**Лабораторная работа**

**ПРОСТЕЙШИЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучение принципа работы и исследование характеристик усилительных каскадов напряжения на биполярных и полевых транзисторах, вклю­ченных по схеме с общим эмиттером (стоком) и общим коллектором.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ** **ФОРМУЛЫ**

**1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

*Электронный усилитель* – устройство, увеличивающее мощность (напряжение, ток) входного сигнала за счет энергии внешнего источника питания посредством усилительных элементов (полупроводниковых приборов, электронных ламп и др.).

*uвых*

 *uвых*

*3*

*Uп*

*uвх*

 *1*

*2*

 *4*

 *iвх*

 *iвых*

Рис. 24.1

*uвх*

*Общий*

 *вывод*

*Выход*

*Un*

*Вход*

*б*)

*Выход*

*Вход*

*в*)

*а*)

На рис. 24.1, *а* представлена структурная схема включения усилителя в цепь усиления электрического сигнала, где *1* − источник вход­­ного сигнала; *2* − усилитель; *3* − источник энергии; *4* − нагрузка. В качестве источников питания усилителя используют стабильные источники энергии постоянного тока. Источник входного сигнала (датчик) формирует изменяющееся во времени напряжение *uвх* (ток *iвх*) различной амплитуды, частоты и формы. Нагрузка уси­лителя – устройство, которое можно представить в виде линейного пассивного двухполюсника. Сам усилитель с парой входных и парой выходных зажимов иногда представляют в виде нелинейного четырехполюсника вследствие нелинейности характеристик вхо­­­дящих в него элементов.

Условное обозначение усилителей на схемах изображено на рис. 24.1, *б*. Напряжение входа *uвх* и напряжение выхода *uвых* измеряют относительно общего вывода. При упрощенном изображении усилителя в виде прямоугольника, на нем изображают только вход и выход (рис. 24.1, *в*), опуская выводы напряжения питания *Un* и общий вывод.

Важнейшим параметром усилителя является коэффициент усиления по мощности, равный отношению изменения мощности выходного сигнала к изменению мощности входного сигнала, т. е.  По­ми­мо коэффициента усиления по мощности вводят также коэффициент усиления по напряжению  и коэффициент усиления по току  Тогда коэффициент

Важнейшими характеристиками усилителя являются амплитудная и ча­стотные. *Амплитудная характеристика* (рис. 24.2, *а*) – это зависимость амплитуды (или действующего значения) выходного напряжения от амплитуды (или действу­ющего значения) входного синусоидального напряжения, т. е. , где 

Пун­ктиром показана амплитудная характеристика идеального усилителя. Отклонение реальной характеристики от идеальной объясняется на­личием шумов и нелинейностями характеристик усилительных элементов при сла­­­­­бых и больших входных сигналах.

1

*Uвх.min*

0

*b*

*Uвых*

*Uвх.max*

*Uвых.max*

*Uвых.min*

*a*

*Uвх*

*а*)

 *fн*

3 дБ

 0

 lg *f*

*Ки*,дБ

10

102

103

104

 *fв*

*Δ f*

*φ*

60

20

40

Рис. 24.2

*б*)

*Динамическим диапазоном* усилителя в децибелах называют отношение максимального значения входного напряжения к минимальному на линей­ном участке *ab* амплитудной характеристики (см. рис. 24.2, *а*):

.

Коэффициент усиления по напряжению на этом участке

 

*Амплитудно-частотная характеристика* (АЧХ) усилителя – это зависимость коэффициента усиления, например, по напряжению *Ku* от частоты *f* входного сигнала, т. е. *Ku*(*f*) при  .

 Обычно АЧХ строят на двойной логарифмической сетке: по оси ординат откладывают значения *Ku*в децибелах, а по оси абсцисс – частоты в логарифмическом масштабе, однако около делений записывают значения частот без логарифма (рис. 24.2, *б*).

