

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

**Е.С. Люминарская, А.В. Ситников, П.М. Дмитриев**

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ  
ТРАНЗИСТОРЕ**

*Учебно - методическое пособие*

**Москва  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2026**

УДК 621.3

ББК 31.2

Рецензент

Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе: учебно-методическое пособие (методические указания к выполнению лабораторной работы) по дисциплине «Промышленная электроника». Е.С. Люминарская, А.В. Ситников, П.М. Дмитриев. – М.: Изд. – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 –, 25 с.

В теоретической части учебно-методического пособия изложены основные сведения об усилителях, усилительном каскаде, собранном на базе биполярного транзистора, приведены характеристики каскада, описана специфика его работы. В практической части пособия дано задание на выполнение лабораторной работы, указаны порядок проведения и вопросы для самоконтроля.

Для студентов 2 курса МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по программе бакалавриата и изучающих дисциплину «Промышленная электроника» на кафедре «Электротехника и промышленная электроника»

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	4
1.1. Усилители.....	4
1.2. Отрицательная обратная связь.....	6
1.3. Усилительный каскад на биполярном транзисторе с общим эмиттером.....	8
2. ЗАДАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ .....	12
2.1. Порядок работы с цифровым запоминающим осциллографом серии UTD2025...13	
2.2. Исследование режима покоя усилительного каскада с общим эмиттером.....	15
2.2.1. Монтаж экспериментальной установки .....	16
2.3. Исследование частотной характеристики усилительного каскада с общим эмиттером .....	19
2.3.1. Монтаж экспериментальной установки .....	20
2.4. Исследование частотной характеристики усилительного каскада с общим эмиттером с ООС по частоте .....	22
2.4.1. Монтаж экспериментальной установки .....	22
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	23
ЛИТЕРАТУРА .....	25

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В курсе «Промышленная электроника» большое внимание уделяется обучению студентов практическим навыкам исследования электротехнических и электронных систем. Выпускники технических вузов должны иметь не только теоретические знания, но и уметь решать задачи синтеза электронных схем. Для чего им необходимо научиться работать с электронной элементной базой. Комплекс лабораторных работ данного курса предназначен для решения этих задач. Одной из таких базовых работ является лабораторная работа «Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе». Целью выполнения лабораторной работы является закрепление на практике основных положений дисциплины «Промышленная электроника», приобретение студентами навыков самостоятельного исследования характеристик усилительных каскадов, а также обучение работе с измерительными приборами.

# 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. Усилители.

Усилитель – это электронное устройство, предназначенное для усиления напряжения, тока или мощности входных электрических сигналов за счет энергии источника питания. Форма усиливаемого сигнала на входе усилителя совпадает с формой сигнала на нагрузке. Блок-схема усилителя изображена на рис. 1.1.

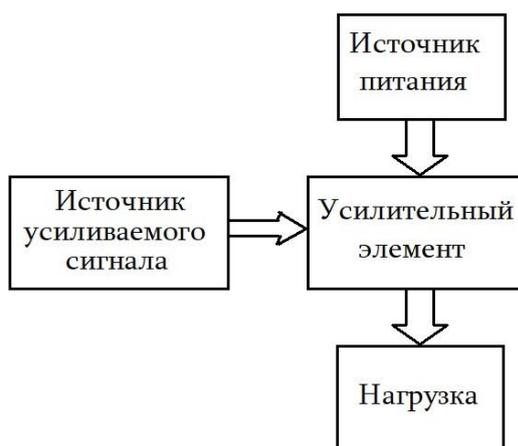


Рис. 1.1. Блок-схема усилителя

Усилители можно классифицировать по следующим признакам:

а) частоте усиливаемого сигнала:

- усилители постоянного тока (УПТ) – усиливают входные сигналы нижняя граничная частота которых равна нулю;
- усилители низкой частоты (УНЧ) – усиливают входные сигналы рабочая частота  $f_{\text{раб}}$  которых находится в диапазоне от десятков герц до сотен килогерц;
- усилители высокой частоты (УВЧ) – усиливают входные сигналы рабочая частота  $f_{\text{раб}}$  которых находится в диапазоне от сотен килогерц до сотен мегагерц и выше;
- широкополосные усилители – усиливают входные сигналы рабочая частота  $f_{\text{раб}}$  которых находится в диапазоне от десятков герц до сотен мегагерц;
- избирательные усилители – усиливают входные сигналы в узкой полосе частот;

б) по виду усиливаемого сигнала:

- усилители постоянного тока (УПТ);
- усилители переменного тока;

в) по функциональному назначению:

- усилители напряжения;

- усилители тока;
- усилители мощности.

Также можно классифицировать усилители по характеру входного сигнала (усилители непрерывных сигналов и усилители импульсных сигналов), по типу используемых усилительных элементов (усилители на транзисторах, тиристорах, диодах, интегральных микросхемах и т.д.), по количеству каскадов усиления (однокаскадные и многокаскадные усилители) и т.д.

Основным качественным параметром усилителя является коэффициент усиления. В зависимости от функционального назначения усилителя, это могут быть коэффициенты усиления по напряжению  $K_U$ , по току  $K_I$ , по мощности  $K_P$ :

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}; K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}; K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} I_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} I_{\text{ВХ}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ВХ}}, I_{\text{ВХ}}$  – действующие (амплитудные) значения напряжения и тока на входе;  $U_{\text{ВЫХ}}, I_{\text{ВЫХ}}$  – амплитудные (действующие) значения напряжения и тока на выходе;  $P_{\text{ВХ}}, P_{\text{ВЫХ}}$  – мощности сигналов на входе и на выходе соответственно.

Важно отметить, что в общем случае коэффициенты усиления по напряжению и току являются комплексными величинами. Это связано с тем, что выходной сигнал отличается от входного по фазе, и коэффициент усиления характеризуется не только изменением амплитуды выходного сигнала, но и его задержкой во времени – изменением фазы. Однако на практике коэффициенты усиления обычно определяют для области средних частот, в которой между входными и выходными напряжениями и токами фазовые сдвиги отсутствуют, и коэффициенты усиления являются действительными величинами, что значительно упрощает расчет.

В отдельных случаях коэффициенты усиления выражают в логарифмических единицах – децибелах:

$$K_U[\text{Дб}] = 20 \lg K_U; K_I[\text{Дб}] = 20 \lg K_I; K_P[\text{Дб}] = 20 \lg K_P \quad (2)$$

Усилитель может состоять из одного или нескольких каскадов. Для многокаскадных усилителей коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления каждого каскада. Если коэффициенты усиления выражены в децибелах, то коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен сумме коэффициентов усиления каскадов.

Энергетические характеристики усилителя можно оценить по коэффициенту полезного действия:

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ИСТ}}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{ИСТ}}$  – мощность, потребляемая усилителем от источника питания;

$P_{\text{ВЫХ}}$  – мощность на нагрузке.

Важными параметрами усилителя являются его входное и выходное сопротивления. Усилитель можно рассматривать как активный четырехполюсник, к входным зажимам которого подключается источник усиливаемого сигнала  $e_r$ , а к выходным – сопротивление нагрузки  $R_n$ , рис.1.2.

