

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра электроники

Лабораторная работа № 4  
«Исследование полевых транзисторов»

Проверил:  
Стома С.С

Выполнили:  
ст. гр. 950501  
Деркач А.В.  
Романчук А.В.

Минск 2020

### **Порядок выполнения работы:**

- 1 Ознакомиться с методическим описанием лабораторной работы. (Теоретическое описание лабораторной работы изложено в методическом пособии [1], стр. 41-48).
- 2 Получить у преподавателя необходимый комплект для проведения лабораторной работы.
- 3 Уточнить тип исследуемых транзисторов у преподавателя.
- 4 Собрать схему (рисунок 1) для исследования параметров полевого транзистора с управляющим р-п переходом.
- 5 Определить максимальный ток стока  $I_{с_{max}}$  и записать полученное значение в соответствующее поле.
- 6 Исследовать сток-затворную характеристику полевого транзистора с управляющим р-п переходом. Полученные результаты записать в таблицу 1. (Качественный вид и описание сток-затворной характеристики представлены в методическом пособии [1], стр. 45).
- 7 Исследовать выходные характеристики полевого транзистора для трех вариантов входного напряжения ( $U_{зи}$ ). Полученные результаты записать в таблицы 2 – 4. (Качественный вид и описание выходных характеристик полевого транзистора представлены в методическом пособии [1], стр. 45).
- 8 Собрать схему (рисунок 2) для исследования параметров полевого МДП транзистора с индуцированным каналом.
- 9 Определить и записать значение порогового напряжения открытия транзистора ( $U_{пор}$ ).
- 10 Исследовать сток-затворную характеристику полевого транзистора с индуцированным каналом. Полученные результаты записать в таблицу 5. (Качественный вид и описание сток-затворной характеристики представлены в методическом пособии [1], стр. 45).
- 11 Исследовать выходные характеристики полевого транзистора для трех вариантов входного напряжения ( $U_{зи}$ ). Полученные результаты записать в таблицы 6 – 8. (Качественный вид и описание выходных характеристик полевого транзистора представлены в методическом пособии [1], стр. 45).
- 12 Собрать схему для исследования логических элементов (рисунок 3). Исследовать таблицу истинности собранной схемы и определить тип логического элемента. Аналогично выполнить для второй схемы (рисунок 4).
- 13 Предоставить измеренные данные на проверку преподавателю.

### **Порядок оформления отчета:**

- 1 По измеренным данным построить соответствующие графики.
- 2 По построенным графикам рассчитать дифференциальные параметры полевого транзистора с управляющим р-п переходом и полевого транзистора с индуцированным каналом в окрестностях рабочей точки.
- 3 Записать общие выводы по проделанной лабораторной работе.

[1] – Электронные приборы. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. В 2 частях. Часть 1: Активные компоненты полупроводниковой электроники / А. Я. Бельский – Минск : БГУИР, 2012

## 1 Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, классификацию, области применения полевых транзисторов (ПТ). Экспериментально исследовать статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) транзисторов и рассчитать дифференциальные параметры полевых транзисторов в заданной рабочей точке.

## 2 Ход работы

2.1 Исследование сток-затворной характеристики ПТ с управляющим р-п переходом в схеме с общим истоком (ОИ)

Для исследования сток-затворной характеристики ПТ собрана цепь по схеме, представленной на рисунке 1.

