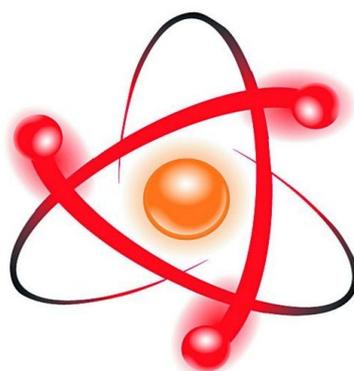


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



РТРУЛ-2

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ РАДИОЧАСТОТЫ
(УРЧ).**

Тула, 2012 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ РАДИОЧАСТОТЫ (УРЧ).

Цель работы: исследовать теоретические принципы построения схемы усилителей радиочастоты (УРЧ), экспериментально определить параметры сигналов в контрольных точках схемы.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Общие сведения об усилителях радиочастоты и их характеристики.

Усилитель радиочастоты (УРЧ) размещается между входной цепью и преобразователем частоты (в супергетеродинном радиоприёмнике) или между входной цепью и демодулятором (в приёмнике прямого усиления).

Назначение усилителя радиочастоты:

- усиление сигнала непосредственно на частоте несущего колебания;
- обеспечение (совместно с входной цепью) частотной избирательности по паразитным каналам приёма супергетеродинного радиоприёмника – зеркальному, прямого прохождения и комбинационным;
- повышение чувствительности радиоприёмного устройства в целом.

В состав УРЧ входят усилительный прибор и частотно избирательный фильтр. В качестве усилительных приборов используются:

- транзисторы (биполярные и полевые);
- малошумящие широкополосные усилители в микроэлектронном исполнении;
- электронные лампы;
- лампы бегущей волны и лампы обратной волны (в диапазоне СВЧ).

Кроме того, эффект усиления радиочастотного сигнала может быть получен в параметрических УРЧ и усилителях на туннельных диодах, которые используются в некоторых случаях в диапазоне СВЧ.

В качестве частотно-избирательного фильтра используются:

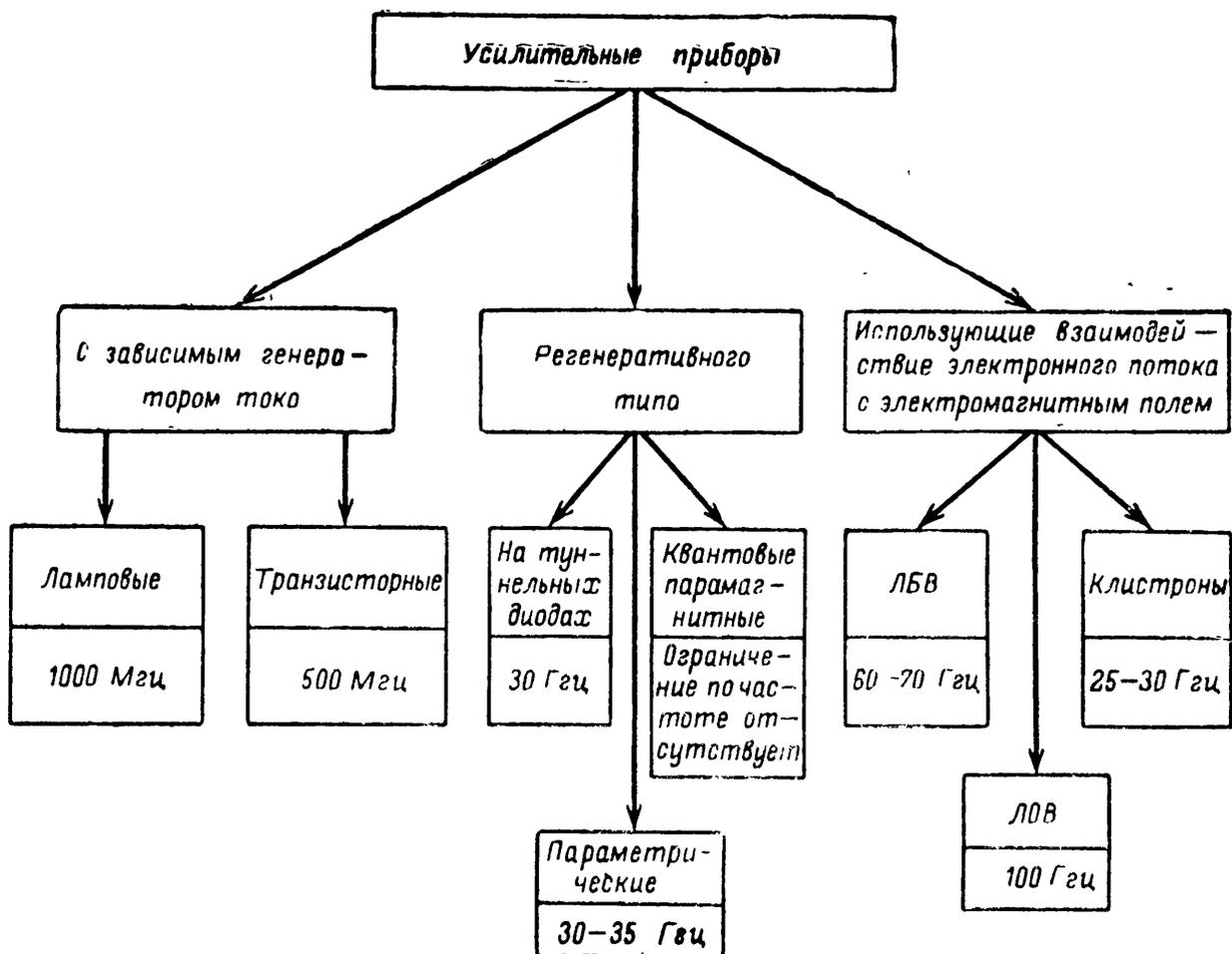
- параллельный колебательный контур;
- система колебательных контуров;
- электронно-акустические резонаторы;
- микрополосковые резонансные цепи;
- объёмные резонаторы.

Наиболее важными электрическими характеристиками качества УРЧ являются следующие:

- резонансный коэффициент усиления по напряжению;
- частотная избирательность;
- коэффициент шума, характеризующий интенсивность собственных шумов, возникающих в усилителе;
- коэффициент устойчивости;
- степень искажений сигнала в усилителе;
- диапазон рабочих частот.

Классификация УРЧ.

Усилители радиочастоты можно классифицировать по ряду признаков. Такими признаками могут быть: диапазон рабочих частот; применяемая схема межкаскадной связи; способ перестройки; схема включения усилительного прибора; вид резонансной системы; ширина полосы пропускания и т. д. Различают, например, широкополосные и узкополосные усилители. В основу этой классификации положено отношение ширины полосы пропускания $2\Delta f$ к средней частоте f_0 внутри полосы пропускания. При отношении $\frac{2\Delta f}{f_0} < 0,2$ усилитель считается узкополосным, а при отношении $\frac{2\Delta f}{f_0} > 0,2$ — широкополосным. По виду настройки усилители могут быть разбиты на две группы: с переменной настройкой и с фиксированной настройкой.



Классификация усилителей радиочастоты. (Цифры под названием типа усилителей соответствуют предельной частоте.)

Типовые схемы транзисторных УРЧ.

Мы будем рассматривать УРЧ диапазона умеренно высоких частот (до 200-300 МГц). Такие УРЧ обычно выполняются на биполярных или полевых транзисторах и состоят из одного или нескольких усилительных каскадов. В нашем случае рассматриваются простейшие однокаскадные схемы УРЧ.

На рис. 1.1 показана схема преселектора, состоящего из входной цепи (контур $L_{к(1)}C_{к(1)}$) и однокаскадного резонансного УРЧ на биполярном транзисторе, нагрузкой которого является колебательный контур $L_{к(2)}C_{к(2)}$. Оба колебательных контура настроены на частоту сигнала f_0 . Связь контуров с элементами схемы – автотрансформаторная. Транзистор включён по схеме с общим эмиттером (ОЭ) (эмиттер соединён по переменному току с земляной шиной через блокировочный конденсатор C_3). Сигнал с антенны через разделительный конденсатор $C_{р1}$ подаётся на отвод катушки первого (входного) колебательного контура. Напряжение, снимаемое со второго отвода контурной катушки $L_{к(1)}$, прикладывается к переходу «база-эмиттер» транзистора. Переменная составляющая коллекторного тока протекает через второй (выходной) колебательный контур и конденсатор фильтра $C_ф$.

