

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ЦЕПЬЮ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Бабажанова Тазахан Мырзабаевна

Атажанова Гулзар Казакбаевна

Ассистенты преподавателей Нукусского филиала Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми

Аннотация: Статья посвящена инвертирующим усилителям, построенным на базе операционного усилителя с внешней глубокой отрицательной обратной связью и работе инвертирующего сумматора в ОУ..

Ключевые слова: Операционный усилитель, напряжение, частота, сопротивление, коэффициент усиления

Наиболее распространенной усилительной интегральной микросхемой (ИМС) является операционный усилитель (ОУ), в котором сосредоточены основные достоинства аналоговых усилительных схем. ОУ принято называть дифференциальный усилитель постоянного тока (УПТ) с двумя входами и одним выходом, с большим коэффициентом усиления по напряжению μ , а также большим входным и малым выходным сопротивлениями. Обычно ОУ используется с внешней глубокой ООС, определяющей его результирующие характеристики.

На рис. 1,а показано условное графическое обозначение ОУ.

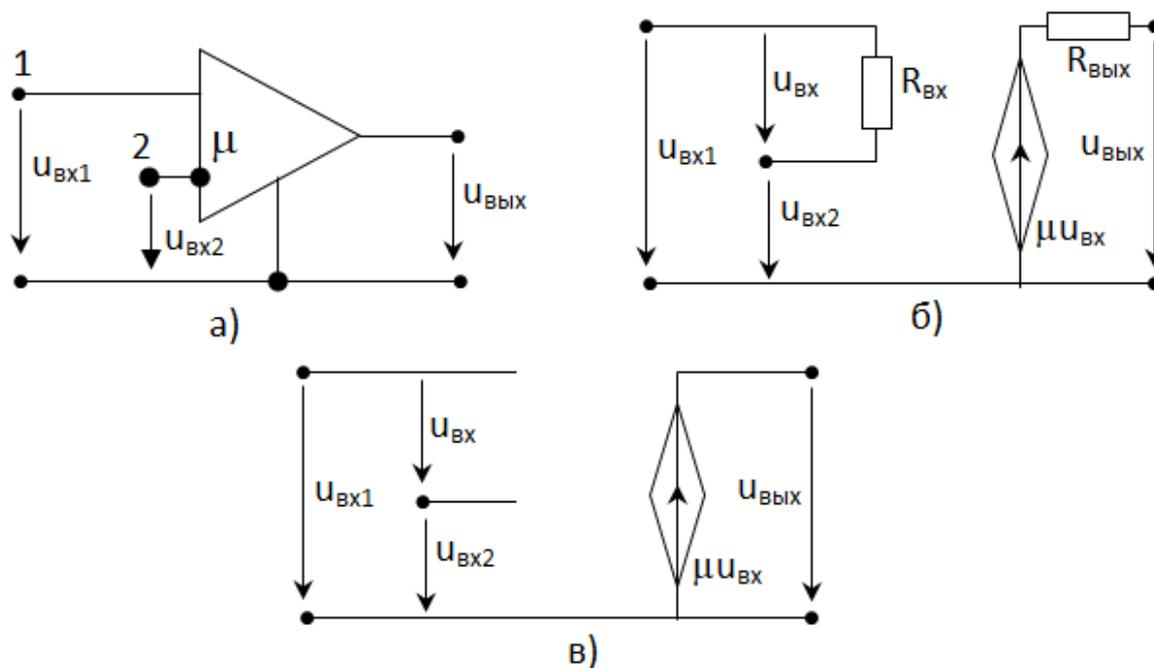


Рис. 1. Операционный усилитель (а) и его схемы замещения (б, в).

При подаче сигнала напряжения $u_{вх1}$ на вход 1 на выходе получается напряжение

$$u_{вых} = \mu u_{вх1}.$$

При подаче сигнала напряжения $u_{вх2}$ на инвертирующий вход 2 на выходе ОУ получается напряжение

$$u_{вых} = -\mu u_{вх2}.$$

При подаче на оба входа напряжений $u_{вх1}$ и $u_{вх2}$ на выходе ОУ образуется напряжение $u_{вых} = \mu(u_{вх1} - u_{вх2}) = \mu u_{вх}$, где $u_{вх} = u_{вх1} - u_{вх2}$.

