

Elektrotechnika

Prowadzący:
dr hab. inż. **Jacek Konopacki**, prof. w PŚ.

Sem. 1: Wykład 15 godz.
Ćwiczenia 15 godz.

Sem. 2: Wykład 15 godz.
Ćwiczenia 15 godz.

Informacje

Wszystkie informacje na platformie edukacyjnej (PZE)

<http://platforma.polsl.pl/rau3>

Klucz dostępu do kursu:

Zaliczenie przedmiotu:

- sem. I – kolokwium,
- sem.II – egzamin.

Program wykładu, sem.1

1. Pojęcia i definicje podstawowe. Ogólna klasyfikacja elementów obwodu i ich opis. Prawo Ohma i prawa Kirchhoffa. Moc i energia.
2. Obwody liniowe prądu stałego, analiza obwodów, metoda potencjałów węzłowych.
3. Dwójnik pasywny i aktywny: oporność zastępcza, twierdzenia Thevenina i Nortona, rzeczywiste źródło.
4. Zasada superpozycji, zasada wyodrębnienia i warunki dopasowania energetycznego.
5. Analiza obwodów nieliniowych: metoda graficzna, metoda linearyzacji odcinkowej.
6. Kondensator, cewka: równania elementów w dziedzinie czasu, wprowadzenie do analizy stanów nieustalonych.
7. Analiza stanu nieustalonego w obwodach pierwszego rzędu metodą uproszczoną, wykorzystującą warunki brzegowe.

Program wykładu, sem. 2

8. Analiza stanu nieustalonego w obwodzie RLC metodą operatorową, analiza odpowiedzi na skok jednostkowy idealnego i rzeczywistego obwodu RC i obwodu RL.
9. Operatorowa funkcja przejścia – układ różniczkujący i układ całkujący, odpowiedź na skok oraz impuls prostokątny.
10. Analiza obwodów sinusoidalnych - podstawy metody symbolicznej, moc i energia.
11. Charakterystyki częstotliwościowe dwójnika: impedancja zespolona, zjawisko rezonansu.
12. Charakterystyki częstotliwościowe czwórnik, charakterystyka amplitudowa w skali logarytmicznej, filtry.
13. Cewki sprzężone, transformator idealny.
14. Linia długa – podstawowe pojęcia. Uproszczona analiza w stanie nieustalonym na pobudzenie impulsowe.

Literatura podstawowa

1. Rutkowski J., Circuit Theory, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
2. Macura A., Teoria Obwodów - Obwody prądu stałego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Skrypt nr 1789, Gliwice 1994.
3. Macura A., Teoria Obwodów - Obwody prądu zmiennego część I, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Skrypt nr 2007, Gliwice 1997.
4. Chojcan J., przy współpracy L. Karwana i in., Zbiór Zadań z Teorii Obwodów I, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Skrypt nr 2091, Gliwice 1998.
5. Chojcan J., Drygajło A., i in. Zbiór zadań z Teorii Obwodów II, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Skrypt nr 1702, Gliwice 1992.

Pojęcia podstawowa

Ładunek elektryczny (q) jest cechą materii, odpowiedzialną za zjawisko elektryczności. Może być dodatni $q+$, ujemny $q-$ lub obojętny (zerowy). Pojęcie dodatnich i ujemnych ładunków wprowadził Benjamin Franklin w 18-tym wieku.

Jednostką ładunku jest kulomb $1 [C] = [A \cdot s]$

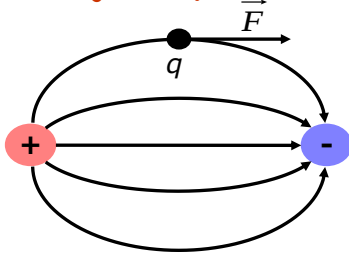
Ładunek występuje w ściśle określonych porcjach, jest **skwantowany**. Najmniejszą porcją ładunku jest **ładunek elementarny**.

Nieruchome ładunki elektryczne działają na siebie siłą elektrostatyczną (**prawo Coulomba**).

Celem wyjaśnienia zjawisk dynamicznych, czyli sił działających na ładunki elektryczne wprowadza się pojęcie pola elektrycznego.

Pole elektryczne – przestrzeń w której na testowy elektryczny ładunek q oddziałuje siła F $[N] = \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$.

Pojęcia podstawowa

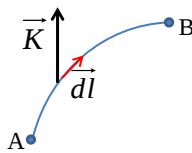


Linie sił pola elektrycznego – linie wzdłuż których testowy ładunek q przemieszcza się przyciągany przez ładunek przeciwny.

