

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

Кафедра электроники

Лабораторная работа № 4
«Исследование полевых транзисторов»

Проверила:

Стома С.С.

Выполнили:

ст. гр.

Полховский А.Ф.

Потапович А.Д.

Лайло В.В.

Минск 2020

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.

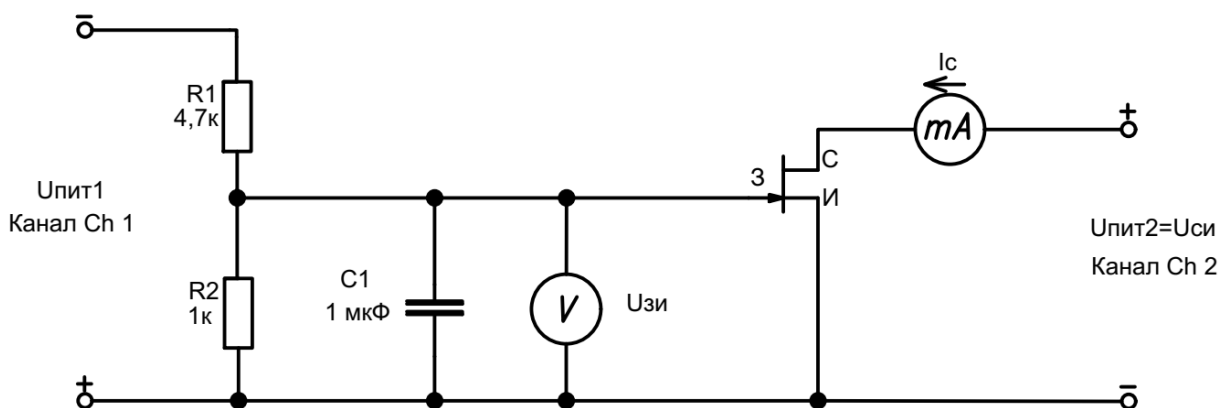


Рисунок 1 – Схема исследования характеристик ПТ в схеме с ОИ

Перед исследованием сток-затворной характеристики было определено значение максимального тока стока $I_{с\max}$ при $U_{зи} = 0V$, $U_{си} = 4V$, которое составило $y = 10,8 \text{ mA}$ (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 $U_{си} = 4V$

$I_c, \text{ mA}$	$y = 10,8$	$0,9y = 9,72$	$0,8y = 8,64$	$0,7y = 7,56$	$0,6y = 6,48$	$0,5y = 5,4$
$U_{зи}, \text{ V}$	0	$x_1 = 0,24$	0,48	0,73	$x_2 = 0,979$	1,25
$I_c, \text{ mA}$	$0,4y = 4,32$	$0,3y = 3,24$	$0,2y = 2,16$	$0,1y = 1,08$	$0,05y = 0,54$	0
$U_{зи}, \text{ V}$	1,548	$x_3 = 1,865$	2,226	2,658	2,937	3,686

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) = **0,24 В**

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	9,67	9,47	9,15	8,63	7,81	6,59	4,9	2,698	1,41	0,581	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) = **0,979 В**

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	6,562	6,43	6,27	6,03	5,61	4,88	3,72	2,08	1,103	0,457	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) = **1,865 В**

$U_{си}, В$	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25	0,1	0
$I_c, мА$	3,26	3,2	3,156	3,085	2,967	2,744	2,266	1,361	0,737	0,31	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.

