

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИ**

**ФАКУЛЬТЕТ РАДИО И МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ**

**Кафедра «Технологии  
мобильной связи»**

**У.Т.Алиев, Б.Б.Файзуллаева, М.О.Султонова**

**методические указания по выполнению**

**«Индивидуального проектирования»**

## ВВЕДЕНИЕ

В данном методическом указании приведена методика проектирования для расчета высокочастотного тракта (транзисторного усилителя мощности) систем мобильной связи.

Рассмотрена методика и даны примеры расчета режима транзисторного усилителя мощности. Приведена методика построения и расчета резонансных согласующих цепей в транзисторных усилителях мощности.

Материалы данных методических указаний могут быть использованы при расчете и проектировании транзисторных высокочастотных трактов передатчиков для связи подвижных объектов, передатчиков для радиорелейной связи, передатчиков для радиосвязи в диапазоне дециметровых волн, передатчиков для радиосвязи в диапазоне метровых и дециметровых волн.

Методические указания может быть использованы для выполнения индивидуального проектирования для студентов по направления образования 5350100 – «Телекоммуникационные технологии (мобильная связь)».

Данная работа способствует формированию навыков проведения инженерных расчетов у студентов.

# 1. РАСЧЕТУ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ТРАНЗИСТОРНЫХ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ

## 1.1. Функция и принцип работы усилителей в передающих устройствах

Усилительные устройства применяются в широкой области техники, в том числе в телевидении, радиовещании, в системах автоматического управления, радиотехнике, радиолокации и других системах для усиления сигналов малой мощности, а также в различной радиоэлектронной аппаратуре, персональных компьютерах и т.д.

Электронным усилителем называется устройство, позволяющее преобразовывать входные электрические сигналы в сигналы большей мощности на выходе без существенного искажения их формы. Эффект увеличения мощности возможен при наличии в устройстве некоторого внешнего источника, энергия которого используется для создания повышенной мощности на выходе. Этот источник энергии, преобразуемый усилителем в энергию усиленных сигналов, называется источником питания.

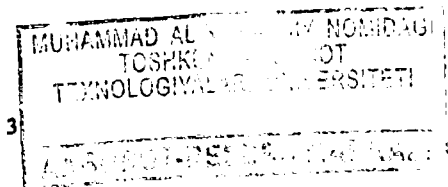
Энергия источника питания преобразуется в энергию полезного сигнала при помощи усилительных, или активных элементов. Устройство, являющееся потребителем усиленных сигналов, называют нагрузкой усилителя, а цепь усилителя, к которой нагрузка подключена, — выходной цепью, или выходом усилителя. Источник входного сигнала, который нужно усилить, называется источником сигнала, или входным источником или генератором, а цепь усилителя, в которую вводят входной сигнал, называется входной цепью, или входом усилителя.

Усилительное устройство состоит из усилительного элемента, резистора, конденсатора, источника постоянного тока в выходной цепи и нагрузки.

Цепь, состоящая из одного усилительного элемента, называется каскадом.

В настоящее время в самых распространенных усилителях используются транзисторы и интегральные микросхемы (ИМС). Усиление в усилителях осуществляется следующим образом. К входной цепи управляемого элемента (транзистора) подается напряжение входного сигнала. Под действием этого напряжения во входной цепи усилителя создается входной ток. Этот малый входной ток создает в токе выходной цепи усилителя переменную составляющую и в выходной цепи управляемого элемента переменная напряжения больше, чем напряжение во входной цепи усилителя (рис.1).

В настоящее время биполярные транзисторы (БПТ) применяются при построении радиопередатчиков, работающих на частотах вплоть до частоты порядка 7 ГГц.



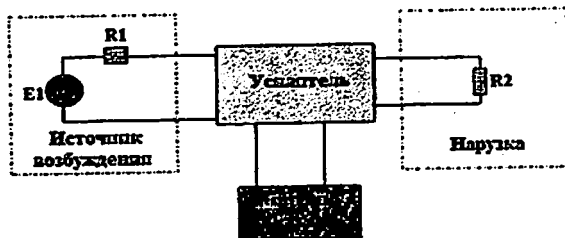


Рис. 1. Общий порядок процесса усиления

Расположение транзисторного усилителя в передатчике показано на рис. 2

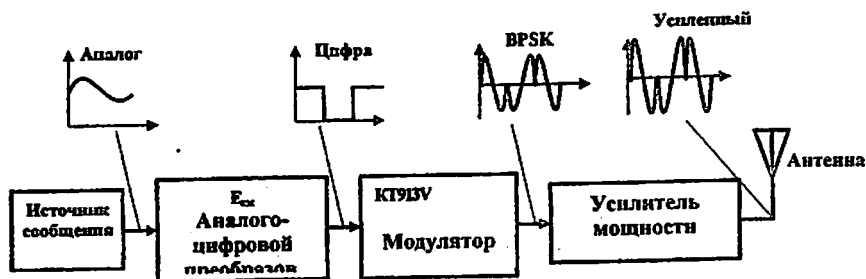


Рис. 2. Положение транзисторного усилителя в передатчике

Максимальная единичная мощность (мощность одного транзистора) транзисторов, выпускаемых для работы в различных диапазонах частот, а также ориентировочная максимальная мощность передатчиков на БПТ в соответствующих диапазонах частот характеризуются данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Мощности и частотные диапазоны биполярных транзисторов

Диапазоны частот МГц	Максимальная мощность транзистора, Вт	Ориентировочное значение мощности передатчика, кВт
0,05-50	250	1
100-400	100-150	0,5
1000-2000	40-50	0,2-0,3
5000-7000	4-10	0,05

В справочных данных на генераторные транзисторы приводятся рекомендуемые области применения транзисторов по частоте, значению напряжения коллекторного питания, выходной мощности, коэффициента

усиления по мощности и электронного КПД в типовом режиме.

Справочные данные некоторых транзисторов, приведены в приложении 2 и 3.

При проектировании передатчиков необходимо стремиться к использованию транзисторов на частотах и при уровнях мощности, близких к значениям, указанным для типового режима.

Можно применять транзисторы и на частотах, лежащих ниже частоты типового режима, при этом рабочая частота должна быть не меньше минимальной рабочей частоты для данного транзистора (для некоторых транзисторов, в частности, для СВЧ транзисторов существует ограничение по минимальной рабочей частоте).

Теоретически значение коэффициента усиления мощности  $K_p(f)$  на частотах  $f$ , отличных от частоты типового режима  $f_{тип}$ , определяется формулой

$$K_p(f) = K_p(f_{тип}) \left( \frac{f_{тип}}{f} \right)^2.$$

На практике чаще выполняется соотношение

$$K_p(f) = K_p(f_{тип}) \frac{f_{тип}}{f}.$$

Поэтому при составлении структурной схемы передатчика целесообразнее использовать значение  $K_p(f)$ , рассчитанное с помощью последнего соотношения.

## 1.2. Расчет и составление структурной схемы транзисторного усилителя мощности

Для составления структурной схемы необходимы следующие исходные данные:

- 1) мощность  $P_{ин}$ , которую передатчик должен развивать в нагрузке;
- 2) диапазон рабочих частот;
- 3) вид нагрузки и ее параметры;
- 4) вид модуляции;
- 5) напряжение источника питания;
- 6) уровень внеполосных излучений;
- 7) выходная мощность возбудителя  $P_{возб}$ .

В общем случае ВЧ тракт транзисторного передатчика имеет структуру, показанную на рис.3. Выходной фильтр обеспечивает требуемую степень подавления высших гармоник. Устройства сложения (УСМ) и распределения (УРМ) мощности необходимы для суммирования мощности нескольких транзисторов (или модулей), если мощность одного транзистора не достаточна для обеспечения заданной мощности передатчика.

