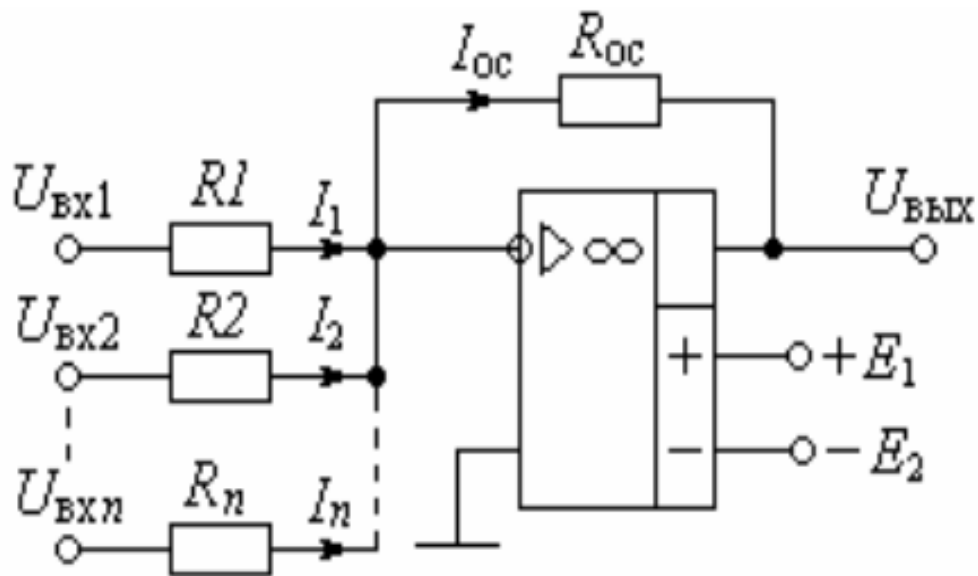


# Схеми пристроїв на операційних підсилювачах

## Інвертуючий суматор



## Инвертующий суматор

$$I_{\text{oc}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -(I_1 + I_2 + \dots + I_n) R_{\text{oc}}.$$

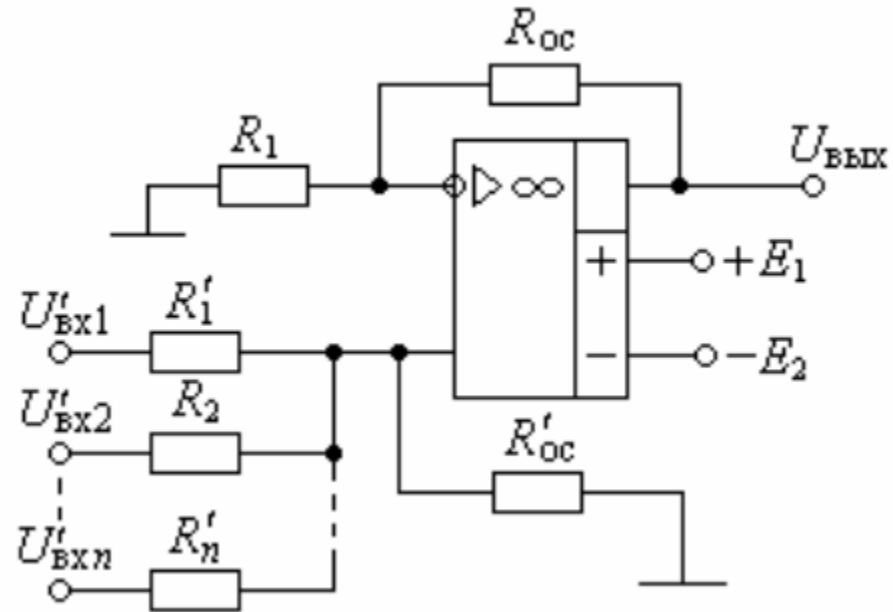
$$I_1 = \frac{U_{\text{ВХ1}}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{\text{ВХ2}}}{R_2}; \quad \dots; \quad I_n = \frac{U_{\text{ВХn}}}{R_n}.$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \left( \frac{U_{\text{ВХ1}}}{R_1} + \frac{U_{\text{ВХ2}}}{R_2} + \dots + \frac{U_{\text{ВХn}}}{R_n} \right) R_{\text{oc}}.$$

$$R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_{33} = R.$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -(U_{\text{ВХ1}} + U_{\text{ВХ2}} + \dots + U_{\text{ВХn}}).$$

