

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Кафедра ЭАФУ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИПОЛЯРНОГО И ПОЛЕВОГО
ТРАНЗИСТОРОВ**

Лабораторная работа по курсу «Электроника 1.3»

Доцент Т.Х. Бадретдинов

Томск – 2022

Оборудование, необходимое для проведения лабораторной работы:

Элементная база:

- транзисторы: КТ315Д – 1 шт.

Измерительные приборы:

- мультиметры – 2 ед.
- осциллографы – 1 ед.

Источники:

- источники напряжения постоянного тока – 2 ед.
- источники напряжения переменного тока – 1 ед.

Расходные материалы:

- плата макетная – 1 шт.
- провода.

Цель работы:

- 1) экспериментальное определение характеристик биполярного транзистора;
- 2) получение практических навыков расчета параметров усилительного каскада с общим эмиттером.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Изучение вольтамперных характеристик биполярного транзистора

Необходимое оборудование для проведения эксперимента: биполярный транзистор VT1, измерительные приборы (амперметр, вольтметр), источники постоянного тока.

1.1 Изучение входных вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

1.1.1 С помощью мультиметра в режиме проверки диода определить назначение выводов биполярного транзистора.

1.1.2 Собрать схему, представленную на рисунке 1. Мультиметр 1 необходимо перевести в режим измерения силы тока (режим амперметра). Мультиметр 2 – в режим вольтметра.

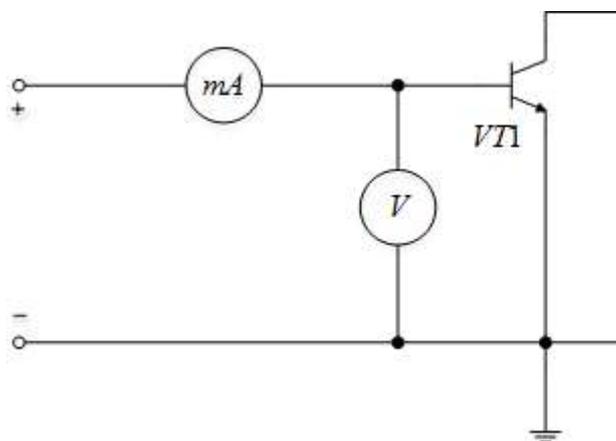


Рисунок 1 – Схема для изучения входной ВАХ биполярного транзистора

1.1.3 Показать собранную электрическую цепь преподавателю. Перевести ручку регулятора выходного напряжения источника постоянного тока в крайнее положение, соответствующее нулю выходного напряжения.

1.1.4 Получив разрешение преподавателя, подключить собранную цепь к источнику питания.

1.1.5 Включить тумблер питания. Меняя выходное напряжение источника питания, изменять напряжение на базе транзистора с шагом 0,05 В в диапазоне 0–1 В. Показания

измерительных приборов записать в таблицу 1. После окончания измерений выключить тумблер питания источника. Удостовериться в нулевых показаниях измерительных приборов.

Таблица 1 – Входная вольтамперная характеристика биполярного транзистора при $U_{кэ} = 0$ В

$U_{бэ}, В$	$I_б, мкА$

1.1.6 Собрать схему, представленную на рисунке 2.

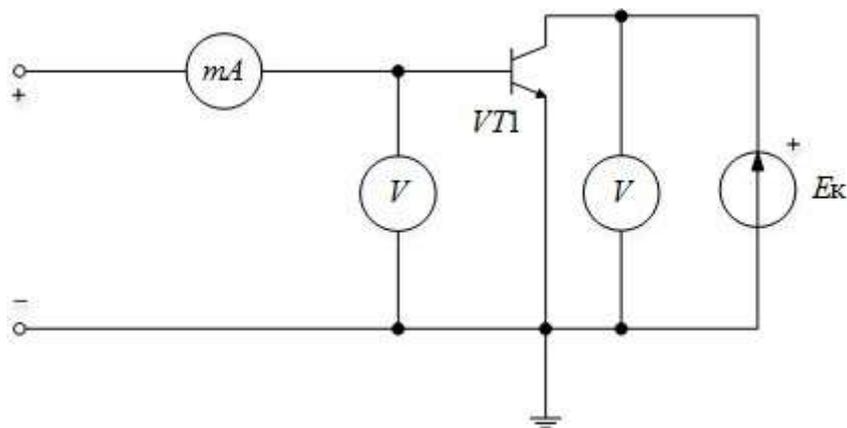


Рисунок 2 – Схема для изучения входной ВАХ биполярного транзистора

1.1.7 Показать собранную электрическую цепь преподавателю. Перевести ручки регуляторов выходного напряжения источников постоянного тока в крайнее положение, соответствующее нулю выходного напряжения.

