ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

КАФЕДРА АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

А.М.ЛАНСКИХ

СХЕМЫ НА ДИОДАХ И ТРАНЗИСТОРАХ

Лабораторный практикум

Дисциплины
«Электротехника и электроника»
«Общая электротехника и электроника»

Специальности 210100 и 071900,
II курс, дневное отделение,
III курс, заочное отделение

Киров 2005

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Вятского государственного университета

УДК 621. 382. (07)
Л 288

Рецензент: кандидат технических наук,
доцент кафедры электротехники и электроники
Л.М. Агалакова

Ланских А.М. Схемы на диодах и транзисторах: Лабораторный практикум. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2004.- 38 с.

Редактор Е.Г.Козвонина

Подписано в печать 02.03.05 Усл.печ.л. 2,38
Бумага офсетная Печать Aficio 1022
Заказ № 433, 444 Тираж 132 Бесплатно
Текст напечатан с оригинал–макета, предоставленного автором.

610000, г.Киров, ул. Московская, 36
Оформление обложки, изготовление – ПРИП ВятГУ.

© А.М.Ланских, 2005
© Вятский государственный университет, 2005

СОДЕРЖАНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ 4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ 5
1. Краткие теоретические сведения 5
2. Оборудование для проведения лабораторной работы 8
3. Содержание и порядок выполнения работы 8
3.1. Задание на выполнение лабораторной работы 8
3.2. Методические рекомендации по выполнению задания 8
4. Содержание отчета и требования к его оформлению 13
5. Контрольные вопросы 13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ 14
1. Краткие теоретические сведения 14
1.1. Каскад с общим эмиттером (рис.5.1) 14
1.2. Каскад с общей базой (рис.5.2) 15
1.3. Каскад с общим коллектором (рис.5.3) 16
1.4. Назначение элементов в усилительных каскадах 17
2. Оборудование для проведения лабораторной работы 20
3. Содержание и порядок выполнения работы 20
3.I. Задание на выполнение лабораторной работы 20
3.2. Методические рекомендации по выполнению задания 21
4. Содержание отчета и требования к его оформлению 23
5 Контрольные вопросы 24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ 25
1. Краткие теоретические сведения 25
2. Оборудование для проведения лабораторной работы 31
3. Содержание и порядок выполнения работы 31
3.1. Задание на выполнение лабораторной работы 31
3.2. Методические рекомендации по выполнению задания 32
4.Содержание отчета и требования к его оформлению 35
5. Контрольные вопросы 36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 37

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по исследованию схем на полупроводниковых диодах и транзисторах является продолжением лабораторного практикума «Исследование полупроводниковых приборов» и входит в состав комплекса учебной литературы, обеспечивающей изучение дисциплины «Электротехника и электроника» для специальности 071900 «Информационные системы и технологии», а также дисциплины «Общая электротехника и электроника » для специальности 210100 «Управление и информатика в технических системах».

Основные сведения о применяемых в исследуемых схемах полупроводниковых элементах получены студентами во время лабораторных занятий по изучению этих нелинейных элементов в соответствии с методическими указаниями «Исследование полупроводниковых приборов». Определенные во время этих занятий параметры диодов и транзисторов позволяют представить математические модели нелинейных элементов, которые используются при анализе схем, построенных на этих полупроводниковых элементах.

Предлагаемый лабораторный практикум содержит работы по исследованию схем на диодах (лабораторная работа №4), на биполярных транзисторах (лабораторная работа №5) и на полевых транзисторах (лабораторная работа №6). В методических указаниях по каждой лабораторной работе имеются достаточные для проведения исследований теоретические сведения и необходимые для проведения испытаний методические указания.

Лабораторные занятия дают студентам наглядное представление и работе, характеристиках и параметрах отдельных электронных схем на полупроводниковых диодах и транзисторах. В процессе выполнения лабораторных работ студенты получают навыки проведения испытаний полупроводниковых схем, снятия временных диаграмм и частотных характеристик схем.

Общие задачи предлагаемого лабораторного практикума:

- изучение принципов построения простейших схем на диодах и транзисторах;
- углубленное изучение теоретического материала, прослушанного на лекциях и приобретенного в результате самостоятельной работы, развитие навыков расчета параметров и характеристик электронных схем;
- приобретение навыков работы с приборами и устройствами для измерения электрических величин, обработки полученных результатов и оформления отчетной документации;
- развитие навыков постановки и реализации задач экспериментального исследования реальных схем, а также навыков работы со справочной литературой для обеспечения теоретических расчетов эквивалентных схем рассматриваемых устройств.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.
ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ

Целью лабораторной работы является экспериментальное исследование и анализ работы одно- и двухполупериодного (мостового) выпрямителей и параметрического стабилизатора напряжения.

1. Краткие теоретические сведения

Для работы электронного устройства необходим источник постоянного напряжения. Чаще всего постоянное напряжение получают путем трансформирования и последующего выпрямления напряжения сети. Простейшая выпрямительная схема и соответствующие эпюры показаны на рис.4.1.

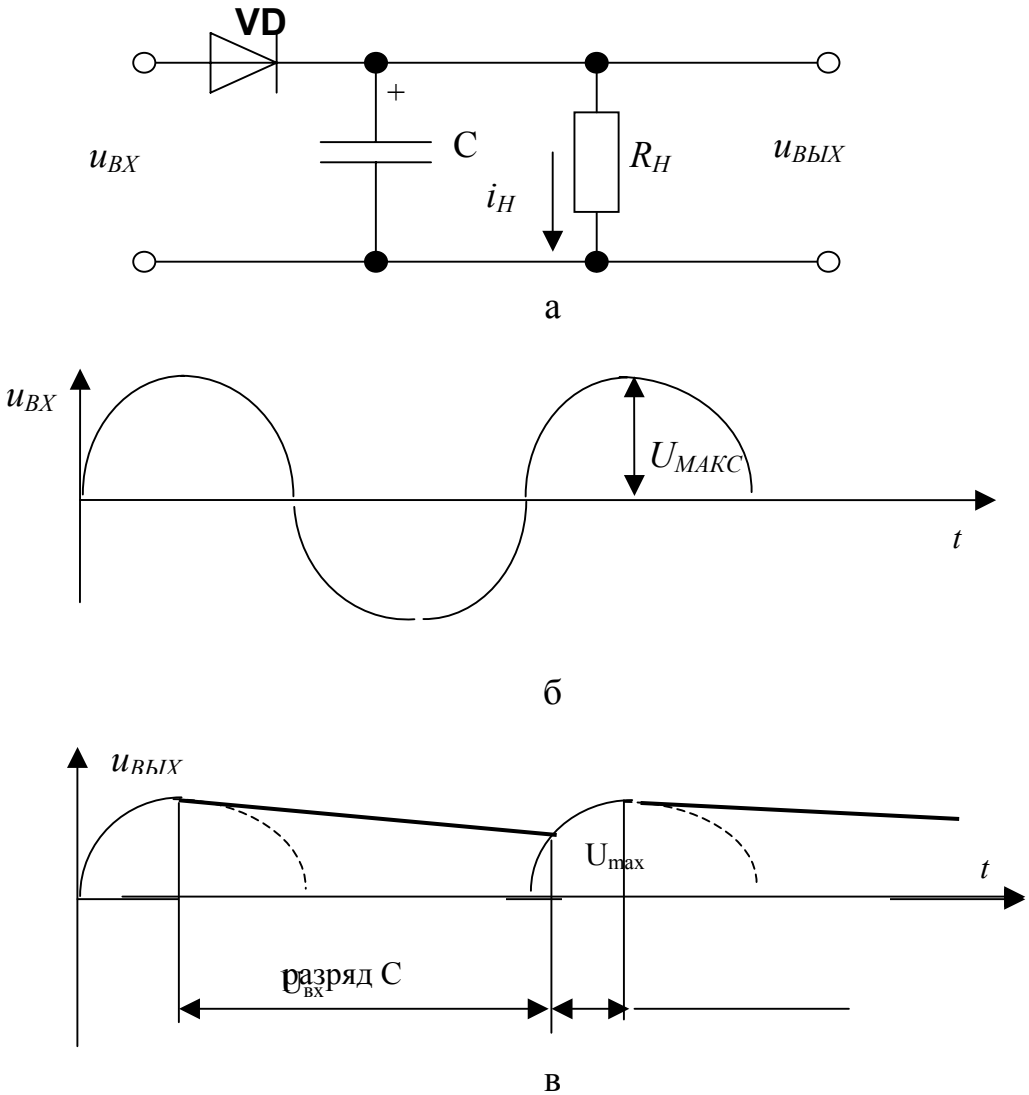


Рис.4.1

Представленная схема (рис.4.1а) называется однополупериодным выпрямителем, так как она реализует только половину входного напряжения (половину периода). Простейший способ выпрямления переменного напряжения состоит в заряде конденсатора *C* через диод *VD*. Если схема работает в режиме

холостого хода ($R_H = 0$), то конденсатор C в течение положительного полупериода переменного напряжения заряжается практически до амплитудного значения переменного напряжения:

$$U_C = \sqrt{2} \cdot U_{ЭФФ} - U_{ПР}, \qquad (4.1)$$

где $U_{ПР}$ - прямое падение напряжения на открытом диоде.

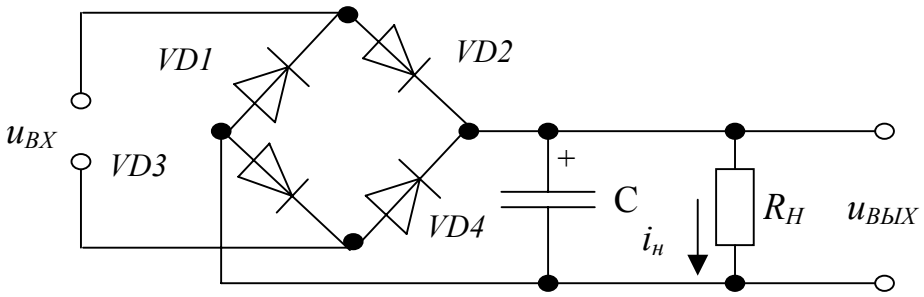
Обратное напряжение на диоде достигает максимума в тот момент времени, когда напряжение на выходной обмотке трансформатора имеет отрицательное амплитудное значение. При подключении нагрузки, в течение всего времени, когда диод *VD* заперт, происходит разряд конденсатора *C* через сопротивление нагрузки R_H . Когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора становится больше выходного напряжения на величину $U_{ПР}$, конденсатор *C* вновь начинает заряжаться. Вследствие неблагоприятного соотношения между временем заряда и временем разряда конденсатора *C* выходное напряжение такой схемы заметно снижается (особенно при незначительной величине нагрузки).

Соотношение между временем разряда и временем заряда конденсатора может быть значительно улучшено, если осуществлять заряд конденсатора *C* во время как положительного, так и отрицательного полупериода переменного напряжения. Это достигается при использовании мостовой схемы выпрямителя, изображенной на рис.4.2.

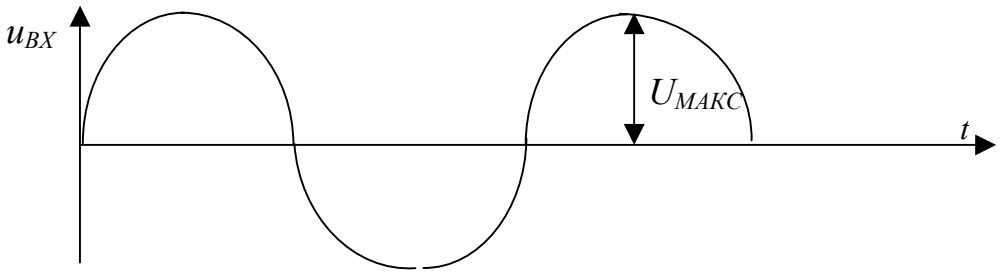
Достоинством схемы является то, что диоды могут быть рассчитаны на вдвое меньшее обратное напряжение. В мостовой схеме выпрямителя в цепи прямого тока в любой момент выпрямительного процесса находятся два последовательно включенных диода, что снижает экономичность схемы за счет падения прямого напряжения на них из-за прохождения прямого тока.

Выпрямленные напряжения, полученные с помощью данных схем, еще не могут быть использованы для питания электронных схем. Дело в том, что их можно считать постоянными только в том отношении, что они не изменяют свою полярность. На самом деле они содержат большое количество “пульсаций” (периодических колебаний напряжения относительно постоянного значения). Для их устранения применяются стабилизаторы напряжения (рис.4.3).

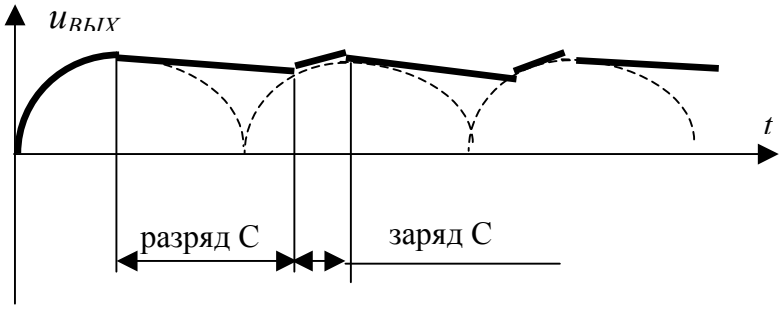
Данная схема называется параметрическим стабилизатором напряжения. Нагрузка R_H включена параллельно *VD*. Поэтому в режиме стабилизации, когда напряжение на стабилитроне *VD* почти постоянно, такое же напряжение будет и на нагрузке. Все изменения напряжения источника *E* при его нестабильности почти полностью поглощаются ограничительным резистором $R_{ОГР}$. Наиболее часто стабилитрон *VD* работает в таком режиме, когда напряжение источника нестабильно, а сопротивление нагрузки постоянно.



