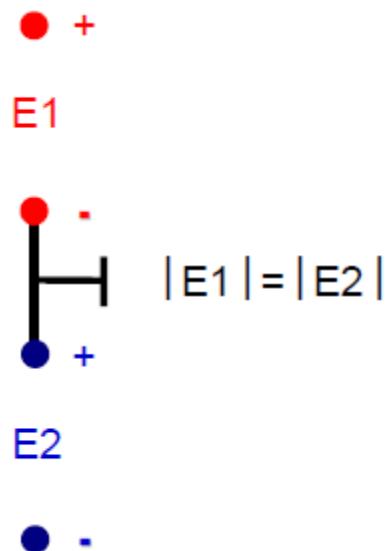


Операционни усилватели

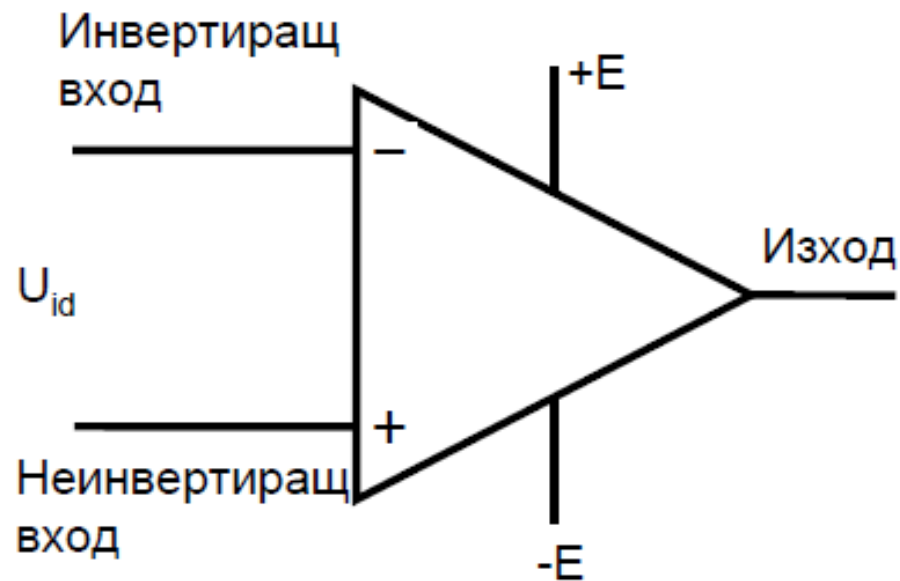
Операционни усилватели с OOB.

Операционен усилвател (ОУ)

Симетрично захранване



Символно означение



Операционните усилватели са интегрални електронни схеми с **голям коефициент на усилване по напрежение** ($K_{ud} = 10.000 \dots 500.000$), които са честотно зависими. Чрез включване на допълнителни външни елементи усилването може да се нагласи съгласно дадена математическа операция.

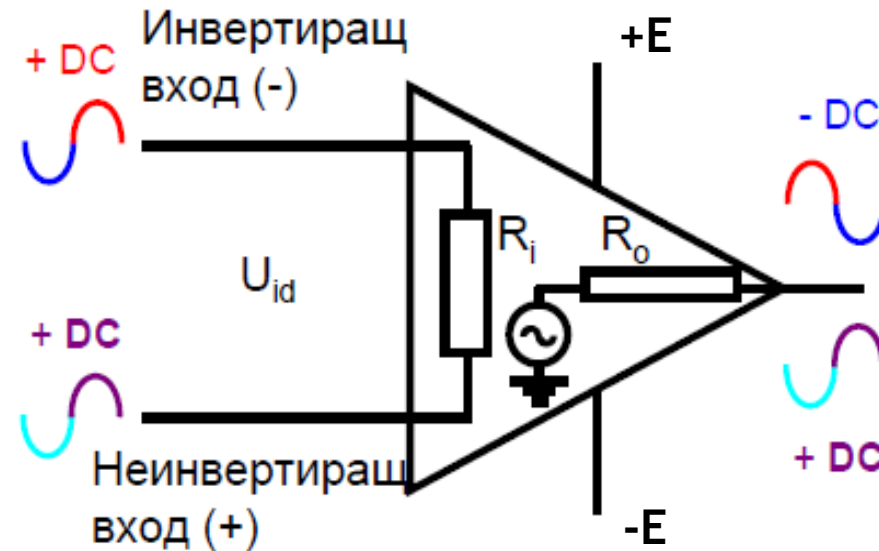
II. Идеален операционен усилвател

- $R_i \rightarrow \infty$ ($I_{ioy} = 0!!!$)
- $K_{ud} \rightarrow \infty$ ($U_{id} = 0!!!$)
- $R_o \rightarrow 0$
- $\Delta f \rightarrow \infty$

Реален ОУ

- $R_i \rightarrow 10^{12} \Omega$
- $K_{ud} \rightarrow 10^7$
- $R_o \rightarrow m\Omega$
- $\Delta f \rightarrow ?$

Еквивалентна схема

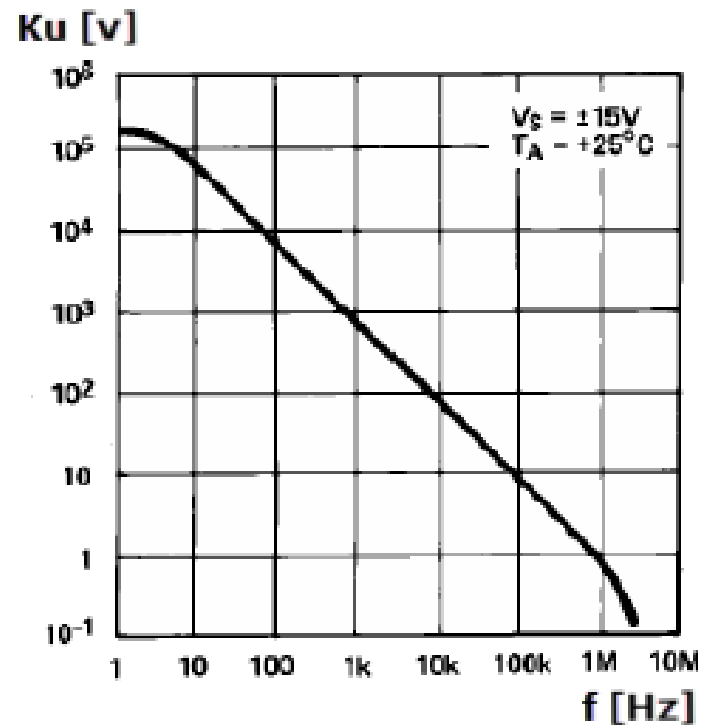


Големината на изходното напрежение се ограничава от захранващите напрежения (+E -E).