Усиленное напряжение снимается со второго отвода катушки выходного колебательного контура и через разделительный конденсатор $C_{р2}$ поступает на выход усилителя. Конденсатор C_6 является блокировочным, он соединяет по переменному току нижнюю точку входного колебательного контура с земляной шиной. Конденсатор C_3 – также блокировочный, он устраняет последовательную отрицательную обратную связь по переменному току, которая при его отсутствии приводила бы к снижению коэффициента усиления каскада.

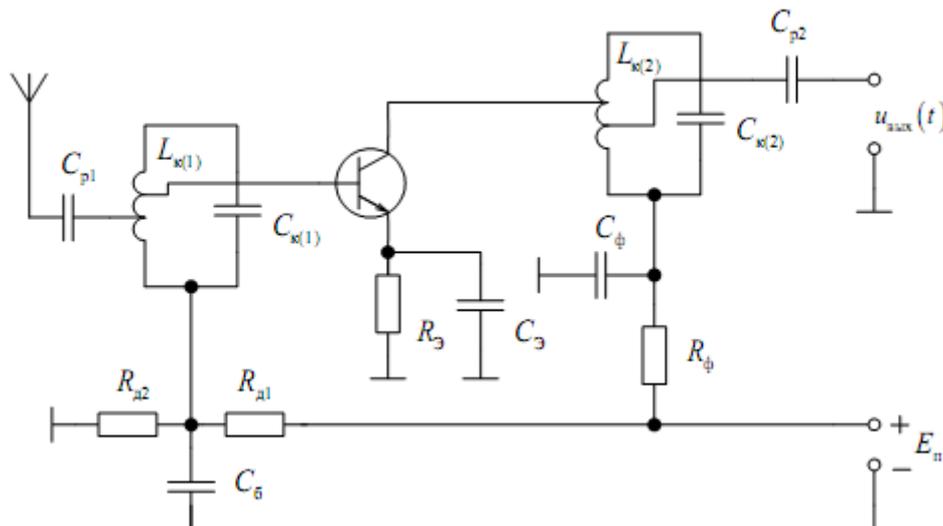


Рис. 1.1. Преселектор с УРЧ на биполярном транзисторе.

Режим транзистора по постоянному току и температурная стабилизация обеспечиваются резисторами $R_{д1}$, $R_{д2}$, R_3 :

- резистор R_3 создаёт отрицательную обратную связь по постоянному

току и тем самым обеспечивает температурную стабилизацию каскада;

- резисторы $R_{д1}$, $R_{д2}$ образуют базовый делитель, обеспечивающий заданное положение рабочей точки на входной характеристике транзистора и входящий в состав цепи температурной стабилизации.

Резистор R_{ϕ} совместно с конденсатором C_{ϕ} образует развязывающий RC-фильтр, препятствующий попаданию высокочастотного напряжения усиленного сигнала в цепь питания; этим обеспечивается развязка по переменному току отдельных блоков радиоприёмника, что повышает устойчивость его работы.

На рис. 1.2 показана схема УРЧ на полевом транзисторе с каналом р-типа, включённом с общим истоком (ОИ). В этой схеме используется автотрансформаторная связь первого контура (входной цепи) с антенной и трансформаторная связь цепи стока транзистора со вторым контуром. Основное отличие этой схемы от предыдущей заключается в полном включении транзистора в контур входной цепи. Это возможно благодаря очень высокому входному сопротивлению полевого транзистора (сопротивлению цепи «затвор-исток») и, следовательно, пренебрежимо малому шунтированию контура.

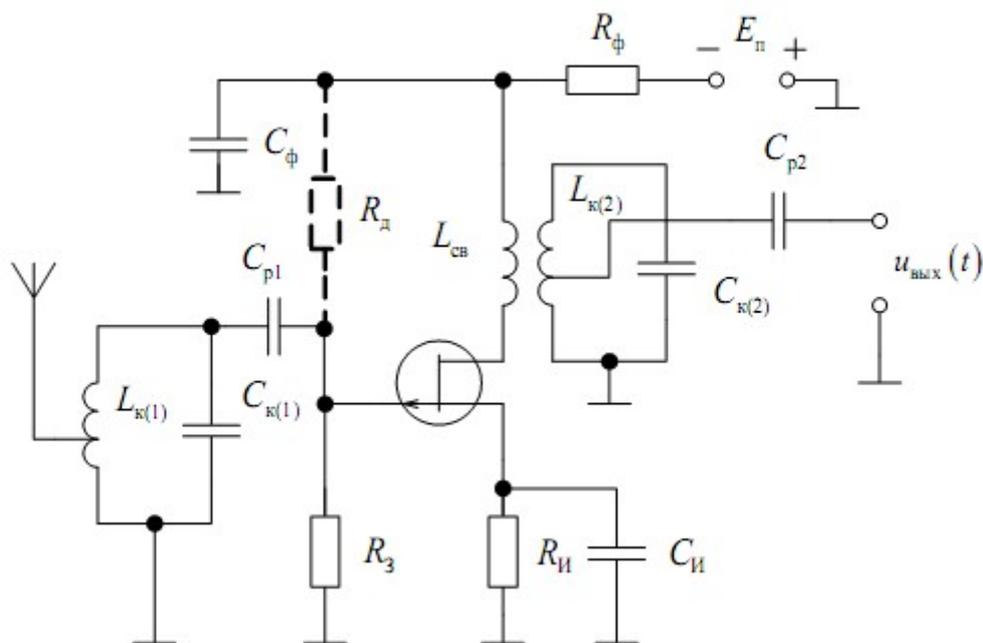


Рис. 1.2. Преселектор с УРЧ на полевом транзисторе.

Назначение остальных элементов схемы аналогично назначению соответствующих элементов каскада на биполярном транзисторе:

- C_{p1}, C_{p2} – разделительные конденсаторы;
- $R_{И}$ – резистор обратной связи по постоянному току в цепи истока, обеспечивающий температурную стабилизацию каскада и требуемое напряжение смещения на затворе;
- $C_{И}$ – блокировочный конденсатор, устраняющий отрицательную обратную связь по переменному току;
- R_3 – резистор в цепи затвора, обеспечивающий подачу запирающего напряжения (напряжения автосмещения);
- R_d – дополнительный резистор, уменьшающий (при необходимости) запирающее напряжение на затворе;
- R_{ϕ}, C_{ϕ} – элементы развязывающего RC -фильтра в цепи питания.

Обобщённая эквивалентная схема каскада УРЧ.

Рассмотрим обобщённую эквивалентную схему каскада УРЧ на биполярном транзисторе, включённом по схеме с ОЭ (рис. 1.3). Коэффициенты включения внешних цепей в колебательные контуры усилителя определяются следующими соотношениями:

- коэффициенты включения в первый (входной) контур:

$$m_{1(1)} = \frac{U_{1(1)}}{U_{к(1)}}, \quad m_{2(1)} = \frac{U_{2(1)}}{U_{к(1)}};$$

- коэффициенты включения во второй (выходной) контур:

$$m_{1(2)} = \frac{U_{1(2)}}{U_{к(2)}}, \quad m_{2(2)} = \frac{U_{2(2)}}{U_{к(2)}}.$$

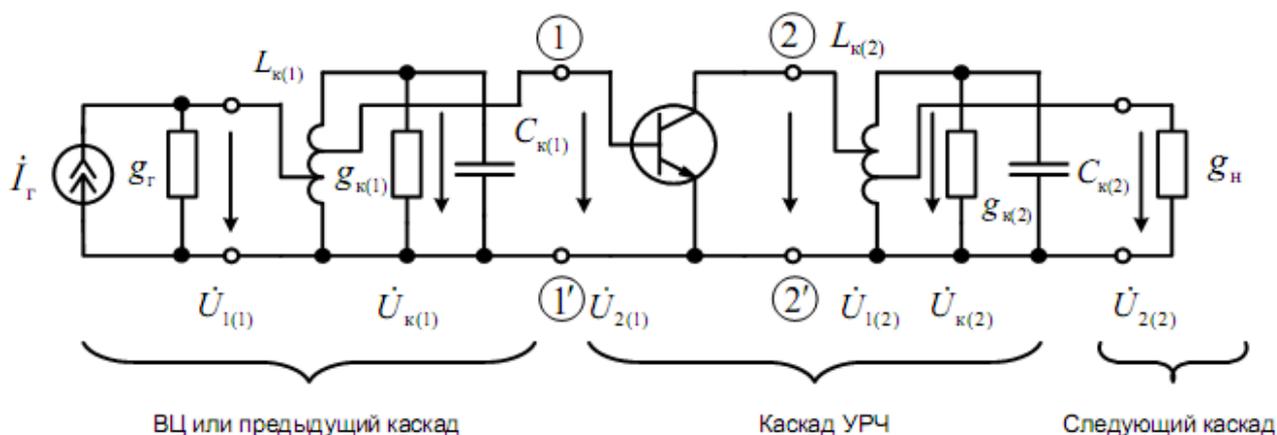


Рис. 1.3. Эквивалентная схема каскада УРЧ.

