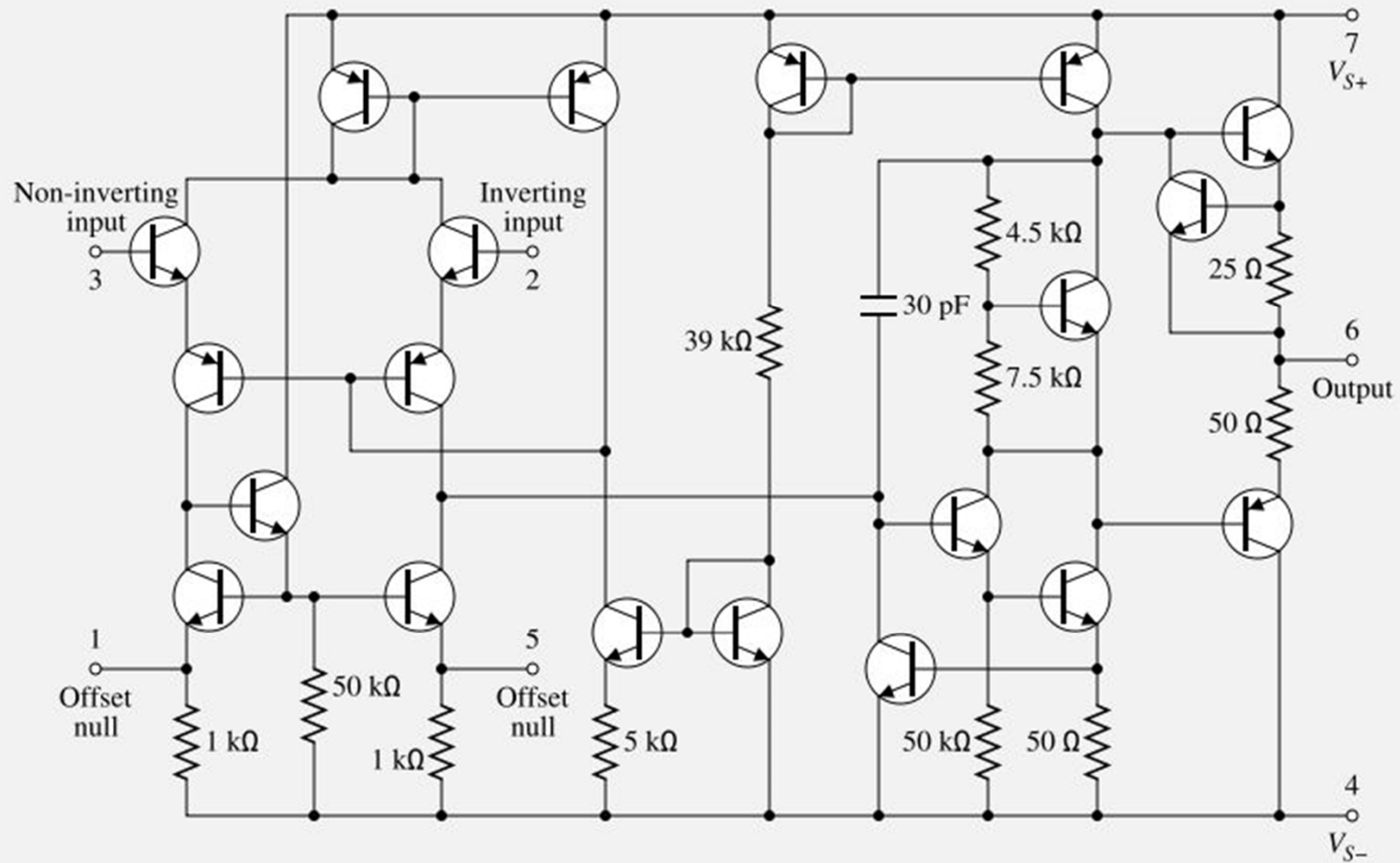