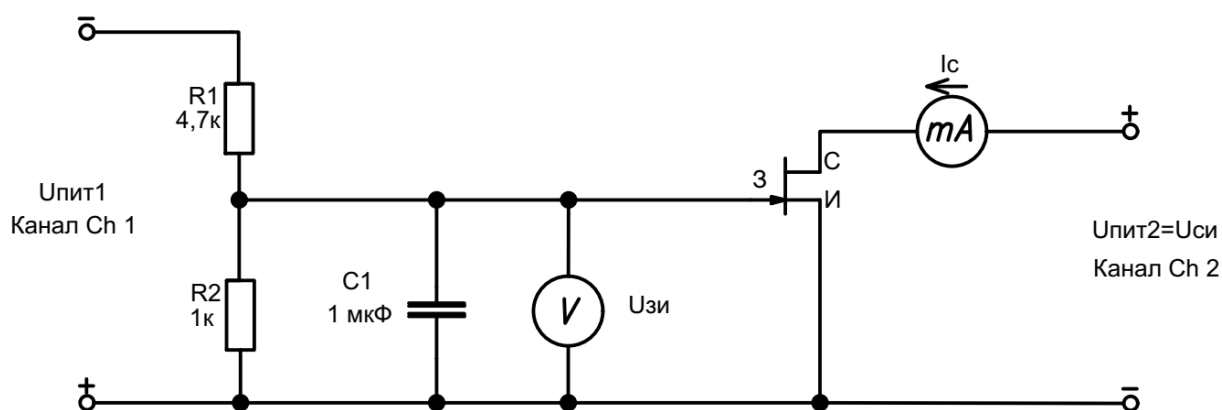


Рисунок 1 – Схема исследования характеристик ПТ в схеме с ОИ

Перед исследованием сток-затворной характеристики было определено значение максимального тока стока  $I_{с\max}$  при  $U_{зи} = 0V$ ,  $U_{си} = 4V$ , которое составило  $y = 7,513 \text{ mA}$  (для каждого транзистора определяется экспериментально). Результаты исследований занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерения (изменять значение  $U_{пит1}$ ) сток-затворной характеристики ПТ  $I_c=f(U_{зи})$ , при фиксированном значении  $U_{си} = 4V$

$I_c, \text{ mA}$	$y = 7,513$	$0,9y = 6,762$	$0,8y = 6,010$	$0,7y = 5,259$	$0,6y = 4,508$	$0,5y = 3,756$
$U_{зи}, \text{ V}$	0	$x_1 = 0,1487$	0,3005	0,4637	$x_2 = 0,6336$	0,8193
$I_c, \text{ mA}$	$0,4y = 3,005$	$0,3y = 2,254$	$0,2y = 1,503$	$0,1y = 0,751$	$0,05y = 0,276$	0
$U_{зи}, \text{ V}$	1,0175	$x_3 = 1,2373$	1,4861	1,7937	2,003	4,399

Значения в ячейках, обозначенных  $x_1, x_2, x_3$ , будут использованы в дальнейшем

## 2.2 Исследование выходных характеристик ПТ с управляющим р-п переходом в схеме с общим истоком (ОИ)

Семейство выходных характеристик  $I_c=f(U_{си})$  измерено для трех фиксированных значений входного напряжения затвор-исток  $U_{зи} = x_1; x_2; x_3$  В. Результаты исследований занесены в таблицу 2, таблицу 3 и таблицу 4 соответственно.

Таблица 2 – Результаты измерения (изменять значение  $U_{пит2}$ ) выходной характеристики ПТ  $I_c=f(U_{си})$ , при фиксированном значении  $U_{зи} = x_1$  (из таблицы 1) = **0,1487 В**

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	6,753	6,674	6,573	6,395	6,008	5,370	4,489	2,405	1,281	0,533	0

Таблица 3 – Результаты измерения (изменять значение  $U_{пит2}$ ) выходной характеристики ПТ  $I_c=f(U_{си})$ , при фиксированном значении  $U_{зи} = x_2$  (из таблицы 1) = **0,6336 В**

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	4,521	4,483	4,029	4,350	4,203	3,872	3,154	1,866	1,006	0,420	0

Таблица 4 – Результаты измерения (изменять значение  $U_{пит2}$ ) выходной характеристики ПТ  $I_c=f(U_{си})$ , при фиксированном значении  $U_{зи} = x_3$  (из таблицы 1) = **1,2373 В**

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	2,249	2,230	2,207	2,175	2,129	2,043	1,818	1,193	0,672	0,284	0

### 2.3 Исследование сток-затворной характеристики ПТ с индуцированным каналом в схеме с общим истоком (ОИ)

Для исследования сток-затворной характеристики ПТ собрана цепь по схеме, представленной на рисунке 2.