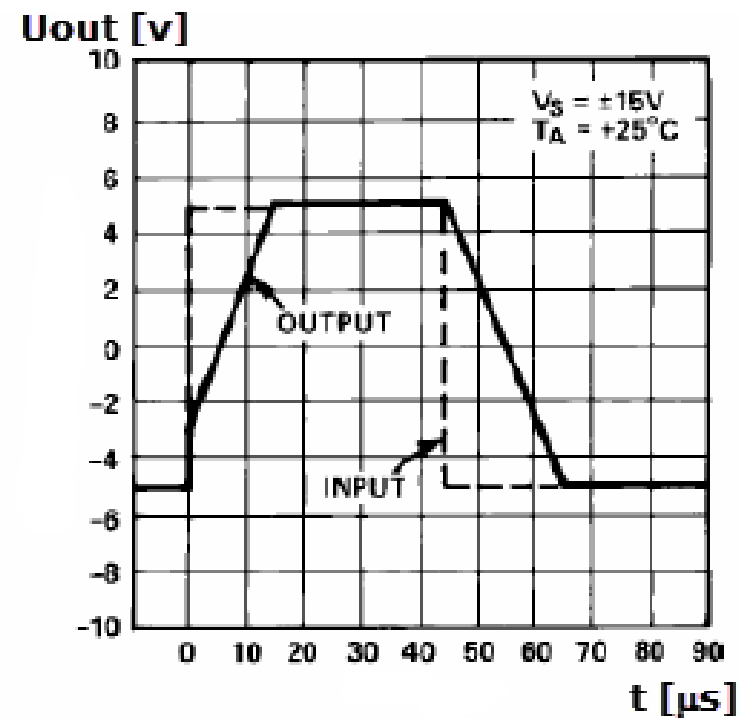
Усилвателят вече не работи в линейна област на усилване.

III. Параметри на реален ОУ

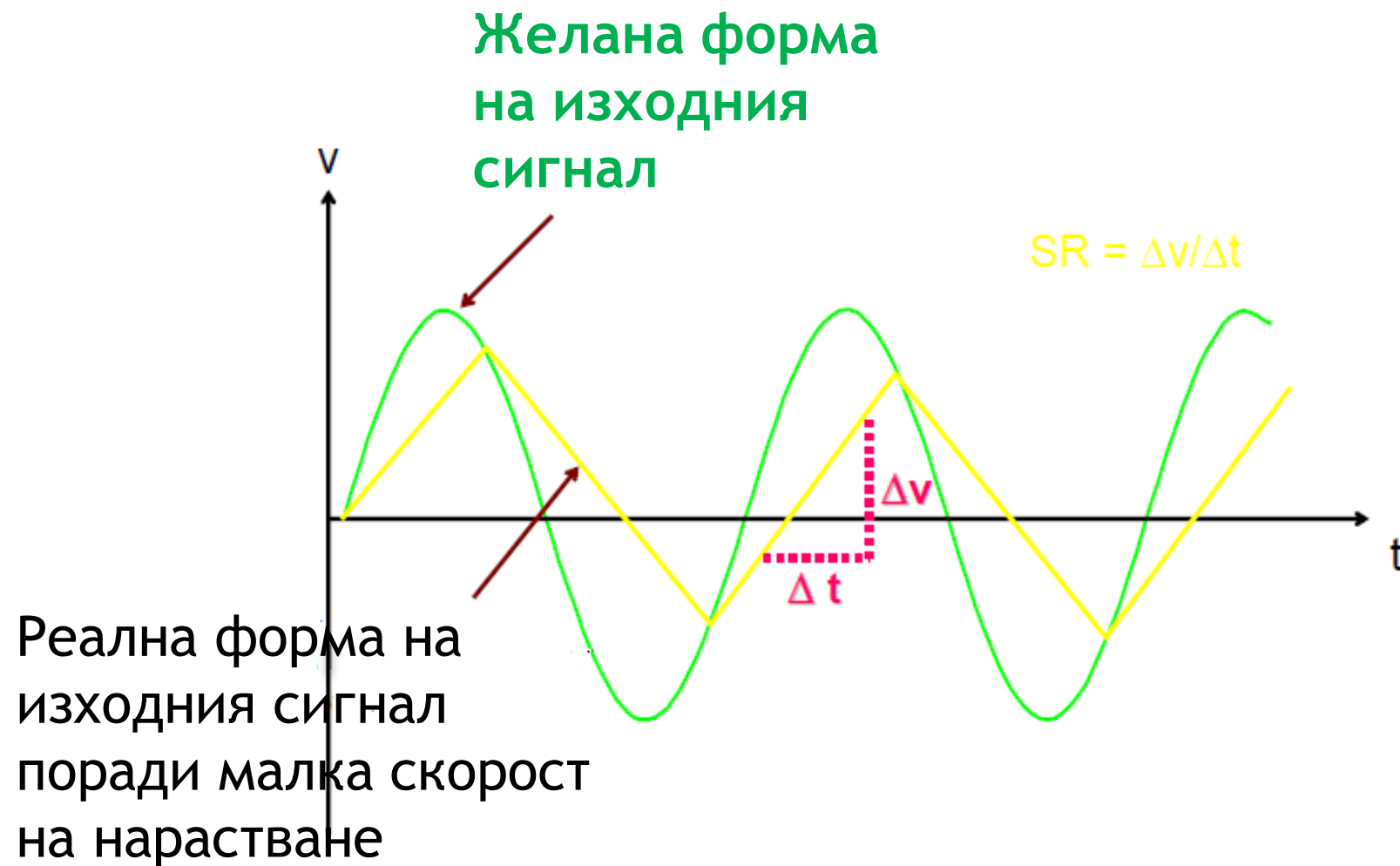
- Коефициент на усилване по напрежение



- Скорост на нарастване на изходния сигнал (Slew-Rate)