Свойства реального ОУ приближаются к свойствам идеального ОУ, имеющего $\mu = u_{вых}/u_{вх} \rightarrow \infty$, $R_{вх} \rightarrow \infty$, $R_{вых} \rightarrow 0$.

Так ОУ типа КР140УД8 имеет следующие параметры:

$\mu = 5 \cdot 10^4$ - коэффициент усиления напряжения на низкой частоте (НЧ);

$f_1 = 1$ МГц - частота при котором $\mu = 1$;

$R_{вх} \geq 103$ МОм - входное сопротивление.

Обобщённая линейная схема замещения ОУ по переменной составляющей представлена на рис 1,б.

Во многих случаях можно использовать идеализированную схему замещения ОУ (рис.1,в), на которой не учитываются входное и выходное сопротивления.

Не инвертирующая схема усилителя с конечным коэффициентом усиления напряжения, построенная на базе ОУ, показана на рис. 2,а.

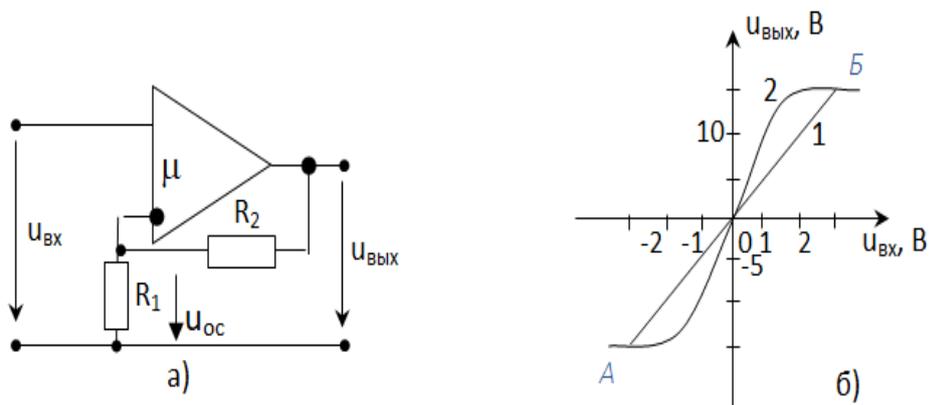


Рис. 2. Не инвертирующий усилитель на ОУ (а) и его передаточная характеристика (б).

Полагая, что $R_{н} \gg R_{вых}$, $R_{вх} \gg R_1$, $R_2 \gg R_{вых}$ (эти условия легко выполняются в реальном ОУ), получим напряжение на инвертирующем входе

$$u_{ос} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_{вых} = \beta u_{вых}, \quad (1)$$

где $\beta = u_{ос}/u_{вых} = R_1/(R_1 + R_2)$ – коэффициент передачи напряжения цепи ОС.

Выходное напряжение определяется выражением

$$u_{вых} = \mu(u_{вх} - u_{ос}) = \mu(u_{вх} - \beta u_{вых}). \quad (2)$$

Результирующий коэффициент усиления напряжения с учётом ОС

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{\mu}{1 + \beta\mu}, \quad (3)$$

т.е. меньше чем без ОС.

При $\mu \rightarrow \infty$ получим $K = 1/\beta = 1 + R_2/R_1$. (4)

Хотя коэффициент усиления зависит лишь от отношения сопротивлений R_2/R_1 , это не означает, что они могут быть выбраны совершенно произвольно. В практических схемах эти сопротивления выбирают в пределах $10^3 \div 10^6$ Ом.

При введении глубокой ООС выходное сопротивление усилителя становится много меньше выходного сопротивления самого ОУ ($R_{\text{ВЫХ ОС}} \ll R_{\text{ВЫХ}}$) и определяется по формуле $R_{\text{ВХ ОС}} = R_{\text{ВХ}}(1 + \beta\mu)$. (5)

Входное сопротивление усилителя, охваченного глубокой ООС, становится много больше входного сопротивления самого усилителя ($R_{\text{ВЫХ ОС}} \gg R_{\text{ВХ}}$) и определяется по формуле $R_{\text{ВЫХ ОС}} = R_{\text{ВЫХ}} / (1 + \beta\mu)$. (6)

Выходное напряжение ОУ сверху и снизу ограничено пределами

$$U_{\text{ВЫХ, max}} = \pm(0,9 \div 0,95)U_{\text{п}},$$

где $U_{\text{п}}$ - напряжение источника питания ИМС.