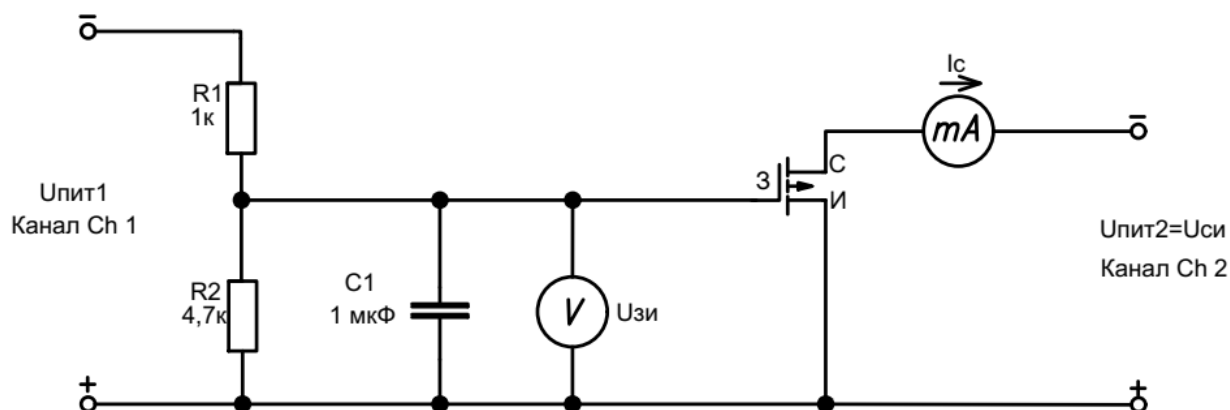


Рисунок 2 – Схема исследования характеристик ПТ в схеме с ОИ

Перед исследованием сток-затворной характеристики определено значение порогового напряжения  $U_{пор}$ , при котором ток стока составляет 10 мкА, которое составило  $U_{пор} = 3,134$  В. Результаты исследований занесены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты измерения (изменять значение  $U_{пит1}$ ) сток-затворной характеристики ПТ  $I_c = f(U_{зи})$ , при фиксированном значении  $U_{си} = 4$  В

$I_c$ , мА	0	0,01	$0,1 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$	$3 \pm 0,1$
$U_{зи}$ , В	0	$U_{пор} = 3,134$	3,355	3,520	3,600	3,689	$x_4 = 3,748$
$I_c$ , мА	$4 \pm 0,1$	$5 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$7 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$9 \pm 0,1$	$10 \pm 0,1$
$U_{зи}$ , В	3,794	3,832	$x_5 = 3,868$	3,898	3,924	$x_6 = 3,949$	3,972

Значения в ячейках, обозначенных  $x_4$ ,  $x_5$ ,  $x_6$ , будут использованы в дальнейшем

## 2.4 Исследование выходных характеристик ПТ с индуцированным каналом в схеме с общим истоком (ОИ)

Семейство выходных характеристик  $I_c=f(U_{си})$  измерено для трех фиксированных значений входного напряжения затвор-исток  $U_{зи} = x_4; x_5; x_6$  В. Результаты исследований занесены в таблицу 6, таблицу 7 и таблицу 8 соответственно.

Таблица 6 – Результаты измерения выходной характеристики ПТ  $I_c=f(U_{си})$ , при  $U_{зи} = x_4$  (из таблицы 5) = **3,748 В** (Изменять значение  $U_{пит2}$ )

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	3,075	3,058	3,038	3,014	2,993	2,982	2,956	2,924	2,806	2,042	0

Таблица 7 – Результаты измерения выходной характеристики ПТ  $I_c=f(U_{си})$ , при  $U_{зи} = x_5$  (из таблицы 5) = **3,868 В** (Изменять значение  $U_{пит2}$ )

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	6,040	5,992	5,923	5,874	5,822	5,764	5,795	5,632	5,164	3,224	0

Таблица 8 – Результаты измерения выходной характеристики ПТ  $I_c=f(U_{си})$ , при  $U_{зи} = x_6$  (из таблицы 5) = **3,949 В** (Изменять значение  $U_{пит2}$ )

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	9,131	9,078	8,958	8,859	8,778	8,670	8,560	8,370	7,239	4,055	0

## 2.5 Исследование логических элементов на основе полевых транзисторов

Современные интегральные микросхемы представляют собой набор логических элементов, которые выполнены, в свою очередь, на полевых либо биполярных транзисторах. Поскольку полевые транзисторы имеют низкие затраты энергии на их управление, в отличие от биполярных, то микросхемы на полевых транзисторах получили наибольшее распространение. Простейшие логические элементы (И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, исключающее ИЛИ, исключающее ИЛИ-НЕ) могут быть реализованы как в виде отдельных микросхем базовой логики, так и в составе сложных интегральных микросхем (регистры, счетчики, мультиплексоры, дешифраторы, триггеры).

