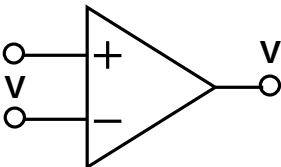
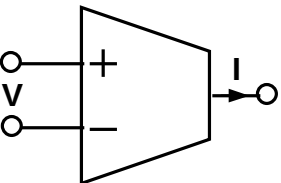
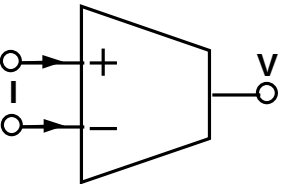
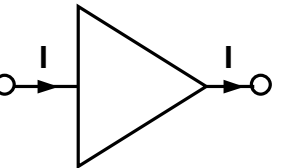
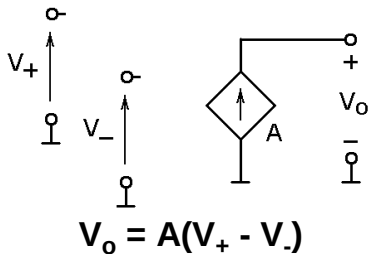
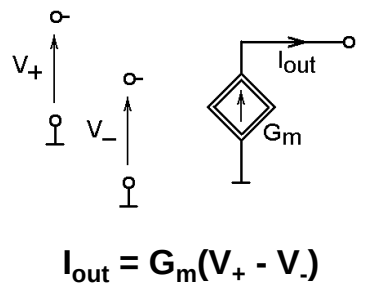
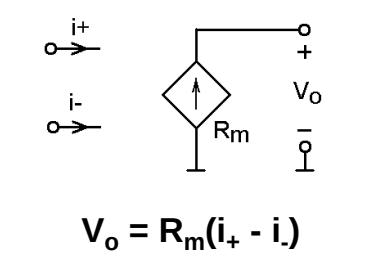
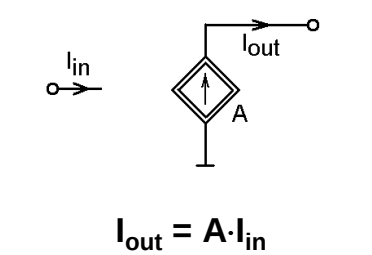


WZMACNIACZE

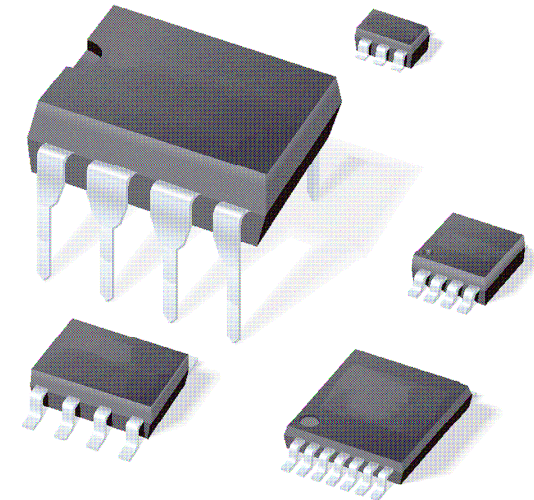
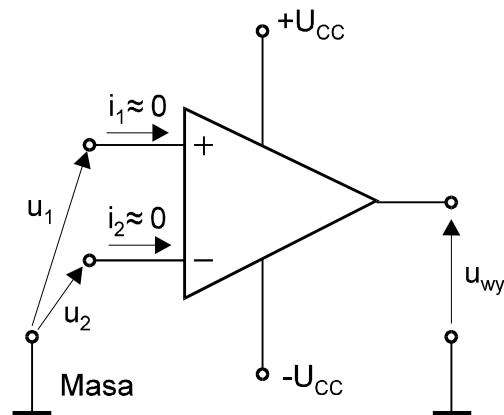
Operacyjny (ang. <i>operational amplifier</i>) OPAMP	Wzmacniacz typu napięcie-napięcie. Występują w układ scalonych oraz jako układy monolityczne.	
Transkonduktancyjny (ang. <i>operational transconductance amplifier</i>) OTA	Wzmacniacz typu prąd-napięcie. Występuje głównie w układach scalonych. Rzadko jako układ monolityczny.	
Transrezystancyjny (ang. <i>transresistance amplifier</i>) OTRA	Wzmacniacz typu napięcie-prąd. Występuje w układach scalonych.	
Prądowy (ang. <i>current amplifier</i>) CA	Wzmacniacz typu prąd-prąd. Występuje w układach scalonych.	

