

Лекція 10

Операційні підсилювачі. Зворотний зв'язок та базові схеми.

Зворотний зв'язок (ЗЗ)

Що це і навіщо його вивчають

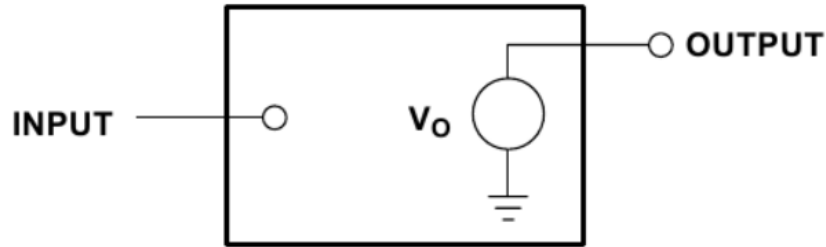
Зворотний зв'язок - це передача сигналу з виходу електронного вузла назад на вхід.

Коефіцієнт підсилення реальних ОП зменшується зі збільшенням частоти оброблюваних сигналів, що призводить до відхилення від «ідеальності» і погіршує точність результатів, одержуваних на підставі розрахунків, виконаних для ідеального ОП.

У більшості реальних ОП коефіцієнт підсилення при розімкнутому колі ЗЗ спадає, починаючи вже з 10 Гц. На низьких частотах фазовий зсув між вихідним та вхідним сигналами становить 0° для неінвертуючого та 180° для інвертуючого входу. Але з збільшенням частоти ці співвідношення порушуються, і деяких частотах на фронтах імпульсних вхідних сигналів може з'явитися дзвін. Більш того, збільшення зсуву фаз на високих частотах може перетворити негативний зворотний зв'язок у позитивний, і схема самозбуджується (тобто стає генератором коливань).

Структурні схеми

Окремі блоки



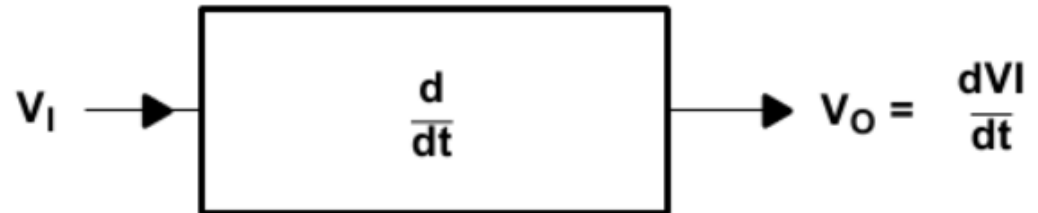
(a) Input/Output Impedance



(c) Block Multiplication



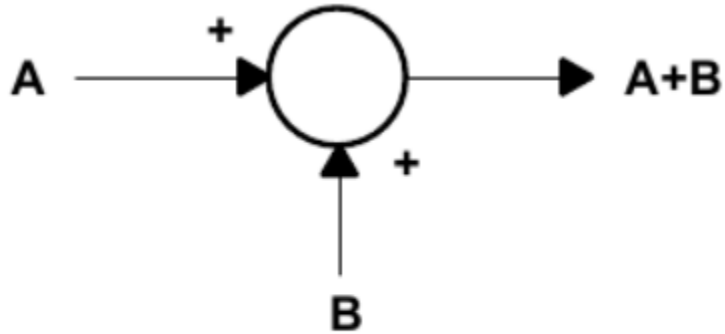
(b) Signal Flow Arrows



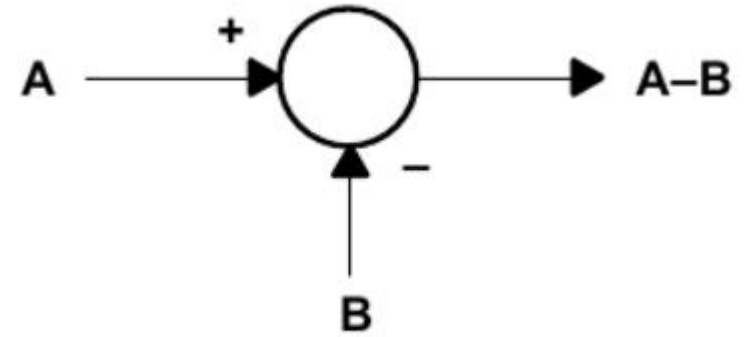
(d) Blocks Perform Functions as Indicated