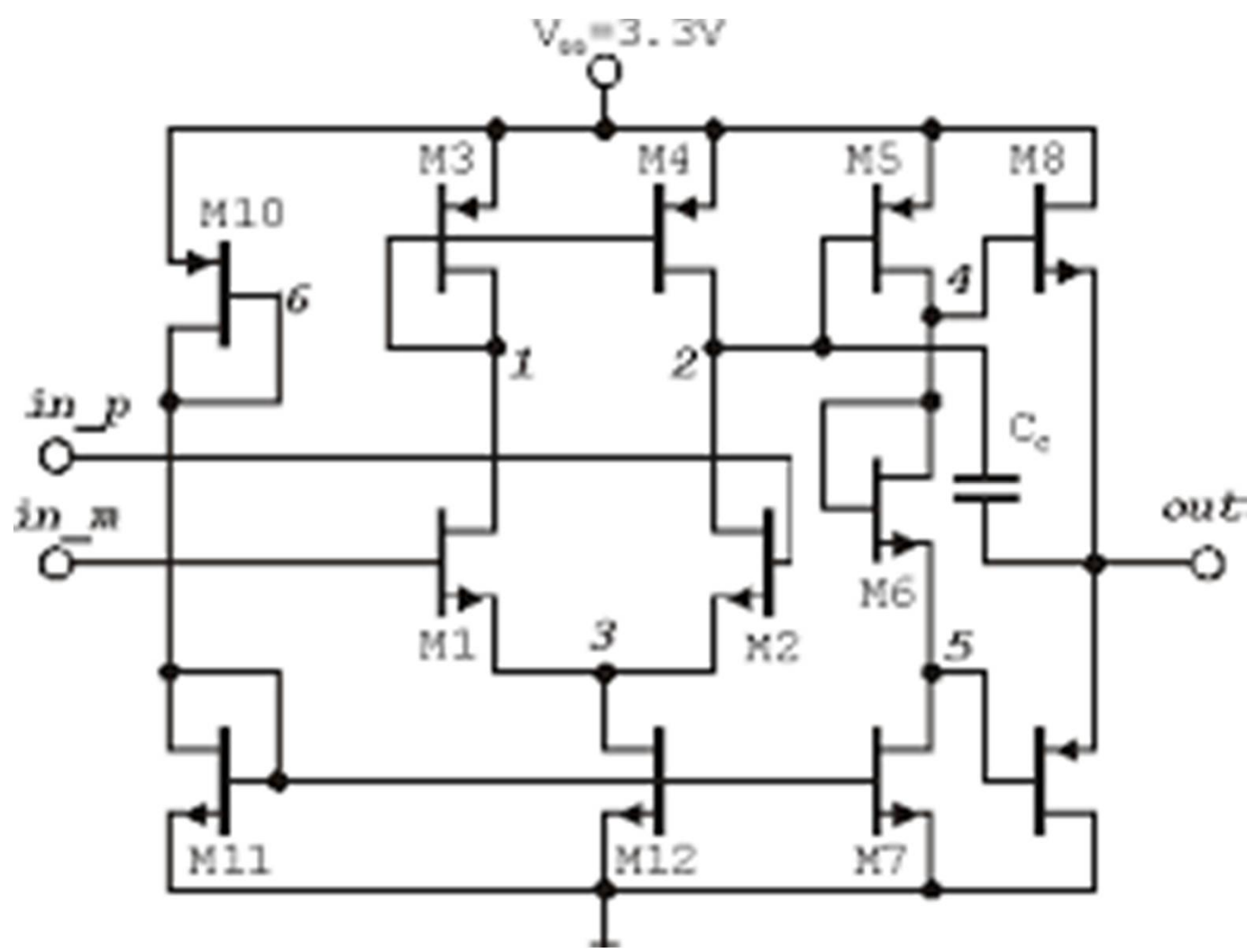


