

ФГБОУ ВО “Ярославский государственный педагогический
университет им. К.Д. Ушинского”

Н.М. СОКОЛОВ, С.С. ФЕФЕЛОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИОТЕХНИКЕ

Под редакцией Н.М. СОКОЛОВА

Часть III

ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Учебное пособие для студентов

Издание второе, переработанное

Ярославль
2018

Редактор — П.И. Харнаш
Коррекция второго издания — В.К. Мухин
Компьютерная верстка — Е.Н. Шевелева

© ФГБОУ ВПО «Ярославский
государственный педагогический
университет им. К.Д. Ушинского»,
2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов педагогических институтов и содержит описания лабораторных работ по теме «Электронные усилители» курса радиотехники. Настоящее учебное пособие предназначено для студентов физических специальностей педагогических институтов и представляет собой первую часть руководства к лабораторному практикуму по радиотехнике.

Практикум имеет краткую теоретическую часть, вполне достаточную для подготовки и качественного выполнения заданий. Для каждой работы указаны ее цель, рекомендуемая литература, дано описание установки для исследования, имеется домашнее и лабораторное задания, контрольные вопросы для самопроверки и требования, предъявляемые к отчету.

Наличие теоретической части особенно оправдано, когда проведение лабораторных занятий опережает (полностью или в отдельных частях) прочитанный на лекциях материал. Некоторые расчетные соотношения, необходимые для выполнения работ, но не вошедшие в теоретическую часть ввиду ограниченности объема пособия, приведены в приложении. Домашнее задание стимулирует самостоятельную подготовку к лабораторным занятиям.

Пособие удобно и для студентов-заочников.

В зависимости от программы количество и перечень работ, а также объем заданий могут быть сокращены по усмотрению преподавателя.

Правила выполнения лабораторных работ даны в части I пособия (Изд. ЯГПУ, 2016).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н.Б. Догадин. Основы радиотехники [Текст]: учебник – С.-Пб.: Изд-во «Лань», 2007 г.
- [2] Л.З. Бобровников. Электроника [Текст]: учебник – С.-Пб.: Изд-во «Питер», 2004 г.
- [3] Е.М. Гершензон, Г.Д. Полянина, Н.В. Соина. Радиотехника [Текст]: учебник – М.: «Просвещение», 1986 г.
- [4] Е.М. Гершензон, Н.Н. Малов, Г.Д. Полянина, В.С. Эткин. Радиотехника [Текст]: учебник – М.: «Просвещение», 1971 г.
- [5] И.П. Жеребцов. Радиотехника [Текст]: учебник – «Связь», изд. 5-е, 1963—1965 гг.
- [6] И.П. Жеребцов. Основы электроники [Текст]: учебник – Л.: «Энергоатомиздат», 1989 г.
- [7] Основы промышленной электроники [Текст]: / Под ред. В.Г. Герасимова – М.: 1986 г.

1. Основные показатели и характеристики электронных усилителей

1.1 Общие сведения и классификация

Усилителями называют устройства, предназначенные для повышения мощности электрических сигналов при заданном уровне искажений. Превышение мощности, выделяемой в нагрузке, над мощностью входного сигнала достигается за счет энергии источников питания. Управление передачей энергии источника в нагрузку осуществляется маломощным входным сигналом с помощью управляющих (усилительных) элементов, которые обладают способностью при небольшой затрате управляющей энергии управлять энергией, во много раз большей. В электронных усилителях в качестве усилительных элементов используются электронные приборы — транзисторы и электронные лампы.

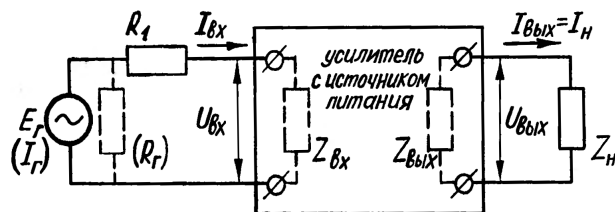


Рис. 1

В общем виде электронный усилитель можно рассматривать как активный четырехполюсник (рис. 1). К входным зажимам подключается источник усиливаемых сигналов в виде генератора напряжения E_{Γ} или генератора тока I_{Γ} с внутренним сопротивлением R_{Γ} к выходным зажимам — нагрузка $Z_{\text{н}}$. Для источника одного сигнала усилитель представляет некоторое сопротивление $Z_{\text{вх}}$, называемое *входным*. Со стороны выхода (по отношению к нагрузке) усилитель имеет *выходное сопротивление* $Z_{\text{вых}}$. В рабочей полосе частот эти сопротивления в большинстве случаев можно считать активными и соответственно обозначать $R_{\text{н}}$, $R_{\text{вх}}$ и $R_{\text{вых}}$.

Электронные усилители разнообразны и классифицируются по различным признакам.

По роду усиливаемых сигналов различают: усилители гармонических сигналов, импульсные усилители, усилители постоянного (точнее, медленно меняющегося) тока.

По роду усиливаемой величины бывают усилители напряжения (для них характерным является $R_{\text{вх}} \gg R_{\Gamma}$ и $R_{\text{н}} \gg R_{\text{вых}}$), усилители тока ($R_{\text{вх}} \ll R_{\Gamma}$ и $R_{\text{н}} \ll R_{\text{вых}}$) и усилители мощности ($R_{\text{вх}} \approx R_{\Gamma}$ и $R_{\text{н}} \approx R_{\text{вых}}$). Вообще же усиление мощности свойственно всем усилителям, но одни из них имеют наибольшее усиление по напряжению, другие — по току, третьи — по мощности.

По спектру усиливаемых частот и по характеру зависимости усиления от частоты гармонические усилители делятся на усилители низкой частоты (УНЧ), избирательные и аperiodические усилители высокой частоты (УВЧ) и широкополосные.

По способу связи каскадов между собой и характеру нагрузки различают усилители типа RC (резистивные), трансформаторные, усилители с непосредственной (гальванической) связью.

По структуре усилители могут быть однокаскадными и многокаскадными.

Каскадом (ступенью) усилителя принято называть его часть, в которую входит усилительный элемент (или два в двухтактных и специальных схемах) вместе с вспомогательными элементами (резисторами, конденсаторами, трансформаторами и т. п.), через которые к нему подводится энергия от источника питания, подаются и снимаются усиливаемые сигналы.

Кроме того, усилители классифицируются по виду применяемых усилительных элементов, по способу включения нагрузки в выход-

ную цепь, назначению и другим признакам.

Работа любого усилителя оценивается различными количественными и качественными показателями (параметрами) и характеристиками.

1.2 Количественные показатели усилителей

Источник усиливаемых сигналов создает на входе усилителя *входное напряжение* $U_{\text{вх}}$ (рис. 1). На входном сопротивлении $R_{\text{вх}}$ расходуется мощность усиливаемых колебаний — *входная мощность*

$$P_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}^2}{R_{\text{вх}}} . \quad (1)$$

На сопротивлении нагрузки $R_{\text{н}}$ создается *выходное напряжение* $U_{\text{вых}}$ и выделяется мощность усиленных колебаний — *выходная мощность*

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}^2}{R_{\text{н}}} . \quad (2)$$

Полезная мощность в нагрузке при заданном уровне искажений называется *номинальной выходной мощностью* $P_{\text{вых ном}}$.

Усилительные свойства усилителей оцениваются *коэффициентами усиления мощности* K_p , напряжения K_u (или K) и тока K_i :

$$K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} , \quad (3)$$

$$K_u = K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} , \quad (4)$$

$$K_i = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} . \quad (5)$$

Общий коэффициент усиления усилителя, состоящего из n каскадов, в идеале определяется:

$$K_{\text{общ}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots K_n . \quad (6)$$

В связи с тем, что воспринимаемое ухом человека изменение громкости звука пропорционально логарифму от соответствующего изменения звуковой энергии, коэффициент усиления часто выражают в логарифмических единицах — *децибелах* (дБ):

$$K_p(\text{дБ}) = 10 \lg K_p, \quad (7)$$

$$K_u(\text{дБ}) = 20 \lg K_u, \quad (8)$$

$$K_i(\text{дБ}) = 20 \lg K_i, \quad (9)$$

$$K_{\text{общ}}(\text{дБ}) = K_1(\text{дБ}) + K_2(\text{дБ}) + \dots + K_n(\text{дБ}). \quad (10)$$

Номограмма для перевода отношений напряжений в децибелы дана в приложении 1 (стр. 59).

Оценить экономичность усилителя мощности позволяет его *коэффициент полезного действия* η . Различают *промышленный (полный) к.п.д.* усилителя

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{общ}}} \quad (11)$$

и *электрический к.п.д.*

$$\eta_{\text{э}} = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{о}}}, \quad (12)$$

где $P_{\text{общ}}$ — мощность, потребляемая всеми цепями усилителя от всех источников питания;

$P_{\text{о}}$ — мощность, потребляемая выходной цепью от источника.

Для ламповых каскадов

$$P_{\text{о}} = E_a I_a,$$

для транзисторных каскадов

$$P_{\text{о}} = E_{\text{к}} I_{\text{к}}.$$

К количественным показателям относятся также *чувствительность* усилителя (определяемая величиной $U_{вх}$, при которой на выходе получается номинальная мощность $P_{вых ном}$), указанные выше $R_{вх}$, $R_{вых}$ и $U_{вых}$ потребляемая от источника питания мощность $P_{общ}$ и некоторые другие.

1.3 Качественные показатели усилителей

При прохождении через усилитель сигнал в той или иной степени искажается — изменяется его форма на выходе по сравнению с формой на входе. Искажения бывают двух видов: линейные и нелинейные.

Нелинейными или *амплитудными искажениями* называют искажения сигнала, обусловленные изменением его спектрального состава. Причина появления нелинейных искажений — нелинейность входных и выходных вольт-амперных характеристик усилительных элементов (транзисторов, электронных ламп), а также нелинейность кривых намагничивания сердечников трансформаторов и дросселей.

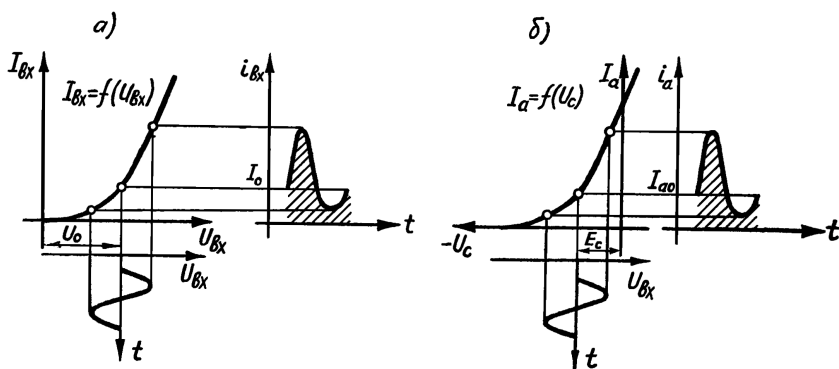


Рис. 2

Для транзистора (рис. 2а) искажения, в основном, обуславливаются нелинейностью входной характеристики $I_{Bx} = f(U_{Bx})$ для электронной лампы (рис. 2б) — нелинейностью анодно-сеточной характеристики $I_a = f(U_c)$.

Из графиков видно, что при подаче на вход синусоидального напряжения возникающий ток отличается от синусоиды. В нем, помимо основной (первой) гармоники, имеющей частоту входного сигнала, появляются новые частотные компоненты — высшие гармоники (вторая, третья и т.д.). На рис. 3 показано разложение подобного сигнала на первые две гармоники.

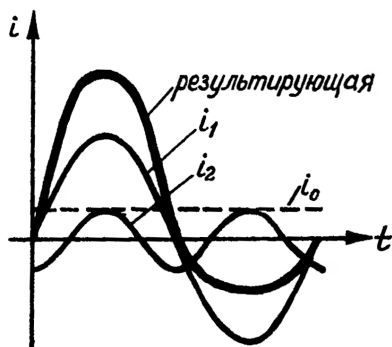


Рис. 3

Нелинейные искажения в усилителях приводят к искажению передаваемой информации, в частности, в УНЧ изменяется тембр, возникают “хрипы”, неразборчивость.

Уровень нелинейных искажений количественно оценивается *коэффициентом нелинейных искажений (коэффициентом гармоник)*

$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}, \quad (13)$$

где U_1, I_1 — напряжение и ток первой гармоники,
 U_n, I_n — напряжение и ток высших гармоник,
 n — номер гармоники.

Практически учитывают только вторую и третью гармоники, так как более высокие гармоники имеют малую мощность.

