

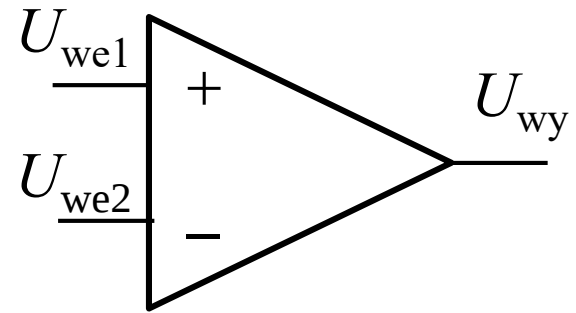
Wzmacniacze operacyjne

Wzmacniacz operacyjny opisywany jest jako **wzmacniacz prądu stałego**, inaczej- **wzmacniacz o sprzężeniach bezpośrednich**. Przeznaczony jest do wzmacniania małych sygnałów. Charakteryzuje się bardzo dużym wzmocnieniem, wejściem różnicowym (symetrycznym) i wyjściem asymetrycznym. (Są również wzmacniacze z wyjściem symetrycznym).

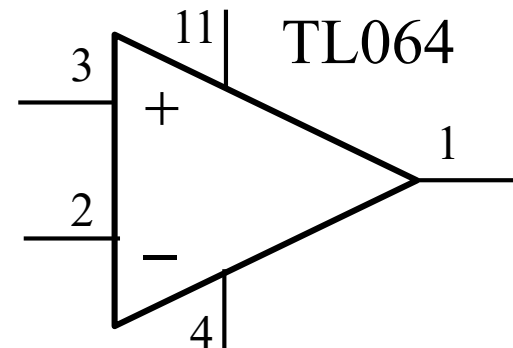
Podobnie jak inne wzmacniacze **służy do wzmocnienia napięcia** czy też **mocy**, różni się jednak od zwykłych wzmacniaczy tym, ma **dwa wejścia**, a sposób jego działania zależy głównie od **zastosowanego zewnętrznego obwodu sprzężenia zwrotnego** (najczęściej silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego).

Ogólny symbol graficzny wzmacniacza operacyjnego oraz przykład oznaczenia na schemacie.

Wejście "-" jest tak zwanym wejściem odwracającym (odwraca fazę sygnału wejściowego), wejście "+" to wejście nieodwracające, (1) - wyjście wzmacniacza. Aby na wejściach i wyjściu mogły występować napięcia zarówno dodatnie jak i ujemne to układ musi być zasilany napięciami dodatnim i ujemnym podawanymi na końcówki 4 i 11.



U1A
TL064



Cechy idealnego wzmacniacza operacyjnego:

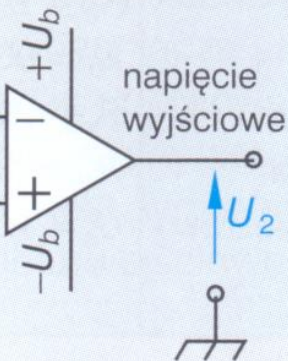
- rezystancja wejściowa jest nieskończona,
- wzmacnienie napięciowe jest nieskończone,
- nieskończone pasmo przenoszenia,
- zerowa rezystancja wyjściowa.