а



б



в

Рис.4.2

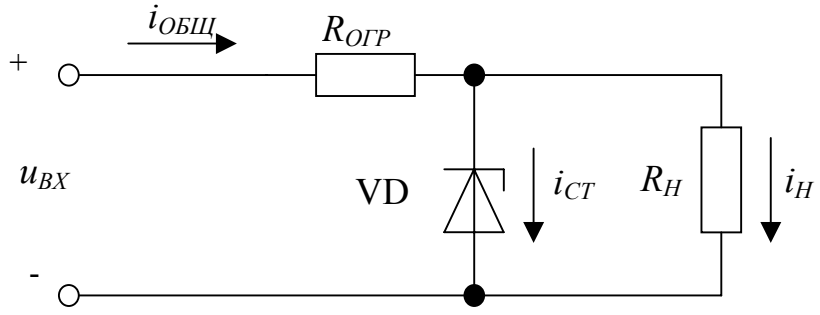


Рис.4.3

Для установления и поддержания правильного режима стабилизации сопротивление $R_{ОГР}$ должно иметь определенное значение. Обычно $R_{ОГР}$ рассчи-

тывают для средней (рабочей) точки. Если напряжение E меняется от $E_{МИН}$ до $E_{МАКС}$, то $R_{ОГР}$ можно найти по следующей формуле:

$$R_{ОГР} = (E_{СР} - U_{СТ})/(I_{СР} + I_{Н}), \quad (4.2)$$

где $E_{СР} = 0.5 \cdot (E_{МИН} + E_{МАКС})$ - среднее напряжение источника; $I_{СР} = 0.5 \cdot (I_{МИН} + I_{МАКС})$ - средний ток стабилитрона; $I_{Н} = U_{СТ}/R_{Н}$ - ток нагрузки. Если значение E меняется на ΔE , то стабилизация будет осуществляться только при соблюдении условия

$$E = (I_{МАКС} - I_{МИН}) \cdot R_{ОГР}.$$

Стабилизация выходного напряжения в более широком диапазоне изменения E возможна при увеличении $R_{ОГР}$.

2. Оборудование для проведения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используется лабораторная установка ЛУ-1, на лицевой стороне которой приведены принципиальные схемы: исследование ВАХ диодов, выпрямители (однополупериодная и двухполупериодная схемы), стабилизатор напряжения. На схемах предусмотрены гнезда для установки короткозамкнутых перемычек (КЗП) и подключения контрольно-измерительных приборов (миллиамперметров, вольтметров, осциллографа). Регулировка напряжения питания в схеме исследования ВАХ диодов и в схеме стабилизатора напряжения осуществляется соответствующими потенциометрами.

3. Содержание и порядок выполнения работы

3.1. Задание на выполнение лабораторной работы

1. Ознакомится с принципиальными электрическими схемами, приведенными на лицевой панели лабораторной установки ЛУ-1 и правилами пользования контрольно-измерительными приборами, которые используются при проведении данной лабораторной работы.
2. Исследовать однополупериодный выпрямитель.
3. Исследовать двухполупериодный выпрямитель (мостовой) выпрямитель.
4. Исследовать параметрический стабилизатор напряжения.
5. Оформить отчет.

3.2. Методические рекомендации по выполнению задания

3.2.1. Исследование однополупериодного выпрямителя

Используя КЗП, собрать схему (рис.4.4).

Записать в отчет номиналы резистора *R1* и конденсатора *C1*. Включить установку тумблером “СЕТЬ”. Подключить осциллограф для наблюдения формы входного напряжения $U_{П}$. Получить устойчивое изображение двух периодов входного напряжения, максимально используя площадь экрана осциллографа.

Зарисовать осциллограмму входного напряжения в отчет. Измерить амплитуду и период входного напряжения, указать эти значения на графике.

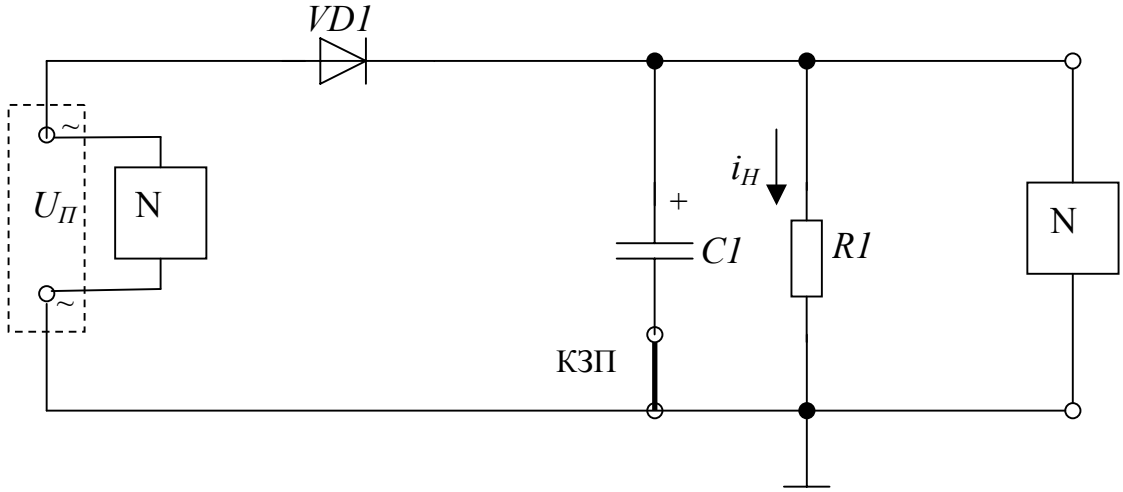


Рис.4.4

Отключить конденсатор *C1* (убрать КЗП). Подключить осциллограф для наблюдения формы выходного напряжения. То ли Вы видите, что ожидали? Посмотреть на полярность и форму этого напряжения, измерить амплитуду выходного напряжения. Зарисовать осциллограмму выходного напряжения. Представить временную диаграмму работы схемы выпрямителя при отключенном конденсаторе.

Подключить параллельно сопротивлению нагрузки *R1* конденсатор *C1*. Посмотреть, как изменилась форма выходного напряжения, зарисовать осциллограмму (другим цветом) на той же координатной плоскости. Определить время заряда ($t_{ЗАР}$) и разряда ($t_{РАЗР}$) конденсатора *C1*.

Рассчитать величину пульсации выпрямленного напряжения, которую оценивают коэффициентом пульсации ($K_П$), являющимся отношением амплитуды первой гармоники (U_{1m}) к среднему значению ($U_{R_{н.ср}}$) напряжения на нагрузке:

$$K_П = U_{1m}/U_{R_{н.ср}}. \qquad (4.3)$$

Исследовать, как изменится коэффициент пульсации при изменении величины нагрузки и емкости сглаживающего фильтра. Для этого при включенном конденсаторе *C1* параллельно резистору *R1* с помощью КЗП подключить резистор *R2*. Как изменилась величина нагрузки? Посмотреть на форму выходного напряжения и сделать вывод о влиянии величины сопротивления нагрузки на качество работы однополупериодной схемы выпрямления.

Отключить резистор *R2* и изменить величину емкости сглаживающего фильтра. Для этого параллельно резистору подключить с помощью перемычки два последовательно включенных конденсатора *C1* и *C2*. Как изменилась емкость фильтра? Обратить внимание на характер изменения формы выходного

напряжения. Сделать вывод о влиянии величины емкости сглаживающего конденсатора на качество работы однополупериодного выпрямителя.

Для всех рассмотренных вариантов сочетаний R и C определить коэффициенты пульсаций $K_П$ и коэффициенты сглаживания переменных составляющих $K_{СГ}$. Коэффициент сглаживания оценивает эффективность использования сглаживающего фильтра и определяется отношением коэффициента пульсаций на входе фильтра (на выходе выпрямителя) $K_{ПВ}$ к коэффициенту пульсаций на нагрузке (на выходе фильтра) $K_П$:

$$K_{СГ} = K_{ПВ} / K_П , \qquad (4.4)$$

где величина $K_{ПВ}$ зависит от схемы выпрямителя и для однополупериодной схемы $K_{ПВ} = 1{,}57$, а для двухполупериодной $K_{ПВ} = 0{,}67$. Чтобы переменная составляющая на нагрузке была минимальной (в идеале – не проходила на нагрузку) емкость конденсатора выбирается так, чтобы его сопротивление переменному току было намного меньше сопротивления нагрузки:

$$\frac{1}{\omega \cdot C} << R_H . \qquad (4.5)$$

В этом случае $K_{СГ} \approx \omega \cdot C \cdot R_H$.

Рассчитать $K_{СГ}$ для всех вариантов R_i и C_i и сравнить с его значением, найденным в соответствии с выражением (4.4).

3.2.2. Исследование двухполупериодного (мостового) выпрямителя

Используя КЗП, собрать схему мостового выпрямителя (рис.4.5).

Записать в отчет номиналы конденсатора *C1* и резистора *R1*. Подключить осциллограф для наблюдения формы входного напряжения. Получить устойчивое изображение двух периодов входного напряжения. Зарисовать их. Измерить амплитуду входного напряжения.

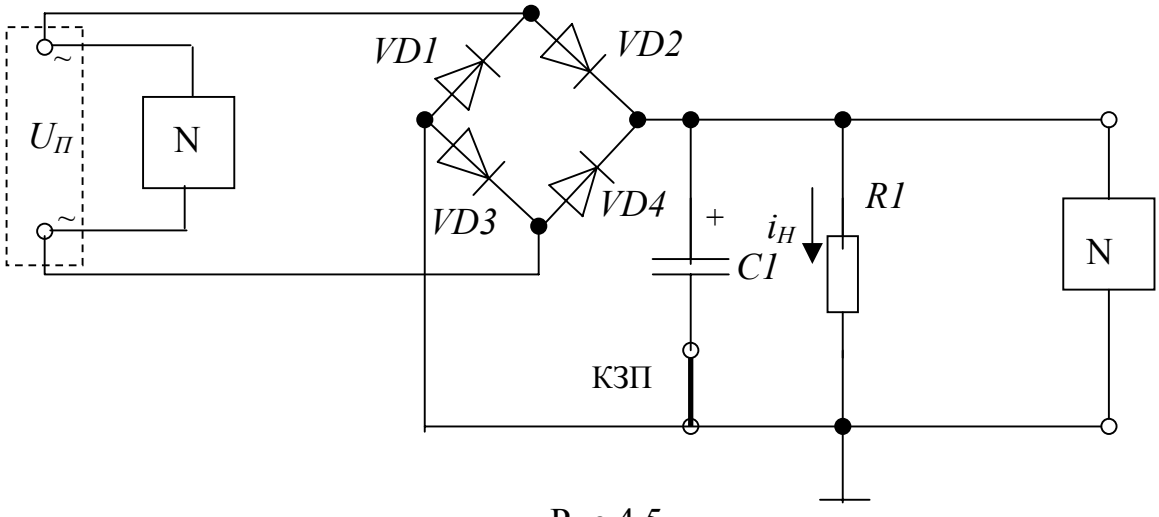


Рис.4.5

Отключить конденсатор *C1* и зарисовать форму выходного напряжения. Измерить амплитуду выходного напряжения. Почему она меньше, чем в предыдущей схеме? Посмотреть внимательно на форму выходного напряжения около нуля вольт. В связи с чем появились плоские участки? Измерить их длительность и дать объяснение. Составить временную диаграмму работы схемы.

Подключить параллельно сопротивлению нагрузки *R1* сглаживающий фильтр – конденсатор *C1*. Посмотреть, как изменилась форма выходного напряжения. Зарисовать эту осциллограмму другим цветом на той же координатной плоскости. Определить коэффициенты $K_П$ и $K_{СГ}$.

Заменить в схеме конденсатор *C1* на конденсатор *C2*. Как изменилась емкость фильтра? Посмотреть на форму выходного напряжения. Сделать вывод о влиянии емкости сглаживающего конденсатора на качество работы мостового выпрямителя. Определить коэффициенты $K_П$ и $K_{СГ}$.

Изменить величину нагрузки, подключив параллельно резистору *R1* резистор *R2*. Как изменилось сопротивление нагрузки? Сделать вывод о влиянии величины нагрузки на качество работы двухполупериодного мостового выпрямителя. Определить коэффициенты $K_П$ и $K_{СГ}$.

3.2.3. Исследование параметрического стабилизатора напряжения

Собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (рис.4.6).

Подготовить контрольно-измерительные приборы для измерения:

PV1 – входного напряжения $U_П$ ($U_{ВХ}$), В;

PA1 – общего тока $I_{ОБЩ}$, мА;

PA2 – тока нагрузки $I_Н$, мА;

PA3 – тока стабилизации $I_{СТ}$, мА;

PV2 – напряжения на сопротивлении нагрузки *R2* U_{R2} ($U_Н$), В.