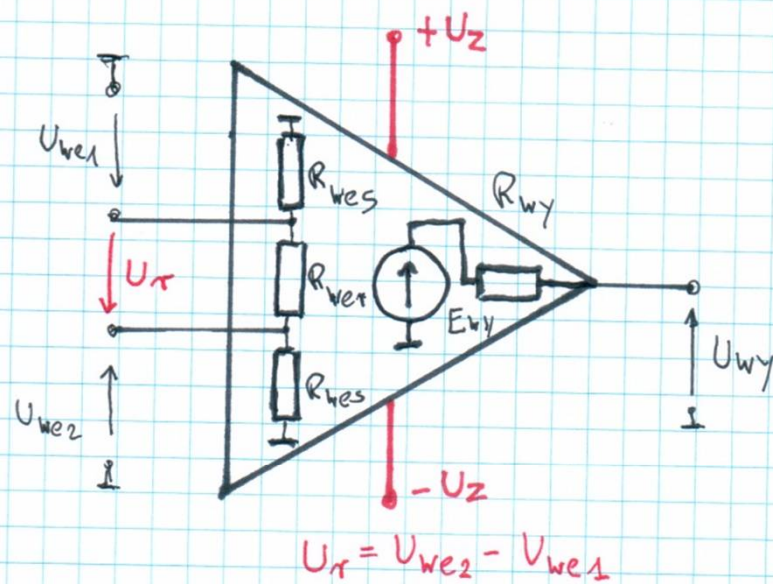
Wzmacniacze operacyjne (prądu stałego)

