

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.А. Насонов

## **Изучение полевого транзистора с управляющим р-п-переходом**

*Учебно-методическое пособие  
по курсу «Физическая электроника»  
для студентов направления  
«Физико-математическое образование»,  
профиль «Физика»*

ВОРОНЕЖ  
ВГПУ  
2009

УДК 53(045)  
ББК 22.2  
Н31

Издано по решению  
учебно-методического совета ВГПУ.  
Протокол № 6 от 16.04.09 г.

Рецензент

доцент кафедры общей физики *В.С. Еремин* (ВГПУ)

**Насонов А.А.**

Н31 Изучение полевого транзистора с управляющим р-п-переходом : учебно-методическое пособие по курсу «Физическая электроника» для студентов направления «Физико-математическое образование», профиль «Физика» / А.А. Насонов. – Воронеж : ВГПУ, 2009. – 7 с.

Учебно-методическое пособие знакомит с теоретическими основами конструкции и принципа действия полевого транзистора. Описано проведение практических измерений и расчет основных электрических характеристик полевого транзистора.

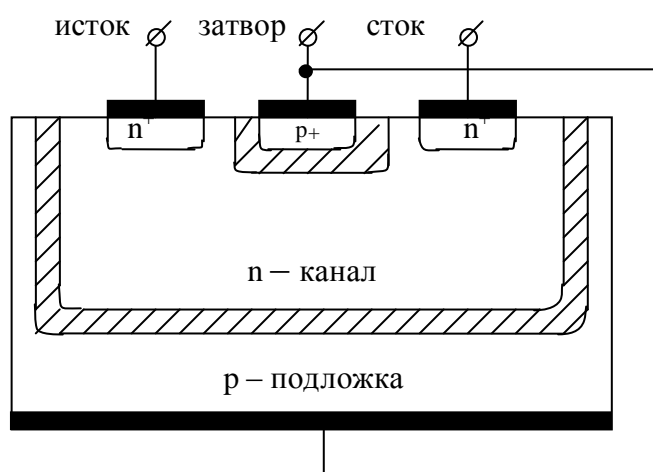
УДК 53(045)  
ББК 22.2

© Насонов А.А., 2009  
© Редакционно-издательское оформление.  
Воронежский госпедуниверситет, 2009

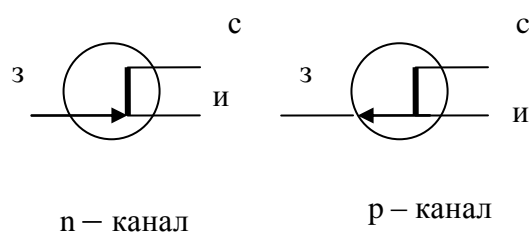
*Цель работы:* ознакомиться с теоретическими основами конструкции и принципа действия полевого транзистора, а также провести практические измерения и расчет его основных электрических характеристик.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Полевые транзисторы, как и биполярные, являются полупроводниковыми приборами, но в отличие от биполярных транзисторов их работа основана на движении зарядов одного знака – электронов или дырок. Поэтому их еще называют униполярными. Они в схемах выполняют аналогичные функции. По структуре полевые транзисторы разделяются на р-канальные и n-канальные. На рис. 1 изображена структурная схема n-канального транзистора, а на рис. 2 условные обозначения транзисторов с р- и n-каналом.



**Рисунок 1**



**Рисунок 2**

Рассмотрим конструкцию полевого транзистора, например, n-канального.

Исходным материалом служит кремний. Основанием транзистора является подложка.

Это кремний с проводимостью р-типа, которая получается методом диффузии примеси или эпитаксией. Над ней создается слой с проводимостью n-типа. Он называется каналом транзистора. На краях канала сверху формируются высоколегированные области  $n^+$  с высокой концентрацией примеси и соответственно электронов.

К этим областям подключаются электроды – исток и сток. Электроды подключаются к полупроводнику с помощью металлизации поверхности. Между стоком и истоком создается область с проводимостью  $p^+$ -типа с высокой концентрацией дырок. Это управляющий электрод транзистора и называется затвором. Затвор электрически соединен с подложкой имеющую также дырочный р-тип проводимости. Таким образом, подложка выполняет роль второго затвора. Между подложкой и каналом, а так же между затвором и каналом образуются два р-n переходом или обеднённых слоя (заштрихованные области на рис. 1).

## Принцип действия полевого транзистора

Если исток заземлить, на затвор не подавать напряжение ( $U_{зп} = 0$  В), а к стоку относительно потока подать напряжение, то через канал потечет ток. Этот ток образуется электронами канала – основными носителями. Его называют *начальным током стока*  $I_{нс}$ .