Коллекторная СЦ необходима для преобразования сопротивления

нагрузки (например, входного сопротивления УСМ) в  $R_K$  - сопротивление, требуемое для обеспечения работ транзистора в заданном режиме. Входная СЦ преобразует комплексное входное сопротивление транзистора в заданное сопротивление на входе каскада усиления. Во всех этих функциональных узлах (СЦ, УСМ, УРМ, фильтре) теряется часть мощности, развиваемой транзисторами, что должно быть учтено при расчете мощности транзисторов. Потери мощности в цепи обычно характеризуются ее КПД. При расчете структурной схемы можно задаваться следующими значениями КПД узлов:

$$\text{КПД фильтра } \eta_{\phi} = 0,85 \div 0,95,$$

$$\text{КПД УСМ (УРМ)} \eta_{\text{УСМ}} = \eta_{\text{УРМ}} \approx 0,85 \div 0,95,$$

$$\text{КПД СЦ } \eta_{\text{СЦ}} = 0,8 \div 0,95.$$

При каскадном включении нескольких узлов результирующий КПД определяется как произведение значений КПД отдельных узлов. Например, КПД  $\eta_{\text{ОК}}$  устройства, содержащего СЦ, УСМ и выходной фильтр будет равен

$$\eta_{\text{ок}} = \eta_{\text{сц}} \cdot \eta_{\text{усм}} \cdot \eta_{\phi}.$$

Составление структурной схемы начинается с расчета мощности  $P_{\text{1ОК}}$ , на которую должны быть выбраны транзисторы выходного (оконечного) каскада

$$P_{\text{1ОК}} = P_{\text{1Н}} / \eta_{\text{ок}}.$$

Далее выбирается тип транзистора, определяется количество транзисторов в выходном каскаде и, при необходимости, способ объединения их мощности. Определяется коэффициент усиления по мощности  $K_P$  транзистора на заданной частоте, а также мощность возбуждения оконечного каскада

$$P_{\text{ВХОК}} = P_{\text{1ОК}} / K_P.$$

Затем по полученной мощности возбуждения  $P_{\text{ВХОК}}$  с учетом потерь в соответствующих СЦ (в необходимых случаях - также в УРМ или УСМ) определяется мощность транзисторов и уточняется структура пред оконечного каскада. Аналогично расчет остальных каскадов. Расчет структурной схемы УМ заканчивается  $P_{\text{1ВОЗБ}}$ .

где  $P_{\text{ВХТЛГ}}$  - входная мощность ТУМ;

$P_{\text{1ВОЗБ}}$  - выходная мощность возбудителя.

Если мощность возбудителя в технических требованиях не оговорено, то можно задать ее значением в пределах

$$P_{\text{ВОЗ}} \approx 200 \text{ мВт.}$$

В большинстве случаев разработанная таким образом структурная схема является ориентировочной. В процессе проектирования, она подлежит уточнению. Рекомендуется показать на структурной схеме типы используемых транзисторов и способ их включения, значение входной и выходной мощности, входного и выходного сопротивления и т.п. Чем детальнее составлена структурная схема, тем большую, помощь она оказывает в процессе проектирования передатчика.

#### Пример расчета.

Пусть требуется составить структурную схему ТУМ передатчика по следующим исходным данным:

- мощность в нагрузке  $P_{\text{Н}} = 8 \text{ Вт}$ ;
- диапазон частот 900 МГц;
- нагрузка несимметричная,  $R_{\text{Н}} = 50 \text{ Ом}$ ;
- напряжение коллекторного  $E_{\text{К}} = 28 \text{ В}$ ;

Расчет структурной схемы производится в следующем порядке:

1. Определяется структура выходного (оконечного) каскада. При этом учитывается, во-первых, что на выходе ТУМ должен быть установлен полосовой фильтр, поскольку задана высокая степень фильтрации. Во-вторых, самый мощный из транзисторов, который можно применить в заданном диапазоне частот (Приложение 2) КТ913В, имеет выходную мощность 5 Вт. Следовательно, заданная мощность ТУМ в нагрузке может быть получена только с применением устройств сложения мощности (УСМ). Таким образом, выходной каскад передатчика будет содержать следующие узлы:

- выходной фильтр с КПД  $\eta_{\text{Ф}}$ ;
- УСМ с КПД  $\eta_{\text{УСМ}}$ ;
- коллекторную СЦ с КПД  $\eta_{\text{СЦ}}$ .

2. Определяется мощность, на которую должны быть выбраны транзисторы оконечного каскада (ОК). Предварительно задаются значения соответствующих КПД, например,  $\eta_{\text{Ф}} = 0,95$ ;  $\eta_{\text{УСМ}} = 0,9$ ;  $\eta_{\text{СЦ}} = 0,95$ . Тогда результирующий КПД выходных цепей ОК будет равен

$$\eta_{\text{ОК}} = \eta_{\text{Ф}} \cdot \eta_{\text{УСМ}} \cdot \eta_{\text{СЦ}} = 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,81225$$

а мощность транзисторов ОК:

$$P_{\text{ОК}} = \frac{P_{\text{Н}}}{\eta_{\text{ОК}}} = \frac{8}{0,81225} = 9,85 \text{ (Вт).}$$

Для определения количества транзисторов  $N_{\text{T}}$  в оконечном каскаде полученное значение мощности делим на номинальное значение мощности  $P_{\text{ном.т}}$  выбранного транзистора (КТ970А–100Вт) и округляем полученный результат до ближайшего большего целого числа

$$N_T = \text{Integer} \left( \frac{9,85}{5} \right) \approx 2.$$

Таким образом, при использовании в ОК транзисторов КТ903V заданная выходная мощность передатчика может быть получена с использованием двух транзисторов. При этом каждый из транзисторов должен отдавать мощность:

$$P_1 = \frac{P_{1OK}}{N_T} = \frac{9,85}{2} = 4,9 \text{ (Вт)}.$$

3. Далее определяется мощность возбуждения ОК. На частоте типичного режима  $f_{тип} = 1000 \text{ МГц}$  транзистор КТ903VA имеет коэффициент усиления мощности  $K_P = 2$  (Приложение 1).

На средней частоте заданного диапазона рабочих частот  $f_{раб} = 900 \text{ МГц}$  коэффициент усиления мощности будет равен:

$$K_P(f_{раб}) = K_P(f_{тип}) \cdot \frac{f_{тип}}{f_{раб}} = 2 \cdot \frac{1000}{900} = 2,2.$$

Мощность возбуждения ОК:

$$P_{\text{вхОК}}^1 = \frac{P_{1OK}}{K_P(f_{раб})} = \frac{9,85}{2,2} = 4,47 \text{ (Вт)},$$

а с учетом потерь во входных СЦ ( $\eta_{\text{вхСЦ}} = 0,9$ )

$$P_{\text{вхОК}} = \frac{P_{\text{вхОК}}^1}{\eta_{\text{вхСЦ}}} = \frac{4,47}{0,9} = 4,97 \text{ (Вт)}.$$

4. Определяется мощность, которую должен отдавать транзистор предоконечного каскада (ПОК), полагая, что КПД коллекторной СЦ ПОК  $\eta_{\text{СЦ}} = 0,9$  и КПД УРМ  $\eta_{\text{УРМ}} = 0,9$

$$P_{\text{ПОК}} = \frac{P_{\text{вхОК}}}{\eta_{\text{УРМ}} \cdot \eta_{\text{СЦ}}} = \frac{4,97}{0,9 \cdot 0,9} = 6,14 \text{ (Вт)}.$$

