sonini ko‘paytirish imkoniyati paydo bo‘ladi;
- radioqabullagichda signal/shovqin nisbatini oshirish.

Bir polosali modulyatsiya AM signal spektridagi tashuvchi va bitta yon polosani bostirish orqali hosil qilinadi. Bunda spektrda faqatgina bitta yon polosa qoladi, shuning uchun antennadagi tok  $I_a$  garmonik qonun bo‘yicha o‘zgaradi:

$$I_a = I_{a \text{ yon}} \cos(\omega + \Omega)t. \quad (10.16)$$

Tok amplitudasi  $I_{a \text{ yon}}$  modulyatsiya koeffitsiyenti  $m$  ga bog‘liq bo‘lib, modulyatsiya davrida o‘zgarmaydi. Bu esa uni AE maksimal quvvatini saqlab qolgan holda antennadagi tokning maksimal qiymatigacha yetkazish imkonini beradi:

$$I_{a \text{ yon max}} = m I_{a \text{ max}} = m(1 + m)I_a. \quad (10.17)$$

Qabullagich chiqishidagi AM tebranishning foydali effekti signal o'rovchisi amplitudasi  $mI_a$  orqali aniqlanadi, chiziqli detektor chiqishidagi signal esa ushbu amplitudaga proporsional bo'ladi:

$$U_{AM\text{ QQ}} = kmI_a. \quad (10.18)$$

Bir polosali modulyatsiyalangan kuchlanish qabullagich chiqishida  $U_{BPM} = km(1+m)I_a$  bo'lib, kuchlanish bo'yicha  $B_1 = U_{BPM}/U_{AM} = 1+m$  marotaba, quvvat bo'yicha esa  $B_2 = (1+m)^2$  marotaba samaradorlikni ta'minlaydi.  $m=1$  bo'lganda samaradorlik kuchlanish bo'yicha  $B_1 = 2$ , quvvat bo'yicha  $B_2 = 4$  ga teng bo'ladi.

Bundan tashqari bir polosali modulyatsiya (BPM) da signal spektri kengligi AMga nisbatan 2 marta qisqaradi, natijada esa radioqabullagich o'tkazish oralig'ini qisqartirish imkoniyati yuzaga keladi. Faqat shuning hisobiga signal/shovqin nisbati kuchlanish bo'yicha  $\sqrt{2}$  marotaba va quvvat bo'yicha 2 marotaba kattalashadi. BPM signalni uzatishdagi umumiy samaradorlik AMga nisbatan 16 marotaba ko'proq.

Qisqa to'lqin radiouzatkichlarida radioto'lqinlar tarqalishining xususiyatlarini inobatga olgan holda, qabullagich kirishida tashuvchi va yon chastotalar orasida faza siljishi hosil qilinadi, bu esa chiqishda foydali effektning kamayishiga olib keladi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, BPM jarayonida bunday effekt bo'lmaganda quvvat bo'yicha samaradorlik yana 2 marotaba oshgan bo'lar edi. Shunday qilib, AMdan BPMga o'tishdagi quvvat bo'yicha samaradorlik 8–16 marotabani tashkil etadi.

Qabul qilish tomonida qabullash qurilmasida qabul qilingan yuqori chastotali modulyatsiyalangan signaldan foydali axborot signalini ajratib olish uchun geterodin yordamida tashuvchi chastotani qayta tiklash lozim. Detektorlashdan so'ng qabullash qurilmasi chiqishidagi foydali effekt tashuvchi kuchlanish vektori  $U_0$  va yon tomon tashkil etuvchisi  $U_{yon}$  vektorlarining yig'indisi hisoblanuvchi natijaviy kuchlanish  $U_\Sigma$  orqali aniqlanadi. Odatda, geterodin hosil qiluvchi tashuvchi chastota kuchlanishi qabul qilingan yon polosa kuchlanishidan ancha katta bo'ladi, shuning uchun  $U_\Sigma = U_0 + U_{yon} \cos \Omega t$ . Bundan esa axborot signali qayta tiklanadi.

Radiouzatkich va radioqabullagichda tashuvchi chastota bir xil (teng) bo'lishi ikki xil usulda amalga oshirilishi mumkin:

1) Radiouzatkichda tashuvchi chastota to'liq so'ndirilmaydi, uning qoldiq amplitudasi maksimal tokning 10–20 foizini tashkil etadi. U qabullash qurilmasida geterodin chastotasini sozlash uchun tayanch signali vazifasini bajaradi.

2) Radiouzatkichda va radioqabullagichda chastotaning yuqori barqarorligi ta'minlanadi. Agar  $\omega_0 = 20 \text{ MHz}$   $\Delta\omega = \pm(1-10) \text{ Hz}$  bo'lsa, u holda  $\Delta\omega/\omega_0 = (0,5-5) \cdot 10^{-7}$ . Bunday nobarqarorlikni kvarsli avtogeneratorlar ta'minlashi mumkin.

Bir polosali RULar ko'p kanalli stansiyalarda va radioeshittirishda qo'llaniladi. Aloqa bog'lovchi RUQLarda uzatiluvchi chastotalar diapazoni 250–3000 Hz, radioeshittirish RUQLarida 100–6000 Hz ni tashkil qiladi. Tashuvchi chastotaning tipik qiymati 1,5 va 30 MHz, chiqish quvvati 1,5 va 100 kVt bo'lishi mumkin.

BPM kichik quvvatli kaskadlarda amalga oshiriladi va navbatdagi kaskadda hosil bo'lgan bir polosali signal kuchaytiriladi. Bir polosali signalni hosil qilishda ikki usuldan foydalaniladi:

1. *Qayta balansli modulyatsiya va filtrlash usuli;*

2. *Fazakompensatsiya usuli.*

**Qayta balansli modulyatsiya va filtrlash usuli.** Ushbu usul AM tebranishni filtrlash yo'li orqali bir polosali signalni hosil qilishdan iborat. Ushbu usulni quyidagi texnik sabablarga ko'ra to'g'ridan-to'g'ri amalga oshirishning imkoni yo'q: RUQLarda asosiy polosadan tashqaridagi tebranishlarning bostirilishi (so'ndirilishi)ga bo'lgan qat'iy talab (–60–80 dB) va hatto kvarsli filtrlardan foydalanilganda ham ta'minlanishi qiyin bo'lgan ishchi polosadagi nollik so'nishga ega bo'lishning zarurligi. Ushbu talablarning bajarilishi uchun filtr chastota xarakteristikasining qiyaligi

$$\alpha = |k_i|/(100\Delta\omega/\omega_0)$$

bo'lishi kerak, bunda,  $k_i$  – ikkilamchi tebranishning nisbiy sathi (ishchi chastotadan tashqarida);  $\omega_0$  – tashuvchi tebranish chastotasi;  $\Delta\omega$  – tashuvchi tebranish chastotasidan uzatilayotgan signal spektrining pastki chegarasigacha bo'lgan chastotalar oralig'i.

Tashuvchi va ikkinchi yon polosani talab darajasidagi so'ndirilishiga erishish uchun ( $\alpha_{max} = 100 \text{ dB}/\%$ ) tashuvchi chastotaning qiymati  $\omega_{0 max} = \alpha_{max} 100\Delta\omega/|k_i|$  ga teng bo'lishi kerak.  $\alpha_{max} = 1000\text{dB}/\%$ ,  $\Delta\omega = 250 \text{ Hz}$ ,  $k_i = -60 \text{ dB}$  bo'lsa  $\omega_{0 max} = 420 \text{ kHz}$  bo'ladi.

BPMni nisbatan yuqori tashuvchi chastotalarda amalga oshirish uchun quyidagi usuldan foydalaniladi:

- balans modulyator sxemasi yordamida tashuvchi chastota bostiriladi (so'ndiriladi);

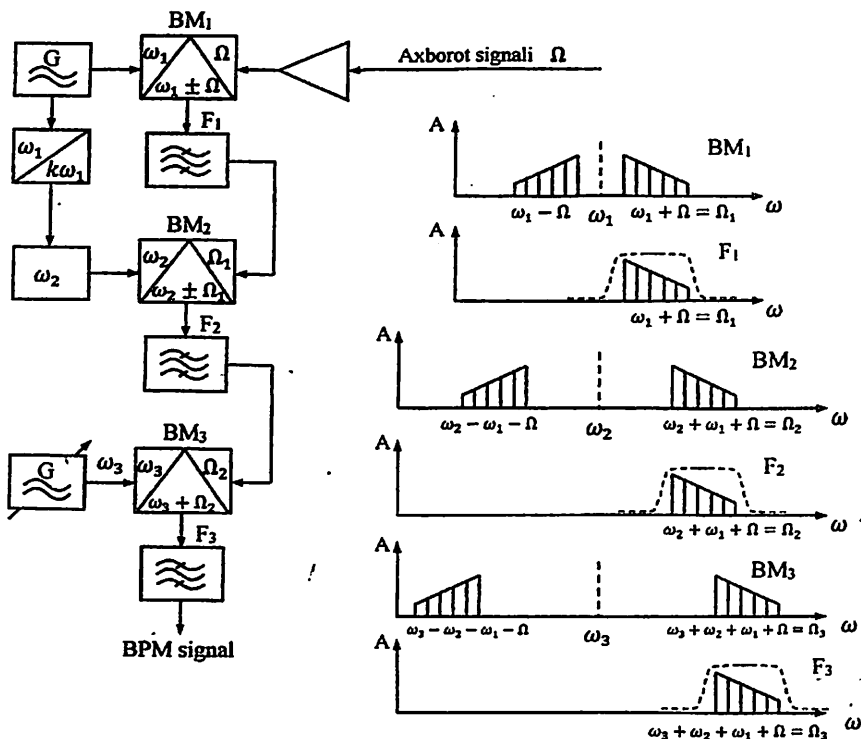
- balansli modulyatorga keluvchi birinchi tashuvchi chastota yetarlicha kichik qilib olinadi, chunki foydalanilmaydigan yon polosani samarali filtrlash uchun;

- balansli modulyatsiya va filtrlash natijasida hosil qilingan bitta yon polosa takroriy balansli modulyatsiya uchun modulyatsiyalovchi signal sifatida ishlatiladi;

- takroriy balansli modulyatsiya amalga oshiriladi va agar ikkinchi tashuvchi ham talab etilayotganiga teng bo'lmasa, u holda navbatdagi uchinchi balansli modulyatsiya va filtrlash qo'llaniladi.

**Balansli modulyator (BM)** tashuvchi chastotasi bostirilgan AM tebranish olish imkonini beradi. Qayta balansli modulyatsiya usulining asosi yuqori va pastki chastota polosalarining orasidagi farqni kattalashtirish bo'lib, bu esa o'z navbatida filtrlash muammosini yengillashtiradi. Qayta balansli modulyatsiya usuli asosidagi bir polosali tebranish qo'zg'atkichining funksional sxemasi 10.12-chizmada keltirilgan.

$\Omega$  chastotali modulyatsiyalovchi signal va  $\omega_1$  tashuvchi chastotali signal  $BM_1$  ga beriladi, chiqishida ikki polosali signal hosil bo'ladi va ularning bittasi filtr  $F_1$  yordamida filtrlanadi. Filtrlash jarayonini yaxshilash uchun  $BM_2$  kirishiga ikkita signal: nisbatan yuqori chastotali ( $\omega_2 > \omega_1$ ) tashuvchi va modulyatsiyalovchi signal, ya'ni filtr  $F_1$  chiqishidagi signal beriladi.  $BM_2$  chiqishidagi signal spektrida yon chastotalar bir-biridan  $2\omega_1$  ga uzoqlashgan bo'ladi.  $\omega_2/\omega_1$  chastotalar nisbati shundayki, bunda oddiy polosa filtrlarini qo'llash ham mumkin.  $BM_3$  kirishiga  $\omega_3$  chastotali signal va filtr  $F_2$  chiqishidagi bir (yuqori) polosali signal beriladi. Foydalanilmaydigan yon polosa filtr  $F_3$  yordamida filtrlanadi. Chastotaning nobarqarorligini kamaytirish uchun hamma tashuvchilar bitta kvarsli avtogenerator ( $\omega_1$  chastotali) tebranishidan hosil qilinadi.



10.12-chizma. *Qayta balansli modulyatsiya usuliga oid*

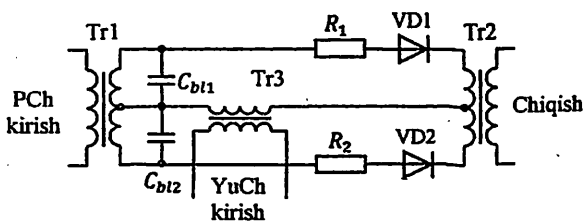
BPM signalni shakllantirish uchun turli: LC, kvarsli, elektromexanik polosali filtrlardan foydalaniladi. Filtrning asosiy xarakteristikasi bu soʻnishning chastotaga bogʻliqligidir. Aniq bir turdagi filtrni tanlash uning boshqa koʻrsatkichlarini ham eʼtiborga olgan holda amalga oshiriladi, yaʼni tashqi oʻlchamlari, nisbiy oʻtkazish polosasi va boshq.

BPMni amalga oshirish sxemasining asosiy elementi bu balansli modulyator hisoblanadi. Sodda holda balansli modulyator – bu yarimoʻtkazgich diodlardan iborat ikki taktli amplituda modulyatoridir (10.13a-chizma). Bunda tashuvchi chastota sxemaning ikkita yelkasiga bir xil faza bilan, modulyatsiyalovchi chastota esa qarama-qarshi faza bilan taʼsir etadi. BM chiqishida  $\omega_0 + \Omega$  chastotali signalni hosil qilamiz, bunda tashuvchi chastota kompensatsiyalanadi (yoʻqoladi), chunki diodlardan oʻtayotgan tok va  $\omega_0$  chastotalar qarama-qarshi faza bilan oʻtadi. BM sifatida halqali modulyator deb ataluvchi ikkita ikki

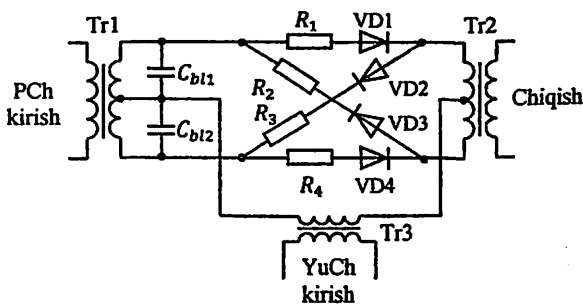
taktli amplituda modulyatori (10.13a-chizma) birlashmasidan iborat sxema ham ishlatiladi (10.13b-chizma).

Ushbu sxemaning chiqishida  $\omega_0 - \Omega$  va  $\omega_0 + \Omega$  bo'lib,  $\omega_0$  chastotani yon tashkil etuvchilarga nisbatan 40 dB ga kamaytirish (bostirish) mumkin bo'ladi.

Qayta balansli modulyatsiya asosida bir polosali signalni shakllantirish usulining kamchiligi qo'zg'atkichda qo'llaniladigan BM va filtrlar sonining ko'pligi hisoblanadi, bu esa uning tarkibini murakkablashtiradi, chastotani ko'p marta o'zgartirish esa ayniqsa ko'p kanalli radioaloqa tizimlari uchun zararli hisoblanuvchi kombinatsiyalangan chastotalarning paydo bo'lishiga olib keladi.



a)



b)

10.13-chizma. Balansli modulyator sxemalari: a) – diodli ikki taktli, amplituda modulyatori; b) – halqali modulyator.

**Fazakompensatsiya usuli.** Ushbu usulda oddiy AM kaskadlardan tashkil topgan qo'zg'atkichda  $N$  ta parallel kanal hosil qilinadi. Ushbu kaskadlar qo'zg'atilish kuchlanishining fazalari faza surgich yordamida  $\varphi$  burchakka surilgan bo'ladi va tashuvchi toklar umumiy yuklamada o'zaro kompensatsiyalanadi. Bundan tashqari, har bir kaskaddagi modulyatsiyalovchi kuchlanish bir-biriga nisbatan  $\varphi$  burchakka



siljilgan bo'ladi. Amaliyotda uch va to'rt fazali sxema ko'proq ishlatiladi, uch fazali sxemada faza siljishi  $\varphi = 2\pi/3$ .

Fazakompensatsiya usulining *afzalligi* – berilgan ishchi chastotada kichik sonli nochiziqli o'zgartirish orqali bir polosali signalni shakllantirish imkoniyati bo'lib, bu esa o'z navbatida nochiziqli buzilishlar va ikkilamchi chastotalar sathining kamayishiga olib keladi. *Kamchiligi* – aniq simmetrik sxemalar va past chastotali keng polosali faza surgichni yaratishning qiyinligi sababli tashuvchi va keraksiz yon chastota tebranishlarini bostirish sathining kichikligi (40 dB dan kichik).

Bir polosali signalni shakllantirishning barcha usullarida murakkab apparaturalar talab qilinadi.

Uch fazali sxemada (10.14-chizma) fazalar siljishi  $\varphi = 2\pi/3$  bo'ladi. Sxema to'liq simmetrik bo'lganda har bir modulyatsiya qilinuvchi kaskadning kollektor toklari quyidagiga teng bo'ladi:

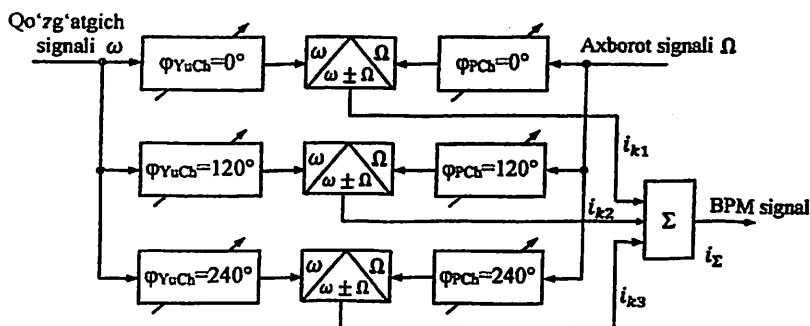
$$\begin{aligned} i_{k1} &= I_{k1\text{ suk}}(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t, \\ i_{k2} &= I_{k1\text{ suk}} \left[ 1 + m \cos \left( \Omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \cos(\omega t + 2\pi/3), \\ i_{k3} &= I_{k1\text{ suk}} \left[ 1 + m \cos \left( \Omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \right] \cos(\omega t + 4\pi/3), \end{aligned}$$

va umumiy tok quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$i_{\Sigma} = i_{k1} + i_{k2} + i_{k3} = 1/2mI_{k1\text{ suk}} \cos(\omega - \Omega)t, \quad (10.19)$$

ya'ni uchta quyi yon chastota toklari yig'indisidan iborat bo'ladi.

BPM asosan ko'p kanalli radioaloqa tizimlarida ishlatiladi. Bu holda har bir uzatilishi kerak bo'lgan xabar BPM signalga aylantiriladi va chastota bo'yicha bir-biridan farq qiladi. Keyin esa bu signallar qo'shib guruh signaliga aylantiriladi. Chastota bo'yicha ajratishga asoslangan bunday tizimlar bir necha yuzlab telefon xabarlarini uzatishi mumkin.



10.14-chizma. Fazakompensatsiya usulida BPM signalni shakllantiruvchi strukturaviy sxema

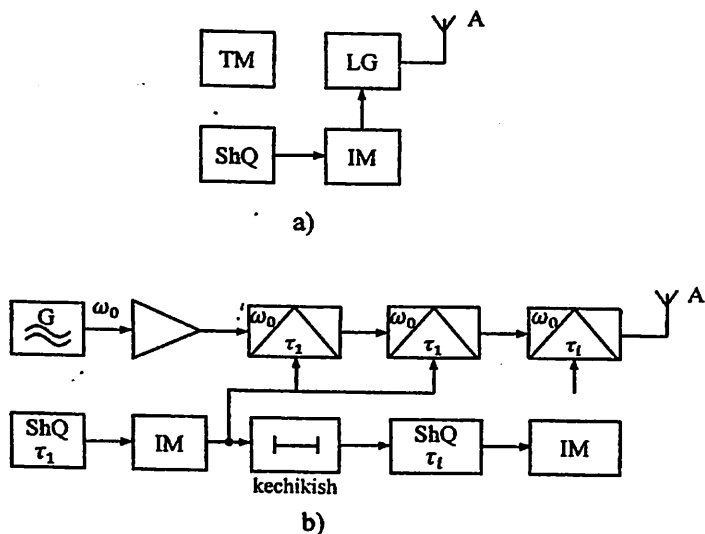
## 10.6. Impulsi modulyatorlar

Impulsi modulyatsiyadan radiolokatsiya, radionavigatsiya, radioreleli aloqa liniyalarida foydalaniladi. Bunda radiouzatkich  $\tau_i$  vaqt oralig'ida quvvat hosil qiladi (ajratadi) ( $\tau_i$  – impuls davomiyligi). Impulsi modulyatsiya turlari kovaklik  $q = T_d/\tau_i$  tushunchasi orqali xarakterlanadi, bunda  $T_d$  – impulslarning takrorlanish davri. Radiolokatsiyada  $q = 500-1000$  bo'lgan qisqa impulslar, radioreleli aloqada  $q = 2-100$  bo'lgan impulslar ishlatiladi. Radioimpulslar davriy ketma-ketligining spektri kengligi  $\tau_i$  ga bog'liq bo'lib, 1–10 MHz ni tashkil etadi. Shuning uchun impulsi modulyatsiya (IM) O'YuCh diapazonida qo'llaniladi.

Impulsi modulyatsiyada AE ish holatining ko'rsatkichlari impuls qiymatlari  $I_{1t}$  va  $P_{1t}$  hamda impulslar takrorlanish davri bo'yicha o'rtachalashtirilgan qiymatlar  $I_{1o\tau}$  va  $P_{1o\tau}$  ko'rinishlarida ifodalanishi mumkin, bunda to'g'riburchakli impulslar uchun  $I_{1o\tau} = I_{1t}/q$ ,  $P_{1o\tau} = P_{1t}/q$  munosabat o'rinli. Radiouzatkichning issiqlik rejimi uning o'rtacha quvvatini belgilaydi. Odatda, aloqa uzoqligi bir xil bo'lganda IMli RUQning o'lchamlari AMli yoki ChMli RUQning o'lchamlaridan ancha kichik bo'ladi. Radiouzatkichlarda impuls rejimidagi quvvat uzluksiz rejimdagi quvvatdan 100–1000 marta katta bo'lishi mumkin.

Bir kanalli va ko'p kanalli impulsi RUQning funksional sxemasi 10.15-chizmada keltirilgan. Ushbu sxemadagi shakllantiruvchi qurilma (ShQ) orqali impulsning davomiyligi va takrorlanish davri shakllantiriladi.

Impulsi modulyator (IM) AE ish holatini boshqaradi. Ko'p kanalli RUlarda (10.15b-rasm)  $\tau_i$  davomiylikli impulslar chiqish kaskadlarida shakllantiriladi, bunda ushbu kaskad kirishiga 10.15a-chizmadagi sxemadagidan katta davomiylikka ega bo'lgan va frontlarini qamrab oluvchi impulslar beriladi. Bu oraliq kaskadlarning o'rtacha quvvatini kamaytirish imkonini beradi, natijada ularning og'irligi va tashqi o'lchamlarining ham kichiklashishiga olib keladi.

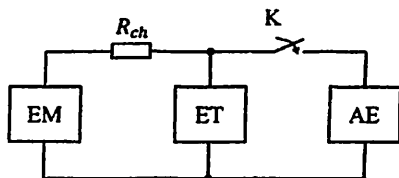


10.15-chizma. Bir kanalli (a) va ko'p kanalli (b) impulsi radiouzatkichlarning funksional sxemalari

Impulsi modulyatorni ikki yo'l bilan amalga oshirish mumkin. Birinchi usulda modulyator AEni boshqaradi, bu AE kirish elektrodini pauza (sukunat) vaqtida bekitib,  $\tau_i$  vaqtda modulyatordan kelayotgan kuchlanishni ochish orqali amalga oshiriladi. Ikkinchi usulda  $\tau_i$  vaqtda AEga yuqori kuchlanish manbai ulanadi (10.15b-chizma). Bu holda modulyator manba quvvatini boshqaradi. "Sukunat" vaqtida energiya "energiya to'plovchi"ga beriladi.

Kommutatorlar va energiya to'plash turi asosida IMLar bir-biridan farqlanadi (10.16-chizma, ET – energiya to'plovchi). Kommutator katta toklarni o'tkazishi, katta kuchlanishga bardoshli, kichik yo'qotishli va inersiyasiz bo'lishi kerak. Kommutatsiyalash uchun elektron lampalar,

vodorodli tiratronlar, tiristorlar, tranzistorlar, nohiziqli induktivliklar va b. ishlatiladi. Kommutator turi modulyator sxemasini va unda ro'yi beradigan jarayonlarni belgilab beradi. Modulyatorlar ikki turda bo'lishi mumkin: "qattiq" (lampa) va "yumshoq" (tiratron, tiristor) kommutatorli. Har biri o'ziga xos afzalliklar va kamchiliklarga ega bo'lib, bu ularning qo'llanilish sohasini belgilab beradi.



10.16-chizma. *Impulsli modulyatorning funksional sxemasi*

10.16-chizmada keltirilgan sxemadagi kalit  $K$  ajratilgan holatda elektr manbai (EM) ning quvvati energiya to'plovchi (ET) da to'planadi.  $\tau_t$  vaqt mobaynida kalit  $K$  ulanadi va AE EMDan emas ETdan quvvat oladi, chunki cheklovchi qarshilik  $R_{ch}$  EMDan quvvat olishiga to'sqinlik qiladi. Impulsli modulyator (IM) elektr manbai energiyasini vaqt bo'yicha o'zgartiradi, va IM quvvati o'rtacha quvvatga teng bo'ladi,  $P_{o\text{orr}} = P_{o\text{tm}}/q$ . Ushbu EM o'rtacha quvvati uzoq vaqt (pauza) davomida ET da to'planadi, va ET uni qisqa vaqt  $\tau_t$  oralig'ida ajratadi (beradi).

Modulyator lampalari 60 kV gacha bo'lgan kuchlanishni va yuzlab amper tokni, 10 MVt quvvatni kommutatsiyalaydi. Lampa asosidagi IM kamchiligi:

- 10–15% quvvat lampa anodida yo'qotilishi;
- lampani ochuvchi kirish impulsi shakliga bo'lgan qat'iy talab.

"Yumshoq" kommutatorlardan vodorodli tiristorlar keng qo'llaniladi. Ular 5000 A gacha bo'lgan tokni boshqaradi, 80 kV gacha kuchlanishga bardoshli, yuzlab megavatt quvvatni o'tkazadi. Ulardagi yo'qotishlar juda kam, ammo, birinchi dan NE razryadlash jarayoni boshlanishi bilan bunday kommutatorlarda kalit ulangan holatda bo'ladi, NE to'liq razryadlangandan so'nggina kommutator ajratiladi, ikkinchi dan, ular nisbatan katta deionizatsiyalash vaqtiga ega.

Tiristorlar vodorodli tiratronlarga nisbatan quvvat bo'yicha samarasiz va inersiyali hisoblanadi. Ularning ishchi kuchlanishi 2 kV gacha, tok 1500 A dan katta emas.

Nochiziqli induktivlik (drossellar, transformatorlar) yuqori ekspluatatsion ishonchlilikka ega bo'lib, xizmat ko'rsatish muddati cheklanmagan va bir megavattgacha quvvatni kommutatsiyalaydi. NE sifatida kondensatorlar, induktivlik g'altagi, uzun liniya qismlari va ularning ekvivalentlari ishlatiladi.

## 10.7. Burchak modulyatsiyasi

### 10.7.1. Burchak modulyatsiyasining turlari va asosiy xarakteristikalari

Burchak modulyatsiyasida tashuvchi tebranishning amplitudasi doimiy saqlanadi, axborot esa chastota  $\omega(t)$  o'zgarishida yoki boshlang'ich faza  $\varphi(t)$  o'zgarishida aks etadi. Agar modulyatsiyalovchi signal ta'sirida tashuvchi tebranishning chastotasi o'zgarsa bunday modulyatsiya chastota modulyatsiyasi (ChM), agar tashuvchi tebranishning boshlang'ich fazasi o'zgarsa bunday modulyatsiya faza modulyatsiyasi (FM) deb ataladi.

Chastota yoki faza modulyatsiyasida o'zgaruvchi kuchlanish quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$u(t) = U \cos \Psi(t), \quad (10.20)$$

bunda,  $U$  – amplituda,  $\Psi(t)$  – oniy faza.

FMda ham ChMdagi kabi tebranishning oniy chastotasi vaqt funksiyasi hisoblanadi, ya'ni  $\omega(t) = d\Psi/dt$ .

Chastota modulyatsiyasi bitta garmonik tebranish bilan amalga oshirilsa, u holda tashuvchi tebranishning oniy chastotasi

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_d \cos \Omega t, \quad (10.21)$$

ga teng bo'ladi, bunda,  $\omega_0$  – tashuvchi tebranish chastotasi;  $\Delta\omega_d$  – chastota deviatitsiyasi;  $\Omega$  – modulyatsiyalovchi tebranish chastotasi.

Oniy faza  $\Psi(t) = \int_0^t \omega(t) dt$  bo'lib, undan

$$\Psi(t) = \omega_0 t + M \sin \Omega t \quad (10.22)$$

kelib chiqadi, bu yerda  $M = \Delta\omega_d/\Omega$  – chastota modulyatsiyasi indeksi.  
ChMda oniy kuchlanish

$$u(t) = U \cos(\omega_0 t + M \sin \Omega t). \quad (10.23)$$

FMda tebranish oniy fazasi

$$\Psi(t) = \omega_0 t + \Phi \sin \Omega t, \quad (10.24)$$

bunda,  $\omega_0 t$  – modulyatsiyalanmagan tebranish oniy fazasi;  $\Phi$  – faza modulyatsiyasi indeksi.

Oniy chastota  $\omega(t) = d\Psi/dt = \omega_0 + \Omega\Phi \sin \Omega t$ , bunda  $\Omega\Phi = \Delta\omega_d$  – chastota deviatsiyasi.

FMda oniy kuchlanish  $u(t) = U \cos(\omega_0 t + \Phi \sin \Omega t)$ .

ChM va FM uchun  $\Psi(t)$ ,  $\omega(t)$ ,  $u(t)$  ifodalarni solishtirib, garmonik modulyatsiyalovchi signal uchun ushbu ikkita modulyatsiya turi orasida deyarli farq bo'lmashini kuzatamiz.

***Burchak modulyatsiyali tebranishning spektral tasvirlanishi.***  
ChM yoki FMda oniy kuchlanish quyidagi ko'rinishga ega:

$$\begin{aligned} u(t) &= U \cos(\omega_0 t + M \sin \Omega t) = \\ &= U \cos \omega_0 t \cos(M \sin \Omega t) - U \sin \omega_0 t \sin(M \sin \Omega t). \end{aligned} \quad (10.25)$$

Tebranish spektrini aniqlash uchun  $\cos(M \sin \Omega t)$  va  $\sin(M \sin \Omega t)$  funksiyalarni Fure qatoriga yoyamiz. Bunda  $\cos(M \sin \Omega t)$  funksiya juft bo'lganligi uchun, uning Fure qatoriga yoyilmasi faqat kosinusoidal tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi:

$$\cos(M \sin \Omega t) = J_0(M) + 2J_2(M) \cos 2\Omega t + 2J_4(M) \cos 4\Omega t + \dots \quad (10.26)$$

$\sin(M \sin \Omega t)$  funksiya esa toq bo'lgani uchun uning Fure qatoriga yoyilmasi faqat sinusoidal tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi:

$$\sin(M \sin \Omega t) = 2J_1(M) \sin \Omega t + 2J_3(M) \sin 3\Omega t + 2J_5(M) \sin 5\Omega t + \dots \quad (10.27)$$

Ushbu ifodalardagi  $J_k(M)$  – birinchi tur Bessel funksiyasi  $k$ -tartibli koeffitsiyenti (10.17-chizma).

Yoyilma natijalarini, ya'ni (10.26) va (10.27) ni (10.25) ifodaga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$u(t) = UJ_0(M) \cos \omega_0 t + UJ_1(M) \cos(\omega_0 + \Omega)t - UJ_1(M) \cos(\omega_0 - \Omega)t + UJ_2(M) \cos(\omega_0 + 2\Omega)t - UJ_2(M) \cos(\omega_0 - 2\Omega)t + \dots \quad (10.28)$$

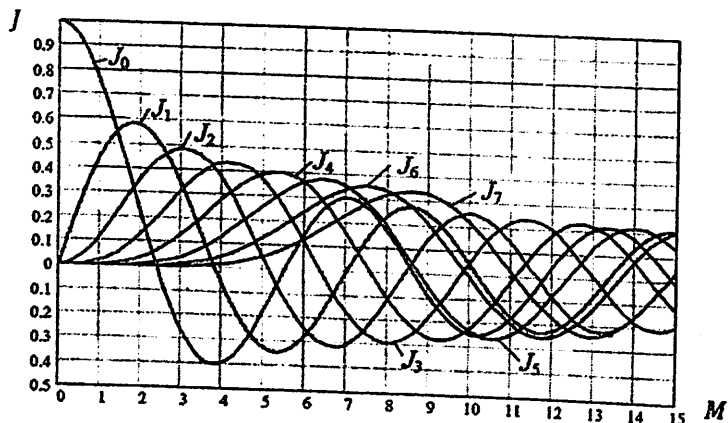
Ushbu ifodadan ko'rinadiki:

– burchak modulyatsiyalangan tebranishning spektri bir-biridan  $\Omega$  chastotada joylashgan cheksiz tashkil etuvchilardan iborat;

– spektr tashkil etuvchilarining amplitudalari Bessel funksiyasi  $J_k(M)$  orqali aniqlanadi;

– spektr tashkil etuvchilarining fazalari 0 yoki  $\pi$  ga teng bo'lishi mumkin.

Modulyatsiyalangan tebranish spektrini aniqlovchi Bessel funksiyasining (10.17-chizma) xususiyati uning belgisi o'zgaruvchan ekanligi, hamda  $M$  va  $k$  larning kattalashishi bilan funksiyaning maksimal qiymati kamayishi hisoblanadi ( $k > 2$  va  $M < 0,5$  bo'lganda funksiya qiymati nihoyatda kichik).

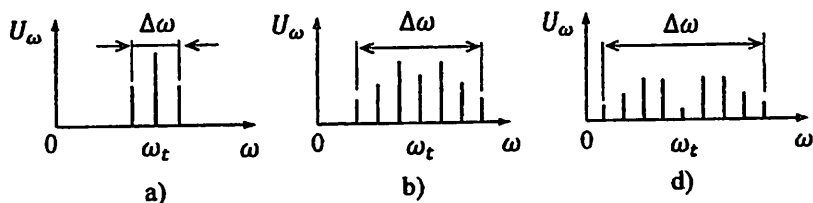


10.17-chizma. Bessel funksiyasi grafigi

Shunday qilib, burchak modulyatsiyalangan signalning spektri modulyatsiya indeksi  $M$  ga bog'liq. Burchak modulyatsiyalangan signalning spektriga namunalar 10.18-chizmada keltirilgan.

Burchak modulyatsiyalangan signal spektri nazariy jihatdan cheksiz. Amaliyotda moduli  $0,1U$  qiymatdan katta bo'lgan tashkil etuvchilar inobatga olinadi. Demak  $M > 1$  bo'lganda  $\Delta\omega_{0,1} = 2\Delta\omega_d$ , agar  $M < 0,5$  bo'lsa, u holda  $\Delta\omega_{0,1} = 2\Omega$ , ya'ni modulyatsiya

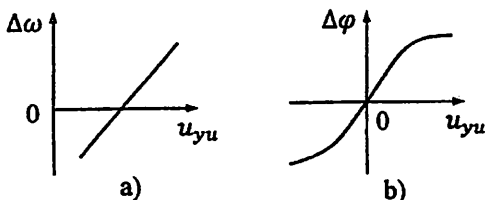
indeksining kichik qiymatlarida ChM va FM signallarning spektri AM signalning spektriga teng.



10.18-chizma. Burchak modulyatsiyalangan signal spektri:  
a) –  $M = 0,5$ ; b) –  $M = 1,5$ ; d) –  $M = 2,5$ .

**Modulyatsion xarakteristikalar.** Burchak modulyatsiyasida statik va dinamik modulyatsion xarakteristikalar farqlanadi.

**Statik modulyatsion xarakteristika (SMX)** – bu modulyatsiyalovchi faktorga bog‘liq ravishda chastotaning (ChMda) yoki fazaning (FMda) o‘rta qiymatidan og‘ish o‘zgarishi. SMXga namunalar 10.19-chizmada keltirilgan. Xarakteristikaning nohiziqli bo‘lishi modulyatorida nohiziqli buzilishlar paydo bo‘lishiga olib keladi.



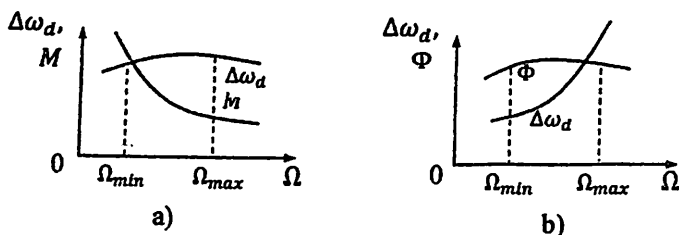
10.19-chizma. Chastota (a) va faza (b) modulyatorining statik modulyatsion xarakteristikalari

**Dinamik modulyatsion xarakteristika (DMX)** deb chastota deviatitsiyasining (ChMda) yoki modulyatsiya indeksining (FMda) modulyatsiyalovchi tebranish chastotasiga bog‘liqligiga aytiladi. ChM va FM orasidagi farq modulyatsiyalovchi signal  $\Omega_{min} - \Omega_{max}$  chastota spektriga ega bo‘lganda namoyon bo‘ladi. ChMda foydali axborot tebranish chastotasining o‘zgarishida namoyon bo‘ladi, shuning uchun chastota modulyatorlarini yaratishda (qurishda) modulyatsiyalovchi chastotalar polosasida chastota deviatitsiyasi  $\Delta\omega_d$  ning doimiy qiymatini ta‘minlash talab etiladi (10.20a-chizma). Faza modulyatorlarida esa modulyatsiyalovchi chastotalar polosasida  $\Omega_{min} - \Omega_{max}$  da faza



modulyatsiyasining to'liq indeksi  $\Phi$  ni ta'minlash (ya'ni fazaning modulyatsiyalanmagan qiymatidan maksimal og'ishini ta'minlash) talab etiladi (10.20b-chizma). Bunda chastota deviyatsiyasi  $\Delta\omega_d = \Omega\Phi$  ga bog'liq holda o'zgaradi.

DMX belgilangan aniqlikdagi  $\Phi$  yoki  $\Delta\omega_d$  doimiyligi oralig'ida modulyatsiyalovchi chastota polosasini baholash imkonini beradi.



10.20-chizma. Chastota (a) va faza (b) modulyatorining dinamik modulyatsion xarakteristikalarini

## 10.8. Chastota modulyatorlari

ChM radiouzatkichlar radioeshittirishda, televidenie tovush signallarini uzatishda, radioreleyli aloqada, troposfera va kosmik aloqada, radiolokatsiyada ishlatiladi.

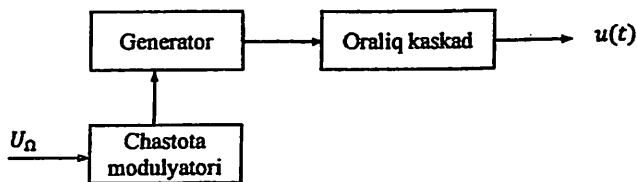
ChM radiouzatkich sxemasini tanlashda quyidagi ikki bir-biriga qarama-qarshi talablarni qanoatlantirish kerak: tashuvchi tebranish chastotasining yuqori stabililigini saqlash va modulyatsion xarakteristikaning chiziqililigini ta'minlash.

ChM signalni ikki usulda shakllantirish mumkin: bevosita va bilvosita. ChM signalni bevosita shakllantirish usulida generator chastotasi chastota boshqaruvchi (ChB) orqali modulyatsiyalanadi va RUning keyingi kaskadida chastota ko'paytirish amalga oshirilishi mumkin. Kontur reaktivligi  $\Delta L, \Delta C$  ning kichik o'zgarishi uning xususiy chastotasi  $\omega_0$  ning chiziqli o'zgarishiga olib keladi:

$$\Delta\omega_0 = -\frac{1}{2}\omega_0 \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right). \quad (10.29)$$

10.21-chizmada bevosita usulda chastota modulyatsiyasini amalga oshiruvchi modulyatorning funksional sxemasi keltirilgan.

Generatorning chastota boshqaruvchisi reaktiv boshqariluvchi qarshilikli qurilma bo'lib, u avtogenerator tebranish konturiga ulanadi. Bunday chastota boshqaruvchi sifatida varikapdan foydalanish mumkin.



10.21-chizma. *Bevosita ChM modulyatorining funksional sxemasi*

Radiouzatkich sxemasida o'rtacha chastota  $\omega_0$ ni stabilizatsiyalash uchun chastotani avtomatik sozlash (ChAS) tizimi qo'llaniladi (10.22a-chizma), BK – bufer kaskad. ChAS foydali modulyatsiyani kuchsizlantirmasligi uchun ChAS tizimida  $\Omega_{min} < \Omega < \Omega_{max}$  modulyatsiya chastotasi bo'yicha teskari aloqa  $\Omega_{min}$  dan kichik o'tkazish polosali PChF yordamida yo'q qilinadi.

