

БГУИР

Кафедра ЭВМ

Отчёт по лабораторной работе № 2

Тема: «Исследование характеристик полевого транзистора»

Выполнил:  
студент группы 050502 Жук Т.С.

Проверил:  
к.т.н., доцент Селезнёв И.Л.

Минск  
2022

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить устройство и принцип работы полевого транзистора.

## 2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Для выполнения работы используем аппаратно–технические средства:

- макетная станция NI ELVIS;
- модуль Lab5A (рисунок 2).



Рисунок 2 – Модуль Lab5A

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- получить передаточные характеристики полевого транзистора в схеме с общим истоком;
- получить зависимости сопротивления канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток
- получить семейство выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком;
- исследовать работу транзистора с общим истоком.

### 3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Полевой транзистор – это полупроводниковый полностью управляемый ключ, управляемый электрическим полем. Это главное отличие с точки зрения практики от биполярных транзисторов, которые управляются током. Электрическое поле создаётся напряжением, приложенным к затвору относительно истока. Полярность управляющего напряжения зависит от типа канала транзистора.

У всех типов полевых транзисторов есть три вывода (иногда 4):

- Исток (источник носителей заряда, аналог эмиттера на биполярном);
- Сток (приёмник носителей заряда от истока, аналог коллектора биполярного транзистора);
- Затвор (управляющий электрод, аналог сетки на лампах и базы на биполярных транзисторах);
- Подложка (теперь практически не используется).

Устройство полевого транзистора с изолированным затвором приведено на рисунке 3.1.

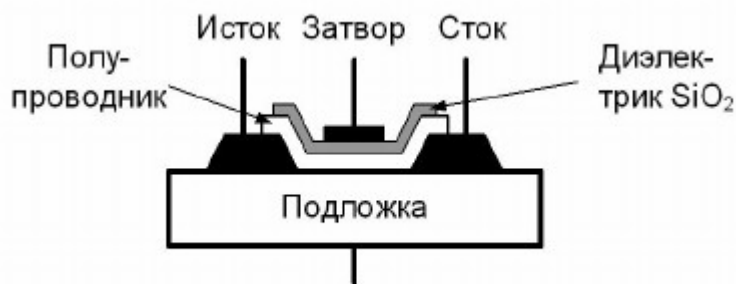


Рисунок 3.1 – Устройство полевого транзистора с изолированным затвором

В полевых транзисторах с изолированным затвором электрод затвора изолирован от полупроводникового канала с помощью слоя диэлектрика из двуоксида кремния SiO<sub>2</sub>. Поэтому полевой транзистор с такой структурой называют МОП-транзистором (металл–окисел–полупроводник). Электроды стока и истока располагаются по обе стороны затвора и имеют контакт с полупроводниковым каналом. Ток утечки затвора пренебрежимо мал даже при повышенных температурах. Полупроводниковый канал может быть обеднён носителями зарядов или обогащён ими. При обедненном канале электрическое поле затвора повышает его проводимость, поэтому канал называется индуцированным. Если канал обогащён носителями зарядов, то он называется встроенным. Электрическое поле затвора в этом, случае приводит к обеднению канала носителями зарядов.

Проводимость канала может быть электронной или дырочной. Если канал имеет электронную проводимость, то он называется n–каналом. Каналы с дырочной проводимостью называются p–каналами. В результате полевые транзисторы с изолированным затвором могут быть четырёх типов: с каналом n или p типов, каждый из которых может иметь индуцированный или

встроенный канал. Условные изображения этих типов транзисторов приведены на рисунке 3.2.

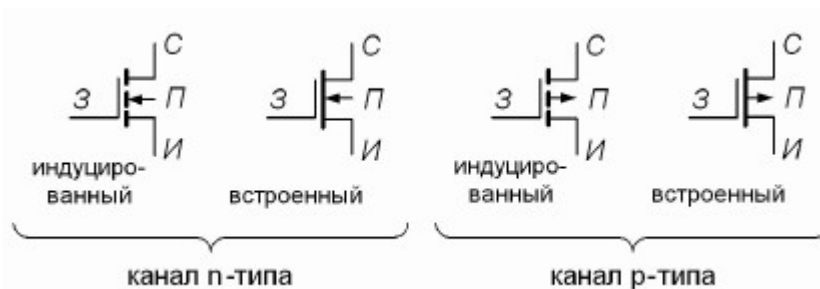


Рисунок 3.2 – Условное графическое изображение полевых транзисторов с изолированным затвором

Графическое обозначение транзисторов содержит информацию о его устройстве. Штриховая линия обозначает индуцированный канал, а сплошная — встроенный. Подложка (П) изображается как электрод со стрелкой, направление которой указывает тип проводимости канала. Если корпус транзистора выполнен из металла, то подложка имеет с ним электрический контакт. На электрических схемах подложка обычно соединяется с общим проводом. Затвор изображается вертикальной линией, параллельной каналу. Вывод затвора обращён к электроду истока.

