

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 10.02.2022 15:45:00

Уникальный программный ключ:

0b817c911e6668abb17e5d436d79e5f1e11eabb573e947dfe495161e56d089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники



## **СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА**

Методические указания  
к лабораторной работе по дисциплинам  
«Электротехника электроника и схемотехника» и  
«Основы электроники»  
для студентов специальностей 09.03.01 и 09.03.04

**Курск 2019**

Составитель М.В. Бобырь

УДК 681.3

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры Информационных систем и технологий *С.В. Дегтярев*

Статические характеристики и параметры полевого транзистора: Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Электротехника электроника и схемотехника» и «Основы электроники» для студентов специальностей 09.03.01 и 09.03.04 / Юго-Зап. гос. ун-т; Сост. М.В. Бобырь. Курск, 2019. 12 с.

Описывается методика построения статических характеристик и определения статических и дифференциальных параметров полевого транзистора; приведены рекомендации по применению программы моделирования электронных схем **Electronics Workbench 5.0** для исследования характеристик транзистора.

Предназначены для студентов специальностей 09.03.01 и 09.03.04.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 30.04.19. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 0,6 Уч.-изд. л. 0,5 Тираж 50 экз. Заказ 442.

Юго-Западный государственный университета.  
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

### 1. Цель работы

Исследование статических вольт-амперных характеристик (ВАХ) полевого транзистора; определение статических и дифференциальных параметров транзистора.

### 2. Объект и средства исследования

Полевые транзисторы – это полупроводниковые приборы, у которых для управления током используется зависимость электрического сопротивления токопроводящего слоя (*канала*) от напряжённости поперечного электрического поля.

Каналом служит однородный слой полупроводника *n*-типа или *p*-типа. Внешние выводы от начала канала и его конца называются *истоком* и *стоком*. Тонкий слой канала (доли мкм) располагается на *подложке* – более толстой пластине полупроводника, имеющего противоположный тип проводимости. Для электрической изоляции канала от подложки используется *p-n* переход между ними, который для этого должен находиться под обратным напряжением.

Управляющий электрод – *затвор* – располагается вдоль канала и электрически изолирован от него. Изменение потенциала затвора приводит к изменению толщины канала, т.е. его проводимости. Для изоляции затвора от канала используют либо обратный смещенный *p-n* переход (полевые транзисторы с управляющим *p-n* переходом), либо слой диэлектрика – двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$  (МДП транзисторы).

В данной работе исследуется полевой транзистор с управляющим *p-n* переходом и каналом *n*-типа. Работа проводится на персональном компьютере с помощью программы схемотехнического моделирования **Electronics Workbench 5.0c**.

Из набора компонентов "**Transistors**" выбрать полевой транзистор с управляющим *p-n* переходом и каналом *n*-типа (**N-Channel JFET**) и через меню "Свойства компонента"

(*Component Properties...*) выбрать заданную модель транзистора фирмы *nationl2* согласно таблице 1.

Таблица 1

Вариант	Модель	Вариант	Модель
1	J2N 3921	8	J2N 5103
2	J2N 3967	9	J2N 5199
3	J2N 4084	10	J2N 5358
4	J2N 4223	11	J2N 5545
5	J2N 4341	12	J2N 5558
6	J2N 4416	13	NDF 9410
7	J2N 5047	14	J2N 3958

Собрать схему с общим истоком (см. рис. 1), содержащую источники постоянного напряжения (*Battery*) в цепях затвора и стока, а также миллиамперметр для измерения тока стока.

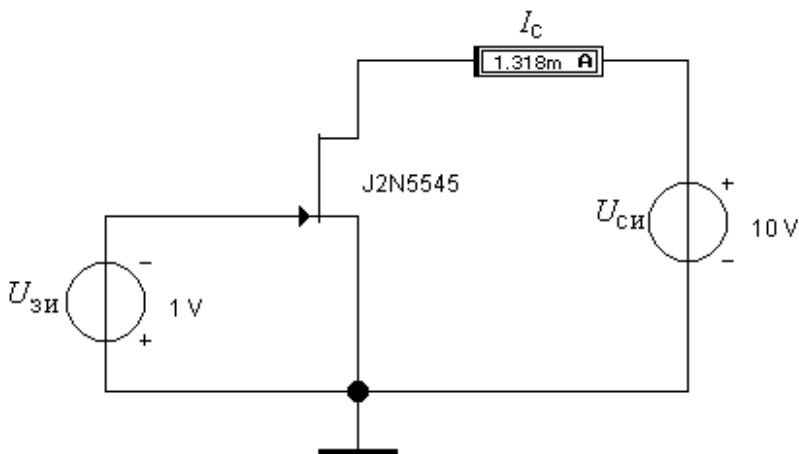


Рис. 1. Схема для исследования ВАХ полевого транзистора

### 3. Программа исследований

#### 1. Построение передаточных (стоко-затворных) характеристик

При фиксированном напряжении на стоке  $U_{\text{си}} = +10$  В установить напряжение затвор-исток  $U_{\text{зи}} = 0$  и измерить начальный ток стока  $I_{\text{с.нач.}}$ . Затем подобрать такое напряжение затвор-исток  $U_{\text{зи}}$  отрицательной полярности, при котором ток стока равен  $0,25 \cdot I_{\text{с.нач.}}$ . Можно принять напряжение отсечки  $U_{\text{зи.отс}}$  равным удвоенному значению указанного напряжения.