Wzmacniacz operacyjny 741





Wzmacniacz operacyjny – podstawowe właściwości

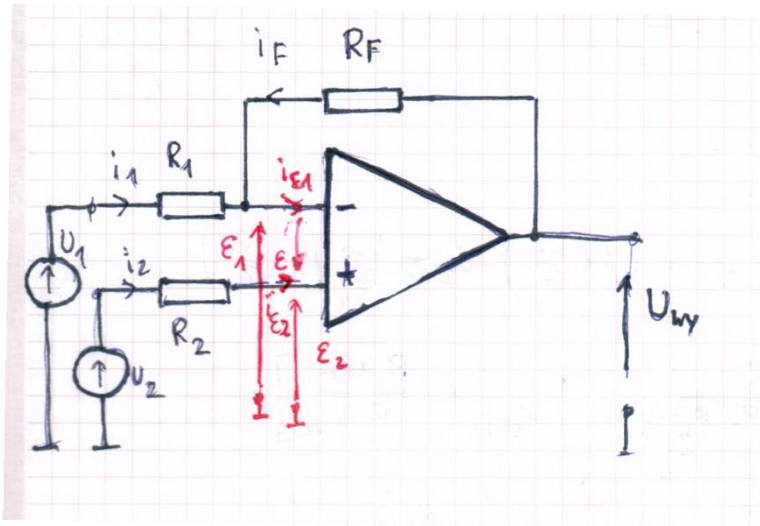


$$1) K_{ur} = \frac{U_{wy}}{U_{ur}} \rightarrow \infty$$

$$2) R_{we1} \rightarrow \infty \quad R_{we3} \rightarrow \infty$$

$$3) R_{wy} = 0$$

Wzmacniacz operacyjny – podstawowy układ pracy



$$i_1 + i_F + i_{E1} = 0$$

$$i_{E1} \rightarrow 0$$

$$i_2 = i_{E2}$$

$$i_{E2} \rightarrow 0$$

$$U_{wy} = \epsilon \cdot K_{Ur} =$$

$$\epsilon = \epsilon_2 - \epsilon_1$$

$$\epsilon_2 \approx U_2 \text{ bo } i_{E2} = i_2 = 0$$

$$i_1 = \frac{U_1 - \epsilon_1}{R_1}$$

$$i_F = \frac{U_{wy} - \epsilon_1}{R_F}$$

$$i_2 = i_{E2} = 0$$

$$\frac{U_1 - \epsilon_1}{R_1} + \frac{U_{wy} - \epsilon_1}{R_F} = 0$$

$$\epsilon_1 = ?$$

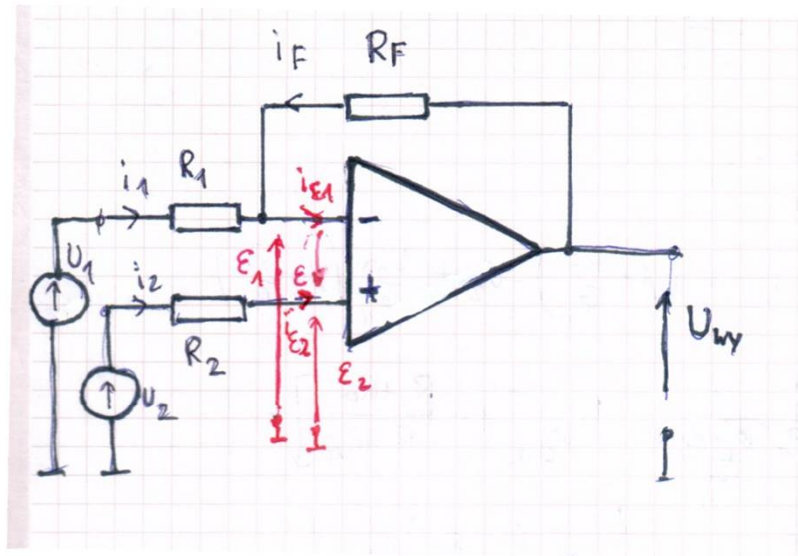
$$\epsilon = \epsilon_2 - \epsilon_1$$

$$\epsilon = \frac{U_{wy}}{K_{Ur}} \quad K_{Ur} \rightarrow \infty \rightarrow \epsilon \rightarrow 0$$

$$\epsilon_2 = \epsilon_1$$

$$\epsilon_1 = U_2$$

Wzmacniacz operacyjny – podstawowy układ pracy



$$E_2 = E_1 \quad E_1 = U_2$$

$$\frac{U_1 - U_2}{R_1} + \frac{U_{wy} - U_2}{R_F} = 0$$

$$\frac{U_1 - U_2}{R_1} \cdot R_F + U_{wy} - U_2 = 0$$

$$U_{wy} = -\frac{R_F}{R_1} U_1 + U_2 + \frac{R_F}{R_1} U_2$$

$$U_{wy} = -\frac{R_F}{R_1} U_1 + \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \cdot U_2$$

Wzmacniacz operacyjny – podstawowy układ pracy

Dla skończonej wartości k_{ur} ($k_{ur} < \infty$)

$$\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = \frac{U_{wy}}{k_{ur}}$$

$$\varepsilon_1 = -\frac{U_{wy}}{k_{ur}} + \varepsilon_2 = U_2 - \frac{U_{wy}}{k_{ur}}$$

$$\frac{U_1 - U_2 + \frac{U_{wy}}{k_{ur}}}{R_1} + \frac{U_{wy} - U_2 + \frac{U_{wy}}{k_{ur}}}{R_F} = 0$$

$$U_{wy} - U_2 + \frac{U_{wy}}{k_{ur}} = -\frac{R_F}{R_1} U_1 + \frac{R_F}{R_1} U_2 - \frac{R_F}{R_1} \cdot \frac{U_{wy}}{k_{ur}}$$

$$U_{wy} + \frac{U_{wy}}{k_{ur}} + \frac{R_F}{R_1} \cdot \frac{U_{wy}}{k_{ur}} = -\frac{R_F}{R_1} U_1 + \frac{R_F}{R_1} U_2 + U_2$$

$$U_{wy} \left(1 + \frac{1}{k_{ur}} + \frac{R_F}{R_1} \cdot \frac{1}{k_{ur}} \right) = -\frac{R_F}{R_1} U_1 + \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) U_2$$

$$U_{wy} \left(1 + \frac{R_1 + R_F}{R_1 \cdot k_{ur}} \right) = -\frac{R_F}{R_1} U_1 + \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) U_2$$