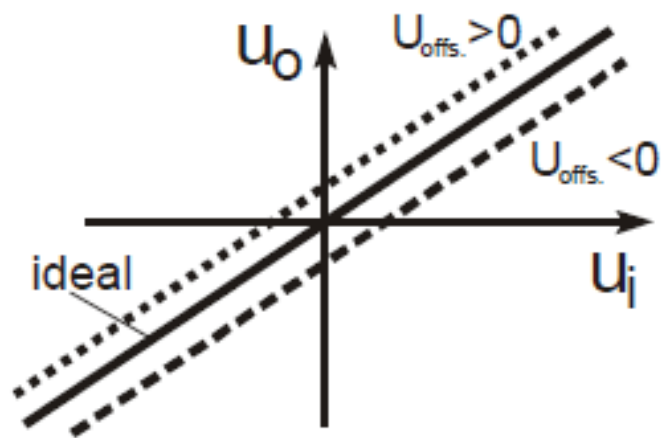


III. Параметри на реален ОУ



III. Параметри на реален ОУ

□ Offset-напрежение



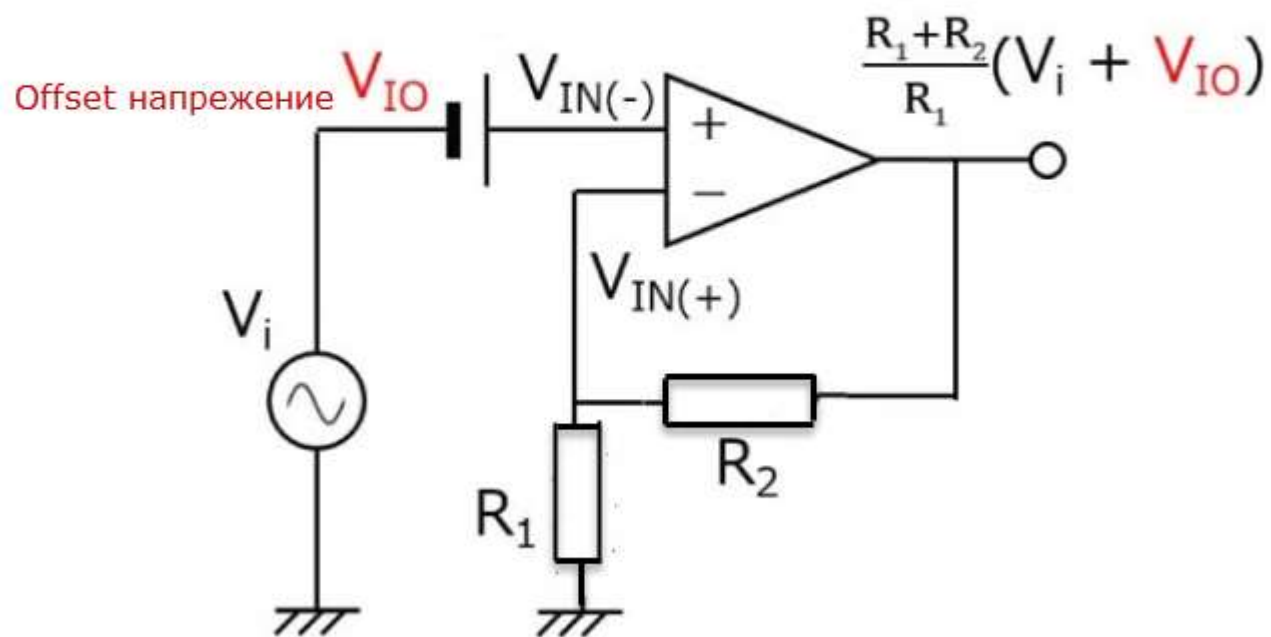
В случая на идеалния усилвател, постояннотокото напрежение на двата входа съвпада точно, когато входното напрежение (U_i) е 0 V.

В действителност обаче има разлики във входния импеданс и входен ток на отклонение между клемите $U_{in} (+)$ и $U_{in} (-)$, което води до малка разлика в техните напрежения. Тази разлика се нарича входно **offset напрежение**, се умножава по коефициент на усилване, като се появява като отклонение на изходното напрежение от идеалната стойност.



III. Параметри на реален ОУ

□ Offset-напрежение



Когато се използва в усилватели на сензори и др., входното offset напрежение на усилвателя води до грешка на чувствителността на детектиране на сензора.

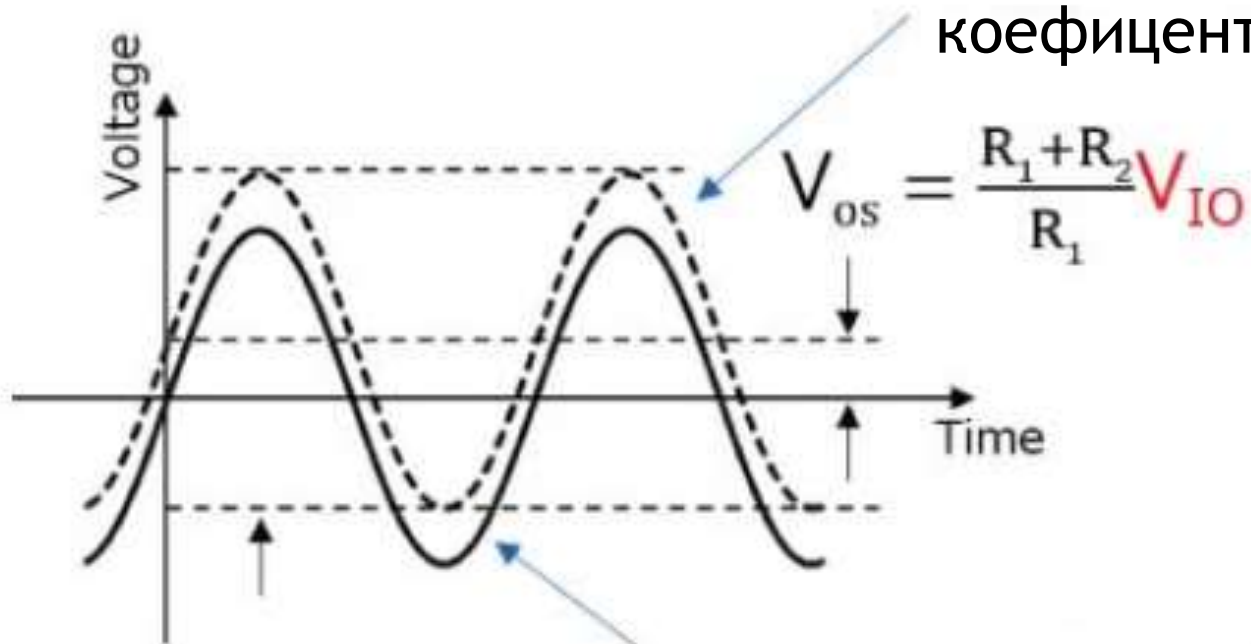
За да се намалят грешките на сензора е необходимо да се използва ОУ с ниско offset напрежение.