Найдём комплексный коэффициент передачи каскада УРЧ на резонансной частоте:

$$\dot{K}_0 = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} = \frac{\dot{U}_{2(2)}}{\dot{U}_{2(1)}}. \quad (1.1)$$

Поскольку УРЧ работает в режиме слабого сигнала, то по переменному току транзистор можно рассматривать как линейный четырёхполюсник. На частотах до 200-300 МГц транзистор описывается малосигнальными Y -параметрами. Коллекторная цепь транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером, представляется эквивалентной схемой, показанной на рис. 1.4. Отнесём мнимую составляющую $b_{22} = \text{Im}(Y_{22})$ выходной проводимости транзистора к реактивным элементам выходного колебательного контура. Тогда получим эквивалентную схему цепи коллектора и выходного колебательного контура, изображённую на рис. 1.5.

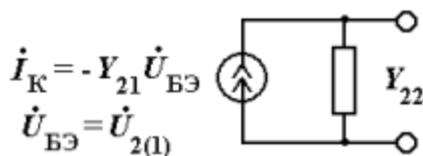


Рис. 1.4. Эквивалентная схема цепи коллектора

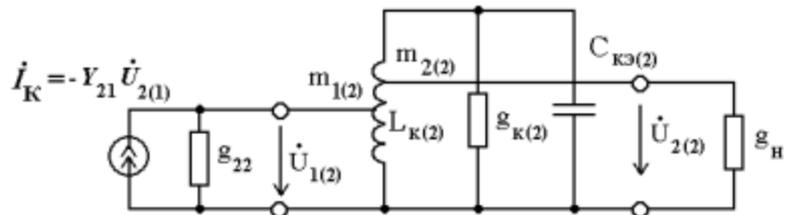


Рис. 1.5. Эквивалентная схема цепи коллектора и выходного колебательного контура

Комплексная амплитуда напряжения на нагрузке усилительного каскада равна:

$$\dot{U}_{2(2)} = \frac{m_{2(2)}}{m_{1(2)}} \dot{U}_{1(2)}. \quad (1.2)$$

Комплексная амплитуда напряжения на отводе катушки индуктивности, соединённом с коллектором транзистора, равна $L_{k(2)}$.

$$\begin{aligned} \dot{U}_{1(2)} &= \frac{\dot{I}_K}{g_{22} + g_{k(2)}''} = \frac{-Y_{21} \dot{U}_{2(1)}}{g_{22} + \frac{g_{k(2)} + m_{2(2)}^2 g_n}{m_{1(2)}^2}} = \\ &= -Y_{21} \dot{U}_{2(1)} \frac{m_{1(2)}^2}{m_{1(2)}^2 g_{22} + g_{k(2)} + m_{2(2)}^2 g_n}, \end{aligned} \quad (1.3)$$

где $g_{k(2)}$ – собственная резонансная проводимость второго контура.

Подставляя (1.3) в (1.2), а результат – в (1.1), получим выражение для комплексного коэффициента передачи каскада УРЧ на резонансной частоте:

$$\dot{K}_0 = \frac{\dot{U}_{2(2)}}{\dot{U}_{2(1)}} = -\frac{m_{1(2)}m_{2(2)}Y_{21}}{g_{\text{к}(2)}}, \quad (1.4)$$

где

$$g_{\text{к}(2)} = m_{1(2)}^2 g_{22} + g_{\text{к}(2)} + m_{2(2)}^2 g_{\text{н}} \quad (1.5)$$

– эквивалентная резонансная проводимость второго (выходного) колебательного контура.

Коэффициент усиления по напряжению каскада УРЧ равен:

$$K_0 = |\dot{K}_0| = \frac{m_{1(2)}m_{2(2)}|Y_{21}|}{g_{\text{к}(2)}}. \quad (1.6)$$

Другая важная характеристика УРЧ – полоса пропускания. Также, как и для входной цепи, изменение полосы пропускания выходного контура УРЧ за счёт шунтирующего влияния выходной проводимости транзистора g_{22} и входной проводимости следующего каскада $g_{\text{н}}$ характеризуется коэффициентом расширения полосы:

$$\gamma_{\text{УРЧ}} = \frac{\Pi_{\text{к}(2)}}{\Pi_{\text{к}(2)}} = \frac{g_{\text{к}(2)}}{g_{\text{к}(2)}} = 1 + m_{1(2)}^2 \frac{g_{22}}{g_{\text{к}(2)}} + m_{2(2)}^2 \frac{g_{\text{н}}}{g_{\text{к}(2)}}. \quad (1.7)$$

Из (1.7) следует, что коэффициент расширения полосы возрастает при увеличении проводимости нагрузки и выходной проводимости транзистора, а также при увеличении соответствующих коэффициентов включения.

Устойчивость работы УРЧ.

Одна из основных функций УРЧ – предварительное усиление сигнала на частоте несущей для ослабления влияния шумов преобразователя частоты, т.е. для повышения чувствительности радиоприёмника в целом. Однако возможность получения максимального коэффициента усиления ограничена дополнительным требованием, которое связано с понятием устойчивости работы УРЧ.

Поясним это понятие. До сих пор мы рассматривали входную цепь и УРЧ, а также различные каскады, входящие в состав многокаскадного УРЧ, раздельно. Реально же они связаны, поскольку существует паразитная обратная связь, действующая с выхода каскада УРЧ на его вход. Эта обратная связь

может быть вызвана следующими физическими причинами:

- прохождением высокочастотного колебания по цепям питания;
- индуктивной связью между катушками колебательных контуров;
- внутренней обратной связью в транзисторе, которая проявляется себя на относительно высоких частотах (свыше 100 МГц).

Обратная связь, обусловленная первыми двумя причинами, может быть достаточно эффективно ослаблена: обратная связь по цепи питания – с помощью развязывающего RC-фильтра; индуктивная связь – путём экранирования катушек индуктивности.

Внутренняя обратная связь принципиально неустранима, и поэтому будем рассматривать именно её влияние на характеристики УРЧ.

Наличие обратной связи приводит к тому, что высокочастотное напряжение на выходе усилительного прибора влияет на ток, протекающий через входной контур. Это влияние приводит к изменению параметров контура, в том числе его АЧХ, и при определенных условиях может вызвать самовозбуждение каскада. Поэтому устойчивость работы УРЧ можно косвенно охарактеризовать степенью искажения АЧХ входного колебательного контура. С учётом этого дадим следующее качественное определение устойчивого режима работы УРЧ: устойчивый режим работы УРЧ – это такой режим, при котором искажение АЧХ входного колебательного контура не превышает некоторой допустимой величины и когда есть достаточно большой запас по усилению по сравнению с режимом, при котором наступает самовозбуждение.

Основные характеристики УРЧ.

Коэффициент усиления напряжения представляют собой отношение комплексных амплитуд напряжений сигнала на выходе усилителя к напряжениям на его входе и определяется выражением:

$$\dot{K}_U = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = K_U e^{-j\varphi}. \quad (2.1)$$

Модуль этого выражения характеризует изменение амплитуды напряжения, а угол φ — фазовый сдвиг, возникающий при прохождении сигнала через усилитель (аналогично может быть введен коэффициент усиления по току).

В более частном случае для практического применения используют следующее определение коэффициента усиления по напряжению:

$$\begin{aligned} K &= U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}, \\ K_{\text{дБ}} &= 20 \lg K. \end{aligned} \quad (2.2)$$

при этом первое выражение дает значение коэффициента усиления в безразмерных единицах, второе — в децибелах [дБ].

Для многокаскадного УРЧ общий коэффициент усиления:

$$\left. \begin{aligned} K_{\text{общ}} &= K_1 K_2 \dots K_n, \\ K_{\text{общ, дБ}} &= K_1 + K_2 \dots + K_n, \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

где n — число каскадов.