A

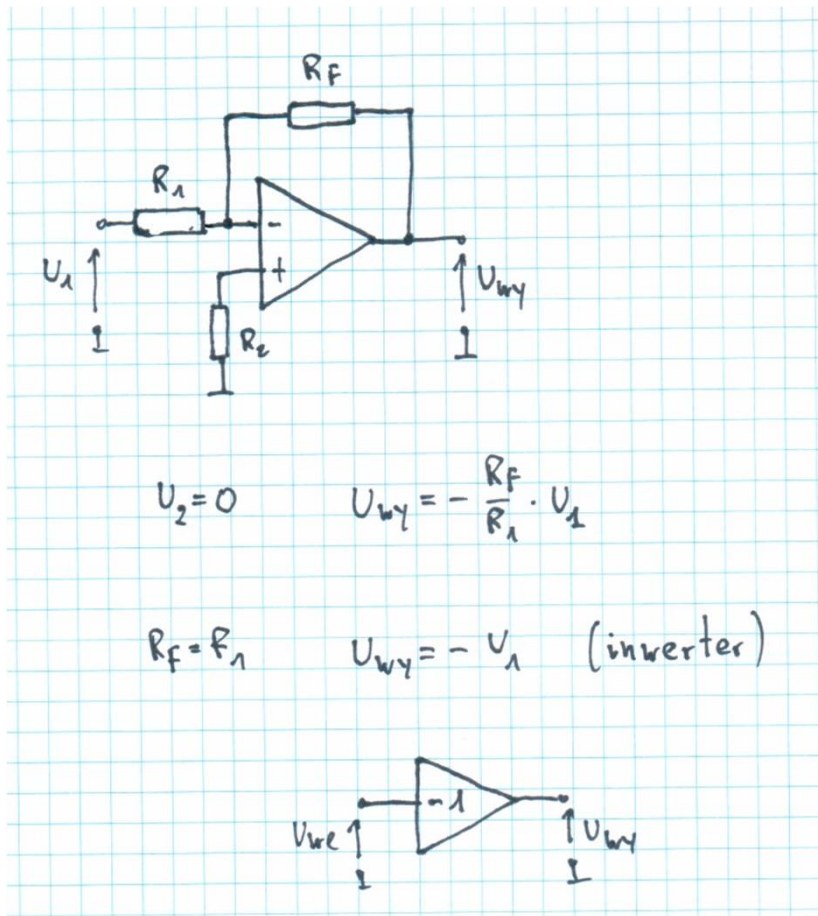
$$U_{wy} = -\frac{R_F}{R_1} \cdot \frac{1}{A} \cdot U_1 + \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \cdot \frac{1}{A} \cdot U_2$$

$$A = 1 + \frac{R_F + R_1}{R_1 \cdot k_{ur}} = 1 + \frac{11 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 \cdot 10^5} = 1 + 0,00011 \approx 1$$

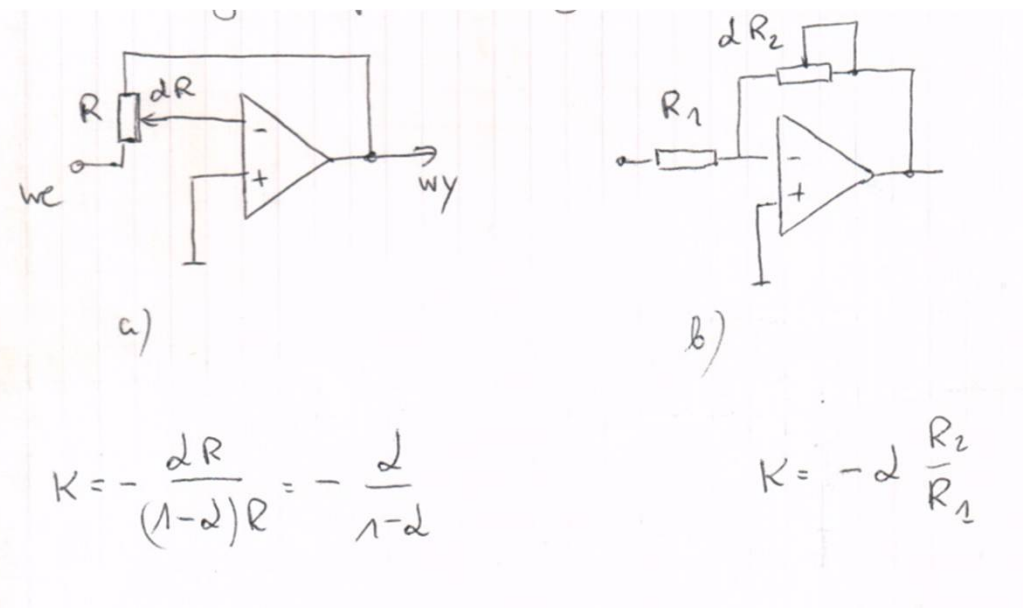
$$R_F = 10 \text{ k}\Omega \quad k_{ur} = 10^5$$
$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych do liniowych operacji matematycznych (w układach liniowych)

1) Wzmacniacz odwracający znak (fazę)