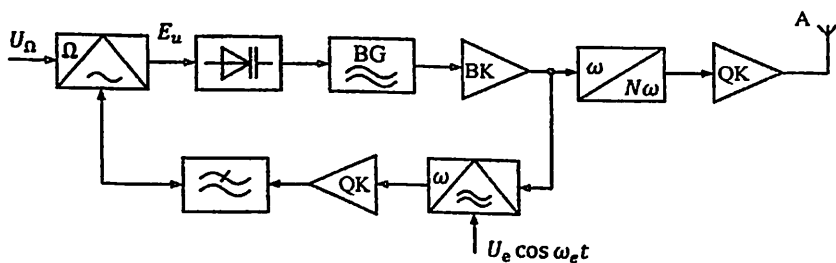
Agar uzoq muddatli nobarqarorlik ( $10^{-5}$ – $10^{-6}$ ) ka ega tebranish hosil qiluvchi kvarqli avtogeneratorning chastotasini boshqarish mumkin bo'lsa, u holda ChAS tizimisiz ham modulyatsiya amalga oshirilishi mumkin (10.22b-chizma). Ammo chastotani boshqarish nisbiy diapazoni uncha katta emas, ya'ni  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  ni tashkil qiladi.

*Bilvosita usul* FMni ChMga o'zgartirishga asoslangan. Modulyatsiyalovchi kuchlanish integrallovchi to'rtqutblik orqali faza modulyatoriga beriladi (10.22d-chizma). Kvarqli generator (KG) yuqori barqarorlikli chastota olishni ta'minlaydi. Usulning kamchiligi – keyingi kaskadlarda katta darajali marta ( $N = 10^2$ – $10^3$ ) ko'paytirilishi kerak bo'lgan modulyatsiyalovchi signalning past chastotasidagi kichik deviatatsiyasi.

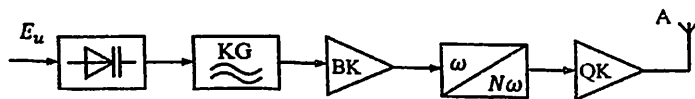
Tashuvchi chastota  $N$  marta ko'paytirilganda chastota deviatatsiyasi ham  $N$  marta kattalashadi. Chastota ko'paytirgich chastota modulyatsiyasida modulyatsiyani kengaytirib (chuqurlashtirib) generator chastotasini sezilarli darajada pasaytiradi, bu esa barqarorlikni ta'minlashni yengillashtiradi.

Keng polosali signallarni shakllantirishda bevosita va bilvosita usullari birgalikdagi *kombinatsiyalashgan* (aralash) usuldan foydalaniladi (10.22e-chizma). Kvarqli AG chastotasini o'zgartirish hisobiga PCh sohasida modulyatsiya amalga oshiriladi. Faza

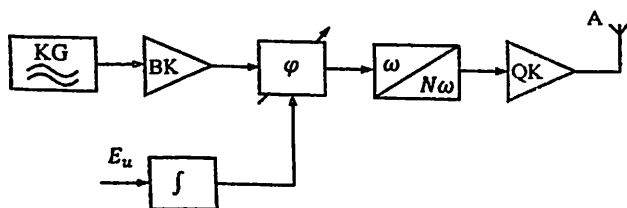
modulyatori integrator bilan birgalikda YuCh sohasida FMni ChMga aylantiradi.



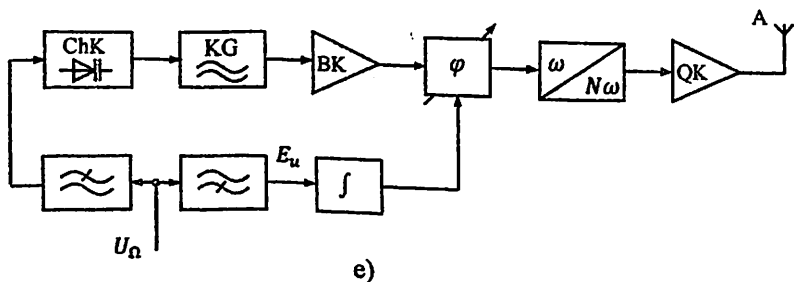
a)



b)



d)



e)

10.22-rasm. Bevosita (a) va (b), bilvosita (d) va kombinatsiyalashgan (e) chastota modulyatsiyasili RUning funksional sxemalari

Modulyatsiyalovchi signalni chastota bo'yicha ajratish PChF va YuChFlari orqali amalga oshiriladi.

### Varikapli chastota modulyatorlari.

Chastota modulyatsiyasi tashuvchi chastotaga modulyatsiyalovchi tebranish bilan ta'sir etish yo'li orqali radiouzatkich avtogeneratorida amalga oshiriladi yoki kichik quvvatli kuchaytirgichda FMni olish va uni ChMga o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Ko'pincha rezonatorga AG varikapini ulash orqali amalga oshiriluvchi birinchi usuldan foydalaniladi. Nochiziqli buzilishlarni kamaytirish uchun chastota modulyatorining varikapni yopiq  $p-n$  o'tishi rejimida bo'lishi kerak, ya'ni uning baryer sig'imi nochiziqiligidan foydalaniladi.

Varikapdagi yig'indi kuchlanish

$$u_V(t) = U_{V0} + U_{\Omega} \cos \Omega t + U_{V1} \cos \omega_0 t, \quad (10.30)$$

bunda,  $U_{V0}$  – siljish doimiy kuchlanishi;  $U_{\Omega}$  – modulyatsiyalovchi tebranish amplitudasi;  $U_{V1}$  – YuChli tebranish amplitudasi.

Varikap sig'imi o'zgariganda AM tebranish tizimi rezonans chastotasining o'zgarishi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

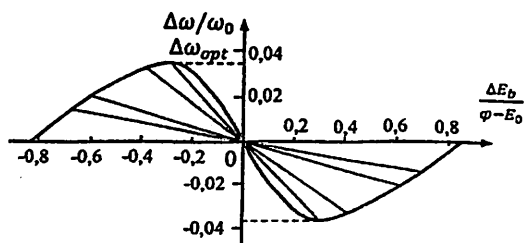
$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta C_V}{C_{V0}} k_V, \quad (10.31)$$

bunda,  $C_{V0}$  – varikapning vaqt bo'yicha o'rtacha sig'imi;  $\Delta C_V$  – past chastotali kuchlanishning ta'siri natijasida varikap sig'imining o'rtacha qiymatidan chetlanishi;  $k_V = p_V^2 C_{V0} / C_{\Sigma}$  – kontur yig'indi sig'imi  $C_{\Sigma}$  dagi varikapning xissa koeffitsiyenti.

Ifodadan ko'rinadiki,  $\Delta\omega/\omega_0$  ning qiymati koeffitsiyent  $k_V$  va sig'imning nisbiy o'zgarishi  $\Delta C_V/C_{V0}$  nisbati orqali aniqlanadi.  $\Delta C_V/C_{V0}$  nisbat  $p-n$  o'tish baryer sig'imining nochiziqililik darajasiga, modulyatsiyalovchi PCh tebranish amplitudasiga va siljish doimiysi  $U_{V0}$  ga bog'liq. Varikapli AGning statik modulyatsion xarakteristikasi 10.23-chizmada keltirilgan. Varikapdagi ChMning nochiziqli buzilishi garmonikalar koeffitsiyenti orqali xarakterlanadi:

$$k_g = \frac{1}{I_{\Omega 1}} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{\Omega n}^2}$$

bunda,  $I_{\Omega 1}$  va  $I_{\Omega n}$  – birinchi va  $n$ -garmonikalar amplitudalari.



10.23-chizma. *Varikapli avtogeneratorning statik modulyatsion xarakteristikasi*

$k_g$  qiymati belgilangan qiymatdan katta bo'lmashligi lozim. Ushbu qiymatni aniqlash uchun:

1)  $C_V(t)$  funksiyaning ikkinchi garmonikasi  $k_g$  ga asosiy hissa qo'shadi;

2) chastota detektorining chiqishidagi tok amplitudasi chastota chetlanishiga proporsional bo'ladi, natijada varikap sig'imi  $C_V$  o'zgarishiga ham proporsional deb tasavvur qilamiz.

U holda

$$k_g = I_{\Omega 2} / I_{\Omega 1} = C_{V2} / C_{V1}, \quad (10.32)$$

bunda,  $C_{V1}$  va  $C_{V2}$  –  $C_V(t)$  funksiya  $\Omega$  chastotasining birinchi va ikkinchi garmonikalari amplitudalari.

Varikap VFX  $C_{bar}(U_m) = C_{bar}(U_{spr}) \left( \frac{\varphi_k + U_{spr}}{\varphi_k + U_n} \right)^v$  dan foydalanib, quyidagi ifodani olamiz:

$$C_V(U_V) = C_V(U_{V0}) (1 + U'_\Omega \cos \Omega t + U'_{V1} \cos \omega_0 t)^{-v}, \quad (10.33)$$

bunda,  $C_V(U_{V0})$  – varikapning  $U_{V0}$  kuchlanishdagi sig'imi;  $U'_\Omega = U_\Omega / (\varphi_k + U_{V0})$  – modulyatsiyalovchi tebranish normallashtirilgan amplitudasi;  $U'_{V1} = U_{V1} / (\varphi_k + U_{V0})$  – YuCh tebranish normallashtirilgan amplitudasi;  $\varphi_k = 0,5 - 0,7$  – potentsiallarning ulanish farqi;  $v = 0,2 - 1,0$  – texnik koeffitsiyent (odatda  $v = 1/3$ ).

$U'_\Omega \ll 1$ ,  $U'_{V1} \ll 1$  ekanligini e'tiborga olib va  $C_V(U_V)$  funksiyani darajali qator ko'rinishida deb tasavvur qilib, yoyilmaning birinchi uchta

hadi bilan cheklangan holda hamda YuChli tashkil etuvchilarni tushurib qoldirgan holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$C_V(t) \approx C_{V0} + C_{V1} \cos \Omega t + C_{V2} \cos 2\Omega t. \quad (10.34)$$

Ushbu ifodadan ko'rinadiki, varikapning sig'imi vaqtga bog'liq holda  $C_{V0}$  o'rtacha qiymati atrofida o'zgaradi.

Nochiziqli buzilish uchinchi qo'shiluvchi (had) orqali aniqlanadi, ya'ni

$$k_g = \frac{C_{V2}}{C_{V1}} = \frac{0,5v \Delta\omega_d}{k_V \omega_0}, \quad (10.35)$$

bunda,  $C_{V1} = |\Delta C_{V1}|$ , ( $|\Delta\omega| = \Delta\omega_d$ ).

Bundan kelib chiqadiki,  $k_g$  ning minimal qiymatiga ega bo'lish uchun:

- VFXsining nochiziqlilik darajasi  $v$  mumkin qadar katta bo'lgan varikaplardan, ya'ni tez va o'ta tez  $p-n$  o'tishli ( $v = 1$ ) varikaplardan foydalanish;
- rezonator yig'indi sig'imida varikapning xissa koeffitsiyentini oshirish;
- chastota deviatsiyasini kamaytirish kerak.

## 10.9. Faza modulyatorlari

Faza modulyatorlari UQT aloqasi, televizion radiouzatkichlari hamda RLS radiouzatkichlarida tashuvchi tebranish chastotasining barqarorligiga talablar yuqori bo'lganda ChM va FM radiosignallarni shakllantirishda keng qo'llaniladi. Bundan tashqari faza modulyatorlari fazalangan antenna panjarasi (FAP) ning yo'naltirilganlik diagrammasini boshqarish uchun ishlatiladi.

Ideal holda modulyator chiqishidagi FM tebranishning amplitudasi doimiy bo'lganda va parazit AM hosil bo'lmaganda faza modulyatori faza deviatsiyasining boshqaruvchi kuchlanishga chiziqli bog'liqligini ta'minlaydi. Faza modulyatori bu boshqariladigan faza surgich. Sodda holda modulyatsiyalovchi tebranish manbai orqali boshqariladigan chiziqli sig'imli tebranish konturi bo'lishi mumkin.

Ma'lumki, konturning kuchlanishi  $u_k(t)$  va toki  $i_k(t)$  orasidagi faza surilishi (o'zgarishi) uning sozlanganligiga bog'liq. Haqiqatdan ham  $I_k = U_k Y_k$ , bunda  $Y_k$  – konturning to'la o'tkazuvchanligi

$$Y_k = G_k + j \frac{1}{\rho} \left( \frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \right) = |Y_k| e^{j\varphi_k}; \quad (10.36)$$

$$|Y_k| = \sqrt{G_k^2 + \frac{1}{\rho^2} \left( \frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \right)^2}; \quad tg\varphi_k = Q \left( \frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \right).$$

Bu ifodalarda,  $G_k$  – rezonans o'tkazuvchanlik;  $\rho$  – xarakteristik qarshilik;  $\omega_r$  – rezonans chastota;  $\varphi_k$  – to'la o'tkazuvchanlik fazasi,  $\varphi_k \approx 2Q\Delta\omega/\omega_r$ .

Chastota  $\omega$  ning rezonans chastota  $\omega_r$  dan chetlanishi kichik bo'lganda quyidagilar o'rinli:  $tg\varphi_k = \varphi_k$ ;  $\frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} = \frac{2\Delta\omega}{\omega_r}$ ;  $\Delta\omega = \omega - \omega_r$ ; shuning uchun

$$\varphi_k = \frac{2Q\Delta\omega}{\omega_r}. \quad (10.37)$$

Agar konturning sig'imi modulyatsiyalovchi PCh kuchlanish beriladigan varikap bo'lsa, u holda konturning rezonans chastotasi  $\omega_r = \omega_0$  (10.37) ifodaga muvofiq o'zgaradi.

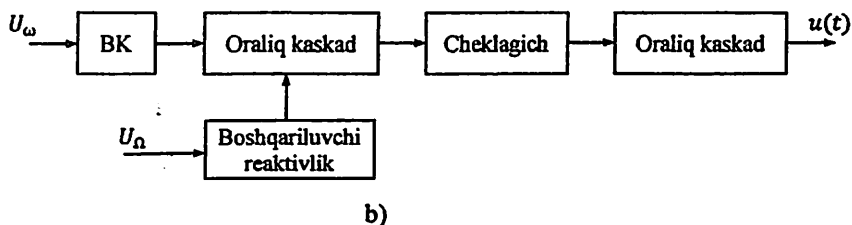
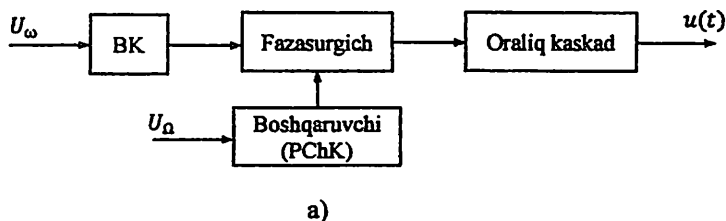
(10.36) ni (10.37) ifodaga qo'yib  $\varphi_k = -Q\Delta C_V k_V / C_{V0}$  ni olamiz. Agar  $C_V(t)$   $\Omega$  chastota bilan o'zgarsa, u holda  $\varphi_k(t) = -\frac{4v}{v+1} Q k_V k_g \cos \Omega t$ .

Faza modulyatsiyasining indeksi  $\Phi = \frac{4v}{v+1} Q k_V k_g$ , bundan

$$k_g = \frac{v+1}{4v} \frac{\Phi}{Q k_V}. \quad (10.38)$$

Tashqi FM kaskadlararo zanjirda boshqariluvchi (magnit maydoni boshqariladigan yoki YuTL asosidagi maxsus elektron to'lqin o'tkazgichli) faza surgich yordamida amalga oshiriladi. Ular O'YuCh va optik to'lqin diapazonida qo'llaniladi (10.24a-chizma). Ichki FM nisbatan past chastotalarda qo'llaniladi va tashqi qo'zg'atkichli

generator tebranish konturining boshqariluvchi reaktivligi yordamida amalga oshiriladi (10.24b-chizma).



10.24-chizma. Ichki (a) va tashqi (b) faza modulyatorining funksional sxemasi

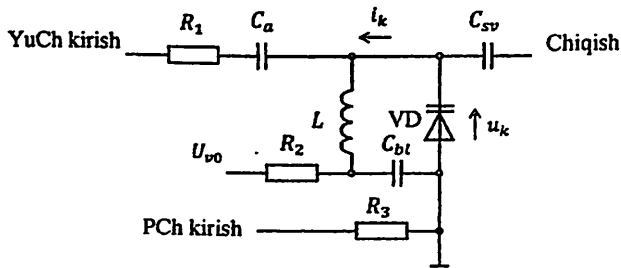
RUQlarda ko'proq rezonans konturli faza surgich ishlatiladi. Kontur tarkibida sig'imi modulyatsiyalovchi kuchlanishga mos o'zgaruvchi varikap bo'lib, u konturni  $\omega_0$  ga nisbatan sozlanganligini o'zgartiradi, natijada modulyator chiqishidagi tebranish fazasining o'zgarishiga, ya'ni FMga olib keladi (10.25-chizma).

Faza modulyatorining amaliy sxemasi 10.26-chizmada keltirilgan. Ushbu modulyator O'YuCh diapazonining quyi qismi (yuzlab MHz) da qo'llaniladi.

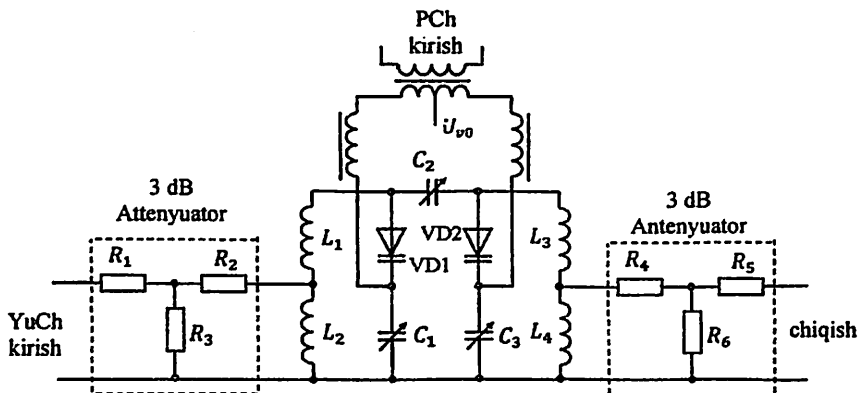
FMda nochiziqli buzilishlarni kamaytirish uchun:

- $v$  ning qiymati katta bo'lgan varikaplardan foydalanish (tez va o'ta tez  $p-n$  o'tishli);
- yuqori asllikli konturlardan foydalanish ( $\uparrow Q$ );
- modulyatsiya indeksi  $\Phi$  ni kamaytirish;
- kontur yig'indi sig'imidagi varikapning xissa ko'effitsiyenti  $k_V$  ni oshirish kerak.





a)



b)

10.25-chizma. *Faza modulyatorining sxemasi (a) va kichik nochiziqli buzilishli faza modulyatori sxemasi (b)*

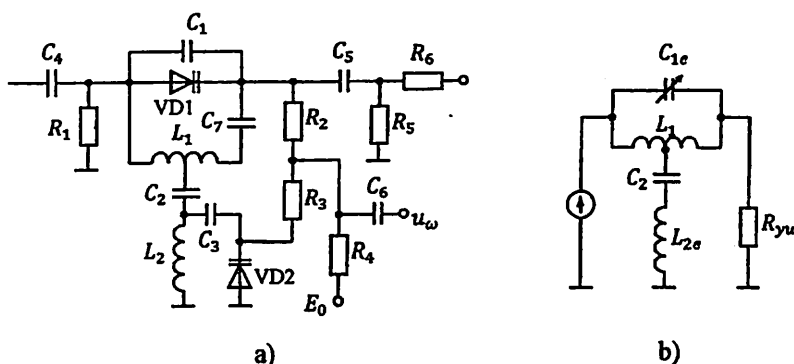
Amaliyotda  $k_g$  ning kichik qiymatini olish uchun  $k_V = 1$  qilib tanlanadi va bunda  $\Phi = 15-20^\circ$  oraliqda bo'lishi kerak.

10.26a-chizmada keltirilgan faza modulyatori tarkibida T-simon sxema bo'yicha ulangan ikkita rezonans kontur mavjud. Ushbu konturlarda ekvivalent sig'im  $C_{1e}$  va induktivlik  $L_{2e}$  modulyatsiyalovchi signal ta'siridagi varikap yordamida o'zgaradi. 10.26a- va b-chizmalarni taqqoslash natijasida quyidagini olamiz:

$$C_{1e} = C_1; \quad L_{2e} = 1/[L_2 - \omega^2 C_3 / (1 + C_3 / C_{V2})].$$

Bir necha o'nlab megagers chastotada ishlashda varikapning boshlang'ich sig'imi tomonidan beriladigan siljish kuchlanishi 1,5-2,5 V oraliqda, modulyatsiyalovchi kuchlanish amplitudasi esa 1 V atrofida

tanlanadi. FM kirishidagi tashuvchi kuchlanish voltning o'ndan bir ulushida o'rnatiladi.



10.26-chizma. Ikki konturli faza modulyatorining sxemasi (a) va uning ekvivalent sxemasi (b)

Faza surgich quyidagi xossalarga ega:

1) agar konturlar bir xil va ularning rezonans chastotasi kirish kuchlanishi chastotasi  $\omega_0$  ga sozlangan hamda  $R_{yu} = \rho = \sqrt{L_{2e}/C_2} = \sqrt{L/C_e}$  bo'lsa, u holda chiqish kuchlanishining fazasi kirish kuchlanishiga nisbatan  $180^\circ$  ga siljigan va amplitudasi esa kirish kuchlanishi amplitudasiga teng bo'ladi;

2)  $C_{1e}$  va  $L_{2e}$  ning rezonans jarayonidagi qiymatini  $\pm 50\%$  doirasida bir vaqtda proporsional o'zgartirsak, u holda chiqish signali fazasining o'zgarishi  $\pm 90^\circ$  ni tashkil etadi;

3)  $C_{1e}$  va  $L_{2e}$  o'zgarishida faza surgichning kirish qarshiligi aktiv, doimiy va  $R_{yu}$  ga teng bo'ladi; kuchlanishni uzatish koeffitsiyenti birga teng bo'lib qolaveradi.

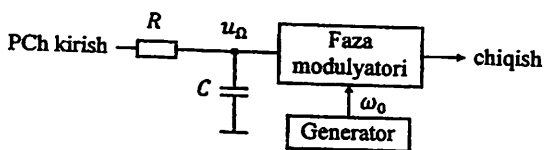
Faza surgich kirish qarshiligining va kuchlanish uzatish koeffitsiyentining doimiyliги xalaqitli AM hosil bo'lmasligini ta'minlaydi.

$k_g$  ning yetarli kamayishi 10.25b-chizma va 10.26a-chizmalarda keltirilgan ikkita varikap ikki konturli tebranish tizimiga ulangan faza surgich sxemalaridan foydalanish imkonini beradi. Faza modulyatori kirishi va chiqishida modulyatsion xarakteristika barqarorligini oshirish maqsadida FMni RUQLarining qo'shni kaskadlaridan ajratuvchi  $R1 - R3, R4 - R6$  qarshiliklardan tashkil topgan 3 dB li antenyuatordan foydalaniladi.

**Faza modulyatori orqali amalga oshiriladigan chastota modulyatsiyasi.** Ushbu modulyatsiya turi generatsiyalangan funksiyalarni taqsimlash (bo'lish) va modulyatsiyalash uchun qo'llaniladi. Bunda tashuvchi chastotasini kvarsli AG yordamida stabilizatsiyalash (barqarorlash) imkoniyati paydo bo'ladi. FMda tebranishning fazasi bilan birga chastotasi ham o'zgaradi, bunda modulyatsiyalovchi chastota  $\Omega_{min} - \Omega_{max}$  polosasida chastota deviatsiyasi  $\Delta\omega_d$  ning doimiyligiga erishish asosiy muammo hisoblanadi.

$\Omega\Phi = \Delta\omega_d$  ifodadan ko'rinadiki, FM chiqishida chastota deviatsiyasi modulyatsiyalovchi chastota  $\Omega$  ga to'g'ri proporsional. Ushbu bog'liqlikni yo'qotish uchun sxemaga integrallovchi zanjir kirish chastotasiga teskari proporsional chastotali qo'shimcha element ulanadi. Uning chiqishida  $R \gg (\Omega_{min}C)^{-1}$  bo'lganda  $U_\Omega = U_{PCh}/(\Omega RC)$ , bunda  $U_{PCh}$  – past chastotali chiqish kuchlanishi amplitudasi.

ChMni hosil qiluvchi funksional sxema 10.27-chizmada keltirilgan.



10.27-chizma. ChMni hosil qiluvchi modulyatorning funksional sxemasi

Agar  $\Phi = \frac{4v}{v+1} Qk_v k_g$  ifodaga  $k_g = U_\Omega(v+1)/4$  ni qo'ysak va  $U_\Omega = U_\Omega(U_{V0} + \varphi_k)$  ni e'tiborga olsak, u holda

$$\Phi = vQk_v U_{PCh} / [(U_{V0} + \varphi_k)\Omega RC] \quad (10.39)$$

ga ega bo'lamiz va  $\Omega\Phi = \Delta\omega_d$  tenglikdan

$$\Delta\omega_d = vQk_v U_{PCh} / [(U_{V0} + \varphi_k)RC], \quad (10.40)$$

ya'ni  $\Delta\omega_d$  chastota  $\Omega$  ga bog'liq bo'lmaydi.

Ushbu modulyatsiya usulining afzalligi – tashuvchi chastotasining yuqori barqarorligida ChM tebranishni hosil qilish imkoniyatidir. Kamchiligi – kichik chastota deviatsiyasi  $\Delta f_d = \Delta\omega_d / (2\pi)$ ;  $\Delta f_d = F_{mtn}\Phi$ .  $\Delta f_d$  maqbul, ya'ni bir necha o'n kilogersga teng bo'lishi uchun chastota ko'paytirgichdan foydalanish zarur.

## *Nazorat savollari*

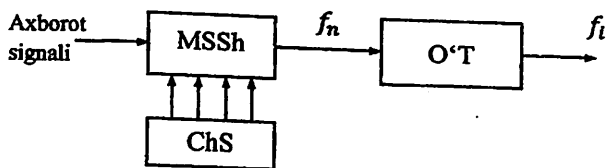
- 1. Modulyator qanday qurilma va uning asosiy elementi nima?*
- 2. Amplituda modulyatsiyali radiouzatuvchi qurilmalar qaysi sohalarda ishlatiladi.*
- 3. Statik va dinamik modulyatsion xarakteristikalar deb qanday xarakteristikalarga aytiladi?*
- 4. Amplituda modulyatorlarida nechta rejim farqlanadi?*
- 5. Kollektor kuchlanishini o'zgartirib AM signalni shakllantirish qurilmasining funksional sxemasini chizing va tushuncha bering.*
- 6. Kollektor modulyatsiyasining afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?*
- 7. Siljish kuchlanishini o'zgartirib modulyatsiyalashni amalga oshirish sxemasini chizing va tushuncha bering.*
- 8. Bir polosali amplituda modulyatsiyasining afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?*
- 9. Bir polosali modulyatsiyalangan signalni shakllantirishning qanday usullarini bilasiz?*
- 10. Qayta balansli modulyatsiya va filtrlash usulida BPM signal qanday hosil qilinadi?*
- 11. Diodli ikki taktili balans amplituda modulyatorining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 12. Halqali balansli modulyatorning sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 13. Fazakompensatsiya usulida BPM signalni shakllantiruvchi strukturaviy sxemani chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 14. Impulsi radiouzatkichlarning funksional sxemasini chizib bering.*
- 15. ChM hamda FM signallarning asosiy ko'rsatkichlari (modulyatsiya indeksi, chastota deviatsiyasi) haqida tushuncha bering.*
- 16. Bevosita, bilvosita va kombinatsiyalashgan chastota modulyatsiyali RUning funksional sxemalarini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 17. Faza modulyatorining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 18. Ikki konturli faza modulyatorining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*

# 11. RADIOUZATUVCHI QURILMALARNING TASHUVCHI SIGNAL GENERATORLARI VA CHASTOTA SINTEZATORLARI

## 11.1. Qo'zg'atgich haqida ma'lumotlar

Radiouzatkichlarning asosiy xarakteristikalari: chiqish quvvati, FIK, ishchi chastotalar diapazonining kengligi, tashuvchi chastota barqarorligiga bo'lgan talablar nihoyatda yuqori va bir-biriga zid. Shuning uchun radiouzatkichni loyihalashda RUQ bajaradigan turli vazifalarni uning alohida kaskadlariga taqsimlashga harakat qilinadi. Yuqori chastotali tebranish chastota va fazasining barqarorligini ta'minlash masalasi RUQning kaskadi hisoblanuvchi qo'zg'atkichga yuklanadi. Ba'zi hollarda qo'zg'atkichda modulyatsiyalangan signallarni shakllantirish ham amalga oshiriladi.

Har qanday radiouzatish qurilmasi tarkibiga uning tebranishlar chastotasini belgilaydigan qo'zg'atkich kiradi. Zamonaviy radiouzatgich qo'zg'atgichi murakkab va qimmatbaho qurilma bo'lib, u belgilangan chastotali bir yoki bir nechta kogerent tebranishlarni ishlab chiquvchi chastotalar sintezatoridan (ChS), belgilangan tashuvchi chastotalarda modulyatsiyalangan signallarni shakllantirgichdan (MSSh) va shakllangan tebranishlarni ishchi chastotalar diapazoniga o'tkazish traktidan (O'T) tashkil topadi (11.1-chizma).



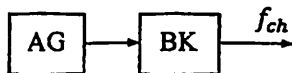
11.1-chizma. Radiouzatuvchi qurilmalar qo'zg'atgichining strukturaviy sxemasi

Bundan tashqari ko'pgina qo'zg'atgichlar tarkibida avtonom ta'minot manbai mavjud bo'ladi. Shuni ta'kidlash lozimki, cheklangan chastotalarda ishlovchi oddiy radiouzatgichlarda sintezator bo'lmasligi mumkin. Bu holatda qo'zg'atgich bir yoki bir nechta yuqori barqarorlikka ega kvarsli generatorlardan tashkil topadi.

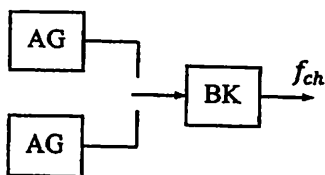
Eng oddiy hollarda, radiouzatuvchi qurilma bitta ishchi chastotada

( $f_i$ ) ishlaganda qo'zg'atgich sifatida ketma-ket ulangan kvarsli avtogenerator va bufer kaskadi tushuniladi (11.2-chizma).

Avvaldan ma'lum bir yoki bir nechta chastotalarda foydalanishga mo'ljallangan RUQda qo'zg'atkich o'rniga bir yoki bir nechta kvarsli avtogeneratorlardan foydalanish mumkin. Bunday qo'zg'atgichlar «Kvars-Volna» turidagi qo'zg'atgich deb ataladi (11.3-chizma). Bunday turdagi qo'zg'atgichlar ishchi chastotasining soni 10 dan oshmaydi.



11.2-chizma. Oddiy qo'zg'atgich

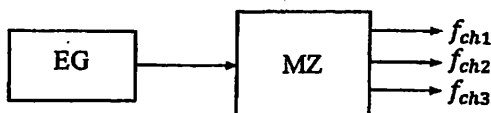


11.3-chizma. "Kvars-Volna" turidagi qo'zg'atgich

Radiouzatgich qo'zg'atgichlari quyidagi *asosiy ko'rsatkichlar* bilan xarakterlanadi: ishchi tebranishlarning chastotalar diapazoni, ishchi chastotalarni o'zgarish xarakteri (diskret yoki uzluksiz), chastotalarning umumiy soni (yoki chastota qadami), chastota va fazaning nobarqarorligi, yon tashkil etuvchilar darajasi, qo'zg'atgichni boshqarish xarakteristikasi (qo'l yordamida yoki masofadan turib), qayta sozlash inertligi, berilgan yuklama qarshiligida chiqish kuchlanishi, qo'zg'atkichda shakllanadigan modulyatsiyalangan signal turi, shakllangan signal turlarining sifat ko'rsatkichlari va foydalanish sharoitlari.

## 11.2. Chastota sintezatorlarining turlari va asosiy xarakteristikalari

Radiouzatuvchi qurilmalarning chastota barqarorligiga talab yuqori bo'lganda qo'zg'atgich sifatida chastota sintezatorlari ishlatiladi. Bitta yoki bir nechta chastota barqarorligi yuqori bo'lgan radioto'lqinlarni etalon generator (EG) signalidan shakllantiruvchi qurilma chastota sintezatori deb ataladi (11.4-chizma).



11.4-chizma. Chastota sintezatorining strukturaviy sxemasi

Odatda EG sifatida kvarsli avtogenerator (AG) ishlatiladi. Bunday avtogeneratorlarning chastota barqarorligi  $\frac{\Delta f_e}{f_e} = 10^{-5} - 10^{-6}$  ni tashkil etadi. Professional radiouzatuvchi qurilmalarda qo'zg'atgich sifatida kvant standartlari (lazer generatori) ishlatiladi. Ularning chastota barqarorligi  $\frac{\Delta f_e}{f_e} = 10^{-10} - 10^{-12}$  ni tashkil etadi. Chastota sintezatorlari (ChS) radiosignallarni qabul qiluvchi qurilmalarda geterodin sifatida, radiouzatuvchi qurilmalarda qo'zg'atgich sifatida va nazorat-o'lchov asboblari nazorat (test) signallari manbai sifatida ishlatiladi.

Belgilangan chastotali bir yoki bir nechta kogerent tebranishlarni shakllantiruvchi — chastotalar sintezatori qo'zg'atgichning asosiy elementi hisoblanadi. Shuning uchun chastotalar sintezatori ko'p hollarda qo'zg'atgich parametrlarini butunlay belgilab beradi. Chastotalar sintezatorida chiqish ishchi signali tayanch avtogeneratori chastotasidan hosil qilinadi. Chastota sintezatori bevosita (to'g'ridan-to'g'ri) yoki bilvosita sintez usullari yordamida amalga oshiriladi.

Chastota sintezatorlarining *asosiy parametrlariga* quyidagilar kiradi:

1. Ishchi chastotalar diapazoni  $f_{min} - f_{max}$ . Odatda ikki xil chastota sintezatori qo'llaniladi. Qoplovchi koeffitsiyenti kichik bo'lgan  $k_f = f_{max}/f_{min} < 1,2$  va qoplovchi koeffitsiyenti katta bo'lgan  $k_f = f_{max}/f_{min} > 1$ . Ikkinchi turdagi chastota sintezatorlari keng diapazonli deyiladi.

2. Chastota qadami  $F_c$  yoki ishchi chastotalar hajmi  $N = 1 + (f_{max} - f_{min})/F_c$ . Ishchi chastotalar hajmi turli vazifalarni bajaruvchi chastota sintezatorlarida turlicha, ya'ni  $N = 10 - 10^5$  bo'ladi, chastota qadami esa 0,01 Hz dan 10 kHz gacha bo'lishi mumkin.

3. Nisbiy chastota barqarorligi  $\Delta f_i/f_i$ . Chastota barqarorligi qisqa va uzoq muddatli bo'lishi mumkin. Qisqa muddatli barqarorlik vaqti  $t < 1$ sekund vaqtda kuzatiladi. Uzoq muddatli chastota barqarorlik esa  $t > 1$ sekund vaqtda kuzatiladi.

4. Keraksiz (ortiqcha) to'lqinlarni so'ndirish koeffitsiyenti  $D = 10 \lg(P_i/P_{kz})$ , odatda  $D > 40$  dB, ayrim hollarda  $D > 100$  dB. Bu koeffitsiyent ChS chiqishidagi ishchi tebranishning quvvati  $P_i$  ni keraksiz to'lqin quvvati  $P_{kz}$  ga nisbatini ko'rsatadi.

5. Bir ishchi chastotadan ikkinchi ishchi chastotaga o'tish vaqti  $t_{o't}$ . Ushbu parametr tez ishlovchi qurilmalar uchun juda muhim.

6. Chastota sintezatorining chiqishidagi tebranish quvvati  $P_i$ .

Odatda bu quvvat 1–10 mW dan oshmaydi, chunki yuqorida bayon qilingan parametrlarni amalga oshirish kichik quvvatda osonroq bo'ladi. Zarur bo'lgan quvvatga esa keyingi kaskadlarda kerakli miqdorgacha kuchaytirish hisobiga erishiladi.

Chastota sintezatorlari *ikki turga* bo'linadi:

1. *Bevosita sintez usuli asosida ishlovchi chastota sintezatorlari.*

Bunday qurilmada chiqish signali etalon generator signalidan to'g'ridan-to'g'ri sintez qilish yo'li bilan hosil qilinadi. Kerakli chastota tor polosada ishlovchi filtr orqali ajratib olinadi. Bevosita (to'g'ridan-to'g'ri) sintez usuli asosida tuzilgan chastota sintezatorlarida chiqish tebranishlari tayanch etalon generator chastotasini qo'shish, ayirish, ko'paytirish va bo'lish amallarini bajarish orqali hosil qilinadi.

2. *Bilvosita sintez usuli asosida ishlovchi chastota sintezatorlari.*

Bunday chastota sintezatorlarida chiqish signali yordamchi generator yordamida shakllantiriladi va uning chastotasi EG chastotasi bilan taqqoslanib turiladi. Bu chastotani fazaviy avtomatik sozlash (ChFAS) tizimlari orqali amalga oshiriladi.

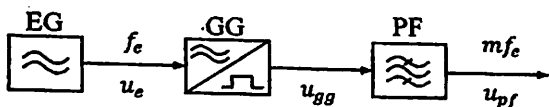
### 11.3. Bevosita sintez usuliga asoslangan chastota sintezatorlari

*Bevosita sintez usuliga asoslangan* chastota sintezatorlarida chiqish signali etalon generator signalidan to'g'ridan-to'g'ri sintez qilish yo'li bilan hosil qilinadi. Bevosita (to'g'ridan-to'g'ri) sintez usuli asosida ishlovchi chastota sintezatorlarida chiqish tebranishlari tayanch etalon generator chastotasidan qo'shish, ayirish, ko'paytirish va bo'lish amallarini bajarish orqali hosil qilinadi.

Ko'paytirish amalini  $m$  marta, bo'lish amalini  $n$  marta bajarib ( $m$  va  $n$  butun sonlar) turli kombinatsiyali signallar:  $mf_e$ ,  $f_e/n$ ,  $mf_e/n$ ,  $(m_1/n_1 \pm m_2/n_2)f_e$  va boshqa kombinatsiyali signallarni olish mumkin. Agar  $m_i$  va  $n_i$  larni doimiy butun sonlar deb hisoblasak, ChSning chastota barqarorligi  $\Delta f_i/f_i$  EG chastota barqarorligi  $\Delta f_e/f_e$  ga teng bo'ladi.

Garmonikalar generatoridan foydalanilgan chastota sintezatorining strukturaviy sxemasi 11.5-chizmada keltirilgan. Ushbu sintezatorda chiqish signali chastotani ko'paytirish usuli asosida hosil qilinadi.

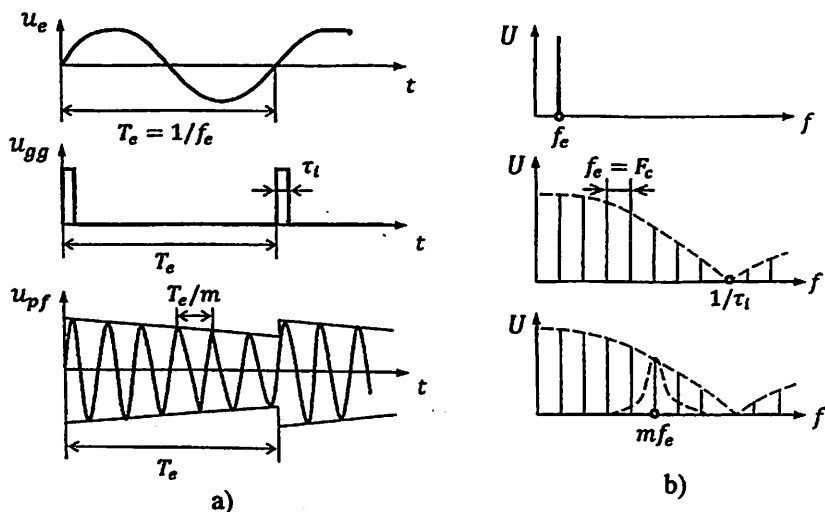




11.5-chizma. *Garmonikalar generatoridan foydalanilgan chastotalar sintezatorining strukturaviy sxemasi*

Chastota sintezatorining ish jarayonini tushuntirishga oid vaqt va spektr diagrammalar 11.6-chizmada keltirilgan.

Maxsus o'zgartirgich – garmonikalar generatori (GG) sinusoidal signalni qisqa to'rtburchakli  $T_e = 1/f_e$  davr bilan takrorlanuvchi impulslar ketma-ketligi  $u_{gg}(t)$  ga aylantirib beradi. Agar impulsning davomiyligi  $\tau_t \ll T_e = 1/f_e$  bo'lsa, u holda spektrda juda ko'p garmonikalar bo'ladi.

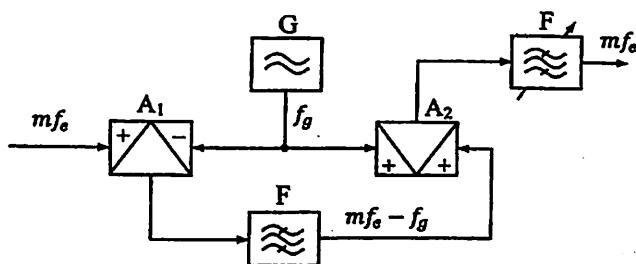


11.6-chizma. *Chastota sintezatorining ish jarayonini tushuntirishga oid: a) – vaqt va b) – spektr diagrammalar.*

Polosa filtri (PF) yordamida kerakli garmonika ajratib olinadi. Bunday oddiy chastota sintezatorlarining asosiy kamchiligi shundaki, polosa filtrning (PF) chiqishidagi kuchlanish faqat asosiy garmonikaning toki bilan emas, balki qo'shni garmonikalar toki bilan ham aniqlanadi (11.6-chizma). Bu qo'shni garmonikalar polosa filtridan o'tib ketadi, chunki o'zgaruvchan filtrning polosa kengligi nisbatan keng bo'ladi. Bu

qo'shni garmonikalar chiqish signalida  $T_e = 1/f_e$  ko'rinishidagi davriy pul'satsiya paydo qiladi. Bir chastotadan ikkinchisiga o'tganda va kerakli garmonikani tanlashda PFning o'tkazuvchanlik kengligini iloji boricha tor qilib olish kerak, ammo bu ancha murakkabdir. Polosa filtriga bo'lgan talablarni yengillashtirish uchun chastotani ikki marta almashtirish strukturaviy sxemasi asosida qurilgan ChSlaridan foydalaniladi, ba'zan xatolikni *ayirish usuliga asoslangan ChSlari* deb ataladi.