В схеме рис.2,а режим линейного усиления достигается при входных напряжениях $u_{\text{ВХ}} \leq U_{\text{ВЫХ, max}}/K$. Поскольку $K \ll \mu$, то ОУ с ООС имеет достаточно большую область линейного усиления. Наклон передаточной характеристики (ПК) на линейном участке АОБ (см. рис. 2,б) определяется коэффициентом усиления K : линия 1 проведена для $K \cong 5$; линия 2 – для $K \cong 10$. Таким образом, введение ООС позволяет существенно расширить линейную область ПХ и уменьшить нелинейные искажения сигнала.

В усилительных устройствах, а также в активных RC-фильтрах широкое применение находит инвертирующий усилитель с конечным коэффициентом усиления, построенный на базе ОУ с ООС (рис. 3,а). В этой схеме входной сигнал подаёт на инвертирующий вход ОУ, при этом происходит сложение токов $i_{\text{ВХ}}$ и $i_{\text{ОС}}$ (рис. 3,а). Такая ООС называется параллельной. Найдём коэффициент усиления ОУ с ООС при выполнении условий: $R_{\text{Н}} \gg R_{\text{ВЫХ}}$, $R_{\text{ВХ}} \gg R_1$, $R_{\text{ВЫХ}} \gg R_2$. Эти условия легко выполняются в реальных схемах, поскольку у ИМС $R_{\text{ВХ}} \rightarrow \infty$ и поэтому $i_{\text{ВХ}} = -i_{\text{ОС}} = i$.

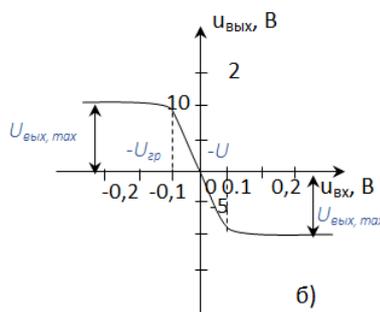
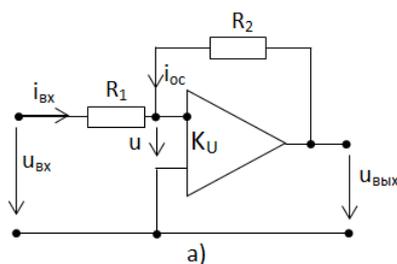


Рис. 3. Инвертирующий усилитель (а) и его передаточная характеристика (б).

Если учесть, что на линейном участке ПХ ОУ напряжение между его входами очень мало, и если принять $u=0$, то

$$u_{вх} = R_1 i_{вх} = R_1 i; \quad (7)$$

$$u_{вых} = R_2 i_{ос} = -R_2 i, \quad (8)$$

следовательно

$$K = u_{вых} / u_{вх} = -R_2 / R_1. \quad (9)$$

Знак минус указывает на то, что полярность входного и выходного напряжений противоположны по фазе, т.е. сдвинуты между собой на 180° . Коэффициент усиления $|K| \ll \mu$, но при этом K зависит только от отношения сопротивлений R_2/R_1 , поэтому его стабильность очень высока.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Полонников Д.Е. Операционные усилители: Принципы построения, теория, схемотехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Integrated operational amplifier theory - AN165- Philips Semiconductors, Dec 1988.
3. Christian Henn , Andreas Sibrai., Current or voltage feedback: the choice is yours with the new, flexible, wide-band operational amplifier OPA622. - AN-186- Burr-Brown Corporation, October, 1993.
4. Christian Henn. New ultra high-speed circuit techniques with analog ICs. - AB183 - Burr-Brown Corporation , May, 1993.
5. Старченко И.Е. Повторитель напряжения. Реш. о выдаче патента на изобретение по заявке № 2000110911/09(011086) от 25.04.2000, Н03F 3/45. – ЮРГУЭС, г.Шахты