# Неінвертуючий суматор



## Неінвертуючий суматор

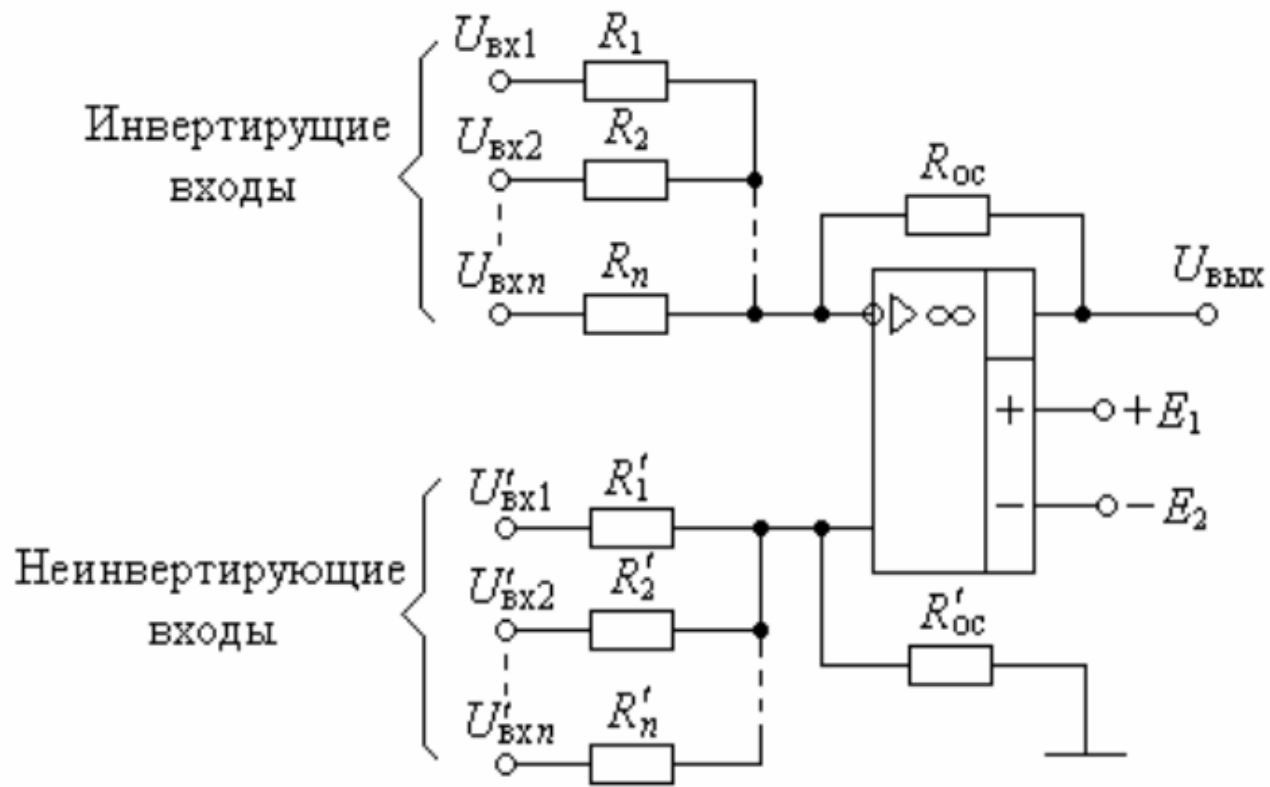
$$\left( \frac{R_{33}}{R_1} + 1 \right)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left( \frac{U_{\text{ВХ}1}}{R_1'} + \frac{U_{\text{ВХ}2}}{R_2'} + \dots + \frac{U_{\text{ВХ}n}}{R_n'} \right) R_{\text{ін}}' * \left( \frac{R_{\text{ін}}}{R_1} + 1 \right).$$

$$R_1' = R_2' = \dots = R_n' = R_{\text{ін}}',$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_{\text{ВХ}1} + U_{\text{ВХ}2} + \dots + U_{\text{ВХ}n}).$$

## Схема додавання-віднімання.



## Схема додавання-віднімання.

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \left( \frac{U_{\text{ВХ1}}}{R_1} + \frac{U_{\text{ВХ2}}}{R_2} + \dots + \frac{U_{\text{ВХ}m}}{R_m} \right) R_{\text{oc}} + \left( \frac{U'_{\text{ВХ1}}}{R'_1} + \frac{U'_{\text{ВХ2}}}{R'_2} + \dots + \frac{U'_{\text{ВХ}n}}{R'_n} \right) R'_{\text{in}}.$$