Такую мощность может обеспечить один транзистор КТ942А ( $P_{\text{НОМ}} = 9 \text{ Вт}$ ), что позволяет включить УРМ между предоконечным и окончательным каскадом (рис.3)

5. Дальнейший расчет структурной схемы производится в аналогичном порядке: определяется коэффициент усиления мощности на рабочей частоте  $K_P(f_{раб})$  транзистора КТ942А, определяется мощность возбуждения ПОК и т.д.  $f_{тип} = 2000 \text{ МГц}$ ,  $K_P = 2, 25$ ,  $f_{раб} = 900 \text{ МГц}$



$$K_P(f_{\text{раб}}) = K_P(f_{\text{мин}}) \cdot \frac{f_{\text{мин}}}{f_{\text{раб}}} = 2 \cdot \frac{2000}{900} = 5$$

$$P_{\text{ахОК}}^1 = \frac{P_{\text{аОК}}}{K_P(f_{\text{раб}})} = \frac{6,14}{5} = 1,228 \text{ (Вт)},$$

а с учетом потерь во входных СЦ ( $\eta_{\text{ахСЦ}} = 0,9$ ).

$$P_{\text{ахОК}} = \frac{P_{\text{ахОК}}^1}{\eta_{\text{ахСЦ}}} = \frac{1,228}{0,9} = 1,36 \text{ (Вт)}$$

Дальнейший расчет структурной схемы производится в аналогичном порядке: определяется коэффициент усиления мощности на рабочей частоте  $K_P(f_{\text{раб}})$  транзистора КТ937А, определяется мощность возбуждения ПОК и т.д.  $f_{\text{ТПП}} = 5000 \text{ МГц}$ ,  $K_P = 2$ ,  $f_{\text{раб}} = 900 \text{ МГц}$

$$K_P(f_{\text{раб}}) = K_P(f_{\text{мин}}) \cdot \frac{f_{\text{мин}}}{f_{\text{раб}}} = 2 \cdot \frac{5000}{900} = 11,1$$

$$P_{\text{ахОК}}^1 = \frac{P_{\text{аОК}}}{K_P(f_{\text{раб}})} = \frac{1,36}{11,1} = 0,12 \text{ (Вт)},$$

а с учетом потерь во входных СЦ ( $\eta_{\text{ахСЦ}} = 0,9$ )

$$P_{\text{ахОК}} = \frac{P_{\text{ахОК}}^1}{\eta_{\text{ахСЦ}}} = \frac{0,12}{0,9} = 0,136 \text{ (Вт)}$$

Расчет остановлен, потому что условие  $P'_{\text{ДК.ldr}} = 0,136 < 0,2 \text{ Вт}$  удовлетворено

Расчитанная структурная схема ТУМ приведена на рис.3.

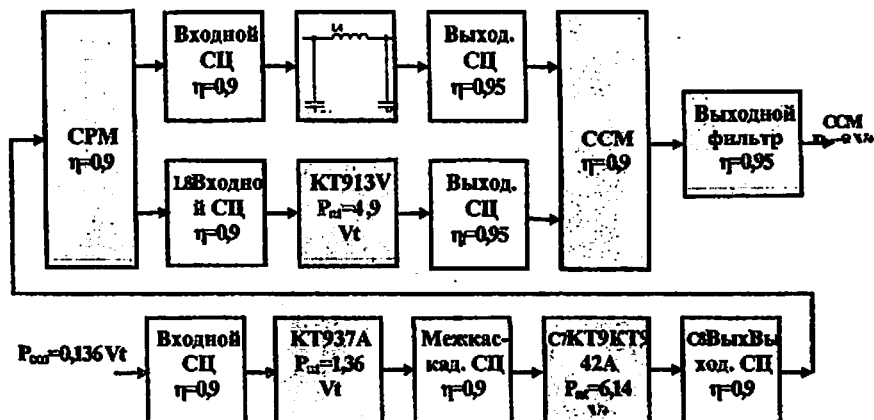


Рис. 3. Структурная схема транзисторного усилителя мощности

### 1.3. Расчет режима транзисторного генератора, собранного по схеме с ОЭ

#### Основные расчетные соотношения

При расчете генератора на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, должны быть следующие исходные данные:

- 1)  $P_{г}$ —входная мощность;
- 2)  $f$ —рабочая частота;
- 3)  $E_K$  или  $U_{кдоп}$ —соответственно напряжение коллекторного питания или максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер;
- 4)  $\theta$ —угол отсечки коллекторного тока;
- 5)  $\alpha_1(\theta), \alpha_0(\theta), \gamma_1(\theta), \gamma_0(\theta)$ —коэффициенты разложения периодической последовательности импульсов—находятся из таблиц по заданному  $\theta$ ;
- 6) тип транзистора и его параметры:
  - $f_T$ — граничная частота;
  - $\beta_0$ — коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером;
  - $E'$ — напряжение отсечки;
  - $r_{нас}$ —сопротивление насыщения;
  - $C_{кк}$ —активная емкость коллектора;
  - $C_K$ —емкость коллекторного перехода;
  - $C_э$ —емкость эмиттерного перехода;
  - $r_b, r_c, r_э$ —соответственно сопротивления базы, коллектора, эмиттера;
  - $L_b, L_c, L_э$ —индуктивность вывода соответственно эмиттера, базы и коллектора;
  - $I_{кд}$ —максимально допустимый коллекторный ток.

Дополнительные соотношения для расчета генератора по схеме с общей базой:

$\alpha_0 = \frac{\beta_0}{1 + \beta_0}$  — статический коэффициент усиления по току в схеме с общей базой;

$f_a = f_T + \frac{f_T}{\beta_0}$ —граничная частота усиления тока в схеме с общей базой.

Расчет режима коллекторной цепи производится в следующем порядке.

Коэффициент использования коллекторного напряжения в критическом режиме:

$$\xi_{KP} = 0,5 + 0,5 \sqrt{1 - \frac{8P_1 r_{нас}}{\alpha_0(\theta) E_K^2}}$$

Амплитуда первой гармоники коллекторного напряжения:

$$U_K = E_K \xi_{KP}.$$

Максимальное напряжение на коллекторе:

$$U_{K\max} = E_K + U_K \leq U_{K\text{ДОП}}.$$

Амплитуда первой гармоники коллекторного тока:

$$I_{K1} = \frac{2P_1}{V_K}.$$

Постоянная составляющая коллекторного тока

$$I_{K0} = \frac{\alpha_0(\theta)}{\alpha_1(\theta)} I_{K1} \text{ при } \theta < 180^\circ;$$

$$I_{K0} = (1,1 \div 1,2) I_{K1} \text{ при } \theta = 180^\circ.$$

Постоянные составляющие базового и эмиттерного токов:

$$I_{B0} = I_{K0} / \beta_0; I_{E0} = I_{K0} + I_{B0}.$$

Максимальное значение коллекторного тока:

$$I_{K\max} = \frac{I_{K0}}{\alpha_0(\theta)} \leq I_{K\text{ДОП}} \text{ при } \theta < 180^\circ;$$

$$I_{K\max} = I_{K0} + I_{K1} \leq I_{K\text{ДОП}} \text{ при } \theta = 180^\circ.$$