Ухо нетренированного человека не замечает нелинейных искажений, если $\gamma < 5\%$.

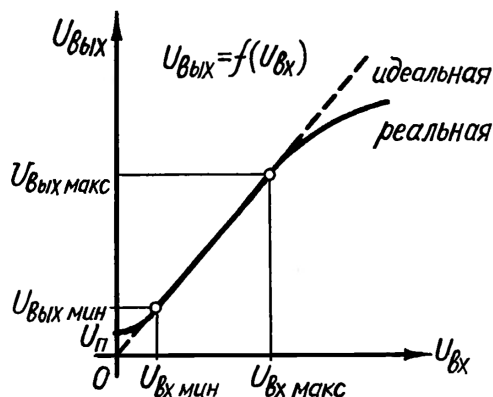


Рис. 4

Качественно о наличии нелинейных искажений можно судить по степени отклонения *амплитудной характеристики* $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ усилителя от прямой линии (рис. 4). В рабочей области входных напряжений ($U_{\text{вх мин}} < U_{\text{вх}} < U_{\text{вх макс}}$) амплитудная характеристика прямолинейна, угол ее наклона определяется коэффициентом усиления усилителя. При $U_{\text{вх}} > U_{\text{вх макс}}$, из-за перегрузки нелинейных элементов схемы, характеристика искривляется, пропорциональность $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ нарушается — возникают нелинейные искажения. При $U_{\text{вх}} < U_{\text{вх мин}}$ причиной нарушения линейности характеристики является напряжение $U_{\text{ш}}$ собственных шумов (помех) усилителя.

Снимается амплитудная характеристика при постоянной частоте входного сигнала $f = \text{const}$. Для УНЧ принимают $f = 1000$ Гц.

Линейными искажениями называют искажения формы выходного сигнала, вызываемые неодинаковым усилением и различными фазовыми сдвигами разных частот спектра усиливаемого сигнала. Возникают линейные искажения из-за наличия в схемах усилителей реактивных элементов (L и C), сопротивление которых линейно (подчиняется закону Ома), но зависит от частоты.

Линейные искажения, обусловленные неодинаковым усилением различных частот, называют *частотными искажениями*. Проявляются они в УНЧ, например, в виде нарушения естественности звучания и изменения тембра.

Частотные искажения, вносимые усилителем, оцениваются по его *амплитудно-частотной характеристике*, обычно называемой про-

сто частотной характеристикой. Она представляет собой график зависимости коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала $K = \varphi(f)$ или $K(\text{дБ}) = \varphi(f)$. Частотные характеристики снимаются как $U_{\text{вых}} = \varphi(f)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$.

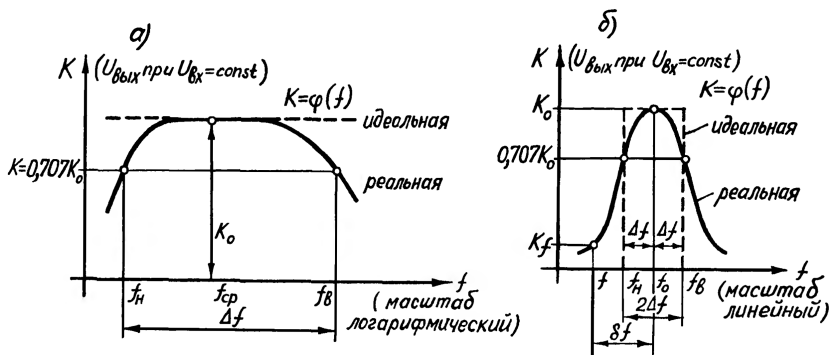


Рис. 5

Вид частотной характеристики широкополосного усилителя (например, УНЧ) показан на рисунке 5а, а резонансного (избирательного) УВЧ — на рис 5б. Частотные характеристики резонансных усилителей часто называют *резонансными кривыми*.

Строится частотная характеристика в прямоугольной системе координат: по оси ординат в линейном масштабе откладывается K или $U_{\text{вых}}$ в абсолютных единицах или децибелах (дБ), по оси абсцисс — частота f . Масштаб по оси абсцисс для усилителей низкой частоты и широкополосных усилителей — логарифмический, для резонансных — линейный.

Логарифмический масштаб шкалы частот позволяет значительно расширить пределы отсчета, не увеличивая размеров чертежа, и получить характеристику, удобную для пользования в широком диапазоне частот, особенно в области нижних частот.

При снятии частотных характеристик в лабораторных работах № 13, 14, 17, 18, 19 настоящего практикума частоту изменять от 20 Гц до 100 кГц. Отсчеты $U_{\text{вых}}$ производить на оцифрованных делениях (исключая 25, 50 и 150) шкалы «ЧАСТОТА» генератора. Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ выбирается в пределах линейного участка ампли-

тудной характеристики и поддерживается неизменным. Строятся частотные характеристики в полулогарифмической координатной сетке (см. приложение 2, стр. 60).

Рекомендации по снятию частотных характеристик УВЧ в работах № 15, 16 имеются в их лабораторных заданиях.

Мерой частотных искажений служит *коэффициент частотных искажений* M , показывающий, во сколько раз изменяется коэффициент усиления K на данной частоте по сравнению с K_0 на какой-то частоте середины рабочего диапазона (для УНЧ принято $f_{\text{ср}} = 1000 \text{ Гц}$).

$$M = \frac{K_0}{K}. \quad (14)$$

Это выражение является одновременно уравнением частотной характеристики усилителя.

Для областей низших и высших частот

$$M_{\text{н}} = \frac{K_0}{K_{\text{н}}}, \quad M_{\text{в}} = \frac{K_0}{K_{\text{в}}}. \quad (15)$$

Коэффициент частотных искажений выражается и в децибелах

$$M(\text{дБ}) = 20 \lg M. \quad (16)$$

Величина допустимых значений M зависит от области применения усилителя.

По частотным характеристикам определяется *полоса пропускания усилителя* — область частот, в пределах которой изменение коэффициента усиления и частотные искажения не превышают заданных или допустимых техническими условиями значений. Обычно допустимым отклонением K от его значения K_0 на средней частоте f_0 принимают отклонение на 3 дБ (0, 707 раза по напряжению, 0, 5 раза по мощности).

Полоса пропускания определяется граничными частотами $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$ (низшая и высшая).

Для широкополосных усилителей (рис. 5а) полосу пропускания можно определить:

$$\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}, \quad (17)$$

но практически важно знать значения $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$, а не Δf . Граничные частоты определяют также и *рабочий диапазон частот* усилителя.

Для избирательных УВЧ (рис. 5б) полоса пропускания

$$2\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}, \quad (18)$$

здесь $\Delta f = f_{\text{в}} - f_0 \approx f_0 - f_{\text{н}}$ — абсолютная расстройка.

По частотным характеристикам резонансных УВЧ определяется и их *избирательность (селективность)*

$$Se = \frac{K_0}{K_f} \quad (19)$$

при заданной расстройке δf .

В ряде случаев для компенсации частотных искажений, возникающих в канале усиления, вводят *частотную коррекцию* — в некоторых каскадах усилителя создают искусственно завал или подъем частотной характеристики, что выравнивает результирующую характеристику канала усиления.

Регулировка тембра в УНЧ осуществляется также путем изменения хода частотной характеристики.

Фазовые искажения проявляются в неодинаковом сдвиге фазы между входным и выходным сигналами усиливаемых колебаний на разных частотах. Они сопутствуют искажениям частотным и также относятся к линейным искажениям. Оцениваются фазовые искажения по *частотно-фазовой характеристике* усилителя (рис. 6) — зависимости угла сдвига фаз φ между выходным и входным напряжением от частоты $\varphi = \Psi(f)$.

Фазовые искажения, играющие важную роль в осциллографических, телевизионных и радиолокационных усилителях, а так же в многоканальных УНЧ, в одноканальных УНЧ не учитываются.

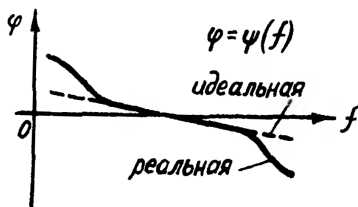


Рис. 6

Кроме рассмотренных, иногда существенное значение имеют и другие показатели: динамический диапазон усилителя, уровень собственных шумов, стабильность работы и др.

2. Отрицательная обратная связь в усилителях

2.1 Общие сведения и усиление систем с обратной связью

Обратной называется связь между выходом и входом усилительной системы (рис. 7), по которой часть энергии усиленных колебаний с выхода передается на вход. Количественную оценку этого процесса характеризует *коэффициент передачи цепи обратной связи* (*коэффициент обратной связи*) β , показывающий, какая часть выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ поступает на вход усилителя в виде *напряжения обратной связи* $U_{\text{ос}}$:

$$\beta = \frac{U_{\text{ос}}}{U_{\text{вых}}} . \quad (1)$$

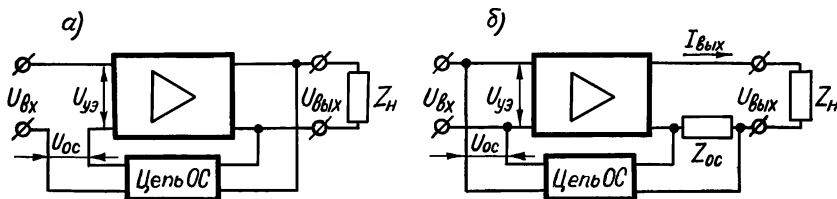


Рис. 7

Если $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{ос}}$ находятся в фазе, то обратная связь называется *положительной* (ПОС), если эти напряжения противофазны — *отрицательной* (ООС).

При этом

$$U_{\text{ос}} = \pm \beta U_{\text{вых}}, \quad (2)$$

а напряжение на входе усилительного элемента

$$U_{\text{уэ}} = U_{\text{вх}} + U_{\text{ос}}. \quad (3)$$

Коэффициент усиления усилителя без ОС, когда $U_{\text{вх}} = U_{\text{уэ}}$,

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{уэ}}}, \quad (4)$$

а коэффициент усиления того же усилителя с ОС, когда $U_{\text{вх}} \neq U_{\text{уэ}}$,

$$K_{\text{ос}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}. \quad (5)$$

Учитывая (1), (2) и (3), получим:

$$K_{\text{ос}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{уэ}} - (\pm \beta U_{\text{вых}})} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{уэ}} \left[1 - \left(\pm \beta \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{уэ}}} \right) \right]} = \frac{K}{1 - (\pm \beta K)}. \quad (6)$$

Величина β обычно выбирается в пределах $0,05 \div 0,2$, а ее знак совпадает со знаком ОС.

При положительной обратной связи напряжение $U_{\text{уэ}}$ возрастает, что приводит к увеличению усиления в $1 - \beta K$ раз. Если $\beta K \rightarrow 1$, то усилитель начинает самовозбуждаться даже при отсутствии регулярного сигнала на входе. Основное применение ПОС находит в автогенераторах и некоторых радиоприемных схемах. А с паразитными положительными обратными связями, возникающими между цепями самопроизвольно, ведется борьба.

При отрицательной обратной связи напряжение $U_{\text{уэ}}$ уменьшается и усиление усилителя падает в $1 + \beta K$ раз.

Однако, несмотря на это, ООС широко применяется в электронных усилителях. Ее введение обеспечивает резкое уменьшение всех видов искажений, снижение уровня различных помех и внутренних шумов, предохраняет усилитель от самовозбуждения и повышает стабильность его работы.

2.2 Схемы отрицательной обратной связи

Отрицательная обратная связь может охватывать как один каскад, так и несколько.

По способу подключения цепи ОС к выходу усилителя различают: ООС по напряжению, когда U_{oc} пропорционально $U_{вых}$ (рис. 7а), и ООС по току, когда U_{oc} пропорционально $I_{вых}$, проходящему через Z_n (рис. 7б). Во втором случае U_{oc} снимается с дополнительного сопротивления Z_{oc} .

Во входную цепь напряжение U_{oc} может вводиться последовательно с $U_{вх}$ (рис. 7а) или параллельно (рис. 7б). Соответственно, обратная связь называется *последовательной* или *параллельной*.

Встречаются комбинированные способы съема и ввода U_{oc} .

В зависимости от характера сопротивления цепей ОС (активный, реактивный) обратные связи делятся на *частотно-зависимые*, у которых β зависит от частоты усиливаемого сигнала, и *частотно-независимые* — β не зависит от частоты сигнала.