Устройство полевого транзистора с управляющим р–n переходом приведено на рисунке 3.3а. В таком транзисторе затвор выполнен в виде обратного смещённого р–n перехода. Изменение обратного напряжения на затворе позволяет регулировать ток в канале. На рисунке 3.3а показан полевой транзистор с каналом р типа и затвором, выполненным из областей n типа. Условное изображение полевых транзисторов с управляющим р–n переходом приведено на рисунке 3.3б.

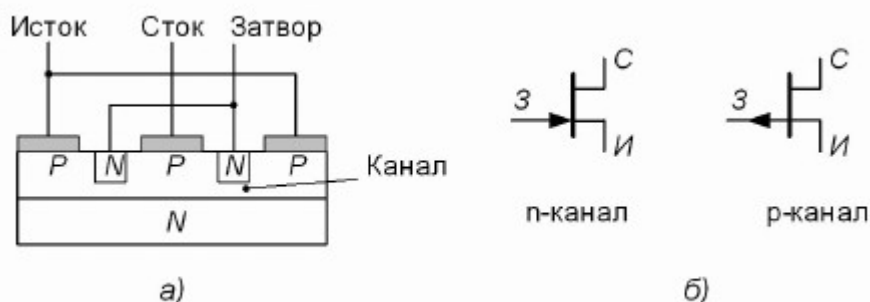


Рисунок 3.3 – Установка рабочей точки с помощью стабильного тока базы

Типовые передаточные характеристики n канальных полевых транзисторов приведены на рисунке 3.4. Как видно, ток стока для n канальных транзисторов имеет положительный знак, что соответствует положительному напряжению на стоке.

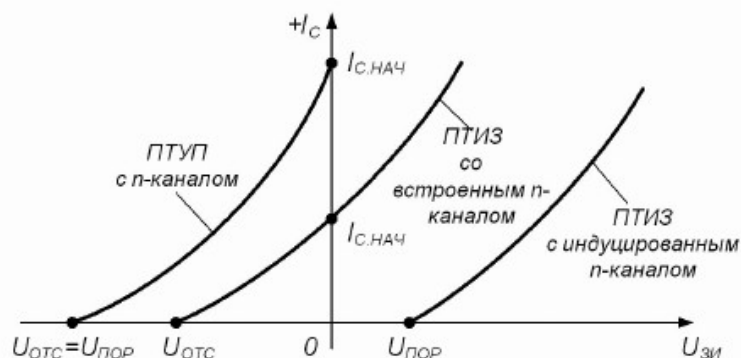


Рисунок 3.4 – Типовые передаточные характеристики n-канальных полевых транзисторов

ПТУП (полевой транзистор с управляющим р–n переходом) при нулевом напряжении на затворе имеют максимальное значение тока, которое называется начальным. При увеличении запирающего напряжения ток стока уменьшается и при напряжении отсечки становится близким к нулю.

Характеристики ПТИЗ (полевой транзистор с изолированным затвором) с индуцированным каналом таковы, что при нулевом напряжении на затворе ток стока транзистора нулевой. Появление тока стока в таких транзисторах происходит при напряжении на затворе больше порогового значения. Увеличение напряжения на затворе приводит к увеличению тока стока.

Характеристики ПТИЗ со встроенным каналом при нулевом напряжении на затворе имеют начальное значение тока. Такие транзисторы могут работать как в режиме обогащения, так и в режиме обеднения. При увеличении напряжения на затворе канал обогащается и ток стока растёт, а при уменьшении напряжения на затворе канал обедняется и ток стока снижается.

