

Практическое занятие №9

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ ПО ПОСТОЯННОМУ И ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ

Теоретические сведения

На рис. 1 приведены основные схемы усилительных каскадов на полевых транзисторах: с общим истоком (ОИ) на полевом транзисторе с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа (а) и на МОП-транзисторе с индуцированным каналом n -типа (б), а также схема усилительного каскада с общим стоком (ОС) на полевом транзисторе с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа (в).

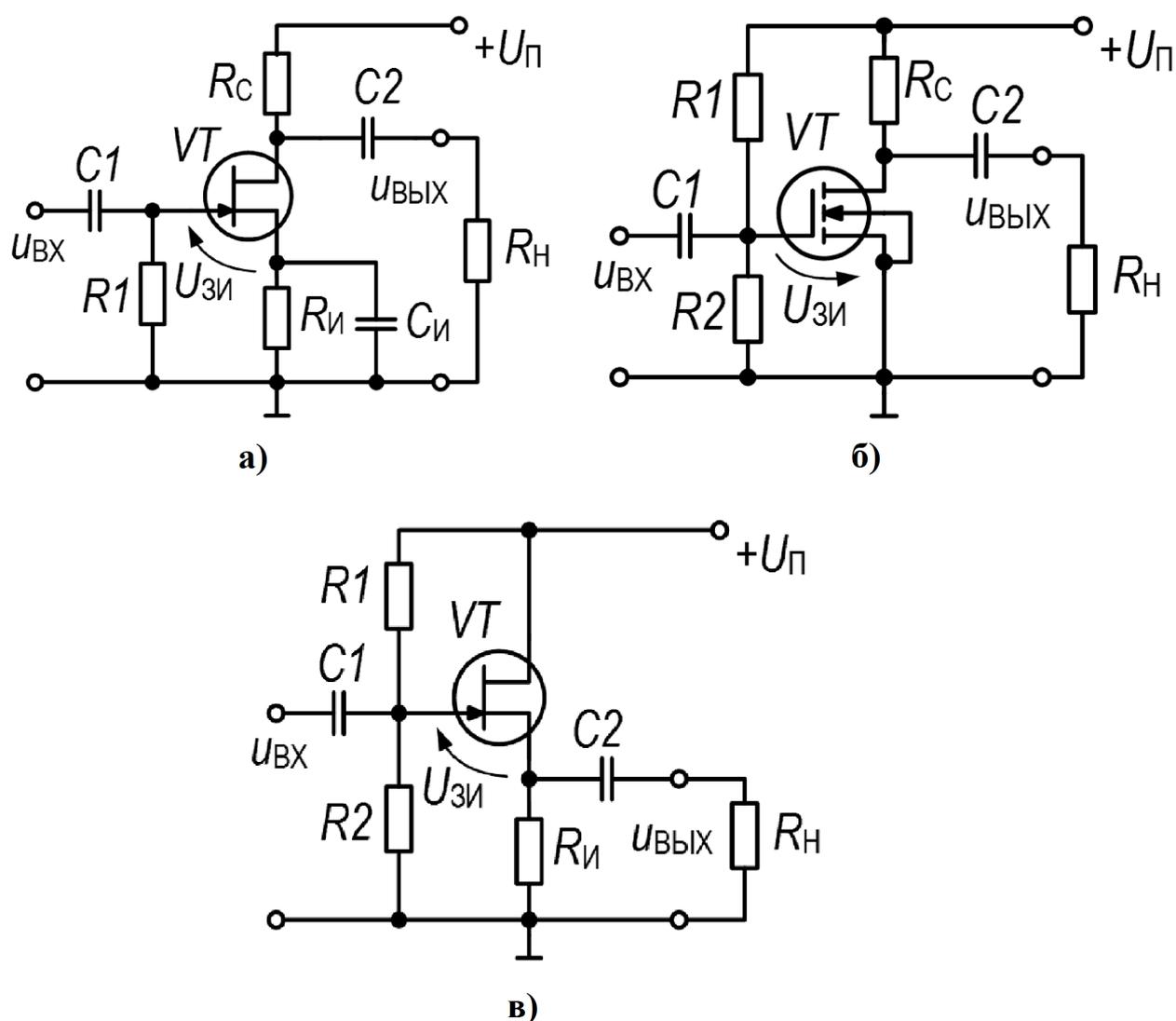


Рис. 1. Схемы усилительных каскадов на полевых транзисторах: а) с ОИ на ПТ с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа; б) с ОИ на МОП-транзисторе с индуцированным каналом n -типа; в) с ОС (истоковый повторитель) на ПТ с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа

Напомним, что полевые транзисторы с каналом n -типа находят преимущественное применение, поскольку у транзисторов с каналом p -типа примерно в 2 раза больше внутреннее сопротивление канала (из-за в 2 раза меньшей подвижности дырок).

РЕЖИМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В схемах на *ПТ с управляющим p - n -переходом* (рис. 1, *а* и *в*) обратное (запирающее) напряжение на p - n -переходе затвора создается падением напряжения на резисторе в цепи стока $R_{и}$, таком, чтобы потенциал истока

$$\varphi_{и} = I_{и} \cdot R_{и} = I_{с} \cdot R_{и} \quad (1)$$

был больше потенциала затвора.

В схеме на рис. 1, *а* потенциал затвора в режиме постоянного тока (в отсутствие входного сигнала $u_{вх}$)

$$\varphi_{з} = I_{ут} \cdot R_1, \quad (2)$$

где $I_{ут}$ – ток утечки обратносмещенного p - n -перехода затвора. Обычно $\varphi_{з} \rightarrow 0$.

В схеме на рис. 1, *в* потенциал затвора в режиме постоянного тока определяется делителем напряжения на R_1 , R_2 (очень малым входным током транзистора – током обратносмещенного p - n -перехода затвора – можно пренебречь):

$$\varphi_{з} = \frac{U_{п} R_2}{R_1 + R_2}. \quad (3)$$

Тогда

$$U_{зи} = \varphi_{з} - \varphi_{и} = \frac{U_{п} R_2}{R_1 + R_2} - I_{с} \cdot R_{и}. \quad (4)$$

В схемах на *МОП-транзисторе с индуцированным каналом* (рис. 1, *б*) транзистор нужно предварительно открыть, подав на затвор напряжение $U_{зи} > U_{пор}$. Это обеспечивается делителем напряжения на R_1 , R_2 . Потенциал затвора относительно земли так же определяется выражением (3).

В случае если исток подключен к «земле», как на рис. 1, *б*, $U_{зи} = \varphi_{з}$. Если в истоковой цепи будет резистор $R_{и}$, как на рис. 1, *а* и *в*, делитель R_1 , R_2 должен обеспечить потенциал затвора $\varphi_{з} > \varphi_{и} + U_{пор}$, где $\varphi_{и}$ определяется выражением (1).

В схемах усилителей на *МОП-транзисторе со встроенным каналом* (на рис. 1 не представлены) транзистор может работать как при отрицательном, так и при положительном, а также при нулевом смещении затвора. Соответственно, схема усилительного каскада может выглядеть как любая из трех схем на рис. 1, а также как на рис. 1, *а* при отсутствии сопротивления R_1 .

РЕЖИМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На рис. 2 представлены схемы замещения по переменному току этих каскадов. Они получаются следующим образом: емкостное сопротивление $X_C = 1/j\omega C$ с ростом частоты $\omega = 2\pi f$ уменьшается и на частоте работы усилителя считается равным нулю. Поэтому все емкости в схемах на рис. 1 закорачиваются (превращаются в провод). Внутреннее сопротивление источника постоянного напряжения ($U_{п}$) по переменному току считается равным нулю, поэтому этот источник тоже закорачивается. В результате получаем в схемах на рис. 1, б и в сопротивления R_1 и R_2 включенными параллельно, сопротивления R_C и R_H на рис. 1, а и б тоже оказываются включенными параллельно, и сопротивления $R_{и}$ и R_H на рис. 1, в тоже.