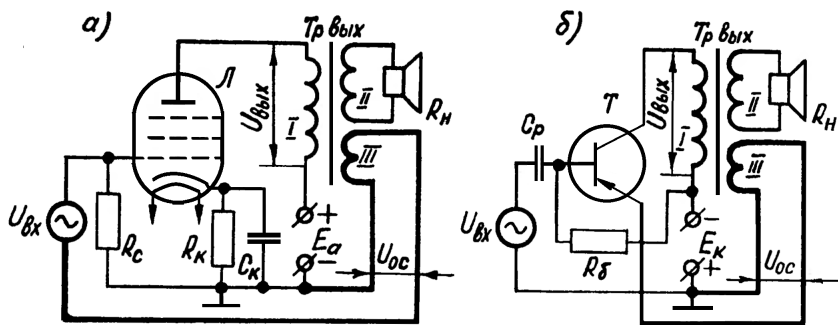


Рис. 8

В схеме последовательной ООС по напряжению трансформаторного усилителя мощности (рис. 8) U_{oc} снимается со специальной обмотки III выходного трансформатора $Tр_{вых}$. Нужная фаза обеспечивается соответствующим подключением концов обмотки, а величина β определяется коэффициентом трансформации n_{oc} обмотки обратной связи

$$\beta = \frac{U_{oc}}{U_{вых}} = \frac{w_{III}}{w_I} = n_{oc}, \quad (7)$$

где w_I — число витков первичной обмотки,
 w_{III} — число витков обмотки обратной связи.

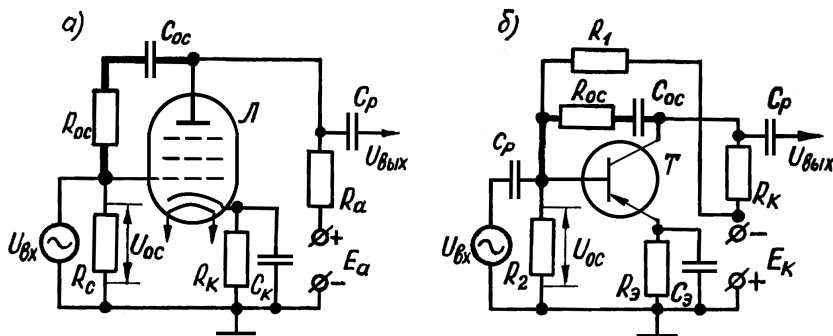


Рис. 9

На рис. 9а показана простейшая схема параллельной ООС по напряжению. Обратная связь осуществляется с помощью цепи $R_{oc}C_{oc}$. Напряжение U_{oc} имеет фазу, противоположную $U_{вх}$, и снимается с резистора R_c , входящего в состав делителя C_{oc} , R_c и R_{oc} . Так как в цепь ОС входит реактивное сопротивление $X_{oc} = \frac{1}{\omega C_{oc}}$, обратная связь является частотно-зависимой. Модуль β определится из выражения

$$\beta = \frac{U_{oc}}{U_{вх}} = \frac{R_c}{\sqrt{(R_c + R_{oc})^2 + X_{oc}^2}}. \quad (8)$$

Для получения частотно-независимой ООС емкость C_{oc} рассчитывается из условия:

$$\frac{1}{2\pi f_n C_{oc}} \ll R_{oc}, \quad (9)$$

тогда

$$\beta = \frac{R_c}{R_c + R_{oc}}. \quad (10)$$

Аналогичная схема ООС для транзисторного каскада приведена на рис. 9б.

Частотно-независимая последовательная ООС по току может быть введена в любой усилительный каскад путем отключения конденсатора, блокирующего катодный (эмиттерный) резистор R_K (R_E) (рис. 10).

Напряжение U_{oc} , получающееся на R_k (R_{Σ}) за счет прохождения по нему анодного (коллекторного) тока, подается на вход каскада противофазно с $U_{вх}$. Для ламповой схемы

$$\beta = \frac{R_k}{R_a + R_k}, \quad (11)$$

для транзисторной схемы

$$\beta = \frac{R_{\Sigma}}{R_k + R_{\Sigma}}. \quad (12)$$

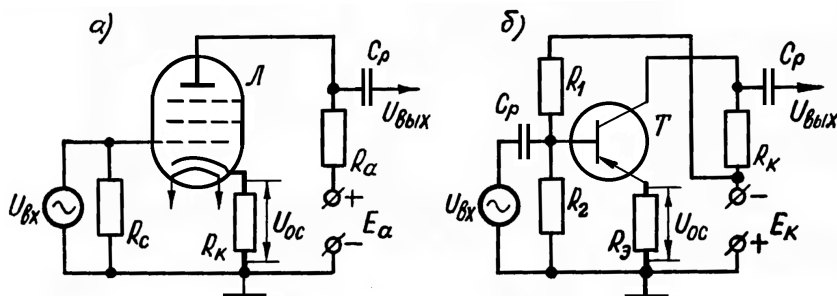


Рис. 10

2.3 Влияние отрицательной обратной связи на свойства усилителя

Уменьшение нелинейных искажений в усилителях с ООС поясняет рис. 11.

Гармоники с выхода усилителя (кривые U_1 и U_2) по цепи ООС подаются на его вход (кривые U_{1oc} и U_{2oc}). Для упрощения чертежа $U_{вх}$ и U_{1oc} заменены их результирующей (кривая $U'_{вх} = U_{вх} - U_{1oc}$). Тогда на выходе усилителя с ООС действуют первая и вторая гармоники (кривые U'_1 и U'_2) усиленного сигнала $U'_{вх}$ и усиленная вторая гармоника U_{2oc} (кривая U''_2), переданная на вход по цепи ОС. Полученный суммарный сигнал на выходе (кривая $U_{вых}$ с ООС) искажен меньше, чем $U_{вых}$ без ООС.

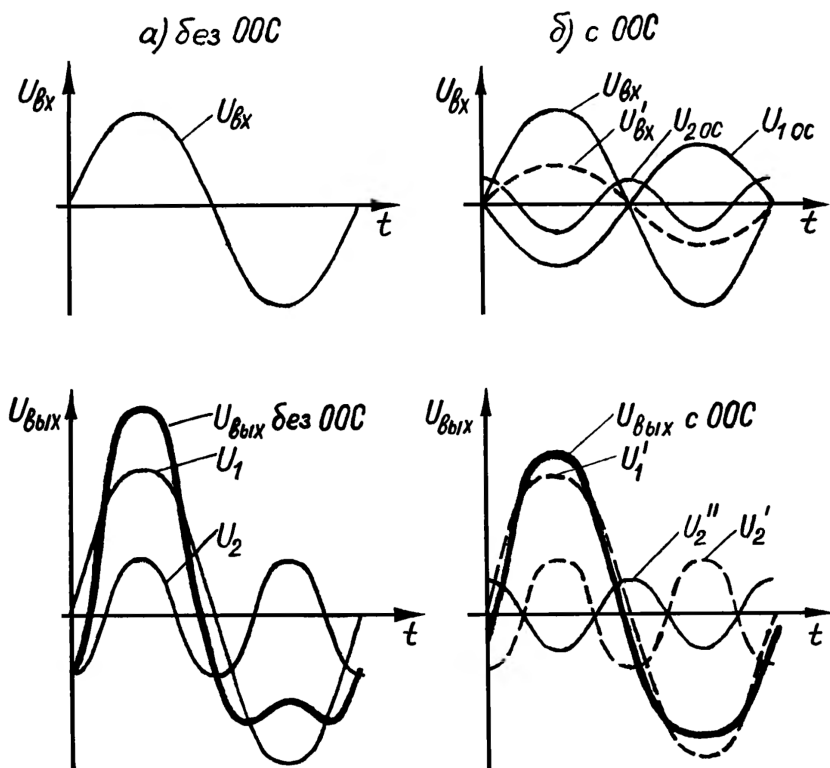


Рис. 11

Коэффициент нелинейных искажений при наличии в усилителе отрицательной обратной связи

$$\gamma = \frac{\gamma}{1 + \beta K}. \quad (13)$$

Введение ООС уменьшает также в $1 + \beta K$ раз уровень помех шумов и фона.

Отрицательная обратная связь оказывает влияние и на ход частотной характеристики $K = \varphi(f)$ усилителя.

Частотно-независимая ООС спрямляет характеристику, уменьшая частотные искажения и расширяя полосу пропускания Δf (рис. 12).

Это объясняется пропорциональностью U_{oc} и $U_{вых}$. Следовательно, действие ООС будет более сильным для частот, на которых коэффициент усиления K усилителя больше.

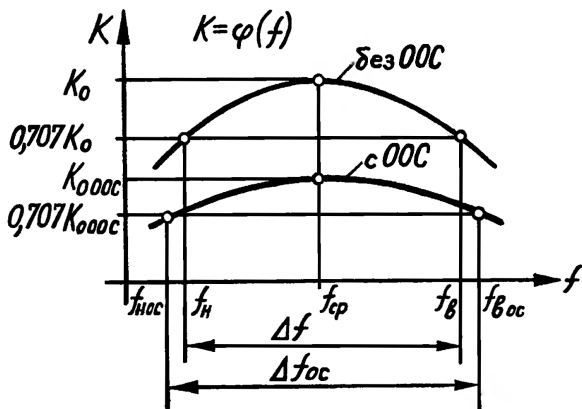


Рис. 12

При частотно-зависимых ООС модуль коэффициента обратной связи β зависит от частоты. Это позволяет путем изменения реактивных составляющих цепи ОС производить коррекцию частотной характеристики и регулировать тембр.

Одновременно с уменьшением частотных искажений отрицательные обратные связи снижают и искажения фазовые.

Отрицательная обратная связь влияет также на $Z_{вх}$ и $Z_{вых}$ усилителя. Входное сопротивление при применении последовательной ООС увеличивается и уменьшается при параллельной. Выходное сопротивление уменьшается в схемах с ООС по напряжению и возрастает в схемах в ООС по току.

Отметим, что улучшение большинства параметров усилителя при введении ООС получается за счет уменьшения K_0 .

Работа № 13

Ламповый резистивный усилительный каскад

Цель работы — изучение резистивного каскада усиления переменного напряжения низкой частоты, его основных характеристик и параметров. Исследование влияния некоторых элементов схемы и отрицательной обратной связи на свойства усилителя.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7].

I. Оборудование и приборы

1. Лабораторная панель.
2. Звуковой генератор.
3. Ламповый вольтметр.
4. Осциллограф.
5. Лабораторный выпрямитель.

II. Описание установки

На лабораторной панели установки (рис. 13) собран ламповый резистивный каскад усиления напряжения низкой частоты. В схеме предусмотрена возможность изменения величин емкости переходного (разделительного) конденсатора $C3$ (перемычкой П1) и конденсатора $C4$, имитирующего суммарную паразитную емкость C_0 , нагружающую каскад (перемычкой П2). Каскад может быть охвачен ООС: последовательной по току (размыканием перемычки П3) и параллельной по напряжению (включением перемычки П4).

Сигнал на вход каскада подается от звукового генератора $ЗГ$. Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ устанавливается по вольтметру $ЗГ$. Во избежание шунтирования нагрузочного резистора $R5$ цепь ООС по напряжению должна быть высокоомной, поэтому для получения достаточно глубокой ООС в схему введен резистор $R1$, увеличивающий выходное сопротивление генератора.

Работа № 13. Ламповый резистивный усилительный каскад

Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ каскада измеряется ламповым вольтметром ЛВ, форма $U_{\text{вых}}$ контролируется осциллографом.

Режим работы лампы усилителя — типовой, питание — от лабораторного выпрямителя.

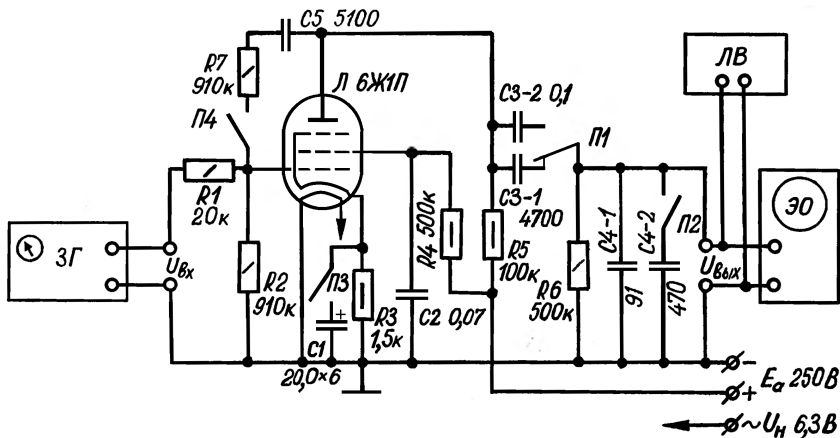


Рис. 13

III. Домашнее задание

1. Четко уяснить работу схемы и назначение всех ее элементов.
2. Для исследуемой схемы вычислить коэффициенты усиления K и $K_{\text{ос}}$, считая крутизну характеристики лампы $S = 3 \frac{\text{mA}}{\text{B}}$.
3. Изобразить ориентировочный ход кривых, которые должны быть получены при выполнении пп. 3 и 5 лабораторного задания.

