

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.

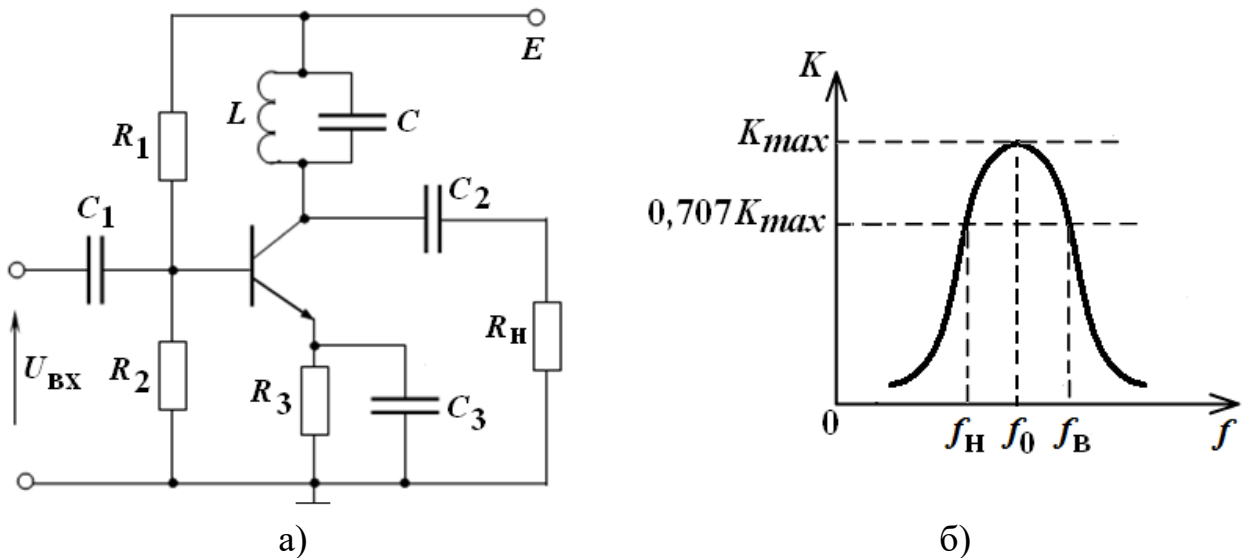


Рис. 1. Схема резонансного усилителя с параллельным LC -контуром (а) его амплитудно-частотная характеристика (б), равному $K_{max}/\sqrt{2}$);

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 $E_{\text{Г}}$.

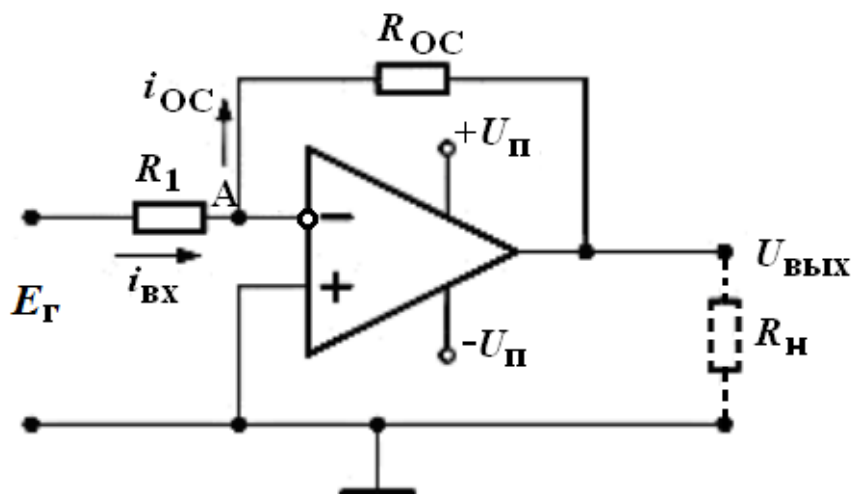


Рис. 2. Схема инвертирующего усилителя на ОУ

Как было указано выше, напряжение между входами φ_- и φ_+ 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

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

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

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

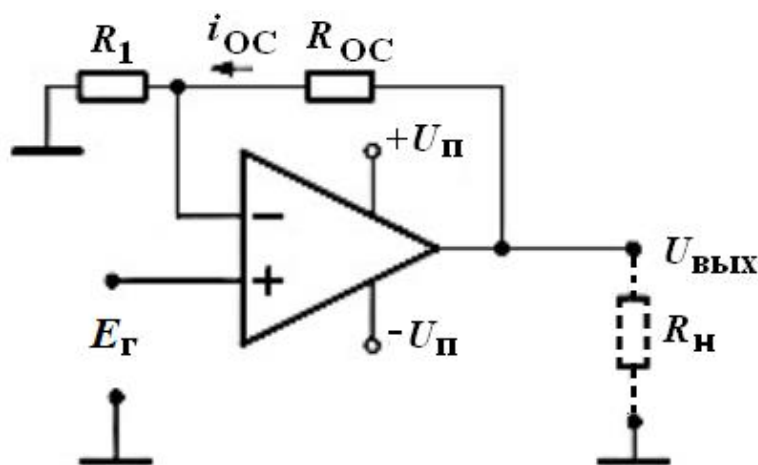


Рис. 3. Схема неинвертирующего усилителя

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 В при напряжениях на входе $0,2 \text{ В}$ и 1 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).)