

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ И ОДНОКАСКАДНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ.

(2 часа)

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

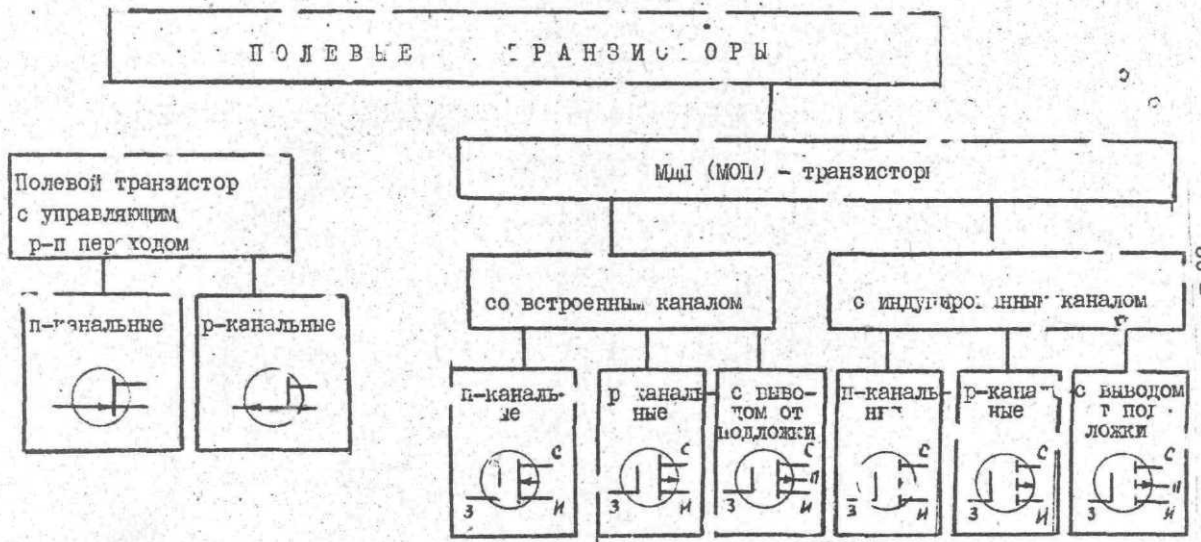
Исследование характеристик полевых транзисторов однокаскадных транзисторных усилителей; приобретение навыков снятия вольт-амперных характеристик; выбор оптимальных параметров и режимов работы транзисторов и усилителей.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Полевой транзистор - это электроуправляемый прибор, в котором ток через канал управляется электрическим полем, возникающим при приложении напряжения между затвором и истоком, и который предназначен для усиления мощности электромагнитных колебаний. По способу создания канала различают полевые транзисторы с затвором, отделенным от канала р-п-переходом и с изолированным затвором и МП-транзисторы (металл-диэлектрик-полупроводник).

Последние делятся на транзисторы с встроенным каналом и индуцированным каналом.

К а н а л - это область в транзисторе, сопротивление которой зависит от потенциала на затворе. Электроны, из которого в канал входят носители заряда, называют истоком (И), а электрод, через который носители заряда уходят из канала, - стоком (С). Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, носит название затвора (З). Классификация и условные обозначения полевых транзисторов приведены на рис. 4.1. Анализ работы полевого транзистора с р-п-переходом и каналом п-типа проведем на модели, представленной на рис. 4.2. Выходной (стоковый) ток транзистора I_c в канале определяется величиной напряжения U_c , приложенного к каналу и сопротивлением последнего, которое в свою очередь зависит от поперечного сечения канала. Управляющее (входное) напряжение U_z является обратным для обоих р-п-переходов. Управляющее



свойство транзистора объясняется тем, что при изменении U_3 изменяется ширина его р-п-переходов, представляющих собой участки полупроводника, объединенные носителями заряда. Поскольку р-сл 1 имеет большую концентрацию примесей, чем п-слой, изменение ширины р-п-переходов происходит при этом вглубь п-области. Тем самым изменяется сечение докопированного канала и его проводимость, т.е. проходящий ток I_c прибора.