Chastotani ikki marta almashtirishga asoslangan sintezatorlarda chastota ikki marta almashtiriladi. Birinchi  $A_1$  aralashtirgichda chastotalar ayirmasi hosil qilinadi. Ikkinchi  $A_2$  aralashtirgichda chastotalar yig'indisi hosil qilinadi. Sintezatorning strukturaviy sxemasi 11.7-chizmada keltirilgan.



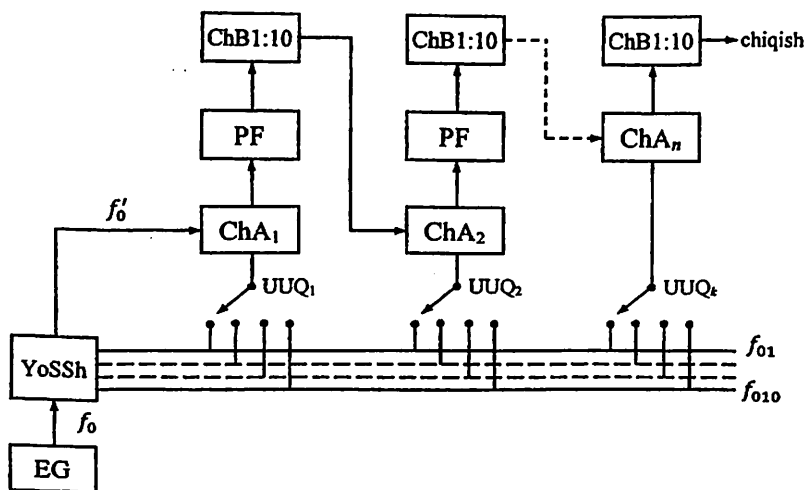
11.7-chizma. *Chastotani ikki marta almashtirishga asoslangan sintezatorning strukturaviy sxemasi*

Birinchi chastota aralashtirgich  $A_1$  da GG chiqishidagi hamma chastotalar qiymati yordamchi generator G yordamida  $f_g$  chastotaga kichiklashtiriladi. Tor polosali filtr o'zining kirishidagi signallardan birining chastotasi  $mf_e - f_g$  ga sozlangan bo'ladi. Polosa filtri F kirish signallarining qolgan hamma spektr tashkil etuvchilarini o'tkazmaydi. Ikkinchi chastota aralashtirgich  $A_2$  da chastotalar yig'indisi  $mf_e - f_g + f_g$  hosil qilinadi va generator signallari kompensatsiyalanib, chiqishida  $mf_e$  chastotali signal hosil bo'ladi. Bunda  $A_2$  chiqishidagi qo'shni garmonikalar ( $mf_e$  dan chap va o'ng tomondagi, 11.6b-chizma) tor polosali filtr F tomonidan filtrlanadi. Generator chastotasining o'zgarishi  $A_2$  chiqishidagi signalga ta'sir qilmaydi, u faqat tor polosali filtrning o'tkazish polosasi kengligini belgilab beradi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan chastotani ikki marta almashtirish usuli

asosidagi sintezator yordamida juda katta hajmli ishchi signallarni olish qiyin. Bunday signallarni olishning eng oddiy usullaridan biri chastota sintezatorining signallarini ketma-ket qo'shish usulidir. Buning uchun chastota qadami ma'lum bo'lishi kerak.

Bunda bevosita (to'g'ridan-to'g'ri) sintez usuli asosida tuzilgan murakkab sintezatorlarda "identik dekadalar" prinsipi qo'llaniladi. Mana shunday usul asosida qurilgan chastotalar sintezatorining strukturaviy sxemasi 11.8-chizmada keltirilgan.



11.8-chizma. "Identik dekadalar" dan foydalanishga asoslangan chastotalar sintezatorining strukturaviy sxemasi

Etalon generatoring  $f_0$  chastotali signali asosida yordamchi signallarni shakllantirish (YoSSh) qurilmasida o'nta  $f_{01}, \dots, f_{010}$  tayanch chastotalari va chastotasi  $f'_0 = f_{01}/9$  ga teng chastotali signallar shakllantiriladi. O'nta tayanch chastotalar  $f_{01}, \dots, f_{010}$  bir-biri bilan quyidagicha bog'liqlikka ega:

$$f_t = f_{01} + (n - 1)\Delta f, \quad (11.1)$$

bunda,  $n = 1-10$ ;  $\Delta f$  – yordamchi chastotalar orasidagi farq. Dekadali uzib-ulagich qurilmalari (UUQ<sub>1</sub>, UUQ<sub>2</sub>, ..., UUQ<sub>k</sub>) yordamida  $f_{01}, \dots, f_{010}$  chastotalardan birini chastota almashtirgichlardan hohlagan bittasining kirishiga berish mumkin. Polosa filtrlari (PF) ikki signal

chastotalari yig'indisiga teng bo'lgan chastotali tashkil etuvchisini ajratadi va bu ajratib olingan signal chastotani bo'lish (ChB) qurilmasi yordamida 10 ga bo'linadi (oxirgi dekadada 10 ga bo'lish qismi bo'lmaydi).

ChS chiqish chastotasining qiymati quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$f_{chIQ} = 10f'_{01} + \Delta f(n_k + n_{k-1}/10 + \dots + n_n/10^{k-1}), \quad (11.2)$$

bunda,  $n_k$  – dekadaning oxirgi chastota bo'luvchisi yo'q qurilmasi;  $k$  – dekadalar soni;  $n_k$  – UUQ holati tartib raqami (0, 1, ..., 9). Agar dekadalar soni  $k = 1$  bo'lsa, u holda  $f_{chIQ} = 10f'_0 + \Delta f n_1$ ; agar  $k = 2$  bo'lsa, u holda  $f_{chIQ} = 10f'_0 + \Delta f(n_2 + n_1/10)$  va h.k.

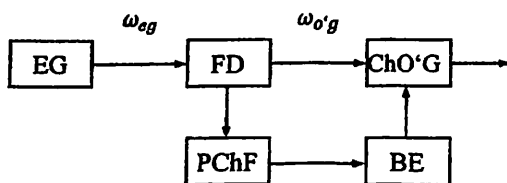
Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bu usulda shakllantirilgan chastotalar orasidagi farq yordamchi tayanch chastotalari  $f_{01}, \dots, f_{010}$  lar orasidagi farq  $\Delta f$  dan  $10^{k-1}$  marotaba kichik bo'ladi. Dekadalar sonini oshirish hisobiga chiqish signali chastotalari orasidagi farqni kichiklashtirish mumkin. Bu usulni amalga oshirilganda PF chastotalar polosasini o'zgartirish talab qilinmaydi. Bu usulda qurilgan ChSning kamchiliklari, bu ko'p sonli chastota almashtirgich (ChA) va PF lardan foydalanish kerakligi, buning natijasida ChSdan talab qilinadigan chiqish signali tarkibidagi zararli (ikkilamchi) spektr tashkil etuvchilari sathini 60...80 dB ga kamaytirishga bo'lgan talabni amalga oshirishni qiyinlashtirishi hisoblanadi.

#### 11.4. Bilvosita usul asosida qurilgan chastota sintezatorlari

Ko'p hollarda amalda bilvosita sintez usullari asosida qurilgan chastotalar sintezatoridan ham foydalaniladi. Bunday chastota sintezatorlari tarkibida chastotani fazaviy avtomatik sozlash (ChFAS) zanjiri orqali chastotasi o'zgartirilishi mumkin bo'lgan avtogenerator ham bo'ladi. ChFAS tizimining soddalashgan strukturaviy sxemasi 11.9-chizmada keltirilgan.

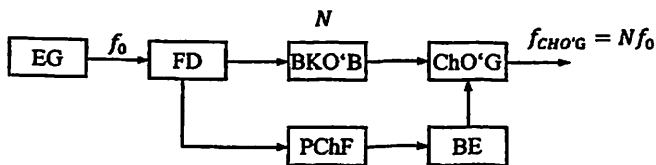
Etalon generatori (EG) va chastotasi o'zgartiriladigan (sozlanadigan) generator (ChO'G) signallari faza detektor FD kirishiga beriladi, faza detektorining chiqisida ushbu ikki kuchlanish orasidagi farq hosil bo'ladi. FD chiqish kuchlanishi PChF orqali boshqaruvchi element BE ga ta'sir etib, unda boshqaruvchi kuchlanish paydo qiladi. Boshqaruvchi element sifatida varikap ishlatilishi mumkin. U

sozlanuvchi generator ChO'G chastotasini o'zgartirib etalon generatori (EG) chastotasiga tenglashtiradi.



11.9-chizma. Chastotani fazaviy avtomatik sozlash qurilmasining strukturaviy sxemasi

ChFAS tizimining ishlash asosini bilgan holda chastotani bilvosita sintezlashga asoslangan ChS ishlash asosini tushunish qiyin emas. Bu bilvosita sintez usuli asosidagi ChFAS tizimili chastota sintezatorining strukturaviy sxemasi 11.10-chizmada keltirilgan. Bo'lish koeffitsiyenti o'zgaruvchi bo'luvchi (BKO'B) chiqish signali va EG shakllantirayotgan  $f_0$  chastotali signal FD ga ta'sir qiladi. FD chiqish kuchlanishi xuddi avval tahlil qilinganidek ChFAS tizimidagidek PChF orqali ChO'G ning boshqaruvchi element (BE) iga ta'sir qiladi va uning chastotasini mos ravishda o'zgartiradi.

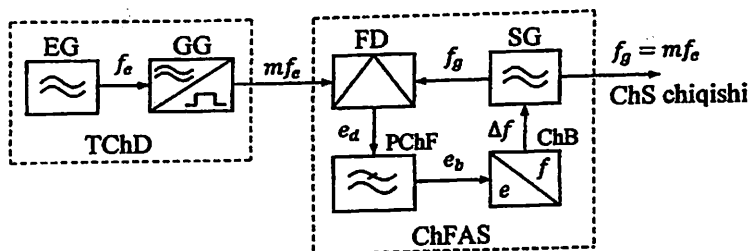


11.10-chizma. ChFAS tizimi asosida ishlaydigan chastota sintezatorining strukturaviy sxemasi

Odatda ChO'G sifatida sig'imli uch nuqta sxema asosida qurilgan tebranish konturiga varikap – chastotani boshqarish elementi (ChBE) parallel ulangan tranzistorli avtogeneratordan foydalaniladi. EG va ChO'G chiqish signali chastotalari bir-biriga teng va sinxron ish holatida FD chiqish kuchlanishi nolga teng va ChO'G chastotasining uzoq vaqt davomidagi qiymati EG chastotasiga teng bo'ladi ( $f_0 = f_{ChO'G}/N$ , bunda  $N$  – BKO'B sxemasining bo'lish koeffitsiyenti).

Tashqi boshqaruv qurilmasi orqali ChS chiqishida shakllantirilishi kerak bo'lgan chastotaning kodini terish orqali bo'lish koeffitsiyenti  $N$  ning qiymatini o'zgartirish mumkin, natijada ChS chiqish tebranishlari chastotasi  $f_{ChO'G} = Nf_0$  ga teng bo'lishiga erishiladi. Bunda ChSning chiqish signali chastotalari orasidagi eng kichik farq  $f_0$  ga teng bo'ladi. BKO'B sifatida o'rtacha va yuqori darajada integratsiyalashgan integral sxema asosida qurilgan impulslar hisoblagichidan foydalaniladi.

Ikkinchi turdagi bilvosita sintez usuli asosida ishlovchi ChSning funksional sxemasi 11.11-chizmada keltirilgan. Ushbu sxema etalon generator (EG) va garmonikalar generatori (GG) dan iborat tayanch chastotalar datchigi (TChD) dan hamda chastotani o'zgartiriluvchi – sozlanuvchi generator (SG), faza detektori (FD), past chastotalar filtri (PChF) va chastotani boshqaruvchi (ChB) dan iborat chastotani fazaviy avtomatik sozlash (ChFAS) sxemasidan tashkil topgan.



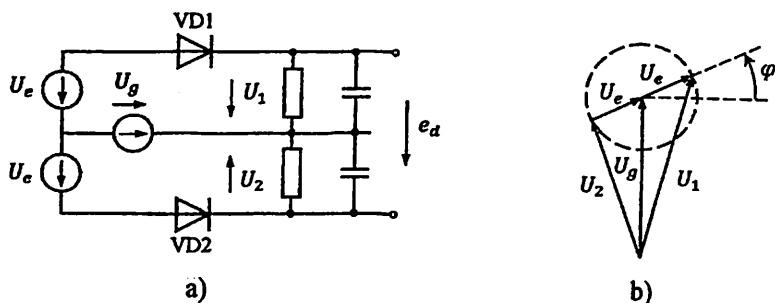
11.11-chizma. ChFAS tizimili ChSning funksional sxemasi

Faza detektori FD da SG tebranishining xususiy fazasi  $\varphi_g(t)$  etalon signali fazasi  $\varphi_e(t)$  bilan taqqoslanadi va FDning chiqishida uning kirishidagi signallar fazalari farqiga proporsional bo'lgan kuchlanish  $e_d(t)$  hosil bo'ladi. Ushbu  $e_d(t)$  kuchlanish PChF orqali ChB ga ta'sir etib, SG chastotasini EG chastotasiga yaqinlashtiradi.

PChF parametrlarini tanlash orqali tizimning zaruriy filtrlovchi va dinamik xususiyatlariga erishish mumkin.

Boshqaruvchi signal  $e_b(t)$  orqali korreksiyalovchi chastota (rasstroyka)  $\Delta f(t)$  kiritilishi mumkin. Ushbu korreksiyalovchi chastota SGning xususiy chastotasiga qo'shilib, EG va SG larning fazalar farqi (muvofiqligi)  $\Delta\varphi(t) = \varphi_g(t) - \varphi_e(t)$  ni kamaytiradi. Etalon generator signali monoxromatik bo'lganda sinxron statsionar ish holati yuzaga keladi, bu paytda FD da fazalar farqi  $\Delta\varphi = const$  bo'ladi va EG hamda SG chastotalarning fazasi bir-biriga teng bo'ladi. ChFAS xususiyati

ko'pincha FD sxemasi bilan aniqlanadi. Odatda FDning balansli sxemasi ko'proq ishlatiladi (11.12a-chizma).



11.12-chizma. Balansli faza detektori sxemasi (a) va vektor diagrammasi b)

Balansli faza detektorining chiqish signali VD1 va VD2 diodlardan iborat amplituda detektorlarida to'g'rilangan kuchlanishlar ayirmasidan iborat. Bunda to'g'rilangan kuchlanishning doimiy tashkil etuvchilari o'zaro kompensatsiyalanadi. Amplituda detektorlarining uzatish koeffitsiyentlarini bir xil  $K_{d1} = K_{d2} = K_d$  deb olamiz, EG va SG signallarining nisbatini  $U_e/U_g = \alpha$  deb belgilaymiz va FD chiqish signalini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$e_d(t) = K_d U_g \left( \sqrt{1 + a^2 + 2a \sin \varphi} - \sqrt{1 + a^2 - 2a \sin \varphi} \right). \quad (11.3)$$

(11.3) ifodani o'zgartirib quyidagicha yozamiz

$$e_d = E(U_e, U_g) F(\varphi, U_e, U_g) \quad (11.4)$$

bunda,  $E(U_e, U_g)$  – faza detektori (FD) chiqishidagi eng katta kuchlanish bo'lib, u EG hamda SG larning amplitudasiga bog'liq;  $F(\varphi, U_e, U_g)$  birgalikda normallashtirilgan xarakteristika, ya'ni o'lchovsiz funksiya bo'lib, chiqish kuchlanishining kirish kuchlanishi fazalari farqiga bog'liq bo'ladi. Agar  $a \ll 1$  bo'lsa u holda ildizni qatorga yoyib quyidagi ifodani olish mumkin

$$E(U_e, U_g) \approx E(U_e) = 2K_d U_e; \quad F(\varphi, U_e, U_g) \approx F(\varphi) = \sin \varphi. \quad (11.5)$$

Bu shuni bildiradiki, etalon generatorining kichik signalida faza detektorining xarakteristikasi sinusoidal shaklga ega va uning amplitudasi etalon generator (EG) amplitudasining ikki barobariga teng bo'ladi.

Shunday qilib, chastotani fazaviy avtomatik sozlash tizimi qayta sozlanuvchi tor polosali filtr vazifasini ham bajaradi va garmonikalar generatori chiqishidagi  $(m - 1)f_e$  va  $(m + 1)f_e$  qo'shni garmonikalar hamda boshqa garmonikalardan kerak bo'lgan garmonika ( $mf_e$ ) ni ajratib oladi. Qo'shni garmonika  $(m - 1)f_e$  va  $(m + 1)f_e$  lar faza detektorining chiqishidagi kuchlanishlarning to'qnashuvi natijasida yuzaga keladi.

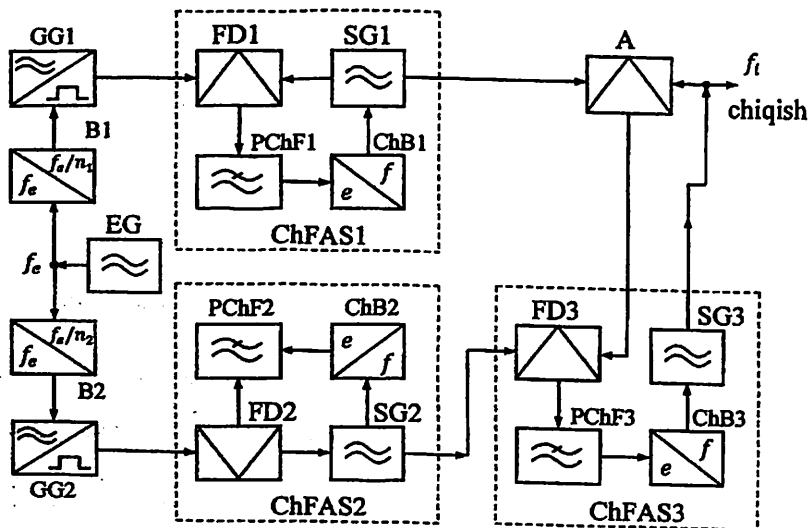
Agar ushbu qo'shni garmonikalar chastotani boshqaruvchi qurilmaga kirib qolsa, sozlanuvchi generator SGning signali faza bo'yicha ana shu signal bilan modulyatsiya qilinadi va chiqish signalining spektri toza bo'lmaydi. Shuning uchun PChF muhim vazifani bajaradi, ya'ni chastota boshqargich ChB ni kirish qismiga qo'shni garmonikalardan hosil bo'lgan signalni o'tkazmaydi. PChFning polosasini kerakli tor qilib qo'shni garmonikalardan tozalash mumkin, ammo bu holda chastotani fazaviy avtomatik sozlash (ChFAS) tizimining dinamik xususiyati yomonlashadi va sinxron rejimga kirish qiyin bo'ladi. Yuqorida qayd qilingan sxemaning kamchiligi shundan iboratki, chiqish qismida diskret chastotalarning soni kamligidir.

Chastotalar sonini oshirish uchun murakkab sintezatorlardan foydalanish kerak bo'ladi. Bir muncha murakkab bo'lgan chastota sintezatorida ikkita tayanch chastotalar generatori bo'ladi (11.13-chizma). Bunda etalon generator (EG) signalini ikkita bo'lgichda bo'lib va garmonikalar generatorida ( $GG_1$  va  $GG_2$ ) ko'paytirib ikkita tayanch chastotalar shkalasini: siyrak va zich (masalan 100 va 1 kHz) olish mumkin. Bo'lgichlarning ( $B_1$  va  $B_2$ ) bo'lish koeffitsiyenti  $n_1$  va  $n_2$  ga teng bo'ladi.

Birinchi ChFASdagi SG1 avtogeneratorining chastotasi keng ko'lamda (masalan 2–30 MHz) o'zgaradi, SG2 generatorining chastotasi tor polosada (100–200 kHz) o'zgaradi. Bu ikkala generator tanlangan garmonika atrofidagi chastotaga yaqin qilib sozlanadi. SG1 (2–30 MHz) ichidagi chastotaga yaqin qilib, SG2 esa (100–200 kHz) yaqinidagi chastotaga sozlanadi. ChFAS1 tizimi yordamida SG1 chastotasi 100 kHz qadam bilan o'zgaradi, ikkinchisi SG2 esa ChFAS2 tizimi yordamida chastota 1 kHz ga o'zgaradi. Shundan keyin SG1 va SG2 signallari ChFAS3 tizimi yordamida A aralashtirgichda qo'shiladi va



SG3 ning chastotasi ( $f_{g1} + f_{g2}$ ) ga tenglashtiriladi. Buning uchun SG3 generatori avval ( $f_{g1} + f_{g2}$ ) yig'indi chastota yaqinida sozlanadi va keyin CG1 generator chastotasi ( $f_{g1} + f_{g2}$ ) chastota bilan sinxron holatga keltirilib, aniq qilib sozlanadi. Shunday qilib bu sxema orqali juda ko'p chastotalar olish mumkin. Bu diskret chastotalar 1,8–30,2 MHz chastota oralig'ida bo'ladi, chastota qadami esa 1 kHz gat eng bo'ladi.



11.13-chizma. Murakkab chastota sintezatorining funksional sxemasi

Radiouzatish qurilmalari tarkibiga kiruvchi ChSdan chastotasi barqaror tebranishlarni shakllantirish bilan birga, RUQlarida foydalanishi rejalashtirilgan modulyatsiyalangan signallarning bir necha turini shakllantirishda ham keng foydalaniladi (3.1-chizma). Burchak modulyatsiyasi (ChM va FM) signallar yordamida axborot uzatish yuqori chastotali signal chastota (fazasi)ni o'zgartirish bilan bog'liq bo'lgani uchun modulyatsiya jarayoni to'g'ridan-to'g'ri ChSda o'tkaziladi. Umuman boshqa tur murakkab modulyatsiyalangan signallarni ham ChSda shakllantirish mumkin. ChM va FM signallarni shakllantirishda bevosita va bilvosita usullardan foydalanish mumkin. ChM signallarni bevosita shakllantirishidan foydalanilganda uning chastotasini o'zgartirish xususan avtogeneratorning o'zida amalga oshiriladi. ChM (FM) signallarni bilvosita shakllantirish yuqori

chastotali tebranishlar fazasini past chastotali modulyatsiyalovchi signal orqali boshqarish orqali amalga oshiriladi.

Amplitudasi modulyatsiyalangan signallar RUQlarida ko'p hollarda energetik nuqtayi nazardan qurilma foydali ish koeffitsiyentini oshirish maqsadida modulyatsiya RUQning oxirgi yoki oxirigidan oldingi kaskadida amalga oshiriladi.

### *Nazorat savollari*

- 1. Chastota sintezatorlari qanday vazifani bajaradi?*
- 2. Chastota sintezatorlarining asosiy parametrlarini sanab bering.*
- 3. Chastota sintezatorlari nechta guruhga bo'linadi?*
- 4. Garmonikalar generatoridan foydalanilgan chastota sintezatorining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini vaqt diagrammalar asosida tushuntiring.*
- 5. Chastotani ikki marta almashtirishga asoslangan chastota sintezatorining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 6. "Identik dekadalar" dan foydalanishga asoslangan chastotalar sintezatorining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 7. Chastotani fazaviy avtomatik sozlash tizimining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 8. ChFAS tizimili ChSning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 9. Balansli faza detektorining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
- 10. Balansli faza detektorining kamchiligi nimadan iborat?*

## 12. RAQAMLI CHASTOTA SINTEZATORLARI VA KVANT STANDARTLARI

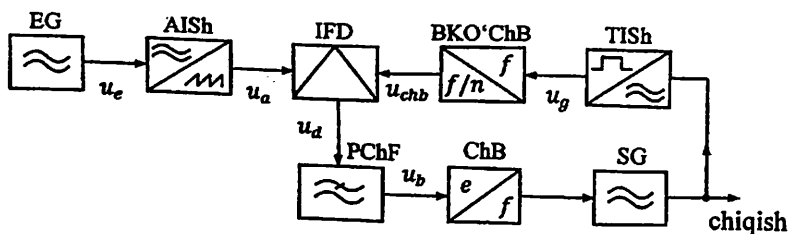
### 12.1. Raqamli chastota sintezatorlari

*Raqamli chastota sintezatorlari* deb berilgan chastota diskret setkasi (to'ri) diapazonida yuqori chastotali garmonik tebranish (to'lqin)lar shakllantiruvchi va asosan raqamli sxemotexnika elementlari asosida qurilgan sintezatorlarga aytiladi. Raqamli chastota sintezatorlari ixchamlik, ishonchlik va texnologik jihatdan bir qancha afzalliklarga ega bo'lib, nisbatan tejamkor hisoblanadi.

Raqamli chastota sintezatorlari chastotani fazaviy avtomatik sozlash (ChFAS) tizimidan foydalanilgan holda bilvosita sintez usuli asosida quriladi. Bu holda chastotani fazaviy avtomatik sozlash tizimi impulsli ish holati (rejimi)da ishlaydi, bunday tizim impulsli ChFAS (IChFAS) tizimi deb yuritiladi.

Oddiy ChFAS tizimidan farqli o'laroq IChFAS tizimi tarkibiga yangi elementlar kiritilgan bo'lib, bular arrasimon impulslarni shakllantiruvchi qurilma (AISH), to'g'ri to'rtburchakli impulslarni shakllantiruvchi qurilma (TISH) va FD o'rnida esa impulsli faza diskriminatori (IFD) dan foydalanilgan. Bundan tashqari sintezator tarkibida bo'lish koeffitsiyenti o'zgaruvchi chastota bo'lgich (BKO'ChB) mavjud.

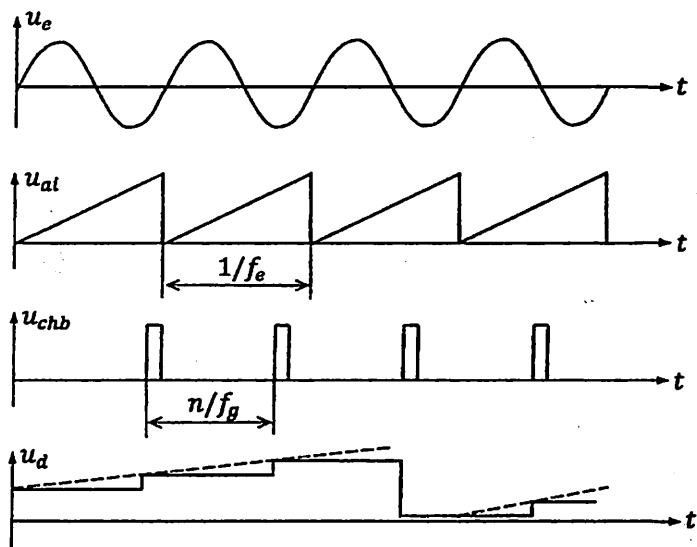
Raqamli chastota sintezatorining funksional sxemasi 12.1-chizmada keltirilgan.



12.1-chizma. *Raqamli chastota sintezatorining funksional sxemasi*

Sintezatorning ishlash tartibi quyidagicha. IFDga TISH va BKO'ChB orqali generator (G) impulslari  $u_{chb}$  hamda AISH qurilmasidan arrasimon kuchlanish  $u_{a1}$  beriladi, bunda to'g'rito'rtburchakli impuls  $u_{chb}$  kelgan vaqtda arrasimon kuchlanish amplitudasi kalitli

sxema yordamida qayd qilinadi. Xotirada saqlash sxemasi ushbu amplitudani navbatdagi to'g'ri to'rtburchakli impuls kelishiga qadar saqlab turadi. Natijada IFD chiqishida zinasimon kuchlanish  $u_d$  hosil bo'ladi, ushbu kuchlanish PChFda tekislanib (silliqlanib) ChBga ta'sir ko'rsatadi va G chastotasini o'zgartiradi (12.2-chizma). Bunda, G – chastotasi qayta sozlanuvchi generator hisoblanadi.



12.2-chizma. Raqamli chastota sintezatorining ishlash jarayonini tushuntiruvchi vaqt diagrammasi

Sinxron ish holatida generator (G) impulslari har doim arrasimon impulslarining bitta nuqtasi (joyi) bilan ustma-ust tushadi, uning joylashishi G va EGlarning boshlang'ich sozlanganligiga bog'liq bo'ladi. Bu kuchlanish ChB orqali G chastotasini bir xil ushlab turadi, natijada sinxron ish holati yuzaga keladi (12.2-chizma). Odatda kalitli sxema bir holatdan ikkinchi holatga o'tganda IFD chiqishidagi doimiy kuchlanishga qo'shimcha impuls signallar ta'sir qiladi. Bu qo'shimcha impulslar chiqish signali ( $f_{chIQ}$ ) ning spektriga ta'sir qiladi va shuning uchun ularni PChF yordamida filtrlash lozim. Yuqorida qayd qilingan ChFAS tizimi chastota sintezatori tarkibida muvaffaqiyatli ishlashi mumkin. Diskret chastotalar setkasini olish uchun generatordan impulslar BKO'ChBga yuboriladi. BKO'ChB qurilmasi teskari aloqali

trigger sxemalari asosida yig'iladi va berilayotgan buyruq (komanda) signallari orqali bo'lish koeffitsiyenti  $n$  ni keng ko'lamda o'zgartirish mumkin.

Raqamli chastota sintezatorlarining qurilishini ko'rib chiqamiz. Bunda bo'lish koeffitsiyentini  $n = 10$  deb qabul qilamiz.  $G$  kuchlanishi asosida TISH qurilmasida shakllangan to'rtburchakli impulslar ketma-ketligining har o'ninchi impulsi IFD kirishiga beriladi. Agar  $G$  xususiy chastotasi EG chastotasidan 10 marta katta bo'lsa, u holda IFDda  $f_g = 10f_e$  chastotada  $G$  chastotasini sinxronlovchi kuchlanish hosil bo'ladi.  $n = 10 + 1 = 11$  deb va  $G$  chastotasini taxminan 10% ga oshirib, BKO'ChB chiqishida  $f_e$  ga yaqin bo'lgan bo'lingan chastotani hosil qilamiz va  $G 11f_e$  chastotada sinxronizm holatiga o'tadi. Shunday qilib BKO'ChBning bo'lish koeffitsiyentini va  $G$  chastotasini o'zgartirib EG chastotasining barqarorligini saqlab qoluvchi diskret chastota setkasidagi istalgan chastotani olish mumkin.

Ko'p sonli chastotalarda BKO'ChBli IChFAS tizimidan foydalanish maqsadga muvofiq emas, chunki bo'lish koeffitsiyenti  $n$  ning kattalashishi bilan  $G$  signali spektrida IFDga ta'sir ko'rsatuvchi faza fluktuatsiyalarining sathi kattalashadi. Turlicha qadimli chastotalar setkasini aralastirib, turli BKO'ChBli bir necha IChFAS tizimi barqarorlashtirilgan raqamli chastota sintezatorlaridan foydalanish sodda va samarali hisoblanadi. Bunday turdagi ChS ko'proq ishlatiladi.

Raqamli ChSlarini qurishning boshqa usullari ham mavjud bo'lib, bu usullarga impulslar ketma-ketligiga turlicha ishlov beriladi va ularda fazaviy avtomatik sozlash yoki chastotaviy avtomatik sozlash tizimlaridan foydalanish talab etiladi.

## 12.2. Chastota sintezatorlarda kvant standartlarini ishlatish

Maxsus hollarda etalon generator sifatida sintezatorlarda kvant standartlari ishlatiladi. Ularning chastota barqarorligi  $\Delta f/f$  juda yuqori bo'lib  $10^{-9}$ - $10^{-13}$  ni tashkil etadi. Demak, ularni sintezatorlarda tayanch generatori sifatida ishlatish zamonaviy talablar darajasidagi radiouzatuvchi qurilmalarni qurish imkoniyatini beradi. Lekin kvant generatorlarini to'g'ridan-to'g'ri ishlatish mumkin emas, chunki u shakllantiradigan tebranish chastotasi juda yuqori bo'lib, quvvati esa juda kichkina bo'ladi. Misol uchun, ammiak molekulasida ishlaydigan kvant generatorining chastotasi  $f = 2387013$  kHz ( $\lambda \approx 1,25$  sm), seziiy molekula to'plamida ishlaydigan generatorning chastotasi  $f = 9192632$

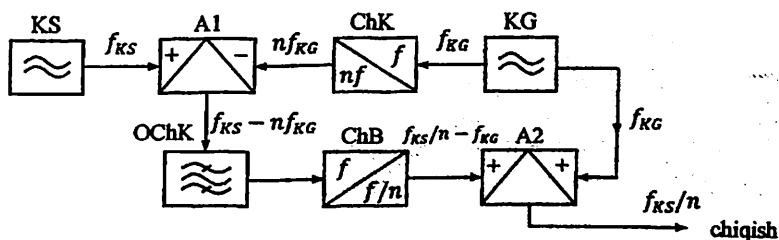
kHz ( $\lambda \approx 3,26$  sm). Bunday generatorning chiqish quvvati  $P_{chiq}$  atigi  $10^{-10}$  W ni tashkil etadi. Shuning uchun kvant generatorlarini bir necha yuz megagars diapazonda ishlatishda chastotani pasaytiruvchi, quvvatni esa oshiruvchi maxsus qurilma kerak bo'ladi. Bundan tashqari bu qurilma kvars generatorining (KG) chastota barqarorligini o'zgartirmasdan saqlab turishi kerak.

Bunday maxsus qurilmalar ikki xil yo'l bilan qurilishi mumkin:

1. Kvant standarti chastotasini 2 marta o'zgartiradigan geterodin qurilmalarda kvars avtogeneratorini ishlatish usuli.
2. Kvarsli avtogenerator chastotasini kvant standarti signali yordamida avtomatik tarzda boshqarib turiladigan ChAS tizimi sxemasi asosida.

Birinchi usulda ishlaydigan kvant standartining strukturaviy sxemasi 12.3-chizmada keltirilgan.

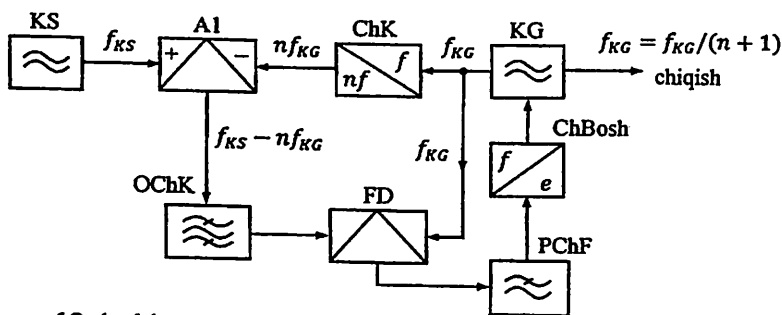
Bunday usul bilan ishlaydigan sintezatorlarda (12.3-chizma) kvars generatorining (KG) chastotasi chastota ko'paytirgichda (ChK)  $n$  marta ko'paytiriladi va aralashtirgich A1 da kvant standart chastotasi (KS) bilan aralashtiriladi. A1 ning chiqishida oraliq chastota signali  $f_{KS} - nf_{KG}$  paydo bo'ladi. Bu signal ko'p kaskadli oraliq chastota kuchaytirgichda (OChK) kuchaytirilib chastota bo'lgich (ChB) ga kelib tushadi. Chastota bo'lingandan so'ng  $f_{KS}/n - f_{KG}$  chastotali signal kvars generatori signali bilan birgalikda A2 aralashtirgichiga keladi va A2 chiqishida bu signal yig'indi ko'rinishida,  $(f_{KS}/n - f_{KG}) + f_{KG} = f_{KS}/n$  ga teng bo'ladi. U filtr yordamida qo'shimcha garmonikalardan ajratib olinadi. Chiqish signalining tarkibida kvars generatorining signali bo'lmaydi va chiqish signalining chastota barqarorligi kvant standartining (KS) barqarorligi bilan aniqlanadi. Kvant standarti sifatida lazer generatori ishlatilishi mumkin.



12.3-chizma. Kvant standarti chastotasini ikki marta geterodinli o'zgartirish usuliga asoslangan chastota sintezatori

### 12.3. FAS tizimi asosidagi kvant standarti

FAS tizimi asosidagi kvant standartlarda kvars generatoriga qo'shimcha chastota boshqaruvchi qurilma ulangan (12.4-chizma). Xuddi yuqoridagi usulga o'xshab kvars generatori (KG) ning chastotasi chastota ko'paytirgich ChK da  $n$  marta ko'paytiriladi va A1 aralashtirgichda KS signali bilan aralashtiriladi. Signallar ayirmasi  $f_{KS} - nf_{KG}$  oraliq chastota kuchaytirgichi (OChK) da kuchaytirilgandan keyin kvars generatori (KG) signali bilan birgalikda faza detektoriga (FD) beriladi. FD chiqishidagi signal PChFda filtrlanib, chastota boshqaruvchi (ChBosh) da kuchlanishga aylantirilib kvars generatorining chastotasini o'zgartiradi va sinxron stasionar ish holatda  $f_{KS}/(n+1)$  ga teng bo'ladi.



12.4-chizma. FAS tizimi asosidagi chastota sintezatori

Bu holda faza detektor (FD) ga kelayotgan signal fazalari doimiy bo'ladi. Bu sintezatorda ham chiqish signalining chastotasi kvant standarti signalini chastota barqarorligi bilan aniqlanadi. Ikkala sintezator tarkibida bir xil elementlar mavjud. FAS tizimi bilan ishlaydigan sintezator bir qancha afzalliklarga ega. FAS sintezatorining asosiy kamchiligi sinxron ish holatidan chiqib ketishidir va ChKni chastota barqarorligini biroz pasaytirishidir. Bu kamchiliklarni sintezatorni to'g'ri loyihalab yo'qotish mumkin.

### 12.4. Maxsus DDS mikrosxema asosida tog'ridan-t'og'ri sintez usuliga asoslangan raqamli chastota sintezatori

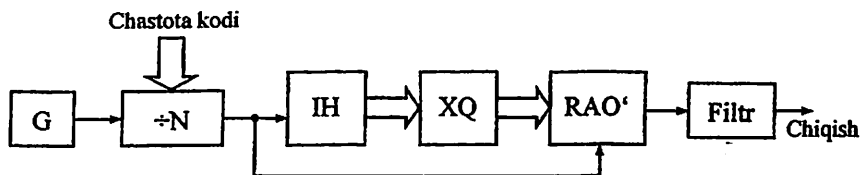
Keyingi paytda t'og'ridan-to'g'ri sintez qiluvchi chastota sintezatorlarini yaratishda raqamli usullardan keng foydalanilmoqda.

Bunga misol qilib DDS (Digest Digital Synthezers) sintezatorini keltirish mumkin. Hozirgi paytda nisbatan arzon va loyihalash uchun qulay bo'lgan maxsus DDS mikrosxemalar ishlab chiqarilmoqda va ular asosida yaratilgan sintezatorlarga ko'proq e'tibor berilmoqda. DDS mikrosxema asosidagi sintezator shakllantirayotgan signal raqamli tizimga xos bo'lgan aniqlik bilan sintez qilinadi. Ularning chastotasi, amplitudasi va fazasi har qanday vaqt oralig'ida ma'lum va mikrokontroller boshqaruvida bo'ladi. Bu sintezatorga harorat deyarli ta'sir ko'rsatmaydi. Shu sababli raqamli DDS sintezatorlar hozirgi paytda keng qo'llanilmoqda. Bu jihatdan DDS sintezatorni yaratish va uning chiqish signali tarkibini or'ganish dolzarb masala bo'lib hisoblanadi.

Bunday DDS mikrosxema asosidagi raqamli chastota sintezatorlari bir qancha afzalliklarga ega:

- chiqish signalining chastotasi va fazasi raqamli ravishda boshqariladi;
- bir ishchi chastotadan ikkinchi ishchi chastotaga o'tish juda tez amalga oshadi;
- sintezatorni mikrokontroller yordamida boshqarish mumkin.

Eng oddiy raqamli chastota sintezatorining strukturaviy sxemasi 12.5-chizmada keltirilgan.



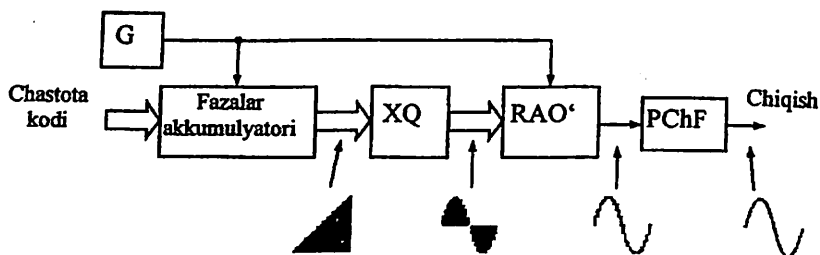
12.5-chizma. *Raqamli chastota sintezatorining strukturaviy sxemasi*

Chizmada: G – etalon generator, ÷N – bo'lish koeffitsiyenti o'zgaruvchi chastota bo'lgich, IH – ikki razryadli hisoblagich, XQ – sinus funksiyaning bitta davri yozilgan xotira qurilmasi, RAO' – raqam-analog o'zgartirgich, Filtr – chiqish signalini kerak bo'lmagan signaldan tozalab beradi.

Bunday oddiy sintezatorning chastota qadami o'zgaruvchan bo'ladi. Bu kamchilikni yo'qotish uchun xotira qurilmaga qo'shimcha element yig'uvchi summatordan signal berish kerak. Summator registr bo'lib, ba'zi hollarda u **fazalar akkumulyatori** deb ham ataladi.