IV. Лабораторное задание

1. Собрать установку для исследования и подготовить приборы к работе.
2. Предъявить преподавателю для проверки установку и материалы домашней подготовки. Получить указания по выполнению лабораторного задания.

Работа № 13. Ламповый резистивный усилительный каскад

3. Снять амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ усилителя без ООС и с ООС (вид ООС по указанию преподавателя) на частоте $f = 1000 \text{ Гц}$ при $C3 = 4700 \text{ пФ}$ и $C4 = 91 \text{ пФ}$.

При снятии характеристик $U_{\text{вх}}$ изменять: без ООС — от 0 до 1 В через каждые 100 мВ, с ООС — от 0 до 3 В через 200 мВ. Форму $U_{\text{вых}}$ наблюдать на экране осциллографа. Значения $U_{\text{вх}}$, при которых появляются нелинейные искажения, зафиксировать.

Результаты измерений занести в таблицу 1 и на одном чертеже построить характеристики.

Таблица 1

$$U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}}); \quad f = 1000 \text{ Гц}; \quad C3 = 4700 \text{ пФ}; \quad C4 = 91 \text{ пФ}$$

$U_{\text{вх}}, \text{ мВ}$											
$U_{\text{вых}},$ В	без ООС										
	с ООС										

4. По амплитудным характеристикам для каждого случая определить:
- 1) $U_{\text{вх. макс}}$, при котором усилитель работает без перегрузки (без нелинейных искажений);
 - 2) коэффициент усиления K и $K_{\text{ос}}$ на линейном участке характеристик и сравнить их с вычисленными в п. 2 домашнего задания.

Объяснить влияние ООС на усиление и вносимые схемой нелинейные искажения сигнала.

5. Снять частотные характеристики $K(\text{дБ}) = \varphi(f)$ при $U_{\text{вх}} \ll U_{\text{вх. макс}} = \text{const}$ (величина $U_{\text{вх. макс}}$ из п. 4 без ООС) для вариантов:

- 1) $C3 = 4700 \text{ пФ}$, $C4 = 91 \text{ пФ}$, ООС отключена;
- 2) $C3 = 0,1 \text{ мкФ}$, $C4 = 91 \text{ пФ}$, ООС отключена;
- 3) $C3 = 4700 \text{ пФ}$, $C4 = 561 \text{ пФ}$, ООС отключена;

4) $C3 = 4700 \text{ пФ}$, $C4 = 91 \text{ пФ}$, ООС включена.

Результаты измерений свести в таблицу 2, по данным которой построить частотные характеристики (разным цветом) на одном чертеже.

Рекомендации по снятию и построению частотных характеристик — раздел 1.3 стр. 11.

Таблица 2

$K(\text{дБ}) = \varphi(f)$												
$f, \Gamma_{\text{ц}}$	$C3 = 4700 \text{ пФ}$ $C4 = 91 \text{ пФ}$						$C3 = 0,1 \text{ мкФ}$ $C4 = 91 \text{ пФ}$			$C3 = 4700 \text{ пФ}$ $C4 = 560 \text{ пФ}$		
	без ООС			с ООС			без ООС			без ООС		
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	K	$K(\text{дБ})$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	K	$K(\text{дБ})$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	K	$K(\text{дБ})$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	K	$K(\text{дБ})$

- По частотным характеристикам для каждого варианта определить граничные частоты $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$, а так же коэффициенты частотных искажений $M_{\text{н}}$ и $M_{\text{в}}$ для частот $f_{\text{н}} = 60 \text{ Гц}$ и $f_{\text{в}} = 10 \text{ кГц}$.
- Сравнивая частотные характеристики, сделать вывод о влиянии 3, 4 и ООС на ход характеристик. Сопоставить полученные результаты с п. 3 домашнего задания.

V. Содержание отчета

- Схема исследования.
- Расчеты и ориентировочные кривые, выполненные при домашней подготовке.
- Таблицы с результатами измерений, расчеты и графики с требуемыми построениями к пп. 3—6 лабораторного задания.

VI. Контрольные вопросы

1. Каково принципиальное отличие усиления колебаний с помощью усилителя и повышения переменного напряжения трансформатором?
2. Что называется коэффициентом усиления усилителя? Как рассчитывается его величина?
3. Какие искажения возникают в усилителях? Причины возникновения этих искажений.
4. Что называется амплитудной характеристикой усилителя? Какие элементы схемы влияют на ее ход? Что и как определяется по амплитудной характеристике?
5. Что называется частотной характеристикой усилителя? Что можно выявить и определить по частотным характеристикам?
6. Как снимается частотная характеристика? Почему при построении частотной характеристики частоту целесообразно откладывать в логарифмическом масштабе?
7. Какие элементы схемы усилителя влияют на спад частотной характеристики в областях нижних и верхних частот?
8. Что ограничивает возможность увеличения сопротивления анодной нагрузки в резистивных усилителях?
9. Что называется отрицательной обратной связью, ее виды, для каких целей она применяется в усилительных устройствах?
10. Как изменяются свойства усилителя при введении отрицательной обратной связи? Как при этом изменяется ход амплитудных и частотных характеристик?

Работа № 14

Транзисторный резистивный усилительный каскад

Цель работы — изучение транзисторного резистивного усилительного каскада по схеме ОЭ, его основных характеристик и параметров. Исследование влияния элементов схемы и отрицательной обратной связи на работу усилителя.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7].

I. Оборудование и приборы

1. Лабораторная панель.
2. Звуковой генератор.
3. Ламповый вольтметр.
4. Осциллограф.
5. Лабораторный выпрямитель.

II. Описание установки

Транзисторный резистивный каскад усиления напряжения низкой частоты по схеме ОЭ собран на панели лабораторной установки (рис. 14). В схеме предусмотрена возможность изменения величины нагрузочного резистора $R3$ (перемычкой П1), плеча $R2$ делителя $R1$, $R2$, обеспечивающего подачу напряжения на базу транзистора (перемычкой П2) и разделительного конденсатора $C3$ (перемычкой П3). Путем разрыва цепи конденсатора $C2$ (перемычкой П4) каскад охватывается последовательной отрицательной обратной связью по току.

Входной сигнал подается от звукового генератора. Величина $U_{вх}$ устанавливается по вольтметру $ЗГ$. Выходное напряжение измеряется ламповым вольтметром $ЛВ$, а форма $U_{вых}$ контролируется электронным осциллографом $ЭО$.

Питание каскада осуществляется от лабораторного выпрямителя (9В).

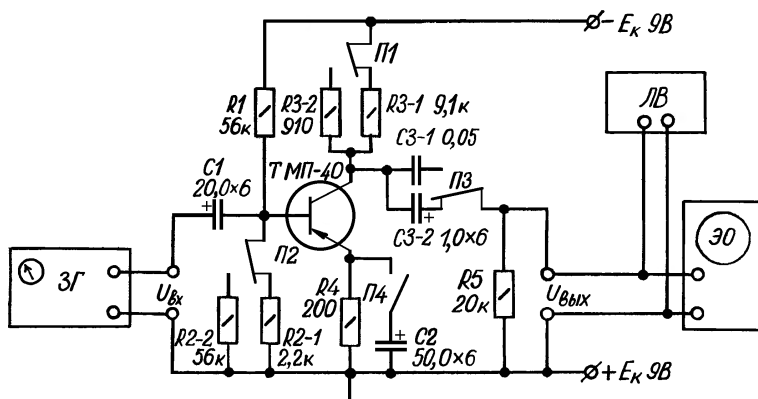


Рис. 14

III. Домашнее задание

1. Уяснить работу схемы и назначение ее элементов. Обратит внимание на специфические особенности транзисторного усилителя.
2. Изобразить предполагаемый ход характеристик, которые должны быть получены при выполнении пп. 2 и 4 лабораторного задания.

IV. Лабораторное задание

1. Собрать установку для исследования, подготовить приборы к работе. Предъявить преподавателю материалы домашней подготовки и собранную установку.
2. Снять амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ каскада на частоте $f = 1000 \text{ Гц}$ при $C3 = 1 \text{ мкФ}$ для случаев:
 - 1) ООС отключена, $R3 = 910 \text{ Ом}$, $R2 = 56 \text{ кОм}$, $U_{\text{вх}}$ изменять от 0 до 60 мВ через каждые 5 мВ;
 - 2) ООС отключена, $R3 = 9,1 \text{ кОм}$, $R2 = 2,2 \text{ кОм}$, $U_{\text{вх}}$ изменять от 0 до 30 мВ через 2,5 мВ;

- 3) ООС включена, $R3 = 9,1 \text{ кОм}$, $R2 = 2,2 \text{ кОм}$, $U_{\text{вх}}$ изменять от 0 до 120 мВ через 10 мВ.

Предупреждение. Во избежание выхода из строя транзистора $U_{\text{вх}}$ более 0,5 В подавать **запрещается!**

При снятии характеристик форму $U_{\text{вых}}$ наблюдать на экране осциллографа. Значения $U_{\text{вх}}$, при которых появляются нелинейные искажения, фиксировать.

Результаты измерений занести в таблицы 1, 2, 3 и построить характеристики на одном чертеже.

3. По полученным характеристикам $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ для каждого случая определить:

- 1) $U_{\text{вх макс}}$, при котором усилитель работает без перегрузки (нелинейные искажения минимальны);
- 2) коэффициент усиления по напряжению K_u на линейном участке.

Объяснить влияние ООС и величины резистора $R3$ на ход характеристик.

4. Снять частотные характеристики $K(\text{дБ}) = \varphi(f)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$, $R3 = 9,1 \text{ кОм}$ и $R2 = 2,2 \text{ кОм}$ для вариантов:

- 1) ООС отключена, $C3 = 1 \text{ мкФ}$;
- 2) ООС отключена, $C3 = 0,05 \text{ мкФ}$;
- 3) ООС включена, $C3 = 1 \text{ мкФ}$.

Входное напряжение для всех вариантов выбирается в пределах линейного участка амплитудной характеристики, снятой без ООС (пункт 2, случай 2).

Результаты измерений свести в таблицу 4 и на одном чертеже построить частотные характеристики (разным цветом).

Рекомендации по снятию и построению частотных характеристик — раздел 1.3 стр. 11.

Таблица 4

$$K(\text{дБ}) = \varphi(f); \quad R3 = 9,1 \text{ кОм}; \quad R2 = 2,2 \text{ кОм};$$

$$U_{\text{вх}} = \dots\dots \text{мВ} = \text{const.}$$

f , Гц	без ООС						с ООС		
	$C3 = 1 \text{ мкФ}$			$C3 = 0,05 \text{ мкФ}$			$C3 = 1 \text{ мкФ}$		
	$U_{\text{вых}},$ В	K	$K(\text{дБ})$	$U_{\text{вых}},$ В	K	$K(\text{дБ})$	$U_{\text{вых}},$ В	K	$K(\text{дБ})$

5. По частотным характеристикам определить (где возможно) граничные частоты $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$, а так же коэффициенты частотных искажений $M_{\text{н}}$ и $M_{\text{в}}$ для частот $f_{\text{н}} = 60 \text{ Гц}$ и $f_{\text{в}} = 60 \text{ кГц}$.

Сравнивая частотные характеристики, сделать вывод о влиянии величины разделительного конденсатора $C3$ и ООС на качественные показатели усилителя.

V. Содержание отчета

1. Схема исследования.
2. Предполагаемые кривые к п. 2 домашнего задания.
3. Таблицы с результатами измерений и подсчетов, графики к п.п. 2—5 лабораторного задания.

VI. Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение элементов резистивного усилительного каскада по схеме ОЭ. Почему эта схема имеет наибольшее распространение в транзисторных усилителях?
2. Сравнить свойства ламповых и транзисторных каскадов усиления напряжения.
3. Какие элементы схемы транзисторного усилителя вызывают появление частотных искажений?