Структурні схеми

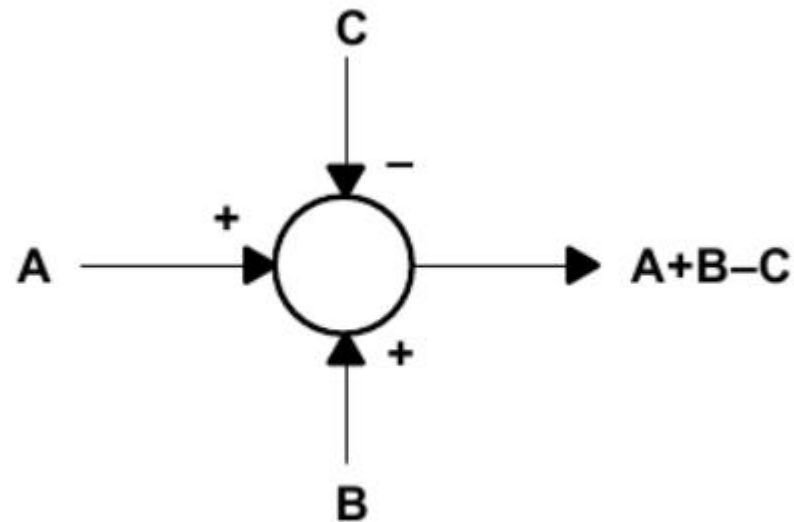
Точки з'єднання



(a) Additive Summary Point

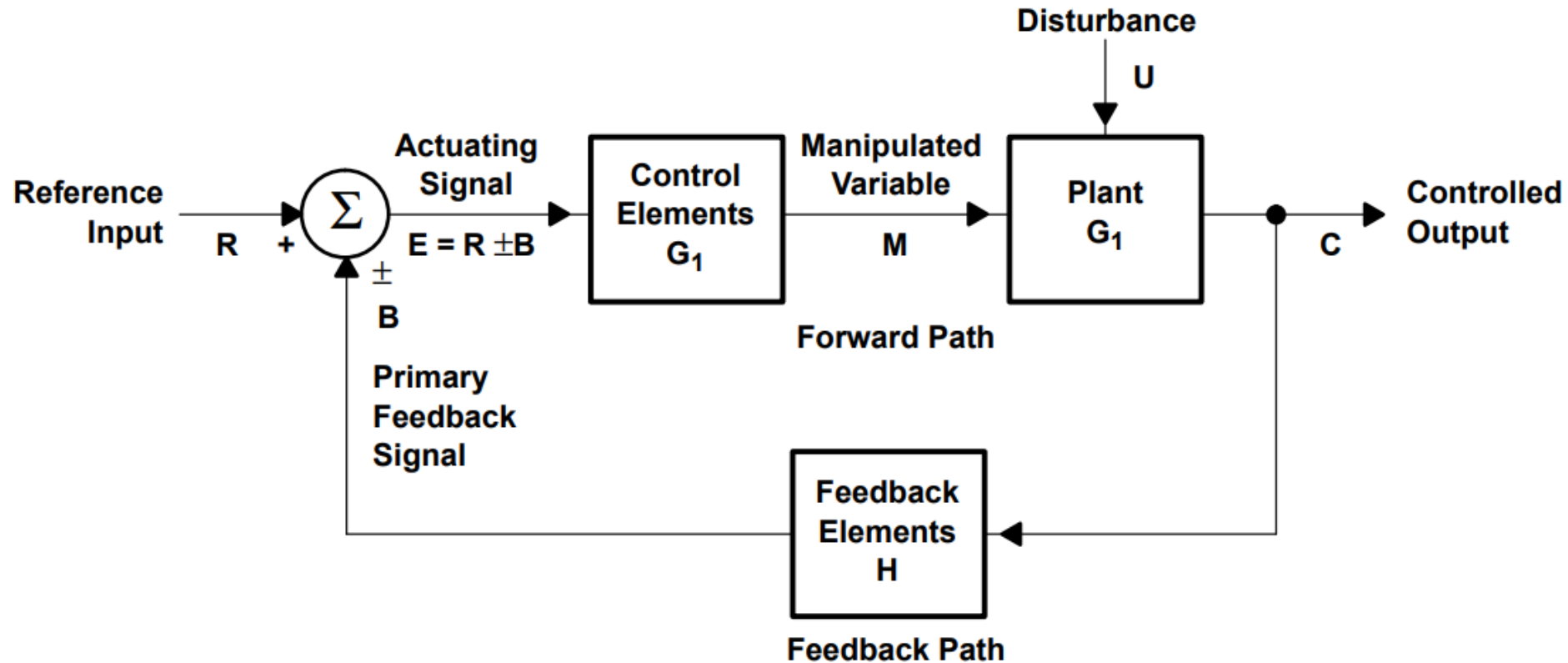


(b) Subtractive Summary Point

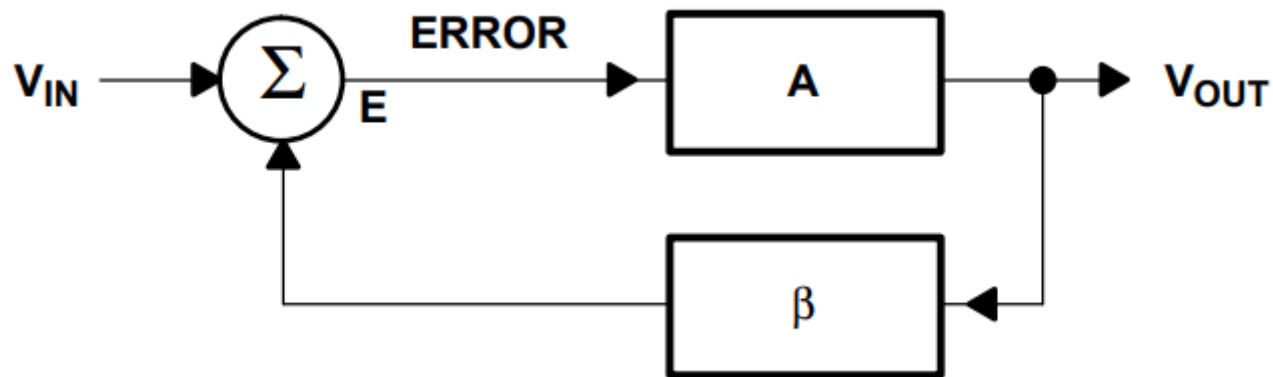


(c) Multiple Input Summary Points

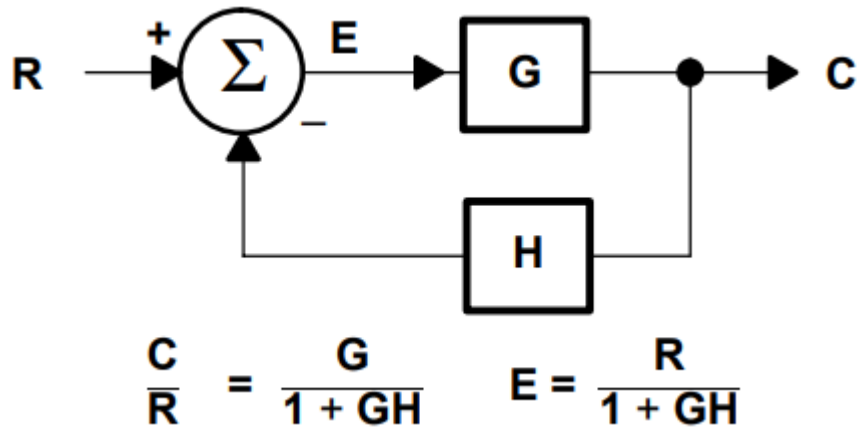
Загальний вигляд керуючої схеми із зворотним зв'язком



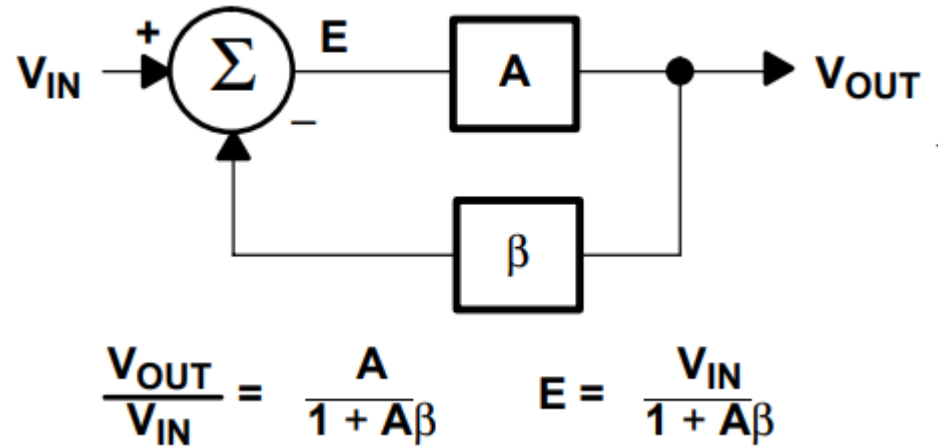
Канонічний вигляд схеми із зворотним зв'язком



В системах керування:

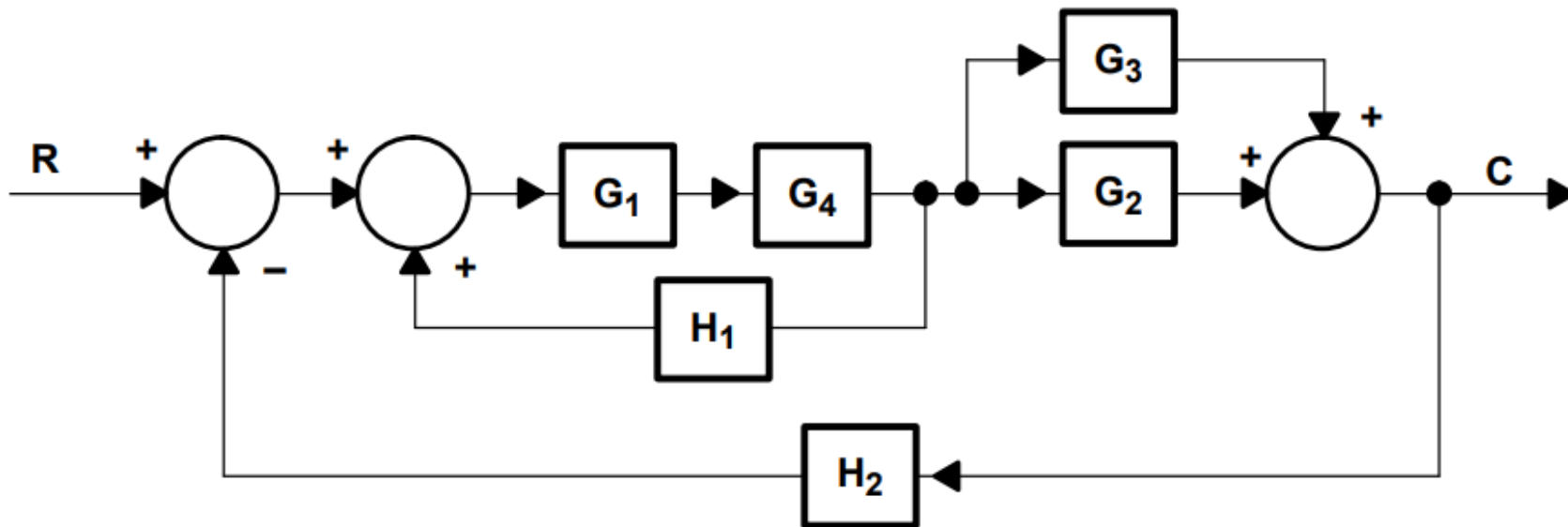


В електроніці:

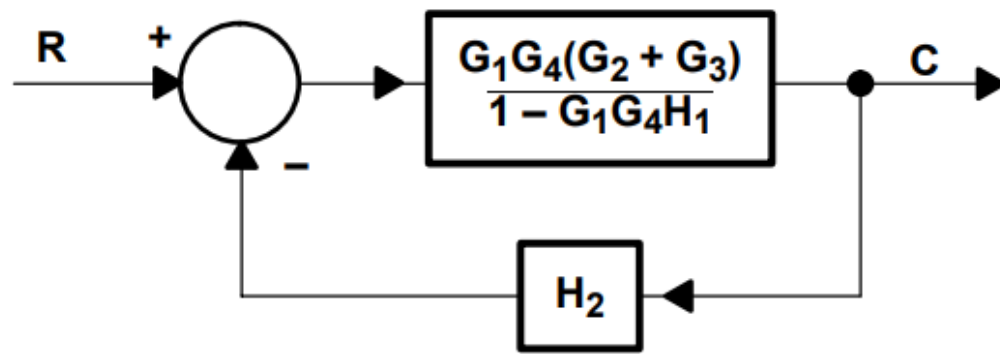


Перетворення схеми до канонічного вигляду

Було:



