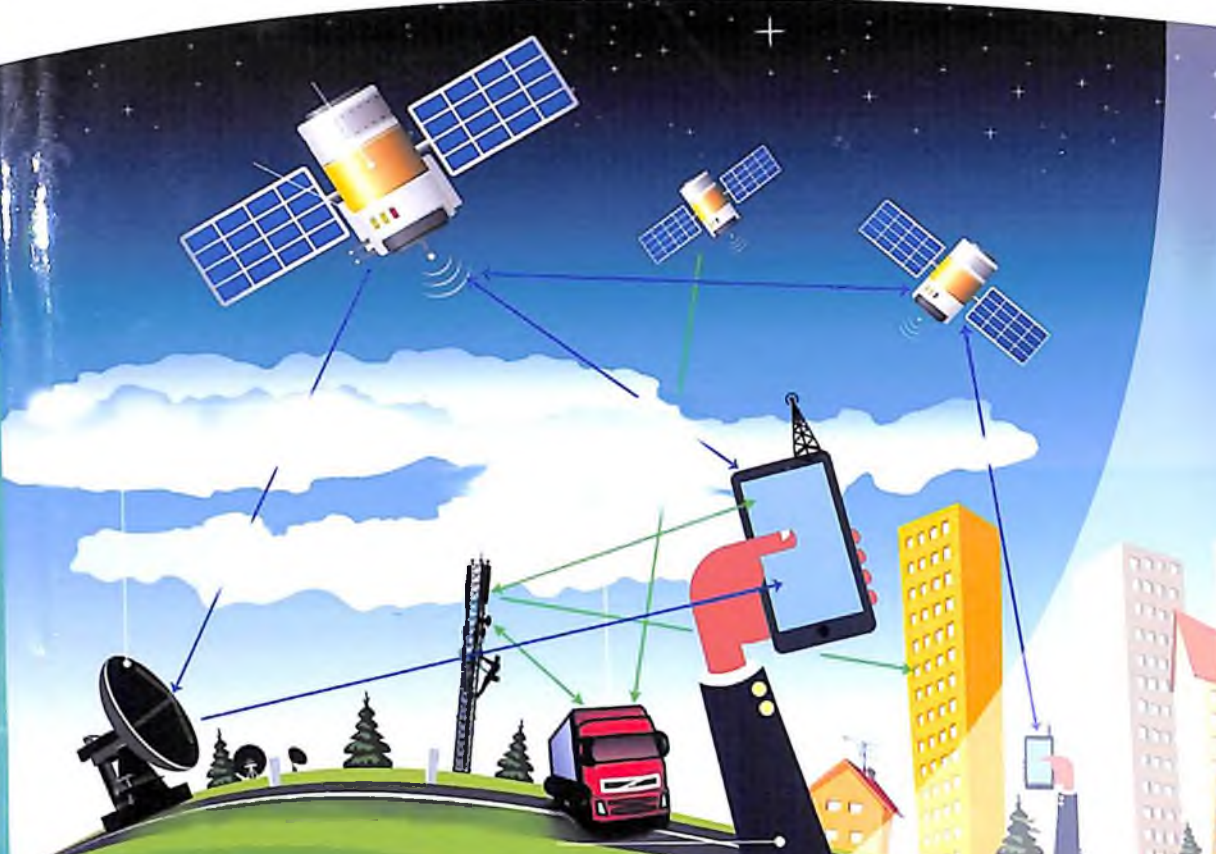


621.386.
M.66.



D.A. Davronbekov, Sh.U. Pulatov,
U.T. Aliyev, Yu.V. Pisetskiy

MOBIL ALOQA TIZIMLARINING UZATISH VA QABUL QILISH QURILMALARI



O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT TEXNOLOGIYALARI VA
KOMMUNIKATSIYALARNI RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

MUHAMMAD-AL XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

RADIO VA MOBIL ALOQA FAKULTETI

D.A. Davronbekov, Sh.U. Pulatov,
U.T. Aliyev, Yu.V. Pisetskiy

MOBIL ALOQA TIZIMLARINING UZATISH VA QABUL QILISH QURILMALARI

5350100 – Telekommunikatsiya texnologiyalari
(mobil tizimlar) ta’lim yo‘nalishi bo‘yicha
bakalavrlar uchun mo‘ljallangan o‘quv darsligi

Toshkent – 2020

UO'K: 621.396.218(075.8)

KBK: 32.884.1

M 66

D.A.Davronbekov, Sh.U. Pulatov, U.T.Aliev, Yu.V. Pisetskiy. Mobil aloqa tizimlarining uzatish va qabul qilish qurilmalari. (O'quv darsligi). – T.: «Aloqachi», 2020. – 210 bet.

ISBN 978–9943–5899–4–0

Darslik O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan "Mobil aloqa tizimlarining uzatish va qabul qilish qurilmalari" fanining dasturi asosida tayyorlangan va kirish, 16 ta bob, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat.

Darslik "Mobil aloqa tizimlarining uzatish va qabul qilish qurilmalari" fanini o'rganadigan talabalar uchun mo'ljallangan, shuningdek mobil radioaloqa sohasida ishlaydigan mutaxassislar uchun foydali bo'lishi mumkin.

UO'K: 621.396.218(075.8)

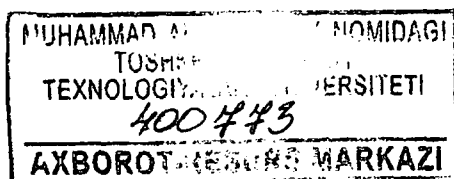
KBK: 32.884.1

Taqrizchilar:

A.Shaxobiddinov – «Teleradioeshittirish tizimlari

A.A.Yarmuxammedov – I.Karimov nomidagi TDTU, Radiotexnika qurilmalar va tizimlar kafedrası, t.f.n., dotsent.

ISBN 978–9943–5899–4–0



© «Aloqachi» nashriyoti, 2020.

MUNDARIJA

	KIRISH.....	7
1	KUCHAYTIRISH QURILMALARINING ASOSIY XARAKTERISTIKALARI.....	9
1.1	Kuchaytirgichlarning tavsifi va asosiy texnik ko'rsatkichlari	9
1.2.	Kuchaytirgichlarning ish rejimlari.....	12
1.3	D sinfdagi kuchaytirgichlarning o'ziga xos xususiyatlari.....	13
2	RADIOUZATISH QURILMALARINING UMUMIY XARAKTERISTIKALARI	18
2.1	Radioaloqani tashkil etish umumiy prinsipi.....	18
2.2	Radiouzatish qurilmalarining vazifasi	20
2.3	Radiouzatish qurilmalarining tasniflanishi.....	22
2.4	Radiouzatish qurilmalarining kaskadlari va qismlari.....	24
3	RADIOQABUL QILISH QURILMALARINING ASOSIY XARAKTERISTIKALARI.....	27
3.1	Radioqabul qilish qurilmalarining vazifasi va turlari.....	27
3.2	Radioqabul qilish qurilmalarining ko'rsatkichlari.....	30
4	SOFTWARE DEFINED RADIO DASTURIY RADIOSINING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI VA TUZILMASI. SDR QABUL QILISH-UZATISH QURILMALARI.....	36
4.1	Software Defined Radio texnologiyasining mazmun.....	36
4.2	SDR arxitekturasi afzalliklari	37
4.3	Mobil telefoniyada SDR arxitekturasi foydalanish	39
4.4	SDR sotali telefonining arxitekturasi.....	40
4.5	SDR arxitekturasi tizimlar uchun apparatlar platformalariga misollar.....	44
4.6	Software Define Radio tizimlarining kelajagi.....	48
5	ADAPTIV KO'P REJIMLI RADIOCHASTOTA ZANJIRLARI.....	51
5.1	Ko'p diapazonli abonentlar qurilmalari uchun kirish radiochastotalar (RCh) modullari.....	51
5.2	RCh funksional tugunlar va radiokomponentlar.....	54
5.3	Duplekserlar va duplekserlar.....	56
5.4	Polosaviy RCh filtrlar.....	57
5.5	Oraliq chastotalar filtrlari.....	58
6	RAQAMLI RADIOUZATKICHLAR AMPLITUDA, FAZA/CHASTOTA MODULYATORLARI.....	61
6.1	HOAT tizimlarida raqamli modulyatsiyalash.....	61

6.1.1	Asosiy atamalar va tavsiflar	61
6.1.2	Modulyatorlarning asosiy parametrlari.....	62
6.2	HOAT tizimlaridagi modulyatsiyalash turlari	62
7	CHIPLARDAGI TIZIMLARNING PASSIV RADIOCHASTOTAVIY ZANJIRLARDA QO‘LLANISHI.....	70
7.1	Mobil protsessorlarni umumiy tashkil etish.....	70
7.1.1	Protsessorning xarakteristikalar.....	70
7.2	Grafik tezlashtirgichlar	72
7.3	Turli OTlardagi protsessorlarning o‘ziga xos xususiyatlari.....	73
7.4	Protsessorlarni ishlab chiqaruvchilar.....	74
7.5	ARM kompaniyasining mikroprotsessorlar tizimlari.....	75
7.6	Mali grafik tezlashtirgichlari.....	80
8	SDR ANALOG-RAQAMLI VA RAQAMLI-ANALOG O‘ZGARTIRISH.....	83
8.1	Analog-raqamli o‘zgartirish.....	83
8.2	Analog-raqamli o‘zgartirish xarakteristikalar.....	84
9	MULTISTANDART ALOQA UCHUN OFDM QABUL QILGICHLARI.....	102
9.1	OFDMning tavsifi	102
9.2	Fur’e teskari tez o‘zgartirishi algoritmidan foydalaniladigan OFDM- modulyator.....	105
9.3	Fur’e tez o‘zgartirishi algoritmidan foydalaniladigan OFDM- modulyator.....	105
9.4	OFDM signallar qabul qilgichi va uzatkichi.....	107
10	RADIOSIGNALLARGA RAQAMLI ISHLOV BERISH.....	110
10.1	Analog signallarga raqamli ishlov berish umumlashtirilgan sxemasi..	110
10.2	Signallarga raqamli ishlov berishni amalga oshirish usullari.....	112
10.3	Raqamli signallar protsessorlarining o‘ziga xos xususiyatlari.....	114
11	KUCHLANISH BILAN BOSHQARILADIGAN GENERATORLARDA QO‘LLANADIGAN SUBDISKRETLASHTIRISHLI ANALOG-RAQAMLI O‘ZGARTIRGICHLAR.....	121
11.1	Subdiskretlashtirishning tavsifi.....	121
11.2	Parallel analog-raqamli o‘zgartirgich (flash ADC).....	123
12	O‘ZGARTIRILADIGAN KONFIGURATSIYALI SIMSIZ MOBIL TERMINALLAR RADIOQABUL QILISH QURILMALARINING TUGUNLARI	126
12.1	Harakatdagi aloqa qurilmalari uchun signallar aralashtirgichlari va o‘zgartirgichlari.....	126

12.2	Aralashtirgichlarning turlari.....	128
12.3	Diodli aralashtirgichlar	130
12.4	Bipolyar tranzistorlardagi nobalans aralashtirgichlar.....	134
12.5	Maydoniy tranzistorlardagi aralashtirgichlar	136
13	RADIOQABUL QILISH QURILMALARINING RAQAMLI CHIZIQLASHTIRISH BLOKLARI.....	143
13.1	Yuqori chastotali quvvat kuchaytirgichlarini chiziq lashtirish usullarining tasniflanishi.....	143
13.2	A sinf – dinamik siljitishli usul.....	144
13.3	To‘g‘ri kalit bilan chiziq lashtirish usuli.....	144
13.4	LINC (nochiziqli komponentlarning chiziqli kuchaytirishi) usuli.....	145
13.5	CALLUM usuli (teskari aloqa analog halqasili universal modulyator).....	146
13.6	LIST usuli (semlirlash usulida chiziqli kuchaytirish).....	147
13.7	DSP dan foydalaniladigan past chastotali oldindan buzilish.....	148
13.8	Teskari aloqa karteziyan halqasili chiziq lashtirish tizimlari.....	150
14	KEYINGI AVLOD SIMSIZ ALOQA TIZIMLARIDA CHIZIQLILIK VA SAMARADORLIKNI OSHIRISH.....	153
14.1	Qabul qilish qurilmalarida signallarning buzilishi.....	153
14.2	Kuchaytirish traktlarining chiziq liligini oshirish	153
14.3	Chiziqli manfiy teskari aloqa	155
14.4	Kuchaytirish traktlarini chiziq lashtirish tuzilmaviy usuli	159
15	MOBIL ALOQA TIZIMLARINING MAYDONIY TRANZISTORLAR ASOSIDAGI RADIOCHASTOTAVIY QUVVAT KUCHAYTIRGICHLARI.....	162
15.1	RCh va ta‘minot bo‘yicha QKning impulsli ishlash rejimi.....	162
15.2	HOAT qurilmalari QK larining asosiy ishlash rejimlari.....	163
15.3	HOAT RCh bloklari quvvat kuchaytirgichlarining parametrlari.....	164
15.4	Chiqish quvvatini boshqarish va QKni kommutatsiyalash.....	167
15.5	PAM quvvat kuchaytirgichlari modullari.....	170
15.6	Ko‘p chastotali quvvat kuchaytirgichlari.....	174
15.7	BS quvvatini kuchaytirish bloki.....	175
16	ISTIQBOLLI RADIOTIZIMLAR RADIOSIGNALLARIDA BUZILISHLARNI KAMAYTIRISH USULLARI. KOGNITIV RADIO TIZIMLARI.....	178
16.1	Aloqa tizimlarida asosiy halaqitlar va buzilishlar turlari.....	178
16.2	Aloqa liniyalarida signallarning buzilishi.....	179
16.3	Raqamli filtrlar.....	182
16.4	Filtrlarning ulanishi.....	184

16.5	Kognitiv radio tizimi.....	188
	ATAMALAR RO'YXATI.....	198
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	209

KIRISH

O‘zbekiston Respublikasida zamonaviy axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarini rivojlantirish, elektron hukumat xizmatlarini ko‘rsatish yaxlit tizimini yaratish, davlat organlarining aholi bilan muloqot qilish yangi mexanizmlarini joriy etish bo‘yicha izchil ishlar olib borilmoqda.

Aholini va tadbirkorlarni qiziqtiradigan va dolzarb masalalarni kompleks o‘rganish, amaldagi qonunchilik, huquqni muhofaza qilish amaliyoti va ilg‘or horij tajribasini tahlil qilish, shuningdek keng jamoatchilik muhokamasi yakunlari bo‘yicha “2017 – 2021 yillarda O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo‘nalishlari bo‘yicha harakatlar dasturi” tasdiqlandi [1].

Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalar sohasida boshqarish tizimlarini keyingi takomillashtirish, elektron davlat xizmatlari va telekommunikatsiyalar xizmatlarining spektrini kengaytirish telekommunikatsion infratuzilmani rivojlantirish maqsadlarida O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yilning 19 fevralidagi “Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalar sohasini keyingi rivojlantirish choralari to‘g‘risida” 5349-PQ Qarori qabul qilindi [2].

Bu Qarorda axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarni rivojlantirish va qo‘llanishi sohasida yagona davlat siyosati va munosabatlarni rostdashni ishlab chiqish va amalga oshirish, elektron hukumatni joriy etish faoliyatini muvofiqlashtirish, axborot jamiyati va raqamli iqtisodni shakllantirish, “so‘nggi millar” prinsipi bo‘yicha Internetga keng polosali ulanish, multiservisli aloqa tarmoqlari texnologiyalari, mobil aloqa bozori, boshqa zamonaviy telekommunikatsion xizmatlarni kengaytirish yo‘li bilan telekommunikatsion infratuzilmani, shuningdek logistika va pochta aloqasi xizmatlarini rivojlantirish va modernizatsiyalash, ilmiy tadqiqotlar va ishlanmalarni tashkil etish, yetakchi horijiy kompaniyalar va ta‘lim muassasalarining eng yaxshi amaliyoti asosida axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasida kadrlarni tayyorlash, qayta tayyorlash va malakasini oshirish masalalariga katta e‘tibor berilgan.

Radioaloqa tuzilmasiga kiradigan elementlar istalgan murakkab radioaloqa tizimiga tegishli elementlar hisoblanadi. Ulardan istalganisiz radioaloqa mumkin bo‘lmaydi. Shuning uchun mazkur darslik kuchaytirish, radioqabul qilish va uzatish qurilmalarining umumiy xarakteristikalari, raqamli radioqabul qilish va uzatish qurilmalarining ishlash prinsiplarini o‘rganishga bag‘ishlangan. Shuningdek darslikda Software Defined Radio dasturiy radioning o‘ziga xos xususiyatlari va tuzilmasi, multistandart aloqa uchun OFDM qabul qilgichlar, konfiguratsiyasi o‘zgartiriladigan simsiz mobil terminallar radioqabul qilish qurilmalari, istiqbolli radiotizimlar radiosignallaridagi buzilishlarni kamaytirish

usullari, kognitiv radioning kichik quvvatli protsessorlari va boshqalar ko'rib chiqiladi.

Darslik 16 ta boblar, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va atamalar ro'yxatidan tashkil topgan.

Darslik 5350100 – Telekommunikatsiya (Mobil tizimlar) mutaxassisligi bo'yicha ta'lim oladigan talablar uchun mo'ljallangan, shuningdek mobil radioaloqa sohasida shug'ullanadigan muhandis-texnik xodimlar uchun foydali bo'lishi mumkin.

1- BOB. KUCHAYTIRISH QURILMALARINING ASOSIY XARAKTERISTIKALARI

1.1. Kuchaytirgichlarning asosiy texnik ko'rsatkichlari

Kichik quvvatli o'zgaruvchan signalning parametrlarini buzmasdan, o'zgarimas kuchlanish manbaining quvvati hisobiga kuchaytirib beruvchi qurilmaga elektron kuchaytirgich deyiladi. Quvvatni kuchaytirish samarasi qurilmada energiyasi chiqishda oshirilgan quvvatni hosil qilish uchun ishlatiladigan qandaydir tashqi manba bo'lganida mumkin bo'ladi. Energiyasi kuchaytirgichda kuchaytirilgan signallar energiyasiga o'zgartiriladigan bu manba ta'minot manbai deyiladi.

Ta'minot manbaining energiyasi kuchaytirish yoki aktiv elementlar yordamida foydali signal energiyasiga o'zgartiriladi. Kuchaytirilgan signallar iste'molchisi hisoblanadigan qurilma kuchaytirgichning yuklamasi deyiladi, yuklama ulangan kuchaytirgichning zanjiri esa chiqish zanjiri yoki kuchaytirgichning chiqishi deyiladi. Kuchaytirilishi kerak bo'lgan kirish signali manbai signal manbai yoki generator deyiladi, kirish signali kiritiladigan kuchaytirgichning zanjiri esa kirish zanjiri yoki kuchaytirgichning kirishi deyiladi.

Kuchaytirgichlarning eng muhim texnik ko'rsatkichlariga quyidagilar kiradi:

-kuchaytirish koeffitsiyenti (tok bo'yicha, kuchlanish bo'yicha, quvvat bo'yicha):

- kirish va chiqish qarshiligi;
- chiqish quvvati;
- foydali ish koeffitsiyenti;
- nominal kirish kuchlanishi (sezgirlik);
- chastota bo'yicha kuchaytirish oralig'i;
- amplituda bo'yicha dinamik diapazon;
- signal shaklini buzilishi;
- chastota, faza va noxiziqli buzilishlar.

Kuchaytirish koeffitsiyenti – chiqishdagi signal amplitudasini kirishdagi signal amplitudasiga nisbatan necha barobar ortganini ko'rsatadi. Ularga quyidagi kuchaytirish koeffitsientlari kiradi:

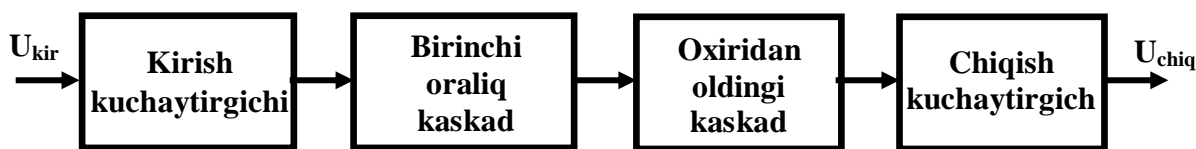
- kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti: $K_u = U_{chiq} / U_{kir}$;
- tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti: $K_i = I_{chiq} / I_{kir}$;
- quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti: $K_r = R_{chiq} / R_{kir}$;

bu yerda U_{kir} , I_{kir} , U_{chiq} , I_{chiq} – kuchaytirgichning kirishi va chiqishidagi kuchlanishi va toklarning amplituda qiymatlari.

$P_{kir} = U_{kir} I_{kir}$ va $P_{chiq} = U_{chiq} I_{chiq}$ ekanligi sababli, quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $K_p = K_u K_i$ bo'ladi.

Kuchaytirish koeffitsiyentining qiymati turli kuchlanish kuchaytirgichlarida o'nlab va yuzlab tartiblardagi qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Lekin bu ham kuchaytirgichning chiqishida talab qilinadigan quvvatni olish uchun yetarli bo'lmaydi. U holda qator kuchaytirish kaskadlari ketma-ket (kaskadli) ulanadi (1.1-rasm). Ko'p kaskadli kuchaytirgichlar uchun umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti alohida kaskadlar kuchaytirish koeffitsientlarining ko'paytmasiga teng. Bir necha kuchaytirish kaskadlari ketma-ket ulanganida ularning kuchaytirish koeffitsientlarining ko'paytmasi tizimning umumiy kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlaydi:

$$K_{umum} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad (1.1)$$



1.1-rasm. Ko'p kaskadli kuchaytirgichning tuzilish sxemasi

(1.1) formula bo'yicha hisoblangan kuchaytirish koeffitsiyenti o'lchamsiz birlikka ega. Zamonaviy kuchaytirish sxemalarida o'lchamsiz birlikda ifodalangan kuchaytirish koeffitsiyenti yetarlicha katta songa teng olinadi, elektronkada kuchaytirish xossalarini logarifmik birliklar - detsibellarda (dB) ifodalash usuli qabul qilingan. Quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti detsibellarda quyidagicha bo'ladi:

$$K_p [dB] = 10 \lg (P_{chiq}/P_{kir}) = 10 \lg K_p \quad (1.2)$$

Quvvat tok yoki kuchlanishning kvadratiga proporsional, u holda tok va kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini mos ravishda quyidagicha yozish mumkin:

$$K_I [dB] = 20 \lg (I_{chiq}/I_{kir}) = 20 \lg K_I,$$

$$K_U [dB] = 20 \lg (U_{chiq}/U_{kir}) = 20 \lg K_U.$$

Detsibeldan o'lchamsiz kattalikka o'tish quyidagi ifoda orqali amalga oshiriladi:

$$K_m = 10^{K[dB]/N},$$

bu yerda $N=10$ quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblashda va $N=20$ tok va kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblashda olinadi.

Kuchaytirish koeffitsientlarini logarifmik berilishidan keng foydalanish kuchaytirgichlar qo'llanadigan ko'plab yo'nalishlar insonning sezgilariga ta'sir etadigan texnikaga bog'liq bo'lishi ham sabab bo'ladi. Insonning qabul qilishi esa logarifmik bog'liqliklar orqali tavsiflanadi. Masalan, ovoz signalining balandligi insonning sezgilari bo'yicha uning quvvati 10 martaga oshganida 2 martaga oshadi.

Agar $K_u = 1$ dB olinsa, u holda kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlashda quyidagicha bo'ladi:

$$K_u = 10^{K[dB]/20} = 10^{1/20} = 1,12 \quad (1.5)$$

Demak, agar kuchaytirgichning chiqishidagi kuchlanish kirishdagi kuchlanishdan 1,12 martaga (12% ga) katta bo'lsa, kuchaytirish bir detsibelga teng bo'ladi.

Logarifmik baholash o'lchami ko'p kaskadli kuchaytirgichlarni tahlil qilishda qulay. Logarifmik birliklarga o'tishda ko'p kaskadli kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti (1.2) formuladan farqli ravishda alohida kaskadlar kuchaytirish koeffitsientlarining yig'indisi orqali aniqlanadi, ya'ni:

$$K_{umum} [dB] = K_1 [dB] + K_2 [dB] + \dots + K_n [dB] \quad (1.6)$$

Kuchlanish va tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsientlari kompleks kattaliklar hisoblanadi, buni kuchaytiriladigan signaldagi fazaviy surilishlarning bo'lishi aks ettiradi. Masalan, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\bar{K} = \frac{U_{chik} \cdot e^{j\varphi_{chik}}}{U_{kir} \cdot e^{j\varphi_{kir}}} = \frac{U_{chik}}{U_{kir}} \cdot e^{j(\varphi_{chik} - \varphi_{kir})} \quad (1.7)$$

yoki

$$\bar{K} = K_m e^{j\varphi}, \quad (1.8)$$

bu yerda $K_m = (U_{chik} / U_{kir})$ – kuchaytirish koeffitsiyentining moduli;

$\varphi = (\varphi_{chik} - \varphi_{kir})$ – kirish va chiqish kuchlanishlari orasidagi fazalarning surilishi burchagi.

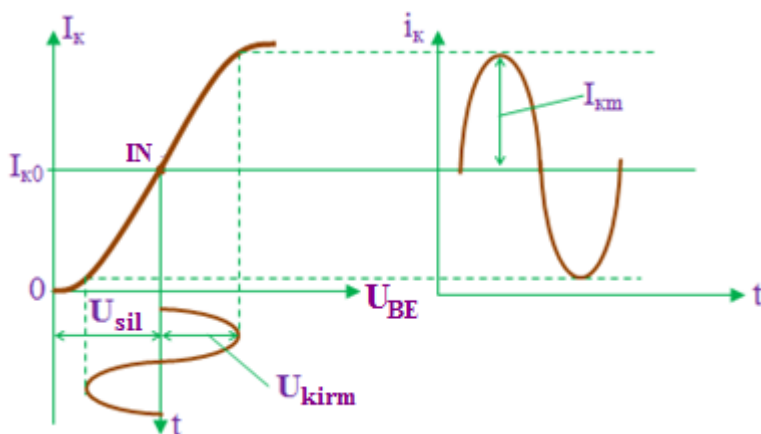
Odatda, kuchaytirish koeffitsiyenti qaralayotganda uning moduli nazarda tutiladi. Fazaviy surilish (kuchaytirish koeffitsiyentining argumenti) alohida tahlil

qilinadi. Ham modul, ham fazaning qiymatlari ham kuchaytirish sxemasi parametrlarining qiymatlariga, ham kuchaytiriladigan signalning chastotasiga bogʻliq boʻladi. Ularni tavsiflash uchun amplitudaviy-chastotaviy va fazaviy-chastotaviy xarakteristikalar deyiladigan xarakteristikalar ishlatiladi.

1.2. Kuchaytirgichlarning ish rejimlari

Oʻtish xarakteristikasida dastlabki ishchi nuqtani tanlashga bogʻliq ravishda ish rejimlar A, B, AB, C va D rejimlar boʻlishi mumkin.

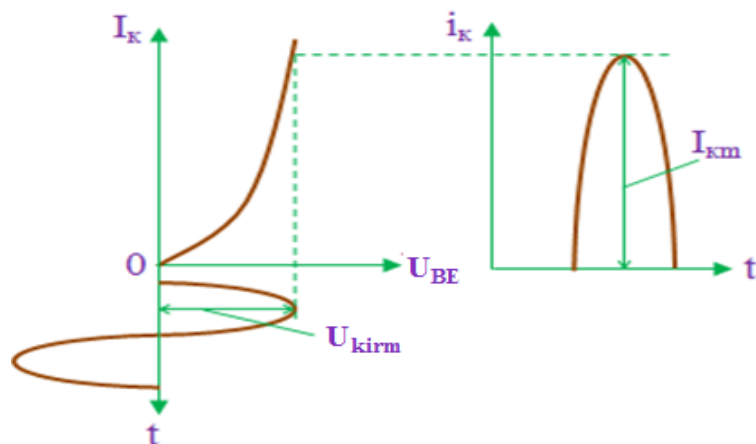
A rejim. Bunda signal boʻlmaganida sxemaning holatini aniqlaydigan va I_{k0} osoyishtalik toki deyiladigan IN dastlabki ishchi nuqta xarakteristika chiziqi qismining taxminan oʻrtasida joylashadi (1.2- rasm). Bu rejimda U_{sil} siljitish kuchlanishi U_{kirm} kirish kuchlanishidan doimo katta, yaʼni $U_{sil} > U_{kirm}$ boʻladi, kollektor tokining oʻzgarmas tashkil etuvchisi esa oʻzgaruvchan tashkil etuvchidan katta boʻladi yoki taxminan unga teng, yaʼni $I_{k0} \geq I_{km}$ boʻladi. Sinusoidal kirish signaliga sinusoidal chiqish toki mos keladi, nochiziqli buzilishlar minimal, lekin kaskadning foydali ish koeffitsiyenti atigi 20-30% ni tashkil etadi.



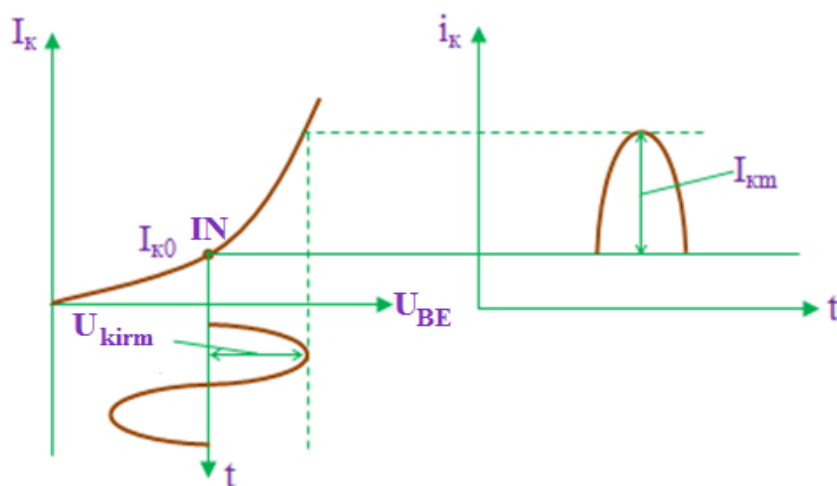
1.2- rasm. Kuchaytirish kaskadining A ish rejimi

B ish rejimi. Bu rejimda dastlabki ishchi nuqta koordinatalar boshi bilan mos tushadi, yaʼni osoyishtalik toki $I_{k0}=0$ boʻladi. Kirishga sinusoidal signal berilganida chiqish zanjiridagi tok davrning yarmi davomida oqib oʻtadi va $\theta=\pi/2$ kesish burchagili impulslar shakliga ega boʻladi. B rejimda ishlaydigan kaskadning foydali ish koeffitsiyenti 60–70%. Lekin chiqish signalining shakli oʻtish xarakteristikasining nochiziqli oraligʻi tufayli buziladi (1.3- rasm).

AB rejim oraliq holatni egallaydi (1.4- rasm). Bu rejimda kesish burchagi dastlabki IN ishchi nuqtani I_{k0} osoyishtalik toki yordamida noldan uzatish xarakteristikasining chiziqi oraligʻi boshlanishiga surish hisobiga birmuncha katta boʻladi.



1.3- rasm. Kuchaytirish kaskadining *V* ish rejimi



1.4- rasm. Kuchaytirish kaskadining *AB* ish rejimi

C ish rejimi. Bunda i_k tok kirish signali davrining yarmidan kam vaqt oralig‘i davomida, $\theta < \pi/2$ da oqib o‘tadi. Osoyishtalik toki nolga teng bo‘ladi. Bu rejim yuklamasi tebranish konturi bo‘lgan tanlovchan kuchaytirgichlarda ishlatiladi.

D rejimi. Bu kalit rejimi bo‘lib, bunda tranzistor faqat ikki holatda to‘liq ochiq (to‘yinish rejimi) yoki to‘liq yopiq (kesish rejimi) bo‘lishi mumkin. *D* rejimning afzalligi yuqori foydali ish ko‘effitsiyentidan, kamchiligi esa kuchaytirish sxemasining murakkabligidan iborat.

1.3. *D* sinfdagi kuchaytirgichlarning o‘ziga xos xususiyatlari

So‘nggi yillarda *D* sinfdagi kuchaytirgichlar keng qo‘llanilmoqda. Ular yana impulsli kuchaytirgichlar deyiladi. Bunday kuchaytirgichda ovoz signali keng impulsli modulyatsiyalash (KIM) natijasida turli kengliklardagi impulslar ketma-ketligiga o‘zgartiriladi. Impuslarning takrorlanish chastotasi odatda 300-500 kGts chegaralarda olinadi, bu butun audio diapazon uchun optimal hisoblanadi. Agar kuchaytirgich sabvufer kuchaytirgichi va faqat 100-200 Gts gacha diapazonni

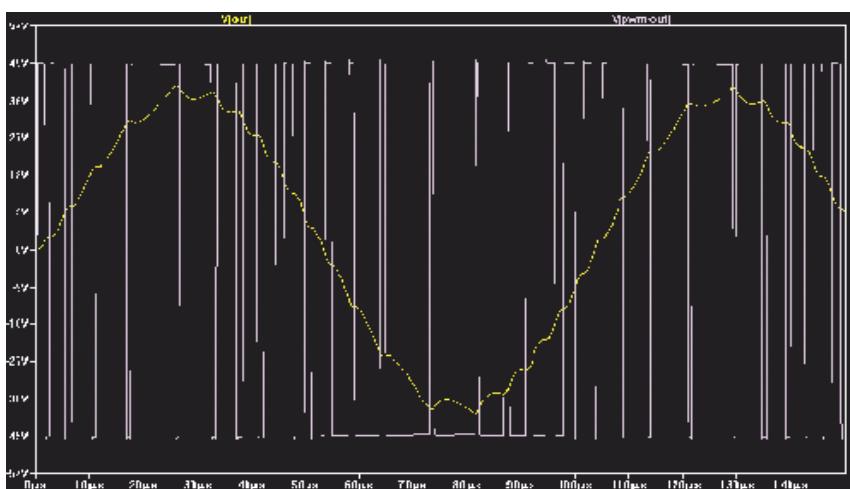
kuchaytirishi kerak bo'lsa, u holda qayta ulanish chastotasini 50-100 kGts gacha kamaytirish mumkin.

Ilgari impulsli kuchaytirgichlar faqat o'zining yuqori foydali ish koeffitsiyenti (odatda 90% dan yuqori) tufayli qiziqirgan va faqat quvvatli elektr dvigatellarni boshqarish uchun qo'llangan. Bu yuqori chastotalarda ishlay oladigan yuqori chastotali quvvatli qayta ulash elementlarining yo'qligiga to'g'ridan-to'g'ri bog'liq bo'lgan, buning natijasida yuqori noxiziqli buzilishlarni oldini olib bo'lmagan. Lekin hozirda ko'plab elektron komponentlar ishlab chiqaruvchi kompaniyalarda 1 MGs va undan yuqori chastotalarda ishlay oladigan *D* sinfdagi kuchaytirgichlarni qurish uchun maxsuslashtirilgan elementlar chiqarilmoqda.

Bipolyar tranzistorlarda yig'ilgan chiqish kaskadlarining ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz.

Bipolyar tranzistorlarda yig'ilgan *AB* sinfdagi kuchaytirgichning chiqish kaskadi past foydali ish koeffitsiyentiga ega, shuning uchun chiqish tranzistorlari o'zgaruvchan qarshilikka o'xshash o'z aktiv qarshiligini o'zgartiradi va bu bilan chiqish tokini boshqaradi. *AB* sinfdagi kuchaytirgichda ta'minot kuchlanishiga teng bo'lgan chiqish kuchlanishi amplitudasining o'zgarishini olish mumkin emas, chunki hatto to'liq ochiq holatda bipolyar tranzistor kollektori va emitteri orasidagi U_{KE} kuchlanish taxminan 1-2 Vga teng bo'ladi.

Impulsli kuchaytirgichlarda kuch elementi quvvatli maydoniy tranzistorlar hisoblanadi, ularda faqat ikkita – ochiq va yopiq holatlar bo'lishi mumkin. Zamonaviy maydoniy tranzistorlar ochiq kanalining qarshiligi juda kichik (odatda o'nlab mOm) bo'ladi, demak, bu elementlardagi kuchlanishning tushishi ham sezilarsiz bo'ladi. Meandr chiqish filtridan o'tish bilan ovoz chastotasi o'zgaruvchan tokiga o'zgaradi, uning ossillogrammasi 1.5-rasmda tasvirlangan.



1.5- rasm. Signalni o'zgartirish ossillogrammasi

Bu bilan tushuntiriladiki, impulsli kuchaytirgichning ajralmas qismi hisoblanadigan chiqish drosseli o'zgaruvchan sig'imli signal uchun o'z reaktiv

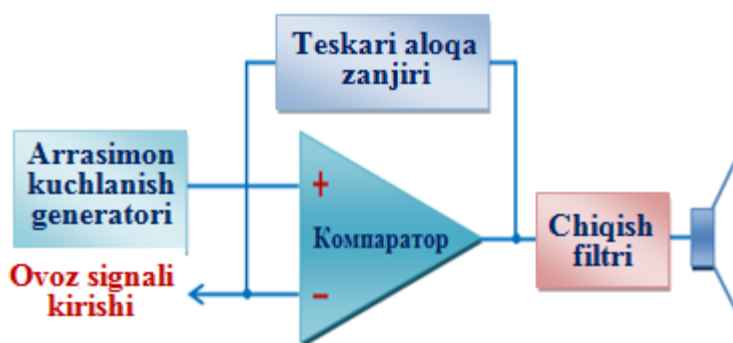
qarshiligini o'zgartiradi. Ovoz signali boshqaradigan sig'im bilan birga yuklama orqali oqib o'tadigan tok ham o'zgaradi.

Yo'qotishlarni sezilarli qismi maydoniy tranzistorlarning qayta ulanishi momentida frontlarda bo'lib o'tadi, shuning uchun o'zgartirish chastotasini kamaytirish bilan vaqt birligi ichidagi frontlar sonini kamaytirish va buning natijasida foydali ish koeffitsiyentini biroz oshirish mumkin. Aynan shu sababga ko'ra, *D* sinfdagi sabvufer kuchaytirgichlarda o'zgartirish chastotasi 50 kGtsgacha kamaytiriladi.

Yuqorida aytilganidek, zamonaviy maydoniy tranzistorlar yuqori tezlikda qayta ulana oladi, bu bilan ishlab chiquvchiga o'zgartirish chastotasini sezilarli oshirishga va demak, chiqish drosselining o'lchamlarini kamaytirishga imkon beradi. Natijada cho'lg'amning o'zgaras tok bo'yicha qarshiligi ham ancha kichik bo'ladi, demak, cho'lg'am simining qizishi ancha kamayadi.

D sinfdagi kuchaytirgichlar uchta turga bo'linadi:

1) Tashqi arrasimon kuchlanish generatorili kuchaytirgich (1.6- rasm);

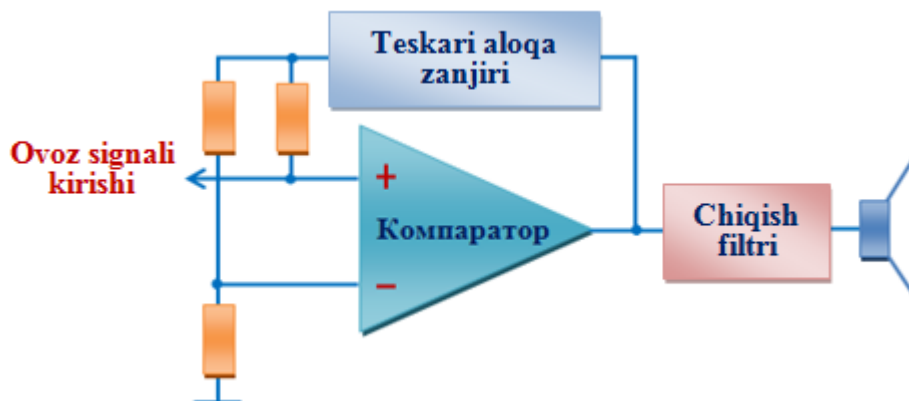


1.6- rasm. Tashqi arrasimon kuchlanish generatorili kuchaytirgich

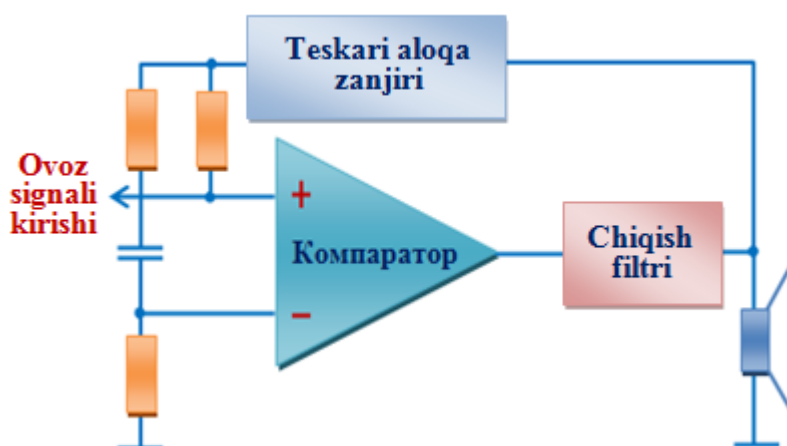
2) Avtogeratsiyali kuchaytirgich (1.7- rasm).

3) Teskari aloqa signali chiqish filtridan keyin olinadigan kuchaytirgich (1.8- rasm).

Tashqi arrasimon kuchlanish generatorili kuchaytirgichlar avtogeratsiyali turdagi kuchaytirgichlarga qaraganda tayyorlashda va yig'ishda eng oddiy bosma plata topologiyasi va komponentlar kam talablarga ega. Aynan bu kuchaytirgichlar hozirgi vaqtda ham avtomobillar akustik tizimlari tarkibiga kiradigan sabvufer kuchaytirgichlari, ham keng polosali professional estrada kuchaytirgichlarining turkum modellari orasida eng keng tarqalgani hisoblanadi.



1.7- rasm. Avtogeneratsiyali kuchaytirgich



1.8- rasm. Teskari aloqa signali chiqish filtridan keyin olinadigan kuchaytirgich

Avtogeneratsiyali turdagi kuchaytirgichlar avtogeneratorlar kabi ishlaydi, ularda tebranish jarayoni musbat teskari aloqadan foydalanish hisobiga bo‘lib o‘tadi va saqlanadi. Bu turdagi kuchaytirgichlar bosma plata topologiyasiga yuqoriroq talablar bilan ajralib turadi, lekin bu masalaga sinchiklab yondashishda bu turdagi kuchaytirgichlar ovozni qayta eshittirish sifati boshqalarda sezilarli yaxshi bo‘ladi.

O‘z navbatida avtogeneratsiyali turdagi kuchaytirgichlar ikkita nimguruhlarga bo‘linadi, ularda teskari aloqa chiqish filtrigacha va undan keyin tashkil etiladi. Teskari aloqa chiqish filtrigacha amalga oshiriladigan sxemalarda u faqat quvvatli komparatorning noxiziqililigini tuzatadi, chiqish filtri esa nazoratdan tashqarida bo‘ladi. Bunday kuchaytirgichlar tekis amplituda-chastota xarakteristikalariga (AChX) ega bo‘lmaydi va ularda chiqish impedansi chastotaning ortishi bilan kuchli ortadi.

Teskari aloqa faqat chiqish filtridan olinadigan kuchaytirgichlar bu barcha kamchiliklardan holi, ularda manfiy teskari aloqa filtdan keyin amalga oshiriladi

va barcha nochiziqliliklarni tuzatish mumkin, tebranish jarayoni esa ma'lum chastotada fazaning surilishi 180 graduslarni tashkil etishi hisobiga boshlanadi, ya'ni bu chastotada teskari aloqa musbat bo'lib qoladi va kuchaytirgich generator sifatida ishlaydi.

Faza komparatorining o'zida, chiqish filtrida va maxsus fazani suruvchi *RC*-zanjirda bo'lib o'tadigan signalning kechikishi tufayli suriladi.

Nazorat savollari

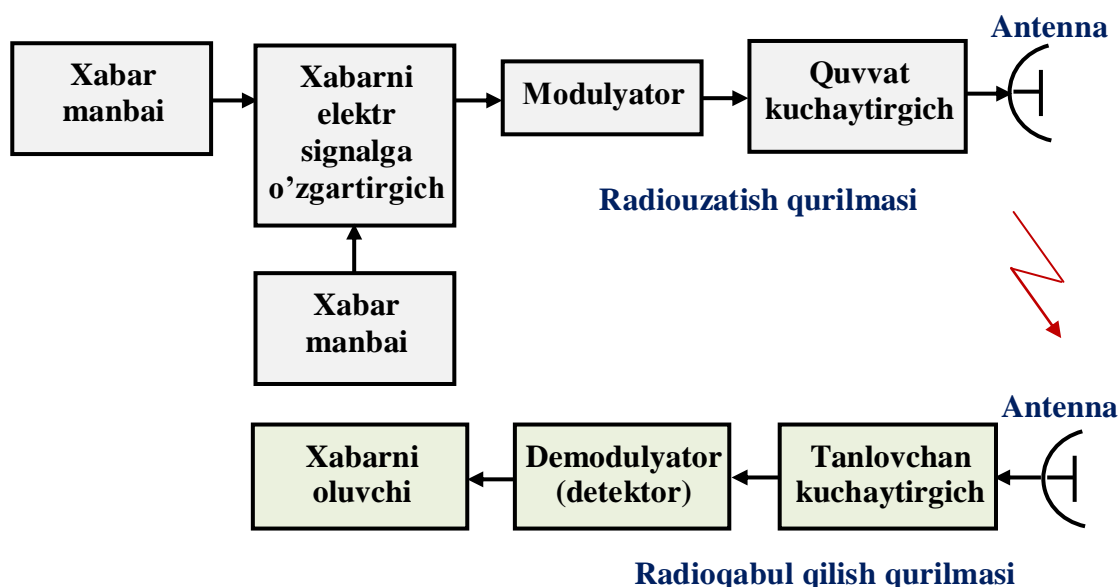
1. Kuchaytirgichlarning vazifasi va ishlash prinsipi.
2. Kuchaytirish qurilmalarining texnik ko'rsatkichlarini sanab o'ting.
3. Kuchaytirgichlarning *A* rejimda ishlashining o'ziga xos xususiyatlari.
4. Kuchaytirgichlarning *B* rejimda ishlashining o'ziga xos xususiyatlari.
5. Kuchaytirgichlarning *AB* rejimda ishlashining o'ziga xos xususiyatlari.
6. Kuchaytirgichlarning *C* rejimda ishlashining o'ziga xos xususiyatlari.
7. Kuchaytirgichlarning *D* rejimda ishlashining o'ziga xos xususiyatlari.
8. Soddalashtirilgan kuchaytirgich sxemasining ishlash prinsipi.
9. Soddalashtirilgan kuchaytirgich vaqt diagrammalarining shakllanishi.
10. *D* sinfdagi kuchaytirgichlarning afzalliklari va kamchiliklari.

2- BOB. RADIOUZATISH QURILMALARINING UMUMIY XARAKTERISTIKALARI

2.1. Radioaloqani tashkil etishning umumiy prinsipi

Elektr signallar xabarlarini past chastotali signallarga, shu jumladan, 0 – 6 MGs televizion signalga to‘g‘ridan-to‘g‘ri aks ettiradigan signallar hisoblanadi. Bunday signallar radioaloqada birlamchi signallar deyiladi. Past chastotali elektr signallar erkin fazoda samarali nurlantirilishi mumkin emas, past chastotalar katta sanoat halaqitlari (50 Gtsli elektro tarmoq foni, uchqunli avtotransport, elektr motorlarning halaqitlari va boshqalar) mavjud.

Past chastotali signallarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri faqat simli va kabelli aloqa liniyalari bo‘yicha uzatish mumkin. Ma‘lumotlarni simsiz uzatish uchun tashuvchilar deyiladigan maxsus tebranishlar ishlatiladi. Tashuvchi tebranishlar ma‘lumotlarga ega bo‘lmaydi, lekin erkin fazoda yaxshi nurlantiriladi va tarqatiladi. Shuning uchun ular yordamida birlamchi signalga qo‘yilgan ma‘lumotlar erkin fazoda tashiladi. Ma‘lumotlar $U(t)=U_m \cos(\omega t + \varphi)$ tebranishning parametrlaridan biriga modulyatsiyalash yordamida, ya‘ni uzatiladigan ma‘lumotlarni aks ettiradigan birlamchi signalning o‘zgarishi qonuni bo‘yicha U_m amplituda, ω chastota yoki φ fazani o‘zgartirish yordamida qo‘yiladi. Radioaloqa tizimining tuzilish sxemasi 2.1- rasmda tasvirlangan.



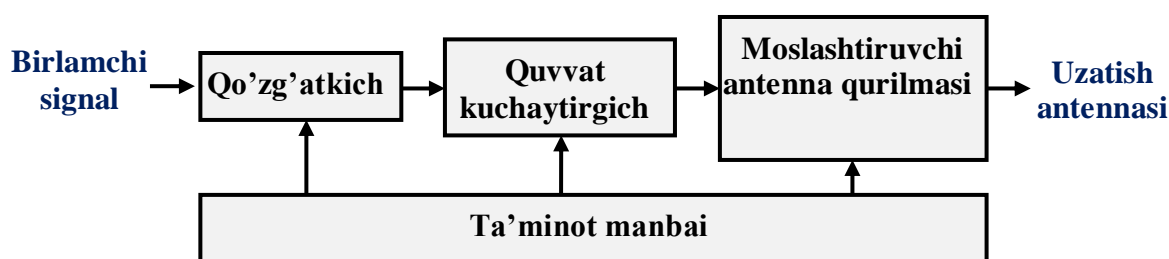
1.1- rasm. Radioaloqa tizimining tuzilmasi

Radioaloqa tizimining tuzilma kiradigan elementlari istalgan radioaloqa tizimining tarkibiy qismi hisoblanadi. Ulardan hech birisiz radioaloqa mumkin

bo'lmaydi. Modulyatsiyalangan yuqori chastotali tebranishlar ikkilamchi signallarga kiradi va radiosignallar deyiladi.

Yuqori chastotali tebranishlarni past chastotali birlamchi signal bilan modulyatsiyalash jarayoni mazmunan uzatiladigan xabarni aks ettiradigan birlamchi signalning spektrini radiochastotalar sohasiga o'tkazish operatsiyasi hisoblanadi.

Radiouzatkich deb birlamchi elektr signallarni talab qilinadigan ishonchlilikda berilgan masofada radioaloqani ta'minlash uchun zarur bo'ladigan ma'lum quvvatdagi radiosignallarga o'zgartiradigan qurilmaga aytiladi. Radiouzatish qurilmasiga radiouzatkichdan tashqari, antenna-fider qurilmasi ham kiradi. Radiouzatkichning tuzilish sxemasi 2.2- rasmda tasvirlangan.



2.2- rasm. Radiouzatkichning tuzilish sxemasi

Radiouzatkich quyidagi tugunlarni o'z ichiga oladi:

1. Qo'zg'atkich, u birlamchi elektr signallarni radiosignallarga o'zgartirish yordamida shakllantirilgan radiosignallarni to'g'ridan-to'g'ri berilgan diapazondagi ishchi chastotalarga o'tkazishni amalga oshiriladigan qo'shni chastotalar orasidagi berilgan intervalli yuqori stabil chastotalar to'rini shakllantirish uchun mo'ljallangan.

2. Quvvat kuchaytirgichi, u qo'zg'atkichda shakllantirilgan signallarni berilgan ishonchlilikda talab qilinadigan aloqa masofasini ta'minlaydigan qiymatgacha radiosignallarni kuchaytirish uchun mo'ljallangan.

Moslashtiruvchi antenna qurilmasi quvvat kuchaytirgichni antenna bilan quvvat kuchaytirgichidan antennaga beriladigan maksimal quvvatni antenna maksimal nurlantirish maqsadida quvvat kuchaytirgichni antenna bilan moslashtirishni ta'minlaydi.

Elektr ta'minoti manbai 50 Gts chastotali o'zgaruvchan tok energiyasini uzatkichning kaskadlarini ta'minoti uchun zarur bo'ladigan kuchlanishlar energiyasiga o'zgartirish uchun mo'ljallangan.

Ko'rsatilgan tugunlardan tashqari radiouzatkichga qo'shimcha tizimlar – boshqarish, bloklash, signalizatsiya va majburiy sovutish tizimlari kiradi.

Yuqorida sanab o'tilgan tugunlarga quvvati va vazifasidan qat'iy nazar har qanday radiouzatkichlar ega bo'ladi.

Radioqabul qilgich radiosignallarni quvvati qabul qilish oxirgi apparaturasining normal ishlashini ta'minlay oladigan birlamchi elektr signallarga o'zgartirish uchun mo'ljallangan.

Radioqabul qilgichning kirishiga ta'sir etadigan radiosignallar manbai qabul qiluvchi antenna hisoblanadi, u radiouzatish qurilmasi nurlantiradigan elektromagnit to'lqin energiyasini tutadi va uni yuqori chastotali tebranishlar energiyasiga o'zgartiradi. Binobarin, qabul qilish antennasida qator signallar paydo bo'ladi va ulardan faqat bittasi foydali signal hisoblanadi, shuning uchun qabul qilgichning asosiy funksiyalaridan biri antennadan olingan barcha signallar yig'indisidan foydali signalni ajratib olish hisoblanadi.

Foydali signal va halaqitlarni ajratishning asosiy belgisi ularning chastotalari hisoblanadi. Shuning uchun radioqabul qilgichlarda foydali signalni ajrata oladigan va qabul qilinadigan radiosignal chastotasidan farqli halaqitlarni kuchsizlantira oladigan chastotaga bog'liq tanlovchan elektr zanjirlardan foydalanishga asoslangan chastota bo'yicha tanlovchanlik amalga oshiriladi.

Radioqabul qilgichning ikkinchi funksiyasi radiosignalni birlamchi elektr signalga o'zgartirish hisoblanadi. Bu jarayon demodulyatsiyalash (detektorlash) deyiladi.

Radioqabul qilgichning uchinchi funksiyasi qabul qilinadigan kuchsiz radiosignallarni oxirgi qurilmaning normal ishlashini uchun zarur bo'ladigan sathgacha kuchaytirishni ta'minlash hisoblanadi. Radioqabul qilgichning asosiy uchta funksiyalarni bajarishi sifati uning elektr xarakteristikalari orqali aniqlanadi.

2.2. Radiouzatish qurilmalarining vazifasi

Radiouzatish qurilmasi (RUQ) deb antennaga beriladigan va fazoda tarqaladigan yuqori chastotali (YuCh) va o'ta yuqori chastotali (O'YuCh) tebranishlarni generatsiyalash, quvvat bo'yicha kuchaytirish va modulyatsiyalashga xizmat qiladigan radiotexnik apparatlarga aytiladi.

Uchta funksiyalar - generatsiyalash, kuchaytirish va modulyatsiyalash funksiyalari umumiy tushuncha – ma'lumotlarni tashiydigan tebranish tushuniladigan signalni shakllantirish bilan birlashtiriladi. Fazoga nurlantiriladigan bunday elektromagnit signal radiosignal deyiladi. Uchinchi funksiya – modulyatsiyalash dastlabki xabarni (masalan, nutq yoki televizion signalni) YuCh yoki O'YuCh tebranishga yuklash jarayoni hisoblanadi.

Texnologik tomondan radiouzatish qurilmalari ma'lum elektr sxema bo'yicha o'zaro ulangan integral mikrosxemalar, tranzistorlar, diodlar, elektr

vakuum asboblar, kondensatorlar, transformatorlar va ko‘plab boshqa elementlar to‘plamidan iborat. Eng takomillashgan konstruksiyalar to‘lig‘icha yarim o‘tkazgichli gibril va integral mikrosxemalardan tashkil topadi. Radiouzatichlar ma‘lum radioelektron tizim doirasida ma‘lumotlarni uzatish uchun xizmat qiladi. Ularga quyidagi tizimlar kiradi:

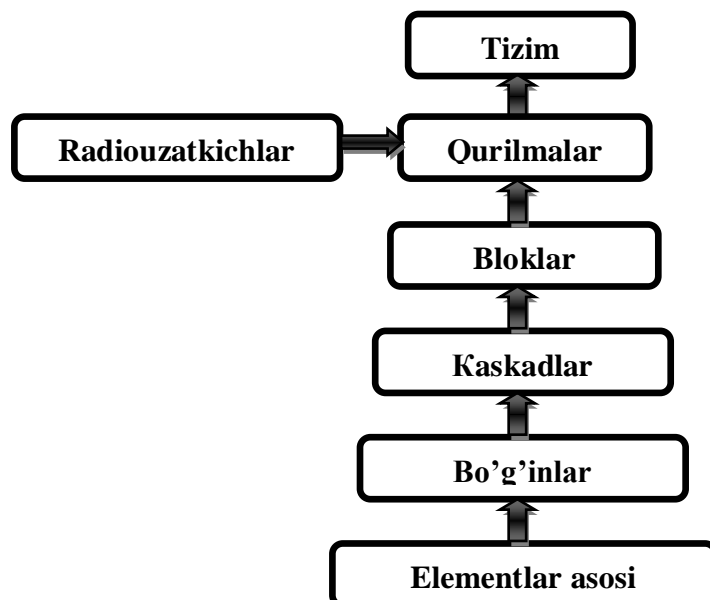
- ovoz va televizion radiouzatish tizimlari;
- yer usti vositalari yordamida radioaloqa, xususan, sotali radioaloqa tizimlari;
- global kosmik radioaloqa, televizion radiouzatish va radionavigatsiya tizimlari;
- turli xil ob‘ektlarni radioboshqarish va radiotelemetrik nazorat qilish tizimlari;
- olis masofali, o‘rta va yaqin ishlash radiusili radiolokatsion tizimlar.

Radioelektron tizimning vazifasiga bog‘liq ravishda radiouzatkichlarning lampali yoki yarim o‘tkazgichli turlari, YuCh yoki O‘YuCh diapazon radiouzatkichlari, uncha katta bo‘lmagan yoki oshirilgan quvvatli radiouzatkichlar, uzluksiz yoki impulsli rejimda ishlaydigan radiouzatkichlar qo‘llanadi.

O‘ziga xos piramida ko‘rinishida berilishi mumkin bo‘lgan radioelektron tizim tarkibida radiouzatkichning o‘rnini aniqlaymiz (2.1- rasm). Piramidaning pastki darajasini tranzistorlar, diodlar, kondensatorlar, integral mikrosxemalar va boshqalarni o‘z ichiga oladigan elementlar asosi tashkil etadi. Ulardan bo‘g‘inlar tuziladi, bo‘g‘inlar funksional tugallangan zanjirlarga, ya‘ni avtogenerator, chastota o‘zgartirgichi, modulyator, tebranishlar quvvati kuchaytirgichi, demodulyator, o‘ta yuqori chastotali, yuqori, oraliq va past chastota kuchaytirgichlari va boshqalar kabi kaskadlarga birlashtiriladi.

Navbatdagi daraja kam shovqinli O‘YuCh kuchaytirgich, signal modem-modulyator va demodulyatori, signalga ishlov berish bloki, YuCh yoki O‘YuCh tebranishlar quvvatini kuchaytirish bloki, radioqabul qilgichning chiziqli trakti, antenna-fider trakti va boshqalar kabi bloklar hisoblanadi. Piramidaning keyingi yuqori darajasi funksional tugallangan qurilmalar – turli radiotexnik tizimlar tarkibida mustaqil ishlaydigan radioqabul qilgichlar, radiostansiyalar, radiolokatorlar, televizorlar va boshqalarni o‘z ichiga oladi. Qaralayotgan piramidaning aynan bu darajadasida radiouzatish qurilmalari joylashgan.

Qurilmalarda faqat integral mikrosxemalar qo‘llanganda uchta quyi darajalar bittaga birlashtiriladi.



2.1- rasm. Radioelektron tizim tarkibida radiouzatkichning o'rnini aniqlash

Radiouzatkichning vazifasi foydalanadigan radiotexnik tizim orqali aniqlanadi va u uzatiladigan ma'lumot turiga bog'liq. Shuning uchun ular radioaloqa, radioeshittirish, televizion, radiolokatsion, radioo'lchov, radionavigatsion, radioboshqaruv va boshqa radiouzatkichlar turlariga bo'linadi.

2.3. Radiouzatish qurilmalarining tasniflanishi

Radiouzatkichlar beshta asosiy belgilar – vazifasi, foydalanish ob'ekti, chastotalar diapazoni, quvvat va nurlanish turi bo'yicha tasniflanadi.

Foydalanish ob'ekti radiouzatkichni o'rnatish joyi orqali aniqlanadi va bu uning ishlatishi sharoitlariga ta'sir qiladi. Bu belgi bo'yicha radiouzatkichlar yer ustida statsionar, samolyot, sun'iy yo'ldosh, kema, ko'chma, mobil radiouzatkichlarga ajratiladi.

Chastotalar diapazoni bo'yicha RUlar radiochastotalar diapazonini qabul qilish bo'yicha mos ravishda o'ta uzun to'liqinli, uzun to'liqinli, qisqa to'liqinli, ultra qisqa to'liqinli, detsimetrli, santimetrli, millimetrli RUlarga ajratiladi.

Birinchi beshta diapazonlar uzatkichlari yuqori chastotali uzatkichlari umumiy nomi bilan, oxirgi uchta diapazonlar uzatkichlari o'ta yuqori chastotali uzatkichlari umumiy nomi bilan birlashtiriladi. Shunday qilib, YuCh va O'YuCh diapazonlar radiouzatkichlari orasidagi chegara 300 MGts chastota hisoblanadi. 300 MGtsdan past chastotada uzatkich YuCh diapazonga, 300 MGtsdan yuqori chastotada uzatkich O'YuCh diapazonga kiradi.

Antennaga beriladigan *YuCh yoki O'YuCh signal quvvati bo'yicha* RUQlar uzluksiz rejimda quvvat nurlanishi bo'yicha kichik - 10 Vtgacha, o'rta - 10...500

Vt, katta - 500Vt...10 kVt, o'ta katta - 10 kVtdan yuqori quvvatli RUlarga ajratiladi.

2.1-jadval

Turli maqsadlardagi ayrim radiotizimlar va radiouzatkichlarning to'liqlar diapazonlariga bog'langan turlari

Diapazonning nomi	To'liq uzunligi	Chastota	Tizim yoki radiouzatkichning vazifasi
Miriametrli (o'ta uzun to'liqlar)	100... 10 km	3... 30 kGts	Olis masofadagi radionavigatsiya
Kilometrli (uzun to'liqlar)	10... 1 km	30... 300 kGts	Radioeshittirish
Gektometrli (o'rta to'liqlar)	1000... 100 m	0,3...3 MGts	Radioeshittirish
Dekametrli (qisqa to'liqlar)	100...10 m	3...30 MGts	Radioeshittirish Mobil radioaloqa Havaskorlik radioaloqasi (27 MGts diapazon)
Metrli (ultra qisqa to'liqli)	10 – 1 m	30 - 300 MGts	UQT ChM eshittirish, televideniye, mobil radioaloqa, samolyot radioaloqasi
Detsimetrli (L, S diapazonlar)	1 ...0,1 m	0,3...3 GGts	Televizion uzatish Kosmik radioaloqa va radionavigatsiya Sotali radioaloqa Radiolokatsiya
Santimetrli (S, X, K diapazonlar)	10... 1 sm	3...30 GGts	Kosmik radioaloqa Radiolokatsiya Radionavigatsiya Radioastronomiya
Millimetrli	10... 1 mm	30...300 GGts	Kosmik radioaloqa Radiolokatsiya Radioastronomiya

Nurlanish turi bo'yicha uzatkichlar uzluksiz va impulsli rejimlarda ishlaydigan RUQlarga ajratiladi. Birinchi holda axborot uzatilayotganda signal uzluksiz, ikkinchi holda esa impulslar tarzida nurlantiriladi.

Radiouzatkichlar turini tavsiflash uchun u sanab o'tilgan beshta razryadlardan qaysi turga kirishini ko'rsatish kerak bo'ladi. 2.1- jadvalda turli maqsadlardagi ayrim radiotizimlar va radiouzatkichlarning to'liqlar diapazonlariga bog'langan turlari keltirilgan.

2.4. Radiouzatish qurilmalarining kaskadlari va qismlari

Radiouzatkich alohida kaskadlar va bloklardan iborat bo'lib, ulardan har biri ham mustaqil, ham butun qurilmaning boshqa qismlari bilan birga ishlaydi. Shuning uchun dastlab qaysi kaskadlar va bloklar radiouzatkich tarkibiga kirishi mumkinligi va ularning vazifasi nimadan iborat ekanligini ko'rib chiqamiz.

Radiouzatkich quyidagi kaskadlar va qismlardan tashkil topgan:

- *avtogenerator yoki o'z-o'zidan qo'zg'atishli generator* – YuCh va O'YuCh tebranishlar manbai. Chastotani stabillash usuliga bog'liq ravishda kvarsli va kvarsiz avtogeneratorlarga ajratiladi.

- *tashqi yoki mustaqil qo'zg'atishli generator* – quvvat bo'yicha YuCh va O'YuCh signal kuchaytirgichi. O'tkazish polosasiga bog'liq ravishda tor polosali va keng polosali generatorlarga bo'linadi;

- *chastotani ko'paytirgichlar*, ular tebranishlar chastotasini ko'paytirish uchun xizmat qiladi;

- *chastotani o'zgartirgich*, u tebranishlar chastotasini talab qilinadigan qiymatga surilishi uchun mo'ljallangan;

- *chastotani bo'lgich*, u tebranishlar chastotasini bo'lish uchun xizmat qiladi;

- *chastotaviy modulyator*, u chastota bo'yicha modulyatsiyalashni amalga oshiradi;

- *fazaviy modulyator*, u faza bo'yicha modulyatsiyalashni amalga oshiradi;

- *filtrlar*, ular faqat ma'lum chastotalar signallarini o'tkazish uchun xizmat qiladi. Ular polosali, past chastotali, yuqori chastotali va rejektorli filtrlarga bo'linadi;

- *signallari quvvatlari summatori (u yana bo'luvchi)*, unda bir xil signallarning quvvatlari talab qilinadigan martagacha qo'shiladi yoki bo'lish amalga oshiriladi;

- *ko'priksimon qurilma*, ikkita signallarning quvvatlarini ikki marta qo'shish yoki bo'lishda summatorning turi hisoblanadi;

- *yo'naltirilgan tarmoqlagich*, u signalning tarqalishi asosiy kanalidan uning quvvati qismini olish uchun xizmat qiladi;

- *moslashtiruvchi qurilma*, u radiouzatkichning chiqish qarshiligini antenaning kirish qarshiligi moslashtirish uchun mo'ljallangan;

- *attenyuator*, u signal quvvatini rostdash uchun xizmat qiladi;

- *faza aylantirgich*, u signalning fazasini boshqarish uchun zarur;
- *ferritli bir tomonlama yoʻnalishli qurilmalar (sirkulyatorlar va ventillar)*, ular signalni faqat bitta yoʻnalishda oʻtkazish uchun xizmat qiladi. Asosan OʻYuCh diapazonida qoʻllanadi;

- *ballast qarshiliklar*, ularda quvatni sochilishi boʻlib oʻtadi;

- *turli datchiklar*, ular signalning parametrlarini oʻlchashga imkon beradi.

Kaskadlardan tuziladigan asosiy bloklarga quyidagilar kiradi:

- *quvvat boʻyicha YuCh yoki OʻYuCh signalni kuchaytirish bloki*, u ketma-ket ulangan tashqi qoʻzgʻatishli generatorlardan yigʻiladi;

- *chastotani koʻpaytirgichlar bloki*, u katta koʻpaytirish koeffitsiyentida qoʻllanadi;

- *chastotalar sintezatori*, u diskret chastotalar toʻplamini hosil qilish uchun moʻljallangan.

- *qoʻzgʻatkich*, u chastotalar sintezatori va chastotaviy yoki fazaviy modulyatorni oʻz ichiga oladi;

- *amplitudaviy modulyator*, u amplituda boʻyicha modulyatsiyalashni amalga oshirish uchun xizmat qiladi;

- *impulsli modulyator*, u impuls boʻyicha modulyatsiyalashni amalga oshirish uchun moʻljallangan;

- *antenna-fider qurilmasi*, u radiouzatkichning chiqishini antenna bilan ulaydi va filtr, yoʻnaltirilgan tarmoqlagich, ferritli bir tomonlama yoʻnalishli va moslashtiruvchi qurilmalarni oʻz ichiga oladi;

- *avtomatik rostdash bloklari*, ular radiouzatkichning parametrlarini stabillash yoki boshqarish uchun xizmat qiladi. Ularga quyidagilar kiradi:

• chastotani avtomatik sozlash qurilmalari;

• kuchaytirish kaskadlarining elektr zanjirlarini avtomatik qayta sozlash qurilmalari;

• moslashtirish qurilmalarini avtomatik qayta sozlash qurilmalari;

• quvvatni avtomatik boshqarish qurilmalari;

• issiqlik rejimini avtomatik saqlash qurilmalari.

Zamonaviy avtomatik rostdash qurilmalari mikroprotsessorlar (mikrokontrollerlar) asosida quriladi.

Nazorat savollari

1. Uzatkichning vazifasi nima?

2. Radioaloqada toʻlqinlar qaysi diapazonlarga boʻlinadi?

3. Quvvat boʻyicha radiouzatkichlar qanday turlarga boʻlinadi?

4. Uzatkichning kaskadlarini sanab oʻting.

5. Uzatkichning bloklarini sanab o‘ting.
6. RUQning tuzilish sxemasini tushuntiring.
7. RUQning soddalashtirilgan tuzilish sxemasini tushuntiring.
8. Uzatkichlarda quvvatlarni qo‘shish va bo‘lish nima uchun kerak?
9. Uzun, o‘rta va qisqa to‘lqinli diapazonlarda ishlaydigan radiouzatkichlarda qanday modulyatsiyalash ishlatiladi?
10. UQT va O‘YuCh radiouzatkichlarida qanday modulyatsiyalash ishlatiladi?

3-BOB. RADIOQABUL QILISH QURILMALARINING ASOSIY XARAKTERISTIKALARI

3.1. Radioqabul qilish qurilmalarining vazifasi va turlari

Radioqabul qilish qurilmasi istalgan xabarlarni uzatish radiotexnik tizimining eng muhim va zarur elementlaridan biri hisoblanadi. U quyidagilarni ta'minlaydi:

- foydali xabarni tashiydigan elektromagnit maydon energiyasini tutish;
- foydali radiosignalning quvvatini kuchaytirish;
- radiosignalni detektorlash;
- signal quvvatini kuchaytirish va uni oluvchiga beriladigan xabarga o'zgartirish.

Qabul qilish joyida tabiiy va sun'iy kelib chiqishdagi radiohalaqitlar manbalari hosil qiladigan tashqi elektromagnit maydonlar mavjud. Bu elektromagnit maydonlar foydali signalni buzadi va xabarlarni qabul qilishda xatoliklarni keltirib chiqaradi.

Qabul qilgichda signallarni qabul qilishning o'zgaruvchan sharoitlariga qabul qilgichni moslashtirishni ta'minlaydigan kuchaytirish, tanlovchanlik, xarakteristikalar shakllarini avtomatik rostdash ko'zda tutiladi.

Qabul qilgichni zarur murakkablashtirish xabarlarni qabul qilish sifatiga oshirilgan talablarga bog'liq. Bu murakkablashtirish, ayniqsa, aloqa, radiolokatsion, radionavigatsion, telemetrik va boshqa tizimlar professional qabul qilgichlari uchun xarakterli hisoblanadi.

Shunday qilib, professional radioqabul qilish qurilmasi foydali signal va radiohalaqitlar aralashmasiga optimal ishlov berishni ta'minlaydigan adaptiv elementlar kompleksi hisoblanadi.

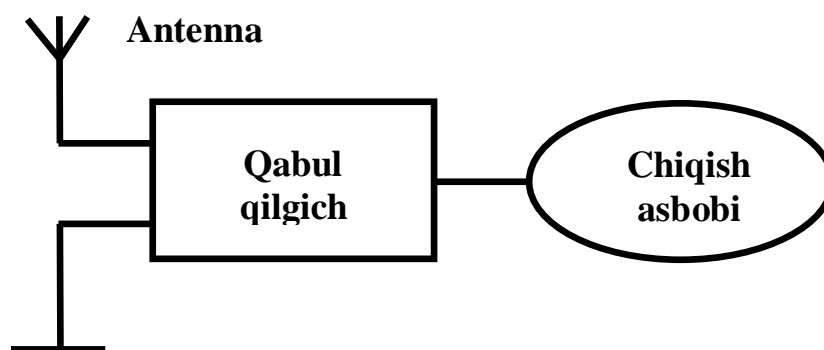
Bu kompleks yuqorida aytilganidek, quyidagi uchta operatsiyalarni ta'minlaydi:

1) atrof-muhitdan foydali radiosignal elektromagnit tebranishlarini tutish va ularni qabul qilgichga uzatish;

2) xabarga mos birlamchi elektr signalni ajratib olish maqsadida signal va halaqitlar aralashmasiga optimal ishlov berish (foydali signal spektrini ajratish, kuchaytirish, detektorlash, dekodlash);

3) birlamchi elektr signalni xabarga o'zgartirish.

Ko'rsatilganlarga muvofiq istalgan radioqabul qilish qurilmasining tuzilish sxemasi qabul qilish antennasi, qabul qilgich va chiqish asbobidan tashkil topadi (3.1- rasm).



3.1- rasm. Radioqabul qilish qurilmasining umumiy tuzilish sxemasi

3.2- rasmda qabul qilish qurilmalarining tasniflanishi keltirilgan.

1. Asosiy vazifasi bo'yicha qabul qilgichlar radioeshittirish va professional qabul qilgichlarga bo'linadi.

Radioeshittirish qabul qilish qurilmalari guruhi xabarlarini qabul qilish masalalarini nisbatan oddiy texnik yechimlari bilan farqlanadi yoki radioeshittirish qabul qilgichlarini ommaviy ishlab chiqarish ishlanmalarga bunday yondashishning iqtisodiy maqsadga muvofiqligini taqozo etadi.

Professional qabul qilish qurilmalari guruhi murakkabroq texnik yechimlar bilan farqlanadi, chunki bu qurilmalar asosan bitta uzatkichda ishlaydi va qabul qilish va uzatish qurilmalariga xarajatlar teng qiymatli bo'lishi mumkin. Bunday yondashishni amalga oshirilishiga misol kosmik aloqa yoki yerning sun'iy yo'ldoshlari (YeSY) orqali aloqa tizimlari hisoblanadi.

Guruhlardan har biri, o'z navbatida, kichik guruhlariga bo'linadi, ulardan har biri yana kichik guruhlariga va h.k. bo'linishi mumkin (3.2- rasm).

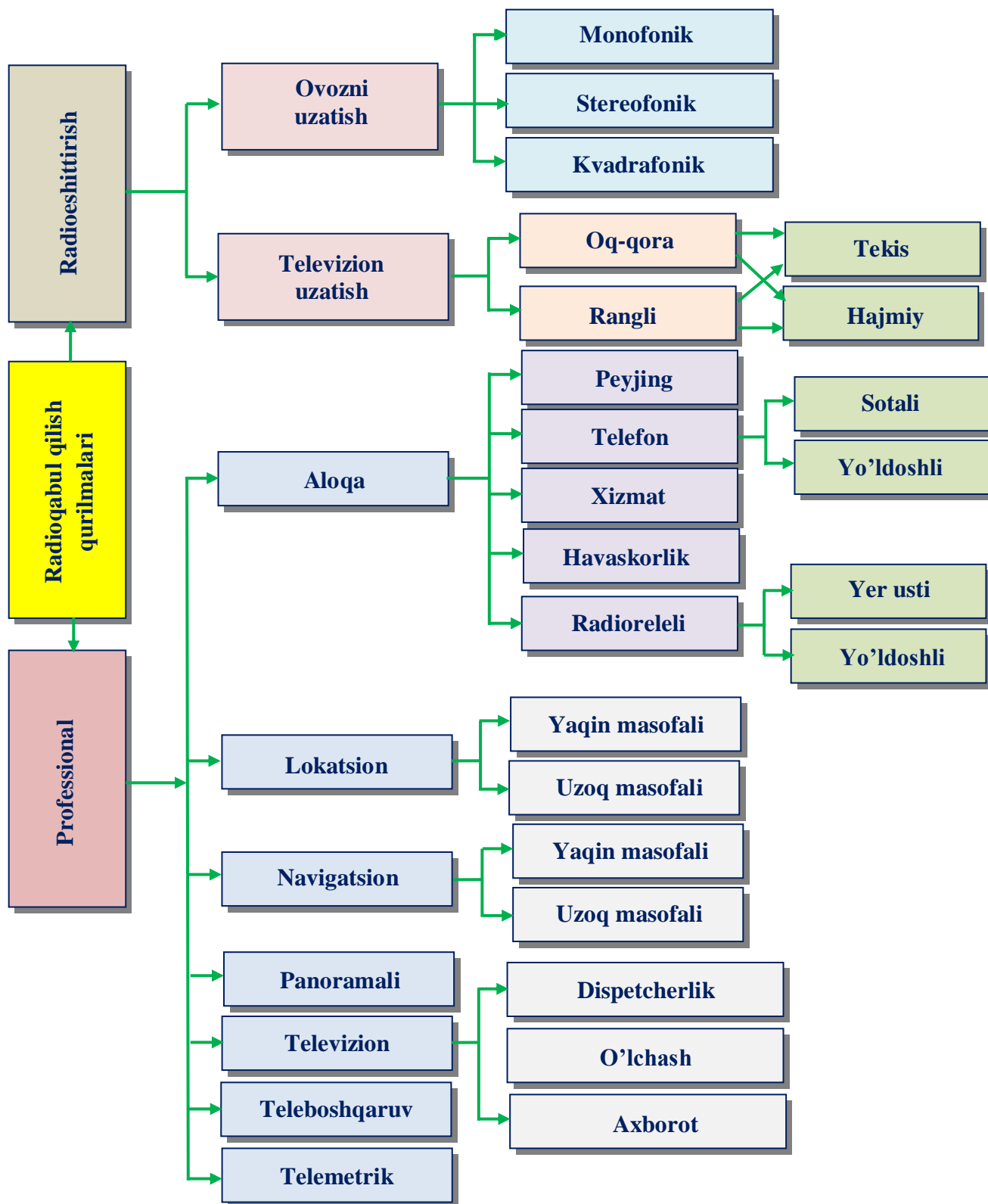
Aloqa qabul qilish qurilmalari quyi, viloyat, magistral va kosmik aloqa qabul qilish qurilmalariga bo'linadi.

2. Ishlash turi bo'yicha radiotelefon, radiotelegraf (eshitish, yozish yoki harf terish), fototelegraf va boshqa qabul qilgichlariga bo'linadi.

3. Aloqa liniyasida ishlatiladigan modulyatsiyalash turi bo'yicha (amplitudaviy modulyatsiyalangan, chastotaviy modulyatsiyalangan, fazaviy modulyatsiyalangan, impulsli modulyatsiyalangan, bir polosali va kombinatsiyalangan signallar qabul qilgichlari).