*Полоса пропускания* усилителя оп­ределяет диапазон частот *Δf* (или *Δω*), в пределах которого коэффициент усиления *Ku* (на средней частоте) не сни­жается ни­же  своего уро­вня, т. е. *Δf = fв − fн*,где *fв* и *fн* – верхняя и нижняя частоты среза АЧХ усилителя.

*Фазочастотная характеристика ϕ*(*f*) – это зависимость угла сдвига фаз *ϕ* между выходным и входным напряжениями усилителя от частоты (см. рис. 24.2, *б*). Фазовые искажения в усилителе отсутствуют, когда фазовый сдвиг *ϕ* линейно зависит от частоты.

Входное и выходное сопротивления усилителя:

 

При сопротивлении нагрузки *Rн* выходная мощность 

**2. УСИЛИТЕЛИ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ**

Одним из наиболее распространённых усилителей на биполярных тран­­зисторах является усилитель с *общим эмиттером* (ОЭ). В этом усилителе эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей (рис. 24.3, *а*). Входное напряжение *uвх* от источника сигнала *Ec* с внутренним сопротивлением *Rc* подаётся на усиливаемый каскад на биполярном транзисторе *VT* через конденсатор связи *С*1, предотвращающий прохождение постоянной составляющей тока от источника сигнала. Усиленное выходное напряжение подаётся на нагрузку *Rн* через разделительный конденсатор *С*2, т. е. подаётся только переменная составляющая напряже­ния *uвых*.

В усилителе, кроме источника переменного сигнала, действует источник напряжения с ЭДС *En* (обычно напряжение *Un* = 10…30 В) с внутренним сопротивлением *Rвт*.Сопротивление резистора *RК* выбирают, исходя из требований усиления входных сигналов и ограничения тока коллектора *IК* транзистора *VT*. Обычно сопротивление *RK* составляет 0,2…5 кОм для транзисторов малой мощности и порядка 100 Ом для транзисторов средней мощности. Резисторы *RБ*1 и *RБ*2 делителя напряжения питания *Un* пред­назначены для установки тока базы *IБ* транзистора (по постоянному току), соответственно рабочей точки (точки покоя) на линии нагрузки.

*IК*

*RБ*2

*Rн*

*Rc*

*Ec*

*RК*

*С*2

*En*

*Rвт*

*Un*

*СЭ*

*RЭ*

*С*1

*RБ*1

 *iвх*

*uвх*

 *i*2

*VT*

*uвых*

*IБ*

*IЭ*

Рис. 24.3

 *а*)

 *б*)

С помощью резистора *RЭ* создаётся обратная отрицательная связь усилителя по постоянному току, обеспечивающая температурную стабилизацию его ре­жима усиления. Так, при увеличении температуры возрастают постоянные составляющие токов коллектора *IК* и эмиттера *IЭ* и падение напряжения *RЭIЭ*. В результате, напряжение *UБЭ* уменьшается, что вызывает умень­шение тока базы *IБ*, и, следовательно, тока *IК*, стабилизируя его.

Конденсатор *CЭ* большой ёмкости (десятки микрофарад) шунтирует сопротивление резистора *RЭ* по переменному току, что исключает ослабление усиливаемого сигнала по переменному току цепью обратной связи.

Для удобства анализа работы усилителя отдельно рассматривают его схемы замещения по постоянному (рис. 24.3, *б*) и пе­­ре­менному току (рис. 24.5). В режиме работы усилителя по *постоянному току* для получения наименьших нелинейных искажений усиливаемого сигнала рабочую точку *а* (рис. 24.4) выбирают посередине рабочего участка *bc* линии нагрузки по постоянному току, описываемой уравнением

 где .

Линию нагрузки строят следующим образом. Из приведенного уравнения следует, что при , а при .

*UmK*

*ImБ*

*IБ*

*UБ*

*а'*

 *iБ*

 *t*

*uБ*

*t*

*UmБ*

0

0

0

*IБn*

*UKЭ*

*IК*

0

 *а*

*b*

 *c*

*uк*

0

*t*

*Un*

*IK.max*

*UKn*

*iК*

 *t*

*IКn*

*ImК*

0

Рис. 24.4

Через две найденные точки проводят прямую (нагрузочную) линию. Задав ток базы в режиме покоя *IБn*, находят на пересечении линии нагрузки по постоянному току с выходной характеристикой транзистора при *IБ = IБп* точку покоя *а*(*UКn*, *IКn*).