При изменении настройки резонансного усилителя его коэффициент усиления изменяется. На резонансной частоте сопротивление параллельного колебательного контура становится максимальным и чисто активным. При изменении частоты в ту или иную сторону от резонансной коэффициент усиления уменьшается, так как уменьшается сопротивление контура. Коэффициент усиления на частоте резонанса называется резонансным и обозначается K_0 .

Коэффициент усиления мощности определяется как отношение выходной мощности на нагрузке усилителя к входной мощности усиливаемого сигнала:

$$K_p = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}; \quad K_{p, \text{дБ}} = 10 \lg K_p. \quad (2.4)$$

В многокаскадных усилителях общий коэффициент усиления мощности рассчитывают по формулам:

$$K_{p, \text{общ}} = K_{p1} K_{p2} \dots K_{pn}; \quad K_{p, \text{дБ}} = K_{p1} + K_{p2} + \dots + K_{pn}. \quad (2.5)$$

Избирательность показывает, насколько уменьшается коэффициент усиления на частоте мешающего сигнала (например, соседнего или зеркального) по сравнению с коэффициентом усиления на частоте основного канала приема. Формула для избирательности имеет вид:

$$Se = K_0/K; \quad Se_{дБ} = 20 \lg K_0/K, \quad (2.6)$$

где K_0 — коэффициент усиления на частоте резонанса; K — модуль коэффициента усиления на частоте, на которой измеряется избирательность. Избирательность в многокаскадном усилителе находится по формулам:

$$Se_{общ} = Se_1 Se_2 \dots Se_n, \quad (2.7)$$

$$Se_{общ, дБ} = Se_1 + Se_2 + \dots + Se_n,$$

где n — число каскадов УРЧ.

Полоса пропускания характеризует широкополосность УРЧ. Под шириной полосы пропускания понимается полоса частот, на границах которой коэффициент усиления снижается до определенного значения относительно резонансного значения. Часто ширину полосы пропускания определяют на уровне 0,707 (3 дБ) от максимального коэффициента усиления напряжения K_0 . Если усилитель характеризуется коэффициентом усиления мощности, то полоса пропускания отсчитывается на уровне 0,5 от

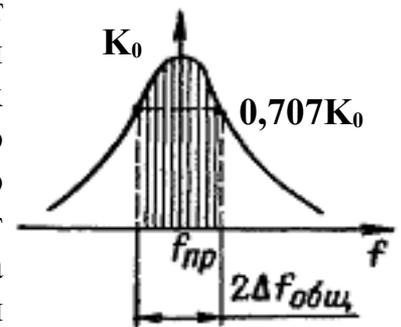


Рис. 2.1. Определение полосы пропускания.

Коэффициент диапазона частот, равный отношению максимальной частоты диапазона к минимальной частоте: $K_d = f_{max}/f_{min}$. Этот показатель используется только для диапазонных УРЧ. Его значение должно быть таким же, как у входной цепи.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Приборы и оборудование.

Лабораторная работа по исследованию и демонстрации работы УРЧ выполняется на комбинированном лабораторном приборе РТРУЛ-2.

Установка предназначена для проведения лабораторных работ по курсу «Радиотехника и электроника» в высших и средне-технических учебных заведениях.

Установка может быть использована в различных курсах, изучающих основы электронной техники в высших и средних специальных учебных заведениях.

Установка выполнена в климатическом исполнении УХЛ, категория 4.2 ГОСТ 15150-69 для эксплуатации в помещении при температуре от 10°C до 35°C и относительной влажности до 80 %.

Учебная установка конструктивно состоит из нескольких элементов, объединенных в одном корпусе:

- набора изучаемых элементов и устройств;
- стабилизированного источника питания, подающего питание нужной полярности и значения на все элементы схемы;
- схемы контроля необходимых параметров, осуществляющей вывод информации о ходе эксперимента на экран LCD дисплея.

Установка учебная РТРУЛ-2. Исследование УРЧ.

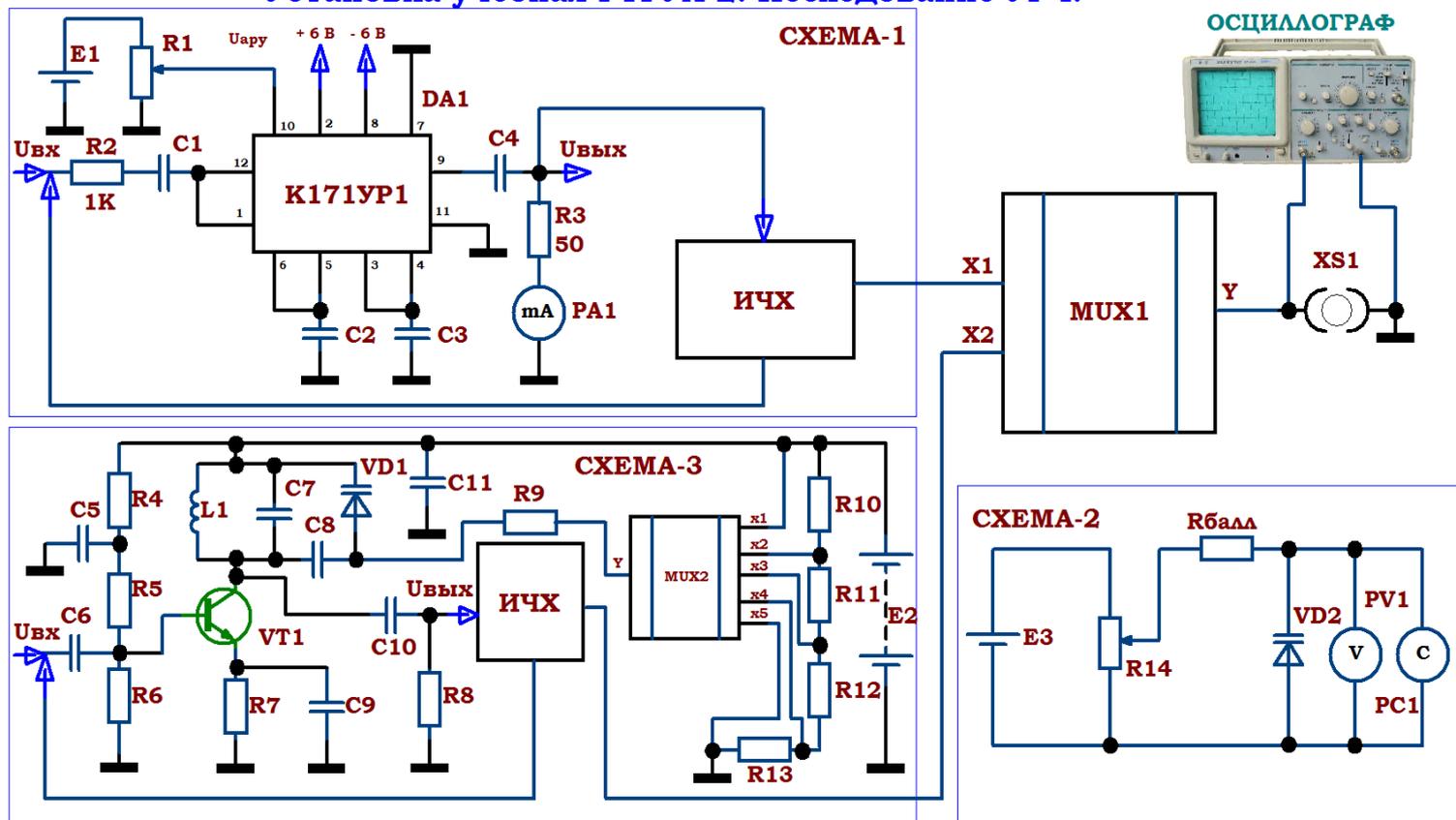


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая блок — схема учебной установки РТРУЛ-2.

Принципиальная электрическая блок — схема учебной установки для изучения Усилителей РадиоЧастоты приведена на рис. 3.1. Установка представляет собой две схемы УРЧ (СХЕМА-1; СХЕМА-3) и СХЕМУ-2 для исследования вольт-фарадной характеристики варикапа $VD2=VD1$, входящего в схему УРЧ СХЕМА-3 ($VD1$ на СХЕМЕ-3).

Усилитель радиочастоты по СХЕМЕ-1 собран на базе интегральной схемы широкополосного усилителя типа К171УР1 с электронной регулировкой усиления рис. 3.2 а), б). На рис. 3.2а показан «состав» ИС К171 УР1, а на рис. 3.2б — схема включения в цепь.