symbol graficzny

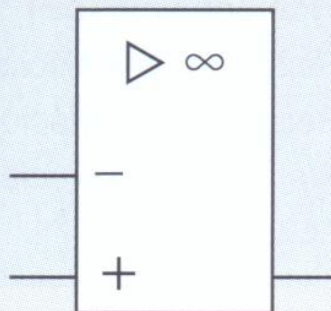
wejście odwracające

różnicowe napięcie wejściowe U_1

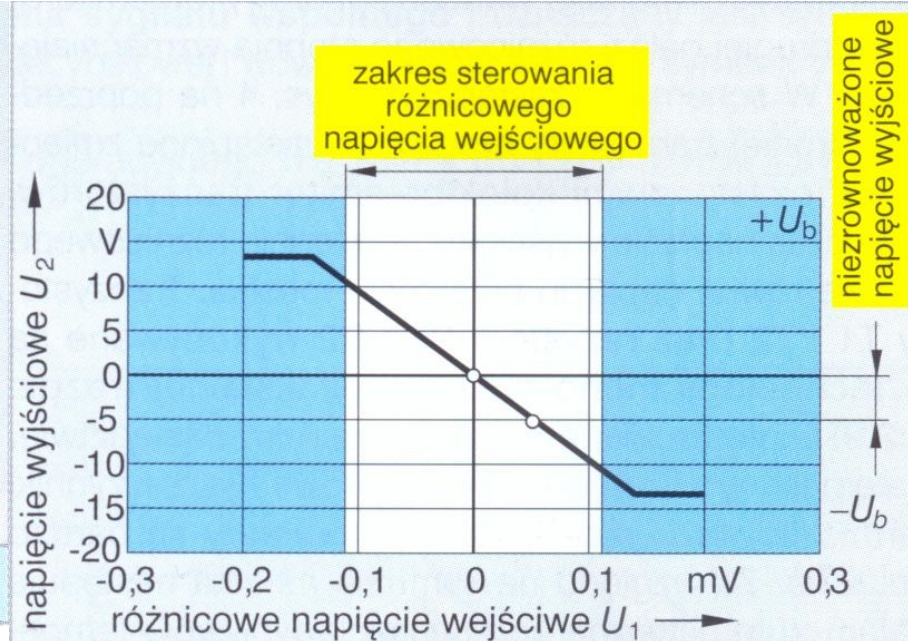
wejście nieodwracające



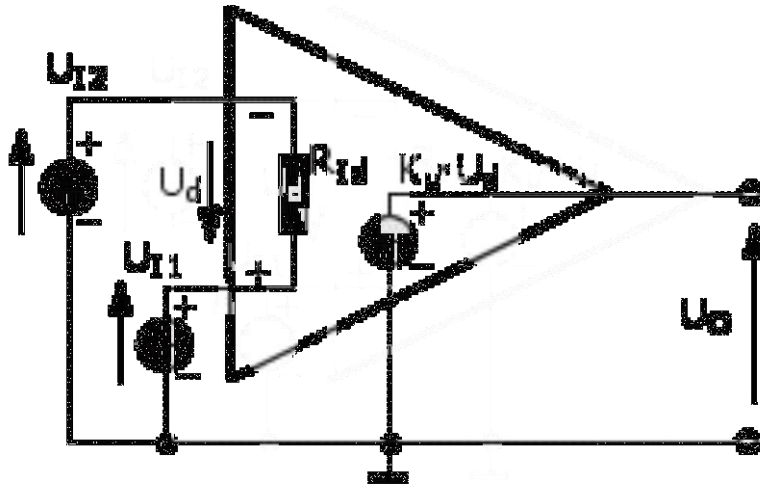
symbol graficzny zgodny z normą EN 60617