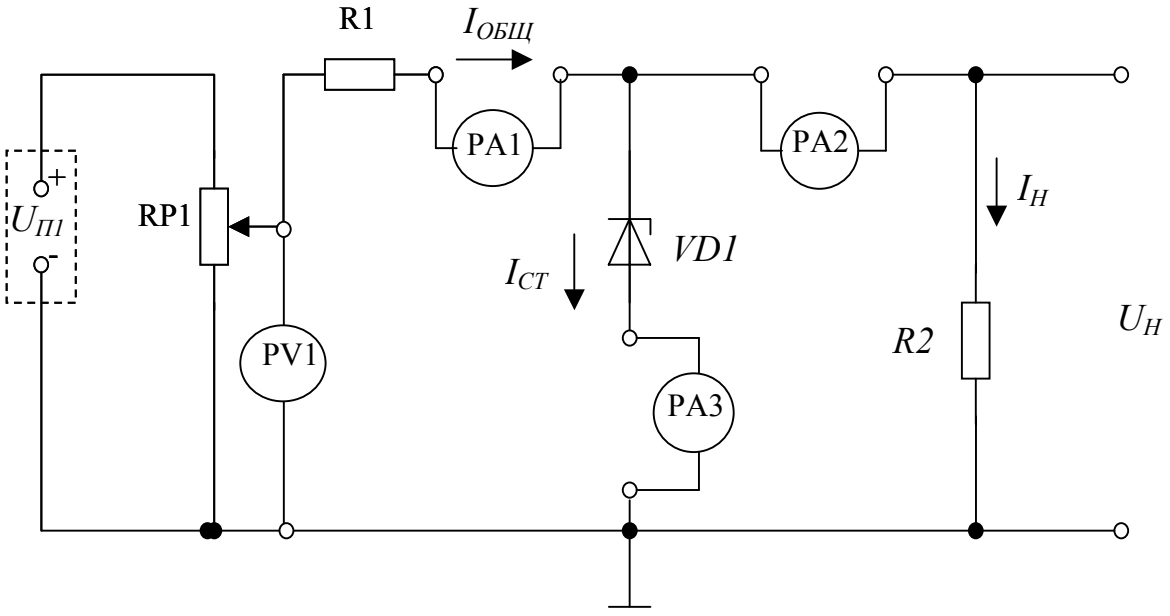


Рис.4.6

Для фиксированных значений входного напряжения $U_{П}$, задаваемых ручкой потенциометра RP 1, измерить:

$I_{ОБЩ}$ – общий ток;

$I_{Н}$ – ток нагрузки;

$I_{СТ}$ – ток стабилитрона;

U_{R2} – напряжение на нагрузке.

Результаты измерений свести в табл.4.1.

Таблица 4.1

$U_{П}(U_{ВХ})$, В	$U_{R2}(U_{Н})$, В	$I_{ОБЩ}$, мА	$I_{СТ}$, мА	$I_{Н}$, мА	U_{R1}, В	$P_{СТ}$, мВт	$P_{ВХ}$, мВт	η, %
2 4 . . .								

При использовании в работе одного комбинированного прибора для обеспечения работы схемы необходимо вместо отсутствующих миллиамперметров использовать короткозамкнутые перемычки.

Рассчитать падение напряжения на ограничительном резисторе *R1*:

$U_{R1} = U_{П} - U_{R2}$.

Определить мощность $P_{СТ}$, рассеиваемую на стабилитроне:

$P_{СТ} = I_{СТ} \cdot U_{R2}$.

Определить потребляемую мощность $P_{ВХ} = U_{ВХ} \cdot I_{ОБЩ}$ и коэффициент полезного действия $\eta = \frac{P_{СТ}}{P_{ВХ}} \cdot 100\%$.

Результаты расчетов занести в табл.4.1.

Сделать вывод о назначении резистора *R1* в параметрическом стабилизаторе напряжения.

Выключить лабораторную установку.

Построить зависимости $U_{Н} = f(I_{Н})$, $U_{Н} = f(U_{ВХ})$, $P_{СТ} = f(U_{ВХ})$ и $\eta = f(U_{ВХ})$.

По характеристике $U_{Н} = f(U_{ВХ})$ на участке стабилизации определить коэффициент стабилизации:

$$K_{СТ} = \frac{ДU_{ВХ}}{U_{ВХ}} : \frac{ДU_{Н}}{U_{Н}}.$$

По характеристике $U_{Н} = f(I_{Н})$ определить сопротивление $R = \frac{\Delta U_{Н}}{\Delta I_{Н}}$ и объяснить, чему соответствует это сопротивление.

Зафиксировать данные о номиналах резисторов *R1* и *R2* и типе стабилитрона. Составить эквивалентную схему параметрического стабилизатора и, используя справочные данные стабилитрона, оценить $K_{СТ}$ и $R_{ВЫХ}$ схемы параметрического стабилизатора.

4. Содержание отчета и требования к его оформлению

Отчет должен быть выполнен аккуратно с соблюдением ГОСТов ЕСКД на принципиальные схемы. Графики полученных зависимостей должны быть представлены на миллиметровой бумаге. Отчет должен содержать:

1) схемы испытаний;

2) данные измерений в виде таблиц и соответствующих графиков;

3) временные диаграммы работы выпрямителей и сравнение схем выпрямителей между собой;

4) расчет коэффициентов сглаживания в обоих типах схем выпрямителей и выводы из их анализа;

5) эквивалентную схему параметрического стабилизатора и расчет параметров $K_{СТ}$ и $R_{ВЫХ}$;

6) выводы по проведенным исследованиям: сравнение схем выпрямителей по построению и по полученным параметрам; сравнение экспериментальных и расчетных данных для параметрического стабилизатора.

5. Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия параметрического стабилизатора напряжения.

2. Каков принцип действия выпрямителей?

3. Сравните однополупериодную и двухполупериодную (мостовую) схему выпрямителей.

4. Как влияет тип нагрузки на работы выпрямителя?

5. Что такое $K_{СГ}$ выпрямителя с фильтром, и как его определяют теоретически и экспериментально?

6. Что такое $K_{СТ}$ параметрического стабилизатора, каков его физический смысл?

7. От чего зависит η стабилизатора, и как можно повысить его значение?

8. Каково $R_{ВЫХ}$ схем выпрямителей на разных участках периода выходного напряжения, и от чего оно зависит? Ответ пояснить с помощью эквивалентных схем.

9. Каковы методы улучшения работы параметрических стабилизаторов с целью получения $K_{СТ\,MAX}$, η_{MAX}, высокой температурной стабильности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.
ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Целью лабораторной работы является экспериментальное исследование и анализ работы однокаскадных усилителей переменного тока, выполненных на биполярных транзисторах по схемам с общим эмиттером и общим коллектором.

1. Краткие теоретические сведения

Режимы работы усилительных каскадов зависят от способа включения и параметров усилительных элементов, а также построения питающих цепей и расположения точки покоя на нагрузочной линии, построенной на выходных ВАХ транзисторов.

Для стабилизации режима работы применяют различные способы, основанные на использовании местной и общей обратной связи, а также компенсационных элементов, например диодов.

При расчете параметров каскадов используются параметры транзисторов, найденные по справочным данным.

1.1. Каскад с общим эмиттером (рис.5.1)

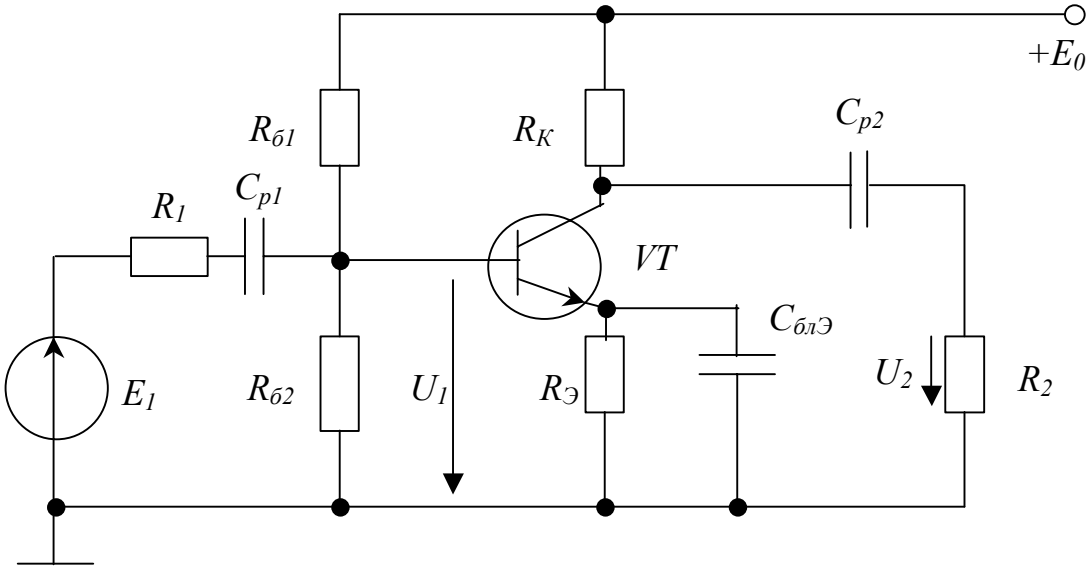


Рис.5.1

Входное сопротивление каскада в рабочем диапазоне частот (на средних частотах)

$$R_{BX} = \frac{R_б h_{11Э}}{R_б + h_{11Э}}, \qquad (5.1)$$

где сопротивление в цепи базы определяется по формуле

$$R_б = \frac{R_{б1} R_{б2}}{R_{б1} + R_{б2}}, \qquad (5.2)$$

а входное сопротивление транзистора

$$h_{11Э} = r_б + r_{б'Э} = \frac{h_{21Э}}{г \cdot I_K} + r_{б'Э} = r_б + r_Э(1 + h_{21Э}) . \quad (5.3)$$

Значения $h_{21\,Э}$, $h_{11\,Э}$ и $r_{б'Э}$ определяют из справочников, а γ =25 $В^{-1}$ для кремниевых транзисторов.

Ток коллектора I_K определяет выбранный режим работы транзистора по постоянному току.

Глубина местной обратной связи по току, используемой для эмиттерной стабилизации точки покоя, каскада с общим эмиттером (рис.5.1)

$$F = 1 + \frac{h_{21Э} R_Э}{R_Э + R_б + h_{11Э}} . \quad (5.4)$$

Сопротивление нагрузки рассматриваемого каскада для переменного тока

$$R_H = \frac{R_K R_2}{R_K + R_2} . \quad (5.5)$$

Выходное сопротивление каскада

$$R_{ВЫХ} = \frac{R_K h_{22Э}^{-1}}{R_K + h_{22Э}^{-1}} .$$

Коэффициент усиления для области средних частот без учета делителя

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{h_{21Э} R_H}{h_{11Э}} , \quad (5.6)$$

а коэффициент усиления по ЭДС E_1 с учетом делителя напряжения $R_б$ и внутреннего сопротивления источника входного сигнала R_1

$$K_E = \frac{U_2}{E_1} = \frac{R_{BX} h_{21Э} R_H}{h_{11Э}(R_1 + R_{BX})} . \quad (5.7)$$

1.2. Каскад с общей базой (рис.5.2)

Входное сопротивление каскада

$$R_{BX} = \frac{R_Э h_{11Э}}{h_{11Э} + h_{21Э} R_Э} . \quad (5.8)$$

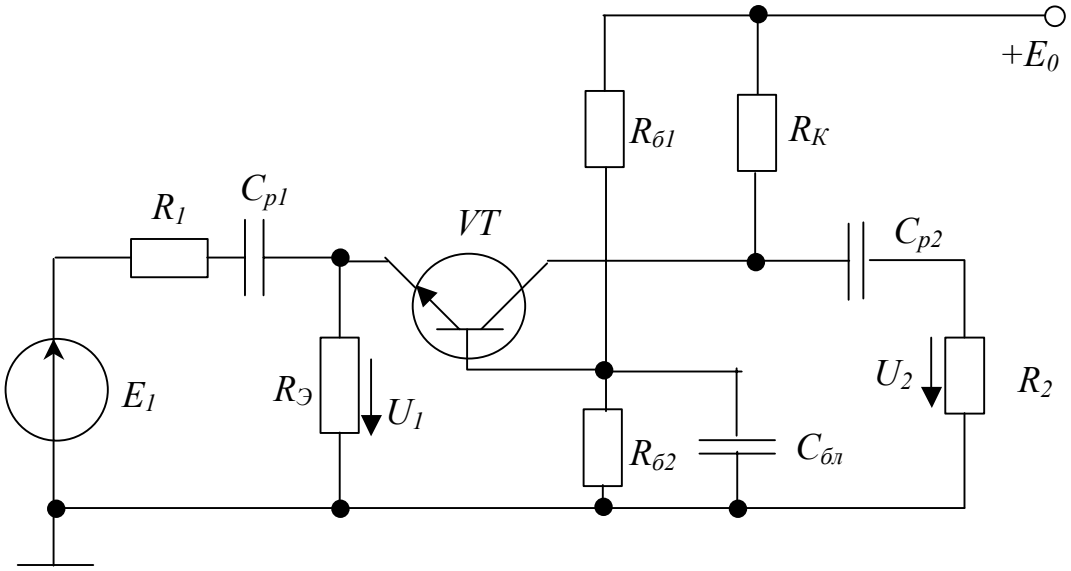


Рис.5.2

Выходное сопротивление $R_{ВЫХ} = \dfrac{R'_{ВЫХ} R_K}{R_K + R'_{ВЫХ}}$,

где $R'_{ВЫХ} = \dfrac{1 + \dfrac{h_{21Э} R_Г}{h_{11Э} + R_б}}{h_{22Э}}$. (5.9)

В выражении (5.9) учитывается эквивалентное сопротивление

$$R_Г = \frac{R_1 R_Э}{R_1 + R_Э}. \quad (5.10)$$

Коэффициент усиления для области средних частот определяется по формуле (5.6), а коэффициент усиления по ЭДС E_1

$$K_E = \frac{K R_{ВХ}}{R_1 + R_{ВХ}}. \quad (5.11)$$

1.3. Каскад с общим коллектором (рис.5.3)

Сопротивление нагрузки каскада

$$R_H = \frac{R_2 R_Э}{R_2 + R_Э}. \quad (5.12)$$

Входное сопротивление

$$R_{ВХ} = \frac{(h_{11Э} + R_H h_{21Э}) R_б}{h_{11Э} + h_{21Э} R_Э + R_б}, \quad (5.13)$$

где $R_б$ определяется по формуле (5.2).