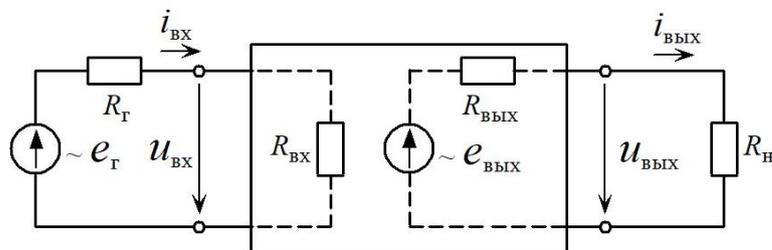


Рис. 1.2. Входные и выходные цепи усилителя.

Источник входного сигнала показан в виде генератора напряжения  $e_r$  с внутренним сопротивлением  $R_r$ . Со стороны выхода усилитель представлен в виде генератора напряжения с ЭДС  $e_{\text{вых}}$  и внутренним сопротивлением  $R_{\text{вых}}$ . Усилитель одновременно является нагрузкой для источника сигнала и источником сигнала для внешней нагрузки  $R_n$ , причем нагрузкой усилителя может быть не только потребитель, но и вход следующего каскада усилителя. Тем самым входное и выходное сопротивления усилителя – это параметры, которые характеризуют работу устройства как нагрузки для источника и как источника для нагрузки. Входное сопротивление усилителя представляет собой сопротивление между входными зажимами усилителя. Выходное сопротивление  $R_{\text{вых}}$  определяют между выходными зажимами усилителя при отключенном сопротивлении нагрузки. В общем случае входное и выходное сопротивления являются комплексными величинами и зависят от частоты. Однако в рабочей полосе частот комплексностью пренебрегают, полагая чисто активный характер данных сопротивлений.

Для исключения влияния усилителя на параметры работы предыдущего каскада  $R_{\text{вх}}$  делают как можно большим, а для исключения влияния нагрузки (последующего каскада) на работу усилителя сопротивление  $R_{\text{вых}}$  делают как можно меньшим.

## 1.2. Отрицательная обратная связь.

Параметры любого полупроводникового элемента сильно зависят от условий его эксплуатации и характеристик входного воздействия. Особенно существенное влияние оказывают температура полупроводника и частота входного сигнала. Причем стабилизировать температуру электронного элемента практически невозможно, т.к. она

зависит от токов, протекающих через него. С целью компенсации искажений выходного сигнала при изменении условий эксплуатации в схему вводят цепи обратной связи (ОС).

Обратная связь (ОС) – это подача выходного сигнала на вход устройства для его дальнейшего контроля. Цепь, обеспечивающую данную передачу, называют цепью обратной связи. Если при подаче ОС сигнал обратной связи складывается с входным сигналом в результате чего на вход усилителя подается увеличенный сигнал, то такая обратная связь называется положительной – ПОС. Если при подаче ОС сигнал обратной связи вычитается из входного сигнала в результате чего на вход усилителя подается уменьшенный сигнал, то такая обратная связь называется отрицательной – ООС. На практике ООС организуется путем подачи на вход системы сигнала, пропорционального выходному, но с обратным знаком.

ООС может быть последовательной или параллельной, полной (коэффициент обратной связи  $K_{oc} = 1$ ) или неполной ( $K_{oc} < 1$ ). Рассмотрим работу усилителя с последовательной отрицательной обратной связью (рис. 1.3).

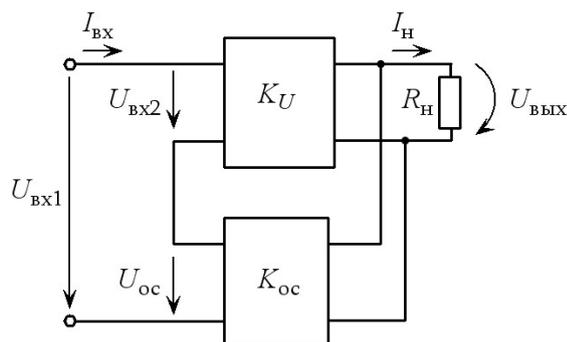


Рис. 1.3. Схема усилителя с последовательной обратной связью

На рис. 1.3 изображены: усилитель с коэффициентом усиления по напряжению  $K_U$ , элемент обратной связи с коэффициентом  $K_{oc}$  и нагрузка  $R_H$ . Коэффициент  $K_U$  равен отношению выходного сигнала к входному:  $K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ2}}}$  или  $U_{\text{ВЫХ}} = K_U U_{\text{ВХ2}}$ . Для элемента обратной связи входным напряжением является  $U_{\text{ВЫХ}}$  (рис. 1.3), а выходным – напряжение  $U_{oc}$ . Следовательно,  $K_{oc} = \frac{U_{oc}}{U_{\text{ВЫХ}}}$  или  $U_{oc} = K_{oc} U_{\text{ВЫХ}}$ , причем  $U_{\text{ВХ1}} = U_{\text{ВХ2}} + U_{oc}$ . Тогда коэффициент усиления всей системы определяется по следующим формулам:

$$K_{uc} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ1}}} = \frac{K_U U_{\text{ВХ2}}}{U_{\text{ВХ2}} + U_{oc}} = \frac{K_U U_{\text{ВХ2}}}{U_{\text{ВХ2}} + K_{oc} U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{K_U U_{\text{ВХ2}}}{U_{\text{ВХ2}} + K_{oc} K_U U_{\text{ВХ2}}} = \frac{K_U}{1 + K_{oc} K_U} \quad (4)$$

Знаменатель формулы (4)  $(1 + K_{oc} K_U)$  называют глубиной обратной связи.

Усилители создаются с условием получения как можно большего коэффициента усиления, поэтому  $K_{oc}K_U \gg 1$  практически всегда, и коэффициент усиления системы в случае глубокой обратной связи будет определяться по формуле:

$$K_{yc} = \frac{1}{K_{oc}} \quad (5)$$

Формула (5) означает, что суммарный коэффициент усиления не зависит от параметров прямого усилительного каскада, а зависит только от параметров обратной связи. Следовательно, подбирая в цепь обратной связи элементы, характеристики которых не зависят от температуры, можно добиться стабильной работы всей системы даже при температурном дрейфе параметров полупроводниковых усилительных элементов.

В усилителях ООС применяется для стабилизации параметров каскада при изменении температуры и для компенсации снижения коэффициента усиления при повышении частоты входного сигнала.

### 1.3. Усилительный каскад на биполярном транзисторе с общим эмиттером.

Рассмотрим работу усилительного каскада, изображенного на рис. 1.4. Усилительным элементом каскада является биполярный транзистор  $VT$   $n-p-n$ -типа, включенный по схеме «общий эмиттер». Питание транзистора  $VT$  осуществляется от источника постоянного напряжения  $U_{\Pi}$  вольтажа 10-15 В.