Bunday raqamli DDS mikrosxemaning strukturaviy sxemasi 12.6-chizmada keltirilgan.



12.6-chizma. DDS mikrosxemaning strukturaviy sxemasi

Mikrosxema tarkibida fazalar akkumulyatori, doimiy xotira qurilmasi (XQ), raqam-analog o'zgartirgich (RAO') va past chastotalar filtri (PChF) bor. Fazalar akkumulyatori yig'uvchi registr bo'lib, undagi axborot tashqi takt generatoridan kelayotgan har bir impuls hisobiga ma'lum songa ko'payib boradi. Bu son chastota kodi deyiladi. Akkumulyatorning sig'imi 32 ikkilik razryaddan iborat. Registrda yig'ilgan son sinus yoki kosinus funksiyaning argumenti bo'lib hisoblanadi. Bu argumentning hisobi doimiy xotira qurilma XQ sida saqlanadi. Sintezatorning chiqishidagi signal sinusodal ko'rinishda bo'lishi kerak. Lekin DDS mikrosxema chastotani raqamli ravishda sintez qiladi. Shuning uchun uning tarkibiga raqam-analog o'zgartirgich (RAO') va past chastota filtri (PChF) kiritilgan. RAO' raqamli signalni analog sinusoidal signalga aylantirib beradi. Chiqishdagi signal chastotasi tashqi takt generatori chastotasiga bog'liq bo'ladi va quyidagi formula bilan aniqlanadi:

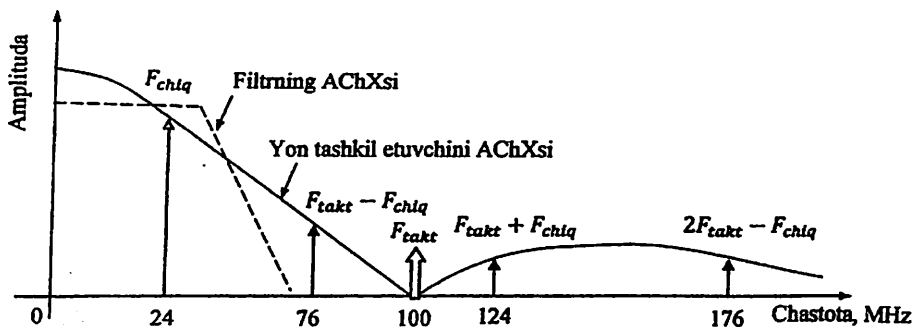
$$F_{chiq} = MF_{takt}/2N, \quad (12.1)$$

bunda,  $F_{chiq}$  – chiqishdagi chastota,  $F_{takt}$  – takt generatori chastotasi,  $M$  – chastota kodi,  $N$  – fazalar akkumulyatorining razryadi.

Ma'lumki, nazariy jihatdan vaqt bo'yicha diskretlangan va amplituda bo'yicha kvantlangan signal Dirak impulslari ketma-ketligi bilan ifodalanadi. Bu impulslarning amplitudasi cheksiz katta va davomiyligi cheksiz kichik bo'ladi.

Amalda bunday impulslarni shakllantirib bo'lmaydi. Signalni real impulslar ketma-ketligi bilan ifodalash chiqish signali spektrini

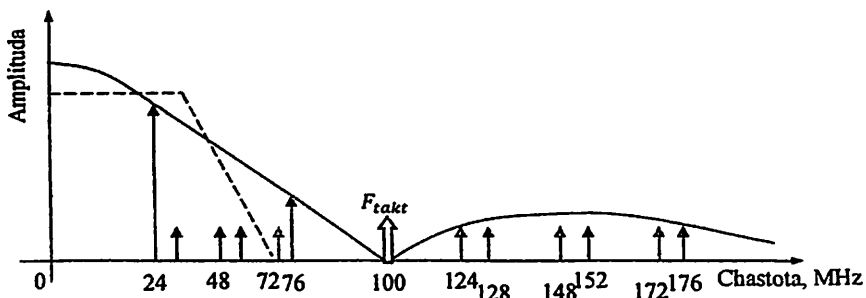
$\text{sinc}\left(\frac{F_{\text{chIQ}}}{F_{\text{takt}}}\right)$  funksiya bilan modulyatsiya qilinishiga olib keladi. Natijada DDS ning amplituda-chastota xarakteristikasi (AChX) 0 –  $0,5F_{\text{takt}}$  chastota oralig'ida 3 dB ga pasayadi. Uning ko'inishi va chiqish signalining spektri 12.7-chizmada keltirilgan.



12.7-chizma. Chiqish signalining spektri

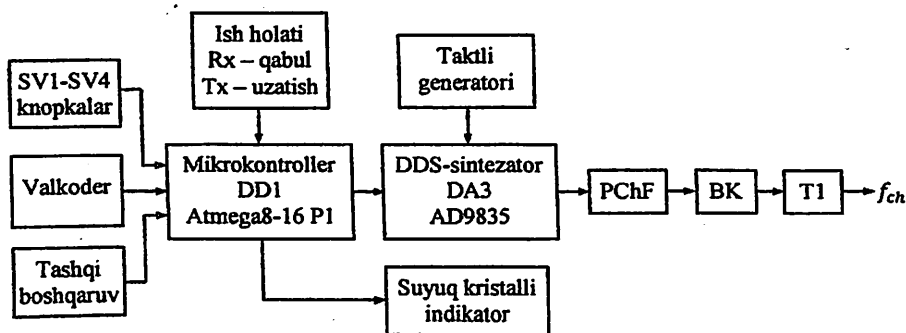
Diskretlash natijasida signal spektrida qo'shimcha kerak bo'lmagan tashkil etuvchilar paydo bo'ladi. Bu tashkil etuvchilarning amplitudasi ham  $\text{sinc}\left(\frac{F_{\text{takt}}}{F_{\text{chIQ}}}\right)$  funksiya bilan modulyatsiya qilinadi.

Masalan, chiqish signalini chastotasi  $F_{\text{chIQ}} = 0,33F_{\text{takt}}$ , ya'ni takt chastotasining uchdan biriga teng bo'lganda 1-qo'shimcha kerak bo'lmagan tashkil etuvchining amplitudasi asosiy signal amplitudasidan atigi 3 dB ga kichik bo'ladi va buni DDS sintezatorni loyihalashda albatta inobatga olish kerak. Bundan tashqari chiqish signalining spektrida yana boshqa qo'shimcha tashkil etuvchilar bo'lishi mumkin (12.8-chizma). Ular asosan raqam-analog o'zgartirgichning mukammal emasligidan (integral va differensial noxiziqlar bo'lishi sababli) kelib chiqadi. Odatda bu tashkil etuvchilarning amplitudasi nisbatan kichik bo'ladi. Ularni yo'qotish uchun doimiy xotira qurilmasi (XQ) va raqam-analog o'zgartirgich (RAO) orasiga past chastota filtri (PChF) qo'yish kerak.



12.8-chizma. Raqam-analog o'zgartirgichning noziqliligi tufayli paydo bo'ladigan kerak bo'lmagan tashkil etuvchilar

DDS sintezatorning AD9835 maxsus mikrosxema asosidagi strukturaviy sxemasi 12.9-chizmada keltirilgan. U mikrokontroller DD1, sintezator DA3, taktli generator G1, ikki zvenoli past chastota filtri (PChF), bufer kaskadi (BK) va SV1-SV4 knopkalardan iborat.



12.9-chizma. Sintezatorning strukturaviy sxemasi

Mikrokontroller DD1 SV1-SV4 knopkalardan va valkoderdan kelgan impulslarni qayta ishlab chastota kodiga aylantiradi. Chastota kodi DA3 DDS mikrosxema asosida ishlaydigan chastota sintezatoriga uzatiladi. Bu chastota kodini zagruzkasi mikrosxemani 9-kontaktiga kelayotgan impulslar kuzatuvida bo'ladi. DA3 mikrosxemani 6-kontaktiga 50 MHz li taktli impulslar G1 integral kvarsli generatordan keladi. DA3 mikrosxemaning chiqish qismidan sinusoidal signal ikki zvenoli past chastota filtri (PChF) orqali bufer kaskadga keladi. PChF ni

chegaralash chastotasi 8 MHz. Uning asosiy vazifasi chiqish signalining spektridagi kerak bo'lmagan tashkil etuvchilarni filtrlashdir. Bufer kaskad tranzistorda yig'ilgan bo'lib, filtrlangan signalni kuchaytiradi. Kuchaytirilgan signal T1 transformator orqali qabul qiluvchi yo'ki uzatuvchi qurilmaga uzatiladi. Mikrokontrollerga suyuq kristalli (20 ta simvolli) MDLS-20265 indikator ulangan. Indikator sintezator ishlab bergan chastota qiymatini va chastota qadamini ko'rsatadi (chastota qadami ikki qo'shni chastotalar orasidagi masofa, Hz da o'lchanadi). Chastotaning qiymati suyuq kristalli indikatorida namoyon bola'di. Indikatoridagi Rx belgi qabul rejimini, Tx esa uzatish rejimini bildiradi. Sintezator quyidagi parametrlarga ega:

- Ish diapazoni – 80 m (3,5 MHz), 40 m (7 MHz), 20 m (14 MHz);
- Chastota qadami – 10, 50, 1000 Hz;
- Chiqish kuchlanishi – 0,5 V;
- Yuklama qarshiligi – 50 Om;
- Manba kuchlanishi – 12 V;
- Sarf qilinayotgan tok – 200 mA.

Sintezator 80 m (3,5 MHz), da 40 m (7 MHz) yoki 20 m (14 MHz) diapazonda ishlovchi uzatkich yoki transiver tarkibida yuqori chastotali tashuvchi signallar generatori sifatida ishlatilishi mumkin.

### ***Nazorat savollari***

1. *Raqamli chastota sintezatori deb qanday sintezatorga aytiladi?*
2. *Raqamli chastota sintezatori qanday usul asosida quriladi?*
3. *Impulsi ChFAS tizimi tarkibi qanday qurilmalardan tashkil topgan?*
4. *Raqamli chastota sintezatorining funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
5. *Qanday hollarda chastota sintezatorlarda kvant standartlari ishlatiladi?*
6. *Kvant standartlari qanday chastota barqarorligiga ega?*
7. *Kvant standarti asosidagi chastota sintezatorlari qanday usullarda quriladi?*
8. *Kvant standarti chastotasini ikki marta geterodinli o'zgartirish usuliga asoslangan chastota sintezatorining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*

9. FAS tizimi asosidagi chastota sintezatorining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

10. DDS raqamli chastota sintezatorlari qanday afzalliklarga ega?

11. DDS sintezatorning AD9835 maxsus mikrosxema asosidagi strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

12. DDS sintezatorning parametrlarini sanab bering.

## 13. TURLI MAQSADLARGA MO'ljALLANGAN RADIOUZATUVCHI QURILMALAR

### 13.1. Asosiy tur radiouzatkichlarning qisqacha xarakteristikalari

Turli radiotexnik aloqa tizimlari (to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish hududi, troposfera, yo'ldoshli aloqa liniyalari va boshqalar) simli, kabelli, optik aloqa tizimlari bilan bir qatorda umumiy aloqa tizimining tarkibiy qismi hisoblanadi. Ushbu radiotexnik aloqa tizimlarini qurishda quyidagi modulyatsiya turlari nisbatan ko'proq ishlatiladi:

- Burchak modulyatsiya – kanallarni chastota bo'yicha ajratishda;
- Impulsli modulyatsiya – kanallarni vaqt bo'yicha ajratishda;
- Amplituda-impulsli (AIM), faza-impulsli (FIM), impuls-kodli (IKM) va boshqalar.

Radiouzatuvchi qurilmalarni qurish va ulardan foydalanishdagi asosiy amaliy xarakteristikalar 13.1-jadvalda keltirilgan. Bundan tashqari, RXMK – radiochastotalar bo'yicha xalqaro maslahat komissiyasi, TXMK – telekommunikatsiyalar bo'yicha xalqaro maslahat komissiyasi va Davlat meyorlari (tavsiyalari)ga muvofiq ruxsat etilgan chastota nobarqarorligi  $\Delta f/f_i < (20-50) \cdot 10^{-6}$  ni tashkil etadi, chunki elektromagnit moslashuv talablariga asosan radiouzatkichlar boshqa radiotexnik tizimlarga nisbatan xalaqit hosil qilmasligi kerak.

Aloqa tizimi turi	Chastota diapazoni; $f_{or}$	Quvvat; FIK	Kanallar turi	Retranslyator-lararo masofa	Modulyatsiya turi	Chastota bargaronligi
Radioeshittirish aloqa tizimlari	UT-UQT; $f_{or} < 25$ kHz	1- Vt; 70%		RRL va YATda foydalanish	AM, ChM	$10^{-4}$ - $10^{-5}$
Professional aloqa tizimlari	QT-UQT; $f_{or} < 25$ kHz	$(0,3-100) \cdot 10^3$ Vt; 10% gacha	TLF, TLG	To'g'ridan-to'g'ri ko'rinish	AM-BYoP	$10^{-4}$
Televideniye tizimlari (TV)	M; $f_{or} < 6$ MHz	$(1-10) \cdot 10^3$ Vt; 60% gacha	1-tovush jo'rrigi; 2-TV tasvir	To'g'ridan-to'g'ri ko'rinish	AM (ChM) $f_{or}$ da	$10^{-5}$ - $10^{-7}$
Radioreleli aloqa tizimlari (RRAT)	DM, SM; $f_{or}$ 80 MHz gacha	$(1-10) \cdot 10^3$ Vt; 20-70%	TLF, TLG		ChM, IKM, DM	$10^{-6}$ - $10^{-7}$
Magistral	3,4- 6,17 GHz	0,5- 10 Vt	360-2700 kanal	20-70 km		
Ichki	1,7-12 GHz	0,5- 10 Vt	300 kanal	15-25 km		
Troposfera orqali aloqa tizimlari	DM, SM (0,3-4,5 GHz); $f_{or} = 70 \dots 820$ MHz	1- $10^6$ Vt; 20-75 %	60-120 kanal	100-400 km, $R_{max} = 1000$ km	ChM, IKM, DM	$10^{-6}$ - $10^{-7}$
Sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimlari (SYAT)	DM, SM (0,7-14 GHz); $f_{or}$ 80 MHz gacha		TLF, TLG, TV 200-600 kanal	KA orbitasi balandligi 500-35000 km	ChM, IKM, DM	$10^{-6}$ - $10^{-7}$
Yer usti RUQ	6,14 GHz					
Borddagi RUQ	4,11 GHz					

\*  $f_{or}$  - oraliq chastota

## 13.2. Asosiy tur radioaloqa tizimlari radiouzatkichlarining funksional sxemalari

Radiouzatuvchi qurilmalarning funksional sxemalari ularga qo'yiladigan quyidagi asosiy talablar bilan aniqlanadi:

- tashuvchi yuqori chastota;
- kichik ruxsat etiladigan buzilishlar;
- modulyatsiyalovchi chastota polosasi kengligi;
- turli qiymatli tashuvchi chastotalarga o'tish imkoniyati;
- ChMda o'rtacha chastotaning yuqori barqarorligi;
- belgilangan  $P_{chIQ}$ , optimal FIK, yuqori ishonchlilik.

### 13.2.1. Radioeshittirish radiouzatkichlari

Radioeshittirish uzatkichlari nutq, musiqa va boshqa tovush signallarini uzatish uchun mo'ljallangan bo'lib, quyidagi xarakteristikalariga ega.

**Ishchi diapazoni:** kilometrli (UT – uzun to'lqin), gektometrli (O'T – o'rta to'lqin), dekametrl (QT – qisqa to'lqin) va metrli (UQT – ultra qisqa to'lqin) to'lqinlar.

**Chastota rejimi:**

- UT va UQT diapazonida radioeshittirish sutkaning istalgan (har qanday) vaqtida bitta chastotada amalga oshiriladi;
- O'T diapazonida – sutkaning kunduzi va tungi vaqtlarida turli chastotalardan foydalaniladi;
- QT diapazonida bir nechta ishchi chastotalardan foydalaniladi.

**Modulyatsiya turi:**

- UQT diapazonida – ChM, eng yuqori chastotasi 15 kHz gacha;
- UT, O'T va QT diapazonlarida – AM, eng yuqori chastotasi 10 kHz gacha.

**Chiqish quvvati:** UT, O'T va QT diapazonlari uzoq va o'ta uzoq eshittirish uzatkichlari uchun – 1 Vt dan 1 MVt gacha.

**Amaliy xususiyatlari:**

• Chiqish quvvati  $P_{chIQ}$  bir necha kilovatt dan katta bo'lganda chiqish kaskadlari elektrovakuum asboblari (triad, tetrad) dan foydalanib quriladi, qolgan kaskadlar esa tranzistorlardan foydalanilgan holda quriladi.

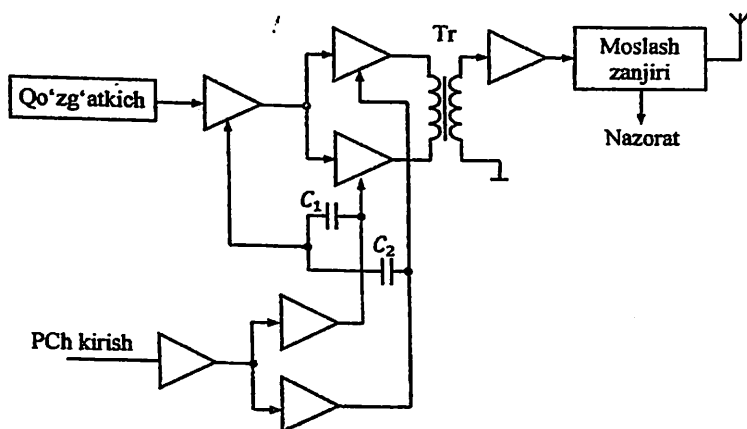


• FIKni 95% gacha oshirish uchun bigarmonik ish rejimidan foydalaniladi.

• FIKni 97% gacha oshirish uchun an'anaviy kalitli *E*-ish holatidan *D*-ish holatiga o'tiladi.

• Katta quvvatli O'T-UT uzatkichlari chiqish kaskadlarida anod modulyatsiyasidan foydalaniladi. Ikki taktli modulyatorlardan foydalanish yuqori FIK va elektroakustik xarakteristikalarni olish imkonini beradi.

• Chiqish quvvati 5–20 kVt bo'lgan O'T-UT uzatkichlarini qurishda modulyatsiyalanadigan tebranishlarni kuchaytirish rejimidan foydalaniladi. Bu yuqori samaradorlikli lampali tetrodlardan foydalanib sxema va tuzilish bo'yicha sodda modulyatsiyalangan tebranishni kuchaytirish rejimida ishlovchi uzatkichlarni qurish bilan bog'liq. Qolgan barcha kaskadlar, jumladan AM amalga oshiriluvchi kaskad ham tranzistorlardan foydalanilgan holda quriladi.



13.1-chizma. Quvvati 5 kVt bo'lgan 525–1605 kHz diapazoni radioeshittirish uzatkichining funksional sxemasi

• Anod modulyatsiyasining kamchiligini (past FIK) bartaraf qilish ikki usulda amalga oshiriladi: 1) kirish past chastotali signaliga KIM (kenglik impuls modulyatsiyasi)ni qo'llab, keyinchalik uni amplituda-impulsi modulyatsiya (AIM)ga o'zgartiruvchi kalitli modulyatorlardan foydalanilgan holda; 2) AM yuqori chastotali tebranishi impuls-qadam usulidan foydalanilgan holda, bunda modulyator vazifasini tezkor

tranzistorlar asosida qurilgan modulyatsiyalovchi signal bilan boshqariluvchi bir nechta (1, 2, ... N) kalitli kaskadlar bajaradi.

Quvvati 5 kVt bo'lgan 525–1605 kHz diapazoni radioeshittirish uzatkichining funksional sxemasi 13.1-chizmada keltirilgan. Unda dastlabki YuCh QK uchta kaskadida amalga oshiriluvchi AM qo'llaniladi. Uzatkich tranzistorlar asosida qurilgan.

### 13.2.2. Professional radioaloqa radiouzatkichlari

Professional radioaloqadan telefon (TLF) va telegraf (TLG) xabarlarini, raqamli va grafik axborotlarni uzatishda foydalaniladi. QT va UQT diapazonlarida uzatish kanallari ajratishli bitta yon polosada amalga oshiriladi. Ushbu usul uzatkichning efirda egallaydigan radiochastotalar polosasini qisqartirish uchun qo'llaniladi. Chiqish quvvati juda kichik  $P_{chiq} = (0,3-100)$  kVt, shu sababli: 1) professional radioaloqada xalaqitlar sathi kichik bo'lishi talab etiladi; 2) professional radioaloqa qabul qilgichlari radioeshittirish qabul qilgichlaridan farqli ravishda katta sezuvchanlik va tanlovchanlikka ega bo'ladi.

Professional radioaloqa radiouzatkichlari quyidagi *xususiyatlarga* ega:

- Radiouzatkichlarning chiqish kaskadlari rezonans kuchaytirish sxemasi bo'yicha chiziqli kuchaytirish masalasini yechish uchun maxsus yaratilgan, chiqish quvvati 100 kVt gacha bo'lgan generatorli tetrodlar asosida quriladi. Kombinatsion buzilishlar sathining kichik bo'lishi ta'minlanadi, keyinchalik esa yanada kamaytirish uchun YuCh bo'yicha manfiy teskari aloqadan foydalaniladi.

- Rezonans kuchaytirgichdan foydalanib QT diapazonida ishchi chastotani qayta sozlash murakkab bo'lganligi uchun ko'pincha qayta sozlash talab etilmaydigan keng polosali kuchaytirgichlar qo'llanilgan radiouzatkichlar ishlatiladi.

- ChM eshittirish UQT uzatkichida kichik quvvatli qo'zg'atkichda shakllantirilgan ChM signal yoki to'g'ridan-to'g'ri (bevosita) kuchaytiriladi, yoki chastota ko'paytirish bilan bir vaqtda kuchaytiriladi. Bir vaqtning o'zida uzatkich o'rtacha chastotasini avtomatik sozlash uchun ham ishlatiladigan varikap yordamida modulyatsiya amalga oshiriladi.

- Radiouzatkichlar xizmat ko'rsatilmaydigan va teleboshqarilmaydigan qilib ishlab chiqariladi. Ishonchlilikka turli zahiralash usullari orqali erishiladi: uzatkich yarimkomplekt quvvatlarini qo'shish

sxemasini qo'llab, yoki passiv zahira sifatida xuddi shunday quvvatli radiouzatkich kiritish orqali.

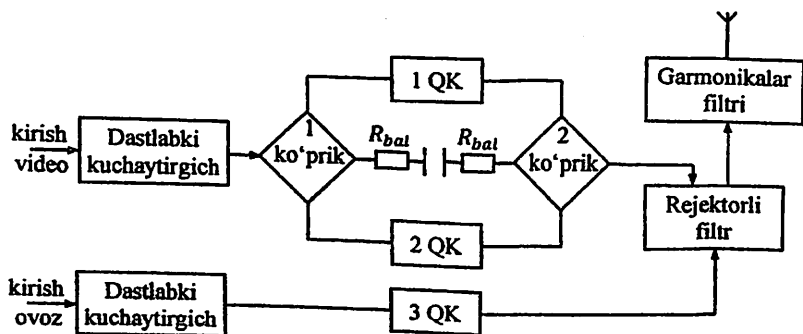
- UQT uzatkichining quvvati bir necha o'n kilovattidan oshmaydi, chunki UQT diapazonida radioto'lqinlarni faqatgina to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish hududida qabullash imkoni bor. Bunday  $P_{chiq}$  sathiga bo'lgan talab lampadan faqatgina chiqish kaskadlarida foydalanish imkonini beradi. Qolgan kaskadlarda esa tranzistorlardan foydalaniladi.

- Chiqish quvvati bir kilovattidan kichik bo'lgan uzatkichlar to'liq tranzistorlardan foydalanilgan holda ishlab chiqariladi. FIKni oshirish uchun chiqish kaskadining bigarmonik ish rejimi qo'llaniladi.

### 13.2.3. Televizion uzatkichlar

Televideniya tasvir va tovush signallari yonma-yon joylashgan ikkita har xil chastotada uzatiladi. Tovush signalining tashuvchi chastotasi va tasvir signalining tashuvchi chastotasi orasidagi interval 6,5 MHz ni tashkil etadi. To'liq TV signal egallaydigan poloska kengligi 8 MHz ga teng.

Televizion (TV) uzatkich metrli va detsimetrli to'lqin diapazonida bitta umumiy antenna-fider qurilmasi orqali ishlovchi ikkita uzatkichdan tashkil topgan: tovush (ovoz) uzatkichi va tasvir uzatkichi (13.2-chizma).

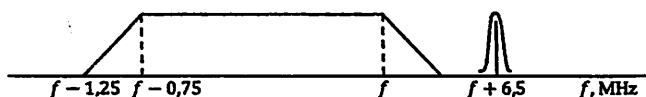


13.2- chizma. TV uzatkichning funksional sxemasi

TV ovoz uzatkichi sxemasi va ChM eshittirish UQT uzatkichi sxemasi ko'p jihatdan o'xshash. ChM signalning afzalligi uning

xalaqitbardoshligi bo'lsa, kamchiligi esa yuqori chastotalar diapazonida egallaydigan polosa kengligidir.

Tasvir signali uzatkichi alohida ahamiyatga ega, chunki tasvir signali (videosignal) spektri 0–6 MHz chastota polosasini egallaydi (13.3-chizma). Ishchi chastota polosasini kichraytirish (qisqartirish) uchun amplituda modulyatsiyasidan foydalaniladi. Videosignalning asosiy energiyasi 1,5 MHz gacha bo'lgan polosada joylashgan bo'ladi, bu uzatiluvchi signalga muhim buzilishlar kiritmasdan uzatilayotgan signal polosasini qisqartirish imkoniyatini beradi. Buning uchun AM tebranishning pastki yon polosasi qisman bostiriladi, nominal AChX 13.3-chizmada keltirilgan. Tasvir kanali yuqori yon polosasining o'ng tomonida ovoz kanali – ChM signal spektri joylashtiriladi.



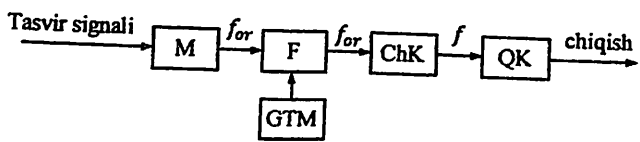
13.3-chizma. TV uzatkichning nominal AChX

**TV uzatkichda modulyatsiya usullari.** TV tizimida anod modulyatsiyasi qo'llanilmaydi, chunki 0–6 MHz polosada katta quvvatli modulyatorni amalga oshirish juda murakkab. Quvvat kuchaytirgich oraliq kaskadlarida amalga oshiriluvchi to'rtli modulyatsiya (сеточная модуляция) qo'llaniladi. Ammo sxema muhim kamchilikka ega: TV signalda bartaraf qilinishi qiyin bo'lgan faza buzilishi hosil bo'ladi.

Zamonaviy TV uzatkichlarida kichik sathli quvvatlarda (vattning ulushlari) ishlovchi nisbatan chiziqli amplituda modulyatorlari – diodli balans modulyatorlaridan foydalaniladi. Talab etiladigan AChXni shakllantirish jarayonini soddalashtirish uchun uzatkichda modulyatsiya nisbatan kichik oraliq chastota ( $f_{or}$ ) da amalga oshiriladi (13.4-chizma).

Sxema quyidagicha ishlaydi: kichik quvvatli modulyator (M) da modulyatsiyalangan tebranish va garmonik tebranish manbai (GTM) tebranishlari filtr (F) orqali o'tib, kerakli shakldagi AChXsi shakllanadi. Filtr sifatida YuAT (yuza akustik to'lqini) kechikish liniyalari yoki YuAT rezonatorlari asosida qurilgan filtr ishlatiladi. Natijada bunday filtrlar parametrlarining barqarorligi va  $f_{or}$  ning standart qiymati sababli ulardan foydalanishda sozlash talab etilmaydi. Shakllangan signal chastota ko'paytirgich (ChK) da yuqori chastota  $f$  ga o'tkaziladi va quvvat kuchaytirgich (QK) da kuchaytiriladi. Metrli (ba'zan desimetrlil)

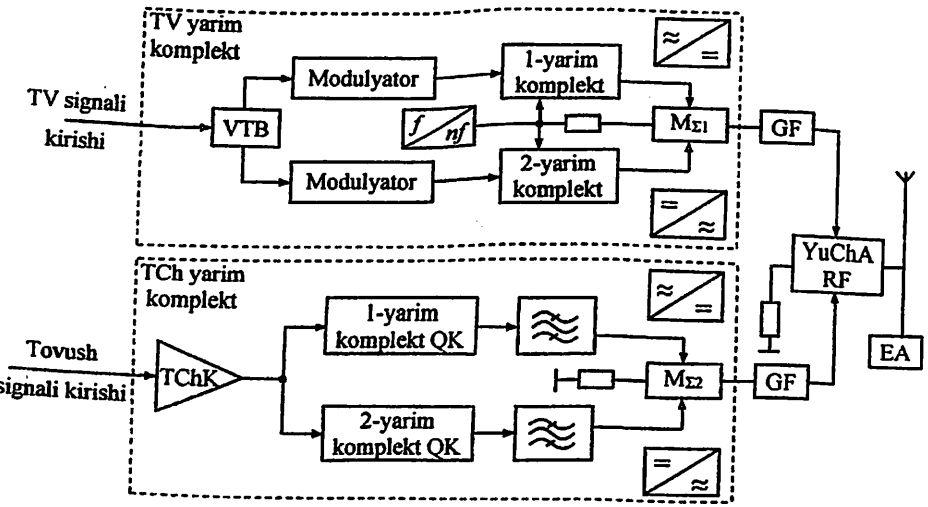
to'liq diapazoni TV uzatkichlari chiqish kaskadlarida tetrodlar qo'llaniladi.



13.4-chizma. *Oraliq chastotada TV uzatgich AChXsini shakllantirish va modulyatsiyalash sxemasi*

Umumlashtirilgan struktura sxemasi 13.5-chizmada keltirilgan TV radiostansiyaning o'ziga xos xususiyatlari quyidagilardan iborat.

1. Uzatkichlar har bir kanalda ikkita yarim komplektdan tashkil topgan bo'lib, quvvatlari ko'priksimon qurilma orqali qo'shiladi. Bitta yarim komplekt ishlamay qolsa ikkinchi yarim komplekt o'z ishini davom ettiradi, bunda nurlatilayotgan quvvat ikki marta kichik bo'ladi.
2. Uzatkichlar yarim komplektlari quvvatlarini qo'shishda radiouzatgich chiqishida aks etgan signallarni exosingdirish tizimi qo'llanilgan.



13.5-chizma. *TV radiostansiyaning funksional sxemasi*

3. Katta quvvatli kuchaytirish kaskadlarini qurishda bir taktli sxema qo'llanilgan.

4. Modulyatsion qurilmaning yangi sxemalari qo'llanilgan. TV uzatkichdagi katta quvvatli QK kaskadlari modulyatsiyalovchi kaskad bilan birgalikda ikki-uchdan ortiq emas (stansiyaning quvvatiga bog'liq holda).

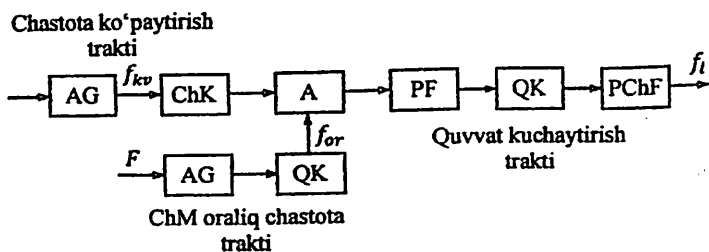
5. TV uzatkich kirishiga videotuzatish bloki (VTB) va radiostansiyaning har bir uzatkichi chiqishiga garmonikalar filtri (GF) kiritilgan. (TChK – tovush chastotalari kuchaytirgichi, YuChA – yuqori chastotalarni ajratish, RF – rejektorli filtr, EA – ekvivalent antenna)

#### 13.2.4. Radioreleli aloqa tizimi uzatkichlari

Radioreleli aloqa tizimlari ko'p kanalli aloqani tashkil etishda (bir necha ming kanalga) ishlatiladi. *Radiorele liniya* (RRL) lari ishlatiladigan hududi bo'yicha: *mahalliy, hududiy, magistral*; axborotga ishlov berish usuli bo'yicha: *analog va raqamli* turlarga bo'linadi. Analog RRL ko'p kanalli telefon xabarlarini va televizion signal bilan birgalikdagi tovush (ovoz) signallarini uzatishda qo'llaniladi. Raqamli RRL raqamli shakldagi telefon xabarlarini (2 dan 140 Mbit/s gacha bo'lgan tezlikdagi), katta tezlikdagi ma'lumotlar signallarini, shuningdek televideniye signallarini va videotelefon signallarini uzatish uchun qo'llaniladi.

Radioreleli, troposferali va sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimlari yer usti radiouzatish qurilmasining soddalashtirilgan funksional sxemasi 13.6-chizmada keltirilgan bo'lib, u quyidagi ko'p kaskadli yirik qismlardan tashkil topgan:

- $f_{kv}$  chastotali kvarsli avtogenerator (AG);
- chiqish chastotasi ( $nf_{kv}$ ) ning belgilangan barqarorligini ta'minlovchi chastota ko'paytirish trakti;
- modulyatsiya sifatining belgilangan ko'rsatkichida belgilangan chastota deviatsiyasini ta'minlovchi, AG chastotasi bo'yicha modulyatsiyalanuvchi oraliq chastota trakti;
- RUQ ishchi chastotasi  $f_i = nf_{kv} + f_{or}$  ning shakllanishini amalga oshiruvchi aralashtirgich (A) yoki chastota o'zgartirgich;
- RUQning belgilangan quvvatini ta'minlovchi quvvat kuchaytirish trakti.



13.6-chizma. Radioelektron vosita yer usti radiouzatkichining namunaviy funksional sxemasi

Troposferali va yer usti yo'ldoshli stansiya radiouzatkichlarida radiorele radiouzatkichlaridan farqli ravishda, katta chiqish quvvatni ta'minlash uchun sxemada aralashtirgich (A) dan keyin O'YuCh QKlari qo'shimcha ravishda ulanadi.

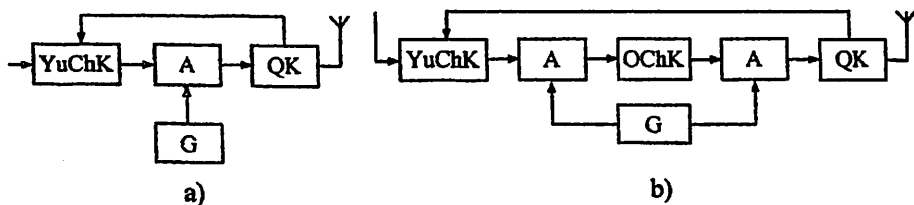
RRL retranslyatorlarida detektorlash amalga oshirilmaydi, ya'ni uzatiluvchi xabar ajratib olinmaydi. Retranslyator ikkita vazifani bajaradi:

- xabarni qabul chastotasidan uzatish chastotasiga o'tkazadi;
- retranslyatorning talab qilinadigan chiqish quvvatini ta'minlaydi.

Retranslyatorlarni qurishning ikki turi bir-biridan farqlanadi:

- chastotani bir marta o'zgartirishli (13.7a-chizma), bunday retranslyatorlarda kuchaytirish yuqori chastotada amalga oshiriladi, bu esa biroz murakkab, chunki 120 dB gacha kuchaytirish lozim, ya'ni  $K_R = 10^{12}$ ;

- chastotani ikki marta geterodin o'zgartirishli (13.7b-chizma), bunday retranslyator ikkita chastota o'zgartirgichdan tashkil topgan bo'ladi, ammo ularda asosiy kuchaytirish nisbatan past oraliq chastotada ( $f_{or} = 70-120$  MHz) amalga oshiriladi. O'tkazuvchanlik polisasi kengligi  $\Delta f < 40$  MHz.



13.7-chizma. Chastotani bir marta o'zgartirishga (a) va chastotani ikki hamda undan ko'p marta o'zgartirishga asoslangan RRL oraliq stansiya retranslyatorlarining funksional sxemasi

### ***RRLni amalga oshirish afzalliklari:***

- RRL zanjirsimon ko‘rinishda quriladi, ya’ni uzatkich – retranslyator(lar) – qabul qilgich; antennalar 70–100 m balandlikda o‘rnatilgan bo‘ladi, bu esa to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘rinish hududida ( $\approx 50$  km) aloqani ta‘minlaydi.

- Har bir retranslyatorida o‘z-o‘zini qo‘zg‘atishni bartaraf etish maqsadida kirish signaliga nisbatan chiqish signalida chastota siljishi amalga oshiriladi.

- Ko‘pgina uzatkichlar 3,4–8,4 GHz diapazonda murakkab signallarni shakllantiruvchi chastota o‘zgartirgichlardan va 0,4–10 Vt quvvatga ega signal kuchaytirgichlaridan tashkil topgan. Retranslyator qabullagichi orqali qabullangan nisbatan past oraliq chastotali signal chastota o‘zgartirgichi (ChO‘) yordamida O‘YuCh diapazoniga o‘tkaziladi.

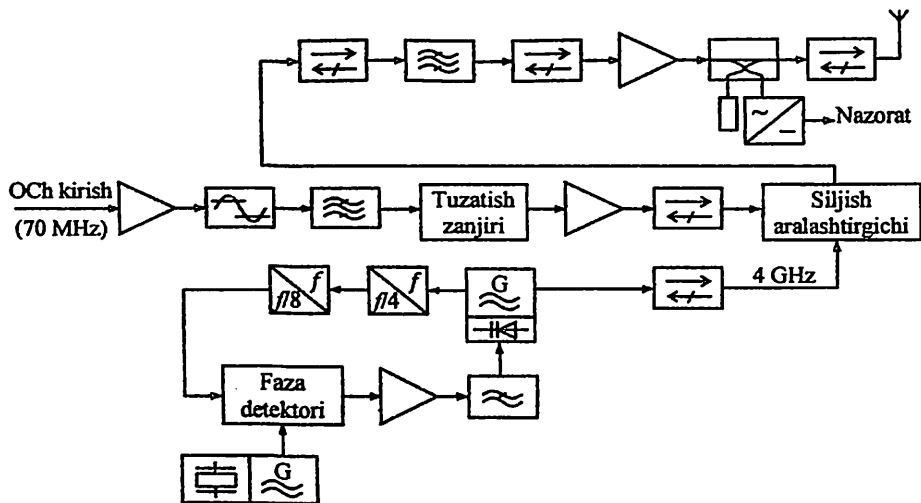
- RRL uzatkichida kuchaytirish keng chastotalar diapazoni (bir necha oktavagacha) da kuchaytirish koeffitsiyentini (60 dB gacha) ta‘minlovchi YuTL (yugurma to‘lqin lampasi) da amalga oshiriladi.

Hozirgi vaqtda RRLlarda bipolyar va maydoniy tranzistorlari asosidagi kuchaytirgichlardan foydalanilmoqda, bu uzatkich iste‘mol quvvatining sezilarli darajada kamayishiga va ishonchlilikning oshishiga olib keladi.

13.8-chizmada 4–6 GHz diapazoni RRL uzatkichining sxemasi keltirilgan. Sxema kirishiga  $f_{or} = 70$  MHz oraliq chastotali chastotasi modulyatsiyalangan tebranish beriladi. Ushbu signal kuchaytirilgandan keyin ko‘chma (perekrestniy) AM va FMni kamaytiruvchi kaskadlardan o‘tadi. Undan so‘ng oraliq chastotali tebranish geterodin tebranishi bilan aralashtiriladi va yig‘indi chastota ajratib olinadi. Geterodin tranzistorli AG kabi bajarilgan bo‘lib, kvars rezonatori orqali barqarorlashtirilgan va varikap yordamida qayta sozlangan. Geterodin signali spektrining ikkilamchi tashkil etuvchilarini so‘ndirishni chastotani avtomatik sozlash zanjiri ta‘minlaydi.

RRLda qabullash-uzatish bloki antenna tayanchida joylashadi va antennaga bevosita biriktirilgan bo‘lishi mumkin. Uzatkich oraliq chastota signalini ishchi chastota diapazoniga o‘zgartirgich (aralashtirgich va belgilovchi generator) va O‘YuCh signalni kuchaytirish blokidan tashkil topgan bo‘ladi.





13.8-chizma. Radioreleli aloqa tizimi uzatkichining funksional sxemasi

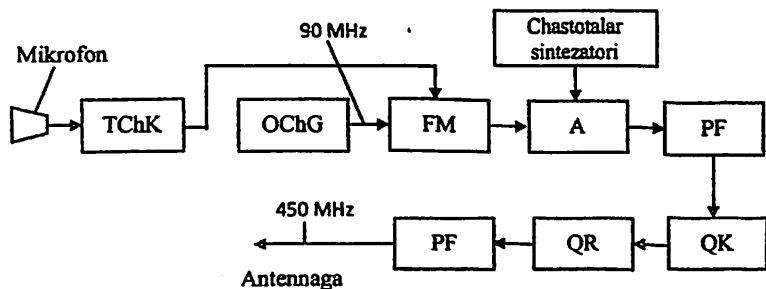
O'YuCh kuchaytirgichi maydoniy tranzistorlarda bajarilgan va boshqariluvchi attenyuatordan tashkil topgan. Boshqariluvchi attenyuatorning vazifasi – uzatkich quvvatini avtomatik sozlash tizimida ishlash, va asosiysi – quvvatni adaptiv sozlash tizimida ishlash.

Ushbu tizim aloqa liniyasi trassasi bo'ylab signalning tarqalishida uzatkich quvvatining kichik qiymatini talab qiladi, bu esa liniyaning o'zaro xalaqitlarga bardoshligini oshiradi va energiya iste'molini kamaytiradi.

