

Свойства транзисторных каскадов при незаземленности общего электрода

В ряде случаев транзистор умышленно или помимо желания разработчика оказывается включенным в схему таким образом, что все его три зажима оказываются под переменном потенциалом, как это показано на рис. 1.

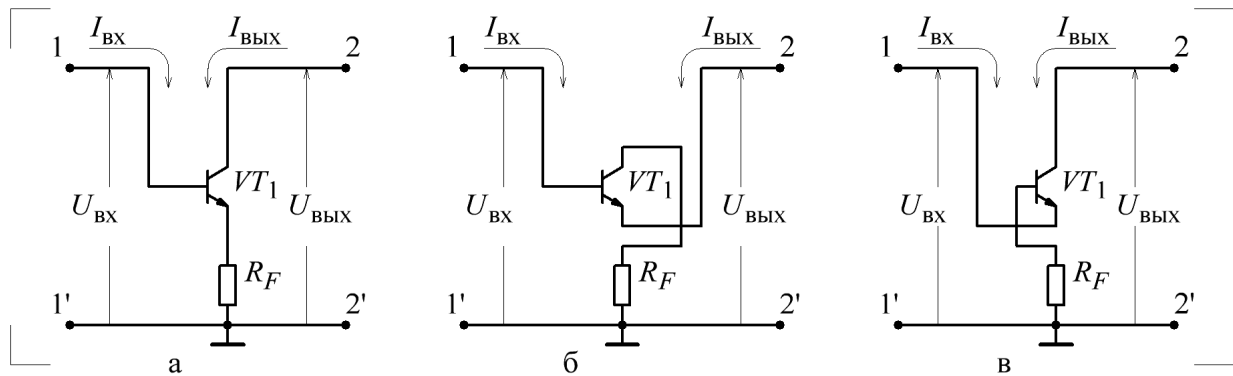


Рис. 1

Эти включения удобно рассматривать как разновидности соответствующих включений ОЭ, ОБ и ОК, которые отличаются от последних наличием ненулевой по сопротивлению цепи R_F в общем (заземляющем) проводе. Включение в схему каскада сопротивления R_F вызывает появление внутрикаскадной отрицательно обратной связи, которая снижает входную проводимость, повышает устойчивость параметров каскада по отношению к воздействию дестабилизирующих факторов, но при этом снижает коэффициенты усиления по напряжению и мощности.

В дальнейшем параметры и схемы, соответствующие ненулевому значению R_F , будем отмечать индексом "F". Так схемные построения рис. 1а – 1в будем обозначать ОЭ_F, ОК_F и ОБ_F соответственно.

Двухполюсник R_F удобно рассматривать как составную часть самого транзистора, имеющего другие измененные значения Y -параметров.

Опишем кратко метод их расчета. Соединение транзистора с незаземленным электродом можно рассматривать как последовательное соединение двух 4-полюсников (рис. 2а). Верхний по схеме 4-полюсник представляет собой эквивалентную схему транзисторного каскада с транзистором в одной из рассмотренных схем включения, а нижний – 2-полюсник R_F . Для транзистора по схеме ОЭ такая интерпретация схемы представлена на рис. 2б.

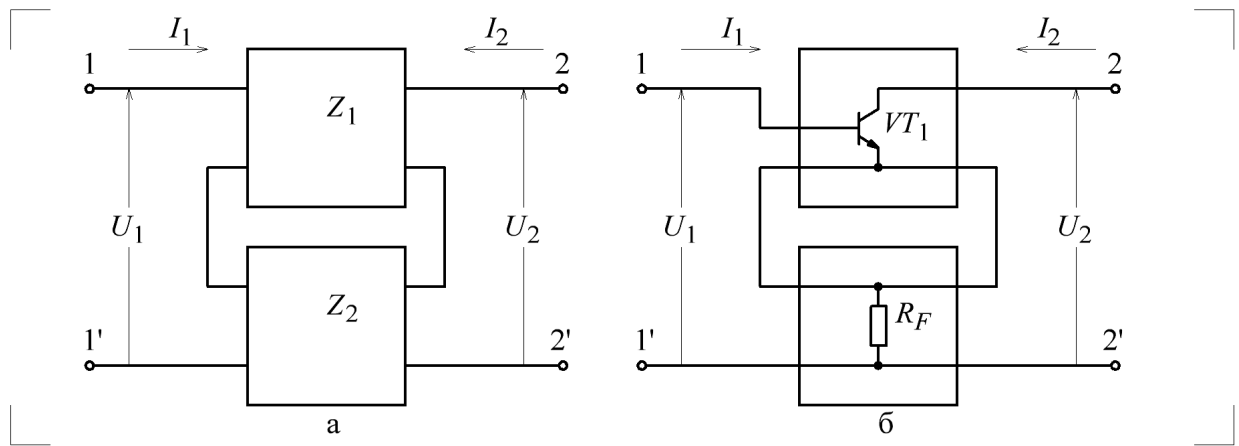


Рис. 2

Как следует из теории 4-полюсников, малосигнальные параметры их последовательного соединения, выраженные в матрицей сопротивлений, определяются через матрицы сопротивлений отдельных 4-полюсников в виде $Z = Z_1 + Z_2$.

Тогда для нахождения Y -параметров последовательного соединения необходимо

- преобразовать Y -параметры исходных 4-полюсников в параметры Z_1 , и Z_2 , имеющие размерность сопротивления;
- вычислить матрицу сопротивлений $Z = Z_1 + Z_2$ последовательного соединения;
- перейти к матрице проводимостей Y последовательного соединения.