4. Radiochastotalar bo'yicha Xalqaro maslahat qo'mitasi tavsiyalariga muvofiq qabul qilinadigan to'lqinlar diapazoni bo'yicha qabul qilgichlar miriametrli to'lqinlar (100-10 km), kilometrli to'lqinlar (10-1 km), gektometrli to'lqinlar (1000-100 m), dekametrlil to'lqinlar (100-10 m), metrli to'lqinlar (10-1 m), detsimetrli to'lqinlar (100-10 sm), santimetrli to'lqinlar (10- 1 sm), millimetrli to'lqinlar (10-1 mm), detsimillimetrli to'lqinlar (1- 0,1 mm) va boshqa to'lqinlar

qabul qilgichlariga bo'linadi. Ko'rsatilgan diapazonlardan bir nechtasiga ega bo'lgan qabul qilgichlar ko'p to'liqli qabul qilgichlar deyiladi.



3.2- rasm. Qabul qilish qurilmalarining tasniflanishi

5. Detektorgacha signallarni kuchaytirish traktini qurish usuli bo'yicha qabul qilgichlar to'g'ridan-to'g'ri kuchaytirishli, to'g'ridan-to'g'ri detektorlashli, bir marta, ikki marta yoki ko'p marta chastota o'zgartiriladigan supergeterodinli qabul qilgichlariga bo'linadi.

6. Ta'minot usuli bo'yicha qabul qilgichlar akkumulyatorlar yoki batareyalardan avtonom ta'minotli, o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok tarmog'idan ta'minlanadigan tarmoq, universal ta'minotli qabul qilgichlariga bo'linadi.

7. O'rnatish joyi bo'yicha statsionar, harakatdagi, samolyot, kema, avtomobil va boshqa qabul qilgichlarga bo'linadi.

3.2. Radioqabul qilish qurilmalarining ko'rsatkichlari

Radioqabul qilish qurilmalarining *ishi chastotalar diapazoni* ikkita f_{min} va f_{max} chegaraviy chastotalar va chastota bo'yicha diapazonning qoplanishi koeffitsiyenti orqali aniqlanadi:

$$K_f = \frac{f_{max}}{f_{min}} \quad (3.1.)$$

Diapazon chegaralarida qabul qilgich qo'shni chastotalar orasida Δf_{RCh} intervalda ravon yoki diskret qayta sozlanishi mumkin. Diskret qayta sozlanishda radioqabul qilgich sozlanishini mumkin bo'lgan umumiy chastotalar soni quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$N_{RCh} = \frac{(f_{max} - f_{min})}{\Delta f_{RCh}} \quad (3.2.)$$

Radioqabul qilgichning sezgirligi uning kuchsiz signallarni normal qabul qilish qobiliyatini xarakterlaydi. Radioqabul qilgichning sezgirligi miqdoran antennadagi elektr yurituvchi kuchning E_A minimal qiymati yoki quyidagi nisbat berilganida radioqabul qilgich chiqishidagi signalning talab qilinadigan quvvati ta'minlanadigan radiosignalning antennadagi R_A minimal quvvati orqali baholanadi:

$$q = \frac{U_{s.chiq}}{U_{sh.chiq}} = \sqrt{\frac{P_{s.chiq}}{P_{sh.chiq}}} \quad (3.3.)$$

$$E_A = 2\sqrt{kT\Delta F_{QQ}Nq^2r_A} = 2q\sqrt{kT\Delta F_{QQ}Nr_A} \quad (3.4.)$$

bu yerda $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/grad – Bolsman doimiysi;

T – absolyut harorat;

ΔF_{QQ} – qabul qilgichning o‘tkazish polosasi;

N – qabul qilgich chiziqli traktining shovqin koeffitsiyenti;

r_A – antenaning qarshiligi.

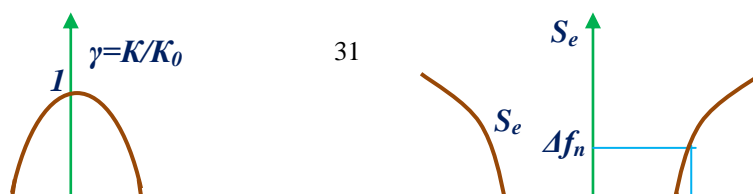
N shovqin koeffitsiyenti real qabul qilgich qo‘shimcha shovqinlarni hosil qilmaydigan, balki faqat antennada hosil qiladigan signal + shovqinni kuchaytiradigan ideal qabul qilgichga qaraganda qabul qilgichning chiziqli qism chiqishida U_s/U_{sh} nisbatni qanchalik yomonlashtirishini ko‘rsatadi.

Radioqabul qilgichning tanlovchanligi (selektivligi) radioqabul qilgichning halaqit qiluvchi signallardan foydali signalni ajrata olish qobiliyati hisoblanadi. U foydali va halaqit qiluvchi signallarning u yoki bu farqlari – kelish yo‘nalishi (fazoviy tanlovchanlik), ta’sir etish vaqti (vaqt bo‘yicha tanlovchanlik), polyarizatsiya (polyarizatsion tanlovchanlik), amplituda (amplituda bo‘yicha tanlovchanlik), chastota (chastota bo‘yicha tanlovchanlik), faza (faza bo‘yicha tanlovchanlik) farqlaridan foydalanishga asoslangan.

Fazoviy va polyarizatsion tanlovchanlik qabul qilish antenasida amalga oshiriladi, vaqt bo‘yicha tanlovchanlikka (impulsi signallarni qabul qilishda) foydali signalni ta’sir etish vaqtiga qabul qilgichni ochilishi bilan erishiladi. Rezonans zanjirlar va filtrlar yordamida amalga oshiriladigan chastotaviy tanlovchanlik asosiy ahamiyatga ega. U bitta signalli va ko‘p signalli (samarador, real) chastotaviy tanlovchanlikka ajratiladi. Bitta signalli tanlovchanlik kirishda bitta signal (foydali yoki halaqit qiluvchi) ta’sir qilganida noxiziqli buzilishlar hisobga olinmasdan qabul qilgich radiotrakt filtrlarining amplituda-chastota xarakteristikalari (AChX) orqali aniqlanadi (3.3a- rasm). Bitta signalli tanlovchanlik miqdoran o‘zgarmas sozlashda va bir xil chiqish kuchlanishida f_n halaqitlar chastotasida sinov signalining sathini uning foydali signal chastotasidagi qiymatiga nisbati, ya’ni mos kuchaytirish koeffitsientlarining nisbati orqali baholanadi:

$$Se_{f_n} = \frac{K_0}{K(f_n)} = \frac{1}{\gamma f_n} \quad (3.5.)$$

Demak, $\Delta f = f - f_0$ nosozlanish chastotasiga bog‘liq ravishda so‘nishni baholaydigan bitta signalli tanlovchanlik yoki chetki selektivlik xarakteristikasi (3.3b- rasm) mos AChX (3.3a- rasm) teskari bo‘ladi.



a)

b)

3.3- rasm. Bitta signalli tanlovchanlik xarakteristikallari

Bunda past chastotali kuchaytirgichlar AChXidan farqli ravishda qabul qilgich radiotrakti rezonans kuchaytirgichlari uchun AChXni qurishda chastotalar o'qi bo'yicha chastotaning absolyut qiymatlarini emas, balki qabul qilgichning sozlanishiga nisbatan $\Delta f = f - f_0$ nosozlanish chastotalarining qiymatlarini qo'yilishi qulayroq bo'lishi hisobga olingan.

Qabul qilgichning real tanlovchanligini oshirish uchun quyidagilar zarur:

- qabul qilgich kirishiga tanlovchan filtr qo'yish yo'li bilan halaqitlar sathini kamaytirish;

- kuchaytirish kaskadlarida o'tish xarakteristikasining katta chiziqli oralig'ili kuchaytirish elementlarini qo'llash.

Qabul qilgichning *chastotaviy aniqligi* uning chastotaning berilgan qiymatini yo'l qo'yiladigan xatolikli o'rnatish va saqlash qobiliyatini aniqlaydi. U qidirishsiz aloqaga kirish va aloqani sozlashsiz olib borish imkoniyatini aniqlaydi. Miqdoran uzatkichlardagi kabi $\delta_{QQ} = \Delta f_{QQ} / f_s$ nisbiy nostabillik orqali aniqlanadi.

Radioaloqaning ishonchliligini oshirish uchun chastotani o'rnatilishi xatoligi va uni ishlash jarayonida o'zgartirish qabul qilgichning o'tkazish polosasini kengaytirish bilan kompensatsiyalanadi:

$$\Delta F_{O'P} = \Delta F_S + 2\Delta f_{QQ} \quad (3.6.)$$

bu yerda ΔF_S – qabul qilinadigan signal spektri;

Δf_{QQ} – qabul qilgichning chastotaviy aniqligi orqali aniqlanadigan uning absolyut nosozlanishi.

Chastotaviy nostabillikni kompensatsiyalash uchun o'tkazish polosasini kengaytirish qabul qilgichning sezgirligini kamayishiga olib keladi, chunki bunda chiqishda uning shovqinlar sathi ortadi.

Signallarning buzilishi qabul qilgichning chiqishida birlamchi signallarning qayta eshittirilishi sifatini aniqlaydi.

Signallarning buzilishlari nohiziqli, amplitudaviy-chastotaviy va fazaviy-chastotaviy buzilishlarga bo‘linadi.

Nohiziqli buzilishlarni qabul qilish trakti elementlari xarakteristikalarining nohiziqiligi keltirib chiqaradi. Ular birlamchi signallar shakllarining buzilishlarida namoyon bo‘ladi. Miqdoran ular garmoniklar koeffitsiyenti orqali baholanadi:

$$K_G = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

bu yerda U_2, U_3, \dots, U_n – qabul qilgich chiqishidagi yuqori garmonikalar amplitudalari;

U_1 – qabul qilgich chiqishidagi birinchi garmonika amplitudasi.

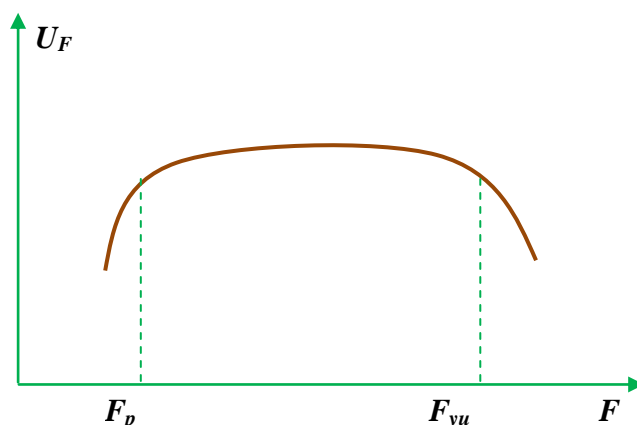
Amplitudaviy-chastotaviy buzilishlar birlamchi signal spektrining turli tashkil etuvchilari uchun kuchaytirish koeffitsiyentidagi farqlarga bog‘liq. Ular qabul qilgich chiqishidagi birlamchi signal U_F amplitudasini F chastotaga bog‘liqligi grafigi hisoblanadigan AChX amplituda-chastotaviy xarakteristika orqali baholanadi (3.4- rasm).

Amplitudaviy-chastotaviy buzilishlarni miqdoran baholash uchun ko‘pincha AChX o‘rniga chastotaviy buzilishlar koeffitsiyentidan foydalaniladi:

$$M_N = \frac{U_{Fmax}}{U_{Fp}} \text{ va } M_N = \frac{U_{Fmax}}{U_{Fyu}}, \quad (3.8.)$$

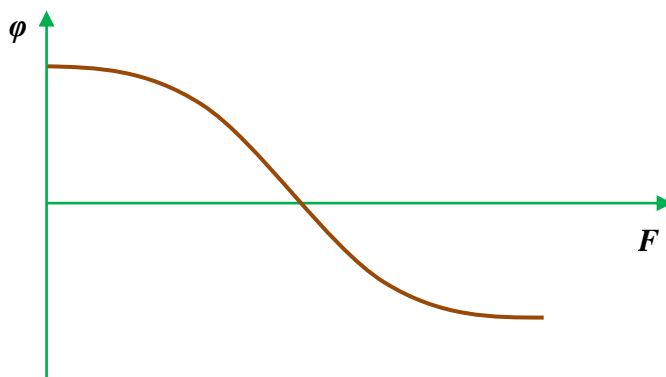
bu yerda U_{Fp} va U_{Fyu} – qabul qilgich chiqishidagi birlamchi signal spektrining pastki va yuqori chastotalaridagi birlamchi signalning amplitudasi;

U_{Fmax} – qabul qilgich chiqishidagi birlamchi signal spektrining o‘rta chastotasidagi birlamchi signal amplitudasining maksimal qiymati.



3.4- rasm. Qabul qilgich chiqishidagi birlamchi signal U_F amplitudasini F chastotaga bog‘liqligi grafigi

Fazaviy-chastotaviy buzilishlar qabul qilgichning fazaviy xarakteristikasining noxiziqqligiga bogʻliq, qabul qilgichning fazaviy xarakteristikasi qabul qilgich chiqishidagi birlamchi signal φ fazasini F chastotaga bogʻliqligidan iborat (3.5- rasm).



3.5- rasm. Qabul qilgich chiqishidagi birlamchi signal φ fazasini F chastotaga bogʻliqligi

Har xil buzilishlar turlari har xil qabul qilinadigan signallarning turlariga turlicha taʼsir qiladi. Masalan, telefon signallarini qabul qilishda noxiziqqligiga ega boʻladi, bunda fazaviy-chastotaviy buzilishlar sezilarli boʻlmaydi, chunki inson qulogʻi tovush tebranishlari fazalarining oʻzgarishlarini payqamaydi. Shu bilan bir vaqtda radioimpulsi signallarni qabul qilishda fazaviy-chastotaviy buzilishlar chiqish videoimpulslarini juda sezilarli buzadi.

Qabul qilgichning qayta sozlanishi vaqti radioaloqaning ishonchliligini aniqlaydi. Hozirgi vaqtda qayta sozlanish vaqti sekundning ulushlarini tashkil etadi.

Nazorat savollari

1. Tebranish konturi qanday qismlardan tashkil topgan? Uning vazifasi nima?
2. Konturning kerakli chastotani ajratishi qanday amalga oshiriladi?
3. Radioqabullash qurilmasining vazifasi nimalardan iborat?
4. Radioqabul qilgichning sifat koʻrsatkichlarini sanab oʻting.
5. Radioqabul qilgichlarning sezgirligi.
6. Radioqabul qilgichlarning selektivligi.
7. Radioqabul qilgichlarda elektromagnit moslashuvchanlik.
8. Radioqabul qilgichlarning halaqitbardoshligi.

9. Radioqabul qilgichlarning stabilligi.

10. Radioqabul qilgichlarning tasniflanishi qanday amalga oshiriladi?

4- BOB. SOFTWARE DEFINED RADIO DASTURIY RADIOSINING O‘ZIGA XOS XUSUSIYATLARI VA TUZILMASI. SDR QABUL QILISH-UZATISH QURILMALARI

4.1. Software Defined Radio texnologiyasining mazmuni

Software Defined Radio (SDR) texnologiyasining mazmuni shundan iboratki, qabul qilish va uzatish qurilmalarining asosiy parametrlari klassik konstruksiyalarda bo‘lganidek apparatlar konfiguratsiyasi orqali emas, aynan dasturiy ta‘minot orqali aniqlanadi. Shunday qilib, bu so‘zlar birikmasini, masalan, “dasturiy ta‘minot orqali aniqlanadigan radio” sifatida tarjima qilish mumkin, biroq ikkita so‘zlarga – “dasturiy radio” sifatida qisqartirish mumkin, lekin bu variant bilan ehtiyotkor bo‘lish kerak va mazmunda “dasturiy” so‘zini ta‘kidlash bilan parametrlari dasturiy aniqlanadigan aynan apparatlar ta‘minoti bilan ishlaymiz.

Umuman olganda, SDR g‘oyasi yaqin vaqtlargacha erishib bo‘lmaydigan sanalgan. Tasavvur qiling, konfiguratsion panelda ma‘lum kodni terasiz va Bluetooth qabul qilgich-uzatkichidan qurilma ZigBee-tizimga aylanadi. Ta‘kidlash kerakki, gap nafaqat tizimning radiochastotaviy parametrlari – modulyatsiyalash turi, yuqori chastotali signalning quvvati (sezgirlik, tanlovchanlik, garmonikalarni so‘ndirish) haqida bormoqda, umuman olganda asbobning mos tugunlarini kommutatsiyalash yordamida amalga oshirish mumkin bo‘ladigan, balki protokollar qismi haqida ham bormoqda. Ya‘ni keltirilgan misolda oldin faqat qat‘iy berilgan funktsiyani bajara olgan apparaturani to‘liq qayta yaralishini kuzatamiz.

Keltirilgan misol biroz bo‘rttirilgan, chunki hozirgi vaqtda bunday standartlararo simsiz tizimlardan tashqari, SDR dasturiy rekonfiguratsiyalanadigan qurilmalar aktiv rivojlanmoqda.

SDR tizimlarining istiqbolli rivojlanish yo‘nalishlaridan biri, shubhasiz, ko‘p protokollari radiotizimlarning yaratilishi hisoblanadi. Bundan tashqari, bu yerda harbiylar aktiv ishlashmoqda (tushunarli sabablarga ko‘ra). Bu yo‘nalish yuqori tijoratlashtirish darajasiga ega, shu tufayli u aktiv rivojlanmoqda.

Yaqin vaqtlargacha simsiz radiotizimlar qurilma bir yoki ikkita signal turini qo‘llaydigan va o‘zaro faqat bir turdagi qurilmalar bog‘lana oladigan konstruksiyaga ega bo‘lgan. Bu kuchli cheklash hisoblangan va hisoblanadi va har turlardagi qurilmalar orasida aloqani tashkil etishni murakkablashtiradi. Shunga ko‘ra, dasturiy ta‘minot yordamida o‘zgartirilishi mumkin bo‘ladigan tez moslashuvchan arxitekturali radioga ehtiyoj doimo sezildi.

Shunday tarzda Software Defined Radio (kam hollarda termin SoftwareRadio — “dasturiy radio” atamasini uchratish mumkin) soʻzlar birikmasi paydo boʻldi, ularda uzatkichning modulyatsiyalash turi oʻrnatilgan mikrokontroller orqali boshqariladi. Ravshanki, qabul qilgich ham signalni demodulyatsiyalash uchun dasturiy vositalarni ishlatadi. SDR tizimlaridan foydalanishning boshqa muhim omili koʻplab analog komponentlar va oʻta katta integral sxemalarni (OʻKISlarni) maksimal dasturlanish darajasili transiverlar (resiverlar) bilan almashtirish boʻldi. Bu qurilmaning koʻplab tugunlari – simsiz interfeys, modulyatsiyalash va kodlash, analog-raqamli va raqamli-analog oʻzgartirish nimitizimlari uchun oʻrinli boʻladi.

4.2. SDR arxitekturasining afzalliklari

Oxirgi foydalanuvchi uchun SDR arxitekturasining afzalliklari nimada? Birinchidan, SDR arxitekturasidan foydalanishda xalqaro roumingni texnik taʼminlashni sezilarli soddalashtirish, qoʻllanadigan servislar sonini oshirish va aloqa qurilmalarining yuqoriroq tez moslashuvchanligiga erishish mumkin.

Ikkinchidan, mobil aloqa operatorlari nuqtai nazaridan SDR bu qoʻshimcha servislar va xizmatlarni qoʻshishning kuchli vositasi hisoblanadi.

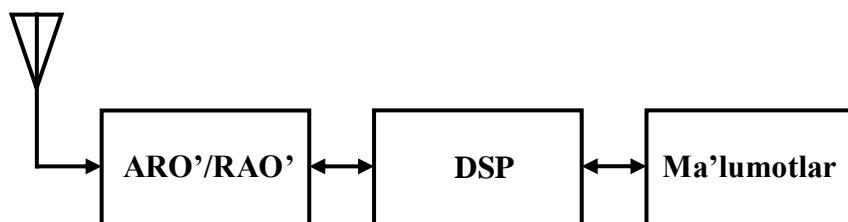
Va nihoyat, uchinchidan, abonentlar terminallari va bazaviy stansiyalar ishlab chiqaruvchilari yechimlarning yuqori masshtablanuvchanligi va tez moslashuvchanligi, koʻplab har xil turlardan qurilmalarni yigʻish uchun oʻsha bir apparatlar konfiguratsiyasidan foydalanish imkoniyati tufayli koʻplab afzalliklarni oladi. Shu tufayli yechimlarni yuqori ishonchligiga erishish, shuningdek ham qurilmalarni loyihalash va ishlatish bosqichida, ham qurilmalar hayot siklining barcha bosqichlarida vositalarni sezilarli tejashni taʼminlash oddiy boʻladi.

Koʻrinib turibdiki, tez moslashuvchanlik kabi xarakteristika koʻp bor taʼkidlandi. Tez moslashuvchanlik deganda, asosan, kanallar orasida qayta ulanish va modulyatsiyalash turini oʻzgartirish qobiliyati tushuniladi. Natijada mavjud SDR apparatlar platformasi qandaydir yangi ommaviylashgan maʼlumotlarni simsiz almashlash standartlarini qoʻllash uchun oson qayta dasturlanishi mumkin.

Soʻnggi vaqtlarda maʼlumotlarga raqamli ishlov berish texnologiyalari aktiv rivojlanmoqda, shu tufayli raqamli yechimlarning narxi doimo pasaymoqda. Bunda raqamli ishlov berish anʼanaviy analog tizimlarga qaraganda katta tezlikni taʼminlaydi va ishlatishda oddiyroq. Shuning uchun qabul qilish va uzatish apparaturalari analog bloklari va tugunlarini iloji boricha raqamli bloklar va tugunlarga almashtirishga intilish tushunarli hisoblanadi. SDR radioning soddalashtirilgan arxitekturasi 4.1- rasmda tasvirlangan koʻrinishga ega boʻladi. U

analog-raqamli, raqamli-analog o'zgartirish bloklari, raqamli signallarga ishlov berish zanjirlari va boshqa yordamchi bloklarga ega.

SDR arxitekturasi radio raqamli signallar protsessoridan tashqari mikrokontrollerga ega. SDR arxitekturasi qabullagich uchun bloklardan har birini ko'rib chiqamiz. Bunday SDR-qurilmaning eng muhim tugunlaridan biri analog-raqamli o'zgartirgich (ARO') hisoblanadi. Haqiqatda ARO' antennaga to'g'ridan-to'g'ri ulanadi, ya'ni vaqt bo'yicha o'zgaruvchi signalni diskret ikkilik-kodlangan shaklga o'zgartiradi.



4.1- rasm. Software Defined Radioning soddalashtirilgan arxitekturasi

Ravshanki, ARO'ning xarakteristikalarini ko'p jihatdan umuman qurilmaning parametrlarini aniqlaydi. Shuning uchun analog-raqamli o'zgartirgichlarning "signal-shovqin" nisbati, ruxsat etish (tanlashga bitlar soni), parazit tashkil etuvchilar bo'lmagan dinamik diapazon kabi parametrlari va nihoyat, avtonom tizimlar uchun juda muhim parametr – sochiladigan quvvat va energiya tejamligi rejimlarining bo'lishiga e'tibor berish kerak bo'ladi.

Software Defined Radio arxitekturasi boshqa muhim komponenti raqamli signallar protsessori hisoblanadi. Aynan u tizimning tez moslashuvchanligini ta'minlaydi va asosan signalga ishlov berish algoritmining bajarilishi uchun zarur bo'ladigan hisoblashlarni o'tkazish uchun ishlatiladi. An'anaviy jihatdan raqamli uzatish tizimlari (RUT) modulyatsion ishlov berishdan oldingi va detektorlashdan keyin signalga ishlov berish (qabul qilgichda) funksiyalarini bajarish uchun ishlatilgan. Lekin so'nggi vaqtlarda ular asosan detektorlash, korreksiyalash, demodulyatsiyalash, chastotalarni sintezlash va kanallarni filtrlash uchun kengaytirilgan kommunikatsion imkoniyatlarga ega bo'lgan transiverlarda ishlatiladi.

Fur'e o'zgartirishi RUTda deyarli har bir kommunikatsion qurilmada bajariladigan eng keng tarqalgan funksiyalardan biri hisoblanadi. Shuningdek Fur'e tez o'zgartirishi (FTO') ham ishlatiladi.

Lekin SDR ideal qurilmasi hozirgi vaqtda bunday tizimning o'ta yuqori narxi va SDR tizimlari asosida ishlatiladigan texnologiyalarning yetarlicha sezilarli cheklashlari sababli amalga oshirilishi mumkin emas (masalan, hozirgi vaqtda mavjud raqamli signallar protsessorlari bir vaqtda barcha radio funksiyalarini

ishlatilishi uchun yetarli tezkorlikka ega emas). Shuning uchun hozirgi vaqtga kelib, u yoki bu darajada SDR arxitekturasini o'zlariga javob beradigan simsiz platformalarning bir necha yechimlari mavjud.

Tarixan birinchi bunday yechimlardan biri SPEAKEasy bo'ldi, u AQSh harbiy qurilmalarida Software Defined Radio texnologiyasi asosidagi kommunikatsion tizimlardan foydalanish bo'yicha muvaffaqiyatli loyiha bo'ldi. Tizim 1970 yilda AQShda sinab ko'rildi. SPEAKEasy umumiy maqsadlardagi raqamli apparatlar platformasiga keng chastotalar diapazonlarida aloqani amalga oshirish, modulyatsiyalash turlari, ma'lumotlarni kodlash usullari va boshqa parametrlarni o'zgartirishga imkon berdi.

SDR tizimlarining tijorat ishlatilishi bazaviy stansiyalarni yig'ish uchun platformalar va foydalanuvchilari toifasidagi qurilmalar va terminallarga bo'linadi. Ularning samaradorliklari sekundiga 1 millionta operatsiyalarni tashkil etadi (RUTning doimiy rivojlanishi va arzonlashishi tufayli bu qiymat doimo ortmoqda) va ular birinchi navbatda, avtonom ta'minot manbalaridan (bataryalar, akkumulyatorlardan) ishlashga mo'ljallangan.

4.3. Mobil telefoniya SDR arxitekturasidan foydalanish

Mobil aloqa texnologiyalarining aktiv rivojlanishi apparatlar ta'minoti ishlab chiqaruvchilari investorlarning oldiga vositalarni investitsiyalash uchun texnologiyalarni (UMTS/W-CDMA, EDGE, GPRS, LTE va boshqalar) tanlash muammosini qo'yimoqda. Muammo juda murakkab, chunki mobil aloqa tizimlari uchun qurilmalar bozori rivojlanadigan yo'nalishni bashoratlash oson emas.

Bu holdagi xatolik sezilarli moliyaviy yo'qotishlarga olib keladi. Shuning uchun hozirning o'zida ko'plab tadqiqotlar laboratoriyalari va mobil telefoniya qurilmalari ishlab chiqaruvchilari Software Defined Radio texnologiyasi tomoniga bugungi sotali telefonlar an'anaviy arxitekturasiga muqobil sifatda qarashmoqda.

SDR arxitekturasini sotali telefonning apparatlar ta'minoti potensial jihatdan barcha mobil telefoniya standartlarini qo'llaydi. Lekin SDR arxitekturasidagi sotali telefonlarning afzalliklari bu bilan tugamaydi. Bunday mobil qurilma radiochastotalar spektri va ta'minot manbaidan iste'mol qilinadigan energiyadan samarali foydalanishga, bitta standartdan boshqasiga oson qayta ulanishga imkon beradi.

Muhandislar oldin boshqa SDR-tizimlar ishlab chiqaruvchilari yaratgan dasturiy modullari orasidan oddiy tanlashi va ulardan o'z mahsulotlarida istalgan to'plamda foydalanishi mumkin. Bunday dasturiy modullardan ko'p karrali takroran foydalanish ishlab chiqaruvchilar uchun ham loyihalash murakkabligi va mahsulotni bozorga chiqarish vaqtini kamaytirish nuqtai nazaridan, ham

loyihalashga kam sarflarda katta ishonchlilikni olish nuqtai nazaridan juda o'ziga tortadi.

SDR arxitekturasi asosidagi tizimlarning apparatlar ta'minotining oddiyroq ekanligini ham unutmaslik kerak, chunki ularda ko'plab analog zanjirlar raqamli signalga dasturiy ishlov berish bilan almashtiriladi. Mobil telefoniya qurilmalari apparatlar ta'minotining o'ziga xos xususiyatlari haqidagi to'xtaganda, ta'kidlash kerakki, bozor nuqtai nazaridan bugungi kunda eng tejamli variant RUTdan emas, balki arifmetik operatsiyalarni bajarish uchun qat'iy qo'yilgan mantiqiy bloklarni ishlatadigan ASIC tezkor va tez moslashuvchan mikrosxemalardan foydalanish hisoblanadi.

SDR tizimlarida foydalanish uchun boshqa juda to'g'ri keladigan va o'ziga tortadigan komponent YaO'MIS (yarim o'tkazgichli mantiqiy integral sxema) dasturlanadigan mantiqiy mikrosxemalar hisoblanadi, ularda qurilma ishlab chiqarilgandan keyin bog'lanishlar va mantiqiy funksiyalarni dasturlash mumkin. Va, nihoyat, ta'kidlash kerakki, ASIC mikrosxemalari past narxlarda eng yaxshi unumdorlikni ta'minlasada, ularning dasturlanuvchanligi integratsiya darajasining ortishi bilan kamayadi, bu ba'zan yetarlicha sezilarli cheklash hisoblanadi. Shuning uchun ko'p sonli turli xil simsiz aloqa standartlarining qo'llanishini talab qiladigan ayrim SDR qurilmalari o'z tarkibida bir necha ASIC mikrosxemalarining ishlatilishini talab qilishi mumkin. Yoki bunday hollarda aniq bir ilovaning o'ziga xos xususiyatlari va talablariga bog'liq ravishda RUT va YaO'MIS bog'lamasidan foydalanish mumkin.

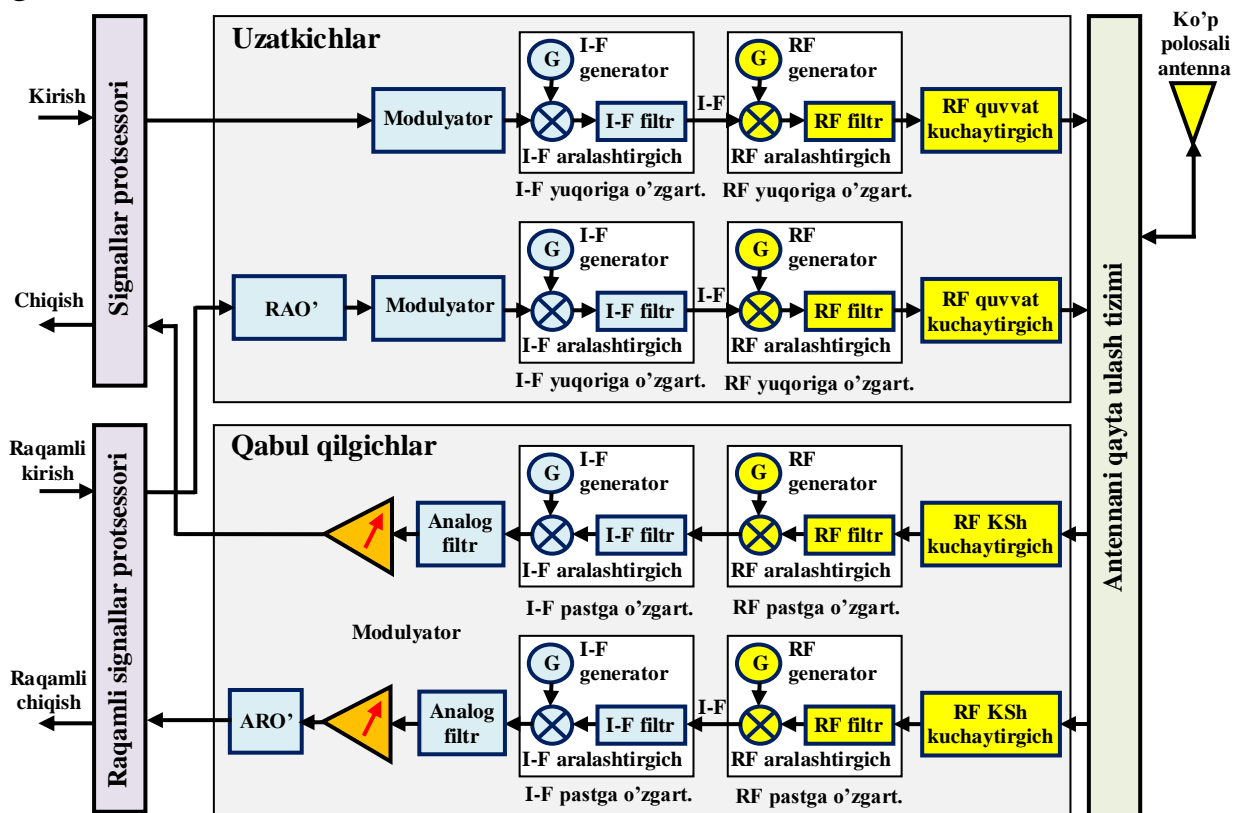
4.4. SDR sotali telefonining arxitekturasi

SDR texnologiyasi asosida bajarilgan sotali telefonning arxitekturasini ko'rib chiqamiz. SDR transiverlari umumiy maqsadlardagi apparatlar platformasida dasturiy ta'minotning mos modullari va bloklarini ishga tushirish bilan o'z funksiyalarini ishlatadi. Masalan, chastotani sozlash, filtrlash, modulyatsiyalash va demodulyatsiyalash kabi funksiyalarni bajarilishi uchun apparatlar ta'minotining analog qismi bu funksiyalarni "raqamli" amalga oshiradigan dasturiy kod bilan almashtiriladi. Bunday qayta taqsimlash bitta radioqurilmaga ko'p sonli modulyatsiyalash sxemalarini qo'llash uchun o'z aralashtirgichlari va filtrlarini qayta dasturlashga imkon beradi, bu unga ko'plab turli chastotalar diapazonlarida ishlashga imkon beradi.

Oddiy ikki rejimli sotali telefonni ko'rib chiqamiz (4.2- rasm), u odatdagi ikkinchi avlod qurilmasi hisoblanadi. Masalan, Shimoliy Amerikada bunday telefon eskirgan analog AMPS va Yevropa GSM tarmoqlarida ishlashi mumkin. Har xil tarmoqlar turlarini qo'llash mos uzatkichlar va qabullagichlarning oddiy

qayta ulanishi orqali amalga oshiriladi. Bunday arxitektura masshtablanadigan hisoblanmaydi, chunki yana bitta tarmoqni qo'llashni qo'shish uchun apparatlar ta'minotini to'ldirish talab qilinadi.

Analog rejimda chiqish signallari analog signallar protsessoridan chiqadi va ko'plab radio- va televizion stansiyalarda qo'llanadigan o'sha bir konstruksiyadagi funksional bloklar ketma-ketligi mavjud supergeterodinli arxitekturaga beriladi. Signallar protsessoridan tashuvchi signal bilan modulyatsiyalanadi va oraliq chastotaga o'tkaziladi (IF, Intermediate Frequency), keyin esa RF (Radio Frequency) yuqori chastotagacha oshiriladi, bundan keyin kuchaytiriladi va antennaga beriladi.



4.2- rasm. Ikkita turli bitta analog va bitta raqamli tarmoqlarda ishlay oladigan ikki rejimli sotali telefonning arxitekturasi

Teskari yo'nalishda analog qabul qilgich ikkita kaskadlarda qabul qilingan analog signalni pasaytiradi, mos kanalni tanlaydi va keyin uni demodulyatsiyalash uchun signallar protsessoriga uzatadi. Raqamli transiver o'xshash tarzda ishlaydi, faqat analog signallar protsessori o'rniga raqamli signallar protsessori ishlatiladi. Bunda yana dekompressiyalash, shifrlash va filtrlash operatsiyalari ishlatilishi mumkin.

Mazmunan, ikki rejimli sotali telefon ko'plab dasturiy yadrolarli konfiguratsiyalanadigan funksiyalarga ega, ular zarurat bo'lganda aktivlashtiriladi yoki noaktivlashtiriladi. SDR texnologiyasi dasturlanadigan raqamli signallar

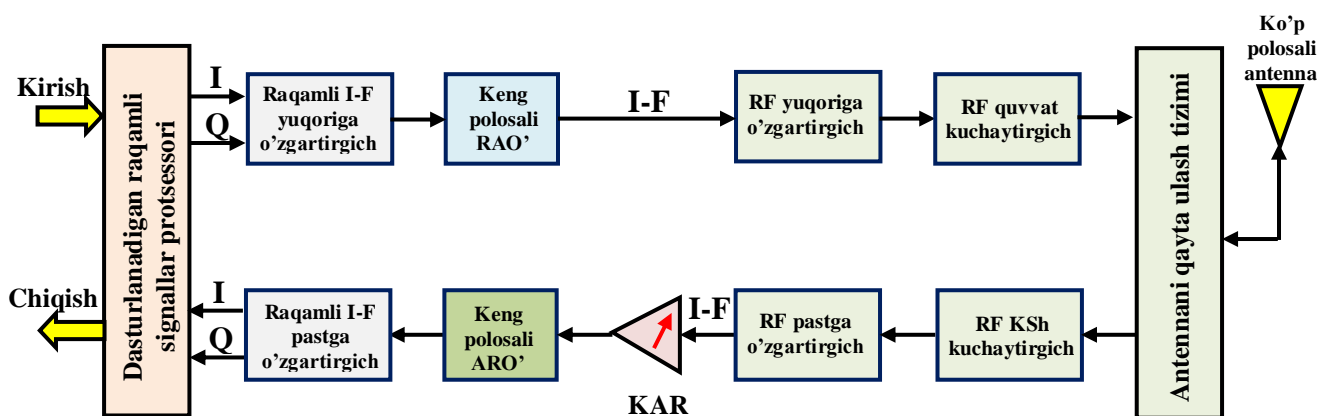
protessorlarini ishlatadigan elegant yechimni taklif etadi, ular dastlab yuklanadi va keyin aniq bir standartni qo'llash uchun zarur bo'ladigan funksional bloklar ishga tushiriladi.

An'anaviy sotali telefonni SDR tizimiga o'zgartirish yo'lidagi birinchi qadam iloji boricha ko'p sonli analog tugunlarni raqamli tugunlarga o'zgartirish hisoblanadi. Ya'ni barcha analog baseband-zanjirlar raqamli zanjirlarga almashtirilishi kerak. Uzatkich tomonidan bu nutqni raqamli ko'rinishga o'zgartirish iloji boricha mikrofoniga yaqin bo'lishi, keyin barcha ishlov berish operatsiyalari (siqish, filtrlash, modulyatsiyalash) raqamli zanjirlarda bajarilishini bildiradi.

O'xshash o'zgartirishlar telefonning qabul qilish qismida ham talab qilinadi. Bu yerda dasturlanadigan qurilmalarda keyingi ishlov berish uchun kirish radiochastotalar signalini raqamli shaklga iloji boricha antennaga yaqin joyda o'zgartirish va keyin uni analog shaklga iloji boricha telefon dinamikiga yaqin joyda o'zgartirish masalasi turadi.

Keyingi qadam yuqori chastotalarda dasturlanuvchanlikka ega bo'lish uchun analog-raqamli va raqamli-analog o'zgartirgichlardan foydalanish hisoblanadi (4.3- rasm). 4.3- rasmdan ko'rinib turibdiki, SDR-transiver an'anaviy sotali telefon butun apparatlar ta'minotining yarmidan kamini talab qiladi. Uzatish va qabul qilish zanjirlarini almashtirish bilan birga SDR dasturiy radio faqat bitta zanjirga ega, uning parametrlari aniq bir talablarga muvofiq sozlanadi.

Barcha funksiyalar dasturiy aniqlanadi, bitta uzatkich va qabul qilgich ishlatilgan ko'plab standartlar qo'llanadi. Qabul qilgich analog oxirgi kaskadga ega bo'ladi, bunda oraliq chastotali (OCh) chiqish raqamli shaklga o'zgartiriladi va keyin RUTda ishlov beriladi. Kanalni tanlash filrlarning qayta ulanish bilan amalga oshiriladi, bu operatsiyani RUT bajaradi.

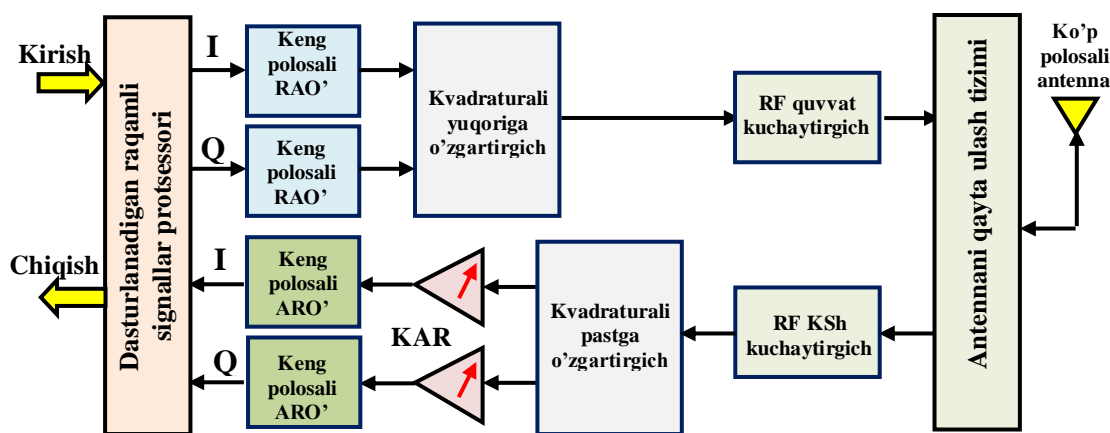


4.3- rasm. SDR asosidagi sotali telefon arxitekturasi

Parametrlari SDR tizimlar uchun juda muhim bo‘lgan va haqiqatda ularning xarakteristikalarini aniqlaydigan to‘rtta komponentlarni ajratish mumkin, bu ARO’, RUT, filtrlar va radiochastotalar kuchaytirgichlari hisoblanadi. ARO’ SDR tizimidagi eng muhim komponent hisoblanadi, chunki tezkorligi antenna ARO’ning o‘ziga qanchalik yaqin bo‘lishi kerakligiga ta’sir qiladi.

ARO’ni o‘zining eng muhim xarakteristikalari orasidan uning tezlik parametrlari, ruxsat etish va chiziqlilikni ajratish zarur. Agar uncha qimmat bo‘lmagan ARO’lar ko‘rib chiqilsa (ommaviy mahsulotlarda faqat shunday ARO’lar ishlatilishi mumkin), u holda bunday asboblarning ruxsat etishi o‘rtacha 100 mln tan./sga yetadi. Bu oraliq chastota signalini raqamlashtirish uchun yetarli qiymat hisoblanadi, lekin bu yuqori chastotali radiosignalni raqamlashtirish uchun yaqqol yetarli emas.

Software Defined Radioning ishlatilishiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri yo‘l to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘zgartirish arxitekturasidan foydalanish hisoblanadi, bunda analog zanjirlar oraliq chastotani o‘tkazib yuborish bilan radiochastotalar signallari chastotasi to‘g‘ridan-to‘g‘ri kamaytiradi (4.4- rasm). Bunday arxitektura to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘zgartirish va oraliq chastotalar kaskadlarining bo‘lmasligi hisobiga kengroq chastotalar polosalarini va o‘tkazish polosalarini qo‘llashga imkon beradi.



4.4- rasm. To‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘zgartirishli sotali telefon arxitekturasi

Keyin bu signal analog-raqamli o‘zgartirgich yordamida raqamlashtiriladi, bundan keyin talab qilinadigan kanal mos filtrni ulanishi bilan tanlanishi mumkin. Bunday funktsionallik signallar protsessorida amalga oshirilishi mumkin. Lekin bunday arxitekturani mikrosxemalarda amalga oshirishda ayrim konstruktiv-texnologik muammolar mavjud, bu esa bu yo‘nalishga to‘sqinlik qilmoqda.

Yuqorida ta’kidlanganidek, SDR qurilmalarining boshqa muhim komponenti RUT hisoblanadi. Unumdorlikning doimiy ortishiga qaramasdan, ayrim tizimlar uchun raqamli ma’lumotlarga bir necha RUTlar orqali parallel ishlov berishdan

foydalanish foydaliroq bo'lishi mumkin. Lekin bunday yondashish o'lchamlar, vazn, sochiladigan quvvat va narxning ortishiga olib keladi, shuning uchun unga faqat juda muhim hollarda murojaat qilish kerak bo'ladi.

Va nihoyat, filtrlar. Ular SDR tizimlarida juda muhim, shuning uchun ularni tanlashga sinchiklab yondashish kerak. Raqamli filtrlar alohida mikrosxemalaridan foydalanish yaxshi yechim hisoblanadi. Bu qurilmalar past murakkablik va uncha qimmat bo'lmagan narxda signalni filtrlash funksiyalarini amalga oshirishi mumkin.

RUTda filtrlash funksiyalarini ishlatilishi variantidan farqli ravishda bu variant dasturlanadigan hisoblanmaydi, lekin shunga qaramay, sotali telefoniya standartlari uchun chastotalar diapazonlari qayd etilgan hisoblanishi sababli SDR sotali telefonlari konstruksiyalarida ulardan foydalanish to'g'ri bo'ladi.

4.5. SDR arxitekturasili tizimlar uchun apparatlar platformalariga misollar

SDR asosida ko'p protokollu simsiz interfeysni qanday amalga oshirish kerak? Javoblar ko'p, ammo eng ma'lum va eng mantiqiy to'g'ri tizimni qurishning modulli arxitekturasidan foydalanish hisoblanadi. Bunday tanlash, birinchidan, yuzaga kelgan texnik mentalitetga bog'liq, shuning uchun bugungi kunda modulli arxitektura SDR tizimlarini keyingi rivojlanishining eng ma'lum bosqichi hisoblanadi.

Eng muhim asosiy komponentlardan biri raqamli signallarga ishlov berish uchun dasturlanadigan YaO'MIS mantiqiy mikrosxemalari va DSP signallar protsessorlari hisoblanadi. Bu komponentlar keng tarqalgan va uncha katta bo'lmagan narxga ega, shuning uchun to'g'ri va sinchiklab loyihalashda SDR arxitekturasida yetarlicha uncha qimmat bo'lmagan universal ko'p protokollu radioni olish mumkin.

Bunday tizimlar uchun (SFF - Small Form-Factor nomini olgan) signallarga raqamli ishlov berish nimtizimlarining unumdorligiga yuqori talablar va algoritmlarning yuqori murakkabligi (tushunarli va ma'lum sabablarga ko'ra) o'ziga xos. DSP+FPGA bog'lamadan foydalanish loyihalashga an'anaviy yondashishdan foydalanish, tizimning narxi va ishlab chiqish vaqtini kamaytirishga imkon beradi.

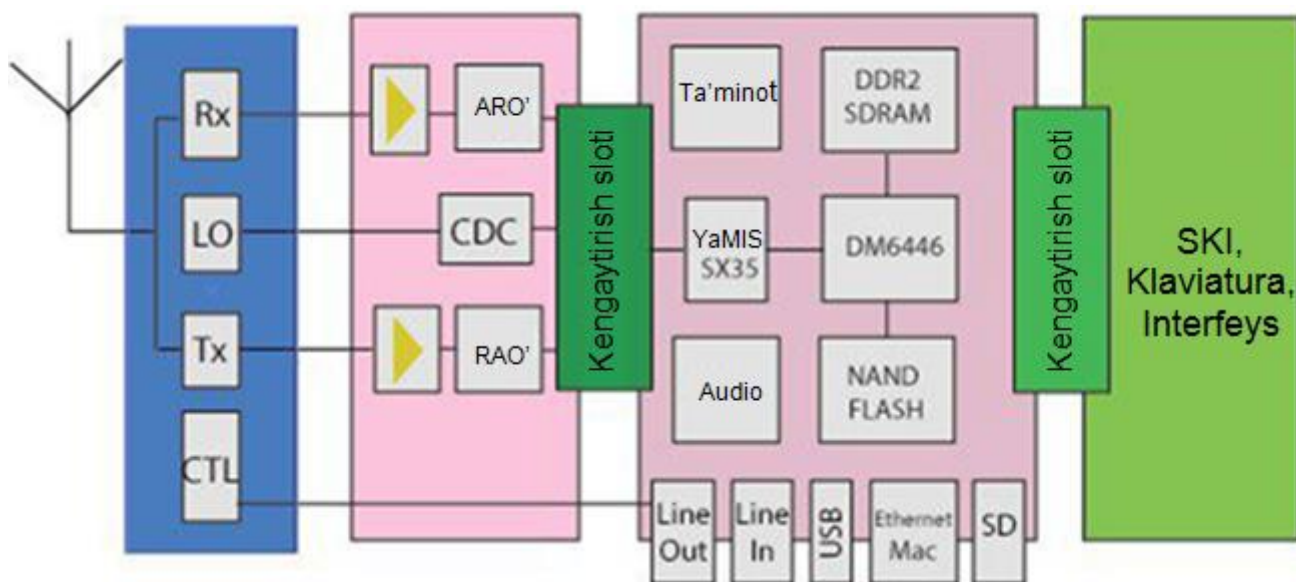
Bunday SFF platformaga misol bo'lib Texas Instruments (raqamli signallar protsessori) va Xilinx (YaO'MIS) firmalarining komponentlari asosida bajarilgan Lyrtech firmasi modulli qurish arxitekturasili tizim xizmat qilishi mumkin (4.5-rasm).



4.5- rasm. Lyrtech firmasining FFM formatdagi SDR platformasining ko‘rinishi

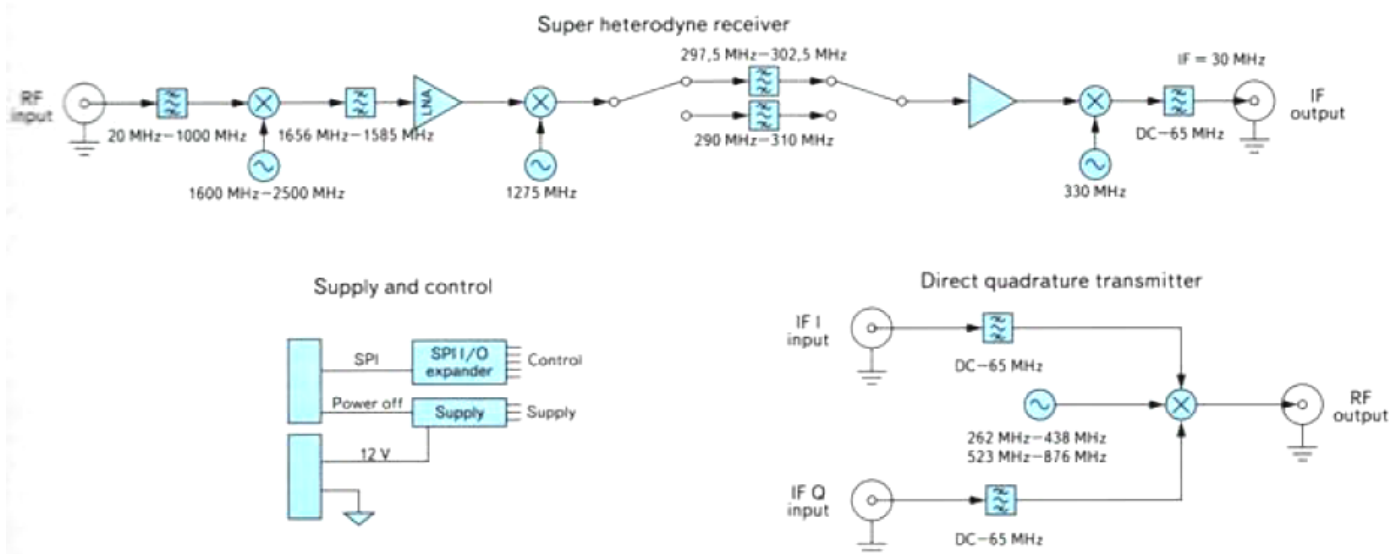
U modulli arxitekturada bajarilgan. Platforma radiochastotalar moduli, ma’lumotlarni o‘zgartirish moduli, signallarga raqamli ishlov berish moduli va shart bo‘lmagan qo‘shimcha kengaytirish modullariga ega (4.6- rasm).

Radiochastotalar moduli qandaydir ishchi diapazonda radiosignallarni qabul qilish va uzatishni ta’minlaydigan simsiz interfeys platasi hisoblanadi. Uning soddalashtirilgan tuzilish sxemasi 4.7- rasmda keltirilgan.

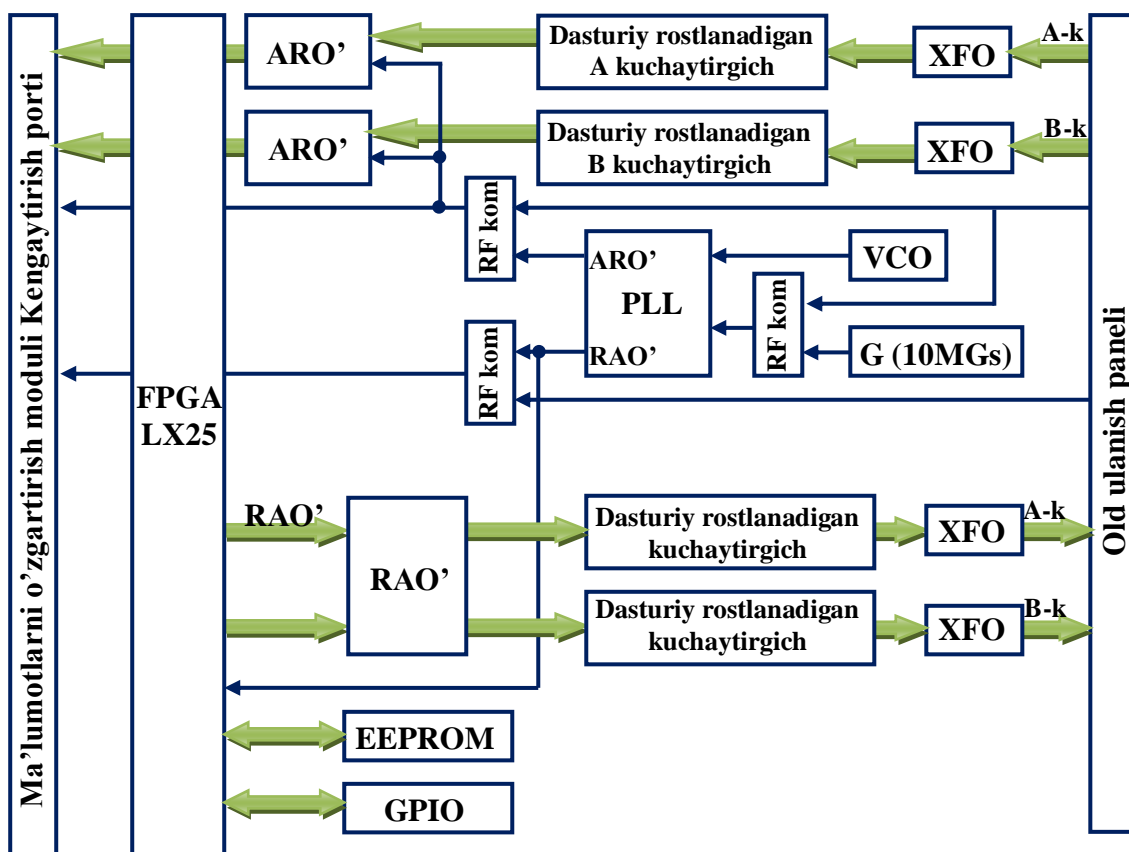


4.6- rasm. Lyrtech firmasining FFM formatdagi SDR platformasining tuzilish sxemasi

Ma'lumotlarni o'zgartirish moduli signallarni analog-raqamli (qabul qilish qismi uchun) va raqamli-analog (uzatish qismi uchun) o'zgartirish uchun xizmat qiladi va dastlabki bufer kuchaytirgichlarga ega bo'lgan ARO' va RAO' mikrosxemalaridan tashkil topgan. Uning tuzilish sxemasi 4.8- rasmda keltirilgan.



4.7- rasm. Qabul qilish-uzatish radiochastotalar modulining tuzilish sxemasi

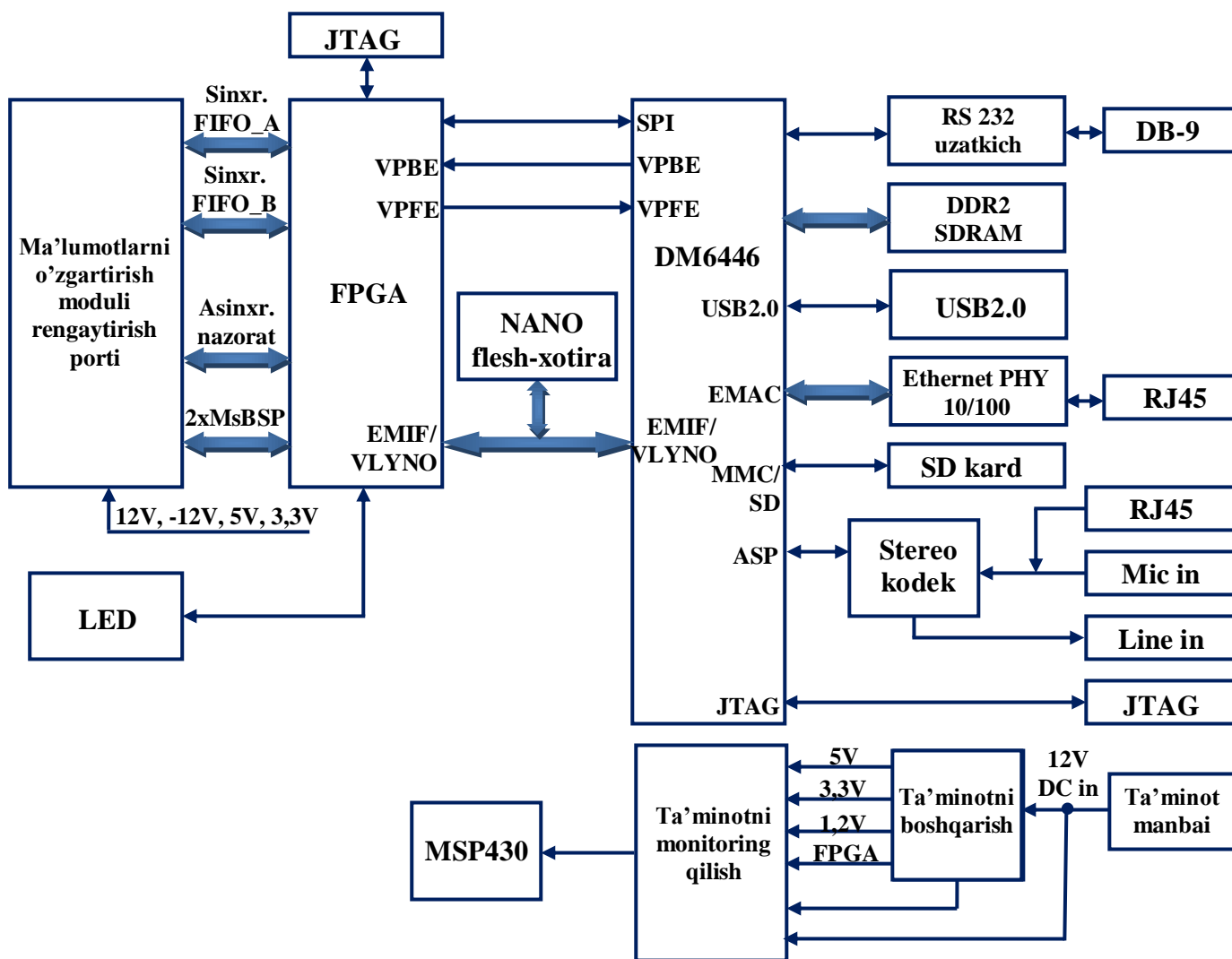


4.8- rasm. Ma'lumotlarni o'zgartirish modulining tuzilish sxemasi

Ma'lumotlarga raqamli ishlov berish moduli (4.9- rasm) bu platformadagi eng murakkab modul hisoblanadi va quyidagi tugunlarga ega:

- platformaning ta'minotini boshqarish tuguni;
- DSP asosida ma'lumotlarga raqamli ishlov berish tuguni va unga zarur periferiya (SDRAM va NAND Flash xotira);
- Interfeyslar tugunlari (MAC Ethernet kontroller, USB, SD turdagi xotira kartasili interfeys, chiziqli kirish va chiqish).

Kengaytirish platalari kontrollerlar, klaviaturalar, suyuq kristalli displey, inson-mashina interfeysi qurilmalari bo'lishi mumkin. Demak, aytish mumkinki, ko'rib chiqilgan platforma antennalardan boshlab (u ham platformada mavjud) signallarga ishlov berish zanjirlarigacha to'liq signalga ishlov berish zanjiri uchun tugunlarga ega.



4.9- rasm. Signallarga raqamli ishlov berish modulining tuzilish sxemasi

4.6. Software Define Radio tizimlarining kelajagi

Qattiq jisimli elektronika bo'yicha xalqaro konferensiyada IMEC kompaniyasi mikrosxemaning namunasi – SCALDIO kodli nomga ega bo'lgan keng polosali SDR-transiverni taqdim etdi. Ko'p rejimli SDR platformasi keng dasturlash imkoniyatlariga ega va barcha joriy va bo'lajak sotali telefoniya standartlari, WLAN, WPAN, shuningdek 174 MGts dan 6 GGts gacha diapazondagi istalgan chastotadagi radioeshittirish va joylashish o'rnini aniqlash standartlari bilan ishlashi mumkin.

SDR ko'p rejimli transiverining noyob arxitekturasi zamonaviy bitta rejimli radiodagi tenglashtirsa bo'ladigan sochiladigan quvvat chip maydoni bilan xarakterlanadi va parametrlarning yaxshi birikmasi va uncha katta bo'lmagan narxga ega, shuning uchun ko'zda tutish mumkinki, bu mikrosxemalar mobil qurilmalarni ishlab chiqaruvchilar tomonida ommaviy ishlab chiqarishda qabul qilinadi.

Zamonaviy ko'p rejimli terminallar faqat ikkita yoki uchta standartlarni qo'llash tufayli cheklangan tez moslashuvchanlikka ega va oshirilgan energiya iste'mol qiladi, shuningdek ko'p sonli "bog'lash" komponentlarini talab qiladi. IMEC esa ancha katta tez moslashuvchanlik va past energiya iste'molili, barcha joriy va istalgan bo'lajak standartlar bilan ishlay oladigan mikrosxemani taklif etdi, bu bunday tizimlar uchun juda muhim va ishlab chiquvchilar e'tiboridan chetda qolmaydi.

SDR chiqish kaskadlari yuqori integratsiya darajasiga ega, ularning konstruksiyasi joyni tejash va maksimal past narxga erishish nuqtai nazaridan optimallashtirilgan. Rekonfiguratsiyalanadigan kirish kaskadining mikrosxemasi 130 nm texnologiya bo'yicha bajarilgan va 1,2 V chiqish kuchlanishili bir kanalli ta'minot manbaini ishlatadi.

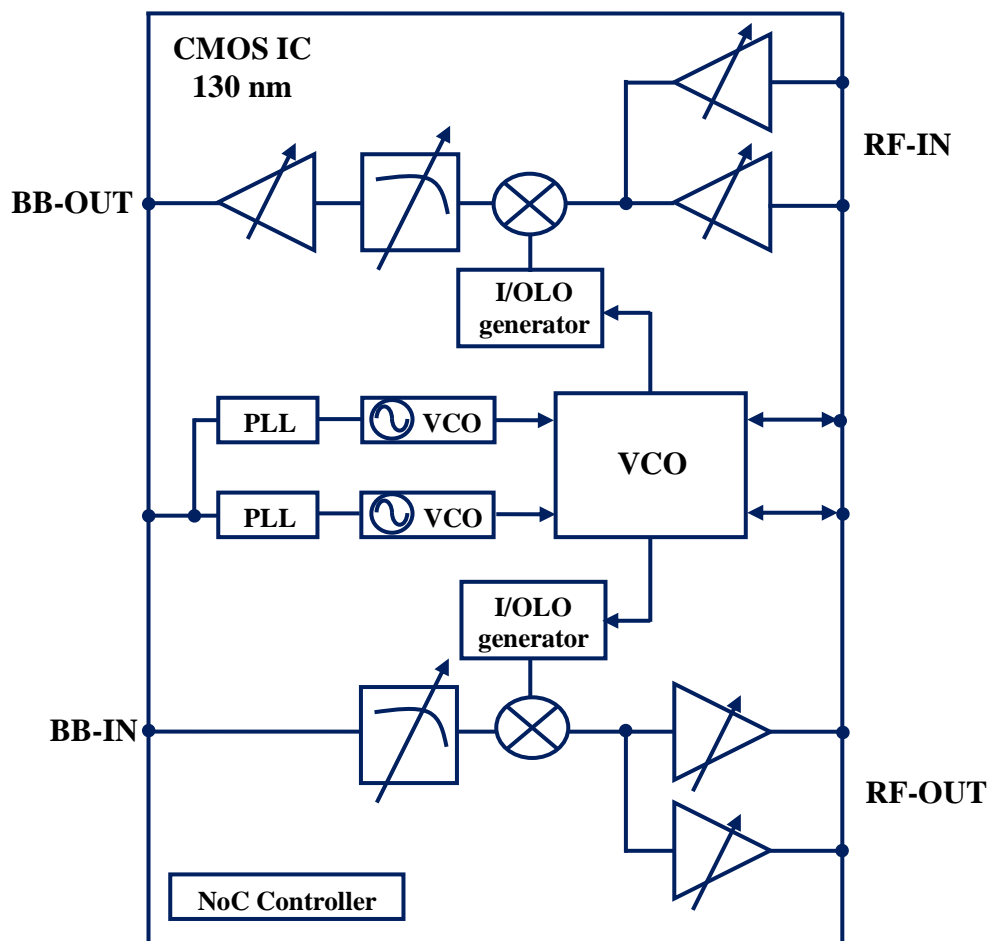
Chipning aktiv maydoni 7,7 mm² ni tashkil etadi. SDR tizimi oxirgi kaskadining konfiguratsiyasiga bog'liq ravishda sochiladigan quvvat 60 dan 120 mA gacha diapazonda bo'lishi mumkin, bu an'anaviy bitta rejimli radioning energiya iste'moliga teng bo'ladi.

SDR-transiverning oxirgi kaskadlari to'liq konfiguratsiyalanadigan to'g'ridan-to'g'ri o'zgartirish qabul qilgichi, uzatkichi va ikkita chastotalar sintezatorlarini o'z ichiga oladi. To'g'ridan-to'g'ri o'zgartirish butun 174 MGts dan 6 GGts gacha chastotalar diapazonida to'liq rekonfiguratsiyalanuvchanlikni ta'minlash uchun ishlatiladi. Har bir blokning parametrlari raqamli boshqarish yordamida keng qiymatlar diapazonida rostlanishi mumkin.

Bunday konfiguratsiyalarning turli to'plamlaridan foydalanish yordamida aniq bir standart talab qiladigan qiymatga (masalan, tashuvchi chastota, kanal kengligi, shovqin koeffitsiyenti, chiziqlilik, filtrlash parametrlariga) aniq sozlash

mumkin. Bundan tashqari, turli konfiguratsiyalarni dinamik yuklash bilan energiya iste'molini sezilarli tejashga erishish mumkin.

IMEC kompaniyasi muhandislarining yana bir juda muhim yutuq'i to'liq konfiguratsiyalanadigan filtrlarning amalga oshirilishi hisoblanadi, bu haqiqatan bu chip asosida SDR-qurilmalarni loyihalashda cheklanmagan imkoniyatlarni beradi. Tavsiflangan konsepsiya asosida amalga oshirilgan transiverning blok sxemasi 4.10- rasmda tasvirlangan.



4.10- rasm. IMEC kompaniyasining yechimlari asosida amalga oshirilgan SDR transiverining blok-sxemasi

Nazorat savollari

1. Software Defined Radio so'zlar birikmasi qanday ma'noni anglatadi?
2. Software Defined Radio texnologiyasining mazmuni nimadan iborat?
3. SDR arxitekturasi qanday komponentlardan tashkil topgan?
4. SDR arxitekturasida mikrokontroller qanday vazifalarni bajaradi?
5. SDR arxitekturali sotali telefonning afzalliklari nimada?

6. Ikkita turli bitta analog va bitta raqamli tarmoqlarda ishlay oladigan ikki rejimli sotali telefonning arxitekturasi qanday komponentlardan tashkil topgan?

7. SDR sotali telefonining arxitekturasi qanday komponentlardan tashkil topgan?

8. To'g'ridan-to'g'ri o'zgartirishli sotali telefon arxitekturasi qanday komponentlardan tashkil topgan?

9. Lyrtech firmasining FFM formatdagi SDR platformasining tuzilish sxemasini tushuntiring.

10. IMEC kompaniyasining yechimlari asosida amalga oshirilgan SDR transiverining blok-sxemasini tushuntiring.

5- BOB. ADAPTIV KO‘P REJIMLI RADIOCHASTOTA ZANJIRLARI

5.1. Ko‘p diapazonli abonentlar qurilmalari uchun kirish radiochastotalar (RCh) modullari

Mobil aloqa telekommunikatsion bozorning keskin rivojlanayotgan sektori hisoblanadi.

Mobil telefon bugungi kunda radiokanal bo‘yicha ma‘lumotlarni almashlash funksiyalarini bajarishdan tashqari, videoma‘lumotlarni yuqori sifatli aks ettirish, yetarlicha ma‘lumotlar hajmlarini kiritish va saqlash va kamida Internetga ulanish masalasini yechish uchun ma‘lum hisoblash quvvati imkoniyatlarini ta‘minlashi kerak.

Mobil tizimlarning oldiga qo‘yiladigan asosiy vazifa barcha biznes, ta‘lim, ko‘ngil ochish, uy hayoti va h.k. sohalarida ommaviy iste‘molchilarga personal aloqa vositalari va xizmatlarini ta‘minlash bo‘lib qoldi.

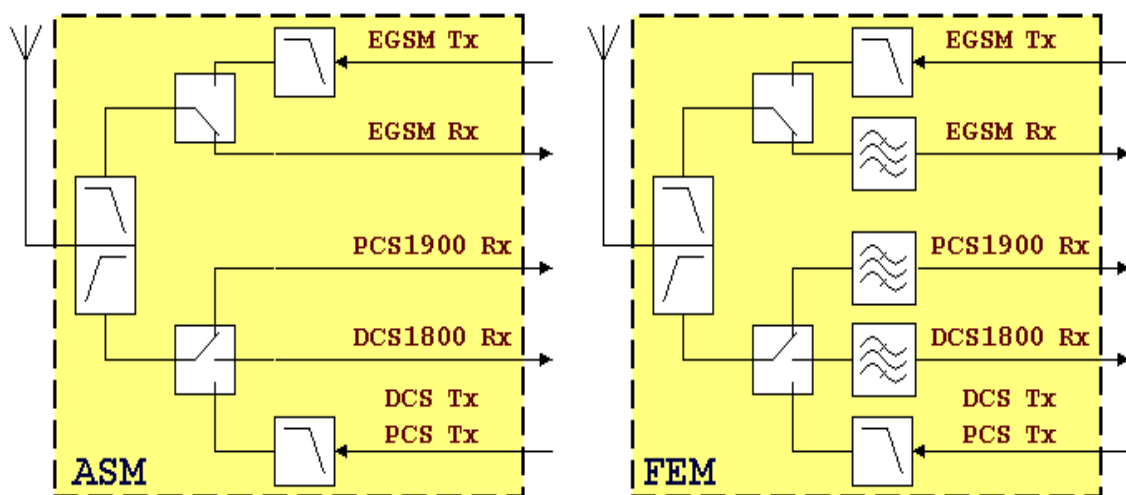
Harakatdagi aloqaning rivojlanishi yo‘nalishlarini tahlil qilish multimediali aloqa xizmatlari foydalanuvchilarining sonini sezilarli ortishini bashoratlashga imkon beradi. Keyingi avlod mobil tizimlarining farqli o‘ziga xos xususiyati abonentlar qurilmalariga yuqori sifatli multimediali ma‘lumotlarni uzatish imkoniyati va ko‘plab diapazonlardan ishlash imkoniyati bo‘ladi.

Mobil aloqa zamonaviy ko‘p diapazonli va ko‘p rejimli qurilmalarini ishlab chiqish ularda kechadigan jarayonlarni to‘g‘ri tahlil qilish va arxitekturani tanlashni talab qiladi. Bu olib yuriladigan qurilmalarning narxi, quvvati, o‘lchami va ishchi xarakteristikalariga qo‘yiladigan talablarni bajarilishi uchun zarur. Bunday ko‘p funksiyali qurilmalar GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, LTE, Bluetooth, WLAN lokal tarmoqlar, GPS pozitsiyalash tizimlari, radio va TV qabul qilish imkoniyatlari kabi qator standartlar va texnologiyalarni qo‘llashni amalga oshirishi mumkin.

Avvalo, bunday qurilma kichik vazn, hajm, energiya iste‘moli va narxga ega bo‘lishi kerak. Bunday natijalarga erishish uchun turli diapazonlar va standartlarda ishlatiladigan funksional tugunlarni maksimal birlashtirish, RCh bloklar kombinatsiyalangan arxitekturalari, asl chastotalar rejalaridan foydalanish zarur.

Harakatdagi ob‘ektlar bilan aloqa tizimlari (HOAT) zamonaviy ko‘p diapazonli abonentlari qurilmalari (AQ) kirishida kirish RCh modullari (KRChM) qo‘llanadi (5.1- rasm). Ularning asosiy vazifasi quyidagilardan iborat:

- qabul qilish/uzatish traktlarini ajratish va bog‘lanishini ta‘minlash;
- ularga antennani ulash.



Duplekser – Kalitlar – Filtrlar (PCh)

Duplekser – Kalitlar – Filtrlar (RCh)

5.1- rasm. Uchta diapazonli GSM ASM antennalarni kommutatsiyalash moduli va FEM RCh trakt kirish moduli

Bugungi kunda integral variantlarda ikkita turlardagi qayta ulash va filtrlash modullari - ASM (Antenna Switch Module) antennalarni kommutatsiyalash modullari va FEM (Front End Module) RCh trakt kirish modullari chiqariladi. Ular orasidagi farq SAT (sirt akustik to‘lqinlari) asosida bajariladigan filtrlar qurilmalarining integratsiyalanishidan iborat.

Agar modul polosali filtrlash elementlariga ega bo‘lmasa, u ASM antennalarni kommutatsiyalash moduli deyiladi, agar modul polosali filtrlash elementlariga ega bo‘lsa, FEM RCh trakt kirish moduli deyiladi. Ba’zan integral kirish RCh blok tarkibiga qabul qilish traktining kam shovqinli kuchaytirgichi (KShK) va uzatish traktining chiqish quvvat kuchaytirgich (QK) kiritiladi. RCh blokda ishlatiladigan modulning turini tanlash aniq bir ishlanmaga va ishlatiladigan qurilmalarning parametrlariga bog‘liq.

Yagona diapazonda bitta antenna bilan ishlaydigan bir diapazonli eng oddiy abonentlar qurilmasi kirish RCh blokida faqat antennalarni qabul qilish va uzatishga navbatma-navbat kommutatsiyalash uchun ikkita holatga bir qutbli kalitga ega bo‘ladi.

KRChMda qo‘llanadigan asosiy funksional tugunlar antennalar, RCh kalitlar duplekserlar hisoblanadi. Turli asosiy tugunlar soniga ega bo‘lgan kirish RCh modullarining turli konfiguratsiyalari taklif etilishi mumkin.

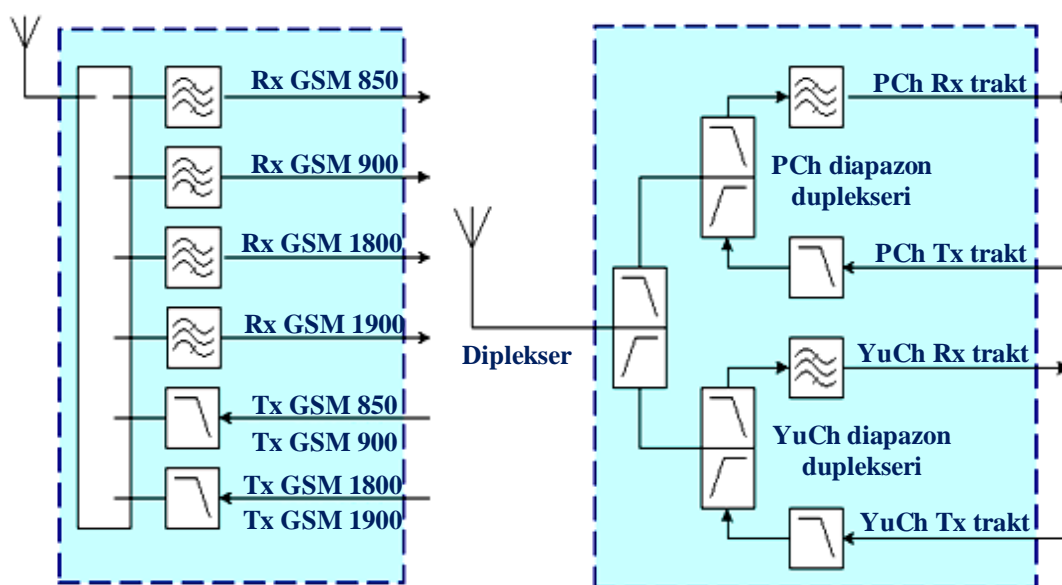
GSM standarti zamonaviy qurilmalarida ishlatiladigan RCh bloklar butun dunyo bo‘yicha ishlash uchun to‘rttagacha uzatish va to‘rttagacha qabul qilish antennalaridan foydalanish bilan minimum to‘rtta diapazonlarda ishlashni qo‘llashi kerak. To‘rtta diapazonli blokda ishlatiladigan tugunlardan har birining soni

bittadan to'rttagacha o'zgarishi mumkin. Masalan, to'rtta duplekserlarga ega bo'lgan va to'rtta ajratilgan antennalar bilan ishlash uchun mo'ljallangan kirish RCh moduli ishlatilishi mumkin.

Har bir qabul qilish trakti kirishda individual diapazonli polosali RCh filtr, odatda SAT sirt akustik to'liqlardagi filtrning ishlatilishini talab qiladi. Kirish RCh bloki qabul qilish traktida mos moslashtirish va filtrlash qurilmalariga ega bo'lgan to'rtta alohida kirish kaskadlaridan (KShK va bo'lishi mumkin aralashtirgichlar) foydalanish zarur, bu yakunda oltita teng qabul qilish RCh traktlari umumiy soniga olib keladi.

Uzatish traktida faqat ikkita QKlar – GSM PCh va YuCh diapazonlar QKlari ishlatilishi mumkin. Qo'shni diapazonlarning chastota bo'yicha yaqinligi hisobga olinganda, uzatish traktining bitta QK GSM850 va GSM900 diapazonlarini, ikkinchisi esa GSM1800 (DCS) va GSM1900 (PCS) diapazonlarini qamrab olishi mumkin.

5.2- rasmda tasvirlanganidek, eng oddiy variantda bu konfiguratsiyani bajarilishi bitta antennalar kirishini oltita RCh traktlarga ulashni amalga oshirish uchun oltita holatlarga bir qutbli kalitni ishlatilishini talab qiladi. Lekin hozirgi vaqtda qoniqarli xarakteristikalariga ega bo'lgan bunday ko'p pozitsiyali RCh kalitlarni texnik amalga oshirish qiyin.