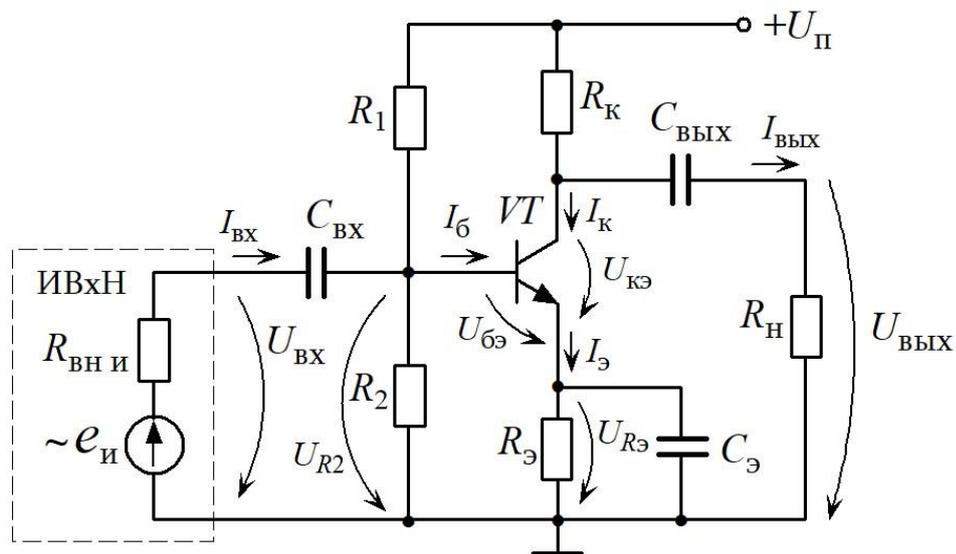


Рис. 1.4. Усилительный каскад на биполярном транзисторе

Резистор  $R_к$  необходим для ограничения тока, протекающего через коллектор, что предотвращает выход из строя транзистора  $VT$  если он будет полностью открыт, и его сопротивление на переходе эмиттер-коллектор будет близким к нулю. Сопротивление  $R_к$

выбирают таким, чтобы максимальный ток коллектора не превышал допустимого значения для используемого транзистора. Кроме того, сопротивление  $R_K$  обеспечивает динамический режим работы транзистора – при отсутствии  $R_K$  выходное напряжение не будет изменяться при изменении входного напряжения и тока.

Резистивный делитель  $R_1, R_2$  включают в цепь для того, чтобы установить параметры рабочей точки и сместить ее на линейный участок входной характеристики (рис. 1.5). Это необходимо для снижения нелинейных искажений при усилении переменного сигнала.

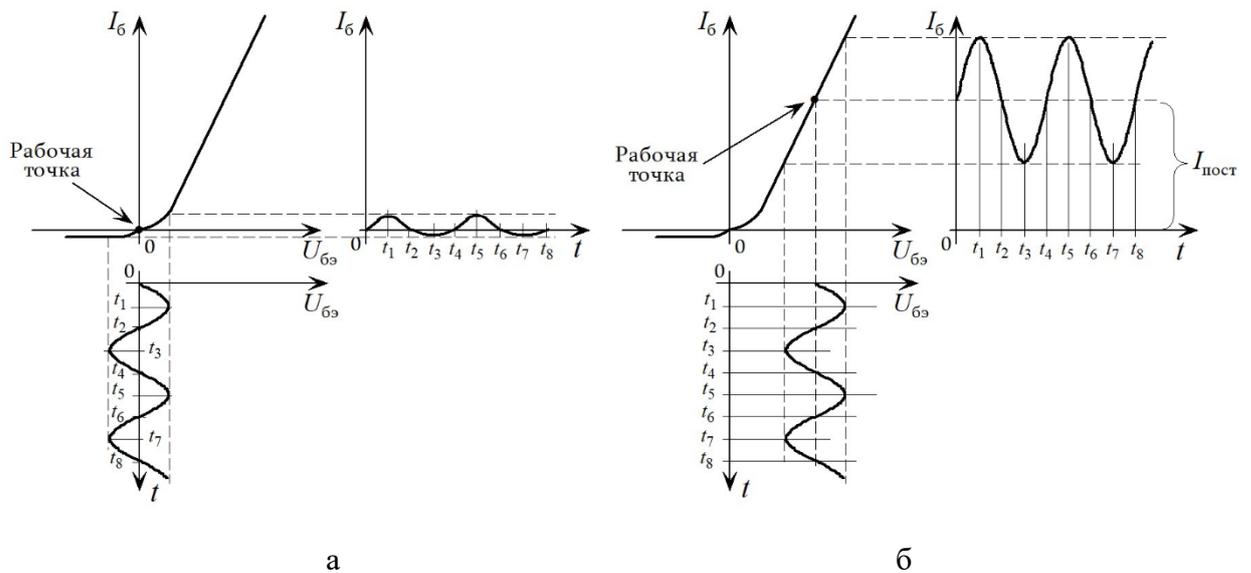


Рис. 1.5. Нелинейные искажения входного сигнала: а – рабочая точка находится на нелинейном участке ВАХ; б - рабочая точка находится на линейном участке ВАХ

На рис. 1.5, а изображена входная характеристика биполярного транзистора. На вход транзистора подается напряжение ( $U_{бэ}$ ) синусоидальной формы. Рабочая точка находится в положении «0» на вольт-амперной характеристике. Т.к. входная характеристика имеет существенно нелинейный характер, то форма выходного сигнала ( $I_6(t)$ ) уже будет иметь не гармонический вид. Несинусоидальный периодический сигнал  $I_6(t)$  можно представить с помощью разложения в ряд Фурье, как сумму синусоидальных гармоник различных частот и амплитуд. Отклонение выходного сигнала от синусоидальной формы и есть – нелинейные искажения.

Если сместить рабочую точку на линейный участок вольт-амперной характеристики (рис. 1.5, б), то форма синусоидального сигнала не изменится.

Конденсаторы  $C_{вх}$  и  $C_{вых}$ , являются разделительными. Введение конденсатора  $C_{вх}$  позволяет исключить протекание постоянного тока через источник переменного входного

напряжения (ИВХН). Включение в состав усилителя делителя напряжения  $R_1, R_2$  приводит к тому, что на выход малоомощного источника переменного напряжения (ИВХН) подается постоянное напряжение от мощного источника  $U_{п}$ . Это недопустимо, т.к. может вывести источник ИВХН из строя. Для исключения подобной ситуации на вход усилительного каскада ставится конденсатор  $C_{вх}$ , реактивное сопротивление которого по постоянному току очень велико, а переменному (формируемому ИВХН) – мало.

Для снижения нелинейных искажений рабочая точка транзистора смещается по ВАХ на линейный участок (рис. 1.4, б). Следовательно, на выходе усилительного каскада формируется напряжение, которое помимо переменной (полезной) составляющей содержит и постоянную. Для исключения появления постоянной составляющей на нагрузке  $R_{н}$  в выходную цепь каскада вводится конденсатор  $C_{вых}$ .

В схеме усилительного каскада, изображенного на рис. 1.4., цепей, формирующих отрицательную обратную связь, две: ООС для стабилизации работы при изменении температуры и ООС для компенсации снижения коэффициента усиления каскада на высоких частотах.

В качестве ООС по температуре в усилительном каскаде используется резистор в эмиттерной цепи транзистора –  $R_3$ . Увеличение температуры приводит к увеличению коллекторного тока  $I_{к}$  и выходу транзистора из усилительного режима работы. Для биполярного транзистора справедливо соотношение  $I_3 \approx I_{к}$ . Напряжения  $U_{бэ}$  и  $U_{R2}$  от температуры практически не зависят, по второму закону Кирхгофа  $U_{R3} = U_{R2} - U_{бэ}$ , следовательно от температуры не будет зависеть и напряжение  $U_{R3}$ . Учитывая, что  $I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3}$ , можно сделать вывод, что ток коллектора ( $I_{к} \approx I_3$ ) тоже не будет меняться при изменении температуры. Отрицательная обратная связь замкнулась.