Wzmacniacze

Operacyjny (ang. <i>operational amplifier</i>) OPAMP	Źródło napięciowe sterowane napięciem (ang. <i>VCVS voltage controlled voltage source</i>)	 $V_o = A(V_+ - V_-)$
Transkonduktancyjny (ang. <i>operational transconductance amplifier</i>) OTA	Źródło prądowe sterowane napięciem (ang. <i>VCIS voltage controlled current source</i>)	 $I_{out} = G_m(V_+ - V_-)$
Transrezystancyjny (ang. <i>transresistance amplifier</i>) OTRA	Źródło napięciowe sterowane prądem (ang. <i>ICVS current controlled voltage source</i>)	 $V_o = R_m(i_+ - i_-)$
Prądowy (ang. <i>current amplifier</i>) CA	Źródło prądowe sterowane prądem (ang. <i>ICIS current controlled current source</i>)	 $I_{out} = A \cdot I_{in}$

Wzmacniacz operacyjny

Pod pojęciem 'wzmacniacz operacyjny' (Opamp) elektronik najczęściej rozumie wzmacniacz operacyjny typu napięcie-napięcie.

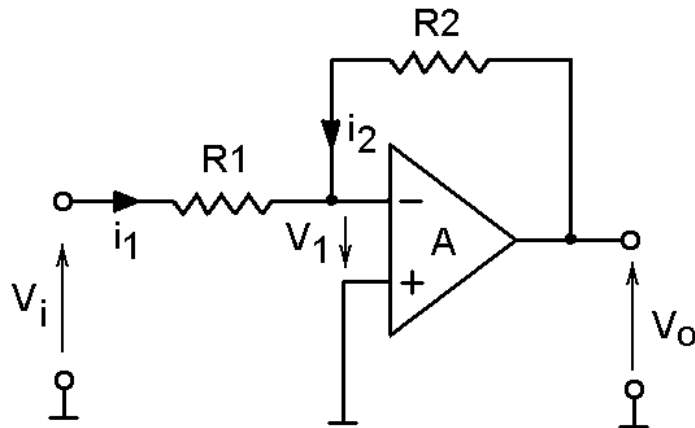


Idealny wzmacniacz operacyjny ma następujące cechy:

- nieskończenie wielkie wzmocnienie dla sygnału wejściowego różnicowego
- nieskończenie małe wzmocnienie dla sygnału wejściowego sumacyjnego
- nieskończenie wielką rezystancję wejściową
- nieskończenie małą rezystancję wyjściową
- nieskończenie szerokie pasmo wzmocnienia

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 1 wzmacniacz odwracający

Wykorzystując te 'idealne' cechy można w łatwy sposób analizować działanie układów opartych o wzmacniacze operacyjne.



Wstawiając (3) do (2), a następnie do (1) otrzymuje się:

$$V_o = -V_1 - R_2 \cdot (V_i + V_1)/R_1 \quad (4)$$

Wiadomo, że:

$$V_o = A \cdot V_1 \quad (5)$$

Więc:

$$V_1 = V_o/A \quad (6)$$

Napięcie wyjściowe jest sumą napięcia na wejściu OPA oraz napięcia na R_2 :

$$V_o = -V_1 + i_2 \cdot R_2 \quad (1)$$

Wejście wzmacniacza 'nie pobiera' prądu więc:

$$i_2 = -i_1 \quad (2)$$

Prąd i_1 wyznaczmy następująco:

$$i_1 = [V_i - (-V_1)]/R_1 \quad (3)$$

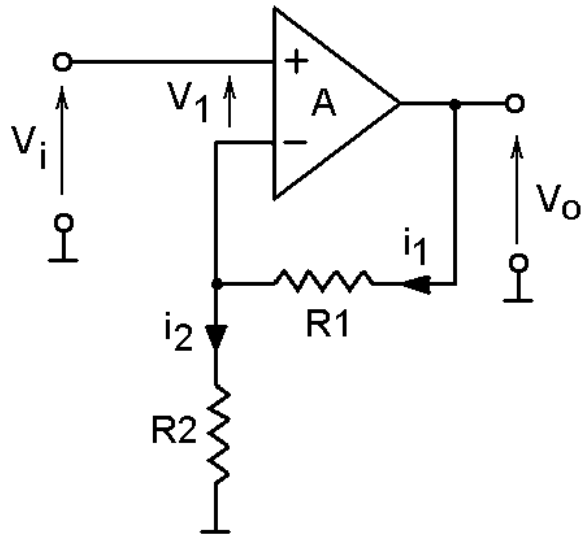
Teraz należy wstawić (6) do (4):

$$V_o = -V_o/A - R_2 \cdot (V_i + V_o/A)/R_1 \quad (7)$$

Skoro $A \rightarrow \infty$, to:

$$V_o = ? \quad (8)$$

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 2 wzmacniacz nieodwracający



Napięcie wyjściowe jest sumą napięcia na R_1 oraz na R_2 :

$$V_o = i_1 \cdot R_1 + i_2 \cdot R_2 \quad (1)$$

Wejście wzmacniacza 'nie pobiera' prądu, więc:

$$i_2 = i_1 \quad (2)$$

Prąd i_2 wyznaczmy następująco:

$$i_2 = (V_i - V_1)/R_2 \quad (3)$$

Wstawiając (3) do (2), a następnie do (1) otrzymuje się:

$$V_o = (V_i - V_1) \cdot (R_1 + R_2)/R_2 \quad (4)$$

Wiadomo, że:

$$V_o = A \cdot V_1 \quad (5)$$

Więc:

$$V_1 = V_o/A \quad (6)$$

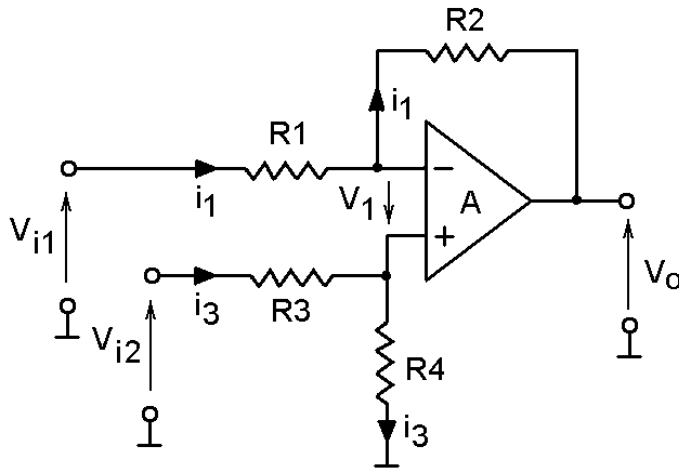
Teraz należy wstawić (6) do (4):

$$V_o = (V_i - V_o/A) \cdot (R_1 + R_2)/R_2 \quad (7)$$

Skoro $A \rightarrow \infty$, to:

$$V_o = ? \quad (8)$$

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 3 wzmacniacz różnicowy



Napięcie V_o jest sumą napięcia na wejściu OPA, napięcia na R_1 i napięcia na R_2 :

$$V_o = i_3 \cdot R_4 + (-V_1) + (-i_1 \cdot R_2) \quad (1)$$

Wejście wzmacniacza 'nie pobiera' prądu, więc i_3 wynosi:

$$i_3 = V_{i2} / (R_3 + R_4) \quad (2)$$

Prąd i_1 wyznaczmy następująco:

$$i_1 = (V_{i1} - V_o) / (R_1 + R_2) \quad (3)$$

Wstawiając (3) i (2) do (1) otrzymuje się:

$$V_o = V_{i2} \cdot R_4 / (R_3 + R_4) - V_1 - (V_{i1} - V_o) \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (4)$$