III. Параметри на реален ОУ

□ Offset-напрежение

Когато **има** offset напрежение на входа, се получава **offset напрежение на изхода** V_{os} , което е равно на входното offset напрежение V_{IO} , умножено по коефициента на усилване.



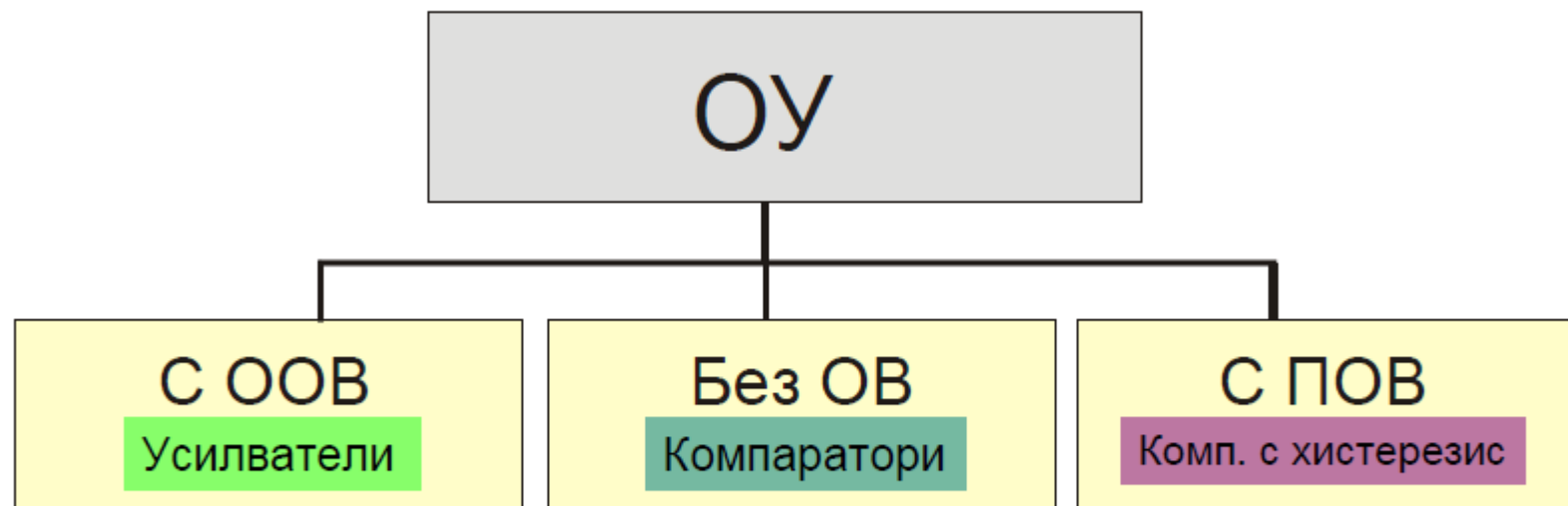
Когато **няма** offset напрежение на входа



IV. Приложение на ОУ

Операционните усилватели са основни компоненти в Аналоговата електроника и с тях се синтезират разнообразни по сложност и предназначение аналогови устройства и системи.

В зависимост от свързването им, от това дали има обратна връзка и каква е ОВ, основните схеми с ОУ са следните:



V. Операционни усилватели с ООВ

□ Инвертиращ усилвател (ООВ)

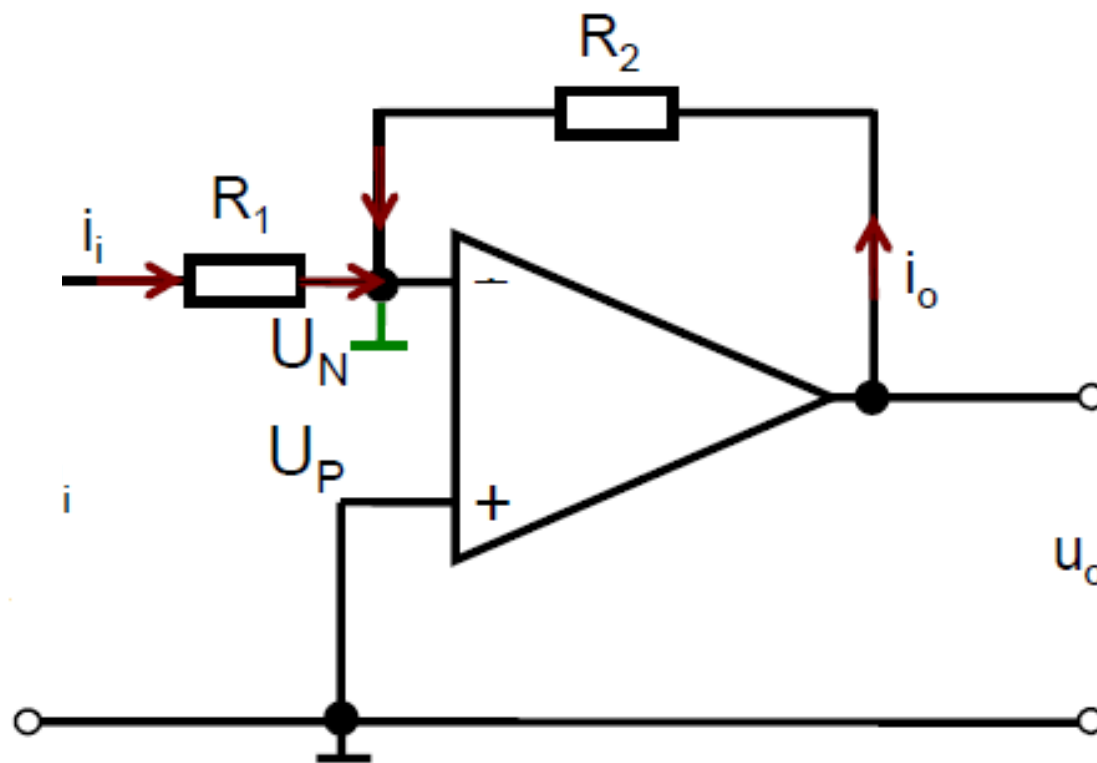
От $U_{id} = 0$ следва $U_N = U_P = 0 \text{ V}$