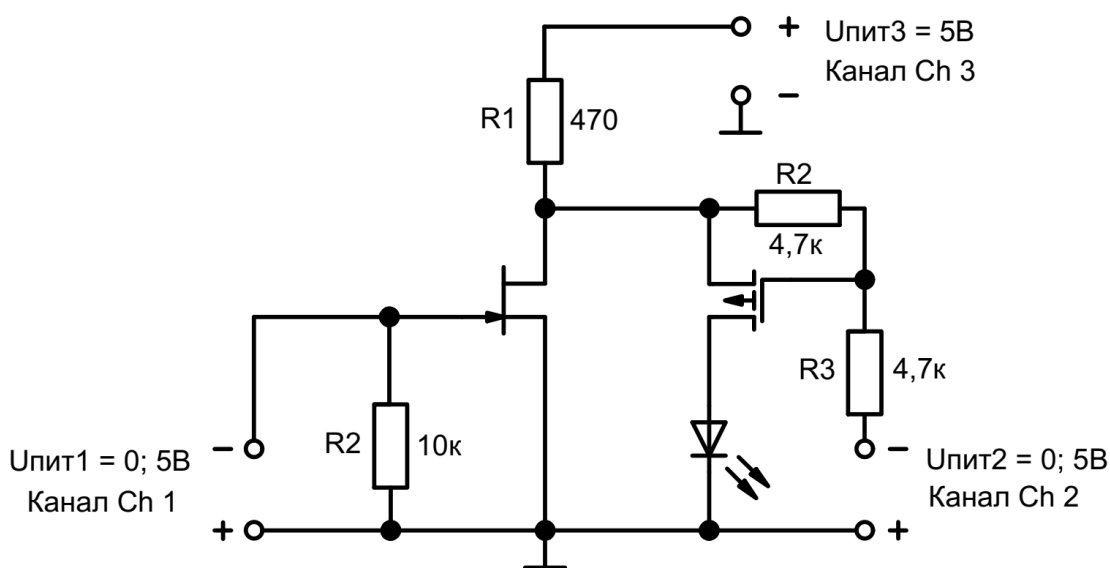


Рисунок 3 – Логический элемент на полевых транзисторах

Для исследования логического элемента собрана схема (рисунок 3). Напряжение на канале Ch3 источника питания составляет 5В. Логические сигналы подаются на затворы полевых транзисторов (0 либо 5 В) каналами источника питания Ch1 и Ch2. Логическая «1» соответствует 5В источника питания, «0» – 0В. Логический выход выполнен в виде светодиода. Горящий светодиод соответствует логической «1» выхода, потухший – «0». Для определения типа логического элемента построена таблица истинности (таблица 9).

Таблица 9 – Таблица истинности первого логического элемента

Ch1	Ch2	Выход
«0»	«0»	0
«0»	«1»	0
«1»	«0»	0
«1»	«1»	1

По таблице 9 определили, что схема на рисунке 3 представляет собой логическое ...И... .

Аналогичным образом исследована схема, представленная на рисунке 4. Для определения типа логического элемента построена таблица истинности (таблица 10).