### 13.2.5. Sotali aloqa tizimi radiouzatkichlari

Hozirgi vaqtda asosan GSM va CDMA raqamli sotali aloqa standarti keng tarqalgan bo'lib, 900 va 1900 MHz diapazonida ishlaydi.

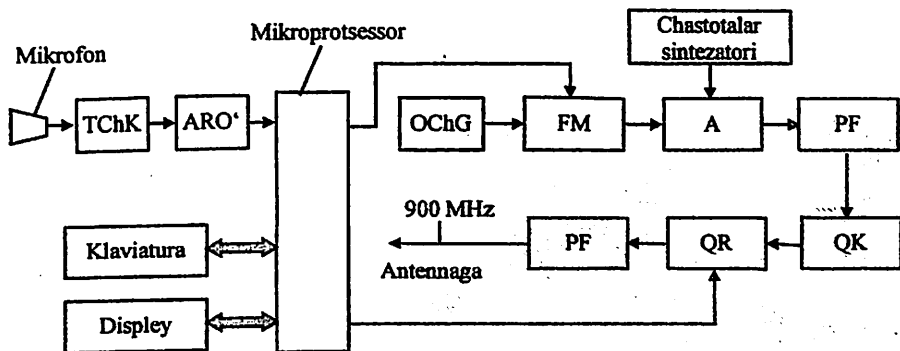
Sotali radioaloqa abonentini qurilmasi radiouzatkichining strukturaviy sxemasi 13.9-chizmada keltirilgan. Bunda quyidagicha belgilanishlardan foydalanilgan. TChK – tovush chastotalari kuchaytirgichi; OChG – oraliq chastota generatori (90 MHz); FM – faza modulyatori; A – aralashtirgich; PF – polosa filtri; QK – quvvat kuchaytirgich; QR – quvvatni roslash.



13.9-chizma. Raqamli sotali radioaloqa abonentini qurilmasi radiouzatkichining strukturaviy sxemasi

Qurilmada faza modulyatsiyasi (FM) oraliq chastotada amalga oshiriladi. Chastotalar sintezatori yordamida 90 MHz li FM signal 450 MHz diapazoniga ko'chiriladi va quvvat bo'yicha kuchaytiriladi. Qurilma dupleks holatida ishlashi, ya'ni bir vaqtning o'zida signalni uzatish va qabul qilishni amalga oshirishi uchun radiouzatuvchi va radioqabullovchi qismlari turli chastotada ishlaydi. Radiouzatkich va radioqabullash qurilmasi mikrosxemalardan iborat.

Mikrosxema shaklida bajarilgan abonent radiouzatkichining strukturaviy sxemasi 13.10-chizmada keltirilgan. Chizmada quyidagicha belgilashlardan foydalanilgan: TChK – tovush chastotalari kuchaytirgichi; ARO' – analog-raqam o'zgartirgich; OChG – oraliq chastota generatori; FM – faza modulyatori; A – aralashtirgich; PF – polosa filtri; QK – quvvat kuchaytirgich; QR – quvvatni rostlagich.



13.10-chizma. Abonent radiouzatkichining strukturaviy sxemasi

Radiouzatkich quyidagicha ishlaydi. Analog-raqamli o'zgartirgich (ARO) yordamida tovush signali ikkilik raqamli signalga aylantiriladi va mikroprotssorda ishlov berilgandan so'ng, faza modulyatorining kirishiga beriladi. Bu signal aralashtiruvchi kaskadda chastotalar sintezatori yordamida ajratilgan chastota diapazoniga ko'chiriladi va quvvat kuchaytirgichi yordamida kerakli quvvatgacha yetkaziladi. Quvvat kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti baza stansiyasi va abonent orasidagi masofaga qarab avtomatik ravishda boshqarib boriladi. Sotali aloqa kanali abonentiga chastota har bir aloqa seansi davriga baza stansiyasi tomonidan avtomatik ravishda ajratiladi.

### 13.2.6. Troposfera orqali aloqa tizimi uzatkichlari

Troposfera orqali aloqa tizimi detsimetrilar va santimetrilar diapazoni radioto'lqinlarini troposferada aks etishi hodisasi asosida qurilgan. Ushbu aloqa liniyalaridan RRL bo'g'ini (qismi) sifatida foydalaniladi. Troposfera orqali aloqa tizimi trassasining uzunligi odatda 200–300 km ni tashkil qiladi; ba'zi qulay sharoitlarda trassa uzunligi 500 km gacha cho'zilishi mumkin. Ammo signal quvvatining yo'qotilishi juda yuqori (200 dB atrofida, ya'ni taxminan 500 marta). Bundan tashqari, qabullash nuqtasida signal ko'p nurli xarakterga ega bo'ladi, bu esa yana qo'shimcha so'nishga olib keladi. Uzatkich quvvati 100 kVt gacha bo'ladi. O'tkir yo'naltirilgan antennalar 50 dB gacha kuchaytirish koeffitsiyentiga ega bo'ladi, ishchi chastotalar diapazoni 0,3–5 MHz. Troposfera orqali aloqa liniyasining o'tkazish qobiliyati 12 dan 120 tagacha telefon kanalidan iborat.

Troposfera orqali aloqa tizimi uzatkichlarining RRL uzatkichlari funksional sxemalaridan farqi quyidagilar hisoblanadi:

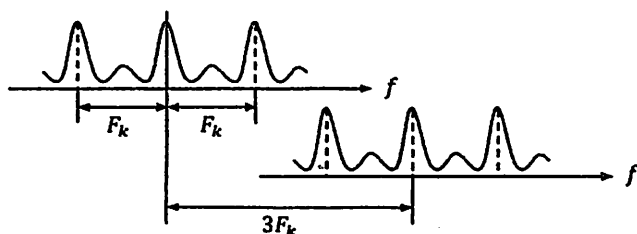
- Troposferada radioto'lqinlarning tarqalish masofasi katta bo'lganligi uchun troposfera orqali aloqa tizimi uzatkichlarining chiqish quvvati sezilarli darajada yuqori (1–100 kVt) hisoblanadi, bu esa qo'shimcha kuchaytirishni talab qiladi.

- Troposferada radioto'lqinlarning ko'p nurli tarqalishi va natijada ularning integratsiyasi hisobiga qabullash nuqtasida signalning so'nishi yuzaga keladi. Ushbu hodisalarning oldini olish uchun troposfera orqali aloqa tizimi uzatkichi bir vaqtda bir necha nimtashuvchi chastotada ishlaydi, ularning har biri  $F_k$  chastotaga nisbatan siljirilgan xabar bilan modulyatsiyalangan bo'ladi.

• Troposfera orqali aloqa tizimining qabullash tomonida qabullangan signalga korrelyatsion ishlov beriladi.

• Troposfera orqali aloqa tizimi uzatkichning ishlash ishonchligini oshirish va so'nishlar bilan samarali kurashish uchun odatda bir vaqtda alohida-alohida antennalarda ishlovchi ikkita uzatkichdan foydalaniladi. Ikkinchi uzatkichning markaziy nimtashuvchisi birinchi uzatkichning markaziy nimtashuvchisiga nisbatan  $3F_k$  ga siljiriladi (13.11-chizma). Ikkita uzatkich quvvatlarini qo'shish fazoda (efirda) amalga oshirilad. Har bir uzatkichda bunday murakkab signalni shakllantirish – foydali xabar bilan modulyatsiyalangan tebranish  $F_k$  chastotali garmonik qonun bo'yicha qo'shimcha chastota modulyatsiyalanishi hisobiga amalga oshiriladi. Modulyatsiya indeksi shunday tanlanadiki, bunda yig'indi signal spektrida faqatgina uchta nimtashuvchi qoladi.

Troposfera orqali aloqa tizimi uzatkichning funksional sxemasi 13.6-chizmadagiga o'xshash.



13.11-chizma. Troposfera orqali aloqa tizimi radiouzatgichi signalining spektriga oid

### 13.2.7. Sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimi uzatkichlari

Sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimi (SYAT) quyidagi radioaloqa xizmatlari tarkibida qo'llaniladi:

• *qayd qilingan SYAT* – sun'iy yo'ldosh orqali qayd qilingan (muqim o'rnatilgan) punktlarda joylashgan Yer usti stansiyalari orasida aloqa tashkil etishga mo'ljallangan;

• *harakatdagi SYAT* – bir yoki bir nechta sun'iy yo'ldosh orqali harakatdagi Yer usti stansiyalari orasida aloqa tashkil etishga mo'ljallangan. Harakatdagi SYAT *quruqlikdagi, dengiz va havodagi* turlarga bo'linadi.

Zamonaviy sun'iy yo'ldoshlar uchun *geostatsionar va elliptik* orbitalardan foydalaniladi.

Yer usti stansiyalari *qabullash-uzatish va qabullash* stansiyalariga bo'linadi. Uzatish yo'nalishlari: "*Yer-sun'iy yo'ldosh*" va "*sun'iy yo'ldosh-Yer*" yo'nalishlariga bo'linadi. SYAT uchun to'rtta 6/4; 8/7; 14/11 va 30/20 GHz chastotalar diapazoni ishlatiladi, bunda surat "*Yer-sun'iy yo'ldosh*" yo'nalishini, maxraj esa "*sun'iy yo'ldosh-Yer*" yo'nalishini bildiradi.

Sun'iy yo'ldosh retranslyatorlarini qurishning *o'ziga xos xususiyati va asosiy xarakteristikalari*:

- ishchi diapazon 0,7–14 GHz;
- chiqish quvvati 2–200 Vt;
- SYAT retranslyatorlarining tuzilishi RRL retranslyatorlari tuzilishiga o'xshash;

- SYATda signalni kuchaytirish YuTL yordamida amalga oshiriladi, hozirgi vaqtda maydoniy tranzistorlar asosidagi O'YuCh QKlari qo'llanilmoqda;

- uzoq vaqt mustaqil (avtonom) ishlash ishonchliligini oshirish hamma blok (qism)larni zahiralash hisobiga amalga oshiriladi, bunda zahiradagi qismlarni uzib-ulash Yerdan beriladigan komanda orqali bajariladi;

- SYAT yer usti uzatkichlarining quvvati bir necha kilovattni tashkil etadi;

- uzatgichning chiqish kaskadlari oraliq (ikki rezonatorli) klitronlarda (FIK yuqori), kam hollarda YuTL (polosa kengligi katta)da bajariladi;

- kosmik apparatlarning bortli retranslyatsion majmualarini yaratishda ishlatiladigan materialning xususiyatlari e'tiborga olinadi.

*SYAT radiouzatgichlaridan foydalanish xususiyatlari*:

- xizmat ko'rsatish muddatiga bo'lgan yuqori talab, ya'ni ishonchlilik, iste'mol quvvati, og'irligi, tashqi o'lchamlari;

- turli yer usti stansiyalari signallarini bir vaqtda uzatishda yuzaga keladigan murakkablik;

- ochiq kosmos sharoiti (vakuum, vaznsizlik, harorat  $-150^{\circ}\text{C}$  dan  $+60^{\circ}\text{C}$  gacha va boshqalar).

Xalqaro kosmik stansiya uzatkichlari ma'lumotlar uzatish tezligi 2,5 Gbit/s ga teng bo'lgan eksperimental aloqa modulidan tashkil topgan. Unda taqsimlangan aloqali belgilovchi generator va Erbiyev

tolali kuchaytirgich ( $\lambda = 1550$  nm) dan foydalanilgan. Nakachka uchun 1480 nm to'liq uzunligida 400 mVt quvvatga ega lazerli diodlar qo'llanilgan.

Ushbu turdagi kuchaytirgichlarning asosiy muammosi FIK hisoblanadi, taxminan 2%. Kelajakda FIKni 10% gacha oshirish ustida ish olib borilmoqda.

Yer usti va sun'iy yo'ldoshli lazerli aloqa uchun belgilovchi generator va quvvat kuchaytirgichidan iborat M-Mora lazerli tizimi ( $\lambda = 980$  nm) yaratilgan. Ammo yuqori nakachka toki qo'shni generatorga signal uzatishga olib keladi, bu kosmik sharoitda qo'llanilganda qo'shimcha muammolarga sabab bo'ladi. Ko'pgina hollarda kosmik lazerli aloqa tizimi yaratuvchilari sun'iy yo'ldoshda haroratning ekstremal tebranishlari bilan bog'liq muammolarga duch kelishadi. Lazerlar ishlash jarayonida o'zidan xususiy issiqlik ajratadi, bu issiqlik metalli issiqlik uzatuvchi orqali yo'qqa chiqariladi. Kosmosda past harorat bilan kichik quvvatli (taxminan 15 Vt) isituvchi elektr batareyalaridan foydalanilgan holda kurashiladi.

### 13.3. Radiouzatuvchi qurilmalarning rivojlanish istiqbollari

Radiouzatuvchi qurilmalar rivojlanishining asosiy yo'nalishlari quyidagilar hisoblanadi:

1. Elementlar bazasining takomillashtirilishi zamonaviy radiouzatkichlarning ko'pgina kaskadlarini faqat raqamli va analog mikrosxemalar asosida bajarilishiga olib keladi. Elektron (katta quvvatli kuchaytirish lampalari) va diskret YaO'A (asosan maydoniy tranzistorlari)dan faqatgina katta va o'ta katta quvvatli radiouzatkichlar chiqish kuchaytirish kaskadlarida foydalaniladi.

2. 100–200 MHz diapazonida RUQni ko'p sonli ishchi chastotalarining yuqori barqarorligini ta'minlash raqamli chastotalar sintezatoridan foydalanish hisobiga, O'YuCh 1...100 GHz diapazonida esa qo'shimcha chastota ko'paytirgichlardan foydalanish hisobiga amalga oshiriladi.

3. Katta chiqish quvvatiga chiqish kaskadlarining identik (o'xshash, bir xil) tugunlari quvvatlarini qo'shish usuli orqali erishiladi. AE va ko'priksimon qo'shish sxemalari parallel ulanadi, bu radiouzatkichlarning ishlash ishonchligini oshiradi.

Nurlatilayotgan quvvatni oshirishning nisbatan istiqbolli yo'nalishi maxsus antenna tizimi – fazalashtirilgan panjarasimon antenna

yordamida quvvatlarni fazoda qo'shish usuli hisoblanadi. Fazalashirilgan panjarasimon antennada alohida elementlar nurlatayotgan quvvatlar fazoda qo'shiladi (yig'iladi).

4. Tranzistorli keng polosali O'YuCh signallari quvvat kuchaytirgichlarning yaratilishi va takomillashtirilishi natijasida sozlash, ishlab chiqarish soddalashadi hamda ishlash ishonchligi oshadi.

5. RUQ ish rejimini boshqarish va sozlash tezkorligi hamda avtonomligi oshadi.

6. Radiouzatkich og'irligi va tashqi o'lchamlarini kichiklashtirish, bu asosan ularda integral sxemalarni qo'llash hisobiga amalga oshiriladi.

Zamonaviy RUQlar texnologiyasi rivojlanishining muhim jihatlari radiouzatkichlarni imkon qadar to'liq yarimo'tkazgichli asboblardan va integral sxemalar asosida yaratish hisoblanadi. Yarimo'tkazgichli asboblarda bajarilgan elektron apparaturalarning afzalligi – bu yuqori ishonchlilik; mexanik ta'sirlarga bardoshlilik; kichik tashqi o'lcham va og'irlik; ishlashga tezda tayyor bo'lish; iqtisodlilik, qulaylilik; yuqori konstruktiv xarakteristikalar va boshqalar.

Hozirgi vaqtda RUQlarni to'liq yarimo'tkazgichli elementlardan yaratish imkoniyatlari paydo bo'ldi. Avvalam bor bu yarimo'tkazgichli asbob ishchi chastotasi va quvvatining oshishi bilan bog'liq. Yarimo'tkazgichlar texnikasida texnologiyaning rivojlanishi ko'p emitterli strukturalarning qo'llanishi va boshqa bir qator konstruktiv va texnologik yutuqlar past chastotalar sohasida bir necha yuz vatt, detsimetrl to'liq diapazonida – bir necha o'n vatt quvvatga ega to'liqlarni shakllantiruvchi yarimo'tkazgichli asboblarni yaratish imkoniyatini berdi. Maxsus diodlar esa quvvatni uncha ahamiyatli bo'lmagan yo'qotishlar bilan nisbatan qisqa to'liqlar diapazoniga o'tkazuvchi chastota ko'paytirgichlarni ishlab chiqishga imkoniyat yaratdi.

Yuqori chastota quvvatini shakllantirishning boshqa usullarini izlash sohasida o'tkazilgan tadqiqotlar ko'lami keng. Bu sohada erishilgan yutuqlar ko'proq Gann effekti qo'llanilgan O'YuCh avtogeneratorlarini ishlab chiqishda va ko'chki-oraliq diodlarda ishlovchi generatorlarni ishlab chiqishda namoyon bo'ldi. Ushbu asboblardan yordamida O'YuCh diapazonida 0,1–30 GHz chastotali to'liqlarni (impulslar rejimida chiqish quvvati bir necha kilovattga teng bo'lgan) shakllantirish imkoniyati mavjud.

Bundan tashqari, O'YuCh signallar tranzistorli keng polosali quvvat kuchaytirgichlari quvvatlarini qo'shishning ko'priksimon va

gibridli ulanish turlarining yaratilishi va ferritli bog'langan qurilmalarning qo'llanilishi birgalikda bitta umumiy antennaga ishlashi uchun ko'p sonli yarimo'tkazgichli asboblardan foydalanish imkoniyatini yaratadi. Bunda radiouzatkichning chiqish quvvati o'nlab kilovattni tashkil qilishi mumkin.

Polosali quvvat kuchaytirgichlar tranzistorlar asosidagi *B* rejimida ishlovchi ikki taktli sxema yordamida quriladi. Moslovchi qurilma sifatida ferrit o'zakli transformatorlar ishlatiladi.

*Keng polosali quvvat kuchaytirgichlardan foydalanish afzalliklari:*

- radiouzatkichni ishchi chastotaga sozlash jarayoni soddalasadi;
- bir ishchi chastotadan boshqa ishchi chastotaga o'tish vaqti qisqaradi;
- radiouzatkichlarning ishlash ishonchligi ortadi;
- RUQLarning bir vaqtda bir necha turli chastotalarda ishlashi ta'minlanadi yoki keng chastotalar spektriga ega signallarni kuchaytirish imkoni yuzaga keladi;

• to'liq avtomatlashtirilgan masofadan boshqariluvchi, xizmat ko'rsatilmaydigan RUQLarni yaratishni bir muncha osonlashtiradi.

Antenna texnikasi, radioqabullash qurilmalari texnikasi va axborot uzatish usullari turli xil tizimlar uchun kam quvvatli radiouzatkichlardan foydalanish imkoniyatini beradi. Keyingi vaqtda avtomatlashtirilgan fazalashirilgan panjarasimon antennalarning uzatish modulini yaratishga va RUQLarning ayrim O'YuCh kaskadlarini, birinchi navbatda keng polosali kuchaytirgichlarni yarimo'tkazgichli integral sxemalardan foydalanib qurishga ko'proq e'tibor qaratilmoqda. Yuqorida keltirilgan fikrlar turli radiotexnik tizimlarda to'liq yarimo'tkazgichli RUQLarni keng joriy etishga sharoit yaratadi, bu esa ushbu radiotexnik tizimlarning bir qator ko'rsatkichlari, avvalambor ishonchligini yaxshilashga olib keladi.

Agar talab qilinadigan quvvatni mavjud yarimo'tkazgichli generator asboblari ta'minlay olmasa, u holda radiouzatkichlarning chiqish kaskadlari vakuumli asboblari: radiolampa, klistron, yugurma to'lqin lampalari va boshqalardan foydalangan holda bajariladi.

Ma'lum (aniq) vazifaga mo'ljallangan RUQLarni takomillash-tirishning asosiy yo'nalishlari radiouzatkichlarni qo'llash xususiyatlari va ularga qo'yiladigan taktik-texnik xarakteristikalar orqali aniqlanadi. Misol uchun, televideniye va radioeshittirish radiouzatkichlari uchun bunday yo'nalishlar quyidagilar hisoblanadi:



- sifat ko'rsatkichlarini, ishonchliligini yaxshilash va parametrlarining uzoq muddatli barqarorligini ta'minlash;
- qurilmalarni avtomatlashtirish, xizmat ko'rsatuvchi xodimsiz foydalaniladigan to'liq avtomatlashtirilgan RUQLarni yaratish;
- detsimetrli, santimetrli va millimetrli to'liq diapazonlarini o'zlashtirish;
- qurilmalarni unifikatsiyalash darajasini oshirish;
- kompyuterlar va mikroprotessorlarning qo'llanishi;
- tashqi o'lcham va energetik ko'rsatkichlarini yaxshilash;
- nisbatan keng ko'lamlı retranslyatorlar (1, 2, 10, 100 Vt; 1, 2, 5, 20, 25, 10, 50 kVt) va TV RUQLarni yaratish va ishlab chiqish;
- eshittirishda ChM orqali va sun'iy yo'ldosh retranslyatorlaridan foydalanish;
- to'liq optik texnikadan foydalanish.

### *Nazorat savollari*

1. *Radiouzatuvchi qurilmalarning funksional sxemalariga qanday asosiy talablar qo'yiladi?*
2. *Radioeshittirish uzatkichlari qanday xarakteristikalarga ega?*
3. *Radioeshittirish uzatkichining funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
4. *Professional radioaloqa radiouzatkichlari qanday xususiyatlarga ega?*
5. *TV uzatkich funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
6. *TV tizimida qanday modulyasiya turlari ishlatiladi?*
7. *TV radiostansiyaning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
8. *RRL oraliq stansiya retranslyatorlarining funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
9. *RRLni amalga oshirish afzalliklari nimalardan iborat?*
10. *Radioreleli aloqa tizimi uzatkichining funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
11. *Sotali aloqa tizimi radiouzatkichining tuzilish sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*

12. Troposfera orqali aloqa tizimidan foydalanish afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?

13. Sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimidan foydalanish afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?

14. Zamonaviy sun'iy yo'ldoshlar uchun qaysi orbitalardan foydalaniladi?

15. Sun'iy yo'ldosh retranslyatorlarini qurishning xususiyatlari haqida gapirib bering.

16. Radiouzatuvchi qurilmalar rivojlanishining asosiy yo'nalishlari nimalardan iborat?

## 14. RADIOUZATUVCHI QURILMALARDA PARAZIT TO‘LQINLAR

### 14.1. Parazit to‘lqinlarning kelib chiqish sabablari

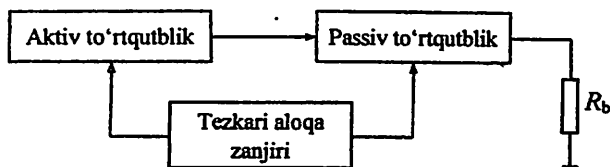
Radiouzatuvchi qurilmalar va ularning alohida kaskadlarini sozlash jarayonida ko‘p hollarda quyidagi hodisalar ro‘y berishi mumkin: quvvat kuchaytirgichlari va chastota ko‘paytirgichlarining chiqish qismida uning kirishiga signal berilmaganda ham kuchlanish paydo bo‘lishi; chiqish signalining tarkibida asosiy chastotadan farq qiluvchi chastotali signal paydo bo‘lishi; aktiv elementlardan keragidan ortiqcha katta tok oqishi; bir ish diapazonidan ikkinchi ish diapazoniga o‘tganda quvvatning keskin o‘zgarishi, chastota o‘zgarganda kuchlanish o‘zgarishi.

Yuqorida qayd qilingan hodisalar parazit hodisalar hisoblanib, ular radiouzatuvchi qurilmalarning ayrim kaskad va elementlarini ishdan chiqarishi mumkin. Bundan tashqari, bu hodisalar signallarda nozichizikli buzulishlar keltirib, chiqarishi, radiouzatuvchi qurilmalarning quvvatini kamaytirishi mumkin. Bu hodisalar parazit to‘lqinlar paydo bo‘lishining sababchisi hisoblanadi. Bunday to‘lqinlarni montaj qilib bo‘lingan radiouzatuvchi qurilmalarda yo‘qotish ancha mushkul ish. Shuning uchun radiouzatuvchi qurilmalarni loyihalash vaqtida parazit to‘lqinlarni yo‘qotishga harakat qilish kerak. Buning uchun ularning kelib chiqish sabablarini bilish kerak va ularni yo‘qotish usullarini izlab topish kerak. Ko‘p hollarda parazit to‘lqinlar teskari aloqa hisobiga bo‘ladi. Teskari aloqa maxsus kiritilishi mumkin va u manfiy hamda musbat ishorali bo‘lishi mumkin. Manfiy teskari aloqa quvvat kuchaytirgichning amplituda-chastota xarakteristikasini yaxshilash uchun va nochizikli buzulishlarni kamaytirish uchun ishlatiladi. Musbat teskari aloqa esa avtogeneratorlarda so‘nmas to‘lqinlar olish uchun kiritiladi. Bundan tashqari teskari aloqa fazani avtomatik sozlash (FAS) va chastotani avtomatik sozlash (ChAS) tizimlarida ham qo‘llaniladi. Ba’zi hollarda teskari aloqa sababchisi aktiv element bo‘lishi mumkin. Masalan, tranzistor umumiy emitterli qilib sxemaga ulanganda kollektor o‘tish zonasining sig‘imi tufayli ro‘y berishi mumkin. Bundan tashqari radiouzatuvchi qurilmalarning chiqish hamda kirish qismlari bir-biridan yaxshi ekranlanmaganda yoki alohida kaskadlarning ta‘minot zanjiri bir-biridan yaxshi ajratilmaganda ham parazit teskari aloqa bo‘lishi mumkin. Bundan tashqari parazit to‘lqinlar, parametrik ravishda to‘lqin ishlab chiqilganda ham vujudga kelishi mumkin. Bu mexanizm

sxemadagi noxiziqli reaktiv elementlarga tashqaridan davriy maydon ta'sir qilganda kuchga kiradi. Tiristorlar volt-amper xarakteristikasi (VAX) dagi manfiy differensial qarshilik bo'lishi, tranzistor qiziganda, uning parametrlarining o'zgarishi natijasida katta davri to'liqlarni vujudga kelishi parazit to'liqlarni kelib chiqishiga sababchi bo'ladi. Oxirgi bayon qilingan parazit to'liqlar kam uchraydi. Lekin shunga qaramasdan ular boshqa parazit hodisalarni keltirib chiqarishi mumkin.

#### 14.2. Teskari aloqa hisobiga bo'ladigan parazit to'liqlar

Tranzistorli avtogeneratorlarda parazit to'liqlarni kelib chiqishini ko'rib chiqamiz. Bunday avtogeneratorlarda maxsus holda musbat teskari aloqa so'nmas to'liqlar olish uchun kiritiladi (14.1-chizma).

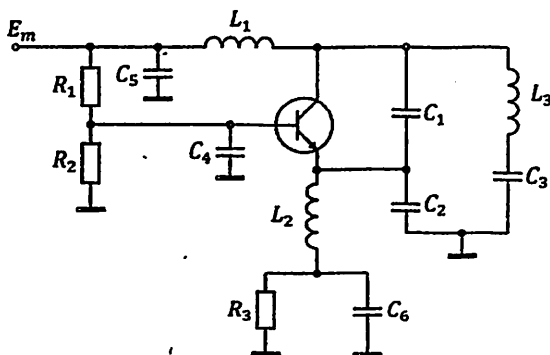


14.1-chizma. *Teskari aloqa zanjiri bo'lgan avtogenerator*

Aktiv va passiv to'rtqutblikda paydo bo'lgan to'liqlar energiyasining bir qismi teskari aloqa zanjiri (TAZ) orqali yana aktiv to'rtqutblikka kiritiladi. Bu zanjir ba'zi hollarda chastotasi asosiy ish chastotasidan farq qilgan parazit to'liqlarni keltirib chiqarishi mumkin. Ma'lumki, avtogeneratorlarda qo'zg'atish sharti  $SR_b > 1$  ifoda bilan belgilanadi. Tebranish konturi uchun regeneratsiya parametri  $SR_b = SX_1X_2/r$  ga teng bo'ladi.  $X_1, X_2, X_3$  - avtogeneratorning umumlashtirilgan ekvivalent sxemasidagi (8.4-chizma) reaktiv qarshiliklar,  $r$  - quvvatni sarf qilayotgan aktiv qarshilik,  $S$  - aktiv element VAXsining statik qiylaligi. Reaktiv qarshiliklar yig'indisi  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$  ga teng bo'lganda, avtogenerator asosiy chastotali to'liq ishlab beradi.

$SR_b$  parametr aktiv element (AE)ning chiqish qismidan yuklama va teskari aloqa zanjiri orqali AE kirish qismiga quvvatning bir qismini uzatuvchi koeffitsiyent deyiladi. Real avtogenerator sxemalari ko'p konturli bo'lib, ularda to'liqlar faqat ishchi chastotada emas, balki boshqa chastotalarda ham vujudga kelishi mumkin.

Klapp sxemasi (14.2-chizma) asosida ishlaydigan avtogeneratorni ko'rib chiqamiz, ya'ni qanday qo'shimcha konturlar, blokirovka qiluvchi elementlar hisobiga parazit to'liqlarning paydo bo'lishini bilib olamiz. Avtogenerator KT315 tranzistorda ishlaydi, tranzistor sxemaga umumiy bazali qilib ulangan. Avtogenerator chastotasi  $f_0 = 10$  MHz ( $\lambda = 30$  m) bo'lgan to'liq ishlab beradi.



14.2-chizma. Klapp sxemasi asosida ishlaydigan avtogenerator

Tranzistorning chegaraviy chastotasi 300 MHz bo'lgani uchun bu sxemada uni inersiyasiz deb hisoblash mumkin ( $f_0 < f_{cheg}$ ).  $R_1$ ,  $R_2$  va  $R_3$  qarshiliklar tranzistorning ish holatini belgilaydi va VAX ish nuqtasida statik qiyalikni  $S = 0,25$  A/V ga teng qilib beradi. Tebranish konturining aslligi  $Q = 20$  bo'lganda regeneratsiya parametri  $SR_b = 5$  ga teng bo'ladi. Demak, avtogeneratorning ishchi chastotasida qo'zg'atish sharti  $SR_b > 1$  bajariladi. Blokirovka qiluvchi elementlarni hisoblash uchun  $C_1$  va  $C_2$  sig'implarni va ishchi chastotada  $f_0$  gi reaktiv qarshiliklarini bilish kerak.

$$X_{C1} = 530\lambda/C_1 = 530 \cdot 30/500 = 32 \text{ Om};$$

$$X_{C2} = 530\lambda/C_2 = 530 \cdot 30/5000 = 3,2 \text{ Om}.$$

Klapp sxemasidagi (14.2-chizma) blokirovka qiluvchi drossel-larning qarshiligi:

$$X_{L1} = 1885L_1/\lambda = 1885 \cdot 16/30 = 1000 \text{ Om} \gg X_{C1};$$

$$X_{L2} = 1885L_2/\lambda = 1885 \cdot 1/30 = 64 \text{ Om} \gg X_{C2};$$

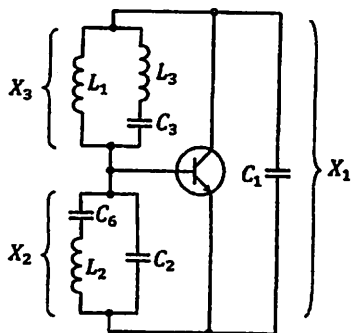
blokirovka qiluvchi kondensatorning sig'imi:

$$X_{C4} = 530\lambda/C_4 = 530 \cdot 30/5000 = 3,2 \text{ Om} \ll X_{L3};$$

$$X_{C5} = 530\lambda/C_5 = 530 \cdot 30/1000 = 16 \text{ Om} \ll X_{L1};$$

$$X_{C6} = 530\lambda/C_6 = 530 \cdot 30/3200 = 50 \text{ Om} \ll X_{L2};$$

Bu avtogeneratorda qo'zg'atish sharti  $f_0$  dan past chastotalarda ham bo'lishi mumkin. Buning uchun avtogeneratorning ekvivalent sxemasini ko'rib chiqamiz (14.3-chizma). Ekvivalent sxemada  $C_4$  va  $C_5$  sigimlar cheksiz katta qilib olingan, chunki  $C_5$  sig'imga parallel qilib manbaning ( $E_m$ ) filtri ulangan,  $C_4$  sig'im esa chastotaga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi.



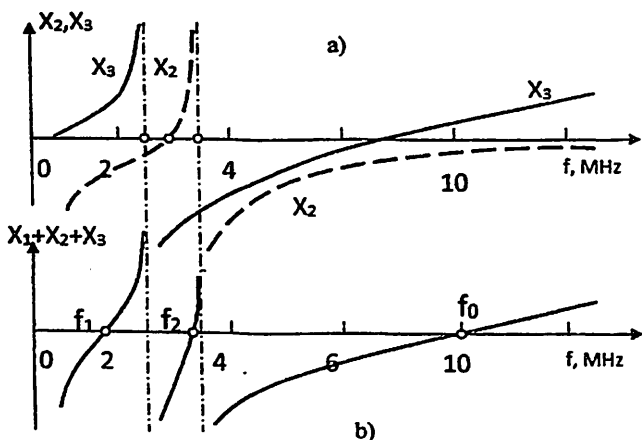
14.3-chizma. Blokirovka elementlarini hisobga olgan holdagi avtogeneratorning ekvivalent sxemasi

14.4-chizmadagi  $X = F(f)$  grafikdan ko'rinib turibdiki drossel induktivligini hisobga olganda 2,5 MHz chastotada  $X_3$  konturida parallel rezonans sodir bo'ladi.  $X_2$  konturdagi  $L_2C_6$  zanjir tufayli ketma-ket va parallel rezonans bo'ladi. Buning natijasida reaktiv qarshiliklar yig'indisi  $X = X_1 + X_2 + X_3$ , nol qiymatdan faqat  $f_0 = 10$  MHz ishchi chastotada emas, balki  $f_1 = 1,5$  MHz,  $f_2 = 3,5$  MHz chastotalarda ham o'tadi. Bu chastotalarni qaysi birida qo'zg'atish sharti bajarilishini bilish uchun reaktiv qarshiliklar ishorasini taqqoslaymiz.

$X_1 = -1/2\pi f C_1$  hamma chastotalarda manfiy bo'ladi.  $f_0 = 10$  MHz chastotada  $X_1 < 0$ ;  $X_2 < 0$ ;  $X_3 < 0$ , demak qo'zg'atish sharti bajariladi.  $f_1 = 1,5$  MHz chastotada  $X_1 < 0$ ;  $X_2 < 0$ ;  $X_3 > 0$ , bu holda ham qo'zg'atish sharti bajariladi.  $f_2 = 3,5$  MHz chastotada  $X_1 < 0$ ;  $X_2 > 0$ ;  $X_3 < 0$ , qo'zg'atish sharti bajarilmaydi.

$f_1$  chastotada regeneratsiya parametri  $SR_b \approx 15$  bo'ladi. Shunday qilib,  $f_0$  va  $f_1$  chastotalarda avtogenerator to'liqinlar ishlab berishi mumkin. Bulardan biri  $f_0$  foydali ish chastota,  $f_1$  esa parazit kerak bo'lmagan chastota. Avtogeneratorda birgalikda bunday ikkita

chastotaning vujudga kelishi aktiv element o'rtacha qiyaaligining ( $S_1$ ) kirish kuchlanishi amplitudasi  $U_{ktr}$  ga bog'liqligi bilan belgilanadi.



14.4-chizma. a) –  $X_2, X_3$  qarshiliklarning chastotaga bog'liqligi;  
 b) –  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$  qarshiliklarning chastotaga bog'liqligi.

Avtogenerator sxemasiga avtomatik siljish kuchlanishini kiritish bu bog'liqlikni monoton ravishda pasaytiradi. Bu esa bir chastotani ikkinchi chastota bilan yo'q qilinishiga olib keladi. Qaysi bir chastota uchun qo'zg'atish sharti katta bo'lsa, shu chastota yo'q bo'lmaydi. Ko'rib chiqilgan avtogenerator sxemasida parazit  $f_1 = 1,5$  MHz sxemaga manba ulangandan keyin ishlab chiqilishi kerak.  $S_1 = f(U_{ktr})$  keskin o'zgarganda va avtogeneratorga manba ulanganda ba'zi hollarda ikkala chastotalar ham mavjud bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, aktiv element simlarining induktivligi, elektrodlar orasidagi sig'im, montaj simlarining induktivligi hisobiga ham parazit to'lqinlar bo'lishi mumkin. Lekin bu chastotalar ishchi chastotadan ancha yuqori bo'ladi va aktiv element qiyaaligi bu chastotalarda keskin kamayib ketadi, bu esa qo'zg'atish shartining bajarilishini qiyinlashtiradi.

### 14.3. Avtogenerator sxemasida parazit to'lqinlarni yo'qotish usullari

Avtogenerator sxemasida parazit to'lqinlarni yo'qotish usulini ko'rib chiqamiz. Buning uchun avvalambor  $X_2$  va  $X_3$  qarshiliklarda

bo'ladigan parallel rezonansni yo'qotish kerak. Parallel rezonansni yo'qotish uchun ketma-ket ta'minlash sxemasini qo'llash kerak. Agar  $f_1$ ,  $f_2$  chastotalarni yo'qotish mumkin bo'lmasa, bu chastotalarda  $X_1$ ,  $X_2$  reaktiv qarshiliklarning ishorasi har xil bo'lishiga intilish kerak. Masalan,  $C_6$  sig'imning miqdorini oshirish kerak. Agar bu ham yordam bermasa, regeneratsiya parametrini ishchi chastotadan boshqa chastotalarda kamaytirish kerak.  $SR_b$  ifodadagi aktiv elementning qiyaligi ( $S$ ) ni kamaytirib bo'lmaydi, shuning uchun boshqaruvchi qarshilik qiymatini parazit chastotalarda kamaytirish kerak. Boshqaruvchi qarshilik  $R_b = X_1 X_2 / r$  ga teng.

$R_b$  ning qiymatini kamaytirish uchun suratdagi  $X_1 X_2$  qarshiliklar ko'paytmasini kamaytirish kerak va aktiv qarshilik  $r$  ning qiymatini ko'paytirish kerak. Agar boshqaruvchi qarshilik  $R_b = k R_{yu}$  ga teng bo'lsa, parazit to'lqinni yo'qotish uchun teskari aloqa koeffitsiyenti ( $k$ ) ni va yuklama qarshiligini kamaytirish kerak. Yuqorida ko'rilgan Klapp sxemasida  $C_6$  sig'im qiymatini oshirish kerak,  $L_1$  induktivlik qiymatini esa kamaytirish kerak. Ba'zi hollarda drossellarning qarshiligi yuqori bo'lgan simlardan (konstantan, nixrom) tayyorlash kerak yoki ularni antiparazit qarshilik bilan parallel ulash kerak (shunt). O'ta yuqori chastotalarda parazit to'lqin paydo bo'lsa, tranzistorning baza va kollektoriga ketma-ket qilib antiparazit qarshilik ulash kerak.

Quvvat kuchaytirgich va chastota ko'paytirgich sxemalarda parazit to'lqinlar ishchi chastotadan past va yuqori chastotalarda bo'lishi mumkin. Past chastotalardagi parazit to'lqinlarga drossellar, yuqori chastotali parazit to'lqinlarga esa aktiv elementning simlari va montaj o'tkazgichlarining induktivliklari va elektrod orasida sig'imlaridan iborat bo'lgan konturlar sababchi bo'ladi. Bir taktli va ikki taktli sxemalardagi parazit to'lqinlar bir-biridan farq qiladi, ularni yo'qotish usulari yuqorida avtogenerator misolida qayd qilib o'tildi. Odatda bitta kaskadda parazit to'lqinlar bo'lmasligi ham mumkin, lekin bu kaskadlar ketma-ket ulanganda parazit to'lqinlar paydo bo'lishi mumkin. Buning asosiy sababi ta'minot manba orqali bo'ladigan teskari aloqadir, chunki manba hamma kaskadlar uchun umumiy bo'ladi. Bularni yo'qotish uchun kaskadlarni umumiy manbadan ajratuvchi filtrlar yordamida ta'minlash kerak va kaskadning orasiga himoya ekranlarini qo'yish kerak.



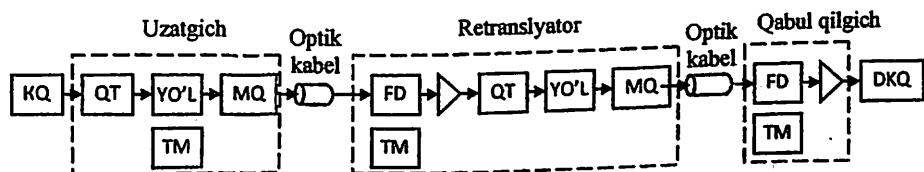
## *Nazorat savollari*

- 1. Parazit to'liqlarni kelib chiqish sababini tushuntiring.*
- 2. Teskari aloqa hisobiga bo'ladigan parazit to'liqlar to'g'risida tushuncha bering.*
- 3. Parametrik parazit to'liqlar nima?*
- 4. Klapp sxemasi asosida ishlaydigan avtogeneratorning ish usulini tushuntiring.*
- 5. Musbat teskari aloqa nima?*
- 6. Avtogeneratorning ekvivalent sxemasini chizing va undagi parazit to'liqlarni yo'qotish usullarini keltiring.*
- 7. Quvvat kuchaytirgichdagi parazit to'liqlarni yo'qotish usullarini tushuntiring.*
- 8. Chastota ko'paytirgichdagi parazit to'liqlarni yo'qotish usullarini keltiring.*
- 9. Regeneratsiya parametri nima?*

# 15. OPTIK ALOQA LINIYALARI

## 15.1. Optik aloqa liniyasi

*Optik aloqa liniyasi* eng qisqa to'liqlik aloqa vositasi bo'lib, yaqin infraqizil ko'rinadigan nur diapazonida ishlaydi. Infraqizil nurning to'liqlik uzunligi  $\lambda = 0,6-1,6$  mkm. Avtogenerator sifatida lazer generatorlari va har xil turdagi yorug'lik o'tkazgichlari ishlatiladi. Konstruktiv-eksplutatsion xususiyatlariga qarab optik aloqa liniyalari *ikki xil* bo'ladi: ochiq nur bilan ishlaydigan aloqa liniyalari va yorug'lik o'tkazgichlari (svetovodlar) orqali aloqa liniyalari. Ikkinchi turdagi aloqa liniyalarida signal optik to'liqlik tarqatuvchi tizimlar orqali uzatiladi. Birinchi turdagi liniyalarning ish holati nur tarqalayotgan muhit tiniqligiga bog'liq bo'ladi, va aloqa masofasi to'g'ri ko'rinish masofasiga bog'liq. Ikkinchi turdagi aloqa liniyalari bu kamchilikdan holidir va amalda keng qo'llaniladi. Ular *tolali optik aloqa liniyalari* (TOAL) deb ataladi. Ochiq nurlar bilan ishlaydigan aloqa liniyaga qaraganda TOAL bir qancha afzalliklarga ega. *TOALsining asosiy afzalligi* shundaki, ularni polosa kengligi juda ham keng bo'lib, ~100 GHz ni tashkil etadi. Uzatilayotgan axborotga tashqi muhitning ta'siri deyarli bo'lmaydi, ishlatish jihatdan ancha universaldir, kichik hajm va massaga ega. Bundan tashqari, TOAL ishlatilganda noyob rangli metallar tejaladi, ayniqsa mis. Tolali optik aloqa liniyasining strukturaviy sxemasi 15.1-chizmada keltirilgan.