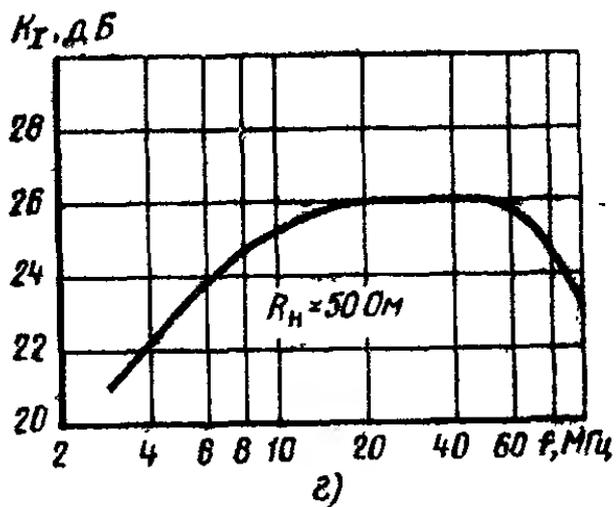
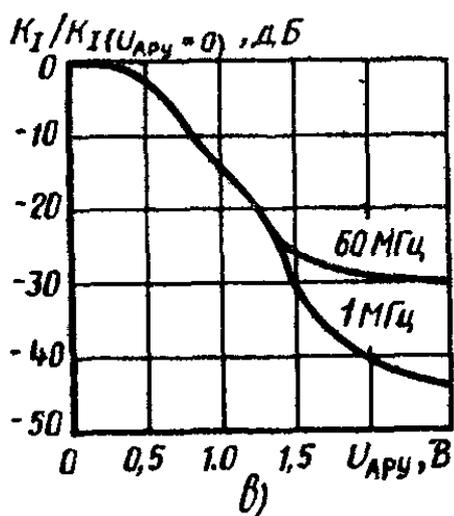
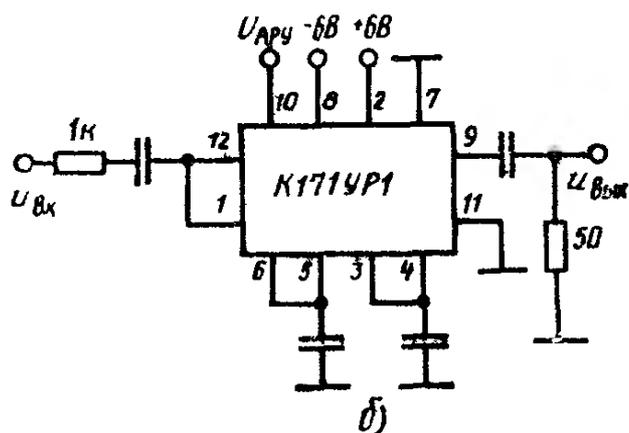
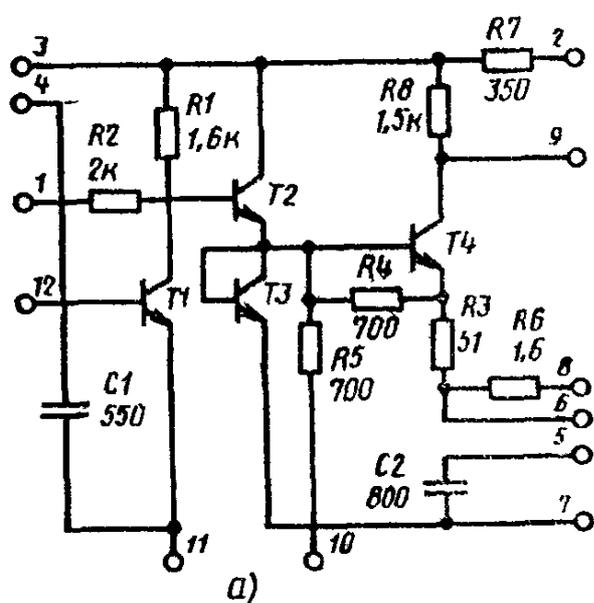


Рис. 3.2. а) Принципиальная электрическая схема ИС К171УР1; б) схема включения К171УР1 в цепь; в) зависимость коэффициента усиления по току K_I от напряжения АРУ электронной регулировки усиления $U_{\text{АРУ}}$; г) зависимость коэффициента усиления по току K_I от частоты сигнала f .

Регулировка усиления осуществляется одновременным уменьшением сопротивления диода на транзисторе Т3 и запирающим транзистора Т2 положительным напряжением АРУ на выводе 10. Усилитель содержит каскады с параллельной (R2) и последовательной (R3) отрицательной обратной связью, которая определяет усиление, полосу пропускания и стабильность режима усилителя по постоянному току. За счет параллельной обратной связи входное сопротивление усилителя мало, выходное сопротивление (по сравнению с входным сопротивлением аналогичного усилителя) велико, поэтому его усилительные свойства целесообразно характеризовать коэффициентом усиления по току (рис. 3.2, г). Обычно ИС используется в качестве широкополосного или импульсного усилителя (рис. 3.2, б). Допускается каскадирование нескольких усилителей (через разделительную емкость) при сохранении их устойчивости. Устойчивость обеспечивается за счет большого рассогласования входного (низкого) и выходного (высокого) сопротивлений. Недостатками усилителя являются влияние напряжения АРУ на полосу пропускания усилителя и наличие двух напряжений питания.

Для измерения амплитудно-частотной характеристики микросхемы в учебном приборе используется модель прибора измерителя частотной характеристики (ИЧХ). При этом сигнал переменной частоты, но равной амплитуды $U_{вх}$ от ИЧХ подается на вход микросхемы К171УР1 через сопротивление R2 и ёмкость C1 (рис. 3.1, СХЕМА-1)

Сигнал с выхода микросхемы $U_{вых}$ снимается с резистора R3=50 Ом, подается на ИЧХ и затем, после необходимых преобразований в приборе, в виде амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) поступает на вход Y электронного осциллографа. Таким образом, на экране осциллографа визуализируется вид АЧХ данной микросхемы, т. е. зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты $U_{вых}=U_{вых}(f)$. При этом, из-за особенности работы прибора ИЧХ, на экране осциллографа может визуализироваться сразу несколько одинаковых характеристик с периодом, совпадающим с периодом работы внутреннего развертывающего генератора прибора ИЧХ. Вращением ручек разверток частоты и амплитуды на осциллографе следует добиться четкого изображения одной ветки АЧХ в середине экрана.

Вращая многофункциональную ручку «УПРАВЛЕНИЕ» и изменяя частоту сигнала с выхода генератора, можно снять АЧХ данной схемы по точкам с одновременной визуализацией на экране электронного осциллографа. При этом одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала схемы (в качестве выходного сигнала в данном случае выводится выходной ток $I_{вых}$, согласно показаниям миллиамперметра РА1 рис. 3.1 СХЕМА-1). При этом ИЧХ обеспечивает подачу на вход микросхемы сигнала постоянной амплитуды, обеспечивающей входной ток $I_{вх}=0,2$ мА для всего диапазона частот.

СХЕМА-2 рис. 3.1 служит для снятия вольт-фарадной характеристики варикапа VD2, входящего в другую схему УРЧ СХЕМА-3 и обозначенного на этой схеме как VD1. При этом $VD1=VD2=Д902$. Технические характеристики варикапа Д902 приведены в таблице 1, а справочная вольт-фарадная характеристика на рис. 3.3

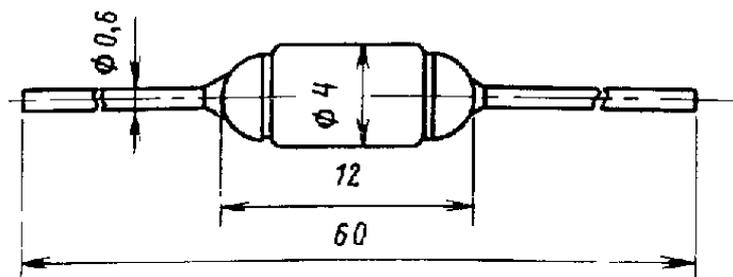
Д902

Таблица 1.

Варикап кремниевый сплавной.

Выпускается в металлоглазном корпусе с гибкими выводами. Тип прибора и схема соединений электродов с выводами приводятся на корпусе.

Масса варикапа не более 0,6 г.