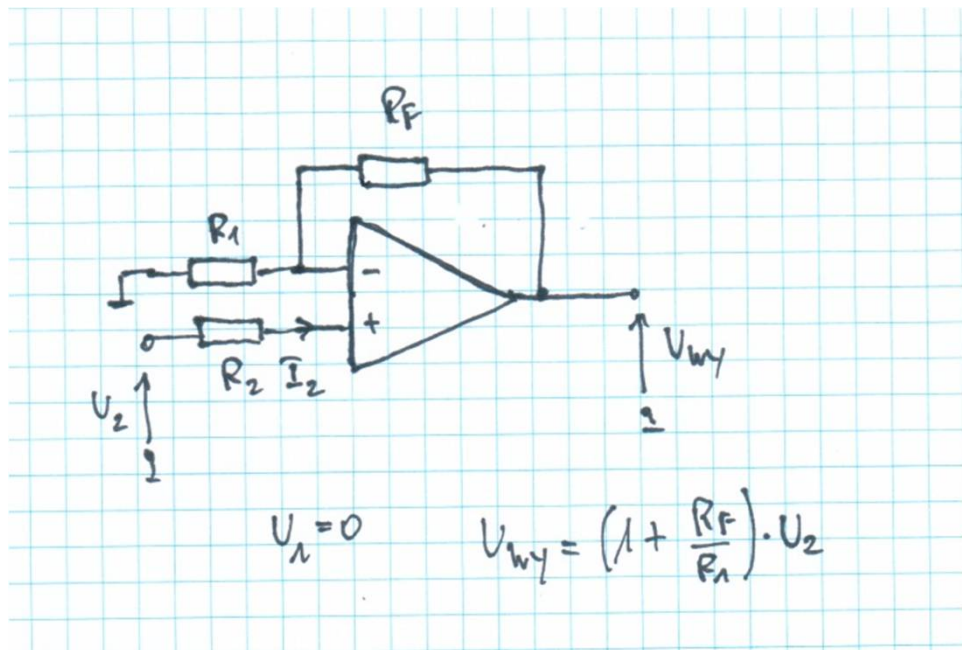


Potencjometryczna regulacja wzmocnienia

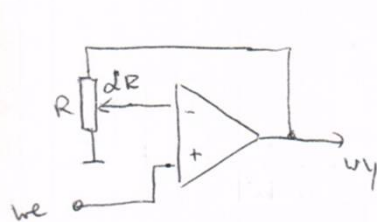


Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych do liniowych operacji matematycznych

2) Wzmacniacz nie odwracający znaku

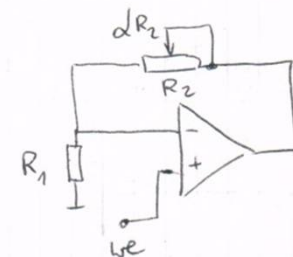


Potencjometryczna regulacja wzmacnienia

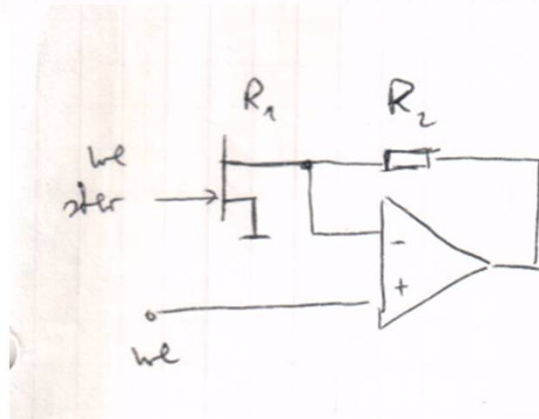


$$c) K = \left[1 + \frac{\alpha R}{(1-\alpha)R}\right] =$$

$$K = \frac{1}{1-\alpha}$$



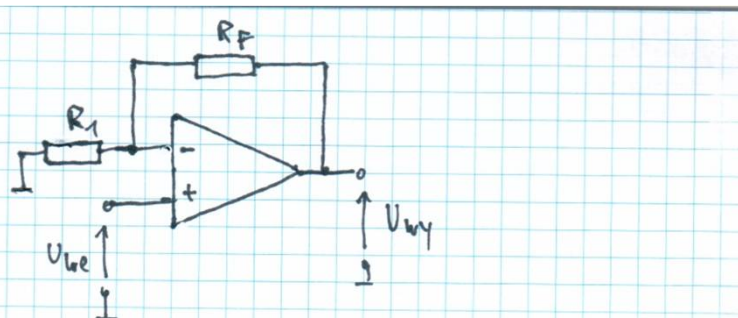
$$d) K = \left[1 + \frac{\alpha R_2}{R_1}\right]$$



Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych do liniowych operacji matematycznych

2) Wzmacniacz nie odwracający znaku

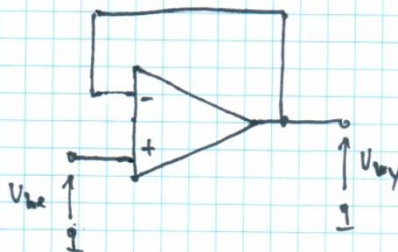
$$K_{U_0} = 1$$



$$R_F = 0 \quad U_{wy} = \left(1 + \frac{0}{R_1}\right) \cdot U_{we} = U_{we}$$

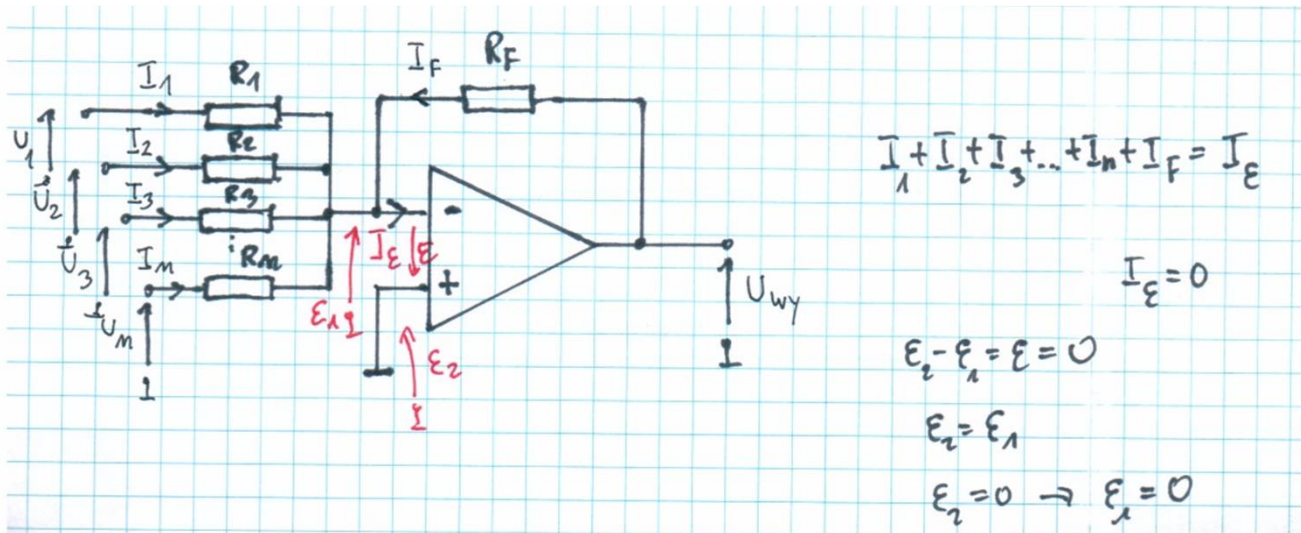
$$R_1 \rightarrow \infty \quad U_{wy} = \left(1 + \frac{0}{\infty}\right) \cdot U_{we} = U_{we}$$

Wtórnik napięciowy



Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych do liniowych operacji matematycznych

3) Sumator (operacja sumowania)



$$I_1 = \frac{U_1 - E_1}{R_1} = \frac{U_1}{R_1}$$

$$I_F = \frac{U_{wy}}{R_F}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3}$$

$$I_m = \frac{U_m}{R_m}$$

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_m}{R_m} + \frac{U_{wy}}{R_F} = 0$$