Сопротивление резистора *RБ*1 рассчитывают по формуле



При этом *UБn* ≈ 0,3 В для германиевых и *UБn* ≈ 0,65 В для кремниевых транзисторов.

Приближенно токи покоя коллектора и эмиттера в рабочей точке *а* рассчитывают по формулам:

; .

Напряжение покоя эмиттера 

Сопротивления ; , а ёмкость  где *f* – частота входного напряжения *uвх*.

В режиме работы усилителя по *переменному току* принимают

,

пренебрегают также внутренним сопротивлением *Rвт* и ёмкостью *Сn*  источника пи­та­ния, т. е. источник питания в схеме замещения замыкают накоротко (рис. 24.5, *а*).

При подаче на вход усилителя *переменного напряжения* *uвх* происходит изменение тока базы *iБ*, тока коллектора *iК* и напряжения на коллекторе  (см. рис. 24.4). Амплитуда переменного коллекторного тока *ImK* примерно в *h*21 раз больше амплитуды тока базы *ImБ*, а амплитуда коллекторного напряжения *UmK* во много раз больше амплитуды входного напряжения. Таким образом, в схеме усилителя с ОЭ усиливается ток и напряжение входного сигнала.

*iК*

*Rн*

*RК*

*Rн*

*RБ1*

*iБ*

*iК*

 *i*2

*С*2

*С*1

*uвх*

*СЭ*

*VT*

*uвых*

*Сn*

*а*)

*С*1

*RБ1*

*h*11

*uвх*

*iвх*

*iБ*

*С*2

*RК*

1/*h*22

*uвых*

*h*21*iБ*

**

**

*б*)

Рис. 24.5

**

*iн*

 При *Rн* >> *RК*,

Пользуясь графиками, изображенными на рис. 24.4, нетрудно определить входное сопротивление и коэффициенты усиления каскада:



При этом положительному полупериоду вход­но­го напряжения *uвх* соответствует отрицательный полупериод выходного нап­ряжения *uK ≈ uвых*. Иначе говоря, между входным и выходным напряжениями существует сдвиг фаз, равный 180°, т. е. схема усилителя с ОЭ является инвертирующим устройством, усиливающим и изменяющим фазу входного напряжения на 180°.

Обычно рассмотренный тип усилительного каскада работает в режиме усиления слабых сигналов (постоянные составляющие тока базы и коллектора существенно превосходят аналогичные переменные составляющие). Эти особенности позволяют использовать аналитические методы расчета параметров усилительного каскада на низких частотах по известным *h*-па­раметрам транзистора (рис. 24.5, *б*), полагая, что транзистор работает в линейном режиме. При этом сигнал, поданный на вход усилителя, практически не искажается (по форме) на его выходе.

Наличие в усилителе ёмкостей *C*1 и *С*2 (см. рис. 24.3, *а*) приводит к частотным искажениям усиливаемых сигналов в области нижних частот: с уменьшением частоты входного сигнала увеличивается сопротивление кон­денсатора , падение напряжения *uС*1 на нем, следовательно, снижается входное *uвх* и выходное *uвых*напряжения. Это приводит к умень­шению коэффициента усиления *Ku* с уменьшением частоты (см. рис. 24.2, *б*), а наличие в усилителе междуэлектродных ёмкостей транзистора и монтажных ёмкостей приводит к возникновению частотных искажений усиливаемых сигналов в области высоких частот. С учётом ёмкости *СК* коллекторного *p-n*-перехода, условно вклю­чаемой между коллектором и базой, входное сопротивление каскада в области верхних частот

 .

Входное сопротивление усилительного каскада на биполярном транзисторе с ОЭ обычно имеет значение порядка нескольких сотен ом. Выходное сопротивление обычно на порядок больше входного. При подключении к усилителю высокоомного источника сигнала () и низкоомной нагрузки () расчёт основных параметров усилителя проводят по следующим формулам:

; ;

; .

