

Операційні підсилювачі

Інвертуючий підсилювач

Інвертуючий підсилювач (необхідно розрізняти поняття “операційний підсилювач (ОП)” і “підсилювач, виконаний на операційному підсилювачі”), схему якого зображено на рис.1а, змінює знак вихідного сигналу відносно вхідного. Він створюється введенням паралельного негативного зворотнього зв'язку (НЗЗ) за допомогою резистора R_{33} на інвертуючий вхід ОП – на цей вхід подається частина вихідного сигналу з дільника R_{33} , R_1

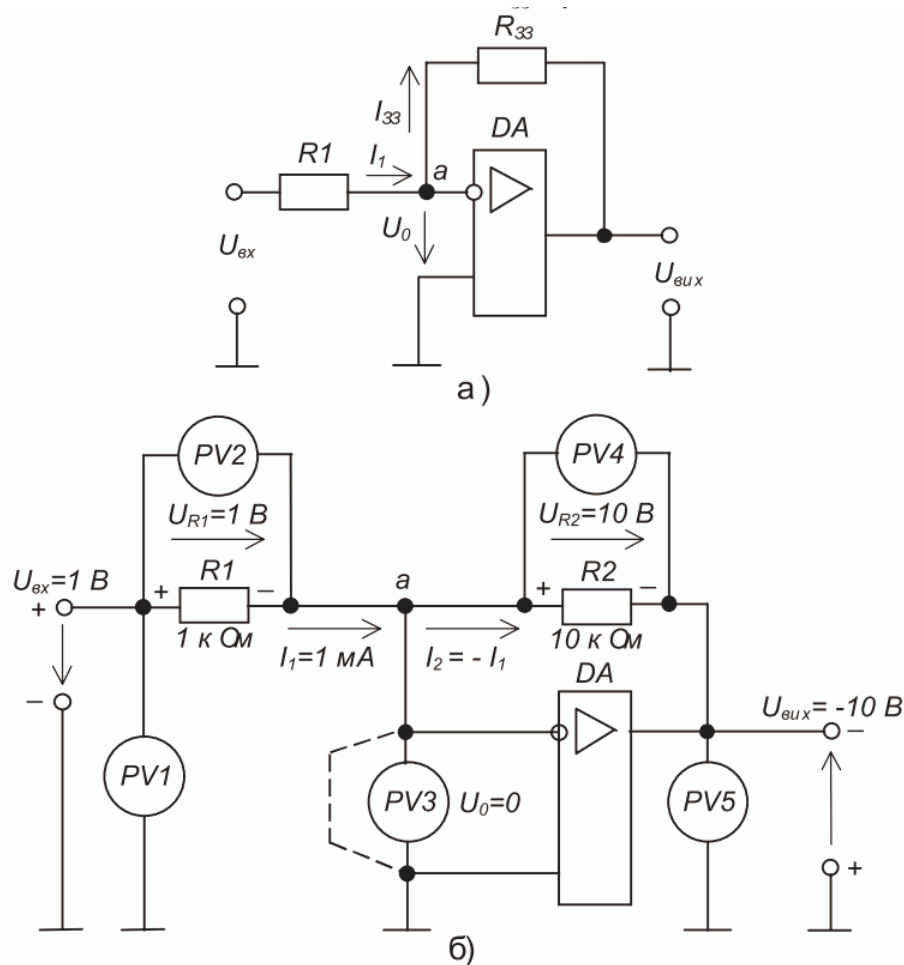


Рис.1 Інвертуючий підсилювач на ОП

Неінвертуючий вхід з'єднується із спільною точкою схеми (точкою з нульовим потенціалом). Вхідний сигнал через резистор R_1 подається на інвертуючий вхід ОП. Кола живлення і ланцюги корекції тут і надалі не показано.

Виходячи з наведеного вище, а саме: вважаючи ОП за ідеальний, при аналізі схем з ОП слід виходити з таких положень:

- 1) коефіцієнт підсилення ОП нескінченний;
- 2) входи ОП струму не споживають ($R_{вхОП} = \infty$);

3) у вихідних колах ОП падіння напруги відсутнє ($R_{\text{вихОП}}=0$);

4) якщо ОП охоплено НЗЗ і він працює у лінійному режимі (в режимі підсилення, а не насичення), різниця потенціалів між його входами $U_{\text{вхОП}}=U_0 = 0$.

Доведемо останнє положення.

$$U_{\text{вихОП}} = K_{\text{УОП}} U_{\text{вхОП}};$$

$$U_{\text{вхОП}} = \frac{U_{\text{вихОП}}}{K_{\text{УОП}}}.$$

Якщо $K_{\text{УОП}} \gg 1$ то $U_{\text{вхОП}} \approx 0$.

Реально $U_{\text{вхОП}}=U_0$ нулю не дорівнює. Але це настільки незначна величина, що для більшості схем на ОП нею можна знехтувати. Дійсно, якщо, наприклад, $U_{\text{вихОП}}=10$ В (це майже відповідає насиченню), а $K_{\text{УОП}}=100000$, то $U_0 = 100$ мкВ!