Мощность, потребляемая от источника коллекторного питания:

$$P_0 = I_{K0} E_K.$$

КПД коллекторной цепи:

$$\eta = \frac{P_1}{P_0}.$$

Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора:

$$P_{PAC} = P_0 - P_1.$$

Сопротивление коллекторной нагрузки:

$$R_K = \frac{U_K}{I_{K1}}.$$

Расчет режима входной цепи производится в следующем порядке.  
 Без размерный параметр:

$$\omega\tau_{отк} = \begin{cases} \omega\tau_{откОБ} = \frac{f}{f_{\alpha}} \text{ (для схемы ОБ)} \\ \omega\tau_{откОЭ} = \frac{\beta_0 f}{f_T} \text{ (для схемы ОЭ)}. \end{cases}$$

Амплитуда входного тока:

$$I_{ВХ} = I_{Э} = I_{К1} \frac{\sqrt{1+(\omega\tau_{откОБ})^2}}{\alpha_0 \gamma_1(\theta)} \text{ (в схеме ОБ);}$$

$$I_{ВХ} = I_{Б} = I_{К1} \frac{\sqrt{1+(\omega\tau_{откОЭ})^2}}{\beta_0 \gamma_1(\theta)} \text{ (в схеме ОЭ),}$$

$$\text{где } \omega\tau_{ЭКВ} = \omega\tau_{откОЭ} + \beta_0 \omega C_{КА} R_K \gamma_1(\theta).$$

Напряжение смещения на эмиттерном переходе:

$$E_{Б} = -|E'| - I_{Э0} \left( r_{Э} + \frac{r_{Б}}{1+\beta_0} \right) \text{ (в схеме ОБ);}$$

$$E_{Б} = |E'| + I_{Б0} (r_{Б} + (1+\beta_0)r_{Э}) \text{ (в схеме ОБ).}$$

Входное сопротивление транзистора

$$Z_{ВХ} = R_{ВХ} + jX_{ВХ}.$$

$$R_{ВХ} = r_{Э} + r_{Б} - \alpha_0 \gamma_1(\theta) \omega r_L L_{Б} - \frac{\alpha_0 \gamma_1 (r_{Б} - \omega r_L L_{Б})}{1 + (\omega\tau_{откОБ})^2};$$

$$X_{ВХ} \approx \omega(L_{Э} + L_{Б}) - \frac{\gamma_1 (\beta_0 r_{Э} - \omega r_L L_{Э}) \omega\tau_{ЭКВ}}{(1 + \omega\tau_{ЭКВ})^2}$$

Мощность возбуждения:

$$P_{ВХ} = 0,5 I_{ВХ}^2 R_{ВХ}.$$

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_p = \frac{P_1}{P_{ВХ}}.$$

**Пример расчета режима транзисторного генератора, собранного по схеме с ОЭ**

*Заданы:*

- 1) мощность генератора  $P_1 = 4,9$  Вт ,
- 2) рабочая частота  $f = 900$  МГц.

$$R_{ВХ} = r_{Э} + r_{Б} - \alpha_0 \gamma_1(\theta) \omega r L_{Б} - \frac{\alpha_0 \gamma_1(r_{Б} - \omega r L_{Б})}{1 + (\omega \tau_{отк ОБ})^2};$$

$$X_{ВХ} \approx \omega(L_{Э} + L_{Б}) - \frac{\gamma_1(\beta_0 r_{Э} - \omega r L_{Э}) \omega \tau_{ЭКВ}}{(1 + \omega \tau_{ЭКВ})^2}$$

Мощность возбуждения:

$$P_{ВХ} = 0,5 I_{ВХ}^2 R_{ВХ}.$$

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = \frac{P_1}{P_{ВХ}}.$$

Пример расчета режима транзисторного генератора, собранного по схеме с ОЭ

Заданы:

1) мощность генератора  $P_1 = 4,9$  Вт,

2) рабочая частота  $f = 900$  МГц.

Будем считать, что выбранный транзистор имеет следующие параметры:

$E_K = 28$  В;  $U_{K доп} = 55$  В;  $\beta_0 = 10$ ;  $f_T = 1100$  МГц;  $r_{нас} = 1,12$  Ом;

$C_{кк} = 2,7$  пФ;  $r_{б} = 1,1$  Ом;  $L_{э} = 0,25$  нГн;  $L_{б} = 2,5$  нГн;  $L_{к} = 2$  нГн;  $E' = 0,7$  В.

Выбираем угол отсечки  $\theta = 90^\circ$ ;  $\alpha_0(\theta) = 0,319$ ;  $\alpha_1(\theta) = 0,5$ ;

$\theta = 0$ ;  $\gamma_1(\theta) = 0,5$ .

Режим работы — критический.

Коллекторная цепь

$$U_K = E_K \xi_{кр} = 28 \left[ 0,5 + 0,5 \sqrt{1 - \frac{8 \cdot 4,9 \cdot 1,12}{0,5 \cdot 28^2}} \right] = 26,32 \text{ В};$$

$$U_{K макс} = 28 + 26,32 = 54,32 \leq U_{K доп} = 55 \text{ В};$$

$$I_{K1} = \frac{2 \cdot 4,9}{26,32} = 0,37 \text{ А};$$

$$I_{K0} = \frac{0,319}{0,5} \cdot 0,37 = 0,237;$$

$$I_{б0} = \frac{0,237}{10} = 0,0237 \text{ А}; I_{э0} = 0,237 + 0,0237 = 0,258 \text{ А};$$

$$I_{K макс} = \frac{0,237}{0,319} = 0,74;$$

$$P_0 = 28 \cdot 0,237 = 6,36 \text{ Вт};$$

$$\eta = \frac{4}{6,36} = 0,77;$$

$$P_{рас} = 6,36 - 4,9 = 1,46 \text{ Вт};$$

$$R_K = \frac{26,32}{0,37} = 71,13 \text{ Ом.}$$

### Входная цепь

$$\omega\tau_{отк} = 10 \cdot \frac{0,900}{0,900} = 10;$$

$$\omega\tau_{ЭКВ} = 10 + 10 \cdot 6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9 \cdot 2,7 \cdot 10^{-12} \cdot 71,3 \cdot 0,5 = 15,22;$$

$$I_{ВХ} = I_B = 0,237 \frac{\sqrt{1+15,22^2}}{10^{10,5}} = 0,72 \text{ А};$$

$$E_B = 0,7 + 0,0237(1,1 + (1 - 10 +))0,05 = 0,75 \text{ В};$$

$$R_{ВХ} \frac{1,1 + 0,05 + 0,05 \cdot 6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9 \cdot 0,25 \cdot 10^{-9} -}{1 + (15,22)^2} = 1,857 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{эк}} = \frac{6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9 \cdot 2,75 \cdot 10^{-9} - 0,5 \cdot (10 \cdot 0,05 - 6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9 \cdot 0,25 \cdot 10^{-9}) \cdot 15,22}{1 + 15,22^2} = 86,02 \text{ Ом}$$

$$P_{ВХ} = 0,5 \cdot 0,72^2 \cdot 1,857 = 0,48 \text{ Вт};$$

$$K_P = \frac{4}{0,48} = 10,1 \geq 2,2$$

## 1.4. Использование Г-образных реактивных четырехполюсников для трансформации сопротивлений

### Эквивалентность последовательной и параллельной цепей

Свойство Г - образных четырехполюсников преобразовывать одну величину сопротивления в другую основано на том, что любая последовательная цепь, состоящая из реактивного и активного сопротивлений может быть заменена эквивалентной параллельной, которая обладает одинаковым с последовательной цепью полным сопротивлением. Это можно доказать следующим образом. Модуль полного сопротивления последовательной цепи (рис. 3.1,а) равен:

$$Z = \sqrt{R_{\text{пол}}^2 + X_{\text{пол}}^2} \quad (1)$$

Добротность такой цепи:

$$Q = X_{\text{пол}} / R_{\text{пол}} \quad (2)$$

Аналогично модуль полного сопротивления параллельной цепи (рис. 4, б) равен:

$$Z = \frac{R_{\text{сер}} \cdot X_{\text{пар}}}{\sqrt{R_{\text{сер}}^2 + X_{\text{пар}}^2}} \quad (3)$$

Добротность параллельной цепи:

$$Q = R_{\text{сер}} / X_{\text{пар}} \quad (4)$$

Приравняв правые части (1) и (3) и подставляя в них (2) и (4), получим:

$$R_{\text{сер}} = R_{\text{пол}} (Q^2 + 1) \quad (5)$$

Из уравнения (5) видно, что подбором добротности последовательной или параллельной цепи может быть осуществлена трансформация одного сопротивления в другое.