1.1.8 Получив разрешение преподавателя, включить тумблер питания источника напряжения $E_к$.

1.1.9 Меняя выходное напряжение источника питания, добиться значения напряжения $U_{кэ} = 5$ В.

1.1.10 Провести серию экспериментов, указанную в пункте 1.1.5. Показания измерительных приборов записать в таблицу 2. После окончания измерений выключить тумблеры питания источников. Удостовериться в нулевых показаниях измерительных приборов.

Таблица 2 – Входная вольтамперная характеристика биполярного транзистора при $U_{кэ} = 5$ В

$U_{бэ}, В$	$I_б, мкА$

1.1.11 По полученным данным построить семейство входных вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.

1.1.12 Сделать выводы по итогам выполнения соответствующего раздела лабораторной работы.

1.2 Изучение выходных вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

1.2.1 Собрать схему, представленную на рисунке 3.

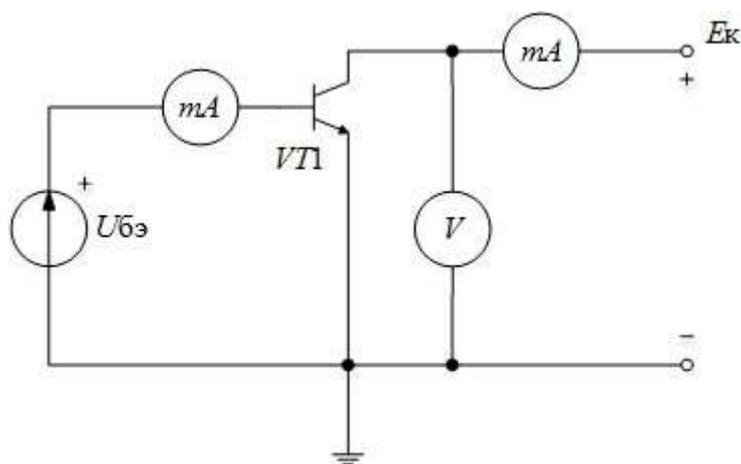


Рисунок 3 – Схема для изучения выходных ВАХ

1.2.2 Показать собранную электрическую цепь преподавателю. Перевести ручки регуляторов выходного напряжения источников постоянного тока в крайнее положение, соответствующее нулю выходного напряжения.

1.2.3 Получив разрешение преподавателя, подключить собранную цепь к источнику питания $U_{бэ}$.

1.2.4 Включить тумблеры питания. Меняя выходное напряжение источника питания $U_{бэ}$, добиться значения $I_{бэ} = 25$ мкА.

1.2.5 Изменять напряжение на коллекторе биполярного транзистора $U_{кэ}$, не допуская превышения рассеиваемой на транзисторе мощности P_k значения 150 мВт. Показания измерительных приборов записать в таблицу 3. После окончания измерений выключить тумблеры питания источников. Удостовериться в нулевых показаниях измерительных приборов.

Таблица 3 – Выходные вольтамперные характеристики биполярного транзистора

		Примечание
$U_{кэ}, В$		$I_6 = 25 \text{ мкА}$
$I_к, \text{мА}$		
$U_{кэ}, В$		$I_6 = 50 \text{ мкА}$
$I_к, \text{мА}$		

1.2.6 Повторить пункты 1.2.4–1.2.5, изменяя значение I_6 в диапазоне от 50 до 300 мкА с шагом 25 мкА.

1.2.7 Построить семейство выходных вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.

1.2.8 Сделать выводы по итогам выполнения соответствующего раздела лабораторной работы.