От $I_{ioy} = 0$ следва $I_i = -I_o$

$$u_i = i_i \cdot R_1; u_o = i_o \cdot R_2$$

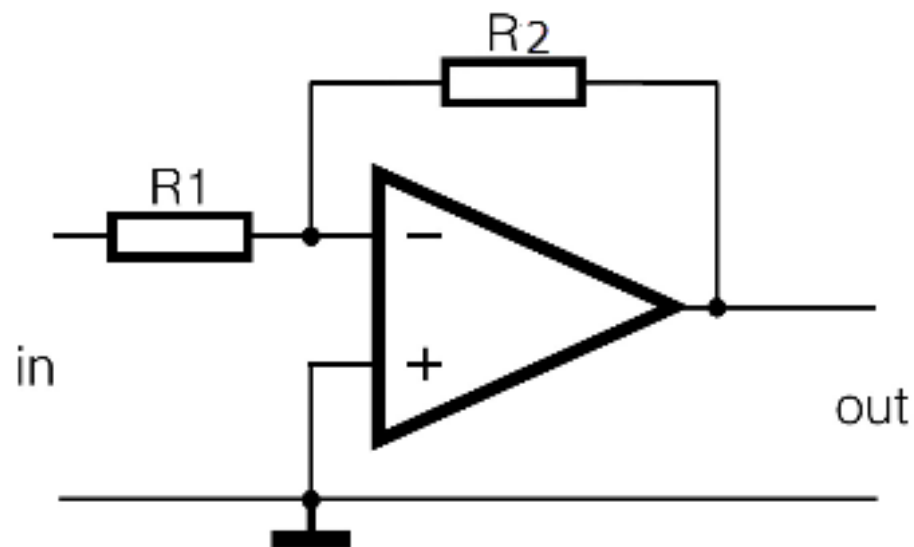
$$K_u = u_o / u_i = i_o \cdot R_2 / i_i \cdot R_1$$

$$K_u = -R_2 / R_1$$



V. Операционни усилватели с ООВ

□ Инвертиращ усилвател (ООВ)



Усилването (K_u) на инвертиращия усилвател зависи само от пропорцията между R2 (в обратната връзка) и R1. Изходният сигнал е дефазиран на спрямо входния (подава се на инвертиращия вход).

V. Операционни усилватели с ООВ

□ Инвертиращ усилвател (ООВ) пример1

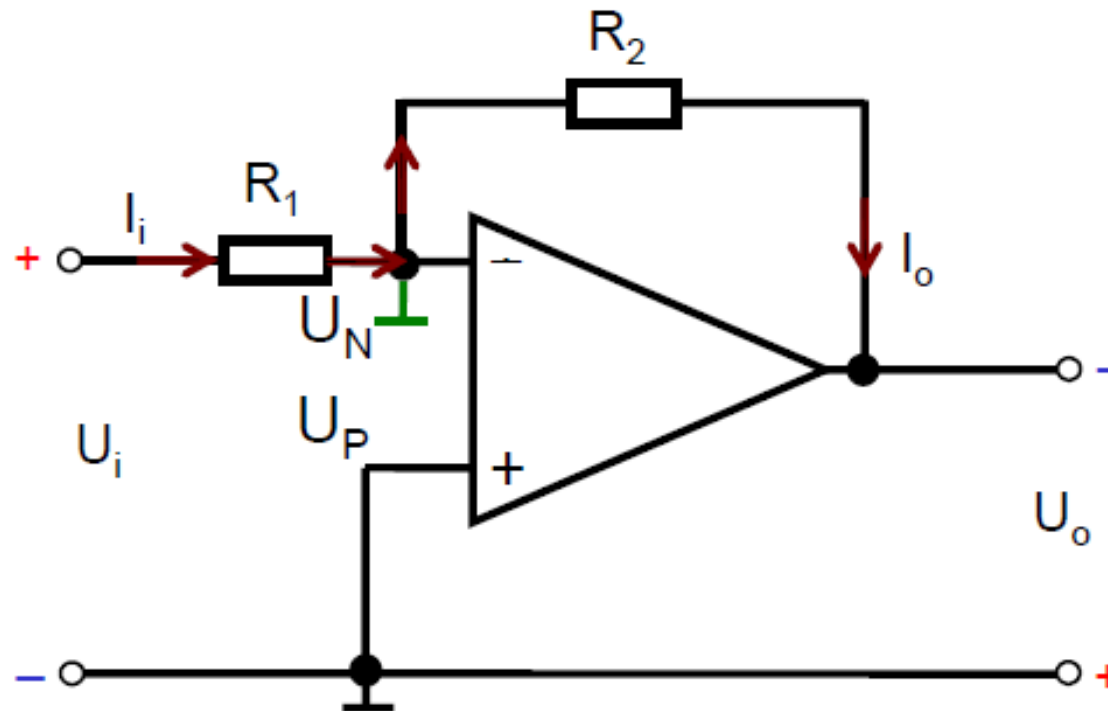
$$U_i = +2\text{ V}; R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega; U_o = ?; I_i = ?; I_o = ?; K_u = ?$$