Symbol graficzny wzmacniacza operacyjnego



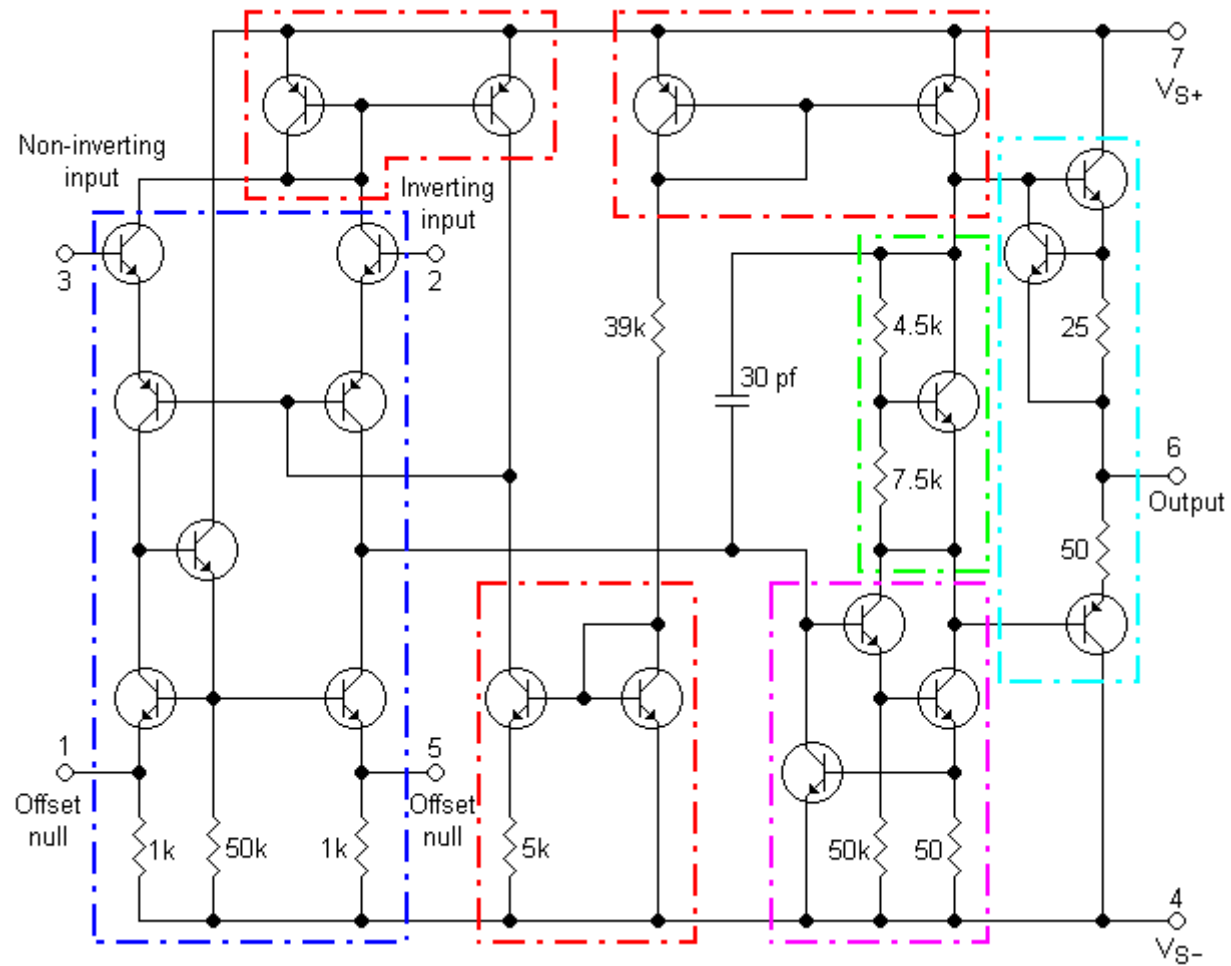
Charakterystyka statyczna wzmacniacza operacyjnego



Na wejście odwracające doprowadzony jest sygnał U_{I2} , na wejście nieodwracające U_{I1} . Sygnał wejściowy występujący pomiędzy wejściami wzmacniacza jest nazywany **sygnałem różnicowym** U_d i jest równy różnicy sygnałów wejściowych $U_{I1} - U_{I2}$. Pomiedzy wejściami wzmacniacza występuje wejściowa rezystancja różnicowa R_{Id} . Napięcie wyjściowe jest proporcjonalne do wejściowego napięcia różnicowego U_d , a współczynnik K_u jest nazywany **wzmocnieniem napięciowym wzmacniacza** z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego (open loop gain)

$$K_u = \frac{U_o}{(U_{I2} - U_{I1})}$$

Schemat wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$



Zastosowania wzmacniaczy operacyjnych

Wzmacniacz odwracający fazę (inwerter)

Zakładając, że rezystancja wejściowa wzmacniacza operacyjnego jest bardzo duża, a wyjściowa bardzo mała w stosunku do R_1 i R_2 , otrzymujemy, że jednakowy prąd I płynie przez obydwa rezystory.

R_2 - ujemne sprzężenie zwrotne

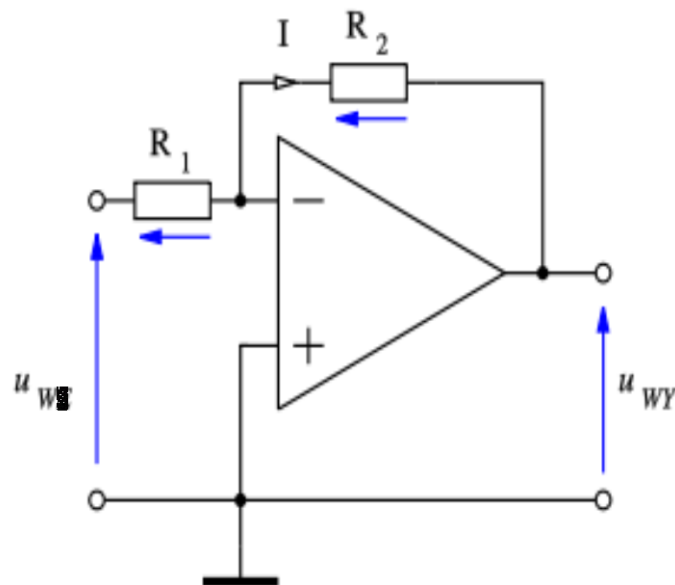
Można przyjąć, że napięcie na rezystorze R_1 jest równe $-u_{we}$, skąd $I = -u_{we}/R_1$.