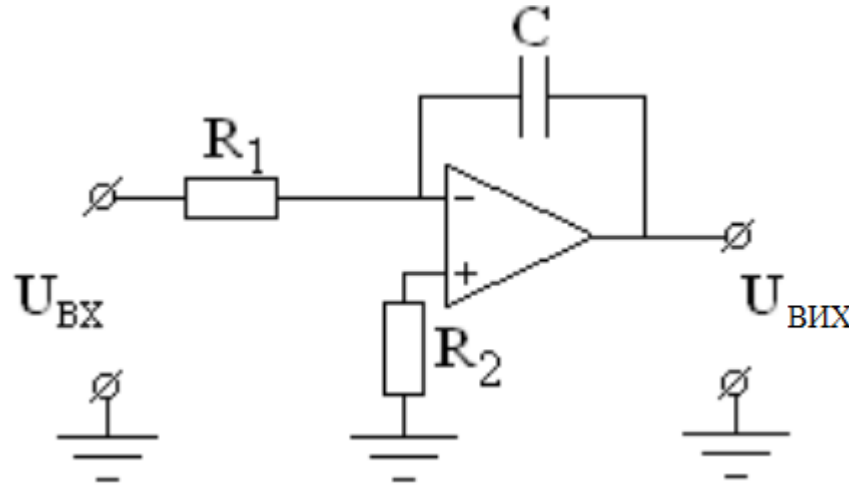
$$R_1 = R_2 = \dots = R_m = R_{\text{oc}} = R;$$

$$R'_1 = R'_2 = \dots = R'_n = R'_{\text{oc}} = R'$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = - (U_{\text{ВХ1}} + U_{\text{ВХ2}} + \dots + U_{\text{ВХ}m}) + (U'_{\text{âõ1}} + U'_{\text{âõ2}} + \dots + U'_{\text{âõ}i}).$$

# Інтегратор

Цей пристрій призначений для виконання математичної операції інтегрування. У інтеграторі швидкість зміни вихідної напруги пропорційна напрузі на вході і обернено пропорційна постійній часу  $\tau = R_1 C$



$$U_{\text{ВИХ}} = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t U_{\text{ВХ}} dt$$

При ступінчатій зміні вхідного сигналу швидкість зміни вихідної напруги буде дорівнювати:

$$\frac{U_{\text{ВИХ}}}{\Delta t} = -\frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1 C}$$

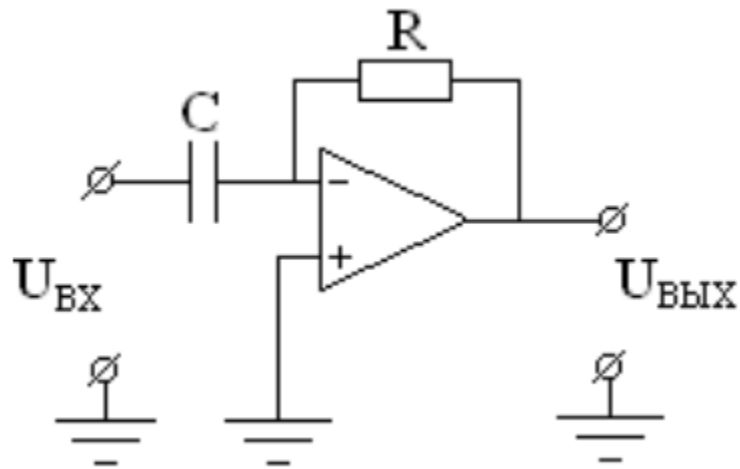
тобто на виході інтегратора буде формуватися лінійно-наростаюча (спадаюча) напруга.

# Інтегратор

Для синусоїдального вхідного сигналу інтегратор є фільтром нижніх частот, коефіцієнт підсилення якого обернено пропорційна частоті. Вихідна напруга «ідеального» інтегратора не змінюється, якщо напруга на вході дорівнює нулю ( вхідний струм дорівнює нулю). Інтегратор ніби зберігає попереднє значення. Ця властивість інтегратора використовується в схемі динамічного пристрою, що запам'ятовує. Однак реально вихідна напруга інтегратора при нульовому значенню вхідної напруги змінюється, досягаючи величини максимальної вихідної напруги ОП, за рахунок того, що конденсатор  $C$ , перезаряджається вхідним струмом ОП і струмом зміщення, що визначаються вхідною напругою зміщення і вхідним резистором  $R_1$ . Для установки початкових умов інтегрування зазвичай застосовують ключі, один з яких підключають паралельно конденсатору  $C$ , а з інший – паралельно або послідовно джерелу вхідного сигналу.

# Диференціатор

Схема диференціатора призначена для виконання математичної операції диференціювання.