Если напряжение сток – исток ( $U_{су}$ ) повышать, то вначале ток в канале (ток стока  $I_c$ ) резко возрастет, а затем рост прекратится. Транзистор перейдет в режим насыщения. На практике управление током стока  $I_c$  производится не изменением  $U_{су}$ , а изменением напряжения на затворе ( $U_{зу}$ ) при  $U_{су} = \text{const}$ .

Обычно на затвор подают не открывающее р-п-переход напряжение, а закрывающее его. Увеличивая это напряжение ( $U_{зу}$ ) по модулю ширина обеднённых слоев значительно расширяется. Ток через канал – ток стока ( $I_c$ ) будет уменьшаться. Так как напряжение на стоке значительно больше чем на затворе, то ширина обеднённых слоев будет несимметричной (рис. 3). При некотором пороговом значении  $U_{зу}$  обеднённые слои сомкнутся и полностью перекроют проводящий канал.

При этом ток прекратится ( $I_c = 0$ ) и транзистор перейдет в закрытое состояние. Такое напряжение на затворе при котором закрывается транзистор называется напряжением отсечки  $U_{отс}$ .

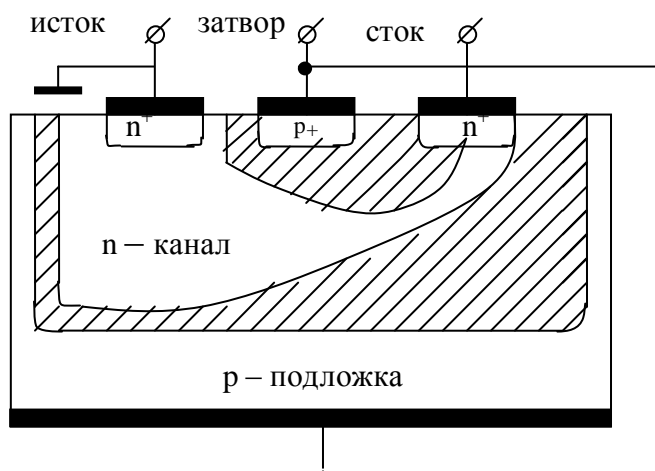


Рисунок 3

напряжением отсечки  $U_{отс}$ .

Основными вольт-амперными характеристиками (ВАХ) полевого транзистора являются зависимости  $I_c = f(U_{зу})$ ,  $U_{су} = \text{const}$  и  $I_c = f(U_{су})$ ,  $U_{зу} = \text{const}$ . Они образуют семейство статистических характеристик снятых при разных значениях констант.

Рассмотрим основные статистические параметры полевого транзистора. Некоторые из них можно рассчитать по графикам рис. 4.

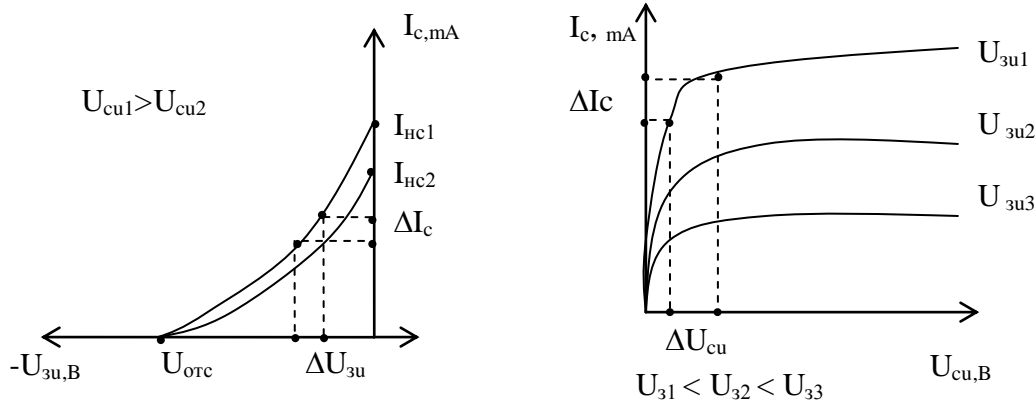


Рисунок 4

$S = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_{cu}} \left[ \frac{mA}{B} \right]$ ,  $U_{cu} = const$  – крутизна сток – затворной характеристики и отражает эффективность управляющего действия затвора.

$R_i = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c} \left[ \Omega \right]$ ,  $U_{zu} = const$  – дифференциальное сопротивление канала.

$q_i = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_c} = \frac{1}{R_i} \left[ \frac{1}{\Omega} \right]$ ,  $U_{zu} = const$  – выходная проводимость канала.

$\mu = \frac{\Delta U_{cu}}{\Delta U_{zu}} = SR_i$ ,  $I_c = const$  – коэффициент усиления по напряжению.