Типовые выходные характеристики полевых транзисторов с управляющим р–n переходом и каналом n типа приведены на рисунке 3.5. Характеристики других типов транзисторов имеют аналогичный вид. На этих ВАХ можно выделить две области: линейную и насыщения. В линейной области вольт–амперные характеристики вплоть до точки перегиба представляют собой прямые линии, наклон которых зависят от напряжения на затворе. В области насыщения ВАХ идут практически горизонтально, что позволяет говорить о независимости тока стока от напряжения на стоке.

В линейной области полевой транзистор используется как сопротивление, управляемое напряжением на затворе, а в области насыщения – как усилительный элемент.

Усилительный каскад на полевом транзисторе. При построении усилителей на полевых транзисторах наибольшее распространение получила схема каскада с общим истоком. При этом в ней, как правило применяются либо полевые транзисторы с управляющим р–n переходом, либо МДП-транзисторы со встроенным каналом. На рисунке 3.6а приведена типовая схема каскада на полевом транзисторе с управляющим р–n переходом и каналом n типа.

В этой схеме с помощью источника смещения устанавливается требуемый режим работы каскада. Наиболее часто эта схема используется при по-

строении входных каскадов усилителей.

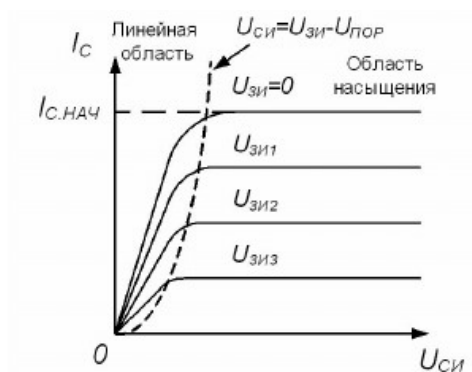


Рисунок 3.5 – Выходные характеристики полевого транзистора с управляющим р–п переходом

Объясняется это следующими преимуществами полевого транзистора перед биполярным: большее входное сопротивление полевого транзистора упрощает его согласование с высокоомным источником сигнала; как правило, полевой транзистор имеет весьма малый коэффициент шума, что делает его более предпочтительным при усилении слабых сигналов; полевой транзистор имеет большую собственную температурную стабильность режима покоя.

Вместе с тем каскады на полевых транзисторах обычно обеспечивают меньший коэффициент усиления по напряжению, по сравнению с каскадами на биполярных транзисторах.

Как уже было отмечено, полевой транзистор с управляющим переходом может работать только с обеднением канала в режиме обеднения канала, т.е. полярности напряжений, приложенные к его стоку и затвору, должны быть противоположными. Поэтому для задания режима по постоянному току на практике широко используется введение в каскад последовательной отрицательной обратной связи (ООС) по току нагрузки. Схема такого каскада приведена на рисунке 3.6б.

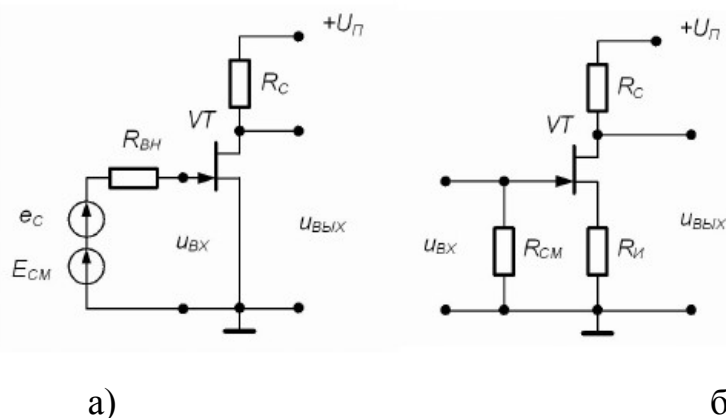


Рисунок 3.6 – а) Типовая схема усилительного каскада на ПТ  
б) Задание режима покоя в усилительном каскаде на ПТУП

## 4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### 4.1 Получение передаточной характеристики полевого транзистора в схеме с общим истоком

**4.1.1** С помощью ВП получаем график зависимости выходного тока  $I_c$  от входного напряжения  $U_{зи}$ , выставив напряжение питания стока  $E_c$  равному 5В. Схема цепи изображена на рисунке 4.1, график входных характеристик изображён на рисунке 4.1.