Оскільки на неінвертуючий вхід подана напруга $U_{\text{Н}} = 0$ (він з'єднаний з нульовою точкою), а $U_0=0$, то і потенціал інвертуючого входу також дорівнює нулю (віртуальний нуль). У результаті джерелом вхідного сигналу пристрій сприймається як R_1 – вхідний опір підсилювача дорівнює величині опору резистора R_1 .

За першим законом Кірхгофа для вузла а маємо:

$$I_1 = I_{33}$$

Тобто

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R_1} = - \frac{U_{\text{вих}}}{R_{33}}$$

ОП, забезпечуючи рівність $U_0=0$, створює на виході таку напругу, щоб відвести струм I_1 через резистор R_{33}

Тоді

$$K_{\text{УЗЗ}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = - \frac{R_{33}}{R_1}$$

Отже, $K_{\text{УЗЗ}}$ залежить лише від співвідношення опорів резисторів дільника НЗЗ. Знак «-» вказує на інверсію вхідного сигналу.

Вхідний опір схеми дорівнює величині R_1 .

Якщо $R_{33} > R_1$, то

$$U_{\text{вих}} = - \frac{R_{33}}{R_1} U_{\text{вх}}$$

маємо інвертуючий масштабний підсилювач (з масштабним коефіцієнтом $K_{\text{УЗЗ}} = -R_{33}/R_1$).

При $R_{33} = R_1$, $K_{\text{УЗЗ}} = -1$ – схема набуває властивостей інвертуючого повторювача вхідної напруги (інвертор полярності).

На рис. 1б наведено схему, що пояснює викладені положення.

Так, якщо $R_1=1$ кОм, $R_2=10$ кОм, а $U_{вх}=1$ В, то матимемо наступне. Оскільки різниця потенціалів між входами ОП U_0 практично дорівнює нулеві, то вольтметр $PV3$ показує нуль. Значить, подумки можна вважати цей вольтметр закороченим провідником, позначеним штриховою лінією, що з'єднує точку а з нульовим провідником схеми. Тоді вольтметри $PV1$ і $PV2$ показують одне й те ж значення напруги 1В, що дорівнює $U_{вх}$. Значить через R_1 в точку а з нульовим потенціалом тече струм $I_1 = U_{вх}/R_1 = 1В/1кОм = 1мА$, а весь пристрій джерелом сигналу сприймається як R_1 .

Через те, що насправді провідника, позначеного штриховою лінією, немає і вхідний опір ОП нескінченний, то від точки а протікає струм $I_2 = I_1$ через R_2 в вихід ОП. На R_2 він викликає падіння напруги зі значенням $U_{R_2} = I_2 R_2 = I_1 R_2 = 1мА \cdot 10кОм = 10В$, що його показує вольтметр $PV4$, підімкнений до точки а з нульовим потенціалом та до виходу ОП. Очевидно, що вольтметр $PV5$, підімкнений до виходу ОП та нульового провідника показує напругу мінус 10В, що дорівнює $U_{вих}$

Неінвертуючий підсилювач

Неінвертуючий підсилювач, схема якого зображена на рис.2, можна отримати, якщо ввести послідовний НЗЗ за напругою на інвертуючий вхід, а вхідний сигнал подати на неінвертуючий вхід ОП.

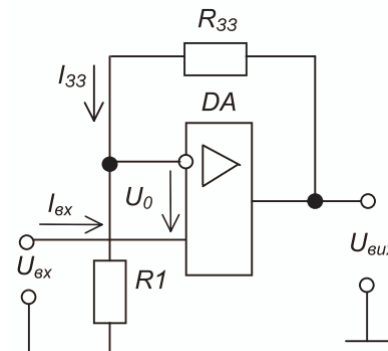


Рис.2 Неінвертуючий підсилювач на ОП

Тут $U_H=U_{вх}$, а вхідний струм $I_{вх}=0$, бо $R_{вхОП}=\infty$.

Оскільки $U_0=0$, то $U_{R1}=U_{вх}$, а $U_{вх}/R_1=I_{33}$.

З іншого боку

$$I_{33} = \frac{U_{вих}}{R_{33} + R_1}.$$

Отже

$$\frac{U_{вх}}{R_1} = \frac{U_{вих}}{R_{33} + R_1},$$

звідки

$$U_{вих} = U_{вх} \left(1 + \frac{R_{33}}{R_1}\right).$$

Тоді коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача

$$K_{U33} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = 1 + \frac{R_{33}}{R_1}.$$

Якщо $R_{33}=0$, а $R_1 \rightarrow \infty$ одержимо неінвертуючий повторювач, схему якого зображено на рис. 3.

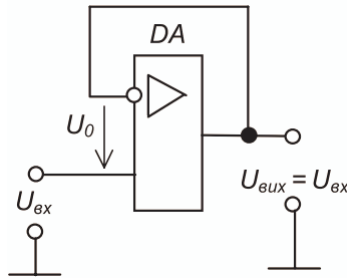


Рис.3 Повторювач напруги на ОП

Неінвертуючий та інвертуючий підсилювачі широко використовуються як високостабільні підсилювачі різного призначення. Причому, неінвертуючий має великий вхідний опір (теоретично – нескінченний) і використовується для підсилення сигналів джерел із високим вихідним опором.