$R_{ex} = \frac{\Delta U_{zu}}{\Delta I_c} \left[ \Omega \right]$  – входное сопротивление транзистора.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Исследование сток-затворной характеристики

1. Собрать схему по рис. 5:

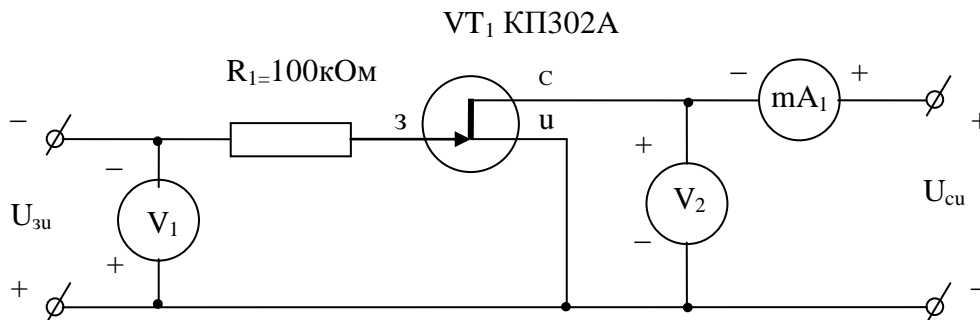


Рисунок 5

2. Установить первоначально напряжение обоих источников тока 0 В (регулятор установить “против часовой стрелки” до упора).

3. На вольтметре  $V_1$ , установить предел 6В, на  $V_2$  – 30 В, а на миллиамперметре – 30 mA.

4. Включить источник для участка “сток-исток” (справа) и плавно увеличивая напряжение установить значение согласно табл.1

5. Включить источник для участка “затвор-исток” (слева) установить напряжение –  $U_{zu}$ (В) согласно табл.1.

6. Уменьшая напряжение  $U_{zu}$  через 0,2 В (одно деление шкалы вольтметра) измерить и записать величину  $I_c$ . При изменениях  $U_{zu}$  будет изменяться напряжение  $U_{cu}$ . **Строго следить за постоянством напряжения  $U_{cu} = const$  и корректировать его изменения.**

7. По данным таблицы 1 построить ВАХ и отдельно выписать значения  $U_{отс}$ ,  $I_{нс1}$ ,  $I_{нс2}$

Таблица 1

$I_c = f(U_{zu})$	$U_{zu}, B$	-2,4	-2,2	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0
$U_{cu1} = 3B$	$I_c, mA$													
$U_{cu2} = 12B$														

$U_{отс} = \underline{\quad} B$

$I_{нс1} = \underline{\quad} mA$

$I_{нс2} = \underline{\quad} mA$

### Исследование выходной характеристики

1. Установить значение  $U_{zu} = \text{const}$  в соответствии со значениями таблицы 2.
2. Плавное увеличение напряжения  $U_{cu}$  записать значение тока  $I_c$ .
3. Построить семейство статистических характеристик  $I_c = f(U_{cu})$ ,  $U_{zu} = \text{const}$ .
4. Произвести графические и аналитические расчеты параметров  $S$ ,  $R_i$ ,  $\mu$ ,  $q_i$ .

Таблица 2

$I_c = f(U_{cu})$	$U_{cu}, \text{В}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{zu1} = 0\text{В}$	$I_{c, \text{мА}}$									
$U_{zu2} = 0,5\text{В}$										
$U_{zu3} = 1\text{В}$										

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение полевых транзисторов.
2. Какие общие свойства и различия имеются между биполярными и полевыми транзисторами?
3. Конструкция полевого транзистора.
4. Принцип действия полевого транзистора.
5. Основные электрические параметры полевого транзистора.
6. Определение “напряжение отсечки” и “начального ток стока”. Их расчет по графикам ВАХ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершензон Е.М. Радиотехника / Е.М. Гершензон, Г.Д. Полянина, Н.В. Соина. – М.: Просвещение, 1986.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004.
3. Харченко В.М. Основы автоматики и электронно-вычислительной техники / В.М. Харченко. – М.: Просвещение, 1991.

Учебное издание

НАСОНОВ Алексей Альбертович

**Изучение полевого транзистора  
с управляющим р-п переходом**

*Учебно-методическое пособие  
по курсу «Физическая электроника»  
для студентов направления  
«Физико-математическое образование»,  
профиль «Физика»*

Изготовление оригинала-макета: *Ю.С. Топоркова*

Подписано в печать 3.12.2009. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Печать трафаретная. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 0,44. Уч.-изд. л. 0,41.  
Заказ 298. Тираж 15 экз.

Воронежский государственный университет.  
Отпечатано в типографии университета.  
394043, г. Воронеж, ул. Ленина, 86.