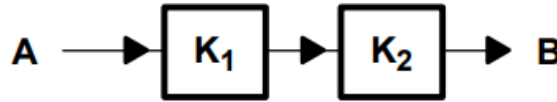
Стало:



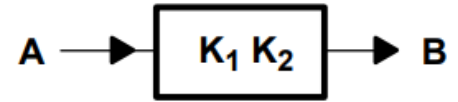
Правила перетворення схеми до канонічного вигляду

Transformation

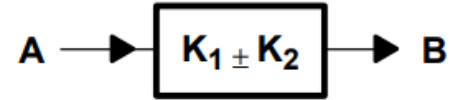
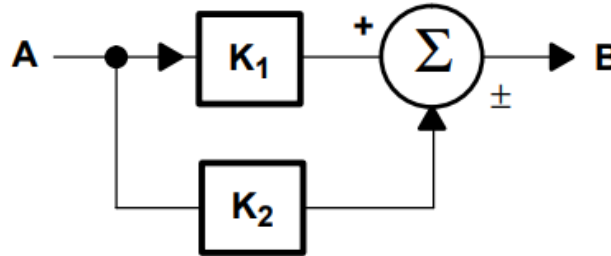
Combine Cascade Blocks



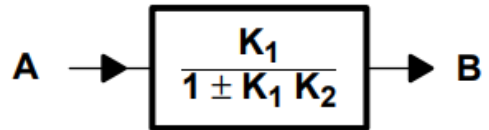
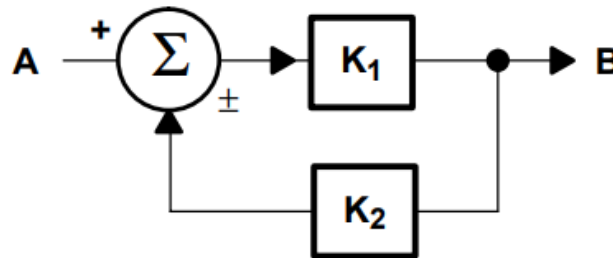
After Transformation



Combine Parallel Blocks



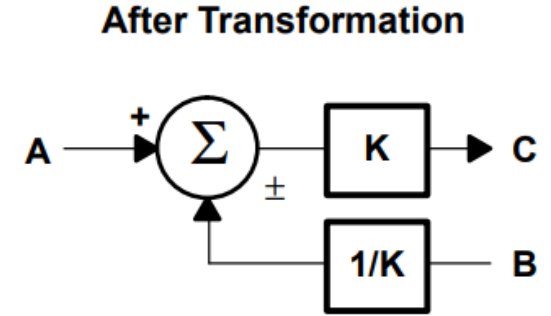
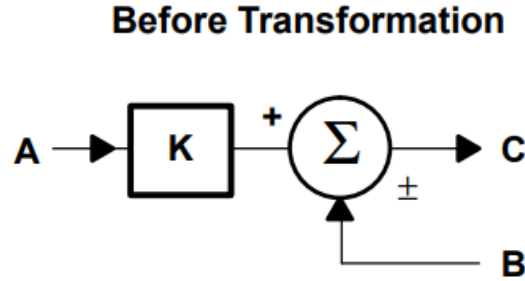
Eliminate a Feedback Loop



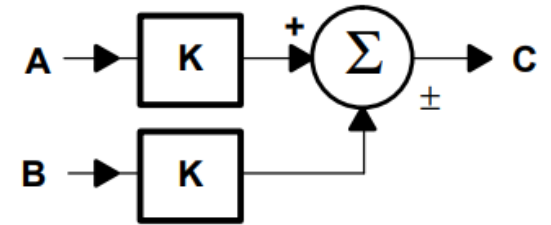
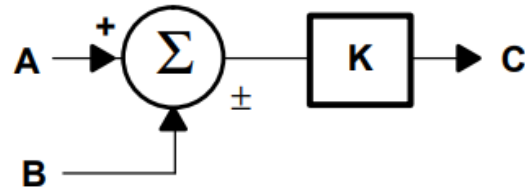
Правила перетворення схеми до канонічного вигляду

Transformation

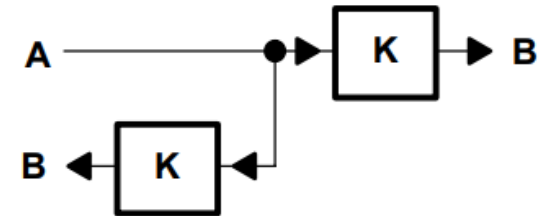
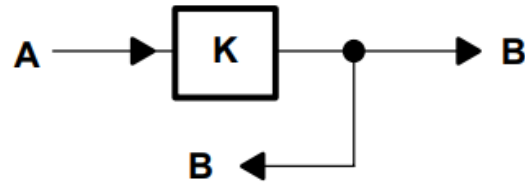
Move Summer
In Front of a Block



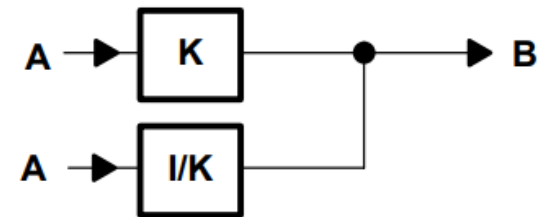
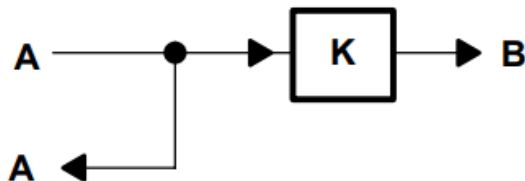
Move Summer
Behind a Block



Move Pickoff In
Front of a Block



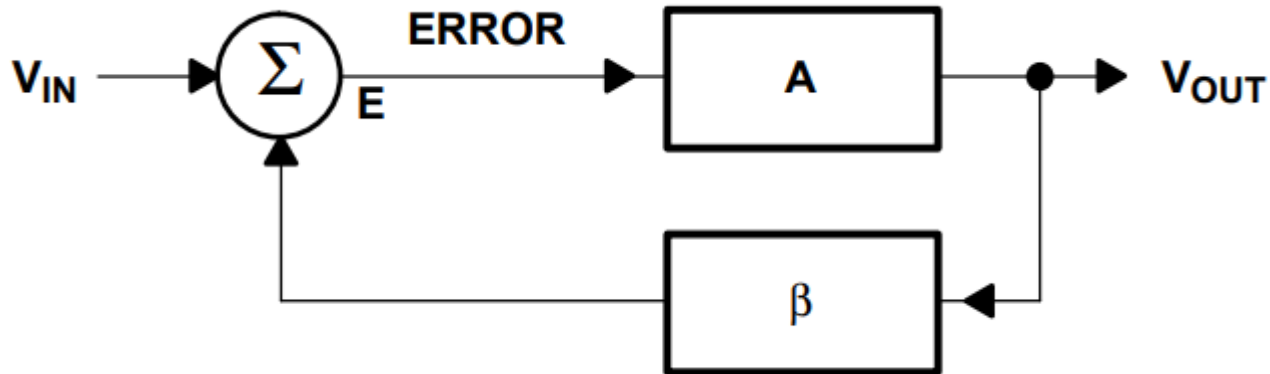
Move Pickoff
Behind a Block



Правила перетворення схеми до канонічного вигляду

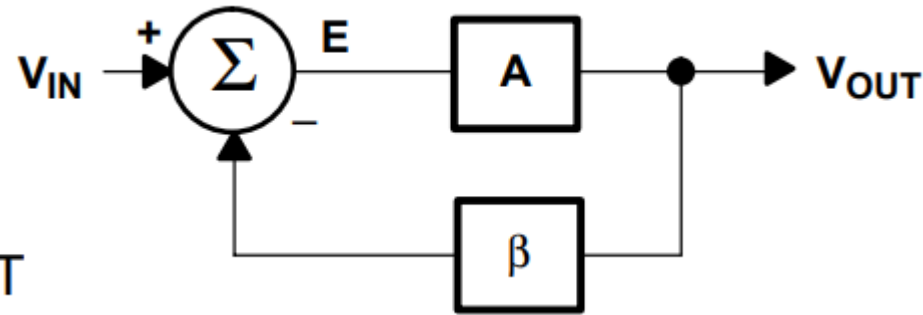
Загальні правила спрощення структурних схем:

- Об'єднати послідовні блоки.
- Об'єднати паралельні блоки.
- Виключити внутрішні кола зворотних зв'язків.
- Посунути додаючі точки ліворуч (до входу).
- Посунути точки розгалуження праворуч (до виходу).
- Повторювати ці перетворення, доки не буде отримано канонічну форму структурної схеми із зворотним зв'язком:



Розрахунок канонічної схеми із зворотним зв'язком

Вихідна напруга: $V_{OUT} = EA$



Рівняння помилки: $E = V_{IN} - \beta V_{OUT}$

Комбінація цих двох рівнянь: $\frac{V_{OUT}}{A} = V_{IN} - \beta V_{OUT}$

Після перетворення: $V_{OUT} \left(\frac{1}{A} + \beta \right) = V_{IN}$

Класичне рівняння зворотного зв'язку:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

Якщо $A\beta \gg 1$, то отримуємо так зване рівняння *ідеального зворотного зв'язку*:

$$\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{1}{\beta}$$

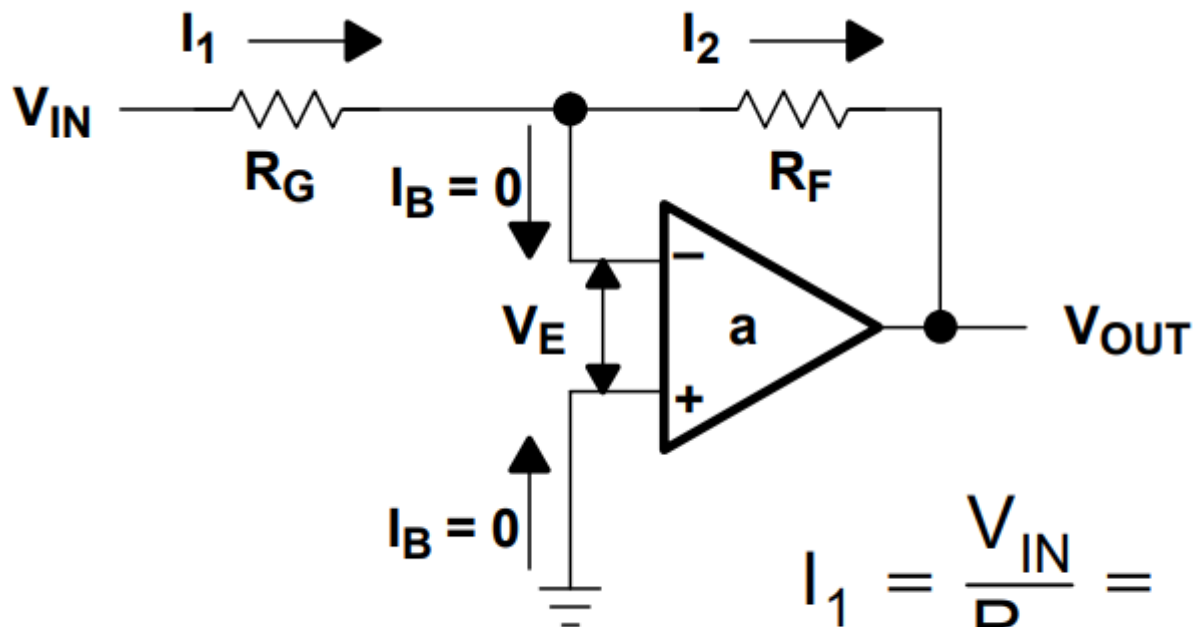
Добуток $A\beta$ називається *глибиною* зворотного зв'язку, а число β - *коефіцієнтом* зворотного зв'язку.

Якщо $\beta > 0$, то такий ЗЗ називається *позитивним*, а якщо $\beta < 0$ - то, відповідно, *негативним*.

Якщо глибина ЗЗ $A\beta = -1$, то коефіцієнт підсилення схеми зростає до нескінченності:

$$\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{A}{1 + A\beta} \longrightarrow \infty$$

Інвертуюча схема включення ОП

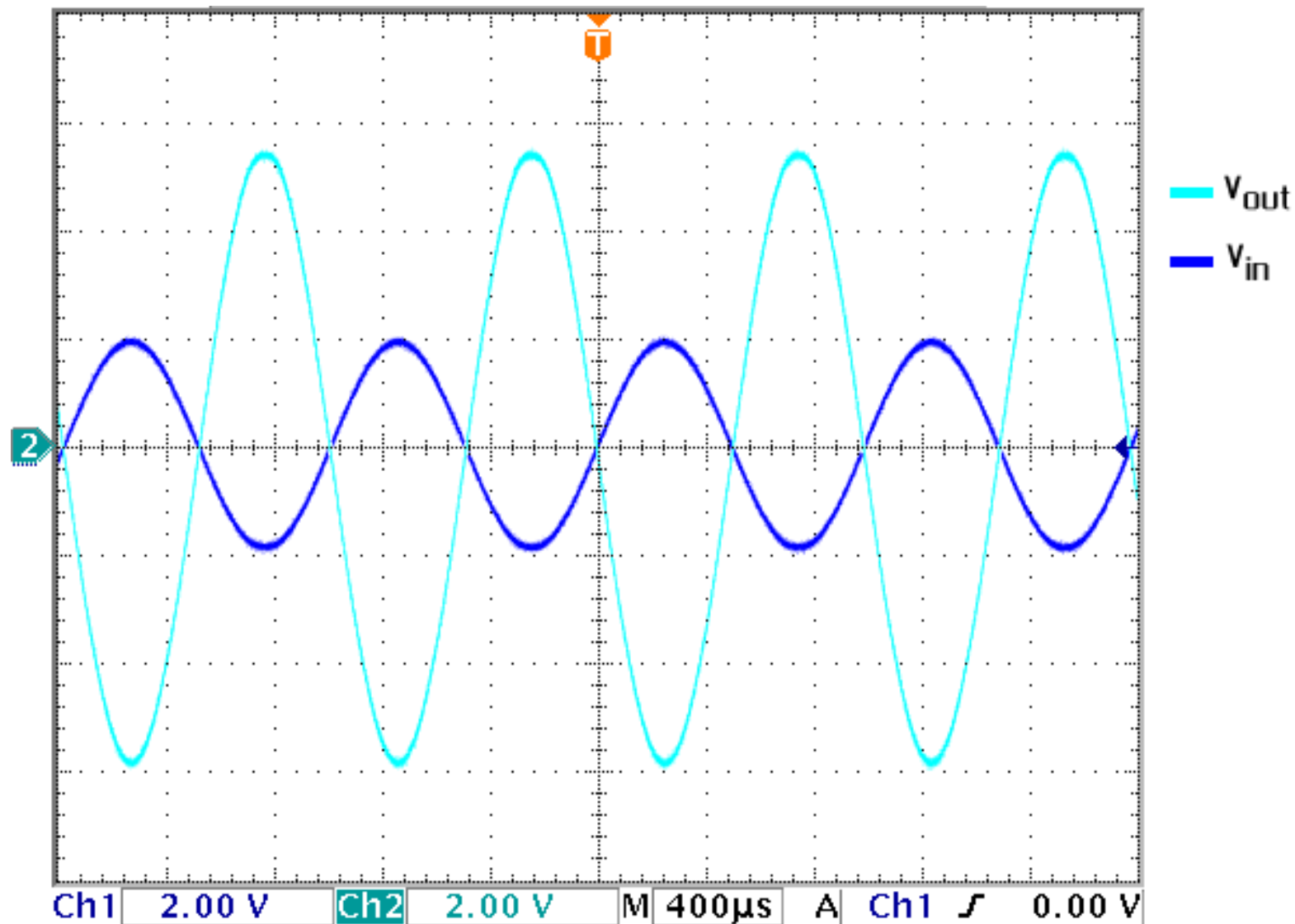


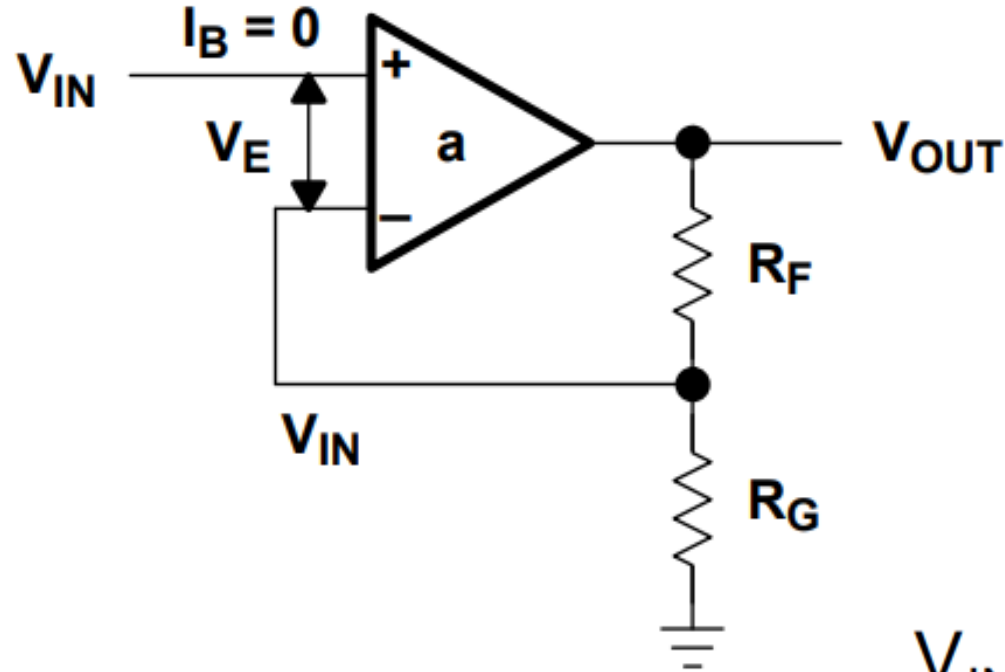
$$I_1 = \frac{V_{IN}}{R_G} = -I_2 = -\frac{V_{OUT}}{R_F}$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{R_F}{R_G}$$