Так как к торцевым областям канала приложено напряжение U_c , то вдоль канала существует падение напряжения. Вследствие этого величина обратного напряжения, действующего на р-п-переход, не остается постоянной вдоль канала. Наибольшей величиной это напряжение достигает в области затвора, прилегающего к стоку, поэтому здесь сечение канала получается наименьшим. При не-

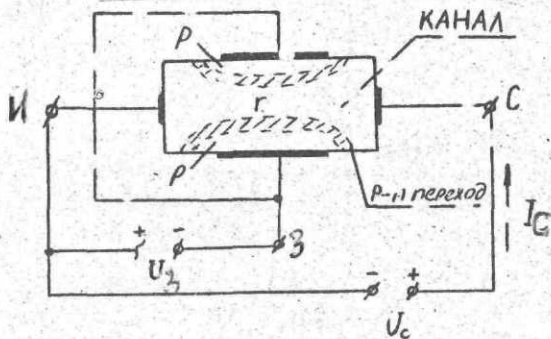


Рис. 4.2. Схематическое устройство p -типового транзистора с p - n -переходом и с каналом p -типа; И — исток, С — сток, З — затвор

котором значении напряжения U_3 глубина проникновения объединенных областей настолько возрастает, что канал перекрывается. Если произошло перекрытие канала возле стока, то дальнейшее увеличение напряжения U_c не вызывает возрастания тока I_c (область насыщения). Если одновременно подать напряжения $U_c > 0$ и $U_3 > 0$, то толщина объединенного слоя, а следовательно и сечение канала будут определяться действием этих двух напряжений. При этом минимальное сечение канала будет определяться их суммой.

1. Вольт-амперные характеристики полевых транзисторов рассмотрим. Вольт-амперные характеристики полевых транзисторов с р-п-переходом. Для этих транзисторов представляют интерес две вида вольт-амперных характеристик: стоковые (выходные) и сток-затворные (характеристики передачи). Вольт-амперные характеристики полевых транзисторов с р-п-переходом и анализ их типа показаны на рис. 4.3, а, б.

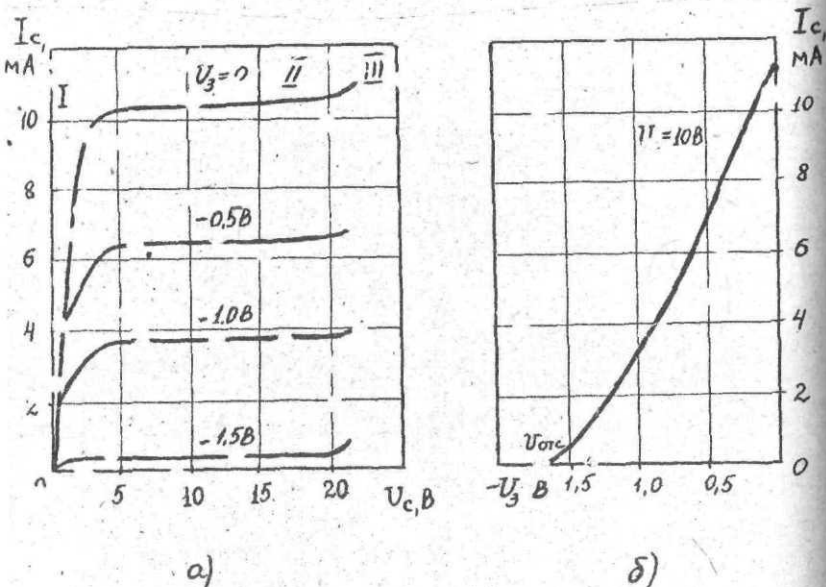


Рис. 4.3. Вольт-амперные характеристики полевого транзистора: а - выходные; б - передачи

Выходные характеристики отражают зависимость тока стока I_c от напряжения стока U_c при фиксированном напряжении затворе U_z . $I_c = f(U_c)$ при $U_z = \text{const}$ и представляются в виде семейств кривых рис. 4.3, а. На каждой из этих кривых можно выделить три характерные области:

I - сильная зависимость тока I_c от напряжения U_c (начальный участок); II - слабая зависимость I_c от U_c (участок насыщения); III - область отрицательных значений U_c (участок отрицательного сопротивления).

