Elementy elektroniczne i przyrządy pomiarowe

Cel ćwiczenia.

- Nabycie umiejętności posługiwania się miernikami uniwersalnymi, oscyloskopem, generatorem, zasilaczem, itp.
- Nabycie umiejętności rozpoznawania i diagnostyki podstawowych elementów elektronicznych (rezystor, kondensator, dioda, tranzystor, itp.).

Zagadnienia teoretyczne.

Prawo Ohma stwierdza, że prąd płynący w obwodzie jest proporcjonalny do przyłożonego napięcia:

I i II prawa Kirchhoffa stwierdzają, że suma prądów wpływających do oczka jest równa zero oraz, że suma spadków napięć w oczku jest równa zero.

Moc rozpraszana jest proporcjonalna do napięcia i prądu.

W układzie SI jednostką natężenia prądu jest amper (A), napięcia wolt (V), mocy wat (W), oporności ohm (Ω), pojemności farad (F), a indukcyjności henr (L).

Idealne źródło napięciowe jest układem na zaciskach którego występuje stała różnica potencjałów (niezależna od obciążenia). Idealne źródło prądowe to układ, który wymusza przepływ prądu o stałym natężeniu (niezależnie od obciążenia).

Przyjmuje się, że prąd w obwodzie płynie od zacisków dodatnich do ujemnych źródła (w źródle odwrotnie!). Siła elektromotoryczna źródła jest zdolnością tegoż do wytwarzania różnicy potencjałów.

Łączenie elementów elektronicznych

Z prawa Kirchhoffa wynika, że rezystancja szeregowo połączonych rezystorów jest równa:

$$R = \sum R_i$$

A równolegle:

$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$ albo $G = \sum G_i$ gdzie G jest konduktancją.

Pomiaru napięcia dokonuje się podłączając miernik równolegle do badanego elementu. Badanie prądu dokonuje się podłączając miernik szeregowo z badanym układem. Należy unikać bezpośredniego pomiaru prądu. Prąd znacznie łatwiej i bezpieczniej mierzy się badając napięcie na znanym rezystorze wzorcowym.

UWAGA:

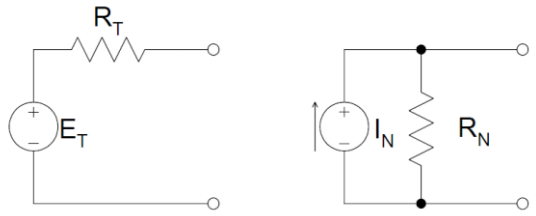
Należy mówić o napięciu panującym między punktami układu i prądzie płynącym przez element. Pod żadnym pozorem nie wolno używać amperomierza do pomiaru napięcia!

Kondensatory elektroniczne muszą być w odpowiedni sposób podłączone (polaryzowane) do układu.

Uziemienie polega na połączeniu obwodów (oraz innych części metalowych) urządzeń pomiarowych z przewodem neutralnym (N lub zerowym) zasilającej sieci energetycznej. Zwykle jeden z punktów badanego układu jest również uziemiony.

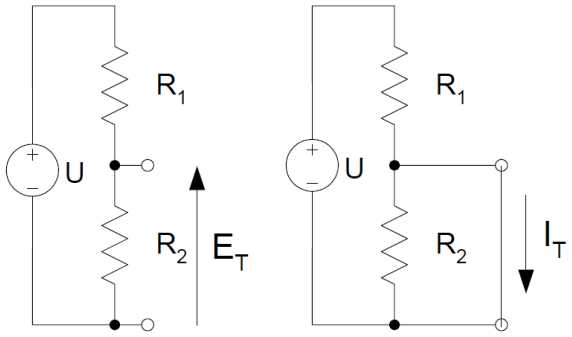
Zasada Thevenina

Zasada Thevenina stwierdza, że każdą sieć elektryczną złożoną z rezystorów i źródeł napięciowych można przedstawić w postaci obwodu zastępczego składającego się z pojedynczego źródła napięciowego (źródło Thevenina E_T) i pojedynczej szeregowej rezystancji (rezystancji Thevenina R_T) (Wg zasady Nortona: ze źródła prądowego i równoległej rezystancji).



Rys. 1. Zastępcze źródło Thevenina i Nortona.

Zgodnie z twierdzeniem napięcie Thevenina E_T jest napięciem panującym na rozwartych zaciskach badanego układu. Rezystancję Thevenina R_T można wyznaczyć po obliczeniu prądu zwarcia (prądu Thevenina) na badanych zaciskach.



Rys. 2. Ilustracja zasady Thevenina.