$$I_i = U_i / R_1 = 0,2\text{ mA}$$

$$I_o = U_o / R_2 = I_i$$

$$U_o = -2\text{ V}$$

$$K_u = -1$$



V. Операционни усилватели с ООВ

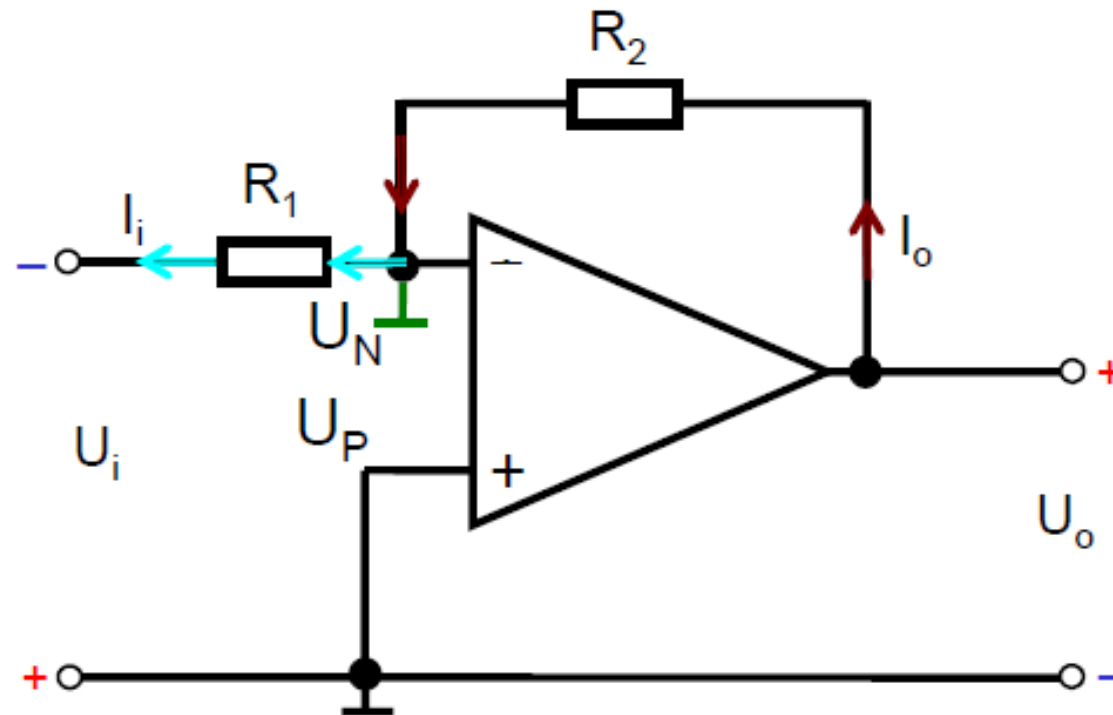
□ Инвертиращ усилвател (ООВ) пример 2

$$U_i = -2 \text{ V}; R_1 = 10 \text{ k}\Omega; R_2 = 20 \text{ k}\Omega; U_o = ?; I_i = ?; I_o = ?$$

$$I_i = U_i / R_1 = 0,2 \text{ mA}$$

$$I_o = U_o / R_2 = I_i$$

$$U_o = +4 \text{ V}$$



V. Операционни усилватели с ООВ

□ Инвертиращ усилвател (ООВ) пример 3

$$U_i = +2 \text{ V}; R_1 = 10 \text{ k}\Omega; R_2 = 20 \text{ k}\Omega; R_T = 2 \text{ k}\Omega;$$

$$U_o = ?; I_i = ?; I_o = ?; I_{oy} = ?$$

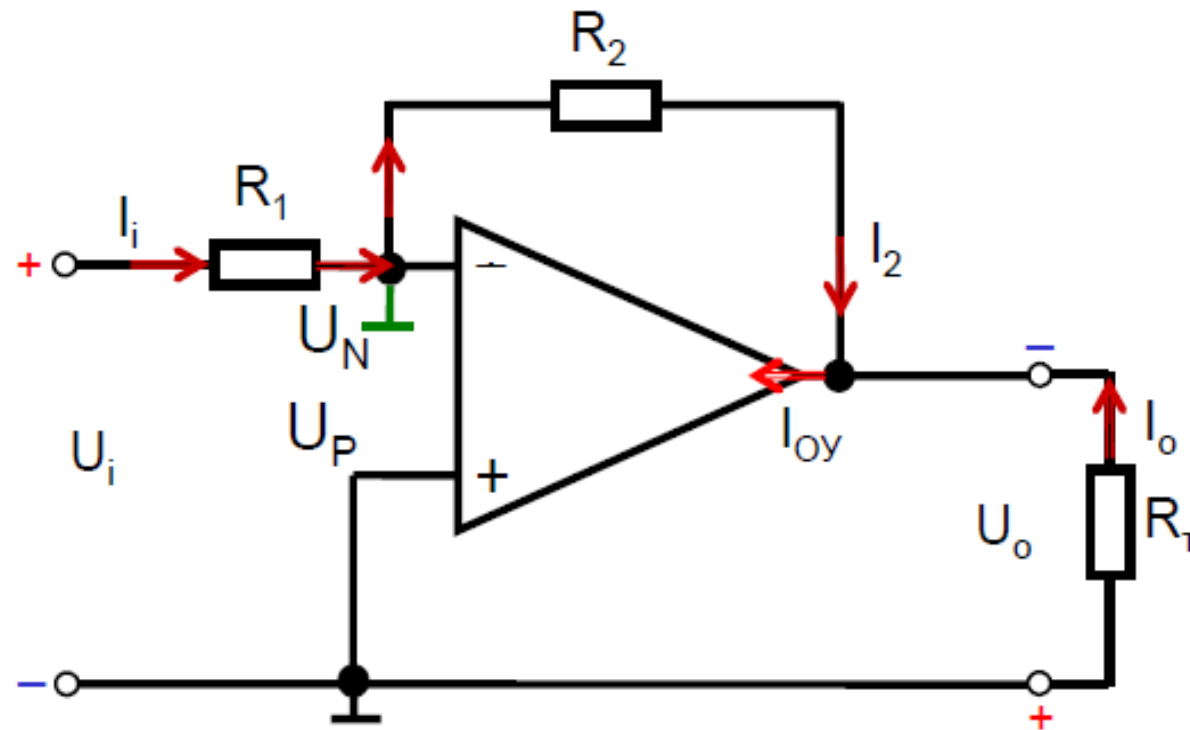
$$I_i = U_i / R_1 = 0,2 \text{ mA}$$

$$I_2 = U_o / R_2 = I_i$$

$$U_o = -4 \text{ V}$$

$$I_o = U_o / R_T = 2 \text{ mA}$$

$$I_{oy} = I_2 + I_o = 2,2 \text{ mA}$$



V. Операционни усилватели с ООВ

□ Инвертиращ усилвател (ООВ) пример 4

$$U_i = -2 \text{ V}; R_1 = 10 \text{ k}\Omega; R_2 = 20 \text{ k}\Omega; R_T = 2 \text{ k}\Omega;$$