Вторая цепь отрицательной обратной связи ООС – по частоте. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя представляет собой зависимость модуля коэффициента усиления  $K_U$  от частоты входного сигнала при неизменном амплитудном значении  $U_{вх}$ . Типичная АЧХ усилителя с общим эмиттером и разделительными конденсаторами  $C_{вх}$  и  $C_{вых}$  изображена на рис. 1.6.

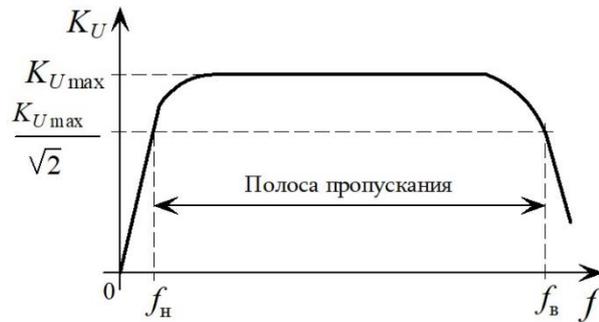


Рис. 1.6. Амплитудно-частотная характеристика усилителя.

Диапазон частот, в пределах которого усилитель обеспечивает заданное значение коэффициента усиления, называют полосой пропускания. Различают нижнюю  $f_H$  и верхнюю  $f_B$  граничные частоты полосы пропускания, на которых коэффициент усиления падает в  $\sqrt{2}$  раз (рис. 1.6.)

Нелинейность АЧХ обусловлена наличием в схеме усилителя элементов, параметры которых зависят от частоты. В диапазоне средних частот коэффициент усиления  $K_U$  практически неизменен ( $K_U = K_{Umax}$ ). По мере снижения частоты начинает сказываться увеличение комплексного емкостного сопротивления конденсаторов  $C_{вх}$  и  $C_{вых}$  ( $X_{C_{вх}} = \frac{1}{2\pi f C_{вх}}$ ;  $X_{C_{вых}} = \frac{1}{2\pi f C_{вых}}$ ).

На низких частотах комплексные сопротивления конденсатора  $C_{вх}$  и  $C_{вых}$  велики, что приводит к снижению амплитуды переменной составляющей и на базе транзистора, и на выходе усилительного каскада, т.е. к снижению коэффициента усиления.

На высоких частотах падение коэффициента усиления транзистора обусловлено влиянием межэлектродных емкостей  $p-n$  переходов транзистора  $VT$ .

Для организации ООС по частоте, т.е. для увеличения коллекторного (эмиттерного) тока на высоких частотах, параллельно резистору эмиттерной цепи  $R_э$  ставится конденсатор  $C_э$ . Модуль комплексного сопротивления конденсатора обратно пропорционален частоте, следовательно, при увеличении частоты общее сопротивление пары  $R_э$  и  $C_э$  падает, что приводит к увеличению тока эмиттера. Цепь обратной связи по частоте замкнулась.

Основными характеристиками каскада являются амплитудная, амплитудно-частотная (АЧХ) и передаточная. Амплитудная характеристика определяет зависимость амплитуды (действующего значения) выходного напряжения от амплитуды (действующего значения) входного напряжения при постоянной частоте входного сигнала. По этой характеристике судят о возможных пределах изменения входного и выходного сигналов

усилителя. Типичный вид амплитудной характеристики неинвертирующего усилителя показан на рис. 1.7.

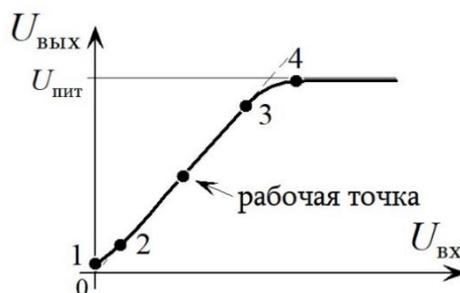


Рис. 1.7. Амплитудная характеристика усилителя

Амплитудная характеристика имеет линейный характер на отрезке 2-3 рис. 1.7. Именно в пределах этого участка должна находиться рабочая точка усилителя. Если, входное синусоидальное напряжение выйдет за пределы участка 2-3, то вид синусоидального сигнала изменится так, как показано на рис 1.8, б. Поэтому положение рабочей точки (постоянное напряжение покоя на базе транзистора) выбирается примерно равным половине напряжения питания каскада.

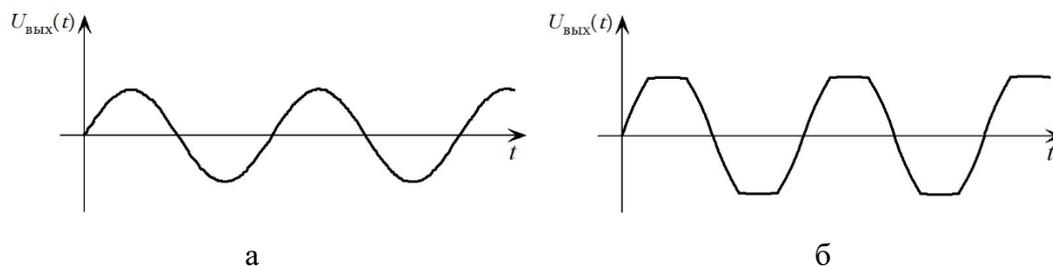


Рис. 1.8. Искажения выходного сигнала при выходе рабочего диапазона с линейного участка амплитудной характеристики: а – рабочая точка на линейном участке амплитудной характеристики; б – рабочая точка вне линейного участка амплитудной характеристики.

Если выходной сигнал усилителя снимается с коллектора (рис. 1.4), то при увеличении входного напряжения ( $U_{ВХ}$ ), напряжение между коллектором и эмиттером ( $U_{КЭ}$ ) будет снижаться, что приводит к снижению выходного напряжения ( $U_{ВЫХ}$ ). Следовательно, коэффициент усиления такого каскада будет отрицательным. Это означает, что фаза выходного сигнала будет сдвинута относительно фазы входного на 180 градусов. Такие усилительные каскады называют инвертирующими. Передаточная характеристика инвертирующего усилителя изображена на рис. 1.8.

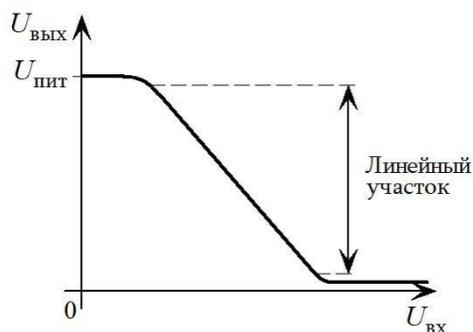


Рис. 1.8. Передаточная характеристика инвертирующего усилителя

Рабочая точка усилительного каскада должна находиться на линейном участке передаточной характеристики.

## 2. ЗАДАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 2.1. Порядок работы с цифровым запоминающим осциллографом серии UTD2025

Внешний вид передней панели осциллографа изображен на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Внешний вид передней панели осциллографа

Управление осциллографом объединяет следующие группы (рис. 2.1):

- а) группа функциональных клавиш (F1-F5). Эти клавиши управляют соответствующими строками меню на экране осциллографа (правый столбец на экране);

б) группа кнопок функционального меню. Группа содержит следующие кнопки:

- MEASURE (Измерение);
- CURSOR (Курсорные измерения);
- ACQUIRE (Настройка метода выборки);
- DISPLAY (Настройка дисплея);
- STORAGE (Сохранение и выход);
- UTILITY (Вызов меню настроек альтернативных системных функций);
- RUN/STOP (Запуск/Остановка);
- AUTO (Измерения в автоматическом режиме настроек).