Dla przykładowego układu dzielnika napięciowego przedstawionego na rys. 2. napięcie Thevenina na wyjściu układu obliczamy, jako napięcie na rezystorze R_2 a prąd Thevenina jako prąd płynący przez warte wyjście:

$$E_T = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_T = \frac{U}{R_1}$$

stąd:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Metoda prądów oczkowych

Metoda prądów oczkowych (metoda oczkowa) umożliwia wyznaczenie prądów płynących przez każdą gałąź oczka i sprowadza się do rozwiązania układu N równań, gdzie N jest liczbą niezależnych węzłów. Napięcie równania Kirchhoffa zapisane dla każdego z oczek można zastąpić opisem macierzowym całego obwodu:

$$Z \cdot I_0 = E$$

gdzie:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \cdots & Z_{NN} \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \cdots \\ E_N \end{bmatrix} \; I_0 = \begin{bmatrix} I_{01} \\ I_{02} \\ \cdots \\ I_{0N} \end{bmatrix}$$

Elementy Z_{ii} macierzy oczkowej położone na głównej diagonalnej macierzy Z nazywane są impedancjami własnymi i-tego oczka. Elementy Z_{ij} nazywane są impedancjami wzajemnymi między oczkiem i a j.

Impedancja własna Z_{ii}, dla obwodu bez źródeł sterowanych, przy identycznym zwrocie wszystkich prądów oczkowych jest równa sumie wszystkich impedancji występujących w oczku.

Impedancja wzajemna Z_{ij}, przy identycznym zwrocie wszystkich prądów oczkowych, jest równa impedancji wspólnej dla obu oczek wziętej ze znakiem minus. Impedancja wzajemna między oczkiem i a j jest taka sama jak impedancja wzajemna między oczkiem j a i, stąd $Z_{ij} = Z_{ji}$. Element i-ty wektora wymuszeń E jest równy geometrycznej sumie wszystkich napięć źródłowych występujących w oczku.

Rozwiązując równanie macierzowe należy wyznaczyć nieznany wektor I_o.

$$I_0 = Z^{-1} \cdot E$$

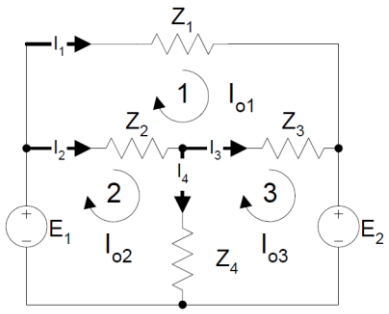
Równanie macierzowe (układ równań) można rozwiązać dowolną metodą (np. metodą wyznaczników lub metodą eliminacji Gaussa).

Wektor I_0 opisuje prądy oczkowe. Znajomość wektora I_0 pozwala wyznaczyć prądy płynące przez poszczególne gałęzie obwodu a co za tym idzie napięcia występujące na poszczególnych impedancjach.

Prądem oczkowym (cyklicznym) nazywamy wypadkowy prąd płynący przez gałąź oczka. Prądem gałęziowym nazywamy prąd płynący w danej gałęzi. W gałęzi należącej tylko do jednego oczka prąd oczkowy jest równy prądowi gałęziowemu. W gałęzi wspólnej dla dwu oczek prąd gałęziowy jest równy sumie lub różnicy prądów oczkowych.

Na rys. 3. przedstawiony jest przykładowy obwód składający się z trzech oczek (1, 2, 3), impedancji: Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 i dwu niezależnych źródeł napięciowych E_1 i E_2. Prądami oczkowymi są: I_{01}, I_{02} oraz I_{03}.

Prądami gałęziowymi są: I_1, I_2, I_3 oraz I_4. W oczku 1 znajdują się impedancje: Z_1 i Z_2. W oczku 2 znajdują się impedancje: Z_2 i Z_4 i źródło E_1 a w oczku 3 znajdują się impedancje: Z_3 i Z_4 oraz źródło E_2.



Rys. 3. Metoda oczkowa.

