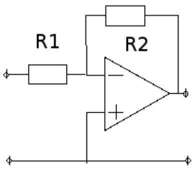
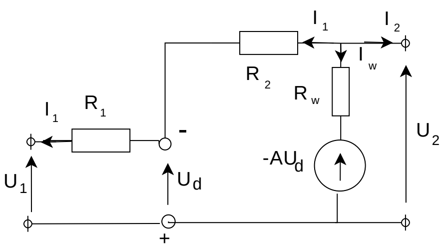
Rezystancja wyjściowa

Michał Urbański

1 Rezystancja wyjściowa wzmacniacza odwracającego fazę





Sterowana siła elektromotoryczna $E = -AU_d$ ($-$ wynika z tego, że strzałka jest przy wejściu "$-$").
R_w–rezystancja wewnętrzna wzmacniacza operacyjnego bez sprzężenia zwrotnego.
Z praw Kirchoffa:

$$U_2 - U_1 = (R_1 + R_2)I_1 \tag{1}$$
$$U_2 - U_d = R_2 I_1 \tag{2}$$
$$-AU_d = U_2 - I_w R_w \tag{3}$$
$$I_w = -(I_1 + I_2) \tag{4}$$

z równania (2) i (3) mamy:

$$U_d = U_2 - R_2 I_1 \tag{5}$$
$$U_d = -\frac{U_2}{A} - (I_1 + I_2)\frac{R_w}{A} \tag{6}$$

z tych dwóch równań otrzymujemy:

$$U_2 - R_2 I_1 = -\frac{U_2}{A} - (I_1 + I_2)\frac{R_w}{A} \quad \text{co daje} \tag{7}$$
$$U_2\left(1 + \frac{1}{A}\right) = I_1\left(R_2 - \frac{R_w}{A}\right) - I_2\frac{R_w}{A} \tag{8}$$

z równania (1) mamy I_1:

$$I_1 = \frac{U_2 - U_1}{R_1 + R_2} \tag{9}$$

i to podstawiamy do (8):

$$U_2\left(1 + \frac{1}{A}\right) = \frac{U_2 - U_1}{R_1 + R_2}\left(R_2 - \frac{R_w}{A}\right) + I_2\frac{R_w}{A} \quad \text{więc:}$$

$$U_2\left(1 + \frac{1}{A} - \frac{R_2 - \frac{R_w}{A}}{R_1 + R_2}\right) = -U_1\frac{R_2 - \frac{R_w}{A}}{R_1 + R_2} - I_2\frac{R_w}{A}$$

jeśli założymy, że $A \gg 1$ to możemu opuścić człony z $\frac{1}{A}$ przy U_1, oraz mamy $\frac{R_w}{A} \ll R_2$ więc:

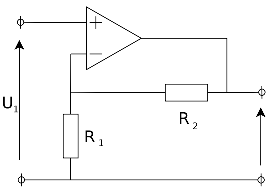
$$U_2\left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) = -I_2\frac{R_w}{A} - U_1\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

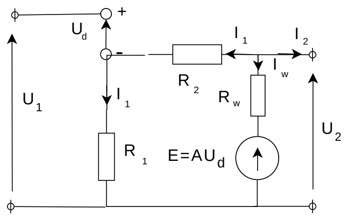
ostatecznie mamy: $U_2 = -U_1\frac{R_2}{R_1} - I_2\frac{R_w}{A}\frac{R_1 + R_2}{R_2}$

Równanie to ma postać: $U_2 = K_u U_1 - I_2 R_{wyj}$, tak więc mamy:

$$K_u = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{oraz} \quad R_{wyj} = R_w\frac{1 - K_u}{A} \tag{10}$$

2 Rezystancja wyjściowa wzmacniacza nieodwracającego fazy





Z praw Kirchoffa:

$$U_1 - U_d = I_1 R_1 \tag{11}$$
$$U_2 = (R_1 + R_2)I_1 \tag{12}$$
$$AU_d = U_2 + (I_1 + I_2)R_w \tag{13}$$

z równania (11) i (13) mamy:

$$U_d = U_1 - I_1 R_1 \tag{14}$$
$$U_d = \frac{U_2}{A} + (I_1 + I_2)\frac{R_w}{A} \tag{15}$$

z tych dwóch równań otrzymujemy:

$$\frac{U_2}{A} + (I_1 + I_2)\frac{R_w}{A} = U_1 - I_1 R_1$$

co daje:

$$\frac{U_2}{A} + I_1\left(\frac{R_w}{A} + R_1\right) = U_1 - I_2\frac{R_w}{A} \tag{16}$$

z równania (12): $I_1 = \frac{U_2}{R_1 + R_2}$, wstawiamy to do (16) i mamy:

$$U_2\left(\frac{1}{A} + \frac{R_w}{A} + R_1\right) = U_1 - I_2\frac{R_w}{A} \tag{17}$$

Jeśli w lewej stronie zastosujemy przybliżenie $A \gg 1$ to otrzymujemy:

$$U_2\frac{R_1}{R_1 + R_2} = I_2\frac{R_w}{A} + U_1$$

ostatecznie mamy:

$$U_2 = U_1\frac{R_1 + R_2}{R_1} - I_2\frac{R_w}{A}\frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Równanie to ma postać:
$U_2 = K_u U_1 - I_2 R_{wyj}$, tak więc mamy:

$$K_u = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \text{ oraz } R_{wyj} = \frac{R_w}{A}\frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{K_u}{A}R_w$$

Taka wartość R_{wyj} wynika z istnienia sprzężenia zwrotnego.

Dla wzmocnienia $K_U = 1$ (dla wtórnika gdy $R_2 = 0$) rezystancja wyjściowa wynosi: $R_{wyj} = \frac{1}{A}R_w$. Wzór ten wynika z tego, że $U_- = U_2$ i wtedy $U_1 = U_2 + U_d$ i wtedy:

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2} \approx \frac{\Delta U_2}{\Delta E}\frac{\Delta E}{\Delta I_2} \approx K_u\frac{1}{A}R_w \tag{18}$$

Można przyjąć że $\frac{\Delta E}{\Delta I_2} = R_w$ ponieważ $I_1 \ll I_2$, co wynika z tego, że $R_2 \gg R_w$.