

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.А. Скидан, Н.В. Шахова, В.А. Шадрина

И С С Л Е Д О В А Н И Е ДВУХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы
по дисциплине
“Электроника и микросхемотехника”

Севастополь
СевГУ
2025

УДК 621.396: 004.4 (076.5)

ББК 32.85я73

С42

Р е ц е н з е н т :

Т.Г. Зацаринная - канд. техн. наук, доцент

Скидан А.А.

С42 Исследование двухкаскадного усилителя переменного тока : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине “Электроника и микросхемотехника” / А.А. Скидан, Н.В. Шахова, В.А. Шадрина. – Севастополь: СевГУ, 2025. – 22 с. – Текст : электронный.

Изложены методические указания проведения лабораторной работы по исследованию двухкаскадного усилителя переменного тока с обратной связью. Дано описание виртуальной лабораторной работы. Работа позволяет определить амплитудные и амплитудно-частотные характеристики усилителя как с использованием обратной связи, так и без. Исследование проводится с помощью программного пакета «Electronics Workbench» и может быть выполнено студентами самостоятельно на компьютере, что особенно актуально в условиях отсутствия лабораторного оборудования, например, при дистанционном обучении.

Предназначено для студентов института, изучающих дисциплины «Электроника и микросхемотехника», а также будет полезным при курсовом и дипломном проектировании в части разработки вопросов цифровой электронной схемотехники студентами по специальности: 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», специализации «Системы контроля и управления атомных станций»

УДК 621.396: 004.4 (076.5)

ББК 32.85я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании ученого совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 8 от 4 апреля 2025 г.

© Скидан А.А., Шахова Н.В.,

Шадрина В.А., 2025

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2025

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы:

1. Изучить электрическую схему и принцип действия полупроводникового усилителя.
2. Изучить влияние амплитуды и частоты входного сигнала на коэффициент усиления усилителя.
3. Изучить влияние отдельных неисправностей на работу усилителя.

1.1. Краткие теоретические сведения

В лабораторной работе проводится исследование двухкаскадного транзисторного усилителя переменного тока RC-связью, схема которого приведена на рис. 2.

Усилителями называют устройства, предназначенные для усиления электрических сигналов. Непосредственно усиление сигналов осуществляется усилительными элементами за счет электроэнергии, потребляемой от источников питания. Свойства усилителей характеризуют рядом эксплуатационных и качественных показателей. К эксплуатационным показателям относят коэффициенты усиления, чувствительность, мощность на выходе и коэффициент полезного действия. Качественными показателями работы усилителя являются диапазон усиливаемых частот, вносимые усилителем искажения, уровень помех и т.д.



Рис. 1. Структурная схема многокаскадного усилителя

Структурная схема на рис. 1 показывается принцип работы усилителя. В каскадах предварительного усиления от каскада к каскаду происходит повышение уровня сигнала до величины, при которой выходной каскад создает в нагрузке заданную выходную мощность. В многокаскадных усилителях выходкой сигнал предыдущего каскада является входным для последующего.

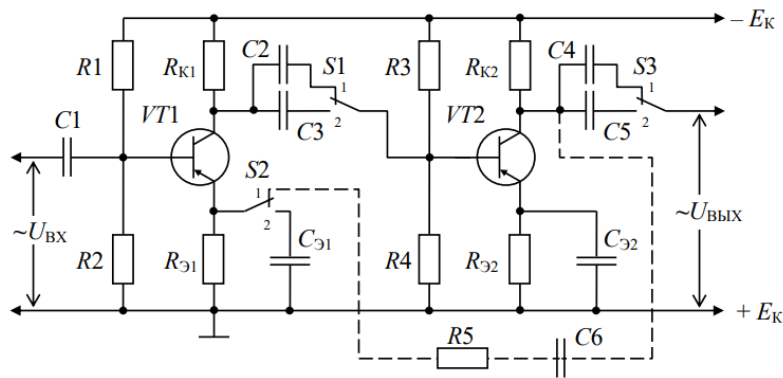


Рис. 2. Схема транзисторного усилителя с RC-связью

Усилитель работает следующим образом (рис. 2). Входной сигнал $\sim u_{BX}$ поступает на делитель переменного напряжения, состоящий из конденсатора C_1 и резистора R_2 . Как мы видим, этот резистор является нижним плечом двух делителей напряжения: постоянного тока (от E_K) и переменного (от u_{BX}). Следовательно, возникающее на нём падение напряжения определяется токами, создаваемыми этими источниками. Поскольку ток делителя смещения I_D течёт всегда в одном направлении (от плюса E_K к его минусу), а направление входного тока i_{BX} определяется фазой входного напряжения u_{BX} и дважды изменяется за период. Таким образом, сигнал усиливается поэтапно.

Основным преимуществом RC-усилителей является отсутствие дрейфа нуля – конденсаторы не пропускают постоянную составляющую.

Недостаток таких усилителей заключается в ограниченности частотного диапазона, что постепенно способствует сокращению их области применения.

В лабораторной работе исследуется усилитель с RC-связью. Далее представлена схема на рис. 3 для исследования усилителя с использованием программы Electronics Workbench.

