## Elementy i połączenia

prawo Ohma $$U = RI$$

Element liniowy o stałej rezystancji. U i I dotyczą tego samego elementu lub wybranego połączenia traktowanego jako dwójnik; dla całego połączenia U jest napięciem między jego zaciskami.

konduktancja $$G = \frac{1}{R}$$

R ≠ 0.

ładunek przy stałym prądzie $$Q = It$$

Stały prąd w przedziale t.

prąd chwilowy $$I = \frac{dQ}{dt}$$

Q jest różniczkowalną funkcją czasu.

opór przewodnika $$R = \rho\frac{l}{A}$$

Jednorodny przewodnik o stałym przekroju A > 0.

gęstość prądu $$J = \frac{I}{A}$$

Jednorodny rozkład prądu w przekroju.

temperaturowa zmiana oporu $$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Przybliżenie liniowe w zakresie temperatur, w którym $\alpha$ jest stałe. Współczynnik $\alpha$ podaje się dla temperatury odniesienia $T_0$ (zwykle 20 °C): weź $T_0$ z tablicy, z której pochodzi $\alpha$. T i $T_0$ możesz podać w °C albo w K, bo liczy się tylko różnica T − $T_0$.

rezystory szeregowe $$R_s = \sum_k R_k$$

Przez każdy rezystor płynie ten sam prąd.

rezystory równoległe $$\frac{1}{R_p} = \sum_k \frac{1}{R_k}$$

Rezystancje dodatnie; jednakowe napięcie na gałęziach.

dwa rezystory równoległe $$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

R1 i R2 dodatnie.

dzielnik napięcia $$U_2 = U\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Dwa rezystory szeregowo; wyjście bez dodatkowego obciążenia. U to napięcie zasilające dzielnik, czyli napięcie na $R_1$ i $R_2$ razem, a $U_2$ to napięcie na $R_2$.

dzielnik prądu $$I_1 = I\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Dwie rezystancje połączone równolegle. $R_1$ to rezystancja gałęzi, w której płynie $I_1$, a $R_2$ to rezystancja drugiej gałęzi. W liczniku stoi rezystancja drugiej gałęzi: przez mniejszą rezystancję płynie większy prąd.

pierwsze prawo Kirchhoffa $$\sum_k I_k = 0$$

Prądy algebraiczne; konsekwentne znaki wpływu i wypływu z węzła.

drugie prawo Kirchhoffa $$\sum_k U_k = 0$$

Obwód skupiony; znaki napięć zgodne z kierunkiem obiegu oczka.

moc elektryczna DC $$P = UI$$

Prąd stały; konwencja odbiornikowa znaków.

straty Joulea $$P = I^2R$$

Rezystor omowy.

energia przy stałej mocy $$W = Pt$$

P to moc stała lub średnia w rozpatrywanym przedziale czasu.

## Metody analizy

równanie metody potencjałów węzłowych $$\sum_j G_{ij}(V_i - V_j) = I_i$$

Węzeł odniesienia ustala zero potencjału; $I_i$ to prąd wpływający z niezależnych źródeł. Sumujemy po węzłach j połączonych gałęzią z węzłem i.

zamiana trójkąta na gwiazdę $$R_A = \frac{R_{AB}R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} \quad R_B = \frac{R_{AB}R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} \quad R_C = \frac{R_{BC}R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$$

Równoważność trójzaciskowa; rezystancje dodatnie. Analogicznie dla impedancji przy niezerowym mianowniku.

rezystancja zastępcza źródła $$R_{th} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

Liniowy dwójnik z dodatnią rezystancją wewnętrzną i niezerowym prądem zwarcia; $U_{oc}$ i $I_{sc}$ oznaczają wartości bezwzględne. Wzór w tej postaci nie obejmuje źródeł o ujemnej rezystancji zastępczej.

prąd Nortona $$I_N = \frac{U_{oc}}{R_{th}}$$

Układ liniowy, $R_{th} \neq 0$ (źródło napięcia bez rezystancji wewnętrznej nie ma zastępnika Nortona).

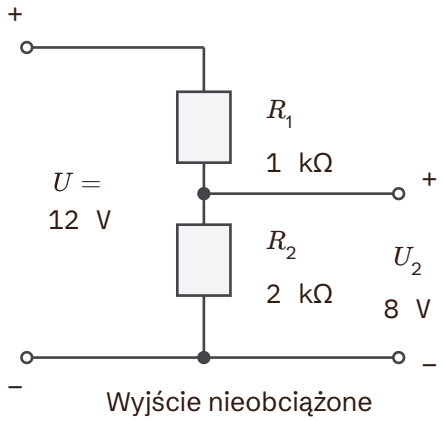
## Wzmacniacze operacyjne

wzmocnienie układu odwracającego $$\frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_f}{R_i}$$

Idealny wzmacniacz operacyjny, ujemne sprzężenie zwrotne, praca liniowa bez nasycenia; wejście nieodwracające na potencjale odniesienia.

wzmocnienie układu nieodwracającego $$\frac{U_o}{U_i} = 1 + \frac{R_f}{R_g}$$

Idealny wzmacniacz, ujemne sprzężenie, zakres liniowy; $R_g$ łączy wejście odwracające z potencjałem odniesienia.