4. Почему емкость разделительных конденсаторов в транзисторных схемах значительно больше, чем в ламповых?
5. Почему транзисторные усилительные каскады работают нестабильно при изменении температуры? В чем эта нестабильность выражается и какие применяют способы стабилизации?
6. Исходя из эквивалентной схемы каскада транзисторного усилителя, объяснить причины частотных искажений в области низших и высших частот.
7. Объяснить причину изменения коэффициента усиления транзисторного усилителя в области средних частот при отключении эмиттерной емкости.

Работа № 15

Ламповый резонансный усилитель

Цель работы — изучение лампового диапазонного резонансного усилителя напряжения высокой частоты (УВЧ) и определение его основных показателей.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [5].

I. Оборудование и приборы

1. Лабораторная панель.
2. Генератор высокой частоты.
3. Ламповый вольтметр.
4. Лабораторный выпрямитель.

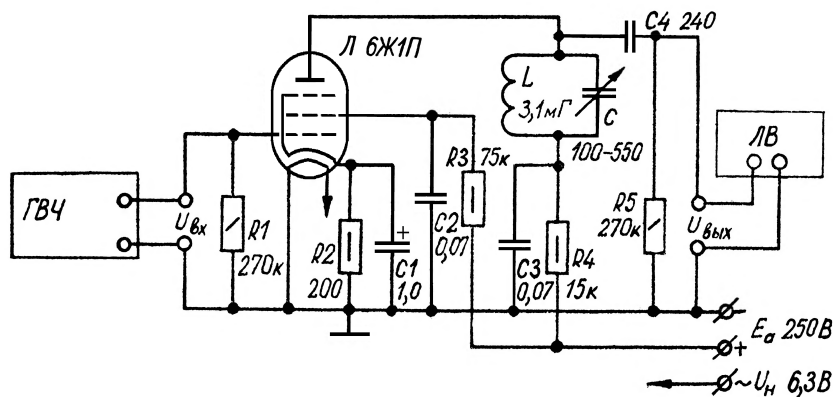


Рис. 15

II. Описание установки

Схема лампового каскада диапазонного резонансного усилителя напряжения высокой частоты с полным включением контура в анодную цепь собрана на панели лабораторной установки (рис. 15).

Работа № 15. Ламповый резонансный усилитель

На вход усилителя от генератора высокой частоты *ГВЧ* подается сигнал $U_{\text{вх}}$, его величина устанавливается аттенюаторами генератора. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ измеряется ламповым вольтметром *ЛВ*.

Резистор R_5 имитирует входное сопротивление следующего каскада. При градуировке переменного конденсатора C учтена емкость монтажа.

Питание усилителя — от лабораторного выпрямителя.

III. Домашнее задание

- 1. Уяснить работу схемы и назначение всех ее элементов.
- 2. Рассчитать максимальную $f_{0 \text{ макс}}$, среднюю $f_{0 \text{ ср}}$ и минимальную $f_{0 \text{ мин}}$ частоты контура исследуемого усилителя.
- 3. Вычислить для полученных частот полосу пропускания $2\Delta f$ и коэффициент усиления K_0 на резонансной частоте f_0 , приняв эквивалентную добротность $Q_{\text{э}} = 15,5$ неизменной по всему рабочему диапазону.

Результаты расчетов поместить в таблицу 1.

Таблица 1

	$f; \quad 2\Delta f; \quad K_0; \quad S_e$											
	$C_{\text{макс}} = \dots \text{пФ}$				$C_{\text{ср}} = \dots \text{пФ}$				$C_{\text{мин}} = \dots \text{пФ}$			
	$f,$ кГц	$2\Delta f,$ кГц	K_0	S_e	$f,$ кГц	$2\Delta f,$ кГц	K_0	S_e	$f,$ кГц	$2\Delta f,$ кГц	K_0	S_e
Расчет по формулам				—				—				—
Определение по частотным характеристикам												

IV. Лабораторное задание

- 1. Собрать установку для исследования, подготовить приборы к работе. Предъявить преподавателю материалы домашней подготовки и собранную установку.

2. Снять частотные характеристики $K = \varphi(f)$ усилителя при $U_{\text{вх}} = 10 \text{ мВ} = \text{const}$ для максимального, среднего и минимального значений емкости переменного конденсатора контура.

Результаты измерений свести в таблицу 2, по данным которой построить частотные характеристики на трех чертежах, но в одинаковом масштабе.

Таблица 2

$$K = \varphi(f); \quad U_{\text{вх}} = 10 \text{ мВ} = \text{const}.$$

$C_{\text{макс}} = \dots \text{ пФ}$			$C_{\text{ср}} = \dots \text{ пФ}$			$C_{\text{мин}} = \dots \text{ пФ}$		
f ,	$U_{\text{вых}}$,	K	f ,	$U_{\text{вых}}$,	K	f ,	$U_{\text{вых}}$,	K
кГц	В		кГц	В		кГц	В	

Порядок снятия частотных характеристик:

- 1) Установить на *ГВЧ* рассчитанную (п. 2 домашнего задания) резонансную частоту f_0 контура и подстройкой *ГВЧ* добиться резонанса.
- 2) Уменьшить частоту *ГВЧ* до значения, при котором $U_{\text{вых}} \approx 0,3 U_{\text{вых}0}$. Затем, поддерживая $U_{\text{вх}}$ постоянным, увеличивать частоту и измерять $U_{\text{вых}}$. Отсчет производить примерно в 15 точках до резонанса и в 15 точках после него. Вблизи резонанса отсчеты делать чаще.
3. По частотным характеристикам определить резонансные частоты f_0 , полосы пропускания $2\Delta f$, коэффициенты усиления K_0 на резонансных частотах и избирательность Se усилителя при расстройке $\delta f = 10 \text{ кГц}$.

Полученные результаты поместить в таблицу 1 и сравнить с расчетными.

Сделать вывод о причинах изменения усиления, полосы пропускания и избирательности усилителя по диапазону.

V. Содержание отчета

1. Схема исследования.

2. Расчеты к пп. 2, 3 домашнего задания.
3. Таблицы, графики с необходимыми построениями к пп. 2, 3 лабораторного задания.

VI. Контрольные вопросы

1. Какие задачи выполняются резонансными усилителями в радиоприемных устройствах? В чем отличие резонансных УВЧ от апериодических УВЧ?
2. Какие виды резонансных систем применяются в качестве нагрузки в резонансных усилителях? Какой резонансный усилитель называется полосовым?
3. Какие требования предъявляются к усилительным элементам (лампам, транзисторам), применяемым в УВЧ?
4. Как в диапазонных резонансных усилителях осуществляется перекрытие определенного диапазона частот?
5. Что называется частотной характеристикой резонансного усилителя, как она экспериментально снимается, что по ней можно определить?
6. Какие искажения могут возникать в резонансных усилителях, каковы причины, их вызывающие?
7. Что называется полосой пропускания и что рабочим диапазоном диапазонного резонансного усилителя?
8. Объяснить причины изменения усиления, избирательности и полосы пропускания по диапазону в резонансных усилителях.
9. Каковы причины, приводящие к самовозбуждению резонансных усилителей, и какие меры принимаются для обеспечения устойчивости их работы?

Работа № 16

Транзисторный резонансный усилитель

Цель работы — изучение транзисторного диапазонного резонансного усилителя высокой частоты (УВЧ) и определение его основных показателей.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [5].

I. Оборудование и приборы

1. Лабораторная панель.
2. Генератор высокой частоты.
3. Ламповый вольтметр.
4. Лабораторный выпрямитель.

II. Описание установки

На лабораторной панели собран транзисторный каскад резонансного диапазонного УВЧ (по схеме ОЭ) с полным включением контура в цепь коллектора (рис. 16).

Входной сигнал $U_{вх}$ подается от генератора высокой частоты ГВЧ, величина $U_{вх}$ устанавливается аттенуаторами генератора. Выходное напряжение $U_{вых}$ измеряется ламповым вольтметром ЛВ.

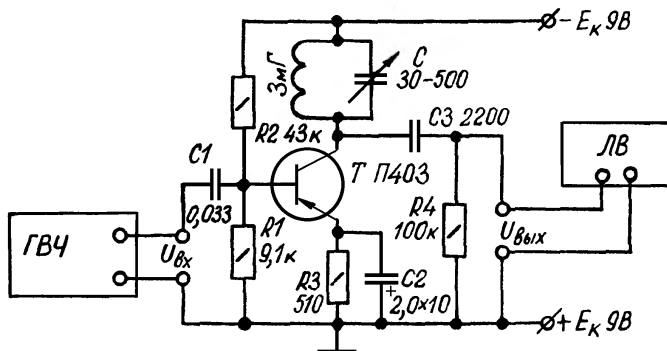


Рис. 16

В усилителе применена схема эмиттерной температурной стабилизации ($R3, C2$). Резистор $R4$ имитирует входное сопротивление следующего каскада. Переменный конденсатор C отградуирован с учетом емкости монтажа.

Питание усилителя — от лабораторного выпрямителя (9 В).

III. Домашнее задание

1. Уяснить работу схемы и назначение всех ее элементов. Обратить внимание на специфические особенности транзисторного усилителя.
2. Рассчитать максимальную $f_{0 \text{ макс}}$, среднюю $f_{0 \text{ ср}}$ и минимальную $f_{0 \text{ мин}}$ частоты контура исследуемого усилителя.

IV. Лабораторное задание

1. Собрать установку для исследования, подготовить приборы к работе. Предъявить преподавателю материалы домашней подготовки и собранную установку.
2. Снять частотные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi\left(\frac{f}{f_0}\right)$ усилителя при $U_{\text{вх}} = \dots = \text{const}$ для $C_{\text{макс}}$, $C_{\text{ср}}$ и $C_{\text{мин}}$ конденсатора C контура.

Результаты измерений свести в таблицу 1, по данным которой построить характеристики на одном чертеже. Частоту по оси абсцисс следует откладывать в относительном масштабе.

Порядок снятия частотных характеристик приведен в работе № 15 (стр. 34).

Таблица 1

$$U_{\text{вых}} = \varphi\left(\frac{f}{f_0}\right); \quad U_{\text{вх}} = \dots = \text{const}.$$

$C_{\text{макс}} = \dots$ пФ			$C_{\text{ср}} = \dots$ пФ			$C_{\text{мин}} = \dots$ пФ		
f , кГц	$\frac{f}{f_0}$	$U_{\text{вых}}$, В	f , кГц	$\frac{f}{f_0}$	$U_{\text{вых}}$, В	f , кГц	$\frac{f}{f_0}$	$U_{\text{вых}}$, В

3. Пользуясь частотными характеристиками, определить резонансные частоты f_0 , полосы пропускания $2\Delta f$ коэффициенты усиления K_0 на резонансных частотах и избирательность Se усилителя при относительной расстройке $\frac{\delta f}{f} = \dots$

Результаты поместить в таблицу 2, аналогичную таблице 1 работы № 15.

Сделать вывод о причинах изменения усиления, полосы пропускания и избирательности усилителя по диапазону.

V. Содержание отчета

1. Схема исследования.
2. Расчеты к п. 2 домашнего задания.
3. Таблицы, графики с необходимыми построениями к пп. 2, 3 лабораторного задания.

VI. Контрольные вопросы

1. Каковы особенности транзисторных резонансных УВЧ по сравнению с ламповыми?
2. Чем отличаются транзисторы, применяемые в УВЧ, от низкочастотных транзисторов?
3. Почему в транзисторных УВЧ чаще применяется неполное включение контура в коллекторную цепь?
4. Чем объясняется неравномерность усиления резонансных усилителей по диапазону?
5. Как влияет проходная емкость транзистора на устойчивость работы резонансного УВЧ?
6. Как элементы схемы, включенные параллельно контуру, влияют на свойства резонансного усилителя?
7. Объяснить работу элементов схемы, обеспечивающих температурную стабилизацию исследуемого в данной работе каскада.

Работа № 17

Однотактный усилитель мощности

Цель работы — изучение каскада лампового однотактного усилителя мощности низкой частоты. Определение его основных качественных и энергетических показателей и выявление влияния ООС на работу усилителя.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [7].

I. Оборудование и приборы

1. Лабораторная панель.
2. Звуковой генератор.
3. Ламповый вольтметр.
4. Осциллограф.
5. Лабораторный выпрямитель.

II. Описание установки

Однотактный усилитель мощности с трансформаторным выходом собран на панели лабораторной установки (рис. 17). Усилительный элемент (выходной пентод) работает в типовом режиме А. Нагрузкой каскада R_n являются переключаемые перемычками П4-П8 резисторы $R5-R9$, имитирующие звуковую катушку громкоговорителя. Перемычками П1, П2, П3 в схему соответственно вводятся: последовательная ООС по напряжению (с обмотки *III Tr вх*), параллельная частотно-зависимая ООС по напряжению и последовательная ООС по току.