Інвертуюча схема включення ОП

Сигнали



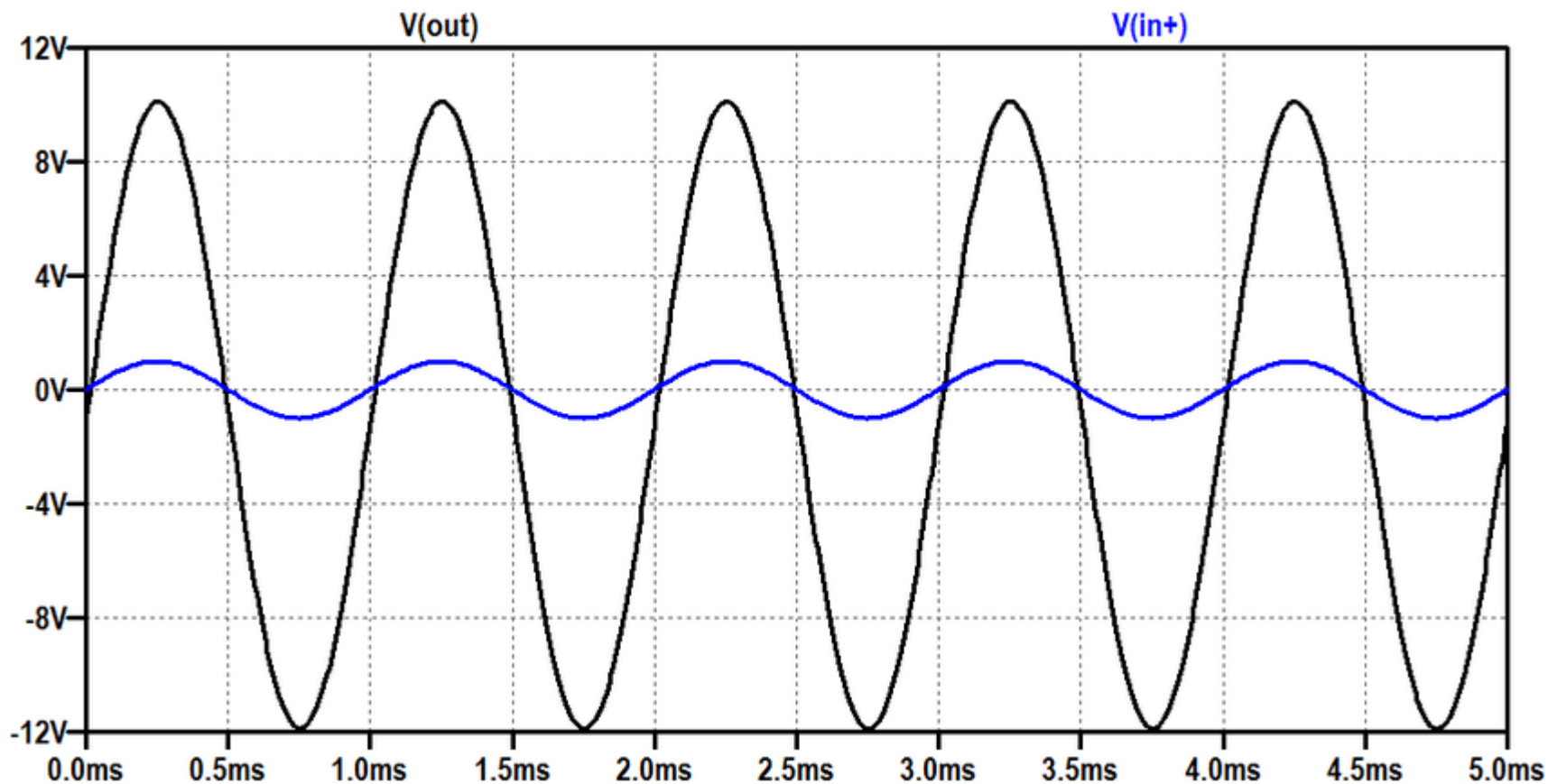


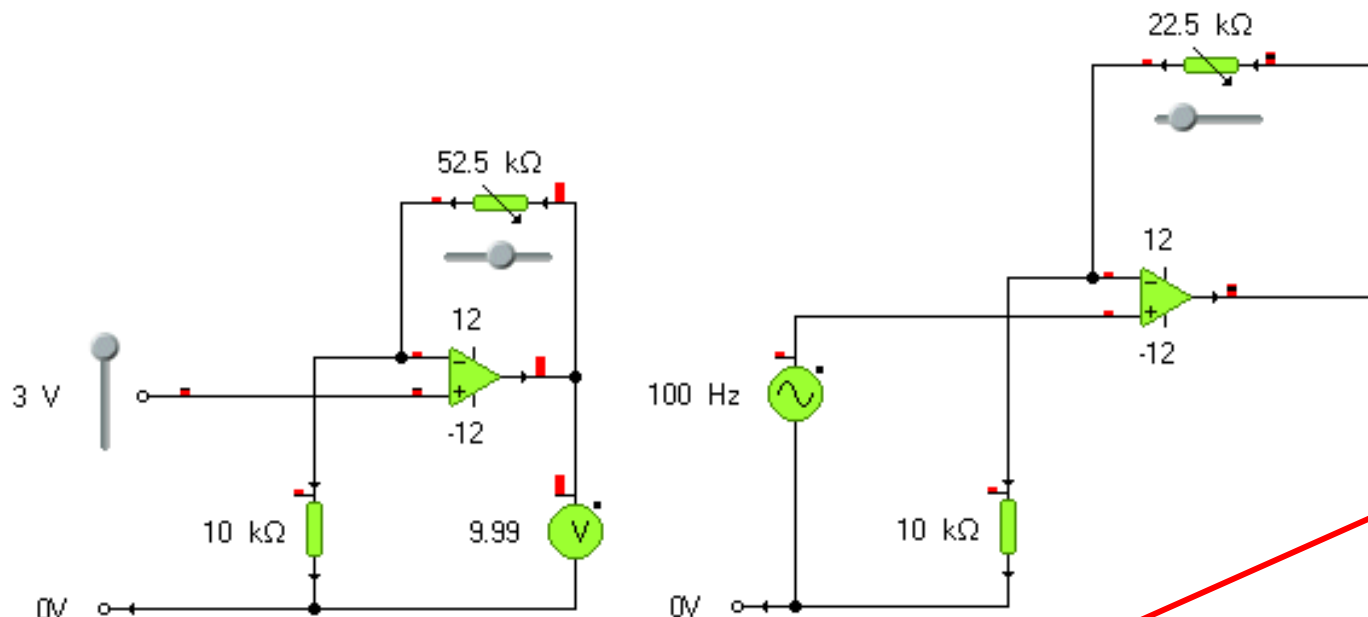
$$V_{IN} = V_{OUT} \frac{R_G}{R_G + R_F}$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_G + R_F}{R_G} = 1 + \frac{R_F}{R_G}$$