Реальный коэффициент усиления по напряжению *Ku* всегда меньше коэффициента усиления ненагруженного усилителя (). Это различие тем заметнее, чем больше выходное сопротивление усилителя и меньше сопротивление нагрузки *Rн*. На практике реальный коэффициент усиления каскада *Ku* может достигать нескольких сотен, а коэффициент усиления по мощности  в схеме с ОЭ – нескольких тысяч.

Усилительные каскады на *полевых транзисторах* работают аналогично усилителям, собранным на биполярных транзисторах, если учесть, что уп­равляющим сигналом усилителя на полевом транзисторе является напряжение затвора *UЗ*, а коэффициент усиления по напряжению усилителя с общим истоком (с ОИ) при *Rд* >> *RC* (*Rд* − дифференциальное выходное сопротивление транзистора)

,

где *S*  = *ΔIС*/*ΔUЗ* – крутизна стоко-затворной характеристики транзистора; *RС* и *RИ* – сопротивления резисторов, включенных в цепи стока и истока транзистора усилителя.

Вследствие высоко­го входного сопротивления усилителей на полевых транзисторах можно использовать разделительный конденсатор *С*1 небольшой ёмкости.

**3. ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ**

В каскаде, собранном на биполярном транзисторе с общим коллектором, называемым *эмиттерным повторителем*, выходное напряжение *uвых* (через разделительный конденсатор *C*2) снимается с резистора *RЭ*, включенного в цепь эмиттера (рис. 24.6, *а*).

При отсутствии сигнала *uвх* на входе в цепи базы протекает ток покоя



Значения сопротивлений резисторов *RБ*1 и *RБ*2 выбирают такими, чтобы рабочая точка в режиме покоя находилась примерно посередине рабочего участка входной характеристики транзистора *VT*. При подаче переменного входного сигнала *uвх*появляется переменная составляющая *iЭ* эмиттерного тока, которая создает на резисторе *RЭ* выхо­дное напряжение .

Рис. 24.6

Основные параметры эмиттерного повторителя по переменному току можно рассчитать, составив его схему замещения (рис. 24.6, *б*), в которой резисторы базовой цепи *RБ*1 и *RБ*2 учтены резистивным элементом

.

При  базовый ток  а выходное напряжение и коэффициент усиления по напряжению [1]

; .

Из приведенных выражений следует, что коэффициент *Ku* меньше единицы, откуда название усилителя – *эмиттерный повторитель*.

Учитывая, что коэффициент *h*22 = 10-5…10-6 Ом, а *RЭ*≈ 102…104 Ом, формулу *Ku* можно упростить:

. При этом .

Входное сопротивление повторителя  значительно боль­ше входного сопротивления транзистора *h*11 и достигает не

нескольких десятков и сотен килоом. С учетом сопротивлений резисторов *RБ*1 и *RБ*2 входное сопротивление повторителя



Выходное сопротивление  имеет значение порядка нескольких единиц или десятков ом. Таким образом, эмиттерный повторитель обладает большим входным и малым выходным сопротивлениями, что упрощает согласование высокоомного источника сигнала и низкоомной нагрузки с усилительным устройством.

Эмиттерные (истоковые) повторители применяют при передаче напряжения без изменения формы, амплитуды и фазы, но при значительном усилении тока и мощности сигнала: эмиттерный повторитель усиливает ток входного сигнала в *h*21*Э* + 1 раз и в *h*21*Э* раз его мощность.

**4. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ**

*Дифференциальный усилитель* – это балансный (мостовой) усилитель постоянного тока с параллельным включением транзисторов с одинаковыми характеристиками (рис. 24.7, *а*), в котором коллекторные сопротивления *RК*1 и *RК*2 и внутренние сопротивления транзисторов *VT*1 и *VT*2 образуют плечи моста. Резистор *RК*0 служит для балансировки каскада (установки нуля). Цепи смещения транзисторов не показаны.