$$U_o = ?; I_i = ?; I_o = ?; I_{oy} = ?$$

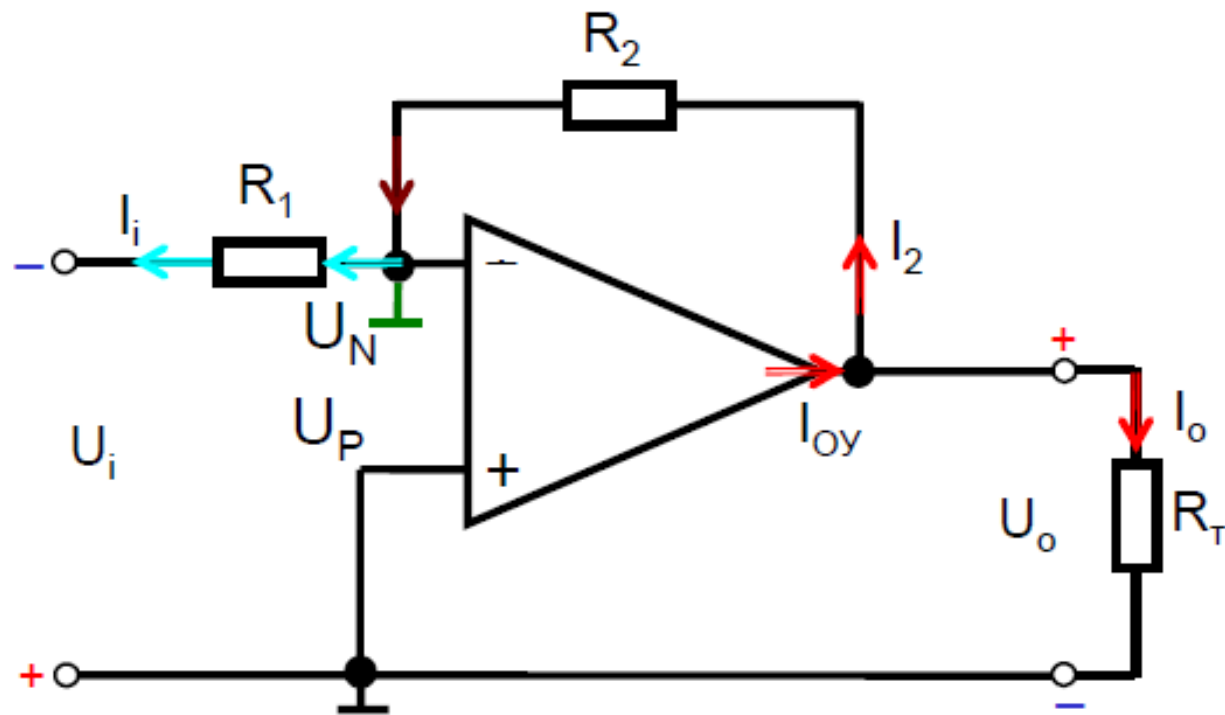
$$I_i = U_i / R_1 = 0,2 \text{ mA}$$

$$I_2 = U_o / R_2 = I_i$$

$$U_o = +4 \text{ V}$$

$$I_o = U_o / R_T = 2 \text{ mA}$$

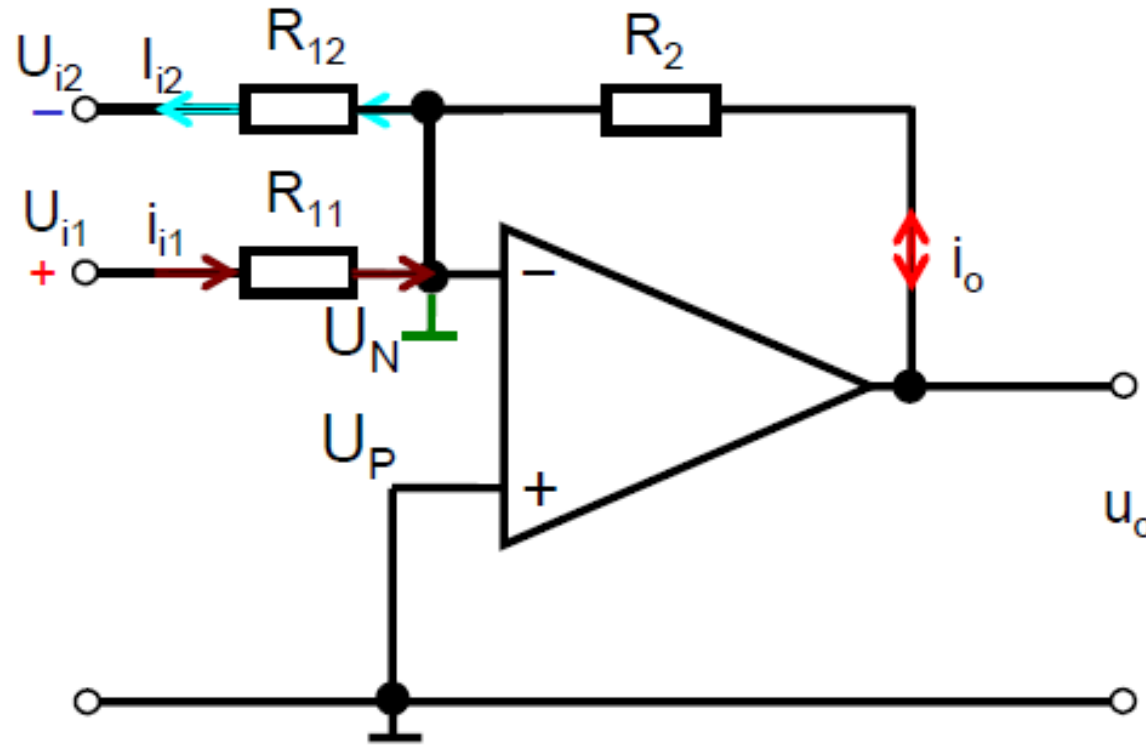
$$I_{oy} = I_2 + I_o = 2,2 \text{ mA}$$



V. Операционни усилватели с ООВ

□ Сумиращ Инвертиращ усилвател

$$\frac{U_o}{R_2} = - \left(\frac{+U_{i1}}{R_{11}} + \frac{-U_{i2}}{R_{12}} \right)$$



Посоката на i_o и полярността на U_o зависят от големината на двете входни напрежения.