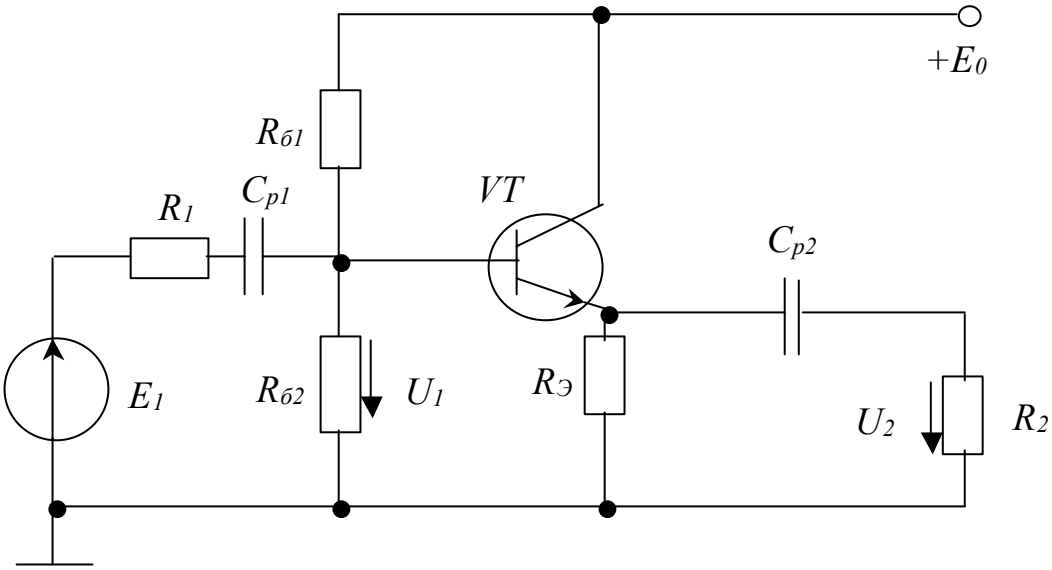


Рис.5.3

Выходное сопротивление

$$R_{ВЫХ} = \frac{R_Г + h_{11Э}}{h_{21Э}}, \qquad (5.14)$$

где $R_Г = \frac{R_1 R_б}{R_1 + R_б}$. (5.15)

Коэффициент усиления

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{h_{21Э} R_H}{h_{11Э} + h_{21Э} R_H}, \qquad (5.16)$$

при этом коэффициент усиления по ЭДС находится по формуле (5.11).

1.4. Назначение элементов в усилительных каскадах

Для обеспечения статического режима работы транзистора используется источник коллекторного питания E_0, полярность которого зависит от типа транзистора: $+E_0$ для VT типа n-p-n и $-E_0$ для VT типа p-n-p. Выбор точки покоя транзистора с координатами $I_{б0}, U_{бэ0}, I_{к0}, U_{кэ0}$ выполняется как путем задания фиксированного входного тока базы $I_{б0}$, так и путем задания фиксированного потенциала базы. В рассмотренных схемах (рис.5.1, 5.2, 5.3) для выбора рабочей точки использован делитель в цепи базы $R_{б1}$ и $R_{б2}$, обеспечивающий фиксированный потенциал базы.

Стабилизация статического режима обеспечена элементом отрицательной обратной связи $R_Э$, который в схеме включения с ОЭ (рис.5.1) зашунтирован блокировочным конденсатором $C_{блЭ}$, исключающим отрицательную обратную связь по переменной составляющей.

Для обеспечения режима передачи сигнала по переменному току (от источника E_1) введением разделительных конденсаторов $C_{р1}$ и $C_{р2}$ исключа-

ется влияние постоянного напряжения от источника E_0 на нагрузку и на источник входного сигнала.

Для передачи гармонических сигналов при этом обеспечивается приведенный на рис.5.4 вид амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), представляющей собой зависимость модуля комплексного коэффициента передачи (усиления) от частоты.

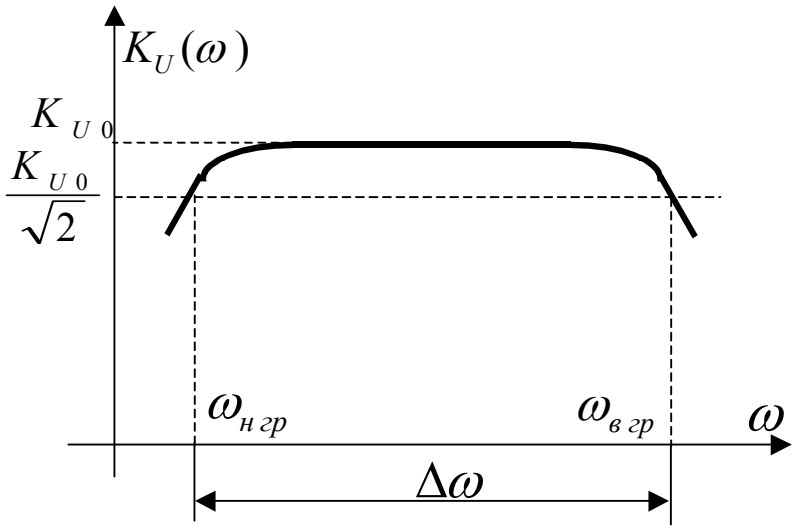


Рис.5.4

На графике (рис.5.4) приведена частотная зависимость модуля коэффициента усиления по напряжению $K_U(\omega)$, по которой определяется максимальный постоянный коэффициент усиления на средних частотах K_{U0}. Рабочий диапазон частот каскада $\Delta\omega$ ограничивают характерные частоты $\omega_{н\,гр}$ и $\omega_{в\,гр}$, называемые нижней и верхней граничными частотами, на которых коэффициент усиления по напряжению уменьшается в $\sqrt{2}$ раз, т.е.

$$K_U(\omega_{н\,гр}) = K_U(\omega_{в\,гр}) = \frac{K_{U0}}{\sqrt{2}}.$$

Каждой частоте соответствует своя зависимость амплитуды выходного напряжения от входного (рис.5.5), чаще всего определяемая для средней частоты $\omega_0 = \sqrt{\omega_{н\,гр} \cdot \omega_{в\,гр}}$ и имеющая линейный рабочий участок АВ, за пределами которого выходной сигнал ограничен по амплитуде.

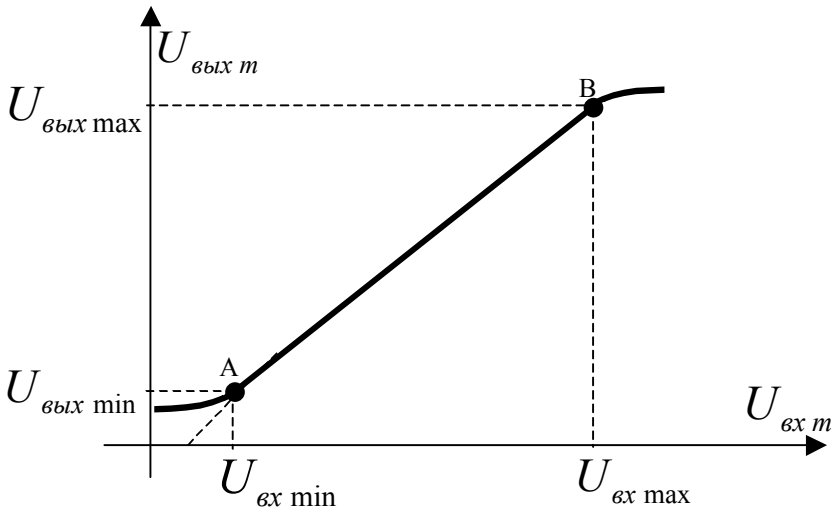
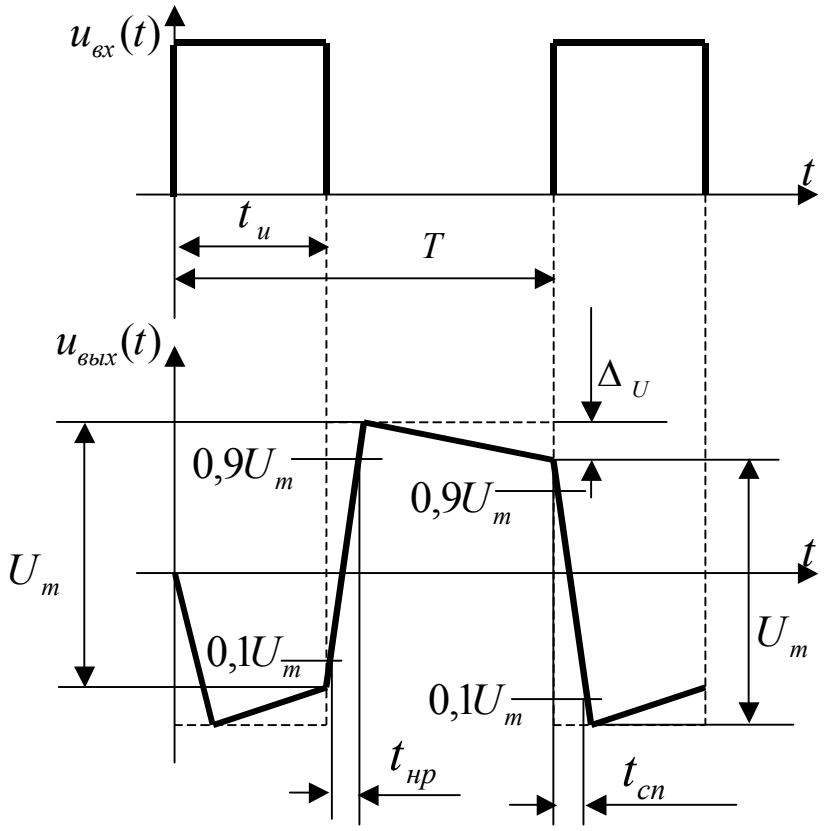


Рис.5.5

При прохождении импульсных сигналов $u_{вх}(t)$ прямоугольной формы, например, через схему с ОЭ (рис.5.1) на ее выходе возникают искажения формы сигнала: спад крыши импульса Δ_U и конечная длительность фронтов $t_{фр}$ (рис.5.6). Обусловлены эти искажения формы прямоугольного сигнала наличием в схеме усилительного каскада реактивных элементов C_{p1} и C_{p2}, цепи эмиттерной стабилизации $R_Э$ и $C_{блЭ}$, а также инерционными свойствами активного элемента – биполярного транзистора, у которого коэффициент передачи по току в операторной форме определяется выражением

$$H_{21\,Э}(p) = \frac{h_{21\,Э}}{1 + p \cdot \tau_{h21\,Э}},$$

где $\tau_{h21\,Э} = \dfrac{1}{2\pi f_{h21\,Э}}$ - постоянная времени биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером, а $f_{h21\,Э}$ - справочная величина, соответствующая частоте, на которой коэффициент передачи равен $H_{21}(f_{h21\,Э}) = \dfrac{h_{21\,Э}}{\sqrt{2}}$.



$$\Delta = \frac{\Delta_U}{U_m} = \frac{t_и}{\tau_{нч}}$$

$$\tau_{нч} = \frac{1}{\omega_{н\,гр}}$$

$$\tau_{вч} = \frac{1}{\omega_{в\,гр}}$$

$$t_{фр} = 2{,}2 \cdot \tau_{вч}$$

Рис.5.6

2. Оборудование для проведения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используются: лабораторная установка ЛУ-2 “Биполярные транзисторы”, электронный осциллограф, приборы для измерения тока и напряжения. На лицевой панели лабораторной установки приведены схемы для исследования ВАХ транзистора и однокаскадного усилителя, содержащие необходимые элементы управления и регуляторы для установки заданных значений напряжений. На схемах предусмотрены гнезда для установки короткозамкнутых перемычек (КЗП) и подключения контрольно-измерительных приборов (миллиамперметров, вольтметров, осциллографа).

3. Содержание и порядок выполнения работы

3.I. Задание на выполнение лабораторной работы

1. Ознакомиться с принципиальными электрическими схемами, приведенными на лицевой панели лабораторной установки ЛУ-2 и правилами пользования контрольно-измерительными приборами, которые используются при проведении данной лабораторной работы.