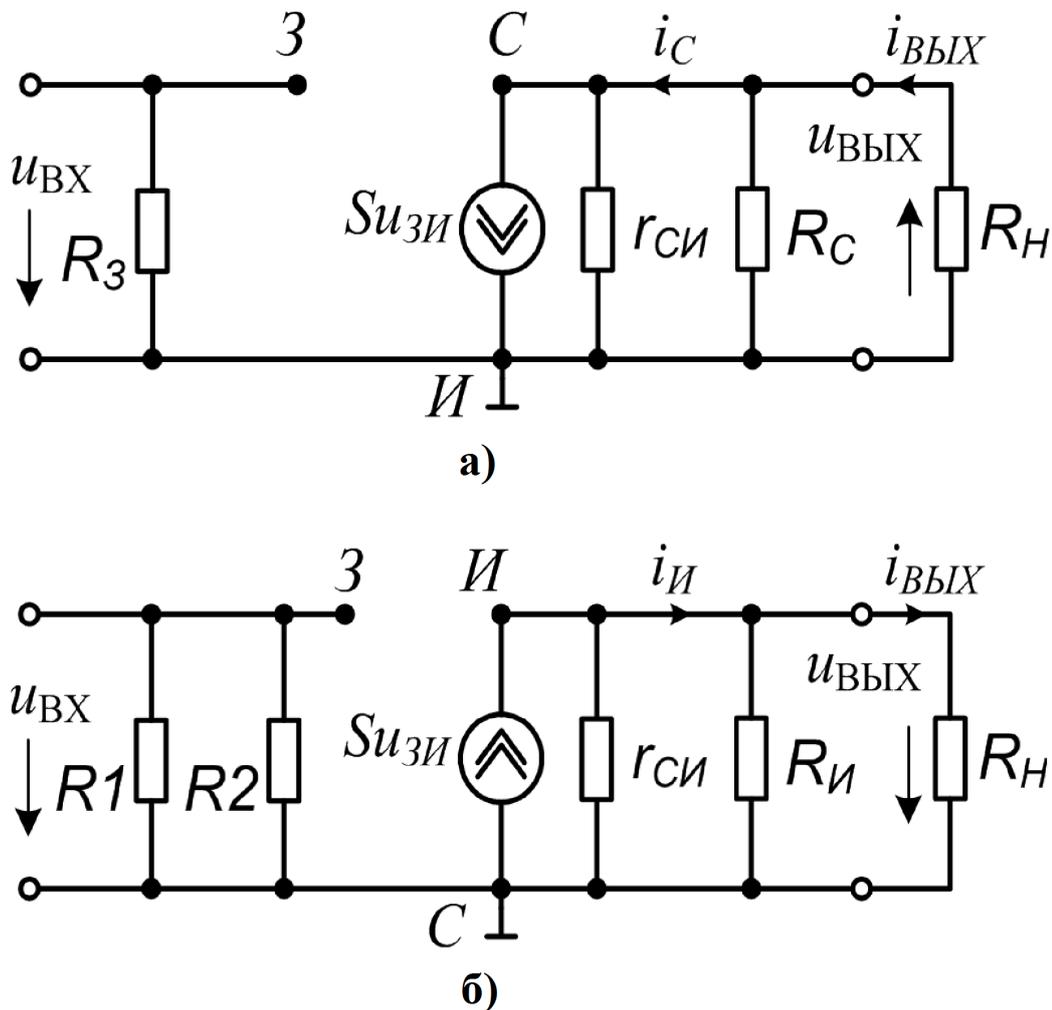


Рис. 2. Схемы замещения по переменному току усилительных каскадов на полевых транзисторах с ОИ (а) и ОС (б)

Полевой транзистор заменяем его малосигнальной моделью, состоящей из источника тока, зависящего от напряжения ($Su_{зи}$), и включенного параллельно ему дифференциального сопротивления канала $r_{си}$.

На рис. 2, *а* представлена обобщённая малосигнальная схема замещения по переменному току схем усилительных каскадов с ОИ, показанных на рис. 1, *а* и *б*.

Для схемы на рис. 1, *а*

$$R_3 = R_1. \quad (5)$$

Для схемы на рис. 1, *б*

$$R_3 = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (6)$$

Для схем с общим истоком (ОИ) на рис. 1, *а* и *б*, в соответствии со схемой замещения на рис. 2, *а*

входное сопротивление

$$R_{вх} = R_3, \quad (7)$$

выходное сопротивление

$$R_{вых} = r_{СИ} \parallel R_C = \frac{r_{СИ} R_C}{r_{СИ} + R_C}, \quad (8)$$

коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = S(r_{СИ} \parallel R_C \parallel R_H) = S \left(\frac{r_{СИ} R_C R_H}{r_{СИ} R_C + R_C R_H + r_{СИ} R_H} \right), \quad (9)$$

коэффициент усиления по току

$$K_I = K_U \frac{R_{вых}}{R_H}, \quad (10)$$

коэффициент усиления по мощности

$$K_P = K_I K_U. \quad (11)$$

Здесь S – крутизна полевого транзистора; $r_{СИ}$ – дифференциальное сопротивление его канала. Значения крутизны S и сопротивления $r_{СИ}$ обычно приводятся в справочниках.