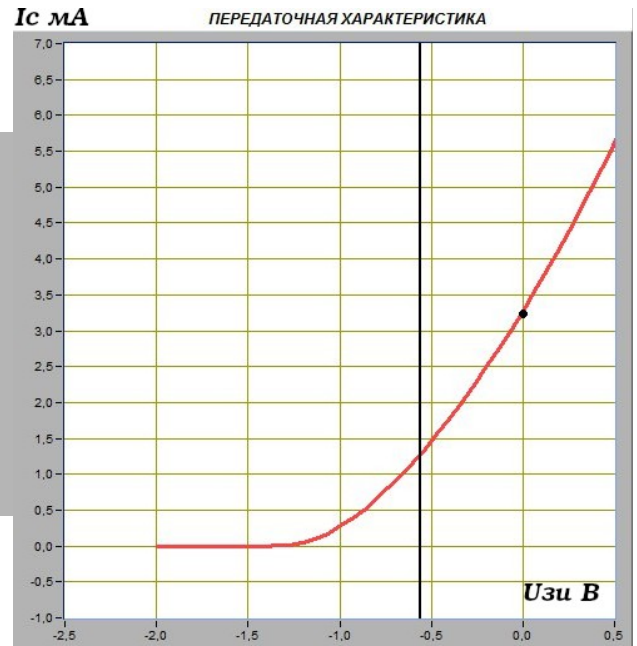
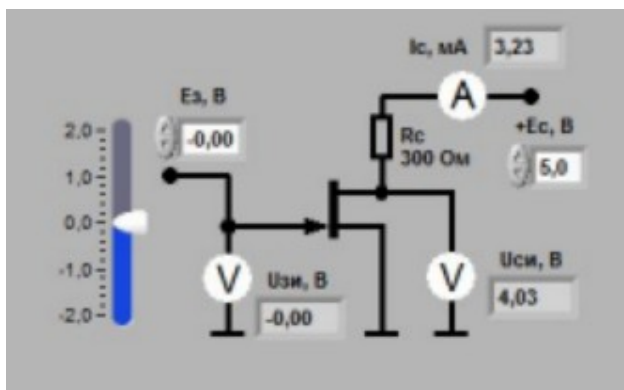


Рисунок 4.1 – Схема цепи с транзистором в задании 1

Рисунок 4.2 – График входных характеристик полевого транзистора

**4.1.2** Изменяем значение источника ЭДС затвора  $E_z$ , устанавливаем значение тока стока  $I_c$  равному 0,01 мА и получаем значение напряжение отсечки затвор-исток  $U_{зиотс} = -1.29$  В

**4.1.3** Изменяем значение источника ЭДС затвора  $E_z$  так, чтобы напряжение затвор-исток  $U_{зи}$  стало равным 0 В и получаем значение начальное значение тока стока  $I_{снач} = 3.23$  мА

**4.1.4** Вычисляем значение коэффициента  $k$  по формуле 4.1

$$k = I_{снач} / (U_{зиотс})^2 = (3.23 \cdot 10^{-3}) / (-1.29)^2 = 1.94 \cdot 10^{-3} \quad (4.1)$$

**4.1.5** Изменяем значение источника ЭДС затвора  $E_z$  так, чтобы напряжение затвор-исток  $U_{зи}$  в начале было равно  $U_{зи1} = -0.1$  В, а затем  $U_{зи2} = 0.1$  В и получаем значения тока стока равные  $I_{c1} = 2.83$  А и  $I_{c2} = 3.64$  А.

**4.1.6** Вычисляем значение крутизны передаточной характеристики по

формуле 4.2

$$S = (I_{c2} - I_{c1}) / (U_{zu2} - U_{zu1}) = (3.64 - 2.83) / (0.2) = 4.05 \quad (4.2)$$

## 4.2 Получение зависимости сопротивления канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток

**4.2.1** Используем ВП и устанавливаем значение напряжения питания истока  $E_c$  равным 5В и получаем график зависимости сопротивления канала  $R_k$  полевого транзистора от напряжения затвор-исток  $U_{zi}$ . Схему можно увидеть на рисунке 4.3, график зависимости на рисунке 4.4.