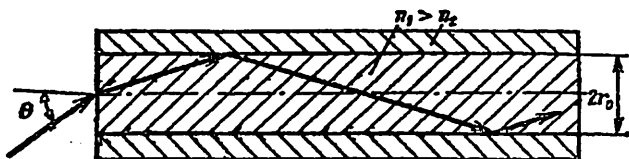
15.1-chizma. Tolali optik aloqa liniyasining strukturaviy sxemasi

Chizmada quyidagi qisqartmalar ishlatilgan: KQ – kodlovchi va dekodlovchi qurilma, QT – lazerni qo'zg'atish tizimi, YO'L – yarimo'tkazgich lazer, MQ – moslovchi qurilma, FD – fotodiod, TM – ta'minot manbai.

Tolali aloqa liniyasining asosiy elementi tolali dielektrik yorug'lik o'tkazgichi bo'lib, unda energiya sarfi kam bo'ladi. Axborot uzatuvchi

qurilmadan qabul qiluchi qurilmaga mana shu optik yorug'lik o'tkazgichi orqali tarqaladi. Ana shu optik tolali yorug'lik o'tkazgichlarning optik va mexanik xususiyatlari, ularning narxi tolali aloqa liniyalarining imkoniyatini belgilab beradi.

Hozirgi paytda TOALLarida ko'p hollarda halqa shaklidagi ikki qavatli dielektrik yorug'lik o'tkazgichi ishlatiladi (15.2-chizma).



15.2-chizma. Dielektrik yorug'lik o'tkazgichi (svetovod)

Yorug'lik tarqalayotgan tolaning diametri  $\sim 1000 \lambda$  ga teng ( $\lambda$  – to'lqin uzunligi). Tolaning sindirish ko'rsatkichi  $n_1$  va tashqi izolyatsion qavatning sindirish ko'rsatkichi  $n_2$  orasidagi farq  $\Delta n = n_1 - n_2 \approx 0,01$  ni tashkil etadi. Bunday yorug'lik o'tkazgichlar ko'p modali bo'lib, ularda juda ko'p to'lqinlar tarqalishi mumkin, ularning soni bir necha mingga yetishi mumkin. Bunga asosan aytish mumkinki, ko'p modali yorug'lik o'tkazgichlarining xususiyatlarini geometrik optika qonunlari orqali ifodalash mumkin. Lekin ularni tahlil qilish Maksvell tenglamalari yordamida bajariladi.

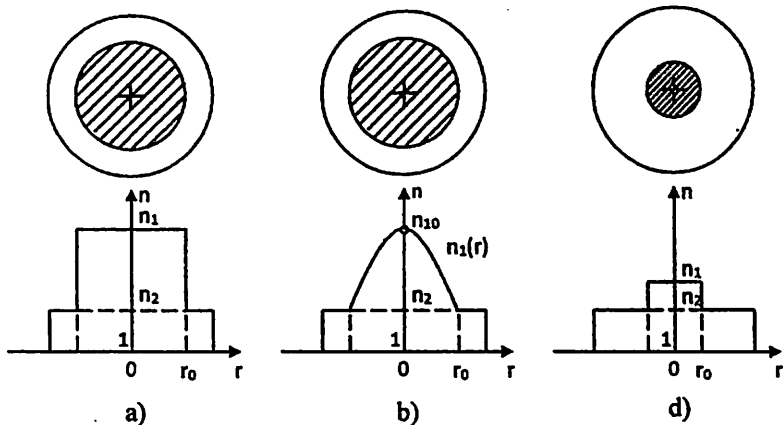
## 15.2. Dielektrik svetovodlarning asosiy turlari

Dielektrik svetovodlarning asosiy turlarini ko'rib chiqamiz. Sindirish ko'rsatkichlari zinapoyasimon bo'lgan yorug'lik o'tkazgichida (15.3a-chizma), yorug'lik nuri markaziy toladan  $n_1$  sindirish ko'rsatkichi bilan tarqaladi.

Tashqi izolyatsiya qavatning sindirish ko'rsatkishi tolaning sindirish ko'rsatkishidan kichik ( $n_2 < n_1$ ) bo'lgani uchun nur tolada ichki qaytishga uchrab tarqaladi. Nur tarqalishining yorug'lik o'tkazgichi o'qidan og'gan burchagi

$$NA = \sin Q \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (15.1)$$

ga teng, bunda  $\Delta = 1 - n_2/n_1$ ,  $n_1 \approx n_2$ .



15.3-chizma. Ikki qavatli dielektrikli yorug'lik o'tkazgichlarining turlari: a) – zinapoyasimon; b) – parabolik; d) – bir moddali yorug'lik o'tkazgichi.

Kvarsdan tayyorlangan tola uchun  $n_1 = 1,46$ ,  $\Delta = 0,01-0,005$ , shuning uchun  $NA = \sin Q = 0,2-0,14$  ga va og'ish burchagi esa  $2Q = 23^\circ-16^\circ$  ga teng boladi. Bunday yorug'lik o'tkazgichlarda to'lqinlar yoki modalar soni  $N$  ta bo'ladi.

$$N = v^2/2, \quad N \gg 1 \text{ uchun,} \quad (15.2)$$

bunda,  $v$  – normallashtirilgan chastota.

$$v = \frac{2\pi r_0}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi r_0}{\lambda} (NA) \quad (15.3)$$

bunda,  $r_0$  – tola radiusi,  $\lambda$  – yorug'likni to'lqin uzunligi.

$NA = 0,2$  va  $r_0/\lambda = 50$  bo'lganda modalar soni 1900 dan oshiq bo'ladi, ya'ni bu yorug'lik o'tkazgichlari haqiqatdan ham ko'p modali bo'ladi. Yorug'lik o'tkazgichlaridan nur tarqalganda energiyasining bir qismi tolada va tashqi qavvatda yutilishi tufayli nurning energiyasi qisman sarf bo'ladi. Odatda, nurni yutilishi uchun sarf bo'lgan energiya juda kam bo'ladi. Bunday ko'p modali yorug'lik o'tkazgichlarda apertura asosiy parametr bo'lib xizmat qiladi. Bu parametr lazer

generatorlarini va keng polosali yorug'lik manbai – svetodiodlarni bir-biriga moslashish imkonini beradi. Yorug'lik o'tkazgichini nur chiqarish yuzasi  $S_D$  va tolani ko'ndalang kesimi yuzasi  $S_{SV}$  orasidagi munosabatga qarab, moslashish koeffitsienti  $\eta$  ni quyidagicha aniqlash mumkin

$$\eta = \begin{cases} \frac{P_{SV}}{P_D} = (1 - R) \frac{S_{SV}}{S_D} (NA)^2, & S_{SV} < S_D; \\ (1 - R)(NA)^2, & S_{SV} > S_D. \end{cases} \quad (15.4)$$

$P_D$  – svetodiod quvvati,  $P_{SV}$  – yorug'lik o'tkazgichga kirgan quvvat,  $R$  – yorug'lik o'tkazgichi va havo orasidagi Frenel qaytarish koeffitsiyenti.

$S_{SV} > S_D$ ,  $NA = 0,14$  va  $(1 - R) = 0,95$  bo'lganda  $\eta = 0,019 = -17,2$  dB bo'ladi.  $S_{SV} > S_D$  bo'lganda qo'shimcha energiya sarf bo'lishi kuzatiladi. Svetodiod diametri 380 mkm va  $2r_0 = 75$  mkm bo'lganda, bu energiya 14 dB ni tashkil etadi. Hammasi bo'lib  $17,2 + 14 = 31,2$  dB energiya sarf bo'ldi. Shunday qilib, yorug'lik o'tkazgichlarda yorug'likni turli tomonga tarqatuvchi manba ishlatilganda, uning ish holatini yaxshilashning samarali usuli svetovodning aperturasini oshirishdir.

Ko'p modali yorug'lik o'tkazgichlarda har qaysi moda o'zining guruh tezligi bilan tarqaladi. Bu tezlik yorug'lik o'tkazgichga tushayotgan nur burchagiga bog'liq bo'ladi.

### 15.3. Bir va ko'p modali yorug'lik o'tkazgichlari

Yuqorida qayd qilib o'tilgandek, yorug'lik o'tkazgichlar bir modali va ko'p modali bo'lishi mumkin. Ko'p modali yorug'lik o'tkazgichlari tarqatayotgan to'lqinlar soni ko'p bo'lishi mumkin. Bunday yorug'lik o'tkazgichlarda har qaysi moda o'zining guruh tezligiga ega bo'ladi. Buning natijasida yorug'lik o'tkazgichi o'qiga nisbatan kichik burchak ostida tushayotgan modalar yorug'lik o'tkazgichida kichik masofani bosib o'tadi. Ular past chastotali modalar deyiladi. Katta burchak ostida tushayotgan modalar past modaga qaraganda nisbatan katta masofani bosib o'tadi. Ular yuqori modalar deyiladi. Bu esa modalar dispersiyani vujudga keltiradi, ya'ni yorug'lik impulsining kengligi, yorug'lik o'tkazgichidan chiqayotganda o'zgaradi, ya'ni oshadi. Bu hodisa yorug'lik o'tkazgichning o'tkazish xususiyatini kamaytiradi. Zinapoyasimon svetovod uchun dispersiya

$$\Delta T_{moda} = \frac{l}{C} (n_1 - n_2) = \frac{l}{2n_1 C} (NA)^2 \quad (15.5)$$

ga teng, bunda  $l$  – yorug‘lik o‘tkazgich uzunligi,  $C$  – yorug‘likning vakuumdagi tezligi,  $n_1 = 1,46$ ,  $l = 1$  km va  $(NA) = 0,2$  bo‘lganda  $\Delta T_{moda} = 47$  ns/km bo‘ladi. Bu degani yorug‘lik o‘tkazgichning o‘tkazish xususiyati 10 Mbit/(s·km) ga kamayadi. (15.5) tenglamadan ko‘rinib turibdiki, aperturaning  $(NA)$  oshishi o‘tkazish xususiyatiga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi. Dispersiya kam bo‘lganda, yorug‘lik o‘tkazgichning o‘tkazish xususiyatiga yorug‘lik o‘tkazgich tayyorlangan materialning sindirish ko‘rsatgichi ta‘sir ko‘rsatadi. Ammo uning ta‘siri juda kichik bo‘ladi. Lekin shunga qaramasdan bu ta‘sirni e‘tiborsiz qoldirib bo‘lmaydi, chunki modalar vositasida o‘tayotgan nur energiyasi juda kichkina bo‘lib, modalar so‘nishi mumkin. Shunday qilib, modalar dispersiyasi o‘tkazuvchanlikni kamaytiruvchi asosiy omildir.

Dispersiyani kamaytirish uchun gradientli va bir modali yorug‘lik o‘tkazgichlarini ishlatish kerak (15.3 b,d-chizma).

Gradientli yorug‘lik o‘tkazgichda (15.3b-chizma) sindirish ko‘rsatkichi  $n_1$  radial koordinataning funksiyasi bo‘ladi,  $n_1 = n_1(r)$  va parabolik ko‘rinishda o‘zgaradi. Bu holda dispersiya

$$\Delta T_{moda} = l n_{10} \Delta^2 / 2C. \quad (15.6)$$

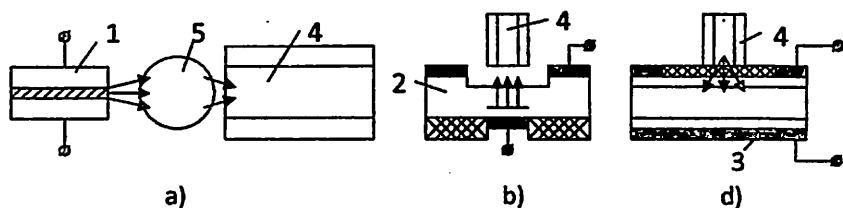
$n_{10} = 1,46$ ,  $\Delta = 0,01$ ,  $l = 1$  km bo‘lganda  $\Delta T_{moda} = 0,24$  ns/km ga teng boladi va zinapoyasimon yorug‘lik o‘tkazgich dispersiyasi 47 ns/km dan ancha kichik bo‘ladi (0,24 ns/km  $\ll$  47 ns/km). Demak, gradientli yorug‘lik o‘tkazgichning o‘tkazuvchanligi katta bo‘ladi. Bu yorug‘lik o‘tkazgichlarda yuqori modali tolaning sindirish ko‘rsatkichi kichik bo‘lgan  $n_1(r)$  joyida tarqaladi va ularning guruh tezligi past modanikidan yuqori bo‘ladi. Past modalar yorug‘lik o‘tkazgichning o‘qi atrofida tarqaladi, bunda  $n_1 \approx n_{10}$  bo‘lib, maksimal qiymatga ega bo‘ladi. Yuqori va past modalar guruh tezliklarining har xil bo‘lishi har xil burchak ostida tushib tarqalayotgan nurlarni bosib o‘tgan masofa orasidagi tafovutni kompensatsiya qiladi. Bu esa har xil modalarni yorug‘lik o‘tkazgichlarda bir xil vaqt bilan tarqalishiga imkon beradi.

Eng kichik dispersiya bir modali yorug‘lik o‘tkazgichlarda bo‘ladi. Bunday yorug‘lik o‘tkazgichda faqat bitta past moda tarqalishi mumkin. Buning uchun yorug‘lik o‘tkazgichning normallashtirilgan parametri  $v$  ni kamaytirish kerak,  $v = 2\pi r_0 / \lambda$ . Yorug‘lik o‘tkazgich bir modali

bo'lishi uchun  $v < 2,405$  shart bajarishi kerak. Buning uchun yorug'lik o'tkazgich tolasining radiusi  $r_0$  ni kamaytirish kerak, yoki tola va tashqi quvvat sindirish ko'rsatkichlari farqini kamaytirish kerak. Biroq yorug'lik o'tkazgich tolasining diametrini juda kichraytirish (2–4 mkm gacha), bir modali yorug'lik o'tkazgichlarni yorug'lik manbai bilan moslashtirishni, yorug'lik o'tkazgichlarni bir-biriga ulashni ancha qiyinlashtiradi. Bir modali yorug'lik o'tkazgichlarda nurning sarf bo'lishi tashqi qavatda sodir bo'ladi. Buning asosiy sababi  $\Delta = n_2/n_1$  kamayishi bilan to'lqin tashqi qavatda ko'proq yutiladi. Energiya sarf bo'lishini kamaytirish uchun bir modali yorug'lik o'tkazgichlarda tola va tashqi qavat diametrlari orasidagi nisbat katta bo'lishi kerak (taxminan 8:1). Bunday yorug'lik o'tkazgichlar juda toza materiallardan parafazali reaksiya orqali tayyorlanadi. Ko'p hollarda tashqi qavat bor oksidlari bilan legirlangan kvarsdan, yorug'lik tashuvchi tola esa germaniydan tayyorlanadi. Bunday yorug'lik o'tkazgichning asosiy parametrlari quyidagicha: tashqi qavatning diametri 75 mkm, tolani diametri 10 mkm,  $\Delta=0,001$ . To'lqin uzunligi  $\lambda=0,84$  mkm bo'lganda energiya sarfi 1,8 db/km ni,  $\lambda=1,02$  mkm bo'lganda energiya sarfi 1,3 db/km ni tashkil etadi. Energiya sarfining eng kichik miqdori 0,2 dB/km to'lqin uzunligi  $\lambda=1,55$  mkm bo'lganda kuzatiladi. Bir modali yorug'lik o'tkazgichlar uchun yorug'lik manbai, yarimo'tkazgichli lazer generatori, yoki yuqori konsentratsiya bilan legirlangan neodim kristallari bo'lishi mumkin. Yorug'lik o'tkazgichlarning bunday generatorlar bilan birgalikdagi tizimi yorug'lik impulsining dispersiyasini  $10^{-11}$  s/km gacha, axborot uzatish tezligini 10 Gbit/s-km gacha olish imkonini beradi. Generator sifatida yarimo'tkazgichli yorug'lik o'tkazgichlari ham ishlatilishi mumkin, lekin ular ko'p modali yorug'lik manbai hisoblanadi. Shuning uchun ularda bir modali nurni quvvati juda kichkina bo'ladi.

Yuqorida qayd qilingandek, TOAL tizimlarida yorug'lik manbai sifatida lazer, injeksion getero-lazer generatorlari (15.4a-chizma) va yorug'lik nurini tarqatuvchi yarimo'tkazgichli diodlar (15.4b-chizma) ishlatiladi. Qabul qiluvchi sifatida *p-i-n* diodlar va ko'chkili fotodiodlar ishlatilishi mumkin.

Qabul qiluvchi va uzatuvchi optik aloqa tizimining strukturaviy sxemasi 15.4-chizmada keltirilgan.



15.4-chizma. *Qabul qiluvchi va uzatuvchi optik aloqa tizimining sxemasi: a) va b) – uzatuvchi; d) – qabul qiluvchi.*

1 – yarimo‘tkazgichli lazer, 2 – svetodiod, 3 – fotodiod, 4 – yorug‘lik o‘tkazgichi, 5 – moslovchi linza.

Yarimo‘tkazgichli nurlantirgichlarning afzalligi shundaki, ularning hajmi kichkina o‘zi esa tejamkor bo‘ladi. Ular ta‘minlovchi tok hisobiga AM modulyatsiyani katta tezlik bilan amalga oshiradi. Tolali optik aloqa liniyasida eng qulay modulyatsiya impuls-kodli modulyatsiya hisoblanadi. Geterolazer generatorlarida yorug‘lik nuri impulsining davomiyligini  $10^{-9}$  s, polosa kengligini 1 G Hz gacha olish mumkin. Yorug‘lik nurini tarqatuvchi yarimo‘tkazgichli diodlar uchun bu ko‘rsatkichlar bir daraja past bo‘ladi.

### *Nazorat savollari*

1. *Optik tolali aloqa liniyalarining afzalligi nimadan iborat?*
2. *Tolali optik aloqa tizimining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntirng.*
3. *Yorug‘lik o‘tkazgichlar deganda nimani tushunasiz?*
4. *Optik aloqa liniyasida qanday generatorlar ishlatiladi?*
5. *Yorug‘lik o‘tkazgichlari qachon bir modali yoki ko‘p modali hisoblanadi?*
6. *Modalar dispersiyasi deb nimaga aytiladi?*
7. *Modalar dispersiyasini kamaytirish uchun nima qilish kerak?*
8. *Qabul qiluvchi va uzatuvchi optik aloqa tizimining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*
9. *Tolali optik aloqa liniyasida eng qulay modulyatsiya turi qaysi?*



## 16. RADIOUZATISH QURILMALARIDA ELEKTROMAGNIT MOSLASHUV MUAMMOLARI

### 16.1. Radioelektron vositalarda elektromagnit moslashuv muammosining kelib chiqish sabablari

Radioelektron vositalar (REV) bir vaqtda ishlashlari natijasida bir-biriga nisbatan maxsus shakllantirilmagan xalaqitlarni hosil qiladilar, natijada aloqaning sifat ko'rsatkichlari yomonlashadi va REV elektromagnit moslashuv (EMM) muammosini yechish zarurati paydo bo'ladi.

*Radioelektron vositalar elektromagnit moslashuvi* deganda REVsining mavjud elektromagnit muhitda talab darajasidagi sifat bilan ishlash qobiliyati va shu bilan birga boshqa vositalarga nisbatan ruxsat etilmaydigan xalaqitlar bilan ta'sir etmasligi tushuniladi. So'nggi vaqtlarda EMM muammosi quyidagi sabablarga ko'ra muhim ahamiyatga ega bo'lib bormoqda:

- ishlatiladigan REVLar sonining to'xtovsiz oshib borishi;
- ko'p sonli REVLarni cheklangan maydonda joylashtirish zaruriyati, natijada esa bir necha REVLar bir antennada yoki yaqin joylashgan antennalarda ishlashi zarurligi;
- aloqa masofasining uzoqligini oshirish maqsadida RUQLarining quvvatini oshirish;
- radioqabullash qurilmalari sezgirligining oshirilishi va qabul qilish bo'sag'aviy sathlarining kamaytirilishi, natijada esa xalaqit manbalari sonining ko'payishiga va signal-xalaqit nisbatining yomonlashishi.

Har qanday REV berilgan elektromagnit muhitda o'z vazifasini sifatli bajarilishini ta'minlovchi ko'rsatkichlar majmuasi bilan xarakterlanadi. Bu ko'rsatkichlarni ikki guruhga bo'lish mumkin. Birinchi guruhga REV o'z oldiga qo'yilgan asosiy vazifani bajarishni ta'minlovchi ko'rsatkichlar kiradi. Ikkinchi guruhga REVning EMMiga tegishli ko'rsatkichlar kiradi va uning boshqa REVLari bilan birga ishlash qobiliyatini ko'rsatadi. Bu ko'rsatkichlarga radiouzatish qurilmasining keraksiz (zararli) radionurlatishlari quvvati, radioqabullash qurilmalarining maxsus shakllantirilmagan xalaqitlardan ta'sirlanish darajasi qiymat ko'rsatkichlari va boshqa turli REVga xalaqitlar ta'sirini xarakterlovchi kattaliklar kiradi. Bundan tashqari ba'zi sanoat

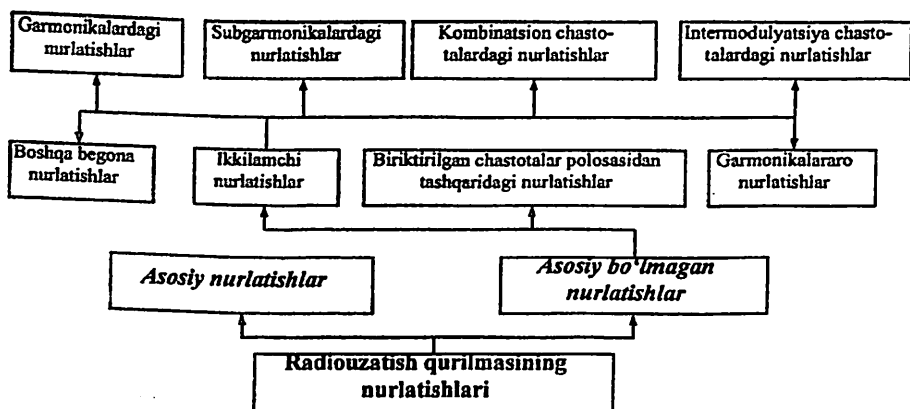
qurilmalari yuzaga keltiradigan elektromagnit maydonlar kuchlanganliklari va boshqa ko'rsatkichlar ham kiradi.

REVLarning talab etiladigan sifat ko'rsatkichlari bilan ishlashi uchun uning asosiy funksional ko'rsatkichlarini bilish yetarli emas. Masalan, radiouzatish qurilmasining asosiy parametrlari unga qo'yilgan asosiy talablarga javob beradi va undan talab qilinadigan sifat bilan axborot uzatishni ta'minlaydi. Radiouzatish qurilmasi asosiy ishchi chastotada radioto'lqinlar uzatish bilan birga boshqa REV ish sifatini yomonlashtiruvchi ikkilamchi radioto'lqinlar tarqatadi. Bunda radiouzatish qurilmasi o'z vazifasining sifatini talab darajasida ta'minlaydi, shu bilan bir vaqtda uning chiqishidagi xalaqitlar quvvati talab darajasidan katta va boshqa REVga xalaqit beradi. Radioqabullash qurilmalari o'z funksiyalarini talab darajasida bajarishini ta'minlovchi ko'rsatkichlar, unga xalaqitlar ta'sir etmagan holatga to'g'ri keladi. Radioqabullash qurilmasiga radioxalaqitlar ta'sir etishi natijasida yuzaga keladigan blokirovka (vaqtincha ish holatining yomonlashishi), intermodulyatsiya va qo'shimcha kanallar orqali xalaqitlar ta'siri natijasida signal qabul qilish sifati yomonlashadi. Shuning uchun REVning EMM ko'rsatkichlari katta ahamiyatga ega, ayniqsa bu ko'rsatkichlar turli REVLar kichik o'lchamli obyektlarda, hududlarda joylashganda katta ahamiyatga ega.

## 16.2. RUQlarining asosiy va keraksiz to'lqin tarqatishlari

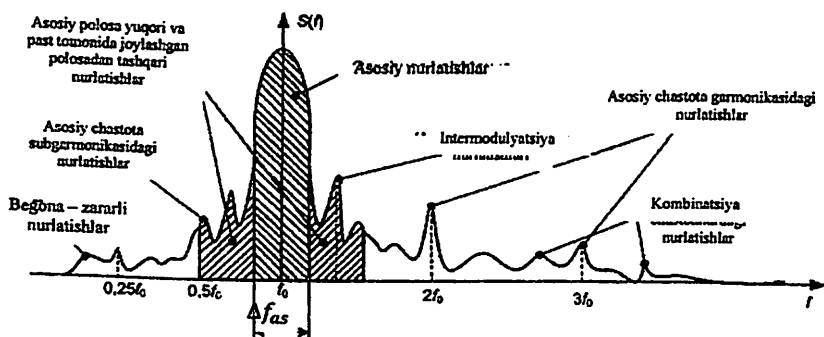
Radiouzatish qurilmalari ma'lum bir chastota va polosada uzatilayotgan xabarga mos ravishda modulyatsiyalangan signallarni shakllantiruvchi va efirga uzatuvchi qurilma hisoblanadi. Uning signali polosasi modulyatsiya turi, uzatilayotgan xabar sinfiga, tezligiga va uzatish sifatiga bog'liq. Ma'lum bir sinfga tegishli xabarni talab etiladigan tezlik va sifat bilan uzatish uchun kerak bo'ladigan chastotalar polosasi – *kerakli (zaruriy) radiochastotalar polosasi* deb ataladi.

Radiouzatish qurilmalarning EMMga ta'sir etuvchi texnik xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz. Radiouzatish qurilmalari tomonidan nurlatiladigan radiosignallar spektri tarkibi turli tashkil etuvchilarga juda boy. Radiouzatkichlar nurlatadigan radiosignallarni ikki turga: *asosiy va asosiy bo'lmagan* (ikkilamchi) nurlatishlarga bo'lish qabul qilingan (16.1-chizma). Zamonaviy radiouzatkichlarning chiqish quvvatlari uning asosiy va asosiy bo'lmagan – ikkilamchi spektr tashkil etuvchilari orasida taqsimlanadi.



16.1-chizma. Radiouzatkich nurlatishlarining taqsimlanishi

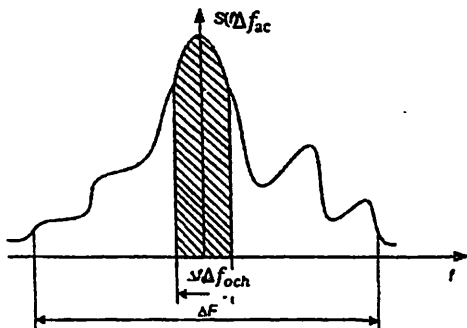
Asosiy nurlatishlar chastotasi polosasi  $\Delta f_{as}$  axborot signalining talab darajasidagi sifat va tezlikni ta'minlashi uchun kerak bo'ladigan chastotalar polosasi bilan xarakterlanadi (16.2-chizma).



16.2-chizma. Radiouzatkich nurlatishlari spektri

Asosiy nurlatishlar polosasi  $\Delta f_{as}$  bu radiouzatkich umumiy nurlatishlarining bir qismi bo'lib Xalqaro elektraloqa ittifoqi (XEI)ning Xalqaro radio maslahat qo'mitasi (XRMQ) tavsiyasiga asosan nurlatishlar polosasi kengligi (NPK) bilan xarakterlanadi. NPK  $\Delta F$  deb, radiouzatish qurilmasi chiqish (nurlatayotgan) quvvatining  $(100 - \beta)$  foiz qismiga mos keluvchi chastotalar diapazoniga aytiladi (16.3-chizma).  $\beta$  - ko'rsatkichning qiymati nurlatilayotgan signal turiga bog'liq ravishda 1% atrofida bo'lishi mumkin. Bunda  $\beta$  quvvatning

yarmi, ya'ni  $0,5\beta$  qismi radiouzatkich NPKning yuqori qismida, ikkinchi  $0,5\beta$  qismi esa uning pastki qismida joylashgan bo'ladi.



16.3-chizma. Radiouzatkich nurlatishlari polosasi kengligi

Agar NPK asosiy nurlatiladigan chastotalar polosasiga teng bo'lsa, ya'ni  $\Delta f_{as} = \Delta F$  bo'lsa, bunday nurlatish mukammal nurlatish hisoblanadi. Aks holda esa nomukammal nurlatish hisoblanadi.

Asosiy nurlatish chastotasi polosasidan tashqarida bo'lgan nurlatishlar **asosiy bo'lmagan nurlatishlar** deb ataladi va ular o'z navbatida polosadan tashqaridagi va ikkilamchi nurlatishlarga bo'linadi (16.1-chizma).

**Asosiy polosadan tashqaridagi nurlatishlar** asosiy nurlatishlar polosasiga jips joylashgan bo'ladi. Asosiy polosadan tashqaridagi nurlatishlar asosan radiouzatish qurilmasida amalga oshiriladigan modulyatsiya turiga va modulyatsiyalovchi signal shakliga bog'liq.

Asosiy bo'lmagan nurlanishlarning asosiy qismini ikkilamchi deb ataluvchi nurlanishlar tashkil qiladi. Ikkilamchi nurlanishlarning asosiy turlariga quyidagilar kiradi (16.1- va 16.2-chizmalar):

- asosiy chastota garmonikalaridagi nurlatishlar;
- asosiy chastota subgarmonikalaridagi nurlatishlar;
- chastotalar kombinatsiyalaridagi nurlatishlar;
- intermodulyatsiya chastotalaridagi nurlatishlar;
- garmonikalararo chastotalardagi nurlatishlar;
- zararli (parazit) nurlatishlar.

**Garmonikalardagi nurlatishlar** asosiy chastota  $f_0$  garmonikalari  $f_{gar} = m f_0$  ( $m = 2, 3, \dots$ ) lardagi nurlatishlar hisoblanadi.  $f_{gar}$  chastotali ikkilamchi nurlatishlar o'ta yuqori chastota generatorlaridagi

nochiziqli jarayonlar natijasida hosil bo'ladi, bunda generator ishlab chiqarayotgan signal shakli garmonik tebranishlar shaklidan farq qiladi. Bunday tebranishlar spektri asosiy chastotadan karrali,  $m$  marta katta bo'lgan chastotali signallar bilan boyigan bo'ladi.

**Subgarmonikalardagi nurlatishlar** bu asosiy ishchi chastota  $f_0$  dan  $m$  marta kichik chastotalardagi nurlatishlar bo'lib, ularning chastotalari quyidagicha aniqlanadi

$$f_{sub} = f_0/m, \text{ bunda } (m = 2, 3, \dots).$$

Subgarmonik nurlatishlar asosan chastota ko'paytirgich kaskad(lar)idan foydalanilgan radiouzatish qurilmalarida hosil bo'ladi.

**Kombinatsion nurlatishlar** radiouzatish qurilmalarida asosiy nurlatiladigan signalni ikki va undan ko'p yordamchi generatorlar yordamida shakllantirish jarayonida hosil bo'ladi. Masalan, radiouzatkichning asosiy chastotasi  $f_1, f_2$  va  $f_3$  yordamchi chastotalar yordamida shakllantirilsa, u holda quyidagi chastotalarda kombinatsion tashkil etuvchilar paydo bo'lishi mumkin

$$f_{kom} = mf_1 \pm nf_2 \pm kf_3,$$

bunda  $m = 0, 1, 2, \dots$ ;  $n = 0, 1, 2, \dots$ ;  $k = 0, 1, 2, \dots$

**Intermodulyatsion nurlatishlar** bir yoki bir necha radiouzatkichlar bitta antenna orqali radiosignallarini nurlatishlari natijasida, yoki bir necha radiouzatkichlarning antennalari bir-biriga juda yaqin joylashgan, ya'ni ularning nurlatishlarini bir-biridan ajratish chora-tadbirlari ko'rilmagan holatlarda ro'y beradi. Bunda  $f_1$  chastotadagi katta quvvatli radiosignal ikkinchi radiouzatkich antenasi yoki fider liniyasi orqali uning chiqish kaskadi nochiziqli aktiv elementiga, u generatsiya qilayotgan  $f_2$  chastotali tebranishga ta'sir qiladi. Natijada bunday nochiziqli o'zaro ta'sir

$$f_{int} = mf_1 \pm nf_2$$

chastotalarda intermodulyatsiya nurlatishlari shakllanishiga olib keladi.

**Garmonikalararo nurlatishlar** deb, nurlatishlari spektri garmonikalardagi nurlatishlaridan tashqari chastotalar diapazonida joylashgan nurlatishlarga aytiladi.

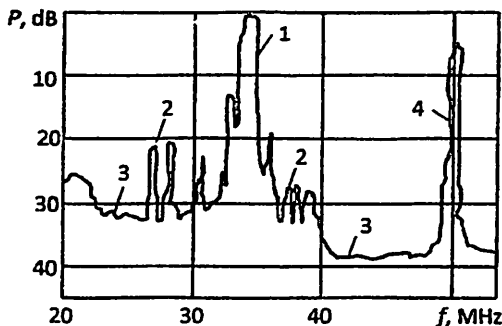
**Zararli nurlatishlar** deb, yuqorida ko'rib chiqilgan asosiy bo'lmagan nurlatishlarga tegishli bo'lmagan nurlatishlarga aytiladi. Qurilma elektr manbaidagi kuchlanishlarning tasodifiy ravishda keskin o'zgarishi, yuqori chastota asboblarning ishdan chiqishi (anod-setkatod; p-n yoki n-p o'tishlar) tok qiymatlari qisqa to'qnashuv yoki tok o'tishi to'xtashi natijasida va elektr zanjiridagi turli uzib-ulagichlar ish natijasida va boshqa shu kabi jarayonlarda yuz beradi.

Asosiy nurlatish polosasidan tashqari polosadagi nurlatishlar radiouzatish qurilmalarining sifat ko'rsatkichlari mukammal emasligi natijasi hisoblanadi. Bu nurlatishlardan axborot uzatish uchun foydalanilmaydi, ular zararli hisoblanadilar. Asosiy bo'lmagan nurlatishlar quvvati sezilarli darajada katta bo'lishi mumkin. Shuning uchun bunday asosiy bo'lmagan nurlatishlar REVLar EMM muammosini hamma pog'onalarda o'rganishda e'tiborga olish kerak.

**Shovqin radionurlatishlari** bu keraksiz (zararli) radionurlatishlar hisoblanadi. Ushbu radionurlatish tashkil etuvchilari radiouzatish qurilmasining xususiy shovqinlari generatsiya etilayotgan foydali signalni radiouzatish qurilmasi shovqini bilan modulyatsiyalash natijasida shakllanadi. Shovqin radionurlatishlari sathi asosiy signal sathidan 60–80 dB kichik va juda keng polosaga egaligi bilan xarakterlanadilar. Shovqin radionurlanishi polosasi asosiy signal polosasidan o'n va yuz marta keng bo'ladi. Shovqin radionurlanishlari quvvati juda kichik bo'lishiga qaramasdan yaqin masofada joylashgan qo'shni radiokanalda ishlaydigan radioqabullash qurilmalarining ishlashiga kuchli ta'sir ko'rsatishi mumkin. 16.4-chizmada shovqin radionurlanishiga ko'p hollarda xos spektri keltirilgan.

Radiouzatish qurilmasining turli elementlari shovqin manbai hisoblanadilar: elektron lampalar, chiqish kaskadlaridagi yarimo'tkazgich diodlar va tranzistorlar, turli funktsional qismlar va qurilmalar, shu jumladan avtogeneratorlar, quvvat kuchaytirgichlar, chastota sintezatorlari, modulyatorlarning past chastotani kuchaytiruvchi qismlari, elektr manbalar va h.k. Ushbu shovqinlar radiouzatish qurilmasi asosiy tebranish chastotasi – tashuvchi amplituda va chastotasini modulyatsiyalaydi va natijada shovqin radionurlanishlari yuzaga keladi. Katta quvvatli radiouzatish qurilmasida shovqin nurlanishlari asosiy chastota yo'q holda ham paydo bo'lishi mumkin.

Katta quvvatli shovqin radionurlanishi hosil bo'lishining asosiy sabablaridan biri quvvat kuchaytirgichlarning foydali ish koeffitsiyentini oshirish va shovqinni kamaytirish bir-biriga zidligidir. Masalan, Gann diodi asosida ishlovchi generator shovqini ko'chkisimon o'tishli diodlarda yaratilgan generatorning shovqiniga nisbatan 10–15 dB kichik. Ammo u foydali ish koeffitsiyenti bo'yicha ko'chkisimon o'tishli diodlarga nisbatan ko'proq shovqin hosil qiladi. Xuddi shunga o'xshash jarayon o'ta yuqori chastota diapazonida bipolyar va maydoniy tranzistorlaridan foydalanilganda yuz beradi, maydoniy tranzistori bipolyar tranzistorga nisbatan 20 dB kam shovqin yaratadi.



16.4-chizma. RUQ signali spektri: 1 – asosiy nurlatish 50 dB ga kamaytirilgan; 2 – kombinatsion nurlatish; 3 – shovqin nurlatishi; 4 – 2-garmonikadagi nurlatish.

### 16.3. REV EMMni ta'minlashning asosiy yo'nalishlari

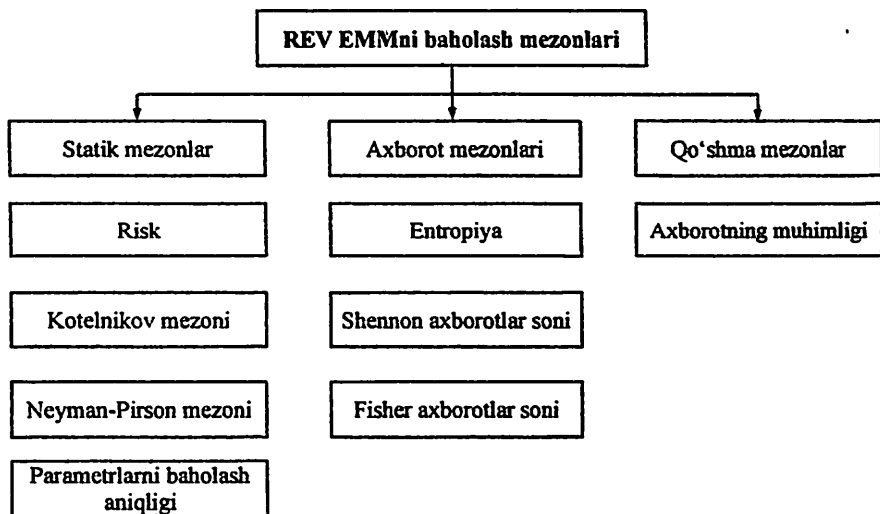
REV EMM ni masalasini yechish o'z ichiga to'rtta asosiy bosqichni oladi.

*Birinchi bosqichda* elektromagnit muhitni baholashning tashqi masalasi yechiladi. Bunda bosh masala elektromagnit muhit modelini qurish, model parametrlarini baholash, shuningdek, o'lchashlar asosida ehtimolliklarni taqsimlanishi zichligini baholash algoritmlarni ishlab chiqarish hisoblanadi.

*Ikkinchi bosqichda* REVning shakllanishi (samaradorligi) sifatini baholash o'tkaziladi. Bu bosqichning bosh masalasi xalaqitlar ta'sir qilganida REVning samaradorligini baholash mezonini tanlash va asoslash hamda tanlangan mezon bo'yicha elektromagnit muhitda REV samaradorligini tahlil qilish va hisoblashdir. Ikkinchi bosqich masalalarini yechish natijasida foydali signalni qabul qilish sifatiga xalaqitlar ta'siri darajasini baholashdir.

*Uchinchi bosqichda* tizimning murakkabligiga bog'liq ravishda xalaqitlar ta'siri sharoitida REVning talab qilinadigan ishlash sifatini saqlanish mezonini bo'yicha REV EMMni baholash masalasi yechilishi kerak. Agar EMM ta'minlanmasa, unda to'rtinchi bosqichda REV EMMni ta'minlash masalasi ko'rib chiqiladi.

REV samaradorligini baholash uchun mezonlar ular masalalarining o'ziga xos xususiyatlarini va elektromagnit moslashuvchanlikni o'zida aks ettirish kerak.



16.5-chizma. REV EMMni baholash mezonlari klassifikatsiyasi

RLS uchun topish masalasini yechishda Neyman-Pirson mezoni, tanish masalasini yechishda to'g'ri tanish minimal xatoligi, signal parametrlarini baholash masalasida esa signal parametrini baholash aniqligi (nazoratlanadigan obyekt harakati parametrlarini aniqlanish aniqligi). Umumiy holda REV EMMlarni mezonlari statik yechimlar nazariyasiga asoslangan statik, ehtimolliklar nazariyasi bilan statik yechimlar nazariyasini bog'laydigan qo'shma mezonlar va axborotlar nazariyasiga asoslangan axborot mezonlariga ajratish mumkin (16.5-chizma).