в) группа VERTICAL – управление вертикальной разверткой. Группа содержит:

- регулятор POSITION (изменение вертикального положения изображения сигнала);
- регулятор SCALE (Изменение масштаба изображения сигнала по вертикали);
- MATH (Математическая обработка сигнала).

г) группа HORIZONTAL – управление горизонтальной разверткой. Группа содержит:

- регулятор POSITION (изменение горизонтального положения изображения сигнала);
- регулятор SCALE (Изменение масштаба изображения сигнала по горизонтали);
- HORIZONTAL MENU (Меню управления горизонтальной разверткой).

Управление вертикальной и горизонтальной развертками осуществляется для одного из каналов. Выбор активного канала осуществляется кнопками CH1 и CH2. Индикация активности канала осуществляется подсвечиванием соответствующих кнопок CH1 и/или CH2. Если активированы оба канала, то управление осуществляется по каналу CH1.

д) группа TRIGGER (Запуск). Используется для управления синхронизации запуска отображения сигнала на экране.

Между группами HORIZONTAL и TRIGGER располагается кнопка SET TO ZERO (сброс в ноль), при нажатии которой входной сигнал отключается от входа CH1 или CH2 и обнуляется;

е) группа входных разъемов. В группе имеется два разъема для подключения щупов каналов CH1, CH2 и разъем EXT TRIG для подключения сигнала внешней синхронизации.

Последовательность работы с осциллографом:

1. Подсоедините пассивные измерительные шнуры к входам CH1 и CH2.
2. Включите питание осциллографа. На экране осциллографа появятся две горизонтальные прямые (синяя соответствует каналу CH1, желтая – каналу CH2).
3. Проконтролируйте, чтобы на передней панели осциллографа были подсвечены

кнопки активизации каналов CH1 и CH2. Если один или оба канала не активизированы, нажмите соответствующие кнопки CH1 и/или CH2.

3. Подсоедините измерительные шнуры к контрольным точкам схемы. На экране осциллографа появятся два изображения измеряемых напряжений (синее соответствует каналу CH1, желтое – каналу CH2).

4. Нажмите кнопку AUTO для автоматического форматирования изображений. Если формат изображения не отвечает вашим требованиям, измените масштаб изображений. Смещение изображения по вертикали осуществляется регулятором VERTICAL POSITION, по горизонтали – регулятором HORIZONTAL POSITION. Изменение масштаба изображения по вертикали осуществляется регулятором SCALE (VOLT/DIV), по горизонтали – регулятором SCALE (SEC/DIV). Масштаб изображения отображается в нижней строке на экране осциллографа (в информационной строке дисплея).

Коэффициент отклонения по вертикали VOLTS/DIV (вольт/деление) можно регулировать в режиме грубой настройки или в режиме точной настройки. В режиме грубой настройки COARSE TUNE, значение VOLTS/DIV изменяется в пределах 2 мВ/дел – 10 В/дел. Регулировка происходит по шагам 1-2-5. В режиме точной настройки FINE TUNE коэффициент отклонения меняется меньшими шагами в пределах текущего диапазона.

Если изображение не стационарное («бежит» по экрану), то следует его с помощью регулятора TRIGGER LEVEL (Уровень запуска).

**ВНИМАНИЕ!** Масштабы изображений по вертикали регулируются для каналов CH1 и CH2 отдельно. Для регулировки канала CH1 следует отключить канал CH2 кнопкой активизации канала CH2. Для регулировки канала CH2 следует отключить канал CH1 кнопкой активизации канала CH1.

**ВНИМАНИЕ!** При проведении измерений необходимо учитывать, в каком режиме «Развязки» работает осциллограф. Переключение режимов развязки производится нажатием функциональной клавиши F1 при активизации меню измерений. Если входной сигнал содержит и переменную и постоянную составляющие, то в режиме AC (Переменная) на экране будет отображаться только переменная составляющая. В режиме DC (Постоянная) – и постоянная и переменная составляющие. В режиме «Земля» соответствующий вход осциллографа отключается (автоматически) и на экране отображается сигнал, напряжение которого равно нулю.

5. Проведите измерения. Измерения можно проводить как по изображению сигнала с учетом масштабов по вертикали и горизонтали, так и с использованием цифровых показателей, которые высвечиваются в правой колонке меню на экране. Для активизации

цифровых измерений следует нажать кнопку MEASURE (Измерение) и активизировать нужную строку колонки на экране с помощью функциональных клавиш F1-F5.

## 2.2. Исследование режима покоя усилительного каскада с общим эмиттером.

Электрическая схема усилителя в режиме покоя (постоянного тока) приведена на рис. 2.2.

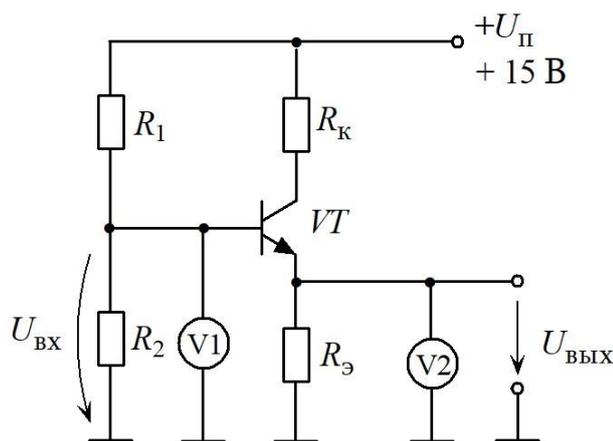


Рис. 2.2. Схема усилителя с общим эмиттером (электрическая схема) в режиме покоя

Номинальные значения резисторов, приведены в таблице 1.

Таблица 1

$R_1$	$R_к$	$R_э$	$R_2$
10 кОм	4.7 кОм	220 Ом	100 Ом

### 2.2.1. Монтаж экспериментальной установки

Поместите миниблоки на наборное поле так, как показано на рис.2.3. Размещение миниблоков можно изменить, но при этом необходимо учитывать линии соединений гнезд разъемов на рабочем поле стенда.