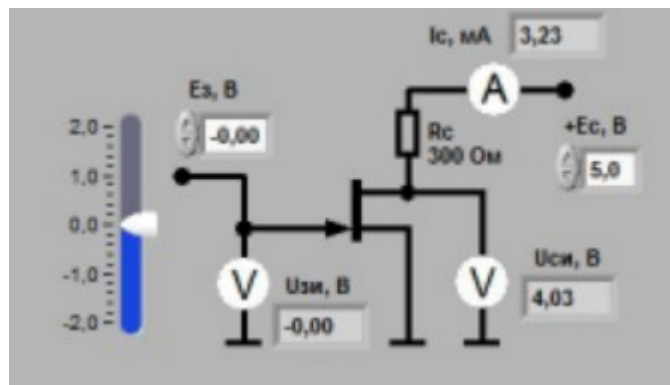


Рисунок 4.3 – Схема цепи с транзистором в задании 2

**4.2.2** Изменяем напряжение источника ЭДС затвора  $E_z$  до тех пор, пока ток стока  $I_c$  станет равным 0.01мА и фиксируем сопротивление  $R_{k\max} = 420 \text{ кОм}$  и  $U_{зиотс} = -1.29 \text{ В}$

**4.2.3** Изменяем напряжение источника ЭДС затвора  $E_z$  пока напряжение затвор-исток станет равным 0 и получаем значение  $R_k = 1.2 \text{ кОм}$ .

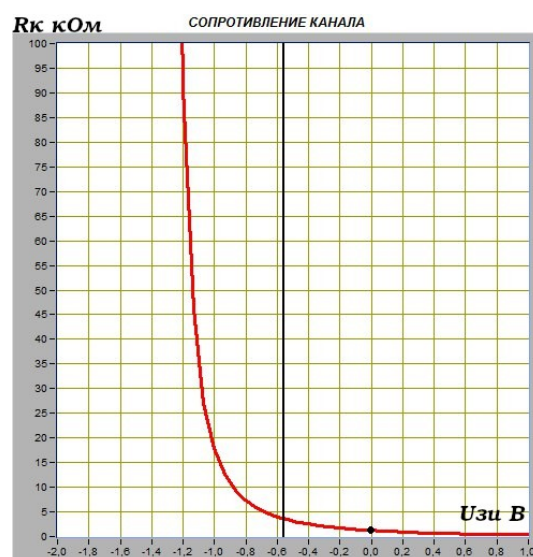


Рисунок 4.4 – График зависимости сопротивления от напряжения



## 4.3 Получение семейства выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком

4.3.1 С помощью ВП получаем график зависимостей тока стока  $I_c$  от напряжения сток-исток  $U_{cu}$ . График можно увидеть на рисунке 4.5. Схема изображена на рисунке 4.3.

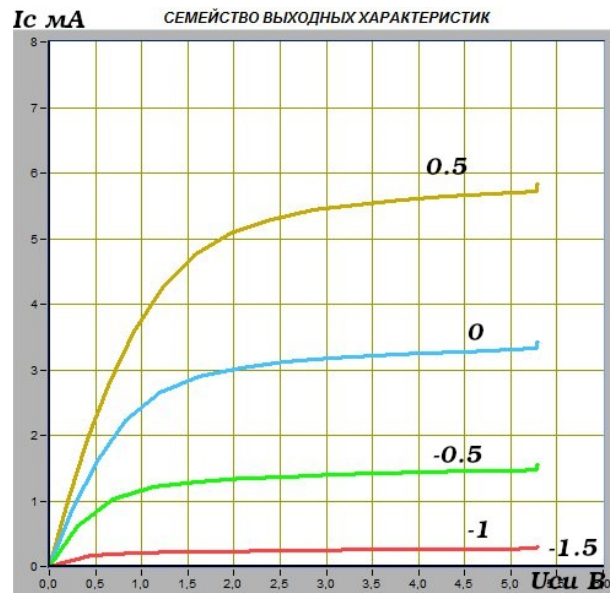


Рисунок 4.5 – График зависимостей тока от напряжения

4.3.2 При фиксированном напряжении исток-сток  $U_{cu}$ , равном 5В определяем ток стока  $I_c$  соответствующий значениям напряжения на затворе и получаем следующие значения:  $I_c=0\text{ A}$ ,  $I_{\kappa}=0.27\text{ mA}$ ,  $I_3=1.46\text{ mA}$ ,  $I_2=3.32\text{ mA}$  и  $I_{\text{жс}}=5.71\text{ mA}$

4.3.3 Определяем крутизну передаточной характеристики транзистора S при изменении напряжения затвор-исток в диапазоне от -0.5 до 0.5 В по формуле 4.3

$$S = \Delta I_c / \Delta U_{зи} = (5.71 \cdot 10^{-3} - 1.46 \cdot 10^{-3}) / 1 = 4.25 \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