Po reorganizacji:

$$V_o [1 - R_2 / (R_1 + R_2)] = V_{i2} \cdot R_4 / (R_3 + R_4) - V_1 - V_{i1} \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (5)$$

Przyjmując:

$$V_1 = V_o / A = (\text{przy } A \rightarrow \infty) = 0 \quad (6)$$

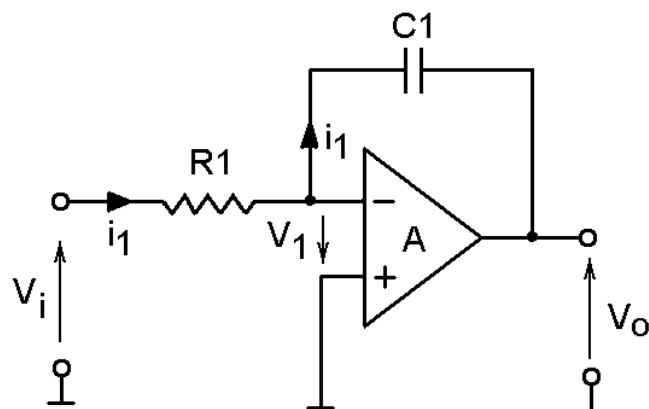
oraz symetryczne rezystory:

$$R_1 = R_3 = R_A, \quad R_2 = R_4 = R_B \quad (7)$$

napięcie wyjściowe wynosi:

$$V_o = (V_{i2} - V_{i1}) \cdot R_B / R_A$$

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 4 integrator



Układ całkują (ang. *integrator*)

Napięcie wyjściowe jest sumą napięcia na wejściu OPA oraz napięcia na C_1 :

$$V_o = -V_1 - i_1 \cdot (1/sC_1) \quad (1)$$

Przyjmijmy, że:

$$V_1 = V_o/A = (\text{przy } A \rightarrow \infty) = 0 \quad (2)$$

Prąd i_1 wyznaczymy następująco:

$$i_1 = [V_i - (-V_1)]/R_1 = V_i/R_1 \quad (3)$$

Ostatecznie:

$$V_o = -V_i/(sC_1R_1) \quad (4)$$

$$V_o(t) = -[1/(C_1R_1)] \cdot \int V_i(t) dt \quad (5)$$

Wzmacniacz operacyjny – obszar zastosowań

- wzmacniacze audio (*audio amplifiers*)
- stabilizatory napięcia typu LDO (*low dropout regulators*)
- filtry aktywne (*active filters*)
- czujniki biomedyczne (*medical sensor interfaces*)
- przetworniki analogowo-cyfrowe (*analog to digital converters*)
- oscylatory (*oscillators*)
- generatory sygnałów (*signal generators*)
- oraz wiele innych.

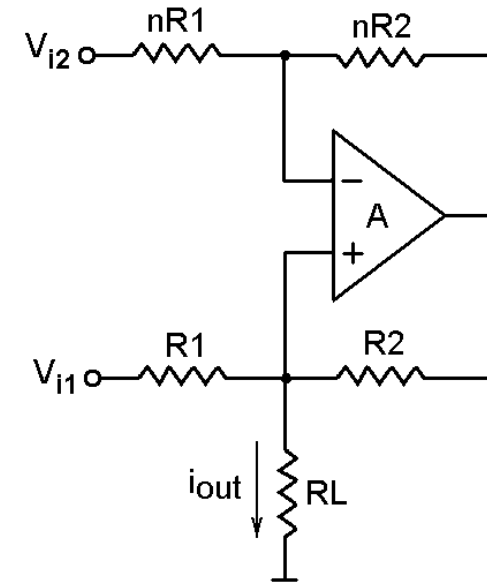
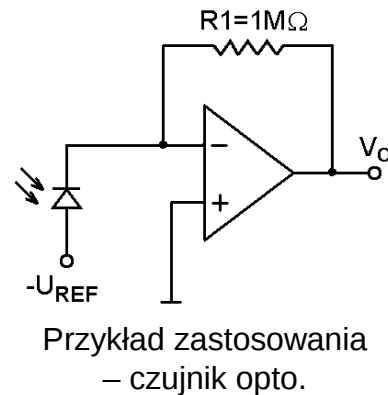
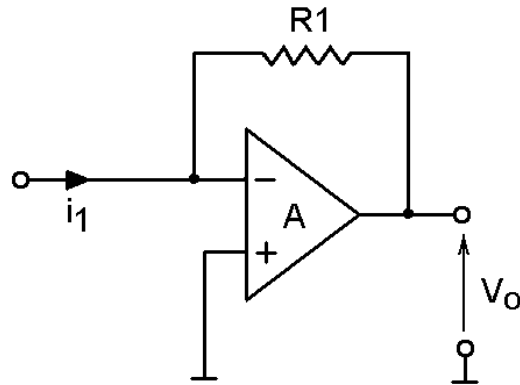
The OpAmp (VCVS) and the OTA (VCIS) are the most popular amplifiers.