2 Расчет параметров биполярного транзистора

2.1 Графоаналитическим методом определить h -параметры транзистора для схемы с общим эмиттером, полагая

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{6э}}{\Delta I_6} \right|_{U_{кэ}=const} ; \quad h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{6э}}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_6=const} ;$$

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_к}{\Delta I_6} \right|_{U_{кэ}=const} ; \quad h_{22} = \left. \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_6=const} .$$

2.2 Рассчитать входное и выходное сопротивления транзистора

$$R_{вхт} = h_{11};$$

$$R_{выхт} = \frac{1}{h_{21}}.$$

2.3 Определить коэффициент передачи по току транзистора β :

$$\beta = h_{21}$$

2.4 Сделать выводы по итогам выполнения соответствующего раздела лабораторной работы.

3 Расчет усилительного каскада по постоянному току

3.1 Изобразить семейство выходных характеристик в схеме с общим эмиттером, входную характеристику при $U_{кэ} = 5$ В и оси для построения переходной характеристики транзистора $I_k = f(I_б)$, так чтобы входная характеристика изображалась повернутой на 90° против часовой стрелки.

3.2 На выходных характеристиках отобразить кривую максимальной мощности $P_{кmax} = 150$ мВт, линии $U_{кэmax} = 40$ В и $I_{кmax} = 100$ мА.

3.3 Из условия передачи максимальной мощности от источника энергии к потребителю задать $R_k \approx R_{вхТ}$.

3.4 На выходных характеристиках биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером построить нагрузочную линию в соответствии с уравнением:

$$P_{кmax} = E_k - I_k \cdot R_k.$$

3.5 Построить переходную характеристику. Отметить на оси $I_б$ входной характеристики точки, соответствующие значениям токов базы, для которых приведены выходные характеристики, пересекаемые нагрузочной линией. По точкам пересечения линий, проведенных из выделенных точек выходных и входных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером, построить переходную характеристику.

3.6 На переходной характеристике транзистора выбрать линейный участок, в диапазоне которого обеспечивается усилительный режим работы каскада без искажений формы входного сигнала. На середине линейного участка нанести рабочую точку, соответствующую режиму работы транзистора по постоянному току.

3.7 По координатам рабочей точки определить токи и напряжения каскада в режиме покоя: $I_{б0}, I_{к0}, U_{бэ0}, U_{кэ0}$.

3.8 Сделать выводы по итогам выполнения соответствующего раздела лабораторной работы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА.

Цель работы: изучение принципа действия полевого транзистора, снятие и анализ его вольт - амперных характеристик, определение параметров.

Краткая теория.

В полевых транзисторах, в отличие от биполярных транзисторов, управление выходным током осуществляется не входным током, а электрическим полем, создаваемым входным напряжением.

Устройство одного из типов полевого транзистора показано на рис. 4. Его основу составляет полупроводник n-типа, с противоположной стороны которого методом диффузии образована область p-типа. На границе p - и n - областей образуется p-n переход, обладающий большим сопротивлением.

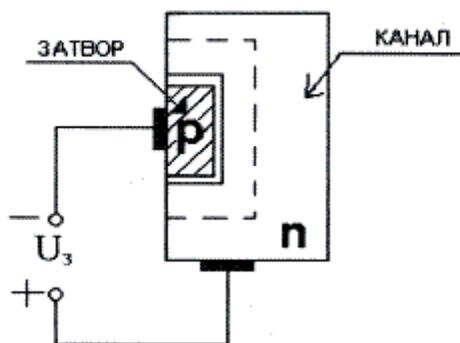


Рис.4а

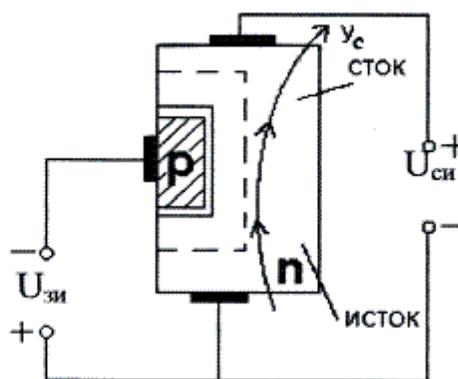


Рис.4б

Слой полупроводника n-типа, лежащий справа от p-n-перехода, называется каналом. Если между p - и n - областями включить источник напряжения так, как показано на рис. 4а, то p-n – переход скажется включенным в обратном направлении и его толщина увеличится, что приведет к уменьшению толщины канала. Но чем тоньше канал, тем меньше его поперечное сечение и тем больше сопротивление. Значит, изменяя обратное напряжение между p - и n - областями, можно управлять сопротивлением канала. Поэтому p-область называют **управляющим электродом или затвором полевого транзистора**.