В результате в основной рабочей частотной области транзистора ($f \ll f_S$), при резистивном характере 2-полюсника R_F , для всех схем включения транзистора получим

$$g_{11F} = \frac{g_{11} + DR_F}{F} \approx \frac{g_{11}}{F},$$

$$g_{21F} = \frac{g_{21} + DR_F}{F} \approx \frac{g_{21}}{F},$$

$$g_{12F} = \frac{g_{12} + DR_F}{F} \approx \frac{g_{12}}{F},$$

$$g_{22F} = \frac{g_{22} + DR_F}{F} \approx \frac{g_{22}}{F},$$

где $D = g_{11}g_{22} - g_{12}g_{21}$, $F = 1 + (g_{11} + g_{22} + g_{12} + g_{21})R_F$. При этом для различных схем включения транзисторов выполняются соотношения:

$$\begin{aligned}
D_{\text{оэ}} &= D_{\text{об}} = D_{\text{ок}}; \\
F_{\text{оэ}} &= 1 + (g_{11} + g_{22} + g_{12} + g_{21}) R_F \approx 1 + g_{21} R_F; \\
F_{\text{ок}} &\approx 1 + g_{22} R_F; \\
F_{\text{об}} &\approx 1 + g_{11} R_F.
\end{aligned}$$

С приемлемой для практики точностью можно считать, что

$$K_{\text{оэ}F} \approx \frac{K_{\text{оэ}}}{F_{\text{оэ}}}; K_{\text{ок}F} \approx \frac{K_{\text{ок}}}{F_{\text{ок}}}; K_{\text{об}F} \approx \frac{K_{\text{об}}}{F_{\text{об}}}.$$

Обобщая преобразования получаем выражения, определяющие свойства различных каскадов в удобной для проведения вычислений форме, когда эти свойства представлены через g -параметры основной схемы включения. Результаты подстановки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Схема	K_F	$G_{\text{вх}}$	$G_{\text{вых}}$
ОЭ	$-\frac{g_{21} R_{\text{н}}}{1 + g_{21} R_{\text{э}}}$	$\frac{g_{11}}{1 + g_{21} R_{\text{э}}}$	$\frac{g_{22}}{1 + g_{21} R_{\text{э}}}$
ОК	$\frac{g_{21} R_{\text{н}}}{1 + g_{21} R_{\text{н}}}$	$\frac{g_{11}}{g_{21} R_{\text{н}} + 1}$	$\frac{g_{21}}{g_{11} R_{\text{с}} + 1}$
ОБ	$\frac{g_{21} R_{\text{н}}}{1 + g_{11} R_{\text{б}}}$	$\frac{g_{21}}{1 + g_{11} R_{\text{б}}}$	$\frac{g_{22}}{(g_{21} R_{\text{с}} + 1)(g_{11} R_{\text{б}} + 1)}$

Здесь символами $R_{\text{э}}$ и $R_{\text{б}}$ обозначены 2-полюсники R_F для схем включения ОЭ и ОБ соответственно.

Оценим численно коэффициент F для всех схем включения, полагая, что $I_{\text{к0}} = 1$ мА, $R_{\text{н}} = 1$ кОм, $U_{\text{Эрли}} = 100$ В, $\beta = 100$, $R_{\text{э}} = R_{\text{б}} = 1$ кОм. Тогда

$$g_{21} = I_{\text{к0}} / U_T = 0,001 / 0,026 = 0,038 \text{ См},$$

$$g_{11} = g_{21} / \beta = 0,038 / 100 = 0,00038 \text{ См},$$

$$g_{22} = I_{\text{к0}} / U_{\text{Эрли}} = 0,001 / 100 = 0,00001 \text{ См}.$$

$$F_{\text{оэ}} = 1 + 0,038 \cdot 1000 = 39,$$

$$F_{\text{ок}} = 1 + 0,00001 \cdot 1000 = 1,01,$$

$$F_{\text{об}} = 1 + 0,00038 \cdot 1000 = 1,38.$$

Как видно из сделанных оценок наибольшее влияние на параметры каскада 2-полюсник R_F оказывает в схеме ОЭ. В схеме ОК это влияние оказывается пренебрежимо малым, что и отражено в таблице, где для схемы ОК приведены

формулы, идентичные тем, что были получены при отсутствии R_F . Схема ОБ занимает промежуточное положение. В этой схеме влияние R_F меньше, чем в схеме ОЭ, но пренебрегать им в общем случае не рекомендуется.

При использовании приведенных в таблице соотношений следует иметь в виду, что них в качестве параметров $R_э$ и $R_б$ выступают сопротивления всех внешних цепей, подключенных к эмиттерному и базовому выводу транзистора. Входная проводимость относится ко входу транзистора без учета цепей подключенных к входному электроду, а выходная проводимость вычисляется по отношению к выходному электроду без учета шунтирующего влияния цепей обеспечения работы транзистора на постоянном токе.

Под R_H понимается сопротивление нагрузки каскада, т. е. сопротивление внешних цепей со стороны выхода по отношению к рассматриваемому каскаду. Аналогично R_c – это сопротивление внешних по отношению ко входу данного каскада цепей.

В случаях, когда комплексным характером параметров транзистора или двухполюсника Z_F пренебречь нельзя, все соотношения остаются в силе, за исключением того, что все или часть значений приобретают комплексный характер (например, на частотах $f \geq f_S$ вместо g-параметров транзистора следует использовать его комплексные Y-параметры).