Natężenie pola elektrycznego:

$$\vec{K} \stackrel{df}{=} \frac{\vec{F}}{q}, \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{C}} \right] = \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

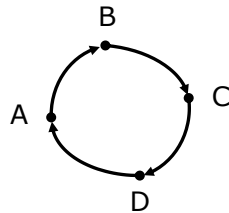
Praca W_{AB} wykonana w polu elektrycznym przy przesunięciu ładunku testowego q z punktu A do B:



$$dW_{AB} = \vec{F} d\vec{l} = q \vec{K} d\vec{l}$$

$$W_{AB} = q \int_A^B \vec{K} d\vec{l} \quad [\text{J}]$$

Pojęcia podstawowa



$$\oint_{ABCD} \vec{K} d\vec{l} = 0.$$

Własność:

Całkowita praca wykonana w polu elektrycznym wzdłuż zamkniętej drogi (pętli) jest równa 0:

Z przedstawionej własności wynika, że praca wykonana przy przeniesieniu ładunku z jednego punktu pola elektrycznego do drugiego jest niezależna od drogi, a zależy od pola (K) i współrzędnych obydwu punktów.

Pojęcia podstawowa

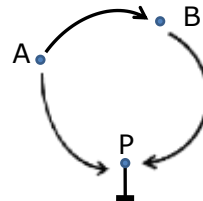
Napięcie elektryczne między dwoma punktami jest to stosunek **pracy wykonanej przez siły pola** (przy przeniesieniu ładunku q z jednego punktu pola do drugiego), **do tego ładunku**.

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = \int_A^B \vec{K} d\vec{l}, \quad [V] = \left[\frac{J}{C} \right]$$

lub inaczej $U_{AB} = W_{AB}|_{q=1[C]}$

Potencjał elektryczny danego punktu jest to stosunek **pracy wykonanej przez siły pola przy przeniesieniu ładunku q z danego punktu do punktu odniesienia, do tego ładunku**.

$$V_A = \frac{W_{AP}}{q} = \int_A^P \vec{K} d\vec{l} \quad [V]$$



czyli $U_{AB} = V_A - V_B$

Pojęcia podstawowa

Ruch ładunku elektrycznego (dodatniego lub ujemnego) nazywa się **prądem elektrycznym**.

Prąd elektryczny ilościowo jest określany przez natężenie.

Natężenie prądu elektrycznego J jest to stosunek **ładunku elektrycznego Δq przepływający przez określoną powierzchnię w czasie Δt do tego czasu**

$$J = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \quad [A] = \left[\frac{C}{s} \right]$$

Jeśli powyższy iloraz ma taką samą wartość dla każdej chwili czasu, to prąd jest stały (ang. **DC-Direct Current**).

Dla prądu zmiennego (ang. **AC-Alternating Current**), mamy: $i = i(t) = \frac{dq}{dt}$.

Pojęcia podstawowa

Konwencja oznaczeń:

DUŻYMI LITERAMI – wartości niezależne od czasu, np. U, J, P, R ,

małymi literami – wartości zmieniające się w czasie, np. u, i, p .

Jednostki – w nawiasach kwadratowych, np. $[A], [V], [C], [s], [J]$.

Moc jest to energia przypadająca na jednostkę czasu:

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad [W] = \left[\frac{J}{s} \right] \quad (\text{moc chwilowa}).$$

Moc P i energia W dla prądu stałego:

$$P = U \cdot J \quad [W]$$

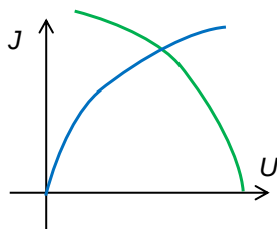
$$W = \int_0^t p dt = U \cdot J \cdot t \quad [J]$$

Energia absorbowana przez odbiornik jest rozpraszana w postaci ciepła i często jest podawana w kaloriach $1[J] = 0.239[cal]$

Obwody elektryczne i jego elementy

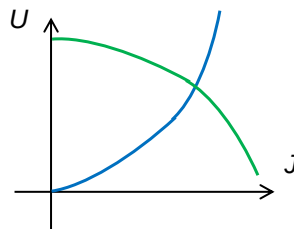


Rys. pochodzi z [2]