Реактивное сопротивление может быть индуктивным или емкостным. Трансформация сопротивлений будет иметь место в обоих случаях.

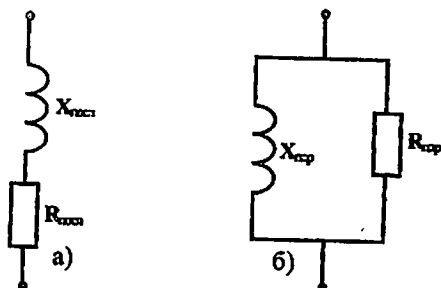


Рис. 4. Эквивалентность последовательной и параллельной цепей

**Применение Г-образного реактивного четырехполюсника для трансформации сопротивлений**

Г-образный четырехполюсник является простейшей согласующей цепью (СЦ), в которой для целей трансформации сопротивлений используется принцип эквивалентности последовательной и параллельной цепей.

Идея использования этого принципа заключается в следующем. Пусть требуется трансформировать сопротивление  $R_1$  в сопротивление  $R_2$  ( $R_1 < R_2$ ). Для преобразования сопротивления  $R_2$  последовательно с  $R_1 = R_{\text{пос}}$  включаем реактивное сопротивление  $X_{\text{пос}}$  (рис.5.а). В соответствии со свойством эквивалентности последовательной и параллельной цепей схеме (рис.5.а) будет соответствовать эквивалентная ей цепь, состоящая из параллельно включенных  $R_{\text{пар}}$  и  $X_{\text{пар}}$  (рис.5б).

При выборе значения  $Q$  в соответствии с соотношением:

$$Q = \sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1} = \sqrt{\frac{R_{\text{пар}}}{R_{\text{пос}}} - 1}, \quad (6)$$

$R_{\text{пар}}$  будет равно  $R_2$ .

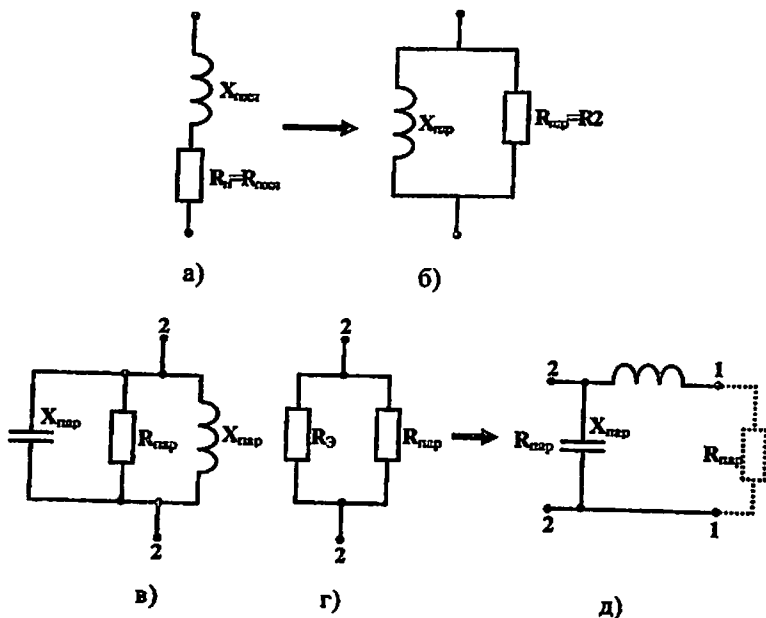


Рис. 5. Использование Г-образного четырехполюсника для преобразования сопротивлений

Для того чтобы сопротивление параллельной цепи (рис.5,б) было чисто активным, параллельно реактивности  $X_{\text{пар}}$  подключаем реактивное сопротивление  $X_{\text{пар}}$  (рис.5.в), равное по величине  $X_{\text{пар}}$  и противоположное



**Первый вариант.** Заданы  $R_{\text{нпр}}$ ,  $R_{\text{посл}}$ ,  $f$ . Этот вариант расчета применяется при необходимости преобразования одного чисто активного сопротивления в другое. Порядок расчета в этом случае следующий:

- определяется добротность:

$$Q = \sqrt{\frac{R_{\text{нпр}}}{R_{\text{посл}}} - 1}; \quad (7)$$

- значение последовательного реактивного сопротивления:

$$X_{\text{посл}} = R_{\text{посл}} \cdot Q; \quad (8)$$

- значение параллельного реактивного сопротивления:

$$X_{\text{нпр}} = R_{\text{нпр}} / Q; \quad (9)$$

- значения  $L$  и  $C$  определяются по формулам:

$$L = X_{\text{нпр}} / 2\pi f; \quad C = 1 / 2\pi f X_{\text{посл}} \quad (10)$$

**Второй вариант.** Заданы  $R_{\text{нпр}}$ ,  $X_{\text{нпр}}$ ,  $f$ . Этот вариант встречается, как правило, при расчете коллекторной СЦ.

Порядок расчета:

$$\begin{aligned} 1. Q &= R_{\text{нпр}} / X_{\text{нпр}} \\ 2. R_{\text{посл}} &= R_{\text{нпр}} / (1 + Q^2) \\ 3. X_{\text{посл}} &= R_{\text{посл}} \cdot Q \end{aligned} \quad (11)$$

Значения  $L$  и  $C$  рассчитываются по формулам (10).

**Третий вариант.** Заданы  $R_{\text{посл}}$ ,  $X_{\text{посл}}$ ,  $f$ . Такой вариант встречается при расчете входной СЦ.

Порядок расчета:

$$\begin{aligned} 1. Q &= X_{\text{посл}} / R_{\text{посл}} \\ 2. R_{\text{нпр}} &= R_{\text{посл}} / (1 + Q^2) \\ 3. X_{\text{нпр}} &= R_{\text{нпр}} / Q \end{aligned} \quad (12)$$

Значения  $L$  и  $C$  рассчитываются так же, как и в предыдущих случаях.

### Построение коллекторной СЦ в транзисторном УМ диапазона СВЧ

Исходные данные (рис. 7):

$R_1 = R_K = U_K / I_{K1}$  - сопротивление коллекторной нагрузки;

$R_2 = R_N$  - заданное сопротивление нагрузки;

$X_{СК} = 1 / \omega C_K$  - реактивное сопротивление емкости коллекторного перехода на

рабочей частоте;

$X_{LK} = \omega L_K$  - реактивное сопротивление индуктивности вывода коллектора;

$\omega = 2\pi f$  - рабочая - частота.

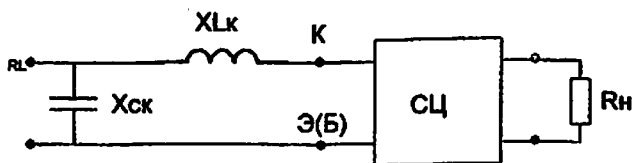


Рис.7.