4.3.4 Выбираем значение сопротивление стока  $R_c$  равным 300 Ом, а величину ЭДС стока  $E_c=5\text{ В}$  и находим тока стока  $I_c$  по формуле 4.4

$$I_c = E_c / R_c = 5 / 300 = 16.6(6)\text{ mA} \quad (4.4)$$

4.3.5 Оцениваем границы активного режима транзисторного каскада и получаем  $U_{\text{смин}}=3.55\text{ В}$ ,  $I_{\text{смакс}}=5.53\text{ mA}$  и  $U_{\text{смакс}}=4.95\text{ В}$ ,  $I_{\text{смин}}=0.22\text{ mA}$

4.3.6 Вычисляем ток стока по формуле 4.5 для средней точки активного режима и определяем по передаточной характеристике напряжение затвор-

исток по формуле 4.6:

$$I_c = I_{c\max} - I_{c\min} = 5.53 - 0.22 = 5.31 \text{ mA} \quad (4.5)$$

$$U_{зи} = U_{зи\max} - U_{зи\min} = 4.95 - 3.55 = 1.4 \text{ V} \quad (4.6)$$

#### 4.4 Исследование работы транзисторного каскада с общим истоком

**4.4.1** Устанавливаем с помощью ВП амплитуду напряжения источника входного гармонического напряжения  $u_{вхм} = 0$  и напряжение источника ЭДС  $E_c = 5 \text{ V}$ . Схема изображена на рисунке 4.6.

