

**РЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ. РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМ НА МИКРОСХЕМЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ (ОУ)**

**Теоретические сведения**

**РЕЗОНАНСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ**

В резонансных усилителях в качестве нагрузки применяется параллельный колебательный (резонансный)  $LC$ -контур, имеющий большое сопротивление на резонансной частоте  $f_0$  и малое – для других частот.

Схема однокаскадного резонансного усилителя показана на рис. 1, а. Резонансный усилитель содержит три основных элемента: усилительный элемент УЭ (транзистор), источник питания и резонансную цепь ( $LC$ -контур) с цепями связи УЭ с последующим каскадом.

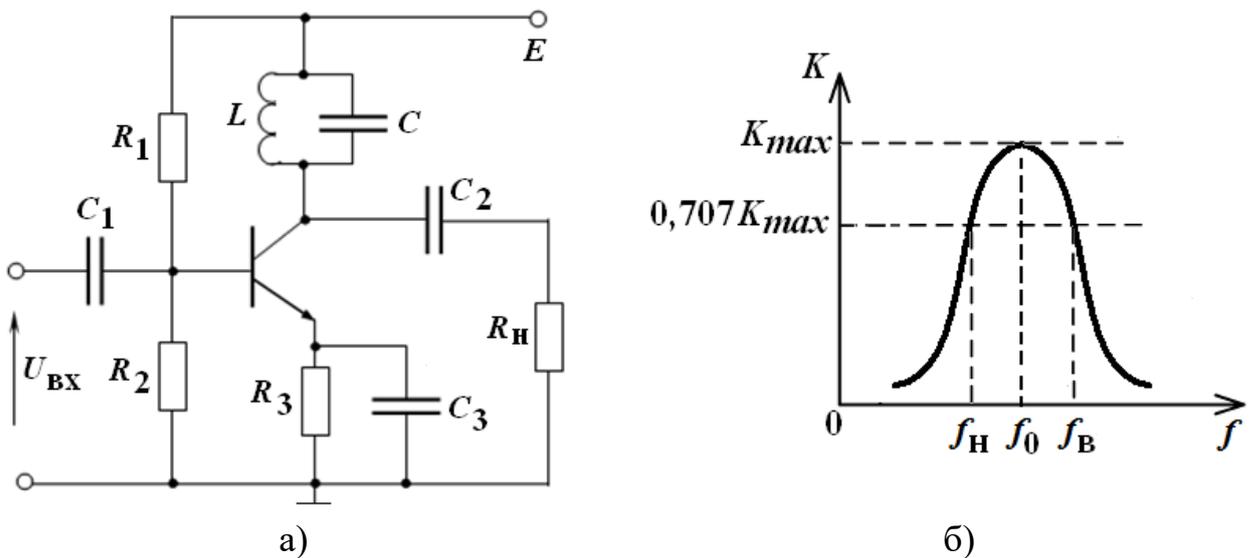


Рис. 1. Схема резонансного усилителя с параллельным  $LC$ -контуром (а) его амплитудно-частотная характеристика (б), равному  $K_{max}/\sqrt{2}$ );

Подбором элементов  $C$  и  $L$  контур настраивается на частоту усиливаемого сигнала. На резонансной частоте

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

сопротивление колебательного контура оказывается наибольшим, поэтому коэффициент усиления будет максимален. Благодаря этому усиливается лишь напряжение одной частоты, а напряжения других частот подавляются (рис. 1, б).

## УСИЛИТЕЛИ НА МИКРОСХЕМЕ ОУ

При анализе усилительных схем на ОУ обычно принимают следующие упрощающие предположения (из-за того, что считается  $R_{\text{вхОУ}} \rightarrow \infty$ ;  $K_{\text{д}} \rightarrow \infty$  и  $R_{\text{выхОУ}} = 0$ ):

1) входы ОУ не потребляют тока;

2) входное напряжение ОУ при коэффициенте усиления ОУ  $K_{\text{д}} \rightarrow \infty$

будет  $U_{\text{вх}} = \varphi_- - \varphi_+ = \frac{U_{\text{вых}}}{K_{\text{д}}} \rightarrow 0$ .

## ИНВЕРТИРУЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ

Инвертирующий усилитель представляет собой ОУ, охваченный цепью ООС по напряжению (рис. 2), которая осуществляется резистором обратной связи  $R_{\text{ОС}}$ . Коэффициент усиления усилителя с ОС задается делителем напряжения  $R_{\text{ОС}}$  и  $R_1$ . Усилитель способен усиливать сигналы как переменного, так и постоянного тока. На рис. 2 к инверсному входу ОУ через входной резистор  $R_1$  приложено положительное напряжение  $E_{\Gamma}$ .