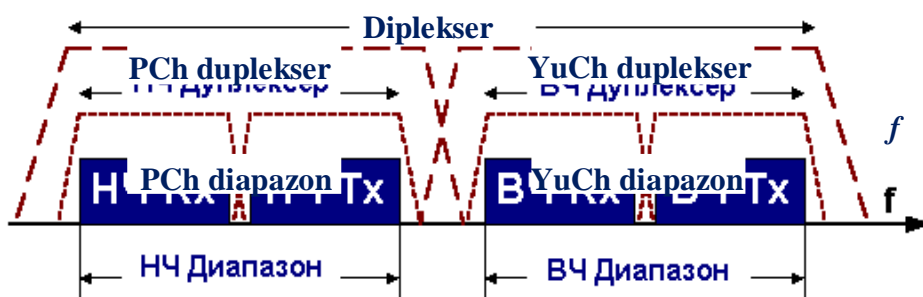
5.2- rasm. Kalitlar va duplekserlardan foydalaniladigan KRChMni ishlatilishi variantlari

Chastotaviy duplekslash (FDD) rejimida bitta antenna bilan qabul qilgich va uzatkichning bir vaqtda ishlashini dupleks va yarim dupleks aloqa tizimlarida qo'llanadigan dupleks filtrlar va duplekserlari ta'minlaydi.

Duplekser (Duplexer) – chastota bo‘yicha surilgan, lekin bitta ishchi chastotalar diapazonida ishlaydigan qabul qilish va uzatish traktlarini ajratish uchun ishlatiladigan qurilma hisoblanadi. Qabul qilish va uzatish traktlarini ajratish uchun duplekserlar bilan bir qatorda **diplekserlar** ham ishlatiladi.

Diplekser (Diplexer) yoki chastotaviy ajratish bloki turli chastotalar diapazonlarida, masalan, GSM900 va GSM1800 diapazonlarida ishlaydigan traktlarni aratish uchun ishlatiladi. Bu qurilmalardan foydalanishdagi farqlar 5.3-rasmda tasvirlangan.

To‘rtta diapazonli qurilmalarni amalga oshirish uchun funksional tugunlarning turli xil kombinatsiyalarining birlashtiradigan turli KRChM tuzilmalari taklif etilishi mumkin. RCh modulning variantlarini belgilash uchun asosiy qabul qilish traktida ketma-ket ulangan funksional tugunlarning shartli belgilanishlari birikmasini ishlatish mumkin.



5.3- rasm. KRChMda duplekserlar va diplekserlardan foydalanish

Misol sifatida 5.1- rasmda bitta antenna, ikkita duplekserlar va uchta yo‘nalishlarga kalitlarga (1A-1D-2S(3/3)) ega bo‘lgan GSM Front-End varianti keltirilgan. Bu variant yetarlicha keng tarqalgan va mazmunan turli kompaniyalar ishlab chiqaradigan uch diapazonli antennalarni kommutatsiyalash moduli (Tri-Band GSM Antenna Switch Module) klassik tuzilmasi hisoblanadi. To‘rtinchi GSM850 diapazonda ishlash uchun mos kanalda (sxema bo‘yicha yuqoridagi) uchta holatlarga kalitdan foydalanish zarur.

5.2. RCh funksional tugunlar va radiokomponentlar

Kombaynerlar

Kombaynerlar (Combiner) yoki signallar summatorlari bir necha uzatkichlarni bitta umumiy antennaga bir vaqtda ishlash imkoniyatini ta‘minlash uchun mo‘ljallangan.

Kombaynerlarning turli quyidagi turlari mavjud:

- Filtrlash kombayneri (Filter combiner) tor polosali qurilma hisoblanadi. Har bir kanalning ishlashi uchun kombaynerning bitta kanali zarur bo‘ladi. Bunday kombaynerning filtrlar bloki turli kanallar uchun mustaqil filtrlardan tashkil topgan.

- Gibrilid kombayner (Hybrid combiner) keng polosali hisoblanadi va shuning uchun barcha ishchi chastotalar to‘plami uchun atigi bitta jamlanma zarur bo‘ladi. Kombayner kanallar uchun bitta filtr, shuningdek filtrlarning chiqishlarini birlashtirish uchun quvvatlar summatoriga ega. Gibrilid kombaynerlardan foydalanishda uzatkichlarning chastotalarini surilishiga qat’iy talablar qo‘yilmaydi, ular istalgan bo‘lishi mumkin, lekin bu kombayner turi ishchi polosada yuqori yo‘qotishlar bilan xarakterlanadi.

- Hajmli-rezonatorli kombaynerlar hajmli-rezonatorlarda yig‘ilgan polosali filtrlar yordamida uzatkichlar orasida ajratish va signallarni birlashtirishni amalga oshiradi. Bunday kombaynerlar kichik energetik yo‘qotishlarga ega. Hajmli-rezonatorli kombaynerlardan foydalanish faqat uzatkichlarga chastotalarining ma’lum minimal surilishida bo‘lishi mumkin.

Taqsimlash panellari

Taqsimlash panellari (Distribution Panel) sezgirlik yo‘qotilmasdan bir necha qabul qilgichlarni bitta antennadan parallel ishlashini ta’minlaydi va qabul qilinadigan signalni antennalar kabelida yo‘qotilishini kompensatsiyalaydi. Taqsimlash panelining kuchaytirgichi yuqori o‘ta yuklanish qobiliyatiga ega bo‘lishi kerak va yonma-yon ishlaydigan uzatkichlardan quvvatli halaqitlar ta’sir qilganda to‘yinish rejimiga o‘tmasligi kerak.

Preselektorlar

Preselektorlar (Preselector) qabul qilgich kirishida signalni dastlabki filtrlashni ta’minlash uchun mo‘ljallangan.

Preselektorni o‘rnatish qabul qilish antenasi radiochastotalar halaqitlarining yuqori darajasi bo‘lgan joylarda yoki ko‘p sonli ishlaydigan uzatkichlarning bevosita yaqinida bo‘ladigan hollarda zarur bo‘ladi. Preselektorlar o‘tkazish polosasida kichik so‘nishni (0,5 - 1 dB) va tashqi polosali halaqitlarni sezilarli so‘ndirishni (40 - 90 dB) ta’minlaydi.

Kabelli tutashmalar, jamperlar

Kabelli tutashmalar yoki amalda asosan oddiy jamperlar deyiladigan bog‘lash kabellari (jumper cable) radiochastotaviy ulagichlar bilan armirlangan kichik yo‘qotishlarga ega bo‘lmagan uncha katta bo‘lmagan uzunlikdagi egiluvchan radiochastotaviy kabellar bo‘lagi hisoblanadi.

Jamperlar aloqa tizimlarida radioqurilmalarning turli bloklari va qurilmalarini ulash, fiderlarni antennalarga yoki qabul qilgich-uzatkichlarga ulash uchun mo‘ljallangan.

Sanoatda tayyorlanadigan sifatli jamperlarning qator o'ziga xos xususiyatlarini aytib o'tish mumkin:

- Ishlab chiqarishda har bir jamper testlanadi va hujjat bilan jihozlanadi;
- Ulagichlar (raz'emlar) kabellarning ichki va tashqi o'tkazgichlariga kavsharlanadi;
- Jamperlarni atrof-muhitning ta'siridan qo'shimcha himoyalash kerak emas.

5.3. Duplekserlar va diplekserlar

Hatto abonentlar qurilmalarining ko'p diapazonli RCh bloklarida uzatish va qabul qilish traktlari bilan ishlash uchun bitta umumiy antenna ishlatiladi. Bu ikkita traktlar (signallar) orasidagi ajratish ham abonentlar qurilmalarida (AQ), ham bazaviy stansiyalarda shart bo'ladi. Bu, avvalo, uzatkich quvvatli chiqish RCh signalini nurlantiradigan vaziyatlarda qabul qilgichning ishlashini buzilishini oldini olishga imkon beradi.

Qabul qilish va uzatish traktlarini ajratish, kamida, uzatkichning quvvatli signali chastota bo'yicha yaqinligi tufayli kelib chiqadigan qabul qilgichning sezgirligini istalgan yomonlashishini oldini olishni ta'minlashi kerak. Qabul qilgich va uzatkichning bitta antennaga bir vaqtda ishlashini dupleks va yarim dupleks sxemalarda qo'llanadigan dupleks filtrlar yoki duplekserlar ta'minlaydi.

Duplekser (Duplexer) bu RCh traktlarni, masalan, chastota bo'yicha duplekslashli tizimlarda umumiy antennadan foydalanishda bitta chastotalar diapazonida ishlaydigan qabul qilish va uzatish traktlarini ajratish uchun ishlatiladigan qurilma hisoblanadi.

Qabul qilish va uzatish traktlarini ajratish uchun duplekserlar bilan bir qatorda diplekserlar ham ishlatiladi.

Diplekser (Diplexer) yoki chastotaviy ajratish bloki ikkita ("Di") turli chastotalar diapazonlarida ishlaydigan traktlarni ajratish uchun ishlatiladi.

Dupleks filtrning asosiy parametrlari chastotalar diapazoni, ruxsat etiladigan dupleks surilish (interval) (Frequency Separation), kiritiladigan yo'qotishlar (Insertion Loss) hisoblanadi.

Dupleks filtrlar hajmli rezonatorlardagi to'liq o'lchamli va ixcham turlarda bo'lishi mumkin.

- Hajmli rezonatorlardagi dupleks filtrlar qabul qilish va uzatish chastotalarining minimal surilishida ishlash imkoniyatini ta'minlaydi. Hajmli-rezonatorli dupleks filtrlar kichik yo'qotishlar va diapazonda qabul qilish va uzatish chastotalariga qayta sozlanish imkoniyatiga ega ekanligi bilan xarakterlanadi.

- Ixcham dupleks filtrlarning (Compact Duplexer) uncha katta bo'lmagan o'lchamlari ulardan mobil stansiyalarda foydalanishga yoki retranslyator korpusining ichiga o'rnatishga imkon beradi. Ixcham dupleks filtrlar qayd etilgan optimal dupleks interval va hajmli-rezonatorli dupleks filtrlarga qaraganda (1 dBdan kichik) birmuncha katta kiritiladigan yo'qotishlar (1,2 - 1,5 dB) bilan xarakterlanadi.

5.4. Polosaviy RCh filtrlar

Harakatdagi aloqa qurilmalari RCh bloklarining kirishlarida polosaviy filtrlar (Bandpass Filter) qo'llaniladi. Zamonaviy sirt-akustik to'lqin (SAT) filtrlari keramik filtrlarga qaraganda geterodin chastotalari va o'zgartirishning ikkinchi darajali (simmetrik chastota) mahsulotlarini so'ndirish bo'yicha afzalliklarga ega. Boshqa hal qiluvchi omil kichik kiritiladigan yo'qotishlar (Insertionattenuation, Insertionloss) hisoblanadi, ularning odatdagi qiymatlari 2 - 3 dB ni tashkil etadi.

Xarakteristikalarining o'ta tik fronti tufayli SAT filtrlar qo'shni kanal bo'yicha yuqori selektivlikka erishishga imkon beradi. HOAT qurilmalarida ularning keng qo'llanishiga yordam beradigan aniqlovchi omil ularning kichik o'lchamlari hisoblanadi. Qator ishlab chiqaruvchi kompaniyalar tomonidan 2 GGs dan yuqori chastotalarda ishlaydigan uchinchi avlod harakatdagi aloqa qurilmalari uchun va 2,5 GGs diapazonda ishlaydigan WLAN (Wireless Local Area Network) simsiz tarmoqlar uchun SAT filtrlar ishlab chiqilgan. Ayrim simsiz aloqa standartlarining yoki ilovalarining chastotaviy xarakteristikalari 5.1- jadvalda keltirilgan.

RCh uchun SAT filtrlarning maksimal ruxsat etiladigan kirish quvvati qiymati (High powerrating) 200 mVt ni (23 dBm ni) tashkil etadi, bu ulardan ko'plab HOATlar uzatish trakti chiqish kaskadlarida foydalanishga imkon beradi. Masalan, simsiz telefonlar tizimlari uzatkichlarning uncha katta bo'lmagan chiqish quvvatlarida ishlaydi.

CT1 va CT1+ tizimlar uchun quvvat 12 dBm, ISM tizimlar uchun quvvat 14 dBm quvvat orqali cheklangan. DECT tizimida o'rtacha 10 mVt (10 dBm) quvvatda maksimal chiqish quvvati 250 mVt ni tashkil etadi. Qurilmalarni ishlab chiqishda RCh SAT filtri kiritadigan yo'qotishlarni (InsertionLoss) hisobga olish kerak, ular odatda 2,5 - 3,5 dB ni tashkil etadi.

Ayrim simsiz aloqa standartlarining chastotaviy xarakteristikalarini

Standart yoki ilova	Markaziy chastota, MGts (Tx/Rx)	Polosasi kengligi, MGts
DECT	1890 / 1890	20
GSM	902,5 / 947,5	25
EGSM	897,5 / 942,5	35
GSM1800 (DCS)	1842,5 / 1747,5	75
GSM1900 (PCS)	1880 / 1960	60
W-CDMA	1950 / 2140	60
J-CDMA	852,0 / 906,0	
PDC800	950,0 / 820,0	20
PDC1500	1441,0 / 1489,0	24
PCN	1747,5 / 1842,5	75
AMPS	836,5 / 881,5	25
ISM 900 (Evro)	869	
ISM 900 (Amer)	915,0	
ISM2400	2448,5	97
GPS	1575,42	75
Wireless LAN	2441,75; 2450,0; 2484,0	

5.5. Oraliq chastotalar filtrlari

Hozirgi vaqtda oraliq chastotalar (Intermediate Frequency) uchun filtrlarning keng diapazoni chiqariladi. Professional ilovalar uchun filtrlar germetik keramik korpuslarda chiqariladi. Ular juda kichik kiritiladigan yo'qotishlarga (1,6-3 dB), xarakteristikalarining yuqori harorat bo'yicha stabilligiga ega.

Plastmassa korpuslarda chiqariladigan arzonroq SAT filtrlar 11-12,5 dB larga etadigan katta yo'qotishlarga ega. Bu qurilmalar narx/sifat nisbati bo'yicha, masalan, tejamli abonentlar qurilmalari ommaviy bozori uchun RCh bloklarini loyihalashda juda o'ziga tortadi.

Qabul qilgich-uzatkichning arxitekturasi va chastotalar rejasini tanlashda turli aloqa tizimlarining qabul qilgich-uzatkichlarida ishlatiladigan yuzaga kelgan oraliq chastotalarning nominallarini tanlash amaliyotini hisobga olish zarur. Eng keng ishlatiladigan bu chastotalar nominallari 5.2- jadvalda keltirilgan.

Mobil aloqada ishlatiladigan standart oraliq chastotalar

Standart yoki ilova	Kanallarning surilishi, kGts	1-oraliq chastota, MGts	2-oraliq chastota, MGts
CT1	25	21,4	
CT ISM		110, 59; 112,32	10,7
ISM		10,7; 21,4	
AMPS	30	83; 86	0,450; 0,455
GSM	200	71; 83; 175; 200; 225; 254; 256 199 (BTS GSM)	13
GSM1800 (DCS)	200	175; 200; 225; 254; 256 199 (BTS GSM)	
GSM1900 (PCS)	200	175; 200; 225; 254; 256 199 (BTS GSM)	
DCS 1800	200	188; 254; 400	13
CDMA		85,38; 130,38; 183,6 210,38; 220,38	
WCDMA		120; 150; 160; 190; 380; 202,50 (BTS W-CDMA-RX); 392,50 (BTS W-CDMA-TX)	
DECT	1728	110, 59; 112,32	10,7
PHS	220	248,45; 243,95	10,7

Masalan, DECT qurilmalarida ishlatiladigan standart oraliq chastotalar 110,592 va 112,32 MGts hisoblanadi. DECT qabullagichlarining oldingi ishlanmalarida 110,592 MGts chastota ishlatilgan, lekin bunda OCh traktiga 18,432 yoki 13,824 MGts chastotalarga ega bo'lgan tayanch generatorining 6-nci yoki 8-nci garmonikalarini kirishi vujudga kelishi mumkin. Shuning uchun 110,592 MGts ga teng OCh ishlatilishida 10,368 MGts tayanch chastotasi nominalidan foydalaniladi. Agar chastota ikki marta o'zgartiriladigan qabul qilgich arxitekturasi ishlatilsa, ikkinchi oraliq chastotaning nominali 10,7 yoki 10,368 MGts ga teng tanlanadi.

Nazorat savollari

1. Zamonaviy ko‘p diapazonli va ko‘p rejimli mobil aloqa qurilmalariga qanday talablar qo‘llanadi?
2. Bugungi kunda integral variantlardagi qanday qayta ulash va filtrlash modullari mavjud?
3. Kombaynerlar nima uchun qo‘llanadi?
4. Duplekserlarning vazifasi nimadan iborat?
5. Diplekserlarning vazifasi nimadan iborat?
6. KRChMda duplekserlar va diplekserlardan foydalanishni tushuntiring.
7. RCh funksional tugunlari va komponentlarini sanab o‘tish va ishlash prinsipini tushuntiring.
8. Dupleks filtrning asosiy parametrlarini ayting.
9. Polosaviy RCh filtrlar qayerlarda qo‘llanadi?
10. Oraliq chastotalar filtrlari qayerlarda va qanday qo‘llanadi?

6- BOB. RAQAMLI RADIOUZATKICHLAR AMPLITUDA, FAZA/CHASTOTA MODULYATORLARI

6.1. HOAT tizimlarida raqamli modulyatsiyalash

Ma'lumotlarni uzatish uchun radiokanalda ma'lumotlarni tashuvchi sifatida foydalanishda f_c tashuvchi chastota garmonik tebranishi ishlatiladi, u asosan oddiy "tashuvchi" (carrier) deyiladi. Modulyatsiyalashda raqamli traktidan, odatda kanallar koderidan tushadigan raqamli signalga ega bo'lgan uzatiladigan ma'lumotlarni tashuvchi chastotaga (yoki oraliq chastotaga) o'tkazish bo'lib o'tadi.

Shunday qilib, chastotasi past chastotali raqamli axborot signali chastotasidan ancha katta bo'lgan signalni modulyatsiyalash bo'lib o'tadi. Bu jarayon modulyator deyiladigan qurilmada bo'lib o'tadi.

Modulyator bu RCh tashuvchining qandaydir parametri uzatiladigan ma'lumotga muvofiq o'zgarishi bo'lib o'tadigan qurilma hisoblanadi.

Modulyator HOAT qurilmalari uzatish traktining, demodulyator esa qabul qilish traktining eng muhim elementlaridan biri hisoblanadi.

Demodulyatorning vazifasi RCh signaldan past chastotali raqamli signalni teskari ajratish va keyingi ishlov berish uchun raqamli traktga uzatish hisoblanadi.

Modulyator va demodulyator signallarni axborot o'zgartirishdan tashqari hech qanday operatsiyalarni bajarmaydi. Oldingi rivojlanish bosqichida HOAT analog tizimlaridan foydalanishdan keyin raqamli tizimlarga o'tish bo'lib o'tdi. Modulyatsiyalash va demodulyatsiyalash jarayonlari bunday tizimlarda qator o'ziga xos xususiyatlarga ega.

6.1.1. Asosiy atamalar va tavsiflar

Modulyator (Modulator) bu tashuvchi chastotaning qandaydir parametrini (amplituda, faza, chastotani) uning kirishiga beriladigan axborot signaliga muvofiq o'zgartirishni, ya'ni tashuvchi signalni modulyatsiyalashni amalga oshiradigan funksional tugun hisoblanadi.

Raqamli aloqa tizimlarida modulyatsiyalash jarayoni tashuvchi chastota parametrlaridan birini uzatiladigan xabar simvoliga muvofiq o'zgartirishdan iborat. Bunda raqamli aloqa tizimlarida modulyatsiyalash jarayonini belgilash uchun "manipulyatsiyalash" (Keying) atamasi ishlatiladi.

Tashuvchining o'zgartiriladigan parametrining gradatsiyalari soni ishlatiladigan signallar to'plamida S_n simvollar soniga (signallar turkumi nuqtalari soniga) teng bo'lishi kerak. Tashuvchining mos parametri modulyatorida vaqtning

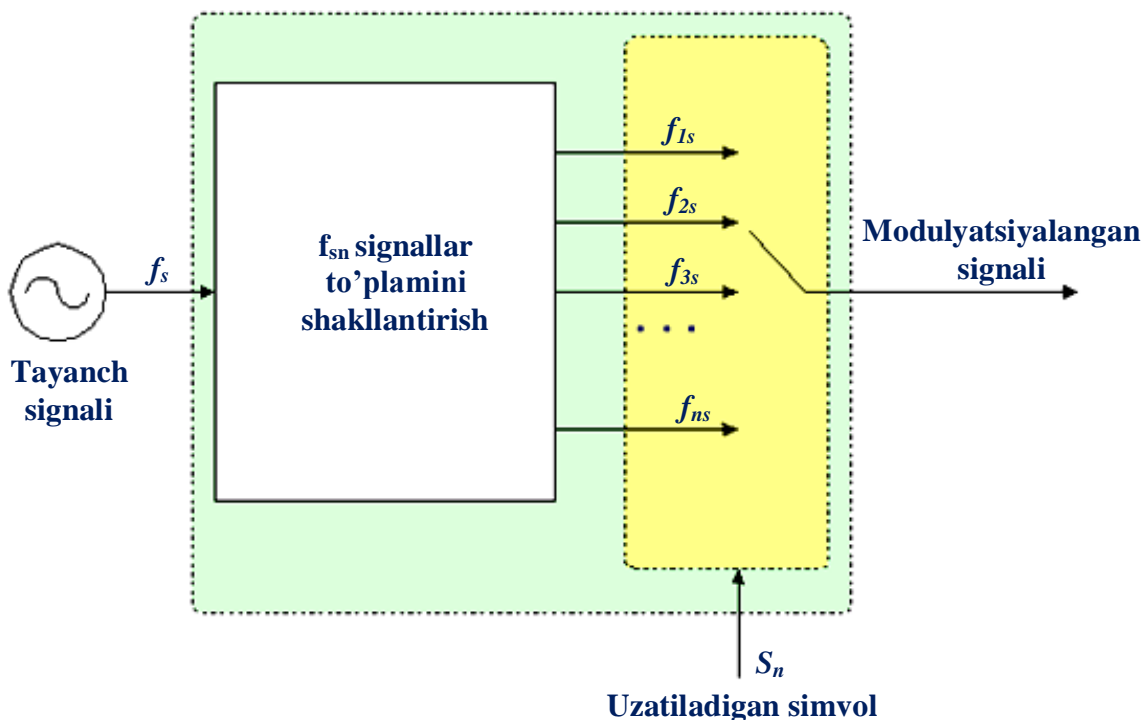
trakt momentida sakrash bilan o'zgaradi. Mazmunan, raqamli aloqa tizimida modulyatsiyalash jarayoni barcha bo'lishi mumkin f_{cn} signallar to'plamidan modulyatorning kirishiga beriladigan S_n simvolga muvofiq berilgan xossalarga ega chiqish radiosignalini tanlashdan (hosil qilishdan) iborat (6.1- rasm).

6.1.2. Modulyatorlarning asosiy parametrlari

Turli diskret modulyatsiyalash turlari uchun modulyatorlarning tuzilmalari va sxematexnik bajarilishi umuman olganda farqlanadi, lekin ularning qator umumiy xarakteristikalarini va parametrlarini ajratib ko'rsatish mumkin:

- Kiritiladigan yo'qotishlar (insertionloss), ular fazaviy modulyatorlarda to'rtta bo'lishi mumkin holatlardan birida statik o'lchanadi va istalgan hol uchun yo'qotishlar qiymatining eng yomon qiymatini (worst-caseloss) baholash hisoblanadi. Diodli QPSK modulyatorlar uchun kiritiladigan yo'qotishlarning odatdagi qiymati 6 dB ni tashkil etadi.

- Kuchlanish bo'yicha turg'un to'lqin koeffitsiyenti (KTTK), KTTK (voltage standing-wave ratio, VSWR) bu modulyatorning kirishi va chiqishidagi to'liq qarshiligini (impedansini) mos kelishi o'lchami hisoblanadi. Bu parametr kirish va chiqish to'liq qarshiliklarini moslashtirish hisoblanadi.



6.1- rasm. Raqamli modulyatorning umumlashtirilgan tuzilmasi

- Amplitudalarning nobalansi (amplitude unbalance) modulyator uchun sinfaz I va kvadraturali Q chiqish signallari quvvati bo'yicha farq sifatida aniqlanadi. Boshqacha aytganda, bu modulyator chiqishidagi sinfaz va kvadraturali kanallar amplitudalarining bir xil emasligi darajasi hisoblanadi. Amplitudalarning nobalansi $[dB] = P_I [dBm] - P_Q [dBm]$.

- Fazalarning nobalansi (Phase unbalance) signal fazasining fazaning istalgan bo'lishi mumkin holatlaridan kerakli holatiga nisbatan fazaning haqiqiy surilishini og'ishi o'lchami hisoblanadi. U tayanch chastotaga va fazaning nolga teng holatiga nisbatan o'lchanadi. Boshqacha aytganda I va Q chiqish signallar orasidagi farqning 90 graduslaridan og'ish hisoblanadi.

- Bir detsibelli kompressiyalash nuqtasi (1 dB compression point) – kirish RCh signalning sathi bo'lib, bunda qurilma amplitudaviy xarakteristikasi grafigi to'g'ri chiziqdan 1 dB ga og'adi. Qurilmaning kirishidagi RCh signal sathini chiziqli oshirishda chiqishdagi signal ham chiziqli ortishi kerak. Lekin qurilmaning nochiziqliligi tufayli bir detsibelli kompressiyalash nuqtasi deyiladigan qandaydir nuqtadan keyin chiqish signali sathining ortishi uning sathi o'zgarmas bo'lguncha kichik tezlikda bo'lib o'tadi.

- Modulyatorning chiqishida tashuvchi chastotani so'ndirish (Carrier rejection) chiqishda keraksiz (modulyatsiyalanmagan) tashuvchi chastota amplitudasini kamayishi darajasini xarakterlaydi. Tashuvchini so'ndirish darajasi qanchalik yuqori bo'lsa, modulyatorning sifati shunchalik yaxshi bo'ladi.

- YoP yon polosani so'ndirish (Side band Rejection) modulyatorning chiqishida YoPni so'ndirilishi darajasini xarakterlaydi. Raqamli HOATlarda modulyator/demodulyator signallari amplitudalarining ortogonaligi va nobalansi orqali aniqlanadi.

- Signal garmonikalarini so'ndirish (harmonic suppression) $mf_c \pm nf_{taya}$ signal garmonikalarini so'ndirish darajasini ko'rsatadi, bunda uchinchi va beshinchi tartibli garmonikalarni so'ndirish eng muhim, chunki ular keraksiz yon polosaga juda yaqin joylashgan va ularni filtrlash deyarli mumkin emas.

- O'zgartirishdagi yo'qotishlar (conversion loss), u modulyator uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$C_{(dB)} = P_{kir}(I + Q) - P_{rch.chiq}$$

bu yerda $P_{kir}(I + Q)$ – modulyator kirishidagi $(I+Q)$ signal quvvati;

$P_{rch.chiq}$ – modulyator chiqishidagi ustun yon polosa RCh quvvati.

Demodulyator uchun ular quyidagicha aniqlanadi:

$$C_{(dB)} = P_{rch.kir} - P_{chiq}(I + Q),$$

bu yerda $P_{rch.kir}$ – demodulyator kirishidagi RCh signal quvvati;

$P_{chiq}(I+Q)$ – demodulyator chiqishidagi $(I+Q)$ signal quvvati.

- Kirishlar orasidagi izolyatsiya (Port-to-port isolation). Bu parametr modulyatorning I va Q chiqishlari (portlari) orasidagi ajratishning sifatini xarakterlaydi.

- O‘zgarmas tashkil etuvchining surilishi (DC offset). Bu modulyator/demodulyator chiqishidagi kuchlanishning keraksiz o‘zgarmas tashkil etuvchisi qiymati hisoblanadi. Parametr modulyator/demodulyatorning nobalansi darajasi, ya’ni qurilmaning sinfaz va kvadraturali traktlarining bir xil emasligini xarakterlaydi.

6.2. HOAT tizimlaridagi modulyatsiyalash turlari

Kuchlanish bilan boshqariladigan to‘g‘ridan-to‘g‘ri modulyatsiyalash

Signallarning ayrim turlarini, xususan, GMSKni (minimal surilishli Gauss chastotfviy modulyatsiyasi (ingl. *Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)* – 0,5 ga teng modulyatsiyalash indeksili chastotaviy modulyatsiyalash (manipulyatsiyalash) turini olish uchun HOAT qurilmalarining RCh blokklarida modulyatsiyalanadigan kuchlanish bilan boshqarish (KBB) asosidagi oddiy modulyator ishlatilishi mumkin. Bu holda axborot modulyatsiyalovchi signal KBBning boshqarish kirishiga dastlabki modulyatsion, odatda gauss filtri orqali to‘g‘ridan-to‘g‘ri beriladi. Binobarin, dastlabki modulyatsion filtrlash zamonaviy aloqa qurilmalarida axborot traktida raqamli ko‘rinishda amalga oshiriladi, bundan keyin olingan signal raqamli-analog o‘zgartirgichga (RAO‘ga) va keyin modulyatorga beriladi.

Bunday modulyatorlar $VT=0,5$ (ingl. Bit time) bo‘lganda DECT qurilmalarining RCh blokklarida keng ishlatiladi. Modulyatsiyalashni olish va KBB chastotasini sozlash uchun chastotani fazaviy avtomatik qayta sozlash (ChFAQS) halqasida generator tebranish tizimining ham umumiy, ham alohida varikaplari ishlatilishi mumkin.

Murakkabroq qurilmalarda, xususan, GSM tizimining RCh blokklarida kvadraturali modulyatorlar ishlatiladi.

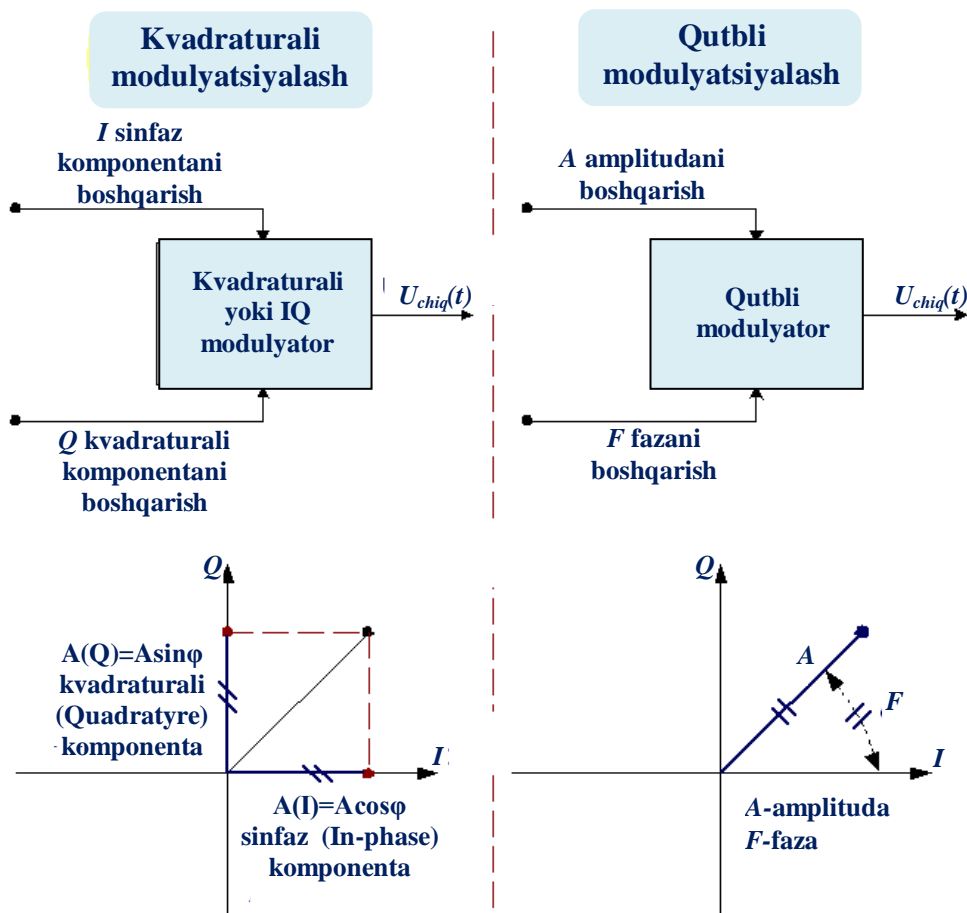
Vektorli, kvadraturali va qutbli modulyatsiyalash

Chiqish signalining ham A amplitudasi, ham φ fazasi bir vaqtda o‘zgartirish bo‘lib o‘tadigan raqamli HOATlarda odatda ishlatiladigan modulyatsiyalashning umumiy xarakteristikalarini baholash uchun vektorli modulyatsiyalash (Vector Modulation) ishlatiladi. Raqamli HOATlarda ishlatiladigan modulyatsiyalangan signallarni berishning eng qulay shakli ularni fazaviy IQ tekislikda aks ettirish

hisoblanadi. Bunda shakllantiriladigan RCh signallar to'g'ri burchakli koordinatalar tizimida (I, Q) yoki qutbli shaklda (A, φ) berilishi mumkin. Bu 6.2-rasmda tasvirlangan. Birinchi holda signal $A(I)$ sinfaz (In-phase) va $A(Q)$ kvadraturali (Quadrature) komponentlar qiymatlari orqali, ikkinchi holda amplituda va φ faza qiymatlari orqali xarakterlanadi.

Agar modulyatsiyalashda tashuvchi signalning o'zgartiriladigan parametrini zarur o'zgartirish modulyatorida tashuvchining amplitudasi va fazasini alohida boshqarish yordamida amalga oshirilsa, bunday modulyator qutbli (Polar) modulyator deyiladi.

Agar tashuvchi signalning o'zgartiriladigan parametrini bunday o'zgartirish $A(I), A(Q)$ kvadraturali komponentlarni boshqarishda amalga oshirilsa, bunday modulyator kvadraturali yoki IQ modulyator deyiladi.

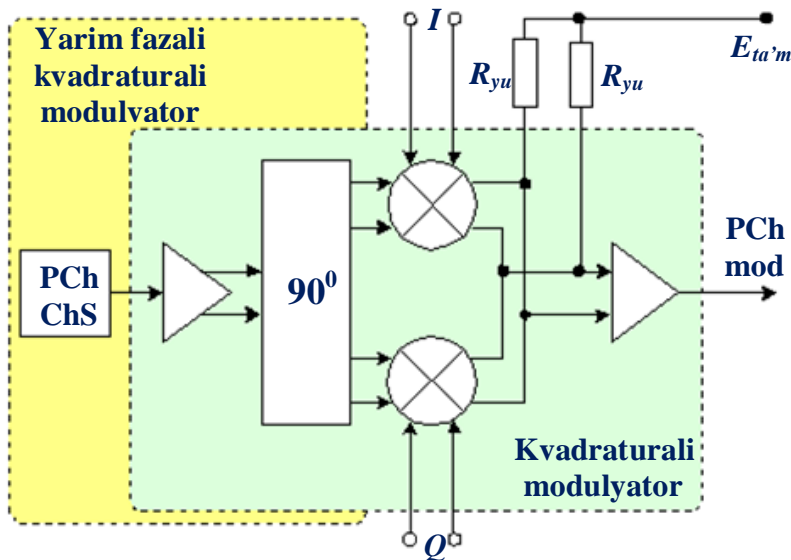


6.2- rasm. Kvadraturali va qutbli modulyatsiyalash prinsiplari

Kvadraturali modulyatorlar

Yuqorida ta'kidlanganidek, zamonaviy HOATlar RCh blokklarida raqamli modulyatsiyalash turlarini shakllantirish uchun kvadraturali modulyatorlar (Quadrature Modulator) yoki I/Q (In-phase/quadrature) modulyatorlar keng qo'llanadi.

Kvadraturali modulyator bu RCh kirish va RCh chiqish hamda modulyatsiyalaydigan signallar beriladigan ikkita I va Q (6.3- rasm) axborot kirishlariga ega bo'lgan qurilma hisoblanadi.



6.3- rasm. Kvadraturali balansli modulyatorning umumlashtirilgan tuzilmasi

Gilbert klassik yacheykasi

Qayta ko'paytirgichlarning asosini odatda Gilbert yacheykalari tashkil etadi. Gilbert qayta ko'paytirish yacheykasi (Gilbert multiplier cell) bog'langan emitterlarga ega bo'lgan yacheyka modifikatsiyasi hisoblanadi va u to'rtta kvadrantli qayta ko'paytirishni (four-quadrant multiplier) amalga oshirishga imkon beradi.

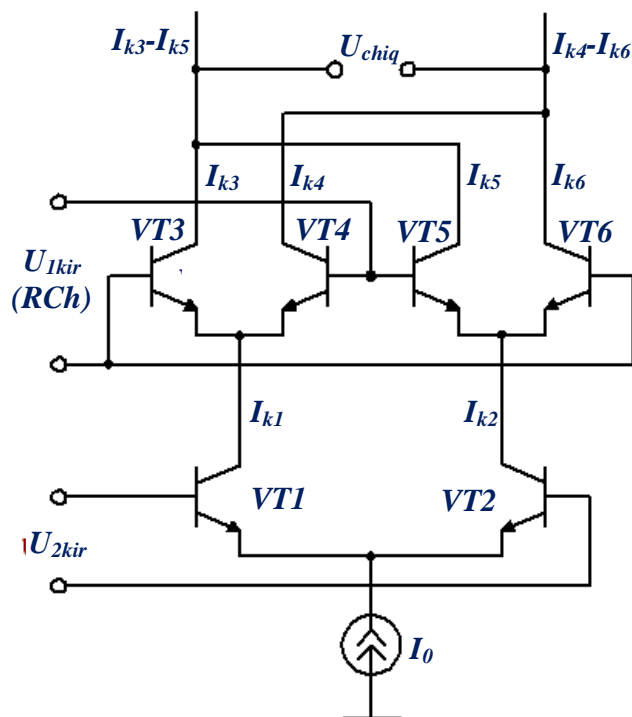
Gilbert klassik yacheykasi (6.4- rasm) kesishma teskari aloqalarga ega bo'lgan differensial kuchaytirgich (cross-coupled differential amplifier) hisoblanadi. Boshqacha aytganda, bu bog'langan emitterlarga ega bo'lgan ketma-ket ulangan tranzistorlar juftligi va ikkita kesishma aloqalarga ega bo'lgan emitterlari bog'langan juftlikdan iborat. Bunday sxema integral sxemalarning ko'plab balansli sxematexnik yechimlari uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Raqamli kvadraturali modulyatorlar

Ba'zan signal chastota bo'yicha yuqoriga o'tkaziladigan raqamli kvadraturali aralashtirgich (Quadrature Digital Up converter, QDUC) deyiladigan raqamli kvadraturali modulyator (Digital Quadrature Modulator) chiqish modulyatsiyalangan signali tashuvchi va modulyatsiyalaydigan signallarning sanoqlarini (kodlarini) matematik o'zgartirish yo'li bilan shakllantiriladigan qurilma hisoblanadi.

Raqamli modulyatorlarning asosi to'g'ri raqamli sintezator (TRS) (Direct Digital Synthesizer, DDS) hisoblanadi, u raqamli usullar orqali chiqish signalining

sanoqlari (kodlari) shakllantiriladigan chastotalar sintezatori hisoblanadi (6.5-rasm).



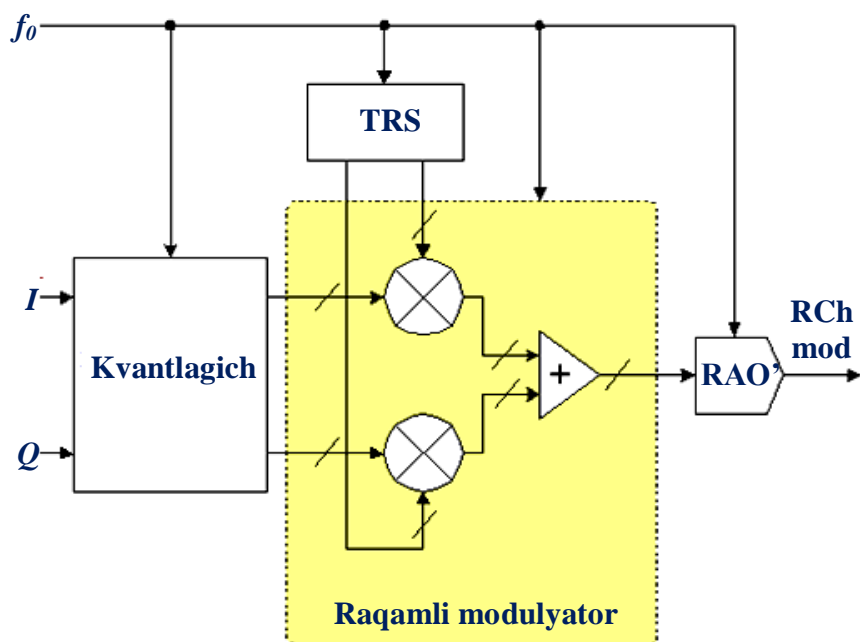
6.4- rasm. Gilbert klassik yacheykasi sxemasi

Qurilmada chiqish RAO‘dan tashqari, analog tugunlar mavjud emas. Barcha tugunlarda ishlash faqat kodlar bilan bo‘lib o‘tadi, shuning uchun bunday modulyatorlarda hatto murakkab modulyatsiyalash turlarini shakllantirishda chiqish modulyatsiyalangan signalning keng ishchi chastotalar diapazonida juda yuqori sifatiga erishiladi.

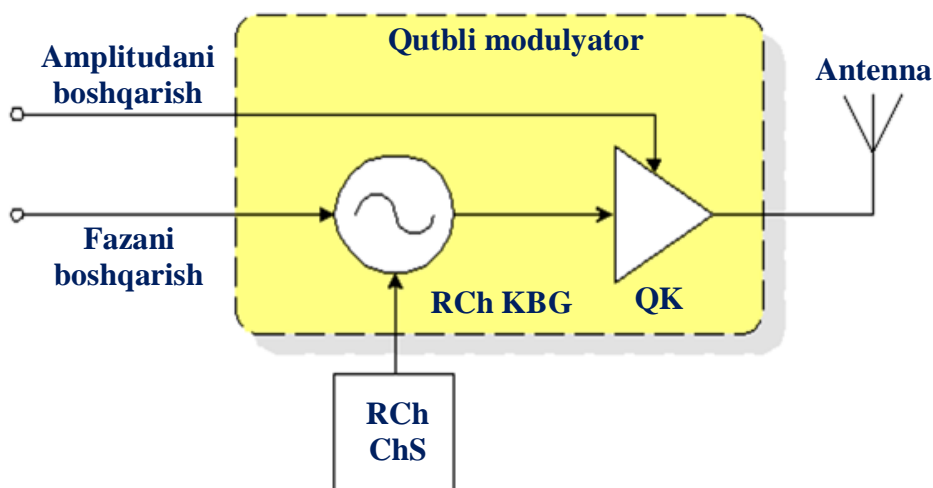
Qutbli modulyatorlar

Qutbli modulyator (QM) (PolarModulator) bu chiqish modulyatsiyalangan signalni shakllantirish dastlabki tashuvchi signalning fazasi va amplitudasini alohida boshqarish yo‘li bilan amalga oshiriladigan modulyator hisoblanadi.

QM ikkita funksional tugunlar - RCh generator va quvvat kuchaytirgichidan tashkil topgan. RCh generatorda shakllantiriladigan signalning fazasini boshqarish, quvvat kuchaytirgichida signalning amplitudasini boshqarish amalga oshiriladi. Yakuniy hisobda, qutbli modulyatorning qo‘llanishi bunday ulanishda chiqish quvvat kuchaytirgichining foydali ish koeffitsiyentini (FIKini) oshirish hisobiga uzatish traktining energiya iste‘molini sezilarli kamaytirishga imkon beradi.



6.5- rasm. Raqamli kvadraturali modulyatorning tuzilmasi



6.6- rasm. Qutbli modulyatorning umumlashtirilgan tuzilmasi

Nazorat savollari

1. Modulyatsiyalash nima?
2. Modulyatorning ishlash prinsipini tushuntiring.
3. Demodulyatorning ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Modulyatorlarning asosiy parametrlarini sanab o‘ting va tavsiflang.
5. KBB to‘g‘ri modulyatsiyalashning ishlash prinsipini tushuntiring.
6. Kvadraturali modulyatsiyalashning ishlash prinsipini tushuntiring.
7. Qutbli modulyatsiyalashning ishlash prinsipini tushuntiring.

8. Gilbert klassik yacheykasining ishlash prinsipini tushuntiring.
9. Raqamli kvadraturali modulyatorning ishlash prinsipini tushuntiring.
10. Qutbli modulyatorning umumlashtirilgan tuzilmasining ishlash prinsipini tushuntiring.

7- BOB. CHIPLARDAGI TIZIMLARNING PASSIV RADIOCHASTOTAVIY ZANJIRLARDA QO‘LLANISHI

7.1. Mobil protsessorlarni umumiy tashkil etish

7.1.1. Protsessorning xarakteristikalari

Istalgan protsessorning spetsifikatsiyalar ro‘yxati protsessorning asosda turadigan arxitekturasi tushunchasidan boshlanadi. Umumiy ma’noda arxitektura bu protsessorning ichki tuzilishi xossalari va ma’lum komandalar to‘plamini bajarishi imkoniyatlari birikmasi hisoblanadi. Android OS ham ARM protsessorlarda, ham x86 protsessorlarda yaxshi ishlaydi. x86- qurilmalarning moslashuvchan emasligini esa maxsus ilovalarda yoki bo‘lishi mumkin zamonaviy o‘yinlarda uchratish mumkin (7.1- rasm).



7.1- rasm. ARM va x86 arxitekturalari

Barcha qolgan zamonaviy mobil operatsion tizimlar, shu jumladan e iOS va WindowsPhone ARM arxitekturada ishlaydi.

Arxitektura bilan arxitekturaning versiyasi uzviy bog‘langan, ba’zan esa ular yagona butun sifatida qaraladi. Arxitekturalar turli versiyalarining paydo bo‘lishi sababi bo‘lib texnik taraqqiyot xizmat qiladi. Eskirgan versiya o‘rniga yangi versiya keladi, u eng yaxshi unumdorlik, past energiya iste’moli va boshqa afzalliklarni ta’minlashi mumkin.

Ko‘pincha arxitekturaning versiyalari orasidagi farqlar turli arxitekturalar orasidagi farqlardan kam bo‘lmaydi. Masalan, ARMv6 protsessorlarli qurilmalar egalari ularning smartfonlarida yangi ARMv7 (hozirgi vaqtda dolzarb hisoblanadigan) versiyasiga mo‘ljallangan yozilgan o‘yinlari ishlamasligi bilan to‘qnashdi.

Mobil protsessorning navbatidagi xarakteristikasi yadro hisoblanadi. Aynan u yoki bu chipda ishlatiladigan yadro protsessorning unumdorligi, energiya

iste'moli va takt chastotasini aniqlaydi. ARM kompaniyasi Cortex turkumdagi yadrolarni (7.2- rasm) ishlab chiqadi, lekin tashqi protsessorlar ishlab chiquvchilariga o'z yadrolarini ishlatishga hech narsa halal bermaydi. Masalan, Qualcomm (Krait yadrsi) va Apple (Swift yadrosi) kompaniyalari shunday ish tutishadi.



7.2- rasm. Cortex turkumdagi yadro

Protsessordagi yadrolar soni haqida ham aytib o'tish kerak. Zamonaviy kommunikatorlardagi bitta protsessorda 2 ta yoki 4 ta bir xil yadrolar birlashtirilishi mumkin. Bu qurilmaning ishlash tezligini bajariladigan jarayonlarni parallellashtirish hisobiga oshirish uchun amalga oshiriladi. Ya'ni yuqori unumdorlikni talab qiladigan masalalar bitta jarayonda emas, balki bir necha jarayonlarda bajarilishi mumkin. Bunday imkoniyat ishlab chiquvchi tomonidan ko'zda tutilgan bo'lishi kerak va bir necha ilovalarda, masalan, uch o'lchamli o'yinlar yoki videoga ishlov berish uchun dasturlarda ishlatiladi.

Agar dastur o'z-o'zicha ko'p oqimlilikni qo'llamas va katta resurslarni talab qilmasa, u holda ishlatilmaydigan yadro batareyaning zaryadini tejash uchun oddiy uziladi. Ba'zan bu maqsadlarda qurilmaning kutish rejimida ishlashi yoki pochmani tekshirish kabi eng oddiy masalalar uchun beshinchi yadro-kompanon ishlatiladi.

Foydalanuvchiga foydali bo'lishi mumkin protsessorning oxirgi xarakteristikasi takt chastotasi hisoblanadi. Bu kattalik protsessor vaqt bir ichida (bir sekundda) qancha taktlarni bajara olishini ko'rsatadi. Masalan, agar qurilmaga spetsifikatsiyalarda 1,7 GGs chastota ko'rsatilgan bo'lsa, u holda bu protsessor bir sekundda 1 700 000 000 (1 milliard 700 millionta) taktlarni amalga oshirishini bildiradi.

Chip bitta operatsiyani bajarishga sarflaydigan taktlar soni uning turi va operatsiyaning o'ziga bog'liq ravishda farqlanishi mumkin, lekin umuman olganda, yuqoriroq takt chastotasi yuqori ishlash tezligini bildiradi. Ayniqsa, bu

agar turli chastotalarda ishlaydigan bir xil yadrolarni taqqoslansa, sezilarli bo‘lib qoladi. Bu qiymat ba’zan ishlab chiqaruvchi tomonidan energiya iste’molini kamaytirish (tushunarliki, protsessorning tezligi qanchalik yuqori bo‘lsa, u shunchalik katta tok iste’mol qiladi) yoki hatto marketing (hozirda kompaniya protsessor chastotasi cheklanadigan kommunikatorlarni chiqaradi, bir necha oylardan keyin esa uning cheklanmaydigan yaxshilangan versiyasini chiqaradi) maqsadlarida cheklanadi.

Bu cheklashlarni qurilmaning egasi unga super foydalanuvchi huquqiga egasi olib tashlashi mumkin (ba’zan yadroning tashqi dasturini o‘rnatish kerak bo‘lishi ham mumkin).

7.2. Grafik tezashtirgichlar

Yana bir muhim SoC komponent - grafik protsessor (GPU) yoki grafik tezashtirgich mavjud. Bu komponent qurilmaning grafik unumdorligiga javob beradi va birinchi navbatda, o‘yinlarda ishlatiladi. Mos ravishda GPU qanchalik yaxshi bo‘lsa, uch o‘lchamli grafika va tekstura shunchalik yuqori sifatli bo‘ladi, shuningdek tezkorlikni (yoki f_{ps} ni) olish mumkin bo‘ladi.

Shuningdek, grafik tezashtirgichdan operatsion tizimning interfeysini chizib olish uchun ishlatish mumkin, lekin Android OS hoida kommunikatorlarni ishlab chiqaruvchilar bunday imkoniyatni bermaydi, lekin ko‘pincha aqllilarga uni norasmiy dasturlarda kiritishga erishiladi.

O‘z GPU ni boshqalar orasidan ajratish uchun ayrim ishlab chiqaruvchilar ularning tezashtirgichlari yuqori xarakteristikalari, masalan, “grafik yadrolar” soni (Nvidia Tegra 4 da 72 ta yadrolar) haqida bildirishi mumkin, lekin odatda bu atigi marketing hisoblanadi. Foydalanuvchi uchun asosiy ahamiyatga faqat ishlatiladigan grafik protsessorning o‘zi ega bo‘ladi.

ARM kompaniyasi Mali turkumdagi GPU ni ishlab chiqmoqda (7.3- rasm), lekin tashqi chiplar ishlab chiqaruvchilarga o‘z grafik tezashtirgichlarini ishlatishga hech narsa halaqit qilmaydi. Avvalo, Nvidia kompaniyasi shunday ish tutadi, u Tegra shiplarini pozitsiyalashda aynan GPU ga ahamiyat beradi. Boshqa misol sifatida yirik SoC ishlab chiqaruvchi Qualcomm kompaniyasini keltirish mumkin, ularning protsessorlarida Adreno turkumdagi grafik tezashtirgichlar ishlatiladi.



7.3- rasm. Mali turkumdagi GPU

7.3. Turli OTlardagi protsessorlarning o‘ziga xos xususiyatlari

Hozirgi vaqtda protsessorlarning katta xilma-xilligini, avvalo, Android OS boshqaruvi ostidagi kommunikatorlarda topish mumkin. Bu operatsion tizim ochiq hisoblanadi, ya’ni istalgan ishlab chiqaruvchi undan istalgan qurilmalarda foydalanishi mumkin. Shuning uchun Android-qurilmalarda qo‘llanadi, ham unchalik ma’lum bo‘lmagan kompaniyalarning 1 GGts dan past ishchi chastotali o‘ta byudjetli bitta yadroli protsessorlari, ham 2 GGts dan yuqori chastotali to‘rtta yadroli quvvatli chiplar bo‘lishi mumkin. Ehtimol, bunday vaziyat keyinchalik dastlabki kodi barcha istovchilarga mumkin bo‘ladigan Canonical Ubuntu yoki Mozilla Firefox OS kabi yangi OTlar bilan ham davom etadi .

Androidga o‘xshash tarzda Microsoft Windows Phonedagi ham boshqacha tarzda, lekin birmuncha sezilarli farq bilan turibdi. Bu shundan iboratki, Microsoft ishlab chiqaruvchilar baribir etarlicha katta tanlovga egaligiga qaramasdan, o‘z OTga qurilmalar uchun atayin cheklashlarni o‘rnatadi. Mumkinki, bu hatto yaxshi. Bir tomondan, kompaniyalar hatto standart interfeys to‘xtab ishlaydigan o‘ta past xarakteristikalarli WP-smartfonni chiqara olmaydi, boshqa tomondan, oxirgi foydalanuvchilar ishsiz turadigan “ortiqcha” gigagerslar va yadrolarga ortiqcha haq to‘lamaydi.

Apple iOS va Blackberry OS operatsion tizimlari alohida turibdi. Apple va Blackberry kompaniyalari bu OTlarni faqat o‘z qurilmalari uchun ishlab chiqmoqda va ularning unumdorligi real ehtiyojlarga muvofiq rejali oshirmoqda. Natijada zamonaviy uch o‘lchamli o‘yinlar protsessorlarda grafikaning maksimal sifati bilan ketmoqda, bu Android OS holida o‘rta segment uchun yechim hisoblanadi.

Ko'rsatilgan OTlardan foydalanuvchilar, o'z navbatida, qatordagi oxirgi qurilmani sotib olish bilan unumdorlik bilan muammoga uchramasligini bilish bilan ishlatiladigan chiplarning quvvati haqida o'ylamaydi.

7.4. Protsessorlarni ishlab chiqaruvchilar

Eng turli operatsion tizimlardagi ko'plab zavmonaviy smartfonlar ARM-protsessorlarini ishlatadi, ularni ishlab chiqarish bilan ARM Limited litsenziyalari bo'yicha tashqi kompaniyalar shug'ullanadi. Ishlab chiqaruvchilar orasida tan olingan yetakchi Qualcomm hisoblanadi. Ham byudjet, ham eng yaxshi yechimlarni taklif etadigan bu kompaniyaning chiplari Android OS, WindowsPhone, BlackBerry OS, Firefox OS va boshqa operatsion tizimlardagi qurilmalarda ishlatiladi.



7.4- rasm. Qualcomm va Nvidia

Qualcommning asosiy raqobatchisi o'yinlar unumdorligiga yo'naltirilgan Tegra qatoridagi protsessorlarni ishlab chiqaradigan Nvidia hisoblanadi. Bunday chiplar haqiqatda zamonaviy o'ch o'lchamli o'yinlarda boshqalarga qaraganda ma'lum afzalliklarga ega, lekin shu bilan birga, ayrim kamchiliklarga ega va haqiqatda kamroq universal hisoblanadi.

Xitoyda MediaTek kompaniyasi yetakchi o'ringa ega, uning protsessorlari ham byudjetli, ham eng yaxshi xitoy smartfonlarida ishlatiladi (7.5- rasm).

Alohida guruhga Samsung (Exynos), Huawei (HiSilicon) va Apple kabi kompaniyalarni kiritish mumkin, ular o'z qurilmalari uchun protsessorlarni (Samsung ayrim tashqi ishlab chiqaruvchilariga chiplarni sotadi) ishlab chiqadi. Binobarin, agar Android-qurilmalar haqida gapirilsa, u holda sintetik testlarda Samsung protsessorlari Qualcomm chiplariga qaraganda ba'zan tezkorroq bo'lib qoladi.

Bu sohadagi raqobat juda kuchli va ayrim ishlab chiqaruvchilar raqobatga dosh berolmasdan bozordan ketadi. Masalan, OMAP chiplarini chiqaradigan Texas Instruments kompaniyasi shunday ish tutdi. Bu protsessorlarni ishlatadigan oxirgi ma'lum qurilmalardan biri sifatida GoogleGlassni hisoblash mumkin.



7.5- rasm. MediaTek kompaniyasi protsessorlari

Albatta, ARM protsessorlarni ishlab chiqarish bilan boshqa kompaniyalar ham, masalan, ST Microelectronics shug'ullanadi, lekin kommunikatorlar va planshetlardagi protsessorlar orasida odatda aynan ko'rsatilgan yetkazib beruvchilarning mahsulotlarini uchratish mumkin.

7.5. ARM kompaniyasining mikroprotsessorlar tizimlari

ARM turli masalalar uchun ishlatiladigan bir necha yadrolar oilalarini ishlab chiqmoqda. Misol uchun Cortex-Mx i Cortex-Rxga (bu erda "x" – yadroning aniq nomerini belgilaydign raqam yoki son) asoslangan protsessorlar o'rnatiladigan tizimlar va hatto maishiy qurilmalardan, masalan, routerlar yoki printerlarda ishlatiladi.

Cortex-Ax oilasi

Bunday yadroli chiplar eng unumdor qurilmalarda, shu jumladan smartfonlar, planshetlar va o'yinlar konsollarida ishlatiladi. ARM Cortex-Ax qatoridan yangi yadrolar ustida doimo ish olib bormoqda. Smartfonlarda ulardan Cortex-A5, Cortex-A7, Cortex-A8, Cortex-A9, Cortex-A12, Cortex-A15, Cortex-A53, Cortex-A57 yadrolari ishlatiladi.

Raqam qanchalik yuqori bo'lsa, protsessorning unumdorligi shunchalik yuqori va mos ravishda u ishlatiladigan qurilmaning sinfi shunchalik qimmat bo'ladi. ARM yangi, quvvatli va bir vaqtda energetik samarador Cortex-A53 va Cortex-A57 yadrolarini ishlab chiqdi, ular ARM big.LITTLE texnologiyasi

qo‘llanishi bilan bitta chipda birlashtirilgan va ARMv8 (“arxitektura versiyasi”) komandalar to‘plamini qo‘llaydi.

Cortex yadrolarili ko‘plab chiplar ko‘p yadroli bo‘lishi mumkin va zamonaviy smartfonlarda barcha joylarda to‘rtta yadroli protsessorlar keng qo‘llanadi.

Smartfonlar va planshetlar yirik ishlab chiqaruvchilari odatda Qualcomm kabi chiplarni ishlab chiqaruvchilar protsessorlari yoki yetarlicha ommaviylashgan o‘z yechimlarini (masalan, Samsung va uning Exynos chipsetlari oilasi) ishlatadi.

Cortex-A5

Cortex-A5 yadrosi eng byudetli qurilmalar uchun uncha qimmat bo‘lmagan protsessorlarda ishlatiladi. Bunday qurilmalar faqat cheklangan masalalar doirasini bajarish va oddiy ilovalarni ishga tushirish uchun mo‘ljallangan, lekin ko‘p resurs talab qiladigan dasturlarga va o‘yinlarga mo‘ljallanmagan. Cortex-A5 yadroli protsessorli qurilmaga misol sifatida Highscreen Blast qurilmasini aytish mumkin, unda 1,2 GGts takt chastotasili ikkita Cortex-A5 yadrolarga ega bo‘lgan Qualcomm Snapdragon S4 Play MSM8225 chipi ishlatiladi.

Cortex-A7

Cortex-A7 yadrosidagi protsessorlar Cortex-A5 chiplariga qaraganda quvvatli hisoblanadi. Bunday chiplar 28-nanometrli texnologik jarayon bo‘yicha bajariladi va 4 megabaytgacha ikkinchi daraja katta keshiga ega. Cortex-A7 yadrosi asosan byudjetli smartfonlar va iconBIT Mercury Quad kabi uncha qimmat bo‘lmagan o‘rta segment qurilmalarida, shuningdek istisno tariqasida Exynos 5 Octa protsessorli Samsung Galaxy S IV GT-i9500 qurilmalarida uchraydi, bu chipset unchalik talabchan bo‘lmagan masalalarni bajarishda Cortex-A7 yadrosidagi energiyani tejaydigan to‘rtta yadroli protsessorni ishlatadi.

Cortex-A8

Cortex-A8 yadrosi Cortex-A7 va Cortex-A9 yadrolari kabi keng tarqalmagan, lekin baribir turli boshlang‘ich daraja qurilmalarida ishlatiladi. Cortex-A8 yadrosidagi chiplarning ishchi takt chastotasi 600 MGts dan 1 GGts gachani tashkil etishi mumkin, lekin ba’zan ishlab chiqaruvchilar yuqoriroq chastotali protsessorlarni ham chiqaradi. Cortex-A8 yadrosining o‘ziga xos xususiyati ko‘p yadroli konfiguratsiyalarni yo‘qligi hisoblanadi (ya’ni bu yadrolardagi protsessorlar faqat bir yadroli bo‘lishi mumkin), ular hozirda eskirgan hisoblanadigan 65-nanometrli texnologik jarayon bo‘yicha bajariladi.

Cortex-A9

Yaqin vaqtlargacha Cortex-A9 yadrosi asosiy yechim hisoblangan va ham an’anaviy bir yadroli, ham quvvatliroq ikki yadroli chiplarda, masalan, Nvidia Tegra 2 va Texas Instruments OMAP4 chiplarida ishlatilgan. Hozirgi vaqtda 40-nanometrli texnologik jarayon bo‘yicha bajarilgan Cortex-A9 yadrosidagi chiplar

ommaviylikni yo‘qotmagan va o‘rtacha segment ko‘plab smartfonlarida ishlatiladi. Bunday protsessorlarning ishchi chastotasi 1 dan 2 gigagertslargachani tashkil etishi mumkin, lekin odatda 1,2-1,5 GGts bilan cheklanadi.

Cortex-A12

Cortex-A12 yadrosi 28-nanometrli texnologik jarayon bo‘yicha bajariladi va o‘rta segment smartfonlarida Cortex-A9 yadrosini almashtirish uchun ishlab chiqariladi. Cortex-A12 yadrosi ARM big.LITTLE arxitekturasida unumdor yadro sifatida energiyani tejaydigan Cortex-A7 yadrosi bilan birga ishlatilishi mumkin, bu ishlab chiqaruvchilarga uncha qimmat bo‘lmagan sakkiz yadroli chiplarni ishlab chiqarishga imkon beradi.

Cortex-A15

2013 yilga kelib Cortex-A15 yadrosi va uning hosilalari asosiy yechim hisoblanadi va turli ishlab chiqaruvchilarning zamonaviy kommunikatorlarida ishlatiladi. 28-nanometrli texnologik jarayon bo‘yicha bajarilgan va Cortex-A15 yadrosiga asoslangan yangi protsessorlar orasidan Samsung Exynos 5 Octa va Nvidia Tegra 4 protsessorlarini aytish mumkin, shuningdek bu yadro ko‘pincha boshqa ishlab chiqaruvchilar modifikatsiyalari uchun platforma bo‘lib xizmat qiladi. Masalan, Apple kompaniyasining A6X protsessori Cortex-A15 yadrosining modifikatsiyasi hisoblanadigan Swift yadrosini ishlatadi. Cortex-A15 yadrosidagi chiplar 1,5-2,5 GGts chastotalarda ishlashi mumkin, tashqi kompaniyalarning ko‘plab standartlarini qo‘llash va 1 TBgacha fizik xotirani manzillashtirish imkoniyati esa bunday protsessorlarni kompyuterlarda qo‘llanishini mumkin qiladi.

Cortex-A50 series

2013 yilning birinchi yarmida ARM chiplarning Cortex-A50 series nomni olgan yangi qatorini taqdim etdi. Bu qator yadrolari ARMv8 arxitekturasi versiyasi bo‘yicha bajarilgan va yangi komandalar to‘plamini qo‘llaydi, shuningdek 64-bitli bo‘ldi.

Yangi razryadlilikka o‘tish mobil operatsion tizimlar va ilovalarning optimallashtirishni talab qildi, lekin tushunarlik, o‘nlab minglab 32-bitli ilovalarni qo‘llash saqlandi. 64-bitli arxitekturaga birinchi bo‘lib Apple kompaniyasi o‘tdi. Kompaniyaning oxirgi qurilmalari, masalan, iPhone 5S aynan shunday Apple A7 ARM-protsessorida ishlaydi. Ta’kidlash joizki, u Cortex yadrosini ishlatmaydi, u ishlab chiqaruvchini o‘z Swift yadrosiga almashtirilgan. 64-bitli protsessorlarga o‘tish zaruratining ma’lum sabablaridan biri 4 GB operativ xotirani qo‘llash, bundan tashqari, ancha katta sonlarni hisoblashda amallarni bajarish imkoniyati hisoblanadi.

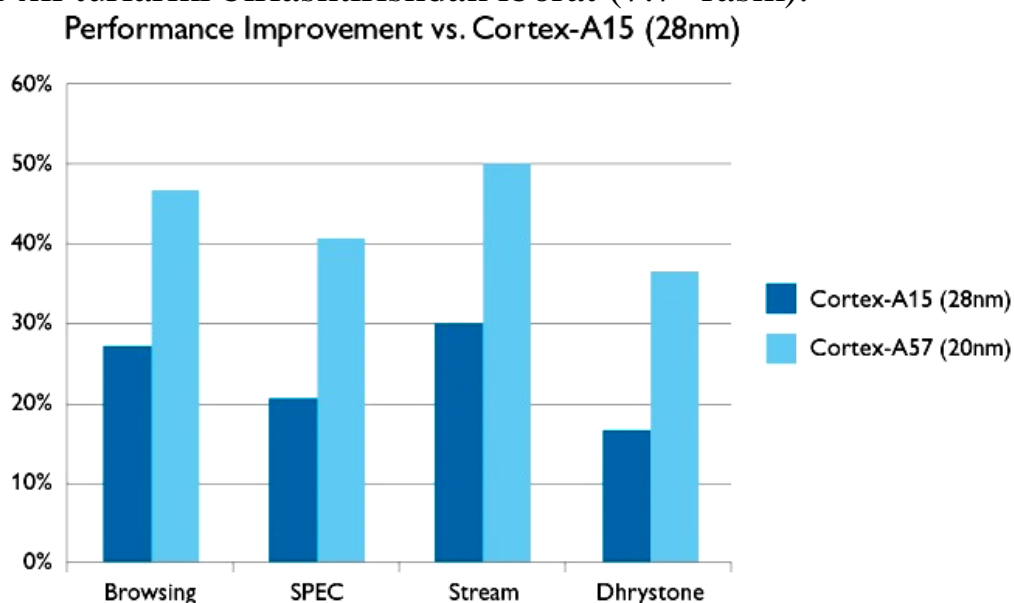
Cortex-A53

Turkumni Cortex-A9 yadroning to‘g‘ridan-to‘g‘ri “merosxo‘ri” hisoblanadigan Cortex-A53 yadrosi ochadi. Cortex-A53 yadrosidagi protsessorlar Cortex-A9 yadrosidagi protsessorlardan unumdorlikda sezilarli ustun, lekin bunda past energiya iste‘moli saqlanadi. Bunday protsessorlar ham bittalab, ham ARM big.LITTLE konfiguratsiyasida Cortex-A57 yadrosidagi protsessor bilan bitta chipsetda birlashtirilgan holda ishlatilishi mumkin.

Cortex-A57

Cortex-A57 yadrosidagi protsessorlar 20-nanometrli texnologik jarayon bo‘yicha bajarilgan (7.6- rasm). Yangi yadro o‘zining Cortex-A15 avlodidan turli unumdorlik parametrlari bo‘yicha sezilarli ustun va personal komyuterlar bozoriga jiddiy mo‘ljallanishi bilan nafaqat mobil qurilmalar uchun, balki oddiy kompyuterlar (shu jumladan, noutbuklar) uchun foydali yechim bo‘lib qoladi.

Zamonaviy protsessorlarning energiya iste‘moli muammolarini yuqori texnologik yechimi sifatida ARM big.LITTLE texnologiyasini taklif etmoqda, uning mazmuni bitta chipda ham energiyani tejaydigan, ham yuqori unumdor yadrolar har xil turlarini birlashtirishdan iborat (7.7- rasm).



7.6- rasm. Cortex-A57 yadrosidagi ARM big.LITTLE protsessorlari



7.7- rasm. big.LITTLE texnologiyasi

Har xil turlardagi yadrolarning bitta chipda ishlashining turli sxemalari mavjud:

- big.LITTLE (klasterlar orasidagi migratsiya);
- big.LITTLE IKS (yadrolar orasidagi migratsiya);
- big.LITTLE MP (geterogen multiprotsessing).

big.LITTLE (klasterlar orasidagi migratsiya)

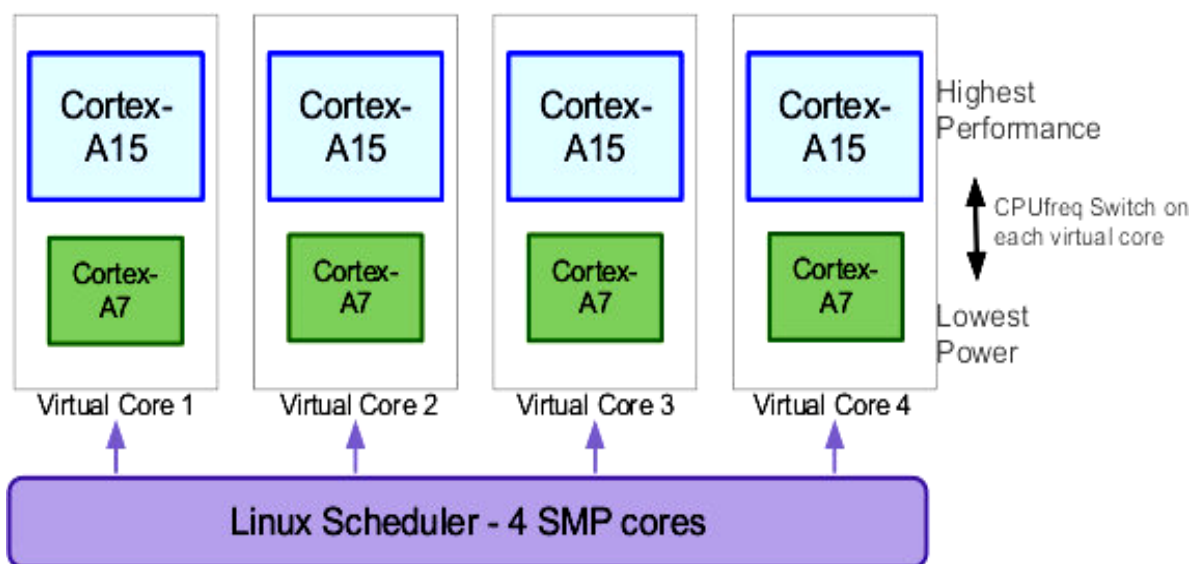
ARM big.LITTLE arxitekturasidagi birinchi chipset Samsung Exynos 5 Octa protsessori bo'ldi. Unda big.LITTLE "4+4" asl sxemasi ishlatiladi, bu bitta kristallda ko'p resurs talab qiladigan ilovalar va o'yinlar uchun to'rtta yuqori unumdor Cortex-A15 yadrolari va ko'p dasturlar bilan kundalik ishlash uchun to'rtta energiyani tejaydigan Cortex-A7 yadrolarini ikkita klasterlarga birlashtirishni (bu yerdan sxemaning nomi kelib chiqqan) bildiradi, binobarin, vaqtning bir momentida faqat bitta turdagi ikkita yadrolar ishlashi mumkin. Yadrolar guruhlari orasidagi qayta ulanish deyarli oniy va foydalanuvchiga sezilmasdan to'liq avtomatik rejimda bo'lib o'tadi.

big.LITTLE IKS (yadrolar orasidagi migratsiya)

big.LITTLE arxitekturasining murakkabroq ishlatilishi operatsion tizimning yadrosi orqali boshqariladigan bir necha real yadrolarni (ikkita) birlashtirish hisoblanadi, operatsion tizimning yadrosi energetik samarador va unumdor yadrolardan qaysini ishlatilishini hal qiladi (7.8- rasm). Tushunarliki, virtual yadrolar ham bir necha, 7.8- rasmda IKS sxemasiga misol keltirilgan bo'lib, bu yerda to'rtta virtual yadrolardan har birida bittadan Cortex-A7 va Cortex-A15 yadrolari mavjud.

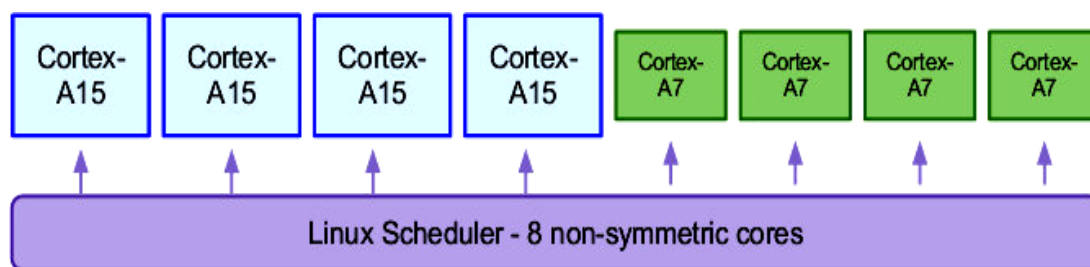
big.LITTLE MP (heterogen multiprocsessing)

big.LITTLE MP sxemasi eng ilg'or hisoblanadi, unda har bir yadro mustaqil hisoblanadi va zarurat bo'lgan operatsion tizim yadrosi orqali yoqilishi mumkin. Bu agar to'rtta Cortex-A7 va to'rtta Cortex-A15 yadrolari ishlatilsa, ARM big.LITTLE MP arxitekturasida qurilgan chipsetda bir vaqtda har xil turlarda bo'lishiga qaramasdan barcha 8 ta yadrolari ishlashi mumkinligini bildiradi (7.9-rasm).



7.8- rasm. ARM big.LITTLE IKS arxitekturasi

Bunday turdagi birinchi protsessorlardan biri Mediatek kompaniyasining sakkiz razryadli MT6592 chipi bo'ldi, u 2 GGs takt chastotasida ishlay oladi, shuningdek UltraHD ruxsat etishdagi videoni yoza oladi va ko'rsata oladi.

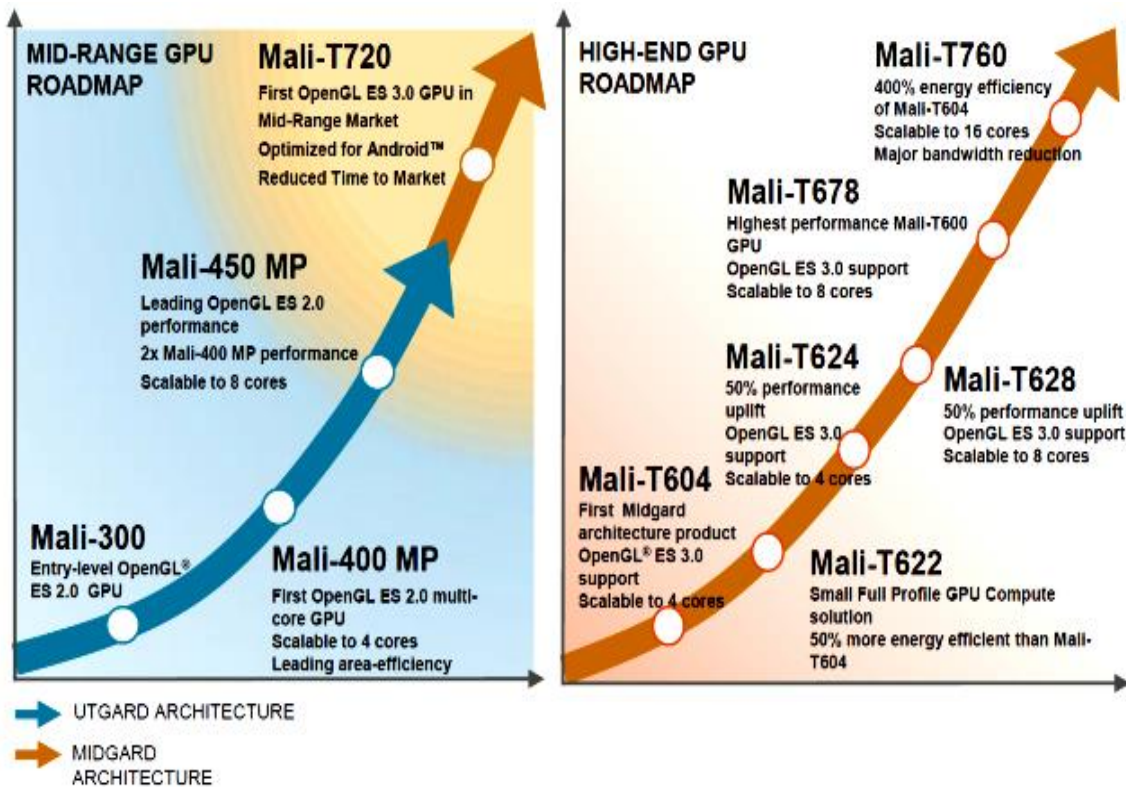


7.9- rasm. ARMbig.LITTLEMP arxitekturasi

7.6. Mali grafik tezlashtirgichlari

Protsessorlardan tashqari, ARM Mali oilasidagi grafik tezlashtirgichlarni ham ishlab chiqaradi (7.10- rasm). Protsessorlarga o'xshash tarzda grafik

tezlashtirgichlar ko‘plab parametrlar, masalan, silliqdash darajasi, shina interfeysi, kesh (ishlash tezligini oshirish uchun ishlatiladigan o‘ta tezkor xotira) va “grafik yadrolar” soni bilan xarakterlanadi.



7.10- rasm. Mali grafik tezlashtirgichlarining rivojlanishi

Birinchi ARM grafik tezlashtirgichi Mali 55 bo‘ldi, u LG Renoir sensorli telefonda ishlatilgan. GPU o‘yinlarda ishlatilmagan, faqat interfeysni tasvirlash uchun ishlatilgan va hozirgi o‘lchovlar bo‘yicha oddiy xarakteristikalariga ega bo‘lgan, lekin aynan u Mali turkumning birinchi avlodi bo‘lgan.

Shundan buyon taraqqiyot oldinga ilgariladi va hozirda qo‘llanadigan API va o‘yinlar standartlari muhim ahamiyatga ega. Misol uchun OpenGL ES 3.0 ni qo‘llash hozirda Qualcomm Snapdragon 600 va 800 kabi eng quvvatli protsessorlarda bildiriladi, agar ARM mahsulotlariga to‘xtalsa, u holda standart Mali-T604 (aynan u yangi Midgard mikroarxitekturada bajarilgan birinchi grafik protsessor bo‘ldi), Mali-T624, Mali-T628, Mali-T678 kabi va ularga xarakteristikalari bo‘yicha yaqin bo‘lgan ayrim boshqa chiplarni qo‘llaydi.