2. Исследовать работу усилительного каскада, выполненного на биполярном транзисторе типа n-p-n по схеме с общим эмиттером и рассчитать его показатели.

3. Исследовать эмиттерный повторитель и рассчитать его показатели.

3.2. Методические рекомендации по выполнению задания

1. Исследование работы усилительного каскада, выполненного на биполярном транзисторе типа n–p–n по схеме с общим эмиттером, и расчет его показателей.

Используя КЗП, собрать схему усилительного каскада (рис.5.7).

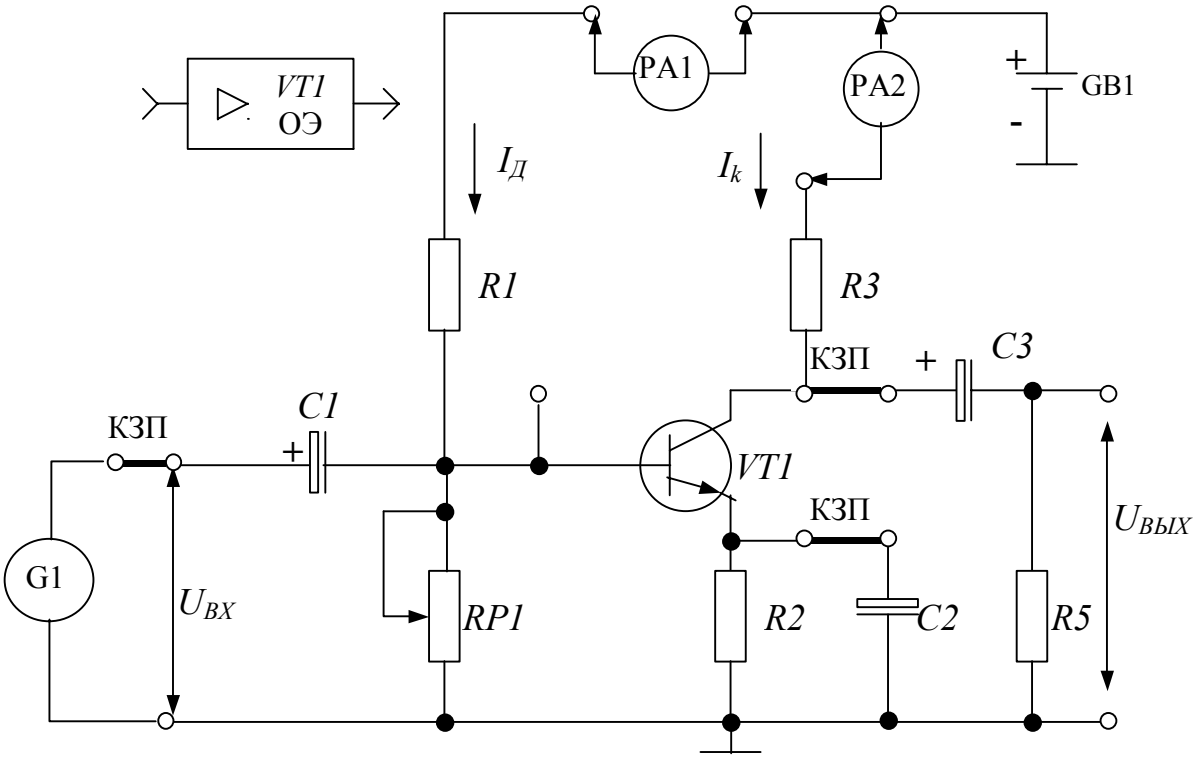


Рис.5.7

Измерить напряжение источника GBI. Подключить вольтметр к коллектору транзистора *VT1* и с помощью потенциометра *RP1* установить $U_{КЭ}$, равное половине ЭДС источника GB1 (запомнить положение ручки *RP1*, которое соответствует данному напряжению).

Измерить при отключенном источнике входных сигналов G1, т.е. в режиме постоянного тока:

а) ток делителя $I_Д$ миллиамперметром PA1;

б) статический ток коллектора I_k (для этого вместо КЗП в цепи коллектора подключить миллиамперметр PA2);

в) напряжение на базе $U_{\sigma Э}$ в статическом режиме.

Подключить осциллограф к выходу генератора сигналов G1 и убедиться в его исправности (путем наблюдения осциллограмм непрерывных и импульсных сигналов, изменяя их амплитуду ручкой потенциометра Um_{BX}). Подключить осциллограф параллельно сопротивлению нагрузки R_5 для наблюдения формы выходного напряжения.

Используя КЗП, подключить G1, подать на вход усилителя непрерывный сигнал синусоидальной формы и получить, изменяя амплитуду входного напряжения потенциометром Um_{BX}, осциллограмму выходного напряжения с максимальной амплитудой при минимальных искажениях ее формы. Измерив ос-

циллографом $Um_{ВЫХ}$ и $Um_{ВХ}$, рассчитать коэффициент усиления каскада по напряжению $K_U = Um_{ВЫХ}/ Um_{ВХ}$.

Определить $R_Г$, замерив ЭДС генератора G1 на холостом ходу $e_{ГХХ}$ и ту же величину на фиксированном резисторе нагрузки. Рассчитать $R_Г$ по формуле $e_{ГR} = e_{ГХХ} R/(R_Г+R)$. Аналогично определить $R_{ВХ}$ и $R_{ВЫХ}$ усилителя и сравнить его с ранее найденным $R_{ВЫХ}$.

Измерить миллиамперметром PA2 действующее значение I_k выходного тока. Рассчитать выходное сопротивление каскада $R_{ВЫХ} = U_{ВЫХ} / I_{ВЫХ}$, где $U_{ВЫХ} = Um_{ВЫХ} / \sqrt{2}$.

Вместо *R3* подключить в цепь коллектора *R4*. Как изменились коэффициент усиления и выходное сопротивление?

Изменить положение рабочей точки, изменяя напряжение $U_{\sigma Э}$ потенциометром *RP1*. Посмотрев на форму выходного напряжения, определить, к чему это привело. Объяснить, почему происходит искажение выходного сигнала.

Ручкой *RP1* вернуть рабочую точку в исходное положение. В цепи коллектора установить *R3*. Снять и построить амплитудную характеристику усилительного каскада $Um_{ВЫХ} = f(Um_{ВХ})$, изменяя $Um_{ВХ}$ от нулевого значения до значения, при котором наблюдается заметное искажение формы выходного сигнала. По амплитудной характеристике определить динамический диапазон работы усилителя ($D_{UBX} = U_{BXmax}/U_{BXmin}$).

Вернуть рабочую точку в исходное положение. Подать на вход усилителя импульсы прямоугольной формы (переключить AI в положение “П”). Посмотреть форму входного сигнала на базе *VT1* (обратить внимание на полярность импульсов), а затем подключить осциллограф для наблюдения формы выходного напряжения. Что произошло с выходным сигналом? Составить временную диаграмму. Измерить время установления и относительный спад вершины импульса, рассчитать по этим значениям полосу пропускания усилителя, предварительно оценив нижнюю и верхнюю граничные частоты.

2. Исследование эмиттерного повторителя и расчет его параметров.

Используя КЗП, собрать схему (рис.5.8) эмиттерного повторителя, т.е. усилительного каскада, построенного на биполярном транзисторе по схеме с общим коллектором.

Подать на вход эмиттерного повторителя импульсы прямоугольной формы, измерить их амплитуду и запомнить полярность. Измерить амплитуду выходных импульсов. Как изменилась полярность выходного сигнала? Составить временную диаграмму. Определить все искажения выходного сигнала и рассчитать по ним рабочий диапазон частот эмиттерного повторителя, предварительно оценив нижнюю и верхнюю граничные частоты.

Подать на вход эмиттерного повторителя непрерывный сигнал синусоидальной формы. Измерить с помощью осциллографа амплитуды сигнала $Um_{ВХ}$ и $Um_{ВЫХ}$. Рассчитать $K_U = Um_{ВЫХ}/ Um_{ВХ}$ коэффициент усиления по напряжению. Изменяя амплитуду $Um_{ВХ}$ от нулевого значения до максимального, снять и по-

строить амплитудную характеристику $Um_{ВЫХ} = f(Um_{ВХ})$ каскада с ОК. Каков динамический диапазон этого каскада по сравнению с каскадом с ОЭ?

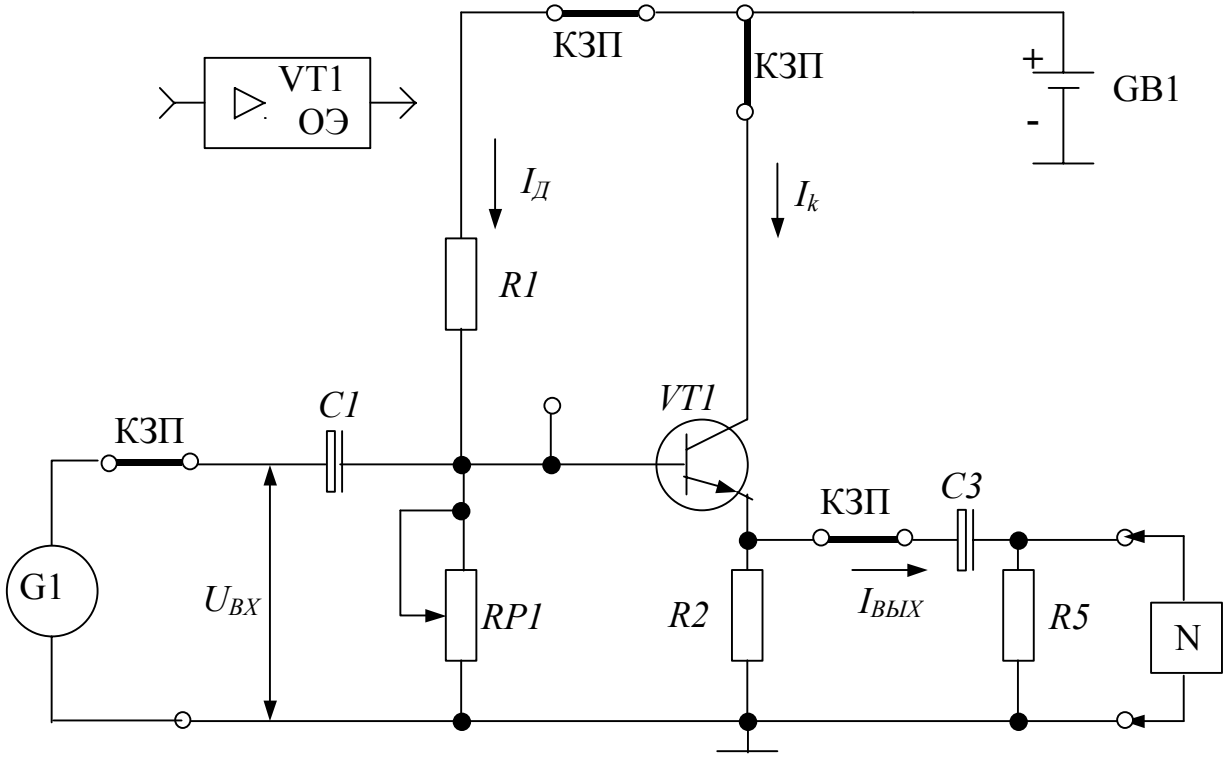


Рис.5.8

Определить $R_Г$, замерив ЭДС генератора G1 на холостом ходу $e_{ГХХ}$ и ту же величину на фиксированном резисторе нагрузки. Рассчитать $R_Г$ по формуле $e_{ГR} = e_{ГХХ}\, R/(R_Г+R)$. Аналогично определить $R_{ВХ}$ и $R_{ВЫХ}$ усилителя и сравнить его с ранее найденным $R_{ВЫХ}$.

Измерить действующее значение выходного тока и рассчитать выходное сопротивление этого каскада $R_{ВЫХ} = U_{ВЫХ}/ I_{ВЫХ}$, где $U_{ВЫХ} = Um_{ВЫХ}/\sqrt{2}$.

Сравнить показатели эмиттерного повторителя и усилительного каскада, собранного по схеме с общим эмиттером.

Посмотреть, как будет меняться форма выходного напряжения при изменении положения рабочей точки (*RP1*).

4. Содержание отчета и требования к его оформлению

Отчет должен быть выполнен аккуратно с соблюдением ГОСтов ЕСКД на принципиальные схемы. Графики полученных зависимостей должны быть представлены на миллиметровой бумаге. Отчет должен содержать:

1) принципиальные электрические схемы испытаний;

2) данные измерений в виде таблиц и соответствующих графиков, а также временные диаграммы;

3) расчет параметров $R_{вх}$, $R_{вых}$, K_U для обоих каскадов;

4) результаты расчета и сравнительную оценку показателей усилительных каскадов, собранных по схеме с общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК);

5) выводы по каждому пункту задания с анализом результатов исследований.

5 Контрольные вопросы

1. Почему каскад с общим эмиттером переворачивает фазу сигнала, а остальные каскады не переворачивают?

2. Каковы свойства каскадов ОБ, ОК, ОЭ по входным сопротивлениям, по коэффициентам передачи?

3. Как выглядят амплитудно-частотные и переходные характеристики транзисторов разных схем включения (ОЭ, ОБ, ОК)?

4. Как осуществляется термостабилизация в схемах каскадов?