Входной сигнал подается от звукового генератора $ЗГ$, величина $U_{вх}$ устанавливается по вольтметру генератора. Для получения достаточной глубины параллельной ООС по напряжению в схему введен резистор $R1$, увеличивающий выходное сопротивление $ЗГ$. Выходное напряжение измеряется ламповым вольтметром $ЛВ$, форма $U_{вых}$ контролируется осциллографом.

Усилитель питается от лабораторного выпрямителя.

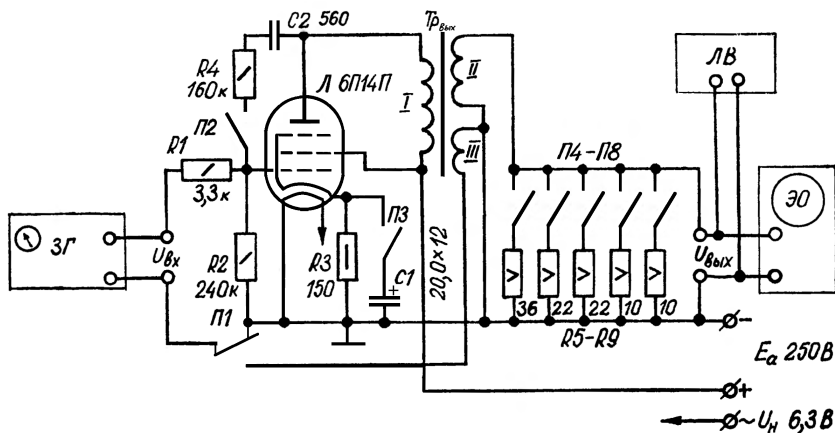


Рис. 17

III. Домашнее задание

1. Уяснить работу схемы и назначение ее элементов. Обратит внимание на цепи ООС, имеющиеся в усилителе.
2. Рассчитать коэффициент обратной связи β , приняв коэффициент трансформации выходного трансформатора $n = 0,024$, сопротивление нагрузки $R_n = 100 \text{ Ом}$. В случае частотно-зависимой ООС принять $f = 1000 \text{ Гц}$.
3. Изобразить примерный ход частотных характеристик усилителя без ООС, с частотно-независимой ООС и с частотно-зависимой ООС (к п. 5 лабораторного задания).

IV. Лабораторное задание

1. Собрать схему исследования и подготовить приборы к работе. Предъявить преподавателю собранную схему, материалы домашней подготовки и получить указания по выполнению лабораторного задания.
2. Снять нагрузочную характеристику $P_{\text{вых}} = \varphi(R_n)$ усилителя без ООС на частоте $f = 1000 \text{ Гц}$, $U_{\text{вх}} = 3 \text{ В} = \text{const}$.

Результаты измерений свести в таблицу 1, подсчитать для каждого значения R_n выходную мощность $P_{\text{вых}}$, к.п.д. $\eta_{\text{э}}$ и построить характеристику.

- По результатам п. 2 найти оптимальное значение R_n , соответствующее максимальной мощности, отдаваемой усилителем в нагрузку. Все последующие измерения производить с этим сопротивлением.
- Снять амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ усилителя без ООС и с ООС (вид ООС по указанию преподавателя) на частоте $f = 1000 \text{ Гц} = \text{const}$.

Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ изменять: без ООС — от 0 до 5 В через каждые 0,5 В, с ООС — от 0 до 10 В через 1 В. Форму $U_{\text{вых}}$ наблюдать на экране осциллографа. Значения $U_{\text{вх}}$, при которых появляются заметные нелинейные искажения, отметить.

Таблица 1

$$P_{\text{вых}} = \varphi(R_n); \quad f = 1000 \text{ Гц}; \quad U_{\text{вх}} = 3 \text{ В} = \text{const}.$$

R_n , Ом			$U_{\text{вых}}$, В	$P_{\text{вых}}$, Вт	$\eta_{\text{э}}$
3,45 Ом,	включены	$R6-R9$			
5,8 Ом,	»	$R5, R6, R8$			
7,8 Ом,	»	$R5, R8$			
10,0 Ом,	»	$R8$			
11,0 Ом,	»	$R6, R7$			
13,7 Ом,	»	$R5, R6$			
22,0 Ом,	»	$R6$			
36,0 Ом,	»	$R5$			

Результаты измерений занести в таблицу 2 и построить характеристики. По ним определить $U_{\text{вх макс}}$ при которых усилитель работает без нелинейных искажений. Сравнить полученные $U_{\text{вх макс}}$ со значениями $U_{\text{вх}}$ отмеченными по осциллограммам.

5. Снять частотные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(f)$ усилителя без ООС и с ООС (заданной в п. 4) при $U_{\text{вх}} = \text{const}$, взятом в пределах линейного участка амплитудной характеристики усилителя без ООС ($U_{\text{вх}} \leq U_{\text{вх макс}}$).

Результаты измерений свести в таблицу 3 и на одном чертеже построить частотные характеристики.

Рекомендации по снятию и построению частотных характеристик — раздел 1.3 стр. 11.

Таблица 3

$$U_{\text{вых}} = \varphi(f); \quad U_{\text{вх}} = \dots \quad B = \text{const}$$

f ,	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	
Гц	без ООС	с ООС (указать вид)

6. По частотным характеристикам для каждого случая определить граничные частоты $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$ рабочего диапазона (где возможно) и для частот $f_{\text{н}} = 200 \text{ Гц}$ и $f_{\text{в}} = 20 \text{ кГц}$ — коэффициенты частотных искажений M .

Определить также коэффициент обратной связи β на частоте $f_{\text{ср}} = 1000 \text{ Гц}$. Сравнить полученную величину β с результатом выполнения п. 2 домашнего задания.

Сделать вывод о влиянии ООС на работу усилителя.

V. Содержание отчета

1. Схема исследования.
2. Расчет и примерные кривые к пп. 2, 3 домашнего задания.
3. Таблицы с результатами измерений, требуемые графики и расчеты к пп. 2-6 лабораторного задания.

VI. Контрольные вопросы

1. Каково условие передачи максимально возможной мощности от генератора в нагрузку? Каково соотношение $R_{\text{н}}$ и R_i для ламповых усилителей мощности на триоде, на пентоде?

2. В чем различие усилителей мощности и усилителей напряжения, а также усилительных элементов, используемых в них?
3. Каково назначение выходного трансформатора в усилителе мощности и почему выходные трансформаторы обычно понижающие?
4. Каковы причины возникновения нелинейных и частотных искажений в трансформаторных каскадах усиления мощности?
5. Рассказать о режимах работы усилительных элементов усилителя мощности. Чем объясняется низкий к.п.д. усилителей, работающих в режиме *A*?
6. Каковы преимущества и недостатки усилителей мощности на пентодах по сравнению с триодными?
7. Объяснить различие последовательных и параллельных ООС по току и по напряжению. Чем отличается частотно-зависимая ООС от частотно-независимой?
8. Почему цепями ООС чаще охватываются выходные каскады усилителей?
9. Почему происходит уменьшение нелинейных и частотных искажений в усилителях при введении ООС?

Работа № 18

Ламповый двухтактный усилитель мощности

Цель работы — изучение лампового каскада двухтактного усилителя мощности низкой частоты и сравнение его качественных и энергетических показателей с однотактным каскадом.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [7].

I. Оборудование и приборы

1. Лабораторная панель.
2. Звуковой генератор.
3. Ламповый вольтметр.
4. Электронный осциллограф.
5. Лабораторный выпрямитель.

II. Описание установки

На лабораторной панели установки (рис. 18) собрана схема двухтактного усилителя мощности на выходных пентодах с трансформаторным выходом.

Переключатель Π позволяет отключить лампу $Л2$, и тогда схема работает как однотактный усилитель мощности. Однотактная схема работает в режиме A , двухтактная — в режиме, близком B . Режим ламп — типовой.

Симметричный сигнал на вход двухтактной схемы подается непосредственно от звукового генератора $ЗГ$. Входное напряжение устанавливается по вольтметру $ЗГ$, выходное напряжение измеряется ламповым вольтметром $ЛВ$. Форма выходного напряжения на $R4$, а также форма анодных токов плеч (в виде падения напряжения на резисторах $R2-1$ и $R2-2$) контролируется электронным осциллографом $ЭО$.

Исследуемая схема питается от лабораторного выпрямителя.

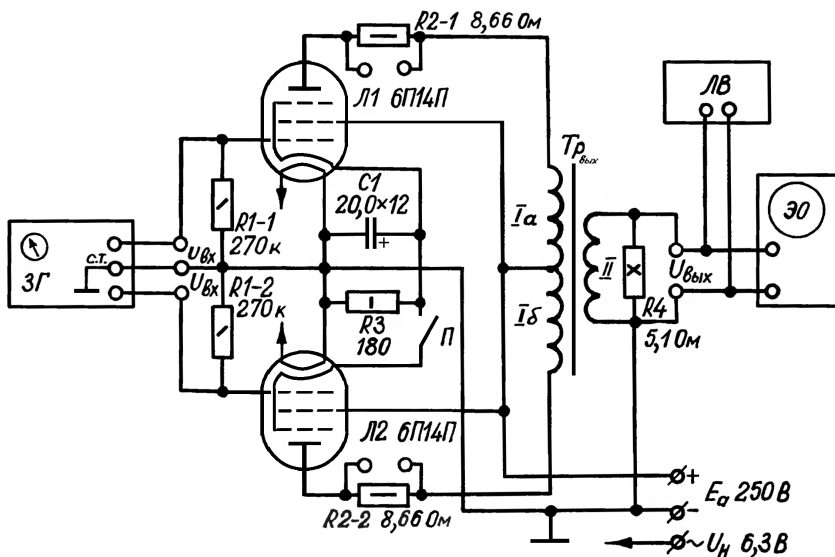


Рис. 18

III. Домашнее задание

1. Уяснить принцип работы двухтактных усилительных схем, их достоинства и недостатки. Понять назначение всех элементов исследуемой схемы.
2. Изобразить предполагаемый ход кривых, которые должны получиться при выполнении п. 2 лабораторного задания.

IV. Лабораторное задание

1. Собрать установку для исследования, подготовить приборы к работе. Предъявить преподавателю материалы домашней подготовки и собранную установку.
2. Снять амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(f)$ исследуемого усилителя на частоте $f = 1000 \text{ Гц} = \text{const}$ для случаев:
 - а) однотактная схема (перемычка П отключена);

б) двухтактная схема (перемычка П включена).

Обе характеристики снимаются одновременно (манипулируя перемычкой П), что позволяет сравнить осциллограммы выходного напряжения в ходе измерений. Входное напряжение изменять от 0 до 9 В, через каждые 0,5 В. Значения $U_{вх}$, при которых на осциллограмме становятся заметными нелинейные искажения, зафиксировать.

Результаты измерений, занести в таблицу 1 и построить характеристики на одном чертеже.

По характеристикам для каждого случая определить $U_{вх\text{ макс}}$, при котором в выходном сигнале еще отсутствуют нелинейные искажения. Сравнить полученные результаты с зафиксированными по осциллограммам значениями $U_{вх}$.

Таблица 1

$$U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}}); \quad f = 1000 \text{ Гц} = \text{const}$$

$U_{\text{вх}}, \text{ В}$							
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	однотактная схема						
	двухтактная схема						

3. Снять частотные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(f)$ для обоих случаев п. 2, приняв $U_{\text{вх}}$ равным $U_{\text{вх макс}}$ для однотактной схемы.

Результаты измерений свести в таблицу 2 и на одном чертеже построить характеристики.

Рекомендации по снятию и построению частотных характеристик в раздел 1.3 стр 11.

Таблица 2

$$U_{\text{вых}} = \varphi(f); \quad U_{\text{вх}} = \dots \text{ мВ} = \text{const}$$

$f,$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	
Гц	однотактная схема	двухтактная схема

4. По частотным характеристикам для каждого случая определить f_n и f_v , а так же коэффициенты частотных искажений M_n и M_v для частот $f_n = 100$ Гц и $f_v = 10$ кГц.
5. Для однотактной и двухтактной схем по данным п. 2 вычислить максимальную неискаженную выходную мощность $P_{\text{вых макс}}$ и электрический к.п.д. η_{Σ} . Подводимую в анодную цепь двухтактного каскада мощность P_0 считать равной подводимой мощности для однотактного, работающего в типовом режиме.
6. По осциллограммам визуально оценить искажения выходного сигнала в однотактном и двухтактном каскадах. Для этого подать на однотактную схему входное напряжение, при котором заметны нелинейные искажения выходного сигнала. Затем, не меняя $U_{\text{вх}}$, переключить схему в двухтактный режим.
Уяснить причину уменьшения нелинейных искажений в двухтактной схеме.
7. Пронаблюдать в двухтактной схеме осциллограммы $U_{\text{вх}}$, $U_{\text{вых}}$ и падений напряжений на резисторах $R2-1$ и $R2-2$, пропорциональных токам плеч.
Сравнить осциллограммы с диаграммой работы двухтактного усилителя, приведенной в учебнике.