Принимаем  $R_{\text{нап1}} = R_1$ ,  $X_{\text{нап1}} = X_{CK}$  и рассчитываем параметры первого Г-звена используя формулы (11), приведенные для второго варианта расчета:

$$Q_1 = R_{\text{нап1}} / X_{\text{нап1}};$$

$$R_{\text{пос1}} = \frac{R_{\text{нап1}}}{1 + Q_1^2};$$

$$X_{\text{пос1}} = R_{\text{пос1}} \cdot Q_1.$$

Сравниваем значение  $X_{\text{пос1}}$  с  $X_{LK}$ . Если оказывается, что  $X_{LK} < X_{\text{пос1}}$ , то для реализации Г-звена включаем дополнительную последовательную реактивность:

$$X_{\text{дон}} = X_{\text{пос1}} - X_{LK}.$$

Если  $X_{LK} > X_{\text{пос1}}$ , то мысленно разделяем  $X_{LK}$  на две реактивности  $X_{\text{пос1}}$  и  $X_I = X_{LK} - X_{\text{пос1}}$ . Первая из этих реактивностей ( $X_{\text{пос1}}$ ) будет образовывать последовательную ветвь первого согласующего звена (СЗ), а последняя ( $X_I$ ) - войдет во второе СЗ (как часть реактивного сопротивления последовательной ветви).

В качестве второго звена СЦ берем еще одно Г-звенно. Полагая, что  $R_{\text{нап2}} = R_2$  и  $R_{\text{пос2}} = R_{\text{пос1}}$ , расчет этого звена производим по формулам (7) - (10) для первого варианта расчета:

$$Q_2 = \sqrt{\frac{R_{\text{нап2}}}{R_{\text{пос2}}} - 1};$$

$$X_{\text{пос2}} = R_{\text{пос2}} \cdot Q_2;$$

$$X_{\text{нап2}} = R_{\text{нап2}} / Q_2.$$

Полная схема рассчитанной коллекторной СЦ приведена на рис. 7 (при практической реализации индуктивные сопротивления  $X_{L\text{дон}}$  и  $X_{\text{пос2}}$  объединяются в одно, равное  $X_{L\text{дон}} + X_{\text{пос2}}$ ).

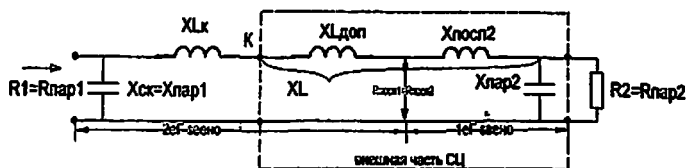


Рис.8. Эквивалентная схема коллекторной СЦ

Значение  $L$  и  $C$  определяем по данной формуле :

$$L = X_L / 2\pi f; \quad C = X_C / 2\pi f X_{нар2}$$

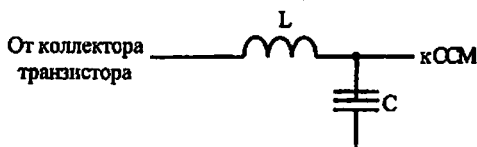


Рис.9. Расчетная схема коллекторной СЦ

Пример 1.

$$R_1 = R_k = U_k / I_k = 71,3 \text{ Ом};$$

$$R_H = 50 \text{ Ом};$$

$$C_k = 7 \text{ пФ};$$

$$L_k = 2 \text{ нГн};$$

$$f = 900 \text{ МГц};$$

$$X_{Ck} = 1 / (2\pi f C_k) = 1 / (5,65 \cdot 10^9 \cdot 7 \cdot 10^{-12}) = 25 \text{ Ом};$$

$$X_{Lk} = 2\pi f L_k = 5,65 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-9} = 11,3 \text{ Ом}.$$

Рассчитываем первое Г-звено (рис.6). При этом полагаем, что  $R_{нар1} = R_k = 71,3 \text{ Ом}$  и  $X_{нар1} = X_{Ck} = 25 \text{ Ом}$ .

Тогда

$$Q_f = 71,3 / 25 = 2,85;$$

$$R_{посл} = 71,3(1 + 2,85^2) = 22,2 \text{ Ом};$$

$$X_{посл} = 9,380,529 = 4,96 \text{ Ом}.$$

$X_{посл} > X_{Lk}$  следовательно, для реализации Г-звена необходимо включить дополнительное последовательное индуктивное сопротивление

$$X_{Lдоп} = 22,2 - 11,3 = 10,9 \text{ Ом}.$$

Рассчитываем второе Г-звено. Поскольку  $R_H > R_{посл}$ , полагаем, что

$R_{\text{пар}2} = R_H = 50 \text{ Ом}$  и  $R_{\text{пос}2} = R_{\text{пос}1} = 7,8 \text{ Ом}$ . Далее рассчитываем по формулам (7)-(9):

$$Q = \sqrt{\frac{50}{7,8}} - 1 = 2,33;$$

$$X_{\text{пар}1} = 50 / 2,33 = 21,46 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{пос}2} = 7,8 \cdot 2,33 = 18,174 \text{ Ом}.$$

Объединяем  $X_{\text{пос}2}$  и  $X_{L\text{доп}}$  в одно сопротивление:

$$X_L = 18,174 + 10,9 = 22,26 \approx 29,074 \text{ Ом}.$$

Рассчитываем  $L$  и  $C_{\text{пар}2}$ :

$$L = \frac{29,074}{6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9} = 5,14 \text{ нГн};$$

$$C_{\text{пар}2} = \frac{1}{6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9 \cdot 21,46} = 18,9 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 18,25 \text{ пФ}$$

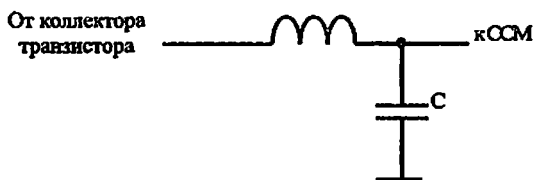


Рис.10. Расчетная схема коллекторной СЦ

### Построение входной СЦ в транзисторном УМ диапазона СВЧ

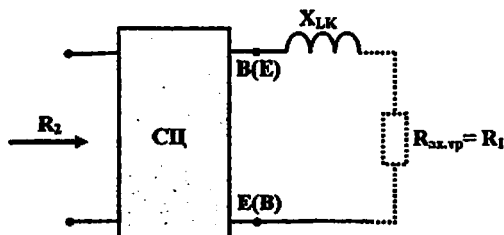


Рис.11. Входная цепь

$R_1 = R_{\text{ср}}$  — активная составляющая входного сопротивления транзистора;

$X_{\alpha} = \omega L_{\alpha}$  реактивная составляющая входного сопротивления транзистора;

$\omega = 2\pi f$  - рабочая частота;

$R_2 = R_{\text{вх}2}$  - входное сопротивление усилителя.

Расчет производится в следующем порядке. Полагая  $R_{\text{вх}1} = R_1 = R_{\alpha}$  и  $X_{\text{вх}1} = X_{\alpha}$  рассчитываем первое звено входной ЦЧ

1.  $Q_1 = X_{\text{вх}1} / R_{\text{вх}1}$ ;
2.  $R_{\text{вх}1} = R_{\text{вх}1} / (1 + Q_1^2)$ ;
3.  $X_{\text{вх}1} = R_{\text{вх}1} / Q_1$ .