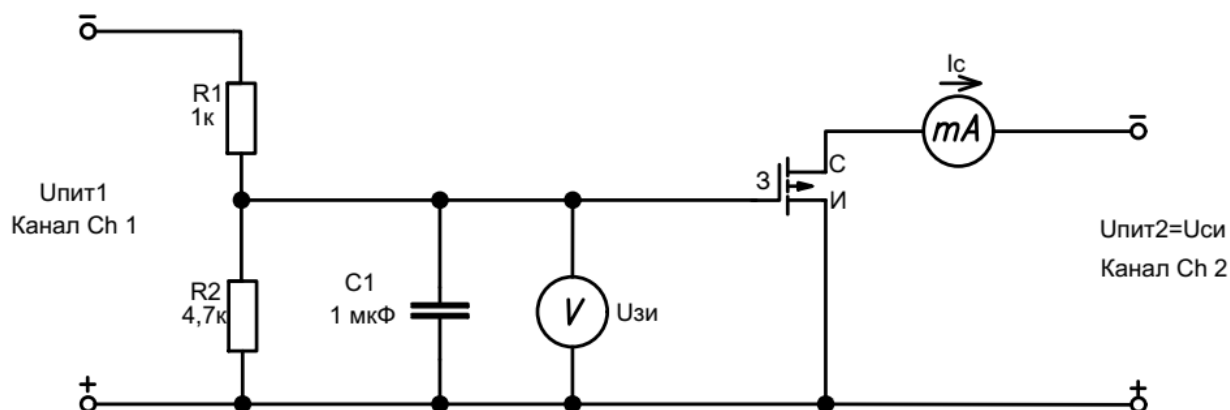


Рисунок 2 – Схема исследования характеристик ПТ в схеме с ОИ

Перед исследованием сток-затворной характеристики определено значение порогового напряжения $U_{пор}$, при котором ток стока составляет 10 мкА, которое составило $U_{пор} = 2,65$ 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	$U_{пор}=2,65$	2,89	3,056	3,127	3,2	$x_4=3,24$
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	3,27	3,299	$x_5=3,321$	3,346	3,36	$x_6=3,375$	3,386

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) = **3,24 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
$I_c, мА$	2,92	2,63	2,31	2,07	1,83	1,583	1,324	1,023	0,823	0,636	0

Таблица 7 – Результаты измерения выходной характеристики ПТ $I_c=f(U_{си})$, при $U_{зи} = x_5$ (из таблицы 5) = **3,321 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
$I_c, мА$	5,7	5,163	4,649	4,152	3,674	3,184	2,668	2,067	1,652	1,248	0

Таблица 8 – Результаты измерения выходной характеристики ПТ $I_c=f(U_{си})$, при $U_{зи} = x_6$ (из таблицы 5) = **3,375 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
$I_c, мА$	9,123	8,381	7,602	6,8	5,962	5,173	4,332	3,325	2,62	1,93	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 у полевых транзисторов затраты энергии на их управление ниже, чем у 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).

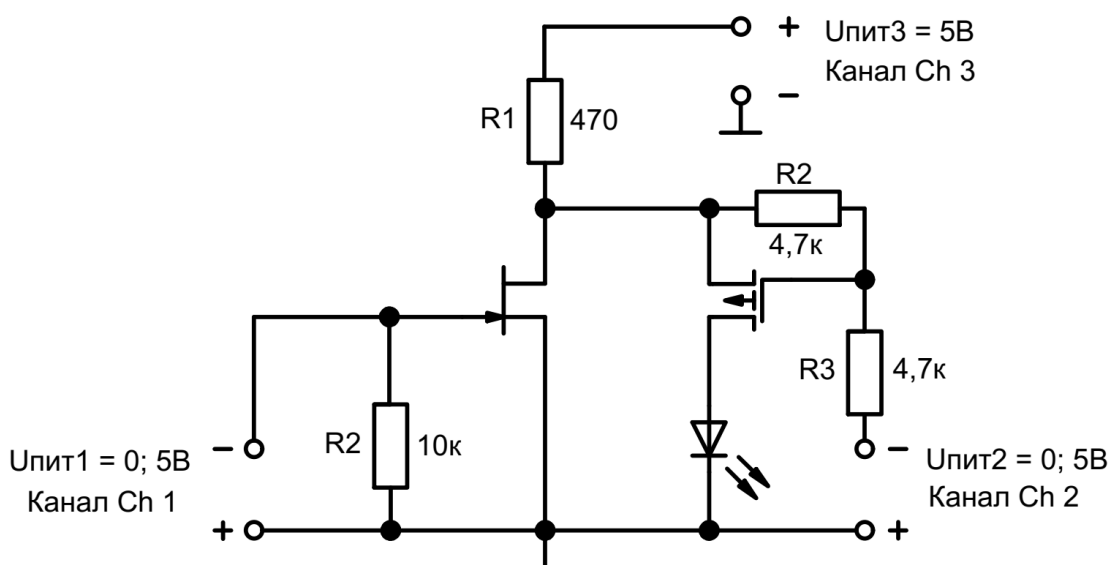


Рисунок 3 – Логический элемент на полевых транзисторах

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 схемы 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).