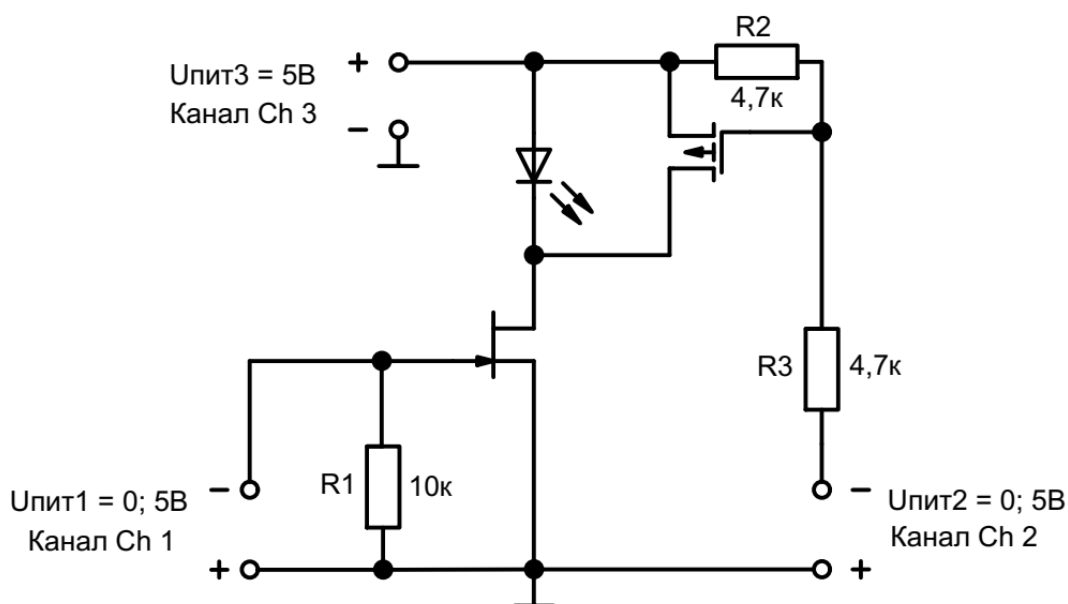


Рисунок 3 – Логический элемент на полевых транзисторах

Таблица 10 – Таблица истинности второго логического элемента

Ch1	Ch2	Выход
«0»	«0»	1
«0»	«1»	0
«1»	«0»	0
«1»	«1»	0

По таблице 10 определили, что схема на рисунке 4 представляет собой логическое ...ИЛИ...НЕ... .



## 2.6 Результаты экспериментальных исследований

По результатам измерений ПТ с управляющим р-п переходом и ПТ с индуцированным каналом в схеме с ОИ построены графики сток-затворных и выходных характеристик этих ПТ (рисунки 5, 6, 7, 8).