ARMda o‘rta segment smartfonlari uchun ham grafik tezlashtirgichlari ham mavjud, ular orasida Mali-400 MP va Mali-450 MP eng keng tarqalgan hisoblanadi, ular uncha nisbatan katta bo‘lmagan unumdorlik va cheklangan API va qo‘llanadigan standartlar to‘plami bilan ajralib turadi.

Nazorat savollari

1. Protsessorning asosiy xarakteristikalarini sanab o‘ting.
2. Protsessorning unumdorligi, energiya iste’moli va takt chastotasini nima aniqlaydi?
3. Grafik tezlashtirgichlar nima uchun ishlatiladi?
4. Turli OTlar protsessorlarining o‘ziga xos xususiyatlari?
5. Smartfonlarda qanday Cortex-Ax yadrolari ishlatiladi?
6. Zamonaviy protsessorlarning energiya iste’moli muammolarini ayting.
7. big.LITTLE texnologiyasining mazmuni nimada?
8. big.LITTLE texnologiyasining qanday sxemalari mavjud?
9. Grafik tezlashtirgichlarning asosiy parametrlarini ayting.
10. Grafik tezlashtirgichlarning turlarini sanab o‘ting.

8-bob. SDR ANALOG-RAQAMLI VA RAQAMLI-ANALOG O'ZGARTIRISH

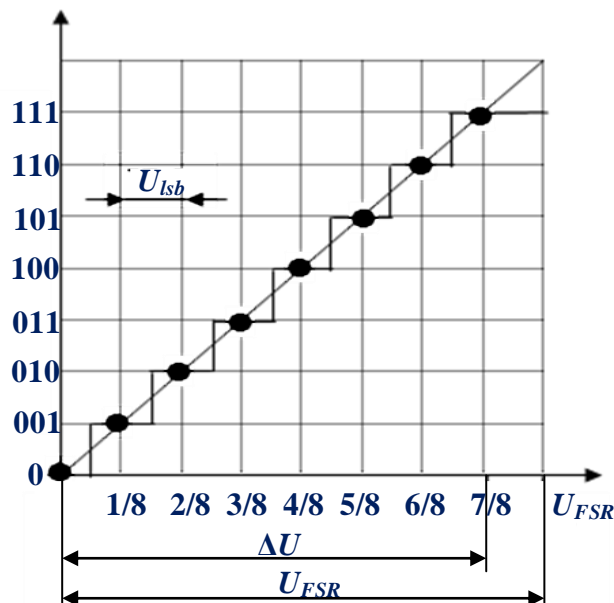
8.1. Analog-raqamli o'zgartirish

Mikroprotessorli tizimlarda impulsli element rolini analog-raqamli o'zgartirgich (ARO'), ekstrapolyator rolini esa raqamli-analog o'zgartirgich (RAO') bajaradi.

Analog-raqamli o'zgartirish analog signalda bo'lgan ma'lumotlarni raqamli kodga o'zgartirishdan iborat. Raqamli-analog o'zgartirish teskari vazifani bajaradi, ya'ni raqamli kod ko'rinishida berilgan sonni ekvivalent analog signalga o'zgartiradi.



8.1- rasm. ARO'ning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi



8.2- rasm. 3-razryadli ARO'ning ideal statik xarakteristikasi

ARO' teskari aloqalar analog signallarini tizimning raqamli qismi qabul qiladigan kodlarga o'zgartirish uchun raqamli boshqarish tizimlarining teskari aloqa zanjirlarida o'rnatiladi. Ya'ni ARO' vaqt bo'yicha diskretlashtirish, sath bo'yicha kvantlash, kodlash kabi bir necha funksiyalarni bajaradi. ARO'ning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi 8.1- rasmda tasvirlangan. ARO'ning kirishiga

signal tok yoki kuchlanish ko‘rinishida beriladi, u o‘zgartirish jarayonida sath bo‘yicha kvantlanadi. 3-razryadli ARO‘ning ideal statik xarakteristikasi 8.2-rasmda keltirilgan.

8.2. Analog-raqami o‘zgartirish xarakteristikalarini

Kirish signallari $-U_{max}$ dan U_{max} gacha diapazonda istalgan qiymatlarni qabul qilishi mumkin, chiqish signallari esa sakkizta (2^3) diskret sathlarga mos keladi. ARO‘ chiqish kodining bitta qiymatidan boshqa qiymatga o‘tish bo‘lib o‘tadigan chiqish kuchlanishining qiymati kodlararo o‘tish kuchlanishi deyiladi.

Kodlararo o‘tishning yonma-yon qiymatlari orasidagi farq kvantlash qadami yoki kichik ahamiyatli razryad (KAR) birligi deyiladi. O‘zgartirish xarakteristikasining boshlang‘ich nuqtasi deb quyidagicha aniqlanadigan kirish signalining qiymati orqali aniqlanadigan nuqta deyiladi:

$$U_0 = U_{0,1} - 0.5U_{LSB} \quad (8.1),$$

bu yerda $U_{0,1}$ – birinchi kodlararo o‘tish kuchlanishi;

U_{LSB} – kvantlash qadami (LSB – Least Significant Bit).

O‘zgartirish xarakteristikasining oxirgi nuqtasi quyidagi nisbat orqali aniqlanadigan kirish kuchlanishiga mos keladi:

$$U_N = U_{N-1,N} + 0.5U_{LSB} \quad (8.2).$$

$U_{0,1}$ va $U_{N-1,N}$ qiymatlar orqali cheklangan ARO‘ kirish kuchlanishi qiymatlari sohasi kirish kuchlanishi diapazoni deyiladi:

$$\Delta U = U_N - U_0 \quad (8.3).$$

Kirish kuchlanishi diapazoni va N -razryadli ARO‘ va RAO‘ kichik razryadining qiymatini quyidagi nisbat bog‘laydi:

$$U_{LSB} = \frac{\Delta U}{2^N - 1} \quad (8.4).$$

$$U_{FSR} = \Delta U + U_{LSB} = 2^N U_{LSB} \quad (8.5)$$

kuchlanish to‘liq kuchlanish shkalasi (FSR – Full Scale Range) deyiladi. Bu parametr ARO‘ga ulangan tayanch kuchlanishi manbaining chiqish signali sathi

orqali aniqlanadi. Kvantlash qadamining qiymati yoki kichik razryad birligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_{LSB} = \frac{U_{FSR}}{2^N} \quad (8.6),$$

katta ahamiyatli razryad birligining qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_{MSB} = \frac{U_{FSR}}{2^1} = 0.5U_{FSR}. \quad (8.7)$$

8.2- rasmdan ko'rinib turibdiki, o'zgartirish jarayonida qiymati bo'yicha $U_{LSB}/2$ kichik razryadning yarmidan oshmaydigan xatolik vujudga keladi.

Aniqlik va tezkorlik bo'yicha o'zaro farqlanadigan turli analog-raqamli o'zgartirish usullari mavjud. Ko'plab hollarda bu xarakteristikalar bir-birlariga qarama-qarshi bo'ladi.

Hozirgi vaqtda ketma-ket yaqinlashishli (razryadlab tenglashli) ARO', integrallovchi ARO', parallel (Flash) ARO', "sigma-delta" ARO' kabi o'zgartirgichlar turlari keng tarqalgan.

Ketma-ket yaqinlashishli ARO' ning tuzilish sxemasi 8.3- rasmda keltirilgan.

Qurilmaning asosiy elementlari komparator (K), raqamli-analog o'zgartirgich (RAO') va mantiqiy boshqarish sxemasi hisoblanadi. O'zgartirish prinsipi kirish signalining sathini chiqish kodining turli kombinatsiyalariga mos keladigan signallar sathlari bilan ketma-ket taqqoslash va taqqoslash natijalari bo'yicha natijaviy kodni shakllantirishga asoslangan.

Taqqoslanadigan kodlarning navbatliligi yarim bo'lish qoidasini qoniqtiradi. O'zgartirishning boshlanishida RAO' ning kirish kodi qatta razryaddan tashqari barcha razryadlar 0 ga, katta razryad 1 ga teng bo'ladigan holat o'rnatiladi.

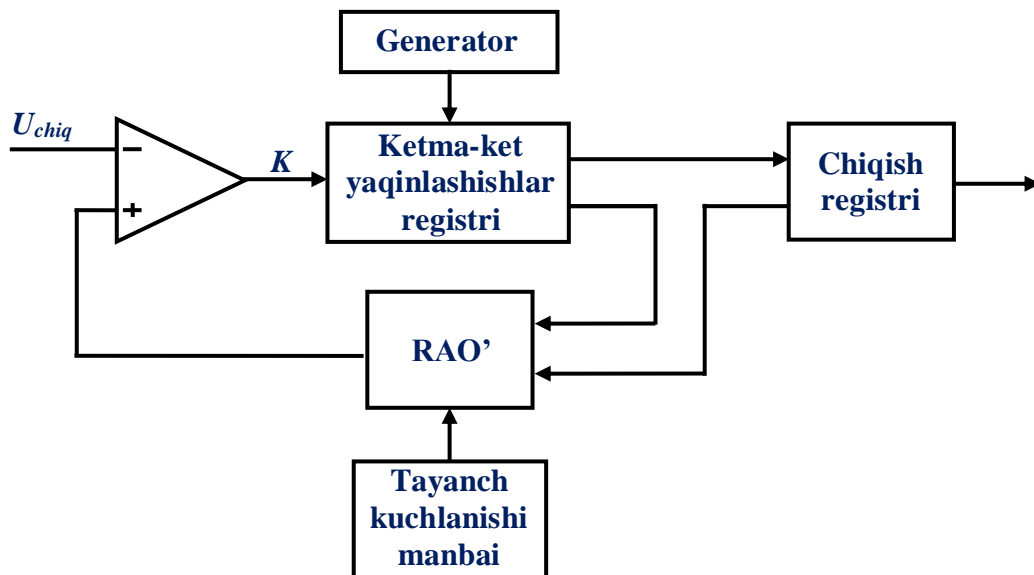
Bu kuchlanish komparatorida kirish kuchlanishi bilan taqqoslanadi. Agar kirish signali RAO' dan beriladigan signaldan katta bo'lsa, u holda chiqish kodining katta razryadi 1 ga teng o'rnatiladi, aks holda 0 ga teng o'rnatiladi. Navbatdagi taktida bunday tarzda qisman shakllantirilgan kod yana RAO' ning kirishiga beriladi, unda keyingi razryad 1 ga teng o'rnatiladi va taqqoslash takrorlanadi.

Jarayon kichik bitta taqqoslashgacha davom etadi. Ya'ni N -razryadli chiqish kodini shakllantirish uchun N bir xil elementlar taqqoslash taktlari zarur bo'ladi. Bu boshqa teng sharoitlarda bunday ARO' ning tezkorligi uning razryadliligi ortishi bilan kamayishini bildiradi.

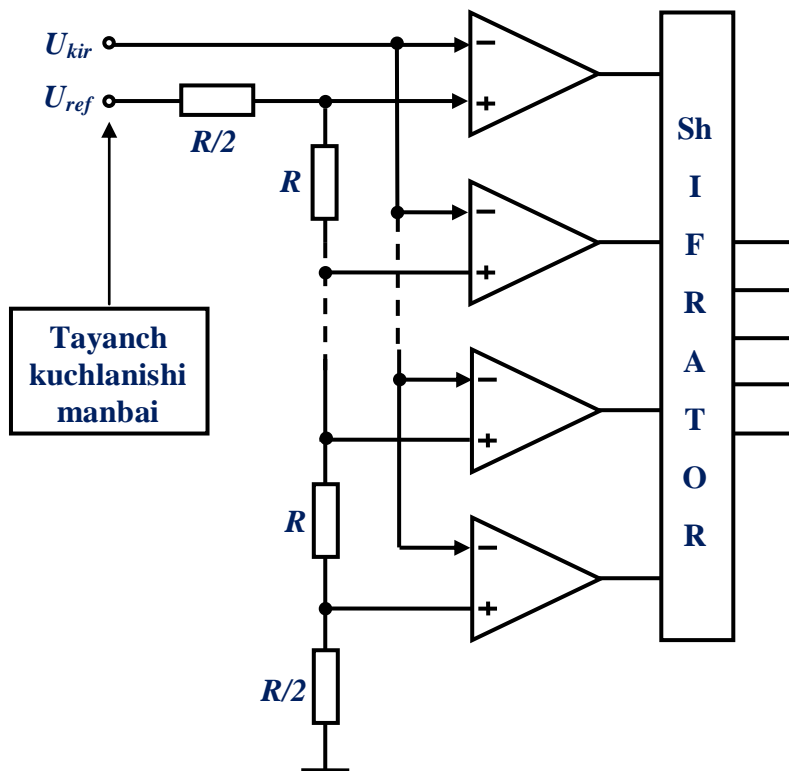
Ketma-ket yaqinlashishli ARO' ning ichki elementlari (RAO' va komparator) ARO' kichik razryadi yarmi qiymatidan yaxshi bo'lgan aniqlik ko'rsatkichlariga ega bo'lishi kerak.

Parallel (Flash) ARO'ning tuzilish sxemasi 8.4- rasmda keltirilgan.

Bu holda kirish kuchlanishi taqqoslash uchun birdaniga $N-1$ komparatorlarning bir xil kirishlariga beriladi. Komparatorlarning qarama-qarshi kirishlariga tayanch kuchlanishi manbaiga ulangan yuqori aniq kuchlanish bo'lgichidan signallar beriladi. Bunda bo'lgich chiqishlaridan signallar kirish signalining butun o'zgarishi diapazoni bo'ylab bir tekis taqsimlangan.



8.3- rasm. Ketma-ket yaqinlashishli ARO'ning tuzilish sxemasi



8.4- rasm. Parallel (Flash) ARO'ning tuzilish sxemasi

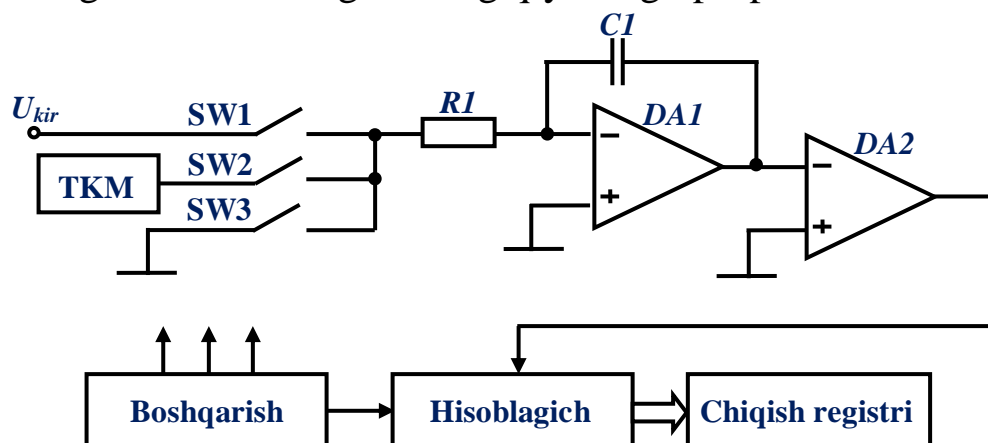
Shifrador ustuvorlik bilan chiqish signali aktivlashtiriladigan eng katta komparatorga mos raqamli chiqish signalini shakllantiradi. Ya'ni N -razryadli o'zgartirishni ta'minlash uchun bo'lgichning 2^N rezistorlari va 2^N-1 komparatorlar zarur bo'ladi. Bu eng tezkor o'zgartirish usullaridan biri hisoblanadi. Lekin katta razryadlilikda u katta apparatlar xarajatlarini talab qiladi.

Bo'lgich barcha rezistorlari va komparatorlarning aniqligi yana kichik razryad qiymatining yarmidan yaxshi bo'lishi kerak.

Ikkilangan integrallashli ARO'ning tuzilish sxemasi 8.5- rasmda tasvirlangan.

Tizimning asosiy elementlari $SW1$, $SW2$, $SW3$ kalitlardan tashkil topgan analog kommutator I integrator, K komparator va H hisoblagich hisoblanadi. O'zgartirish jarayoni uchta bosqichlardan tashkil topgan (8.6- rasm).

Birinchi bosqichda $SW1$ kalit ochiq, qolgan kalitlar esa yopiq bo'ladi. $SW1$ ochiq kalit orqali kirish kuchlanishi integratorga beriladi, u qayd etilgan vaqt intervalida kirish signalini integrallaydi. Bu vaqt intervali tugash bilan integrator chiqish signalining sathi kirish signalining qiymatiga proporsional bo'ladi.

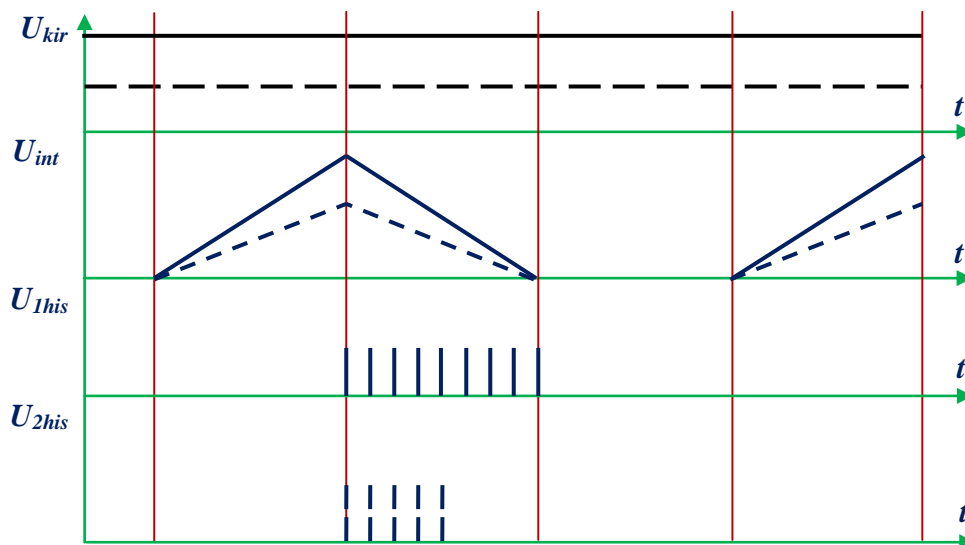


8.5- rasm. Ikkilangan integrallashli ARO'ning tuzilish sxemasi

Ikkinchi o'zgartirish bosqichida $SW1$ kalit yopiladi, $SW2$ kalit esa ochiladi va integratorning kirishiga esa tayanch kuchlanishi manбайдan signal beriladi. Integratorning kondensatori birinchi o'zgartirish intervalida to'plangan kuchlanishdan tayanch kuchlanishiga proporsional o'zgarmas tezlikda zaryadsizlanadi.

Bu bosqich integratorning chiqish kuchlanishi nolgacha kamayguncha davom etadi, bu haqda integratorning signalini nol bilan taqqoslaydigan komparatorning chiqish signali ko'rsatadi. Bu ikkinchi bosqichning davomiyligi o'zgartirgichning kirish kuchlanishiga proporsional bo'ladi. Butun ikkinchi bosqich davomida hisoblagichga kalibrlangan chastotali yuqori chastotali impulslar beriladi. Ya'ni

ikkinchi bosqich tugashi bilan hisoblagichning raqamli ko'rsatishlari kirish kuchlanishiga proporsional bo'ladi.



8.6- rasm. O'zgartirish jarayoni

Bu usul yordamida komponentlarning aniqligi va stabilligiga yuqori talablarni qo'ymasdan juda yaxshi aniqlikka erishish mumkin. Xususan, integrator sig'imining stabilligi yuqori bo'lmasligi mumkin, chunki zaryadlanish va zaryadsizlanish sikllari sig'imga teskari proporsional tezlikda bo'lib o'tadi. Shu bilan birga, dreyf xatoligi va komparatorning surilishi har bir o'zgartirish bosqichi o'sha bir kuchlanishda boshlanishi va tugashi tufayli kompensatsiyalanadi.

Aniqlikni oshirish uchun uchinchi o'zgartirish bosqichi ishlatiladi, bunda integratorning kirishiga $SW3$ kalit orqali nolga teng signal beriladi. Binobarin, bu bosqichda o'sha bir integrator va komparator ishlatilar ekan, u holda nolda xatolik chiqish qiymatini navbatdagi o'lchash natijasidan ayirish nol atrofidagi o'lchashlarga bog'liq xatoliklarni kompensatsiyalashga imkon beradi.

Hatto hisoblagichga beriladigan takt impulslari chastotasiga qat'iy talablar qo'yilmaydi, chunki birinchi o'zgartirish bosqichida qayd etilgan vaqt intervali o'sha impulslarning o'zidan shakllantiriladi. Faqat zaryadsizlanish tokiga, ya'ni tayanch kuchlanishi manbaiga qat'iy talablar qo'yiladi. Bunday o'zgartirish usulining kamchiligi uncha yuqori bo'lmagan tezkorligi hisoblanadi.

ARO' tizimga qo'yiladigan talablardan kelib chiqish bilan aniq bir qurilmani tanlashni amalga oshirishga imkon beradigan qator parametrlar orqali xarakterlanadi. ARO'ning barcha parametrlarini ikkita guruhlariga – statik va dinamik parametrlarga bo'lish mumkin. Statik parametrlar o'zgarayotgan yoki sekin o'zgaradigan kirish signali bilan ishlashda qurilmaning aniqlik

xarakteristikalarini aniqlaydi, dinamik parametrlar esa kirish signalining chastotasi ortganda aniqlikni saqlash sifatida qurilmaning tezkorligini xarakterlaydi.

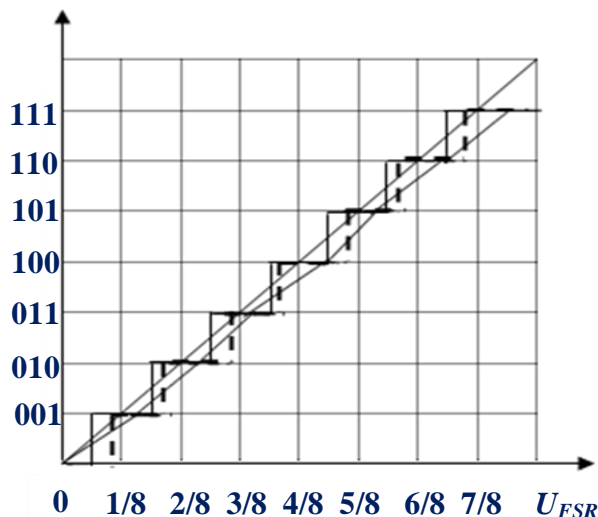
Kirish signalining noli atrofida yotadigan kvantlash darajasiga $-0,5U_{LSB}$ va $0,5U_{LSB}$ (birinchisi faqat bipolyar kirish signalida o'z o'rniga ega bo'ladi) kodlararo o'tishlar kuchlanishlari mos keladi. Lekin real qurilmalarda bu kodlararo o'tishlar kuchlanishlari bu ideal qiymatlardan farq qilishi mumkin.

Bu kodlararo o'tishlar kuchlanishlarni ularning ideal qiymatlaridan farq qilishi mos ravishda nolning bipolyar surilishi xatoligi (Bipolar Zero Error) va nolning unipolyar surilishi xatoligi (Zero Offset Error) deyiladi.

Bipolyar o'zgartirish diapazonlarida odatda nolni surilishi xatoligi, unipolyar o'zgartirish diapazonlarida esa unipolyar surilishi xatoligi ishlatiladi. Bu xatolik real o'zgartirish xarakteristikasini ideal xarakteristikaga nisbatan absissalar o'qi bo'ylab parallel surilishiga olib keladi (8.7- rasm).

Oxirgi kodlararo o'tishga mos kirish signali sathini o'zining $U_{FSR}-1,5U_{LSB}$ ideal qiymatidan og'ishi to'liq shkala xatoligi (Full Scale Error) deyiladi.

ARO'ning o'zgartirish koeffitsiyenti deb real o'zgartirish xarakteristikasining boshlang'ich va oxirgi nuqtalari orqali o'tkazilgan to'g'ri chiziqqa og'ish burchagi tangensiga aytiladi. O'zgartirish koeffitsiyentining haqiqiy va ideal qiymatlari orasidagi farq o'zgartirish koeffitsiyenti xatoligi (Gain Error) deyiladi (8.7- rasm).



8.7- rasm. Real o'zgartirish xarakteristikasini ideal xarakteristikaga nisbatan surilishi

U shkalaning uchlaridagi xatoliklarni o'z ichiga oladi, lekin shkala noli xatoligini o'z ichiga olmaydi. Unipolyar diapazon uchun u to'liq shkala xatoligi va nolning unipolyar surilishi orasidagi farq sifatida, bipolyar diapazon uchun esa to'liq shkala xatoligi va nolning bipolyar surilishi orasidagi farq sifatida

aniqlanadi. Mazmunan, istalgan holda oxirgi va birinchi kodlararo o'tishlar orasidagi ideal masofani ($U_{FSR}-2U_{LSB}$ qiymatga teng bo'lgan) uning real qiymatidan og'ishi hisoblanadi.

Nolning surilishi va o'zgartirish koeffitsiyentining xatoligini ARO' dastlabki kuchaytirgichini sozlash bilan kompensatsiyalash mumkin. Buning uchun $0,1U_{LSB}$ qiymatdan yomon bo'lmagan aniqlikli voltmetrga ega bo'lish kerak. Bu ikkita xatoliklarning bog'liq bo'lmasligi uchun dastlab surilish xatoligi tuzatiladi, keyin esa o'zgartirish koeffitsiyentining xatoligi tuzatiladi.

ARO' nolning surilishi xatoligining tuzatish uchun quyidagilar zarur:

1. Kirish kuchlanishini aniq $0,5U_{LSB}$ sathda o'rnatish;

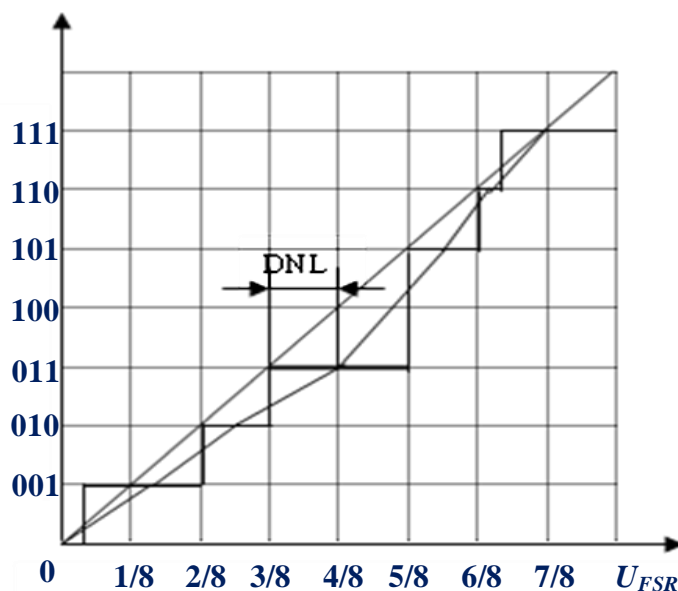
2. ARO' dastlabki kuchaytirgichini ARO' 00...01 holatga qayta ulanmaguncha sozlash.

ARO' o'zgartirish koeffitsiyentining xatoligini tuzatish uchun quyidagilar zarur:

1. Kirish kuchlanishini aniq $U_{FSR} - 1,5U_{LSB}$ sathda o'rnatish;

2. ARO' dastlabki kuchaytirgichining kuchaytirish koeffitsiyentini ARO' 11...1 holatga qayta ulanmaguncha sozlash.

ARO' sxemasi elementlarining noidealligi tufayli ARO' xarakteristikasining turli nuqtalaridagi pog'onalar qiymat bo'yicha bir-birlaridan farqlanadi va U_{LSB} qiymatga teng bo'lmaydi (8.8- rasm).



8.8- rasm. ARO' xarakteristikasining turli nuqtalaridagi pog'onalar

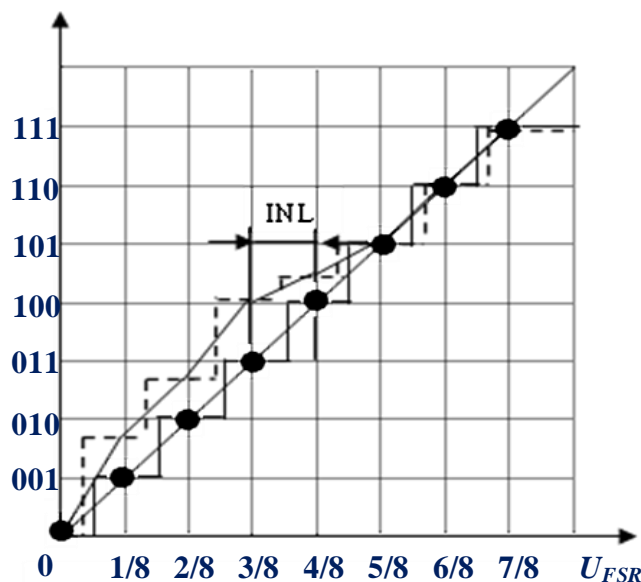
Ikkita qo'shni real kvantlash qadamlarining o'rtalari orasidagi masofaning U_{LSB} ideal kvantlash qadamidan og'ishi differensial nohozizqlilik (DNL – Differential Nonlinearity) deyiladi. Agar DNL U_{LSB} qiymatdan katta yoki unga

teng bo'lsa, u holda ARO'da "o'tkazib yuborilgan kodlar" paydo bo'lishi mumkin (8.3- rasm). Bu ARO' uzatish koeffitsiyentini lokal keskin o'zgarishiga olib keladi, bu yopiq boshqarish tizimlarida barqarorlikni yo'qotilishiga olib kelishi mumkin. Berilgan aniqlikda chiqish kuchlanishini saqlash muhim bo'lgan ilovalar uchun ARO'ning chiqish kodlari kodlararo o'tishlar kuchlanishlariga qanchalik aniq mos kelishi muhim.

ARO' real xarakteristikasida kvantlash qadamining chiziqshastirilgan xarakteristikadan maksimal og'ishi ARO'ning integral noxiziqiligi (*INL* – Integral Nonlinearity) yoki nisbiy aniqligi (Relative Accuracy) deyiladi (8.9- rasm).

Chiziqshastirilgan xarakteristika real o'zgartirish xarakteristikasining chetki nuqtalari orqali ular kalibrlangandan, ya'ni nolni surilishi va o'zgartirish koeffitsiyenti tuzatilganidan keyin o'tkaziladi.

Differensial va integral noxiziqilik xatoliklarini oddiy vositalar orqali kompensatsiyalash deyarli mumkin emas.



8.9- rasm. ARO'ning nisbiy aniqligi (Relative Accuracy)

ARO'ning ruxsat etish qobiliyati (Resolution) deb ARO' chiqishidagi kodlar kombinatsiyalarining maksimal soniga teskari bo'lgan kattalikka aytiladi.

$$R = \frac{1}{2^N} \quad (8.8)$$

Bu parametr ARO' qanday minimal kirish signali sathini qabul qila olishini (to'liq amplitudali signal nisbatan) aniqlaydi.

Aniqlik va ruxsat etish qobiliyati bu ikkita bog'liq bo'lmagan xarakteristikalar hisoblanadi. Ruxsat etish qobiliyati kirish signalining berilgan dinamik diapazonini ta'minlash muhim bo'lganda aniqlovchi rolni o'ynaydi. Aniqlik rostlanadigan kattalikni berilgan sathda qayd etilgan aniqlikda saqlash talab qilinganda aniqlovchi hisoblanadi.

ARO'ning dinamik diapazoni (DR – Dinamic Range) deb qabul qilinadigan kirish kuchlanishining maksimal sathini minimal sathiga nisbatiga aytiladi, dB:

$$DR = 20\lg(2^N) \quad (8.9).$$

Bu parametr ARO' uzatishi mumkin bo'lgan maksimal ma'lumotlar miqdorini aniqlaydi. 12-razryadli ARO' uchun u $DR=72$ dB ga teng.

Real ARO'larning xarakteristikalari real qurilmalar elementlarining noidealligi tufayli ideal qurilmalarning xarakteristikalaridan farq qiladi. Real ARO'larni xarakterlaydigan ayrim parametrlarni ko'rib chiqamiz.

Signal-shovqin nisbati (SNR – Signal to Noise Ratio) deb kirish sinusoidal signalining o'rtacha kvadratik qiymatini shovqinning o'rtacha kvadratik qiymatiga nisbatiga aytiladi. Shovqinning o'rtacha kvadratik qiymati o'zgarmas tashkil etuvchi hisobga olinmasdan diskretlashtirish chastotasining yarmigacha barcha qolgan spektral komponentlarning yig'indisi sifatida aniqlanadi. Faqat kvantlash shovqinini generatsiyalaydigan ideal N -razryadli ARO' uchun SNR nisbatni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\begin{aligned} SNR &= \lg \frac{U_{FSR}}{\sqrt{\sigma^2}} = 10\lg \frac{U_{FSR}^2}{\sigma^2} = 10\lg \frac{U_{FSR}^2}{\frac{U_{ISB}^2}{12}} = 10\lg \frac{1.5U_{FSR}^2}{\left(\frac{U_{FSR}}{2^N}\right)^2} = 10\lg(1.5(2^N)^2) \\ &= 10\lg 1.5 + 20N\lg 2 = 1.76 + 6.02N \end{aligned} \quad (8.10)$$

bu yerda N – ARO'ning razryadliliigi. 12-razryadli ideal ARO' uchun $SNR=74$ dB. Bu qiymat bunday ARO'ning dinamik diapazoni qiymatidan katta, chunki qabul qilinadigan signalning minimal sathi shovqin sathidan katta bo'lishi kerak.

Bu formulada faqat kvantlash shovqini hisobga olinadi va real ARO'larda mavjud bo'lgan boshqa shovqin manbalari hisobga olinmaydi. Shuning uchun real ARO'lar uchun SNR qiymat ideal ARO'dagidan kichik bo'ladi. Real 12-razryadli ARO' uchun odatdagi SNR qiymati 68-70 dB hisoblanadi.

Agar kirish signali U_{FSR} qiymatdan kichik bo'lsa, u holda oxirgi formulaga tuzatish kiritish zarur bo'ladi:

$$SNR = 1,76 + 6,02N + K_{TA} \quad (8.11)$$

bu yerda K_{TA} – kirish signalining kuchsizlanishi, dB. Agar 12-razryadli ARO‘ning kirish signali to‘liq shkala kuchlanishining yarmidan 10 martaga kichik bo‘lsa, u holda $K_{TA}=-20$ dB va $SNR=74$ dB – 20 dB=54 dB bo‘ladi.

Real SNR qiymati ARO‘ razryadlarining samarali sonini (ENOB – Effective Number of Bits) aniqlash uchun ishlatilishi mumkin. U quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$ENOB = \frac{SNR - 1.760B + K_{TA}}{6.02} \quad (8.12).$$

Bu ko‘rsatkich real ARO‘ning amaldagi ruxsat etish qobiliyatini xarakterlashi mumkin, $K_{TA}=-20$ dBli signal uchun $SNR=68$ dB bo‘lgan 12-razryadli ARO‘ aslida 7-razryadli ARO‘ ($ENOB=7,68$) hisoblanadi. $ENOB$ qiymat kirish signalining chastotasiga kuchli bog‘liq bo‘ladi, ya‘ni ARO‘ning samarali razryadlili chastotaning ortishi bilan kamayadi.

Yig‘indi garmonikalar koeffitsiyenti (THD – Total Harmonic Distortion) bu barcha yuqori garmonikalar o‘rtacha kvadratik qiymatlarining yig‘indisini asosiy garmonikaning o‘rtacha kvadratik qiymatiga nisbati hisoblanadi:

$$THD = 10 \lg \frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2} \quad (8.13),$$

bu yerda n odatda 6 yoki 9 sathda cheklanadi. Bu parametr ARO‘ chiqish signalining kirish signaliga qaraganda garmonik buzilishlari darajasini xarakterlaydi. THD kirish signalining chastotasi bilan ortadi.

To‘liq quvvat chastotalar polosasi (FPBW – Full Power Bandwidth) bu to‘liq shkalaga teng qadamli kirish signalining maksimal chastotasi bo‘lib, bunda qayta tiklangan asosiy tashkil etuvchining amplitudasi 3 dB dan katta bo‘lmagan qiymatga kamayadi.

Kirish signalining chastotasi ortishi bilan ARO‘ning analog zanjirlari uning o‘zgarishlariga berilgan aniqlikda ishlov berishga ulgurmay qoladi, bu yuqori chastotalarda ARO‘ning o‘zgartirish koeffitsiyentini kamayishiga olib keladi.

O‘rnatish vaqti (Settling Time) bu kirishiga kirish signalining to‘liq diapazoniga teng amplitudali pog‘onasimon signal berilgandan keyin nominal aniqlikka erishish uchun ARO‘ga zarur bo‘ladigan vaqt hisoblanadi. Bu parametr ARO‘ turli tugunlarning chekli tezkorligi tufayli cheklangan.

Har xil xatoliklar turlari tufayli real ARO‘ning xarakteristikasi nochiziqli hisoblanadi. Agar nochiziqli qurilma kirishiga spektri ikkita f_a va f_b garmonikalardan tashkil topgan signal berilsa, u holda bunday qurilma chiqish

signalining spektrida $mf_a \pm mf_b$ chastotalarli intermodulyatsion subgarmonikalar mavjud bo'ldi, bu yerda $m, n=1, 2, 3, \dots$

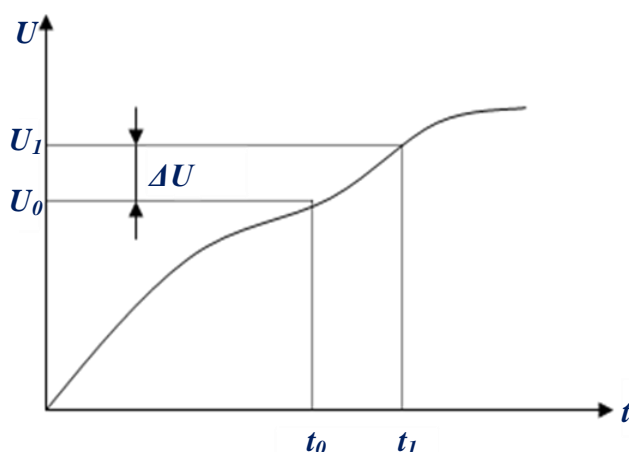
Ikkinchi tartibli subgarmonikalar - f_a+f_b, f_a-f_b , uchinchi tartibli subgarmonikalar $2f_a+f_b, 2f_a-f_b, f_a+2f_b, f_a-2f_b$ hisoblanadi. Agar kirish sinusoidlari o'tkazish polosasining yuqori cheti yaqinida joylashgan yaqin chastotalarga ega bo'lsa, u holda ikkinchi tartibli subgarmonikalar kirish sinusoidlaridan uzoqda bo'ldi va pastki chastotalar sohasida joylashadi, bunda uchinchi tartibli subgarmonikalar kirish chastotalariga yaqin bo'lgan chastotalarga ega bo'ldi.

Intermodulyatsion buzilishlar koeffitsiyenti (Intermodulation Distortion) bu ma'lum tartibli intermodulyatsion subgarmonikalar o'rtacha kvadratik qiymatlarining yig'indisini asosiy garmonikalar o'rtacha kvadratik qiymatlari yig'indisiga nisbati hisoblanadi, dB:

$$IMD_2 = 10 \lg \left(\frac{U_{A+B}^2 + U_{A-B}^2}{U_A^2 + U_B^2} \right)$$

$$IMD_3 = 10 \lg \left(\frac{U_{2A+B}^2 + U_{2A-B}^2 + U_{A+2B}^2 + U_{A-2B}^2}{U_A^2 + U_B^2} \right) \quad (8.14)$$

Har qanday analog-raqamli o'zgartirish usuli uning bajarilishi uchun qandaydir chekli vaqtni talab qiladi. ARO'ning o'zgartirish vaqti (Conversion Time) deganda analog signalni ARO'ning kirishiga berilishi momentidan mos chiqish kodini paydo bo'lishi momentigacha vaqt intervali tushuniladi. Agar ARO'ning kirish signali vaqt bo'yicha o'zgarsa, u holda ARO'ning chekli o'zgartirish vaqti apperturali xatolikni paydo bo'lishiga olib keladi (8.10- rasm).



8.10- rasm. Apperturali xatolik

Signal o'zgartirishning boshlanishida t_0 momentda beriladi, chiqish kodi esa t_1 momentda paydo bo'ldi. Bu vaqt davomida kirish signali ΔU qiymatga

o'zgarishga ulguradi. Noaniqlik vujudga keladiki, $U_0 - U_0 + \Delta U$ diapazonda kirish signali qiymatining qaysi sathiga bu chiqish kodi mos keladi. Kichik razryad birligi sathida o'zgartirish aniqligini saqlash uchun o'zgartirish vaqtida ARO'ning kirishida signalning o'zgarishi kichik razryad birligi qiymatidan katta bo'lmagan qiymatni tashkil etishi zarur:

$$\Delta U_{max} = U_{ISB} = \frac{U_{FSR}}{2^N} \quad (8.15).$$

O'zgartirish vaqtida signal sathining o'zgarishini taxminan quyidagicha hisoblash mumkin:

$$\Delta U = \left. \frac{dU_{in}}{dt} \right|_{t=t_0} * T_c \Delta U = \left. \frac{dU_{in}}{dt} \right|_{t=t_0} * T_c \quad (8.16),$$

bu yerda U_{in} – ARO'ning kirish kuchlanishi;

T_c – o'zgartirish vaqti.

(8.16) formulani (8.15) formulaga qo'yish bilan quyidagini olamiz:

$$\frac{dU_{in}}{dt} \leq \frac{U_{FSR}}{T_c} * 2^{-N} \quad \frac{dU_{in}}{dt} \leq \frac{U_{FSR}}{T_c} * 2^{-N} \quad (8.17).$$

Agar kirishga f chastotali

$$U_{in}(t) = \frac{U_{FSR}}{2} \sin(2\pi \int t) \quad (8.18),$$

sinusoidal signal ta'sir qilsa, u holda uning hosilasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{U_{in}}{dt} = \frac{U_{FSR}}{2} 2\pi \int \cos(2\pi \int t) \quad (8.19).$$

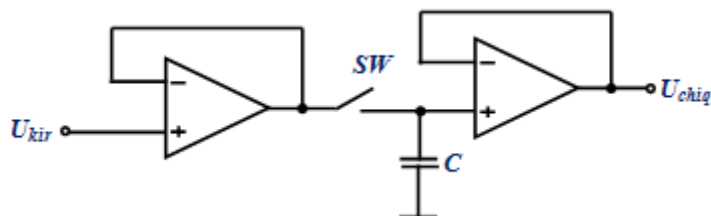
U kosinus 1 ga teng bo'lganda maksimal qiymatni qabul qiladi. Buni hisobga olish bilan (8.9) formulani (8.7) formulaga qo'yish bilan quyidagini olamiz:

$$U_{FSR} \pi \int \leq \frac{U_{FSR}}{T_c} * 2^{-N}, \quad \text{yoki} \quad \int \leq \frac{2^{-N}}{\pi T_c} \quad (8.20)$$

ARO'ning o'zgartirish chekli vaqti kirish signalini o'zgartirish tezligini cheklash talabiga olib keladi. Apperturali xatolikni kamaytirish va uchun ARO'

kirish signalini o'zgartirish tezligiga cheklashlarni kamaytirish uchun o'zgartirgichning kirishiga "tanlash-saqlash qurilmasi" (TSQ) (Track/Hold Unit) qo'yiladi. TSQ ning soddalashtirilgan sxemasi 8.11- rasmda keltirilgan.

Qurilma ikkita ish rejimlariga – tanlash va qayd etish rejimlariga ega. Tanlash rejimi SW kalitning yopiq holatiga mos keladi.



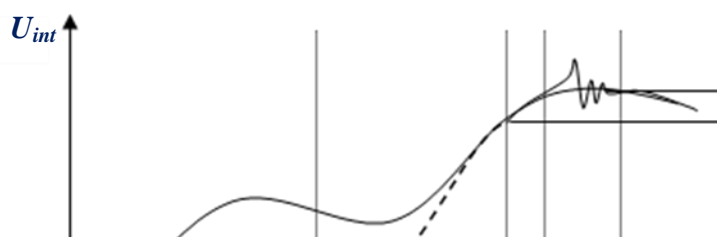
8.11- rasm. TSQning soddalashtirilgan sxemasi

Bu rejimda TSQning chiqish kuchlanishi uning kirish kuchlanishini takrorlaydi. Qayd etish rejimi uziladigan SW kalit komandasi bo'yicha ulanadi. Bunda TSQ kirishi va chiqishi orasidagi aloqa uziladi, chiqish signali esa kondensatorida to'plangan zaryad hisobiga qayd etish komandasining tushishi momentidagi kirish signalining sathiga mos keladigan o'zgarmas sathda saqlanadi.

Shunday qilib, agar ARO'ning o'zgartirishidan oldin to'g'ridan-to'g'ri qayd etish komandasi berilsa, u holda TSQning chiqish signali butun o'zgartirish vaqti davomida o'zgarmas sathda saqlanadi. O'zgartirish tugagandan keyin TSQ yana tanlash rejimiga o'tkaziladi. Real TSQning ishlashi yuqorida tavsiflangan ideal holdan farqlanadi (8.12- rasm).

Agar saqlash vaqtida TSQ kirishidagi signal uning chiqishidagi signalga nisbatan sezilarli o'zgarsa, u holda qayd etish komandasi olingandan keyin ular teng bo'lishi uchun chekli qandaydir vaqt talab qilinadi.

Qayd etish komandasining olinishi momentidan TSQ ning chiqish signali kirish signaliga $0,5U_{LSB}$ xatolik bilan teng bo'ladigan vaqtgacha vaqt intervali TSQ ning tanlash vaqti (Track/Hold Acquisiton Time) deyiladi. TSQ boshqarish elementlarining chekli tezkorligi tufayli qayd etish komandasining tushishi momenti va SW kalitning haqiqiy uzilishi vaqti momenti bir-birlaridan birmuncha ortda qoladi.



8.12-rasm. Real TSQning ishlashi

Qayd etish komandasining tushishi momentidan qayd etishning haqiqiy boshlanishi momentigacha vaqt intervali TSQning apperturali kechikishi (Aperture Delay) deyiladi. U TSQ qayta ulash sxemasining ishlab ketish vaqti orqali aniqlanadi. Real TSQlarda sinxronlashtirish signali shovqinlar, ta'minot va raqamli liniyalarning parazit ta'siri tufayli faza bo'yicha modulyatsiyalangan bo'lib qoladi.

Bu tufayli TSQning apperturali kechikishi qiymati tanlashdan tanlashgacha ayrim chegaralarda o'zgarishi mumkin. Ketma-ket sanoqlarda apperturali kechikishning o'zgarishi diapazoni apperturali noaniqlik (Aperture Jitter) deyiladi. Bu samara qo'shimcha shovqin sifatida qabul qilinadi va haqiqiy signal-shovqin nisbatini quyidagi qiymatga kamaytiradi:

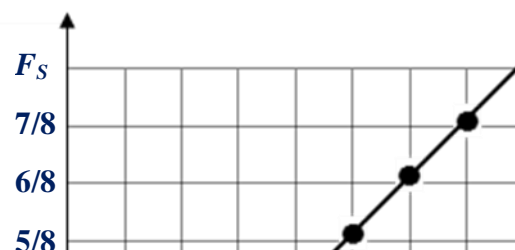
$$\Delta SNR_J = 201g \frac{1}{2\pi f t_A} \quad (8.21),$$

bu yerda f – kirish signalining chastotasi;

t_A – apperturali noaniqlik qiymati.

Real TSQlarda chiqish signali chekli o'zgartirish vaqtida absolyut o'zgarmas qolishi mumkin emas. Kondensator chiqish buferining kichik kirish toki orqali asta-sekin zaryadsizlanadi. Talab qilinadigan aniqlikni saqlash uchun o'zgartirish vaqti davomida kondensatorning zaryadi $0,5U_{LSB}$ qiymatdan katta bo'lgan qiymatga o'zgarmasligi zarur.

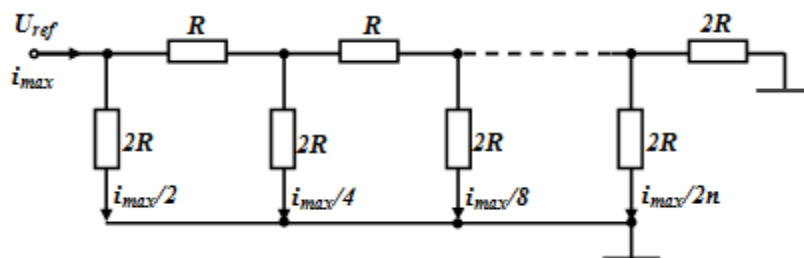
Raqamli-analog o'zgartirgichlari (RAO) odatda mikroprotsesslar tizimining chiqishida uning chiqish kodlarini uzluksiz rostdash ob'ektiga uzatiladigan analog signalga o'zgartirish uchun o'rnatiladi. 3-razryadli RAO'ning ideal statik xarakteristikasi 8.13- rasmda keltirilgan.



8.13- rasm. 3-razryadli RAO‘ning ideal statik xarakteristikasi

Xarakteristikaning boshlang‘ich nuqtasi $U_{00\dots0}$ birinchi (nolga teng) kirish kodiga mos keladigan nuqta sifatida aniqlanadi. Xarakteristikaning oxirgi nuqtasi $U_{11\dots1}$ oxirgi kirish nuqtasiga mos keladigan nuqta sifatida aniqlanadi. Kirish kuchlanishi diapazoni, kvantlash kichik razryadi birlari, nolning surilishi xatoliklari, o‘zgartirish koeffitsiyentining xatoliklarini aniqlash ARO‘ning mos xarakteristikalariga o‘xshash.

Tuzilmaviy tashkil etish nuqtai nazaridan RAO‘da o‘zgartirgichni qurishning ancha kam turli variantlari kuzatiladi. RAO‘ning asosiy tuzilmasi “zanjirli $R-2R$ sxema” hisoblanadi (8.14- rasm).



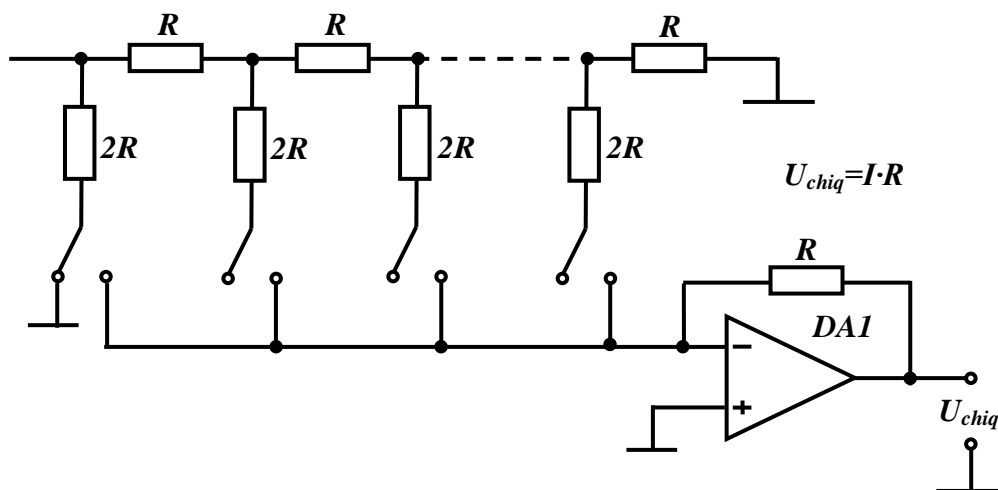
8.14- rasm. Zanjirli $R-2R$ sxema

Ko‘rsatish osonki, sxemaning kirish toki $I_{in}=U_{REF}/R$ ga, zanjir ketma-ket bo‘g‘inlarining toklari esa mos ravishda $I_{in}/2$, $I_{in}/4$, $I_{in}/8$ va h.k.ga teng. Kirish raqamli kodini chiqish tokiga o‘zgartirish uchun kirish kodida birlarga mos keladigan barcha yelkalarining toklarini o‘zgartirgichning chiqish nuqtasida to‘plash yetarli bo‘ladi (8.15- rasm).

Agar o‘zgartirgichning chiqish nuqtasiga operatsion kuchaytirgich ulansa, u holda chiqish kuchlanishini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$U_{OUT} = \frac{U_{REF}}{2^N} K \quad (8.22)$$

bu yerda K – kirish raqamli kodi;
 N – RAO‘ning razryadliligi.



8.15- rasm. O‘zgartirgichning chiqish nuqtasi

Barcha mavjud RAO‘lar ikkita katta guruhlarga bo‘linadi:

- Tok bo‘yicha chiqishli RAO‘;
- Kuchlanish bo‘yicha chiqishli RAO‘.

Ular orasidagi farq RAO‘ mikrosxemida operatsion kuchaytirgichidagi oxirgi kaskadning borligi yoki yo‘qligidan iborat. Kuchlanish bo‘yicha chiqishli RAO‘ tugallanganroq qurilma hisoblanadi va o‘zining ishlashi uchun kam qo‘shimcha elementlarni talab qiladi. Lekin oxirgi kaskad zinasimon sxemaning parametrlari bilan bir qatorda RAO‘ning dinamik va aniqlik parametrlarini aniqlaydi.

RAO‘ bilan bitta kristallda aniq tezkor operatsion kuchaytirgichni yig‘ish ko‘pincha qiyin bo‘ladi. Shuning uchun ko‘plab tezkor RAO‘lar tok bo‘yicha chiqishga ega bo‘ladi.

RAO‘ uchun differensial noxiziqlik chiqish analog signalining ikkita qo‘shni sathlari orasidagi masofani U_{LSB} ideal qiymatdan og‘ishi sifatida aniqlanadi. Differensial noxiziqlikning katta qiymati RAO‘ nomonoton bo‘lib qolishiga olib kelishi mumkin. Bu raqamli kodning ortishi xarakteristikaning qandaydir oralig‘ida chiqish signalining kamayishiga olib kelishini bildiradi (8.16-rasm). Bu tizim keraksiz generatsiyalashga olib kelishi mumkin.



8.16- rasm. RAO‘ning nomonotonligi

RAO‘ uchun integral nochiziqilik analog chiqish signalining sathini rostlanganidan keyin birinchi va oxirgi kodga mos keladigan nuqtalar orqali o‘tkazilgan to‘g‘ri chiziqdan eng katta og‘ishi sifatida aniqlanadi.

RAO‘ning o‘rnatilishi vaqti RAO‘ning chiqish signali kirish kodi 00...0 qiymatdan 11...1 qiymatgacha o‘zgargandan keyin $0,5U_{LSB}$ qiymatdan katta bo‘lmagan qiymatli xatolikli berilgan sathda o‘rnatiladigan vaqt sifatida aniqlanadi.

Agar RAO‘ kirish registrlariga ega bo‘lsa, u holda o‘rnatilish vaqtining ma‘lum qismi raqamli signallarni o‘tishi qayd etilgan kechikishiga bog‘liq, qolgan qismi esa RAO‘ sxemasini o‘zining inretsionaligiga bog‘liq. Shuning uchun o‘rnatilish vaqti odatda RAO‘ kirishiga yangi kodni tushishi momentidan emas, balki yangi kodga mos keladigan chiqish signalining o‘zgarishini boshlanishi momentidan chiqish signalini $0,5U_{LSB}$ aniqlikda o‘rnatilishi momentigacha o‘lchanadi (8.17- rasm).

Bu holda o‘rnatilish vaqti RAO‘ning strobirlash maksimal chastotasini aniqlaydi:

$$f_{MAX} = \frac{1}{t_s} \quad (8.23),$$

bu yerda t_s – o‘rnatilish vaqti.

RAO‘ning kirish raqamli zanjirlari chekli tezkorlikka ega. Qo‘shimcha ravishda kirish kodining turli razryadlariga mos keladigan signallarning tarqalishi tezligi elementlar parametrlarining og‘ishlari va sxemaviy o‘ziga xosliklar tufayli bir xil emas.



8.17- rasm. Chiqish signalining oʻrnatilishi

Buning natijasida RAOʻ zinaion sxemasining yelkalari yangi kod tushganda sinxron qayta ulanmaydi. Bu RAOʻ chiqish kuchlanishi diagrammasida bitta oʻrnatilgandan qiymatdan boshqasiga oʻtishda turli amplitudali va yoʻnalishli ogʻishlar kuzatilishiga olib keladi.

Nazorat savollari

1. AROʻning funksiyalarini aytib bering.
2. RAOʻning funksiyalarini aytib bering.
3. Ketma-ket yaqinlashishli AROʻning tuzilish sxemasini tushuntiring.
4. Parallel (Flash) AROʻning tuzilish sxemasini tushuntiring.
5. Ikkilangan integrallashli AROʻning tuzilish sxemasini tshuntiring.
6. Kodlararo oʻtish kuchlanishi va kvantlash qadamini tushuntiring.
7. Toʻliq shkala kuchlanishi deb nimaga aytiladi?
8. AROʻning parametrlarini sanab oʻting.
9. RAOʻning parametrlarini sanab oʻting.
10. RAOʻning integral va differensial chiziqligi orasidagi farqni tushuntiring.

9- BOB. MULTISTANDART ALOQA UCHUN OFDM QABUL QILGICHLARI

9.1. OFDMning tavsifi

OFDM bu ko'plab nimitashuvchilarli ortogonal chastota bo'yicha ajratish hisoblanadi. Bu modulyatsiyalash usuli konsepsiyasi asosan 1950-nchi yillarning o'rtalaridan buyon ma'lum bo'lgan ko'plab nimitashuvchilarli modulyatsiyalash usuliga (Multi-carrier modulation - MSM) asoslanadi, lekin ma'lumotlarni raqamli uzatish sohasidagi so'nggi yillardagi eng yangi yutuqlar va halaqitlar, dopler chastota surilishlari, signallarning so'nishi va boshqalar bo'lganda aloqa tizimlarining yuqori sifat xarakteristikalarini ta'minlaydigan eng samarador modulyatsiyalash usullarini hisobga oladi.

K. Shennonga muvofiq real kanallar bo'yicha ma'lumotlarni uzatish maksimal tezligiga uzatiladigan signalning butun F_k polosa bo'yicha $S_t(f)$ quvvati spektral zichligi quyidagi shartni qanoatlantirganda erishiladi:

$$S_t(f) = \begin{cases} K_0 - \frac{N(f)}{K^2(f)}, & f \in F_k \\ 0, & f \notin F_k \end{cases}$$

bu yerda K_0 konstanta quyidagi shartdan tanlanadi:

$$\int_{F_k} S_t(f) * df \leq P_{o'p}$$

$R_{o'r}$ – uzatkichning o'rtacha quvvati.

OFDM usulida ma'lumotlar simvollar ketma-ketligini har bir simvolning davomiyligi ortishi bilan parallel oqimga bo'lish juda samarali ishlatiladi. OFDMda X_{mk} ma'lumotlar simvollar ko'pincha PSK, BPSK, QPSK QAM va boshqa modulyatsiyalash m-nchi tizimlari alifbolaridan olinadi. Bu simvollar bir-birlaridan intervalda turadigan nimitashuvchilar orqali uzatiladi:

$$\Delta f = \frac{1}{T_s}, Gts$$

bu yerda T_s – simvolning davomiyligi, bu ma'lumotlarni modulyatsiyalashga bog'liq tasodifiy fazalarga qaramasdan, modulyatsiyalaydigan videoimpulslarning to'g'ri burchakli shaklida ularning ortogonaligini ta'minlaydi.

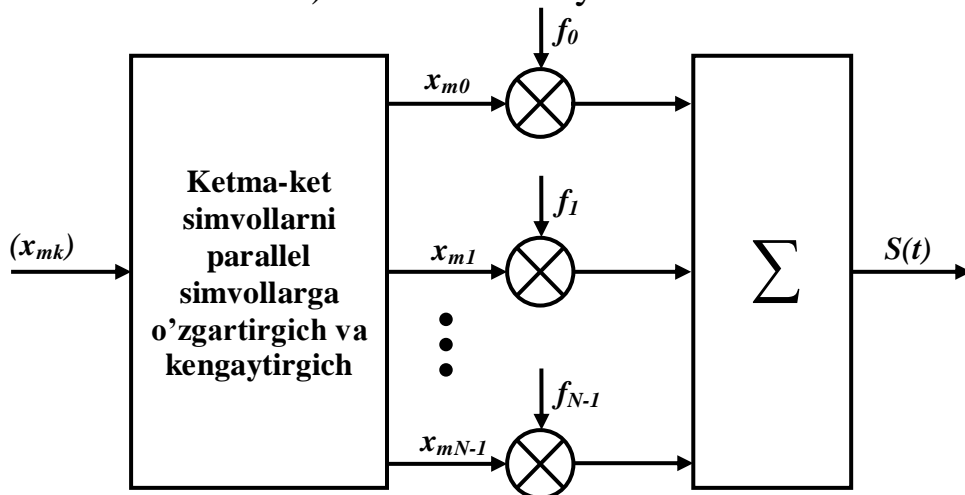
Modulyatsiyalaydigan videoimpulslar og‘diruvchisining boshqa shaklini tanlash ixchamroq quvvat spektral zichligini olishga imkon beradi, lekin nimitashuvchilar ortogonaligining buzilishi va xatoliklarning paydo bo‘lishi ehtimolligini ortishiga olib keladi.

Uzatiladigan x_{mk} ma’lumotlar simvollari ketma-ketligi N simvollardan bloklarga bo‘linadi. N ketma-ket simvollardan har bir blok har biri $T = NT_x$ davomiylikka ega bo‘lgan N parallel simvollardan blokka o‘zgartiriladi. Olingan simvollar N mos nimitashuvchi chastotalarni modulyatsiyalaydi (9.1- rasm).

Agar N blokning uzunligi quyidagicha tanlansa,

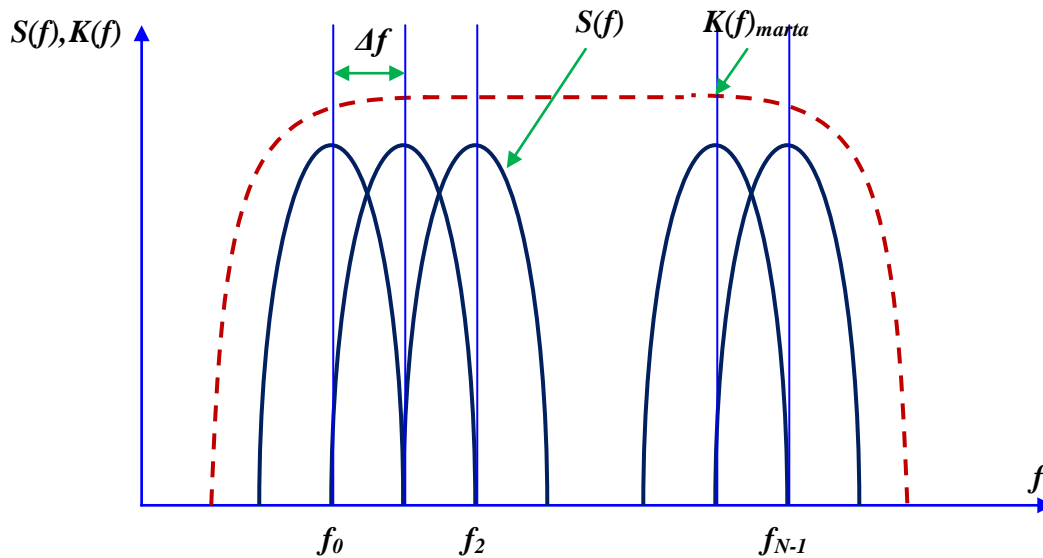
$$T = NT_s \gg LT_s,$$

bu yerda LT_s – nimitashuvchi chastota kanalining (nimkanalining) impulsi xarakteristikasining davomiyligi, u holda simvollararo interferensiya (qo‘shni bloklarning ustma-ust tushishi) sezilarli kamayadi.

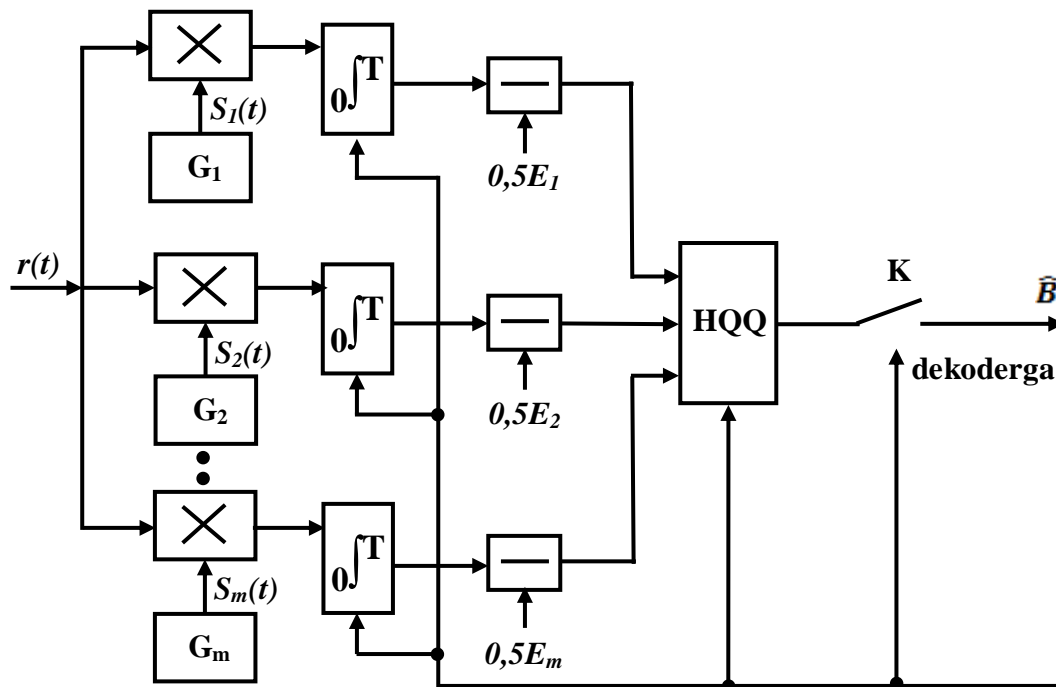


9.1- rasm. Guruhli OFDM signalni shakllantirish

U agar ketma-ket modulyatsiyalanadigan OFDM-bloklar orasiga $GT_s \geq LT_s$ himoya intervali qo‘yilsa, o‘tkazish qobiliyatining uncha katta bo‘lmagan kamayishi hisobiga to‘liq yo‘qotilishi mumkin. R_{xato} berilgan xatolik ehtimolligili real aloqa tizimlarida $K^2(f)/N(f)$ katta bo‘lgan nimkanalarda katta signallar alifbosidan foydalanish zarur.



9.2- rasm. Ortogonal nimtashuvchi chastotalarning o‘zaro joylashishi

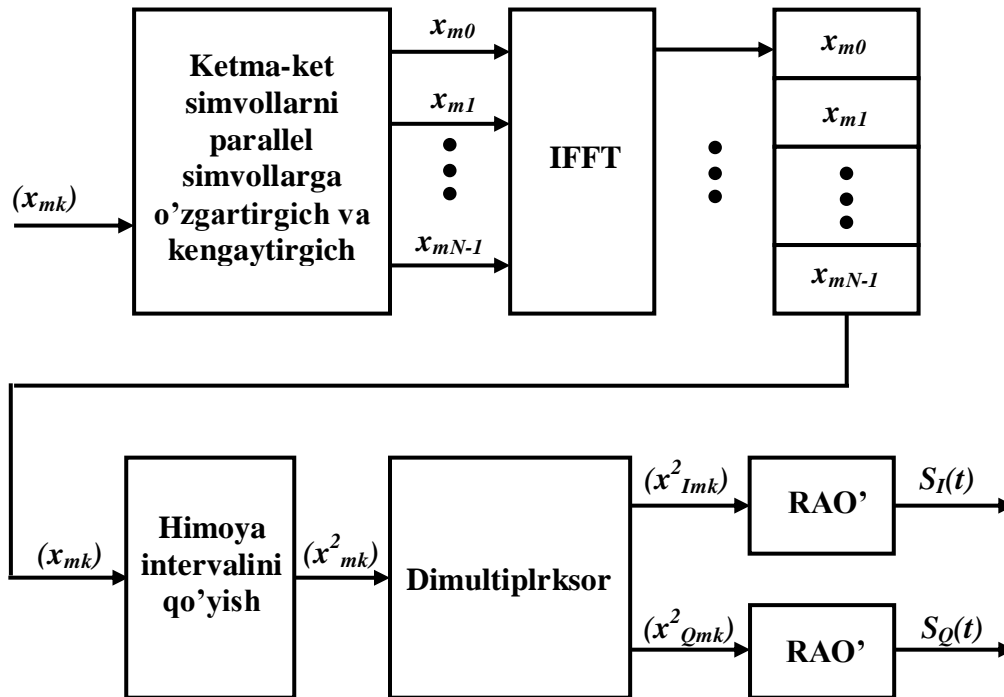


9.3- rasm. Optimal demodulyatorning tuzilish sxemasi

Bunday OFDM usuli “diskret ko‘p tonal modulyatsiyalash” (DKTM) usuli deyiladi. OFDM usulini uning keng qo‘llanishiga bog‘liq bo‘lgan asosiy afzalligi signallarni modulyatsiyalash va demodulyatsiyalash diskret Fur‘e o‘zgartirishidan (DFO‘), demak, Fur‘e tez o‘zgartirishidan (FTO‘) foydalanish bilan bajarilishi mumkinligi hisoblanadi.

9.2. Fur'e teskari tez o'zgartirishi algoritmidan foydalaniladigan OFDM-modulyator

Fur'e teskari tez o'zgartirishi (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT) algoritmidan foydalaniladigan OFDM-modulyatorning tuzilish sxemasi 9.4-rasmda keltirilgan.



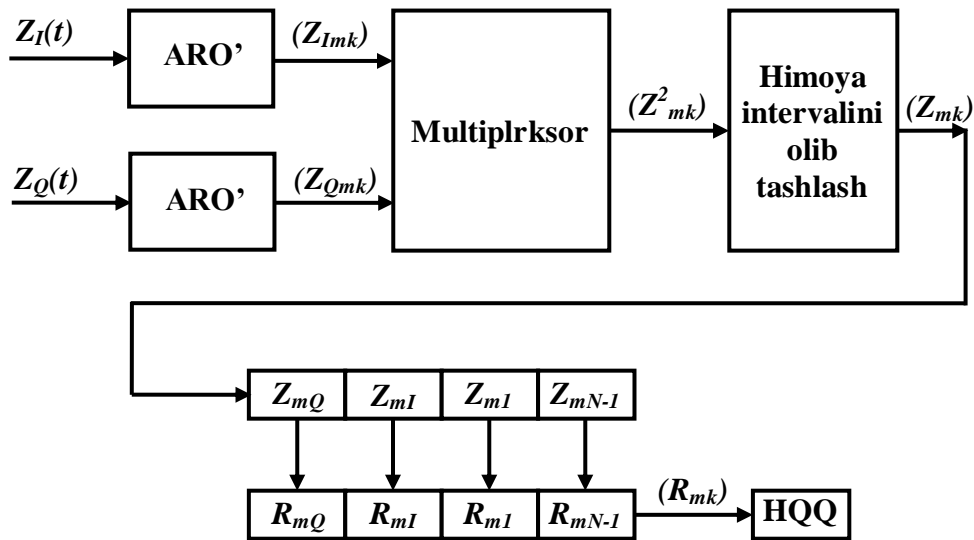
9.4- rasm. IFFTdani foydalaniladigan OFDM-modulyatorning tuzilish sxemasi

9.3. Fur'e tez o'zgartirishi algoritmidan foydalaniladigan OFDM-modulyator

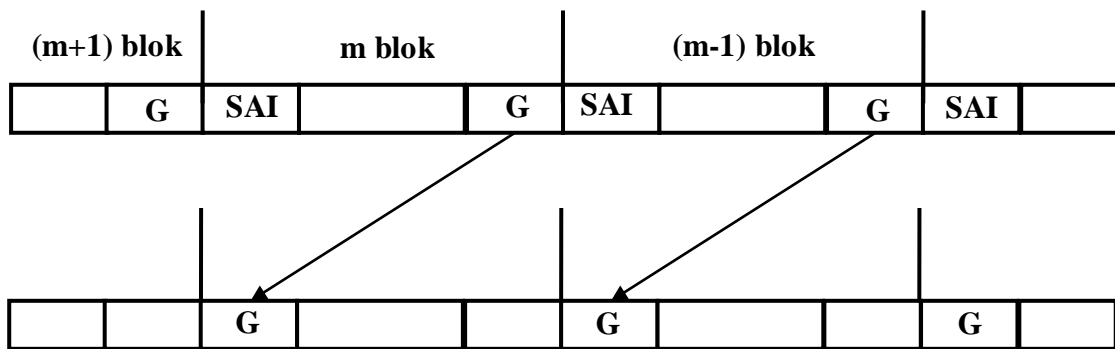
Fur'e tez o'zgartirishidan foydalaniladigan OFDM-modulyatorning tuzilish sxemasi 9.5- rasmda keltirilgan.

OFDM usulining boshqa muhim afzalligi simvollararo interferensiyaning (SI) ta'sirini kamaytirishning oddiyliigi hisoblanadi. Bunga dastlabki blokka T_s sanoq intervallari G uzunligidagi siklli prefiks ko'rinishidagi himoya intervalini kiritish hisobiga erishiladi (9.6- rasm).

OFDMdan foydalanish IEEE 802.16-2004 (eski nomi IEEE 802.16 Revd) standartida ko'zda tutilgan. Bu texnologiya bo'yicha ruxsat etilgan chastotalalar polosasida (u 1, 5, 10, 20, 25 va 28 MGs kenglikka ega bo'lishi mumkin) N nimitashuvchi chastotalar generatsiyalanadi.



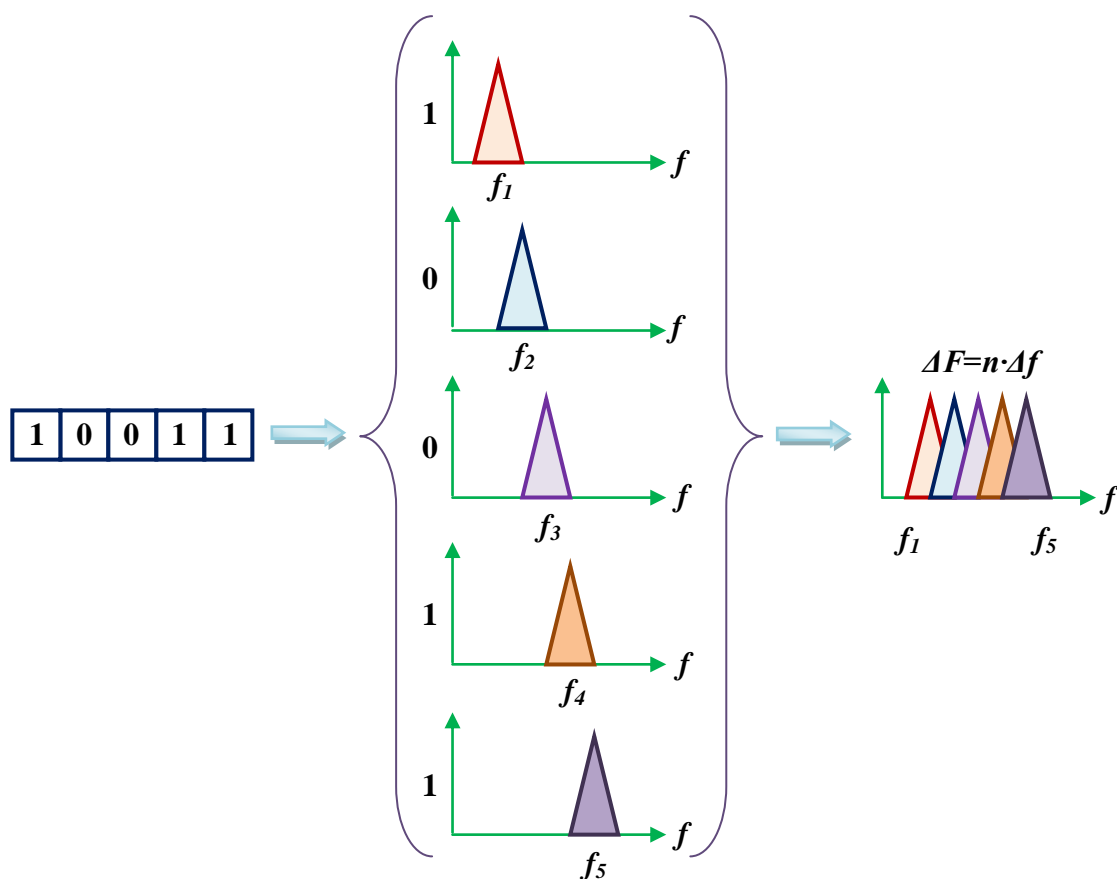
9.5- rasm. OFDM-modulyatorning tuzilish sxemasi



9.6- rasm. Himoya intervallari va OFDMda prefiksdan foydalanish

R bit/s uzatish tezligigiga ega bo'lgan uzatiladigan ma'lumotlar nimitashuvchilar soniga teng bo'lgan oqimlarga parallellashtiriladi. Bitli intervalning davomiyligi $T_b=1/R$ ga teng. Modulyatsiyalashdan oldin parallel oqimning har bir impulsi bitning uzunligi NT_b ga teng bo'ladigan tazda N martaga vaqt bo'yicha cho'ziladi. Parallel oqimning har bir impulsi "o'z" nimitashuvchisini modulyatsiyalaydi. Radiosignal spektrini shakllantirishga misol 9.7- rasmda keltirilgan.

Yig'indi signalda spektrlar qisman qoplanadi. Binobarin, spektrning qoplanishi istalgan nimitashuvchi uchun spektral zichlik maksimumi doimo qo'shni nimitashuvchilar birinchi yaproqchasi va barcha yon yaproqchalarning minimal qiymatiga (nazariy nol qiymatiga) mos keladigan tarzda amalga oshiriladi.