5. Почему рабочий диапазон частот каскада с ОК шире рабочего диапазона частот каскада с ОЭ?

6. Как объяснить вид АЧХ усилительных каскадов с ОЭ и ОК?

7. Почему динамический диапазон каскада с ОК больше динамического диапазона каскада с ОЭ?

8. Чем объясняется наличие ограничений выходного сигнала при большой амплитуде входного гармонического сигнала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.
ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Целью лабораторной работы является экспериментальное исследование и анализ показателей однокаскадных усилителей, выполненных на полевых транзисторах с p-n-затвором и каналом n-типа по схеме с общим истоком и по схеме с общим стоком (истокового повторителя).

1. Краткие теоретические сведения

В настоящее время широкое распространение получили усилительные каскады на ПТ, так как они обладают значительно большим входным сопротивлением, чем усилительные каскады на биполярных транзисторах. Наиболее часто используют усилительный каскад с общим истоком (ОИ), схема которого приведена на рис.6.1.

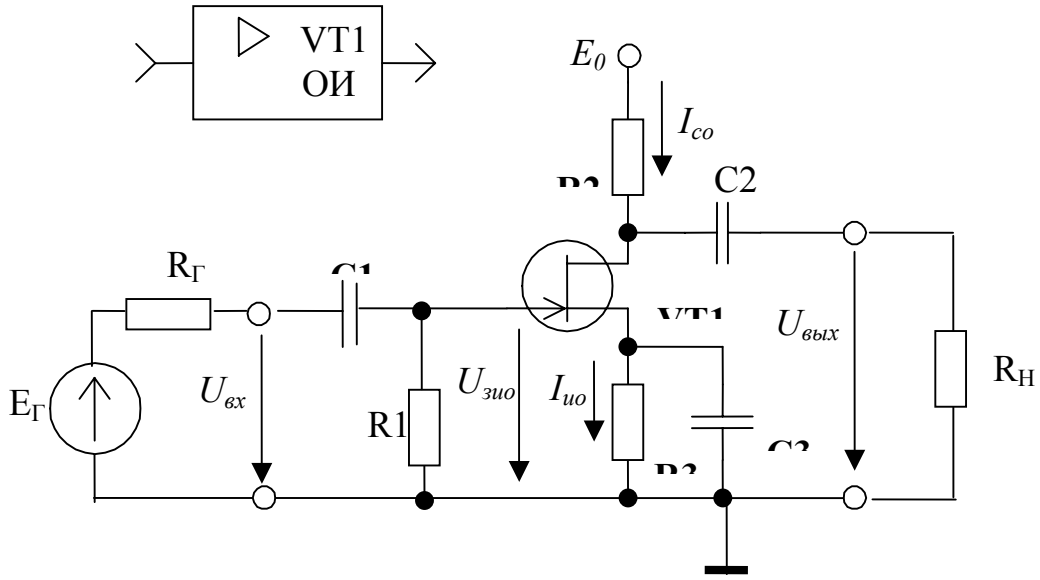


Рис.6.1

В этом каскаде резистор *R2*, на котором выделяется выходной сигнал, включён в цепь стока. В цепь истока включён резистор *R3*, на котором создаётся необходимое падение напряжения в режиме покоя $U_{зио}$, являющееся напряжением смещения между затвором и истоком. Резистор *R1* в цепи затвора обеспечивает в режиме покоя равенство потенциала затвора и общей точки усилительного каскада. Следовательно, потенциал затвора ниже потенциала истока на величину падения напряжения на резисторе *R3* от постоянной составляющей тока $I_{ио}$.

При подаче на вход переменного напряжения в канале ПТ появляются переменные составляющие тока истока $I_и$ и тока стока $I_с$, причём $I_с \approx I_и$. За счёт падения напряжения на резисторе *R3* от переменной составляющей тока $I_и$ пе-

ременная составляющая напряжения между затвором и истоком, усиливаемая ПТ, может быть значительно меньше входного напряжения

$$U_{зи} = U_{вх} - I_u \cdot R3. \quad (6.1)$$

Это явление, называемое отрицательной обратной связью, приводит к уменьшению коэффициента усиления усилительного каскада. Для его устранения параллельно резистору *R3* включают конденсатор *C3*, сопротивление которого на самой низкой частоте усиливаемого напряжения должно быть во много раз меньше сопротивления резистора *R3*. При этом условии падение напряжения от тока I_u на цепочке *R3-C3*, называемой звеном автоматического смещения, очень маленькое, так что по переменной составляющей тока исток можно считать соединённым с общей точкой усилительного каскада.

Выходное напряжение снимается через конденсатор связи *C2* между стоком и общей точкой каскада, т.е. оно равно переменной составляющей напряжения между стоком и истоком.

Сопротивление резистора *R3* цепочки автоматического смещения определяется по формуле

$$R3 = \frac{|U_{зио}|}{I_{со}}. \quad (6.2)$$

Емкость конденсатора *C3* рассчитывается по формуле:

$$C3 = \frac{10 \div 20}{2 \cdot \pi \cdot f_{нгр} \cdot R3}, \quad (6.3)$$

где $f_{нгр}$ – нижняя граничная частота усиливаемого сигнала; *R3* – сопротивление резистора в цепи истока.

При подаче на вход усилительного каскада переменного напряжения $U_{вх}$ появляется переменная составляющая тока стока I_c. Изменение этого тока приводит к изменению напряжения $U_{си}$ между стоком и истоком; его переменная составляющая, численно равная и противоположная по фазе падению напряжения на резисторе *R2*, является выходным напряжением каскада

$$U_{вых} = - I_c \cdot R2. \quad (6.4)$$

Из формулы (6.4) следует, что выходное напряжение противофазно входному, причём оно значительно больше его, так как напряжение в цепи стока значительно больше, чем в цепи затвора.

Коэффициент усиления по напряжению определяется следующим образом:

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = S \cdot \frac{r_i \cdot R_c}{r_i + R_c}, \quad (6.5)$$

где $R_c = R2$, r_i и S – параметры VT в рабочей точке.

Входное сопротивление ПТ, т.е. сопротивление между затвором и истоком имеет значение близкое к 10^8 Ом, поэтому входное сопротивление рассматриваемого усилительного каскада определяется сопротивлением резистора *R1*, который подключен параллельно входным зажимам ПТ:

$$R_{вх} \approx R1 = 10^5 \div 10^6 \text{ Ом}. \quad (6.6)$$

Выходное сопротивление современных ПТ, т.е. сопротивление между стоком и истоком, имеет значение около $10^4 \div 10^5$ Ом, поэтому выходное сопротивление усилительного каскада на ПТ определяется сопротивлением резистора *R2*:

$$R_{вых} = \frac{r_i \cdot R_c}{r_i + R_c} \approx R2 = 10^3 \div 10^4 \text{ Ом}, \qquad (6.7)$$

т.е. $R_{вых} < R_{вх}$, что является важным преимуществом усилительных каскадов на ПТ.

Помимо каскадов с общим истоком применяют усилительные каскады с общим стоком (рис.6.2).

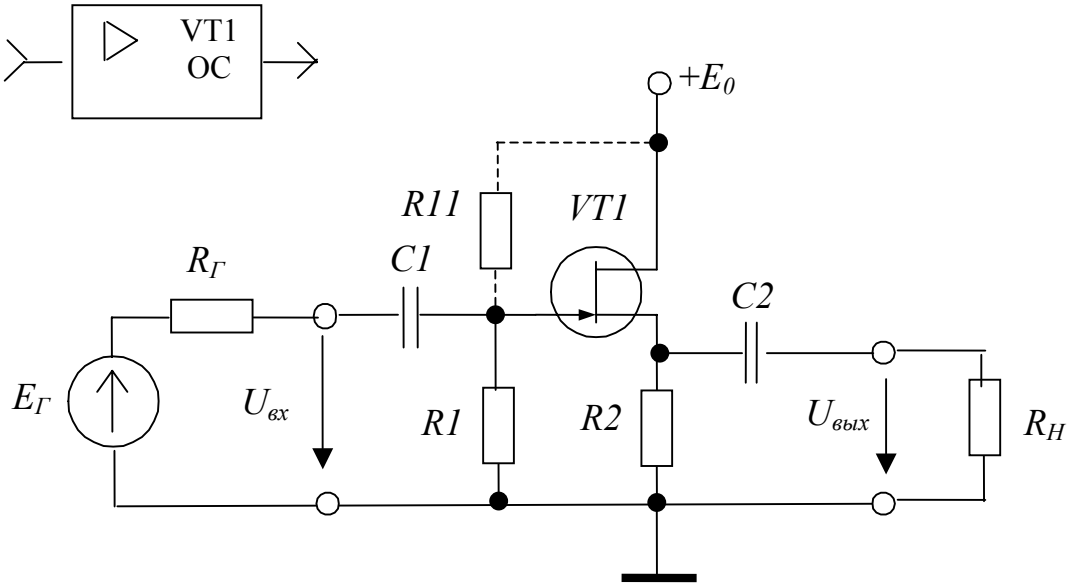


Рис.6.2

В этом каскаде нагрузочный резистор *R2* включён в цепь истока, а сток по переменным составляющим тока и напряжения соединён с общей точкой усилителя. Выходное напряжения, равное переменной составляющей падения напряжения на резисторе *R2*, снимается через конденсатор связи *C2*.

Усилительный каскад на ПТ с общим стоком аналогичен по своим свойствам эмиттерному повторителю. Он обладает большими входным сопротивлением и коэффициентом усиления по току, малым выходным сопротивлением. Его коэффициент передачи напряжения близок к единице, фаза выходного напряжения практически равна фазе входного напряжения (при чисто активной нагрузке на средних частотах). Данный каскад называется истоковым повторителем.

Истоковые повторители так же, как и эмиттерные повторители, чаще всего применяют в качестве вспомогательных усилительных каскадов для согласования высокоомных источников усиливаемого напряжения с низкоомными нагрузочными устройствами.

Входное сопротивление рассматриваемого каскада рассчитывается по формуле (6.6), а при наличии *R11* (на рис.6.2 цепь включения *R11* показана пунктиром) по формуле

$$R_{BX} = \frac{R11 \cdot R1}{R11 + R1}.$$

Сопротивление источника сигнала каскада составляет

$$R_{И} = \frac{R_{Г} \cdot R_{BX}}{R_{Г} + R_{BX}}, \qquad (6.8)$$

а сопротивление нагрузки транзистора для переменного тока определяется как

$$R'_{H} = \frac{R_{И} \cdot R2}{R_{И} + R2}. \qquad (6.9)$$

Выходное сопротивление транзистора в схеме истокового повторителя

$$R_{ВЫХ\ VT} = \frac{1}{S}, \qquad (6.10)$$

а выходное сопротивление каскада повторителя

$$R_{ВЫХ} = \frac{r_i \cdot R2}{r_i + (1+\mu) \cdot R2} \approx \frac{R2}{1 + SR2}, \qquad (6.11)$$

где $\mu = S \cdot r_i$ - коэффициент усиления напряжения транзистором.

Коэффициент усиления по напряжению истокового повторителя

$$K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{BX}} = \frac{\mu \cdot R'_H}{r_i + (1+\mu) \cdot R'_H} \approx \frac{S \cdot R'_H}{1 + S \cdot R'_H}. \qquad (6.12)$$

Аналогичные параметры могут быть определены и для каскада (рис.6.3) с общим затвором (ОЗ):

- внутреннее сопротивление источника сигнала

$$R_{И} = \frac{R1 \cdot R_{Г}}{R1 + R_{Г}}; \qquad (6.13)$$

- входное сопротивление каскада

$$R_{BX} = \frac{R1}{1 + S \cdot R1}; \qquad (6.14)$$

- выходное сопротивление

$$R_{ВЫХ} = (1 + S \cdot R_{И}) \cdot r_i, \qquad (6.15)$$

где r_i - выходное сопротивление полевого транзистора, определяемое по справочникам;

- коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{(\mu+1) \cdot R'_H}{r_i + R'_H} \approx S \cdot R'_H, \qquad (6.16)$$

где R'_H рассчитывается по формуле (6.3).