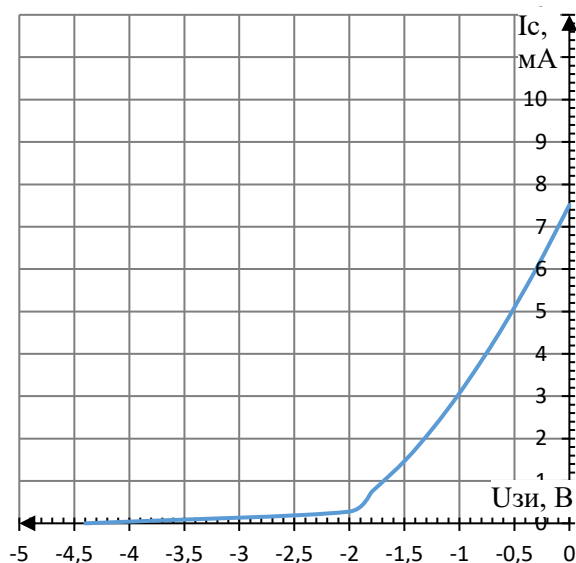


Рисунок 5 – Сток-затворная характеристика ПТ с управляющим р-п переходом

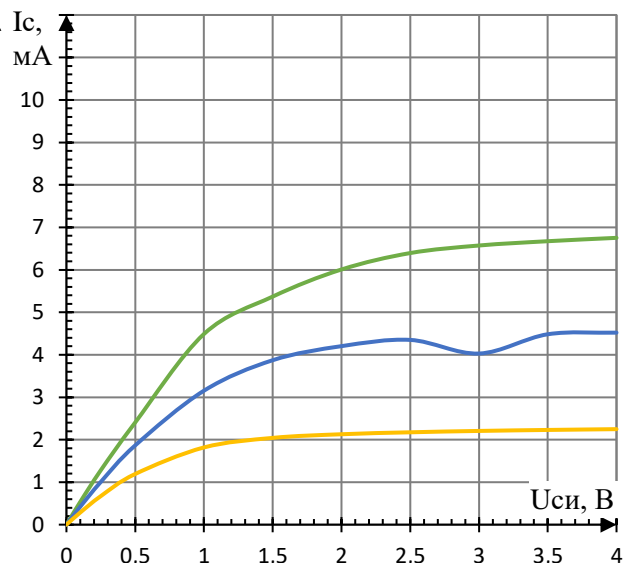


Рисунок 6 – Выходные характеристики ПТ с управляющим р-п переходом

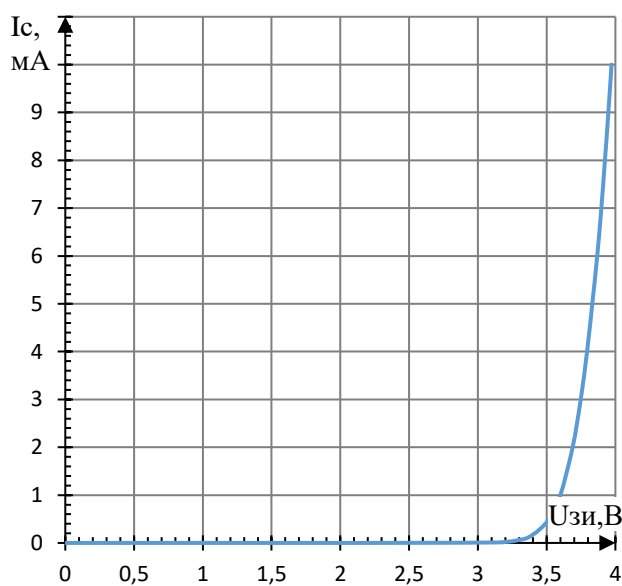


Рисунок 7 – Сток-затворная характеристика ПТ с индуцированным каналом

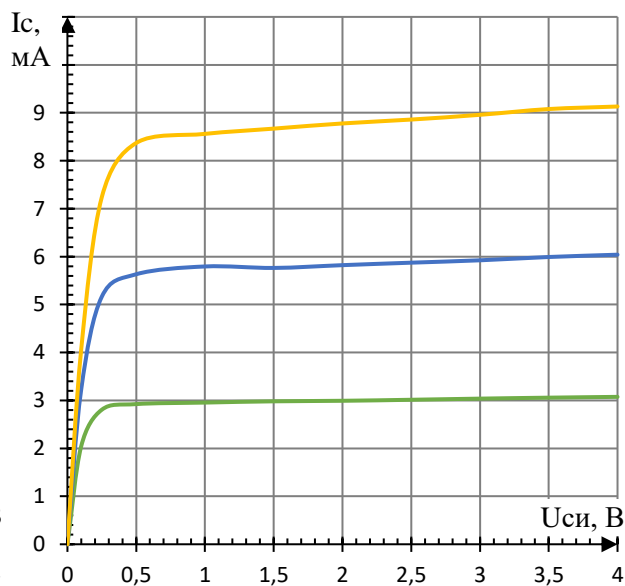


Рисунок 8 – Выходные характеристики ПТ с индуцированным каналом

## 2.7 Расчет дифференциальных параметров ПТ в схеме с ОИ

По построенным графикам характеристик ПТ в схеме с ОИ рассчитаны их дифференциальные параметры в окрестностях рабочих точек:

- 1) для транзистора с управляющим р-п переходом  $U_{си} = 2,5$  В и  $I_c = 0,6$  у (из таблицы 3) = 0,6336 мА;

$$S = \frac{(6,395 - 2,175) \cdot 10^{-3}}{1,2373 - 0,1487} = \frac{4,22 \cdot 10^{-3}}{1,0886} = 3,8765 \cdot 10^{-3} \frac{A}{B}$$

$$R_i = \frac{3,5 - 1,5}{(4,483 - 3,872) \cdot 10^{-3}} = \frac{2}{0,611 \cdot 10^{-3}} = 3,273 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$\mu = S \cdot R_i = 3,8765 \cdot 10^{-3} \cdot 3,273 \cdot 10^3 = 12,689$$

- 2) для транзистора с индуцированным каналом  $U_{си} = 2,5$  В,  $I_c = 6$  мА.

$$S = \frac{(8,778 - 3,014) \cdot 10^{-3}}{3,949 - 3,748} = \frac{5,764 \cdot 10^{-3}}{0,201} = 28,677 \cdot 10^{-3} \frac{A}{B}$$

$$R_i = \frac{3,5 - 1,5}{(5,992 - 5,764) \cdot 10^{-3}} = \frac{2}{0,228 \cdot 10^{-3}} = 8,772 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$\mu = S \cdot R_i = 28,677 \cdot 10^{-3} \cdot 8,772 \cdot 10^3 = 251,555$$

### **3 Выводы**

В этой лабораторной работе мы изучили устройство, принцип действия, классификацию, области применения полевых транзисторов (ПТ). Экспериментально исследовали статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) транзисторов и рассчитали дифференциальные параметры полевых транзисторов в заданной рабочей точке.