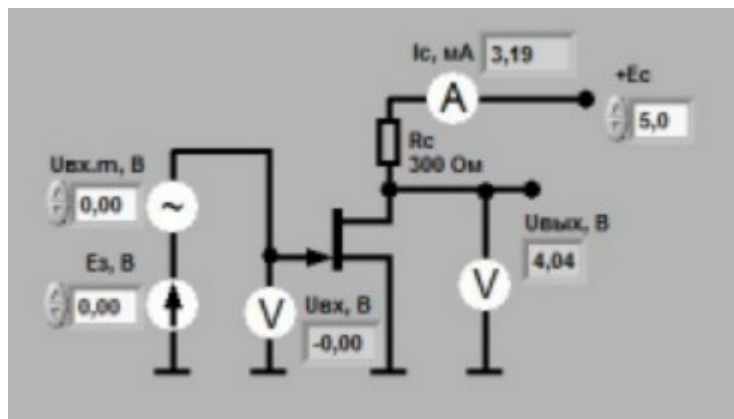


Рисунок 4.6 – Схема цепи с транзистором в задании 4

Так же получаем передаточные и входные ВАХ, увидеть их можно на рисунке 4.7

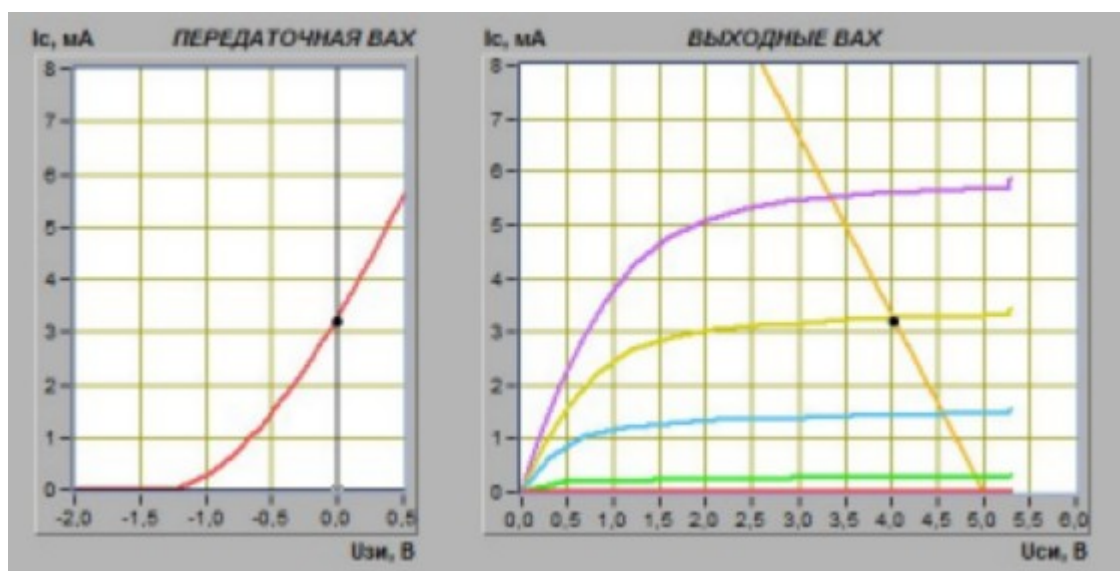


Рисунок 4.7 – ВАХ транзисторного каскада с общим истоком

**4.4.2** Устанавливаем напряжение источника ЭДС затвора  $E_z$  равным значению  $1.4 \text{ V}$  и снимаем параметры статического режима транзисторного усилителя с общим истоком. Результат можно увидеть в таблице 4.1\

Таблица 4.1 параметры статического режима

$U_{зи} В$	$I_c мА$	$U_{си} В$
-0.13	2.7	4.19

**4.4.3** Увеличиваем амплитуду выходного сигнала  $u_{вхт}$  и получем по-лучаем входной и выходной сигнал, увидеть их можно на рисунке 4.8

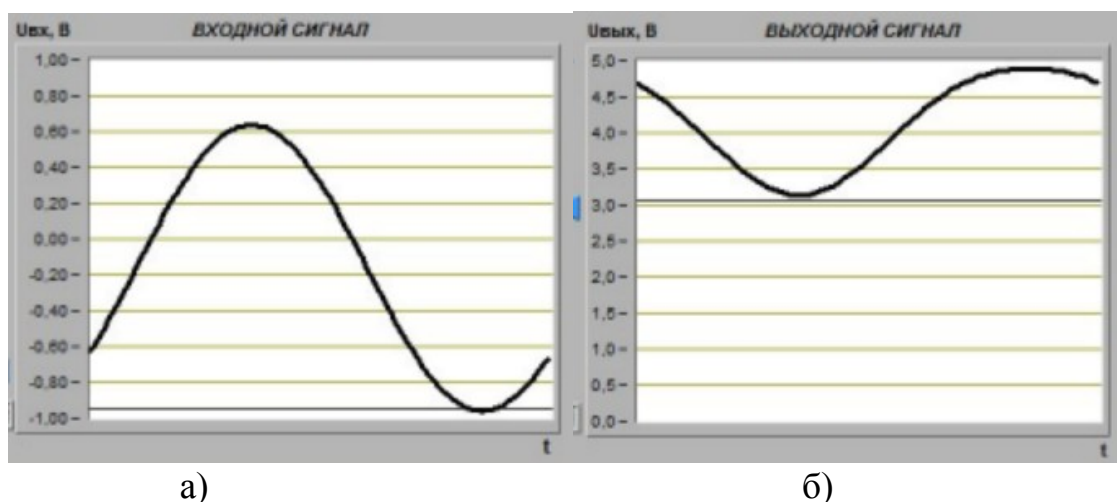


Рисунок 4.8 – а) входной сигнал б) выходной сигнал

**4.4.4** Измеряем максимальные и минимальные значения входного и выходного сигнала и получаем  $U_{вхmax}=0.665 В$  ,  $U_{вхmin}=-0.942 В$  ,  $U_{выхmax}=4.88 В$  ,  $U_{выхmin}=3.06 В$  , потом по формуле 4.7 получаем значения амплитуд входных и выходных сигналов:

$$U_m = (u_{max} - u_{min}) / 2$$

$$U_{авх} = (0.665 + 0.942) / 2 = 0.8035 В \quad (4.7)$$

$$U_{авых} = (4.88 - 3.06) / 2 = 0.91 В$$

**4.4.5** Используем полученные значения из пункта 4.4.4 определяем ко-эффициент усиления по формуле 4.8 .

$$K_y = U_{авых} / U_{авх} = 0.91 / 0.8035 = 1.13 \quad (4.8)$$

**4.4.6** Вычисляем коэффициент усиления транзисторного каскада по формуле 4.9

$$K_y = S * R_c = 4.25 * 10^{-3} * 300 = 1.275 \quad (4.9)$$

**4.4.7** Исследуем как положение рабочей точки влияет на работу тран-зисторного каскада с общим истоком, для этого меняем значение напряжения затвора на 30% больше и на 30% меньше. В результате мы не получаем ника-

кого искажения. Дело в том что значения напряжение затвор–исток слишком мало и мы не 30% не хватает чтобы увидеть какие-либо дефекты. На рисунке 4.9 мы можем увидеть входной и выходной сигнал когда мы увеличили значение напряжения на 30%, а на рисунке 4.10 наоборот.