Измерить зависимость  $I_{\text{с}} = f(U_{\text{зи}})$  при изменении  $U_{\text{зи}}$  в пределах от  $U_{\text{зи.отс}}$  до нуля. Для измерений поделить указанный диапазон напряжений на 4 равные части.

Повторить измерение передаточной характеристики  $I_{\text{с}} = f(U_{\text{зи}})$  при напряжении сток-исток  $U_{\text{си}}$ , равном (по модулю) половине напряжения отсечки  $U_{\text{зи.отс}}$ .

Результаты измерений внести в таблицу 2 (все приведенные числа – для примера).

Таблица 2

Передаточные характеристики

$U_{\text{си}}, \text{В}$	$U_{\text{зи}}, \text{В}$	- 1,6	- 1,2	- 0,8	- 0,4	0
10	$I_{\text{с}}, \text{мА}$	0	0,25	1,0	2,25	4,0
0,8		0	0,25	1,0	2,0	3,0

Построить графики передаточных характеристик  $I_{\text{с}} = f(U_{\text{зи}})$  при обоих значениях напряжения сток-исток.

#### 2. Определение крутизны передаточной характеристики

Исследовать зависимость крутизны передаточной характеристики (проводимости прямой передачи) от положения рабочей точки, то есть от напряжения  $U_{\text{зи}}$  при фиксированном напряжении  $U_{\text{си}} = +10$  В. Определить в трех-четыре точки, включая  $U_{\text{зи}} = 0$ , приращения тока  $\Delta I_{\text{с}}$  при небольших изменениях напряжения  $\Delta U_{\text{зи}}$  и вычислить значение крутизны

$$S = Y_{21} = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}}, \left( \frac{\text{мА}}{\text{В}} \right).$$

Измерения следует производить только на рабочем участке передаточной характеристики, т.е.  $U_{зи.отс} < U_{зи} < 0$ . Результаты измерений крутизны передаточной характеристики свести в таблицу 3 (числа приведены для примера).

Таблица 3

Крутизна передаточной характеристики

$U_{зи}, \text{В}$	-1,6	-1,2	-0,8	-0,4	0
$\Delta U_{зи}, \text{В}$					
$\Delta I_c, \text{мА}$					
$S, \text{мА/В}$	0	1,25	2,5	3,75	5

Построить график зависимости  $S = f(U_{зи})$ .

### 3. Построение выходных характеристик

Разделить диапазон напряжений на затворе от  $U_{зи.отс}$  до нуля на четыре равных интервала. Для каждого значения  $U_{зи}$ , включая  $U_{зи} = 0$ , исследовать зависимость тока стока от напряжения сток-исток, изменяя напряжение  $U_{си}$  от нуля до 10 В.

При измерении каждой выходной характеристики на начальном крутом участке, при небольших значениях напряжения на стоке, следует выбирать точки чаще, а на пологом участке – реже. Пример показан в таблице 4.

Таблица 4

## Выходные характеристики

$U_{зи}, В$	$U_{си}, В$	0,1	0,2	0,5	1	2	4	6	8	10
0	$I_c, мА$									
-0,4										
-0,8										
-1,2										

Изобразить графики семейства выходных характеристик.

Определить в нескольких точках выходных характеристик (на крутых и пологих участках) выходную проводимость транзистора:

$$Y_{22} = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{си}}, \text{ мСм при } U_{зи} = \text{const.}$$

#### 4. Методические указания

Статические вольт-амперные характеристики можно строить как по точкам (таблицы 2 и 4), так и в “автоматическом” режиме с помощью осциллографа.

##### 1) Передаточные характеристики

Для построения передаточных характеристик нужно собрать схему рис. 2. График передаточной характеристики можно получить на экране осциллографа, если на горизонтально отклоняющие пластины подать «качающееся» напряжение затвор-исток, а на вертикально отклоняющие пластины – напряжение, пропорциональное току стока.