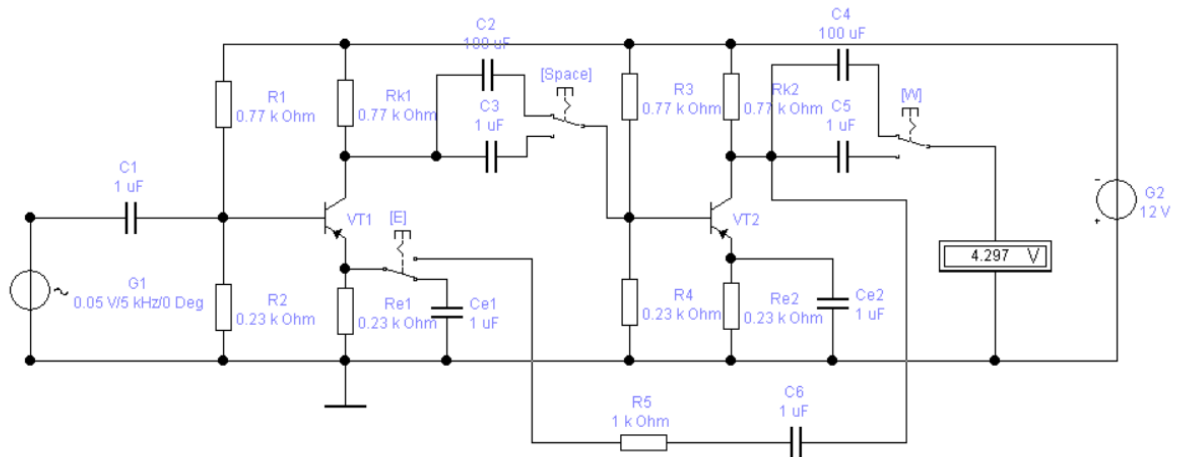


Рис. 3. Схема для исследования транзисторного усилителя с RC-связью с использованием программы Electronics Workbench

В состав схемы виртуальной лабораторной работы входят:

- VT_1 – транзистор p-n-p типа;
- VT_2 – транзистор p-n-p типа;
- G_1 – генератор напряжения входного сигнала;
- G_2 – источник питания цепи;
- V – вольтметр для измерения напряжения на выходе усилителя;
- R_2, C_1 – делитель переменного напряжения, состоящий из конденсатора C_1 и резистора R_2 ;
- W – переключение конденсатора для получения измеряемого напряжения на вольтметре на выходе;

- E – переключатель обратной связи;
- R_1 и R_2 , R_3 и R_4 – делители напряжения;
- R_{K1} , R_{K2} – резисторы нагрузки;
- $C_1 \dots C_5$ – разделительные конденсаторы;
- $R_{Э1}$, $R_{Э2}$ – резисторы цепи эмиттера для стабилизации точки покоя

при повышении температуры;

- $C_{Э1}$, $C_{Э2}$ – шунтирующие конденсаторы для устранения отрицательной обратной связи по переменному току;
- $S_{расе}$ – переключение конденсатора на каскаде.

Каскады усиления по составу и назначению элементов одинаковы, поэтому рассмотрим работу элементов первого каскада, используя фрагмент схемы, приведенный на рис. 3.1.

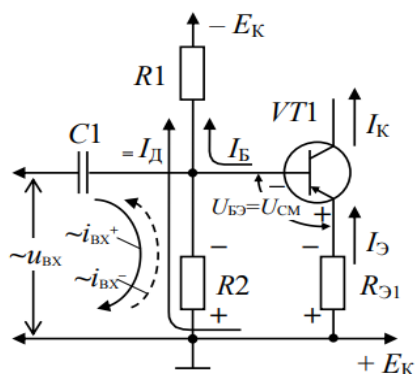


Рис. 3.1. К пояснению работы входной цепи транзистора

Делитель напряжения, состоящий из последовательно включенных резисторов R_1 и R_2 , а также резистор $R_{Э1}$ образуют цепи смещения и температурной стабилизации точки покоя. При отсутствии входного сигнала ($U_{BX}=0$) по делителю напряжения протекает ток делителя I_D , равный

$$I_D = \frac{E_k}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

а по резистору $R_{Э1}$ ток эмиттера $I_Э$.

Токи делителя и эмиттера создают на соответствующих резисторах падения напряжения

$$U_{R_2} = I_D \cdot R_2 ; \quad U_{R_{Э1}} = I_{Э1} \cdot R_{Э1} . \quad (2)$$

Напряжение U_{R2} приложено к цепочке из двух последовательно включенных сопротивлений: резистора $R_{Э1}$ и $p-n$ перехода транзистора. Следовательно, в соответствии с законом Кирхгофа при указанных на рис. 3.1. направлениях токов $I_{Э}$ и $I_{Б}$, можно записать:

$$U_{R2} = U_{RЭ1} + U_{БЭ} . \quad (3)$$

Из выражения (3) можно найти напряжение смещения, приложенное к эмиттерному переходу (при $U_{ВХ} = 0$).

(Под напряжением смещения понимают напряжение между базой и эмиттером, которое вместе с напряжением на коллекторе определяет положение рабочей точки на статических характеристиках транзистора при отсутствии входного сигнала ($U_{ВХ} = 0$)).

$$U_{БЭ} = U_{R2} - U_{RЭ1} = U_{R2} - I_{Э} \cdot R_{Э1}. \quad (4)$$

При этом сопротивления резисторов R_1 и R_2 выбирают так, чтобы ток делителя $I_{Д}$, протекающий через них, был в несколько раз больше тока базы $I_{Б}$ при отсутствии входного сигнала. Обычно принимают $I_{Д} \approx 5I_{Б}$.

Необходимость выполнения этого условия объясняется тем, что при параллельном включении резисторов (в данном случае $R_2 \parallel R_{Э1} + R_{p-n}$) общее сопротивление определяется наименьшим из них: При выполнении условия $R_2 < (R_{Э1} + R_{p-n})$ незначительные изменения большего сопротивления Б-Э перехода транзистора не приведет к существенному изменению сопротивления нижнего плеча делителя напряжения, что в итоге обеспечивает поддержание напряжения $U_{R2} \approx \text{const}$.

Рассмотренная схема с делителем напряжения на входе называется *схемой смещения фиксированным напряжением* (т.к. $U_{R2} \approx \text{const}$).

Однако это напряжение, как было показано выше, не подается непосредственно на вход транзистора. Наличие резистора $R_{Э1}$ в цепи

эмиттера определяет особенность подачи напряжения смещения между базой и эмиттером транзистора, что видно из выражения (4). Такое решение позволяет не только задать режим работы транзистора, но и обеспечить его постоянство в условиях значительного изменения параметров транзистора под действием температуры. Поэтому схему, содержащую резистор $R_{Э1}$ в цепи эмиттера называют схемой эмиттерной температурной стабилизации.

Действительно, с увеличением температуры ток эмиттера $I_Э$ увеличивается, поэтому увеличивается падение напряжения на резисторе $U_{RЭ1}$. Напряжение на резисторе R_2 от окружающей температуры не зависит (так как не зависят от температуры параметры E_K , R_1 и R_2). Поэтому, как следует из выражения (4), с возрастанием температуры и ростом тока $I_Э$, напряжение смещения $U_{БЭ}$ автоматически уменьшится. Уменьшение напряжения $U_{БЭ}$ приводит к снижению базового, а, следовательно, и коллекторного, тока. В результате этого режим работы транзистора будет восстановлен.

Рассмотренное выше влияние выходного тока эмиттера $I_Э$ на входные цепи для термостабилизации точки покоя является не чем иным, как проявление отрицательной обратной связи по постоянному току.

Напряжение обратной связи создается на резисторе $R_{Э1}$ и оно пропорционально току эмиттера (т.к. $U_{OC} = U_{RЭ1} = I_Э \cdot R_{Э1}$). Для определения знака обратной связи достаточно обозначить полярность напряжений на резисторах $R_Э$ и R_2 (как показано на рис 3.1) и сравнить их действие на транзистор. Здесь напряжение обратной связи $U_{OC} = U_{RЭ1}$ и входное напряжение $u_{ВХ} = U_{R2}$ по своему действию находятся в противофазе: напряжение $u_{ВХ}$, приложенное к транзистору в указанной на резисторе R_2 полярности, стремится его открыть, а $U_{OC} = I_Э \cdot R_{Э1}$ – закрыть (т.к. $\uparrow I_Э$ и U_{OC} является обратным для p-n перехода). Следовательно, в данном случае имеет место отрицательная обратная связь (ООС) по току ($I_Э$). Такая обратная связь называется местной, так как она действует только для одного каскада усиления.

ООС уменьшает коэффициент усиления каскада (усилителя) для сигнала, её вызвавшего (например, для температурных (вредных и медленных!) изменений тока $I_{\text{Э}}$) и это её достоинство. В то же время при наличии входного сигнала $u_{\text{ВХ}}$ соответствующие ему изменения тока базы $\Delta I_{\text{Б}}$ вызывают увеличенные в β раз изменения тока коллектора и эмиттера (полезные и быстрые) $\Delta I_{\text{Э}} \approx \Delta I_{\text{К}} = \beta \cdot \Delta I_{\text{Б}}$, которые тоже будут формировать на резисторе $R_{\text{Э}}$ ООС, но уже не желательную.

Для устранения этой отрицательной обратной связи по переменному току при наличии входного сигнала, резистор $R_{\text{Э1}}$ шунтируют конденсатором $C_{\text{Э1}}$. Его емкостное сопротивление на частоте входного сигнала должно быть значительно меньше сопротивления резистора $R_{\text{Э1}}$ (т.е. $X_{C_{\text{Э1}}} \ll R_{\text{Э1}}$).

Усилитель работает следующим образом (см. рис. 3.1). Входной сигнал $\sim u_{\text{ВХ}}$ поступает на делитель переменного напряжения, состоящий из конденсатора C_1 и резистора R_2 . Как мы видим, этот резистор является нижним плечом двух делителей напряжения: постоянного тока (от $E_{\text{К}}$) и переменного (от $u_{\text{ВХ}}$). Следовательно, возникающее на нём падение напряжения определяется токами, создаваемыми этими источниками. Поскольку ток делителя смещения $I_{\text{Д}}$ течёт всегда в одном направлении (от плюса $E_{\text{К}}$ к его минусу), а направление входного тока $i_{\text{ВХ}}$ определяется фазой входного напряжения $u_{\text{ВХ}}$ и дважды изменяется за период, можно записать условия формирования напряжения на резисторе R_2 :

$$U_{R_2} = (I_{\text{Д}} \pm i_{\text{ВХ}}) \cdot R_2. \quad (5)$$

При отсутствии входного сигнала ($u_{\text{ВХ}} = 0$) входной ток $i_{\text{ВХ}} = 0$ и на резисторе R_2 создаётся постоянное напряжение (см. выражение 2), определяющее начальное положение рабочей точки.

С приходом входного сигнала ($u_{\text{ВХ}} \neq 0$) входной ток $i_{\text{ВХ}}$ то складывается с током делителя смещения $I_{\text{Д}}$, то вычитается из него, вызывая соответствующие изменения напряжения U_{R_2} . Это изменяющееся напряжение подается на участок база-эмиттер транзистора VT_1 (влияние

резистора $R_{Э1}$ на частоте сигнала исключено подключённым к нему конденсатором $C_{Э1}$) и изменяет ток базы I_B в большую и меньшую стороны относительно начального его значения.

Изменение тока базы во входной цепи транзистора вызывает значительно большие изменения тока коллектора I_K в выходной цепи (напомним, что $I_K = \beta \cdot I_B$, где β – коэффициент усиления тока в схеме с ОЭ, достигающий значений $100 \div 1000$). Этот ток, проходя по резистору нагрузки R_K , создаёт на нём изменяющееся выходное напряжение усилительного каскада в соответствии с уравнением динамического режима:

$$U_{КЭ1} = E_K - I_{K1} \cdot R_{K1} . \quad (6)$$

Усиленное выходное напряжение $U_{ВЫХ}$ снимается с участка коллектор-эмиттер первого транзистора и через разделительный конденсатор C_2 подается на вход второго усилительного каскада. Здесь сигнал еще больше усиливается и через конденсатор C_3 поступает на выход.

Если на вход первого каскада усилителя поступает положительная (относительно общего провода!) полоуволна входного сигнала, то в соответствии с выражением (5) напряжение на резисторе R_2 уменьшается (т.к. $i_{ВХ}$ течет по R_2 сверху вниз и вычитается из I_D) и, следовательно, уменьшается напряжение $U_{БЭ} = U_{R2} - U_{RЭ}$, что вызывает прикрытие транзистора (относительно исходного состояния при $u_{ВХ} = 0$). Это сопровождается уменьшением коллекторного тока I_{K1} . В свою очередь падение напряжения на сопротивлении резистора R_{K1} за счет уменьшающегося коллекторного тока I_{K1} , уменьшается, а напряжение на коллекторе $U_{КЭ1}$ по абсолютной величине увеличивается, т.е. формируется отрицательная полуволна выходного напряжения (т.к. $U_{КЭ1}$ стремится к $-E_K$ для схемы на рис. 3.1). При поступлении отрицательной полуволны входного сигнала картина меняется на обратную. Из этого следует, что усилительный каскад по схеме с ОЭ наряду с усилением входного сигнала меняет его фазу на 180° . Говорят, что входной и выходной сигналы находятся в противофазе.

Настройка схемы виртуальной лабораторной работы

Настройка схемы виртуальной лабораторной работы имеет особенности:

1. лабораторная работа проводится при английской раскладке клавиатуры;
2. включение и отключение схемы производится переключателем «O — I » в правом верхнем углу экрана; 
3. переключатели *E*, *W*, *Space* переключаются клавишами *E*, *W*, *Space* соответственно;
4. изменение подаваемого напряжения и частота, изменяется с помощью двойного клика левой кнопки мыши на генераторе G_1 ;
5. амплитудная и амплитудно-частотная характеристики представляют собой зависимость $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ при $f_{ВХ} = \text{const}$ и $U_{ВЫХ} = f(f_{ВХ})$ при $U_{ВХ} = \text{const}$ соответственно.

Характеристики усилителя

Работа усилителя описывается двумя характеристиками: амплитудной и частотной (её часто называют амплитудно-частотной), приведенными на рис. 4.

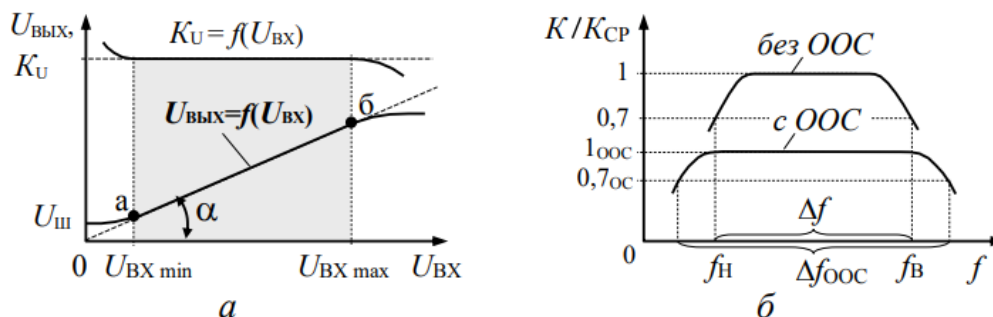


Рис. 4. Характеристики усилителя: а – амплитудная; б – амплитудно-частотная

Амплитудная характеристика усилителя представляет собой зависимость выходного напряжения от входного $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ при $f_{ВХ} = \text{const}$ (рис. 4, а). Иногда определяют амплитудную характеристику как зависимость коэффициента усиления по напряжению от входного сигнала постоянной частоты $K_U = f(U_{ВХ})$. Обе эти зависимости приведены на рис.4, а.