*RК*2

*uвх*2

*RК*1

*RК*2

*RК*0

*Rн*

*uК*1

*uК*2

*uвых*

 *а*

*RЭ*

*-Un*

*VT*1  *VT*2

*RК*1

*uвх*

*а*)

*RК*0

*Rн*

*uК*1

*uК*2

*uвых*

 *а*

*RЭ*

*в*)

*VT*1  *VT*2

*-Un*

Рис. 24.7

*uвх*1

*u*

*uвх*1

*Δu*

*Δu*

*uвх*2

 *t*

*uсф*

*uдиф*

*б*)

Если левая и правая части усилителя с симметричным входом и выходом идентичны, то повышение (понижение) температуры или напряжения питания вызывает одинаковое изменение кол­лекторных токов в обоих тран­­зисторах, потенциалы коллекторов *uК*1 и *uK*2 изменяются почти одинаково и, следовательно, выходное напряжение *uвых*останется неизменным. При этом *дрейф* (медленное, самопроизвольное из­ме­нение исходного (нулевого) выходного напряжения) в усилителе составляет 30…100 мВ в диапазоне изменения температуры от 10 °С до 60 °С.

При использовании полевых транзисторов дрейф по напряжению может быть примерно 0,05…0.3 мВ/град при *T* < 100 °С.

Дрейф напряжения определяет чувствительность усилителя, т. е. минимальный сигнал на его входе, который будет различим на выходе. Следовательно, снижение дрейфа нуля сопровождается повышением чувствительности усилителя. Заметим, что дрейф нуля не отличим от усиленного полезного разностного сигнала и может вызвать срабатывание устройства, подключенного к выходу усилителя.

Для уменьшения дрейфа напряжения в общую эмиттерную цепь транзисторов включают резистор с большим сопротивлением *RЭ* >> *h*11, который служит для стабилизации эмиттерного тока *IЭ* = *IЭ*1 + *IЭ*2 транзисторов *VT*1 и *VT*2,или включают *генератор стабильного тока* с большим сопротивлением переменному току и малым − постоянному току. При изменении температуры потенциал точки *а* (см. рис. 24.7, *а*) изменяется незначительно, токи *IК*1 и *IК*2 практически не изменяются, как и напряжения *uK*1 и *uK*2.

В общем случае на входы ОУ поступают соответственно напряжения *uвх*1 и *uвх*2.Из них выделяют синфазный *uсф* и дифференциальный (разностный) *uдиф = uвх*1 − *uвх*2 сигналы (рис. 24.7, *б*). Синфазный сигнал *uсф*= = (*uвх*1 + *uвх*2)/2 соответствует равным по значению и одинаковым по знаку напряжениям, приложенным к обоим входам. Синфазные входные сигналы могут составлять несколько вольт, вплоть до напряжений, близких к *Uп*, а дифференциальные − меньше *Uп*/2*Ku*, где *Ku* – коэффициент усиления напряжения усилителя.

Пусть потенциал одного вывода относительно напряжения *uсф* выше, а другого – ниже на *Δu*. Тогда дифференциальный (разностный) сигнал *uдиф* = 2*Δu* = *uвх*1 − *uвх*2. Например, если *uвх*1 = 1,024 В, а *uвх*2 = 1,02 В, то синфа­з­ный сигнал *uсф =* (1,024 + 1,02)/2 = 1,022 В, а дифференциальный *uдиф* *= =* 1,024 − 1,02 = 0,004 В = 4 мВ.

Одинаковое по знаку и синфазное изменение токов плеч (синфазная помеха) не вызывает разбалансирование моста и выходное напряжение отсутствует, дифференциальный каскад усиливает только разностный сигнал *uдиф*, поскольку на базы транзисторов поступают напряжения разных знаков, приводящие к изменению токов эмиттеров. Отсюда название каскада – *дифференциальный усилитель*. Относительно изменения напряжения *uвх*1 напряжение *uK*2 изменяется в фазе (синхронно, не инвертируется), а напряжение *uK*1 изменяется в противофазе, инвертируется.