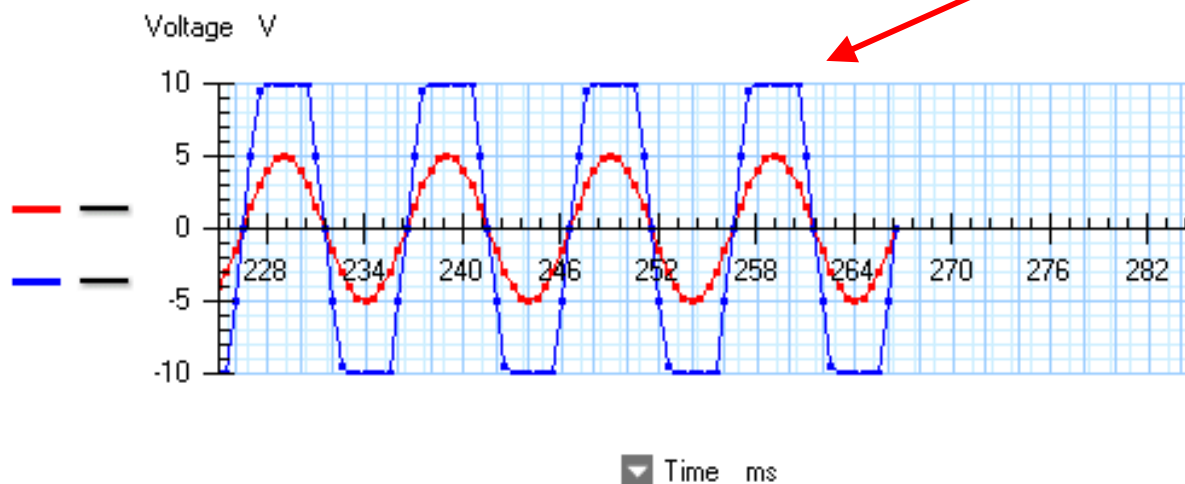
Неінвертуюча схема включення ОП

Сигнали

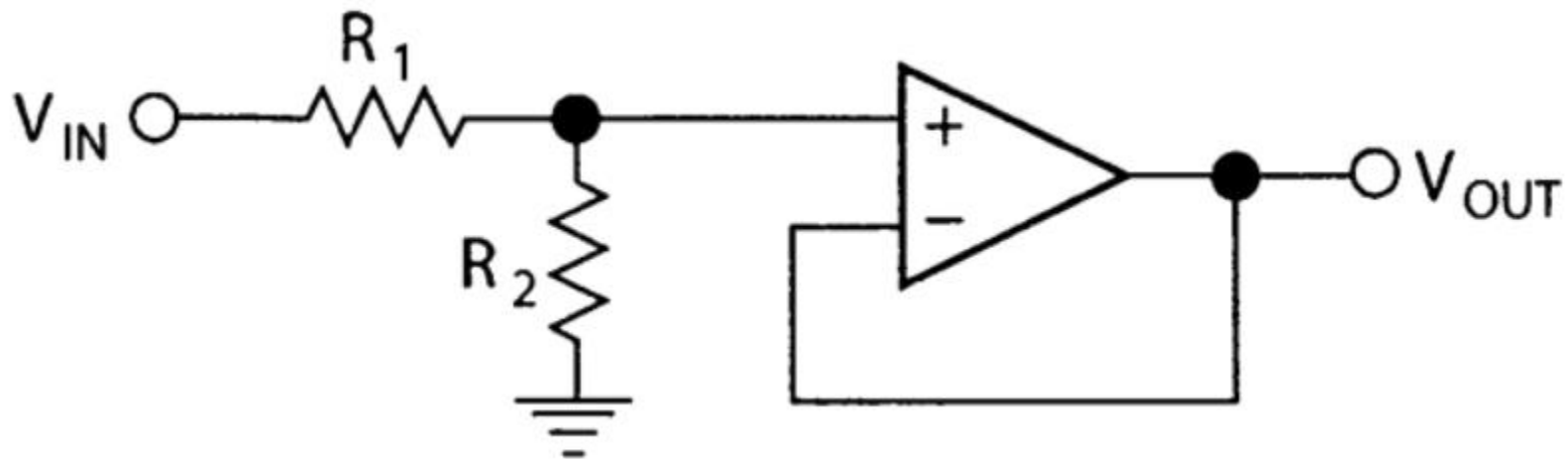




Напруга на виході не може перевищувати напругу живлення!

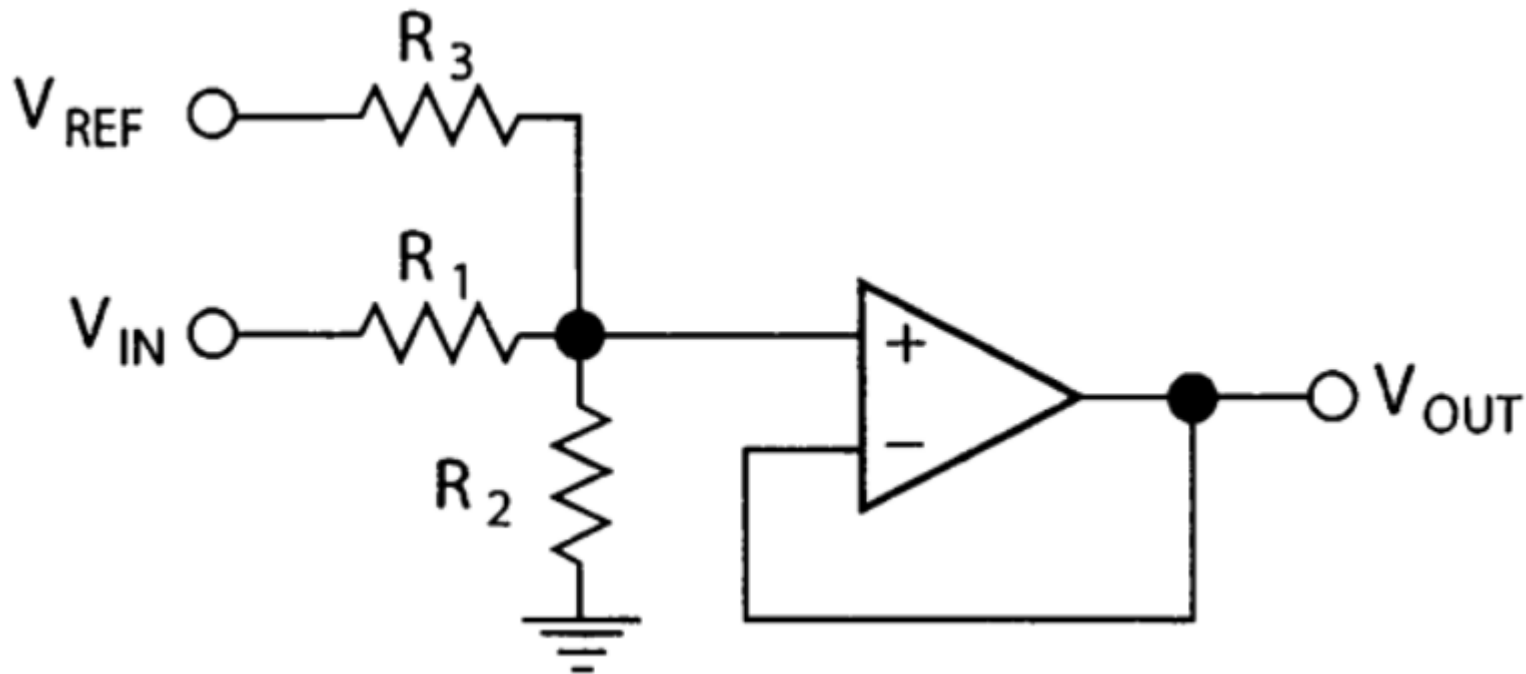


Неінвертуючий атенюатор без зміщення нуля



$$V_{OUT} = mV_{IN}, m = R_2 / (R_1 + R_2).$$

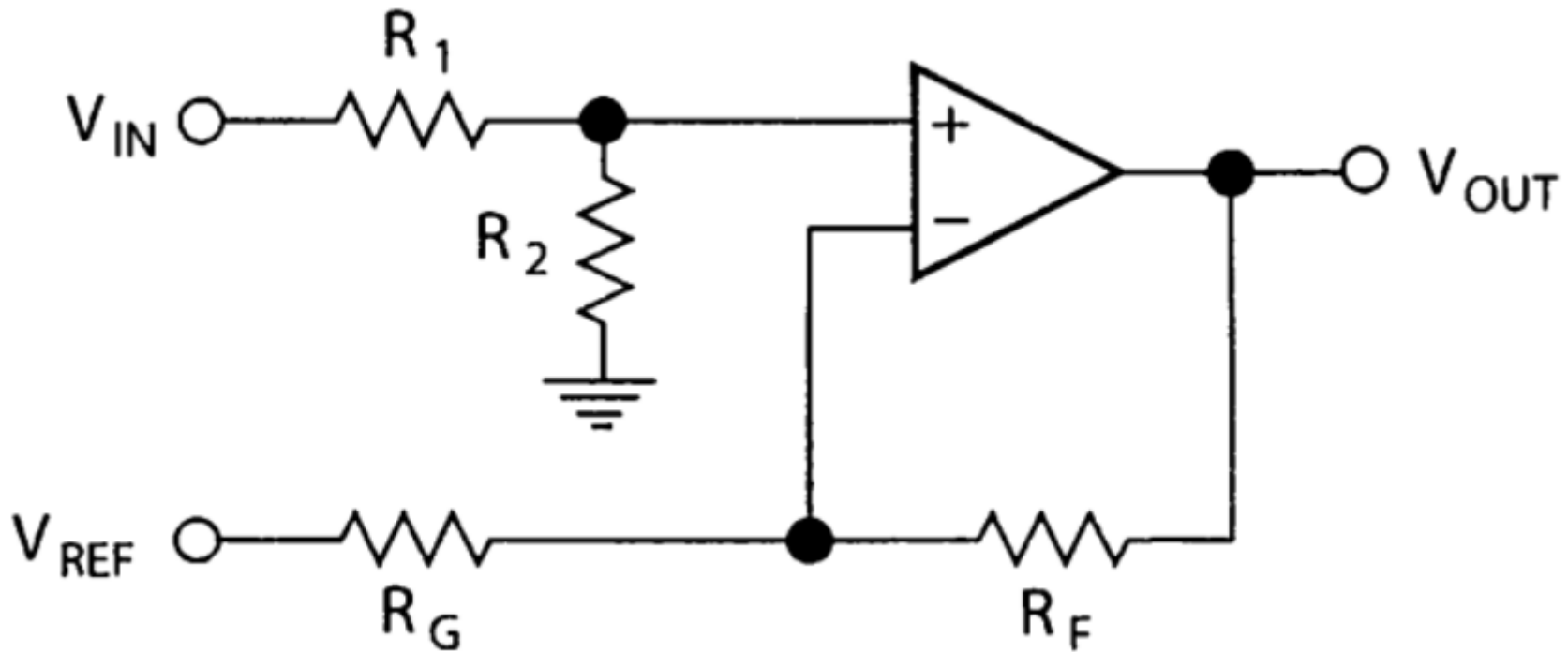
Неінвертуючий атенюатор з додатнім зміщенням нуля