Электрические параметры

Емкость варикапа при $U_{обр} = 4 \text{ В}$, $f = 50 \text{ МГц}$. . .	От 6 до 12 пФ
Коэффициент перекрытия по емкости, не менее	2,5
Добротность при $U_{обр} = 4 \text{ В}$, $f = 50 \text{ МГц}$, не менее	30
Постоянный обратный ток при $U_{обр} = U_{обр. макс}$ и 293 К, не более	10 мкА

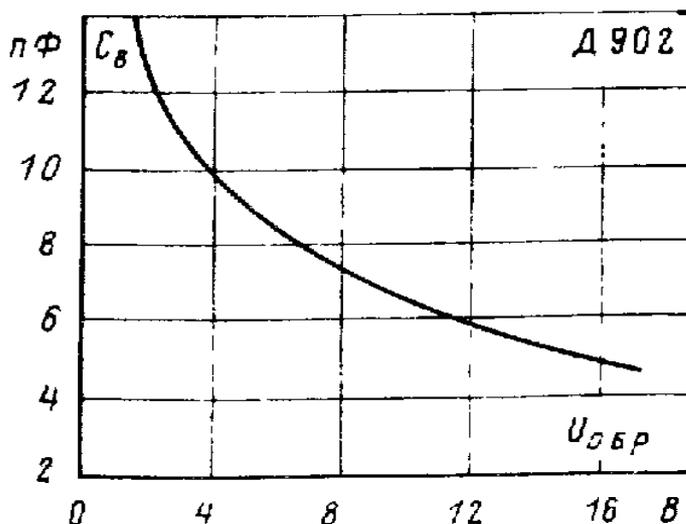


Рис. 3.3. Зависимость ёмкости C_b варикапа Д902 от обратного напряжения смещения $U_{обр}$.

В этом режиме обратное напряжение, подаваемое на варикап через балластный резистор $R_{балл}$ регистрируется вольтметром V , а ёмкость специальным встроенным прибором измерителем ёмкости C (рис. 3.1 СХЕМА-2).

Усилитель радиочастоты по СХЕМЕ-3 собран на биполярном транзисторе $VT1$. Усиленный сигнал с коллектора транзистора поступает на фильтр, реализованный на параллельном колебательном контуре $L1C7$. Контур может перестраиваться, благодаря подключенному параллельно ёмкости $C7$ варикапу $VD1=D902$. Ёмкость варикапа можно изменять, подавая различное обратное напряжение смещения от источника $E2$ с резистивного делителя $R10-R11-R12-R13$ через мультиплексор $MUX2$. Управление мультиплексором осуществляется кнопками управления учебной установки.

Для измерения амплитудно-частотной характеристики СХЕМЫ-3, как и для СХЕМЫ-1 в учебном приборе используется модель прибора измерителя частотной характеристики (ИЧХ). При этом сигнал переменной частоты, но равной амплитуды $U_{вх}$ от ИЧХ подается на базу транзистора $VT1$ через сопротивление ёмкость $C6$ (рис. 3.1, СХЕМА-3).

Сигнал с выхода $U_{вых}$ снимается с резистора $R8$, подается на ИЧХ и затем, после необходимых преобразований в приборе, в виде амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) поступает на вход Y электронного осциллографа. Вращая многофункциональную ручку «УПРАВЛЕНИЕ» и изменяя частоту сигнала с выхода генератора, можно снять АЧХ данной схемы по точкам с одновременной визуализацией на экране электронного осциллографа. При этом одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала схемы U .

Для дополнительной синхронизации используется вывод

«СИНХРОНИЗАЦИЯ», который необходимо соединить со входом X внешней синхронизации осциллографа. Осциллограф следует перевести в режим синхронизации внешним сигналом (EXT, ВНЕШН).

Эксперимент состоит из нескольких частей. При помощи многофункциональных кнопок «РЕЖИМ РАБОТЫ», расположенных на передней панели лабораторного модуля имеется возможность выбрать необходимый опыт. Каждый эксперимент, в свою очередь состоит из набора «подопытов», «SUBMODE». Подключение нужной схемы (коммутация сигналов со входов x1 либо x2 на выход Y мультиплексора MUX1) и подача сигнала на электронный осциллограф осуществляется специальными клавишами управления, назначение которых может меняться для каждого эксперимента.

Выбор эксперимента из главного меню осуществляется кнопками «УПРАВЛЕНИЕ + —». При этом, рядом с выбранным режимом на LCD индикаторе отображается символ «*».

Запуск/остановка выбранного эксперимента осуществляется с помощью соответствующих кнопок «ЗАПУСК», «ОСТАНОВКА» на передней панели лабораторного модуля. Для надежного срабатывание кнопку необходимо удерживать нажатой в течение ~1 – 2 секунд.

Для выхода из подопыта в главное меню следует дважды нажать кнопку «ОСТАНОВКА». При этом первое нажатие кнопки приводит к выходу в меню подопытов текущего эксперимента, второе нажатие кнопки «ОСТАНОВКА» приводит к выходу в главное меню прибора.

1. URCH-1 (MODE-1). ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСХЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ K171УР1. СХЕМА-1

Эксперимент состоит из нескольких частей, переключения между подопытами осуществляется кнопками «УПРАВЛЕНИЕ + —», рядом с выбранным режимом на LCD индикаторе отображается символ «*», запуск/остановка выбранного подрежима осуществляется с помощью соответствующих кнопок «ЗАПУСК», «ОСТАНОВКА»:

а) АСНН URCH 1 (подрежим SUBMODE1). СНЯТИЕ АЧХ МИКРОСХЕМЫ K171УР1. При этом мультиплексор MUX1 коммутирует сигнал X1 со своего входа на выход Y, который затем поступает на электронный осциллограф. В данном режиме снимается АЧХ микросхемы. Вращая многофункциональную ручку «УПРАВЛЕНИЕ» и изменяя частоту сигнала с выхода генератора, можно снять АЧХ данной схемы по точкам с одновременной визуализацией на экране электронного осциллографа. При этом одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала схемы (в качестве выходного сигнала в данном случае выводится выходной ток $I_{вых}$, согласно показаниям миллиамперметра РА1 рис. 3.1 СХЕМА-1). При этом ИЧХ обеспечивает подачу на вход микросхемы сигнала постоянной амплитуды, обеспечивающей входной

ток $I_{\text{вх}}=0,2$ мА для всего диапазона частот.

б) Uaru 1 URCH 1 (SUBMODE 2). СНЯТИЕ ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУДЫ ТОКА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ К171УР1 ПРИ ЧАСТОТЕ 1 МГц. При этом мультиплексор MUX1 коммутирует сигнал X1 со своего входа на выход Y, который затем поступает на электронный осциллограф. В данном режиме снимается зависимость выходного тока микросхемы, а значит и коэффициента усиления микросхемы по току K_I , от напряжения электронной регулировки усиления Uaru при фиксированной частоте сигнала $f=1$ МГц. При этом прибор обеспечивает развертку зависимости $I_{\text{вых}} = I_{\text{вых}}(U_{\text{aru}})|_{f=1\text{МГц}}$ на экране осциллографа с выводом «метки», указывающей на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания напряжения электронной регулировки Uaru и амплитуды тока I выходного сигнала схемы. Для изменения напряжения электронной регулировки усиления Uaru служит многофункциональная ручка «УПРАВЛЕНИЕ».

в) Uaru 2 URCH 2 (SUBMODE 3). СНЯТИЕ ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУДЫ ТОКА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ К171УР1 ПРИ ЧАСТОТЕ 60 МГц. При этом мультиплексор MUX1 коммутирует сигнал X1 со своего входа на выход Y, который затем поступает на электронный осциллограф. В данном режиме снимается зависимость выходного тока микросхемы, а значит и коэффициента усиления микросхемы по току K_I , от напряжения электронной регулировки усиления Uaru при фиксированной частоте сигнала $f=60$ МГц. При этом прибор обеспечивает развертку зависимости $I_{\text{вых}} = I_{\text{вых}}(U_{\text{aru}})|_{f=60\text{МГц}}$ на экране осциллографа с выводом «метки», указывающей на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания напряжения электронной регулировки Uaru и амплитуды тока I выходного сигнала схемы. Для изменения напряжения электронной регулировки усиления Uaru служит многофункциональная ручка «УПРАВЛЕНИЕ».

2. VCH-VARICAP (MODE-2). СНЯТИЯ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИКАПА Д902. СХЕМА-2

Эксперимент состоит из одного опыта. В эксперименте снимается зависимость ёмкости варикапа C_v от обратного напряжения U, прикладываемого к варикапу. Исследование проводится по схеме рис 3.1 СХЕМА-2. Для регулировки напряжения используется многофункциональная ручка «УПРАВЛЕНИЕ».