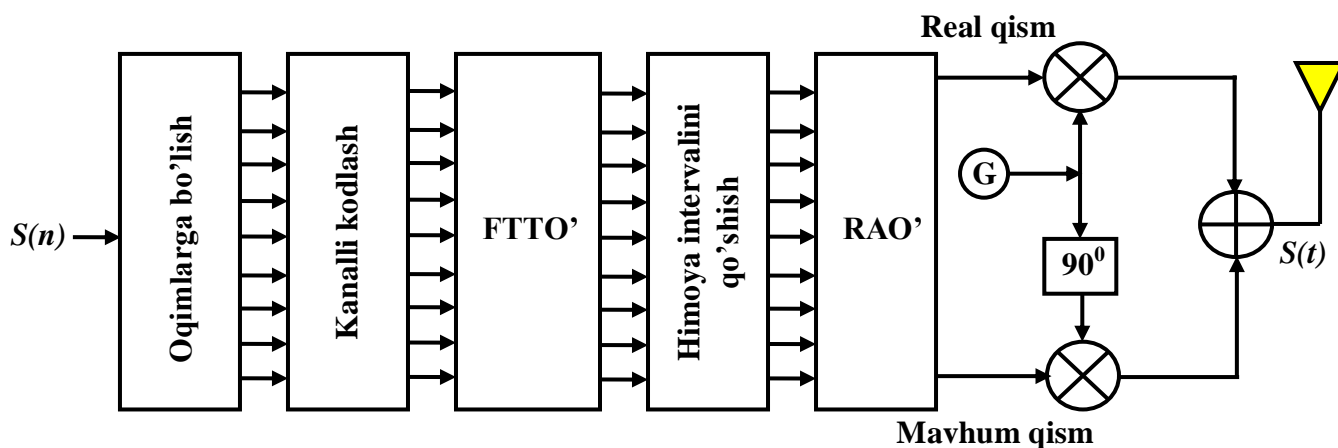
9.7- rasm. OFDM-signal spektrini shakllantirish

Bu holda qo‘shni spektrlarning skalyar ko‘paytmasi faqat nimitashuvchilar spektrlarining maksimal qiymatlari chastotalarida nolga teng bo‘lmaydi. Ortogonallik ma‘nosi shunda va bu Fur‘e o‘zgartirishi yordamida umumiy signaldan nimitashuvchilarning spektral komponentlarini ajratib olishga imkon beradi. WiMAX texnologiyasida BPSK, QPSK va QAM modulyatsiyalash turlari ishlatiladi.

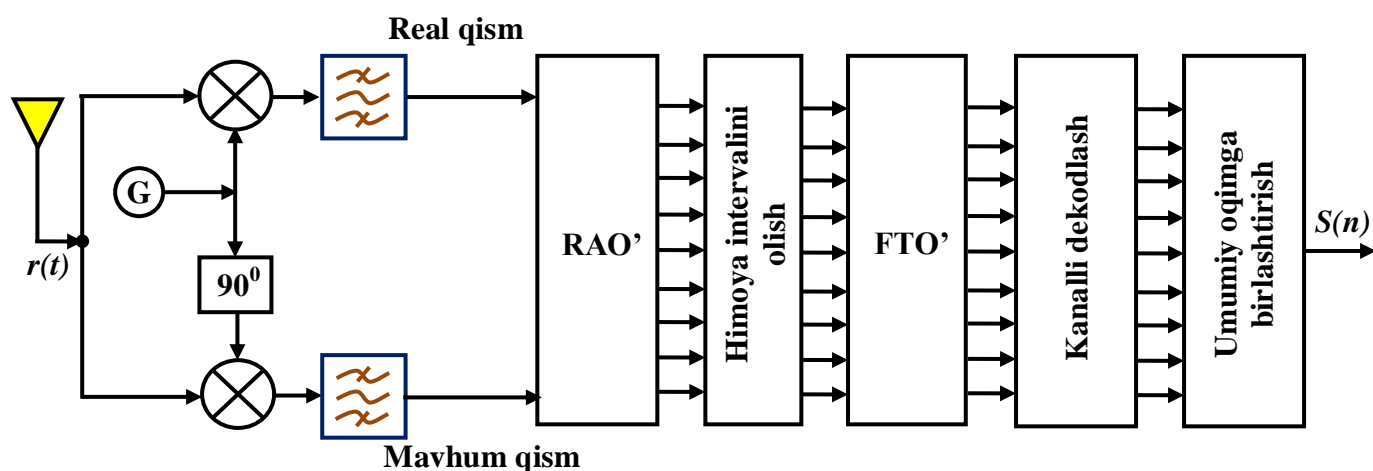
9.4. OFDM signallar qabul qilgichi va uzatkichi

OFDM signallar qabul qilgichi va uzatkichining tuzilish sxemalari 9.8- va 9.9- rasmlarda keltirilgan.

9.10- rasmda kanalli kodlash blokining tuzilish sxemasi keltirilgan. 9.10- rasmda tasvirlangan kanalli kodlash sxemasi 4-nchi avlod LTE va WiMAX aloqa tizimlari, shuningdek zamonaviy DVB raqamli televideniye standartlari oilasi uchun asosiy sxema hisoblanadi. Kanalli kodlashning bajarilishi bosqichlarini ketma-ket ko‘rib chiqamiz.



9.8- rasm. OFDM signallar uzatkichining tuzilish sxemasi



9.9- rasm. OFDM signallar qabul qilgichining tuzilish sxemasi

Skremlirlash uzatiladigan bitlarni beriladigan polinomli generator shakllantiradigan psevdotasodifiy ketma-ketlik elementlari bilan 2 modul bo'yicha qo'shishdan iborat. Skremlirlashdan maqsad bitlar oqimiga psevdotasodifiy ketma-ketlik xossalarini berish va unda uzun birlar va nollar ketma-ketliklarining, shuningdek davriy fragmentlarning paydo bo'lishi ehtimolligini kamaytirish hisoblanadi.

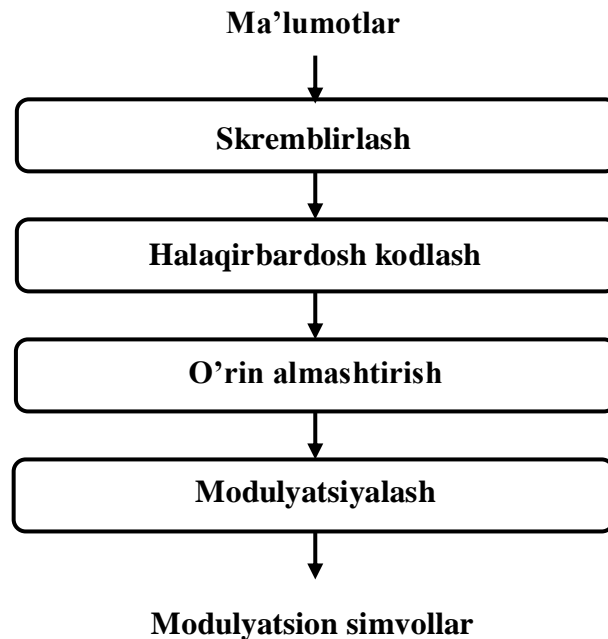
Halaqitbardosh kodlash bittalik xatoliklarni topish va tuzatish uchun zarur. Ko'p nurlu tarqalish sharoitlarida signalni uzatishda uzatiladigan simvollarning butun bloklari yo'qotilishi mumkin. Buning natijasida guruhli xatoliklar vujudga keladi.

O'rin almashtirish guruhli xatoliklarni dekoder oson tuzatadigan bittalik xatoliklarga o'zgartirishga imkon beradi.

Modulyatsiyalash (manipulyatsiyalash) uzatiladigan kodga bog'liq ravishda signalni o'zgartirishdan iborat. Manipulyatsiyalash pozitsiyalari qanchalik ko'p

bo'lsa, shunchalik ko'p ma'lumotlarni uzatish mumkin, lekin bunda halaqitbardoshlik kamayadi.

Shuningdek ko'p nurli tarqalish sharoitlarida signallarni bo'lishi mumkin. Buzilishlardan himoyalash uchun har bir OFDM simvolning oxirini uni uzatishdan oldin keladigan siklli prefiksda takrorlash kiritiladi. Uning uzunligi qanchalik katta bo'lsa, shunchalik og'ir ko'p nurli tarqalish sharoitlarida signalni uzatish mumkin, lekin shu bilan bir vaqtda uning uzatish tezligi kamayadi.



9.10- rasm. Kanalli kodlash sxemasi

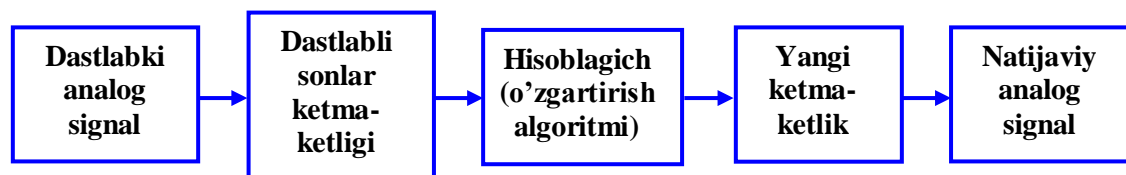
Nazorat savollari

1. OFDM modulyatsiyalash usuli prinsipi nimadan iborat?
2. OFDM usulining afzalliklari nimada?
3. OFDMdan foydalanish qaysi standartda tavsiflanadi?
4. Skremblirlash nima?
5. O'rin almashtirish nima uchun ishlatiladi?
6. Modulyatsiyalash (manipulyatsiyalash) nimadan iborat?
7. Halaqitbardosh kodlash nima uchun zarur?
8. OFDM-signal spektri qanday shakllantiriladi?
9. OFDM signallar uzatkichining tuzilish sxemasini tushuntiring.
10. OFDM signallar qabul qilgichining tuzilish sxemasini tushuntiring.

10- BOB. RADIOSIGNALLARGA RAQAMLI ISHLOV BERISH

10.1. Analog signallarga raqamli ishlov berish umumlashtirilgan sxemasi

10.1- rasmda analog signallarga raqamli ishlov berish umumlashtirilgan tuzilish sxemasi keltirilgan.



10.1- rasm. Analog signallarga raqamli ishlov berish umumlashtirilgan tuzilish sxemasi

10.2- rasmda analog signallarga raqamli ishlov berish umumlashtirilgan sxemasi va vaqt diagrammalari keltirilgan bo‘lib, u quyidagi tugunlarni o‘z ichiga oladi:

- analog antielaysing past chastotalar filtri (APChF);
- analog-raqamli o‘zgartirgich (ARO‘);
- signallarga raqamli ishlov berish qurilmasi (hisoblagich);
- raqamli-analog o‘zgartirgich (RAO‘);
- analog silliqlovchi past chastotalar filtri (SPChF).

APChF va ARO‘ni birlashtiradigan qurilma koder deyiladi. Koder ishlov beriladigan analog signalga mos sonlar ketma-ketligini shakllantiradi.

SPChF va RAO‘ni birlashtiradigan qurilma dekoder deyiladi. Dekoder qabul qilingan raqamli signal bo‘yicha analog signalni shakllantiradi, ya‘ni koderdagi jarayonni teskari o‘zgartirishni amalga oshiradi.

Vaqt bo‘yicha diskretlashtirish (yoki diskretlashtirish) teng T vaqt oraliqlarida $x(t)$ signalning oniy qiymatlarini olishdan iborat. $x(pT)$ oniy qiymatlar tanlashlar yoki sanoqlar, T vaqt diskretlashtirish davri deyiladi, p sanoqning tartib nomerini ko‘rsatadi.

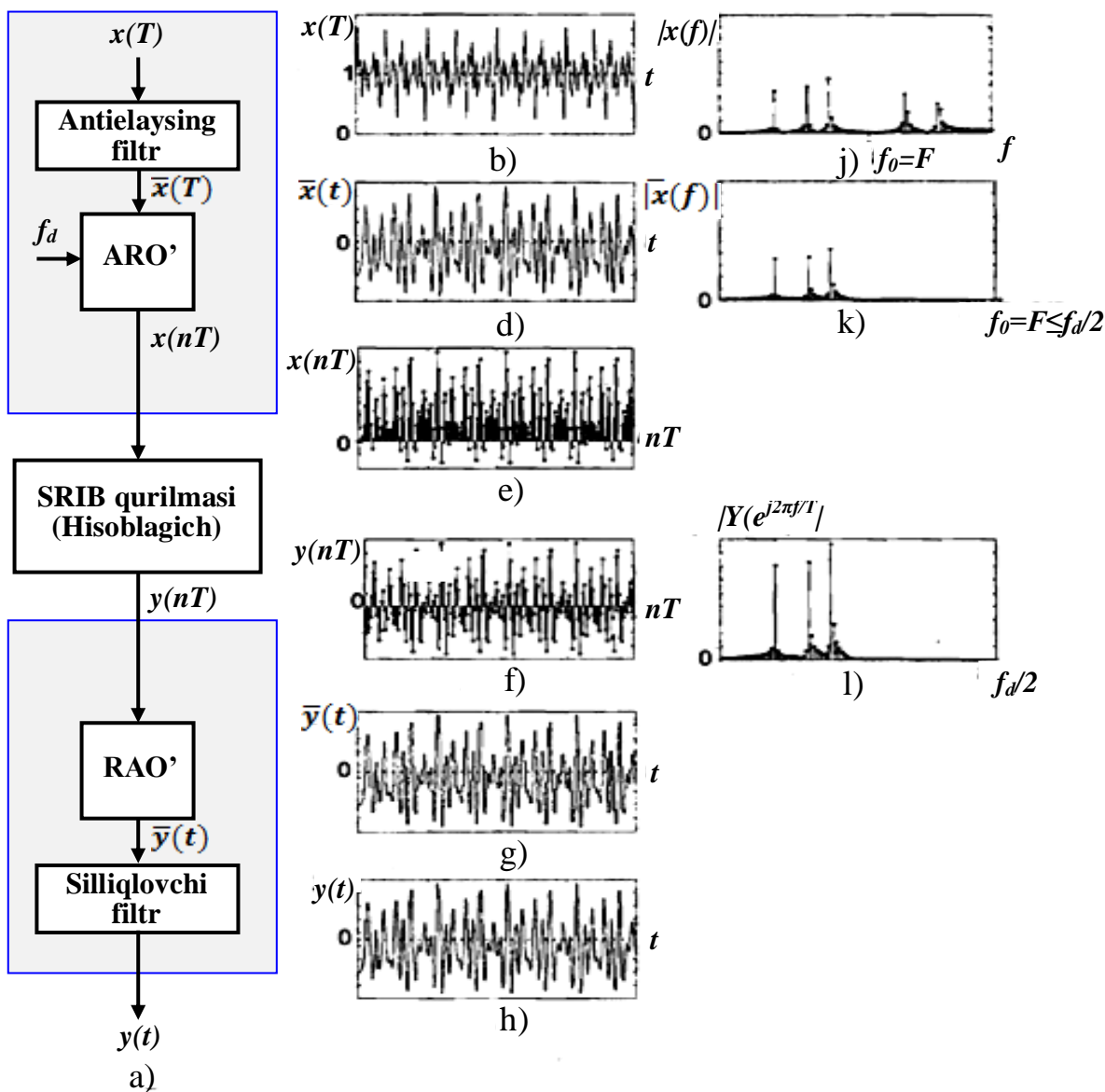
Sathlar bo‘yicha sanoqlarni kvantlash (yoki kvantlash) sonlar ketma-ketligini shakllantirish maqsadida amalga oshiriladi. Sanoqlar qiymatlarining butun o‘zgarishi diapazoni qandaydir diskret sathlarga soniga bo‘linadi va har bir sanoqqa ma‘lum qoida bo‘yicha orasida bu sanoq bo‘lgan ikkita yaqindagi kvantlash sathlaridan birining qiymati beriladi.

Natijada ikkilik kodda beriladigan $x(pT)=x(N)$ sonlar ketma-ketligi olinadi. Sathlar soni ARO‘ning b razryadliliqi orqali aniqlanadi. Agar $b=3$ bo‘lsa, hammasi bo‘lib $k = 2^b = 2^3 = 8$ kvantlash sathlariga ega bo‘lish mumkin,

sanoqlarning minimal va maksimal qiymatlari esa mos ravishda $0 \Leftrightarrow 000$ va $7 \Leftrightarrow 111$ bo'ladi. Ayonki, kvantlangan sanoq $x(pT)$ tanlashdan farq qiladi. Bu farq kvantlash xatoligi orqali ifodalanadi:

$$\varepsilon_{kv} = x_s(pT) - x(pT),$$

u b qiymat qanchalik kichik bo'lsa, shunchalik katta bo'ladi.



10.2- rasm. Analog signallarga raqamli ishlov berish umumlashtirilgan sxemasi va vaqt diagrammalari

Yaqinlashish sifatida yaxlitlashdan foydalanilganda maksimal kvantlash xatoligi Q kvantlash qadamining yarmiga teng bo'ladi:

$$\max|\varepsilon_{kv}|=Q/2, \text{ gde } Q = q_l=2^{-b}$$

10.2. Signallarga raqamli ishlov berishni amalga oshirish usullari

10.3- rasmda signallarga raqamli ishlov berish (SRIB) usullari tasvirlangan.

Dasturiy usul

Dasturiy usul algoritmi dastur ko‘rinishida berilishini ko‘zda tutadi, u komandadan komandaga ketma-ket bir yoki bir vaqtda bir necha mustaqil bloklarni bajaradi. Dastur aniq bir operatsion blokka mos keladigan dasturlash tilida yozilishi kerak. Personal kompyuter uchun bu istalgan yuqori daraja tillari (Pascal, C++, Java va boshqalar), mikroprotsessor jamlanmasi yoki raqamli protsessor uchun mos assembler tili bo‘lishi mumkin.

Dasturiy usulning afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- turli algoritmlar va qo‘llanish sohaslarida tizimning o‘zgarmas tuzilmasi;
- dasturni tuzatish yoki o‘zgartirish hisobiga tizimning ishlash algoritmini yetarlicha oson o‘zgartirishga imkon beradigan yaxshi tez moslashuvchanlik;
- tizimni loyihalash, tayyorlash va sozlashning sezilarli tezlashishi, osonlashishi va arzonlashishi, chunki asbob o‘rniga dastur ishlab chiqiladi.

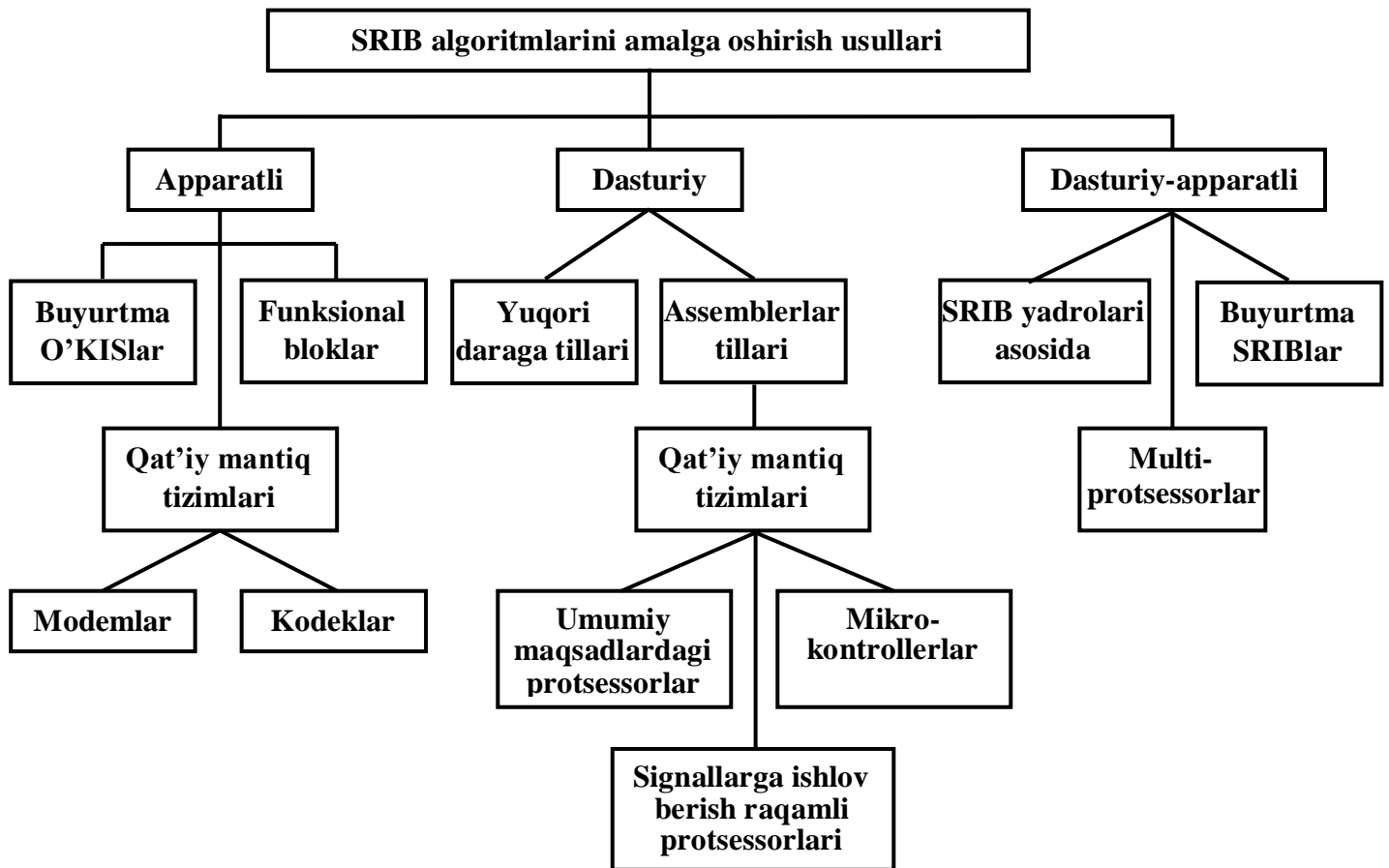
Dasturiy usulning kamchiligi bitta protsessorida dastur operatsiyalarining ketma-ket bajarilishi sababli nisbatan past tezkorlik hisoblanadi. Komandalarni bajarilishi tezligi qanchalik oshirilmasin, u apparatli bajarilgan mos qurilmaning unumdorligidan past bo‘ladi. Bu yerdan real vaqtni ta‘minlash masalasi kelib chiqadi, u ikkita holatlarni ko‘zda tutadi:

- 1) signalning bitta sanog‘iga yoki sanoqlari guruhiga ishlov berish vaqti t_{rux} ruxsat etiladigan kechikish vaqtidan kichik bo‘lishi kerak:

$$t_{ib} < t_{rux};$$

Bu shartning bajarilishini nazorat qilish ham dasturning yozilishida, ham uning sozlanishida amalga oshiriladi;

- 2) dasturning ishlash sikli va $x(n)$ kirish signali sanoqlarining tushishi momentlari vaqt bo‘yicha qat’iy muvofiqlashtirilishi kerak, ya’ni navbatdagi $x(n)$ sanoqqa ishlov berishning boshlanishi bu sanoqning tushishi bilan mos tushishi kerak. Boshqa tomondan, $y(n)$ ishlov berish natijasi $x(n)$ kirish signali sanoqlarining tushish sur’ati bilan mos tushishi shart bo‘lmagan tashqi qurilmaning ishlash sur’atiga muvofiq chiqarilishi kerak.



10.3- rasm. SRIB algoritmlari va tizimlarini ishlatilish usullari

Apparatli-dasturiy usul

Apparatli-dasturiy usul SRIB tizimi funksiyalarining qismi apparatli bajarilishini (analog-raqamli va raqamli-analog o'zgartirish, ko'paytirish, to'plashli ko'paytirish, ma'lumotlarni qabul qilish/uzatish va boshqalar), funksiyalarning boshqa qismi esa dasturiy bajarilishini ko'zda tutadi. Apparatli-dasturiy usulda berilgan dastur bo'yicha ishlaydigan protsessorga quyidagilar ulanadi:

- analog-raqamli o'zgartirgich (ARO') va raqamli-analog o'zgartirgich (RAO');
- dasturlar, turli xil konstantalar va funksiyalar jadvallari (masalan, sin va cos) saqlaydigan tashqi xotira modullari. Bu ularni uzoq vaqt hisoblashni xotiraga murojaat qilish bilan almashtirishga imkon beradi (bunday usul qo'shimcha qurilmada hisoblash tezligini almashlashga juda yaxshi misol hisoblanadi, ya'ni qonun amal qiladiki, unga muvofiq absolyut yutuqni olish mumkin emas, istalgan yutuq to'lovni talab qiladi).

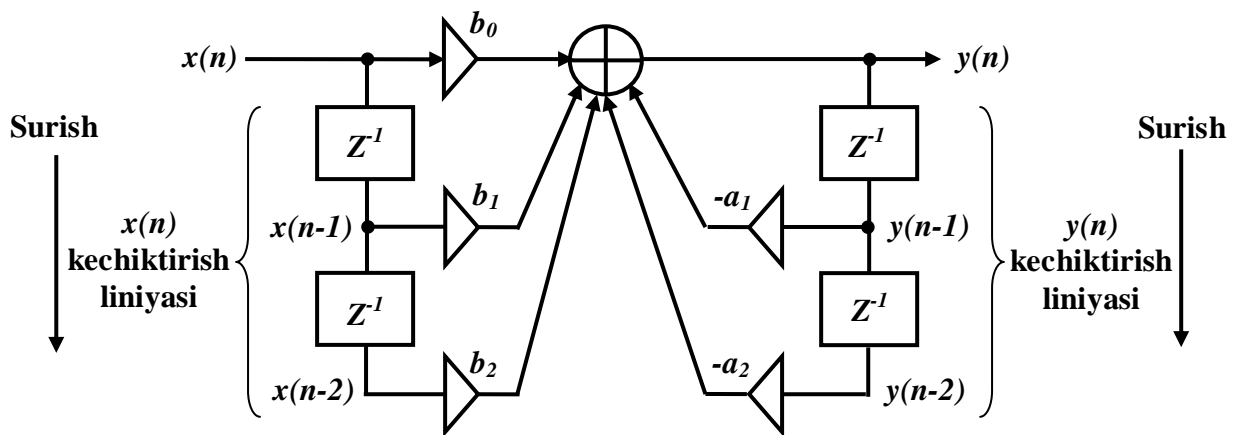
10.3. Raqamli signallar protsessorlarining o'ziga xos xususiyatlari

Raqamli signallar protsessori (RSP) (Digital signal processor, DSP) signallarga raqamli ishlov berish (odatda real vaqt masshtabida) uchun mo'ljallangan maxsuslashtirilgan mikroprotsessor hisoblanadi.

RSP ning mikroprotsessorlar (MP) va mikrokontrollerdan (MK) asosiy farqi sonlar massivi ustida to'plashli ko'paytirish operatsiyalarini maksimal tez bajarilishiga mo'ljallangan arxitekturaning o'ziga xos xususiyatlaridan iborat. Ular asosiylari sifatida quyidagilarni hisoblash mumkin:

1) Maxsus MAS komandalarni (to'plashli ko'paytirish) kiritish, ular bitta taktda MP va MK ning odatdagi 2-5 komandalariga teng bo'lgan $Y = X + A \times B$ amalni bajaradi.

2) Bundan tashqari, MAS komandalari argumentlari sifatida massivning elementlariga ulanish optimallashtirilgan. Kirish signalining raqamlashtirilgan sanoqlari apparatli tashkil etilgan halqali buferlarga yoziladi. Halqali bufer stekka o'xshaydi, lekin stekdan farqli ravishda u hech qachon to'lib ketmaydi. Halqali buferda buferga yozish (va eski yozuvlarni o'chirish, yangi yozuvlarni qo'shish) va o'qish ko'rsatkichlarining o'zgartirish halqali buferlarni qo'llaydigan apparatli FM yordamida bajarilishi mumkin.

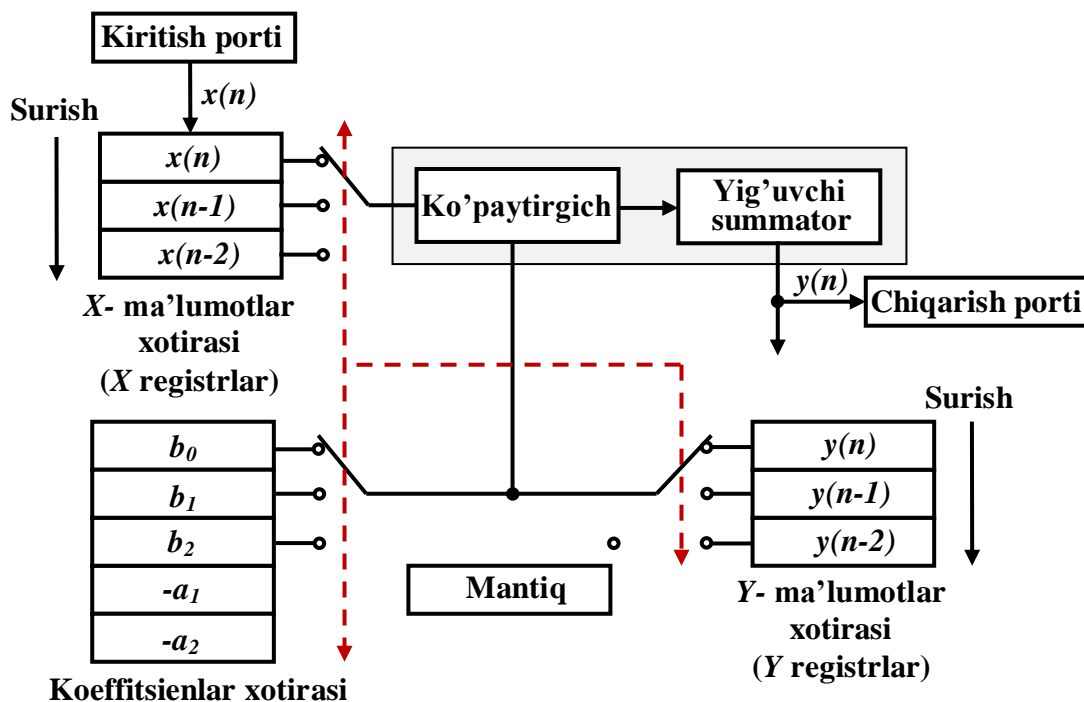


10.4- rasm. Analog KIX filtrning ishlatilishi

1) Halqali buferning elementlari MAC komandalar argumentlari bo'lishi mumkin, binobarin, halqali buferning keyingi elementiga o'tish joriy MAC komandaning bajarilishida ko'rsatkichlarni avtonkrementlash sifatida avtomatik bo'lib o'tadi. Tashqi xotiradan ma'lumotlar bilan ishlashda xotiraga to'g'ri ulanish (XTU) qo'llanadi, bunda XTU kontrolleri yoki XTUli halqali bufer kontrolleridan foydalaniladi. Buferga asinxron yozish va o'qish uchun ko'pincha 2-portli xotira ishlatiladi.

Ayrim RSPlarda sinfaz kanallar bilan ishlash uchun 2 ta yadrolar va 2 ta buferlar va halqali buferlarni boshqarish kontrollerlari mavjud.

MAC komandalar Intel (MMX, SSE, SSE2, SSE3) va AMD (3DNow, 3DNow2) kompaniyalaridan zamonaviy MPlar ko'rsatmalari to'plamlari multimediali kengaytmalarida mavjud. Lekin bu protsessorlarga ular MISC protsessorlar komandalarini kengaytirish sifatida qo'shilgan va natijada RSP dagiga qaraganda sekinroq bajariladi. RSP da MAC komandalar dastlab RISC protsessor tarkibi bilan o'xshash bo'lgan.



10.5- rasm. RSPda KIX filtrning ishlatilishi

Arxitekturaning o'ziga xos xususiyatlari

Stol kompyuterlarining mikroprotsessorlariga qaraganda signallar protsessorlarining arxitekturasi ayrim o'ziga xos xususiyatlarga ega:

- Garvard arxitekturasi (komandalar va ma'lumotlar xotirasini ajratilishi), modifikatsiyalangan;

- Ko'plab signallar protsessorlari o'rnatilgan operativ xotiraga ega, undan bir necha mashina so'zlarini bir vaqtda tanlash amalga oshirilishi mumkin. Ba'zan operativ xotiraning bir necha turlari birdaniga o'rnatilishi mumkin, masalan, Garvard arxitekturasi tufayli ko'rsatmalar uchun alohida xotira va ma'lumotlar uchun alohida xotira bo'lishi mumkin.

- Ayrim signallar protsessorlari bitta yoki hatto bir necha o'rnatilgan doimiy xotira qurilmalariga ega.

Murakkab hisoblash ko'rsatmalarini apparatli tezlashtirish, ya'ni signallarga raqamli ishlov berish uchun xarakterli bo'lgan operatsiyalarning, masalan, "to'plashli ko'paytirish" (MAC) ($Y := X + A \times B$) operatsiyalarining tez bajarilishi odatda bitta taktda bajariladi. Odatda ko'paytirish va asosiy funksiyalar (sinus, kosinus, logarifm va boshqalar) protseduralari qiymatlar jadvallaridan tayyor natijani o'qish bilan bajariladi.

Oldindan ma'lum davomiylikli sikllar vaqt bo'yicha "bepul". Manzillar ketma-ketliklari generatorlari yordamida vektorli-konveyerli ishlov berish qo'llanadi. Komandalarning ma'lum bajarilishi vaqtli determinantlangan ishlash real vaqtda ishlarni rejalashtirishni bajarishga imkon beradi.

Konveyerning uzunligi nisbatan uncha katta emas, demak, rejalashtirilmagan shartli o'tishlar universal protsessorlardagiga qaraganda kam vaqtni egallashi mumkin.

Ko'pincha kompilyatorlar uchun murakkab bo'lgan registrlar va ko'rsatmalar to'plami mavjud. Ayrim arxitekturalar VLIWni ishlatadi.

Mikrokontrollerlarga qaraganda cheklangan periferiya qurilmalari, binobarin, DSP va mikrokontrollerlarning keng periferiyasining xossalarini o'zida mujassamlashtiradigan "o'tish" chiplari mavjud.

Qo'llanish sohalari

- Kommunikatsion qurilmalar:
 - ma'lumotlarni uzatish kanallarini zichlashtirish;
 - audio- va videooqiqlarni kodlash;
- Aloqa va telekommunikatsiya: bazaviy stansiyalar, DVB – qabul qilgichlar va boshqalar;
- Signallarga ishlov berish: FTO', filtrlash, korrelyatsiyalash;
- Hidro- va radiolokatsiya tizimlari;
- Fazalashirilgan antennalar panjaralari;
- Nutq va tasvirlarni ajratish;
- Nutq va musiqa sintezatorlari;
- Spektr analizatorlari;
- Grafik tezlashtirgichlar;
- Tasvirlarga multimediali ishlov berish va raqamli televideniye (H.264/AVC (CIF), JPEG2000 va boshqalar);
- Ovozga multimediali ishlov berish (MPEG-1 AudioLayer3 [MP3], AMR, WMA, AAC va boshqa ovoz kodeklari);
- Yuqori aniq adaptiv usullardan foydalanish bilan ob'ektlarni boshqarish;
- Kichik hajmli mobil va o'rnatilgan tizimlar uchun ma'lumotlarga yuqori aniq ishlov berish;

- Ishlab chiqarishni nazorat qilish tizimlari;
- Texnologik jarayonlarni boshqarish;
- Signallarga tezkor, jumladan real vaqtda ishlov berish zarur bo'lgan boshqa sohalarda.

Hozirgi vaqtda SRIBning quyidagi asosiy yo'nalishlari ajratiladi:

- Chiziqli filtrlash;
- Spektral tahlil qilish;
- Chastota-vaqt bo'yicha tahlil qilish;
- Adaptiv filtrlash;
- Nochiziqli ishlov berish;
- Ko'p tezlikli ishlov berish.

Zamonaviy raqamli signallar protsessorlari

Eng yaxshi zamonaviy RSPlarni quyidagi parametrlar bilan xarakterlash mumkin:

- Takt chastotasi - 1 GGts va undan yuqori;
- Ko'p yadrolilik;
- Ikki darajali keshning mavjudligi;
- Xotiraga to'g'ridan-to'g'ri ulanish o'rnatilgan ko'p kanalli

kontrollerlar;

- Bir necha minglab MIPS va MFLOPS tartibdagi tezkorlik;
- Bitta taktida 8 tagacha parallel ko'rsatmalarning bajarilishi;
- Standart shinalar (PCI va boshqalar) bilan moslashuvchanlik.

RSP ning asosiy parametrlari

- **Arifmetika turi.** RSP ma'lumotlarga qayd etilgan va o'zgaradigan nuqtali ishlov beradigan **protsessorlarga bo'linadi.** O'zgaradigan nuqtali qurilmalar qo'llanishda oddiy, lekin ular tuzilishi bo'yicha sezilarli murakkab va qimmatroq.

- **Ma'lumotlarning razryadlilik.** Qayd etilgan nuqtali ko'plab RSP lar ma'lumotlarga **16 bit** razryadlilikda ishlov beradi. Ko'plab modellar ma'lumotlarga ikkilangan aniqlikda ishlov berishi mumkin.

- **Tezkorlik. Integral** xarakteristika sifatida tezkorlikni aniqlash yetarlicha qiyin, shuning uchun ishlash tezligi bir necha parametrlar, shuningdek ayrim real masalalarni yechilish vaqti orqali xarakterlanadi.

- **Takt chastotasi va Komanda sikli vaqti.** Zamonaviy RSPlar uchun ichki takt chastotasi tashqi takt chastotasidan farq qilishi mumkin, shuning uchun ikkita qiymatlar ko'rsatilishi mumkin. Komanda sikli vaqti komandaning bitta bosqichini bajarilish vaqtini ko'rsatadi. Komandalar turli sikllar sonida bajarilishi mumkin, shuningdek bir necha komandalarni bir vaqt bajarilishi mumkinligi hisobga olinganda bu parametr RSPning tezligini yetarlicha yaqinlashtirilgan xarakterlashi mumkin.

SRIBning asosiy yoʻnalishlari

1	Chiziqli filtrlash	Chastotalar sohasida signalni ajratish; Signallar bilan muvofiqlashtirilgan filtrlarni sintezlash; Kanallarni chastota boʻyicha ajratish; Gilbert raqamli oʻzgartirgichlari va differensiatorlar; Kanallar xarakteristiklari korrektorlari
2	Spektral tahlil qilish	Nutq, ovoz, seysmik, gidroakustik signallarga ishlov berish; Obrazlarni ajratish
3	Chastota-vaqt boʻyicha tahlil qilish	Tasvirlarni siqish, gidro- va radiolokatsiya, turli xil aniqlash masalalari
4	Adaptiv filtrlash	Nutq va tasvirlarga ishlov berish, obrazlarni ajratish, shovqinlarni soʻndirish, adaptiv antennalar panjaralar
5	Nochiziqli ishlov berish	Korrelyatsiyalarni hisoblash, medianali filtrlash; amplitudaviy, fazaviy, chastotaviy detektorlarni sintezlash, nutqqa ishlov berish, vektorli kodlash
6	Koʻp tezlikli ishlov berish	Telekommunikatsiyalar koʻp tezlikli tizimlarida, audiotizimlarda diskretlashtirish chastotasini interpoliyatsiyalash (oshirish) va detsimatsiyalash (kamaytirish)

- **Vaqt birligi ichida bajariladigan komandalar soni.** Komandalarning turli bajarilishi vaqti, shuningdek bir necha komandalarni bir vaqtda bajarilishi bu parametrdan tezkorlikning ishonchli xarakteristikasi uchun foydalanishga imkon bermaydi.

- **Vaqt birligi ichida bajariladigan operatsiyalar soni (MIPS).** Bu parametr bir necha komandalarni bir vaqtda bajarilishi va parallel hisoblash modullarining boʻlishini hisobga oladi, shuning uchun RSPning tezkorligini yetarlicha yaxshi koʻrsatishi mumkin.

- **Vaqt birligi ichida bajariladigan oʻzgaradigan nuqtali operatsiyalar soni.** Parametr oldingi parametrga oʻxshash va oʻzgaradigan nuqtali protsessorlar uchun ishlatiladi.

- **Vaqt birligi ichida bajariladigan MAC operatsiyalar soni.** Bu komanda, bir tomondan, koʻplab hisoblashlar uchun asosiy komanda hisoblanadi, boshqa tomondan, yetarlicha oddiy. Shuning uchun uning bajarilishi vaqtidan RSP ning umumiy unumdorligini baholash uchun ham foydalanish mumkin.

- **Ichki xotira turlari va hajmi.** Ichki operativ xotira hajmi RSP tashqi xotiraga murojaat qilmasdan qancha ma'lumotlarga ishlov bera olishini ko'rsatadi, bu tizimning umumiy tezkorligini, shuningdek "real vaqtda" ishlash imkoniyatini xarakterlashi mumkin. Doimiy xotira qurilmasi (DXQ) turi qurilmani dasturlash bo'yicha imkoniyatlarni aniqlaydi. Oddiy DXQli modellar yirik turkumli ishlab chiqarish uchun to'g'ri keladi, dasturlanadigan DXQli modellar uncha katta bo'lmagan turkumlar uchun qulay, Flash-xotiraning qo'llanishi esa ishlatish vaqtida qurilmaning dasturini ko'p marta o'zgartirishga imkon beradi. Hozirgi vaqtda uncha katta quvvatli bo'lmagan DSPlar ko'pincha yetarlicha katta Flash-xotira (uning narxi pasayib bormoqda) va sezilarli RAM hajmi bilan jihozlangan va shuning uchun ham ishlab chiqish, ham ishlab chiqarish bosqichida tashqi xotira qo'shilmasdan yetarli bo'lishi mumkin, bu bunday DSPlarning qator bozor segmentlarida raqobatbardoshligini oshiradi. Quvvatli DSPlar yetarlicha tezkor shinalarga ulangan tashqi xotiraga tayanadi, bu yerda Flash-xotiraning joylashtirilishi, masalan, issiqlikning sezilarli ajralishi tufayli texnik muammoli bo'lishi mumkin.

- **Manzillashtiriladigan xotira hajmi.** Manzillashtiriladigan tashqi xotira hajmi tashqi manzillar shinasining kengligi orqali xarakterlanadi.

- **Boshlang'ich yuklash usuli.**

- **Kiritish-chiqarish portlarini soni va parametrlari.** Bu parametr RSP ning unga nisbatan tashqi qurilmalar bilan o'zaro ta'sirlashishi bo'yicha imkoniyatlarini ko'rsatadi.

- **Ichki qo'shimcha qurilmalar tarkibi.** Ichki qurilmalar sirasiga vazifasi bo'yicha turli xil qurilmalar, masalan, umumiy qo'llanishdagi – XTU taymerlari, kontrollerlari va boshqalar, shuningdek muammoga yo'naltirilgan – ARO, kodeklar, ma'lumotlar kompressorlari va boshqalar kirishi mumkin.

- **Ta'minot kuchlanishi va iste'mol quvvati.** Bu xarakteristika ko'chma qurilmalarga o'rnatiladigan RSP lar uchun o'ta muhim. Odatda 5V protsessorlarga o'xshash tezkorlikka ega bo'lgan past voltli (1,8-3,3V) qurilmalar uchun afzal, lekin energiya iste'moli tomonidan ancha tejamkor. Ko'plab qurilmalar turib qolishda tejamli rejimga ega yoki o'z qurilmalarining qismini dasturiy uzishga imkon beradi.

- **Ishlab chiqish va qo'llash vositalarining tarkibi va funktsionalligi.**

- Bu tizim ostida kompilyatorlar mavjud bo'lgan dasturlash tillarining ro'yxati;

- Tayyor dasturlarni sozlash vositalarining bo'lishi va imkoniyatlari;

- Hujjatlar va texnik qo'llab-quvvatlashning mumkinligi;

- Standart nimdasturlar va matematik funksiyalar kutubxonalarining mavjudligi;

– Moslashuvchan qurilmalar – ARO‘, RAO‘, ta‘minot kontrollerlari va boshqalarning mavjudligi, mumkinligi va imkoniyatlari.

- **Atrof-muhitning yo‘l qo‘yiladigan parametrlari.**
- Vazifasiga ko‘ra boshqalar.

Ko‘pincha RSP ning integral xarakteristikalari ham, masalan, “quvvat/tok/tezkorlik” ko‘rsatkichi, masalan, ma/MIPS (sekundiga 1 mln ko‘rsatmalarga milliamper) ishlatiladi, bu protsessor ko‘rsatilgan momentda yechadigan masalaning murakkabligiga bog‘liq ravishda real iste‘mol quvvatini baholashga imkon beradi.

Butunlay RSP ni tanlash ishlab chiqiladigan tizimning vazifasi orqali aniqlanadi. Masalan, ommaviy mobil qurilmalar uchun protsessorning arzonligi, past energiya iste‘moli muhim, shu bilan bir vaqtda tizimni ishlab chiqish narxi ikkinchi o‘rinda qoladi. Boshqa tomondan, o‘lchash qurilmalari, ovoz va videoma‘lumotlarga ishlov berish tizimlari uchun protsessorning samaradorligi, rivojlangan instrumental vositalarning bo‘lishi, ko‘p protsessorlik va boshqalar muhim.

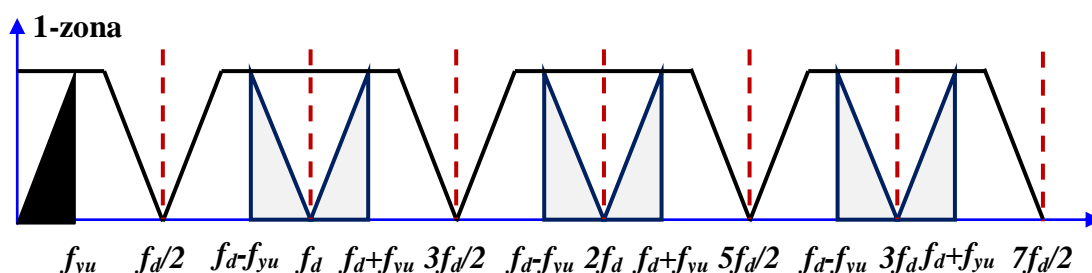
Nazorat savollari

1. Radiosignallarga raqamli ishlov berish umumlashtirilgan sxemasini tushuntiring.
2. Koder deb nimaga aytiladi?
3. Dekoder deb nimaga aytiladi?
4. Diskretlashtirish nimadan iborat?
5. Kvantlash nimadan iborat?
6. Qanday SRIB usullari mavjud?
7. Turli SRIB usullarining afzalliklari va kamchiliklari haqida so‘zlab bering.
8. RSPning o‘ziga xos xususiyatlari haqida so‘zlab bering.
9. RSPning asosiy parametrlariga qanday parametrlar kiradi?
10. RSPni tanlash nima orqali aniqlanadi?

11- BOB. KUCLANISH BILAN BOSHQARILADIGAN GENERATORLARDA QO‘LLANADIGAN SUBDISKRETLASHTIRISHLI ANALOG-RAQAMLI O‘ZGARTIRGICHLAR

11.1. Subdiskretlashtirishning tavsifi

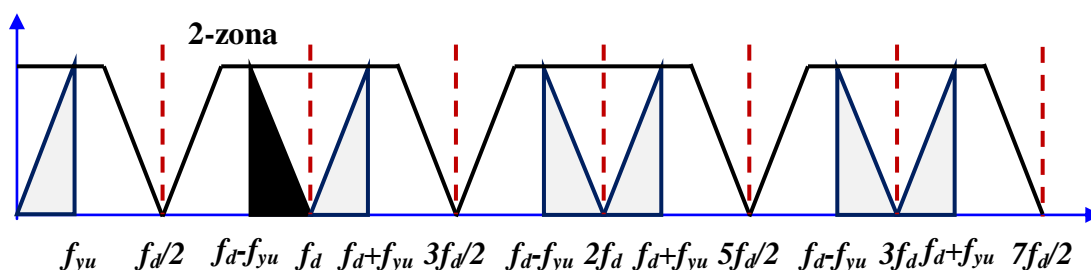
11.1- rasmda foydali signalning chastotalar polosasi Kotelnikov birinchi zonasida bilan cheklangan, diskretizatorning chiqishida esa qolgan Kotelnikov zonalarida foydali signalning akslari paydo bo‘ladigan hol tasvirlangan. Bu rasmda foydali signalning chastotalar polosasi qora rang bilan ajratilgan.



11.1- rasm. Past chastotali signalni diskretlashtirish

Endi foydali signalning polosasi to‘liq Kotelnikov ikkinchi zonasida bo‘ladigan 11.2- rasmda tasvirlangan holni ko‘rib chiqamiz. Ko‘pincha Kotelnikov birinchi zonasida bo‘lgan signalni diskretlashtirish jarayoni subdiskretlashtirish yoki polosali signalni diskretlashtirish deyiladi.

Bunday hol ko‘pincha radioqabul qilgichning chiqishida signalga ishlov berishda vujudga keladi. Radioqabul qilgichlarda signal odatda oraliq chastotada uzatiladi. Bunda filtrning o‘tkazish polosasidan tashqarida signalning bo‘lmasligi kafolatlanadi. Bu analog qabul qilgichning ishlashi uchun ham talab qilinadi.

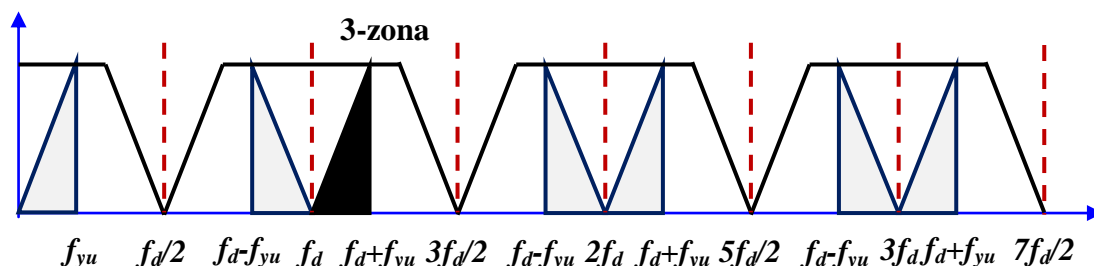


11.2- rasm. Kotelnikov ikkinchi zonasida bo‘lgan signalni subdiskretlashtirish

Ta’kidlaymizki, diskretizator chiqishida hosil bo‘lgan Naykvist birinchi zonasidagi signalning aksi dastlabki signalning chastotalar o‘qidagi dastlabki

joylashish o'rnidan tashqari u haqda barcha ma'lumotlarga ega bo'ladi. Juft Kotelnikov zonalar uchun signalning aksi spektrida chastotalarning tartibi Kotelnikov birinchi zonasida teskari va buni raqamlashtirilgan signalga keyingi ishlov berishda hisobga olish kerak bo'ladi.

11.3- rasmda Naykvist uchinchi zonasidagi signalning diskretlashtirish varianti tasvirlangan. Ta'kidlaymizki, bu holda diskretizator chiqishida hosil bo'lgan signalda Kotelnikov birinchi zonasida chastotalarning akslanishi bo'lib o'tmaydi.



11.2- rasm. Kotelnikov uchinchi zonasida bo'lgan signalni subdiskretlashtirish

Demak, signallarni diskretlashtirish bo'ladigan chastotalar istalgan Kotelnikov zonasida bo'lishi mumkin va Kotelnikov birinchi zonasidagi signal dastlabki signalning aniq aksi (signallar Kotelnikov juft zonalarida bo'lganda bo'lib o'tadigan chastotalarning akslanishidan tashqari) hisoblanadi.

Hozir yuqorida shakllantirilgan Kotelnikov bo'yicha signalni raqamli shaklga o'zgartirish mezonini aniqlashtirishimiz mumkin.

Signal dastlabki signali haqidagi butun ma'lumotni saqlash uchun ikkilangan foydali signal chastotasiga teng yoki undan katta tezlikda diskretlashtirilishi kerak.

E'tibor bering, bu tavsifda diskretlashtiriladigan signalni chastotalar spektrida diskretlashtirish chastotasiga nisbatan absolyut joylashish o'rnini haqida hech narsa aytilmagan.

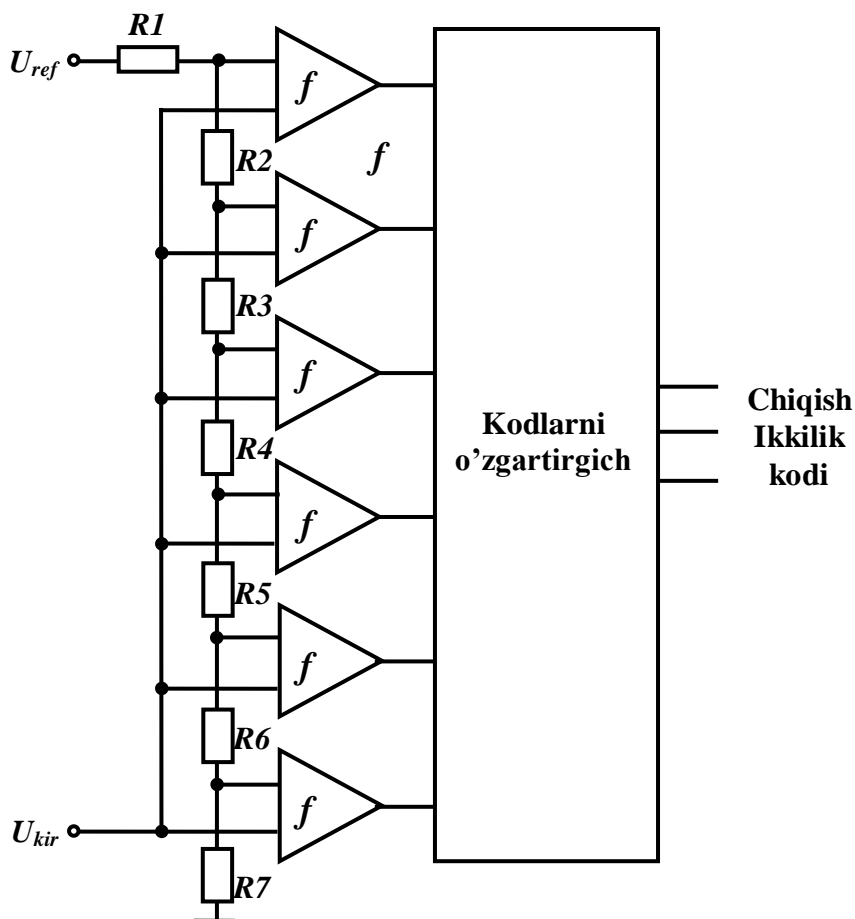
Yagona cheklash shundan iboratki, signallarni diskretlashtirish bo'ladigan polosa bitta Naykvist zonasi bilan cheklanishi kerak. Diskretlashtiriladigan signallarning chastotaviy komponentlari istalgan koeffitsientli $f_d/2$ chastotani kesib o'tmasligi kerak (bu aynan analog-raqamli o'zgartirgich kirishiga qo'yiladigan analog filtrning asosiy vazifasi hisoblanadi).

Naykvist birinchi zonasidan yuqorida yotadigan signallarni diskretlashtirish aloqa apparaturalarida ommaviy bo'lib qoldi, chunki jarayon analog demodulyatsiyalashga ekvivalent. Signalga ishlov berish uchun raqamli usullardan keyingi foydalaniladigan OCh signallarni diskretlashtirish oddiy bo'lib qolmoqda. Bunday usulda OCh demodulyatordan foydalanish zarurati yo'qoladi.

Ravshanki, OChning ortishi bilan ARO‘ning unumdorligiga talablar ham ortadi. ARO‘ ning kirishida chastotalar polosasining kengligi va ruxsat etiladigan signallarning buzilishlariga bog‘liq xarakteristikalar asosiy chastotalar polosasiga qaraganda OChga mos bo‘lishi kerak. Bu Naykvist birinchi zonasida signallarga ishlov berish uchun mo‘ljallangan ko‘plab ARO‘lar uchun muammo hisoblanadi, shuning uchun subdiskretlashtirish uchun yuqoriroq chastotali Kotelnikov zonalarida signallarga ishlov bera oladigan ARO‘lar talab qilinadi.

11.2. Parallel analog-raqamli o‘zgartirgich (flash ADC)

Ishlash prinsiplarini tushunish bo‘yicha parallel analog-raqamli o‘zgartirgich (flash ADC) eng oddiy hisoblanadi. Uning ishlashini 11.4- rasmda tasvirlangan uch razryadli parallel ARO‘ sxemasi misolida ko‘rib chiqamiz.

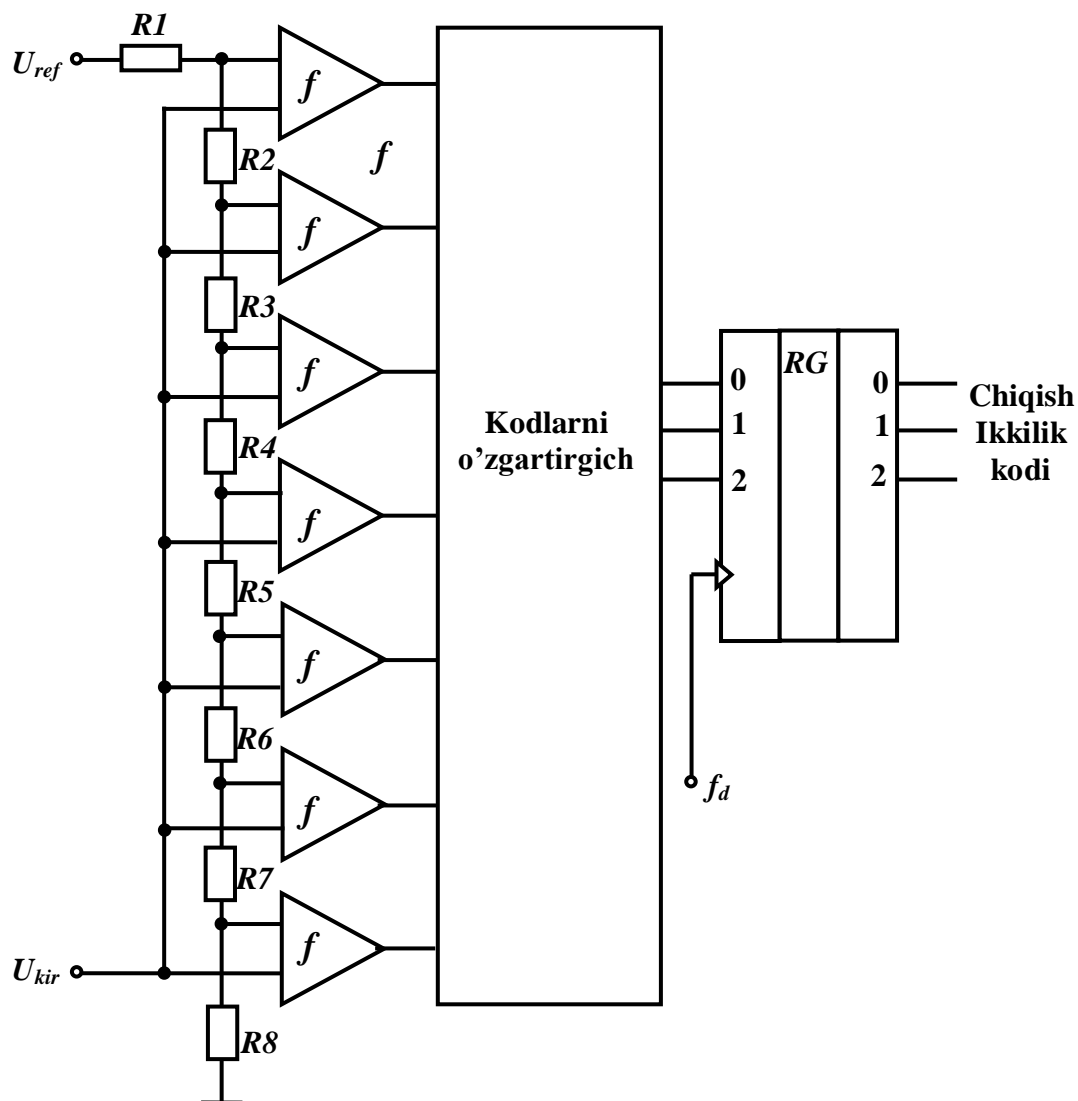


11.4- rasm. Uch razryadli parallel ARO‘ ning prinsipial sxemasi

Bu sxemada U_{kir} analog signal ARO‘ning mos kirishiga beriladi. Bir vaqtda uning boshqa kirishiga U_{REF} tayanch kuchlanishi beriladi. Bu kuchlanish bir xil qarshilikli rezistorlardan tashkil topgan rezistiv bo‘lgich yordamida yettita bir xil sathlarga bo‘linadi.

Parallel analog-raqamli o'zgartirgichning asosi yettita analog komparatorlar hisoblanadi, ular ARO'ning kirish signalini ularning ikkinchi kirishlariga beriladigan tayanch kuchlanishi bilan taqqoslaydi. Agar komparatorning kirishidagi kuchlanish uning inverslovchi kirishidagi kuchlanishdan katta bo'lsa, u holda komparatorning chiqishida mantiqiy bir bir kuchlanishi shakllanadi. Analog komparatorlar ichki tuzilishi bo'yicha differensial kirishli operatsion kuchaytirgichlarga juda o'xshash. Farq raqamli chiqish kaskadi (TTM yoki mantiqiy sathli ESL) hisoblanadi.

Agar analog-raqamli o'zgartirgichning kirishidagi kuchlanish komparatorlarning tayanch (inverslovchi) kirishlariga beriladigan barcha kuchlanishlardan kichik bo'lsa, u holda komparatorlarning chiqishlarida signallarning nolga teng sathlari shakllanadi. Komparatorlar qatorining chiqishidagi kod 0000000_b bo'ladi.



11.5- rasm. Chiqishda parallel registrli parallel ARO'ning prinsipial sxemasi

Kirish signalining sathini asta-sekin oshirish bilan pastki komparatorning tayanch kirishidagi kuchlanishni oshirish mumkin. Bu holda uning chiqishida mantiqiy bir sathi shakllanadi. Komparatorlar qatorining chiqishidagi kod 0000001 qiymatga ega bo‘ladi. Parallel ARO‘ ning kirishidagi signalning sathini keyingi oshirilishida kod 0000011, 0000111 va h.k. qiymatlarga ega bo‘ladi. Kodning 1111111 maksimal qiymati parallel ARO‘ komparatorlar qatorining chiqishiga eng yuqori komparator tayanch kirishidagi signalning qiymatidan kirish signali katta bo‘lganda beriladi.

Demak, analog-raqamli o‘zgartirgichning to‘liq shkalasi kuchlanishiga erishdik. Lekin, fahmlash kerakki, komparatorlar qatorining chiqishida olinadigan kod nollar va birlardan tashkil topgan, lekin bunda ikkilik hisoblanmaydi, shuning uchun uni ikkilik ko‘rinishga keltirish uchun maxsus sxema – kodlar o‘zgartirgichi (shifrador) talab qilinadi.

Agar komparatorlar qatori chiqishida olingan kodlarga diqqat bilan qaralsa, u holda ko‘ramizki, bunday kodlar sakkiztalik shifrorlarni qurishda ishlatiladi. Bu esa o‘z navbatida, kodlar o‘zgartirgichi sifatida sakkiztalik shifrorlardan foydalanish mumkinligini bildiradi.

Endi tayyor o‘zgartirilgan ikkilik kodni analog-raqamli o‘zgartirgichning chiqishiga diskretlashtirish chastotasi bilan berilishi zarurligini esga olamiz. Buni 11.5- rasmda tasvirlanganidek, parallel registrda ustuvor shifrador chiqishidan beriladigan kodni xotirada saqlash bilan ta‘minlash mumkin.

Komparatorlar parallel ulanganda ularning chiqishlarida signallarning tarqalishi farqi 10 psdan oshmaydi. Shuning uchun maksimal takt chastotasi – analog signalni diskretlashtirish maksimal chastotasi 500 MGs qiymatga yetadi. Misol sifatida National Products from Texas Instruments firmasining ADC08D1000, Analog Devices firmasining AD9484 yoki AD9434 analog-raqamli o‘zgartirgichlarini aytish mumkin.

Nazorat savollari

1. Subdiskretlashtirish chastotasi nima?
2. Kotelnikov teoremasi cheklashi nimadan iborat?
3. Uch razryadi parallel ARO‘ning ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Chiqishda parallel registrli parallel ARO‘ning sxemasini keltiring va tushuntiring.

12- BOB. O‘ZGARTIRILADIGAN KONFIGURATSİYALI SIMSIZ MOBIL TERMINALLAR RADIOQABUL QILISH QURILMALARINING TUGUNLARI

12.1. Harakatdagi aloqa qurilmalari uchun signallar aralashtirgichlari va o‘zgartirgichlari

Aralashtirgich (*Mixer*) – ikki yoki undan ortiq RCh signallarni birlashtirish va odatda kirish signallarining yig‘indisi yoki farqi hisoblanadigan chiqish signalini shakllantirish uchun mo‘ljallangan funksional tugun hisoblanadi.

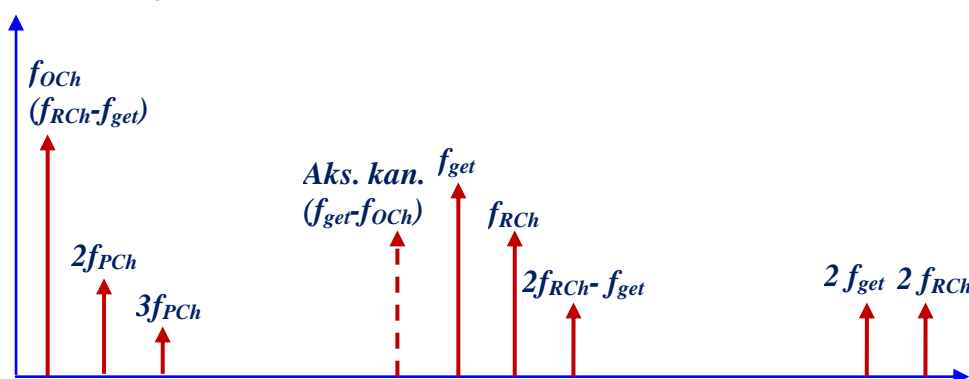
Aralashtirgich modulyatsiyalangan RCh signalni chastota bo‘yicha yuqoriga yoki pastga o‘zgartirish uchun ishlatiladi va bu holda signalni o‘zgartirgich (*Signal Converter*) deyiladi.

Agar aralashtirgichning chiqish chastotasi kirish chastotasidan kichik bo‘lsa, aralashtirgich signal past chastotaga o‘zgartiriladigan aralashtirgich (*Down converting Mixer*), aks holda signal yuqori chastotaga o‘zgartiriladigan aralashtirgich (*Up converting Mixer*) deyiladi.

Demak, aralashtirgich bu ikkita signallarni ko‘paytirishni amalga oshiradigan ikkita kirishlar va bitta chiqishga (ko‘pincha portlar deyiladigan) ega bo‘lgan qurilma hisoblanadi va signalning chastotasini o‘zgartirish uchun ishlatiladi. Bunda aralashtirgichlarda ikkita signallarni ko‘paytirish bo‘lib o‘tadi, ulardan birinchisi f_{kir} chastotaga ega bo‘ladi (RCh signal), ikkinchisi esa f_{get} geterodin chastotasiga ega bo‘ladi, bu ma‘lum f_{kir} va f_{get} kombinatsiyasi bo‘lgan chastotali signalni olish uchun kerak bo‘ladi. Signal pastki chastotaga o‘zgartiriladigan aralashtirgich chiqishidagi signal odatda f_{OCh} oraliq chastota (OCh) signali deyiladi.

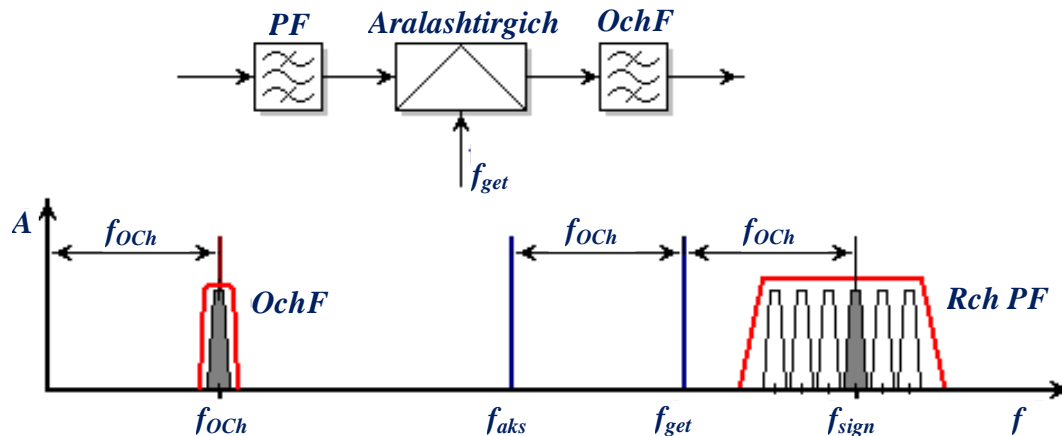
Aralashtirgichlarda chastotalarni o‘zgartirish

12.1- rasmda chastota pastga o‘zgartiriladigan aralashtirgichning chiqishidagi signal spektri tasvirlangan.



12.1- rasm. Geterodinning pastki sozlanishili aralashtirgich chiqishdagi spektr

Spektri 12.2- rasmda tasvirlangan aralashtirgichda f_{get} geterodin (*Local Oscillator, LO*) chastotasi kirish chastotasidan past, ya'ni geterodinning pastki sozlanishi (*Low-side Injection*) ishlatiladi. Geterodin chastotasi f_{kir} radiochastota (RCh) bilan aralashtiriladi, u aralashtirish natijasida f_{OCh} oraliq chastotagacha (OCh) pasayadi. Ideal holda aralashtirgichning chiqishida faqat $f_{kir} + f_{get}$ va $f_{kir} - f_{get}$ qiymatlarga ega bo'lgan kerakli chastotalar bo'ladi.



12.2- rasm. Chastotani o'zgartirishda aks kanalni vujudga kelishi

Yarim o'tkazgichli asboblarning noxiziqi volt-amper xarakteristikaga (VAX) ega, shuning uchun ularning noxiziqiini tavsiflaydigan funksiyalarda ikkinchi tartibli katta komponent mavjud, bu katta sathli aralashtirish mahsulotlarini olishga imkon beradi. Lekin aralashtirgichning chiqish signalida o'zgartirish samarasini yomonlashtiradigan ikkinchi darajali tashkil etuvchilari paydo bo'ladi.

Umuman aytganda, aralashtirgichning chiqishida $mf_{kir} \pm nf_{get}$ kombinatsion chastotalar olinadi, bu yerda m va $n=1,2,3\dots$. Aralashtirgichning chiqishidagi keraksiz (parazit) komponentlar zarur parametrli filtrlar yordamida filtrlanadi.

Signallarni aralashtirishda aks kanalning (*Image Frequency*) paydo bo'lishini hisobga olish kerak. U RCh signaldan $2f_{OCh}$ chastotaga ortda qoladi va f_{aks} chastotali signallar kirish signallari bilan bir qatorda to'g'ridan-to'g'ri $2f_{OCh}$ chastotaga o'zgartiriladi. Bu aks chastotada aralashtirgichning kirishida bo'ladigan shovqinlar va keraksiz signallar tizimning xarakteristikalarini yomonlashtiradi. Quyida tavsiflanadigan aks kanal so'ndiriladigan filtrlar yoki aralashtirgichlarning qo'llanish yo'li bilan bu muammo qisman yechiladi.

Chastota yuqoriga o'zgartiriladigan aralashtirgichlarda, masalan, uzatish traktlarida aralashtirgichning kirish signali OCh signal hisoblanadi. Chiqish signali geterodinning pastki yoki yuqori sozlanishiga bog'liq ravishda geterodin chastotasi va OCh yig'indisi yoki ayirmasi hisoblanadi. Agar aralashtirgichning chiqishida

$f_{chiq} = f_{kir} + f_{get}$ chastota talab qilinsa, u holda $f_{chiq} = f_{kir} - f_{get}$ farq chastotasi aks chastota hisoblanadi va aralashtirgichgacha yoki aks kanal soʻndiriladigan aralashtirgichda soʻndirilishi kerak.

Koʻplab aralashtirgichlarda ichki filtrlaydigan tizim ishlatiladi, u tugunning chiqishidagi keraksiz tashkil etuvchilar sathini kamaytiradi. Bundan tashqari, keraksiz tashkil etuvchilarni soʻndirish uchun balansli aralashtirgichlar ishlatiladi.

12.2. Aralashtirgichlarning turlari

Sxematexnik yigʻilishi boʻyicha aralashtirgichlarni quyidagi bir necha asosiy guruhlariga boʻlish mumkin:

- nosimmetrik (nobilans) aralashtirgichlar (*Single Ended Mixer*);
- bittalik balansli aralashtirgichlar (*Single Balanced Mixer*);
- ikkitalik balansli aralashtirgichlar (*Double Balanced Mixer*);
- uchtalik balansli aralashtirgichlar (*Triple Balanced Mixer*);
- aks signal soʻndiriladigan aralashtirgichlar (*Image Reject Mixer*).

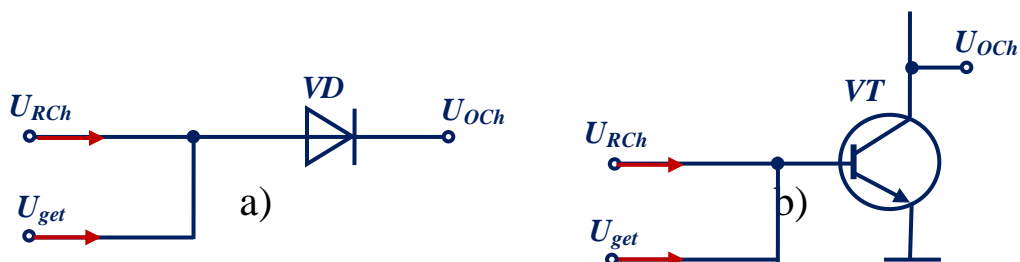
Bundan tashqari, aralashtirgichlar passiv (*Passive Mixer*) va aktiv aralashtirgichlarga (*Active Mixer*) boʻlinadi.

Passiv va aktiv aralashtirgichlar

Passiv aralashtirgichlarda (*Passive Mixer*) noxiziqli elementlar sifatida yarim oʻtkazgichli diodlar qoʻllanadi. Passiv aralashtirgichlarda maydoniy tranzistorlar qoʻllanganda, ular kalitlar sifatida ishlatiladi.

Aktiv aralashtirgichlarda (*Active Mixer*) yarim oʻtkazgichli tranzistorlar aktiv va kalit rejimlarida ishlatiladi.

Muhandislik amaliyotida aktiv aralashtirgichlar baʼzan OʻYuCh qurilmalar deyiladi, ularda bir yoki bir necha portlar kirishida keng polosali kuchaytirgichlar qoʻyiladi.



12.3- rasm. Nobalans passiv (a) va aktiv (b) aralashtirgichlar

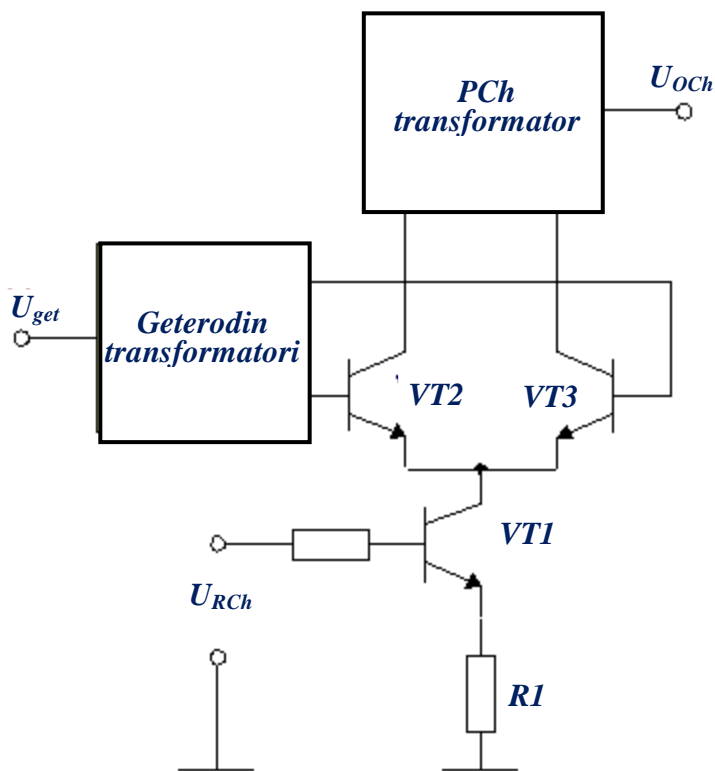
Nobalans aralashtirgichlar (*Single Ended Mixer, SEM*) hozirgi vaqtda juda kam qoʻllanadi, chunki portlar orasidagi qoniqarli ajratishni taʼminlamaydi, chiqish foydali signalining quvvati esa ham kirish, ham tayanch signallarini sathlariga bogʻliq boʻladi. Nobalans aralashtirgichlarning asosiy afzalligi ularning

sxematexnik oddiyligi bilan bir qatorda, ularning beshtadan ortiq dekadalarini qoplaydigan juda keng chastotalar diapazonlarida ishlashidan iborat.

Balansli aralashtirgichlar

Balansli aralashtirgichlar eng yaxshi xarakteristikalariga ega. Ularni yig'ilishining turli sxematexnik variantlari taklif etilishi mumkin. Bunday tuzilmalarning umumiy xususiyati ularning sxemaviy simmetriyasi hisoblanadi. Quyida balansli aralashtirgichlarning sxematexnik yig'ilishi turli variantlari keltirilgan.

Bunday aralashtirgichlarning sifatli ishlashi uchun qurilmaning simmetrik qismlariga beriladigan kirish kuchlanishlari bir xil amplitudalar va qarama-qarshi fazalarga ega bo'lishi kerak. Aralashtirgichlarga beriladigan signallar manbalari asosan balansli (differensial, ikki taktli) chiqishlar ega emasligi sababli aralashtirgichning kirishida simmetriyalaydigan qurilmalar yoki sxemalarni qo'llash zarur.



12.4- rasm. Balans aralashtirgichlarda simmetriyalovchi qurilmalarning qo'llanishi

Bunday turdagi yetarlicha oddiy qurilma balansli sxemalardan nobalans sxemalarga va teskari o'tish uchun maxsus mo'ljallangan RCh transformatorlar hisoblanadi. Bunday transformator cho'lg'amlaridan birining o'rta nuqtasidan chiqish umumiy nuqta (umumiy o'tkazgich) bilan ulanadi, shuning uchun nolga teng potensialga ega bo'ladi. Natijada, agar cho'lg'amning yerga ulanmagan

chiqishlaridan biridagi oniy qutblilik musbat bo'lsa, boshqa chiqishda u manfiy bo'ladi.

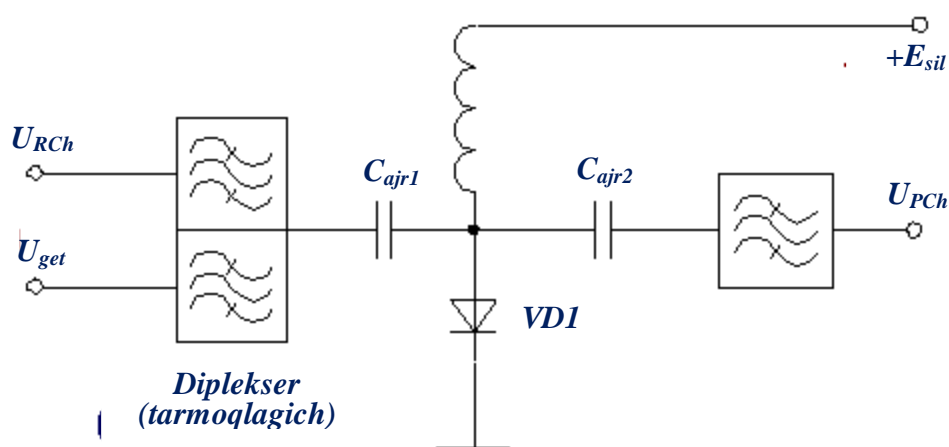
Portlar orasidagi eng yaxshi ajratishni bittalik balansli aralashtirgichlar (*Single-balanced Mixer*) ta'minlaydi, barcha uchta portlar orasidagi eng yaxshi ajratishni esa ikkitalik balansli aralashtirgichlar (*Double-balanced Mixer*) ta'minlaydi.