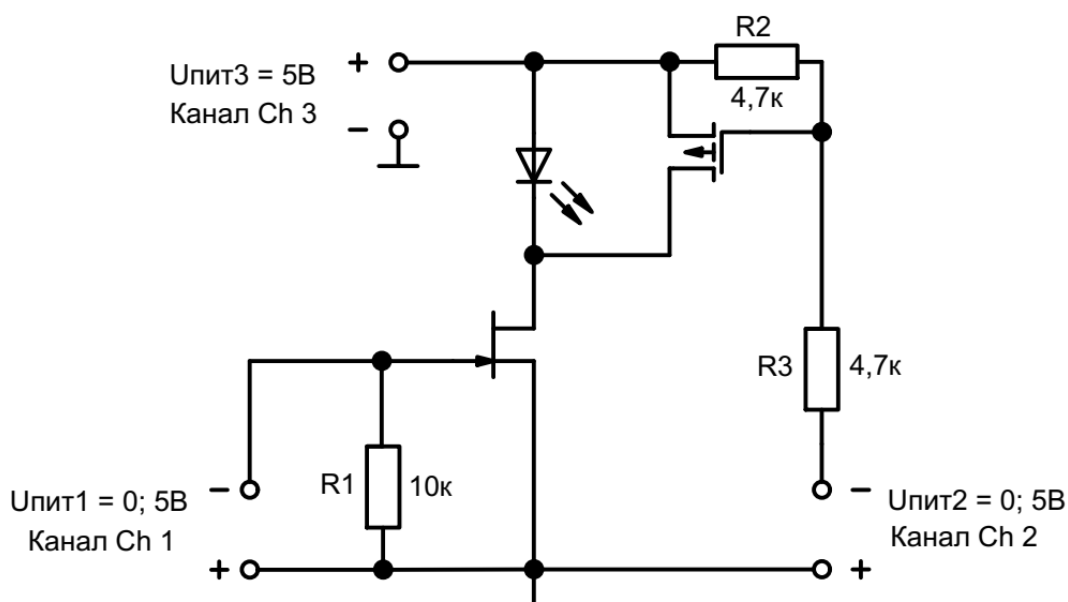


Рисунок 3 – Логический элемент на полевых транзисторах

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).