Если к каналу подключить второй источник питания $U_{си}$ (рис4б), то через канал потечет ток, созданный движением электронов от нижней к верхней части n-области. Участок n-области, от которого начинают движение основные носители заряда, называют **истоком**, а участок этой области, к которому они движутся – **стоком**.

Ток, протекающий через канал полевого транзистора, зависит от его сопротивления, которое, в свою очередь, определяется толщиной канала. Следовательно, при изменении напряжения затвора изменяется и ток, протекающий через канал.

Транзистор, структура которого представлена на рис.4 называется полевым транзистором с управляющим р-п - переходом и каналом п-типа. Если в качестве исходного материала взять полупроводник р-типа, получим полевой транзистор в управляющим р-п-переходом и каналом р-типа. У такого транзистора затвор будет образован п-областью, а полярности источников питания $U_{зи}$ и $U_{си}$ должны быть противоположны тем, которые показаны на рис 4.

При некотором напряжении затвора канал полностью перекрывается, и ток, протекающий через него, становится близким к нулю. Это напряжение затвора называют напряжением отсечки $U_{зи.отс.}$.

Кроме полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом имеются полевые транзисторы с изолированным затвором. Области истока, стока и канала у них создаются в объеме полупроводника, а затвор выполняется в виде тонкой металлической пленки, расположенной на поверхности полупроводника и отделенной от него диэлектрической пленкой. Полевые транзисторы с изолированным затвором имеют структуру металл-диэлектрик-полупроводник, и их называют МДП-транзисторами. В качестве диэлектрической пленки часто используется пленка из оксида кремния, полученная при окислении поверхности полупроводника. Такие транзисторы называют МОП - транзисторами.

Основные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п-переходом являются статические сток-затворные и стоковые (или выходные) характеристики (рис 5).

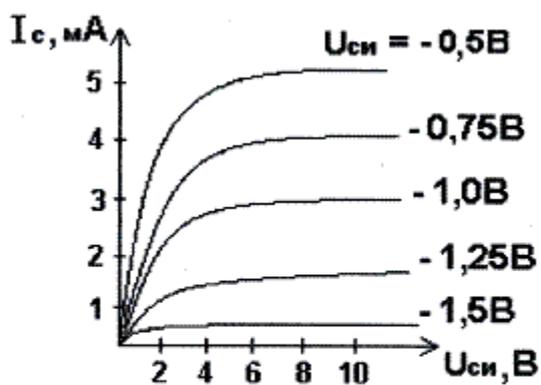


Рис. 5а

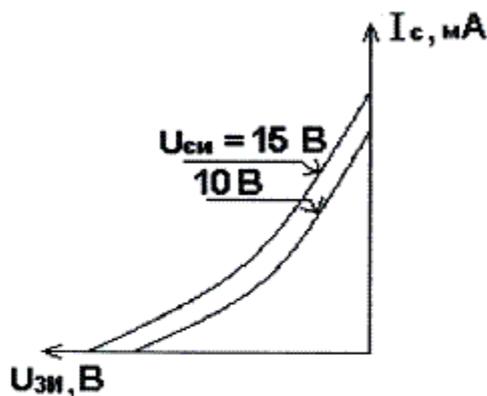


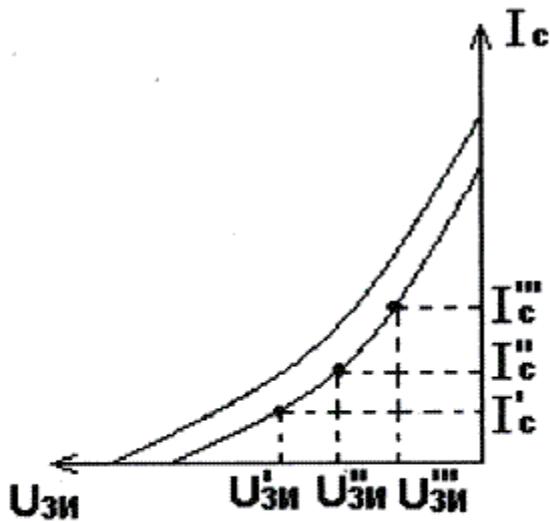
Рис. 5б

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) полевых транзисторов с р-п-переходом имеют две существенно различные области – крутую и пологую (называемую также областью насыщения). В усилительной технике полевые транзисторы чаще всего работают в пологой области ВАХ, поскольку ей свойственны наименьшие нелинейные искажения и оптимальные значения параметров: крутизны, внутреннего сопротивления, собственного коэффициента усиления, от которых зависят усилительные свойства полевого транзистора.