- Majority of applications use the OpAmp in closed loops.
- OpAmps might be used in open loop as comparators.
- The transconductance amplifiers is typically used in closed loop for switched-capacitor circuits.
- The transconductance amplifiers are often used in open loop for continuous-time filters.

Where do you use transresistance amplifier (ICVS) or current amplifier (ICIS) amplifiers?

- In continuous-time current-mode filters.
- Sensor interface as a pre-conditioning low noise amplifiers.

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 5 i 6 konwertery V-I oraz I-V



Konwerter prąd-napięcie (ang. *I-V converter*).

Napięcie wyjściowe jest wprost proporcjonalne do prądu wejściowego:

$$V_o = -i_1 \cdot R_1$$

Rezystancja wejściowa układu jest równa rezystancji w obwodzie sprzężenia zwrotnego podzielonej przez wzmacnienie wzmacniacza operacyjnego:

$$R_{in} = R_1 / A$$

Jeśli wzmacnienie rzeczywistego wzmacniacza jest rzędu kilkudziesięciu/kilkuset tysięcy, to rezystancja wejściowa jest praktycznie równa 0.

Konwerter napięcie-prąd (ang. *V-I converter*), tzw. źródło Howlanda.

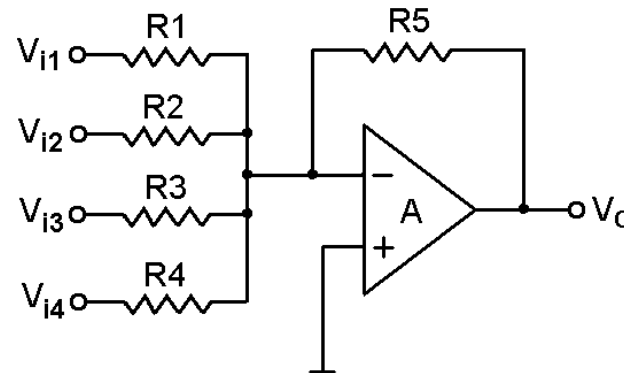
Prąd i_{out} w rezystorze obciążenia R_L wynosi:

$$i_{out} = (V_{i1} - V_{i2}) / R_1,$$

a więc jest niezależny od R_L .

Układ może być zastosowany jako stabilne źródło prądu stałego.

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 7 wzmacniacz sumujący



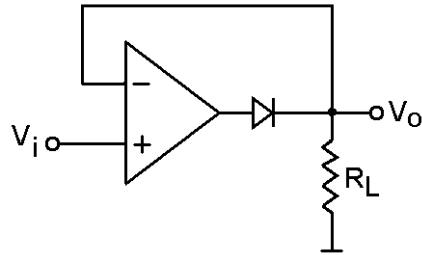
Wzmacniacz sumujący (ang. *summing amplifier*).