В общем случае полученное при расчете значение  $R_{\text{вх}1} \neq R_2$ , поэтому для преобразования  $R_{\text{вх}1}$  в  $R_2$  ставим дополнительное СЗ. Расчет этого звена производится с помощью соотношений (7)-(10), при этом в качестве  $R_{\text{вх}2}$  принимается большее из сопротивлений  $R_{\text{вх}1}$  и  $R_2$ , а в качестве  $R_{\text{вх}2}$  - меньшее:

4.  $Q = \sqrt{\frac{R_{\text{вх}1}}{R_{\text{вх}2}} - 1}$ ;
5.  $X_{\text{вх}2} = R_{\text{вх}2} \cdot Q$ ;
6.  $X_{\text{вх}2} = R_{\text{вх}2} / Q$ .

Полная схема рассчитанной входной ЦЧ приведена на рис. 12. (рисунок соответствует случаю, когда  $R_{\text{вх}1} > R_2$ ).

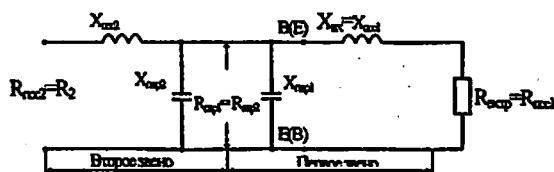


Рис.12. Расчетная схема входной цепи :

### Пример 2

$R_1 = R_{\text{вх}1} = 1,857 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = R_{\text{вх}2} = 50 \text{ Ом}$ ;  $L_{\text{вх}} = 3 \text{ нГн}$ ;  $f = 900 \text{ МГц}$

$X_{\text{вх}} = 2\pi f L_{\text{вх}} = 5,65 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9} = 16,95 \text{ Ом}$ .

По формулам рассчитываем первое Г-звено полагая, что  $R_{\text{вх}1} = R_{\text{вх}1} = 18,857 \text{ Ом}$  и  $X_{\text{вх}1} = X_{\text{вх}} = 16,95 \text{ Ом}$ :

$$Q = 16,95 / 1,857 = 9,13;$$

$$R_{\text{вх}1} = 1,857(1 + 9,13^2) = 154,8 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{нар}} = 154,8 / 1,45 = 106,76 \text{ Ом.}$$

Поскольку  $R_{\text{нар1}} > R_2$ , при расчете второго Г-звена полагаем, что  $R_{\text{нар2}} = R_{\text{нар1}} = 154,8 \text{ Ом}$ , а  $R_{\text{нос2}} = R_2 = 50 \text{ Ом}$  и далее производим расчет по формулам (7) - (9):

$$Q_2 = \sqrt{\frac{154,8}{50}} - 1 = 1,45;$$

$$X_{\text{нос2}} = 50 \cdot 1,45 = 72,39 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{нар2}} = 154,8 / 1,45 = 106,76 \text{ Ом.}$$

Далее рассчитываем значения L и C:

$$C_{\text{нар1}} = \frac{1}{6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9 \cdot 16,9} = 10,47 \cdot 10^{-12} \text{ ф} = 10,47 \text{ пФ};$$

$$C_{\text{нар2}} = \frac{1}{6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9 \cdot 106,76} = 1,66 \cdot 10^{-12} \text{ ф} = 1,7 \text{ пФ};$$

$$L_{\text{нос2}} = \frac{72,39}{6,28 \cdot 0,9 \cdot 10^9} = 6,9 \cdot 10^{-12} \text{ Гн} = 12,8 \text{ нГн.}$$

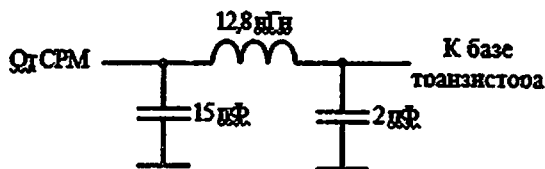
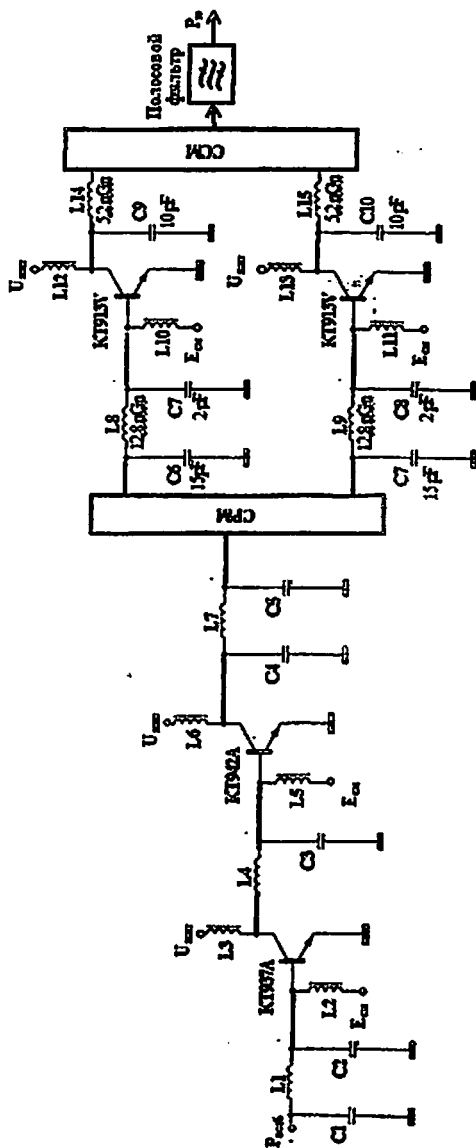


Рис.13. Расчетная схема входной цепи

Пример разработанного усилителя мощности показан на рисунке 13.



13-рис. Пример разработанного усилителя мощности

## Приложение-1

### Варианты индивидуальной работы

Вариант	Рабочая частота $f_{\text{раб}}$ , МГц	Мощность на выходе РПДУ, Р <sub>из</sub> , Вт	Используемая система
1	450	15	CDMA
2	150	8	DECT
3	175	12	DECT
4	200	4	DECT
5	2600	16	LTE
6	180	10	DECT
7	900	6	GSM
8	1800	8	LTE
9	2100	15	UMTS
10	190	6	DECT
11	800	18	LTE
12	2600	10	LTE
13	200	10	DECT
14	1800	5	GSM
15	190	5	DECT
16	200	15	DECT
17	850	8	LTE
18	1800	7	LTE
19	1900	20	WSDMA
20	700	6	LTE
21	800	8	LTE
22	185	4	DECT
23	2300	20	LTE
24	2100	10	UMTS