**Dzielnik napięcia bez obciążenia.** Dwa rezystory szeregowo zasilone napięciem U = 12 V. $U_2$ = 8 V mierzymy między końcami $R_2$ = 2 kΩ, przy $R_1$ = 1 kΩ. Otwarte zaciski wyjścia oznaczają brak dodatkowego obciążenia.

## Symbole i jednostki

| symbol | znaczenie | jednostka |
|---|---|---|
| $A$ | pole przekroju | $\mathrm{m}^2$ |
| $G$ | konduktancja | $\mathrm{S}$ |
| $G_{ij}$ | konduktancja gałęzi między węzłami | $\mathrm{S}$ |
| $I$ | natężenie prądu | $\mathrm{A}$ |
| $I_1$ | prąd pierwszej gałęzi | $\mathrm{A}$ |
| $I_i$ | prąd źródłowy wpływający | $\mathrm{A}$ |
| $I_k$ | prąd gałęzi k | $\mathrm{A}$ |
| $I_N$ | prąd Nortona | $\mathrm{A}$ |
| $I_{sc}$ | prąd zwarcia źródła | $\mathrm{A}$ |
| $j$ | indeks sąsiedniego węzła | |
| $J$ | gęstość prądu | $\mathrm{A/m}^2$ |
| $l$ | długość przewodnika | $\mathrm{m}$ |

| symbol | znaczenie | jednostka |
|---|---|---|
| $P$ | moc | $\mathrm{W}$ |
| $Q$ | ładunek | $\mathrm{C}$ |
| $R$ | rezystancja | $\Omega$ |
| $R_0$ | rezystancja w temperaturze odniesienia | $\Omega$ |
| $R_1$ | pierwsza rezystancja | $\Omega$ |
| $R_2$ | druga rezystancja | $\Omega$ |
| $R_A$ | ramię gwiazdy A | $\Omega$ |
| $R_{AB}$ | bok trójkąta AB | $\Omega$ |
| $R_B$ | ramię gwiazdy B | $\Omega$ |
| $R_{BC}$ | bok trójkąta BC | $\Omega$ |
| $R_C$ | ramię gwiazdy C | $\Omega$ |
| $R_{CA}$ | bok trójkąta CA | $\Omega$ |

| symbol | znaczenie | jednostka |
|---|---|---|
| $R_f$ | rezystor sprzężenia zwrotnego (z wyjścia do wejścia odwracającego) | $\Omega$ |
| $R_g$ | rezystor między wejściem odwracającym a masą | $\Omega$ |
| $R_i$ | rezystor wejściowy (szeregowo ze źródłem sygnału) | $\Omega$ |
| $R_k$ | rezystancja gałęzi k | $\Omega$ |
| $R_p$ | rezystancja zastępcza połączenia równoległego | $\Omega$ |
| $R_s$ | rezystancja zastępcza połączenia szeregowego | $\Omega$ |
| $R_{th}$ | rezystancja Thevenina | $\Omega$ |
| $t$ | czas | $\mathrm{s}$ |
| $T$ | temperatura (w K albo °C; liczy się różnica T − $T_0$) | $\mathrm{K}$ |
| $T_0$ | temperatura odniesienia, dla której podano $\alpha$ (zwykle 20 °C) | $\mathrm{K}$ |
| $U$ | napięcie | $\mathrm{V}$ |
| $U_2$ | napięcie na drugim rezystorze | $\mathrm{V}$ |

| symbol | znaczenie | jednostka |
|---|---|---|
| $U_i$ | napięcie wejściowe | $\mathrm{V}$ |
| $U_k$ | napięcie elementu k | $\mathrm{V}$ |
| $U_o$ | napięcie wyjściowe | $\mathrm{V}$ |
| $U_{oc}$ | napięcie rozwarcia źródła | $\mathrm{V}$ |
| $V_i$ | potencjał badanego węzła | $\mathrm{V}$ |
| $V_j$ | potencjał sąsiedniego węzła | $\mathrm{V}$ |
| $W$ | energia | $\mathrm{J}$ |
| $\alpha$ | temperaturowy współczynnik rezystancji | $\mathrm{K}^{-1}$ |
| $\rho$ | rezystywność | $\Omega\cdot\mathrm{m}$ |