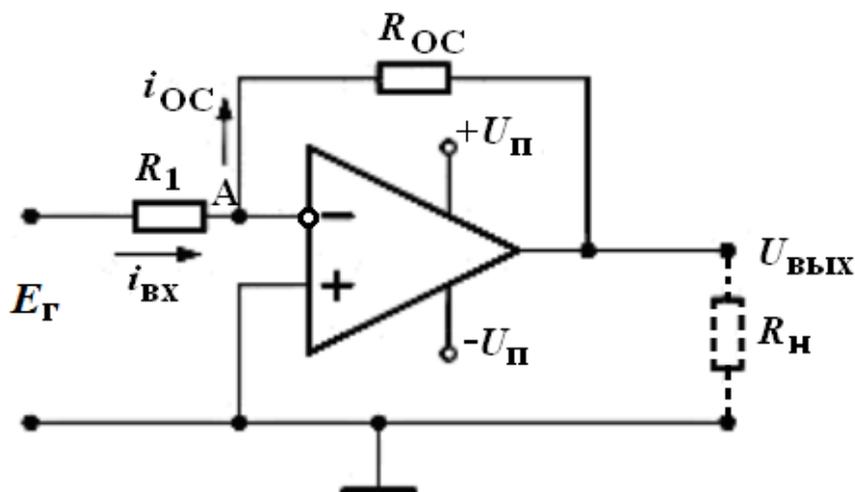


Рис. 2. Схема инвертирующего усилителя на ОУ

Как было указано выше, напряжение между входами  $\varphi_-$  и  $\varphi_+$  стремится к нулю ( $U_{\text{вх}} \approx 0$ ). Поэтому инвертирующий вход также имеет нулевой потенциал, как и неинвертирующий.

Параметры схемы определим с помощью уравнения токов для узла А. Если принять, что сопротивление входа бесконечно велико ( $R_{\text{вх}} \rightarrow \infty$ ), то входной ток ОУ будет стремиться к нулю ( $I_{\text{ОУ}} \rightarrow 0$ ), а ток  $I_{\text{вх}}$  будет определяться только током ОС:  $I_{\text{вх}} = I_{\text{ОС}}$ . Отсюда

$$\frac{E_{\Gamma} - \varphi_-}{R_1} = \frac{\varphi_- - U_{\text{вых}}}{R_{\text{ОС}}}. \quad (2)$$

Поскольку  $\varphi_- = \varphi_+ = 0$ , выражение (2) преобразуется к виду:

$$\frac{E_{\Gamma}}{R_1} = -\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{ОС}}}. \quad (3)$$

Таким образом, коэффициент усиления схемы инвертирующего усилителя с отрицательной обратной связью можно рассчитать по формуле:

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{E_{\Gamma}} = -\frac{R_{\text{ОС}}}{R_1}. \quad (4)$$

Знак «минус» указывает на инверсию выходного сигнала.

Если к выходу ОУ подключить резистор нагрузки  $R_{\text{Н}}$  (показан на рис. 2 пунктиром), выходной ток ОУ, протекающий через резисторы  $R_{\text{Н}}$  и  $R_{\text{ОС}}$ , включенные параллельно для приращений тока, будет

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{Н}} + I_{\text{ОС}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}} + \frac{U_{\text{ВЫХ}} - \varphi_-}{R_{\text{ОС}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}} + \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{ОС}}}. \quad (5)$$

Входное сопротивление инвертирующего усилителя при идеальном ОУ равно сопротивлению  $R_1$ . Выходное сопротивление  $R_{\text{ВЫХ}} = 0$ .

**В случае неидеального ОУ** (с конечными значениями  $R_{\text{ВХОУ}}$  и  $K_{\text{Д}}$ ) можно получить следующие формулы для расчета основных параметров:

$$K_U = \frac{-R_{\text{ОС}}/R_1}{1 + \frac{1}{K_{\text{Д}}} \left( 1 + \frac{R_{\text{ОС}}}{R_1} + \frac{R_{\text{ОС}}}{R_{\text{ВХОУ}}} \right)}; \quad (6)$$

$$R_{\text{ВХИНВ}} = R_1 + \frac{R_{\text{ВХОУ}} R_{\text{ОС}}}{R_{\text{ВХОУ}} (1 + K_{\text{Д}}) + R_{\text{ОС}}}; \quad (7)$$

$$R_{\text{ВЫХИНВ}} = \frac{R_{\text{ВЫХОУ}}}{K_{\text{Д}}} K_U. \quad (8)$$

## НЕИНВЕРТИРУЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ

Неинвертирующий усилитель представляет собой ОУ, охваченный цепью последовательной ООС по напряжению на резисторах  $R_1$ ,  $R_{\text{ОС}}$  (рис. 3). ООС включена между выходом и инвертирующим входом.