Приложение 2

№	Тип транзистора	Проводимость	Диапазон Рабочих Частот ГГц	Типовые эксплуатационные параметры				
				f, МГц	P, Вт	K <sub>p</sub>	η %	E <sub>к</sub> , В
1	КТ 306А	п-р-п	0.1-0.4	170	0,4	4,5	40	5
2	КТ 606А	п-р-п	0.1-0.4	100	1,5	3	45	28
3	КТ 610	п-р-п	0.1-0.4	400	1,0	4	45	12,6
4	КТ 904А	п-р-п	0.1-0.4	180	8	8	65	28
5	КТ 907А	п-р-п	0.1-0.4	150	13,5	5	65	28
6	КТ 909V	п-р-п	0,1-0,5	500	15	1,5	55	28
7	КТ 911А	п-р-п	0,4-0,8	1800	1	2,5	30	28
8	КТ 913А	п-р-п	0,2-1,0	1000	3	2	40	28
9	КТ 913В	п-р-п	0,2-1,0	1000	5	2	40	28
10	КТ 913V	п-р-п	0,2-1,0	1000	10	2	50	28
11	КТ 914А	п-р-п	0.1-0.4	400	2,5	2,5	40	28
12	КТ 918А	п-р-п	1,0-3,0	3000	0,25	2	55	20
13	КТ 918В	п-р-п	1,0-3,0	3000	0,5	2	55	20
14	КТ 919А	п-р-п	0,7-2,4	2000	4,4	4,4	33	28
15	КТ 919В	п-р-п	0,7-2,4	2000	2	4	30	28
16	КТ 919V	п-р-п	0,7-2,4	2000	1	5	25	28
17	КТ 920В	п-р-п	0,05-0,2	175	5	9	60	12,6
18	КТ 922А	п-р-п	0,05-0,2	175	5	20	60	28
19	КТ 925А	п-р-п	0,2-0,4	320	2	7	63	12,6
20	КТ 925В	п-р-п	0,2-0,4	320	5	6	70	12,6
21	КТ 934А	п-р-п	0.1-0.4	400	3	8	50	28
22	КТ 934В	п-р-п	0.1-0.4	400	12	5,5	50	28
23	КТ 934V	п-р-п	0.1-0.4	400	25	4	50	28
24	КТ 937А	п-р-п	0,9-5,0	5000	2	2	35	21
25	КТ 937В	п-р-п	0,9-5,0	5000	3,8	1,9	38	21
26	КТ 938А	п-р-п	0,9-5,0	5000	1	2	33	20
27	КТ 942А	п-р-п	0,7-2,0	2000	9	2,25	30	28
28	КТ 962А	п-р-п	0,4-1,5	1000	10	4	36	28

## Параметры биполярных генераторных транзисторов

	Тип транзистора	Пар-ры ед. хар-ж			ВЧ параметры									Пред. Доп. Вет-ны		
		$I_{кэ, Ом}$	$E, В$	$V_0$	$f_t, МГц$	$C_{кэ}, Пф$	$C_{кб}, Пф$	$C_{эб}, Пф$	$r_b, Ом$	$r_{э}, Ом$	$L_{э}, нГн$	$L_{к}, нГн$	$L_{к}, нГн$	$U_{кэ}, В$	$U_{кб}, В$	$I_{кэ, А}$
1	КТ306А	20	0,7	20-60	500	1	3	3	30		11	11		10	4	0,05
2	КТ306А	5	0,7	30	350	3	10	42	3		12	12	12	65	4	0,8
3	КТ610	30	0,7	50-300	1250	1,5	4,1	21	13		0,6	2,4	2,4	26	4	0,6
4	КТ904А	1,2	0,7	10-60	350	2,6	12	130	1	0,1	2,5	2,5	2,5	60	4	1,5
5	КТ907А	1,4	0,7	10-50	350	3,5	20	220	1	0,4	0,8	2,5	2,3	60	4	3
6	КТ909А	0,36	0,7	10	350	5	30	250	0,5	0,15	0,45	2,5	2	60	3,5	4
7	КТ909В	0,16	0,7	10	500	9	60	500	0,25	0,1	0,45	2,5	2	60	3,5	8
8	КТ909В	0,36	0,7	10	300	5	35	250	0,5	0,15	0,45	2,5	2	60	3,5	4
9	КТ911А	10	0,7	40	1000	1,5	4	18	1	0,15	0,3	2,5	2,5	40	3	0,8
10	КТ913А	1,12	0,7	10-15	900	1,3	7		3	0,15	0,55	3	2	55	3,5	1
11	КТ913В	1,12	0,7	10-15	900	2,5	12		1,5	0,1	0,25	2,5	2	55	3,5	2
12	КТ913В	1,12	0,7	10-15	900	2,7	14		1,1	0,05	0,25	2,5	2	55	3,5	2
13	КТ914А	1,2	0,3	10-60	350	2,6	12	130	1	0,1	2,5	2,5	2,5	60	4	1,5
16	КТ916А	0,8	0,7	35	1400	4	14	190	0,7	0,05	0,35	1	0,6	55	3,5	4
17	КТ918А		0,7		800		4,2	15	3,5					30	2,5	0,5
18	КТ918В		0,7		1000		4,2	15	1					30	2,5	0,5
19	КТ919А	1	0,7	15-20	1350	2,5	10	50	0,5	0,14	0,5	0,14	0,7	45	3,5	1,5
20	КТ919В	2	0,7	15-20	1350	1,5	6,5	25	1		0,8	0,25	0,7	45	3,5	0,7
21	КТ919В	4	0,7	15-20	1350	0,7	4,5	12	2		1,3	0,35	0,7	45	3,5	0,4
23	КТ920В		0,7	40	700	4	16	100	2		1,2	2,4	2,6	36	4	2
24	КТ920В		0,7	25	450	12	50	410	0,7		1,0	2,4	2,4	36	4	7
25	КТ922А	3	0,7	50	700	2	8	75	2	0,15	1,7	2,9	2,4	65	4	1,5
26	КТ922В	1,4	0,7	50	650	5	20	200	1	0,1	1,1	2,5	2,4	65	4	4,5
27	КТ922В	0,8	0,7	50	400	10	50	500	0,5	0,05	0,9	2,4	2,4	65	4	9
28	КТ925А	4	0,7	30	1400		9,5		3		1,2	2,6	2,4	36	4	1
29	КТ925В	2	0,7	30	1700		15		4		1	2,4	2,4	36	4	3
30	КТ925В	0,5	0,7	30	1000		44		1		1	2,4	2,4	36	4	8,5
31	КТ927А	0,07	0,7	15-50	150	50	190	2850	2,65					70	3,5	30
32	КТ929А	1,7	0,7	40	1400	5	15		1,8	0,1	1,2	2,4	30	30	3	1,5
33	КТ930А	0,6	0,7	40	960	20	62	800	0,14	0,1	0,35	0,44	1,6	50	4	12
34	КТ930В		0,7	40	700	4	16	100	0,1	0,08	0,24	0,86	1,6	50	4	20
35	КТ931А	0,32	0,7	25	400	50	190	3200	0,36	0,09	0,29	0,13	1,6	60	4	30
36	КТ934А	2,0	0,7	50	900	2,5	6,5	30	2	0,1	1,3	3,1	2,6	60	4	1
37	КТ934В	1,1	0,7	50	900	3,6	10	100	1,4	0,1	1,2	3,1	2,5	60	4	2
38	КТ934В	0,5	0,7	50	900	8	22	200	0,6	0,05	1	2,8	2,5	60	4	4
39	КТ942А	3,8	0,7	30	3420	2	16,5	110	0,25		0,8	0,14	1,5	45	3,5	3
40	КТ962А	4,4	0,7	20-50	750	5	20		0,6	0,05	0,54	0,27	1,5	50	3,5	3

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы. / Под ред. А. В. Голомедова. М.: Радио и связь, 1995
2. Радиопередающие устройства / Под ред. В.В. Шахгильдяна М.: Связь, 2005.
3. Устройства генерирования и формирования радиосигналов. 2-е издание / Под ред. Г.М. Уткина, В.Н. Кулешова, М.В. Благовещенского - М.: Радио и связь, 1994.
4. Проектирование радиопередающих устройств / Под ред. В.В. Шахгильдяна - М.: Радио и связь, 1993.
5. Радиопередающие устройства / Под ред. В.Н. Каганов М.: Связь, 2002
6. А. Абдуазизов, Д. Давронбеков. Радиоузатиш ва қабул қилиш қурилмалари. Ўқув қўлланма. –Т.: “Фан ва технология”, 2011, 272 б.

Формат 60x84 1/16. Печ. лист 2.  
Заказ № 59. Тираж 20.  
Отпечатано в «Редакционно издательском»  
отделе при ТУИТ.  
Ташкент ул. Амир Темур, 108.