Вихідна напруга диференціатора пропорційна швидкості зміни вхідної напруги:

$$U_{\text{вих}} = -R_1 C \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$$

# Диференціатор

При синусоїдальній вхідній напрузі диференціатор працює як фільтр верхніх частот, коефіцієнт підсилення якого пропорційний частоті вхідного сигналу.

Недолік диференціатора - чутливість до шумів високої частоти.

Усувається цей недолік обмеженням посилення на високих частотах за допомогою резистора  $R$ , включеного послідовно з ємністю  $C$ . В цьому випадку схема буде працювати як диференціатор до частот, менших частоти, яка визначається виразом:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

# Компаратор.

В імпульсній техніці знаходять широке використання ОП в інтегральному виконанні. Рівні вхідного сигналу ОП в імпульсному режимі роботи перевищують значення, яке відповідає лінійній області амплітудної характеристики .

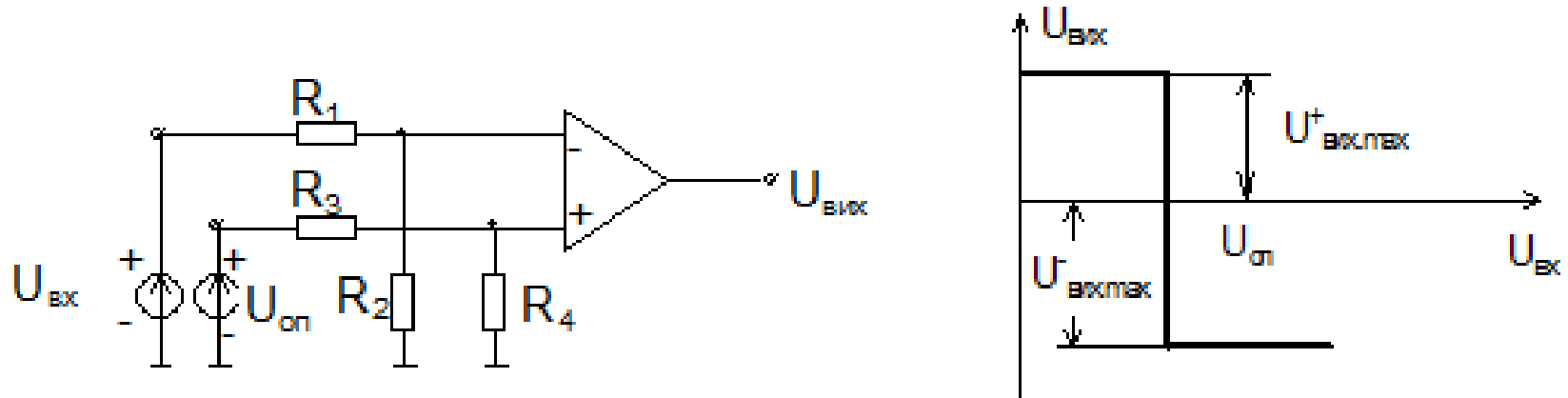
В зв'язку з цим вихідна напруга ОП в процесі роботи визначається або напругою  $U_{+вих\ max}$ , або  $U_{-вих\ max}$ .

Розглянемо роботу ОП в імпульсному режимі на прикладі компаратора, який виконує порівняння вимірюваної напруги  $U_{вх}$  з опорною напругою. Опорна напруга представляє собою незмінну за розміром напругу позитивної або негативної полярності, вхідна напруга змінюється в часі.

При досягненні вхідною напругою рівня опорної напруги проходить зміна полярності напруги на виході ОП, наприклад, з  $U_{+вих\ max}$  до  $U_{-вих\ max}$ . При  $U_{оп}=0$ , компаратор виконує фіксацію моменту переходу вхідної напруги через нуль. Компаратор часто називають нуль-органом, оскільки перемикання проходить при  $U_{вх} - U_{оп}=0$ .

Компаратори знайшли широке використання в системах автоматичного керування та у вимірювальній техніці, а також для побудови різноманітних вузлів імпульсної та цифрової дії (зокрема, аналогово-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі).