Входное сопротивление дифференциального усилителя *Rвх*≈ 2*h*11*Э*, а выходное *Rвых*≈ 2*RК*/(1*+ h*22*ЭRК*) *≈* 2*RК.*

Коэффициент усиления напряжения усилителя при сопротивлении нагрузки *Rн* = ∞

*Ки*= (*h*21*Э* /*h*11*Э*)*RК* /(1 + *h*22 *RК*) ≈ (*h*21*Э* /*h*11*Э*)*RК*.

Дифференциальные усилители с симметричным входом и выходом ши­роко применяются в быстродействующих коммутаторах, кодерах и декодерах и в аналоговых вычислительных машинах.

Дифференциальный усилитель используется также, когда требуется усилить не разность напряжений между базами транзисторов, а *только* входное напряжение, например *uвх*1(рис. 24.7, *в*). При этом один из входов заземляют. Если используется напряжение *uK*2, то такую схему называют дифференциальным усилителем с несимметричным входом и выходом.

**УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ И** **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

 **К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

**Собрать на рабочем поле среды MS10 схему для испытания *усилительного каскада на биполярном транзисторе* с ОЭ (рис. 24.8),** **ознакомиться** с методикой расчёта параметров элементов схемы и **установить** их в диалоговых окнах компонентов.

В схему уси­лителя на транзисторе **VT1** с ОЭ (типа **2N3906** с параметра­ми: *UK*.*max* = 40 В; *IK*.*max* = 0,2 А; *h2*1*Э* = 30…300; *fmax*= 300 МГц; *PK* = = 0,625 Вт) включены потенциометры **R1** и **Rк**, постоянные резисторы **Rs**, **Re** и **Rn**, конденсаторы **С1**…**С3**, переключатель **А** и ключ **В**.

Рис. 24.8

**Е1**

В качестве источника энергии использован генератор постоянного напряжения **E2** с ЭДС*E*2 = 12 В, а в качестве источника входного сигнала –

генератор синусоидального напряжения **E1**. Для визуализации результатов испытания в схему включены амперметры **А1** и **А2**, вольтметры **V1** и **V2**, двухканальный осциллограф **XSC2** и плот­тер **ХВР1** (построитель АЧХ и ФЧХ усилителя по напряжению).

**1.1. Расчёт параметров** элементов схемы выполним с помощью следующих соотношений:

*RK* ≈ *E*2/*IK.max* = 12/(0,2) = 60 Ом − сопротивление коллектора (без эмит­терной обратной связи (переключатель **А** находится в правом положении, ключ **В** разом­кнут, см. рис. 24.7));

*UKп* ≈ *E*2/2 = 6 B; *IKп* ≈ (*E*2 *− UKп*)/ *RK* = 6/60 = 100 мА − постоянное напряжение и ток коллектора в режиме покоя;

*IБп* ≈*.IKп*/*h*21 = 100/135 ≈ 0,75 мA − ток базы в режиме покоя, где *h*21 = = 135 − среднее значение коэффициента передачи по току транзистора типа **2N3906**;

 − сопротивление резистора **R1** в базовой цепи, где напряжение *UБп* ≈ 0,65 В для кремниевых и *UБп* ≈*.* 0,3 В для германиевых транзисторов;

*Re* ≈ (0,1…0,2)*E*1/*IЭп* = 0,2⋅12/0,075 = 32 Ом − сопротивление ре­з­и­­стора **Re** в цепи эмиттера, где *IЭп* ≈ *IКп* ≈ 0,75 мА – ток коллектора при подключении резистора **Re**;

*R*2 = (0,3…0,5)*R*1 − сопротивление резистора **R2**, включенного между базой и общей точкой **0** усилителя для создания требуемого напряжения покоя

.

Примем *R*2 = 6 кОм.

В усилителе с ОЭ и с эмиттерной стабилизацией рекомендуется режим: *UКп* ≈ (2/3)*E*1 = 8 В и *UЭп* ≈ (1/3)*E*1 = 4 В, который можно установить измене­нием сопротивлений потенциометров **R1**, **Rк** и резистора **Rе** (см. рис. 24.8).