ния); III - протой р-п - перехода. Рабочей областью является область II - полые участки характеристики.

Характеристика переде и показывает зависимость тока от напряжения на затворе при фиксированном напряжении стока: $I_c = f(U_z)$ при $U_c = \text{const}$ (рис. 4.3, б). Характеристика связана с выходными характеристиками и может быть построена по ним. Увеличение напряжения $|U_z|$ может привести к запирану транзистора ($I_c = 0$). Значение этого напряжения соответствует напряжению отсечки $U_{отс}$.

2. Основные параметры полевых транзисторов

Основными параметрами полевых транзисторов, используемых для анализа транзисторных схем, являются:

а) крутизна переходной характеристики

$$S = \frac{dI_c}{dU_z} \quad \text{при } U_c = \text{const}, \quad (1)$$

б) внутреннее сопротивление

$$R_i = \frac{dU_c}{dI_c} \quad \text{при } U_z = \text{const}. \quad (2)$$

Эти параметры можно определить по вольт-амперным характеристикам транзистора. Полевые транзисторы с р-п - переходом выпускаются на ток I_c до 50 мА и напряжения до 50 В. Типичные значения параметров этих транзисторов:

$U_{отс} = 0,8 \div 10 \text{ В}$; $R_{ik} = 0,102 \div 0,5 \text{ Ом}$; $S = 0,3 \div 7 \text{ мА/В}$.
В одной ток $I_{вх} \approx 10^{-10} \div 10^{-7} \text{ А}$; $R_{вх} = 10^8 \div 10^9 \text{ Ом}$.

Как видно из приведенных данных входное сопротивление $R_{вх}$ полевых транзисторов довольно велико по сравнению с входным сопротивлением биполярных транзисторов. Эту особенность полевых транзисторов широко используют при построении усилительных каскадов.

3. Усилительный каскад на полевом транзисторе

Принцип построения усилительных каскадов на полевых транзисторах тот же, что и каскадов на биполярных транзисторах. Особенность заключается в том, что полевой транзистор управляется по входной цепи напряжением, а не током. По этой причине задание режима покоя в каскадах на полевых транзисторах осуществляется подачей во входную цепь каскада постоянного напряжения соответствующей величины и полярности. Их преимуществом перед усилителями на

биполярных транзисторах является значительно меньшее входное сопротивление. Полевые транзисторы, так же как и биполярные, имеют три схемы включения. В соответствии с названием электродов различают каскады с общим истоком (усилитель напряжения), общим стоком (усилитель тока-источковый повторитель) и общим затвором. Последний каскад имеет низкое входное сопротивление, в связи с чем он имеет очень ограниченное практическое применение. На более часто используют усилительный каскад с общим истоком, схема которого приведена на рис. 4.4. Рассмотрим работу схемы при использовании полевых