Podobnie napięcie na rezystorze R_2 jest równe u_{wy} i tutaj również prąd

$$I = u_{wy}/R_2.$$

Przyrównując prądy:

$$-\frac{R_2}{R_1} = \frac{u_{wy}}{u_{we}} = k_u$$



Wzmacniacz nie odwracający fazy

Jednakowy prąd I płynie przez oba rezystory.

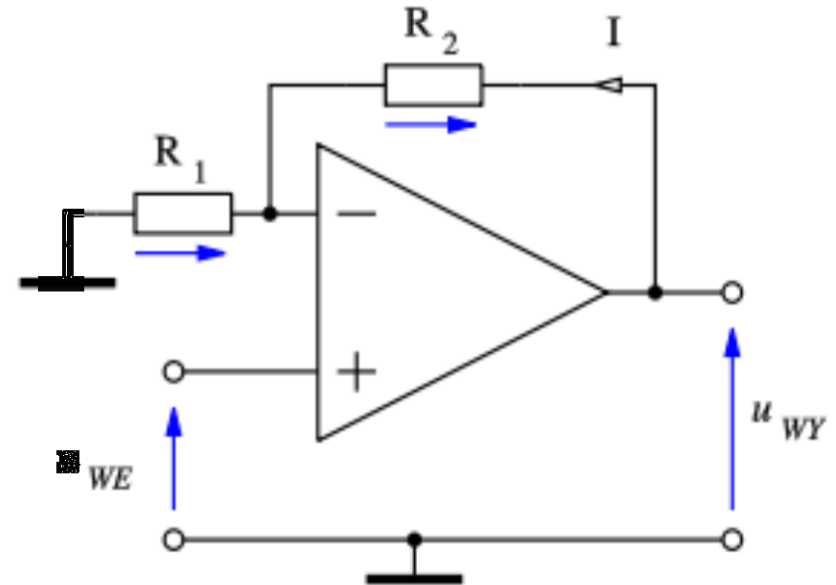
Prąd płynący przez R_1 dany jest wzorem $\frac{u_{wy} - u_{we}}{R_2}$,

a dla prądu płynącego przez R_2 wzór ma postać $\frac{u_{we}}{R_1}$.

Po przyrównaniu otrzymujemy:

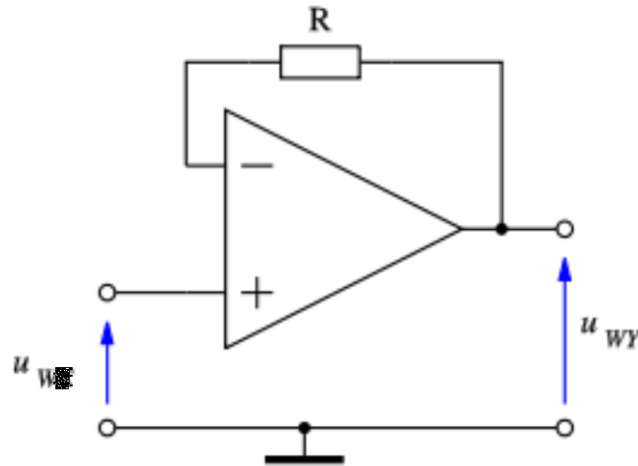
$$R_2 u_{we} = R_1 u_{wy} - R_1 u_{we}$$