В рабочем диапазоне амплитуд входного сигнала $U_{ВХ \text{ МАКС}} - U_{ВХ \text{ МИН}}$ амплитудная характеристика имеет форму практически прямой линии (участок а-б), что свидетельствует о линейной зависимости $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$, а угол ее наклона α определяется значением коэффициента усиления усилителя на данной частоте ($\text{tg} \alpha = \Delta U_{ВЫХ} / \Delta U_{ВХ}$).

Рассмотрим частотную характеристику усилителя (см. рис. 4, б). В области средних частот коэффициент усиления максимальный. При понижении частоты входного сигнала емкостное разделение конденсаторов C_1, C_2, C_4 возрастает (так же, как и остальных конденсаторов, входящих в схему усилителя). Поэтому падение напряжения на этих конденсаторах под действием переменного тока увеличивается. В результате этого уменьшается выходное напряжение, снимаемое с резисторов R_2 и R_4 после разделительных конденсаторов, как элементов делителей переменного напряжения. Так как входное напряжение не изменяется, а выходное уменьшается, то, следовательно, уменьшается и коэффициент усиления.

Кроме того, с понижением частоты усиливаемого сигнала увеличивается также и емкостное сопротивление шунтирующих конденсаторов C_3 . В результате этого увеличивается отрицательная обратная связь по переменному току, так как теперь конденсаторы C_3 будет оказывать переменному току большее сопротивление, чем на средних частотах, и меньше шунтировать резистор R_3 , на котором создается ООС. Снижение коэффициента усиления тем больше, чем ниже частота входного сигнала.

С увеличением частоты входного сигнала емкостное сопротивление разделительных конденсаторов уменьшается настолько, что падением напряжения на них уже можно пренебречь. Существенное влияние на работу

усилителя, как было показано выше, начинают оказывать емкость коллекторного р-п перехода транзистора и шунтирующий конденсатор $C_э$. Сопротивление этих элементов становится настолько малым, что они шунтируют выходную цепь усилительного каскада. А это приводит к снижению коэффициента усиления.

Для уменьшения спада частотной характеристики в области низких частот емкость разделительного конденсатора увеличивают до десятков микрофард. В области верхних частот уменьшения спада частотной характеристики можно достигнуть снижением величины сопротивления нагрузки.

Выше была рассмотрена местная обратная связь. Кроме местной ОС, существует и общая обратная связь, связывающая выход всего усилителя с его входом. Действительно, последовательное соединение резисторов R_5 и $R_{э1}$ является делителем напряжения для выходного сигнала $U_{вых}$. Напряжение обратной связи создается на резисторе $R_{э1}$. При любой полярности входного сигнала напряжение обратной связи и напряжение входного сигнала будут находиться в противофазе, следовательно, обратная связь будет отрицательной. Напряжение обратной связи можно определить так. Ток, протекающий по делителю напряжения, состоящего из R_5 и $R_{э1}$, равен

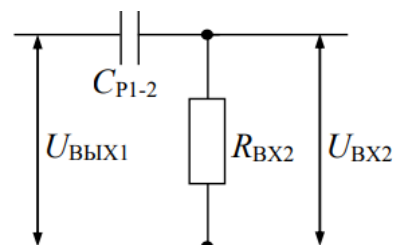
$$I_{д оос} = \frac{U_{вых}}{R_5 + R_{э1}} . \quad (7)$$

Тогда напряжение обратной связи, снимаемое с резистора

$$U_{оос} = U_{Rэ1} = I_{д оос} \cdot U_{э1} = U_{вых} \cdot \frac{R_{э1}}{R_5 + R_{э1}} \quad (8)$$

будет пропорционально напряжению выхода. Следовательно, имеем отрицательную обратную связь по напряжению. Введение общей отрицательной обратной связи позволяет увеличить диапазон рабочих частот (полосу пропускания) усилителя.

Частотная характеристика усилителя представляет собой зависимость коэффициента усиления от частоты усиливаемых колебаний $K_U = f(F)$ при $U_{BX} = \text{const}$. Графическое изображение частотной характеристики усилителя с RC-связью показано на рис. 4, б. Как видно из графика, коэффициент усиления не остается постоянным на разных частотах, а имеет явно выраженный “завал” (снижение) на низких и высоких частотах. Это свойство усилителя обуславливает частотные искажения – отклонение формы выходного сигнала от входного с изменением его частоты. В области средних частот коэффициент усиления практически не зависит от частоты. Снижение коэффициента усиления на низких и высоких частотах связано с влиянием на сигнал реактивных элементов, входящих в состав усилителя и объясняется следующим. С переходом в область низких частот заметно увеличивается падение напряжения на (конденсатор C_{P1-2}). Это вызвано тем, что с уменьшением частоты емкостное сопротивление конденсатора увеличивается, как видно из формулы разделительных конденсаторах межкаскадной связи:



$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}, \quad (9)$$

где X_c – емкостное сопротивление конденсатора;

f – частота входного сигнала;

C – емкость разделительного конденсатора.