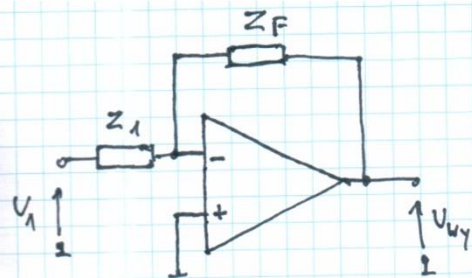
$$U_{wy} = -\frac{R_F}{R_1} U_1 - \frac{R_F}{R_2} U_2 - \frac{R_F}{R_3} U_3 - \dots - \frac{R_F}{R_m} U_m$$

$$U_{wy} = -C_1 \cdot U_1 - C_2 \cdot U_2 - C_3 \cdot U_3 - \dots - C_m \cdot U_m$$

$$U_{wy} = -\left(C_1 U_1 + C_2 U_2 + C_3 U_3 + \dots + C_m U_m\right)$$

Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych do liniowych operacji matematycznych

4) Układ różniczkujący (oblicza pochodną)



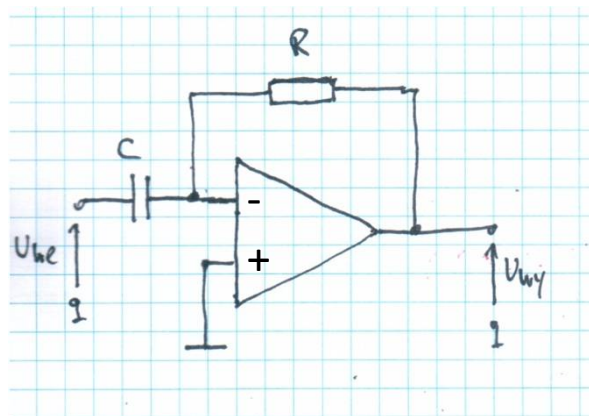
$$U_{wy} = -\frac{Z_F}{Z_1} \cdot V_1$$

$$U_{wy}(s) = -\frac{Z_F(s)}{Z_1(s)} \cdot V_1(s) = -\frac{1}{sRC} U_1(s)$$

$$Z(s) = ?$$

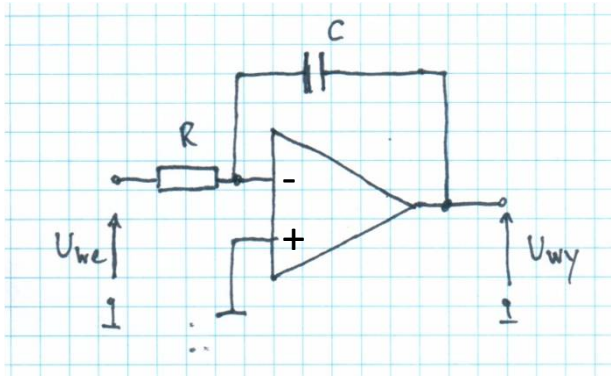
$$Z = \frac{1}{j\omega C} \sim \frac{1}{sC}$$

$$Z = j\omega L \sim sL$$



Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych do liniowych operacji matematycznych

5) Integrator (oblicza całkę)



$$Z(s) = \frac{U(s)}{U_n(s)} = - \frac{Z_E}{Z_n} = \frac{1/sC}{R_n} = \frac{1}{sCR_n}$$

$$U(t) = \frac{1}{T} \int U_n(t) dt + C = \frac{1}{T} \int U_n(t) dt + U_n(0)$$

$$I_n + I_c = I_{E1} = 0 \quad E_2 = 0 \rightarrow E_1 = 0$$

$$I_n = \frac{U_n - \varphi_1}{R_n} = \frac{U_n}{R_n} \quad U_c = \frac{1}{C} \int_0^t I_c dt$$

$$I_c = C \cdot \frac{dU_{wy}}{dt} \quad \frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{C} \cdot I_c \rightarrow I_c = C \cdot \frac{dU_c}{dt}$$

$$U_c = U_{wy} = U$$

$$\frac{U_n}{R_n} + C \frac{dU_{wy}}{dt} = 0 \quad \frac{dU_{wy}}{dt} = - \frac{1}{RC} U_n$$

$$\int_0^t dU_{wy} = - \int_0^t \frac{1}{RC} U_n dt \quad U_{wy} = - \frac{1}{RC} \int_0^t U_n dt$$