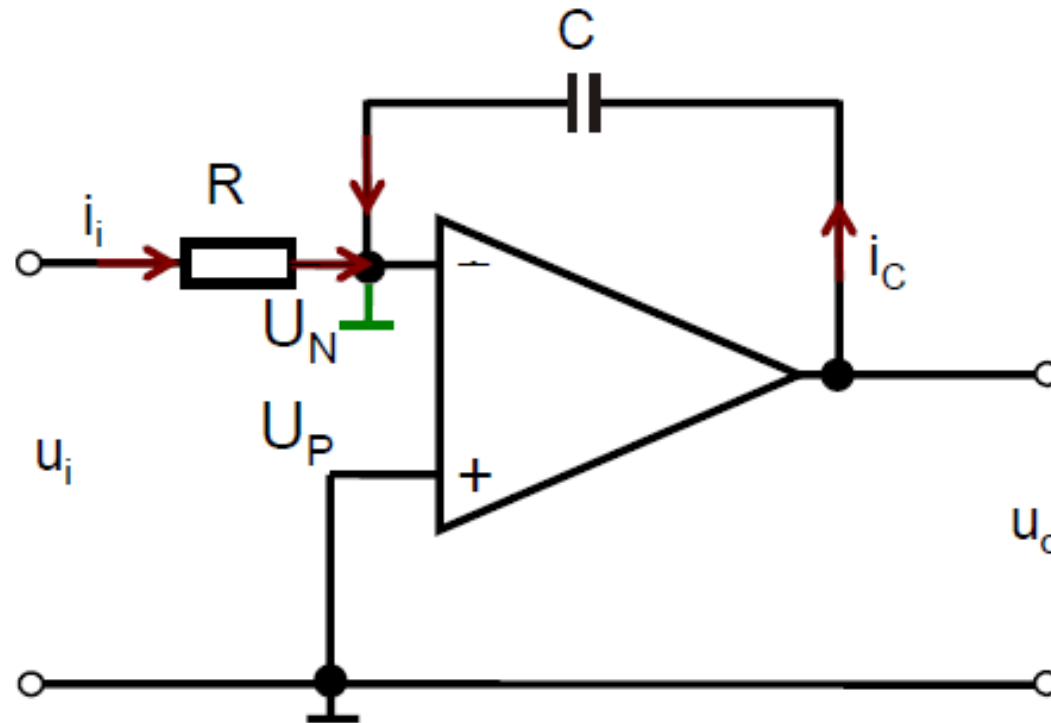
V. Операционни усилватели с ООВ

□ Интегратор

$$0 = \frac{u_i}{R} + i_c = \frac{u_i}{R} + C \frac{dU_o}{dt} \Rightarrow \frac{dU_o}{dt} = -\frac{u_i}{RC}$$

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int u_i dt$$

$$u_o = -\frac{u_i t}{RC}$$



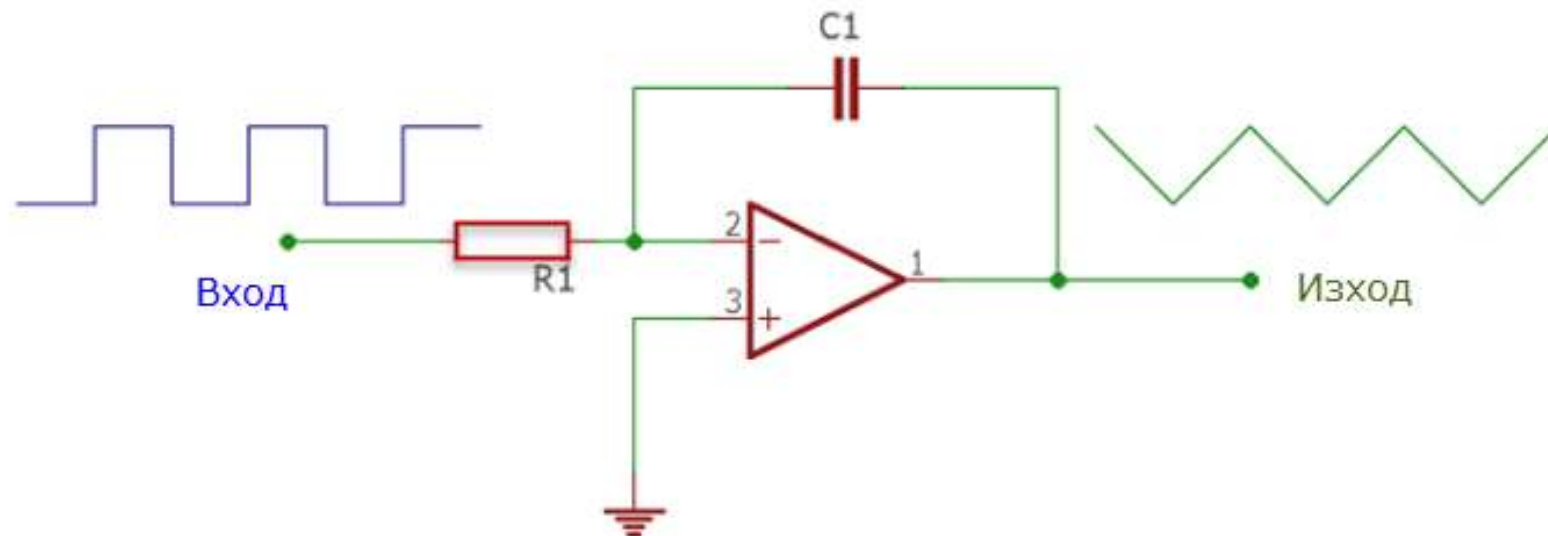
V. Операционни усилватели с ООВ

□ Интегратор

Интеграторът е електронна схема, при която изходният сигнал е равен на интеграла на входния.

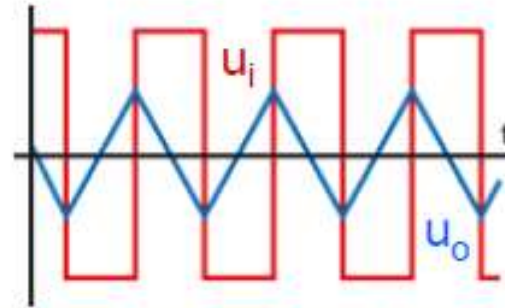
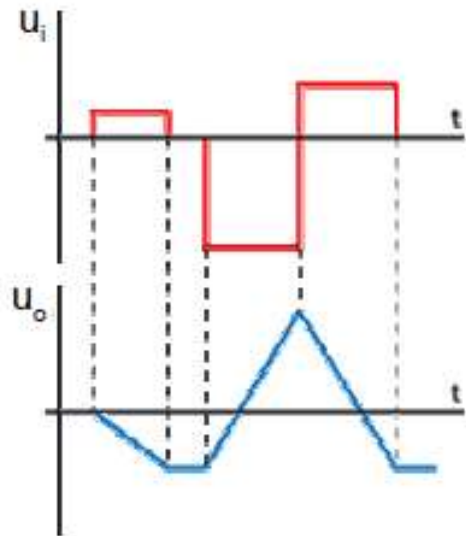
Схемата на интегратора се състои от операционен усилвател, в чиято отрицателна обратна връзка е включен кондензатор C .

Входният сигнал, който е функция на времето t - се подава през резистор $R1$.

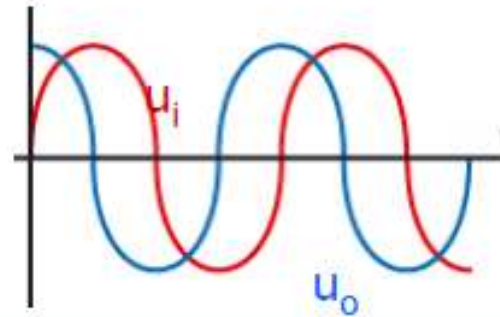


V. Операционни усилватели с ООВ

□ Интегратор



Правоъгълно \Rightarrow триъгълно



Синусоидално \Rightarrow косинусоидално