Коэффициент усиления по ЭДС

$$K_E = \frac{U_{вых}}{E_Г} = \frac{K_U \cdot R_{BX}}{R_Г + R_{BX}} . \qquad (6.17)$$

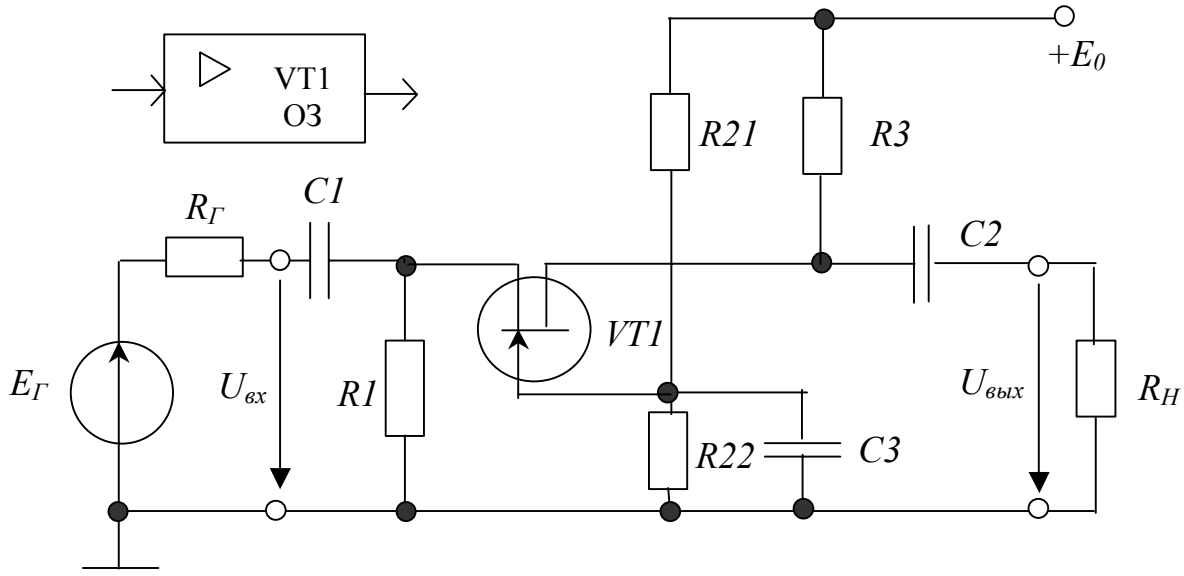


Рис.6.3

По основным показателям работы рассмотренные каскады близки к каскадам на биполярных транзисторах: каскад с ОИ соответствует каскаду с ОЭ, каскад с ОС - каскаду с ОК, а каскад с ОЗ – каскаду с ОБ. Все каскады имеют амплитудные характеристики (рис.6.4)

$$U_{вых\ m} = f(U_{вх\ m})$$

на фиксированной частоте, частотные характеристики (рис.6.5), соответствующие усилителям переменных сигналов, и временные характеристики (рис.6.6), обуславливающие искажения при передаче сигналов прямоугольной формы. Фазопереворачивающими свойствами обладает только каскад с ОИ.

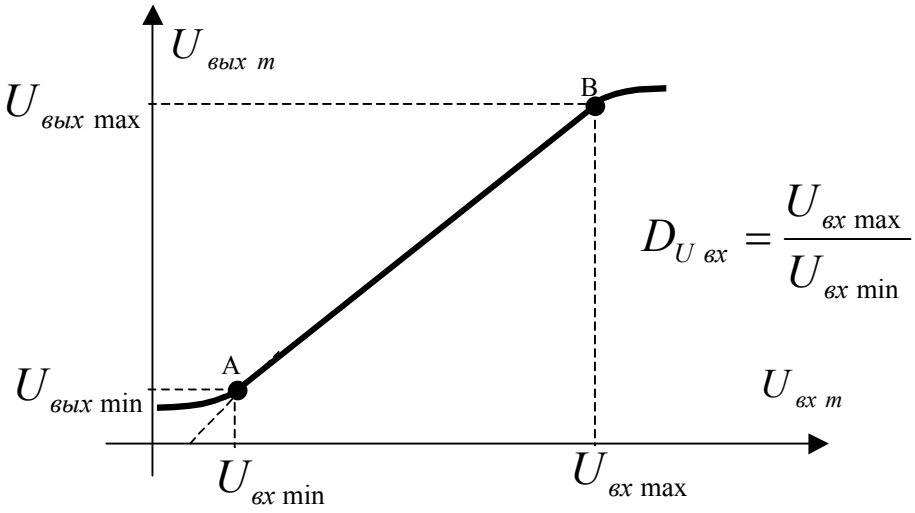


Рис.6.4

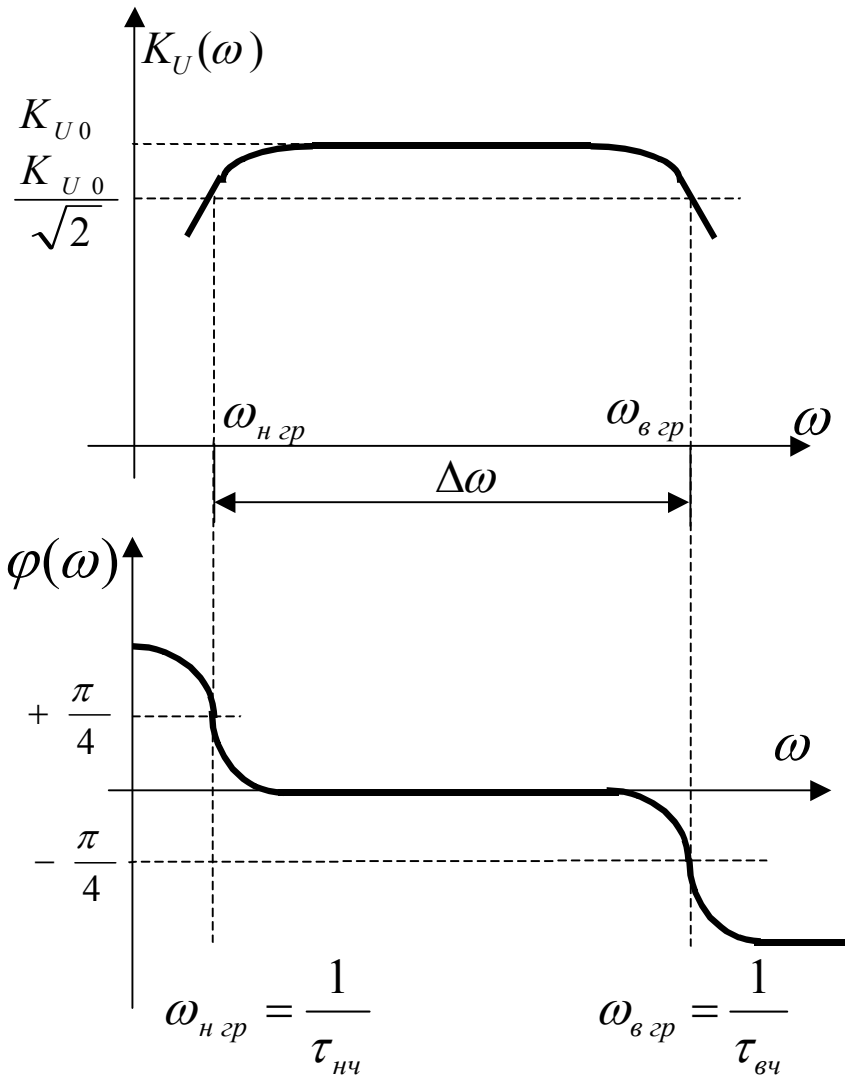
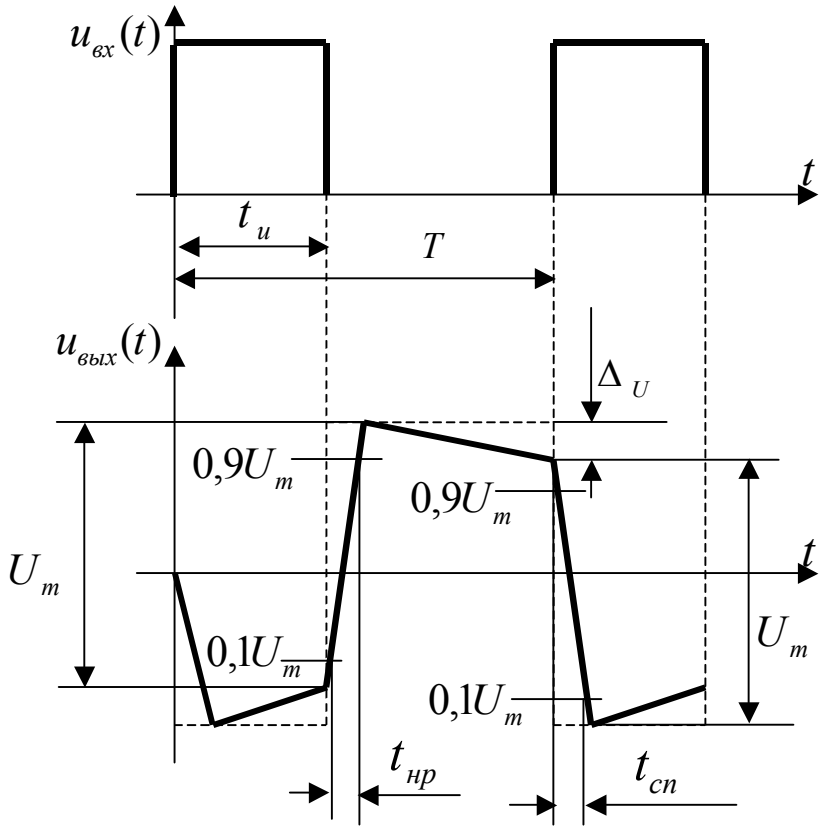

$K_U(\omega)$
K_{U0}
$\frac{K_{U0}}{\sqrt{2}}$
$\omega_{н\,гр}$
$\omega_{в\,гр}$
ω
$\Delta\omega$
$\varphi(\omega)$
$+\frac{\pi}{4}$
$-\frac{\pi}{4}$
ω
$\omega_{н\,гр}=\frac{1}{\tau_{нч}}$
$\omega_{в\,гр}=\frac{1}{\tau_{вч}}$

Рис.6.5.



$$\Delta = \frac{\Delta_U}{U_m} = \frac{t_и}{\tau_{нч}}$$

$$t_{фр} = 2{,}2 \cdot \tau_{вч}$$

Рис.6.6

2. Оборудование для проведения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используются: лабораторная установка ЛУ-3 “Полевые транзисторы”, электронный осциллограф, приборы для измерения тока и напряжения. На лицевой панели лабораторной установки ЛУ-3 приведена схема для испытания полевого транзистора с управляющим p-n-переходом и исследования усилительных каскадов, содержащая регуляторы для установки заданных значений напряжений, элементы управления и гнёзда для установки короткозамкнутых перемычек (КЗП) и подключения контрольно-измерительной аппаратуры (миллиамперметров, вольтметров, осциллографа). Включение питания лабораторной установки осуществляется тумблером “СЕТЬ”.

3. Содержание и порядок выполнения работы

3.1. Задание на выполнение лабораторной работы

1. Исследовать работу усилительного каскада с общим истоком на полевом транзисторе.

2. Исследовать работу усилительного каскада с общим стоком на полевом транзисторе.

3. Оформить отчёт.

3.2. Методические рекомендации по выполнению задания

1. Исследование усилительного каскада, собранного на полевом транзисторе с p-n-затвором и каналом n-типа по схеме с общим истоком.

Используя КЗП, собрать схему усилительного каскада (рис.6.7).

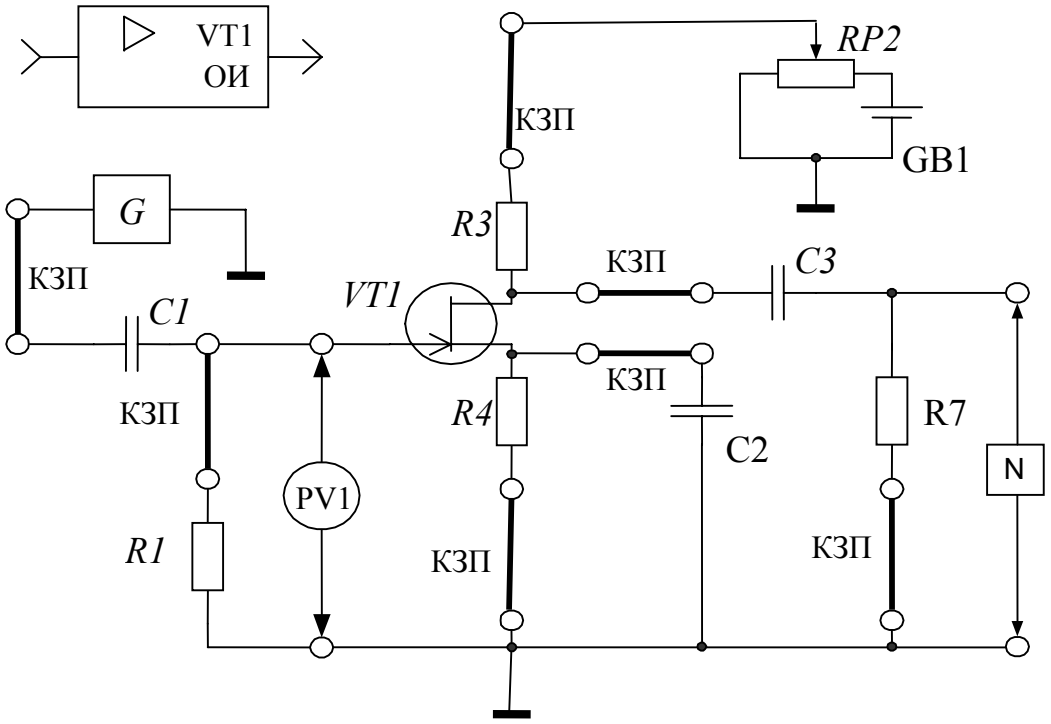


Рис.6.7

Ручкой потенциометра *RP2* установить максимальное напряжение $U_{си}$. Отключить генератор *G1* входных сигналов (убрать КЗП) и измерить величины $U_{зио}$ и $I_{со}$, рассчитать величину сопротивления резистора, который стоит в цепи истока. Сравнить полученные данные с номиналом резистора *R4*.

Установить в цепи истока вместо резистора *R4* резистор *R5*. Как изменилось $U_{зи}$? Включить обратно в цепь истока резистор *R4*.