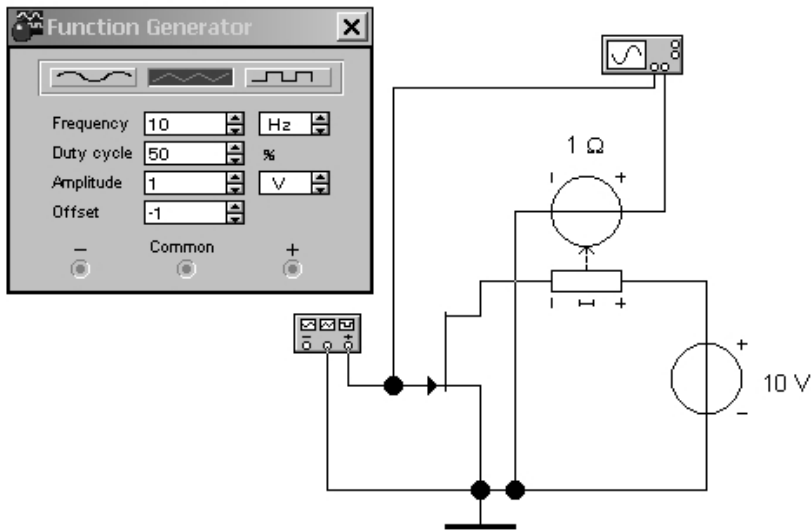


Рис. 2. Схема для построения передаточных характеристик

Функциональный генератор вырабатывает линейно изменяющееся напряжение в пределах от нуля до удвоенного амплитудного значения. Напряжение затвор–исток  $U_{зи}$  с выхода функционального генератора подается на вход канала А осциллографа, а для регистрации величины тока стока  $I_c$  в его цепь включен преобразователь тока в напряжение (**Current Controlled Voltage Source**), которое затем подается на вход В осциллографа. Для получения на экране осциллографа графика ВАХ используется режим развертки В/А.

На рис. 3 приведен вид передаточной характеристики при определенном значении напряжения сток–исток  $U_{си} = 10$  В. В этом примере масштаб по оси напряжения  $U_{зи}$  составляет 0,5 В/деление, а по оси тока стока  $I_c$  – 2 мА/деление.



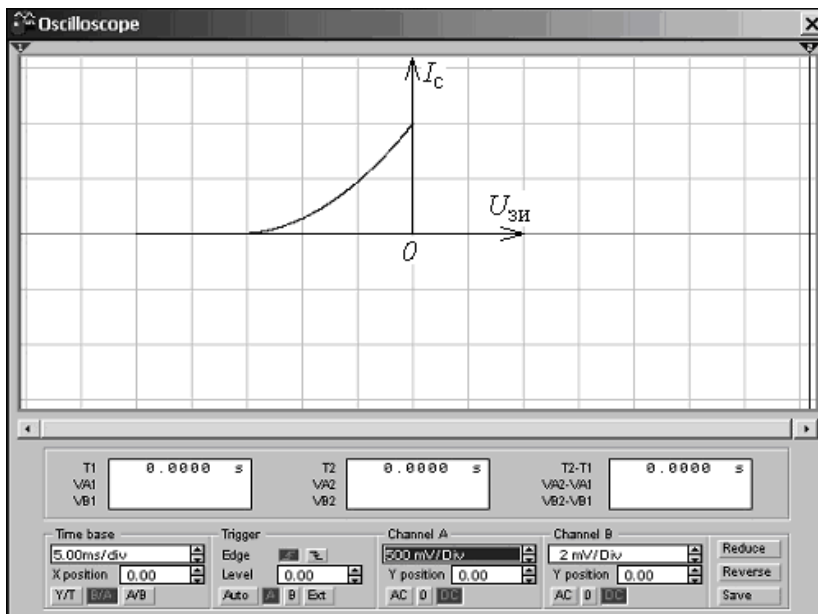


Рис. 3. Вид графика передаточной характеристики на экране осциллографа

## 2) Выходные характеристики

График выходной характеристики можно получить на экране осциллографа, если на горизонтально отклоняющие пластины подать «качающееся» напряжение сток-исток, а на вертикально отклоняющие пластины – напряжение, пропорциональное току стока. Схема и установки на панели осциллографа показаны на рис. 4.

Напряжение сток–исток  $U_{си}$  с выхода функционального генератора подается на вход канала В осциллографа, а для регистрации величины тока стока  $I_c$  в его цепь включен преобразователь тока в напряжение (**Current Controlled Voltage Source**), которое затем подается на вход А осциллографа. Для получения на экране осциллографа графика ВАХ используется режим развертки А/В.