12.3. Diodli aralashtirgichlar

Diodli aralashtirgichlar noxiziqli elementlari sifatida har xil turlardagi RCh diodlar ishlatilishi mumkin. Zamonaviy diodli aralashtirgichlarda Shottki diodlari (*Schottky diodes*) ishlatiladi. Bunga asosiy sabab Shottki diodlari *p-n* o'tishli diodlarga qaraganda yuqoriroq qayta ulanish tezligiga ega ekanligi hisoblanadi.

Nobalans diodli aralashtirgichlar

Nobalans diodli aralashtirgichlar sxemalarining amaliy yig'ilishida geterodin va kirish RCh signali traktlarini ajratishni amalga oshirish zarur, bu odatda YuCh transformatorlar, yo'naltirilgan tarmoqlagichlar yoki diplekserlar yordamida bajariladi (12.5- rasm).



12.5- rasm. Nobalans diodli aralashtirgich sxemasi

Ko'plab diodli aralashtirgichlarda siljitishsiz diodlar ishlatiladi, lekin uncha katta bo'lmagan I_d tokni olish uchun diodga to'g'ri siljitish kuchlanishi berilganda aralashtirgichning o'zgartirish yo'qotishlarini kamaytirish mumkin. Bu ayniqsa, kichik signal sathili geterodindan foydalanishda muhim. Diod geterodin signalining kichik sathida diod xarakteristikasining kvadratik oralig'ida bo'lishi uchun ishchi xarakteristikaning maksimal noxiziqiligi sohasiga yaqin joylashgan statik ishchi nuqtani o'rnatish uchun siljiriladi.

Nobalans aralashtirgichlarning afzalliklariga quyidagilar kiradi:

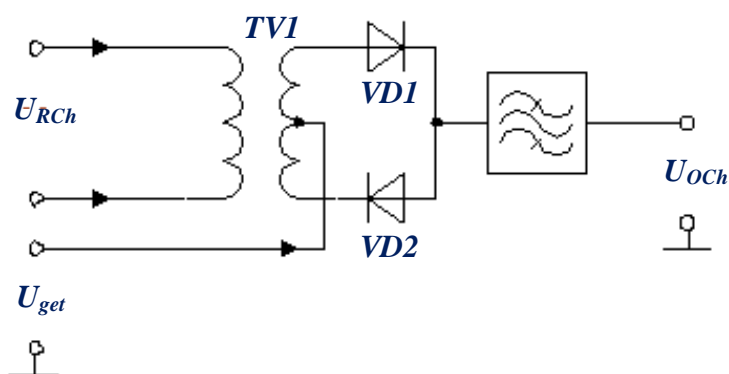
- juda keng chastotalar diapazonida ishlashi mumkin;
- sxematexnik oddiyliigi.

Nobalans aralashtirgichlarning kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

- ularda portlar orasidagi qoniqarli ajratish ta'minlanmaydi;
- chiqish foydali signalining quvvati esa ham kirish, ham tayanch signallarini sathlariga bog'liq bo'ladi.

Balansli diodli aralashtirgichlar

Balansli diodli aralashtirgichda (*Single-balanced Diode Mixer, SBM*) ikkita diodlar ishlatiladi. Geterodin va RCh manba signallari qarama-qarshi fazada qo'shiladi, bunda OCh aralashtirgich chiqishida signalning keraksiz komponentlarining sathini kamayishi va ularning so'nishi bo'lib o'tadi.



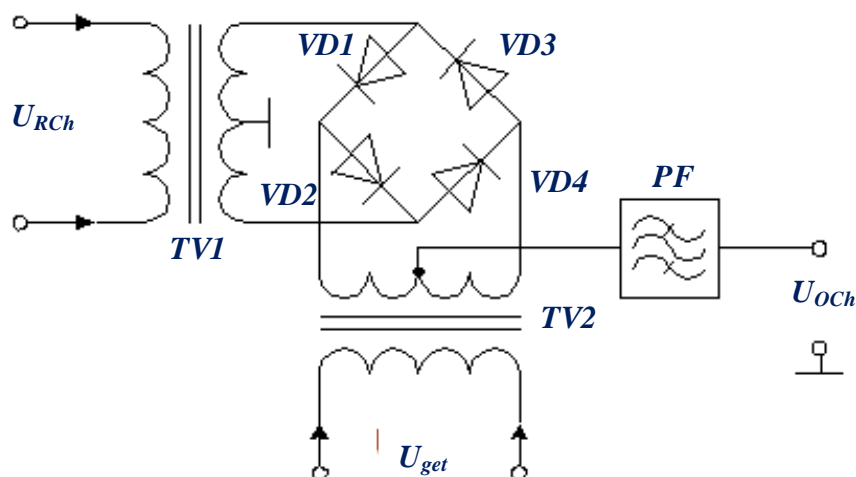
12.6- rasm. Gibrid transformatorli balansli aralashtirgich

So'ndirish darajasi signallarning simmetrikligini ta'minlaydigan transformatorning amplitudaviy va fazaviy simmetriyasi va ikkita diodlar orasidagi moslashtirishga bog'liq. Diskret elementlarda yig'ilgan sifatli aralashtirgichlarda 20-30 dB ga so'ndirish bo'lishi mumkin. Balansli aralashtirgichlarning boshqa afzalliklaridan biri juft ikkinchi darajali tashkil etuvchilarni so'ndirish va geterodinning amplitudaviy shovqinlarini so'ndirish hisoblanadi. O'YuCh qabul qilgichlarning oldingi modellarida amplitudaviy shovqinlar jiddiy muammo bo'lgan, chunki geterodinlarning signallar juda shovqinli bo'lgan. Lekin HOAT qurilmalarining zamonaviy RCh bloklarida geterodinlar sifatida chastotalar sintezatorlari ishlatiladi va tayanch signallarining fazaviy shovqinlari amplitudaviy shovqinlarga qaraganda jiddiy muammolarni yuzaga keltiradi.

Ikkitalik balansli aralashtirgichlar

Ko'pincha halqali aralashtirgichlar deyiladigan ikkitalik balansli diodli aralashtirgichlarda (*Double-balanced Diode Mixers, DBM*) odatda halqali yoki

geterodin va RCh signal balansli kirishlari bilan yulduz sxemasida ulangan 4 ta diodlar ishlatiladi (12.7- rasm).



12.7- rasm. Ikkitalik balansli aralashtirgich

Aralashtirgichning barcha chiqishlari deyarli bir-birlaridan izolyatsiyalangan. Integral sxema ichida diodli halqalarni bajarishda ularni juda yaxshi moslashtirish va simmetriyasiga erishiladi, chunki diodlar o'sha bir materialdan, o'sha bir taglikda tayyorlanadi, bir xil parametrlarga ega bo'ladi. Bunday tuzilmalar ham geterodin, ham RCh chiqishlari bo'yicha balanslangan hisoblanadi.

Ikkitalik balansli diodli aralashtirgichlarning afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- qurilmaning oshirilgan chiziqchiligi, katta dinamik diapazoni;
- RCh va geterodin signallari chiqishda so'ndirilmaydi;
- aralashtirgichning chiqishida juft tartiblardagi RCh va geterodin signallarining kombinatsion tashkil etuvchilari paydo bo'ladi;
- aralashtirgich portlarining o'zaro yaxshi izolyatsiyalanishi.

Ikkitalik balansli diodli aralashtirgichlarning kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

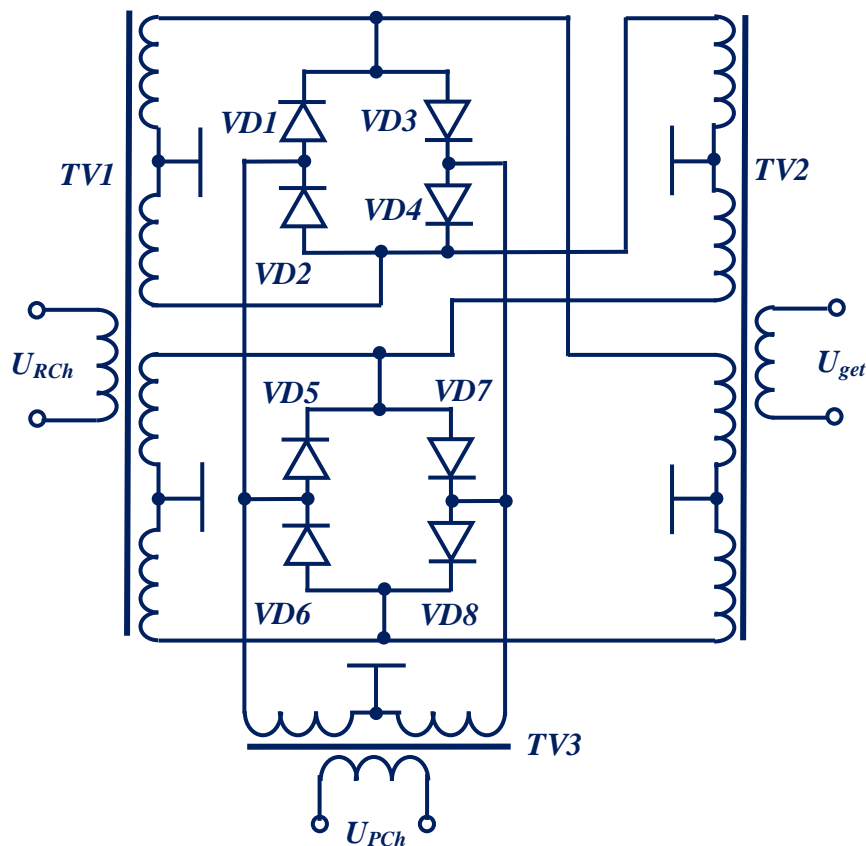
- texnologik murakkab elementlar bo'lgan ikkita simmetriyalovchi RCh transformatorlardan foydalanish va shu tufayli aralashtirgichlarning bunday tuzilmalarini integral tuzilmalarda yig'ish qiyin;
- real ishchi chastotalar diapazoni RCh transformatorlarning erishiladigan texnologik simmetrikligi orqali cheklangan;
- geterodinning quvvatli signalini ishlatilishi zarurati;
- bir xil xarakteristikali yarim o'tkazgichli komponentlarni qo'llanish zarurati.

Qo'sh balansli diodli aralashtirgichlar

Qo'sh ikkitalik balansli aralashtirgich (*Double Doubly Balanced Mixer, DDBM*) yoki qo'sh balansli aralashtirgich (*Triple Balanced Mixer, TBM*) ikkita halqali balansli aralashtirgichlar birikmasi hisoblanadi. 12.9- rasmda bunday aralashtirgichning prinsipial sxemasi tasvirlangan. Sxemaning asosiy afzalligi oshirilgan chiziqlilik hisoblanadi, chunki ikkita diodli halqalar va qo'shimcha RCh transformatorlarning qo'llanishi qurilmaning dinamik diapazonini taxminan 3 dB ga kengaytirishga va geterodin va RCh signal kirish portlari orasidagi ajratishni minimum 6 dB ga yaxshilashga imkon beradi.

Bu aralashtirgichning asosiy kamchiligi oshirilgan murakkablik hisoblanadi, chunki 3 ta simmetriyalovchi transformatorlar va 8 ta diodlar ishlatiladi. Bundan tashqari, geterodin signalining quvvatini halqali balansli diodli aralashtirgichdagiga qaraganda 3 dB ga oshirish zarur. Yuqori chiziqlilikli aralashtirgichlarning muqobil ishlatilishi ularni maydoniy tranzistorlarda yig'ilishi hisoblanadi. Bunda qurilmaning oddiyroq sxemasidan foydalanilganda diodli aralashtirgichlardagiga qaraganda hatto katta chiziqlilik ta'minlanishi mumkin.

Amalda bunday transformatorli murakkab tizim ishlatilmaydi, chunki halqali balansli aralashtirgichlarni gibrid kombaynerlar va taqsimlagichlar yordamida birlashtirish hisoblanadi.

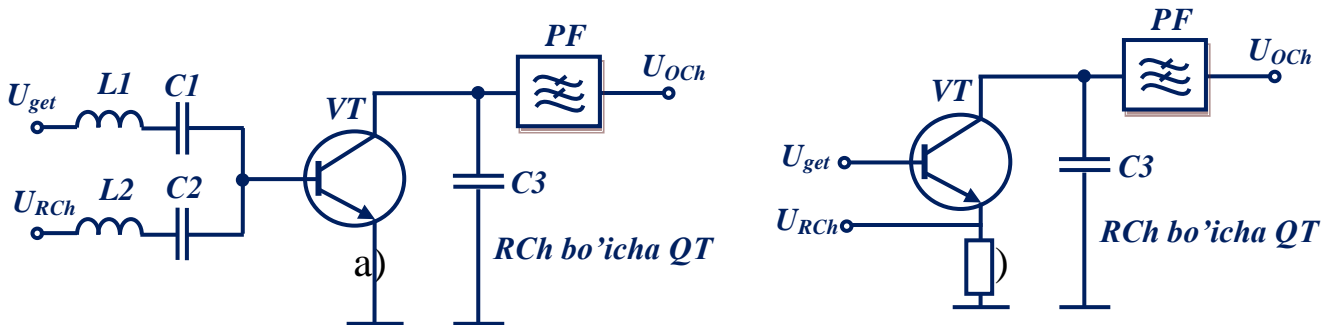


12.9- rasm. Qo'sh balansli aralashtirgichning prinsipial sxemasi

12.4. Bipolyar tranzistorlardagi nobalans aralashtirgichlar

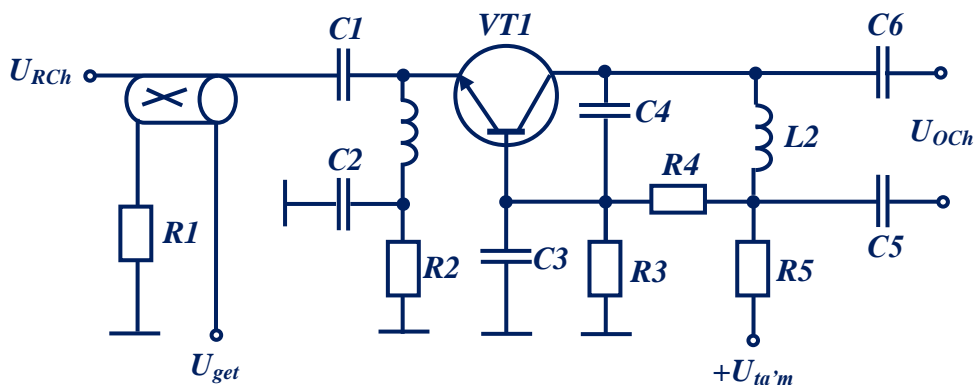
Bipolyar tranzistorlardagi nobalans aralashtirgichlar o'zgartirilgan signalni kuchaytirishni amalga oshiradigan ixcham, arzon qurilmalarni yaratishga imkon beradi, lekin yomon chiziqlilikka ega. 12.10- rasmda bipolyar tranzistorlardagi aralashtirgichlarning soddalashtirilgan asosiy yig'ilish sxemalari tasvirlangan.

12.10a- rasmni amaliy yig'ilishida geterodin va kirish RCh signal traktlarini yaxshi ajratish zarur. Odatda bu YuCh transformatorlar yoki yo'naltirilgan tarmoqlagichlar yordamida amalga oshiriladi.



12.10- rasm. Bipolyar tranzistorlardagi aralashtirgichlarning soddalashtirilgan asosiy yig'ilish sxemalari

Kirishiga geterodin signali yo'naltirilgan tarmoqlagich (YT) orqali beriladigan bipolyar tranzistordagi aralashtirgichning sxematexnik bajarilishi varianti 12.11- rasmda keltirilgan. Bu aralashtirgichda tranzistor umumiy baza sxemasida ulangan. Signal va geterodin tebranishlari emitterga YT orqali berilgan. Emitter zanjiridagi LIC2 kontur oraliq chastotaga sozlangan va bu chastota toki bo'yicha teskari aloqani yo'qotadi.



12.11- rasm. Bipolyar tranzistordagi O'YuCh aralashtirgichning sxemasi

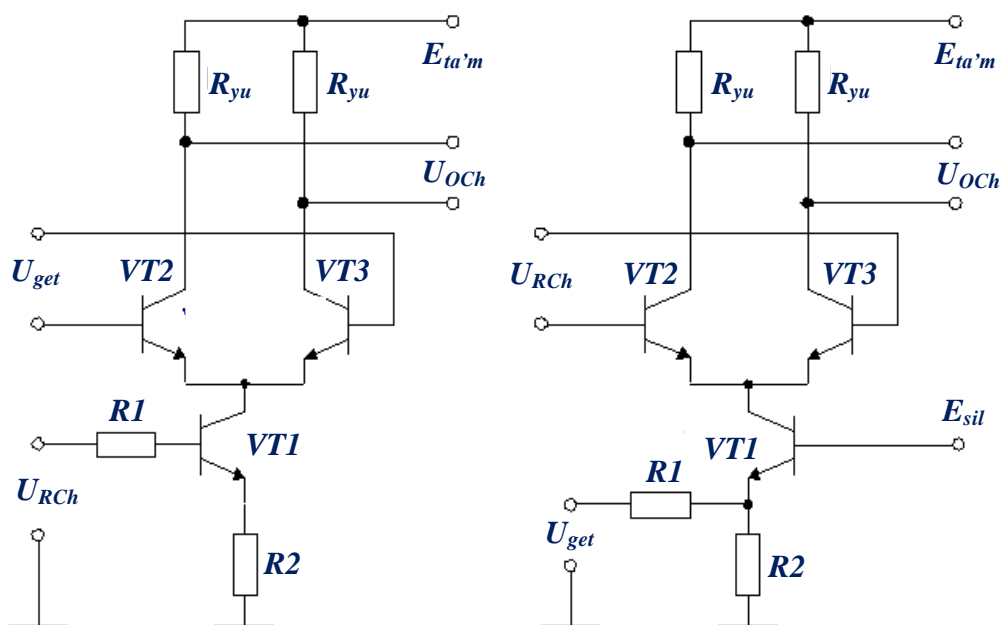
Kirish zanjiridagi $L2C4$ kontur ham oraliq chastotaga sozlangan. Bazaga dastlabki siljitish $R3R4$ bo'lgich orqali beriladi. $C1$ va $C6$ kondensatorlar ajratuvchi kondensatorlar, $S1$ kondensator esa bir vaqtda moslashtiruvchi kondensator hisoblanadi. Bu sxemaning kamchiligi signalning YT dagi kuchsizlanishi tufayli katta quvvatli geterodindan foydalanish zarurati hisoblanadi.

RCh da Gilbert yacheykasidan foydalanish

Integral sxemalarda ishlatiladigan eng keng tarqalgan sxematexnik tuzilma halqali balansli sxema "Gilbert yacheykasi" ning (*Gilbert Cell*) turli variantlari hisoblanadi. Aralashtirgichlarning balansli tuzilmalarini yig'ish uchun bunday yacheykalarining turli modifikatsiyalari ishlatiladi.

Bipolyar tranzistorlardagi balansli aralashtirgichlar

Quyida 12.12- rasmda bipolyar tranzistorlarda yig'ilgan balansli aralashtirgichlar sxemalari keltirilgan.



12.12- rasm. Signallar kirish tranzistorining bazasi va emitteriga beriladigan aralashtirgichlar

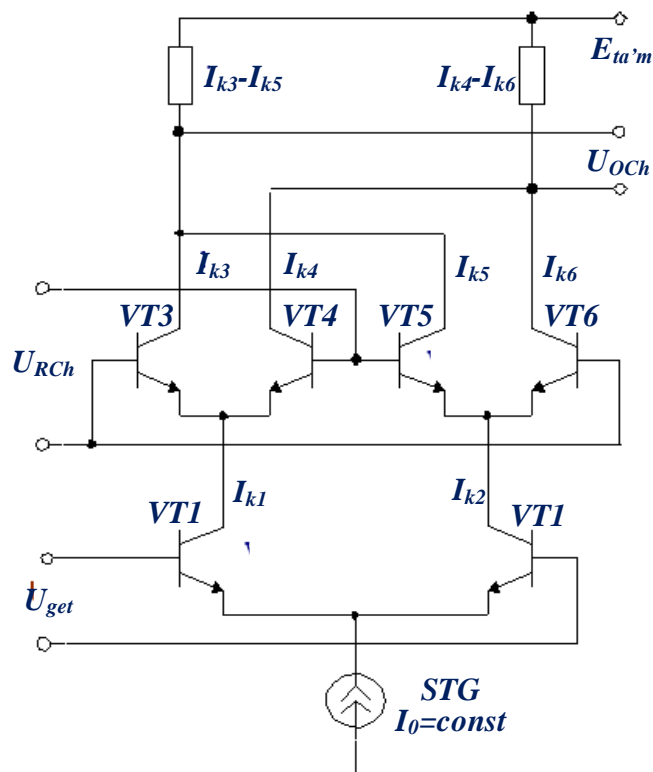
Bu tuzilmada geterodin va RCh signal kuchlanishlarini analog ko'paytirish bo'lib o'tadi. Bu $VT2$ va $VT3$ tranzistorlarning tikligi emitter tokiga bog'liqligi tufayli bo'lib o'tadi, emitter toki esa o'z navbatida, RCh signali kuchlanishi orqali aniqlanadi. Geterodin signali va RCh signalini 12.12b- rasmda tasvirlanganidek, RCh signalni balansli kirishga berish bilan joylarini almashtirish mumkin.

Balansli aralashtirgichlarning afzalligi ularda balansli kirishga beriladigan signalning juft garmonikalarini so'ndirilishi bo'lib o'tishi hisoblanadi.

Balansli aralashtirgichlarning kamchiliklariga kuchlanishlardan biri bo'yicha sxema balansli hisoblanmaydi va bu signal chiqishga o'tishi mumkinligini kiritish mumkin.

Bipolyar tranzistorlardagi qo'sh balansli aralashtirgichlar

Bipolyar tranzistorlarda qo'sh balansli yacheyka asosidagi aralashtirgichning (*Double-Balanced Topology, DBT*) sxematexnik bajarilishi 12.13- rasmda keltirilgan.



12.13- rasm. Gilbert yacheykasi asosidagi DBT sxemasi variantlaridan biri

Barcha tranzistorning toklar stabil tok generatori (STG) orqali stabillangan. Bunday qurilma, mazmunan, to'rtta kvadrantli kuchlanishlar ko'paytirgichi hisoblanadi.

Bu sxema ham geterodin signali, ham RCh signalga nisbatan balansli hisoblanadi. Chiqishda har ikkala signallar juft garmonikali intermodulyatsion tashkil etuvchilari so'ndiriladi.

12.5. Maydoniy tranzistorlardagi aralashtirgichlar

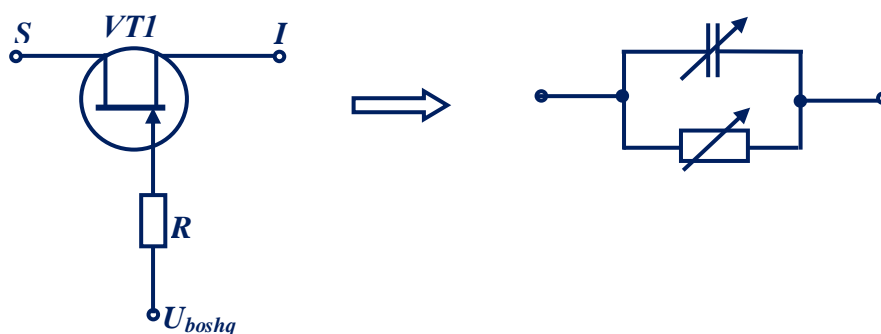
Maydoniy tranzistorlar aralashtirgichlarda aktiv va passiv rejimlarda ishlatilishi mumkin. Bunday aralashtirgichlar juda yaxshi dinamik

xarakteristikalariga ega bo'lishi mumkin. Bunday aralashtirgichlarda uzatish koeffitsiyentining qiymati yuqori, intermodulyatsion buzilishlar darajasi esa odatdagi passiv aralashtirgichlardagiga qaraganda past.

Maydoniy tranzistorlar kvadratik volt-ampere xarakteristikaga ega, bu uchinchi tartibli intermodulyatsion tashkil etuvchilarning sathlarini sezilarli kamaytiradi. Passiv qurilmalar kabi maydoniy tranzistorlardagi aralashtirgichlar yuqori quvvat sathiga ega, bunda ularning issiqlik buzilishi bo'lib o'tadi. Lekin diodlardagiga qaraganda, bunday aralashtirgichlar uchun katta quvvatli geterodin signali talab qilinadi.

Maydoniy tranzistorlarning passiv rejimi

Tranzistorning undan kalit sifatida foydalanish uchun yaroqliligi uning stok-istok qarshiligi varistor sifatida o'zini tutishidan kelib chiqadi, varistorning qarshiligi zatvor va istok orasidagi kuchlanishga bog'liq bo'ladi. Maydoniy tranzistor kalit sifatida ishlatilganda, u istok va stok orasida kuchlanish bo'lmaganda ishlaydi. RCh signal stokdan istokka o'tadi, zatvordagi kuchlanish esa boshqaruvchi kuchlanish hisoblanadi. Yuqorida aytilgan mulohazani 12.14-rasmda tasvirlangan soddalashtirilgan ekvivalent sxema yordamida ko'rsatish mumkin.



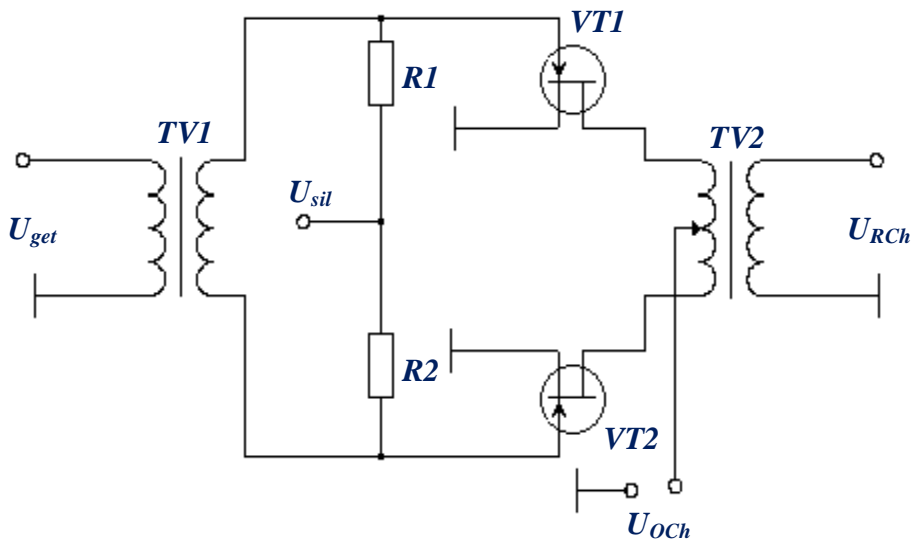
12.14- rasm. Kalit sifatida ishlatiladigan maydoniy tranzistorning ekvivalent sxemasi

12.15- rasmda kalitlar sifatida ishlatiladigan maydoniy tranzistorlardagi balansli aralashtirgichning sxemasi keltirilgan.

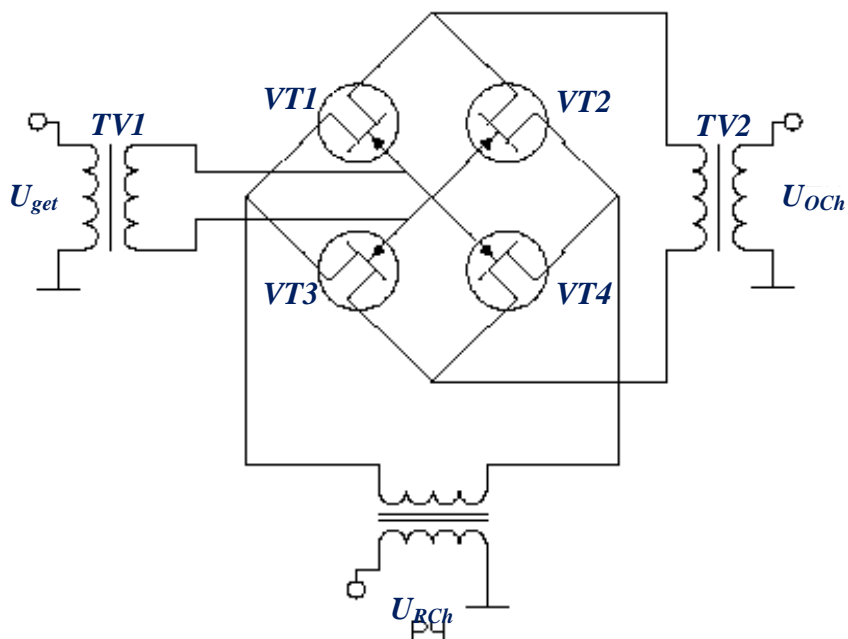
Diodli halqali aralashtirgichlar bilan bir qatorda maydoniy tranzistorlardagi halqali aralashtirgichlar mavjud (12.16- rasm). 12.16- rasmdan ko'rinib turibdiki, bunday aralashtirgichlar uchun OCh chiqishda qo'shimcha TV2 simmetriyalovchi transformator talab qilinadi.

Geterodin signali bir vaqtda VT1 va VT3 tranzistorlarni ochiq holatdan yopiq holatga VT2 va VT4 tranzistorlar bilan qarama-qarshi fazada qayta ulaydi. Buning natijasida RCh signallar qarama-qarshi fazada navbatma-navbat OCh chiqishga

beriladi. Diodli halqali aralashtirgichlardagi kabi bu OCh chiqishda geterodin signali bilan ko‘paytirilgan RCh signal shakllanishini bildiradi.



12.15- rasm. Kalitlar sifatida ishlatiladigan maydoniy tranzistorlardagi oddiy aralashtirgichning sxemasi



12.16- rasm. Maydoniy tranzistorlardagi halqali balansli aralashtirgich

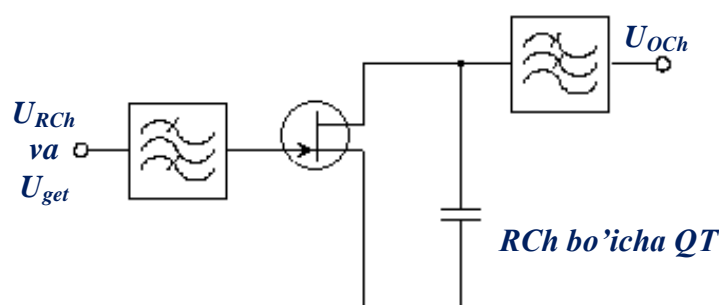
Bu aralashtirgichning kamchiligi uning yuqoriroq narxi va qurishning murakkabligi hisoblanadi, shuning uchun bunday aralashtirgich diskret tayyorlanadi, lekin integral yechimlarda ham qo‘llanishi mumkin.

Nobalans aktiv aralashtirgichlar

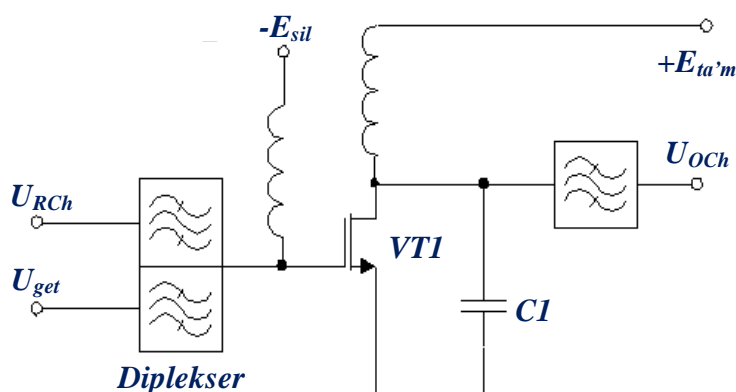
Bunday aralashtirgichlarning afzalliklari o'zgartirilgan signalni kuchaytirish imkoniyati va passiv elementlardagi aralashtirgichlardagiga qaraganda past shovqin sathi hisoblanadi.

12.17-rasmda maydoniy tranzistordagi nobalans aralashtirgichning umumlashtirilgan tuzilmasi, 12.18- rasmda esa uni sxematexnik yig'ilishi oddiy varianti tasvirlangan.

12.18- rasmda tasvirlangan sxema o'sha bir kirishga beriladigan RCh va geterodin signallarini yetarli bo'lmagan ajratishga bog'liq kamchilikka ega. Shu sababli ko'pincha ikkita alohida kirishlarga ega bo'lgan aralashtirgichlar ishlatiladi.

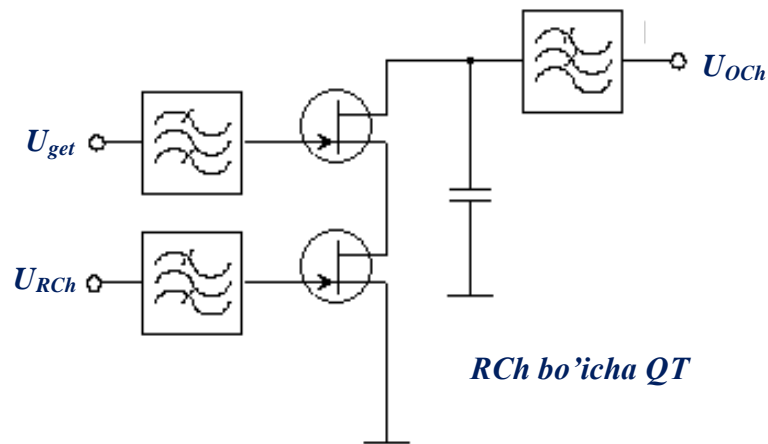


12.17- rasm. Maydoniy tranzistordagi nobalans aralashtirgichning umumlashtirilgan tuzilmasi

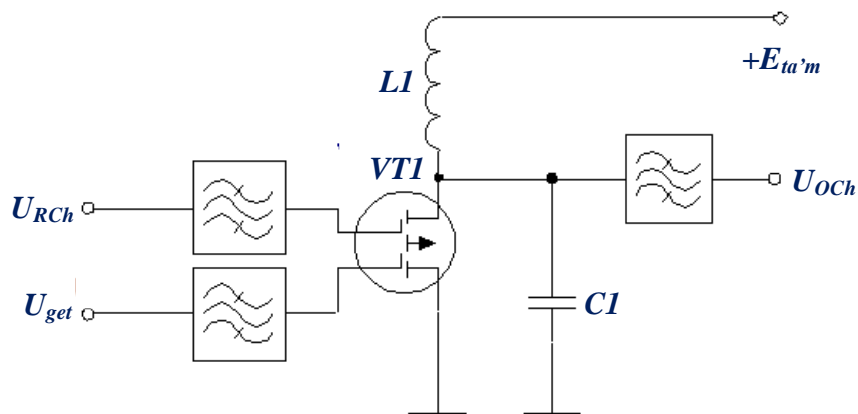


12.18- rasm. Maydoniy tranzistordagi nobalans aralashtirgich sxemasi

Bu aralashtirgichlar varianti, masalan, 12.19- rasmda tasvirlangan ikkita tranzistorlarning kaskadli ulanishi sxemasi asosida yig'ilishi mumkin, lekin amalda ko'pincha ikkita zatvorli maydoniy tranzistorlar ham ishlatiladi (12.12-rasm).



12.19- rasm. Ikkita maydoniy tranzistordagi aralashtirgichning soddalashtirilgan sxemasi



12.20- rasm. Ikkita zatvorli KMOYaO' -tranzistordagi aralashtirgich sxemasi

Bu sxemaning afzalliklaridan biri geterodin signali va RCh signal mazmunan izolyatsiyalanganligi hisoblanadi, bu o'zgartirilgan signal kuchaytiriladigan ixcham aralashtirgichlarni ishlab chiqishda foydalanilishi mumkin. Aralashtirgichning tuzilmasiga bog'liq yo'qotishlarni olishdan ko'ra, o'zgartirilgan signalni kuchaytirishni olish yaxshiroq. Lekin aktiv aralashtirgichlar passiv qurilmalarga qaraganda pastroq chiziqlilikka ega.

Balansli va qo'sh balansli aralashtirgichlar

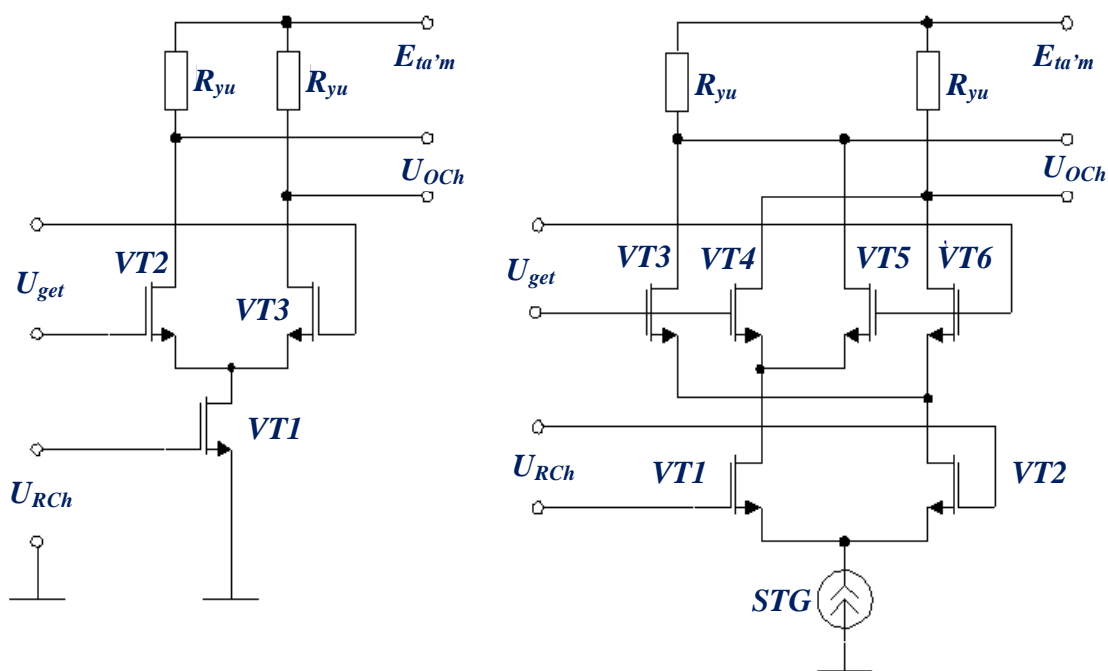
Turkum ishlab chiqariladigan integral sxemalarga (IS) kiritiladigan aralashtirgichlar sxematexnikasi yuqorida tavsiflangan diskret elementlardagi yechimlardan sezilarli farqlanadi. Bitta IS tagligida tayyorlangan tranzistorlar deyarli bir xil xususiyatlar va xarakteristikalariga ega va ular IS kristallida egallaydigan maydoni ular diskret elementlarda bajarilganda egallaydigan

maydondan ancha kichik. Shuning uchun balansli va qo'sh balansli aralashtirgichlar IS tarkibida keng tarqalgan.

Qo'sh balansli aralashtirgichning (*Double-Balanced Mixer*) tuzilmasi (12.21b- rasm) muvofiqlashtirilgan ikkita alohida balansli aralashtirgichlarni (*Single Balance Mixer*) birlashtirish bilan olinishi mumkin (12.21a- rasm).

Qo'sh balansli aralashtirgichda uning OCh portiga beriladigan RCh signalning sathi $VT1$ va $VT2$ tranzistorlardagi balansli sxemani qo'shish tufayli sezilarli kamaytirilishi mumkin. Demak, qo'sh balansli aralashtirgichda RCh (yoki geterodin) – OCh portlarining juda yaxshi izolyatsiyalanishi ta'minlanadi. Qo'sh balansli aralashtirgichda barcha portlar bir-birlaridan mutlaqo izolyatsiyalangan.

Qo'sh balansli aralashtirgichda uning OCh portiga beriladigan RCh signalning sathi $VT1$ va $VT2$ tranzistorlardagi balansli sxemani qo'shish tufayli sezilarli kamaytirilishi mumkin. Demak, qo'sh balansli aralashtirgichda RCh (yoki geterodin) – OCh portlarining juda yaxshi izolyatsiyalanishi ta'minlanadi. Qo'sh balansli aralashtirgichda barcha portlar bir-birlaridan mutlaqo izolyatsiyalangan.



12.21- rasm. Maydoniy tranzistorlardagi balansli va qo'sh balansli aralashtirgichlar

Nazorat savollari

1. Aralashtirgichga ta'rif bering.
2. Aralashtirgichlarda chastotalarni o'zgartirish jarayoni qanday bo'lib o'tadi?

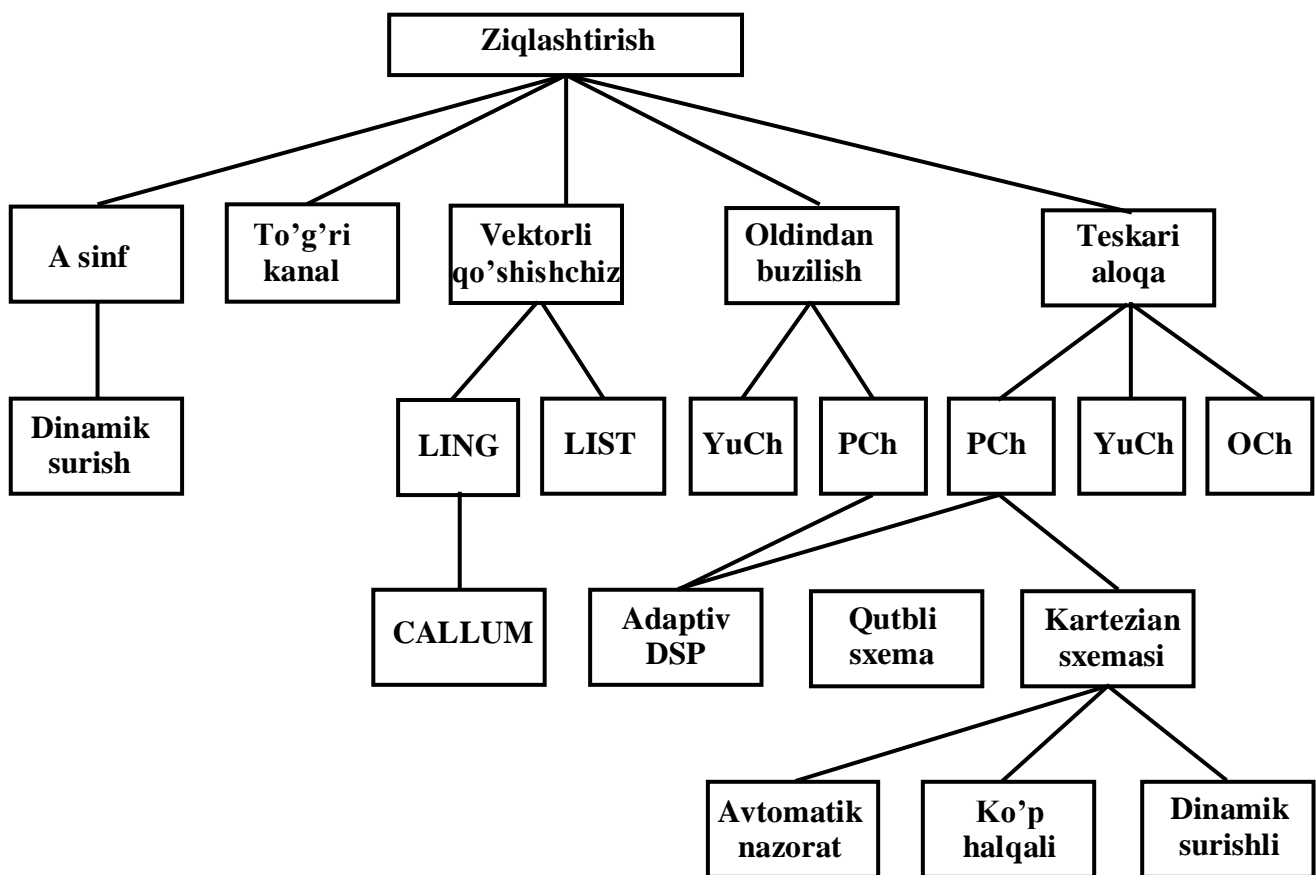
3. Aralashtirgichlarning tasniflanishini keltiring.
4. Qo'sh balansli aralashtirgichlarning afzalliklari nimalardan iborat?
5. Nobalans aralashtirgichlarning afzalliklari nimalardan iborat?
6. Passiv va aktiv aralashtirgichlarning farqi nimalardan iborat?
7. Qo'sh balansli aralashtirgichning prinsipial sxemasini tushuntiring.
8. Bipolyar tranzistordagi O'YuCh aralashtirgichning sxemasini tushuntiring.
9. Gilbert yacheykasi asosidagi DBT sxemasini tushuntiring.
10. Kalitlar sifatida ishlatiladigan maydoniy tranzistorlardagi oddiy aralashtirgichning sxemasini tushuntiring.

13- BOB. RADIOQABUL QILISH QURILMALARINING RAQAMLI CHIZIQLASHTIRISH BLOKLARI

13.1. Yuqori chastotali quvvat kuchaytirgichlarini chiziq lashtirish usullarining tasniflanishi

Hozirgi vaqtda radiotexnikada ma'lumotlar uzatish raqamli radiotizimlari (MURRT) keng qo'llanilmoqda, ularga mobil aloqa tizimlari, raqamli televideniye, raqamli radioeshittirish kiradi, mobil va qayd etilgan radioulanish tizimlari ortogonal chastotalar bo'yicha multiplekslash va ajratishli (OFDM) radiosignallarning ishlatilishini ko'zda tutadi. Shuningdek zamonaviy MURRT larda ko'pincha ikki pozitsiyali chastotaviy manipulyatsiyalashli (IPChM), diskret-chastotaviy signallar (DChS) matritsali, kvadraturali fazaviy (QPSK) va amplitudaviy manipulyatsiyalashli (QAM) guruhli radiosignallarga ishlov beriladi.

Sanab o'tilgan texnologiyalar va tizimlardan ko'pchiligi ko'p chastotali guruhli signallarga ega, bu o'z navbatida, analog traktning chiziq liligiga, xususan intermodulyatsiya bo'yicha uzatish quvvat kuchaytirgichi (QK) xarakteristikalarining chiziq liligiga yuqori talablarni qo'yadi.



13.1- rasm. Chiziq lilikni oshirish usullari

Quvvat kuchaytirgichlarining xarakteristikalarini chiziqshlashtirishning ko'p sonli samarali usullari mavjud.

Chiziqshlashtirish usullarining turli-tumanligiga qaramasdan, ularni bir necha guruhlariga bo'lish mumkin (13.1- rasm).

Hozirgi vaqtga kelib yuqori chastotali quvvat kuchaytirgichlarini chiziqshlashtirish usullarining quyidagini tasniflanishi yuzaga keldi.

13.2. A sinf – dinamik siljitishli usul

Bu usul Salex (Saleh) tomonidan yordamida chiziqli-modulyatsiyalangan signallar bilan ishlaydigan FET-tranzistorlardagi A sinfdagi kuchaytirgichning samaradorligi oshirilgan vosita sifatida kiritilgan.

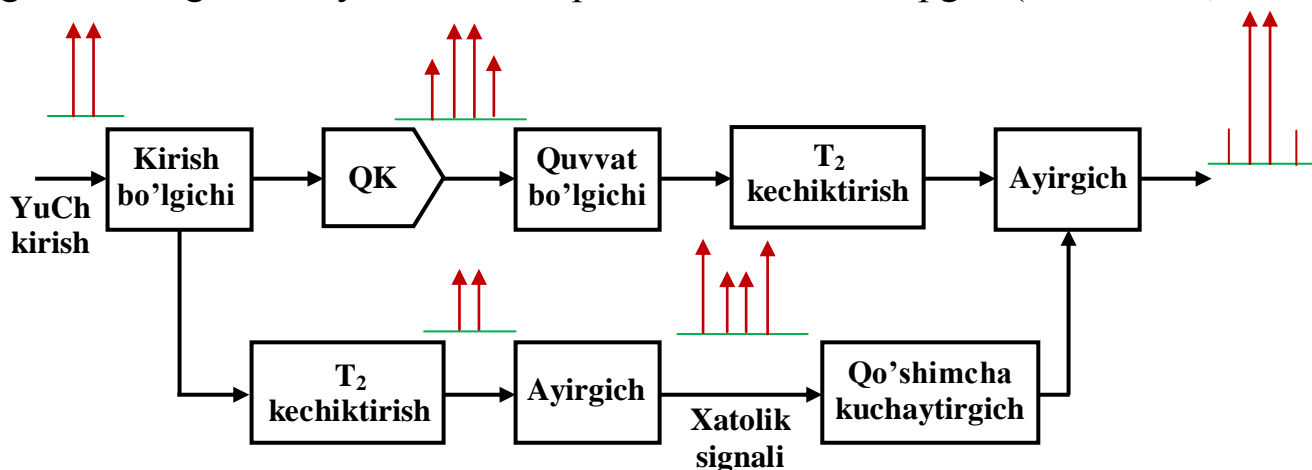
FET-tranzistor zatvorida kuchlanishni qayd etish o'rniga U_p kesish kuchlanishi yarmi sathida va nol voltda (A sinfdagi ishlash sharti) zatvorning U_g siljitish kuchlanishi $U_s(t)$ kirish signalining og'diruvchisiga proporsional dinamik siljiydi, bunda:

$$U_g = -U_p + U_s(t)$$

Tranzistor $U_s(t)$ o'z minimumini etganda, zatvor siljitish kuchlanishining o'rtacha qiymati kirish signalining dinamik diapazonini ta'minlash uchun yetarli bo'lganda deyarli to'liq yopiladi.

13.3. To'g'ri kalit bilan chiziqshlashtirish usuli

To'g'ri kanalli sxema kuchaytirgichlarda buzilishlarni kamaytirish vositasi sifatida Blek (Black) tomonidan taklif etilgan. Bu sxema yuqori chastotalarda to'g'ridan-to'g'ri ishlaydi va ikkita qismlardan tashkil topgan (13.2- rasm).



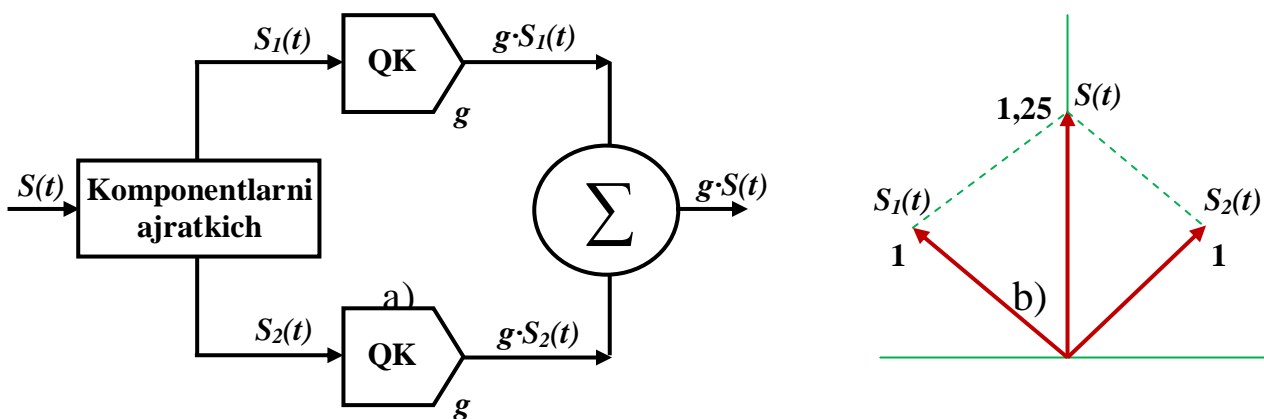
13.2- rasm. To'g'ri kanalli chiziqshlashtirish

Sxemaning birinchi qismida QK generatsiyalaydigan buzilishlarni ajratish uchun QK chiqish signalining chiziqli masshtablashtirilgan qiymatlarini kirish signali bilan taqqoslash bo‘lib o‘tadi. Keyin xatolik signali qo‘shimcha kuchaytirgichdan o‘tadi va to‘g‘ri kanalda YuCh signal bilan qo‘shiladi. Buning natijasi buzilishsiz signalni olish hisoblanadi. Kirishda ikkita tonli signal, mos kuchaytirgichlarda chastotaga bog‘liq fazaviy surilishlar bilan moslashtirishni ta‘minlaydigan vaqt bo‘yicha kechiktirish ikkita elementlari (T_1 va T_2) o‘z o‘rniga ega. Amplituda va faza bo‘yicha aniq moslashtirishdan har qanday og‘ish buzilishlarni kompensatsiyalash jarayonini yomonlashtiradi.

To‘g‘ri kanalli tizimlarning samaradorligi chiziqli bo‘lishi va ayiruvchi tugunlarda yo‘qotishlarni kompensatsiyalash uchun yetarlicha kuchaytirish zahirasiga ega bo‘lishi kerak bo‘lgan yordamchi kuchaytirgichning energiya iste‘moli tufayli kamayadi. Bu usul nisbatan keng polosada (3-50 MGs) yaxshi chiziqlilik ko‘rsatkichlarili (20...40 dB) barqaror kuchaytirgichni yaratishga imkon beradi.

13.4. LINC (nochiziqli komponentlarning chiziqli kuchaytirishi) usuli

Nochiziqli komponentlarning chiziqli kuchaytirishi bu vektorli qo‘shishning alohida holi hisoblanadi. Bu yerda zarur chiqish signalini olish uchun o‘zgarmas amplitudali ikkita signallar ishlatiladi (13.3- rasm).



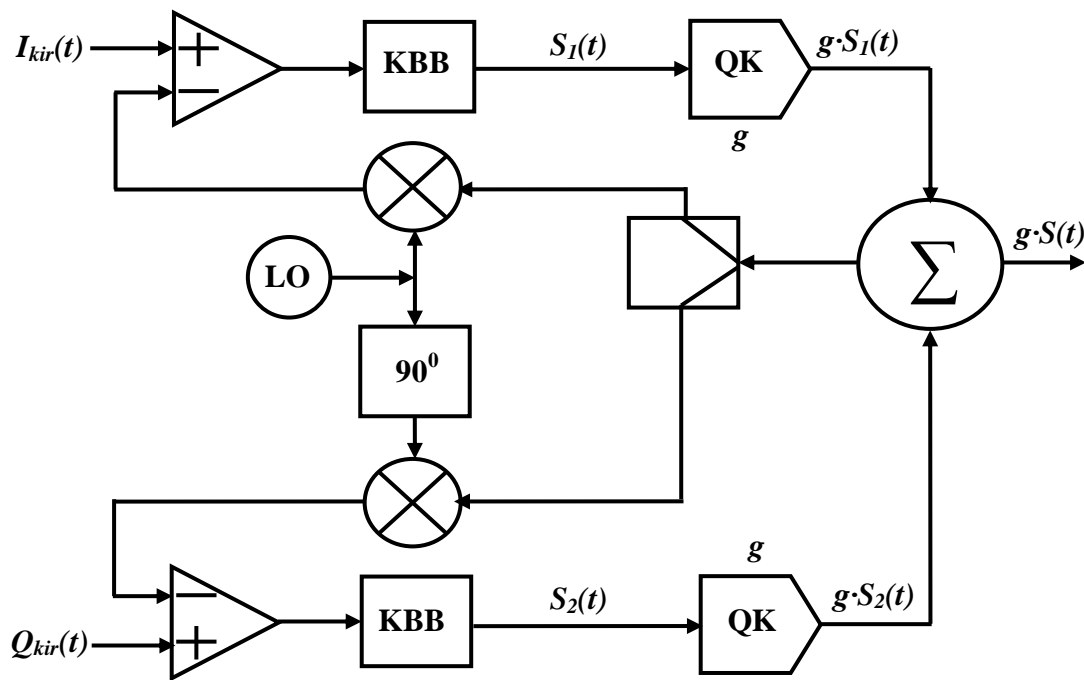
13.3- rasm. LINC usuli

Komponentlarni ajratkich kuchaytirilishi va qo‘shilishi bilan signallar zarur chiqish signalini ($g \cdot S(t)$) sintezlaydigan tarzda o‘zgarmas amplitudalar ($S_1(t)$ va $S_2(t)$) signallarni generatsiyalash analog yoki raqamli usullarini ishlatadi. Erishiladigan samaradorlik 21 % ni tashkil etadi. Bu usul sxema yelkalarining amplitudaviy va fazaviy asimetriyasiga sezgir. Sxema yelkalarining nosimmetrikligi samaradorlikni sezilarli kamaytirishi mumkin va shuning uchun

ko‘pincha kuchaytirgichlar xarakteristikalarining og‘ishlarini kompensatsiyalash uchun turli teskari aloqalar qo‘llanadi.

13.5. CALLUM usuli (teskari aloqa analog halqasili universal modulyator)

Beytmen (Bateman) tomonidan taklif etilgan teskari aloqa analog halqasili universal modulyator sxemaning ikkita kanallarida amplitudaviy va fazaviy asimmetriya muammolarini bir vaqtda yechishli murakkab DSP sxemalaridan foydalanish zaruratini yo‘q qiladi (13.4- rasm).



13.4- rasm. CALLUM usuli

Bu usul ikkita teskari aloqa halqalari va o‘zgarmas amplitudali YuCh signallarni generatsiyalash uchun ikkita kuchlanish bilan boshqariladigan generatorlarni (KBB) ishlatadi. Kirish signallari bo‘lmagan KBB lar LO mahalliy geterodin chastotasida avtomatik ishlaydi. Keyin KBB lar zarur o‘zgarmas amplitudali LINC-signallar ($S_1(t)$ va $S_2(t)$) bilan qo‘zg‘atiladi. Beytmen tomonidan QPSK modulyatsiyalashli signal uchun 55 dB qiymatli intermodulyatsion buzilishlarni so‘ndirish olingan.

Ta’kidlash kerakki, CALLUM tizimi halqa komponentlari (asosan pastga o‘zgartiradigan aralastirgichlar) parametrlarining og‘ishlari tufayli nostabil va xatoliklarni kiritishi mumkin bo‘lgan teskari aloqa halqasini ishlatadi.

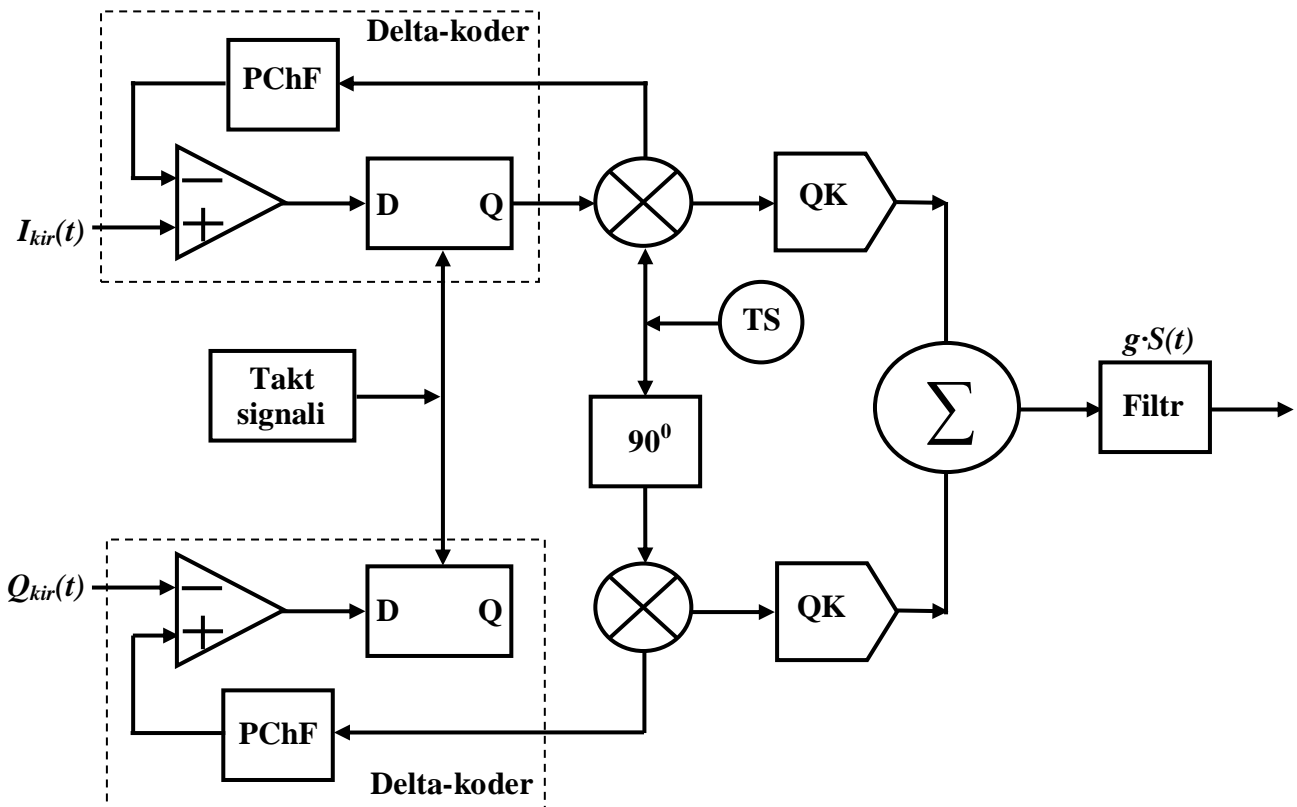
13.6. LIST usuli (semplirlash usulida chiziqli kuchaytirish)

Semplirlash usulida chiziqli kuchaytirish (13.5- rasm) LINC usuliga o'xshash, bunda o'zgarmas amplitudalarga ega bo'lgan ikkita signallar ishlatiladi, ular chiqishda talab qilinadigan chiziqli kuchaytirilgan signalni olish uchun qo'shiladi.

LINC usulidan asosiy farq shundan iboratki, ikkita signallardan har biri fazaning ikkita diskret qiymatlariga ega bo'lishi mumkin va bir-birlari bilan kvadratura kabi qo'shiladi. O'zgarmas amplitudalarga ega bo'lgan ikkita signallarning kvadraturali nisbatlari chiqishda fazaning bo'lishi mumkin to'rtta qiymatlarini beradi.

Delta modulyatorlar takt chastotasi orqali aniqlanadigan tezlikda fazaning to'rtta qiymatlaridan istalganini beradi. Chiqishda filtrlash silliqlangan chiziqli kuchaytirilgan signalni olish uchun signalni qayta tiklaydi.

Koks (Cox) 70 MGts li kuchaytirgich sxemasida ikkita tonli signal (tonlar orasida 100 kGts) uchun 40 dB ga intermodulyatsion tashkil etuvchilarni so'ndirishni namoyish etdi. Bu usulning afzalligi o'zgarmas amplitudalarga ega bo'lgan ikkita signallarni shakllantirishning nisbatan oddiyliigi hisoblanadi.



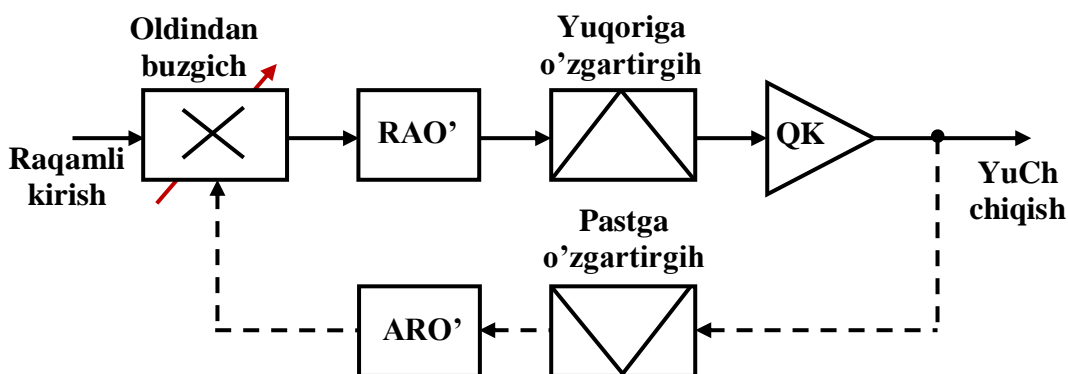
13.5- rasm. LIST usuli

13.7. DSP dan foydalaniladigan past chastotali oldindan buzilish

Raqamli signallar protsessorlari oldindan buzilishlarning murakkab xarakteristikalarini sintezlash imkoniyatini beradi (13.6- rasm). Elementlar bazasining tezlik bo'yicha cheklashlar tufayli oldindan buzilishlar past chastotalarda (PCh) kiritiladi. Shunday qilib, polosa raqamli ishlov berish imkoniyatlari bilan cheklangan. To'g'ri traktga raqamlashtirilgan modulyatsiyalangan signal beriladi.

Keyin signal analog shaklga o'zgartiriladi, yuqori chastotaga o'zgartiriladi va nohiziqli QK orqali kuchaytiriladi. Yuqori chastotaga o'zgartirish kvadraturali modulyator orqali bajariladi. Lekin past chastotaga ham o'zgartirish mumkin.

Oldindan buzilishlar polinomial berilishdan foydalanish bilan yoki jadvallar qiymatlari yordamida bajarilishi mumkin. Polinomial berilish bu yuqorida tavsiflangan kubik oldindan buzgichning PCh ekvivalenti hisoblanadi. DSP katta hisoblash imkoniyatlarga egaligi sababli katta darajali polinomlar talab qilinadigan xarakteristikalariga eng yaxshi yaqinlashishga olib keladi. Bu usulning asosiy kamchiligi stabil va samarador moslashtirish algoritmlarini yaratishdagi nisbatan qiyinchiliklar hisoblanadi.



13.6- rasm. Past chastotali oldindan buzilishlar usuli

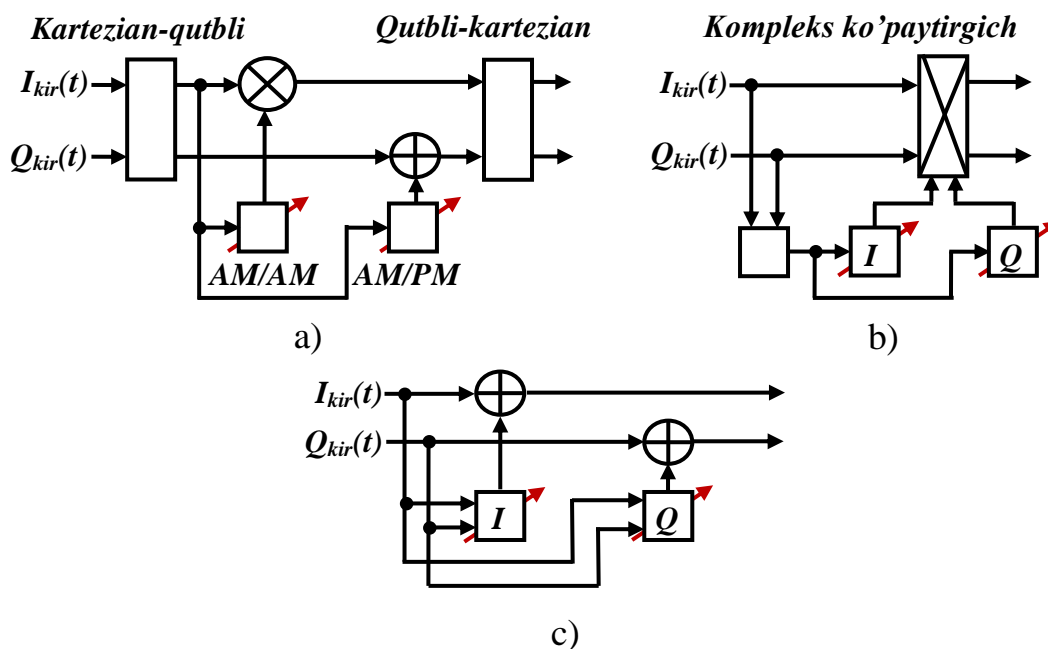
Jadvalli oldindan buzgich DSP bilan yanada ommaviylashgan. Jadvalli oldindan buzgichlar turli shakllarga ega bo'lishi mumkin. Eng oddiy varianti qutbli kompleks kuchaytirish shakli (13.7a- rasm) hisoblanadi. Bu oldindan buzgich ikkita bir xil o'lchamli jadvallardan tashkil topgan. Amplitudalar jadvallari yordamida AM/AM oldindan buzilishlar, fazalar jadvallari yordamida AM/FM oldindan buzilishlar kiritiladi.

Har ikkala jadvallar manzillari kirish signalining amplitudasi orqali aniqlanadi. Bu usul bo'yicha yig'ilgan adaptiv qutli oldindan buzgich Folkner (Faulkner) tomonidan taqdim etilgan. Jadvallardagi nuqtalar orasidagi

interpolyatsiyalash jadvallarning nisbatan uncha katta bo'lmagan o'lchamlaridan foydalanishga imkon berdi. Aniqlandiki, potensial muammo qutbli tizim/to'g'ri burchakli tizim o'zgartirish uchun zarur bo'ladigan hisoblash operatsiyasi hisoblanadi. Umumiy hisoblash yuklamasi yetarlicha katta bo'ldi va DSP da (TMS320C25) 2 kGs bilan cheklangan polosada intermodulyatsion buzilishlarni 30 dB ga so'ndirishga erishildi.

Kompleks kuchaytirish karteziyan jadvallari qutbli o'zgartirishlardan voz kechishga imkon beradi va hisoblashlarda DSP ni kam yuklaydi (13.7b- rasm).

Keyvers (Cavers) signalning quvvatiga muvofiq manzillashtiriladigan karteziyan jadvallardan foydalanishni taklif etdi. Oldindan buzilishlarni olish uchun kompleks ko'paytirish ishlatiladi. Oldindan buzgich xotiraga past talablar va o'ziga xos moslashtirish algoritmi tufayli tez mos tushish vaqtini (4 ms) ta'minlaydi.



13.7- rasm. Jadvalli oldindan buzgichlar variantlari

Kompleks ko'paytirish jadvallarini ishlatadigan tizimlar (ham qutbli, ham karteziyan) to'g'ri kanalda kvadraturali modulyatsiyalash kiritadigan xatoliklardan holi emas.

To'liq karteziyan jadvallari yana bir jadvali usul hisoblanadi. Bu yerda kompleks tekislikdagi kirish nuqtasini kompleks tekislikdagi chiqish nuqtasiga o'zgartirish uchun katta xotira hajmi talab qilinadi (13.7s- rasm).

Nagat (Nagata) tomonidan o'z ishida p/4 QPSK modulyatsiyalashli 32 kbit/sekund tezlik uchun qo'shni kanalda buzilishlar tashkil etuvchilarini minus 60 dB ga so'ndirish ko'rsatilgan.

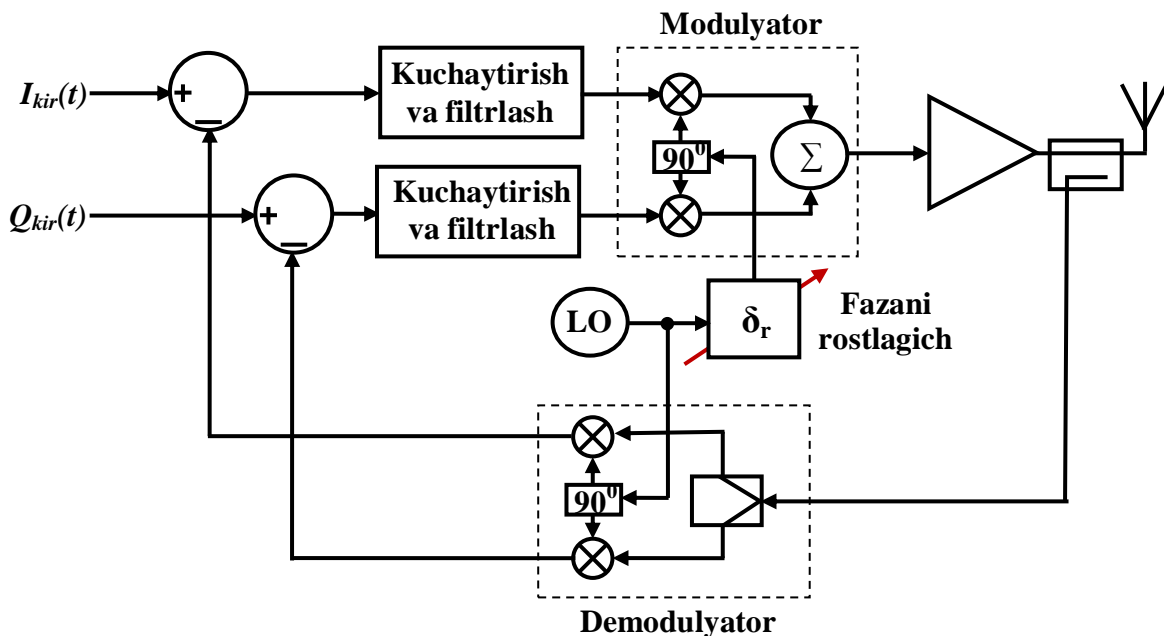
13.8. Teskari aloqa karteziyan halqasili chiziqlashtirish tizimlari

Bunday tizimlar teskari (TA) aloqali nisbatan tor polosali tizimlar varianti hisoblanadi. Karteziyan halqasida sinfaz va kvadraturali komponentlar bo'yicha manfiy TA ishlatiladi.

“Karteziyan halqasi” tushunchasi Petrovich (Petrovic) tomonidan kiritilgan. 13.8- rasmda TA karteziyan halqasining asosiy ishlash prinsipi tasvirlangan.

I va Q komponentlar formatidagi past chastotali kirish signali sxemaning kirishiga beriladi. To'g'ri kanal halqali kuchaytirgich, kompensatsion filtr, sinxron I - Q modulyator, nochiziqli. Lekin samarador QK, chiqish yuklamasi hisoblanadigan antennadan tashkil topgan teskari aloqa kanaliga chiqish quvvatining qismi YuCh tarmoqlagichdan beriladi, keyin u sinxron demodulyatsiyalanadi.

Olingan I - Q formatdagi demodulyatsiyalangan past chastotali signal kirish signalidan ayirish uchun TA signali sifatida ishlatiladi. Natijada zarur tarzda olingan oldindan buzilgan signal QKga beriladi. Halqali ishlash prinsipi tufayli harorat va ta'minot manbai kuchlanishi tufayli QK xususiyatlarining uncha katta bo'lmagan o'zgarishlarini avtomatik kompensatsiyalash ta'minlanadi.



13.8- rasm. TA karteziyan halqasining asosiy ishlash prinsipi

Halqaning asosiy xarakteristikalarini halqali kuchaytirgich va kompensatsion filtrlar orqali o'rnatiladi. Ularning parametrlariga intermodulyatsion buzilishlarni so'ndirish darajasi va sxemaning stabil ishlashi bog'liq bo'ladi. Modulyator va

demodulyator orasidagi sinxronizm umumiy YuCh tashuvchini ajratish yo‘li bilan olinadi.

YuCh signal uchun elektr uzunlikdagi farq tufayli to‘g‘ri va teskari kanallarning to‘g‘ri fazaviy nisbatlarini saqlash uchun fazani rostlagichdan foydalanish zarur. Rostlagichning noto‘g‘ri o‘rnatilishi I va Q komponentlar orasidagi kesishma o‘zaro aloqaga, halqaning nostabil ishlashiga olib keladi.

Boshqa yopiq TA halqalar kabi bu halqani shartli stabil hisoblash mumkin va stabillikni saqlash maqsadida rostlagichni o‘rnatish bu asosiy muammolardan biri hisoblanadi. QK ning nochiziqliligi ham stabillikka ta’sir qiladi, chunki past chastotali signalga katta fazaviy surilishni kiritadi.

Sxemaning umumiy samaradorligi TA halqasining sifati orqali cheklangan. TA sxemasidagi, ayniqsa, demodulyatoridagi xatoliklar va buzilishlar halqali kuchaytirish qiymatiga bog‘liq bo‘lmagan holda chiqishda xatoliklar va buzilishlarga olib keladi. Lekin hatto nisbatan oddiy TA sxemalarining qo‘llanishi yaxshi natijalarni berishi mumkin. Masalan, Petrovich (Petrovic) tomonidan 2,5 MGs chastotada 1 Vt quvvatli kuchaytirgich uchun ikki tonli testlash signalida asosiy signal va intermodulyatsion tashkil etuvchilar orasida 70 dB nisbat olingan.

13.1- jadvalda 3-tartibli intermodulyatsion buzilishlar tashkil etuvchilarini kamaytirish uchun usullar va ularning potensial imkoniyatlari keltirilgan.

Quvvat kuchaytirgichlarini zamonaviy chiziqlashtirish usullari bir-birlaridan yig‘ilishi murakkabligi va umuman tizimning olinadigan xarakteristikallari bo‘yicha sezilarli farqlanadi.

13.1- rasm

Chiziqlashtirish usullarining xarakteristikallari

Chiziqlashtirish usuli	3-tartibli buzilishni so‘ndirish
YuCh teskari aloqa	12 dB
TA qutbli halqasi	30 dB
TA karteziyan halqasi	30 dB
To‘g‘ri kanal	20-40 dB
Adaptiv YuCh oldindan buzilish	30 dB
LINC usuli	30 dB

Nazorat savollari

1. Zamonaviy ma’lumotlarni uzatish raqamli radiotizimlarida (MURRT) qanday radiosignallarga ishlov beriladi?
2. Nochiziqli komponentlarning chiziqli kuchaytirishi nima?
3. Yuqori chastotali (YuCh) quvvat kuchaytirgichlarini chiziqlashtirish usullarini sanab o‘ting.

4. Yuqori chastotali (YuCh) quvvat kuchaytirgichlarini chiziqshtirish usullarining tasniflanishini keltiring.

5. LINC (nochiziqli komponentlarning chiziqli kuchaytirishi) usulini tushuntiring.

6. CALLUM usulini (teskari aloqa analog halqasili universal modulyatorni) tushuntiring).

7. LIST usulini (semplirlash usulida chiziqli kuchaytirish) tushuntiring.

8. Past chastotali oldindan buzilishlar usulini tushuntiring.

9. TA karteziyan halqasining asosiy ishlash prinsipini tushuntiring.

10. To'g'ri kanalli chiziqshtirishning o'ziga xos xususiyatlari nimadan iborat?

14- BOB. KEYINGI AVLOD SIMSIZ ALOQA TIZIMLARIDA CHIZIQLILIK VA SAMARADORLIKNI OSHIRISH

14.1. Qabul qilish qurilmalarida signallarning buzilishi

Signallarni qabul qilish va ishlov berish qurilmalari aktiv va passiv elementlarining noidealligi (birinchi navbatda ularning nochiziqliligi) tufayli quyidagi turlardagi buzilishlar vujudga kelishi mumkin:

1. Chiziqli buzilishlar:

- asosiy kanal bo'yicha – asosiy kanal chastotasida halaqitlarni qabul qilishda;
- qo'shni kanal bo'yicha – asosiy kanal chastotasiga yaqin chastotali halaqitlarni qabul qilishda;
- simmetrik kanal bo'yicha – simmetrik kanal chastotali halaqitlarni qabul qilishda;
- to'g'ri kanal bo'yicha – oraliq chastotaga teng chastotali halaqitlarni qabul qilishda;
- qo'shimcha kanallar bo'yicha;

2. Nochiziqli buzilishlar:

- bloklanish – kuchaytirish (o'zgartirish) asbobining ishchi nuqtasi quvvatli signal orqali to'yinish sohasiga yoki kesish sohasiga o'tganda, bu kaskadning chiqishiga foydali signalning o'tishini mumkin emas qiladi;
- kesishma modulyatsiya – foydali signalning parametrlarini halaqitli signal ta'siri ostida modulyatsiyalashda;
- intermodulyatsiya – asosiy kanal chastotasida ikki va undan ortiq halaqitlar nochiziqli tashkil etuvchilarining kaskadning chiqishiga o'tishida;

3. Nochiziqli-parametrik buzilishlar:

- Geterodin shovqinlarini teskari o'zgartirish.