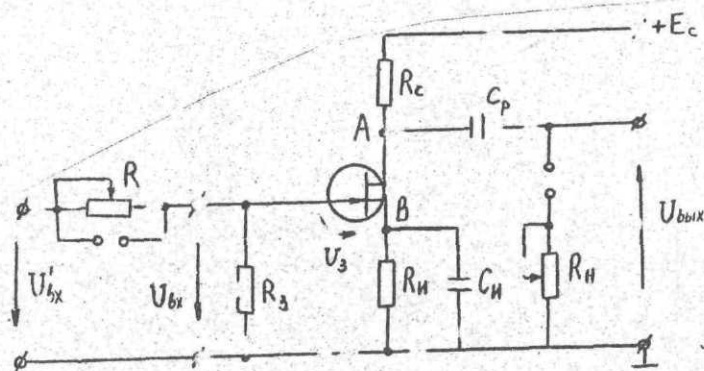


Рис. 4.4. Схема однокаскадного усилителя напряжения на полевом транзисторе

транзистора с р-п переход и каналом п-типа. В этом каскаде в цепь стока включен резистор R_c , на котором пульсирующий ток канала создает пульсирующее напряжение, переменная составляющая этого напряжения создает выходное напряжение и прикладывается к нагрузке. В цепь истока включен резистор $R_{и}$, создающий необходимое падение напряжения в режиме покоя $U_{з0}$, являющееся напряжением смещения между затвором и истоком. Напряжение смещения $U_{з0}$ создается в результате падения напряжения на $R_{и}$ за счет выбранного тока $I_{с0}$

$$U_{з0} = -U_{R_{и}} = -R_{и} \cdot I_{с0}$$

Резистор в гпи затвора R_3 обеспечивает в режиме покоя равенство потенциалов затвора и общей точки усилительного каскада и служит для подачи в цепь затвора напряжения смещения. Конденсатор C_p отделяет постоянную составляющую напряжения в выходной цепи. Его величина выбирается так, чтобы на частотах усиливаемых сигналов

$$\frac{1}{\omega C_p} \ll R_c.$$

Основные параметры усилительного каскада

а) коэффициент усиления по напряжению - режиме холостого хода (т.е. $R_H = \infty$)

$$K_{U_{xx}} = S R_c. \quad (3)$$

При этом $U_{вх}$ и $U_{вых}$ находятся в противофазе.

б) коэффициент усиления по напряжению - нагруженного усилителя

$$K_U = S \frac{R_c \cdot R_H}{R_c + R_H}, \quad (4)$$

т.е. для переменной составляющей стокового тока резисторы R_c и R_H включены параллельно.

в) входное сопротивление усилительного каскада определяется в основном сопротивлением резистора R_3

$$R_{вх} \approx R_3 = 10^5 \div 10^7 \text{ Ом} \quad (5)$$

г) выходное сопротивление усилительного каскада определяется сопротивлением резистора

$$R_{вых} \approx R_c = 10^3 \div 10^4 \text{ Ом}, \quad (6)$$

т.е. $R_{вых} \ll R_{вх}$, что является одним из преимуществ усилительных каскадов на полевых транзисторах.

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ СТАНОВКИ. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИБОРОВ

В лабораторной работе используются следующие приборы:

1. Вольтметры магнитоэлектрической системы.
2. Амперметр магнитоэлектрической системы.
3. Стабилизированный источник питания. "Электроника В5".
4. Электронный цифровой вольтметр "КУ-1А/1".
5. Генератор сигналов "З-33".
6. Осциллограф С1 19Б.

Для исследования усилительного каскада используют схему, представленную на рис.4.4, при закороченном резисторе R . Входное сопротивление $R_{вх}$ усилительного каскада определяется с помощью схемы рис.4.4. при включении резистора R .

Для снятия вольт-амперных характеристик полевых транзисторов используют схему рис.4.5.

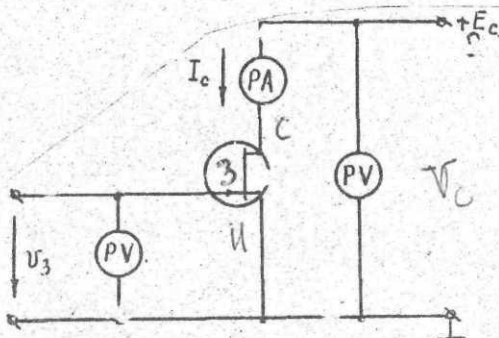


Рис.4.5. Схема для снятия ВАХ полевого транзистора

IV. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

В работе проводится измерение тока стока полевого транзистора при изменении напряжения сток-исток и затвор-исток, построение стоковых и сток-затворных характеристик, исследование однокаскадного усилителя: снятие амплитудной и амплитудно-частотной характеристик.