Charakterystyka prądowo-napięciowa

$$J=f(U)$$



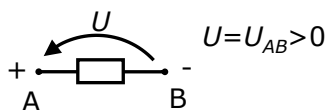
Charakterystyka napięciowo-prądowa

$$U=f(J)$$

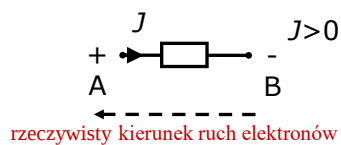
Obwody elektryczne i jego elementy

	Przewód idealny	Idealne źródło napięcia (SEM)	Idealne źródło prądu (SPM)	Element
Symbol				
Charakterystyka				

Strzałkowanie



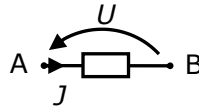
Strzałka napięcia wskazuje punkt o wyższym potencjale jeśli wartość tego napięcia jest dodatnia.



Strzałka prądu wskazuje umowny kierunek przepływu prądu, jeśli jego wartość jest dodatnia.

Strzałkowanie

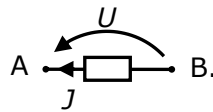
I) strzałkowanie odbiornikowe



Element pobiera energię jeśli $P = U J > 0$,

Element wydaje energię jeśli: $P = U J < 0$,

II) strzałkowanie wydajnikowe



Element wydaje energię jeśli: $P = U J > 0$.

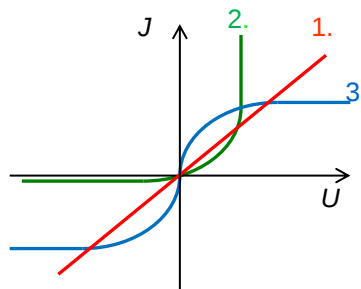
Element pobiera energię jeśli: $P = U J < 0$.

Elementy obwodu

Elementy mogą być **pasywne** i **aktywne**.

Elementy pasywne zawsze pobierają energię.

Przykłady charakterystyk $J=f(U)$ elementów pasywnych



1. element liniowy – rezystor (opornik)

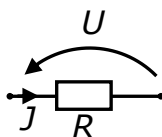
2. element nieliniowy, charakterystyka niesymetryczna - dioda

3. element nieliniowy, charakterystyka symetryczna – żarówka

Dla elementów pasywnych stosujemy strzałkowanie odbiornikowe.

Elementy obwodu

Rezystor (opornik)



Prawo Ohma

$$U = R \cdot J, \quad J = \frac{U}{R} = G \cdot U$$

$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad [\Omega]$ – rezystancja (oporność), gdzie:
 l – długość elementu, s – przekrój,

$\rho \quad [\Omega \cdot \text{m}]$ – rezystywność, (oporność właściwa) (zależy od materiału)

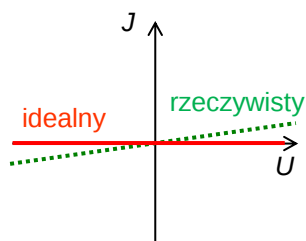
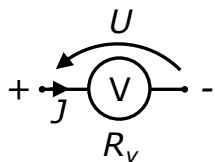
$G \quad [\text{S}]$ – konduktancja (przewodność)

Moc tracona na rezystorze:

$$P = U \cdot J = R \cdot J^2 = \frac{U^2}{R}$$

Elementy obwodu

Woltomierz

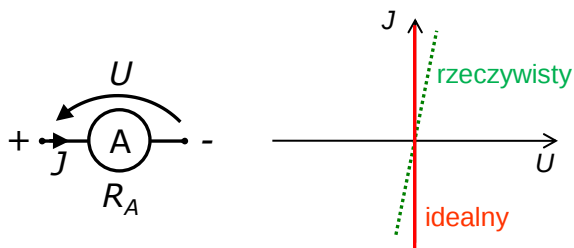


- woltomierz idealny: $R_v = \infty, J = 0 \rightarrow$

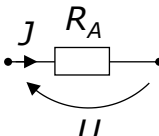
- woltomierz rzeczywisty: $R_v < \infty, J > 0 \rightarrow$

Elementy obwodu

Amperomierz



- amperomierz idealny: $R_A = 0, U = 0 \rightarrow$ • ————— •

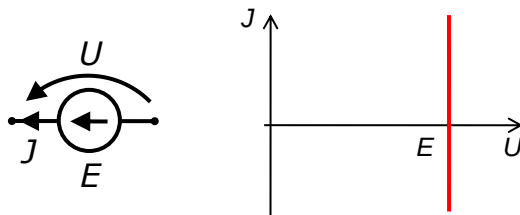
- amperomierz rzeczywisty: $R_A > 0, U > 0 \rightarrow$ • ————— •


Elementy obwodu

Element aktywny (źródło) – element dla którego energia wydawana może być dodatnia.