$$V_{OUT} = mV_{IN} + b, \quad m = (1/R_1)/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3),$$

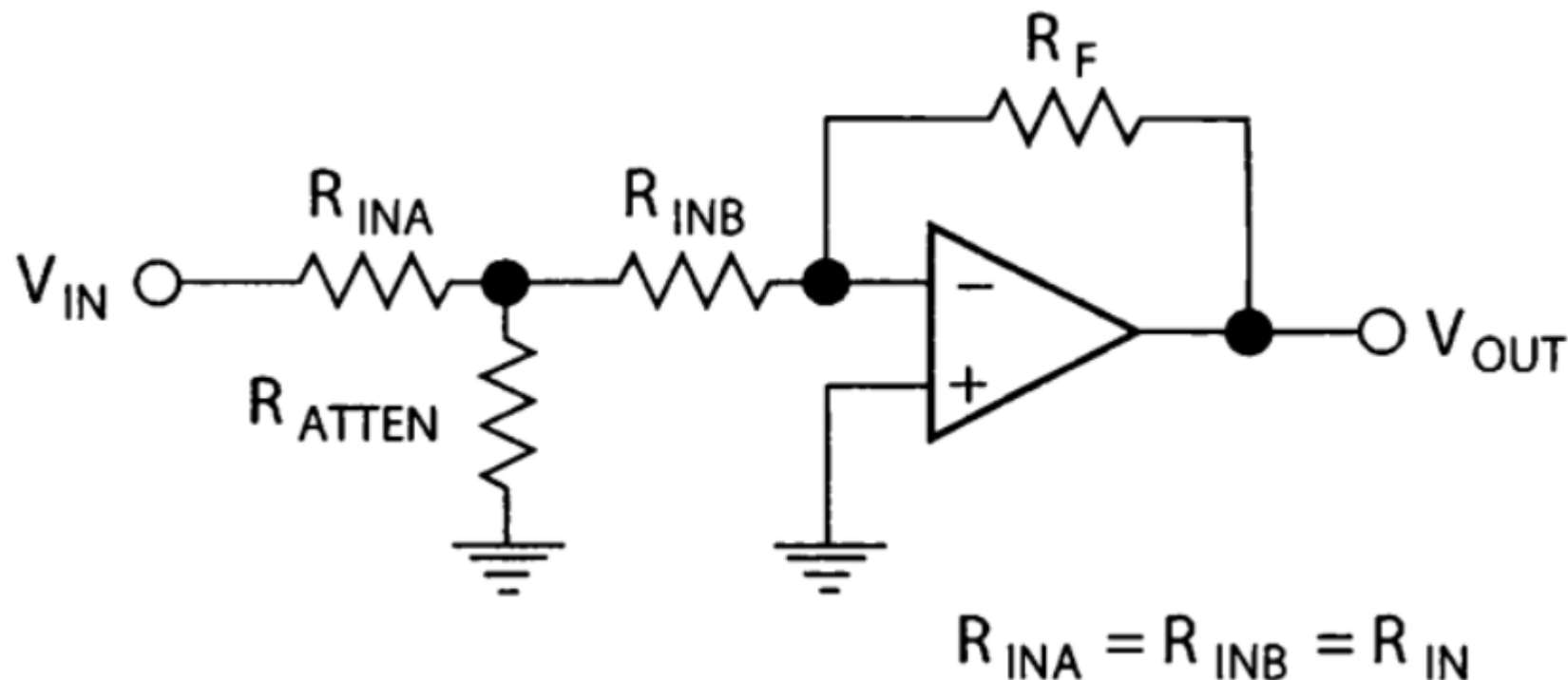
$$b = V_{REF}(1/R_3)/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3).$$

Неінвертуючий атенюатор з від'ємним зміщенням нуля



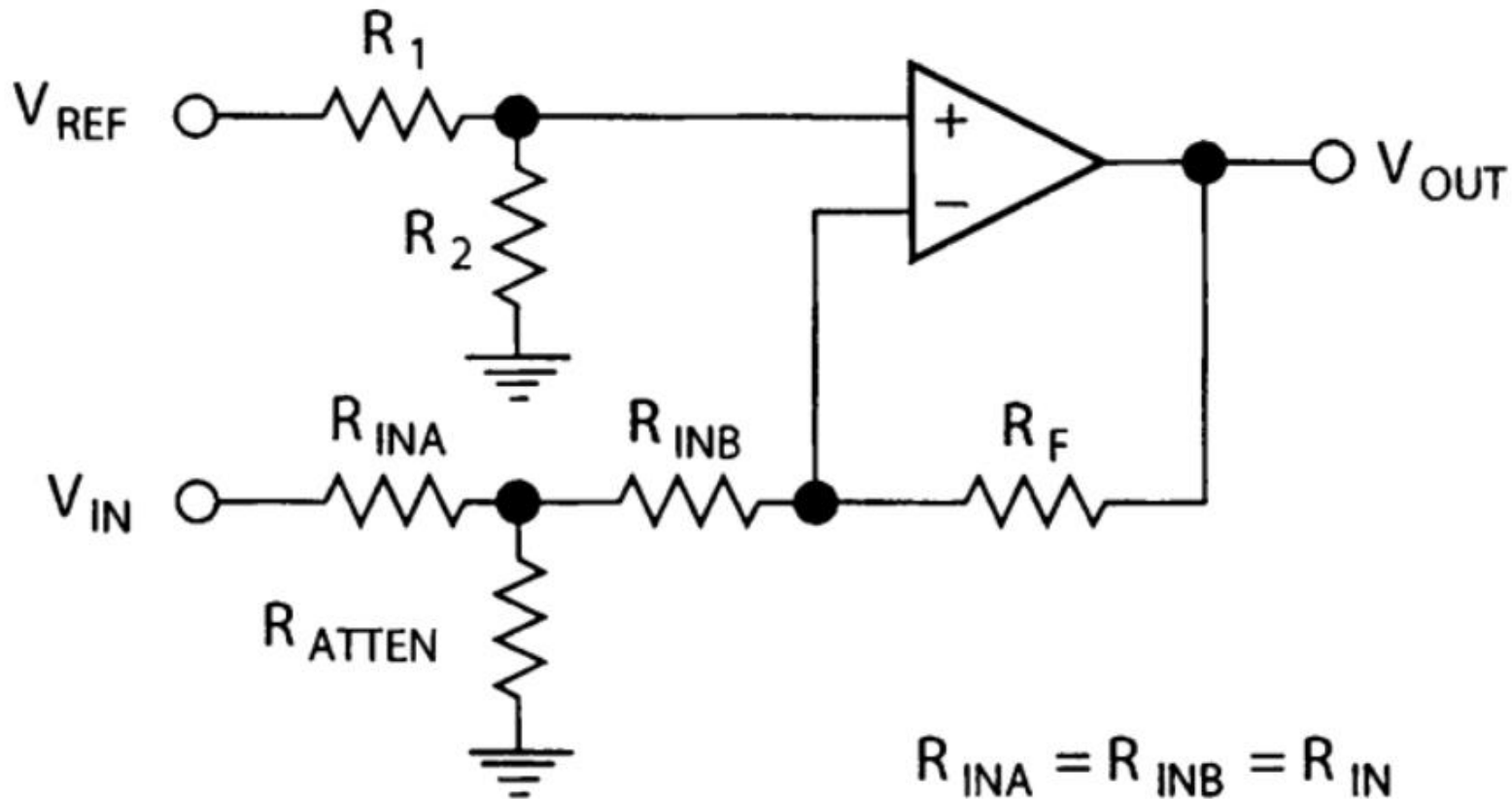
$$V_{OUT} = mV_{IN} - b, \quad m = [R_2 / (R_1 + R_2)] \times [1 / (R_F / R_G)],$$
$$b = V_{REF} \times (R_F / R_G).$$