Обратное напряжение, подаваемое на варикап через балластный резистор Rбалл регистрируется вольтметром V, а ёмкость специальным встроенным прибором измерителем ёмкости C (рис. 3.1 СХЕМА-2). При этом прибор

обеспечивает развертку зависимости $C=C(U_{обр})$ на экране осциллографа с выводом «метки», указывающей на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания измеренной ёмкости C и обратного напряжения смещения U .

3. URCH 2 (MODE-3). ИССЛЕДОВАНИЕ УРЧ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ. СХЕМА-3.

Эксперимент состоит из нескольких частей, переключения между подопытами осуществляется кнопками «УПРАВЛЕНИЕ + —», рядом с выбранным режимом на LCD индикаторе отображается символ «*», запуск/остановка выбранного подрежима осуществляется с помощью соответствующих кнопок «ЗАПУСК», «ОСТАНОВКА»:

а) $U_{VD1}=0$ В (подрежим SUBMODE1). СНЯТИЕ АЧХ СХЕМЫ-3 ПРИ НАПРЯЖЕНИИ ВАРИКАПА РАВНОМ НУЛЮ $U_{VD1}=0$. При этом мультиплексор MUX1 коммутирует сигнал X2 со СХЕМЫ-3 со своего входа на выход Y, который затем поступает на электронный осциллограф, а мультиплексор MUX2 коммутирует вход x1 на выход Y, соединенный через резистор R9 с анодом варикапа VD1. В данном режиме снимается АЧХ схемы УРЧ на биполярном транзисторе с фильтром, представляющим собой параллельный колебательный контур L1C7. Вращая многофункциональную ручку «УПРАВЛЕНИЕ» и изменяя частоту сигнала с выхода генератора, можно снять АЧХ данной схемы по точкам с одновременной визуализацией на экране электронного осциллографа. При этом одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала схемы U .

б) — д) $U_{VD1}=4 \dots 16$ В (подрежим SUBMODE2 ... SUBMODE5). СНЯТИЕ АЧХ СХЕМЫ-3 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАТНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ СМЕЩЕНИЯ НА ВАРИКАПЕ $U_{VD1}=4 \dots 16$ В. При этом мультиплексор MUX1 коммутирует сигнал X2 со СХЕМЫ-3 со своего входа на выход Y, который затем поступает на электронный осциллограф, а мультиплексор MUX2 коммутирует выбранный вход x2 ... x5 на выход Y, соединенный через резистор R9 с анодом варикапа VD1. В данном режиме снимается АЧХ схемы УРЧ на биполярном транзисторе с фильтром, представляющим собой параллельный колебательный контур L1C7. Вращая многофункциональную ручку «УПРАВЛЕНИЕ» и изменяя частоту сигнала с выхода генератора, можно снять АЧХ данной схемы по точкам с одновременной визуализацией на экране электронного осциллографа. При этом одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала схемы U . Напряжение, подаваемое на варикап U_{VD} , ступенчато снимается с резистивного делителя R10-R11-R12-R13.

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть необходимо убедиться в целостности сетевых и соединительных проводов. Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выход нагрузки и выходы контрольных точек.
2. Включить установку и осциллограф в сеть ~ 220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель есть на панели учебного модуля и осциллографа в положение «ВКЛ», при этом должен загореться сигнальный индикатор «СЕТЬ».
3. Подключить вход X осциллографа к выходу «СИНХР» учебной установки, вход Y осциллографа к выходу XS1 учебной установки.
4. Кнопками «УПРАВЛЕНИЕ + \rightarrow » выбрать эксперимент **URCH-1 (MODE-1). ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСХЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ K171УР1. СХЕМА-1.** При этом, рядом с выбранным режимом на LCD индикаторе отображается символ «*».
5. Запустить выбранный опыт нажатием кнопки «ЗАПУСК».
6. С помощью кнопок управления «УПРАВЛЕНИЕ + \rightarrow » выбрать подопыт **АСНН URCH 1 (подрежим SUBMODE1). СНЯТИЕ АЧХ МИКРОСХЕМЫ K171УР1.**
7. Запустить выбранный подопыт нажатием кнопки «ЗАПУСК». При этом на экране осциллографа должен визуализироваться набор АЧХ, с периодом, характерным для периода развертки модели ИЧХ учебной установки.
8. Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении **EXT ВНЕШН (синхронизация внешним сигналом)**. При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.
9. Выделить один из множества повторяющихся сигналов АЧХ схемы и расположить АЧХ симметрично относительно центра экрана осциллографа, растянув зависимость максимально на весь экран.
10. Вид АЧХ микросхемы, полученный на экране осциллографа должен совпадать со справочной характеристикой рис. 3.2 г).
11. Плавно вращая ручку «УПРАВЛЕНИЕ», снять зависимость выходного тока I_{вых} микросхемы K171УР1 от частоты f входного сигнала I_{вых}=I_{вых}(f).
12. Считая, что во всем диапазоне частот входной ток поддерживается постоянным и равным I_{вх}=0,2 мА, рассчитать для каждой измеренной частоты

значение коэффициента усиления по току как $K_I = 20 \cdot \lg \left(\frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} \right)$. Данные расчетов занести в таблицу 2 и сравнить со справочным коэффициентом усиления по току для данной микросхемы согласно рис. 3.2 г).

13. Для каждого значения выходного тока $I_{\text{ВЫХ}}$ рассчитать выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$. Выходное напряжение сигнала это падение напряжения на резисторе $R_3=50$ Ом рис. 3.1 СХЕМА-1 при соответствующем токе: $U_{\text{ВЫХ}} = R_3 \cdot I_{\text{ВЫХ}} = 50 \cdot I_{\text{ВЫХ}}$. Все вычисления производите в СИ. Данные расчетов также занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Входной ток, $I_{\text{ВХ}}$	Частота, f , МГц	Выходной ток, $I_{\text{ВЫХ}}$	Коэффициент усиления по току, $K_I = 20 \cdot \lg \left(\frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} \right)$, дБ	Выходное напряжение сигнала, $U_{\text{ВЫХ}}$, мВ
0,2 мА				

14. Нажатием кнопки «ОСТАНОВКА» выйти из текущего подопыта и с помощью кнопок «УПРАВЛЕНИЕ + \rightarrow » выбрать подопыт **Uaru 1 URCH 1 (SUBMODE 2). СНЯТИЕ ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУДЫ ТОКА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ K171УР1 ПРИ ЧАСТОТЕ 1 МГЦ.**
15. Запустить выбранный подопыт нажатием кнопки «ЗАПУСК». При этом на экране осциллографа должна визуализироваться кривая зависимости амплитуды выходного сигнала от напряжения электронной регулировки усиления $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}}) |_{f=1 \text{ МГц}}$, с периодом, характерным для периода блока развертки учебного прибора.
16. Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении **EXT ВНЕШН (синхронизация внешним сигналом)**. При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.

17. Выделить один из множества повторяющихся сигналов зависимости $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}})|_{f=1 \text{ МГц}}$ и расположить его симметрично относительно центра экрана осциллографа, растянув зависимость максимально на весь экран.
18. Вид зависимости $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}})$ микросхемы, полученный на экране осциллографа должен совпадать со справочной характеристикой рис. 3.2 в), так как выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$ пропорционален коэффициенту усиления по току K_1 при неизменной амплитуде входного сигнала $I_{\text{ВХ}}$.
19. «Метка» указывает на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания напряжения электронной регулировки $U_{\text{ару}}$ и амплитуды тока I выходного сигнала схемы.
20. Плавным вращением ручки «УПРАВЛЕНИЕ», снять зависимость $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}})|_{f=1 \text{ МГц}}$ для частоты 1 МГц по точкам.
21. Нажатием кнопки «ОСТАНОВКА» выйти из текущего подопыта и с помощью кнопок «УПРАВЛЕНИЕ + —» выбрать подопыт **Uaru 2 URCH 2 (SUBMODE 3). СНЯТИЕ ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУДЫ ТОКА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ К171УР1 ПРИ ЧАСТОТЕ 60 МГц.**
22. Запустить выбранный подопыт нажатием кнопки «ЗАПУСК». При этом на экране осциллографа должна визуализироваться кривая зависимости амплитуды выходного сигнала от напряжения электронной регулировки усиления $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}})|_{f=60 \text{ МГц}}$, с периодом, характерным для периода блока развертки учебного прибора.
23. Повторить действия пп. 16 — 20.
24. Зарисовать зависимости $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}})|_{f=1 \text{ МГц}}$ для частоты 1 МГц и $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}})|_{f=60 \text{ МГц}}$ для частоты 60 МГц на одном графике на миллиметровой бумаге.
25. Так как выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$ пропорционален коэффициенту усиления по току K_1 при неизменной амплитуде входного сигнала $I_{\text{ВХ}}$, то вид зависимостей $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ару}})$ микросхемы, полученных на экране осциллографа для различных частот сигнала должен совпадать в масштабе со справочной характеристикой рис. 3.2 в).
26. Сделать вывод о влиянии напряжения управления $U_{\text{ару}}$ и частоты сигнала на работу микросхемы.
27. Нажатием кнопки «ОСТАНОВКА» выйти из текущего подопыта, повторным нажатием кнопки «ОСТАНОВКА» вернуться в главное меню управления прибором.
28. Кнопками «УПРАВЛЕНИЕ + —» выбрать эксперимент **VCH-VARICAP (MODE-2). СНЯТИЯ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИКАПА Д902. СХЕМА-2.** При этом, рядом с выбранным режимом на LCD индикаторе отображается символ «*».