Для устранения отрицательной обратной связи (ООС) по переменной составляющей тока резистор **Rе** зашунтирован конденсатором **C2**, ёмкостное сопротивление которого для низкочастотной составляющей усиливаемого сигнала должно быть на порядок меньше сопротивления резистора **Re**. Примем **C2** = 8 мФ. Тогда сопротивление конденсатора **C2** *ХС*2 ≈ 20/*f* .

**Скопировать** схему (рис. 24.8) на страницу отчета по работе.

**1.2. Снять и построить** (по точкам) семейство амплитудных характеристик по напряжению *uвых*(*uвх*) на частоте *f* = 1 кГц входного напряжения *uвх*, при входных сопротивлениях *Rs* = 0 и *Rs* = 100 Ом источника **Е1** и при сопротивлениях нагрузки *Rn*= 1 МОм и *Rn* = 1 кОм. **Записать** в табл. 24.1 показания вольтметра **V2**, работающего в режиме **АС**, при ступенчатом изменении ЭДС источника сигнала **Е1,** наблюдая в окне осциллографа за

характером искажения выходного напряжения *uвых*  при больших значениях напряжения *uвх*.

Заметьте, что выходное напряжение *uвых*, снимаемое с коллектора транзистора **VT1**, противофазно напряжению *uвх* (см. рис. 24.9).

Т а б л и ц а 24.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Rs*, Ом | *Rn* | При *Е*1, мВ: |
| **V1** и **V2** | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| 0 | 1 МОм | *uвх*, мВ  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *uвых*, В  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 кОм | *uвх*, мВ  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *uвых*, В  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 100  | 1 МОм | *uвх*, мВ  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *uвых*, В  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 кОм | *uвх*, мВ  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *uвых*, В  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**1.3**. Используя графики амплитудных характеристик, **определить** динамический диапазон *D* усилителя (см. рис. 24.2, *а*) и коэффициенты усиления по напряжению *Ku* при сопротивлениях *Rs* = 0, *Rn* = 1 МОм и при *Rs*= = 100 Ом, *Rn* = 1 кОм.

Рис. 24.9

**1.4.** **Снять** с помощью плоттера **ХВР1** амплитудно-частотные и фазочастотные характерис­ти­ки усилителя по напряжению при *uвх* = 10 мВ, *Rs* = = 100 Ом и  *Rn* = 1 кОм и **оп­ределить** полосы пропускания *Δf* усилителя без эмиттерной ООС и с ООС.

 **Скопировать** экраны плоттера на страницу отчёта по работе.

В качестве примера, на рис. 24.10 приведены АЧХ *Ku*(lg*f*) и ФЧХ *Ψu*(lg *f*) усилителя без ООС (*а* и *в*) и с ООС (*б* и *г*) при заданных на рис. 24.8 параметрах элементов схемы. Анализ АЧХ показывает, что коэффициент *Ku* = 90,6 для уси­лителя без ООС при частоте *f*  = 100 кГц больше  *Ku* = 76 усилителя с ООС, а верхняя частота *fв* полосы пропускания усилителя с ООС больше частоты *fв* усилителя без ООС. Полосы пропускания *Δf* определены по координатам точек пересечения горизонтальных пунктирных линий (см. рис. 24.10, *а* и *б*), проведенных на уровнях 90,6 и  соответственно.

Скачки на графиках ФЧХ соответствуют точкам перехода от опережения выходным сигналом по фазе входного сигнала к его отставанию по фазе от входного сигнала. Границы моделирования АЧХ (**Magnitude**) и ФЧХ (**Phase**) усилителя по частоте (нижней (**I**) *fн* = 1 Гц и верхней (**F**) *fв* = 1 ГГц), по коэффициенту усиления *Ku* = 0…100, по углу сдвига фаз от −360° до +360°) и тип шкал (линейная (**Lin**) или логарифмическая (**Log**)) задаются в окне плоттера (см. рис. 24.10, справа).

 *а*)

 *б*)

Рис. 24.10

 *в*)

 *г*)