Крутизна, определяемая как отношение изменения тока к изменению напряжения на затворе при постоянном напряжении сток-исток (в мА/В):

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \Big|_{U_{сн} = \text{const}}$$

Для подсчета крутизны пользуются графиком:

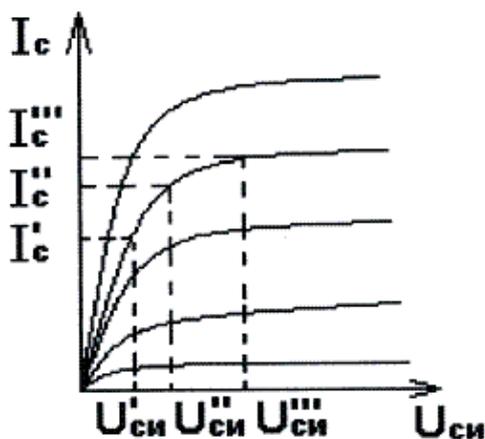


$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} = \frac{I_c'' - I_c'}{U_{зи}'' - U_{зи}'}$$

$$S'' = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \Big|_{U_{сн} = \text{const}} = \frac{I_c'' - I_c'}{U_{зи}'' - U_{зи}'}$$

Дальнейшие расчеты производятся аналогично. Затем расчеты производятся по другой кривой. Внутреннее сопротивление, определяемое как отношение изменения напряжения сток-исток к изменению тока стока при постоянном напряжении затвора (ВОМ):

$$R_i = \frac{\Delta U_{сн}}{\Delta I_c} \Big|_{U_{зи} = \text{const}} \quad (2)$$



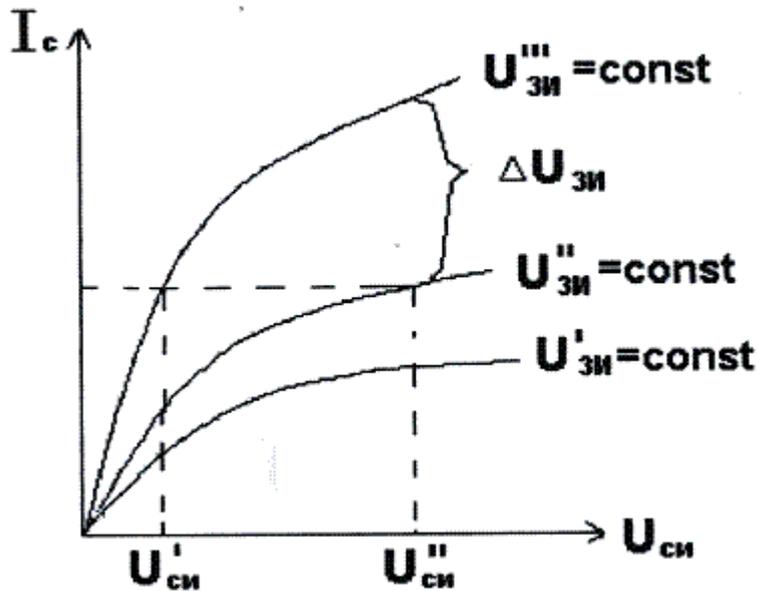
$$R_i' = \frac{\Delta U_{сн}}{\Delta I_c} \Big|_{U_{зи} = \text{const}} = \frac{U_c'' - U_c'}{I_c'' - I_c'}$$

$$R_i'' = \frac{U_{сн}'' - U_{сн}'}{I_c'' - I_c'}$$

Дальнейшие расчеты проводятся аналогично. Затем расчеты проводятся по другой кривой. Статический коэффициент усиления рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_{зи}} \Big|_{I_c = \text{const}}$$

Для подсчета коэффициента можно пользоваться как графиком стоковой характеристики полевого транзистора, так и графиком сток-затворной характеристики.



Дальнейшие расчеты производятся аналогично.

Условные графические обозначения полевых транзисторов приведены на рис.3.

А - с управляющим переходом и каналом р-типа.