$$K_u = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{u_{wy}}{u_{we}}$$



Wtórnik napięciowy

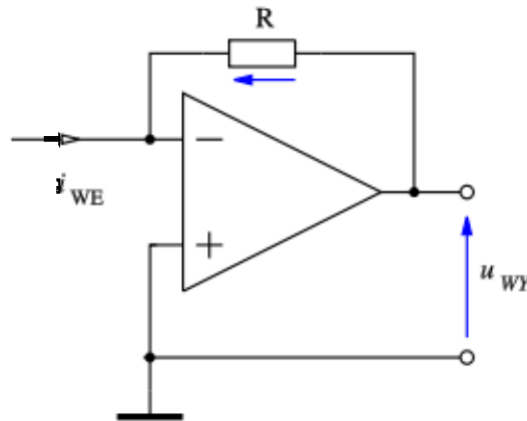
Wtórnik napięciowy jest specjalnym przypadkiem wzmacniacza nieodwracającego, w którym $R_1 \rightarrow \infty$, co powoduje, że wzmacnienie napięciowe układu jest równe 1. Ponieważ rezystancja wejściowa wtórnika jest bardzo duża, to układy te są stosowane w celu odseparowania źródła sygnału od odbiornika.



Konwerter prąd-napięcie

Napięcie wyjściowe układu konwertera jest wprost proporcjonalne do prądu i_{we} wpływającego do układu i równe $u_{wy} = -i_{we}R$.

Układy są stosowane do mierzenia niewielkich prądów (rzędu pikoamperów), m.in. do pomiaru natężenia światła.



Wzmacniacz sumujący

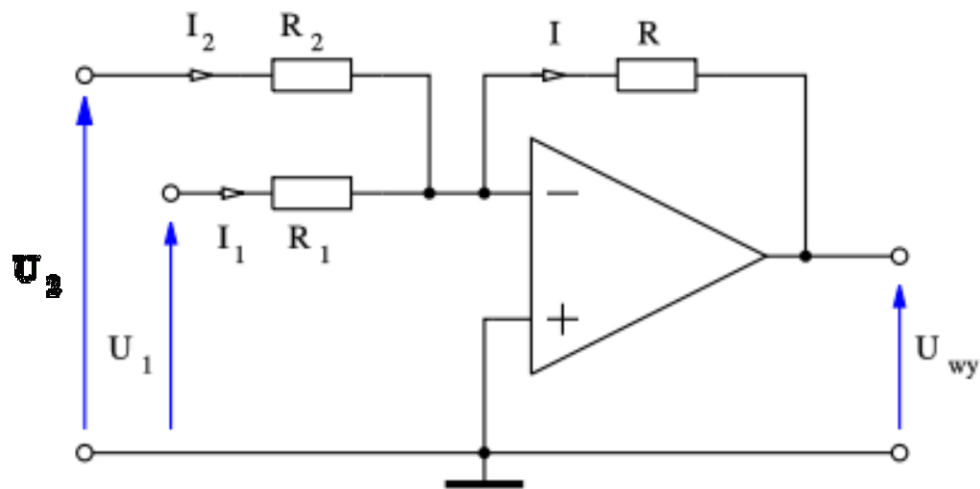
Prąd I jest sumą prądów wejściowych $I = I_1 + I_2$; napięcia na wejściach wzmacniacza operacyjnego są równe zero. Stąd napięcie wyjściowe:

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{-u_{wy}}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$$

Jeśli $R_1 = R_2 = R'$ wówczas wzór upraszcza się do postaci:

$$u_{wy} = -\frac{R}{R'}(U_1 + U_2)$$



Wzmacniacz odejmujący (różnicowy)

Napięcie na wejściu nieodwracającym jest równe $U_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4}U_2$; taki sam potencjał ma wejście odwracające.

Przez R_1 i R_2 płynie ten sam prąd I ; z tym, że ponieważ napięcie $U_- = U_+ \neq 0$, należy je wziąć pod uwagę przy obliczeniach:

$$\frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{U_{R_2}}{R_2}$$

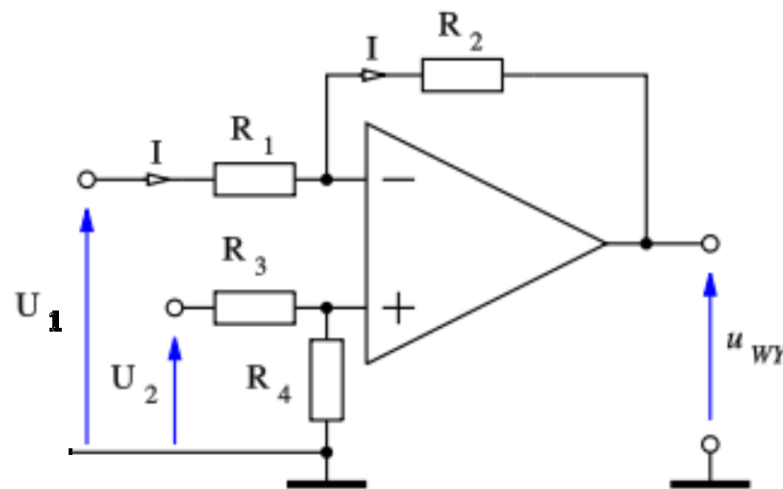
$$\begin{aligned} R_2 U_+ - R_2 U_1 &= R_1 U_{wy} - R_1 U_+ \\ R_1 U_{wy} &= (R_1 + R_2)U_+ - R_2 U_1 \end{aligned}$$

$$R_1 U_{wy} = (R_1 + R_2) \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_2 - R_2 U_1$$

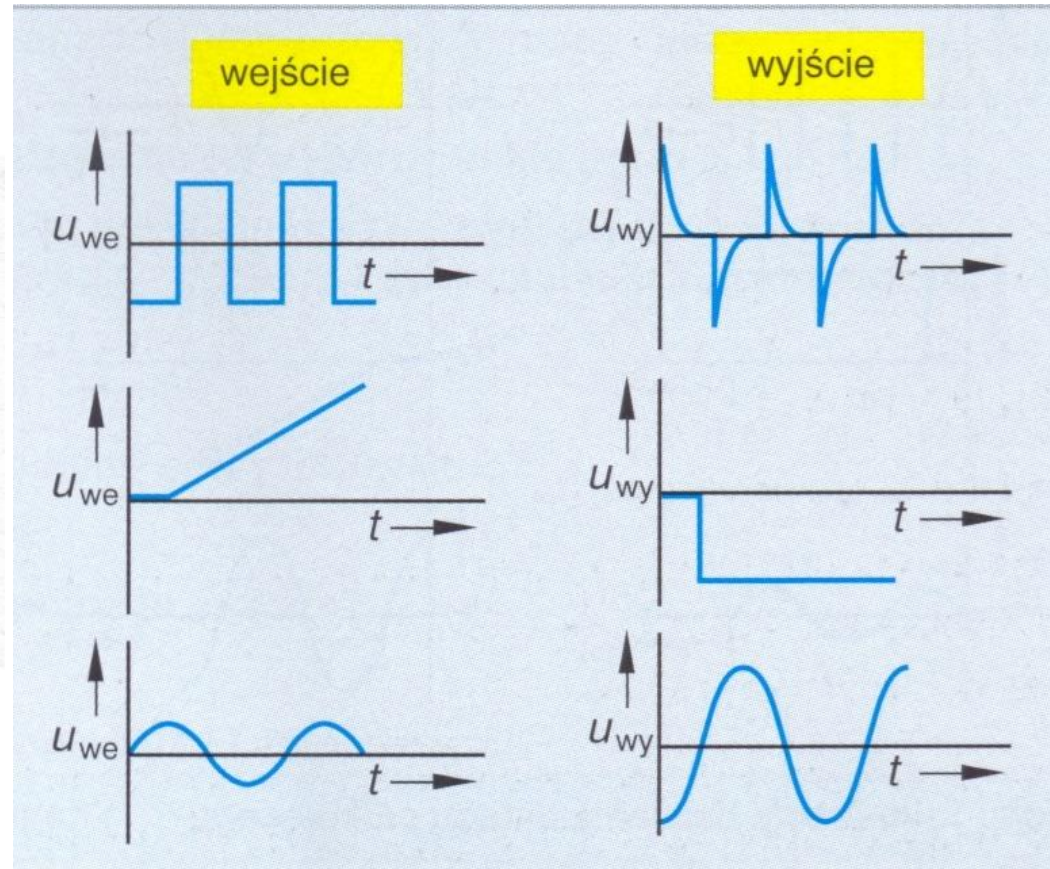
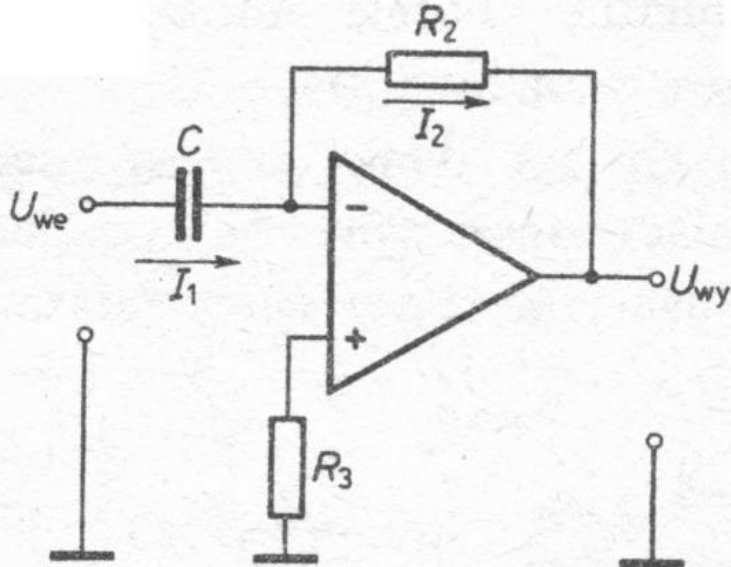
$$U_{wy} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_2 - \frac{R_2}{R_1} U_1$$