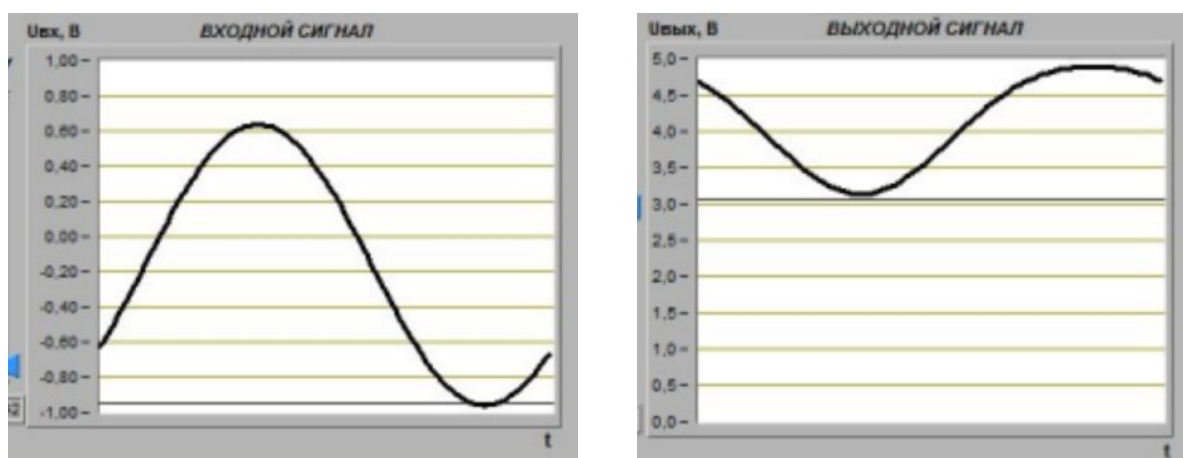


Рисунок 4.9 – сигналы при увеличении на 30%

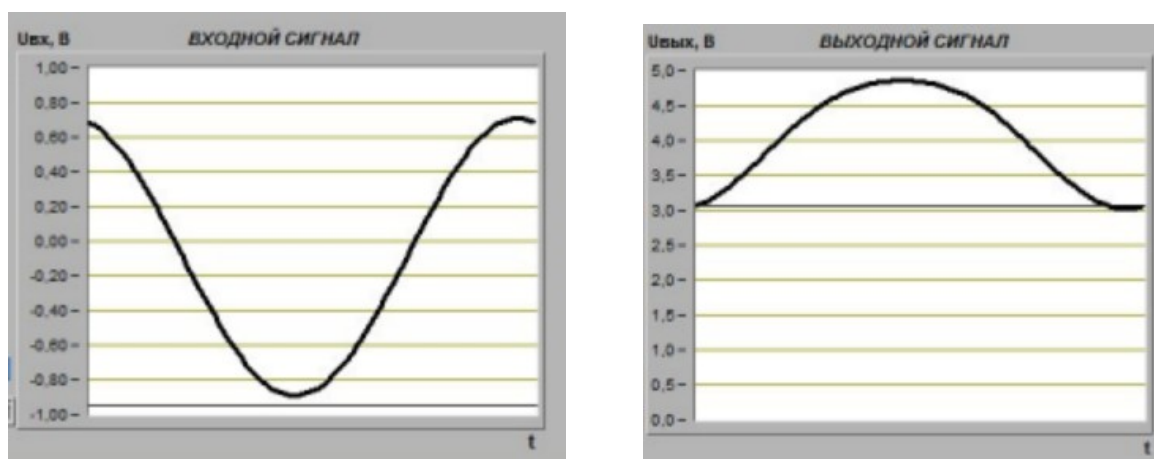


Рисунок 4.10 – сигналы при увеличении на 30%

## 5 ВЫВОДЫ

В процессе выполнения работы были исследованы устройство и принцип работы полевого транзистора, его основные характеристики, схемы включения, режимы работы.

Полученные знания были применены для решения задач, возникших в ходе работы: определение крутизны передаточных характеристик; получены входные характеристики полевого транзистора в схеме с общим истоком; получено семейство выходных характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером.