

## ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ И УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД С ОБЩИМ ИСТОКОМ

### 1. Цель работы

Изучение принципа работы полевого транзистора, снятие его основных характеристик в схеме включения с общим истоком, графический и аналитический расчет по постоянному току усилительного каскада с общим истоком.

### 2. Методика исследования схем

Характеристики снимаются методом моделирования в среде программы **OrCad**. Схема экспериментальной установки для снятия ВАХ приведена на рис. 1. В работе с помощью программы *Schematics* "собирается" схема для снятия стоко-затворной и стоковой характеристик транзистора (рис. 1), а с помощью программы *PSpice* проводится их расчет.

По снятым характеристикам определяется режим работы транзистора в схеме усилительного каскада ОИ и малосигнальные параметры. Расчет рабочего режима усилительного каскада (рис. 2) ведется в среде **OrCad** графоаналитическим способом, а затем проверяется экспериментально.

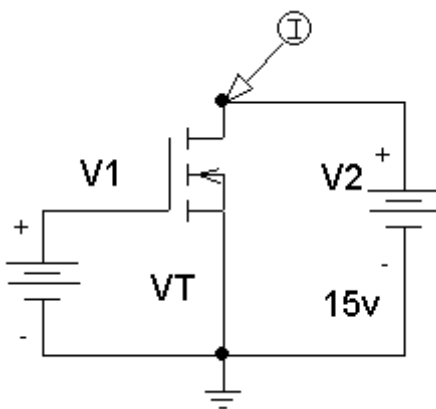


Рис. 1. Рабочая схема для снятия ВАХ полевого транзистора

### 3. Подготовка к работе

- 3.1. Изучить тему «Полевые транзисторы с управляющим *p-n*-переходом и со структурой металл – диэлектрик – полупроводник (МДП)».
- 3.2. Нарисовать схемы для получения семейства стоко-затворных характеристик и семейства стоковых характеристик МДП-транзистора; в качестве измерительных приборов использовать миллиамперметр и вольтметр.
- 3.3. Показать, как по стоко-затворным характеристикам определить крутизну транзистора  $S$ , а по стоковым характеристикам – выходное сопротивление транзистора  $r_{си}$  и его крутизну  $S$ .

- 3.4. Для схемы усилительного каскада ОИ (рис. 2) с параметрами транзистора и элементов схемы, указанными в таблице 1, рассчитать рабочий режим полевого транзистора: ток в цепи стока ( $I_c$ ), напряжение между стоком и истоком ( $U_{си}$ ), напряжение между затвором и истоком ( $U_{зи}$ ), крутизну транзистора в рабочей точке ( $S$ ). Результаты занести в таблицу 2.
- 3.5. Рассчитать входное ( $R_{вх}$ ) и выходное ( $R_{вых}$ ) сопротивление каскада, коэффициент усиления каскада в режиме холостого хода ( $K_{ух}$ ), а также для двух значений сопротивления нагрузки:  $R_n = R_c$  и  $R_n = 5R_c$ . Полученные результаты записать в таблицу 3.

Таблица 1

№	$U_0$ , В	$b$ , мкА/В <sup>2</sup>	$E_{пит}$ , В	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$R_c$ , кОм	$R_n$ , Ом
1	-3	1000	10	1000	5,1	5,1	2000
2	-3	1000	12	910	5,1	5,1	1500
3	-3	1000	15	820	10	5,1	1000
4	-2	1000	10	750	15	3,0	2000
5	-2	1000	12	680	20	3,0	1000
6	-2	1000	15	910	20	3,0	1000
7	-1	900	10	1000	51	10,0	1000
8	-1	900	12	910	30	10,0	1000
9	-1	900	15	820	30	10,0	1000
10	0	800	10	750	150	2,2	300
11	0	800	12	680	130	2,0	200
12	0	800	15	910	120	1,8	200
13	+1	200	10	1000	510	3,0	200
14	+1	200	12	910	470	3,0	200
15	+1	200	15	820	430	3,0	200
16	+2	500	10	750	510	3,0	200
17	+2	500	12	680	470	2,0	200
18	+2	500	15	910	360	3,6	200
19	-3	200	10	1000	200	3,0	1000
20	-3	200	12	910	180	2,7	1500
21	-3	200	15	820	160	2,4	1000
22	-2	200	10	750	300	1,5	1000
23	-2	200	12	680	300	1,5	1000
24	-2	200	15	910	300	3,0	1500
25	-1	300	10	1000	470	2,0	1500
26	-1	300	12	910	300	2,7	1500
27	-1	300	15	820	300	2,4	1500
28	0	400	10	750	300	2,2	300
29	0	400	12	680	240	2,0	200
30	0	400	15	910	360	1,8	200

$U_0$  – пороговое напряжение (напряжение отсечки) транзистора,

$b$  – удельная крутизна транзистора.

Вариант  $n = \text{Остаток}(10 \cdot M + N):30$ , если  $n = 0$ , то  $n = 30$ .

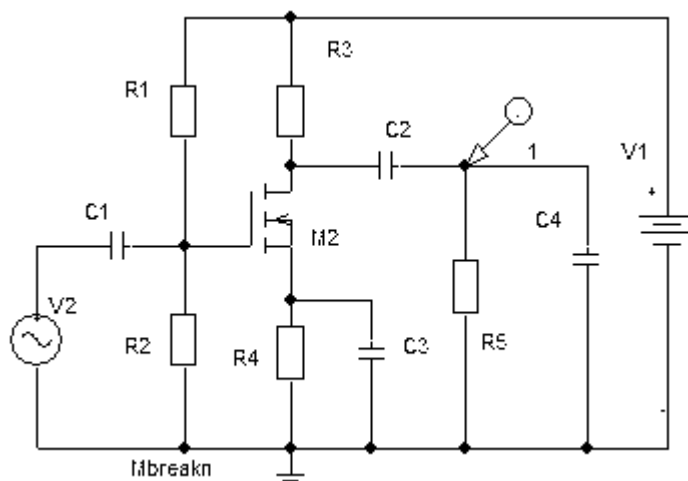
#### 4. Рабочее задание

- 4.1. В операционной системе «Windows» под управлением программы «Schematics» собрать схему для получения вольтамперных характеристик полевого транзистора (рис. 1).
- 4.2. Снять стоко-затворную характеристику полевого транзистора  $I_c(U_{зи})$  при фиксированном значении напряжения  $U_{си} = 15 \text{ В}$ .
- По снятой стоко-затворной характеристике для схемы усилительного каскада ОИ (рис. 2) с параметрами элементов, заданными в табл.1 графически определить ток  $I_c$  и напряжение  $U_{зи}$ . Результаты занести в таблицу 2.
  - Для рабочей точки определить крутизну транзистора  $S$  в режиме малого сигнала.
- 4.3. Снять семейство выходных характеристик  $I_c(U_{си})$ .
- По снятым выходным характеристикам для усилительного каскада ОИ (рис. 2) с параметрами, заданными в табл. 1, графически определить ток транзистора  $I_c$  и напряжение  $U_{си}$ . Результат занести в табл. 2.
  - По выходным характеристикам для рабочей точки определить крутизну транзистора  $S$  в режиме малого сигнала:  $S = \Delta I_c / \Delta U_{зи}$ . Сравнить с предыдущим пунктом.

Таблица 2

Параметр		$I_c, \text{ мА}$	$U_{си}, \text{ В}$	$U_{зи}, \text{ В}$	$S, \text{ мА/В}$
Теоретический расчет					
Графический расчет	п. 4.2		***		
	п. 4.3			***	
Эксперимент (п. 4.4)					***

- 4.4. Собрать схему однокаскадного усилителя на полевом транзисторе с общим истоком (рис. 2). Параметры элементов каскада заданы в табл.1. Рассчитать режим схемы по постоянному току, сравнить с результатами теоретического расчета и со значениями, полученными в пунктах 4.2-4.3.