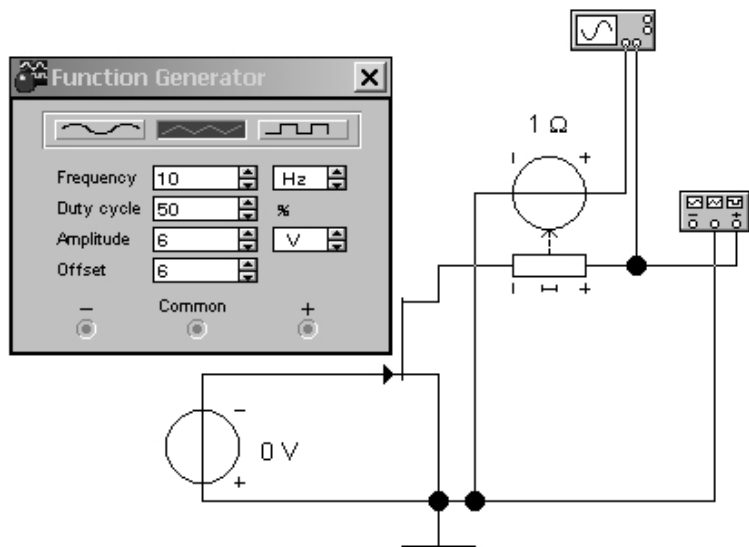


Рис. 4. Схема для построения графика выходной характеристики

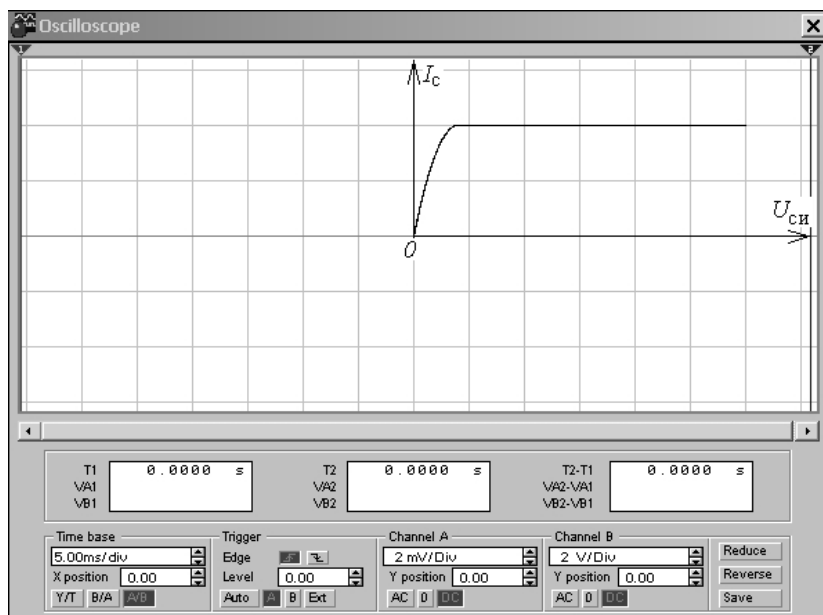


Рис. 5. График выходной характеристики на экране осциллографа

На рис. 5 показан график выходной характеристики при  $U_{зи} = 0$ . Масштаб по оси напряжения  $U_{си}$  составляет 2 Вольта на деление (канал В), по оси тока  $I_c$  – 2 мА на деление (канал А). Начало координат находится в центре экрана.

### **5. Контрольные вопросы**

1. На каком принципе основано управление током в полевом транзисторе?
2. Что представляет собой канал полевого транзистора? От чего зависит толщина канала?
3. Каким образом изолируется канал от подложки? Из каких соображений устанавливается полярность напряжения на стоке?
4. Каким образом обеспечивается изоляция затвора от канала в различных типах полевых транзисторов? Из каких соображений устанавливается полярность напряжения на затворе?
5. Что называется напряжением отсечки и напряжением насыщения?
6. Чем отличается полевой транзистор от биполярного как управляемый источник тока?
7. Какие дифференциальные параметры характеризуют полевой транзистор в режиме малого сигнала? Напишите уравнение для приращения тока стока.
8. Какие соотношения между электрическими величинами (сигналами) отражает малосигнальная эквивалентная схема транзистора?
9. Как зависит от напряжения затвор-исток крутизна передаточной характеристики в области насыщения выходных характеристик?
10. Как можно оценить величину входного сопротивления усилителя на полевом транзисторе?

### **6. Содержание отчета**

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) цель исследований;
- 3) схему установки для проведения измерений;

- 4) таблицы результатов измерений передаточных и выходных характеристик и крутизны передаточной характеристики;
- 5) графики вольт-амперных характеристик;
- 6) значения основных параметров транзистора.

### **Литература**

1. Проектирование аналоговых и цифровых устройств: Учебное пособие / Титов В.С., Иванов В.И., Бобырь М.В. Москва: Инфра-М. – 2014. 143 с.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие / М.В. Бобырь, В.И. Иванов, В.С. Титов, А.С. Ястребов. В 2 кн. – Курск: Курск. гос. тех. ун-т. – 2009. Кн. 2. – Электроника. – 240 с.
3. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. Изд. 3-е. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.