Napięcie wyjściowe jest równe różnicy napięć wejściowych. Jeśli dodatkowo $R_4 = R_2$ oraz $R_3 = R_1$, to wyrażenie uprości się do postaci:

$$U_{wy} = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$



Wzmacniacz różniczkujący



Ilustracja działania układu różniczkującego

Ponieważ $I_1 = I_2$, więc $I_1 = C \frac{dU_{we}}{dt} = I_2 = -\frac{U_{wy}}{R_2}$, a stąd

$$U_{wy} = -R_2 C \frac{dU_{we}}{dt}.$$

Wzmacniacz różniczkujący ma właściwości filtru górnoprzepustowego.

Wzmacniacz całkujący – integrator

Integrator otrzymuje się poprzez włączenie kondensatora C w obwód sprzężenia zwrotnego.

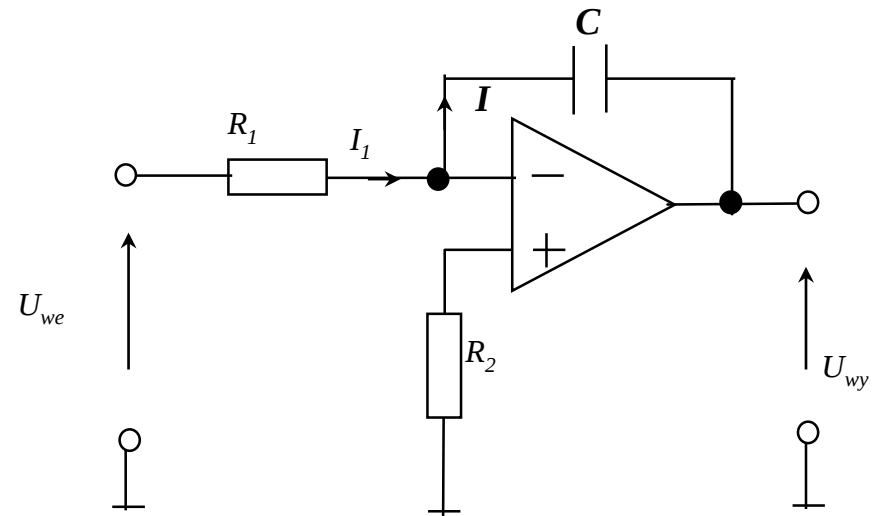
$$I_1 = I$$

$$CdU = idt$$

$$I_1 = \frac{U_{we}}{R_1}$$

$$I = -C \frac{dU_{wy}}{dt}$$

$$\frac{U_{we}}{R_1} = -C \frac{dU_{wy}}{dt}$$



Napięcie wyjściowe można wyznaczyć poprzez scałkowanie obu stron równania

$$U_{wy}(t) = -\frac{1}{CR_1} \int U_{we}(t) dt + U_0$$

U_0 – wartość początkowego napięcia w chwili początkowej
 $U_0 = 0$. Stąd też nazwa układu jako całkujący.

Literatura:

1. M. Olszewski (red.), *Podstawy mechatroniki*, wyd. REA, Warszawa 2006.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, Tom III.