REV va radioelektron komplekslar ishlash samaradorligi sifati ko'rsatgichlariga quyidagilar kiradi:

- axborotlarni uzatish tizimlari uchun uning o'tkazish qobiliyati, xatolik ehtimolligi, ajratishlik va boshqalar;
- radiolokatsiya va radionavigatsiyada to'g'ri topish ehtimolligi (yolg'on xabar), indikatsiyalash sharti, koordinatalarni aniqlash aniqligi va boshqalar;
- televideniya tasvir sifati.

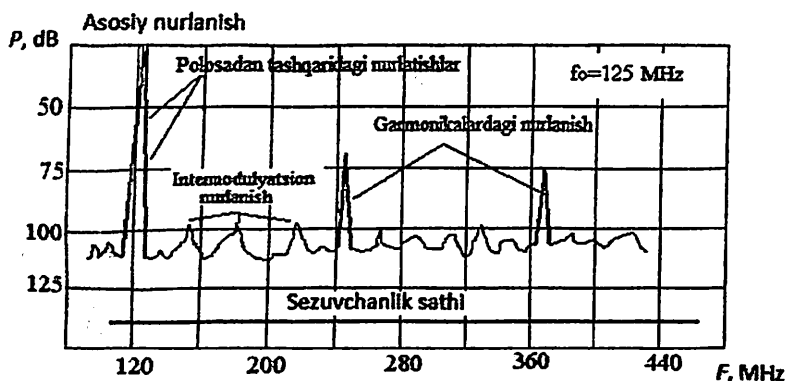
EMMni ta'minlash uchun tashkiliy va texnik choralar ko'riladi. Tashkiliy choralar sifatida yaqin tashuvchi chastotalar qiymatlarini REVlarni chastotaviy vaqt bo'yicha territorial (fazoviy) joylashtirish (yoki ularning ish rejimlarini) amalga oshiriladi. Elektromagnit muhit xarakteristikalarini yaxshilash texnik choralarning umumiy yo'nalishlari quyidagilar hisoblanadi:



- uzatkich kaskadalarida yon va tashqi polosali nurlanishlar sathlarini kamaytirish;
- asosiy bo'lmagan nurlanishlarni adaptiv filtrlash;
- qabul qilish qurilmalarida turli turlardagi xalaqitlar kompensatorlarning qo'llanilishi;
- adaptiv antenna tizimlari qo'llanilishli xalaqitlarni fazoviy so'ndirilishi.

RUQ nurlanishlarini mavjud so'ndirish usullarini tahlil qilgan holda, elementlar ish rejimlarini, modulyatsiya turini, filtrlashning turli usullarini tanlashda asosiy xulosalarga kelish mumkin. Intermodulyatsion, shovqin va boshqa asosiy bo'lmagan nurlanishlarni so'ndirish uchun faqat chastota bo'yicha emas, amplituda bo'yicha keraksiz nurlanishlardan radiouzatkichning asosiy signallarini ishlatadigan chastotaviy-amplitudali filtrlar qo'llaniladi.

Istalmagan (keraksiz) nurlanishlarning zaruriy so'ndirishni quyidagi mulohazalardan topamiz. Aloqa komplekslarida radiouzatkich intermodulyatsion va shovqin nurlanishlarning real sathlari 110–120 dB ni tashkil qiladi. O'rtacha quvvat sathli (100 Vt) RUQ va o'rtacha sezgirlik sathli qabulqilgich (0,7 mkV) uchun 75 Omli to'liq qarshiligi traktlari uchun radiokanal so'nishining kritik qiymati 160 dB ni tashkil qiladi. Shuning uchun real sezgirlikli qabulqilgich ishini ta'minlash uchun RUQ xalaqit qiladigan nurlanishlarni qo'shimcha 40–50 dBga so'ndirish zarur. RUQ radionurlatishlari sathlarining nisbiy ko'rsatkichlari 16.6-chizmada keltirilgan.



16.6-chizma. Radiouzatkich radionurlatishining nisbiy sathi

## *Nazorat savollari*

- 1. Radioelektron vositalar elektromagnit moslashuvi deb nimaga aytiladi?*
- 2. Asosiy nurlanishlar deb qanday nurlanishlarga aytiladi?*
- 3. Polosadan tashqaridagi nurlanishlar deb qanday nurlanishlarga aytiladi?*
- 4. Ikkilamchi nurlanishlar deb qanday nurlanishlarga aytiladi va ular qanday turlarga bo'linadi?*
- 5. Subgarmonikalardagi radionurlanishlar to'g'risida tushuncha bering?*
- 6. Zararli radionurlanishlar to'g'risida tushuncha bering?*
- 7. Kombinatsion radionurlanishlar to'g'risida tushuncha bering?*
- 8. Intermodulyatsiya radionurlatishlari to'g'risida tushuncha bering?*
- 9. Shovqin radionurlatishlari qaysi parametrlar bilan xarakterlanadi?*
- 10. REV EMMni ta'minlashning asosiy yo'nalishlari nimalardan iborat?*

## GLOSSARIY

### **Aloqa vositalari**

ingl: communication tools

rus: средства связи

Elektr aloqasi xabarlarini yoki pochta jo'natmalarini shakllantirish, ishlov berish, uzatish yoki qabul qilib olish uchun foydalaniladigan texnika vositalari, shuningdek, aloqa xizmatlarini ko'rsatishda foydalaniladigan binolar, inshootlar yoki odam yashamaydigan xonalar, boshqa texnika vositalari.

### **Analog**

ingl: analog

rus: аналоговый

Uzluksiz shaklda aks etuvchi to'xtovsiz o'zgaruvchi fizikaviy kattaliklar yoki ma'lumotlar hamda ushbu ma'lumotlardan foydalanuvchi jarayonlar va funksional qurilmalarga tegishli ta'rif.

### **Analog modulyatsiya**

ingl: analog modulation

rus: аналоговая  
модуляция

Nurlanuvchi tebranish parametrlari (amplituda, chastota, faza) modulyatsiyalovchi kirish signalining amplitudasiga proporsional o'zgaradigan modulyatsiya usuli.

### **Analog signal**

ingl: analog signal

rus: аналоговый сигнал

To'xtovsiz o'zgaruvchi elektr kuchlanish yoki elektr toki shaklidagi axborot tashuvchisi.

Vaqt davomida o'zgaruvchan analog signalining amplitudasi tashuvchi axborotning miqdoriga mos bo'lib, odatda o'lgangan fizik kattalikni bildiradi, masalan, harorat, tezlik va h.k. Analog signalni tashuvchi axborotga kompyuterda ishlov berish uchun analog-raqamli o'zgartirgich zarur.

### **Antenna**

ingl: antenna

rus: антенна

Radiochastota signallarini uzatish va/ yoki qabul qilib olish uchun mo'ljallangan qurilma. Antennalar alohida chastota uchun ishlab chiqilib, odatda dizayni, tuzilishi va joylashishi bo'yicha farq qiladi.

<p><b>Antenna yo'naltirilganlik diagrammasi</b>  ingl: diagram of the directivity antenna  rus: диаграмма направленности антенны</p>	<p>Antenna elektromagnit maydon amplitudasi kuchlanishining burchak <math>Ye(\varphi)</math> ning ikki o'zaro ortogonal yuzada ma'lum masofadagi uzoq hududda taqsimoti.</p>
<p><b>Antenna-fider qurilmasi</b>  ingl: antenna feeder device  rus: антенно-фидерное устройство</p>	<p>Antenna va radiouzatkich chiqishi (radioqabul qilgich kirishi) hamda antennaning kirishi (chiqishi) o'rtasidagi barcha konstruktiv elementlar.</p>
<p><b>Asosiy polosa kanali</b>  ingl: baseband channel  rus: основополосный канал</p>	<p>Signal modulyatsiya qilinmasidan uzatildigan fizik kanal. Eng sodda vositalar: o'ralgan juft yoki yassi ekranlanmagan kabel asosida yaratiladi. Ko'rilayotgan kanalning nomi asosiy polosa signali, ya'ni modulyatsiyasiz, asosiy polosada (kenglikda) uzatilayotgan signal nomidan kelib chiqqan.</p>
<p><b>Asosiy polosa signali</b>  ingl: baseband signal  rus: основополосный сигнал</p>	<p>Dastlabki shaklda, modulyatsiya bilan o'zgartirilmay, uzatilayotgan signal.</p>
<p><b>Asosiy polosadan tashqaridagi radionurlanishlar</b>  ingl: out-of-band emission  rus: внеполосное радиоизлучение</p>	<p>Radiouzatkich nurlatadigan radiosignal asosiy polosasidan tashqarida, modulyatsiya jarayonida, radiotrakt amplitudachastota xarakteristikasining nochiziqililigi va modulyatsiyalovchi signalning talab darajasidagidan farqlanishi natijasida paydo bo'luvchi spektr tashkil etuvchilari.</p>
<p><b>Asosiy radionurlanish</b>  ingl: main radio emission</p>	<p>Radiouzatkichning radiosignal uzatishi uchun kerakli chastotalar polosasida</p>

rus: основное  
радиоизлучение

radionurlatish.

**Asosiy raqamli kanal**

ingl: primary digital  
channel

rus: основной цифровой  
канал

64 Kbit/sekund tezlikda signallar  
uzatishga  
mo'ljallangan namunaviy raqamli kanal.

**Attenyuator**

ingl: attenuator

rus: аттенюатор

Kirishdagi signalning quvvati yoki kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda chiqish signalini berilgan son marta kamaytirishga imkon beradigan radiotexnik qurilma.

**Blokirovkalash**

ingl: locking

rus: блокировка

1. Obyektни ajratib qo'yish, uni muayyan amallarni bajarishga to'sqinlik qiladigan holatga keltirish.

2. Obyektlarning birgalikda ishlatiladigan resursdan foydalanishini nazorat qilish mexanizmi. Bir tarafdandan, blokirovkalash noxush holatlardan saqlanish tadbiridir. Boshqa tarafdandan, axborot tizimida yoki tarmoqda vujudga kelgan noxush holatni blokirovkalash deb tushuniladi.

3 Umumiy foydalanishdagi ma'lumotlar bazasida, turli foydalanuvchilar tomonidan bir xil ma'lumotlardan bir vaqtda foydalanish va o'zgartirishlarni nazorat qilish mexanizmi.

**Bostirish**

ingl: suppression

rus: подавление

Qandaydir noxush effektlar paydo bo'lishini oldini olish, masalan, foydali signallarni qabul qilishda to'siq va shovqinlarning salbiy ta'sirini yo'qotish.

**Varaktor**

rus: варактор

O'YuCh diapazonida ishlash uchun mo'ljallangan varikap.

<b>Garmonikalardagi radionurlanishlar</b>	Asosiy radionurlatish chastotasidan butun son marotaba katta chastotalardagi ikkilamchi radionurlanishlar.
ingl: radio emission on harmonic	
rus: радиоизлучение на гармонике	
<b>Generator</b>	1. Mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirib beruvchi qurilma. 2. Muttasil signal chiqaradigan qurilma.
ingl: generator	
rus: генератор	
<b>Geterodin</b>	Radioqabulqilgichdagi chastotani o'zgartirish uchun qo'llaniladigan garmonik tebranishlar generatori.
ingl: heterodyne	
rus: гетеродин	
<b>Geterodin radionurlanishi</b>	Radioqabullash qurilmasi geterodini radiotebranishlari natijasida paydo bo'ladigan zararli (keraksiz) radionurlanishlar.
ingl: radio emission of heterodyne	
rus: радиоизлучение гетеродина	
<b>Gidrometeorlar</b>	Suv tomchilarining yoki muz parchalarining konsentratsiyasi shaklida atmosferada borligi yoki yer ustiga tushuvchi namliklar. Asosiy gidrometeorlarga qor, yomg'ir, bulut, do'l, shudring va h.k. kiradi.
ingl: hydrometeors	
rus: гидрометеоры	
<b>Diskret</b>	Ramzlar kabi alohida elementlardan iborat bo'lgan ma'lumotlar yoki aniq ko'rsatilgan qiymatlarning chekli soniga ega bo'lgan fizik miqdorlarga, shuningdek, jarayonlar va ushbu ma'lumotlardan foydalanuvchi funksional moslamalarga tegishli ta'rif.
ingl: discrete	
rus: дискретный	
<b>Diskretlash chastotasi</b>	Vaqt bo'yicha uzluksiz signalning diskretlanishida (xususan, analog-raqamli
ingl: sampling rate	

rus: частота  
дискретизации

o'zgartirgich tomonidan) uning hisobotlarini olish chastotasi. Gerslarda o'lchani. Diskretlash chastotasi qanchalik katta bo'lsa, diskret signalida shunchalik keng signal spektri taqdim etilishi mumkin.

**Dupleks uzatish**  
ingl: duplex transmission  
rus: дуплексная  
передача

Axborotni ikkala yo'nalishda navbatma-navbat (yarim dupleks) yoki ikkala yo'nalishda bir vaqtning o'zida (to'liq dupleks) uzatish.

**Duplekslash**  
ingl: duplexing  
rus: дуплексирование

Abonentlar o'rtasida ikki tomonlama aloqani tashkil qilish. Bunda har biri orqali axborot faqat bitta yo'nalishda uzatilishi mumkin bo'lgan, fizik jihatdan bog'liq bo'lmagan ikkita simpleks kanaldan foydalaniladi. Amaliyotda ikki xil – qabul qilish va uzatish kanallarini chastota (FDD) va vaqt (TDD) bo'yicha ajratilgan duplekslash qo'llaniladi.

**Zararli (keraksiz)  
radionurlanish**  
ingl: unwanted radio  
emission  
rus: нежелательное  
радиоизлучение

Radioelektron vosita, uning tarkibiy qismlarining axborotni uzatish, qabullash va uni buzish uchun maxsus shakllantirilmagan radionurlatishlar.

**Ikkilamchi nurlanishlar**  
ingl: spurious radiation  
rus: побочное излучение

Radiouzatkich yuqori chastotalar traktida nochiziqli jarayonlar natijasida kelib chiquvchi va asosiy chastotadan karrali marotaba katta (garmonikalar va subgarmonikalar); foydali signal va geterodin kombinatsiyasi chastotalari; foydali signal va bir yoki bir necha xalaqit signallar intermodulyatsion chastotasi yoki zararli ikkilamchi xalaqit signal chastotasida hosil bo'ladigan radionurlanishlar.

**Ikkilamchi radionurlanishlar**  
ingl: spurious radiation  
rus: побочное радиоизлучение

**Impuls**  
ingl: pulse  
rus: импульс

**Impuls-kodli modulyatsiya**  
ingl: pulse-code modulation (PCM)  
rus: импульсно-кодовая модуляция

**Impulsi radiouzatkich**  
ingl: impulsive radio transmitter  
rus: импульсный радиопередатчик

**Intermodulyatsion radionurlatish**  
ingl: intermodulation emission

Radiouzatish qurilmasidagi turli no-chiziqli jarayonlar natijasida (modulyatsiya jarayonidan tashqari) paydo bo'luvchi tebranishlarning radiuzatkich antenasi orqali nurlanishi.

Amplitudasi noldan nisbatan qisqa vaqt oraliq'ida mobaynida farq qiladigan diskret signal. Impuls signalning frontlar deb ataladigan o'sish va pasayish uchastkalari impuls shaklini belgilaydi. Impuls shakli to'g'ri burchakli, uchburchak yoki eksponensial bo'ladi.

Modulyatsiya usuli, unga ko'ra, analog signal qat'iy uzunlikdagi ketma-ket uzatiladigan n-razryadli (odatda  $n=8$ ), kodli so'zlardan iborat raqamli ma'lumotlar oqimiga aylantiriladi. Tovushni uzatish 64Kbit/c tezlik hamda kompandirlash bilan amalga oshiriladi. Impuls-kodli modulyatsiya yordamida o'zgartirilgan tovush signalining sifati yuqori bo'ladi.

Elektromagnit to'lqinlarni kichik davomiylikdagi (ko'pincha mikrosekunddan qisqa) impulslar bilan nurlantiruvchi uzatkich. Impulsi radiouzatkich nisbatan kichik beriladigan quvvatda impulsi katta quvvat beradi. Impulsi radiouzatkich radiolokatsiyada va radionavigatsiyada, impulsi radio masofani o'lchagichlarda, shuningdek, impulsi radioaloqada foydalaniladi.

Radiouzatish qurilmasi yuqori chastota trakti nochiziqli elementlariga generatsiya qilinayotgan radiotebranishlar va tashqi elektromagnit maydon yoki radio-



rus: интермодуляционное радиоизлучение

tebranishlar o'zaro ta'siri natijasida yuzaga keladigan ikkilamchi nurlanishlar.

### **Ishonchlilik**

ingl: reliability

rus: надежность

O'rnatilgan vaqt davomida tizimning o'z vazifalarini bajara olish qobiliyati. Ishonchlilikni baholash uchun ham hisob-kitoblar asosidagi, ham statistik (sinovlar jarayonida olingan) xarakteristikalar qo'llaniladi va ular odatda, qurilmani ishga layoqatli holatda bo'la olish vaqtining foizi sifatida aniqlanadi. Ishonchlilikning asosiy ko'rsatkichlari: buzilishgacha o'rtacha ishlash muddati, o'rtacha tiklash vaqti va boshqalar.

### **Kanal**

ingl: channel

rus: канал

Signal yoki ma'lumotlar uzatish vositasi yoki yo'li. Signallarni uzatish vositasi fizik kanal deb ataladi. Ma'lumotlar manbadan uni qabul qiluvchiga uzatiladigan yo'lni mantiqiy kanal aniqlab beradi. Kanallarning ikki klassi farqlashadi: asinxron va sinxron. Sinxron kanalda amalga oshirilayotgan uzatish jarayonini sinxronlashtirish ta'minlangan bo'ladi. Asinxron kanal shu bilan ajralib turadiki, u orqali ma'lumotlar uzatishda jo'natuvchi va qabul qiluvchi ishlari sinxronlashtirilmaydi. Uzatilayotgan signallarning shakliga qarab kanallar analog va diskret turlarga bo'linadi. Signallarni uzatish usuliga qarab kanallar bir necha turlarga bo'linadi – simpleks, yarim dupleks, dupleks kanallar.

### **Kvantlagich**

ingl: quantizer

rus: квантователь

Analog signalni raqamli signalga aylantirish uchun mo'ljallangan qurilma. Kvantlagich diskret signalning qiymatlari kattaligini unga yaqin bo'lgan diskret sathlardagi qiymatlari bilan almashtiradi.

**Kvantlash**  
ingl: quantization  
rus: квантование

**Kvantlash qadami**  
ingl: quantization step  
rus: шаг квантования

**Kvantlash xatosi**  
ingl: quantization error  
rus: ошибка квантования

**Kvantlash shovqini**  
ingl: quantization noise  
rus: шум квантования

**Keng polosali kanal**  
ingl: broadband channel  
rus: широкополосный канал

1. Biror bir uzluksiz kattalik qiymatlari kengligini chekli bir-biri bilan kesishmaydigan oraliqlarga bo'lish.  
2. Ma'lumotlarni uzluksiz shakldan diskret shaklga o'tkazish amali. Ikkita qo'shni kvantlash darajasi o'rtasidagi farq. U yoki bu kvantlash qadami chegarasida signalni uning yuqori qiymatiga mos keladigan darajagacha yaxlitlash amalga oshiriladi.

Chiqish (kvantlangan) va kirish (analog) signallari shakllarining muvofiq kelmasligi. Kvantlash qadami kattaligiga va diskretlash chastotasiga bog'liq.

Kvantlash jarayonida yuzaga keladigan hamda additiv tarzda tiklangan foydali signal bilan qo'shiladigan qo'shimcha shovqinli signal. Bu xil buzilishlarni bartaraf etib bo'lmaydi, lekin uning kattalagini kvantlash darajalari sonini oshirish yoki kvantlash qadamini kichiklashtirish yo'li bilan kamaytirish mumkin. Kvantlashda tasodifiy shovqindan tashqari, o'ta yuklanishdagi shovqin, parchalash shovqini kabi signalning qator spetsifik buzilishlari, shuningdek, kvazidoimiy darajali signallarni uzatishda vujudga keladigan buzilishlar paydo bo'ladi.

Ma'lumotlarni tezkor uzatishni ta'minlovchi fizik kanal. Keng polosali kanallar koaksial kabellar, radiokanallar va optik kanallar asosida yaratiladi. Ular nisbatan qimmat bo'lgani sababli, ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatish talab qilinmasa, tor polosali kanallar yoki polosa asosli kanallardan foydalaniladi.

**Keng polosali simsiz aloqa**

ingl: wireless broadband  
rus: широкополосная беспроводная связь

Keng polosali simsiz aloqa – bu katta hududda yuqori tezlikdagi simsiz internet va ma'lumotlar tarmog'ini ta'minlovchi texnologiya. Keng polosali simsiz aloqa tezligi ADSL kabi keng eshittirish tarmog'inikiga deyarli teng.

**Kesishuvchi aloqa**

ingl: cross-coupling  
rus: перекрестная связь

Kanallar, zanjirlar yoki o'tkazgichlar o'rtasida yuzaga keladigan parazit bog'lanish (aloqa). Natijada turli xalaqit beruvchi signallar paydo bo'ladi.

**Kesishuvchi modulyatsiya**

ingl: cross-gain-modulation

rus: перекрестная модуляция

Xalaqit signalini bir zanjir yoki simdan boshqa bir zanjir simga yo'llash natijasida yuzaga keladigan to'g'rilash.

**Kesishuvchi xalaqitlar**

ingl: crosstalk  
rus: перекрестные помехи

Ko'p kanalli tizimlarda, bir kanal orqali uzatilgan signal boshqa kanalning chiqishida anchayin kuchsizlangan holda paydo bo'lishi hisobiga yuzaga keladigan o'zaro xalaqitlar. Chastotaviy ajratilgan tizimlarda kanal filtrlarining yetarlicha selektiv bo'lmasligi hamda barcha kanallar uchun umumiy bo'lgan traktida tashkil qilinadigan kombinatsion chastotalar kesishuvchi xalaqitlar paydo bo'lishining asosiy sabablaridir.

**Kombinatsion radionurlanish**

ingl: sonversion emission  
rus: комбинационное радиоизлучение

Radiouzatish nochiqli elementiga tashuvchi signalni shakllantiruvchi signallar garmonikalari va ularning kombinatsiyalari o'zaro ta'siri natijasida paydo bo'ladigan chastotalardagi ikkilamchi radionurlanishlar.

**Ko'p kanalli radiouzatkich**  
ingl: multiplex transmitter  
rus: многоканальный радиопередатчик

**Ko'p nurli signal**  
ingl: multipath signal  
rus: многолучевой сигнал

**Ko'p nurli tarqalish**  
ingl: multipath propagation  
rus: многолучевое распространение

**Ko'p nurlilik**  
ingl: multipath  
rus: многолучевость

**Ko'p chastotali radiouzatkich**  
ingl: multi-frequency transmitter  
rus: многочастотный радиопередатчик

**Qabul qilgich-uzatkich, transiver**  
ingl: transceiver  
rus: приемопередатчик, трансивер

Ko'plab mustaqil signallarni bir vaqtning o'zida uzatish uchun mo'ljallangan radiouzatkich.

Uzatkichdan qabul qilish nuqtasiga turli yo'llar (nurlar) orqali keladigan, amplitudasi, boshlang'ich fazalari hamda dopler chastota siljishi turlicha bo'lgan signallarning vaqt bo'yicha siljigan bir nechta nusxalarini o'zida ifodalovchi signal.

Uzatish qurilmasi chiqishidan qabullash qurilmasi kirishiga bitta yagona signalning bir necha alohida-alohida yo'l (trassa)da tarqalishi.

Aynan bir signalning turli yo'llar (trayektoriyalar) orqali tarqalishiga bog'liq va qabul qilish nuqtasida interferensiya paydo bo'lishini keltirib chiqaradigan hodisa.

Eltuvchi chastotasi uzatkich oldindan sozlangan ko'plab boshqa eltuvchi chastotalar orasidan tanlanishi mumkin bo'lgan radiouzatkich.

Bir korpusda joylashtirilgan uzatuvchi va qabul qiluvchi qurilma kombinatsiyasi. Odatda, portativ qurilma ko'rinishida yasaladi.

**Qo'zg'atkich**  
ingl: yexciter  
rus: возбудитель

Modulyator va chastotalarning ishchi to'rini shakllantiruvchi chastotalar sintezatorini o'z ichiga oluvchi qurilma. Qo'zg'atkich tarkibiga signalni dastlabki kuchaytirish qurilmasi kirishi mumkin.

**Maxsus shakllantirilgan xalaqitlar uzatkichi**  
ingl: jammer; jamming transmitter  
rus: передатчик преднамеренных помех

Xalaqitlarni vujudga keltirish uchun mo'ljallangan radiouzatkich.

**Modulyatsiya**  
ingl: modulation  
rus: модуляция

Bitta statsionar signalning boshqa signal shakliga ko'ra o'zgarish jarayoni. Modulyatsiya ma'lumotlarni elektromagnit nurlanish yordamida uzatishda amalga oshiriladi.

**Multiplekslash**  
ingl: multiplexing  
rus: мультиплексирование

Ikki yoki undan ortiq signallarni chastotata, vaqt yoki signallar shakli bo'yicha zichlashtirish bilan bitta fizik kanal orqali uzatish. Masalan, vaqt bo'yicha ajratilgan multiplekslash aloqada va ajratilgan taym-slotlardan foydalangan holda, raqamli ma'lumotlarni uzatishdagi multiplekslash texnikasi (usuli) bo'lib hisoblanadi.

Shuningdek, to'lqin uzunligi bo'yicha ajratish bilan multiplekslash mavjud, u liniya agregat kanali to'lqin uzunligi bo'yicha turlicha  $n$  ta kanalni birlashtirish yo'li bilan shakllantiriladigan multiplekslash. Bu signallarni multiplekslash usuli bitta optik-tolali kabel orqali to'lqin uzunligi turlicha bo'lgan bir nechta (odatda, 16 gacha) yorug'lik dastasini uzatish imkonini beradi.

**Multipleksor**  
ingl: multiplexer  
rus: мультиплексор

1. Bir nechta ma'lumotlar oqimi yoki kanalni bitta chiqish signali, guruhi yoki ko'p kanalli xabarga birlashtiruvchi qurilma.
2. Bir nechta radiouzatuvchilarning o'zaro xalaqitlarsiz bitta antennaga ishlashini ta'minlovchi qurilma.

**Nurlanish**  
ingl: emission  
rus: излучение

Elektromagnit to'liqlarni generatsiyalash hamda uning manbadan efir yoki uzatish liniyalari orqali tarqalish jarayoni.

**Nurlanuvchi quvvat**  
ingl: transmitted power  
rus: излучаемая мощность

Vaqt birligida, chastotalarning cheklangan polosasida nurlanadigan energiya (vattlarda o'lchanadi). Nurlanuvchi quvvat qiymati uzatish vaqtiga, uzatish muhitining xarakteristikalariga hamda o'lchash usuliga bog'liq. Og'ib o'tuvchining oniy cho'qqi quvvati, vaqtda yoki uzatish liniyasining berilgan ko'ndalang kesimida (masalan, to'liq o'tkazgichda) o'rtalash-tirilgan quvvat ajratiladi. Antennadan ketadigan to'la quvvat belgilangan yo'nalishda (cheklangan fazoviy burchakda) uzatilishi yoki izotrop, ya'ni barcha yo'nalishlarda bir tekis nurlanishi mumkin.

**Nutq polosasi**  
ingl: voice band  
rus: речевая полоса

Nutq uzatishni ta'minlaydigan chastotalar polosasi 3000 Hz (300 dan 3400 gacha) ga teng deb qabul qilingan.

**Polosa**  
ingl: bandwidth  
rus: полоса

Chastotaning ikki qo'shni qiymatlari o'rtasidagi o'zgarmas chastotalar diapazoni. Chastotalar polosasi deb ham ataladi. Optik-tolali kabelni tavsiflashda bu atamadan faqat ko'p modali tolalarning o'tkazish qobiliyatini aniqlashda foydalaniladi. Bir modali tolalar uchun "dispersiya" atamasi ishlatiladi.

**Polosa kengligi**  
ingl: bandwidth  
rus: ширина полосы

1. Yuqori va past chastota chegara kattaliklari orasidagi farq.
2. Aniq vaqt oralig'ida (odatda 1 sekund) uzatilishi mumkin bo'lgan ma'lumotlar hajmi. Raqamli qurilmalarda polosa kengligi odatda bit sekundda yoki bayt sekundda ifodalanadi. Analog qurilmalar uchun polosa kengligi davr sekundda yoki Gerslarda (Hz) ifodalanadi. Polosa kengligi, ayniqsa, kiritish-chiqarish qurilmalari uchun katta ahamiyatga ega.

**Polosa filtri**  
ingl: bandpass filter  
rus: полосовой фильтр

Qirqimning yuqori va nolinch bo'lmagan quyi chastotasi bilan cheklangan muayyan chastotalar polosasini o'tkazuvchi filtr. Berilgan polosadan tashqarida qolgan barcha chastotalar filtr tomonidan bostiriladi. Qirqimning quyi chastotasi nolinch, yuqori chastotasi esa oxirgi chastota bo'lsa, u holda bunday filtr quyi chastotalar filtri deyiladi. Qirqimning uzluksiz katta yuqori chastotasiga hamda quyi chegara bo'yicha cheklashga ega bo'lgan filtr yuqori chastotalar filtri deb ataladi.

**Radioaloqa**  
ingl: radio  
communication  
rus: радиосвязь

Radioto'lqinlar yordamida amalga oshiriladigan aloqa.

**Radiokanal**  
ingl: radio channel  
rus: радиоканал

Ma'lumotlar uzatish uchun radionurlanishdan foydalanadigan kanal. Radiokanal radiouzatkich va radio qabul qiluvchidan tarkib topadi. Axborot tarmoqlarida radiokanallar ikki maqsadda ishlatiladi. Birinchisi – abonent tizimni kabellar guruhi asosida qurilgan tarmoq bilan ulashdir. Bunga yer bo'ylab kabel tortish

iloji bo'lmasa yoki tizim bir joydan boshqasiga ko'chib yursa ehtiyoj tug'iladi. Ikkinchi maqsad – radiotarmoq yaratishdir.

### **Radionurlanish**

ingl: radio-frequency radiation

rus: радиоизлучение

Elektromagnit spektrda infraqizil nurlanishdan oldin joylashgan elektromagnit nurlanish. Tebranish chastotasi 3-30 kHz dan 300-6000 GHz gacha bo'lgan elektromagnit to'lqinlari radionurlanishga oiddir.

### **Radiorele liniyasi**

ingl: microwave radio

rus: радиорелейная линия

O'ta yuqori chastota diapazonida ishlaydigan radiokanal. Radiorele liniyasi 2, 7, 13, 15, 18, 23, 38 GHz chastotalarda ishlaydigan, o'tkazish polosasining kengligi 3,5-28 MHz bo'lgan, 50 km uzoqlik-kacha ma'lumotlarni uzata oladigan yerusti radiotarmoqning tarkibiy qismidir.

### **Radiostansiya**

ingl: radio station

rus: радиостанция

Bitta yoki bir necha uzatkich yoki qabul qiluvchilar, shu jumladan, uzatkich va qabul qiluvchilarning yordamchi uskunalari birikmasi. U belgilangan joyda radioaloqa xizmatini yoki radioastronomiya xizmatini bajarish uchun xizmat qiladi.

### **Radioto'lqin**

ingl: radio wave

rus: радиоволна

Shartli ravishda chastotasi 3000 GHz dan past deb qabul qilingan elektromagnit to'lqinlar. Ular fazoda sun'iy to'lqin o'tkazgichsiz belgilar, signallar, yozma matn, tasvir va tovushni uzatish yoki qabul qilish uchun tarqatiladi.

### **Radioto'lqinlar**

#### **difraksiyasi**

ingl: diffraction of radio waves

rus: дифракция радиоволн

Fazoviy tarqalish muhitining bir jinsli bo'lmaganligini ifodalovchi to'siqlar ta'siri ostidagi radioto'lqinlar maydoni strukturasi o'zgarishi bo'lib, ayrim hollarda bu to'siqlar radioto'lqinlarning og'ishiga olib keladi.



**Radiouzatkich avtogenatori**  
ingl: autogenerator of radio transmitter  
rus: автогенератор радиопередатчика

Soʻnmaydigan tebranishlarni avtonom ravishda vujudga keltiruvchi elektr tebranishlar generatori.

**Radiouzatkich quvvat kuchaytirgichi**  
ingl: power amplifier of radiotransmitter  
rus: усилитель мощности радиопередатчика

Tebranishlarning chiqish quvvati tebranishlar kirish quvvatidan katta, ikkala tebranishlar chastotalari esa teng boʻlgan, tashqi qoʻzgʻatiladigan generator.

**Radiouzatkichning zararli nurlanishlari**  
ingl: parasitic emission radio transmitter  
rus: паразитное излучение радиопередатчика

Radiouzatkich generatori va kuchaytirish kaskadlari orasidagi zararli bogʻlanishlar natijasida unda yuz beradigan oʻz-oʻzidan qoʻzgʻalishlarni yuzaga keltirib chiqaradigan ikkilamchi nurlatishlar.

**Radioxalaqit**  
ingl: radio interference  
rus: радиопомеха

Bir yoki bir necha nurlanishlardan hosil boʻlgan elektromagnit energiyasining radioaloqa tizimida qabulga taʼsiri. U axborot sifati yomonlashishida, xatolar paydo boʻlishida yoki axborot yoʻqolishida namoyon boʻladi.

**Radiochastota**  
ingl: radio frequency  
rus: радиочастота

qarang: radiotoʻlqin

**Radiochastota biriktirish**  
ingl: radio frequency assignment  
rus: радиочастотное присвоение

Radiochastota taqsimlovchi tashkilot tomonidan foydalanuvchiga maʼlum radiochastotadan foydalanishga ruxsat berish.

**Radiochastota spektri**  
ingl: radio frequency spectrum  
rus: радиочастотный спектр

**Radiochastota spektri monitoringi**  
ingl: monitoring of radiofrequency spectrum  
rus: мониторинг радиочастотного спектра

**Radioelektron vosita**  
ingl: radio electronic tool  
rus: радиоэлектронное средство

**Radioelektron qurilma**  
ingl: radio electronic device  
rus: радиоэлектронное устройство

**Raqam-analog o'zgartirish**  
ingl: digit-to-analog conversion (DAC)  
rus: цифро-аналоговое преобразование

Shartli ravishda qabul qilingan 3000 GHzdan past oraliqda joylashgan radiochastotalar majmui.

Tashkiliy-texnik tadbirlar majmui. U radiochastota spektri holatini nazorat qilish, undan foydalanishni baholash, radiochastota spektri to'g'risidagi qonunbuzarliklarni bartaraf etish uchun mo'ljallangan.

Radioto'lqinlar uzatishga va qabul qilishga mo'ljallangan bir yoki bir nechta radiouzatuvchi yoki qabul qiluvchi qurilmalar yoki ularning birikmasi va yordamchi uskunalardan iborat bo'lgan texnik vosita. Bu vosita uzatish va qabul qilish uchun mo'ljallangan, o'z ishida chastotasi 5 kHz dan yuqori bo'lgan elektromagnit tebranishlaridan foydalanadigan radiostansiyalar, radiotelefonlar, radionavigatsiya va radioaniqlash tizimlari, kabel teleko'rsatuvlari tizimi hamda boshqa vositalardan iborat.

Bir yoki bir necha radiouzatuvchi va (yoki) qabul qiluvchi vositalar hamda yordamchi uskunalardan tashkil topgan texnik qurilma.

Diskret signalni analog signalga aylantirish jarayoni. Aksariyat hollarda maxsus integral sxemalar yordamida amalga oshiriladi.

**Regenerator**  
ingl: regenerator  
rus: регенератор

Uzatish jarayonida qisman buzilgan raqamli signallarni dastlabki signalga aylantiruvchi qurilma.

**Sanoat radioxalaqiti**  
ingl: man-made  
interference  
rus: индустриальная  
радиопомеха

1. Radioto'lqinlarni uzatish uchun mo'ljallanmagan texnik vositalar tomonidan vujudga keladigan radiochastota spektri diapazonidagi elektromagnit nurlanishlar.  
2. Elektron yoki elektron qurilmalar nurlatadigan radioxalaqitlar. Eslatma, radiochastotalar diapazonidagi elektromagnit xalaqitlar radioxalaqitlar deb tushuniladi. Radiouzatkichlar yuqori chastota (YuCh) trakti hosil qilayotgan nurlanishlar radioxalaqitlarga kirmaydi.

**Signal**  
ingl: signal  
rus: сигнал

1. Ma'lumotlarni aks ettirish uchun ishlatiladigan fizikaviy kattalikning o'zgarishi.  
2. Parametrlari xabarni mos ravishda aks ettiruvchi, xohlagan fizikaviy jarayonni bildiruvchi moddiy axborot tashuvchisi. O'zining fizikaviy tabiatiga ko'ra signal elektr, akustik, optik, elektromagnit va boshqa bo'lishi mumkin.

**Signal bazasi**  
ingl: process gain  
rus: база сигнала

Signal spektri kengligining uning davomiyligiga ko'paytmasi.

**Siljish**  
ingl: offset  
rus: смещение

1. Parametrlar o'z nominal qiymatidan chetga chiqishi, masalan, taktli impuls-larning etalon vaqt shkalasiga nisbatan tasodifiy siljishi yoki chastotaning parazit siljishi.  
2. Signal barcha elementlarining, ularning joylashish tartibi o'zgarmagan hamda boshlang'ich chegarasi saqlangan holda bir vaqtda ko'chishi.

**Sinxron**

ingl: synchronous

rus: синхронный

Muntazam vaqt muddatlarida ro'y beruvchi. Sinxronning teskarisi asinxron. Kompyuterlar va qurilmalar orasidagi ko'pchilik aloqalar asinxron – ular xohlagan paytda va muntazam bo'lmagan muddatlarda ro'y berishi mumkin.

**Spektr**

ingl: spectrum

rus: спектр

Signal amplitudasi va fazasi o'zgarishi-ning chastotaga bog'liqligini tavsiflovchi hamda uning xossalari va xarakteristikalarini qat'iy belglovchi funksiya.

**Subgarmonikalardagi****radionurlanishlar**

ingl: subharmonical

emission

rus: радиоизлучение на

субгармонике

Asosiy radionurlatish chastotasidan butun son marta kichik chastotalardagi ikkilamchi radionurlatishlar.

**Takt**

ingl: clock tick

rus: такт

Sinxronlovchi signallar ketma-ketligi oralig'idagi davr. Takt davomiyligi shunday tanlanadiki, uning o'tib borishi davomida ko'rilayotgan obyektga kirish signali yuzaga chiqargan barcha o'tkinchi jarayonlar yakunlanib bo'ladi. Taktning boshi va oxirini aniqlaydigan impulslar taktlash impulslari deb ataladi. Taktlash impulsining mavjudlik vaqti taktlash davrining qismi bo'ladi. Bu impulslarni paydo bo'lish chastotasi taktlash chastotasi deb ataladi. Taktlash impulslarining mavjudligi evaziga tizim yoki tarmoq ishini sinxronlash amalga oshiriladi.

**Takt impulsi**

ingl: clock pulse

rus: тактовый импульс

Sinxronlash yoki vaqt bo'yicha muvofiqlashtirish uchun foydalaniladigan, davriy uzatiluvchi impuls.

**Taktlash chastotasi**  
ingl: clock rate  
rus: тактовая частота

Taktlash impulslarining paydo bo'lish chastotasi. Signallarning bir qiymatdan boshqasiga aktiv o'tishlari oralig'idagi vaqt bilan aniqlanadi. Chastota gerlarda o'lchanib, bir sekunddagi aktiv o'tishlar sonini anglatadi. Har bir aktiv o'tishdan so'ng passiv o'tish keladi va signal o'zining avvalgi qiymatini oladi. Impulslar takrorlanish chastotasi yuqori aniqlik bilan ushlab turiladi.

**Ta'sirchanlik**  
ingl: susceptibility  
rus: восприимчивость

Elektromagnit zaiflik yoki tashqi ta'sirlar sharoitida tizimning belgilangan sifat bilan ishlay olmasligi.

**Tayanch signallar generatori**  
ingl: reference generator  
rus: генератор опорных сигналов

Tizim ayrim elementlarining ishini sinxronlash uchun foydalaniladigan qurilma. Ishlab chiqariladigan impulslar doimiy takrorlanish chastotasiga, davomiylik va amplitudaga ega bo'ladi, ularning vaqt bo'yicha holati esa, yuqori aniqlikdagi vaqt shkalasiga bog'langan.

**Tayanch chastota generatori**  
ingl: reference oscillator  
rus: генератор опорной частоты

Ishchi chastotalar to'rini tuzishda asos sifatida foydalaniladigan tayanch tebranishlarni hosil qiluvchi generator. Amaliyotda, etalon chastotalar generatorining seziiyli, rubidiyli va kvarsli turlaridan foydalaniladi.

**Telekommunikatsiya vositalari**  
ingl: telecommunication means  
rus: средства телекоммуникации

Elektromagnit yoki optik signallarni hosil qilish, uzatish, qabul qilish, qayta ishlash, kommutatsiya qilish hamda ularni boshqarish imkonini beruvchi texnik qurilmalar, asbob-uskunalar, inshootlar va tizimlar.

**Telekommunikatsiyalar**  
ingl: telecommunications

1. Signallar, belgilar, matnlar, tasvirlar, tovushlar yoki axborotning boshqa

rus: телекоммуникации

turlarini o'tkazgichli, radio, optik yoki boshqa elektromagnit tizimlaridan foydalangan holda uzatish, qabul qilish, qayta ishlash.

2. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari asosida ma'lumotlarni masofadan uzatish jarayoni.