Следовательно, на входном сопротивлении R_{BX2} следующего каскада (см. рис. справа), составляющем с конденсатором связи делитель напряжения, создастся меньшее входное напряжение (вспомнить принцип

действия делителя напряжения), что, естественно, приведет к уменьшению $U_{\text{ВЫХ}}$ каскада и коэффициента усиления.

Коэффициент усиления (по напряжению) усилителя, охваченного ООС, определяется выражением:

$$K^{\text{оос}} = \frac{K}{1 + \beta K}, \quad (10)$$

из которого видно, что коэффициент усиления усилителя, охваченного отрицательной обратной связью $K^{\text{оос}}$, в $1/(1+\beta K)$ меньше коэффициента усиления самого усилителя K . Из выражения, таким образом, обнаруживается влияние ООС на характеристики усилителя. Так, при построении амплитудной характеристики усилителя с ООС, каждому значению $U_{\text{ВХ}}$ будет соответствовать напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ меньшее, чем при отсутствии ООС. Следовательно, экспериментальные точки и сама кривая пройдут ниже характеристики ЭУ без ООС, а динамический диапазон усилителя расширится. Изменения частотной характеристики при введении ООС обусловлены следующим. В средней области частот, где выходное напряжение является наибольшим, напряжение обратной связи, определяемое выражением $U_{\text{ОС}} = \beta \cdot U_{\text{ВЫХ}}$, оказывается также наибольшим. Это приводит к значительному спаду усиления и результирующего выходного напряжения на средних частотах. В области нижних и верхних частот действие ООС сказывается слабее вследствие меньшего значения выходного напряжения и соответственно меньшей величины $U_{\text{ОС}}$.

Поэтому влияние отрицательной обратной связи на средних частотах сказывается сильнее, чем на крайних частотах. Вследствие этого частотная характеристика усилителя с ООС (см. рис. 4, б) располагается ниже кривой ЧХ без ООС и становится более прямолинейной (сглаженной). В том случае, когда на частотной характеристике усилителя имеется локальный подъем, то есть возрастает коэффициент усиления, действие ООС носит обратный характер и также вызывает спрямление частотной характеристики.

Совершенно очевидно, что спрямление формы частотной характеристики усилителя, вызванное действием ООС, сопровождается расширением полосы пропускания (то есть $\Delta f_{оос} > \Delta f$, где $\Delta f_{оос} = f_{в оос} - f_{н оос}$) и, следовательно, уменьшением частотных искажений.

1.2. Порядок выполнения работы

1.2.1 Исследование усилителя без обратной связи

1. Собрать схему усилителя (см. рис. 3) и подключить генератор сигналов к входу усилителя и вольтметр переменного напряжения к выходу.

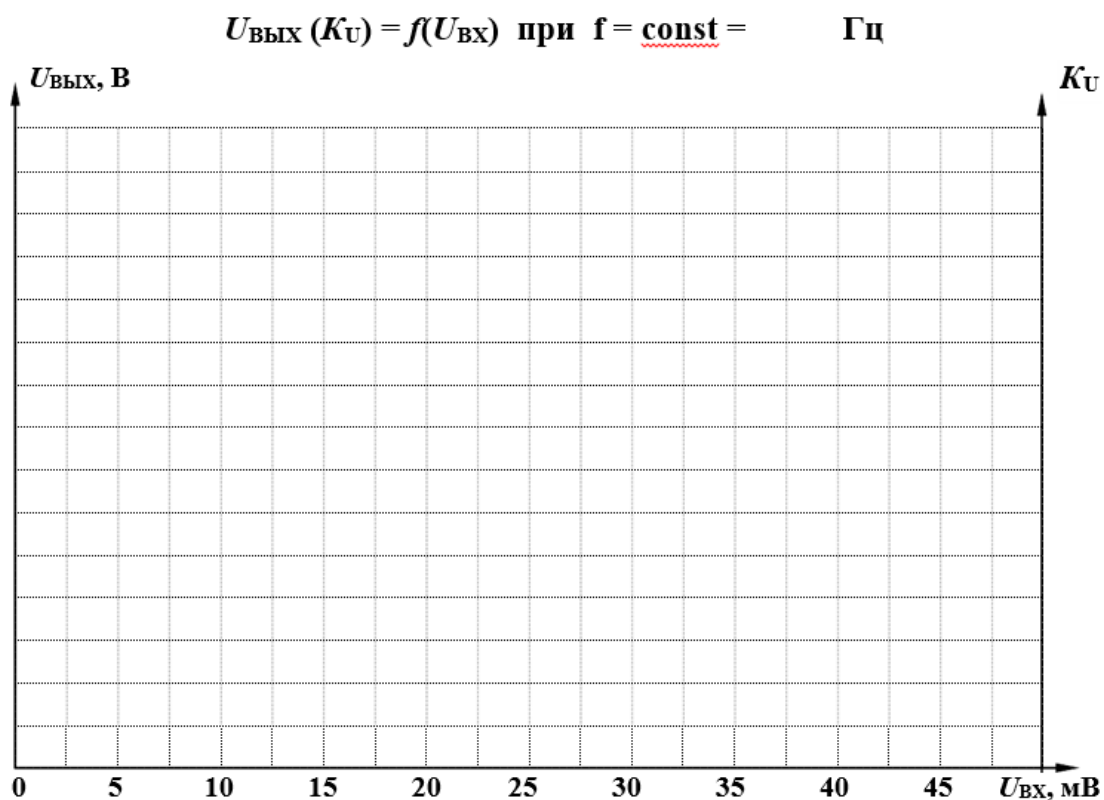
2. Включить питание лабораторной установки