Dla elementów aktywnych stosujemy strzałkowanie wydajnikowe.

Siła elektromotoryczna (SEM) – idealne źródło napięciowe.



idealne źródło napięciowe, SEM :

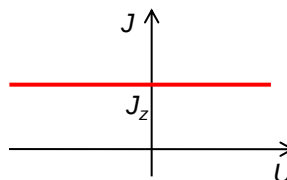
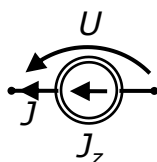
$$U = E = \text{const}, \quad P = E \cdot J$$

nieidealne źródło napięciowe jest **elementem nieliniowym**



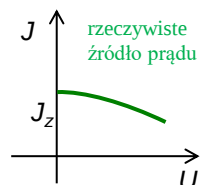
Elementy obwodu

Siła prądomotoryczna (SPM) – idealne źródło prądowe.



idealne źródło prądowe, SPM : $J = J_z = \text{const}$, $P = U \cdot J_z$

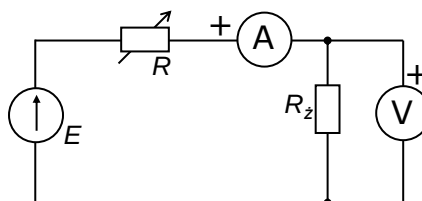
nieidealne źródło prądowe jest **elementem nieliniowym**



Schemat obwodu



Obwód



Schemat obwodu

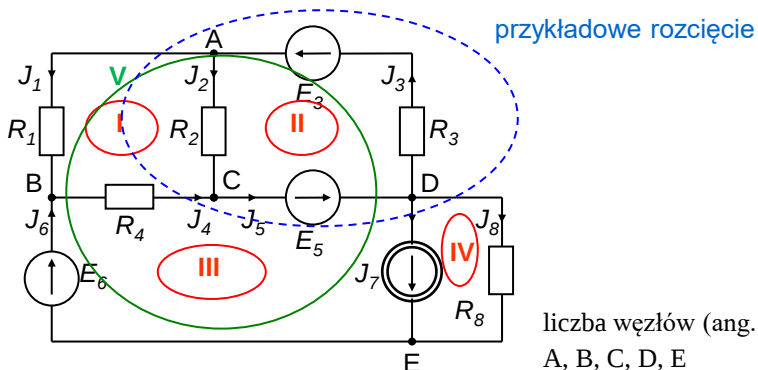
Schemat obwodu jest to graficzne przedstawienie sposobu połączenia elementów obwodu elektrycznego.

Węzeł obwodu – punkt połączenia trzech lub więcej elementów.

Gałąź obwodu – jeden lub więcej elementów połączonych szeregowo.

Oczko obwodu – dwie lub więcej gałęzi tworzących zamkniętą figurę.

Schemat obwodu



liczba węzłów (ang. *nodes*) $n=5$:

A, B, C, D, E

liczba gałęzi (ang. *branches*) $b=8$:

1,...,8

przykładowe oczka obwodu: I, II, III, IV, V

Rozcięcie – linia zamykająca jeden lub więcej węzłów i przecinająca trzy lub więcej gałęzi, przy czym każda z gałęzi jest przecinana tylko jeden raz.

Prawa Kirchhoffa

Prądowe prawo Kirchhoffa (I prawo Kirchhoffa)

Dla każdego węzła obwodu elektrycznego algebraiczna suma natężeń prądów dopływających do węzła i odpływających z węzła jest równa 0.

$$\sum J = 0$$

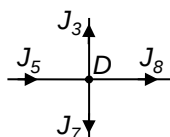
Umowa:

znak „+” – prądy dopływające

znak „-” – prądy odpływające

Przykład

Dla węzła D z przedstawionego wcześniej obwodu uzyskamy:



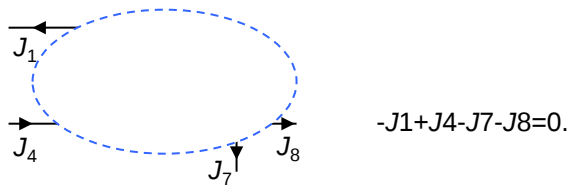
$$-J_3 + J_5 - J_7 - J_8 = 0$$

Prawa Kirchhoffa

Uogólnione, I prawo Kirchhoffa - algebraiczna suma natężeń prądów dopływających i odpływających do dowolnego rozcięcia obwodu elektrycznego jest równa 0.