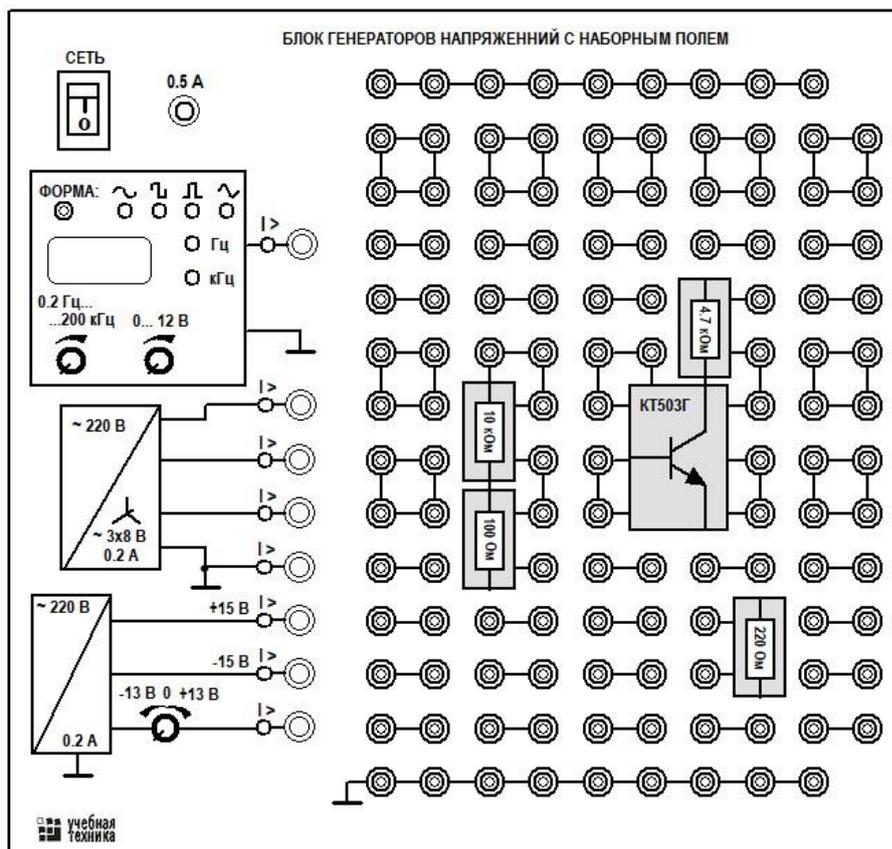


Рис. 2.3. Монтажная схема установки миниблоков

Соберите схему включения транзистора с общим эмиттером. Включите в схему измерительные приборы так, как показано на рис. 2.4.

**ВНИМАНИЕ!** Монтаж схемы проводится при выключенном тумблере «СЕТЬ» на блоке генераторов.

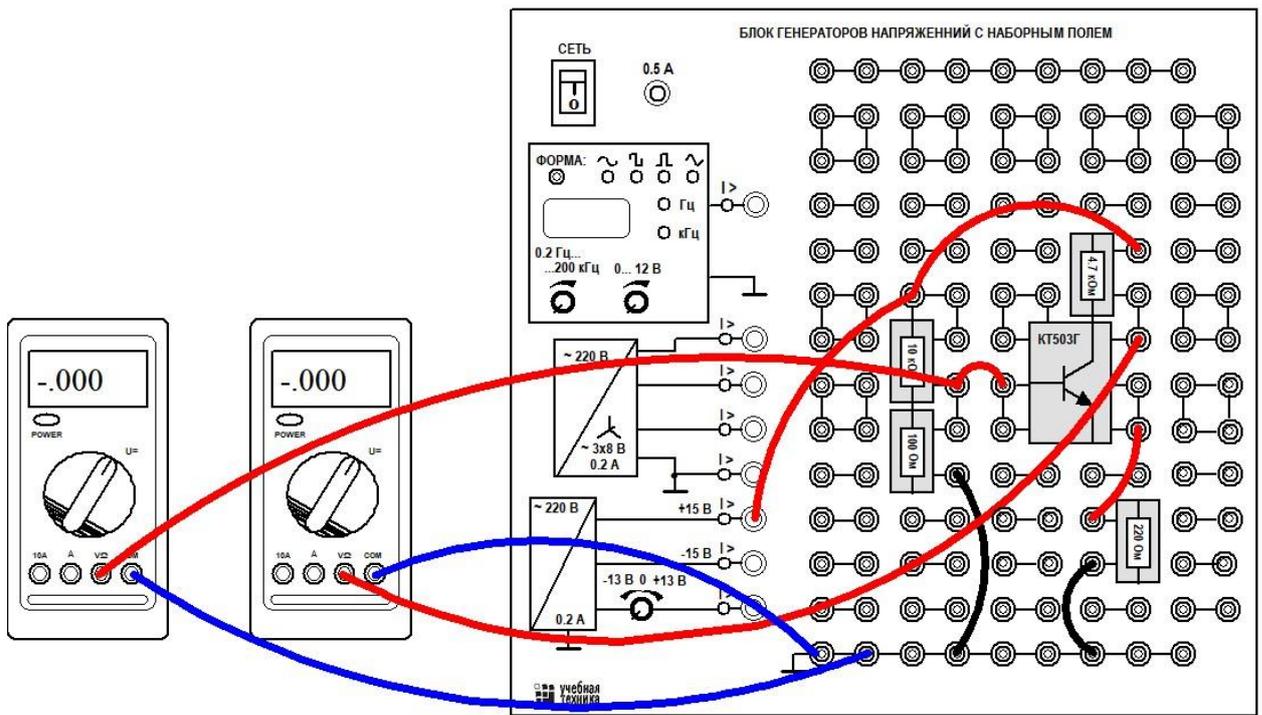


Рис. 2.4. Монтажная схема экспериментальной установки

**ВНИМАНИЕ!** Перед подключением измерительных приборов (мультиметров) убедитесь, что переключатель режимов мультиметров установлен в положение, соответствующее измерению постоянного напряжения «U=».

Проведите измерения  $U_{вх}$  (вольтметр V1 рис. 2.2) и  $U_{вых}$  (вольтметр V2 рис. 2.2) при различных значениях сопротивления резистора  $R_2$ .

Резистор  $R_2$  подбирайте из набора миниблоков, изменяя сопротивление  $R_2$  от 47 Ом до 10 кОм. Результаты измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2

$R_2$	100 Ом						10 кОм
$U_{вх}$							
$U_{вых}$							

По результатам измерений постройте передаточную характеристику усилителя  $U_{вых} = f(U_{вх})$ . По передаточной характеристике (таблица 2) определите сопротивление резистора  $R_2$  таким образом, чтобы напряжение на базе транзистора было равно примерно  $U_{вх} = 0.1U_{п}$ . Зафиксируйте значение  $R_2 = R_{2\text{ раб}}$  в отчете.

### 2.3. Исследование частотной характеристики усилительного каскада с общим эмиттером.

Электрическая схема усилительного каскада приведена на рис. 2.5. Точки (1) и (2) на схеме – места подключения щупов осциллографа каналов CH1 и CH2 соответственно. Канал CH1 – отображение входного напряжения, канал CH2 – выходного.

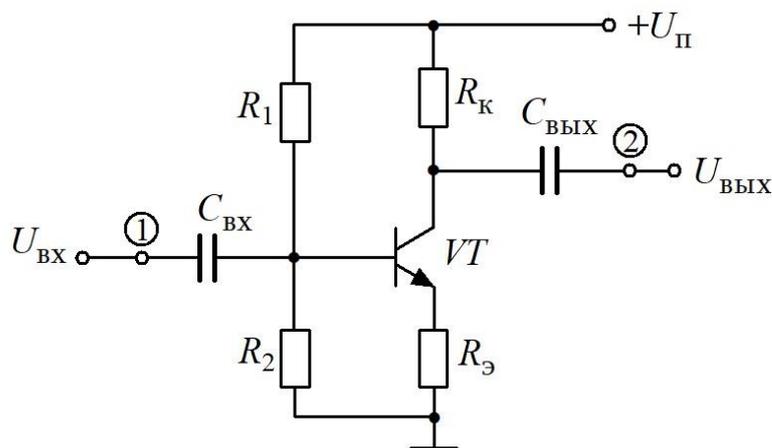


Рис. 2.5. Усилительный каскад

Номинальные значения сопротивления резисторов, приведены в таблице 3.

Таблица 3

$R_1$	$R_k$	$R_э$	$R_2$ раб	$C_{вх}$	$C_{вых}$
10 кОм	4.7 кОм	220 Ом		4.7 мкФ	4.7 мкФ

Номинал резистора  $R_2$  соответствует значению  $R_2 = R_2$  раб, определенному в п. 2.2.1.