Подготовка к лабораторной работе

1. Рассчитать крутизну и внутреннее сопротивление полевого транзистора с помощью вольт-амперных характеристик (рис.4.3) при

$$U_c = 10 \text{ В.}$$

2. Рассчитать коэффициент усиления, используя вычисленные значения S . Величины R_c и R_n заданы в соответствии с номером бригады.

Данные к расчету параметров усилителя

№ бр	1	2	3	4	5	6	7	8
$R_c, \text{кОм}$	3	6	8	10	12	14	16	18
$R_n, \text{кОм}$	3	10	12	18	22	30	42	51

3. Подготовить таблицу I для снятия характеристики передачи полевого транзистора.

Т а б л и ц а I

Характеристики передачи

	$U_3, \text{В}$	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	$U_{отс}$
$U_c = 5 \text{ В}$	$I_c, \text{мА}$							0 при $U_{отс} = ?$
$U_c = 10 \text{ В}$	$I_c, \text{мА}$							0 при $U_{отс} = ?$

Перед проведением измерений ознакомиться с приборами; рассчитать цену деления каждого прибора. Измерения проводить в последовательности, представленной в описании. Не допускать превышения напряжения и токов в схемах, руководствуясь пределами, указанными в описании. Не включать схемы псд напряжением без проверки лаборантом или преподавателем.

Методические указания по проведению эксперимента

1. Характеристики передачи транзистора $I_c = f(U_z)$ снимаются при двух значениях напряжения $U_c = 5В$ и $10 В$. Напряжение U_z изменяется в пределах от 0 до напряжения отсечки $U_{отс.}$ через 0,3 В. Напряжение $U_z = U_{отс.}$ соответствует значению тока $I_c = 0$.

2. Стоковые (выходные) характеристики снимаются при трех значениях напряжения $U_z = 0,3В; 0,6В; 0,9В$. Напряжение U_c изменяется в пределах от 0 до $15В$ через $3В$.

3. Амплитудную характеристику усилителя $U_{вых} = f(U_{вх})$ снимают на частоте $f = 1000 Гц$. Частота и входное напряжение задаются с помощью генератора сигналов ГЗ - 33. При $U_{вх} = 0$ с помощью электронного вольтметра снимается потенциальная диаграмма (постоянные напряжения в точках А и В). При снятии амплитудной характеристики входное напряжение изменяется в пределах $U_{вх} = 0,1 U_{и}; 0,2 U_{и}; 0,3 U_{и}$ и т.д. до появления искажений сигнала. Форма сигнала контролируется на выходе усилителя с помощью осциллографа. Измерение выходного напряжения $U_{вых}$ производится вольтметром ВК7. Коэффициент усиления усилителя рассчитывается по формуле $K_U = U_{вых} / U_{вх}$.

4. Амплитудно-частотная характеристика усилителя снимается при напряжении на входе $U_{вх} = (0,2 \pm 0,3) U_{и}$. Частота сигнала, подаваемого с ГЗ-33, изменяется в пределах от 20 Гц до 20 кГц.

5. Входное сопротивление $R_{вх}$ усилителя измеряется при подключении в схему рис. 4.4 переменного резистора R . При этом

$$I_{\theta x} = \frac{U'_{\theta x}}{R + R_{\theta x}}; \quad U_{\theta x} = \frac{U'_{\theta x} R_{\theta x}}{R + R_{\theta x}}.$$

Если $R = 0$, то $U_{\text{вх}} = U'_{\text{вх}}$, если $R = R_{\text{вх}}$, то $U_{\text{вх}} = \frac{U'_{\text{вх}}}{2}$
выходное напряжение для этих значений R также отличается вдвое.
Таким образом, измерение $R_{\text{вх}}$ заключается в следующем:

- а) установить $R = 0$, измерить вольтметром $U_{\text{вых.}} (R_{\text{н}} = \infty)$;
- б) изменять значения R , до значения, при котором вольтметр покажет $U_{\text{вых.}}/2$;
- в) записать полученное значение R со стенда, которое и будет соответствовать $R_{\text{вх}}$.