Napięcie wyjściowe wynosi:

$$V_o = -R_5(V_{i1}/R_1 + V_{i2}/R_2 + V_{i3}/R_3 + V_{i4}/R_4)$$

Układ może być rozbudowany o kolejne wejścia. *Uwaga, może pojawić się pytanie na kolokwium!*

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 8 i 9 prostowniki



Dokładny prostownik jednopółówkowy
(ang. *half-wave rectifier*).

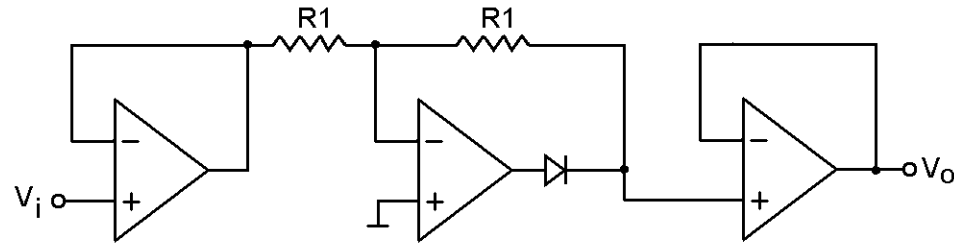
Napięcie wyjściowe wynosi:

$$V_o = V_i \text{ dla } V_i > 0$$

$$V_o = 0 \text{ dla } V_i < 0$$

Układ może być przekształcony do detektora wartości szczytowej (ang. *peak detector*). Wtedy zamiast R_L wstawiamy kondensator.

Detektor w. szcz. może być wykorzystany np. do detekcji sygnałów zmodulowanych amplitudowo – odbiór na falach długich, średnich i krótkich.

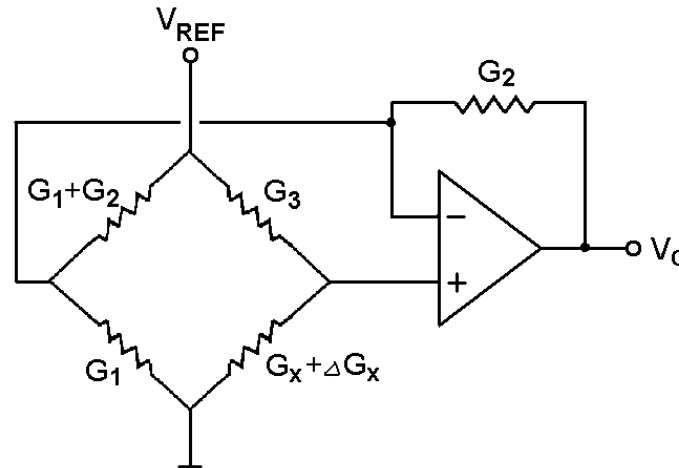


Dokładny prostownik dwupółówkowy
(ang. *full-wave rectifier*). Inaczej zwany układem wartości bezwzględnej.

Napięcie wyjściowe wynosi:

$$V_o = |V_i|$$

Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 10 wzmacniacz mostkowy



Mostek jest w równowadze i napięcie wyjściowe jest równe zero, gdy $G_x = G_3$. Jeśli konduktancja G_x zmienia się o pewną wartość ΔG_x , to napięcie wyjściowe wynosi:

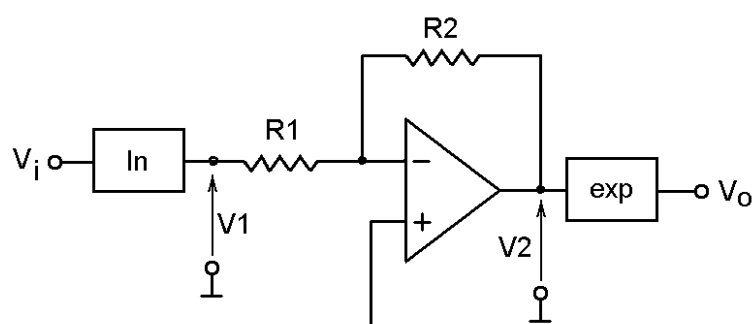
$$V_o = \left(1 + \frac{G_1}{G_2}\right) \cdot \frac{-\Delta G_x}{2G_x + \Delta G_x} \cdot U_{REF}$$

Dla $\Delta G_x \ll G_x$ powyższy wzór przekształca się do:

$$V_o \cong -\left(1 + \frac{G_1}{G_2}\right) \cdot \frac{\Delta G_x}{2G_x} \cdot U_{REF} \cong -\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{\Delta R_x}{R_x} \cdot \frac{U_{REF}}{2}$$

Element $R_x = 1/G_x$ może być elementem czułym na temperaturę, piezoelektrycznym czujnikiem naprężenia, czujnikiem przyspieszenia itd., co umożliwia zastosowanie w różnych układach pomiarowych.