3. Снять *амплитудную характеристику* усилителя $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ при $f_{ВХ} = \text{const}$ и определить *коэффициент усиления* первого каскада всего усилителя в целом *без обратных связей*, для чего:

- переключатели S1 и S3 установить в положение “2”;
- переключатель S2 установить в положение “2”;
- подать от генератора на вход первого каскада сигнал заданной частоты $f_{ВХ} = \text{const} = 400 \text{ Гц}$;
- изменяя величину входного напряжения в пределах от 0 до 50 мВ с шагом 5 мВ, измерять соответствующие величины выходного напряжения;
- результаты измерений свести в таблицу 1.

Таблица 1. Амплитудная характеристика усилителя $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ при $f_{ВХ} = \text{const} = 5 \text{ кГц}$

$U_{ВХ}$, мВ		1	2	3	4	5	8	10	20	30	40	50
без ООС	$U_{ВЫХ}$, В											
	K_U											
с ООС	$U_{ВЫХ}^{ООС}$, В											
	$K_U^{ООС}$											



4. Определить *частотные характеристики усилителя*, для чего:

а) выполнить подпункты “а”, “б” пункта 3;

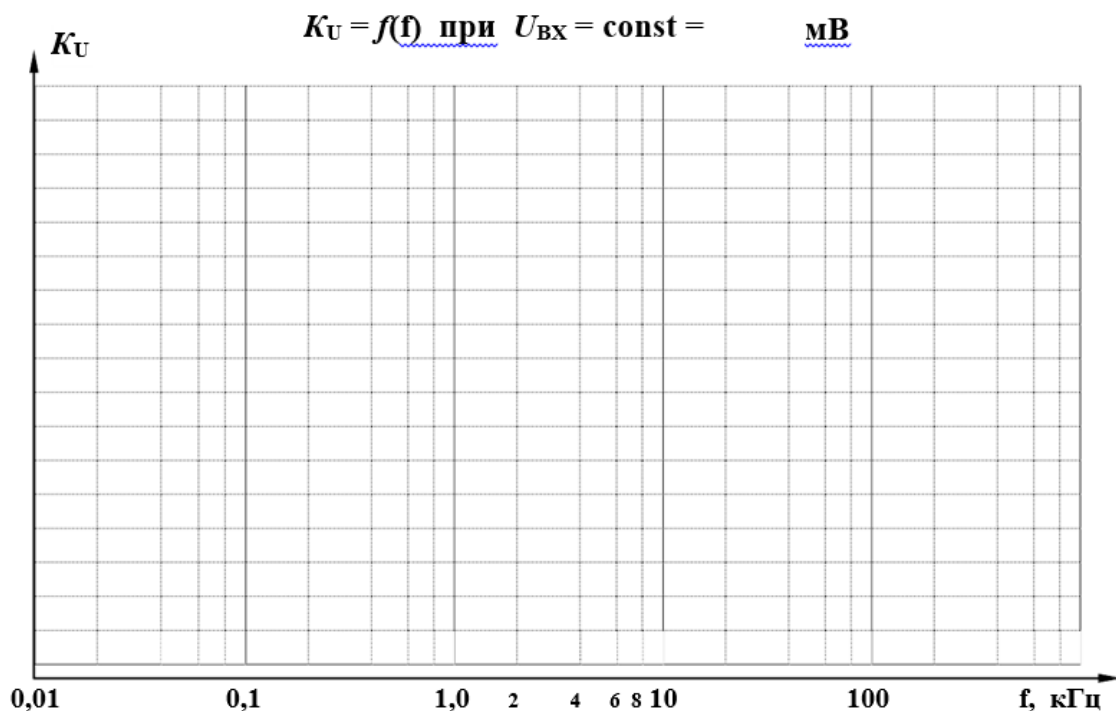
б) подать на вход усилителя напряжение постоянной величины

$U_{\text{ВХ}} = \text{const}$;

в) изменяя *частоту* входного сигнала, измерять величину выходного напряжения усилителя $U_{\text{ВЫХ}}$;

Таблица 2. $U_{\text{ВЫХ}} = f(f_{\text{ВХ}})$ при $U_{\text{ВХ}} = \text{const} = 0.05 \text{ В}$

Частота, Гц		10	40	80	100	400	800	1000	4000	8000	10000	40000	50000	80000
без ОС	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$													
	K_U													
с ООС	$U_{\text{ВЫХ}}^{\text{ООС}}, \text{ В}$													
	$K_U^{\text{ООС}}$													



1.2.2 Исследование усилителя с отрицательной обратной связью

1. Определить **коэффициенты усиления** усилителя при наличии отрицательной обратной связи, для чего:

- а) переключатели S1 и S3 установить в положение “1”;
- б) переключатель S2 установить в положение “1”;
- в) выполнить подпункты “в”, “г”, “д” пункта 1.3.