Входной сигнал подан на неинвертирующий вход. Выражение для коэффициента усиления этой схемы можно получить, используя условие равенства напряжений на входах ОУ:

$$E_{\Gamma} = U_{\text{ОС}} = U_{\text{ВЫХ}} \frac{R_1}{R_1 + R_{\text{ОС}}}. \quad (9)$$

Отсюда

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{E_{\Gamma}} = \frac{R_1 + R_{\text{ОС}}}{R_1} = 1 + \frac{R_{\text{ОС}}}{R_1}. \quad (10)$$

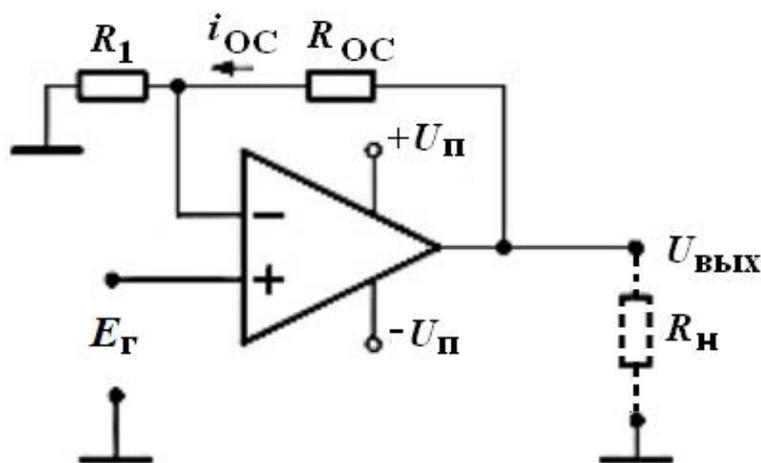


Рис. 3. Схема неинвертирующего усилителя

Если к выходу ОУ подключить резистор нагрузки  $R_H$  (показан на рис. 3 пунктиром), выходной ток ОУ, протекающий через резисторы  $R_H$  и  $R_{OC}$ , включенные параллельно для приращений тока, будет

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_H + I_{OC} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_H} + \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R_{OC} + R_1}. \quad (11)$$

Вследствие наличия в схеме неинвертирующего усилителя последовательной отрицательной обратной связи по напряжению его входное сопротивление возрастает в  $F$  раз, где  $F = K_D/K_U$ .

**При неидеальном ОУ**

$$R_{\text{ВХ.НЕИНВ}} = R_{\text{ВХ.ОУ}} F. \quad (12)$$

Выходное сопротивление определяется формулой (8).

### Задачи для решения

**Задача 1.** На какой частоте будет максимальным коэффициент усиления схемы на рис. 1?  $L = 1$  мкГн,  $C = 250$  нФ.

**Задача 2.** В схеме инвертирующего усилителя на рис. 2  $R_1 = 100$  Ом. Каким должно быть сопротивление  $R_{OC}$ , чтобы при входном напряжении 0,5 В амплитуда напряжения на выходе была 5 В, 7 В, 12 В? Операционный усилитель считать идеальным.

(Примечание: Должно быть 3 решения и 3 ответа. Амплитуда напряжения – это, по-другому, модуль напряжения.)

**Задача 3.** В схеме инвертирующего усилителя на рис. 2 используется операционный усилитель со следующими параметрами: коэффициент усиления  $K_D = 5 \cdot 10^4$ , входное сопротивление  $R_{\text{ВХ.ОУ}} = 1$  МОм, выходное сопротивление  $R_{\text{ВЫХ.ОУ}} = 10$  Ом. Параметры схемы:  $R_1 = 5,1$  кОм,  $R_{OC} = 100$  кОм. Найти коэффициент усиления по напряжению, входное и выходное сопротивления схемы.

**Задача 4.** В схеме инвертирующего усилителя на рис. 2  $R_1 = 560 \text{ Ом}$ ,  $R_{OC} = 43 \text{ кОм}$ , на выходе добавлено сопротивление нагрузки  $R_n = 1 \text{ кОм}$ . величина входного напряжения  $-0,1 \text{ В}$ . Найти выходной ток микросхемы ОУ. Операционный усилитель считать идеальным.

**Задача 5.** В схеме неинвертирующего усилителя на рис. 3  $R_{OC} = 56 \text{ кОм}$ . Каким должно быть сопротивление  $R_1$ , чтобы обеспечить выходное напряжение  $10 \text{ В}$  при напряжениях на входе  $0,2 \text{ В}$  и  $1 \text{ В}$ ? Операционный усилитель считать идеальным.

(Примечание: Должно быть 2 решения и 2 ответа.)

**Задача 6.** В схеме неинвертирующего усилителя на рис. 3  $R_1 = 430 \text{ Ом}$ ,  $R_{OC} = 51 \text{ кОм}$ , на выходе добавлено сопротивление нагрузки  $R_n = 2 \text{ кОм}$ . величина входного напряжения  $0,2 \text{ В}$ . Найти выходной ток микросхемы ОУ. Операционный усилитель считать идеальным.

**Задача 7.** В схеме неинвертирующего усилителя на рис. 3 используется операционный усилитель со следующими параметрами: коэффициент усиления  $K_d = 2 \cdot 10^5$ , входное сопротивление  $R_{вх.ОУ} = 500 \text{ кОм}$ , выходное сопротивление  $R_{вых.ОУ} = 30 \text{ Ом}$ . Параметры схемы:  $R_1 = 3,3 \text{ кОм}$ ,  $R_{OC} = 220 \text{ кОм}$ . Найти коэффициент усиления по напряжению, входное и выходное сопротивления схемы.

(Примечание: При расчете  $K_U$  операционный усилитель считать идеальным, т.е. воспользоваться формулой (10).)