V. Содержание отчета

1. Схема исследования.
2. Таблицы с результатами измерений, графики с требуемыми построениями и расчеты к пп. 2-5 лабораторного задания.

VI. Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип работы двухтактного усилителя мощности. Его достоинства и недостатки по сравнению с однотактным?
2. Чем определяется режим работы усилительного элемента и как классифицируются характерные режимы?

3. Каковы преимущества и недостатки режима усиления A по сравнению с режимами B и AB в двухтактных усилителях?
4. Объяснить, почему двухтактный каскад в режиме A отдает почти вдвое, а в режиме B почти вчетверо большую мощность, чем одноконтурный каскад?
5. Почему двухтактный усилитель вносит меньшие нелинейные и частотные искажения в усиливаемый сигнал и менее чувствителен к пульсации питающих напряжений?
6. Как влияет несимметричность схемы на работу двухтактного усилителя?
7. Чем отличается выходной трансформатор двухтактного каскада от одноконтурного?
8. В какой ступени усиления — одноконтурной или двухтактной сердечник выходного трансформатора может иметь меньшее сечение при одной и той же выходной мощности?

Работа № 19

Транзисторный двухтактный усилитель мощности

Цель работы — изучение транзисторного двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности низкой частоты и ознакомление с особенностями его работы.

Литература. [1]; [2]; [3]; [4]; [7].

I. Оборудование и приборы

1. Лабораторная панель.
2. Звуковой генератор.
3. Ламповый вольтметр.
4. Электронный осциллограф.

II. Описание установки

Бестрансформаторный транзисторный двухтактный усилитель мощности (рис. 19) собран на лабораторной панели.

Входной сигнал на схему подается от звукового генератора $ЗГ$, величина $U_{вх}$ устанавливается по вольтметру $ЗГ$. Трансформатор $Tr_{вх}$ обеспечивает получение симметричных напряжений на базах транзисторов в плечах, что необходимо для работы двухтактных схем. Транзисторы $T1$, $T2$ включены по схеме ОЭ и работают в режиме B . Начальное смещение на базы подается с делителей напряжения $R1-1$, $R2-1$ и $R1-2$, $R2-2$. Резисторы $R3-1$ и $R3-2$ служат для стабилизации режима транзисторов по постоянному току и предохраняют их от выхода из строя при коротком замыкании на выходе. Перемычками П1 – П5 можно изменять сопротивление нагрузки (резисторы $R4 – R8$); при размыкании перемычки П6 в схему вводится ООС по току.

Форма $U_{вх}$ и $U_{вых}$, также форма токов плеч (в виде падения напряжения на резисторах $R3-1$ и $R3-2$) контролируются электронным осциллографом ЭО. Напряжение $U_{вых}$ измеряется ламповым вольтметром ЛВ.

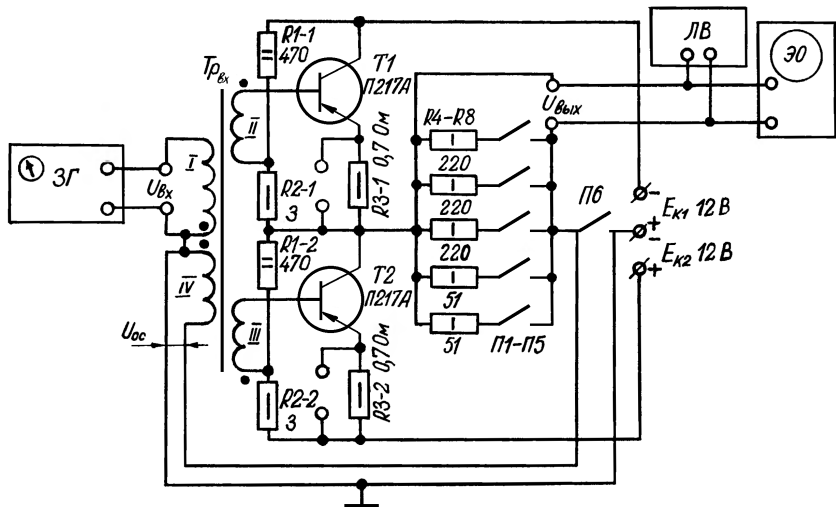


Рис. 19

Исследуемая схема питается от специального лабораторного выпрямителя со средней точкой, что эквивалентно применению отдельных источников питания для каждого плеча.

III. Домашнее задание

1. Ознакомиться с идеей работы бестрансформаторных усилителей мощности. Изучить исследуемую схему и уяснить назначение всех ее элементов. Обратит внимание на специфику подачи входного сигнала и питания схемы.
2. Рассчитать максимальную выходную мощность $P_{\text{вых макс}}$ исследуемого каскада, считая $R_{\text{н}} = 50 \text{ Ом}$.
3. Изобразить ориентировочный ход кривых, которые должны получиться при выполнении п. 3 лабораторного задания.

IV. Лабораторное задание

1. Собрать установку для исследования, подготовить приборы к работе. Предъявить преподавателю материалы домашней подго-

товки и собранную установку.

2. Снять нагрузочную характеристику $P_{\text{вых}} = \varphi(R_{\text{н}})$ усилителя без ООС (перемычка П6 включена) на частоте $f = 1000 \text{ Гц}$ при $U_{\text{вх}} = 150 \text{ мВ} = \text{const}$.

Результаты измерений поместить в таблицу 1, подсчитать для каждого значения $R_{\text{н}}$ выходную мощность $P_{\text{вых}}$ и к.п.д. $\eta_{\text{э}}$.

По данным таблицы 1 построить требуемую характеристику, по которой определить оптимальное значение $R_{\text{н}}$ соответствующее максимальной мощности, отдаваемой в нагрузку.

Таблица 1

$$P_{\text{вых}} = \varphi(R_{\text{н}}); \quad f = 1000 \text{ Гц} = \text{const}; \quad U_{\text{вх}} = 250 \text{ мВ} = \text{const}.$$

Включены резисторы	$R_{\text{н}}$, Ом	$U_{\text{вых}}$, В	$P_{\text{вых}}$, Вт	P_0 , Вт	$\eta_{\text{э}}$
$R4$	220,0				
$R4, R5$	110,0				
$R4, R5, R6$	73,3				
$R7$	51,0				
$R4, R7$	41,5				
$R4, R5, R7$	34,8				
$R4, R5, R6, R7$	30,0				
$R7, R8$	25,5				

Все последующие измерения производить с $R_{\text{н}}$, близким к найденному в сторону уменьшения.

3. Снять амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ усилителя на частоте $f = 1000 \text{ Гц}$ без ООС и с включенной ООС.

При снятии характеристик $U_{\text{вх}}$ изменять от 0 до 0,8 В, через каждые 50 мВ. Форму $U_{\text{вых}}$ наблюдать на экране осциллографа. Значения $U_{\text{вх}}$, при которых появляются нелинейные искажения, зафиксировать.

Результаты измерений занести в таблицу 2 и на одном чертеже построить характеристики.

Таблица 2

$U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}}); \quad f = 1000 \text{ Гц.}$

$U_{\text{вх}}, \text{ мВ}$									
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	без ООС								
	с ООС								

По амплитудным характеристикам для обоих случаев определить $U_{\text{вх макс}}$, при котором усилитель работает без нелинейных искажений (без перегрузки).

Используя полученные $U_{\text{вх макс}}$, рассчитать $P_{\text{вых макс}}$ и сопоставить с результатами п. 2 домашнего задания.

4. Снять частотные характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(f)$ усилителя без ООС и с включенной ООС. Входное напряжение в обоих случаях $U_{\text{вх}} \leq U_{\text{вых макс}} = \text{const}$ из п. 3 без ООС.

Результаты измерений занести в таблицу 3 и построить характеристики на одном чертеже разным цветом.

Рекомендации по снятию и построению частотных характеристик — раздел 1.3 стр. 11.

Таблица 3

$U_{\text{вых}} = \varphi(f); \quad U_{\text{вх}} = \dots \text{ мВ} = \text{const.}$

$f,$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	
Гц	без ООС	с ООС

5. По частотным характеристикам для каждого случая определить $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$, а так же коэффициенты частотных искажений $M_{\text{н}}$ и $M_{\text{в}}$ для частот $f = 20 \text{ Гц}$ и $f_{\text{в}} = 15 \text{ кГц}$.
6. Пронаблюдать и зарисовать осциллограммы $U_{\text{вх}}, U_{\text{вых}}$ и падений напряжений на резисторах $R3-1$ и $P3-2$, пропорциональных токам плеч.

Сравнить осциллограммы с диаграммой работы двухтактного усилителя, приведенной в учебнике (Л. [4]. стр. 204).

V. Содержание отчета

1. Схема исследования.
2. Расчеты и ориентировочные кривые, выполненные при домашней подготовке.
3. Таблицы с результатами измерений, расчеты и графики с требуемыми построениями к пп. 2-5, осциллограммы к п. 6 лабораторного задания.

VI. Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип работы и особенности схем двухтактных бестрансформаторных усилителей мощности.
2. Какова специфика питания и включения нагрузки в двухтактных бестрансформаторных усилителях мощности?
3. Указать достоинства и недостатки бестрансформаторных усилительных каскадов по сравнению с трансформаторными.
4. Какова особенность подачи входных напряжений на усилительные элементы плеч в бестрансформаторных усилителях мощности?
5. В чем различие входных трансформаторов, применяемых в двухтактных бестрансформаторных и двухтактных трансформаторных схемах?
6. С помощью каких устройств, кроме входных трансформаторов, можно получить симметричные входные напряжения, необходимые для работы двухтактных каскадов?
7. Охарактеризовать ООС, применяемые в исследуемом усилителе мощности.
8. Почему происходит уменьшение частотных искажений при введении ООС в схему усилителя?

Работа № 20

Радиотрансляционная установка ТУ-100М

(Представляет исторический интерес)

Цель работы — ознакомление с радиотрансляционной установкой ТУ-100М, магнитофоном и их эксплуатацией в школьных радиоузлах.

Литература. Заводские описания и инструкции к радиотрансляционной установке ТУ-100М (усилитель, приемник, измеритель линий) и магнитофону.

I. Применяемая аппаратура

1. Радиотрансляционная установка ТУ-100М (комплект): усилитель, радиоприемник, линейный щиток, антенный щиток, громкоговоритель 10 ГРД-5, измеритель линий ИЛ-58.
2. Магнитофон «Комета-201».
3. Головные телефоны ТОН-1.
4. Микрофон МД-47.
5. Громкоговоритель абонентский.

II. Описание установки

Установка смонтирована на лабораторном столе. Соединение элементов установки выполнено в соответствии с рис. 7 заводской инструкции ТУ-100М. Линейный выход магнитофона специальным кабелем (придается к магнитофону) подсоединяется к входу *Пр2* усилителя. Выход усилителя через линейный щиток подключен к линии.

В лабораторной работе линия 1 нагружена абонентским громкоговорителем (питается напряжением 30В), линия 2 нагружена громкоговорителем 10 ГРД-5 (напряжение 120В), линии 3 и 4 нагружены эквивалентами, имитирующими характерные повреждения (неисправности) линий.

Контроль за состоянием и определение характера неисправности линий осуществляется измерителем линий типа ИЛ-58. Измеренные

параметры линий (сопротивление изоляции $R_{из}$ проводов по отношению к земле и полное сопротивление $Z_{л}$ линий) сравниваются с расчетными нормами, характеризующими исправное состояние линий. Расчетные нормы определяются для данной линии с учетом ее длины и характера нагрузки по формулам:

$$R_{из} = \frac{500000}{N + l},$$
$$Z_{л} = \frac{Z_{гр}}{N},$$

- где N — число включенных громкоговорителей;
 l — длина линии в километрах;
 $Z_{гр}$ — входное сопротивление одного громкоговорителя на частоте 400 Гц.

Линия считается исправной, если измеренные параметры линии не ниже 50% расчетных.