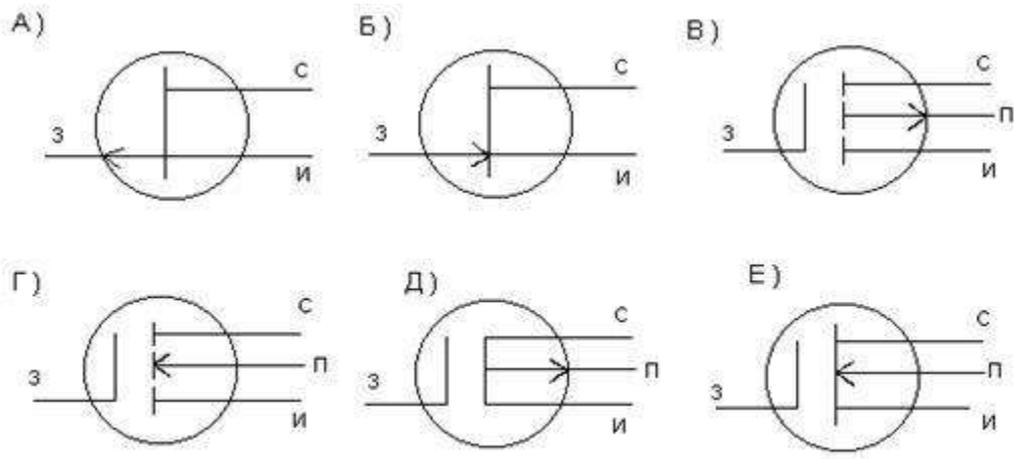
Б - с управляющим переходом и каналом n-типа.

В - с индуцированным каналом р-типа.

Г - с индуцированным каналом n-типа,

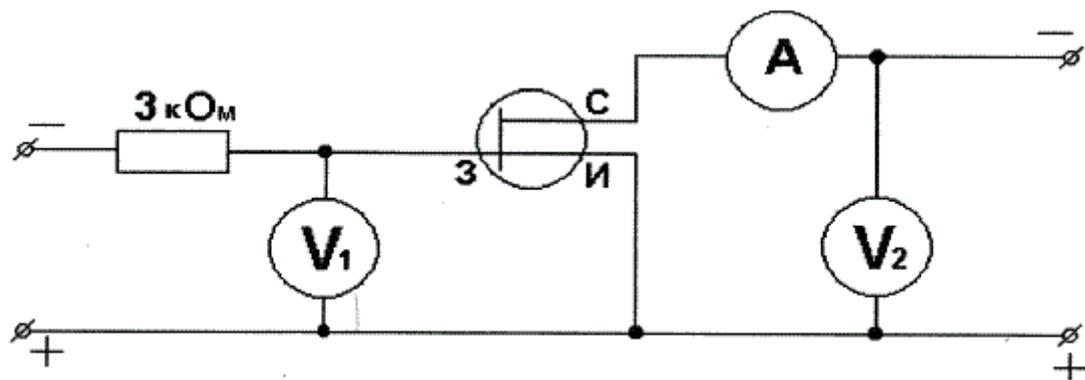
Д - со встроенным каналом р-типа.

Е - со встроенным каналом n-типа.



ЭКСПЕРИМЕНТ.

Схема экспериментальной установки приведена на рис.



При помощи схемы можно определить значение параметров полевого транзистора. Для этого необходимо заполнить таблицы.

Табл.1

Узи (В)	Iс (мА)		
	При Uси = 0.5 В	При Uси = 1 В	При Uси = 1.5 В
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Где Iс следует смотреть по амперметру

Uси следует смотреть по вольтметру 1

Узи следует смотреть по вольтметру 2.

Табл.2

Iс (мА)	Уси (В)	
	При Узи = 0 В	При Узи = 5 В
0		
20		
40		
60		
80		
100		
120		
140		
160		
180		
200		
220		
240		
260		
280		
300		

По данным таблицы №1 и №2 необходимо построить графики

С помощью графиков следует рассчитать: крутизну S , внутреннее сопротивление R_i , статический коэффициент усиления M .

Сделать выводы по итогам выполнения соответствующего раздела лабораторной работы.

Сделать общие выводы по лабораторной работе.

Написать отчет о выполнении лабораторной работы. Все схемы электрические принципиальные выполнить в соответствии с действующими стандартами.