Przykład

Dla rozcięcia z poprzedniego przykładu uzyskamy:



Prawa Kirchhoffa

Napięciowe prawo Kirchhoffa (II prawo Kirchhoffa)

Dla każdego oczka obwodu algebraiczna suma napięć jest równa 0.

$$\sum_{\circ} U = 0$$

Umowa:

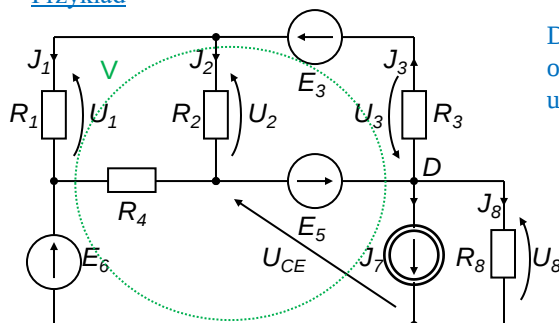
znak „+” – napięcia strzałkowane zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara

znak „-” – napięcia strzałkowane przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara

Uogólnione II prawo Kirchhoffa – algebraiczna suma napięć wokół dowolnej drogi zamkniętej jest równa 0.

Prawa Kirchhoffa

Przykład



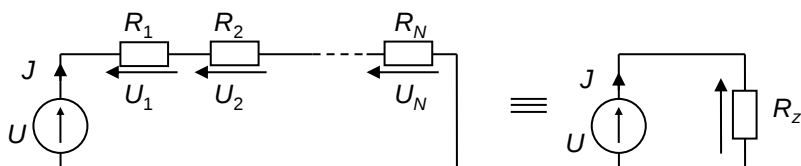
Dla oczka **V** z przykładowego obwodu z II prawa Kirchhoffa uzyskamy:

$$U_1 - E_3 + U_3 - U_8 + E_6 = 0$$

Na podstawie uogólnionego II prawa Kirchhoffa można napisać:

$$U_1 - U_2 - U_{CE} + E_6 = 0$$

Połączenie szeregowe rezystorów, dzielnik napięcia



Całkowita rezystancja zastępcza N -szeregowo połączonych oporników:

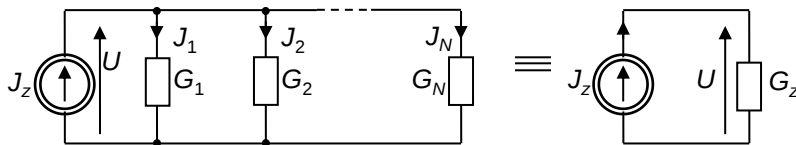
$$R_z = \frac{U}{J} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_N}{J} = R_1 + R_2 + \dots + R_N = \sum_{i=1}^N R_i$$

Obwód szeregowo połączonych oporników dzieli napięcie wejściowe:

$$U_i = U \frac{R_i}{R_z}; i = 1, \dots, N$$

Dla dwóch rezystorów: $R_z = R_1 + R_2$, $U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$, $U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Połączenie równoległe rezystorów, dzielnik prądu



Całkowita konduktancja zastępcza N -szeregowo połączonych oporników:

$$G_z = \frac{1}{R_z} = \frac{J_z}{U} = \frac{J_1 + J_2 + \dots + J_N}{U} = G_1 + G_2 + \dots + G_N = \sum_{i=1}^N G_i$$

Obwód równoległe połączonych rezystorów dzieli prąd wejściowy:

$$J_i = J_z \frac{G_i}{G_z}; \quad i = 1, \dots, N$$

Dla dwóch rezystorów otrzymamy:

$$G_z = G_1 + G_2, \quad R_z = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$J_1 = J_z \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad J_2 = J_z \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Zasada zachowania mocy i energii

Dla dowolnego obwodu, algebraiczna suma mocy lub energii pobieranych i wydawanych jest równa 0.

$$\sum P_W = \sum P_P$$

P_W – moce wydawane przez elementy aktywne,

P_P – moce pobierane przez elementy pasywne.

Na powyższej zasadzie i bazuje bilans mocy

Zasadę zachowania mocy można również zapisać tak:

$$\sum_{i=1}^b P_i = 0$$

znak „+” – moc wydawana

znak „-” – moc pobierana