Інвертуючий атенюатор без зміщення нуля



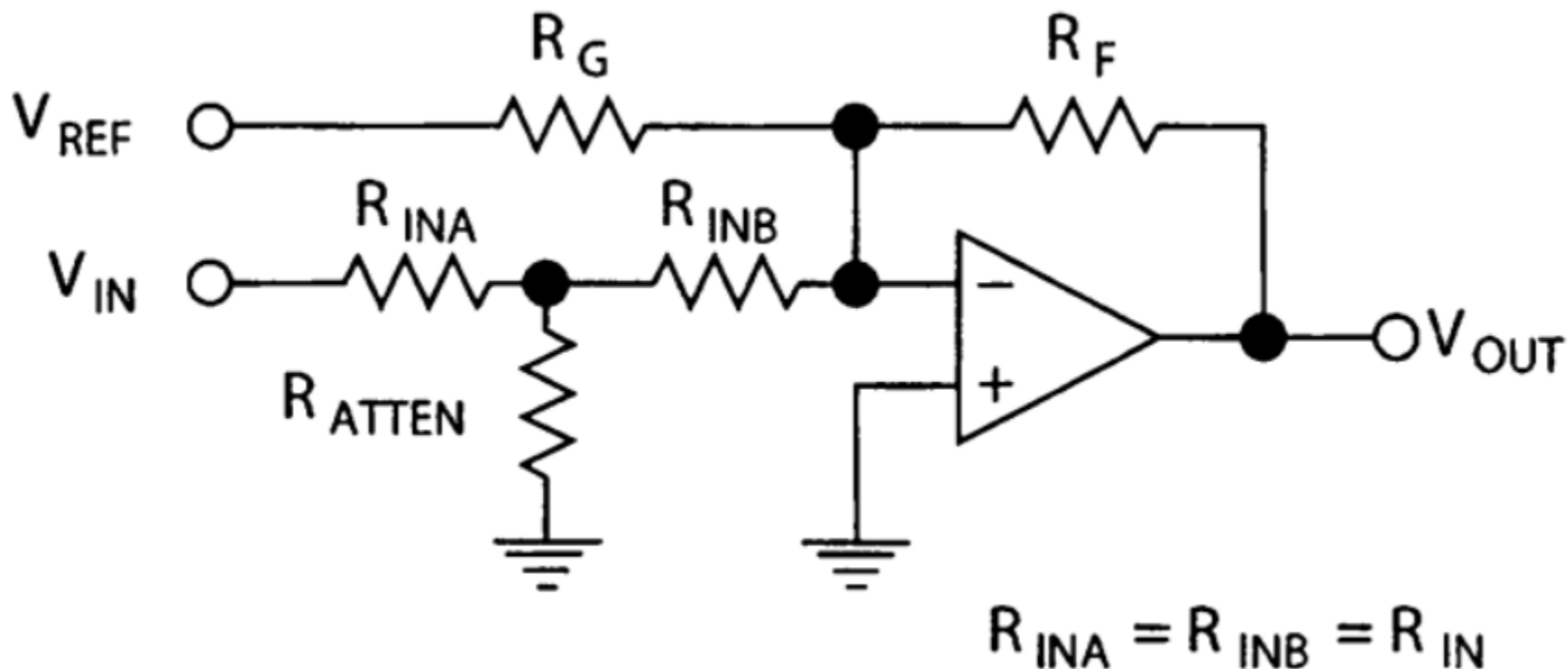
$$V_{OUT} = mV_{IN}, m = (R_F \times R_{ATTEN}) / [R_{IN} \times (R_{IN} + R_{ATTEN})].$$

Інвертуючий атенюатор з додатнім зміщенням нуля

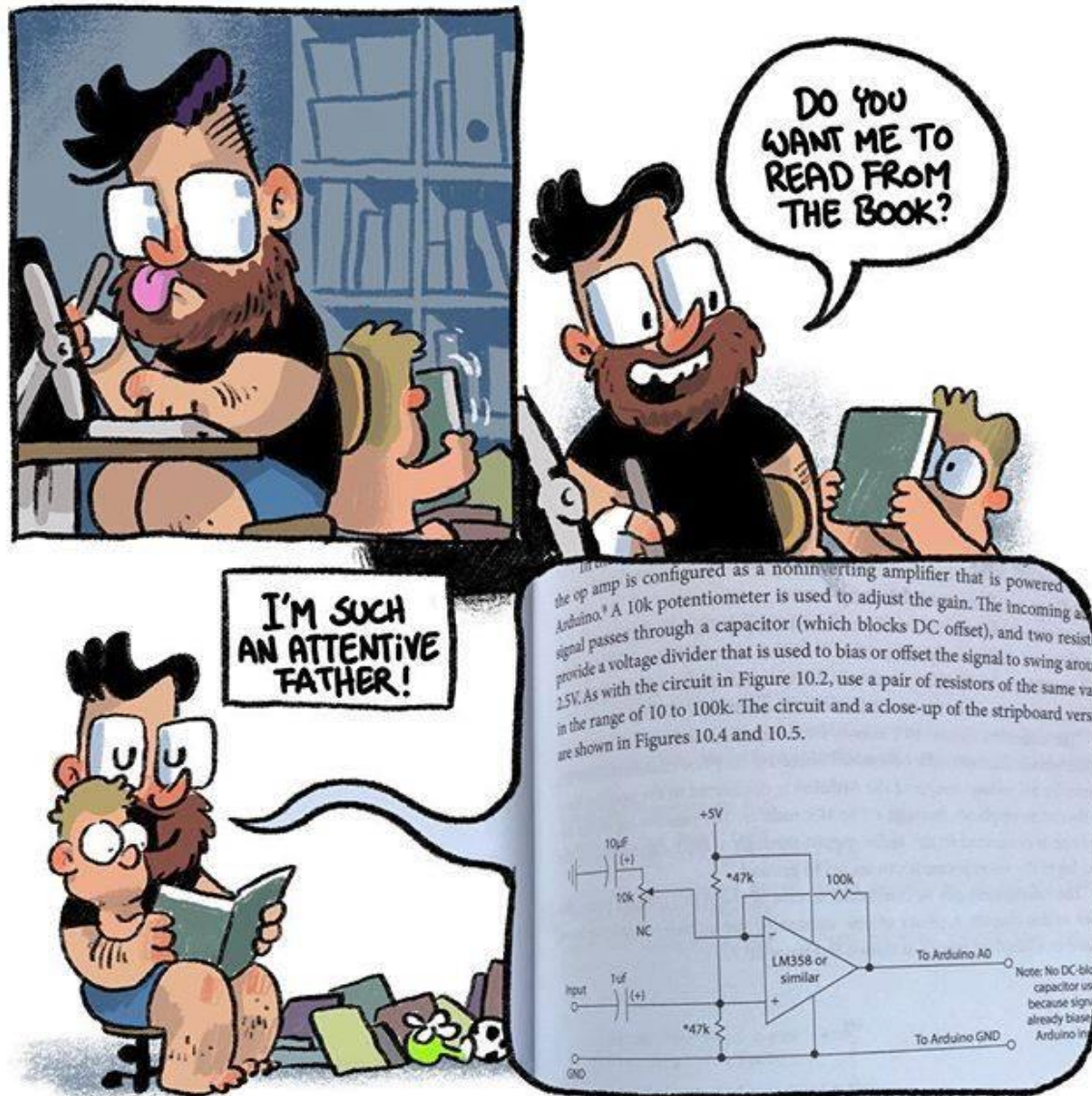


$$V_{OUT} = mV_{IN} + b, m = \frac{R_F \times R_{ATTEN}}{R_{IN} \times (R_{IN} + 2R_{ATTEN})},$$
$$b = V_{REF} \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \times \left[1 + R_F \left(R_{IN} + \frac{R_{IN}}{R_{ATTEN}} \right) \right].$$

Інвертуючий атенюатор з від'ємним зміщенням нуля



$$V_{OUT} = mV_{IN} - b, \quad m = (R_F \times R_{ATTEN}) / [R_{IN} \times (R_{IN} + 2R_{ATTEN})], \quad b = V_{REF}(R_F/R_G).$$



...Підсилювачі струмів та напруг на ОП.
Схеми з однополярним живленням