2. Определить **частотные характеристики** усилителя с отрицательной обратной связью, для чего:

- а) выполнить подпункты “а”, “б”, пункта 2.1;
- б) выполнить подпункты “б”, “в”, “г” пункта 1.4.

3. Исследовать **влияние емкости разделительных конденсаторов** на частотную характеристику с ООС, для чего:

- а) переключатели S1, S3 установить в положение “2”; б) переключатель S2 установить в положение “1”;
- б) выполнить подпункты “б”, “в”, “г” пункта 1.4.

4. По данным измерений табл. 4 построить графики *амплитудных характеристик* (зависимостей $U_{\text{ВЫХ}}$ и K_U от $U_{\text{ВХ}}$ при $f_{\text{ВХ}} = \text{const}$) в общей системе координат и определить динамические диапазоны без ООС и с ООС.

5. По данным измерений табл. 5 построить графики зависимостей коэффициента усиления от частоты входного сигнала $K_U = f(f_{\text{ВХ}})$ при $U_{\text{ВХ}} = \text{const} = 0.05 \text{ В}$ и определить частотные диапазоны без ООС и с ООС и влияние емкостей разделительных конденсаторов на частотный диапазон с ООС.

1.3 Содержание отчета

1. Схема экспериментальной установки.
2. Результаты измерений (таблицы 4 и 5).
Графики зависимостей: $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}^{\text{ООС}} = f(U_{\text{ВХ}})$
3. $K_U = U_{\text{ВЫХ}}, K_U^{\text{ООС}} = f(U_{\text{ВХ}}), K_U = f(f), K_U^{\text{ООС}} = f(f)$.
4. Краткие *выводы по всем этапам* выполненной работы.

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение разделительных и шунтирующих конденсаторов?
2. Назначений и работа делителя напряжения R_1 и R_2 ?
3. Назначение резисторов нагрузки R_k ?
4. Что называется смещением?
5. Из каких соображений выбираются ток делителя при создании напряжения смещения?
6. Почему напряжение на коллекторе с увеличением тока коллектора падает?
7. В каком фазовом соотношении находятся входной и выходной сигналы в схеме с ОЭ? Объяснить.
8. Как осуществляется смещение в рассматриваемой схеме усилителя?
9. Чему равен коэффициент усиления многокаскадного усилителя?
10. Что называется обратной связью?
11. Что называется обратной связью по току, по напряжению?
12. Какая обратная связь называется положительной, отрицательной?
13. Почему при отрицательной обратной связи уменьшается коэффициент усиления?
14. Как влияет отрицательная обратная связь на стабильность коэффициента усиления?
15. Объясните физический смысл изменения величины коэффициента усиления при введении отрицательной обратной связи.
16. Что такое коэффициент передачи цепи обратной связи?
17. Как влияет на величину отрицательной обратной связи значение резистора R_3 ?
18. Какая обратная связь называется единичной?
19. Почему усилители обычно являются многокаскадными?
20. Что такое местная и общая обратная связь?
21. Объяснить действие местной и общей обратной связи.

22. Почему при повышении температуры увеличиваются все токи транзистора?

23. Как происходит эмиттерная термостабилизация?

24. Что такое амплитудная характеристика усилителя?

25. Что такое амплитудно-частотная характеристика усилителя?

26. Чем объясняется нелинейность амплитудной характеристики?

27. Чем объясняется снижение коэффициента усиления на низких и высоких частотах?

28. Что называется граничными частотами?

29. Объясните появление нелинейных искажений в транзисторном усилителе, пользуясь характеристиками транзистора.

30. Какие искажения называются частотными?

31. Влияет ли на нелинейные искажения амплитуда входного сигнала?

33. Объяснить влияние отрицательной обратной связи на вид амплитудно-частотной характеристики.

34. Как уменьшить спад амплитудно-частотной характеристики усилителя в области низких частот?

35. Как уменьшить спад амплитудно-частотной характеристики усилителя в области высоких частот?

Литература

1. Быковский Ю.М. Учебная программа и методические указания к выполнению практических работ и изучению дисциплине ЭМСТ. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2006. – 103 с.
2. Быковский Ю.М. Компьютерный конструктор для исследования электронных элементов систем автоматики: руководство для пользователей. – Симферополь: Таврида, 1998. – 168 с.: ил.
3. Быковский Ю.М., Петров С.В. Сборник лабораторных работ по дисциплинам электронной схемотехники: учебно-методическое пособие. Ч.1. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – 100 с.: ил.
4. Сапожников Н.Е. Дискретная схемотехника: учебное пособие. Ч. 1. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2005. – 252 с.: ил.
5. Гершунский Б.С. Основы электроники и микроэлектроники. – Киев: Издат. Высшая школа, 1987. – 422 с.
6. Turuta E. Интегральные микросхемы – усилители мощности НЧ / Integrated Circuits – Power Audio Amplifier / E. Turuta, L. Danci. - М.: Virginia, 2018.

Учебное издание

Скидан Александр Антонович
Шахова Наталья Васильевна
Шадрина Владислава Антоновна

И С С Л Е Д О В А Н И Е
ДВУХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Изд. № 74/2025. Объем 1,5 п.л. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,47.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»