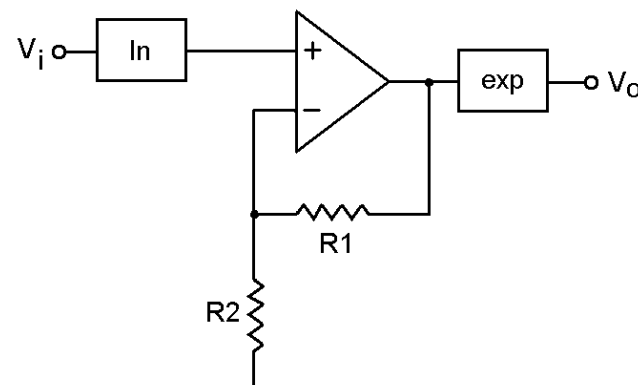
Wzmacniacz operacyjny – konfiguracja 11 i 12 układy potęgujące



Układ podnoszący do potęgi ujemnej.

Analizując działanie układu można wykorzystać fakt, że $V_2 = -V_1(R_2/R_1)$.
Napięcie wyjściowe jest równe napięciu wejściowemu podniesionemu do potęgi:

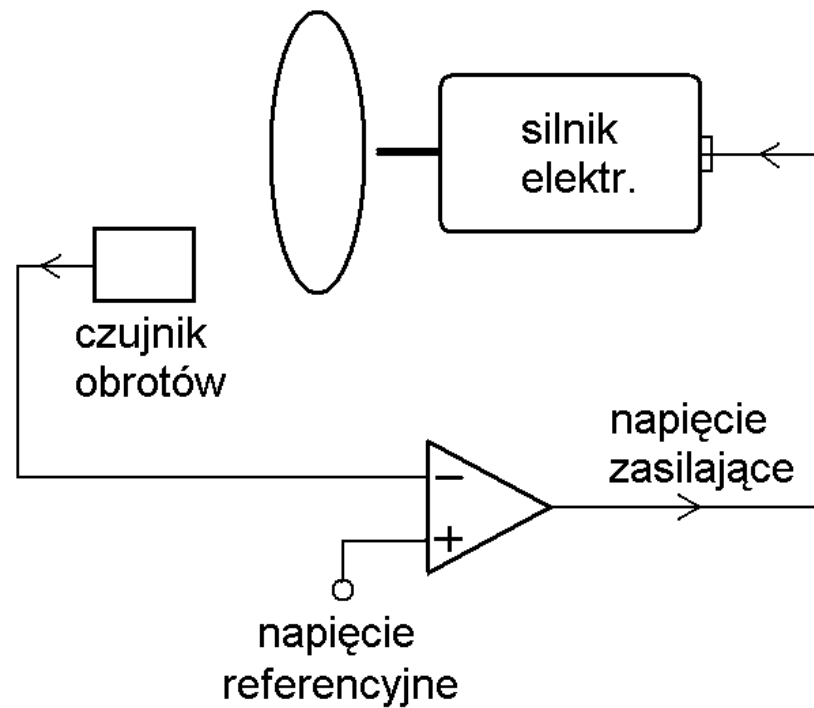
$$V_o = V_i^{(-R_2/R_1)}$$



Układ podnoszący do potęgi dodatniej.