3. Predmeti axborot uzatish uslublari va vositalari bo'lgan faoliyat sohasi.

### **Texnik vositalar**

ingl: technical means

rus: технические средства

Elektrotexnika, radiotexnika, elektronika qonunlariga asoslangan mahsulotlar, apparaturalar yoki ularning funksional qismlari bo'lib, ular: kuchaytirish, generatsiyalash, xotirada saqlash, uzib-ulash, o'zgartirish vazifalaridan birini yoki bir nechtasini bajaruvchi elektron komponentlari va sxemalardan iborat bo'ladi. Texnik vosita radioelektron vosita (REV), hisoblash texnikasi vositasi (HTV), elektron avtomatika vositasi (EAV), elektrotexnik vosita shu bilan birga sanoat, ilmiy ishlarni bajarish va meditsina vositalari bo'lishi mumkin.

### **Texnik vositalar**

**elektromagnit moslashuvi**

ingl: electromagnetic compatibility technical device

rus: электромагнитная совместимость технических средств

Texnik vositaning berilgan elektromagnit muhitda o'z vazifasini talab darajasidagi sifat bilan bajara olish va shu bilan birga boshqa REVlarga ruxsat etilgan meyordan katta sathdagi xalaqitlarni yuzaga keltirmaslik qobiliyatini baholaydi.

### **Tovush**

ingl: sound

rus: звук

Muhitning tebranma harakati. Tabiatning har qanday hodisalari qatori asboblar, apparatlar, mashinalar, transport vositalari ham tovush manbai bo'lishi mumkin.

Tovushning alohida turlari sifatida nutq va musiqani keltirish mumkin. Inson 16 Hz dan 20 kHz gacha chastota oralig'idagi tovushlarni qabul qila oladi. Texnik qurilmalar esa ancha keng oraliqdagi tovushni, hatto ultratovush va gipertovushni ham qabul qila oladi.

### **Translyator**

ingl: translator

rus: транслятор

1. Signallarni bir shaklda qabul qilib (odatda aniq chastotatali analog shaklda), boshqa shaklda uzatadigan kommunikatsiya qurilmasi.

2. Axborotni bir tizimdan boshqa tizimdagi teng kuchli axborotga o'giruvchi qurilma.

3. Teleko'rsatuv va radioeshittirishlarda, bosh stansiyadan signalni qabul qilib, so'ng uni kuchaytirib uzatadigan stansiya.

4. Telefoniya uskunalarida, terilgan raqamlarni qo'ng'iroq uchun axborotga o'giruvchi qurilma.

### **Uzatish**

ingl: transmission

rus: передача

Axborotni aloqa kanali bo'ylab manbadan qabul qilgichga ko'chirish jarayoni.

### **Uzatish kanali**

ingl: transmission channel

rus: канал передачи

Texnik vositalar va tarqalish muhiti majmui. U aniq chastotalar kengligida yoki aniq tezlikda tarmoq stansiyalari, tarmoqlar tugunlari orasida yoki tarmoq stansiyasi yoki tarmoq tuguni va birlamchi tarmoqning chekka qurilmasi orasida telekommunikatsiyalar signallarini uzatishni ta'minlaydi. Telekommunikatsiyalar signallarini uzatish usullariga qarab, uzatish kanali analog yoki raqamli deb ataladi.

<p><b>Uzatish liniyasi</b>  ingl: transmission line  rus: линия передачи</p>	<p>Umumiy liniya inshootlari, ularga xizmat ko'rsatish qurilmalari va xizmat ko'rsatish qurilmalarining ishlash doirasida yagona tarqatish muhitiga ega bo'lgan uzatish tizimlarining liniya traktlari va/yoki namunaviy fizik zanjirlar majmui.</p>
<p><b>Uzatish sifati</b>  ingl: quality of transmission  rus: качество передачи</p>	<p>Uzatuvchi foydalanuvchidan qabul qiluvchi foydalanuvchiga kelayotgan telekommunikatsiya signalini qayta tiklash darajasi.</p>
<p><b>Uzatish tezligi</b>  ingl: rate  rus: скорость передачи</p>	<p>Aloqa sohasidagi ma'lumotlarni bitlar yoki baytlar bo'yicha uzatishda tizimning samaradorligini belgilovchi fundamental tushuncha.</p>
<p><b>O'tkazish qobiliyati</b>  ingl: capacity  rus: пропускная способность</p>	<p>Vaqt birligi ichida kanal yoki tizim orqali uzatilishi mumkin bo'lgan axborot birligining maksimal miqdorini belgilovchi ko'rsatkich. Kanalning o'tkazish qobiliyati fundamental nazariy tushuncha bo'lib, kanalning mavjud imkoniyatlarini belgilaydi.</p>
<p><b>Faza siljishi</b>  ingl: phase shift  rus: сдвиг по фазе</p>	<p>Chastotasi bir xil bo'lgan ikki signalning fazalari o'rtasidagi farq. Gradus, radianlarda yoki garmonik tebranish davrining ulushlarida o'lchanadi.</p>
<p><b>Filtr</b>  ingl: filter  rus: фильтр</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Filtrlashni bajarish uchun ishlatiladigan qurilma (sodda elektr sxema) yoki dastur. Filtr kirishdagi signallar yoki ma'lumotlar oqimini bir necha kerakli qismlarga bo'ladi.</li> <li>2. Ma'lumotlarni tanlab olish sharti. Filtr faqat berilgan shartlarga javob beruvchi ma'lumotlarni chiqarib beradi.</li> </ol>



**Filtrlash**

ingl: filtering

rus: фильтрация

Signallar yoki ma'lumotlarning umumiy oqimidan ularning kerakli mezonlarga ega bo'lganlarini ajratib qo'yish jarayoni. Filtrlash filtr yordamida amalga oshiriladi.

**Xalaqitlar uzatkichi**

ingl: interfering

transmitter

rus: передатчик помех

Foydali signallarni qabul qilish chas-totalar polosasida foydali signallarni buzish yoki butunlay bostirish maqsadida xalaqitlarni generatsiyalash uchun mo'ljallangan maxsus radiouzatkich.

**Xalqaro elektraloqa ittifoqi (XEI)**

ingl: International

telecommunications

union (ITU)

rus: Международный

союз электросвязи

(МСЭ)

Elektr aloqasidan foydalanish va uni rivojlantirish masalalari bilan shug'ullanuvchi xalqaro tashkilot. XEI Jeneva (Shvyetsariya)da joylashgan bo'lib, Birlashgan Millatlar Tashkiloti (BMT) tomonidan boshqariladi. XEI 1865 yilda tashkil topgan, 1932 yilgacha Xalqaro telegraf ittifoqi deb atalgan. XEI maqsadi barcha aloqa turlaridan mintaqaviy foydalanishda xalqaro hamkorlikni ta'minlash va kengaytirish, texnik vositalarini mukamallashtirish va ulardan samarali foydalanishdir. XEI, shuningdek, simsiz tarmoqlar uchun chastotalarni ro'yxatga olishga ham javobgardir.

**Chastota**

ingl: frequency

rus: частота

Vaqt birligi, masalan, bir sekund ichida davrlar yoki tugallangan o'zgarishlar soni. Umuman olganda chastota ma'lum vaqt birligida ma'lum hisobni bildiradi.

**Chastotani avtomatik sozlash**

ingl: automatic tuning of frequency

rus: автоматическая

подстройка частоты

Uzatkich chastotasining berilgan qiymatini ushlab turish yoki qabul qilgichni qabul qilinayotgan stansiya chastotasiga sozlashning avtomatik usuli.

**Shovqin**  
ingl: noise  
rus: шум

1. Liniyada signallarning butligiga xalal beruvchi to'siq. Shovqin turli manbalardan chiqishi mumkin, shu jumladan, radioto'lqinlar, yaqinda joylashgan elektr simlari, chiroqlar va sifatsiz ulanishlar. Optik tolali kabellarning metall kabellarga nisbatan afzalligi shundaki, ular shovqin ta'siriga kamroq moyildirlar.
2. Signalni yoki xabarni sof uzatishga to'sqinlik qiladigan hamma narsa.

**Shovqinsimon signal**  
ingl: spread spectrum  
signal  
rus: шумоподобный  
сигнал

Tanlangan chastota polosasida ko'p garmolik (sinussimon) tashkil etuvchilarni o'z ichiga olgan signal. Bunday signalardan foydalanish ma'lumotlar uzatishning shovqinga bardoshlilikini kuchaytiradi, radiokanallarni elektromagnit shovqinlardan va turli aralashuvlardan yaxshi muhofazani ta'minlaydi.

**Elektr aloqa**  
ingl: electrical  
communication  
rus: электрическая связь

Simli, radio, optik va boshqa elektromagnit tizimlar orqali belgilar, signallar, yozma matn, tasvirlar va tovushni har qanday uzatish va qabul qilish.

**Elektromagnit nurlanish**  
ingl: electromagnetic  
radiation  
rus: электромагнитное  
излучение

Fazoda elektromagnit to'lqinlarning nurlanish tarqalishi. Elektromagnit nurlanish fotonlardan (bu nurlanish elementar zarralaridan) tarkib topgan. U vaakumda ham, efirda ham yorug'lik tezligida tarqaladi.

**Elektromagnit to'lqin**  
ingl: electromagnetic  
wave  
rus: электромагнитная  
волна

Fazoda tarqaladigan elektromagnit tebranishlar. Radionurlanish, yorug'lik va boshqa turdagi elektromagnit tebranishlar chastotasi har xil bo'lgan elektromagnit to'lqinlardir. Ular elektromagnit spektrni tashkil qiladi.

**Elektromagnit xalaqit**  
ingl: electromagnetic  
disturbance  
rus: электромагнитная  
помеха

Texnik vositalarning ishlash sifatini yomonlashtiruvchi elektromagnit hodisa va jarayonlar.

**Elektromagnit xalaqitbardoshlik**  
ingl: electromagnetic  
mains immunity of  
rus: электромагнитная  
помехоустойчивость

Aloqa vositalarning ularga tashqi ko'rsatkich (parametr)lari qiymatlari meyorlashgan xalaqit ta'sir etganda ushbu aloqa vositasida xalaqitdan himoyalovchi qo'shimcha qurilma bo'lmaganda o'z ishlash sifatini saqlab qolish qobiliyatini bildiradi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **Pierre Baudin.** Wireless Transceiver Architecture. Bridging RF and Digital Communications, NJ: John Wiley & Sons, 2015.
2. **Anil K. Maini, Varsha Agrawal.** SATELLITE TECHNOLOGY PRINCIPLES AND APPLICATIONS. NJ: John Wiley & Sons, India, 2011.
3. **Jon B. Hagen.** Radio-Frequency Electronics. Circuits and Applications. Cambridge University Press, 2009.
4. **Abduazizov A.A., Davronbekov D.A.** Radiouzatish va radioqabul qilish qurilmalari. O'quv qo'llanma. – T.: Fan va texnologiyalar, 2011, 272 b.
5. **Abduazizov A.A., Faziljanov I.R., Yusupov Ya.T.** Signallarga raqamli ishlov berish. Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma. – T.: "Cho'lpon nomidagi NMIU", 2013, 160 b.
6. **Abduazizov A.A., Muxitdinov M.M., Gataulina A.R. va boshq.** Radioelektron vositalar elektromagnit moslashuvi. O'quv qo'llanma. – T.: "FAN", 2012. -352 b.
7. **Abduazizov A.A., Muxitdinov M.M., Yusupov Ya.T.** Radiotexnik zanjirlar va signallar. Darslik. – T.: "Sams-ASA", 2013, 480 b.
8. **Abduazizov A.A., Yusupov Ya.T.** Radiotexnik tizimlar. O'quv qo'llanma 1- va 2-qism. – T. "O'quv-ta'lim metodika" DUK, 2015, 296-264b.
9. **Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С.** Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики. – М.: Эко-трендз, 2005.
10. **Ворона В.А.** Радиопередающие устройства. Основы теории и расчета: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007.
11. **Головин О.В.** Радиоприемные устройства. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002.
12. **Иванов М.Т., Сергиенко А.Б., Ушаков В.Н.** Теоретические основы радиотехники. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2002.
13. **Каганов В.И.** «Радиотехника+компьютер+MathCAD». – М.: Горячая линия-Телеком, 2001.
14. **Каганов В.И.** Радиотехнические цепи и сигналы (компьютеризованный курс). – М.: Высшее образование, 2005.

15. **Котоусов А.С.** Торетические основы радиосистем радиосвязи, радиолокация, радионавигация. – М.: Радио и связь, 2002.
16. **Куприянов А.И.** Радиоэлектронная борьба. Основы теории. А.И. Куприянов, Л.Н. Шустов. – М.: Вузовская книга, 2011.
17. **Нефедов В.И.** Основы радиоэлектроники. Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 2000.
18. **Першин В.Т.** Основы радиоэлектроники и схематехники. – М.: Ростов на Дону, Феникс, 2006.
19. Проектирование радиопередатчиков: Учеб. пос. для вузов. / В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др. Под ред. В.В. Шахгильдяна. 4-е изд., переработ. и доп. – М.: Радио и связь, 2000.
20. **Прокс Дж.** Цифровая связь.– М: Радио и связь, 2000.
21. Радиопередающие устройства / Под ред. проф. В.В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 2006.
22. Радиопередающие устройства. Под ред. В.В. Шахгильдяна. 3-ое издание. – М.: Радио и связь, 2003.
23. Радиопередающие устройства: Учеб. для вузов / В.А. Шахгильдян, В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин и др.; Под ред. В.В. Шахгильдяна. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2003.
24. Радиоприемные устройства / Под ред. проф. Н.Н. Фомина. – М.: Радио и связь, 2008.
25. Радиосистемы передачи информации. Под ред. В.В. Кальмыкова. –М: Радио и связь, 2005.
26. **Рихтер С.Г.** Цифровое радиовещание. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004.
27. **Романюк В.А.** Основы радиосвязи. – М.: ЮРАЙТ, 2011.
28. **Сердюков П.Н., Бельчиков А.В., Дропов А.Е.** и др. Защищенные радиосистемы цифровой передачи информации. – М.: АСТ, 2006.
29. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. – М: Вилямс, 2003.
30. **Таджиев А.А.** Устройства генерирования формирования радиосигналов. Учебное пособие. – Т.: ТГТУ, 2008
31. **Tojiyev A.A.** Radiosignallarni uzatuvchi qurilmalar. O'quv qo'llanma. 1-qism. – Т.: TDTU, 2014.
32. **Tojiyev A.A.** Radiosignallarni uzatuvchi qurilmalar. O'quv qo'llanma. 2-qism. – Т.: TDTU, 2015.

33. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Под ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского. – М.: Эко-трендз, 2006.

34. Устройства генерирования и формирования радиосигналов. / Л.А. Белов, В.М. Богачев, М.В. Благовещенский и др. Под ред. Г.М. Уткина, В.Н. Кулешова и М.В. Благовещенского. – М.: Радио и связь, 1994.

35. Феер К. Беспроводная цифровая связь: методы модуляции и расширения спектра. –М: Радио и связь, 2000.

36. Харкевич А.А. Основы радиотехники. – М.: Физматгиз, 2007.

37. Радиочастота спектри, радиоэлектрон воситалар ва электромагнит мослашувига оид атамаларнинг русча-ўзбекча изохли луғати. «UNICON.UZ» ДУК директори А.Файзуллаевнинг умумий таҳрири остида. Тошкент, 2010.

38. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari izohli lug'ati. – Toshkent, 2010.

## MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1. RADIOUZATUVCHI QURILMALARNING VAZIFASI, TURLARI VA ASOSIY XARAKTERISTIKALARI.....	7
1.1. Radiouzatuvchi qurilmalar to'g'risida umumiy ma'lumotlar .....	7
1.2. Radiouzatuvchi qurilmalarning klassifikatsiyasi .....	8
1.3. Radiouzatuvchi qurilmalarning asosiy xarakteristikalari.....	10
1.4. Radiouzatuvchi qurilmalarning funksional sxemalari .....	12
1.5. Radiouzatuvchi qurilmalarga qo'yiladigan ba'zi asosiy talablar ...	14
<i>Nazorat savollari</i> .....	15
2. QUVVAT KUCHAYTIRGICHLAR, ULARDAGI AKTIV ELEMENTLARNING STATIK XARAKTERISTIKALARI VA ISH REJIMLARI .....	16
2.1. Quvvat kuchaytirgichlarning asosiy elementlari va parametrlari ...	16
2.2. Quvvat kuchaytirgichlarda aktiv elementlar.....	18
2.3. Chiqish toklarining garmonik tahlili .....	23
2.4. Aktiv elementning ish holatlari .....	26
2.5. Quvvat kuchaytirgichlardagi aktiv elementlarning ish holatini aniqlash.....	27
2.6. Quvvat kuchaytirgich uchun aktiv elementni tanlash.....	29
2.7. Kesish burchagi $\theta$ va manba kuchlanishini aniqlash.....	32
2.8. Kirish signali amplitudasini, siljish va manba kuchlanishini quvvat kuchaytirgichining ish holatiga ta'siri .....	34
2.9. Quvvat kuchaytirgichning yuklama xarakteristikalari.....	36
2.10. Quvvat kuchaytirgichdagi aktiv elementlarning umumiy ulanish elektrodini tanlash.....	39
2.11. Yuqori chastotalarda ishlovchi quvvat kuchaytirgichlarda bipolyar tranzistorlarni qo'llash .....	42
2.12. Quvvat kuchaytirgichlarda maydoniy tranzistorlarni ishlatish .....	44
<i>Nazorat savollari</i> .....	49
3. QUVVAT KUCHAYTIRGICHLARDA QUVVATLARNI QO'SHISH .....	50
3.1. Aktiv elementlarni parallel ulash .....	50
3.2. Aktiv elementlarning ikki taktli ulanishi .....	54
3.3. Aktiv elementlarning ko'priksimon ulanishi .....	59
3.4. Quvvatlarni fazoda qo'shish .....	69
<i>Nazorat savollari</i> .....	72

4. QUVVAT KUCHAYTIRGICHLARDA TA'MINOT, SILJITISH VA MOSLASHUV ZANJIRLARI.....	74
4.1. Ta'minot zanjirlari .....	74
4.2. Siljitish zanjirlari.....	76
4.3. Moslashuv zanjirlari.....	80
4.3.1. Moslashuv zanjirlariga bo'lgan talablar .....	80
4.3.2. Tor polosali quvvat kuchaytirgichlari moslashuv zanjirlari.....	82
4.3.3. Keng polosali quvvat kuchaytirgichlari moslashuv zanjirlari.....	84
4.3.4. Moslashuv zanjirlarida quvvatning sarf bo'lishi va foydali ish ko'effitsiyenti.....	86
<i>Nazorat savollari</i> .....	88
5. TASHQI TA'SIR OSTIDA ISHLOVCHI GENERATORLAR.....	89
5.1. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlar to'g'risida umumiy tushuncha.....	89
5.2. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generatorlarda quvvat muvozzanti.....	90
5.3. Foydali ish ko'effitsiyentini oshirish usullari .....	93
5.4. Tashqi ta'sir ostida ishlovchi generator sxemasini tuzish.....	95
<i>Nazorat savollari</i> .....	96
6. CHASTOTA KO'PAYTIRGICHLAR .....	98
6.1. Chastota ko'paytirgichlarning qo'llanilishi, klassifikatsiyasi va asosiy xarakteristikalari .....	98
6.2. Inersiyasiz to'rtqutblik chastota ko'paytirgichlar .....	100
6.3. Tranzistorli chastota ko'paytirgichlar.....	103
6.4. Varaktorli chastota ko'paytirgichlar.....	106
<i>Nazorat savollari</i> .....	110
7. KENG POLOSALI KUCHAYTIRGICHLAR.....	112
7.1. Keng polosali kuchaytirgichlar to'g'risida umumiy ma'lumot.....	112
7.2. Kengligi bir oktavadan kichik bo'lgan kuchaytirgichlar .....	113
7.3. Kuchaytirgichning chiqish qismi uchun korreksiya qiluvchi zanjirlar.....	116
<i>Nazorat savollari</i> .....	118
8. AVTOGENERATORLAR .....	119
8.1. Avtogeneratedorlar to'g'risida umumiy tushunchalar.....	119
8.2. Avtogeneratedor tenglamasi .....	121
8.3. Avtogeneratedor sxemalari .....	127
8.4. Avtogeneratedordagi aktiv elementning ish holati .....	129
8.5. Tranzistorli avtogeneratedor sxemalari.....	130
8.6. Avtogeneratedorning chastota turg'unligi.....	132
8.7. Avtogeneratedorning chastota turg'unligiga ta'sir qiluvchi omillar. 133	



<i>Nazorat savollari</i> .....	136
<b>9. KVARs REZONATORI ASOSIDA ISHLAYDIGAN AVTOGENERATORLAR</b> .....	137
9.1. Kvars rezonatorlarining xususiyatlari.....	137
9.2. Kvars rezonatorining parametrlari.....	139
9.3. Kvars rezonatorlarining ekvivalent sxemalari .....	140
9.3.1. Kvars rezonatorining ketma-ket va parallel rezonans chastotalari.....	141
9.3.2. Kvars rezonatorining kompleks qarshiligi.....	142
9.4. Kvars rezonatorlari induktiv qarshilik sifatida ishlatilgan avtogenerator sxemalari .....	144
9.5. Kvars rezonatorlari ketma-ket kontur sifatida ishlatilgan avtogenerator sxemalari .....	147
9.6. Gibrid va integral mikrosxemalarda yig' ilgan avtogeneratorlar va ularning vazifasi.....	152
<i>Nazorat savollari</i> .....	155
<b>10. MODULYATORLAR</b> .....	156
10.1. Modulyatsiya turlari.....	156
10.2. Amplituda modulyatorlari .....	158
10.2.1. Amplituda modulyatsiyasining xarakteristikalari va ko'rsatkichlari .....	158
10.3. Kollektor kuchlanishini o'zgartirib amplitudasi modulyatsiyalangan signallarni shakllantirish (kollektor modulyatsiyasi) .....	162
10.4. Siljish kuchlanishini o'zgartirib amplitudasi modulyatsiyalangan signallarni shakllantirish .....	168
10.5. Bir polosali amplituda modulyatori.....	170
10.6. Impulsli modulyatorlar.....	177
10.7. Burchak modulyatsiyasi .....	180
10.7.1. Burchak modulyatsiyasining turlari va asosiy xarakteristikalari .....	180
10.8. Chastota modulyatorlari .....	184
10.9. Faza modulyatorlari .....	189
<i>Nazorat savollari</i> .....	195
<b>11. RADIOUZATUVCHI QURILMALARNING TASHUVCHI SIGNAL GENERATORLARI VA CHASTOTA SINTEZATORLARI</b> .....	196
11.1. Qo'zg'atgich haqida ma'lumotlar .....	196
11.2. Chastota sintezatorlarining turlari va asosiy xarakteristikalari ...	197

11.3. Bevosita sintez usuliga asoslangan chastota sintezatorlari .....	199
11.4. Bilvosita usul asosida qurilgan chastota sintezatorlari .....	203
<i>Nazorat savollari</i> .....	209
<b>12. RAQAMLI CHASTOTA SINTEZATORLARI VA KVANT STANDARTLARI</b> .....	<b>210</b>
12.1. Raqamli chastota sintezatorlari .....	210
12.2. Chastota sintezatorlarda kvant standartlarini ishlatish.....	212
12.3. FAS tizimi asosidagi kvant standarti .....	214
12.4. Maxsus DDS mikrosxema asosida tog'ridan-t'og'ri sintez usuliga asoslangan raqamli chastota sintezatori .....	214
<i>Nazorat savollari</i> .....	219
<b>13. TURLI MAQSADLARGA MO'LVJALLANGAN RADIOUZATUVCHI QURILMALAR</b> .....	<b>221</b>
13.1. Asosiy tur radiouzatkichlarning qisqacha xarakteristikalari .....	221
13.2. Asosiy tur radioaloqa tizimlari radiouzatkichlarining funksional sxemalari.....	223
13.2.1. Radioeshittirish radiouzatkichlari.....	223
13.2.2. Professional radioaloqa radiouzatkichlari.....	225
13.2.3. Televizion uzatkichlar .....	226
13.2.4. Radioreleli aloqa tizimi uzatkichlari .....	229
13.2.5. Sotali aloqa tizimi radiouzatkichlari.....	232
13.2.6. Troposfera orqali aloqa tizimi uzatkichlari.....	234
13.2.7. Sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimi uzatkichlari.....	235
13.3. Radiouzatuvchi qurilmalarning rivojlanish istiqbollari .....	237
<i>Nazorat savollari</i> .....	240
<b>14. RADIOUZATUVCHI QURILMALARDA PARAZIT TO'LQINLAR</b> .....	<b>242</b>
14.1. Parazit to'qlinlarning kelib chiqish sabablari .....	242
14.2. Teskari aloqa hisobiga bo'ladigan parazit to'qlinlar .....	243
14.3. Avtogenerator sxemasida parazit to'qlinlarni yo'qotish usullari .....	246
<i>Nazorat savollari</i> .....	248
<b>15. OPTIK ALOQA LINIYALARI</b> .....	<b>249</b>
15.1. Optik aloqa liniyasi.....	249
15.2. Dielektrik svetovodlarning asosiy turlari .....	250
15.3. Bir va ko'p modali yorug'lik o'tkazgichlari.....	252
<i>Nazorat savollari</i> .....	255
<b>16. RADIOUZATISH QURILMALARIDA ELEKTROMAGNIT MOSLASHUV MUAMMOLARI</b> .....	<b>256</b>

16.1. Radioelektron vositalarda elektromagnit moslashuv muammosining kelib chiqish sabablari .....	256
16.2. RUQlarining asosiy va keraksiz to'liqin tarqatishlari.....	257
16.3. REV EMMni ta'minlashning asosiy yo'nalishlari.....	262
<i>Nazorat savollari</i> .....	265
GLOSSARIY .....	266
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	291

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ.....	7
1.1. Общие сведения о радиопередатчиков.....	7
1.2. Классификация радиопередатчиков.....	8
1.3. Основные характеристики радиопередатчиков.....	10
1.4. Функциональные схемы радиопередатчиков.....	12
1.5. Требования к радиопередатчиков.....	14
<i>Контрольные вопросы</i> .....	15
2. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	16
2.1. Основные элементы и параметры усилителей мощности.....	16
2.2. Активные элементы в усилителях мощности.....	18
2.3. Гармонический анализ выходных токов.....	23
2.4. Режимы работы активного элемента.....	26
2.5. Выбор режима активного элемента в усилителе мощности.....	27
2.6. Выбор активного элемента для усилителя мощности.....	29
2.7. Выбор угла отсечки и напряжения питания.....	32
2.8. Влияние амплитуды входного сигнала, напряжение питания и смещения на режим усилителя мощности.....	34
2.9. Нагрузочные характеристики усилителя мощности.....	36
2.10. Выбор общего электрода активного элемента в усилителе мощности.....	39
2.11. Биполярный транзистор в усилителе мощности.....	42
2.12. Полевые транзисторы в усилителе мощности.....	44
<i>Контрольные вопросы</i> .....	49
3. СЛОЖЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ В УСИЛИТЕЛЕ МОЩНОСТИ.....	50
3.1. Параллельное включение активных элементов.....	50
3.2. Двухтактное включение активных элементов.....	54
3.3. Мостовое включение активных элементов.....	59
3.4. Сложение мощностей в пространстве.....	69
<i>Контрольные вопросы</i> .....	72
4. ЦЕПИ ПИТАНИЯ, СМЩЕНИЯ И СОГЛАСОВАНИЯ В УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ.....	74

4.1. Цепи питания.....	74
4.2. Цепь смещения.....	76
4.3. Цепи согласования.....	80
4.3.1. Требования к цепям согласования.....	80
4.3.2. Согласующие цепи узкополосных усилителей мощности.....	82
4.3.3. Согласующие цепи широкополосных усилителей мощности.....	84
4.3.4. Потерь в цепях согласования и их КПД.....	86
<i>Контрольные вопросы</i> .....	88
<b>5. ГЕНЕРАТОРЫ С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ</b> .....	89
5.1. Общие сведения о генераторах с внешним возбуждением.....	89
5.2. Баланс мощности в генераторах с внешним возбуждением.....	90
5.3. Методы повышения коэффициента полезного действия	93
5.4. Составление схем генератора с внешним возбуждением.....	95
<i>Контрольные вопросы</i> .....	96
<b>6. УМНОЖИТЕЛИ ЧАСТОТЫ</b> .....	98
6.1. Назначение, классификация и основные характеристики умножителя частоты.....	98
6.2. Умножители частоты с безинерционным четырехполосником .....	100
6.3. Транзисторные умножители частоты.....	103
6.4. Варакторные умножители частоты.....	106
<i>Контрольные вопросы</i> .....	110
<b>7. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ</b> .....	112
7.1. Общие сведения о широкополосных усилителях.....	112
7.2. Усилители с полосой менее октавы.....	113
7.3. Корректирующие цепи выходных каскадов усилителей	116
<i>Контрольные вопросы</i> .....	118
<b>8. АВТОГЕНЕРАТОРЫ</b> .....	119
8.1. Общие сведения об автогенераторах.....	119
8.2. Уравнение автогенератора .....	121
8.3. Схемы автогенераторов.....	127
8.4. Режим активных элементов автогенератора.....	129
8.5. Схемы транзисторных автогенераторов.....	130
8.6. Стабильность частоты автогенераторов.....	132

8.7. Факторы, влияющие на стабильность частоты автогенераторов.....	133
<i>Контрольные вопросы</i> .....	136
<b>9. АВТОГЕНЕРАТОРЫ, РАБОТАЮЩИЕ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА.....</b>	<b>137</b>
9.1. Особенности кварцевого резонатора.....	137
9.2. Параметры кварцевого резонатора.....	139
9.3. Эквивалентные схемы кварцевого резонатора.....	140
9.3.1. Последовательные и параллельные резонансные частоты кварцевого резонатора.....	141
9.3.2. Комплексное сопротивление кварцевого резонатора...	142
9.4. Схемы автогенераторов, в которых кварцевый резонатор используется как индуктивное сопротивление....	144
9.5. Схемы автогенераторов, в которых кварцевый резонатор используется как последовательный контур .....	147
9.6. Гибридные и интегральные схемы автогенераторов и их назначение.....	152
<i>Контрольные вопросы</i> .....	155
<b>10. МОДУЛЯТОРЫ.....</b>	<b>156</b>
10.1. Методы модуляции.....	156
10.2. Амплитудные модуляторы.....	158
10.2.1. Показатели и характеристики амплитудной модуляции.....	158
10.3. АМ изменением напряжение питания (коллекторная модуляция) .....	162
10.4. АМ изменением напряжение смещения.....	168
10.5. Однополосная амплитудная модуляция.....	170
10.6. Импульсные модуляторы.....	177
10.7. Угловая модуляция.....	180
10.7.1. Виды угловой модуляции и их основные характеристики.....	180
10.8. Частотные модуляторы.....	184
10.9. Фазовые модуляторы.....	189
<i>Контрольные вопросы</i> .....	195
<b>11. ГЕНЕРАТОРЫ НЕСУЩИХ СИГНАЛОВ РЧДУ И СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТЫ .....</b>	<b>196</b>
11.1. Общие сведения о возбудителях.....	196
11.2. Виды и основные характеристики синтезаторов частоты.....	197

11.3. Синтезаторы частоты, основанный на метод прямого синтеза частот.....	199
11.4. Синтезаторы частоты, основанный на метод непрямого синтеза частот.....	203
<i>Контрольные вопросы</i> .....	209
<b>12. ЦИФРОВЫЕ СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТЫ И КВАНТОВЫЕ СТАНДАРТЫ</b> .....	210
12.1. Цифровые синтезаторы частоты.....	210
12.2. Квантовые стандарты в цифровых синтезаторах частоты.....	212
12.3. Квантовые стандарты на основе системы ФАП.....	214
12.4. Цифровые синтезаторы частоты с использованием микросхем DDS, основанный на метод прямого синтеза.....	214
<i>Контрольные вопросы</i> .....	219
<b>13. РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b> .....	221
13.1. Краткая характеристика основных типов радиопередатчиков.....	221
13.2. Функциональные схемы радиопередатчиков основных типов систем радиосвязи.....	223
13.2.1. Радиовещательные радиопередатчики.....	223
13.2.2. Радиопередатчики профессиональной радиосвязи....	225
13.2.3. Телевизионные радиопередатчики.....	226
13.2.4. Радиопередатчики радиорелейных систем связи.....	229
13.2.5. Радиопередатчики сотовых систем связи.....	232
13.2.6. Радиопередатчики тропосферных линий связи.....	234
13.2.7. Радиопередатчики спутниковых систем связи.....	235
13.3. Перспективы развития радиопередающих устройств... <i>Контрольные вопросы</i> .....	237 240
<b>14. ПАРАЗИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПЕРЕДАТЧИКАХ</b> .....	242
14.1. Причины возникновения паразитных колебаний.....	242
14.2. Паразитное возбуждение за счет обратной связи.....	243
14.3. Методы подавления паразитных колебаний в автогенераторах.....	246
<i>Контрольные вопросы</i> .....	248
<b>15. ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ</b> .....	249
15.1. Оптическая линия связи.....	249
15.2. Основные типы диэлектрических световодов.....	250
15.3. Одномодовые и многомодовые световоды.....	252

<i>Контрольные вопросы</i> .....	255
<b>16. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИО- ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ</b> .....	256
16.1. Причины появления проблемы ЭМС РЭС.....	256
16.2. Основные и нежелательные излучения радиопередающих устройств.....	257
16.3. Основные направления обеспечения электромагнитной совместимости РЭС.....	262
<i>Контрольные вопросы</i> .....	265
Глоссарий .....	266
Список литературы.....	291



## CONTENTS

Introduction.....	3
1. ASSIGNMENT, AREAS APPLICATION AND THE MAIN CHARACTERISTICS OF RADIO TRANSMITTER.....	7
1.1. The general convergence about of radio transmitters.....	7
1.2. Classification of radio transmitters.....	8
1.3. The main characteristics of radio transmitters.....	10
1.4. Function charts of radio transmitters.....	12
1.5. The requirement to radio transmitters.....	14
<i>Control questions</i> .....	15
2. POWER AMPLIFIERS, STATISTICAL CHARACTERISTICS AND OPERATION MODES OF ACTIVE ELEMENTS	16
2.1. Basic elements and parameters of power amplifiers .....	16
2.2. Active elements in power amplifiers .....	18
2.3. Harmonic analysis of output currents .....	23
2.4. Active element operation modes .....	26
2.5. Choice of a mode of an active element in the power amplifier	27
2.6. Choice of an active element for the power amplifier .....	29
2.7. Choice of a corner of a cut-off and supply voltage .....	32
2.8. Input amplitude influence, supply voltage and offsets on a power amplifier mode .....	34
2.9. Power amplifier load characteristics .....	36
2.10. Choice of the general electrode of an active element in the power amplifier .....	39
2.11. Bipolar transistor in the power amplifier .....	42
2.12. Field transistors in the power amplifier .....	44
<i>Control questions</i> .....	49
3. ADDITION OF CAPACITIES IN THE POWER AMPLIFIER	50
3.1. Parallel switching-on of active elements .....	50
3.2. Two-stroke switching-on of active elements .....	54
3.3. Bridge switching-on of active elements .....	59
3.4. Addition of capacities in space .....	69
<i>Control questions</i> .....	72
4. SUPPLY CIRCUITS, OFFSETS AND COORDINATION IN POWER AMPLIFIERS .....	74
4.1. Supply circuits .....	74
4.2. An offset circuit .....	76
4.3. Coordination circuits .....	80
4.3.1. Requirements to coordination circuits.....	80

4.3.2. Matching circuits of narrowband amplifiers of capacity ..	82
4.3.3. Matching circuits of wideband amplifiers of capacity .....	84
4.3.4. Losses in circuits of the coordination and their efficiency	86
<i>Control questions</i> .....	88
<b>5. SEPARATELY EXCITED GENERATORS</b> .....	89
5.1. General convergence on separately excited generators .....	89
5.2. Balance of capacity of separately excited generators .....	90
5.3. Methods increase of coefficient of useful action .....	93
5.4. Compilation of circuits of the separately excited generator..	95
<i>Control questions</i> .....	96
<b>6. FREQUENCY MULTIPLIERS</b> .....	98
6.1. Assignment, classification and the main characteristics of a frequency multiplier .....	98
6.2. Frequency multipliers without the inertial the two-terminal- pair network.....	100
6.3. Transistor frequency multipliers .....	103
6.4. Varactor frequency multipliers .....	106
<i>Control questions</i> .....	110
<b>7. WIDEBAND AMPLIFIERS</b> .....	112
7.1. General convergence on wideband amplifiers .....	112
7.2. Amplifiers with a band less an octave .....	113
7.3. Adjusting circuits of output cascades of amplifiers .....	116
<i>Control questions</i> .....	118
<b>8. AUTOGENERATOR</b> .....	119
8.1. General convergence on auto generators.....	119
8.2. Equation of auto generators.....	121
8.3. Circuits of auto generators.....	127
8.4. A mode of active elements of auto generators.....	129
8.5. Circuits of transistor auto generators.....	130
8.6. Frequency stability of auto generators.....	132
8.7. Factors influencing frequency stability of auto generators.....	133
<i>Control questions</i> .....	136
<b>9. AUTOGENERATOR WORKING ON THE BASIS OF THE QUARTZ RESONATOR</b> .....	137
9.1. Singularities of the quartz resonator .....	137
9.2. Parameters of the quartz resonator .....	139
9.3. Equivalent circuits of the quartz resonator .....	140
9.3.1. Serial and parallel resonance frequencies of the quartz resonator .....	141

9.3.2. Complex resistance of the quartz resonator .....	142
9.4. Circuits of auto generators in which the quartz resonator is used as the inductive resistance .....	144
9.5. Circuits of auto generators in which the quartz resonator is used as a serial circuit .....	147
9.6. Hybrid both integrated circuits of auto generators and their assignment.....	152
<i>Control questions</i> .....	155
<b>10. MODULATORS</b> .....	156
10.1. Modulation methods .....	156
10.2. Amplitude modulators .....	158
10.2.1. Indexes and amplitude shift keying characteristics .....	158
10.3. AM change supply voltage (collector modulation).....	162
10.4. AM change pressure of offset .....	168
10.5. Single-sideband amplitude shift keying .....	170
10.6. Impulse modulators .....	177
10.7. Angle modulation .....	180
10.7.1. Types of angle modulation and their main characteristics	180
10.8. Frequency modulators .....	184
10.9. Phase modulators .....	189
<i>Control questions</i> .....	195
<b>11. GENERATORS OF CARRIER SIGNALS RTD AND FREQUENCY SYNTHESIZERS</b> .....	196
11.1. General convergence on drivers .....	196
11.2. Types and the main characteristics of synthesizers are frequency .....	197
11.3. Frequency synthesizers, based on a method of direct synthesis of frequencies .....	199
11.4. Frequency synthesizers, based on a method of indirect synthesis of frequencies.....	203
<i>Control questions</i> .....	209
<b>12. DIGITAL FREQUENCY SYNTHESIZERS AND QUANTUM STANDARDS</b> .....	210
12.1. Numeral frequency synthesizers .....	210
12.2. Quantum standards in numeral frequency synthesizers.....	212
12.3. Quantum standards on the basis of system phase self-tuning of frequency.....	214
12.4. Numeral frequency synthesizers with usage of chips DDS, based on a method of direct synthesis .....	214

<i>Control questions</i> .....	219
<b>13. RADIO-TRANSMITTING DEVICES OF DIFFERENT FUNCTION</b> .....	221
13.1. Short characteristic of the main types of radio transmitters	221
13.2. Function charts of radio transmitters of the main types of systems of a radio service .....	223
13.2.1. Broadcast radio transmitters .....	223
13.2.2. Radio transmitters of a professional radio service .....	225
13.2.3. Television radio transmitters .....	226
13.2.4. Radio transmitters of radio relay systems of communication .....	229
13.2.5. Radio transmitters of cellular communication systems ...	232
13.2.6. Radio transmitters of troposphere communication lines ..	234
13.2.7. Radio transmitters of satellite communication systems ...	235
13.3. Perspectives of development of the radio-transmitting devices .....	237
<i>Control questions</i> .....	240
<b>14. SPURIOUS OSCILLATIONS IN TRANSMITTERS</b> .....	242
14.1. Reasons of origin of spurious oscillations .....	242
14.2. Stray excitation at the expense of back coupling .....	243
14.3. Methods of suppression of spurious oscillations in auto generators.....	246
<i>Control questions</i> .....	248
<b>15. COMMUNICATION OPTICAL LINES</b> .....	249
15.1. Communication optical line .....	249
15.2. Main types of dielectric light waveguides .....	250
15.3. Single-mode and multimode light waveguides .....	252
<i>Control questions</i> .....	255
<b>16. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF THE RADIO-TRANSMITTING DEVICES</b> .....	256
16.1. Reasons of appearance of a problem of EMC radio-electronic means.....	256
16.2. Cores and compromising emanations of the radio-transmitting devices.....	257
16.3. Main directions of support of electromagnetic compatibility radio-electronic means .....	262
<i>Control questions</i> .....	265
Glossary .....	266
The list of references.....	291

**ABDULAZIZ MO'MINOVICH NAZAROV  
ABDUKAYUM ABDULXAYEVICH TADJIYEV  
YARASHBEK TOXIRBAYEVICH YUSUPOV**

# **RADIOSIGNAL UZATUVCHI QURILMALAR**

**Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2017**

Muharrir:	F.Ismoilova
Tex. muharrir:	F.Tishaboyev
Musavvir:	D.Azizov
Musahhih:	N.Hasanova
Kompyuterda sahifalovchi:	Sh.Mirqosimova

**Nashr.lits. AIN№149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi: 24.10.2017.  
Bichimi 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Timez Uz» garniturası. Ofset bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog'i 19,0. Nashriyot bosma tabog'i 19,25.  
Tiraji 300. Buyurtma №175.**

**«Fan va texnologiyalar Markazining  
bosmaxonasi» da chop etildi.  
100066, Toshkent sh., Olmazor ko'chasi, 171-uy.**