

Выходное сопротивление схем на ОУ с глубокой ООС

Как следует из общей теории обратной связи в электрических схемах, она может изменять входные и выходные импедансы. Рассмотрим частный случай схемы с операционным усилителем в неинвертирующем включении (рис. 1).

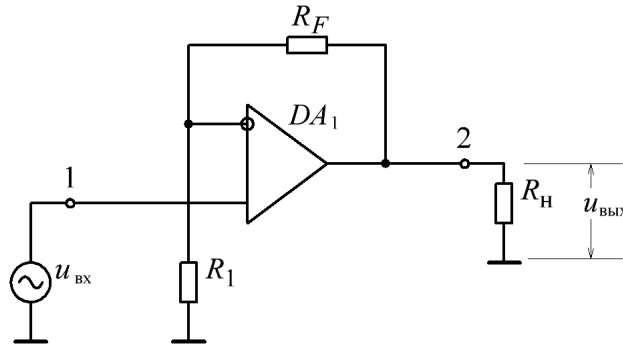


Рис. 1

Будем интересоваться выходным сопротивлением этой схемы $R_{\text{ВЫХ}F}$. Оно связано с исходным значением выходного сопротивления схемы соотношением

$$R_{\text{ВЫХ}F} = R_{\text{ВЫХ}} \frac{1 - T_{\text{ВЫХ}}(0)}{1 - T_{\text{ВЫХ}}(\infty)},$$

где $T_{\text{ВЫХ}}(0)$ и $T_{\text{ВЫХ}}(\infty)$ – значения петлевой передачи при замкнутых и разомкнутых выходных зажимах. При замкнутых выходных зажимах (рис. 2) передача по петле отсутствует и $T_{\text{ВЫХ}}(0) = 0$.

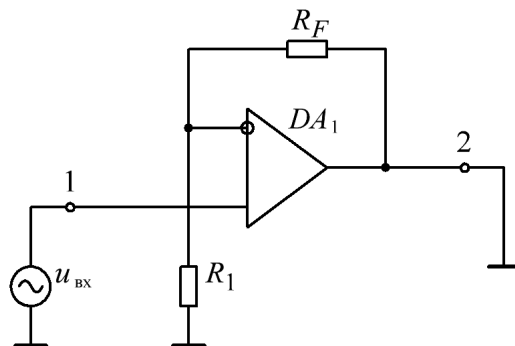


Рис. 2

Для нахождения $T_{\text{ВЫХ}}(\infty)$ разомкнем цепь обратной связи и подключим к точкам разрыва эквивалентные 2-полюсники R' , R'' (рис. 3).

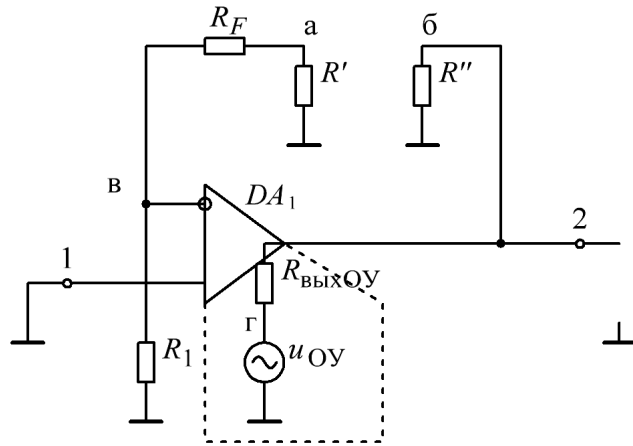


Рис. 3

Обведенные пунктиром элементы относятся к внутренностям операционного усилителя. Из схемы следует, что $R' = R_{\text{выхОУ}}$, $R'' = R_F + R_1$. Поэтому выходное сопротивление схемы при разомкнутой обратной связи (исходное значение) равно $R_{\text{вых}} = R_{\text{выхОУ}} \parallel R'' \approx R_{\text{выхОУ}}$.

Петлевая передача может рассматриваться в виде произведения 3 составляющих

$$T_{\text{вых}}(\infty) = K_{\text{ав}} K_{\text{вг}} K_{\text{гб}} = \frac{R_1}{R_F + R_1} \cdot K_- \cdot \frac{R''}{R_{\text{выхОУ}} + R''} =$$

$$= \frac{R_1}{R_F + R_1} \cdot K_- \cdot \frac{R_F + R_1}{R_{\text{выхОУ}} + R_F + R_1} = K_- \cdot \frac{R_1}{R_{\text{выхОУ}} + R_F + R_1}.$$

В результате

$$R_{\text{вых}F} = \frac{R_{\text{вых}}}{1 - T_{\text{вых}}(\infty)} = \frac{R_{\text{выхОУ}}(R_1 + R_F)}{R_{\text{выхОУ}} + R_1 + R_F - K_- R_1}.$$

В силу большого дифференциального коэффициента усиления операционного усилителя остальными слагаемыми в знаменателе можно пренебречь. Тогда

$$R_{\text{вых}F} = R_{\text{выхОУ}} \frac{1}{-K_-} \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right).$$

Слагаемое в скобках равно коэффициенту усиления схемы с операционным усилителем в неинвертирующем включении, а коэффициент усиления операционного усилителя по отношению к инвертирующему входу отрицателен и по модулю примерно равен дифференциальному коэффициенту усиления $-K_- \approx K_{\text{д}}$. С учетом этого получаем выражение для выходного сопротивления схемы

$$R_{\text{вых } F} = R_{\text{вых ОУ}} \frac{K_F}{K_{\text{д}}} .$$

Последнее соотношение наглядно показывает, что выходное сопротивление схемы с обратной связью в данном случае оказывается много меньше, чем собственное выходное сопротивление операционного усилителя.