Bu barcha halaqitlar turlari chiqish ta'sirini kirish ta'siriga bog'liqligining nochiziqli xarakteri orqali aniqlanadi va kompleksda ta'sir etishda ko'plab hollarda foydali signalni qabul qilishni mumkin qilmaydi.

14.2. Kuchaytirish traktlarining chiziqliligini oshirish

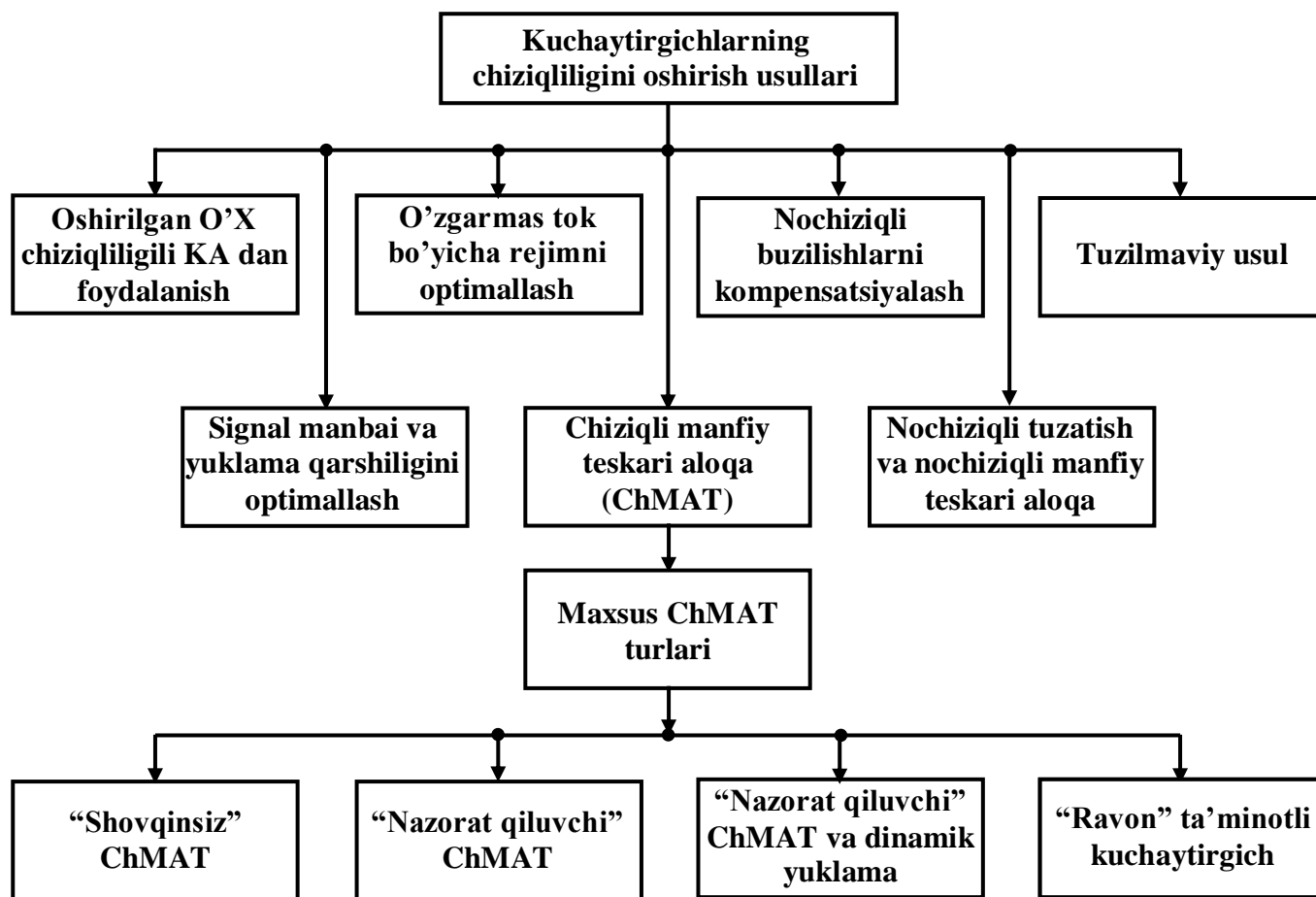
Yuqorida ta'kidlanganidek, eng og'ir halaqitli vaziyatlarda ham radiokanal (eng murakkab hol), ham boshqa kanallar turlari bo'yicha uzatiladigan xabarlarni qabul qilish va ishlov berish qurilmalari ishlaydi. Shuning uchun tizimning sifat ko'rsatkichlari birinchi navbatda ishlov berish traktining chiziqliligiga bog'liq bo'ladi. Juda muhim masala qabul qilish qurilmalarining yuqori sezgir past

quvvatli kirish kaskadlarini chiziqshastirish hisoblanadi. Bu muammoni yechishning bir necha yo‘llari mavjud (14.1- rasm).

O‘tish xarakteristikasining oshirilgan chiziqshiligi

O‘tish xarakteristikasining (O‘X) katta chiziqshilik diapazoniga ega bo‘lgan kam shovqinli kuchaytirish asboblarning (KA), masalan, O‘YuCh tranzistorlarning ishlatilishi 70-nci yillarning boshlarida qurilmalarning dinamik diapazonini (DD) keng chastotalar diapazonida sezilarli kengaytirishga imkon berdi.

Katta DD li kaskadlarda KA chegaraviy kichik o‘z shovqinlariga, quvvat bo‘yicha (yuqori omli kirish impedansili KA uchun kuchlanish bo‘yicha) katta o‘ta yuklanish qobiliyatiga ega bo‘lishi va chegaraviy kichik kuchaytirish bilan ishlashi kerak. Bu talablarni detsimetrl to‘lqinlar sohasida va O‘YuCh diapazonda chegaraviy chastotalarga ega bo‘lgan quvvatli maydoniy va bipolyar tranzistorlar, masalan. KT920, KT939, KP905, KP907 va boshqalar qoniqtiradi.



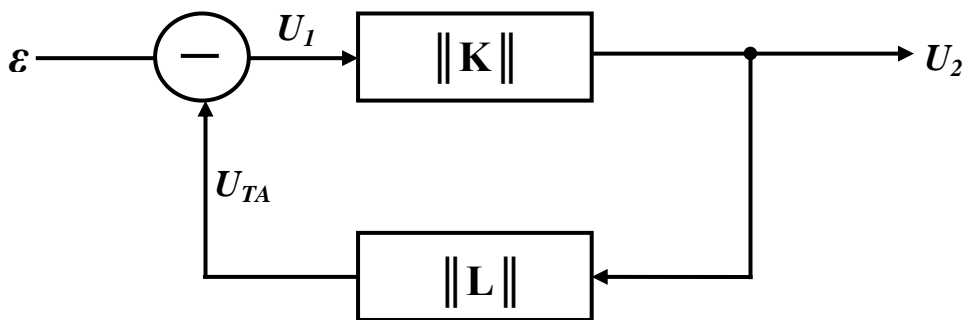
14.1- rasm. Kuchaytirgichlarning chiziqshiligini oshirish usullari

Signal manbai va yuklama qarshiliklari, KA ning ulanish sxemalarini optimallashtirish, shuningdek uning o‘zgarmas tok bo‘yicha ishlash rejimini

optimallashtiruvchi kuchaytirgichning qator xarakteristikalarini majburiy nazorat qilish sharoitlarida amalga oshirilishi kerak. Bu KA DD maksimumi hamma vaqt ham shovqin koeffitsiyenti va ma'lum nohiziqli buzilishlar turlarining minimumiga mos kelavermasligiga bog'liq.

14.3. Chiziqli manfiy teskari aloqa

Chiziqli manfiy teskari aloqadan (ChMAT) foydalanish umuman kuchaytirish traktining chiziqchilikini oshiradi (14.2- rasm).



14.2- rasm. ChMAT li kuchaytirichning tuzilish sxemasi

Lekin shu bilan bir vaqtda ChMAT zanjiri turli tartiblar nohiziqli tashkil etuvchilar va signalning o'zaro ta'sirlashishini vujudga keltiradi, bu hisoblashlarni murakkablashtiradi va ayrim hollarda kutilmagan natijalarga olib keladi. Masalan, ma'lumki, maydoniy tranzistordagi kuchaytirgichda tok bo'yicha ChMAT chuqurligi qandaydir chegaralarda oshishi bilan 2-nchi tartibli buzilishlar kamaysada, 3-nchi tartibli buzilishlar ortadi.

An'anaviy ChMAT turlaridan (kuchlanish bo'icha parallel va tok bo'yicha ketma-ket) foydalanish ham nohiziqli buzilishlar, ham kaskaddagi shovqinlarga ChMAT chuqurli ta'sirini hisobga olishi shart.

Parallel ChMAT quyidagi xossalarga ega:

- ChMAT parametrining amalda bajariladigan qiymatlari sohasida:

$$\lambda = \frac{G_{TA}}{G_{11}} \quad (14.1)$$

bu yerda G_{TA} – aloqa zanjirining o'tkazuvchanligi, N shovqin koeffitsiyenti deyarli yomonlashmaydi;

- ChMAT ning kiritilishi kattaligi G_{11} kamayganda ortadigan yutuqni beradi.

Ketma-ket ChMAT ni tahlil qilish quyidagilarni ko'rsatadi:

- umuman parallel ChMAT ga qaraganda samarador;

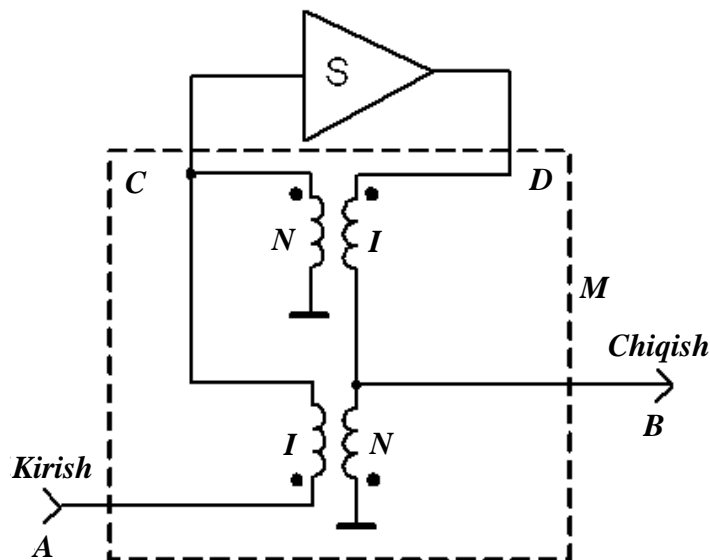
- uning kiritilishi kuchaytirgichning sezgirligini kamaytiradi;
- quvvatli tranzistorlar ishlatilganda samaradorlik yuqori.

Maxsus ChMAT turlaridan foydalanish

“Shovqinsiz” ChMAT yoki “yo‘qotishsiz” ChMAT kuchaytirgichning shovqinlari darajasini sezilarli oshirmasdan DD ni kengaytirish uchun mo‘ljallangan, bu an’anaviy rezistiv ChMATlar uchun xarakterli. Lekin rezistiv zanjirlar foydali signal quvvatini yo‘qotishlarga olib keladi va buning natijasida kuchaytirish koeffitsiyentining kamayishiga olib keladi.

Reaktiv ChMAT zanjiridan, masalan, yuqori chastotali transformatoridan foydalanish qo‘shimcha shovqinlarning paydo bo‘lishini yo‘qotadi va signal manbai bilan optimal ikki tomonlama moslashtirishni amalga oshirish imkoniyatini beradi. “Shovqinsiz” ChMAT sxemalaridan biri 14.3- rasmda keltirilgan.

Sxema *S* inverslovchi kuchaytirgich va *M* tarmoqlagichga ega. Tarmoqlagich ishchi chastotalar polosasida deyarli yo‘qotishlarni kiritmaydi, *D* nuqtada tarmoqlanadigan butun quvvat chiqishga. Ya’ni *V* nuqtaga beriladi. Bundan tashqari, *A* nuqtada olingan butun kirish quvvati ham *V* nuqtaga uzatiladi. Inverslovchi kaskad sifatida umumiy emitterli (UE) sxemadan foydalanish mumkin.



14.3- rasm. “Shovqinsiz” ChMAT li kuchaytirgich sxemasi

Tranzistorning kollektor zanjiridagi nazorat qiluvchi ChMAT (14.4- rasm) kuchaytirgichning kirish sig‘imini kamaytirish va chastotalar diapazonini kengaytirish uchun mo‘ljallanadi.

Bu sxema uchun kuchaytirgichning kirish sig‘imi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$C_{kir} = S_{kb} (1 - K_U K) + S_{eb} (1 - K_U) \quad (14.2)$$

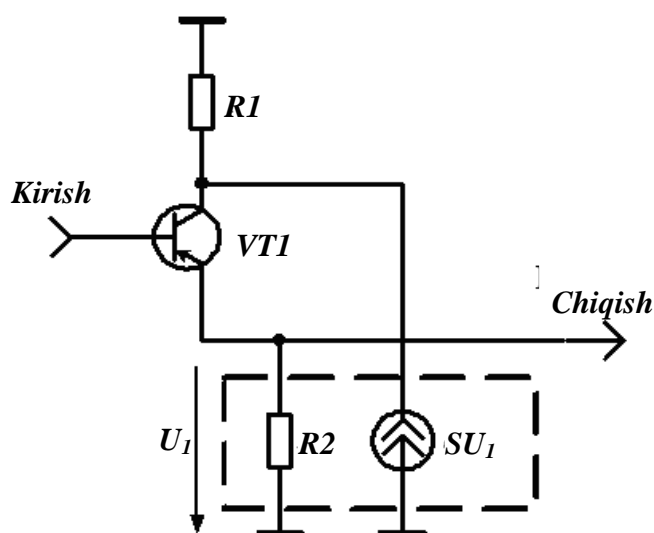
bu yerda C_{kb} va S_{eb} – tranzistor modeli sig‘imlari;

K_U va K – kuchaytirgichning mos ravishda ChMAT siz va aloqa zanjirisiz uzatish koefitsientlari.

C_{kb} va S_{eb} sig‘imlar noxiziqli hisoblanadi, shuning uchun ChMAT hisobiga ularning ta‘sirini kamaytirish noxiziqli buzilishlarni kamayishiga olib keladi.

14.4- rasmni tahlil qilishdan kelib chiqadiki:

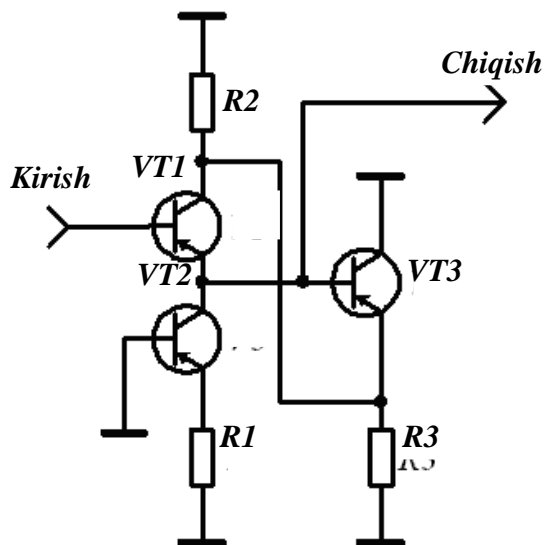
- kichik noxiziqli buzilishlarni olish uchun $K \approx 1$ bo‘lishini ta‘minlash kerak;
- birinchi shart bajarilganda noxiziqli buzilishlar teskari aloqa zanjirining uzatish koefitsiyentiga kuchsiz bog‘liq bo‘ladi.



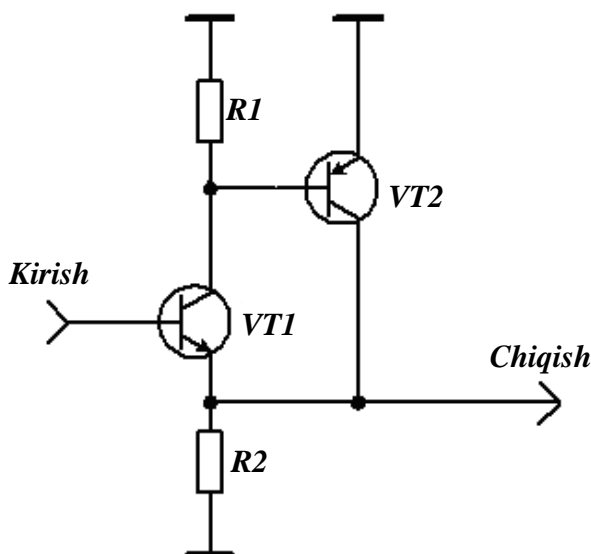
14.4- rasm. Kollektor zanjirida nazorat qiluvchi ChMATli kuchaytirgichning sxemasi

TA zanjiri odatda emitter qaytargich ko‘rinishida bajariladi. Hisoblashlar ko‘rsatadiki, $VT1$ tranzistor uchun o‘zgaruvchan tok bo‘yicha yuklama qarshiligi ortganda (14.5- rasm) noxiziqli buzilishlarni kamayishi bo‘lib o‘tadi. Bu maqsadda $R1$ rezistor o‘rniga ikki qutbli dinamik yuklamani qo‘yish kerak bo‘ladi (14.6- rasm). Bu sxemada $VT2$ tranzistor I_2 kollektor tokining ortishi K_{G3} va ΔK_{G3} qiymatlarni kamayishiga olib keladi, lekin K_{G2} qiymatni birmuncha oshiradi.

Emitter zanjirida nazorat qiluvchi ChMAT li kuchaytirgich sxemasi uchun (14.6- rasm) $VT2$ tranzistor I_2 kollektor tokining o'zgarishida K_{G2} qiymat chuqur minimumining bo'lishi xarakterli.

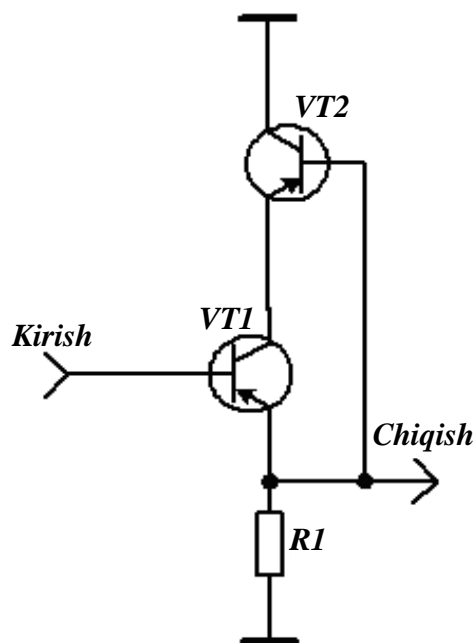


14.5- rasm. Dinamik yuklamali kuchaytirgich sxemasi



14.6- rasm. Emitter zanjirida “nazorat qiluvchi” ChMATLI kuchaytirgich sxemasi

“Ravon ta’minotli” kuchaytirgich (14.7- rasm) nochiziqli buzilishlarni samarali kamaytiradi, lekin nisbatan tor chastotalar diapazoniga ega.



14.7- rasm. “Ravon ta’minotli” kuchaytirgich sxemasi

14.4. Kuchaytirish traktlarini chiziqslashtirish tuzilmaviy usuli

Zanjirlarni nochiziqlilik mezoni bo‘yicha tuzilmaviy sintezlash usulining tarkibi quyidagicha:

- alohida nochiziqli elementlar va ularning bog‘lanishlariga bog‘liq bo‘lgan kichik buzilishlarni qoniqtiradigan zanjirlarning tuzilmalarini aniqlash;
- tanlangan tuzilma tarmoqlarining xarakteristikalarini bilan nochiziqlilik mezonlarining aloqalarini topish;
- tuzilmaning elementlari orasidagi optimal nisbatlarni o‘rnatish.

Yakuniy tuzilma va tarmoqlarning xarakteristikalarini boshqa sifat ko‘rsatkichlarini (kuchaytirish koeffitsiyenti, barqarorlik, tuzilmani yig‘ish murakkabligi va h.k.) hisobga olish bilan tanlanadi.

Berilgan sifat ko‘rsatkichlarini qoniqtiradigan radiotraktning tuzilmasini qidirish umumiy holda, ma’lumki, sezilarli qiyinchiliklarni tug‘diradi, shu tufayli radioelektron apparaturalarni bu loyihalash bosqichi hozirgi vaqtgacha ayrim xususiy hollardan tashqari, algoritmlashtirilmagan. Shuning uchun kichik nochiziqli buzilishli kuchaytirish traktlarini ishlab chiqishda eng foydali tuzilmalarni qidirish to‘plangan tajribaga asosan, masalan, TA li tuzilmalar, ikki taktli sxemalar va boshqalardan foydalanish bilan amalga oshiriladi.

Lekin hozirgi vaqtda kuchaytirish-o‘zgartirish qurilmalarining, ayniqsa, integral bajarilishdagi qurilmalarning tuzilmalari sezilarli murakkablashdi. Ular o‘z tabiati bo‘yicha ko‘p sonli aktiv nochiziqli komponentlar, bir necha TA

zanjirlari (mahalliy va umumiy) va kirishdan chiqishga signalning to'g'ri o'tishi zanjirlari va boshqalarga ega bo'lishi mumkin. Bu o'z navbatida, kichik nochiziqli buzilishlar talablarini qoniqtiradigan traktlar tuzilmalarini qidirishga umumiy yondashishlarni yaratish masalasini qo'yadi.

Sezgirlik Volter funksional qatorlari apparat va yo'naltirilgan signallar graflari nazariyalari asosidagi yuqori chiziqli traktlarni tuzilmaviy sintezlash yetarlicha umumiy usullari taklif etilgan.

Sezgirlik nazariyasi kuchaytirish traktlarining chiziqli xossalarini tadqiq qilish uchun keng ishlatiladi. Lekin taxmin qilish mumkinki, kuchaytirish traktlarining bir yoki bir necha bo'g'inlari parametrlarining o'zgarishlarini uning chiziqli uzatishiga ta'sirini kamaytirish bu bo'g'inlarning chiqish samarasiga nochiziqli buzilishlar hissasini kamaytirishga ham yordam beradi.

Zamonaviy radioelektron apparatura sezilarli murakkablashish yo'nalishiga ega va katta integratsiya darajasili integral mikrosxemalar va diskret elementlarning murakkab ulanishi ko'rinishidagi juda murakkab komponentlarni ishlatadi. Shuning uchun axborot xabarlarini qabul qilish va ishlov berish texnikasiga, birinchi navbatda, chiziqchilikka qat'iy talablar qo'yiladi.

Qandaydir radiotexnik tizimning kuchaytirish yoki o'zgartirish trakti funksional komponentlardan tashqari, turli teskari aloqa turlari, parallel kanallar, kompensatsiyalash zanjirlari va boshqalarga ega bo'lgan murakkab tuzilma hisoblanadi. Bunda traktlarning elektr xarakteristikalarini yaxshilashga quyidagi ikkita yo'llar orqali erishish mumkin:

- traktning tashkil etadigan bo'g'inlarning (kaskadlarning) sifatini oshirish hisobiga;
- traktning o'zining tuzilmaviy xossalarini yaxshilash hisobiga, bu kuchaytirish va passiv bo'g'inlarni o'zaro ulanishi usullarini optimallashtirish bilan ta'minlanadi.

Bunda optimallashtirish, avvalo, kuchaytirish traktining uning bo'g'inlariga qaraganda yuqori sifat ko'rsatkichlariga erishishga yo'naltirilishi kerak.

Tavsiflangan chiziqchilikka yondashishlar oldin oddiy va kam samarali tuzilmaviy va sxemaviy yechimlarga yo'naltirilgan, texnikada qo'llanilmagan prinsiplarni ishlatishga imkon beradi.

Nazorat savollari

1. Buzilishlarning sabablari nimada?
2. Buzilishlar turlarini sanab o'ting va tavsiflang.
3. Chiziqli buzilishlar qanday turlarga bo'linadi?
4. Nochiziqli buzilishlar qanday turlarga bo'linadi?

5. Kuchaytirgichlarning chiziqliligini oshirish usullarini ta'riflang.
6. ChMAT nima? ChMATli kuchaytirichning tuzilish sxemasini tushuntiring.
7. ChMAT qanday xossalarga ega?
8. ChMATning qanday turlari mavjud?
9. Maxsus ChMAT turlaridan foydalanishning afzalliklari nimada?
10. Traktlarning elektr xarakteristikalarini yaxshilashga qanday erishish mumkin?

15- BOB. MOBIL ALOQA TIZIMLARINING MAYDONIY TRANZISTORLAR ASOSIDAGI RADIOCHASTOTAVIY QUUVVAT KUCHAYTIRGICHLARI

15.1. RCh va ta'minot bo'yicha QKning impulsli ishlash rejimi

Quvvat kuchaytirgichi (QK, *Power Amplifier* (PA)) kirishiga beriladigan signal quvvatini kuchaytirish uchun mo'ljallangan funksional tugun hisoblanadi. Quvvat kuchaytirgichi RCh blok uzatish trakti tarkibiga kiradi va uning chiqishiga qo'yiladi. Radiochastotaviy QK antenna yoki kabelli aloqa liniyasi hisoblanadigan past omli yuklamadan (standart 50 yoki 75 Om) foydalanish bilan ishlay olish qobiliyatiga ega.

Ma'lumki, ko'plab aloqa tizimlarida TDMA rejimi ishlatiladi, bunda modulyatsiyalangan RCh jo'natma (paket) bo'lgan RCh signal ajratilgan taymslot vaqtida juda qisqa vaqtga quvvat kuchaytirgichiga beriladi. RCh jo'natmaning davomiyligi ularning takrorlanishi davridan (kadrning uzunligidan) juda kichikli sababli quvvat kuchaytirgichi RCh bo'yicha impulsli rejimda (*Pulsed-RF*) ishlashi maqsadga muvofiq. Mos ravishda QK faqat bu RCh jo'natmani uzatish vaqtida yoqiladi. Bu QKga ta'minot kuchlanishini faqat RCh jo'natmani uzatish vaqtida berilishi yo'li bilan bo'lib o'tadi, ya'ni ta'minot bo'yicha impulsli rejim (*Pulsed bias*) ishlatiladi.

QKning ta'minot bo'yicha impulsli ishlash rejimi quyidagicha: Ta'minot kuchlanishi qurilmaga uning kirishida RCh signal impulsi paydo bo'lgunga qadar beriladi va RCh signal yo'qolishi bilan o'chadi.

Zamonaviy HOATlarda qo'llash uchun mo'ljallangan QK ko'plab xarakteristikalarini baholashda ularning ta'minot va RCh bo'yicha impulsli ishlash rejimlarini hisobga olish zarur. Qurilmalarni impulsli RCh rejimda tahlil qilish RCh paketni shakllantirishda quvvat kuchaytirgichning o'zini tutishini tadqiq qilishga imkon beradi. Quvvat kuchaytirgichlarining xarakteristikalarini olishda, odatda, RCh signal uning kirishiga uzoq vaqtga yoki umuman doimo beriladi. Lekin raqamli HOAT lar qurilmalarida foydalanish uchun mo'ljallangan zamonaviy ko'plab QK lar kirish RCh signalining yoki QK haroratining o'ta ortishi (o'ta qizishi) xavfi tufayli ta'minot kuchlanishining doimiy berilishida ishlay olmaydi.

QK ishchi haroratini stabillash kirish RCh signalining berilgan doimiy sathida kuchaytirgichlarni testlashda ular ishdan chiqmasligi uchun zarur, chunki bunda mikrosxemaning ichida yoki uning tagligidagi haroratni kamaytirish qiyin. QK ni past quvvatlar sathlari berilishida testlash esa mumkin emas, chunki bunda olingan natijalar katta sathli signallar bilan ishlashdan olingan xarakteristikalaridan

sezilarli farqlanadi. RCh bo'yicha impulsli rejimdan foydalanish esa QKlarni real ishlatish sharoitlariga yaqin bo'lgan oshirilgan kirish va chiqish quvvatlari bilan o'lchashlarni amalga oshirishga imkon beradi.

Asosan, RCh bo'yicha impulsli ishlash rejimida QKning xarakteristikalarini o'lchash ta'minot bo'yicha ham impulsli ishlash rejimiga qo'shimcha talablar orqali qiyinlashadi. Shuning uchun ta'minot manbaining chiqishida past induktivlikli ta'minot kuchlanishi yuqori tezlikli kommutatsiyalash qurilmalari qo'llanadi.

Ta'minot manbaini kommutatsiyalash uchun modulyatsiyalangan RCh signalga qaraganda kengroq impuls ishlatiladi. QKga ta'minot RCh signal impulsi paydo bo'lguncha beriladi va RCh signal yo'qolishi bilan uziladi. Ta'minot bo'yicha impuls ma'lum ortish vaqtiga ega bo'lib, u minimal bo'lishi, lekin old frontdagi keskin o'sishning kamayishi va RCh impuls boshlanguncha ta'minot stabilanishi uchun minimal bo'lishi kerak. Odatda, ta'minot manbai, tok va ishchi sikli orasida aloqa mavjud, chunki impulsli ta'minot manbai ta'minlashi mumkin bo'lgan maksimal quvvat o'zgarishi mumkin.

Impulsli rejimda QKning xarakteristikalarini o'lchash uchun QKning chiziqli va nochiziqli parametrlarini aniqlashga imkon beradigan maxsus asboblar qo'llanadi.

15.2. HOAT qurilmalari QK larining asosiy ishlash rejimlari

Mobil aloqa qurilmalari uchun quvvat kuchaytirgichlari berilgan buzilish darajasi va maksimal bo'lishi mumkin foydali ish koeffitsiyentili signalni kuchaytirilishini ta'minlashi kerak. Shuning uchun quvvat kuchaytirgichini loyihalashdan oldin ishlab chiquvchi qator cheklashlar va talablarni hisobga olish bilan QK ning ishlash rejimini tanlashi kerak.

QK ning *A sinfdagi* ishlash rejimi tokning kesishsiz ishlashi rejimi (kesish burchagi $\Theta = 180^0$) hisoblanadi. Bunda chiqish tokining shakli kirish ta'sirining shaklini takrorlaydi. Bu rejim past chiqish quvvati va kichik foydali ish koeffitsiyenti (FIK) bilan xarakterlanadi. Bu holda o'zgaradigan amplitudali tebranishlarni eng yaxshi chiziqli kuchaytirishga erishiladi.

QK ning *B sinfdagi* ishlash rejimi chiqish tokini kesish burchagi $\Theta = 90^0$ bo'ladigan rejim hisoblanadi. 50 dan 90% gacha oshirilgan FIK va oshirilgan nochiziqli buzilishlar bilan xarakterlanadi.

Shunday qilib, *B sinfdagi* kuchaytirishda A sinfdagi rejimga qaraganda osoyishtalik rejimida tranzistorda sochiladigan sezilarli quvvat hisobiga energetik ko'rsatkichlarni sezilarli yaxshilanishi kuzatiladi. Shuning uchun V sinfdan o'rta

va katta quvvatli kuchaytirgichlardan foydalanish afzalroq. Bu rejimda kaskad FIK ining qiymatini 70 gacha yetkazish mumkin.

B sinfda ishlaydigan kuchaytirgichlarning asosiy kamchiligi chiqish kuchlanishining sezilarli nochiziqli buzilishlari hisoblanadi. Kuchaytirilgan signalning katta buzilishlari B sinfdagi kuchaytirish HOAT qurilmalari quvvat kuchaytirgichlarida deyarli ishlatilmasligiga sabab hisoblanadi.

QK ning *A B sinfdagi* ishlash rejimi chiqish tokining kesish burchagi $90^{\circ} < \Theta < 180^{\circ}$ chegaralarda yotadigan va qo'zg'atish kuchlanishining amplitudasi o'zgarganda o'zgaradigan rejim hisoblanadi. Yuqori FIK da chiqish signalining uncha katta bo'lmagan buzilishlarini olishga imkon beradi.

QK ning *C sinfdagi* ishlash rejimi chiqish tokining kesish burchagi $\Theta < 90^{\circ}$ bo'ladigan rejim hisoblanadi. Bu rejim yuqori FIK va yuqori nochiziqli buzilishlar darajasi bilan xarakterlanadi.

Kalit rejimlar

Kalit rejimida (D, E, F sinflar) ishlaydigan quvvat kuchaytirgichlari kesish rejimida yoki to'yinish rejimida bo'ladi va shuning uchun chiqish zanjiridagi yo'qotishlar juda kichik bo'ladi. Shunday qilib, kalit rejimida ishlaydigan HOAT qurilmalari QK chiqish zanjiridagi tok faqat I_{kmax} va I_{kmin} qiymatlarni qabul qilishi mumkin. Shuning uchun bunday QKning FIK i juda yuqori va hatto 100% ga yaqin bo'lishi mumkin. Kamchiligi esa yuqori nochiziqli buzilishlar hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda HOATda AB sinfdagi kuchaytirgichlar ishlatiladi. Chunki yuqori FIK da chiqish signalining uncha katta bo'lmagan buzilishlarini olish ta'minlanadi. Bu sinfning kamchiligi yuqori FIK ga chiqish quvvatining maksimal sathida erishish hisoblanadi. Doimiy og'diruvchili modulyatsiyalashni ishlatadigan zamonaviy aloqa tizimlari uchun esa bu kamchilikni yo'qotish kalit rejimida, masalan, E sinfda ishlaydigan kuchaytirgichlardan foydalanishga imkon beradi.

E sinf

Bu sinf keng chiqish quvvatlari sathlari diapazonlarida yuqori FIK ni ta'minlashi bilan ajralib turadi. E sinfdagi QK ning kamchiliklariga yuqori nochiziqli buzilishlar darajasi kiradi. Bu kamchilik QK ning differensial ulanish sxemasidan foydalanish yo'li bilan yo'qotilad. E sinfdagi differensial kuchaytirgichlar turli nobarqarorlashtiruvchi omillar ta'sir qilganda parametrlarning yuqori stabilligiga, differensial signallarni katta kuchaytirish koeffitsiyentiga va nochiziqli halaqitlarni yuqori so'ndirish darajasiga ega.

15.3. HOAT RCh bloklari quvvat kuchaytirgichlarining parametrlari

QKning parametrlari ko'p jihatdan harakatdagi aloqa tizimiga standartlar tavsiflaydigan tizimning xarakteristikalarini aniqlaydi. Lekin kuchaytirgichning

qator parametrlari, masalan, uning FIK i ichki parametr hisoblanadi va u ishlab chiquvchining o'zi tomonidan tanlanadi.

HOAT RCh bloklarida ishlatiladigan quvvat kuchaytirgichlarining asosiy parametrlari va xarakteristikalari quyidagilar hisoblanadi:

- Kuchaytirish koeffitsiyenti va uning notekisligi (*Gain and flatness*);
- Chastotaviy-fazaviy xarakteristika (*Phase*);
- Guruhli kechikish (*Group delay*);
- Qaytishga yo'qotishlar (*Return loss*);
- Kuchlanish bo'yicha turg'un to'lqin koeffitsiyenti (KTTK) (*Voltage Standing-Wave Ratio, VSWR*)
- To'liq kirish qarshiligi (*Input impedance*);
- To'liq chiqish qarshiligi (*Output Impedance*);
- Chiqish kanal quvvati (*Output channel power*);
- Egallanadigan chastotalar polosasi (*Occupied band width*);
- Garmonik buzilishlar (*Harmonic distortion*).

QKning foydali ish koeffitsiyenti

Signalni uzatishga bog'liq ko'plab ilovalarda kuchaytirgich ta'minot manbaidan iste'mol qiladigan quvvatni qiymati asosiy omil hisoblanmaydi. Lekin mobil aloqa tizimlarining abonentlar qurilmalarida akkumulyator yoki batareyali ta'minotdan foydalanishda iste'mol quvvati bo'yicha cheklashlar aniqlovchi hisoblanadi. Bu holda QK iste'mol qiladigan quvvat zaryadlashsiz ta'minot manbalarining ishlash vaqtini oshirish uchun minimallashtirilishi kerak.

Ideal QK faqat xabarni uzatishni amalga oshirish uchun quvvatni iste'mol qiladi, ya'ni chiqish quvvatini kuchaytirgich ta'minot manbaidan iste'mol qiladigan quvvatga nisbati unda birga teng bo'ladi:

$$RCh_{iq} / R_{ta'm} = 1$$

Quvvat kuchaytirgichining samaradorligini (*Efficiency*) xarakterlaydigan uning bu ishlash sifati ko'rsatkichi foydali ish koeffitsiyenti deyiladi va kuchaytirgichning ta'minot manbai kuchlanishi energiyasini uzatkichning chiqish RCh quvvatiga o'zgartirish samaradorligini xarakterlaydi. QK RCh blokdagi ta'minot manbai energiyasining asosiy iste'molchisi hisoblanadi, shuning uchun kuchaytirgichni ishlab chiqishdagi muhim masala QK qanchalik samarali bu o'zgartirishni amalga oshirishini baholash hisoblanadi. Ingliz tilidagi adabiyotlarda FIK ning uchta turli turlari keng ishlatiladi:

- Sanoat foydali ish koeffitsiyenti (*Drain Efficiency*) quyidagicha aniqlanadi:

$$FIK_{san} = RCh_{iq} / R_0 \quad (15.1)$$

bu yerda RCh_{iq} – kuchaytirgich chiqishidagi RCh quvvat;

R_0 – QK o‘zgarimas tok ta’minot manbaidan iste’mol qiladigan quvvat.

- Ingliz tilidagi adabiyotlarda *PAE (Power Added Efficiency)* sifatida belgilanadigan qo‘shilgan quvvat FIKi yoki quvvatlarni qo‘shish FIKi past kuchaytirish koeffitsiyentli qurilmalarda ishlatiladigan FIKning boshqa o‘lchovi bo‘lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$FIK_{yig‘} = PAE = (RCh_{iq} - R_{kir}) / R_0 = (1 - 1 / G) RCh_{iq} / R_0 \quad (15.2)$$

bu yerda R_{kir} – kirishdagi RCh quvvat;

G – qurilmaning quvvat bo‘yicha kuchaytirish koeffitsiyenti.

RAE QK samaradorligini baholashning nozikrok vositasi hisoblanadi, u past voltli ta’minotdan foydalanishda va chiqish quvvatining sezilarli ulushi YuCh signal kirish quvvatidan keladigan uncha katta bo‘lmagan kuchaytirish koeffitsiyentli qurilmalar uchun qo‘llaniladi. Bu samaradorlikni baholash o‘lchovi bipolyar tranzistorlarga qaraganda kuchlanish bo‘yicha yomon parametrlarga ega bo‘lgan maydoniy tranzistorlarda yig‘ilgan kaskadlarda keng tarqalgan.

- Umumiy yoki natijaviy FIK (*overall efficiency*) quyidagicha aniqlanadi:

$$FIK_{nat} = RCh_{iq} / (R_0 + R_{kir}) \quad (15.3)$$

PAE qo‘shilgan quvvat FIKi va natijaviy foydali ish koeffitsiyenti QK ishlash samaradorligining asosiy ko‘rsatkichlari hisoblanadi, chunki ular talab qilinadigan FIKni olish uchun ishlatiladigan kuchaytirgichning qo‘zg‘atish quvvatini hisobga oladi. Lekin nafaqat ular kuchaytirgichning sifatini xarakterlaydi, yana QKning kuchaytirish koeffitsiyenti kabi ko‘rsatkich bor. Umumiy foydali ish koeffitsiyenti bir xil sanoat FIKli, lekin quvvat bo‘yicha turli kuchaytirish koeffitsiyentli ikkala QKlar orasida farqni o‘tkazishi mumkin.

Ravshanki, quvvat bo‘yicha katta kuchaytirish koeffitsiyentli QK samaraliroq bo‘ladi, chunki qo‘zg‘atishga sarflanadigan kam quvvatni talab qiladi. *PAE* qo‘shilgan quvvat FIKi va FIK_{nat} natijaviy foydali ish koeffitsiyenti bu holatni aks ettiradi, shu bilan bir vaqtda sanoat FIKi bu holatni aks ettirmaydi.

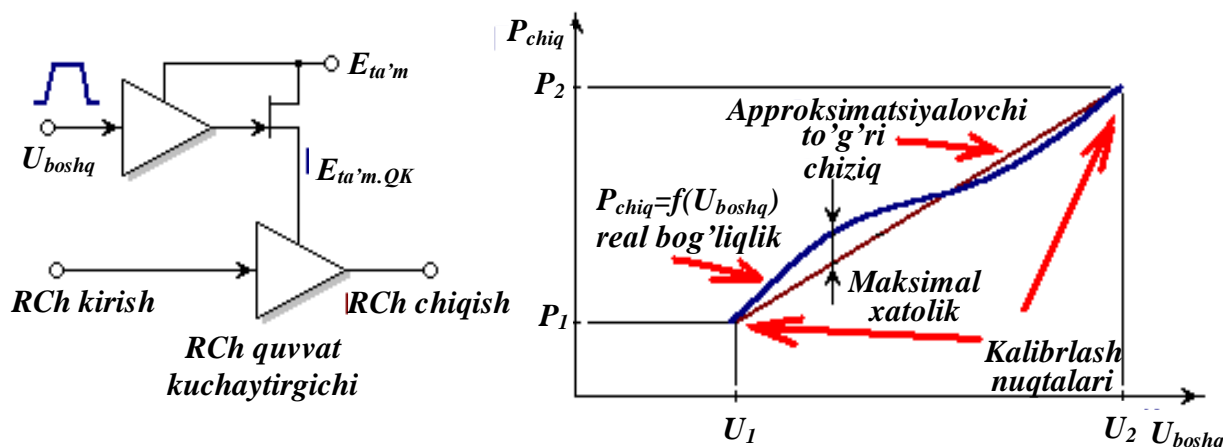
Yuqorida ko‘rib chiqilgan uchta FIKlar turlari quvvat kuchaytirgichlarining ekspluatatsion sifatini xarakterlash uchun ishlatiladi. Ideal QK uchun umumiy foydali ish koeffitsiyenti taxminan birga teng, ya’ni chiqish quvvati ta’minot manbaidan iste’mol qilinadigan quvvatga aynan teng. Bu holda yo‘qotishlar 0 % ni

tashkil etadi. Haqiqatda, quvvat kuchaytirgichining FIKi, ayniqsa, yuqori chastotalar sohalarida 100 % ga teng emas.

15.4. Chiqish quvvatini boshqarish va QKni kommutatsiyalash

Yuqorida aytilganidek, ishlatiladigan RCh jo‘natmalar og‘diruvchisining shakli HOATda, asosan, mos me‘yoriy hujjatlar orqali me‘yorlashtiriladi. Og‘diruvchini shakllantirish va quvvatni rostlash uzatish traktining quvvat kuchaytirgichlarida amalga oshiriladi. Bu maqsadda quvvat kuchaytirgichiga QK ni yoqish va o‘chirish uchun alohida boshqarish signali beriladi. Quvvat kuchaytirgich eng oddiy RC-zanjir yoki murakkabroq sxemalar yordamida boshqarilishi mumkin. Ishlatiladigan boshqarish usuli quvvat kuchaytirgichlarini ishlab chiqaruvchi tomonidan aniqlanadi.

QK chiqish quvvati qiymatini uning ta‘minot kuchlanishi qiymatini o‘zgartirish bilan eng oddiy boshqarish (*Supply Voltage Control Technique*) mumkin. Bu holda ta‘minot kuchlanishi RCh quvvat kuchaytirgichiga maydoniy tranzistor orqali beriladi, uning zatvoriga o‘zgarmas kuchaytirish koefitsiyentili kuchaytirgich chiqishidan talab qilinadigan shakldagi boshqarish kuchlanishi qo‘yiladi. Bu sxemada QK chiqishidagi RCh quvvat kuchaytirgich $E_{QK.ta'm}$ ta‘minot kuchlanishi qiymatiga proporsional bo‘ladi. Maydoniy tranzistor sxemada QK ning ta‘minot kuchlanishini 0 dan $E_{ta'm}$ qiymatgacha o‘zgartirishga imkon beradigan rostlanadigan qarshilik sifatida ishlatiladi (15.1- rasm).



15.1- rasm. Ta‘minot kuchlanishini o‘zgartirish yo‘li bilan uzatkichning chiqish quvvatini boshqarish

Quvvatni statik va dinamik rostlash uchun zarur shakldagi U_{boshq} boshqarish kuchlanishi qo‘shimcha kuchaytirgichning kirishiga beriladi. Qurilmaning tezkorligi juda yuqori olinadi va bu uslub yana yuqori sathli modulyatsiyalash

(*high-level modulation*) sifatida ma'lum bo'lib, u oldin quvvatli AM uzatkichlarda ishlatilgan.

Boshqarish kuchlanishiga bog'liq ravishda QK chiqish quvvatini aniq qiymatini bashoratlash uchun tizimning uzatish xarakteristikalari ma'lum bo'lishi kerak, buning uchun qurilmani kalibrlash amalga oshiriladi. Bunda ikkita nuqtalar uchun qidirilayotgan $RCh_{iq} = f(U_{boshq})$ bog'liqlikni o'lchashni amalga oshirish va mos chiziqli tenglamaning koeffitsientlarini topish yetarli bo'ladi.

Boshqarish signali va chiqish RCh quvvat orasidagi chiziqli moslikni ishlatadigan ko'rib chiqilgan RCh quvvat kuchaytirgichini boshqarish usuli quyidagi bir necha afzalliklarga ega:

- Chiqish quvvatini boshqarish kuchlanishiga bog'liqligi yetarlicha oddiy kalibrlash yordamida olinadi;
- RCh paketning vaqt niqobi talablarini qoniqtiradigan zarur shakli zarur boshqarish signalini tanlash bilan oson olinishi mumkin;
- QK kommutatsiyalash jarayoniga bog'liq chiqish ikkinchi darajali tashkil etuvchilari oson minimallashtiriladi.

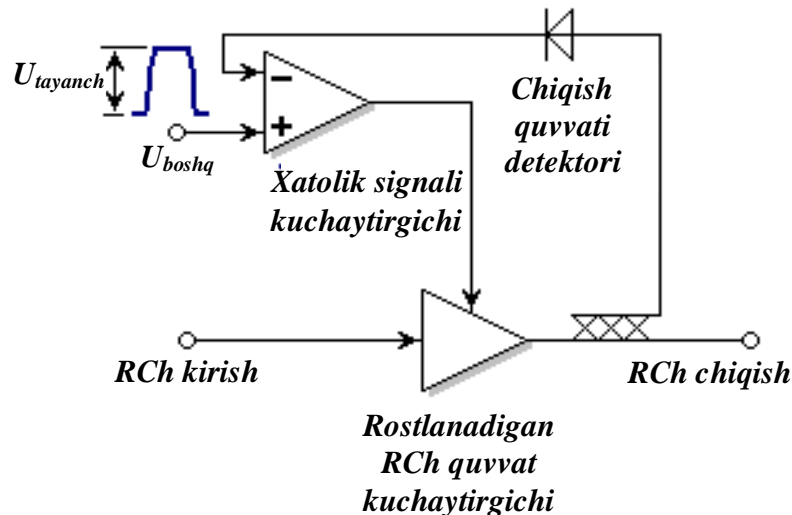
O'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar ko'rsatadiki, 30 dB dan ortiq diapazonda chiqish quvvatini o'zgartirishda maksimal absolyut boshqarish xatoligi atigi 1,0 dB ni tashkil etdi. Lekin ko'plab hollarda QK ni boshqarishning bunday aniqligi HOAT standartlari talablarini qoniqtirish uchun yetarli emas, bu qaralayotgan usulning kamchiligi hisoblanadi.

Bundan tashqari, boshqarish xatoligi atrof-muhit sharoitlari o'zgarganda, QK yuklamasi nomuvofiqlashganda va boshqa omillarning ta'sirida keskin ortadi. Shuning uchun QKni bunay boshqarish usuli, asosan, oddiy radiouzatish qurilmalarida, xususan, DECT qurilmalarining RCh bloklarida qo'llanadi.

Teskari aloqa yopiq halqasi yordamida QK ni boshqarish usuli

Chiqish RCh quvvatni boshqarish teskari aloqa yopiq halqasi (*Closed Loop Control*) yordamida bajarilishi mumkin. 15.2- rasmda tasvirlanganidek, RCh signal qismi kuchaytirgichning chiqishidan yo'naltirilgan tarmoqlagich yoki sig'imli bo'lgich yordamida olinadi va detektorlanadi (masalan, Shotki texkor diodalari yordamida). Natijada olinadigan chiqish quvvati qiymatiga proporsional signal XSK xatolik signali kuchaytirgichida axborot traktining RAO' sidan beriladigan $U_{tayanch}$ tayanch kuchlanishi (*Reference Voltage*) bilan taqqoslanadi.

Halqa o'lchangan kuchlanish va tayanch kuchlanishlarini tenglash bilan quvvat kuchaytirgichining kuchaytirish koeffitsiyentini boshqaradi. Tayanch kuchlanishining joriy qiymati chiqish RCh quvvatning qiymatini aniqlaydi. Quvvatni boshqarish, shu jumladan, dinamik boshqarish tayanch kuchlanishini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi.



15.2- rasm. TA halqasida uzatkichning chiqish quvvatini boshqarish

Bu yondashishning asosiy kamchiliklari quyidagilardan iborat:

- Aloqa qurilmalarida chiqish quvvatini yo‘qotilishi bo‘lib o‘tadi. Yo‘naltirilgan tarmoqlagich kiritadigan yo‘qotishlar 1-2 dB ga yetishi mumkin;
- Dinamik diapazon detektor diodi orqali cheklangan va maxsus choralar qo‘llanmasa 20 dB larni tashkil etadi;
- Halqaning kuchaytirish koeffitsiyenti qurilmaning stabilligi va boshqarish aniqligi muammolarini keltirib chiqarish bilan ishchi dinamik diapazonda sezilarli o‘zgarishi mumkin.

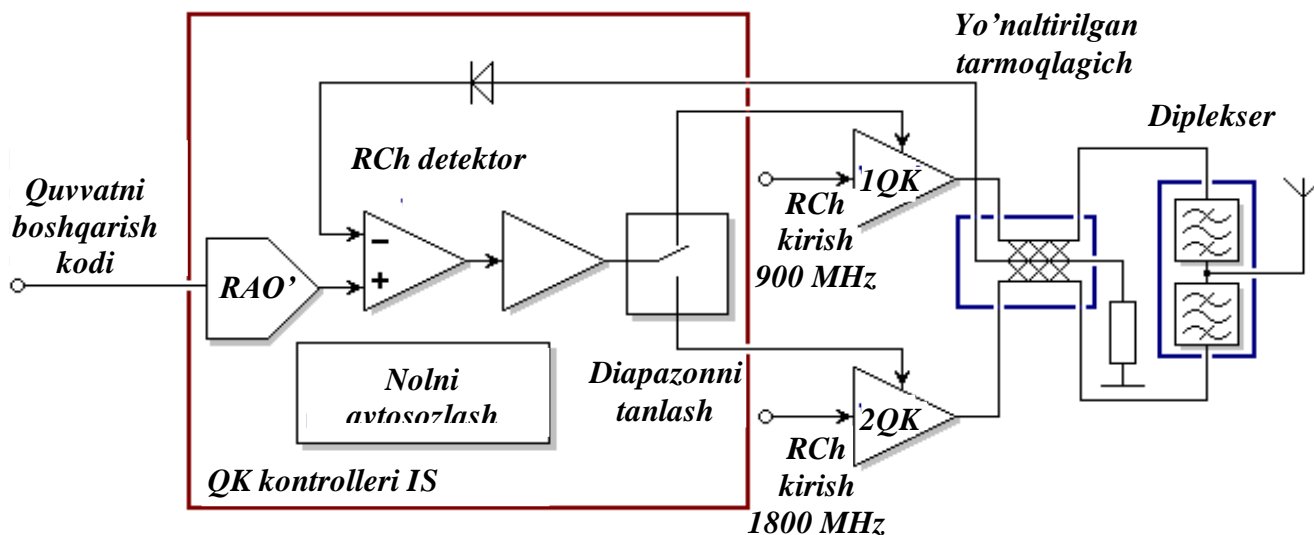
Lekin bu usulning afzalligi oldingi ko‘rib chiqilgan usulga qaraganda chiqish quvvatini prinsipial yangi boshqarish aniqligini ta’minlash imkoniyati hisoblanadi. Shuning uchun teskari aloqa yopiq zanjiri yordamida chiqish quvvatini boshqarish zamonaviy raqamli HOATlar RCh bloklarida keng qo‘llanadi.

Quvvat kuchaytirgichlarining kontrollerlari

Qator kompaniyalar RCh kuchaytirgichlarni boshqarishga kiradigan tugunlarni IS ko‘rinishida bajariladigan alohida qurilmaga birlashtirishni amalga oshiradi. Bunday qurilmalar RCh quvvat kuchaytirgichlari kontrollerlari (*Power Controller*) nomini oldi. QK RCh kontrolleri bu uzatkichning chiqish quvvatini aniq o‘lchash va chiqish QKni dinamik boshqarishni amalga oshiradigan qurilma hisoblanadi. QK RCh ikki diapazonli kontrollerining asosiy tuzilmasi va ulanish sxemasi 15.3- rasmda keltirilgan.

IS korpusi ichida kontrollerlarning bajarilishida unda bir necha funksional tugunlar - RCh detektor, chiqish quvvatini boshqarish kanalining kuchaytirgichi, raqamli-analog o‘zgartirgichlar, atrof-muhit parametrlari va avvalo, harorat o‘zgariganda quvvatni boshqarish aniqligi yaxshilash uchun zarur bo‘ladigan nolni

avtomatik sozlash qurilmasi (*Autozero section*) joylashtiriladi. Kontrollerga analog boshqarish signali ham berilishi mumkin. Bu holda kontrollerlar ARO'ga ega bo'lmaydi, boshqarish signalini dastlabki analog-raqamli o'zgartirish esa axborot YUK traktda bo'lib o'tadi.



15.3- rasm. Quvvatni roslash tugunida ikki diapazonli kontrollerining qo'llanishi

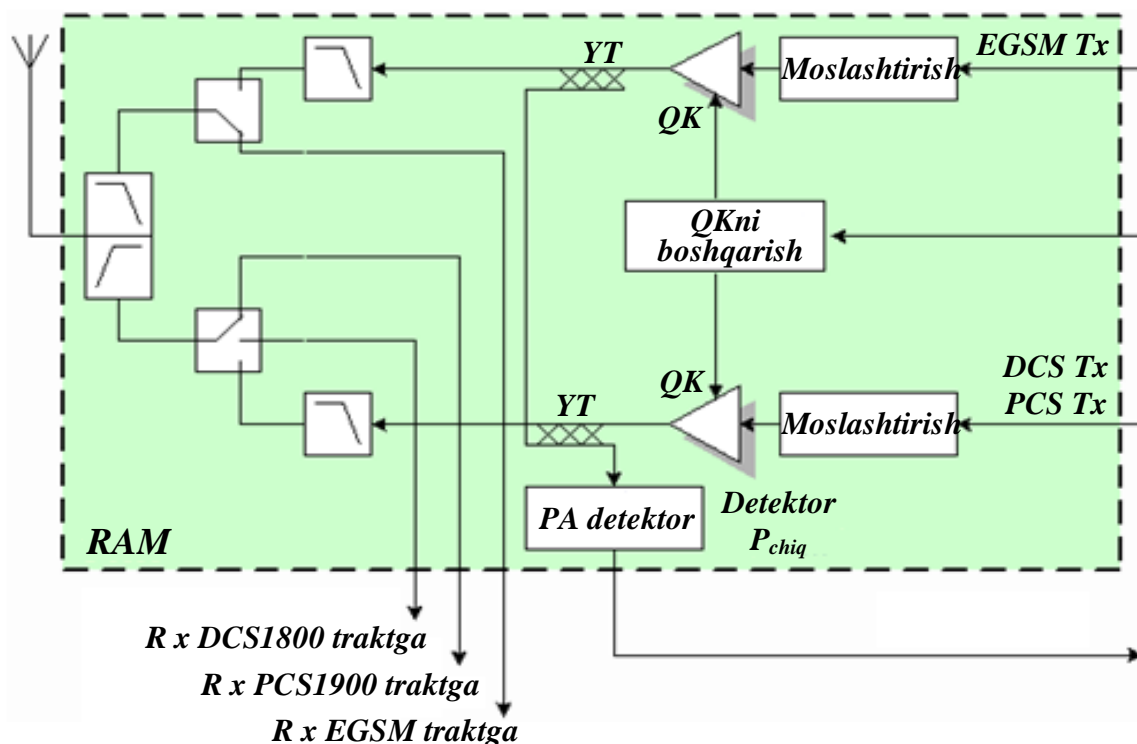
15.5. PAM quvvat kuchaytirgichlari modullari

Ishlab chiqaruvchi kompaniyalar bitta modulda uzatkichning quvvatni kuchaytirgichlari, moslashtirish qurilmalari, chiqish filtrlari (duplekserlar, diplekserlar va PChF) va qayta ulagichlarni birlashtiradi (15.4- rasm). Bu RCh blokning vazn-hajm parametrlarini yaxshilashga, uning narxini pasaytirishga imkon beradi. Bunday integral komponentlar RAM (*Power Amplifier Modules*) quvvat kuchaytirgichlari modullari nomini oldi.

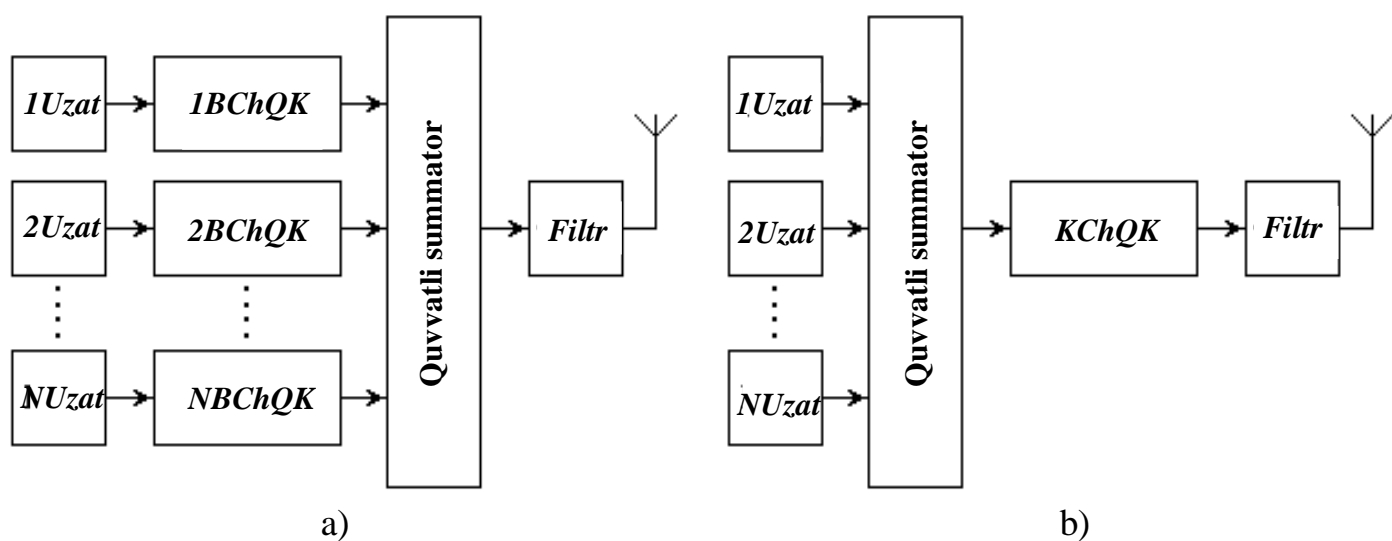
Bitta chastotali quvvat kuchaytirgichlari

Bugungi kunga kelib ko'pchilik HOAT bazaviy stansiyalarining quvvat kuchaytirgichlari ildiz otgan bir chastotali quvvat kuchaytirgichlari (BChQK) yoki SCPAga (*Single Carrier Power Amplifier*) asoslangan (15.5a- rasm).

Talab qilinadigan sig'imni ta'minlash uchun (sektorga to'rtta yoki sakkizta chastotalar), odatda, tashuvchi chastotalarni individual quvvat kuchaytirgichlari orqali alohida dastlabki kuchaytirish ishlatilgan. Keyin bu tashuvchi chastotalar qo'shilgan va standart qo'shish usullaridan, masalan, avtosozlashli yoki ko'priqli qo'shishdan foydalanish bilan antennaga uzatilgan.



15.4- rasm. Quvvat kuchaytirgichi modulining asosiy tuzilmasi

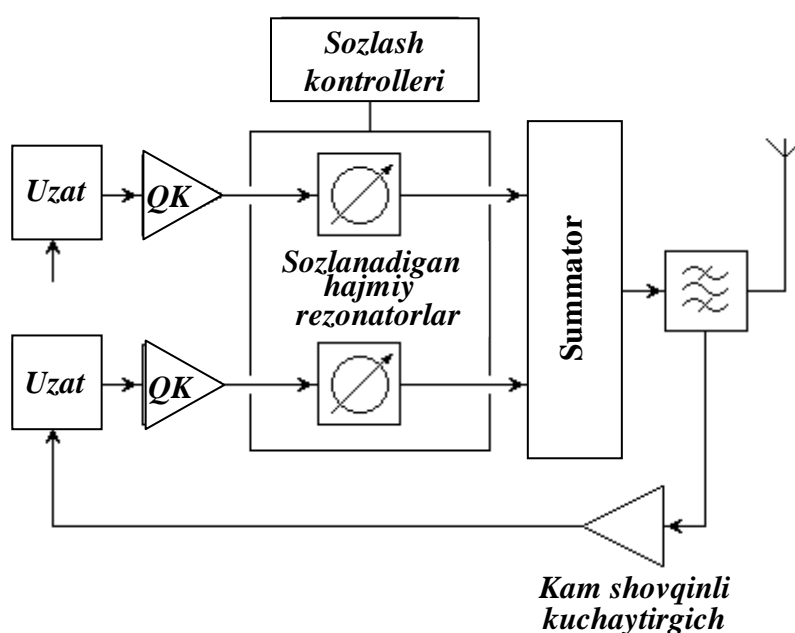


15.5- rasm. BM radiuzatkichlari kuchaytirish traktlarining tuzilish sxemalari: a – bitta chastotali QKlar asosida; b – ko‘p chastotali QKlar asosida

15.6- rasmda avtosozlashli qo‘shish sxemasi tasvirlangan. Har uzatkichdan quvvatli chiqish signali boshqa signallar bilan qo‘shilishidan oldin sozlanadigan hajmiy rezonatorga beriladi.

Hajmiy rezonator polosali filtr sifatida ishlaydi va uzatkichlar traktlari orasidagi yaxshi ajratishni kafolatlaydi. Hajmiy rezonator uning fizik oʻlchamlarini oʻzgartirish yoʻli bilan, masalan, qadamli dvigatellar yordamida mexanik sozlanadi.

Har bir rezonatorni uzatkichlarning tashuvchi chastotalariga avtomatik sozlashni sozlash kontrolleri taʼminlaydi. Tashuvchi chastotalar, oʻz navbatida, chastotaviy rejadan kelib chiqish bilan aniq bir bazaviy stansiya uchun tanlanadi. Agar BS uzatkichlari soni ajratilgan chastotalar soniga mos kelsa, summatorlardan sotalarda chastota boʻyicha sakrash rejimini tashkil etishda foydalanish mumkin. Bu holda har bir uzatkich oʻzgarmas tashuvchi chastotada ishlaydi.



15.6- rasm. Avtosozlashli qoʻshish sxemasi

Tavsiflangan qoʻshish sxemasi quyidagi qator kamchiliklarga ega:

- katta fizik oʻlcham;
- rezonatorlarni mexanik sozlash zarurati;
- qoʻshishda quvvatning yoʻqotilishi;
- yangi tashuvchi chastotaga chekli sozlash vaqti;
- tashuvchi chastotalarni surilishiga cheklashlar.

Avtosozlashli qoʻshish sxemasi yigʻilishida yuqori asllikli rezonatorlarni olishning murakkab texnologik muammolarini yechishga toʻgʻri keladi.

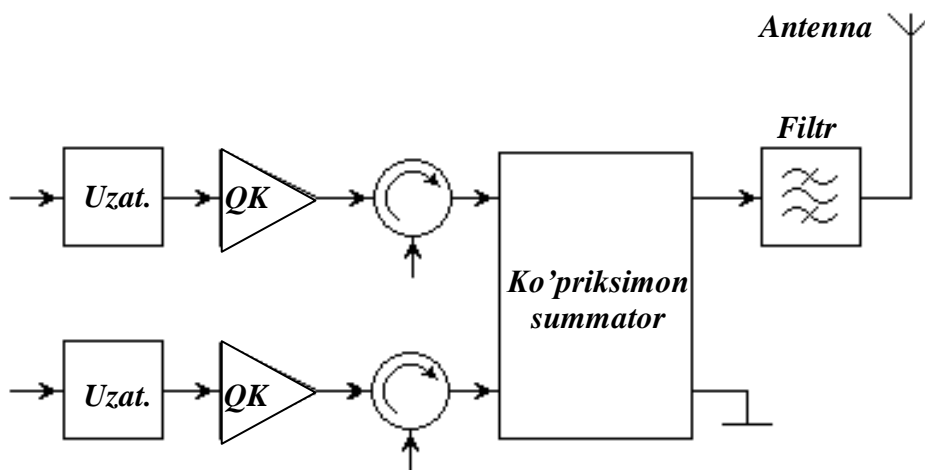
Signalarni birlashtirish yuqori quvvat sathlarida boʻlib oʻtishi tufayli, hatto nisbatan kichik yoʻqotishlar sezilarli boʻlib qoladi, bu QK ga talablarni oshiradi. Masalan, quvvatni 1,5 dB ga yoʻqotilishi (ikkita tashuvchilar holi uchun odatdagi qiymat) foydali quvvatni kamaytiradi. Tashuvchilarning soni ortishi bilan ularni

qo'shish yo'qotishlari ham ortadi. 4 – 6 ta tashuvchilar bo'lgan yo'qotishlar odatda 3 dB gacha, ya'ni 50 % gacha ortadi.

15.7- rasmda ko'priksimon qo'shish sxemasi tasvirlangan. Bu holda passiv (yo'qotishli) ko'priksimon summatorlar ishlatiladi. Yo'qotishlarni (0,15 - 0,25) dB kiritadigan sirkulyatorlar ham kuchaytirgichlar orasida ajratishni ta'minlash va intermodulyatsion buzilishlarni kamaytirish uchun talab qilinadi. Sirkulyatorlar qaytgan to'lqinni 20 dB dan kichik bo'lmagan so'nishini ta'minlaydi. Ko'priksimon qo'shish ko'pincha kam tashuvchi chastotalar sonini BS larda ishlatiladi, chunki bu holda summatorning fizik o'lchami o'sha tashuvchi chastotalar sonini avtosozlashli summator qo'llanishidagiga qaraganda kichik bo'ladi.

Bu sxemaning afzalliklari uning keng polosaliligi, ishlash jarayonida ishchi chastotalar polosasini o'zgartirish imkoniyati hisoblanadi. Avtosozlashli qo'shishga qaraganda asosiy kamchiligi yuqoriroq quvvat yo'qotishlari hisoblanadi.

Bugungi kunda HOAT bazaviy stansiyalari, shu jumladan, GSM bazaviy stansiyalari asosan bir chastotali quvvat kuchaytirgichlari texnologiyalariga asoslangan. Sektorga to'rtta yoki sakkizta tashuvchi chastotalar talab qilinadigan sig'imini ta'minlash uchun, odatda, standart gibrad kombinatsiyalash usullaridan foydalanish bilan antennagacha keyingi qo'shish bilan tashuvchi chastotada individual quvvat kuchaytirgichlari orqali signallarni dastlabki alohida kuchaytirishni ishlatadi.

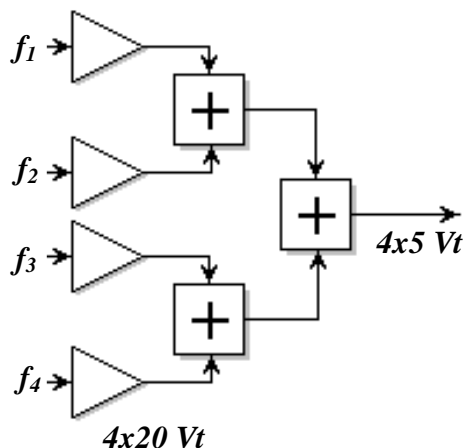


15.7- rasm. Ko'riksimon qo'shish sxemasi

Bu yondashish operatorlarga yaxshi xizmat ko'rsatish sifatini ta'minlaydi va asosiy quvvat kuchaytirgichlaridan biri ishdan chiqqanda bazaviy stansiya kamaytirilgan sig'imda bo'lsada ishlashni davom ettirishi kafolatini beradi.

Foydalanuvchilar bunday hollarda, hatto aloqa sifatining yomonlashishini sezmaydi.

Lekin ko‘priksimon qo‘shishdan ko‘p kanalli foydalanishga bog‘liq quvvat yo‘qotilishi juda sezilarli bo‘ladi. Masalan, 5 Vt dan to‘rtta tashuvchi chastotalarni yaratishini ta‘minlash uchun (15.8- rasm) to‘rtta bitta chastotali kuchaytirgichlardan foydalanish zarur.



15.8- rasm. To‘rtta tashuvchilardagi tizim tuzilmasili QKdagi yo‘qotishlar

Antennada 5 Vt gacha sakkizta tashuvchi chastotalarni yaratish uchun endi sakkizta 40-vatt li bitta chastotali kuchaytirgichlardan foydalanish kerak bo‘ladi, ya‘ni 87,5 % quvvat kombinatsiyalash zanjirlarida sochilishi bilan bekorga sarflanishi mumkin.

15.6. Ko‘p chastotali quvvat kuchaytirgichlari

Ana samarali yechim bazaviy stansiyalarning uzatish apparaturalarida *MCPA* (*Multi Carrier Power Amplifier*) yoki KChQK ko‘p chastotali quvvat kuchaytirgichlarining qo‘llanishi hisoblanadi. Ko‘p chastotali kuchaytirish traktlarida signallar asosiy kuchaytirish kaskadlaridan oldin past quvvatli tugunlarda birlashtiriladi. Demak, signallarni qo‘shishda yo‘qotiladigan quvvat qiymati sezilarli kamayadi va bunday tuzilmalar sezilarli samarali va kam energiya iste‘mol qiladigan hisoblanadi. Bu bunday bazaviy stansiyalarni ishlatishga sarflarni sezilarli kamaytirishni ta‘minlaydi.

Ko‘p chastotali kuchaytirgichlar bir chastotali kuchaytirgichlarga qaraganda, eng yaxshi vazn-hajm ko‘rsatkichlariga ega. Ko‘p chastotali quvvat kuchaytirgichlariga ega bo‘lgan bazaviy stansiyalar operatorlarga optimal qamrab olish va sig‘imga erishish uchun tarmoqlarning konfiguratsiyalarini oson amalga oshirishga imkon berishi bilan katta tez moslashuvchanlikni ta‘minlaydi.

Bunday quvvat kuchaytirgichlari chiqish quvvatining yuqori sathlarida kam sonli tashuvchi chastotalar yoki kanallardan foydalanishga imkon beradi. Tarmoq kengayganda va unga yangi abonentlar qo'shilganda tarmoqning sig'imi katta muammo bo'lib qoladi. Bunday vaziyatlarda bazaviy stansiyada QKning energetik byudjeti (*carrier-power budget*) pasaytirilgan quvvatda ko'p sonli tashuvchi chastotalardan foydalanishni ta'minlash uchun oson o'zgartirilishi mumkin va demak, sotaning katta sig'imi ta'minlanadi.

Bunga erishish uchun bir chastotali quvvat kuchaytirgichlari va ko'priksimon summatorlardan foydalanilganda BS apparaturasi egallaydigan maydonni oshirish, mavjud apparaturalarni surish va yangi apparaturalarni o'rnatish zarur bo'lar edi, bu sezilarli vaqt va moliyaviy xarajatlarni talab qilar edi.

GSM standarti BS larida ko'p chastotali quvvat kuchaytirgichlarining keng qo'llanishiga asosiy to'siq bunday QKlarning yuqori narxi va yetarli bo'lmagan chiziqliligi hisoblanadi. *ETSI* spetsifikatsiyalarida *GSM* KChQK uchun ko'rsatilganki, kuchaytirgichlarning 20 Vt dan ortiq chiqish quvvatida intermodulyatsion tashkil etuvchilar -75 dBb ni tashkil etishi kerak. Bu ko'rsatkichga erishish *GSM* diapazoni chastotalar polosasi uchun juda qiyin. Buning uchun QKni turli chiziqlashtirish usullari ishlatiladi.

15.7. BS quvvatini kuchaytirish bloki

15.9 - rasmda bazaviy stansiya quvvatni kuchaytirish blokining asosiy yiriklashtirilgan tuzilmasi keltirilgan bo'lib, bu blok mobil qurilmalarning o'xshash blokiga qaraganda murakkabroq qurilma hisoblanadi. Bu BS ning katta chiqish quvvati, murakkabroq ishlash algoritmi, BS ga qo'yiladigan ishonchlilik bo'yicha qat'iy talablarga bog'liq.

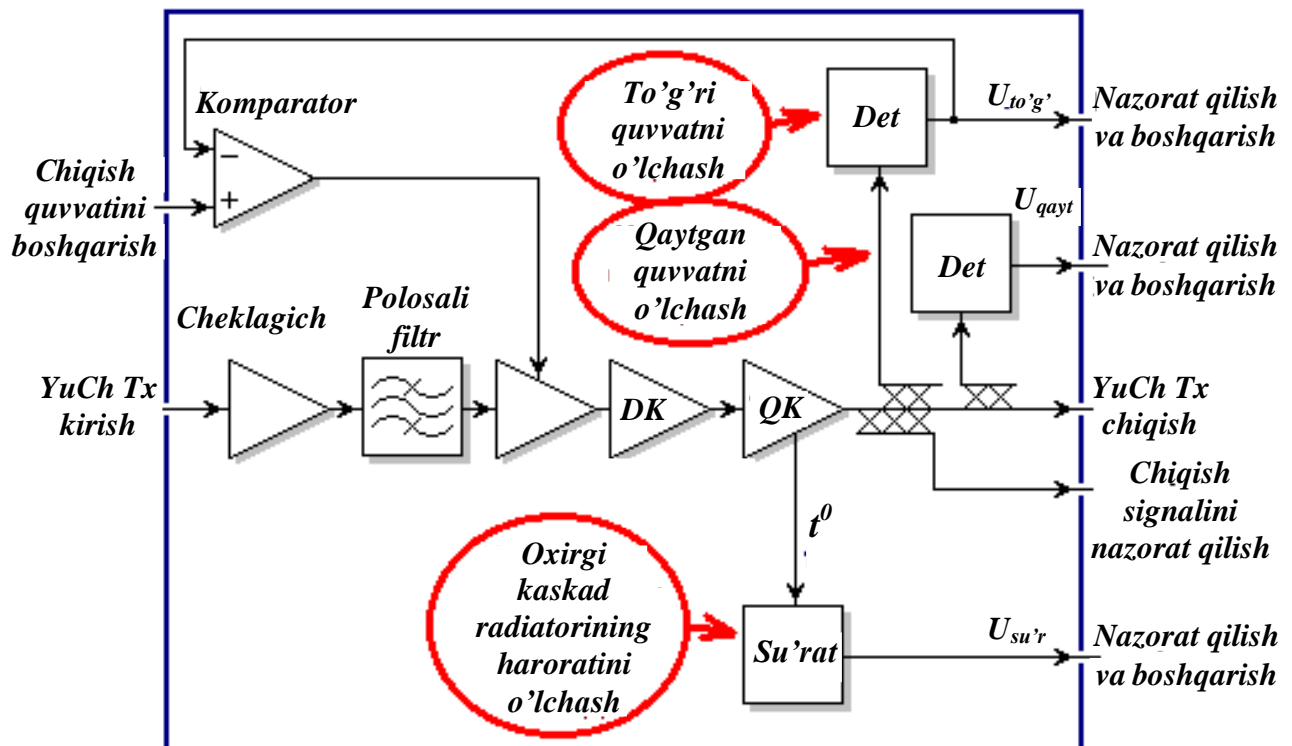
Asosiy tuzilmadagi BS quvvatni kuchaytirish blokida uzatkichning kirish RCh signali cheklagich (o'zgarmas og'diruvchili signallardan foydalanilganda) orqali o'tadi, u qo'zg'atish sathlari o'zgarganda chiqish signali sathining o'zgarmasligini ta'minlaydi. Ikkinchi darajali polosadan tashqi signallari polosali filtr orqali so'ndiriladi. Keyin signal uzatkichning zarur chiqish quvvatini o'rnatishni amalga oshirishga imkon beradigan dastlabki rostlanadigan kuchaytirgichga beriladi.

Rostlanadigan kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti komparator orqali o'rnatiladi, uning birinchi kirishiga chiqish quvvatining sathiga proporsional bo'lgan $U_{to'g'}$ signal, ikkinchi kirishiga esa chiqish quvvatining sathini boshqarish signali beriladi.

Oxiridan oldingi kuchaytirgichda kuchaytirilgandan keyin signal QKning oxirgi quvvat kuchaytirgichiga beriladi. Oxirgi kuchaytirgich radiatorining harorati

o'lanadi va mos kaskad yordamida QK kaskadining ishlashini nazorat qilish va himoyalash uchun ishlatiladigan U_{har} signaliga o'zgartiriladi.

Chiqish signali ikkita yo'naltirilgan tarmoqlagichlardan o'tadi, ulardan signallar uzatkich chiqish signalining to'g'ri va qaytgan quvvatlariga proporsional bo'lgan signallarni shakllantiradigan detektorlarga beriladi. Bu kuchlanishlar chiqish quvvatini roslash va turg'un to'lqin koefitsiyentini hisoblash uchun ishlatiladi. Yana bir tarmoqlagich chiqish signalini nazorat qilish operatsiyalarini amalga oshirish uchun qo'llanadi.



15.9- rasm. BS uzatkichining quvvat kuchaytirgichi

Nazorat savollari

1. Quvvat kuchaytirgichiga tavsif bering.
2. Ta'minot bo'yicha impulsli ishlash rejimining o'ziga xos xususiyati nimadan iborat?
3. QK ning asosiy parametrlari va xarakteristikalarini sanab o'ting.
4. QK ning qanday ishlash rejimlari mavjud?
5. A sinfdagi rejimning ishlash prinsipini tushuntiring.
6. V sinfdagi rejimning ishlash prinsipini tushuntiring.

7. S sinfdagi rejimning ishlash prinsipini tushuntiring.
8. Kalit rejimining ishlash prinsipini tushuntiring.
9. RCh bloklar quvvat kuchaytirgichlarining parametrlarini sanab o‘ting va tavsiflang.
10. BS uzatkichi quvvat kuchaytirgichining sxemasini keltiring va tushuntiring.

16- BOB. ISTIQBOLLI RADIOTIZIMLAR RADIOSIGNALLARIDA BUZILISHLARNI KAMAYTIRISH USULLARI. KOGNITIV RADIO TIZIMLARI

16.1. Aloqa tizimlarida asosiy halaqitlar va buzilishlar turlari

Aloqa tizimlaridagi halaqitlar

Tashqi halaqitlar antenna orqali foydali signal bilan birga qabul qilinadi va quyidagilar orqali hosil qilinadi:

a) atmosfera, ionosfera va kosmik fazoda kechadigan elektromagnit jarayonlar;

b) elektr qurilmalar va qo‘shni radiostansiyalar;

v) atayin halaqitlarni qo‘yish vositalari.