Подключить поочерёдно в цепь стока вместо R3 резистор *R2* и *R6*. Как изменились значения $U_{зио}$, $I_{со}$ и $U_{сио}$? Включить в цепь стока *R3*. Подать на вход усилителя импульсы прямоугольной формы (соединить КЗП выход генератора и вход усилителя, тумблер SA1 установить в верхнее положение). Подключить к затвору транзистора осциллограф и измерить амплитуду входных импульсов. Обратить внимание на их полярность. Подключить осциллограф к выходу усилительного каскада, измерить амплитуду выходных импульсов. Какова их полярность? Составить временную диаграмму. По осциллограмме выходного сигнала определить время нарастания, время спада и искажения крыши импульса. По полученным результатам определить частотный диапазон схемы.

Поочерёдно включая в цепь стока *R2*, *R3* и *R6*, пронаблюдать, как изменилась амплитуда выходных импульсов.

Установить в цепи стока резистор *R3* и посмотреть, как будет меняться амплитуда выходного напряжения при различных номиналах сопротивления на-

грузки (*R7*, *R8* и *R9*). Зарисовать осциллограммы входных и выходных сигналов для трёх вышеуказанных сопротивлений нагрузки. Сделать вывод о соотношении фаз входного и выходного сигнала в усилительном каскаде, собранном на ПТ по схеме с общим истоком.

Подать на вход гармонический синусоидальный сигнал (установить тумблер SA1 в нижнее положение). Наблюдать за формой выходного сигнала, изменяя амплитуду входного сигнала. Почему при большой амплитуде входного сигнала происходит искажение формы выходного сигнала? Зарисовать зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Определить по ней коэффициент усиления K_U и динамический диапазон $D_{U\,BX}$.

С помощью ручки потенциометра $U_{твх}$ получить эпюры выходного напряжения с максимальной амплитудой и минимальными искажениями формы сигнала. Измерить амплитуду входного и выходного напряжения и рассчитать коэффициент усиления $K_U = U_{твых}/U_{твх}$. Рассчитать этот же коэффициент усиления, используя расчётные значения S и r_i, а также номинал резистора *R2* в цепи стока. Сделать вывод.

Определить сопротивление источника входного сигнала. Снять КЗП от входа усилителя, измерить величину ЭДС $e_Г$. Подключив генератор *G* к сопротивлению нагрузки *R7*, *R8* или *R9*, измерить напряжение на нагрузке $U_{Rн}$. В соответствии со схемой (рис.6.8) напряжение на нагрузке

$$U_{Rн} = \frac{e_Г}{R_Г + R_H} \cdot R_H ,$$

поэтому сопротивление источника входного сигнала можно рассчитать, если известны $U_{Rн}$, $e_Г$ и R_H.

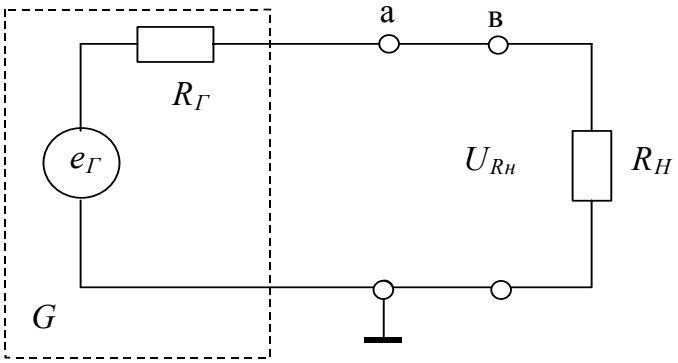


Рис.6.8

Определить номинал резистора нагрузки или измерить R_H с помощью универсального вольтметра В7 – 16А и оценить величину $R_Г$.

Поскольку усилительное звено является активным четырехполюсником, то процесс передачи сигнала от источника к нагрузке представляется в виде схемы (рис.6.9).

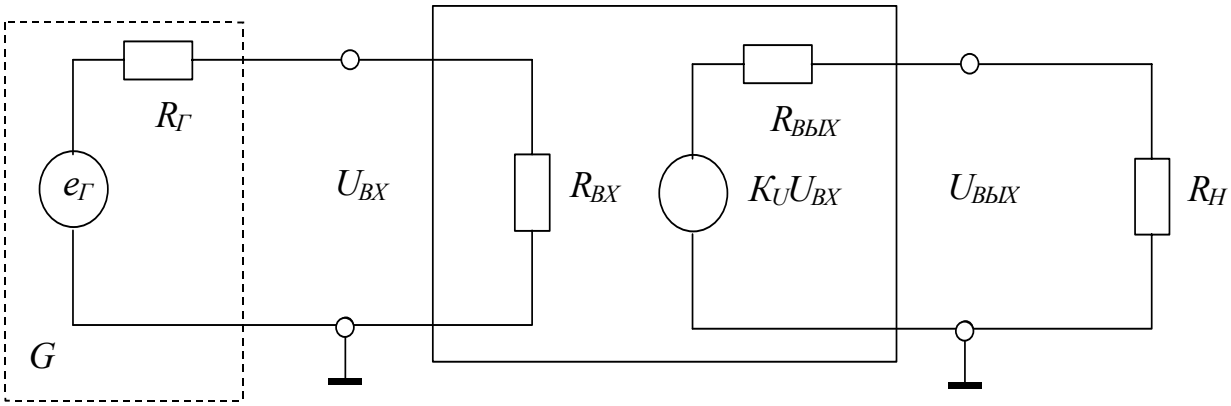


Рис.6.9

Использование режима холостого хода и работы на нагрузке позволяет косвенным образом определить R_{BX} и $R_{ВЫХ}$, поскольку для входной цепи напряжение

$$U_{BX} = \frac{e_Г}{R_Г + R_{BX}} \cdot R_{BX},$$

а для выходной цепи четырехполюсника

$$U_{ВЫХ} = \frac{U_{ВЫХ\,XX}}{R_{ВЫХ} + R_H} \cdot R_H .$$

Определить R_{BX} и $R_{ВЫХ}$ четырехполюсника при передаче гармонического сигнала. Измерения следует проводить для линейного участка зависимости $U_{вых\,т} = f(U_{вх\,т})$ в отсутствие существенных нелинейных искажений $U_{вых\,хх}$ и $U_{вых}$.

2. Исследование усилительного каскада, собранного на полевом транзисторе с p-n-затвором и каналом n-типа по схеме с общим стоком – истокового повторителя.

Используя КЗП, собрать схему истокового повторителя рис.6.10.

Подать на вход усилительного каскада импульсы прямоугольной формы. Измерить их амплитуду и зафиксировать полярность. Измерить амплитуду выходных импульсов. Какова их полярность? Составить временную диаграмму. По осциллограмме выходного сигнала определить время нарастания, время спада и искажения крыши импульса. Оценить частотный диапазон каскада.

Сделать вывод о соотношении фаз входного и выходного сигналов при чисто активной нагрузке на средних частотах.

Изменить поочерёдно номиналы резисторов в цепи истока (*R4* и *R5*), а также сопротивление нагрузки (*R7*, *R8* и *R9*). Как изменилась форма выходного напряжения?

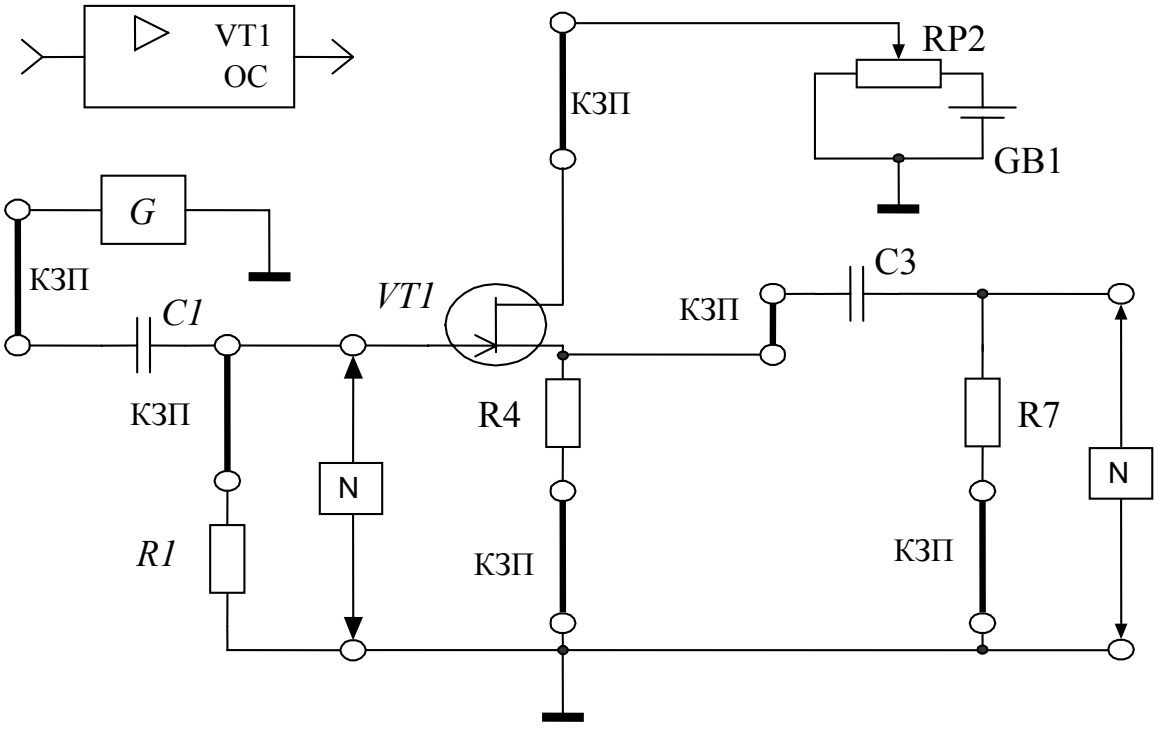


Рис.6.10

Подать на вход непрерывный сигнал синусоидальной формы. Изменяя амплитуду входного сигнала, наблюдать за изменением формы выходного сигнала. Построить зависимость $U_{вых\ m} = f(U_{вх\ m})$. Дать объяснение, почему при большой амплитуде входного сигнала наблюдается искажение выходного сигнала. Определить коэффициент усиления K_U и динамический диапазон D_U, сравнить с аналогичными значениями этих величин для каскада с ОИ.

Измерить выходное и входное сопротивления данного каскада аналогично каскаду с ОИ. Сделать вывод о соотношении величин этих сопротивлений и стокового повторителя.

Выключить установку.

4.Содержание отчета и требования к его оформлению

Отчёт должен быть выполнен аккуратно с соблюдением ГОСТов ЕСКД на принципиальные схемы. В отчёте должны содержаться:

1) принципиальные электрические схемы;

2) данные испытаний в виде таблиц, графиков, осциллограмм, а также временные диаграммы;

3) формулы и результаты расчета параметров полевого транзистора и показателей усилительных каскадов;

4) выводы по каждому пункту задания с анализом результатов исследования.

5. Контрольные вопросы

1. Чем отличаются амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики транзисторов от аналогичных характеристик схем каскадов на этих транзисторах, рассмотренных в лабораторной работе?

2. Чем отличаются каскады на полевых транзисторах от аналогичных каскадов на биполярных транзисторах?

3. Сравните каскады с ОИ и ОС по основным параметрам. Каково возможное применение этих каскадов, судя по их параметрам?

4. Какова форма выходного сигнала каскада с ОИ при прямоугольном входном сигнала, и чем она объясняется?

5. Какова эквивалентная схема каскада с ОИ, объясняющая вид амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик каскада?

6. Чем отличаются временные диаграммы каскадов с ОИ и с ОС для прямоугольных входных сигналов, и каковы причины этих отличий?

7. Каково назначение элементов в схемах каскадов?

8. Как обеспечивается выбор рабочей точки транзистора в каскадах, и какие методы термостабилизации статического режима использованы в схемах?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник/ А.В.Баюков, А.Б.Гитцевич, А.А.Зайцев. Под общ.ред. Н.Н.Горюнова. - М.:Энергоатомиздат, 1985. –744 с.:ил.

2. Ланских,А.М. Расчет электронных схем: Методические указания и задания по самостоятельной работе. Ч.1. Дисц. «Электроника». – Киров: ВятГТУ, 1996. –53 с.:ил.

3. Расчет электронных схем. Примеры и задачи: Учеб.пособие для вузов по спец.электрон.техники/ Г.И.Изъюрова, Г.В.Королев, В.А.Терехов. – М.:Высш.шк., 1987. –335 с.:ил.

4. Электропитание устройств связи: Учебник для вузов/ А.А.Бокуняев. Под ред. В.Е.Китаева. – М.: Радио и связь, 1983. –280 с.:ил.

5. Ланских А.М. Исследование полупроводниковых приборов: Лабораторный практикум. – Киров: ВятГУ, 2001. -40 с.:ил.

6. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник/ А.А.Зайцев, А.М.Миркин. Под ред. А.В.Голомедова. –М.: Радио и связь, 1990. – 323 с.:ил.

7. Лачин,В.И. Электроника: Учеб.пособие/ В.И.Лачин, И.С.Савелов.- Ростов н/Д: Феникс, 2004. –576 с.:ил.

8. Игумнов,Д.В. Полупроводниковые устройства непрерывного действия/ Д.В.Игумнов, Г.П.Костюнина.-М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.:ил.