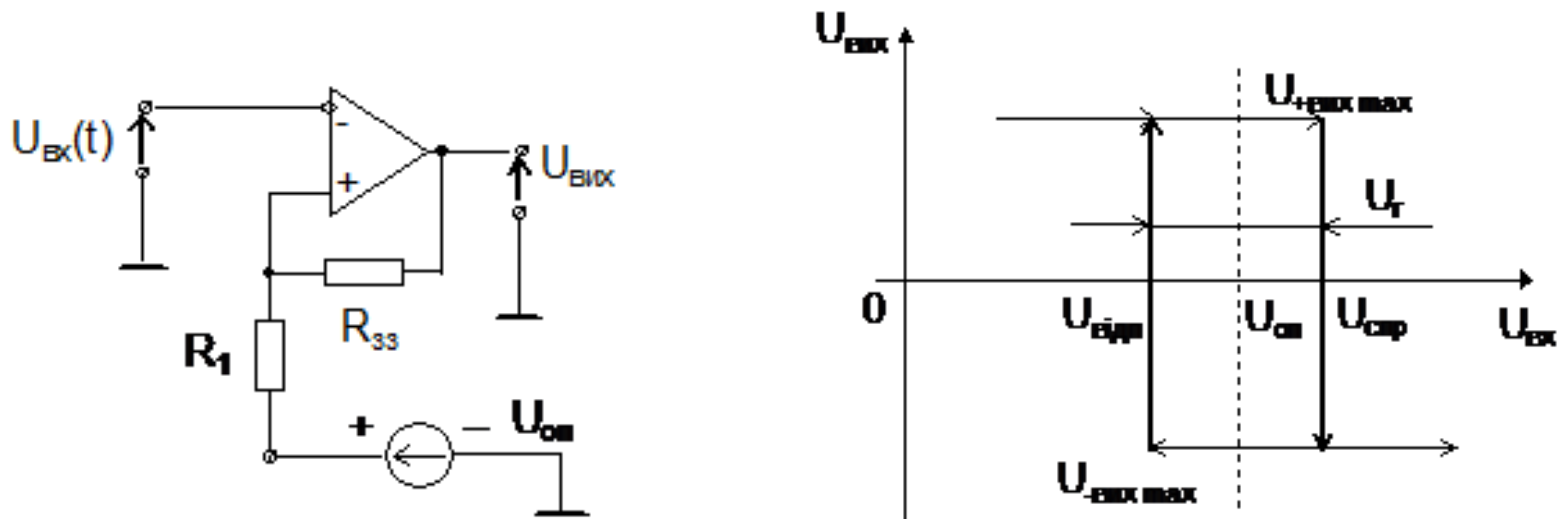
# Компаратор.



# Тригер Шмітта.

Широке застосування мають компаратори, в яких ОП охоплений позитивним оборотним зв'язком, що здійснюється по неінвертуючому входу за допомогою резисторів  $R_1$  і  $R_{33}$ .

Такий компаратор володіє передавальною характеристикою з гістерезисом. Схема відома під назвою тригера Шмітта або порогового улаштування.



Характеристика  $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$  має форму петлі гістерезіса.

Перемикання тригера Шмітта у стан  $U_{\text{-вих max}}$  відбувається при досягненні вхідної напруги  $U_{\text{вх}}$  напруги спрацьовування:

$$U_{\text{спр}} = U_{\text{оп}} + \beta(U_{\text{+вих max}} - U_{\text{оп}}),$$

а повернення у стан  $U_{\text{+вих max}}$  - при зниженні  $U_{\text{вх}}$  до напруги відпускання:

$$U_{\text{відп}} = U_{\text{оп}} + \beta(U_{\text{-вих max}} + U_{\text{оп}}),$$

де  $\beta = R_1 / (R_1 + R_{33})$  - коефіцієнт позитивного зворотнього зв'язку,

$U_{\text{оп}}$  - опорна напруга.

Тригер Шмітта достатньо завагостійкій. Його завагостійкість визначається розміром напруги зони гістерезіса:

$$U_{\text{Г}} = U_{\text{спр}} - U_{\text{відп}} = (U_{\text{+вих max}} - U_{\text{-вих max}})\beta.$$

Найважливішим показником ОП, які працюють в імпульсному режимі, є швидкодія, яка оцінюється затримкою спрацьовування та розміром часу наростання вихідного сигналу. Позитивний зворотній зв'язок зменшує  $\Delta t_{\text{затримки}}$ , що збільшує швидкість зміни полярності вихідної напруги.

За допомогою тригера Шмітта можна отримати найпростіший формувач прямокутних імпульсів із синусоїдальної напруги. Подаючи на вхід синусоїдальну напругу  $U_{\text{вх}}$ , амплітуда якої не перевищує  $U_{\text{вх max}}$ , отримуємо вихідну напругу прямокутної форми, яка стрибком змінюється від  $U_{+\text{вих max}}$  до  $U_{-\text{вих max}}$  та навпаки. За допомогою тригера Шмітта завдяки регенеративним процесам можна отримати імпульси прямокутної форми, які мають круті фронти та зрізи.

# Часова діаграма формування імпульсів прямокутної форми за допомогою тригера Шмітта