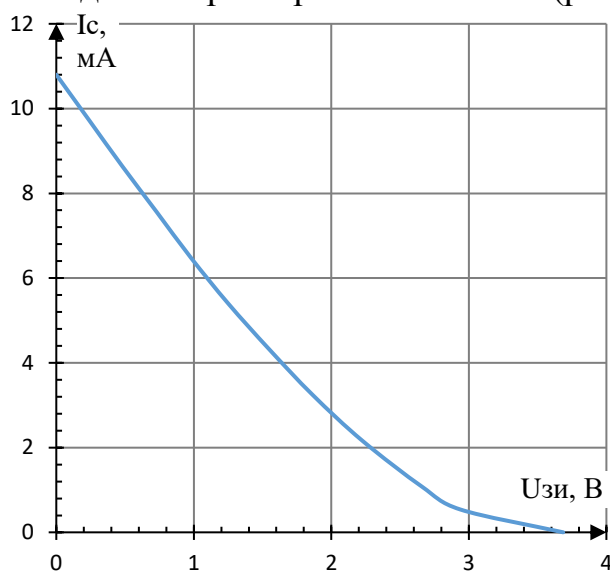


Рисунок 5 – Сток-затворная характеристика ПТ с управляющим р-п переходом

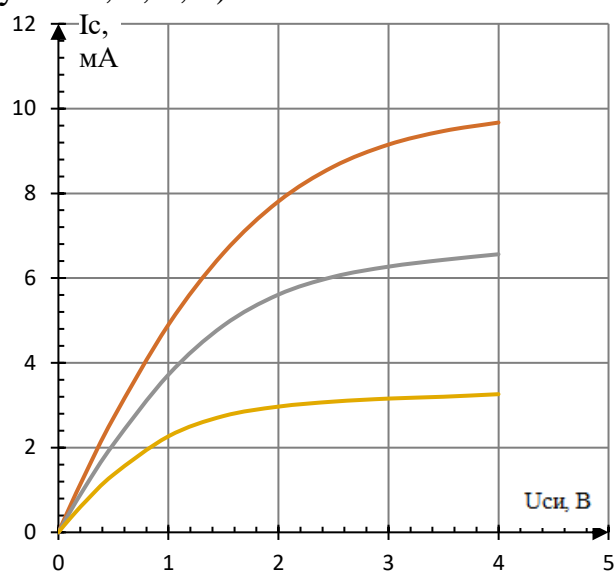


Рисунок 6 – Выходные характеристики ПТ с управляющим р-п переходом

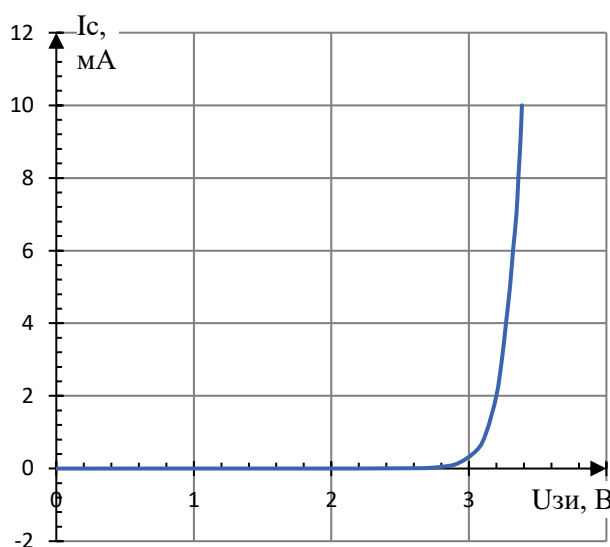


Рисунок 7 – Сток-затворная характеристика ПТ с индуцированным каналом

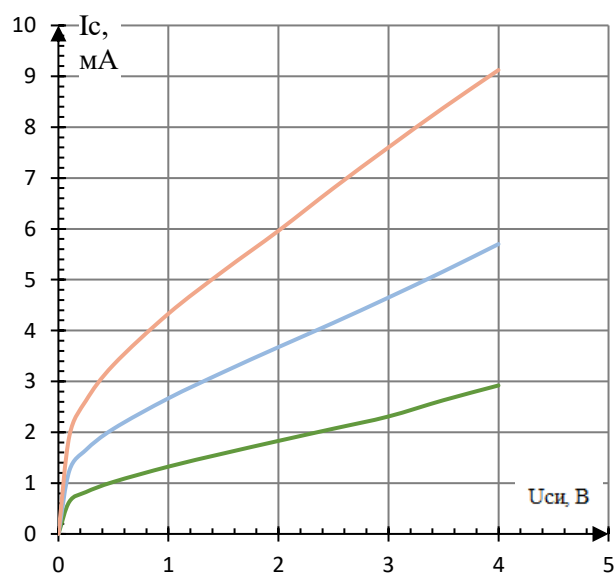


Рисунок 8 – Выходные характеристики ПТ с индуцированным каналом

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) = 6,48 мА;

$$S = \frac{dI_c}{dU_{зи}} = \frac{(0,54-2,226)*10^{-3}}{3-2} = 1,686*10^{-3}$$

$$R_i = \frac{dU_{си}}{dI_{и}} = \frac{2-3}{(5,61-6,27)*10^{-3}} = 1515,15 \text{ (Ом)}.$$

$$\mu = S \cdot R_i = 1,686 * 10^{-3} * 1515,15 = 2,55.$$

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

$$S = \frac{dI_c}{dU_{зи}} = \frac{(7-5)*10^{-3}}{3,346-3,299} = 42*10^{-3}$$

$$R_i = \frac{dU_{си}}{dI_{и}} = \frac{2-3}{(7,602-5,962)*10^{-3}} = 609,75 \text{ (Ом)}.$$

$$\mu = S \cdot R_i = 42 * 10^{-3} * 609,75 = 25,94.$$

3 Выводы

В ходе лабораторной работы были исследованы полевые транзисторы с индуцированным каналом в схеме с ОИ, а также с управляющим р-п переходом с ОИ. Сняты их сток-затворные и вольт-амперные характеристики, построены графики. По полученным графикам были получены значения дифференциальных параметров данных транзисторов.