Так как нагрузка на усилитель не превышает 50 Вт, в работе используется только первый мощный блок МБ1.

III. Домашнее задание

1. Ознакомиться с заводскими описаниями и инструкциями к используемой аппаратуре.
2. Рассчитать $R_{из}$ и $Z_{л}$ линий, характеризующие исправное состояние линий данного радиопузла.

Параметры линий взять из таблицы 1, туда же поместить полученные результаты.

Таблица 1

№ линий	Параметры линии			Расчетные нормы		Результаты измерений		Заключение о состоянии линий
	l , км	N , шт	$Z_{гр}$, Ом	$R_{из}$, Ом	$Z_{л}$, Ом	$R_{из}$, Ом	$Z_{л}$, Ом	
1								
2								
3								
4								

IV. Лабораторное задание

1. Ознакомиться с комплектом радиотрансляционной установки и магнитофоном.
 - 1) Изучить расположение и назначение всех органов управления (переключателей, регуляторов, тумблеров), клемм, гнезд, фишек, предохранителей на панелях аппаратуры (стр. 4-10 и рис. 3, 6, 7, 10 — здесь и далее соответствующих заводских инструкций).
 - 2) Разобраться в выполнении соединительного монтажа блоков установки между собой, сравнивая натуру с монтажной схемой (рис. 7).
 - 3) Ознакомиться со схемами и устройством линейного и антенного щитков (стр. 6-7 и рис. 6).
2. Получить указания преподавателя, разрешение на включение аппаратуры и выполнить предлагаемые ниже упражнения.

Предупреждение. При выполнении упражнений пользоваться головными телефонами. Работа на громкоговорители разрешается на короткое время, следует помнить, что их включение на полную мощность мешает другим. Подавать напряжение в линии 3 и 4 **запрещается**.

- 1) Подготовить магнитофон к работе (стр. 11-13) и произвести поочередно запись на магнитную ленту:
 - а) речи с микрофона;
 - б) грамзаписи с проигрывателя;
 - в) передачи радиовещательной станции с приемника.
- 2) Воспроизвести записанную программу через магнитофон (стр. 16).
- 3) Подготовить к работе и проверить работоспособность приемника и усилителя (стр. 7-9).
- 4) Произвести трансляцию (стр. 9-10).
 - а) речи с микрофона. При этом увеличивать усилие с нуля до достижения достаточной громкости при отсутствии самовозбуждения (акустической обратной связи), возникновение которого объясняется отсутствием

звукоизоляции линейных громкоговорителей и микрофона, находящихся в условиях учебной лаборатории в одном помещении;

б) грамзаписи с проигрывателя;

в) передачи двух радиовещательных станций с приемника;

г) записанной на магнитную ленту программы (п. 2, упр. 1).

5) Осуществить комбинированную передачу речи с микрофона на фоне музыки с проигрывателя или магнитофона.

3. Стереть записанную программу с магнитной ленты (стр. 18) и выключить аппаратуру.

4. Включить измеритель линий ИЛ-58 и подготовить его к работе (стр. 4).

5. Замерить с помощью ИЛ-58 сопротивление изоляции обоих проводов по отношению к земле и полное сопротивление всех линий.

Измерение линий производить при выключенном усилителе, при этом переключатели линий линейного щитка поставить в положение «ИЗМ» (измерения).

Результаты измерений занести в таблицу 1, сравнить с расчетными нормами и сделать заключение о состоянии линий.

V. Содержание отчета

1. Основные технические данные комплекта радиотрансляционной установки ТУ-100М и магнитофона.

2. Перечень выполненных упражнений к п. 2, 3.

3. Результаты расчетов (к п. 2 домашнего задания) и измерений (к п. 5 лабораторного задания) сведенные в таблицу.

VI. Контрольные вопросы

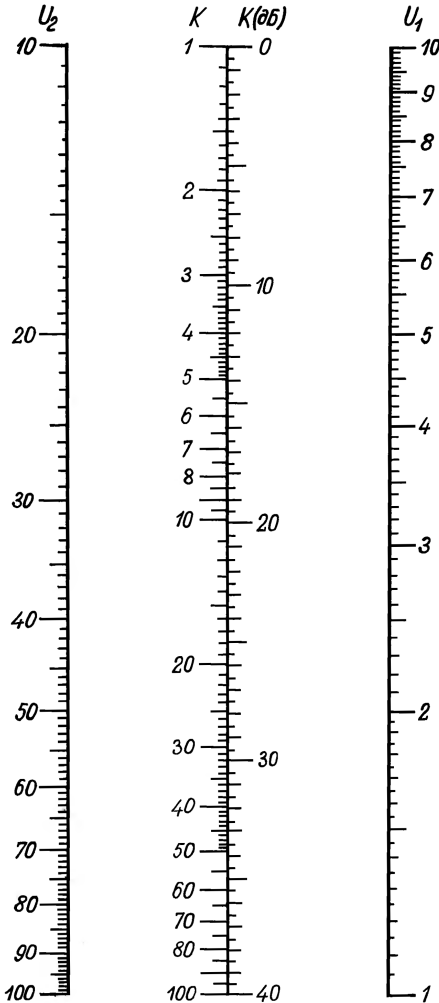
1. Кратко охарактеризовать назначение, основные технические данные и эксплуатационные возможности радиотрансляционной установки ТУ-100М.

2. Какова цель измерения радиотрансляционных линий и какие параметры характеризуют состояние линий?
3. По принципиальной схеме усилителя изобразить его блок-схему и охарактеризовать назначение каждого каскада.
4. Объяснить назначение линейного и антенного щитков радиотрансляционной установки.
5. Какие виды защиты усилителя от возможных воздействий линий применены в линейном щитке?
6. Для чего, кроме проверки радиотрансляционных линий, можно использовать прибор ИЛ-58?
7. Кратко охарактеризовать основные технические данные используемого в работе магнитофона.
8. Какие физические явления лежат в основе магнитной записи звука и воспроизведения магнитной фонограммы?
9. Как влияет величина и стабильность скорости движения магнитной ленты на качество записи и воспроизведения?
10. Что представляет собой магнитная лента и как происходят процессы записи и стирания магнитной фонограммы?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПЕРЕВОД ОТНОШЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕЦИБЕЛЫ

(номограмма)

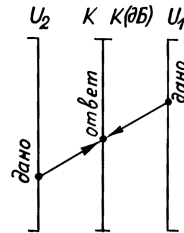


Формула:

$$K(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} = 20 \lg K$$

(U_1 и U_2 в одинаковых единицах)

Схема
пользования



Пример

дано:

$$U_1 = 8 \text{ мВ}$$

$$U_2 = 60 \text{ В} = 60 \cdot 10^3 \text{ мВ}$$

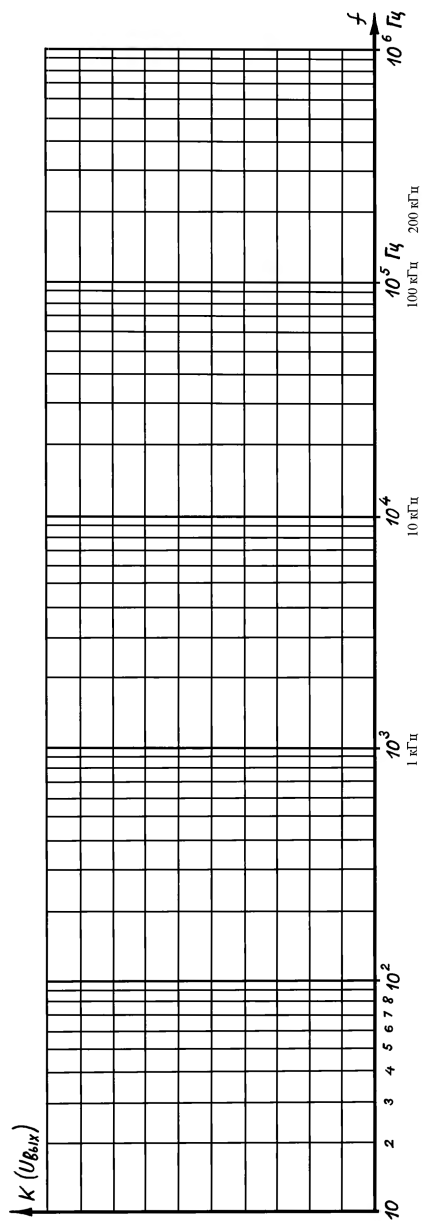
находим:

$$K = \frac{U_2}{U_1} = 7,5 \cdot 10^3$$

$$K(\text{дБ}) = 20 \lg 7,5 + 20 \lg 10^3 = 17,5 + 60 = 77,5 \text{ дБ}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПОЛУЛОГАРИФИЧЕСКАЯ КООРДИНАТНАЯ СЕТКА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УНЧ



**СВОДКА
РАСЧЕТНЫХ СООТНОШЕНИЙ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ, НЕ ПРИВЕДЕННЫХ
В ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПОСОВИЯ**

К работе 13

1. Коэффициент усиления резонансного каскада без ООС на пентоде

$$K = SR_a.$$

К работе 15

1. Резонансная частота контура

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

2. Полоса пропускания контура

$$2\Delta f = \frac{f_0}{Q_{\text{э}}}.$$

3. Коэффициент усиления каскада на пентоде

$$K = SR_{\text{э0}}.$$

4. Резонансное эквивалентное сопротивление контура

$$R_{\text{э0}} = \rho Q_{\text{э}} = 2\pi f_0 L Q_{\text{э}} = \frac{Q_{\text{э}}}{2\pi f_0 C}.$$

К работе 16

1. Резонансная частота контура

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

К работе 19

1. Максимальная (теоретическая) выходная мощность

$$P_{\text{вых макс}} = \frac{E_{\text{к}}^2}{2R_{\text{н}}}.$$

2. Потребляемая выходной цепью мощность

$$P_0 = E_{\text{к}} I_{\text{к0}},$$

$$I_{\text{к0}} \approx \frac{U_{\text{вых}}}{R_{\text{н}}}.$$

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	2
ЛИТЕРАТУРА	3
1 Основные показатели и характеристики электронных усилителей	4
1.1 Общие сведения и классификация	4
1.2 Количественные показатели усилителей	6
1.3 Качественные показатели усилителей	8
2 Отрицательная обратная связь в усилителях	15
2.1 Общие сведения и усиление систем с обратной связью	15
2.2 Схемы отрицательной обратной связи	17
2.3 Влияние отрицательной обратной связи на свойства усилителя	19
Работа № 13. Ламповый резистивный усилительный каскад	22
I. Оборудование и приборы	22
II. Описание установки	22
III. Домашнее задание	23
IV. Лабораторное задание	23
V. Содержание отчета	25
VI. Контрольные вопросы	26
Работа №14. Транзисторный резистивный усилительный каскад	27
I. Оборудование и приборы	27
II. Описание установки	27
III. Домашнее задание	28

IV. Лабораторное задание	28
V. Содержание отчета	30
VI. Контрольные вопросы	30
Работа № 15. Ламповый резонансный усилитель . . .	32
I. Оборудование и приборы	32
II. Описание установки	32
III. Домашнее задание	33
IV. Лабораторное задание	33
V. Содержание отчета	34
VI. Контрольные вопросы	35
Работа № 16. Транзисторный резонансный усилитель	36
I. Оборудование и приборы	36
II. Описание установки	36
III. Домашнее задание	37
IV. Лабораторное задание	37
V. Содержание отчета	38
VI. Контрольные вопросы	38
Работа № 17. Однотактный усилитель мощности . . .	39
I. Оборудование и приборы	39
II. Описание установки	39
III. Домашнее задание	40
IV. Лабораторное задание	40
V. Содержание отчета	42
VI. Контрольные вопросы	42
Работа № 18. Ламповый двухтактный усилитель мощ-	44
ности	44
I. Оборудование и приборы	44
II. Описание установки	44
III. Домашнее задание	45
IV. Лабораторное задание	45
V. Содержание отчета	47
VI. Контрольные вопросы	47
Работа №19. Транзисторный двухтактный усилитель мощ-	49
ности	49
I. Оборудование и приборы	49
II. Описание установки	49
III. Домашнее задание	50
IV. Лабораторное задание	50

V. Содержание отчета	53
VI. Контрольные вопросы	53
Работа № 20. Радиотрансляционная установка ТУ-100М	54
I. Применяемая аппаратура	54
II. Описание установки	54
III. Домашнее задание	55
IV. Лабораторное задание	56
V. Содержание отчета	57
VI. Контрольные вопросы	57
Приложение 1	59
Приложение 2	60
Приложение 3	61