**Рис. 2. Рабочая схема каскада ОИ**  
 $C1 = 15 \text{ нФ}$ ,  $C2 = 2 \text{ мкФ}$ ,  $C3 = 33 \text{ мкФ}$ ,  $C4 = 1 \text{ нФ}$

- 4.5. Проверить работоспособность усилителя, подав на вход схемы синусоидальный сигнал с амплитудой  $U_m = 100 \text{ мВ}$ , частотой  $f = 1 \text{ кГц}$  и установив  $R_H = 100 \text{ кОм}$  (xx).
- Определить коэффициент усиления  $K_{u \text{ xx}}$ . Результат занести результат в таблицу 3.
  - Определить коэффициент усиления  $K_{u 0}$ , установив сопротивление нагрузки  $R_H = R_c$ . Занести результат в таблицу 3.
  - Рассчитать выходное сопротивление каскада.
- 4.6. Снять амплитудную характеристику усилителя для случая  $R_H = 5 R_c$ .
- По характеристике определить коэффициент усиления в режиме малого сигнала (занести результат в таблицу 3);
  - Определить динамический диапазон усилителя.

**Таблица 3**

Параметр	$R_{\text{вх}}, \text{кОм}$	$R_{\text{вых}}, \text{Ом}$	$K_{u 0}$		
			$R_H = 100 \text{ кОм}$ (xx)	$R_H = R_c$	$R_H = 5R_c$ (п. 4.6)
Теоретический расчет					
Эксперимент	***				

## 5. Основные сведения

### 5.1. Расчет рабочего режима усилительных каскадов

Рабочий режим полевого транзистора в усилительном каскаде ОИ (рис. 2) можно определить из следующей системы уравнений:

$$E_{\text{пит}} = I_c (R_c + R_H) + U_{\text{си}},$$

$$E_{\text{пит}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = I_c R_{\text{и}} + U_{\text{зи}}$$

$$I_c = b(U_{\text{зи}} - U_o)^2.$$

Последнее уравнение соответствует работе полевого транзистора в пологой области выходных характеристик ( $U_{\text{си}} > U_{\text{зи}} - U_o$ ) [1]. Здесь  $b$  и  $U_o$  – параметры транзистора, а именно – удельная крутизна и пороговое напряжение соответственно.

Не рекомендуется решать эту систему в общем виде, надо сразу подставить в уравнения все известные численные значения. В результате получаются два ответа, один из которых не имеет физического смысла. Затем следует проверить предположение о работе транзистора в пологой области характеристик.

Малосигнальную крутизну транзистора в рабочей точке можно определить через рабочий ток следующим образом:

$$S = \frac{2I_c}{U_{\text{зи}} - U_o}.$$

### 5.2. Графическое определение малосигнальных параметров транзистора

- Малосигнальная крутизна транзистора  $S$  определяется по стокозатворным характеристикам по наклону касательной к кривой  $I_c(U_{\text{зи}})$  в рабочей точке в соответствии с выражением:  $S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{\text{зи}}}$  при  $U_{\text{си}} = \text{const}$ .
- Дифференциальное выходное сопротивление транзистора по определению равно  $r_{\text{си}} = \frac{\Delta U_{\text{си}}}{\Delta I_c}$  при  $U_{\text{зи}} = \text{const}$ . Определяется  $r_{\text{си}}$  по снятым выходным (стоковым) характеристикам по наклону пологого участка характеристики  $I_c(U_{\text{си}})$  в рабочей точке.

### 5.3. Основные параметры усилительного каскада с ОИ

- Коэффициент усиления:  $|K_{\text{и0}}| = S(R_c \parallel R_{\text{н}})$ .
- Входное сопротивление:  $R_{\text{вх}} = R_1 \parallel R_2$ .
- Выходное сопротивление:  $R_{\text{вых}} = R_3$ .

### Литература

1. **Электротехника и электроника:** Учебник для вузов. В 3-х кн. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники/ Г.П.Гаев, В.Г.Герасимов, О.М.Князьков и др.; Под ред. проф. В.Г.Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. **Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.** Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов /Под ред. О.П.Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. –768с.: ил.