Для схемы с общим стоком (ОС) на рис. 1, *в*, в соответствии со схемой замещения на рис. 2, *б*

входное сопротивление

$$R_{вх} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad (12)$$

выходное сопротивление

$$R_{вых} = r_{СИ} \parallel R_H = \frac{R_H r_{СИ}}{R_H + r_{СИ}}, \quad (13)$$

коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{S(r_{СИ} \parallel R_H \parallel R_H)}{1 + S(r_{СИ} \parallel R_H \parallel R_H)}, \quad (14)$$

коэффициент усиления по току

$$K_I = K_U \frac{R_{вых}}{R_H}, \quad (15)$$

коэффициент усиления по мощности определяется выражением (11)

Задачи для решения

Задача 1. Рассчитать схему ОИ на рис. 1, б по постоянному току: найти значения $U_{зи}$, $U_{си}$ и I_c . $U_{п} = 12$ В, $R_1 = 82$ кОм, $R_2 = 33$ кОм, $R_C = 1$ кОм, $R_H = 3,3$ кОм, параметры кусочно-линейной модели транзистора: $U'_{пор} = 2$ В, $S = 2,5$ мА/В, $r_{си} = 50$ кОм.

Методические указания к решению задачи 1.

Найдем напряжение $U_{зи} = \varphi_3$ в соответствии с выражением (3).

В кусочно-линейной модели МОП-транзистора с индуцированным каналом (рис. 3) зависимый источник тока описывается, как было показано на практическом занятии №5, выражениями:

$$\begin{aligned} I'_c &= 0 \text{ при } U_{зи} \leq U'_{пор}; \\ I'_c &= S(U_{зи} - U'_{пор}) \text{ при } U_{зи} > U'_{пор}, \end{aligned} \quad (16)$$

В соответствии с найденным выше значением $U_{зи}$ выберем нужное из выражений (16) и найдем значение I'_c .

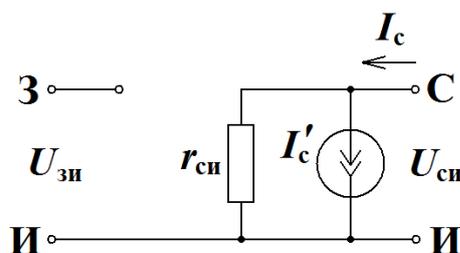


Рис. 3. Модель полевого транзистора для статического анализа

Ток транзистора I_c можно выразить одновременно через схему включения транзистора (рис. 1, б) и его модель (рис. 3):

$$I_c = \frac{U_{п} - U_{си}}{R_c}; \quad (17)$$

$$I_c = I'_c + \frac{U_{си}}{r_{си}}. \quad (18)$$

Приравняв выражения (17) и (18), выразим и найдем значение $U_{си}$, а затем из любого из этих выражений найдем I_c .

Задача 2. Рассчитать схему ОИ на рис. 1, а по переменному току. $R_1 = 1$ МОм, $R_C = 5,6$ кОм, $R_H = 1,5$ кОм, $R_H = 10$ кОм, параметры транзистора: $S = 3$ мА/В, $r_{си} = 40$ кОм. Определить коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности, входное и выходное сопротивления каскада.

Задача 3. Рассчитать схему ОИ на рис. 1, б по переменному току. $R_1 = 82$ кОм, $R_2 = 33$ кОм, $R_C = 1$ кОм, $R_H = 3,3$ кОм, параметры транзистора: $S = 2,5$ мА/В, $r_{си} = 50$ кОм. Определить коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности, входное и выходное сопротивления каскада.

Задача 4. Рассчитать схему ОС на рис. 1, *в по переменному току*.
 $R_1 = 820 \text{ кОм}$, $R_2 = 120 \text{ кОм}$, $R_{и} = 5,6 \text{ кОм}$, $R_{н} = 1 \text{ кОм}$, параметры транзистора: $S = 5 \text{ мА/В}$, $r_{си} = 25 \text{ кОм}$. Определить коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности, входное и выходное сопротивления каскада.