Ichki halaqitlar radioaloqa tizimlarining turli elementlarida uchraydi (lampalarning fluktuatsion shovqinlari va yarim o‘tkazgichli asboblarning ta‘minot kuchlanishlarining nostabilligi va h.k.). Qabul qilish qurilmalarining ichki halaqitlari xarakteristikalarini odatda uning kirishidagiga qayta hisoblanadi.

Ichki va tashqi halaqitlar qabul qilish qurilmasi kirishida

$$x(t)=S(t)+n(t), \quad (16.1)$$

signal bilan berilsa, additiv hisoblanadi, bu yerda $S(t)$ - uzatiladigan signal, $n(t)$ - halaqitlar.

Additiv halaqitlar fluktuatsion, impulsli va sinusoidal halaqitlarga bo‘linadi.

A. **Fluktuatsion halaqitlarga (FH)** qabul qilgichning shovqinlari va signalni tarqalish shovqinlari kiradi. Ularning qabul qilgich kirishidagi spektri odatda qabul qilgichning o‘tkazish polosasidan keng bo‘ladi. FH ehtimolligi zichligi ko‘pincha normal hisoblanadi. Ko‘plab hollarda u additiv oq gauss shovqini sifatida qabul qilinadi.

B. **Impulsli halaqitlar** bittalik radioimpulslarning davriy bo‘lmagan ketma-ketligi hisoblanadi va atmosfera va sanoat halaqitlar manbalari (ayrim hollarda tashqi aloqa kanallari) orqali hosil qilinadi.

V. **Sinusoidal halaqitlar (Sh)** – spektr bo‘yicha jamlangan halaqitlar hisoblanadi (ularning spektr kengligi qabul qilish traktining o‘tkazish qobiliyatiga nisbatan kichik).

ShH manbalariga quyidagilar kiradi:

- atayin halaqitlar stansiyalari;
- YuCh signallar generatorlari;
- etalon chastotalar radiostansiyalari.

Sinusoidal halaqitlarga qabul qilgichni o'zining ichki kombinatsiyalangan halaqitlarini kiritish mumkin.

16.2. Aloqa liniyalarida signallarning buzilishi

Aloqa liniyalarida signallarning buzilishi signal tarqaladigan fizik muhit uzatish koeffitsiyentining tartibsiz o'zgarishiga bog'liq. Uzatish koeffitsiyentining o'zgarishi qabul qilish nuqtasida amplituda va fazaning fluktuatsiyalarida namoyon bo'ladi. QT va UQT chastotalar diapazonlarida signallarning ko'p nurli tarqalishiga bog'liq so'nishlar ko'rinishidagi signallarning buzilishi vujudga keladi. Odatda bunday buzilishlari multiplikativ buzilishlar deyiladi. Bu holda radiosignal uzatiladigan $S(t)$ signal va $m(t)$ halaqitning

$$x(t) = m(t) \cdot S(t), \quad (16.2)$$

ko'paymasi ko'rinishida beriladi.

Umumiy holda foydali signalga *additiv* va *multiplikativ* halaqitlar ta'sir qiladi.

Intermodulyatsion halaqitlar

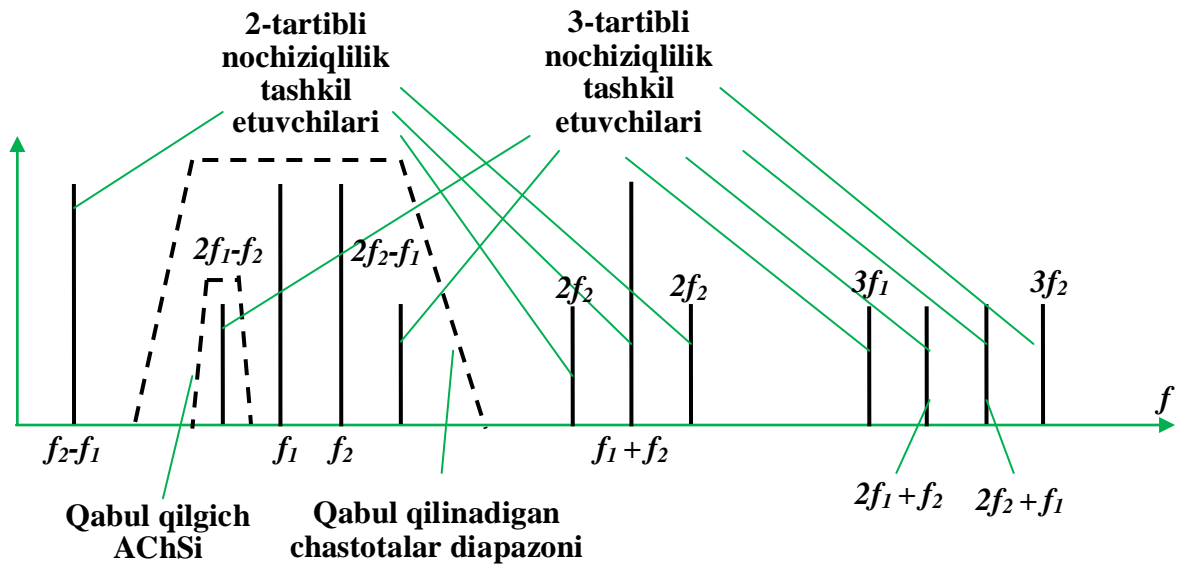
Intermodulyatsiya (Intermodulation) qabul qilgichning kirishiga chastotalari asosiy va yon qabul qilish kanallari chastotalari bilan mos tushmaydigan ikki yoki undan ortiq halaqitlar ta'sir qilganda qabul qilgichning chiqishida vujudga keladigan hodisa hisoblanadi.

Qabul qilish qurilmasining nochiziqli elementlarida f_1 va f_2 chastotalarga ega bo'lgan halaqitlarning o'zaro ta'sirlashishi natijasida quyidagi ko'rinishdagi intermodulyatsion tashkil etuvchilar vujudga keladi:

$$f_{in} = \pm m \cdot f_1 \pm n \cdot f_2 \quad (16.1)$$

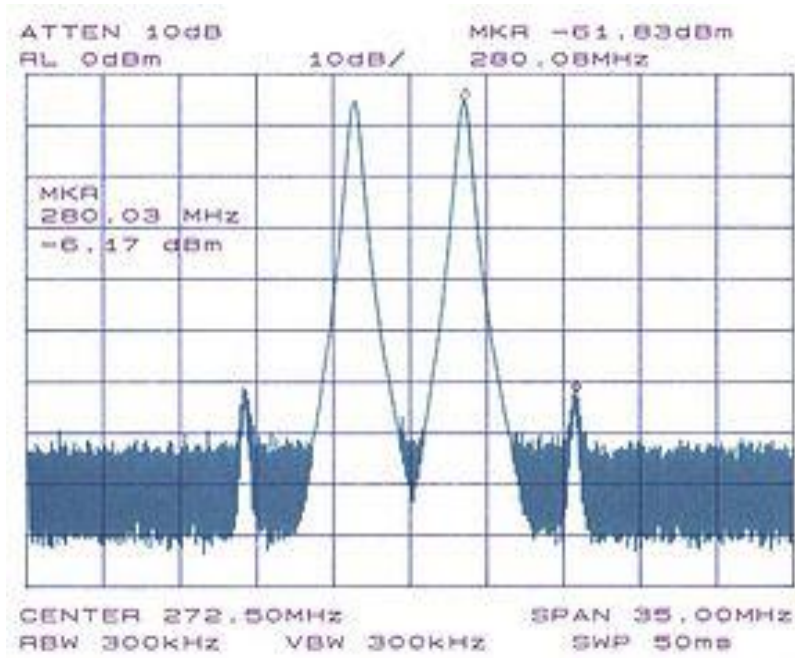
Bunda qabul qilish traktida foydali signalning chastotasiga teng bo'lgan yoki qabul qilgichning yon qabul qilish kanallari polosalariga tushadigan chastotali intermodulyatsion halaqitlar signali olinishi mumkin. Bunday halaqitlar qabul qilish qurilmasida foydali signal bilan birga birgalikda ishlov beriladi, bu bilan qabul qilingan xabarning sifatini yomonlashtiradi.

Intermodulyatsion buzilishlarni vujudga kelish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Radioqabul qilish qurilmasining kirishiga f_1 va f_2 chastotali ikkita halaqitlar ta'sir qiladi.



16.1- rasm. Intermodulyatsiyani vujudga kelish mexanizmi

Intermodulyatsion halaqitlarni o'lchashda qabul qilgichning kirishiga ikkinchi va to'rtinchi qo'shni kanallar chastotalariga sozlangan ikkita garmonik signallar beriladi. Bu 16.2- rasmda keltirilgan birinchi kuchaytirish kaskadining chiqishidagi signal spektridan yaxshi ko'rinib turibdi, bu chastotalar qabul qilinadigan chastotadan yuqori yoki pastdan berilishidan qat'iy nazar intermodulyatsion halaqitlar uchun qabul qilinadigan chastotada ahamiyatga ega emas.



16.2- rasm. Qabul qilgich kirishiga bir xil amplitudali ikkita garmonik signallar berilganda signal spektri

Ikkinchi tartibli intermodulyatsion buzilishlar koeffitsiyenti kombinatsion tashkil etuvchi $f_2 \pm f_1$ amplitudasini kirish signallaridan birining amplitudasiga nisbati sifatida aniqlanadi. Odatda bu koeffitsient tashuvchiga nisbatan nisbiy birliklar (dB) – detsibellarda ifodalanadi. Agar radioqabul qilish qurilmasining qabul qiladigan chastotalar diapazoni UQT mobil aloqa tizimlari yoki sotali aloqa tizimlari uchun o‘z o‘rniga ega kabi yetarlicha tor, u holda ikkinchi tartibli kombinatsion chastotalar qabul qilinadigan chastotalar diapazonidan keyin hosil bo‘ladi va qabul qilgichning kirish filtri orqali so‘ndiriladi.

Amalda intermodulyatsion buzilishlarni miqdoran baholash uchun (InterModulation Distortion, IMD) qabul qilgich kirishiga bir xil amplitudali ikkita f_1 va f_2 tashqi polosali garmonik signallar berilganda hisoblanadigan koeffitsientlar - uchinchi tartibli intermodulyatsion buzilishlar koeffitsiyenti - $2 \cdot f_2 - f_1$ (yoki $2 \cdot f_1 - f_2$) kombinatsion tashkil etuvchini kirishdagi bu signallardan birining amplitudasiga nisbati ishlatiladi.

Ikkita interferensiallanadigan radiosignallarning qo‘shilishida vujudga keladigan uchinchi va undan yuqori tartiblar tashkil etuvchilar ishchi kanalda halaqitlar signallarini hosil qilishi mumkin. Ishlov beriladigan chastotalar polosi odatda qabul qilgichning kirishidagi preselektorida cheklanadi, u holda nochiziqilik qabul qilgichning sozlanishi chastotasiga yetarlicha yaqin joylashgan f_1 va f_2 chastotalarga ega bo‘lgan bir xil amplitudali ikkita signallarni qabul qilish qurilmasining kirishiga berilishi yo‘li bilan o‘lchanadi. Bunda $2 \cdot f_1 - f_2$ va $2 \cdot f_2 - f_1$ uchinchi tartibli intermodulyatsion tashkil etuvchilar sathi o‘lchanadi. Boshqa kombinatsion tashkil etuvchilar odatda qabul qilgichning ishchi chastotalar polosasidan tashqarida bo‘ladi va asosiy tanlovchanlik filtri orqali cheklanadi.

Intermodulyatsiya samarasini so‘ndirish (Intermodulation response rejection) – qabul qilgichning talab qilinadigan signal bilan ma’lum nisbatga ega bo‘lgan ikkita va undan ortiq halaqitlar signallari bo‘lganda ishchi kanal chastotasida talab qilinadigan signalni qabul qilish qobiliyati o‘lchami hisoblanadi.

Bloklash

Qabul qilish qurilmasida qabul qilinadigan signalning nochiziqli buzilishlari, nafaqat, agar uning sathi sezilarli bo‘lganda, balki kuchli tashqi polosali halaqitlar ham vujudga kelishi mumkin. Qabul qilish traktining nochiziqiligi asosiy va yon qabul qilish kanallari chastotalari bilan mos tushmaydigan chastotalarda qabul qilgichning kirishiga ta’sir qiladigan halaqitlarni paydo bo‘lishida foydali signal sathini o‘zgarishi yoki qabul qilgichning chiqishidagi signal/shovqin nisbatini o‘zgarishi bo‘lib o‘tishiga olib keladi. Qabul qilgichning kirishiga quvvatli halaqitlarning ta’siri qurilmaning kuchaytirish koeffitsiyentini kamayishiga olib keladi. Bunday hodisa qabul qilgichning bloklanishi (Blocking) deyiladi. Bloklanish son jihatdan bloklanish koeffitsiyenti yordamida baholanishi mumkin:

$$K_{bl} = \frac{U_{chiq} - U_{bl}}{U_{chiq}}, \quad (16.3)$$

bu yerda U_{chiq} – kirishda halaqitlar bo‘lmaganda qabul qilgichning chiqishidagi signalning amplitudasi;

U_{bl} – kirishda halaqitlar ta’sir qilganda qabul qilgichning chiqishidagi signalning amplitudasi

Shunday qilib, qabul qilgichda bloklanish bo‘lmaganda $K_{bl} = 0$ bo‘ladi. Bloklanish koeffitsiyenti kirishdagi halaqitlar sathi qanchalik yuqori va halaqitlar chastotasi foydali signal chastotasiga qanchalik bo‘lsa, shunchalik katta bo‘ladi. Bu ta’sir qabul qilgichning qo‘shni kanal bo‘yicha tanlovchanligi orqali aniqlanadi.

16.3. Raqamli filtrlar

Umumiy holda raqamli filtr (RF) atamasi bilan kirishiga raqamli signal beriladigan, chiqishida esa ma’lum tarzda modifikatsiyalangan shaklga yoki amplitudaviy va fazaviy xarakteristikaga ega bo‘lgan boshqa raqamli signal olinadigan apparatli yoki matematik algoritmnining dasturiy ishlatilishiga aytiladi. Raqamli filtrlarning tasniflanishi odatda raqamli filtrlash algoritmlarining funksional belgilariga asoslanadi, unga muvofiq RFlar quyidagi to‘rtta guruhlarga bo‘linadi:

- chastotaviy seleksiya filtrlari;
- optimal (kvazioptimal) filtrlar;
- adaptiv filtrlar;
- evristik filtrlar.

Amalga eng o‘rganilgan va sinalgan filtrlar chastotaviy seleksiya filtrlari hisoblanadi.

Analog filtrlarga qaraganda raqamli filtrlarning asosiy afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- raqamli filtrlar ishlatilishi analog filtrlarda mumkin bo‘lmaydigan parametrlarga, masalan, chiziqli fazaviy xarakteristikaga ega;
- raqamli filtrlar davriy nazorat qilish va kalibrlashni talab qilmaydi, chunki ularning ishlash qobiliyati tashqi muhitning, masalan, haroratning noabarqarorlashtiruvchi omillariga bog‘liq emas;
- bitta filtr bir necha kirish kanallari yoki signallariga ishlov berishi mumkin;
- kirish va chiqish ma’lumotlarini keyingi foydalanish uchun saqlash

mumkin;

– raqamli filtrlarning aniqligi faqat sanoqlarning razryadliligi bilan cheklangan.

Filtrlar juda past chastotalarda va katta chastotalar diapazonida ishlatilishi mumkin, buning uchun ma'lumotlarni diskretlashtirish chastotasini o'zgartirish yetarli bo'ladi.

Raqamli filtrlarning tuzilish sxemalari

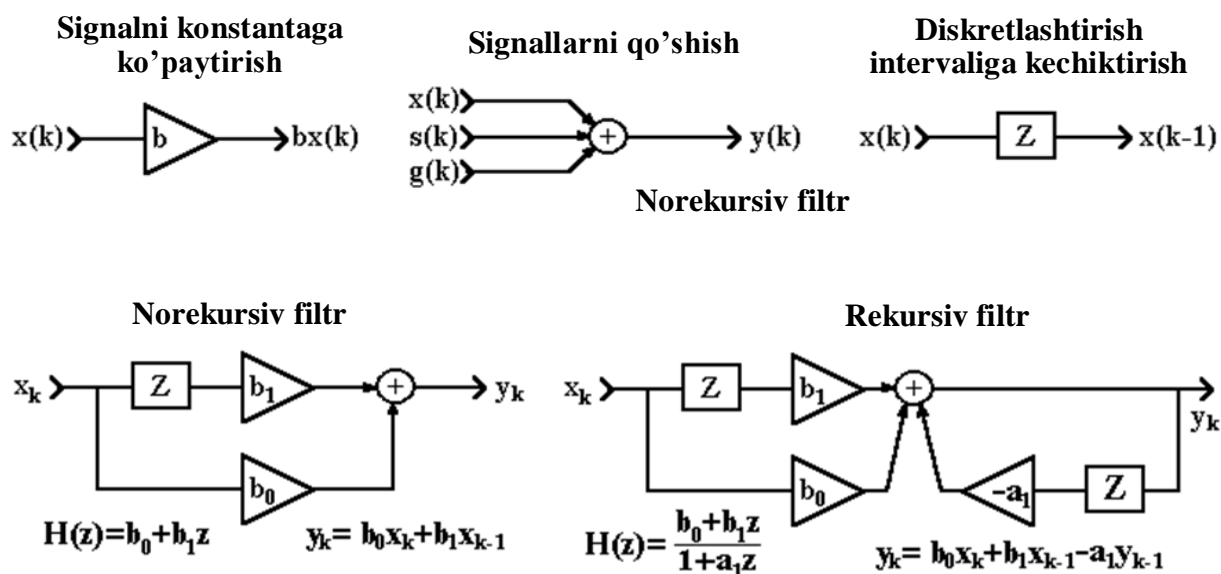
Signallarni raqamli filtrlash algoritmlari (raqamli filtrlar) tuzilish sxemalari ko'rinishida beriladi, ularning asosiy elementlari 16.3- rasmda filtrlarning tuzilish sxemalari bilan birga tasvirlangan. Filtrlarning tuzilish sxemalari EHMda filtrlarning dasturiy ishlatilishiga mos mos keladi, lekin dasturiy ishlatilishidan farq qilishi mumkin bo'lgan maxsus radiotexnik qurilmalarda apparatli ishlatilishini aniqlamaydi.

Filtrlar graflari

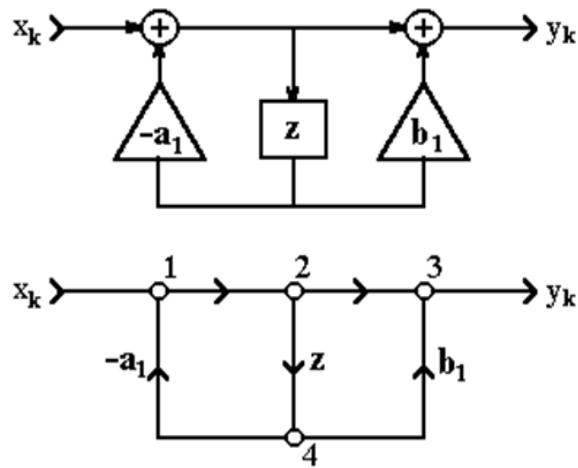
Tuzilish sxemasi bilan bir qatorda filtr graf ko'rinishida berilishi mumkin, u signallarning o'tishi diagrammasini aks ettiradi va yo'naltirilgan tarmoqlar va tugunlardan tashkil topgan.

$H(z) = (1+b_1z)/(1+a_1z)$ uzatish funksiyasili filtrning tuzilish sxemasi va unga mos grafga misol 16.4- rasmda keltirilgan.

Grafning har bir i -nchi tuguni bilan signalning $x_i(k)$ qiymati yoki uning barcha signallar yig'indisi orqali aniqlanadigan $X_i(z)$ aksi yoki tugunga kiradigan tarmoqlarning z -akslari bog'langan. Har bir ij -tarmoqda (i tugundan j tugunga) signalni tarmoqning uzatish funksiyasiga muvofiq o'zgartirish, masalan signalni kechikishi yoki koeffitsientga ko'paytirish bo'lib o'tadi.



16.3- rasm. Raqamli filtrlarning tuzilish sxemalari



$$\begin{aligned}
 X_1(z) &= X(z) - a_1 X_4(z). & X_2(z) &= X_1(z). \\
 X_4(z) &= z X_2(z). & X_3(z) &= X_2(z) + b_1 X_4(z). \\
 Y(z) &= X_3(z).
 \end{aligned}$$

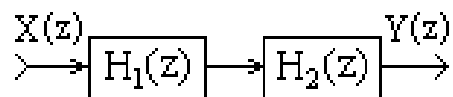
16.4- rasm. Filtrning grafi

16.4. Filtrlarning ulanishi

Filtrlarning ulanishi quyidagi turlarga bo‘linadi.

1. **Ketma-ket ulanish** (16.5- rasm). Oldingi filtrning chiqish signali keyingi filtr uchun kirish signali hisoblanadi. Umumiy tizimning ekvivalent uzatish funksiyasi unga kiradigan filtrlar uzatish funksiyalarining ko‘paytmasiga teng:

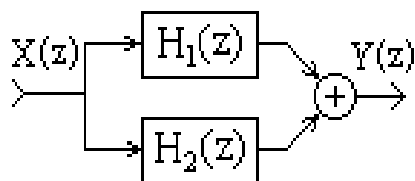
$$H(z) = H_1(z) \cdot H_2(z) \cdot \dots \cdot H_N(z)$$



16.5- rasm. Filtrlarning ketma-ket ulanishi

2. **Parallel ulanish** (16.6- rasm). Signal barcha parallel ulangan filtrlarning kirishlariga bir vaqtda beriladi, filtrlarning chiqish signallari qo‘shiladi. Umumiy tizimning ekvivalent uzatish funksiyasi unga kiradigan filtrlar uzatish funksiyalarining yig‘indisiga teng:

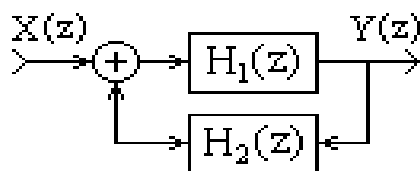
$$H(z) = H_1(z) + H_2(z) + \dots + H_N(z)$$



16.6- rasm. Filtrlarning ketma-ket ulanishi

3. **Teskari aloqali ulanish** (16.6- rasm). Birinchi filtr signali bir vaqtda tizimning chiqishiga va teskari aloqa filtrining kirishiga beriladi, uning chiqish signali tizimning kirish signali bilan teskari aloqaning turiga (manfiy yoki musbat) bog‘liq ravishda plyus yoki minus ishorasi bilan qo‘shiladi. Umumiy tizimning ekvivalent uzatish funksiyasi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$H(z) = H_1(z)/(1 \pm H_1(z)H_2(z))$$



16.6- rasm. Filtrlarning teskari aloqali ulanishi

Filtrlarning ishlatilishi sxemalari

Tuzilmaviy ishlatilish prinsiplari bo‘yicha filtrlar quyidagi sxemalarga bo‘linadi:

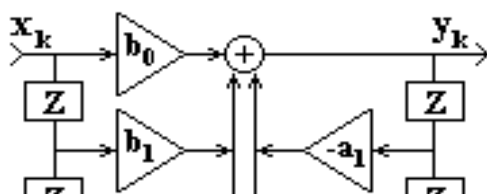
1. **To‘g‘ri shakl** (16.7- rasm) to‘g‘ridan-to‘g‘ri

$$y_k = \sum_{n=0}^N b_n x_{k-n} - \sum_{m=1}^M a_m y_{k-m},$$

farq tenglamasi orqali,

$$H(z) = \sum_{n=0}^N b_n z^n / (1 + \sum_{m=1}^M a_m z^m).$$

yoki uzatish funksiyasi qo‘llanadi.



16.7- rasm. Filtrlarning ishlatilish sxemalari

2. *To'g'ri kanonik shakl* minimal kechiktirish elementlari soniga ega. Raqamli filtrning uzatish funksiyasini quyidagi shaklda yozish mumkin:

$$H(z) = Y(z)/X(z) = H_1(z)H_2(z),$$

$$H_1(z) = V(z)/X(z) = 1/(1 + \sum_{m=1}^M a_m z^m),$$

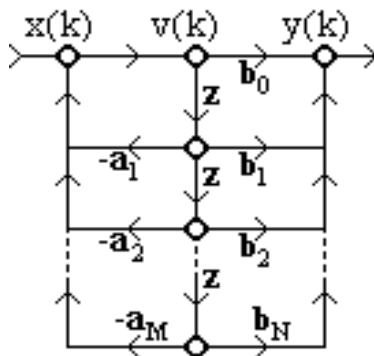
$$H_2(z) = Y(z)/V(z) = \sum_{n=0}^N b_n z^n.$$

Bu yerdan quyidagi kelib chiqadi:

$$v(k) = x(k) - \sum_{m=1}^M a_m v(k-m),$$

$$y(k) = \sum_{n=0}^N b_n v(k-n).$$

Farq tenglamalarida faqat $v(k)$ signallarni kechiktirish amalga oshiriladi. Raqamli filtrni to'g'ri kanonik shaklda ishlatilishi 16.8- rasmda keltirilgan.



16.8- rasm. Raqamli filtrni to'g'ri kanonik shaklda ishlatilishi

3. *Kaskadli (ketma-ket) shakl* uzatish funksiyasini quyidagi ko'paytma

ko‘rinishida berilishiga mos keladi:

$$H(z) = \prod_{i=1}^k H_i(z)$$

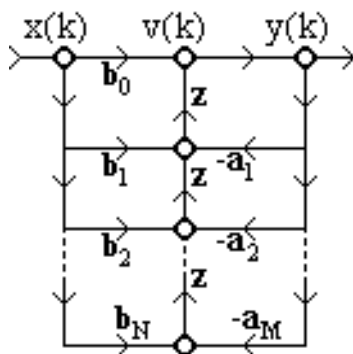
$H_i(z)$ – $H(z)$ funksiyaning faktorlashtirilgan shaklda berilishidagi $(1-r_i z)/(1-p_i z)$ ko‘rinishdagi funksiyaning tashkil etuvchilari, bu yerda $H(z)$ funksiyaning r_i va p_i -nollari va qutblari. $H_i(z)$ funksiyalar sifatida odatda bikvadrat bloklar – ikkinchi tartibli filtrlarning uzatish funksiyalari ishlatiladi:

$$H_i(z) = (b_{0i} + b_{1i} \cdot z + b_{2i} \cdot z^2) / (1 + a_{1i} \cdot z + a_{2i} \cdot z^2)$$

4. **Parallel shakl** kam ishlatiladi va uzatish funksiyasini bikvadrat bloklar yig‘indisi yoki oddiroq funksiyalar ko‘rinishida berilishiga mos keladi.

5. **O‘zgartirilgan shakllar.** Chiziqli yo‘naltirilgan signallar graflari nazariyasida dastlabki graflarni uzatish funksiyalari saqlanadigan o‘zgartirish protseduralari mavjud. Bunday protseduralardan biri graflarni o‘zgartirish (transpozitsiyalash) hisoblanadi, u zanjirning barcha tarmoqlari yo‘nalishlarini o‘zgartirish yo‘li bilan bajriladi, bunda grafning chiqishi va kirishining ham joylari almashtiriladi.

Qator tizimlar uchun bunday transpozitsiyalash samaraliroq ma’lumotlarga ishlov berish algoritmlarini ishlatilishiga imkon beradi. Rekursiv tizim to‘g‘ri kanonik shaklining grafini o‘zgartirishga (grafni chap tomondan kirishini dastlabki joylashtirishga o‘zgartirishga) misol 16.9- rasmda keltirilgan.



16.9- rasm. Parallel shakl

16.5. Kognitiv radio tizimi

XXI asr bu kompyuterlashtirish, shu jumladan telekommunikatsiyalar sohasida yangi texnologiyalar, innovatsiyalar vaqti hisoblanadi. Butun dunyodagi kabi O‘zbekistonda simsiz texnologiyalar va qurilmalar keng tarqaldi, bu chastota spektriga talabni ortishiga olib keldi. Bo‘sh chastotalar polosasiga talab har kuni o‘smoqda. Demak, bu chastota zahirasining yetishmasligiga olib keldi. Yuzaga kelgan vaziyatning yechimi chastota spektrini ikkilamchi ishlatish imkoniyatini beradigan yangi texnologiya Kognitiv radio bo‘lishi mumkin, bu chastota spektridan foydalanish samaradorligini oshirishga imkon beradi. Bu texnologiya tufayli ikkilamchi foydalanuvchilarga birlamchi foydalanuvchilar chastotalar diapazonlaridan foydalanmagan hollarda ulardan foydalanish imkoniyatini taqdim etadi.

Asosiy foydalanuvchi kanali bo‘sh turib qolganda diapazon boshqa abonent tomonidan ishlatilishi mumkin. Buning uchun ikkilamchi abonentga chastota spektri holatini unda boshqa abonentlar bo‘lishiga, shuningdek shovqin holatiga tahlil qilishi kerak. Intellektual algoritmlarni talab qiladigan diapazon holatini tahlil qilish va tanlash jarayonlari murakkab hisoblanadi. Ular dasturiy radio texnologiyasi tufayli ishlatilishi mumkin. Bunday radiotizimlar aloqa kanalini tashkil etish uchun halaqit qiluvchi omillarni tez va aniq aniqlashga imkon beradi. Shuningdek, qabullash-uzatish traktini boshqa radiochastota kanalida ishlashga qayta konfiguratsiyalash va signallarga raqamli ishlov berish dinamik o‘zgaruvchan algoritmlarini qo‘llanilishi hisobiga halaqitlar ta’sirini kamaytirishga imkon beradi. Bu tizimlar intellektual radio nomini oldi.

Kognitiv radio (KR) dasturiy-rekonfiguratsiyalangan radioning (software-defined radio) keyingi rivojlanishi konsepsiyasi bo‘lib qoldi. 16.10-rasmda KR ning an’anaviy radiotizimlar va dasturiy-rekonfiguratsiyalangan radiodan (DRR) sifat farqlari ko‘rsatilgan.

16.10-rasmdan ko‘rinib turibdiki, DRR kabi KR dasturiy-rekonfiguratsiyalangan platformaga ega. KRning farqli o‘ziga xos xususiyati intellektual modulning mavjudligi hisoblanadi.

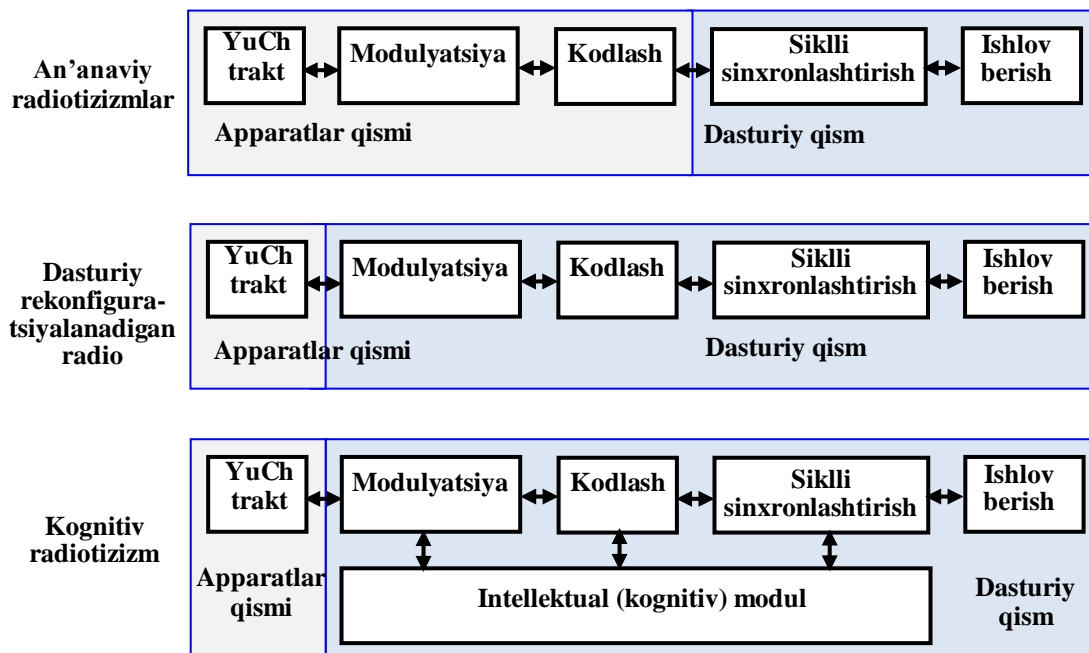
Kognitivlik xossasi (so‘zma-so‘z bilishga va o‘z o‘rganishga qodirlik) radiotizimga nisbatan quyidagi masalalarni yechishga qodirlikini bildiradi:

a) spektrni monitoring qilish va bu vaqt momentidagi ishlatilmayapgan chastotalar polosasini aniqlash;

b) radiokanalning parametrlarini tahlil qilish, kanal bo‘yicha uzatilayotgan axborotni baholash, radiokanal holatini taxmin qilish;

v) nurlantirish quvvati darajasini nazorat qilish va spektrga dinamik ulanish jaryonini boshqarish.

Bu funksiyalarni bajaradigan KR RETning tuzilish sxemasi 16.11-rasmda keltirilgan.



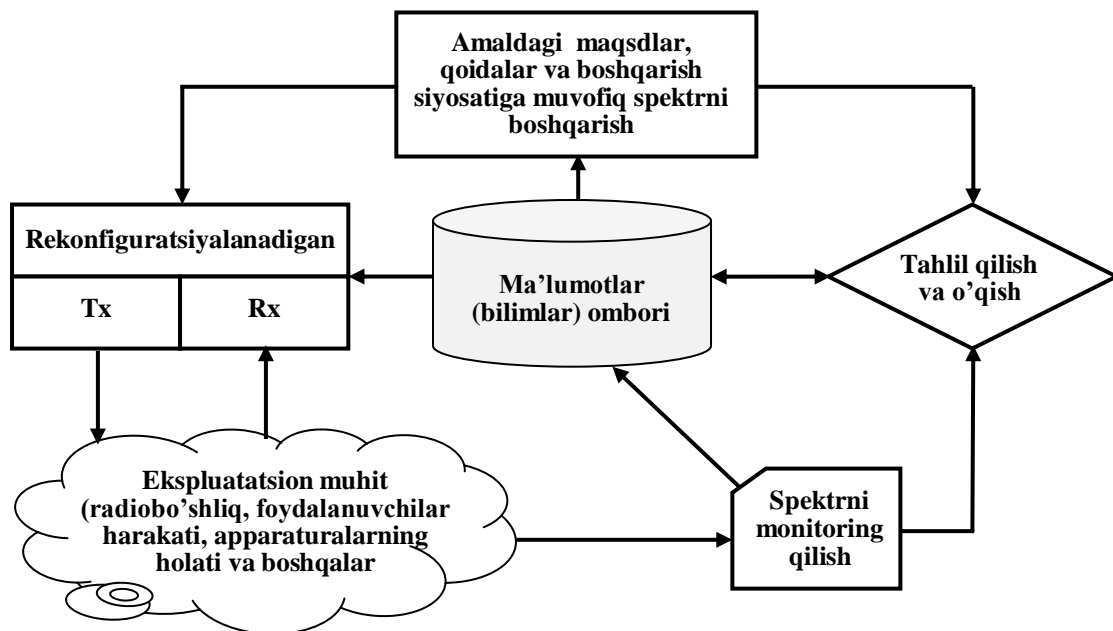
16.10-rasm. An'anaviy radiotizimlar, dasturiy-rekonfiguratsiyalangan radio va kognitiv radioning sifati farqlari

KR tizimini ishlash prinsipini tuzilmaviy-mantiqiy tavsiflash maqsadida bilish sikllari tushunchasi ishlatiladi. Bunday sikl OODA (Observe-kuzat, Orient-mo'ljalla, Decide-ech, Act-harakat qil) kibernetik modeli ko'rinishida taqdim etilishi mumkin. Ko'rsatilgan model to'rtta ketma-ket o'zaro ta'sirlashadigan kuzatish, mo'ljallash, yechish va ta'sirni boshqarish jarayonlari bilan shakllantirilgan harakatlar halqasining ko'p martalik takrorlanishini ko'zda tutadi.

Kuzatish (observation) bu har bir konkret holda yechimni qabul qilish uchun zarur bo'lgan axborotlarni yig'ish jarayoni hisoblanadi. Zarur bo'lgan axborotlar ham tashqi, ham ichki manbalardan olinishi mumkin. Ichki axborotlar manbalari deganda teskari aloqa halqasi elementlari tushuniladi. Tashqi axborotlar manbalari sifatida KR datchiklari (sensorlari) va boshqa axborotlarni olish kanallari ishlatiladi.

Mo'ljallash (orientation) bu OODA butun siklidagi kognitiv nuqtai nazardan eng mas'uliyatli va qiyin bosqich hisoblanadi. Mo'ljallash bosqichi ikki buzish (destruction) va yaratish (creation) kichik bosqichlaridan iborat. Buzish (tahlil qilish) vaziyatni osonroq tushunish uchun mayda elementar qismlarga bo'lishga ruxsat etadi. Yechimni qabul qiladigan qurilmalar yangi hosil bo'lgan masalalar standart vaziyatlarga (ular uchun tizimda yechish rejasi mavjud) yaqin bo'lib qoladigan darajagacha dekompozitsiyani (bo'laklashni) amalga oshirishga intiladi.

Kognitiv modul u tanish boʻlgan vaziyatlar bilan joriy vaziyatni identifikatsiyalaydi va joriy vaziyat uchun oldindan tayyorlangan harakatlar rejasini qoʻllaydi. Keyin bu elementar rejalar “yaratish” (sintez) kichik bosqichiga mos umumiy harakatlar rejasiga birlashtiriladi. Ishlab chiqilgan reja keyingi ishlatilishi mumkinligi maqsadida xotirada saqlanadi. Rejalar ichida agar yechim tanlanishi mumkin boʻlgan reja boʻlmasa, u holda jarayon bu moʻljallash bosqichida qoladi va masalani keyingi dekompozitsiya (boʻlaklash) qilish amalga oshiriladi.



16.11-rasm. KR RET tuzilish sxemasi

Yechimni qabul qilish (decision) bu OODA siklining uchinchi bosqichi hisoblanadi. Agar bu bosqichgacha qurilma faqat bitta rejani shakllantira olgan boʻlsa, u holda bu rejani bajarish yoki bajarmaslik yechimi qabul qilinadi. Agar bir necha shakllantirilgan alternativ harakatlar variantlari boʻlsa, u holda qurilma bu bosqichda keyingi ishlatish uchun ulardan eng yaxshisini tanlashni amalga oshiradi. Eng yaxshi rejani tanlash, masalan, samaradorlik-narx mezoni boʻyicha amalga oshirilishi mumkin.

Boshqarish taʼsiri (action) bu qabul qilingan yechimni amaliy ishlatilishini koʻzda tutadigan siklning yakunlovchi bosqichi hisoblanadi.

Harakatlar keyingi siklda kuzatishlar natijalarini yaxshilash maqsadida tizimni boshqarishni koʻzda tutadi.

Ekspluatatsion muhitni bilish usullari boʻyicha KR tizimlari ikkiga boʻlinadi:

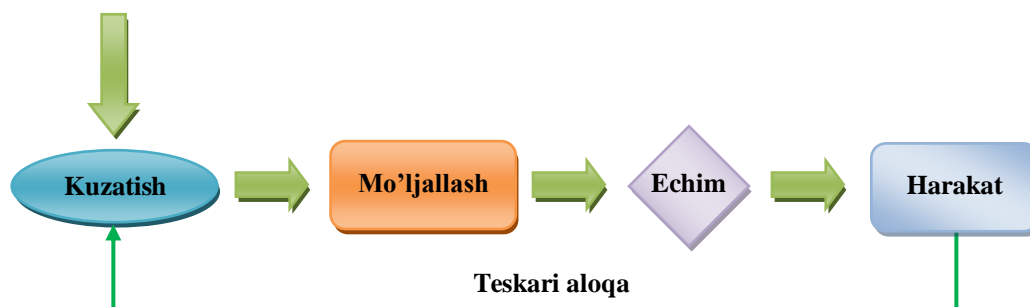
- a) ekspluatatsion muhitni passiv bilishli CR tizimlar;
- b) ekspluatatsion muhitni aktiv bilishli CR tizimlar.

Mitola anglash siklining OODA siklidan farqi rejalashtirish va o'qish bosqichlarini alohida bosqichlarga ajratish hisoblanadi (16.12-rasm).

Kognitiv radiotizimlarni sinflarga bo'lishni quyidagi mezonlar bo'yicha amalga oshirish mumkin.

- ishlatiladigan anglash usullari bo'yicha;
- funksional parametrlar bo'yicha;
- asosiy boshqarish (axborotlarni almashish) kanallari turlari bo'yicha;
- sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish darajasi bo'yicha.

Yangi vaziyatlar



16.12-rasm. Sikl

Passiv anglash. RChS foydalanuvchilari orasida axborotlarni almashishi asosidagi tizimlarda birlamchi foydalanuvchilar radiotizimlari ikkilamchi foydalanuvchilar tizimlariga ajratilgan chastotalar va ajratish uchun rejalashtirilgan chastotalar haqidagi axborotlarni taqdim etadi. Masalan, televideniye kabi mavjud (birlamchi) aloqa tizimi uzatish stansiyasi ikkilamchi foydalanish uchun litsenziyalangan spektrning borligi haqida e'lon qilinadigan xabarni uzatadi. Birlamchi tizim spektrdan foydalana olishga ruxsat berishi yoki ruxsat bermasligi mumkin. Axborotlarni almashishi texnik parametrlarni (uzatkich quvvati, uning joylashgan o'ri, chastota, modulyatsiya va h.k.), moliyaviy parametrlarni (narxlar, to'lov variantlari va h.k.) va xizmat ko'rsatish sifatini (signal-shovqin nisbati, muhofaza munosabatlari va h.k.) o'z ichiga olishi mumkin.

Aktiv anglash. Aktiv anglash ekspluatatsion muhitda spektrdan joriy foydalanish haqida axborotlarni olish yo'li hisoblanadi. Aktiv anglash usuli boshqa tizimlar foydalanadigan chastotalar polosasini aniqlash uchun spektrni monitoring qilish qo'yilgan usul yangi birlamchi foydalanuvchilar va bo'lishi mumkin bo'sh kanallar o'z vaqtida aniqlanishi uchun ekspluatatsion muhitni doimo monitoring qilinishini talab qiladi.

Radiochastota spektrini monitoring qilishni amalga oshirilishida ikkilamchi tizimdan asosiy tizimning abonent terminaliga halaqitlar mavjud bo'ladigan (yashirin terminal muammosi) vaziyatlar vujudga kelishi mumkin. Bunday vaziyatda ikkilamchi foydalanuvchi birlamchi qabul qiluvchiga ta'sir qilishi

mumkin, chunki uning o'zi har doim ham asosiy tizim uzatkichining signalini aniqlay olmaydi. Bu muammoni yengib o'tish uchun o'lchashlar aniqligini oshirish uchun tekshirib ko'rish davrini oshirish zarur, bu o'z navbatida axborot xabarlarini uzatish uchun foydalana olinadigan vaqtni qisqartiradi.

Yashirin terminal muammosini yengib o'tishning yana bir yo'li ikkilamchi foydalanuvchilar orasida tekshirib ko'rish natijalari haqida axborotlarni almashtirish hisoblanadi. Bu holda aktiv va passiv anglash usullarning kombinatsiyasi ishlatiladi.

Yechimni qabul qilishda hisobga olinadigan funksional parametrlar to'plamlariga bog'liq ravishda kognitiv radiotizimlarning (KRT) quyidagi turlarini ajratish mumkin:

- kuzatish uchun barcha bo'lishi mumkin RET yoki simsiz tarmoqlar parametrlari e'tiborga olinadigan to'liq kognitiv radio ("Mitola radio");
- faqat bir parametr bo'lgan radiochastota spektrining bandligi ko'rib chiqiladigan spektrni tekshirib ko'rish asosidagi kognitiv radio.

Kuzatish uchun to'liq bo'lmagan parametrlar to'plamini ishlatilishida kognitiv radiotizim bu ikki turlar orasidagi oraliq o'rinni egallaydi.

Asosiy boshqarish kanallarining (xizmat axborotlarini almashtirish) turlari bo'yicha KR quyidagi sinflarga bo'linadi:

- ajratilgan boshqarish kanalili (xizmat axborotlarini almashtirish) KRT;
- taqsimlangan boshqarish kanalili (xizmat axborotlarini almashtirish) KRT.

Bunday sinfga bo'lish ko'plab radiotizimlar uchun an'anaviy hisoblanadi va atroflicha ko'rib chiqilmaydi.

Hozirgi vaqtda tadqiqotchilarning bir qismi KRni intellektual tizimlarga kiritadi, boshqa qismi esa ularni alohida sinflarga ajratadi va ularni dasturiy-rekonfiguratsiyalanadigan radiotizimlar va intellektual radiotizimlar orasiga joylashtiradi. Bu masalaga oydinlik kiritish uchun sun'iy intellekt va intellekt tizimi tushunchasini ko'rib chiqish zarur. "Sun'iy intellekt" atamasining muallifi Jon Makkarti 2007 yilda Stenford universiteti nashrlaridan biriga bergan intervyusida quyidagi tushunchani berdi:

"Intellekt bu o'z-o'zidan o'rganishning borishida ma'lum murakkablikdagi sinflardagi masalalarni yechish uchun tizimning dasturlarni yaratishi (birinchi navbatda evristik) va bu masalani yechish qobiliyati hisoblanadi.

Intellektual tizimning "Intellektli tizim bu o'rganish, o'z-o'zidan o'rganish, maqsadlarni mustaqil qo'yish uchun o'z potensial vositalariga va o'z maqsadlariga erishish uchun usullar va vositalarga ega bo'lgan tizimdir" tushunchasi berilgan.

Keltirilgan tushunchalardan kelib chiqib quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

- agar anglash siklining natijasida olingan bilish tizimning keyingi sikllarida faqat tahlil qilish uchun ishlatilsa, u holda u nointellektual KRTlar sinfiga kiradi;

- agar KRT oldin olingan bilishlarni hisobga olib ishlasa va ulardan vaziyatni taxmin qilish uchun foydalansa, u holda u intellektual KRTlar sinfiga kiradi.

2012 yilda Butunjahon radioaloqa konferensiyasida 1V tadqiqot guruhi tomonidan taklif etilgan kognitiv radioning “Kognitiv radioaloqa tizimi bu tizimga qoidalarda va uning ichki holati orqali o‘rnatilgan o‘z operatsion va geografik muhiti haqida bilishlarni olishga va oldindan aniqlangan maqsadlarga erishish uchun u olgan bilishlarga muvofiq o‘z operatsion (ishchi) parametrlarini dinamik va avtonom tuzatishga va erishilgan natijalar bo‘yicha o‘rganishga imkon beradigan texnologiyadan foydalanadigan radiotizim” tushunchasi ko‘rib chiqilgan.

Bu tushuncha KRning asosiy funksiyalarini va ularning ishlatilishini tavsiflaydi. Shu bilan bir vaqtda u KRni o‘z-o‘zini tashkil qilish, spektrga dinamik ulanishni ishlatishi, operatsion (ishchi) muhitga ta’sir etish, masalan, spektrning bo‘sh oralig‘ini egallash yo‘li bilan mumkinligi qobiliyatini to‘liq darajada aks ettiradi. Shuni hisobga olganda quyidagi KR tushunchasi taklif etiladi:

“Kognitiv radiotizim bu o‘z operatsion va geografik muhitini surishtirib aniqlashga, unga o‘z funksional parametrlari va protokollarini moslashtirishga yoki o‘rnatilgan rostlash siyosati va o‘z funksional holatini e’tiborga olganda o‘z ekspluatatsion muhitini bilishlarni shakllanishi jarayonida to‘plangan va o‘zlashtirilgan ko‘nikmalar hisobiga o‘zgartirishga qodir bo‘lgan radiochastota spektriga dinamik ulanishli o‘z-o‘zidan tashkil etiluvchi radiotizim hisoblanadi”.

SDR (raqamli radiotizim) yangi konsepsiya, ayniqsa harbiy sohada yangi konsepsiya hisoblanmasada, keyingi vaqtlarda katta qiziqish uyg‘otmoqda, chunki u kognitiv radioning qo‘shimchasi sifatida qaralmoqda. CR (kognitiv radio) SDR ga asoslanishi shart bo‘lmasada, ravshanki, SDR kognitiv radiotexnikaning bo‘lishi mumkin dvigatellaridan biri sifatida qarash mumkin va shunday tarzda ikki texnologiya, so‘zsiz, bu nuqtai nazardan bir-birlarini to‘ldiradi. Ko‘zda tutiladiki, CR va SDR ko‘rib chiqish uchun ba’zi me’yoriy jihatlarga ega bo‘lishi mumkin va bu hozirgi vaqtda turli forumlarda ko‘rib chiqishda turibdi.

ETSI TR 102 838 V1.1.1 (2009-10) standarti doiralarida RRS (Rekonfiguratsiyalanadigan radiotizimlar) guruhi CR va SDR uchun bo‘lishi mumkin yangi standrtlashtirish sohalarini ko‘rib chiqmoqda. Rekonfiguratsiyalanadigan radiotizimlarni tadqiq qilish doirasida 3.1-rasmda tasvirlanganidek, yuqori tuzilmaviy darajada quyidagi komponentlarga ega bo‘lgan tarmoqlar ko‘rib chiqilmoqda.

Multiradio abonentlar qurilmalari (MUE) radio qismni rekonfiguratsiyalashga imkon beradigan, Multiradio texnologiyalarini boshqarish dasturlari bilan ta'minlangan foydalanuvchilar qurilmalari hisoblanadi. Rekonfiguratsiyalash radioilovalar yangi dasturiy ta'minotlarini foydalanuvchi qurilmasiga o'rnatish va yuklashni yoki radio parametrlarni, shu jumladan foydalanuvchi trafigi uchun ishlatiladigan radiochastotalar diapazonini o'zgartirishni o'z ichiga oladi. Modomiki, MUE bir vaqtda aktiv bo'lishi mumkin bo'lgan bir necha radiointerfeyslarga ega ekan, qurilma bir necha radiotarmoqlar bilan bir vaqtda bog'lanishga ega bo'lishi mumkin. Bu radioaloqa tarmoqlaridan ayrimlari radiochastotalardan tez moslashuvchan foydalanish uchun kognitiv radio texnologiyalariga ega bo'lishi mumkin, boshqalari esa o'z ishchi chastotalar diapazonida oddiy radio texnologiyalarni ishlatishi mumkin. Radio foydalanuvchi oddiy ma'lumotlaridan tashqari, MUE qurilmalari kognitiv boshqarish funksiyalarini ta'minlash uchun bir qancha radio resurslarini ishlatishi mumkin (16.13-rasm).

Bunday radio resurslarga misol birlamchi foydalanuvchilarga halaqitlardan qochish kerak bo'lgan spektrning chastotalar polosasida ikkilamchi foydalanuvchi sifatida radio ma'lumotlar kognitiv foydalanuvchisiga ishlashga yordam beradigan spektrni tekshirish radio resurslari va geolokatsiya radio resurslari hisoblanadi.

Kompozit simsiz tarmoqni umumiy boshqarish tizimili tarmoq operatori tomonidan boshqariladigan radio tarmoqlar to'plami hisoblanadi.

Har bir radio tarmoq ikki turdagi foydalanuvchilar va ulanish tugunlaridan tashkil topgan. Foydalanuvchilar tugunlari yuqorida tavsiflanganidek, MUE bo'lishi mumkin. Ulanish tugunlari bu umumiy ma'noda bazaviy stansiyalar bo'ladi. Bunday tugunlar rekonfiguratsiyalanadigan bo'lishi mumkin va ma'lum Multiradio texnologiyalari dasturiy ta'minoti ishlatilishi mumkin. Bunday ulanish tugunlari rekonfiguratsiyalanadigan bazaviy radio stansiyalar (R-RBS) deyiladi. CWNdagi radiotarmoqlardan ayrimlari kognitiv bo'lishi mumkin. Ular radiochastotalarni tez moslashuvchan ishlatadi va bu holda ham foydalanuvchi tugunlari, ham ulanish tugunlari umumiy kognitiv radio texnologiyasini qo'llab-quvvatlaydi.



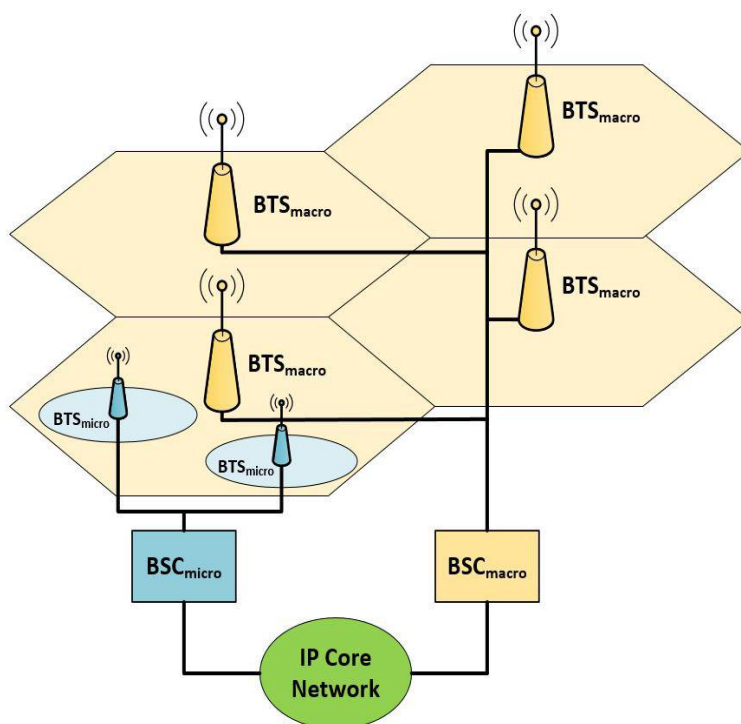
16.13-rasm. Markazlashtirilgan va markazlashtirilmagan radio tizimlar konsepsiyasi

Boshqa radio tarmoqlari o'z ishchi chastotalari diapazonlarida ishlashi mumkin. Operator Spektri Menejeri (OSM) bu operatorga uning CWNni doirasida spektrni dinamik tayinlashni boshqarishga imkon beradigan ob'ekt hisoblanadi. Qo'shma Radio resurslarni boshqarish bu kompozit radio resurslarni boshqarishga va foydalanuvchi trafigi uchun ulanish radio texnologiyasini tanlashga imkon beradigan C-NMS ichidagi ob'ekt hisoblanadi. Bu CWN tavsifi hatto radioaloqa tarmoqlarida biri kognitiv radio texnologiyasini ishlatmaganida ham to'g'ri bo'ladi.

CWN operatori barcha MUElardan umumiy trafikni turli radio tarmoqlar bo'yicha samarali taqsimlashdan manfaatdor bo'ladi. Buning uchun ham foydalanuvchilar tugunlarini, ham ulanish tugunlarini operatorning kognitiv Tarmoqni Boshqarish Tizimi qoidalariga muvofiq rekonfiguratsiyalash zarur bo'ladi. Bunday C-NMS trafik yuklamasini va CWNdan spektrni ishlatilishi haqida ma'lumotlarni to'playdigan va CWNda turli radio tarmoqlar orasida trafikni taqsimlaydigan markazlashtirilgan kognitiv boshqarish elementi hisoblanadi. Bunday trafikni kognitiv boshqarish funksiyalarga qo'shimcha ravishda C-NMS tarmoqni boshqarishning oddiy funksiyalarini ham o'z ichiga olishi mumkin.

MUE kognitiv yacheykali tarmoqlar ijtimoiy tarmoqlar xizmatlarini ta'minlash uchun o'zaro tor maxsuslashtirilgan va yacheykali tarmoqlarni yaratish uchun kichik masofalili ayrim radio tizimlardan ham foydalanishi mumkin. Bu xizmatlarni taqdim etish uchun ko'plab MUElar orasidan rekonfiguratsiyalanadigan va kognitiv radiotizimlardan foydalanish imkoniyati,

bunday Kognitiv yacheykali tarmoqlar (CMN) bilan bogʻlangan eng turli MUE larga xizmat koʻrsatishda katta tez moslashuvchanlikni qoʻshadi. U yerda bitta sohada bir necha aktiv CMNlar boʻlishi mumkin, ulardan har biri turli oxirgi foydalanuvchilar guruhlariga va xizmatlariga xizmat koʻrsatadi. Hamkorlik sharoitlarida spektrga kelishuvli ulanishning ishlatilishida CMN ularning radiochastotalarni ishlatishini muvofiqlashtirishi mumkin. CMNlar orasida bitta geografik hududda ishlaydigan va demak ularning spektrga foydalana olishini muvofiqlashtirishga muhtoj boʻlgan CMNlar orasida maʼlumotlarni almashtirish uchun Kognitiv Nazorat qilish Tarmogʻi (CSN) mantiqiy ajratish yordamida markazlashtirilmagan tartibda tashkil etilishi mumkin. CMN va CWN radiochastotalardan va Radio Ulanish Tarmogʻi (RAT) rejasida ikkita turli domenlarga tegishli boʻladi. MUE har ikkala CMN va CWNlarga ulanishi mumkin. Domenning ichida CMN, MUE boshqa MUElar uchun CWNga uzatish obʻektlari sifatida ishlaydi, shu bilan bir vaqtda, ulardan har biri toʻgʻridan-toʻgʻri CWNga mos RAT, masalan GSM, UMTS va LTE orqali ulanishi mumkin.



16.14-rasm. Makrosotali tarmoq sifatida mavjud GSM tarmogʻini, mikrosotali tarmoq sifatida LTE tarmogʻining ishlatilishi

Chastotalar spektrining tanqisligi sharoitlarida maʼlumotlarni uzatish tezligini oshirish masalasini kognitiv radio asosidagi integratsiyalangan tizim hal eta oladi. Asosiy xususiyati chastotalar spektrining bandligini monitoring qilish funksiyasini toʻgʻridan-toʻgʻri mobil stansiyaga oʻtkazish hisoblanadi. Makrosotali tarmoq sifatida mavjud GSM tarmogʻi, mikrosotali tarmoq sifatida LTE tarmogʻi ishlatiladi (16.14-rasm).

Nazorat savollari

1. Tashqi halaqitlarni tavsiflang. Ular qanday vujudga keladi?
2. Ichki halaqitlarni tavsiflang. Ular qanday vujudga keladi?
3. Fluktuatsion halaqitlarga nimalar kiradi?
4. Intermodulyatsiya nima?
5. Intermodulyatsiyani vujudga kelishi mexanizmini tushuntiring.
6. Ikkinchi tartibli intermodulyatsion buzilishlar koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
7. Filtrlarning ulanish turlari haqida soʻzlab bering.
8. Kognitiv radio nima?
9. KR RET tuzilish sxemasini tushuntiring.
10. Markazlashtirilgan va markazlashtirilmagan radio tizimlar konsepsiyasi nimadan iborat?

ATAMALAR RO'YXATI

Приемопередатчик
uz - qabul qilgich-uzatkich
en - transceiver

Устройство, которое как передает, так и получает информацию; размещается в радиоплате интерфейса сети.

Axborotni ham uzatadigan, ham qabul qiladigan qurilma; tarmoq interfeysining radioplatasida joylashtiriladi.

Радиосигнал
uz - radiosignal
en - RF signal

Сигнал, частота которого соответствует диапазону радиоволн, используется для передачи информации через воздушную среду.

Chastotasi radioto'lqinlar diapazoniga mos keladigan signal. Havo muhiti orqali axborot uzatish uchun foydalaniladi.

Фазовая манипуляция
uz - fazaviy manipulyasiya
en - phase shift keying (PSK)

Процесс модуляции, при котором для представления информации используются небольшие изменения фазы несущей, в результате чего возможна передача данных через радиоэфир.

Modulyasiya jarayoni bo'lib, axborotni taqdim etish uchun eltuvchi fazasi sal o'zgartiriladi, natijada ma'lumotlarni radioefir orqali uzatish mumkin bo'ladi.

Частотная манипуляция
uz - chastotaviy manipulyasiya
en - frequency shift keying (FSK)

Метод модуляции, при котором слегка изменяется частота несущего сигнала, за счет чего осуществляется представление информации способом, подходящим для ее передачи через воздушную среду.

Modulyasiya metodi, bunda eltuvchi signal chastotasi sal o'zgartirilishi hisobiga, axborotni havo muhiti orqali uzatish uchun qulay bo'lgan usulda taqdim etish amalga oshiriladi.

Амплитудно-частотная характеристика, АЧХ
uz - amplituda-chastotaviy

Характеристика, определяющая значение амплитуды сигнала на выходе устройства или канала связи по сравнению с входной

xarakteristika, ACHX
en - gain-frequency
characteristic

амплитудой для всех возможных частот передаваемого сигнала. Степень искажений сигнала (неравномерность АЧХ) оценивают по ширине полосы пропускания, измеряемой по заданному уровню (обычно 0,5).

Qurilma yoki aloqa kanali chiqishidagi signal amplitudasi qiymatini uzatiladigan signalning mumkin bo'lgan barcha chastotalari uchun tegishli kirish amplitudasi bilan taqqoslab aniqlovchi xarakteristika. Signalning buzilish darajasi (ACHX notekisligi) berilgan sath bo'yicha o'lchanadigan (u odatda 0,5 ga teng) o'tkazish polosasining kengligi bo'yicha baholanadi.

возбудитель
uz - qo'zg'atkich
en - launcher

Высокочастотный генератор передатчика, например, коаксиально-щелевого или волноводного типа.

Uzatkichdagi yuqori chastotali, masalan, koaksial-tirqishli yoki to'lqin o'tkazgich turidagi generator.

время когерентности
uz - kogerentlik vaqti
en - coherence time

Интервал времени, в пределах которого принимаемые сигналы могут рассматриваться как когерентные. Время когерентности в канале с замираниями зависит от разброса доплеровской частоты (f_d) и определяется как $1/f_d$. При невысокой скорости перемещения абонента оно существенно больше, чем необходимо для интерактивного обмена. По этой причине временное разнесение «в чистом виде» на практике встречается крайне редко.

Vaqt intervali, shu vaqt oralig'ida qabul qilinuvchi signallar kogerent deb qaralishi mumkin. Tinishlar kuzatiladigan kanaldagi kogerentlik vaqti dopler chastotasining

tarqoqligiga (fd) bog'liq bo'ladi va l/jd ko'rinishida aniqlanadi. Abonent harkatlanishining yuqori bo'lmagan tezligida u interaktiv almashinuv uchun kerak bo'ladiganidan ko'ra ancha kattadir. SHu sababli vaqt bo'yicha tarqoqlik «sof holda» amalda juda kam uchraydi.

Гетеродин
uz - geterodin
en - local oscillator

Вспомогательный маломощный генератор электрических колебаний, применяемый для преобразования частоты в супергетеродинном приемнике. Supergeterodinli qabul qilgichda chastotani o'zgartirish uchun qo'llaniladigan, yordamchi, kichik quvvatli elektr tebranishlar generatori.

Дуплекс; дуплексная
передача
uz - dupleks; dupleks uzatish
en - duplex

Процесс передачи сообщений по каналам связи одновременно в двух направлениях. Данный термин часто употребляется как прилагательное, означающее «дуплексный, одновременно двусторонний». В этом случае он характеризует тип канала связи или режим работы устройства, способного одновременно передавать и принимать информацию.

Aloqa kanallari bo'ylab xabarlarini bir vaqtning o'zida ikki yo'nalishda uzatish jarayoni. Bu atama «dupleks, bir vaqtning o'zida ikki tomonlama» ma'nosida ishlatiladi. Bunda u bir vaqtning o'zida ham uzatish, ham qabul qilish qobiliyatiga ega bo'lgan kanal turi yoki qurilmaning ishlash rejimini tavsiflaydi.

замирание
uz - tinish
en - fading

Внезапное ослабление или даже полное исчезновение радиосигнала, обусловленное случайными изменениями параметров передающей среды (температуры, влажности, давления), а

также из-за интерференции радиоволн, приходящих в точку приема по разным путям. При одних и тех же условиях распространения радиоволн замирания могут быть гладкими, если передаваемые сигналы узкополосные, и селективными, если они широкополосные. В зависимости от скорости изменения мгновенных значений сигнала замирания условно разделяются на быстрые и медленные.

Uzatuvchi muhit parametrlari (harorat, namlik, bosim)ning tasodifiy o'zgarishlari, shuningdek, qabul nuqtasiga turli yo'llardan keluvchi radioto'lqinlar interferensiyasi bilan bog'liq holda radiosignalning to'satdan susayishi yoki hatto, to'la yo'qolib qolishi. Agar uzatiluvchi signallar tor polosali bo'lsa radioto'lqinlarning bir xil sharoitlarida tinishlar bir tekisda bo'ladi, keng polosali bo'lganida esa selektiv tinishlar kuzatiladi. Signal oniy qiymatlarining o'zgarish tezligiga bog'liq holda tinishlarning ikki turi farqlanadi: tez va ohista.

Затенение
uz - soyalanish
en - shadowing

Медленные замирания на трассе между передатчиком и приемником, обусловленные экранирующим влиянием рельефа местности и городскими строениями. Например, в сетях сотовой связи этот вид замираний характерен для каждых (12-60) метров пути (временной интервал $1,2 \text{ s}$ - 6 s) при движении абонента со скоростью 36 km/h в городских условиях.

Joy reliefi va shahar imoratlarining to'suvchi ta'siri tufayli, uzatkich va qabul qilgich o'rtasidagi trassadagi sekin asta tinishlar. Masalan, shahar sharoitida 36 km/h tezlikda harakat qiluvchi

abonentlarga sotali aloqa tarmoqlarida bu xildagi tinishlar masofaning har (12-60) metri uchun xosdir (vaqt intervali 1,2 s-6 s).

Звено; тракт
uz - zveno; trakt
en - link

Часть системы связи или сквозного соединения, состоящего из нескольких последовательных участков.

Aloqa tizimining yoki ketma-ketlikdagi bir nechta uchastkadan iborat bo'lgan, boshdan oxir daxldorlikdagi birikmaning bir qismi.

**Избирательность по каналам
побочного приема**
**uz - nomaqbul qabul qilish
kanallari bo'yicha**
**en - spurious-response
selectivity**

Характеристика, определяющая способность радиоприемника выделять полезный сигнал при воздействии мешающих сигналов по каналам побочного приема.

Radioqabulqilgichning nomaqbul qabul qilish kanallari bo'ylab xalaqit beruvchi signallar ta'sir etganda foydali signalni ajratib olish qobiliyatini belgilovchi xarakteristika.

**Интерференционное
замирание**
uz - interferension tinish
en - interference fading

Замирание, возникающее по причине изменения относительных фаз сигналов, приходящих в точку приема по разным маршрутам.

Qabul qilish nuqtasiga turli yo'nalishlar bo'yicha keladigan signallarning nisbiy fazasi o'zgarishi sababli sodir bo'ladigan tinish.

**Квадратурная фазовая
манипуляция со сдвигом**
**uz - siljishli kvadratura-
fazaviy manipulyasiya**
**en - Offset Quadrature Phase-
Shift Keying (OQPSK)**
**(син. Staggered Quadrature
Phase-Shift Keying – SQPSK)**

Метод модуляции, при котором сигналы в синфазном и квадратурном каналах сдвинуты на $T/2$ (T – длительность символа), а фаза манипулированного сигнала изменяется в пределах $\pm \pi/2$. Применение OQPSK позволяет снизить требования к показателю линейности усилителя мощности, так как после манипуляции в выходном радиосигнале отсутствуют нежелательные провалы

огибающей радиосигнала.

Sinfaza va kvadraturaviy kanallarda signallar $T/2$ ga (T – simvolning davomiyligi) siljiydigan, manipulyasiyalangan signal fazasi $\pm \pi/2$ doirasida o‘zgaradigan modulyasiya metodi. OQPSK ning qo‘llanilishi quvvat kuchaytirgichning chiziqlilik ko‘rsatkichiga bo‘lgan talabni pasaytirish imkonini beradi, chunki manipulyasiyadan so‘ng chiqish radiosignalida uni og‘ib o‘tuvchi nomaqbul pasayish bo‘lmaydi.

Квадратурный канал

uz - kvadraturaviy kanal

en - Q channel

Канал, у которого фаза входного сигнала сдвинута относительно опорного на 90° .

Kirish signalining fazasi tayanch signalnikiga nisbatan 90° ga siljirilgan kanal.

Кодирование

uz – kodlash

en - encoding

Процесс преобразования исходной информации в кодированную форму.

Dastlabki axborotni kodlangan shaklga o‘zgartirish jarayoni.

Одна боковая полоса

uz - bitta yon polosa

en - Single Sideband (SSB)

Амплитудно-модулированный сигнал, спектр которого состоит из одной боковой полосы, расположенной ниже (нижняя боковая полоса) или выше (верхняя полоса) несущей частоты.

Spektri eltuvchi chastotadan pastda (quyi yon polosa) yoki yuqorida (yuqori polosa) joylashgan bitta yon polosadan iborat amplitudaviy modulyasiyalangan signal.

Передающая среда

uz - uzatuvchi muhit

en - transmission media

Совокупность различных типов наземных средств радиосвязи, спутниковых, кабельных и волоконно-оптических линий, используемых для передачи информации.

Axborotni uzatish uchun foydalaniladigan turli er usti radioaloqa vositalari, yo‘ldoshi,

Поддиапазон
uz - quyi diapazon
(poddiapazon)
en - subband

помехозащищенность
uz - xalaqitdan
himoyalanganlik
en - error performance

помехозащищенность,
помехоустойчивость
uz - xalaqitdan himoyalangan-
lik, xalaqitga chidamlilik
en - jam-protection, jam-
resistance

kabelli va optik tolali liniyalar yig'indisi.

Часть диапазона рабочих частот, в пределах которого обеспечивается работа радиостанции.

Ishchi chastotalar diapazonining bir qismi bo'lib, uning chegarasida radiostansiyaning ishi ta'minlanadi.

Показатель, характеризующий степень устойчивости работы аппаратуры при появлении ошибок в принятых символах. Qabul qilingan simvollarda xato paydo bo'lganida apparatura ishining barqarorlik darajasini tavsiflovchi ko'rsatkich.

Способность радиостанции устойчиво функционировать в условиях воздействия преднамеренных помех.

Помехоустойчивость обеспечивается за счет использования одного или нескольких видов селекции сигнала, основанных на использовании различий между полезным сигналом и преднамеренными помехами. Наиболее эффективна пространственная селекция, при которой в диаграмме направленности антенны формируется провал, ориентированный на источник помех.

Ataylab qilinadigan xalaqitlar sharoitida radiostansiyaning barqaror ishlay olish qobiliyati. Xalaqitga chidamlilik foydali signal va ataylab qilinuvchi xalaqitlar o'rtasidagi tafovutdan foydalanishga asoslangan, bir yoki bir necha turdagi signallarning seleksiyasidan foydalanish evaziga ta'minlanadi. Fazoviy seleksiya eng samarali bo'lib, unda antenning yo'nalganlik diagrammasida xalaqitlar manbaiga mo'ljallangan botiqlik hosil bo'ladi.

Преобразование
uz - o'zgartirish
en - transformation

Замена одного сигнала другим, получаемым из первого по определенным правилам.

Birinchi signalni undan ma'lum qoidalar bo'yicha olinadigan boshqa signal bilan almashtirish.

Приемопередатчик;
трансивер
uz - qabul qilgich-uzatkich;
transiver
en - transceiver

Комбинация передающего и приемного устройства, размещенных в одном корпусе. Обычно реализуется в портативном или мобильном вариантах исполнения.

Bitta korpusda joylashgan qabul qiluvchi va uzatuvchi qurilmalarning kombinatsiyasi. Odatda, portativ yoki mobil variantlarda ishlab chiqariladi.

прямая видимость
uz - to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish
en - Line-Of-Sight (LOS)

Наличие геометрической (оптической) видимости между передающей и приемной антеннами. Термин

также употребляется как прилагательное «в пределах прямой видимости» или «радиорелейный» (о трассе).

Uzatuvchi va qabul qiluvchi antennalar o'rtasida geometrik (optik) ko'rinishning mavjudligi. Atama, shuningdek, «to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish chegarasida» yoki «radioreleli» (trassa haqida) mazmunlarida ham qo'llaniladi.

Радиоканал
uz - radiokanal
en - radio channel

Полоса частот, образующая канал, достаточная для организации информационного обмена между передающим и приемным пунктами. Максимальная ширина полосы канала зависит от вида передаваемой информации, нестабильности частоты, величины доплеровского сдвига, а также частотно-селективных свойств передающей среды.

Uzatuvchi va qabul qiluvchi punktlar

o'rtasida axborot almashuvini ta'minlash uchun etarli kanal hosil qiladigan chastotalar polosasi. Kanal polosasining maksimal kengligi uzatiladigan axborot turi, chastota nostabilligi, Doppler siljishi kattaligi, shuningdek, uzatuvchi muhitning chastotaviy-selektiv xossalari bog'liq bo'ladi.

Сверхвысокая частота, СВЧ
uz - o'ta yuqori chastota,
O'YuCh
en - superhigh frequency
(SHF)

Область частот, лежащих в диапазоне от 3 до 30 GHz. Диапазон СВЧ используется в системах фиксированной спутниковой и радиорелейной связи.

3 dan 30 GHz gacha bo'lgan diapazondagi chastotalar sohasi. Qayd etilgan yo'ldoshli va radioreleli aloqa tizimlarida qo'llaniladi.

Сигнал
uz - signal
en - signal

Изменяющаяся во времени физическая величина, используемая для передачи различных видов информации, а также оповещения о каких-либо событиях или состояниях объектов.

Vaqt bo'yicha o'zgaruvchi, turli xildagi axborotlarni uzatish, shuningdek, qandaydir voqea yoki ob'ektlarning holati haqida xabar berish uchun foydalaniladigan fizik kattalik.

Синтезатор
uz - sintezator
en - synthesizer

Генератор, формирующий большое число рабочих частот от одного источника опорных колебаний.

Tayanch tebranishlarning bitta manbaidan ko'p sonli ishchi chastotalarni shakllantiruvchi generator.

Спектр
uz - spektr
en - spectrum

Функция, описывающая зависимость изменения амплитуды и фазы сигнала от частоты и однозначно определяющая его характеристики и свойства. Спектр любого сигнала может быть представлен в виде суммы большого числа

гармонических колебаний с различными частотами, амплитудами и фазами. Такое разложение на гармонические составляющие называется спектральным разложением, а его свойства могут быть описаны с помощью распределения спектра амплитуд (энергетический спектр) и спектра фаз.

Signal amplitudasi va fazasining chastotaga bogʻliq ravishda oʻzgarishini tavsiflovchi hamda signalning xarakteristika va xossalari qatʻiy belgilovchi funksiya. Har qanday signalning spektri turli chastota, amplituda va fazadagi garmonik tebranishlarning yigʻindisi tarzida ifodalanishi mumkin. Garmonik tashkil etuvchilarga bunday ajratish spektral parchalanish deyiladi, uning xossalari esa amplitudalar spektri (energetik spektr) va fazalar spektrini taqsimlash yordamida tavsiflanishi mumkin.

Супергетеродинный радиоприемник
uz - superheterodinli radioqabulqilgich
en - superheterodyne receiver

Радиоприемное устройство, в котором входной сигнал с помощью смесителя переносится на промежуточную частоту, а затем осуществляется его усиление и демодуляция.

Основными преимуществами супергетеродинного приемника является высокая чувствительность и избирательность.

Kirish signalini aralashtirgich yordamida oraliq chastotaga koʻchirib oʻtkaziladigan, soʻngra uning kuchaytirilishi va demodulyasiyasi sodir boʻladigan radio qabul qilish qurilmasi. Superheterodinli qabul qilgichning asosiy ustunligi – yuqori sezgirlik va tanlovchanlikdir.

фильтр нижних частот
uz - quyi chastotalar filtri

Фильтр, который пропускает все частоты, лежащие ниже заданной частоты и

en - low-pass filter

отсекает остальные.

Berilgan chastotadan pastdagi barcha chastotalarni o'tkazadigan va boshqalarini kesib tashlaydigan filtr.

ADABIYOTLAR

1. «O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha harakatlar strategiyasi to‘g‘risida» O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-sonli Farmoni. <http://lex.uz/docs/3107036>.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yilning 19 fevralidagi “Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalar sohasini keyingi rivojlantirish choralari to‘g‘risida” 5349-PQ Qarori
3. Multi-Mode/Multi-Band RF Transceivers for Wireless Communications: Advanced Techniques, Architectures, and Trends / Edition 1 ByGernotHueber (Editor), Robert BogdanStaszewski (Editor)
4. Wolfgang Eberle. Wireless Transceiver Systems Design. KatholiekeUniversiteit Leuven. Interuniversity Microelectronics Center (IMEC). Leuven. Belgium.
5. D.A.Davronbekov, U.T.Aliev. Teleradioeshittirishda uzatish va qabul qilish qurilmalari. O‘quv darsligi, Toshkent, 2019 – 254 bet.
6. A.Abduazizov, D.Davronbekov. Radiouzatish va qabul qilish qurilmalari. O‘quv qo‘llanma. T.: “Fan va texnologiya”, 2011, 272 b.
7. A.Abduazizov. Elektraloqa nazariyasi. (Darslik). – T.: «Fan va texnologiya», 2011, 416 b.
8. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики. Учеб. пособие / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2005. - 392 с.
9. Головин О.В. Радиоприемные устройства. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с.: ил.
10. Онищук А.Г., Забеньков И.И., Амелин А.М. Радиоприёмные устройства. Уч. пособие. Минск, ООО «Новые знания», 2005. – 240 с.
11. М.Мухитдиновнинг умумий тахрири остида. Мобил алоқа тизимларига оид атамаларнинг русча- ўзбекча изоҳли луғати. Ўзбекистон алоқа ва ахборотлаштириш агентлиги. Фан-техника ва маркетинг тадқиқотлари маркази. Т.: 2008, 292 б.
12. М.Маҳмудовнинг умумий тахрири остида. Симсиз фойдаланиш тизимларига оид атамаларнинг русча-ўзбекча изоҳли луғати. Ўзбекистон алоқа ва ахборотлаштириш агентлиги. «UNICON.UZ» – Фан-техника ва маркетинг тадқиқотлари маркази Давлат унитар корхонаси («UNICON.UZ» ДУК).Т.: 2010, 192 б.

D.A. Davronbekov, Sh.U. Pulatov,
U.T. Aliyev, Yu.V. Pisetskiy

MOBIL ALOQA TIZIMLARINING UZATISH VA QABUL QILISH QURILMALARI

(O'quv darsligi)

Toshkent – «Aloqachi» – 2020

Muharrir: Q.Matqurbonov
Tex. muharrir: A.Tog'ayev
Musavvir: B.Esanov
Musahhiha: G.Tog'ayeva
Kompyuterda
sahifalovchi: B.Berdimurodov

Nashr.lits. AI №176. 11.06.11.

Bosishga ruxsat etildi: 12.03.2020. Bichimi 60x841 /16.
Shartli bosma tabog'i 13,5. Nashr bosma tabog'i 13,0.
Adadi 100. Buyurtma № 15.