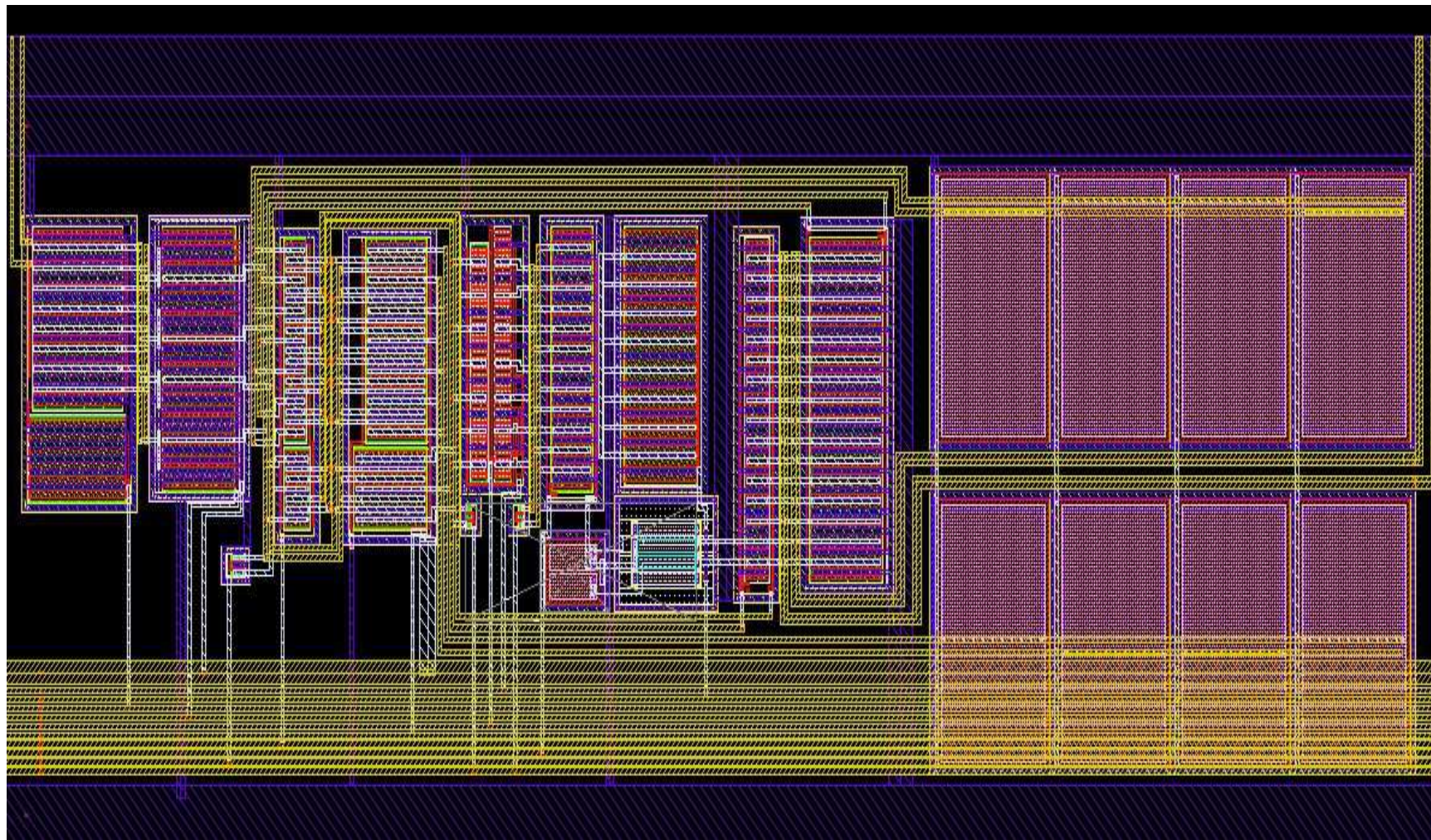
$$V_o = V_i^{(1+R_1/R_2)}$$

Wzmacniacz operacyjny – przykład zastosowania



Idea stabilizacji obrotów silnika elektrycznego.

Wzmacniacz operacyjny – przykład realizacji



Topografia (layout) wzmacniacza op w technologii CMOS (MOS-FET) 0,35 μ m. Wymiary 250 μ m X 400 μ m.