#### 2.3.1. Монтаж экспериментальной установки

Поместите миниблоки на наборное поле так, как показано на рис.2.6. Размещение миниблоков можно изменить, но при этом необходимо учитывать линии соединений гнезд разъемов на рабочем поле стенда.

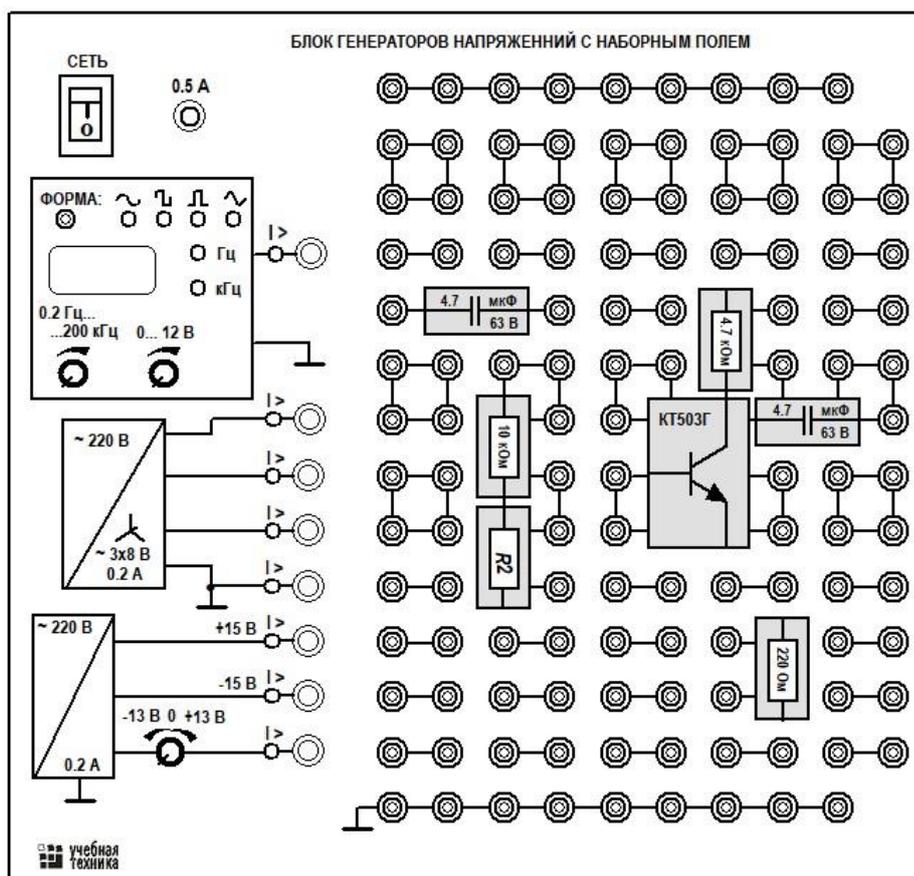


Рис. 2.6. Монтажная схема установки миниблоков

Соберите схему усилительного каскада. Подключите к схеме измерительные щупы осциллографа (рис. 2.7).

**ВНИМАНИЕ!** Монтаж схемы проводится при выключенном тумблере «СЕТЬ» на блоке генераторов.

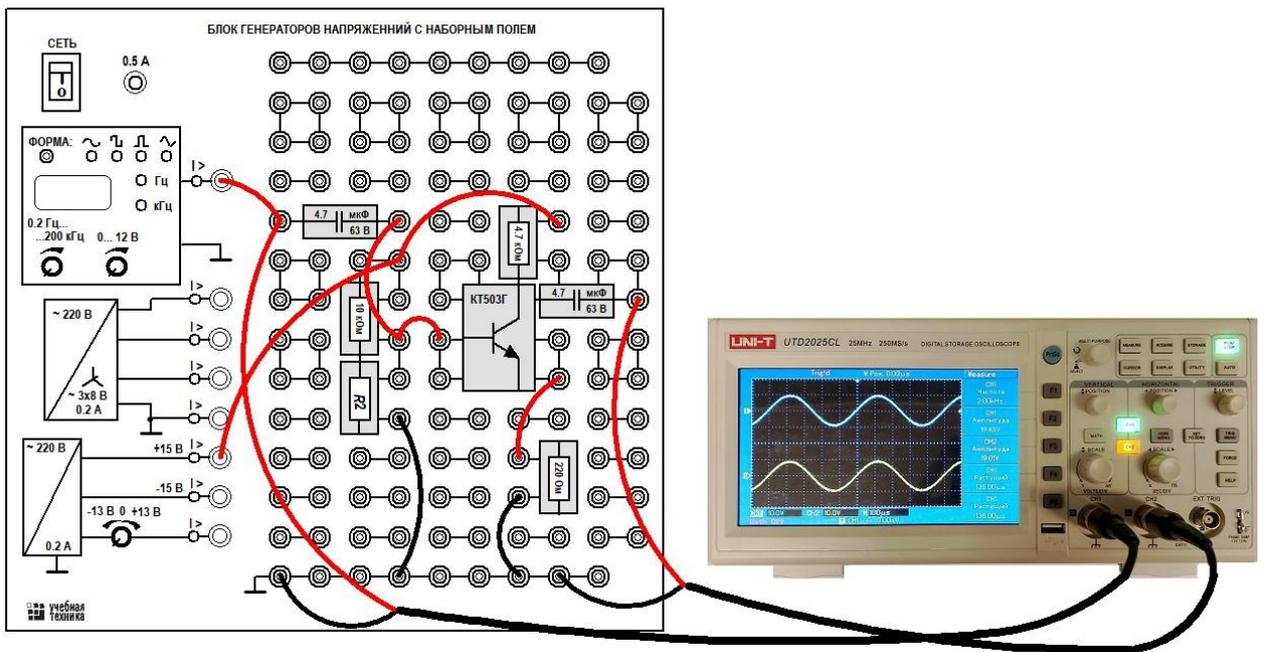


Рис. 2.7. Монтажная схема экспериментальной установки

Установите частоту входного напряжения  $f_{\text{вх}} = 1 \text{ кГц}$ .

Установите амплитуду входного сигнала на уровне, при котором на выходе усилительного каскада график напряжения имеет вид синусоиды (без нелинейных искажений).

Уменьшая частоту входного сигнала, контролируйте амплитуду выходного напряжения. Зафиксируйте частоту, при которой амплитуда  $U_{\text{вых}}$  будет заметно снижаться ( $f_{\text{н}}$ ).

Повышая частоту входного сигнала, контролируйте амплитуду выходного напряжения. Зафиксируйте частоту, при которой амплитуда  $U_{\text{вых}}$  будет заметно снижаться ( $f_{\text{в}}$ ).

Проведите измерения  $U_{\text{вых}}$  (канал CH2 осциллографа), изменяя частоту входного напряжения в диапазоне от  $f_{\text{вх}} = f_{\text{н}} - \Delta f$  ( $\Delta f$  – граничная частота, при которой форма синусоидального сигнала не искажается) до  $f_{\text{вх}} = f_{\text{в}} + \Delta f$  ( $\Delta f$  – граничная частота, при которой форма синусоидального сигнала не искажается). Результаты измерения занесите в таблицу 4.