29. Запустить выбранный опыт нажатием кнопки «ЗАПУСК».
30. При этом прибор обеспечивает развертку зависимости $C=C(U_{обр})$ на экране осциллографа с выводом «метки», указывающей на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания измеренной ёмкости C и обратного напряжения смещения U . При этом на экран осциллографа может выводиться «серия» сигналов $C=C(U_{обр})$ с периодом, характерным для периода блока развертки учебного прибора.
31. Выделить один из множества повторяющихся сигналов зависимости $C=C(U_{обр})$ и расположить его симметрично относительно центра экрана осциллографа, растянув зависимость максимально на весь экран, для чего вращать соответствующие ручки управления осциллографа. Осциллограф необходимо перевести в положение синхронизации внешним сигналом «ВНЕС».
32. Плавным вращением ручки «УПРАВЛЕНИЕ», снять вольт-фарадную характеристику варикапа Д902, т. е. зависимость вида $C=C(U_{обр})$ и сравнить ее со справочной характеристикой рис. 3.3.
33. Нажатием кнопки «ОСТАНОВКА» вернуться в главное меню управления прибором.
34. Кнопками «УПРАВЛЕНИЕ + —» выбрать эксперимент **URCH 2 (MODE-3). ИССЛЕДОВАНИЕ УРЧ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ. СХЕМА-3**. При этом, рядом с выбранным режимом на LCD индикаторе отображается символ «*».
35. Запустить выбранный опыт нажатием кнопки «ЗАПУСК».
36. С помощью кнопок управления «УПРАВЛЕНИЕ + —» выбрать подопыт **$U_{VD1}=0$ В (подрежим SUBMODE1). СНЯТИЕ АЧХ СХЕМЫ-3 ПРИ НАПРЯЖЕНИИ ВАРИКАПА РАВНОМ НУЛЮ $U_{VD1}=0$** .
37. Запустить выбранный подопыт нажатием кнопки «ЗАПУСК». При этом на экране осциллографа должен визуализироваться набор АЧХ $U_{вых} = U_{вых}(f)$, с периодом, характерным для периода развертки модели ИЧХ учебной установки.
38. Выделить один из множества повторяющихся сигналов зависимости $U_{вых} = U_{вых}(f)$ и расположить его симметрично относительно центра экрана осциллографа, растянув зависимость максимально на весь экран, для чего вращать соответствующие ручки управления осциллографа. Осциллограф необходимо перевести в положение синхронизации внешним сигналом «ВНЕС».
39. При этом одновременно с АЧХ на экран осциллографа выводится «метка», указывающая на текущее положение точки, для которой на дисплее отображаются показания частоты f и амплитуды выходного сигнала схемы U .

40. Плавным вращением ручки «УПРАВЛЕНИЕ», снять АЧХ $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}(f)$ при отсутствии напряжения смещения на варикапе $U_{\text{VD1}}=0$.
41. Определить резонансную частоту f_0 (центр пика), максимальную амплитуду U_m и полуширину АЧХ $2\Delta f$ на уровне $0,707 \cdot U_m$ рис. 3.4.
42. Рассчитать теоретическое значение резонансной частоты по формуле Томсона:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

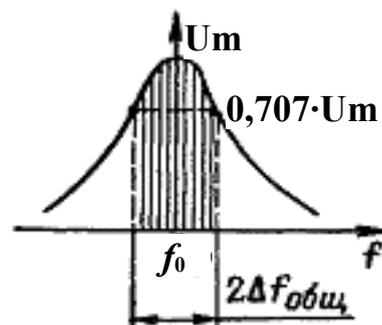


Рис. 3.4. Определение параметров АЧХ контура.

при расчетах принять значение индуктивности в СХЕМЕ-3

$L=L1=0,5$ мкГн. Варикап VD1 подключен параллельно ёмкости C7, поэтому общая ёмкость контура $C=C7+C_{\text{VD1}}$, где C_{VD1} — ёмкость варикапа, которую необходимо определить из результатов предыдущего эксперимента **VCH-VARICAP (MODE-2). СНЯТИЯ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИКАПА Д902. СХЕМА-2.** для соответствующего напряжения на варикапе (в данном подопыте напряжение на варикапе установлено равным нулю $U_{\text{VD1}}=0$ В). Значение ёмкости $C7=5$ пФ. Ёмкостью $C8=1000$ пФ, подключенной последовательно с варикапом VD1, мы пренебрегаем в расчетах так как $C8 \gg C_{\text{VD1}}$.

43. Сравнить полученное вами экспериментальное значение частоты f_0 с вычисленным теоретическим значением ν по формуле (3.1)
44. Нажатием кнопки «ОСТАНОВКА» выйти из текущего подопыта и с помощью кнопок «УПРАВЛЕНИЕ + —» выбрать один из подопытов $U_{\text{VD1}}=4 \dots 16$ В (подрежим SUBMODE2 ... SUBMODE5). **СНЯТИЕ АЧХ СХЕМЫ-3 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАТНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ СМЕЩЕНИЯ НА ВАРИКАПЕ $U_{\text{VD1}}=4 \dots 16$ В.**
45. Запустить выбранный подопыт нажатием кнопки «ЗАПУСК». При этом на экране осциллографа должен визуализироваться набор АЧХ $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}(f)$, с периодом, характерным для периода развертки модели ИЧХ учебной установки.
46. Повторить действия пп. 38-43 при различных значениях обратного напряжения на варикапе VD1 (различных значениях ёмкости варикапа C_{VD1}). Ёмкость варикапа VD1 необходимо определять из полученной Вами экспериментальной вольт-фарадной характеристики образца $C=C(U_{\text{обр}})$.
47. По окончании работы поставить переключатель «СЕТЬ» на панели установки и осциллографа в положение «выкл», при этом должен погаснуть индикатор сеть и вынуть сетевые вилки из розеток.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, Воениздат, 1954.
2. Сифоров В. И., Радиоприемники «сверхвысоких частот», Воениздат, 1957.
3. Куликовский А. А., Линейные каскады радиоприемников, Госэнергоиздат, 1958
4. Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С., Радиоприемные устройства, изд-во «Связь», 1958.
5. Гуткин Л. С., Лебедев В. Л., Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, ч. I, изд-во «Советское радио», 1961.
6. Лебедев В. Л., Радиоприемные устройства, изд-во «Связь», 1963.
7. Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, Связьиздат, 1948.
8. Сиверс А. П., Радиолокационные приемники, изд-во «Советское радио», 1959.
9. Семенов К. А., Радиоприемные устройства, изд-во «Советское радио», 1965.
10. Палшков В. В., Радиоприемные устройства, изд-во «Связь», 1965.
11. Крохин В. В., Элементы радиоприемных устройств СВЧ, изд-во «Советское радио», 1964.
12. Белоусов А. П., Расчет коэффициента шума радиоприемников, Оборонгиз, 1959.
13. Изюмов Н. М., Радиоприем, Воениздат, 1954.
14. Щуцкой К. А., Проектирование приемников АМ и ЧМ сигналов, Госэнергоиздат, 1958.
15. Щуцкой К. А., Транзисторные усилители высокой частоты, изд-во «Энергия», 1967.
16. Смогилев К. А. и др., Радиоприемники СВЧ, Военное изд-во министерства обороны СССР, 1967.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**