Перетворювач струму у напругу

Схема перетворювача струму у напругу, зображена на рис. 4, є варіантом схеми рис. 2 за умови, що $R_1=0$.

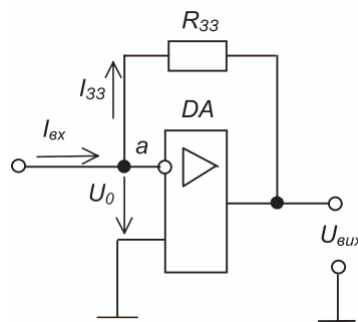


Рис. 4 Перетворювач струму у напругу

При цьому

$$I_{вх} = I_{33} = -\frac{U_{вих}}{R_{33}},$$

звідки

$$U_{вих} = -I_{вх} R_{33}.$$

Малі значення вхідного та вихідного опорів зазначеної схеми є її важливою перевагою при використанні як перетворювача струму джерела вхідного сигналу у напругу.

Інвертуючий суматор

Схема інвертуючого суматора зображена на рис. 5. Він виконаний за типом інвертуючого підсилювача (рис. 1) з кількістю паралельних гілок на вході, що дорівнює числу сигналів.

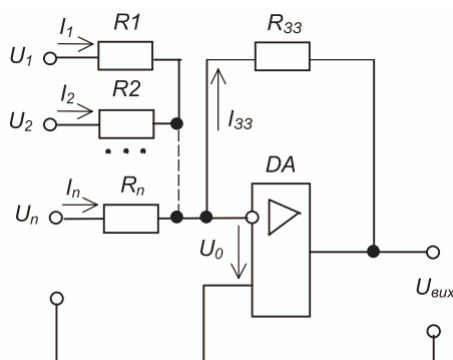


Рис. 5 Інвертуючий суматор

Якщо опори всіх резисторів схеми однакові $R_{33}=R_1=R_2=\dots=R_n \ll R_{\text{вхОП}}$, то при $I_{\text{вхОП}}=0$ маємо $I_{33} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ або $U_{\text{вих}} = -(U_1 + U_2 + \dots + U_n)$

Останнє співвідношення відбиває рівноправну вагову участь доданків у їх сумі. Підсумовування може виконуватись також з різними ваговими коефіцієнтами для кожного з доданків.

Досягається це використанням різних значень опорів резисторів у вхідних гілках

$$U_{\text{вих}} = -\left(\frac{R_{33}}{R_1} U_1 + \frac{R_{33}}{R_2} U_2 + \dots + \frac{R_{33}}{R_n} U_n\right).$$

Тим, що точка з'єднання резисторів має нульовий потенціал (“віртуальний нуль”), виключається взаємний вплив джерел вхідних напруг.

Неінвертуючий суматор

Неінвертуючий суматор можна отримати шляхом послідовного з'єднання суматора (рис. 5) та інвертора (рис. 1). Але на основі неінвертуючого підсилювача (рис. 2) його можна створити значно простіше – як це показано на рис. 6

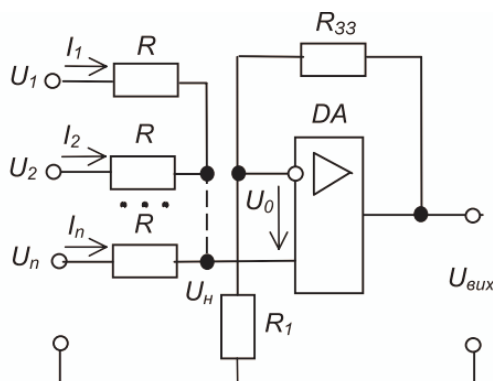


Рис. 6 Неінвертуючий суматор

При $U_0=0$ напруга на обох входах ОП однакова і складає

$$U_H = \frac{U_{вих} R_1}{R_{33} + R_1}.$$

Оскільки струм неінвертуючого входу дорівнює нулю (тому що $R_{вхОП} \otimes \text{¥}$), маємо:

$$\frac{U_1 - U_H}{R} + \frac{U_2 - U_H}{R} + \dots + \frac{U_n - U_H}{R} = 0,$$

або

$$U_1 + U_2 + \dots + U_n = n \frac{R_1}{R_1 + R_{33}} U_{вих},$$

звідки

$$U_{вих} = \frac{R_1 + R_{33}}{nR_1} (U_1 + U_2 + \dots + U_n)$$

Задаємо

$$\frac{R_1 + R_{33}}{nR_1} = 1,$$

і тоді $U_{вих} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$.

Але взаємний вплив джерел вхідних напруг тут не виключається, як це було у інвертуючого підсилювача. Тому джерела повинні мати якомога менші опори, або їх треба враховувати при розрахунку.

Якщо поєднати схеми на рис. 6 і рис. 5 (використати пристрій одночасно як інвертуючий і неінвертуючий суматор), то отримаємо **суматор-віднімач**. Напруга на його виході дорівнює різниці результатів підсумовування напруг, поданих на неінвертуючий і на інвертуючий входи ОП.