Таблица 4

$f_{\text{вх}}$							
$U_{\text{вых}}$							

Установите частоту входного напряжения  $f_{u_{вх}} = 1$  кГц. Зарисуйте осциллограмму в отчет.

По результатам измерений постройте амплитудно-частотную характеристику усилителя  $U_{вых} = f(f_{u_{вх}})$ .

Определите полосу пропускания усилительного каскада.

#### 2.4. Исследование частотной характеристики усилительного каскада с общим эмиттером с ООС по частоте.

Электрическая схема усилительного каскада с ООС по частоте приведена на рис. 2.8. Точки (1) и (2) на схеме – места подключения щупов осциллографа каналов СН1 и СН2 соответственно. Канал СН1 – отображение входного напряжения, канал СН2 – выходного.

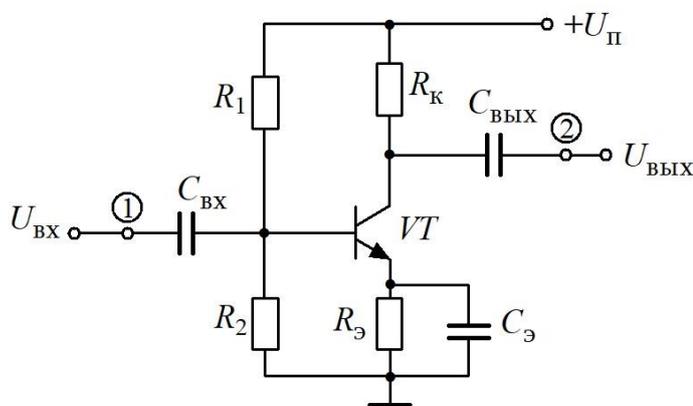


Рис. 2.8. Усилительный каскад

Номинальные значения резисторов, приведены в таблице 3.

Таблица 3

$R_1$	$R_k$	$R_3$	$R_{2 \text{ раб}}$	$C_{вх}$	$C_{вх}$	$C_3$
10 кОм	4.7 кОм	220 Ом		4.7 мкФ	4.7 мкФ	1 мкФ

Номинал резистора  $R_2$  соответствует значению  $R_2 = R_{2 \text{ раб}}$ , определенному в п.

2.2.1.

##### 2.4.1. Монтаж экспериментальной установки

Поместите миниблоки на наборное поле так, как показано на рис. 2.9. Размещение миниблоков можно изменить, но при этом необходимо учитывать линии соединений гнезд разъемов на рабочем поле стенда. Подключите к схеме осциллограф (рис. 2.9).

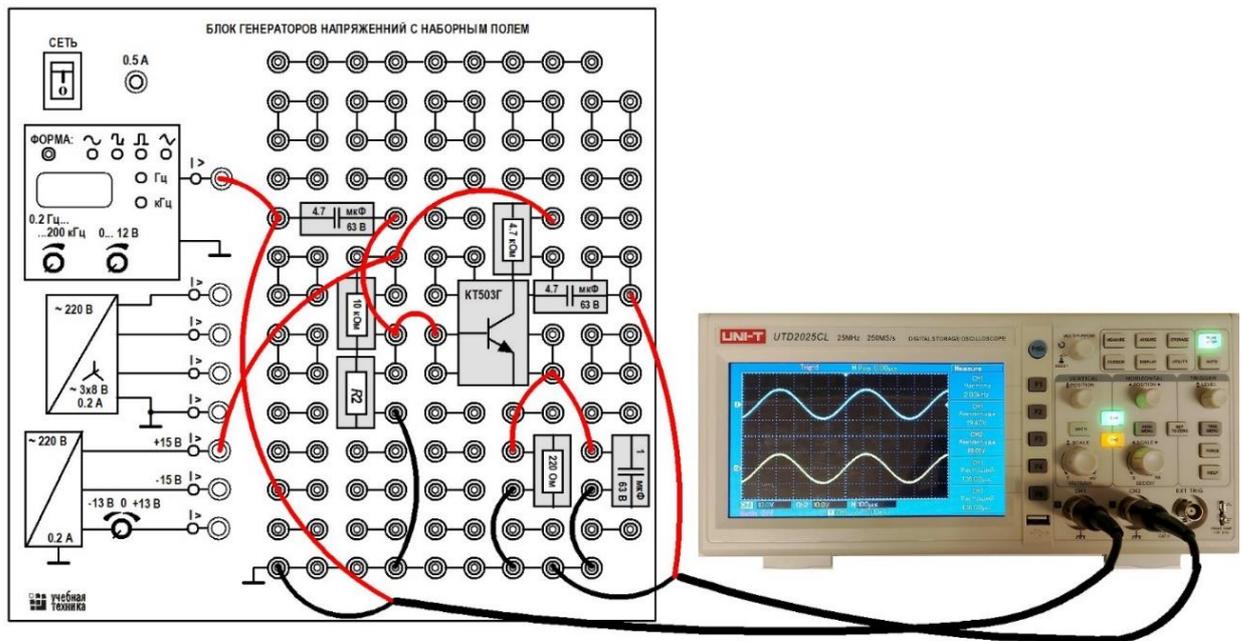


Рис. 2.9. Монтажная схема установки

Установите частоту входного напряжения  $f_{\text{вх}} = 1$  кГц. Зарисуйте осциллограмму в отчете. Сравните осциллограмму с той, что наблюдалась при работе схеме без конденсатора в цепи эмиттера (п. 2.3.1).

Сделайте выводы по результатам измерения.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется электронным усилителем?
2. По каким признакам можно классифицировать усилители?
3. Перечислите основные характеристики и параметры усилителей.
4. Объясните назначение элементов усилительного каскада с общим эмиттером.
5. Что такое режим покоя усилительного каскада?
6. Какие элементы усилительного каскада с общим эмиттером влияют на положение рабочей точки на ВАХ?
7. Что является причиной появления нелинейных искажений усиливаемого электрического сигнала?
8. Что такое отрицательная обратная связь и зачем она используется в усилительном каскаде?
9. Каким образом в каскаде с общим эмиттером работает ООС по температуре?
10. Каким образом в каскаде с общим эмиттером работает ООС по частоте?
11. Объясните, почему при включении в эмиттерную цепь конденсатора  $C_3$

увеличивается коэффициент усиления?

12. Объясните назначение разделительных конденсаторов  $C_{вх}$  и  $C_{вых}$  в усилительном каскаде?
13. Какие элементы усилительного каскада с общим эмиттером влияют на величину коэффициента усиления по напряжению?
14. Какова фаза выходного напряжения каскада с общим эмиттером по сравнению с фазой входного сигнала?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ситников А.В., Ситников И.А. Прикладная электроника: Учебник / А.В. Ситников, И.А. Ситников – М.: КУРС: ИНФРА-М, 2017. 272 с.
2. Забродин Ю. С. Промышленная электроника.-М.: Высшее образование, 1982. 496 с.
3. Герасимов В.Г. Электротехнический справочник (в 4-х томах). Том 2. М.: Издательство МЭИ, 2003. 520 с.
4. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника.- М.: Кнорус, 2013. 622 с.
5. Лагин В.И., Савелов Н.С. Электроника / В.И. Лагин, Н.С. Савелов. – Ростов-на-Дону.: Феникс, 2002 – 572 с.
6. Прянишников В.А. Электроника: Курс лекций / В.А. Прянишников. – СПб.: Корона-принт, 1998. – 400с.