6. Выходное сопротивление усилителя определяется аналогичным образом

- а) устанавливается $R_{\text{н}} = \infty$ (холостой ход); определяется значение $U_{\text{вых. х.х.}}$;
- б) изменяется величина $R_{\text{н}}$ до значения, при котором вольтметр покажет $\frac{U_{\text{вых. х.х.}}}{2}$;
- в) полученное значение $R_{\text{н}}$ равняется $R_{\text{вых.}}$.

Задания, выполняемые в лаборатории

1. Измерить напряжения в точках А и В ($U_{\text{т.б}} = U_{\text{н}}$).
2. Снять характеристики передачи $I_{\text{с}} = f(U_{\text{з}})$ при $U_{\text{с}} = \text{const}$ полевого транзистора. Данные записать в табл.1.
3. Снять стоковые характеристики $I_{\text{с}} = f(U_{\text{с}})$ при $U_{\text{з}} = \text{const}$ полевого транзистора. Данные занести в табл.2.
4. Снять амплитудную характеристику усилителя $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$. Данные занести в табл.3.
5. Снять амплитудно-частотную характеристику усилителя $U_{\text{вых}} = f(f)$. Данные занести в табл.4.
6. Измерить входное $R_{\text{вх}}$ и выходное $R_{\text{вых}}$ сопротивления усилителя. Записать их значения.
7. Записать значения $R_{\text{с}}$, $R_{\text{з}}$ и $R_{\text{н}}$, выключенных в схему лабораторной установки.

У. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Построить по данным таблицы 1 и 2 вольт-амперные характеристики полевого транзистора. Рассчитать величины S и R_i по характеристикам для напряжений, указанных преподавателем.

2. Построить по данным таблицы 3 амплитудную характеристику усилителя. Рассчитать коэффициент усилителя K_U результаты расчета занести в табл.3. Проанализировать возможный характер изменения K_U .

3. По данным таблицы 4 вычислить значения коэффициента усиления на различных частотах. Результаты вычисления занести в табл.4.

4. Построить амплитудно-частотную характеристику усилителя $K_U = f(\lg f)$.

4. Сравнить значения полученных в результате эксперимента сопротивлений $R_{вх}$ и $R_{вых}$ с соответствующими значениями сопротивлений усилителя (R_z , $R_{и}$, R_c)

У1. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать основные формулы и соотношения, необходимые для расчетов; таблицы, заполненные полученными и рассчитанными результатами; расчеты и выводы анализа работы усилителя.

УП. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему униполярные транзисторы называются полевыми?

2. Что такое полевой транзистор?

3. Объясните принцип действия полевого транзистора.

4. Какие различают типы полевых транзисторов?

5. В чем их различие?

6. Какие электроды различают в полевом транзисторе, их назначение?

7. Какое напряжение называют напряжением отсечки, от чего оно зависит?

8. Какие вольт-амперные характеристики полевых транзисторов вы знаете? Объясните их.

9. Какие основные параметры полевых транзисторов вы знаете? Укажите приблизительные их значения.

10. В чем отличие усилительного каскада на полевом транзисторе от усилительного каскада на биполярном транзисторе?

11. Назовите основные характеристики усилителя.

12. Какие схемы включения полевых транзисторов вам известны?

13. Объясните назначение всех элементов усилительного каскада.

14. Какой из параметров усилителя на полевом транзисторе ($K_{\text{У}}$, $R_{\text{вх}}$, $R_{\text{вых}}$) значительно отличается от соответствующих параметров усилителя на биполярном транзисторе?

Дополнительные вопросы для студентов специальностей 0408, 0405, 0406, 0407.

15. Усилитель на каком транзисторе (полевом, биполярном) целесообразно использовать для усиления сигнала от тензомоста? Пьезоэлектрического датчика?

16. Возможно ли усиление э.д.с. от датчика Холла каскадом на биполярном транзисторе? На полевом транзисторе? Объясните почему.

УШ. ЛИТЕРАТУРА

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. -М.: Высшая школа, 1982, с.60+63; 99-102.