Macierz oczkowa ż i wektor pobudzeń E mają postać:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 + Z_2 + Z_3 & -Z_2 & -Z_3 \\ -Z_2 & Z_2 + Z_4 & -Z_4 \\ -Z_3 & -Z_4 & Z_3 + Z_4 \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} 0 \\ E_1 \\ -E_2 \end{bmatrix}$$

Po wyznaczeniu wektora I_0 można wyliczyć poszczególne prądy gałęziowe:

$$I_0 = \begin{bmatrix} \dfrac{E_1 - E_2}{Z_1} \\ \dfrac{-E_2\big((Z_1 + Z_3) \cdot Z_4 + Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4)\big) + E_1(Z_3Z_4 + Z_1 \cdot (Z_3 + Z_4) + Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4))}{Z_1 \cdot (Z_3Z_4 + Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4))} \\ \dfrac{E_1\big((Z_1 + Z_3) \cdot Z_4 + Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4)\big) - E_2(Z_3Z_4 + Z_1 \cdot (Z_2 + Z_4) + Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4))}{Z_1 \cdot (Z_3Z_4 + Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4))} \end{bmatrix}$$

$$I_1 = I_{01}$$

$$I_2 = I_{02} - I_{01}$$

$$I_3 = I_{03} - I_{01}$$

$$I_4 = I_{02} - I_{03}$$

Metoda węzłowa

Alternatywą do metody oczkowej jest metoda węzłowa, która pozwala na wyznaczenie prądów w poszczególnych gałęziach obwodu. W metodzie węzłowej zmiennymi są potencjały V poszczególnych węzłów. Potencjały te określone są względem dowolnie wybranego węzła, któremu przypisuje się potencjał 0 V. W obwodzie dopuszcza się jedynie źródła prądowe. Ewentualne źródła napięciowe należ zastąpić zgodnie z zasadą Thevenina-Nortona źródłami prądowymi. W opisie węzłowym wygodniej jest zastąpić impedancje admitancjami ($Y = \frac{1}{Z}$).

Macierz Y jest macierzą węzłową postaci:

$$Y \cdot V = I_{źr}$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdots \\ V_N \end{bmatrix}, I_{źr} = \begin{bmatrix} I_{źr1} \\ I_{źr2} \\ \cdots \\ I_{źr3} \end{bmatrix}$$

Elementy Y_{ii} macierzy węzłowej położone na głównej przekątnej macierzy Y nazywane są admitancjami własnymi i-tego węzła. Elementy Y_{ij} nazywane są admitancjami wzajemnymi między węzłem i a j.

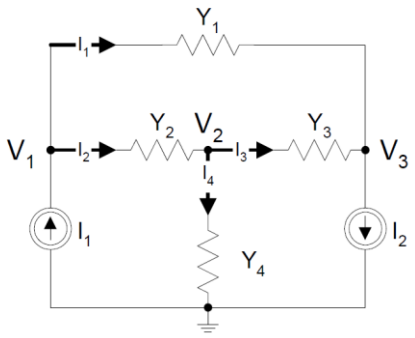
Admitancja własna Y_{ii}, dla obwodu bez źródeł sterowanych, jest równa sumie wszystkich admitancji włączonych do i-tego węzła.

Admitancja wzajemna Y_{ij} jest równa admitancji łączącej węzeł i z j, wziętej ze znakiem minus. Admitancja wzajemna między węzłem i a j jest taka sama jak admitancja wzajemna między oczkiem i a j, stąd: $Y_{ij} = Y_{ji}$.

Elementy wektora $I_{źr}$ są równe sumie wszystkich prądów źródłowych dopływających do węzła (jeżeli jakiś prąd wypływa z węzła bierze się go ze znakiem minus).

Na rys. 4. Przedstawiony jest przykładowy obwód składający się z trzech węzłów o potencjałach: V_1, V_2 i V_3 (czwarty węzeł ma potencjał 0 V), czterech admitancji: Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 i dwu niezależnych źródeł prądowych I_1 i I_2.

Prądami gałęziowymi są I_1, I_2, I_3 oraz I_4. Do węzła V_1 dołączone są admitancje Y_1 i Y_2 i źródło prądowe I_1. Do węzła V_2 dołączone są admitancje Y_2, Y_3, Y_4 a do węzła V_3 dołączone są admitancje Y_1, Y_3 oraz źródło prądowe I_2.



Rys. 4. Metoda węzłowa.

Macierz węzłowa Y i wektor pobudzeń $I_{źr}$ mają postać:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 & -Y_1 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 + Y_4 & -Y_3 \\ -Y_1 & -Y_3 & Y_3 + Y_4 \end{bmatrix}, I_{źr} = \begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

$$V = Y^{-1} \cdot I_{źr}$$

Poszczególne prądy gałęziowe można wyrazić, jako:

$$I_1 = Y_1(V_1 - V_3)$$

$$I_2 = Y_2(V_1 - V_2)$$

$$I_3 = Y_3(V_2 - V_1)$$

$$I_4 = Y_4 V_2$$

Każdy element elektroniczny (w szczególności elementy bierne) charakteryzują się nominalną wartością, precyzją i maksymalną mocą strat, zwykle tolerancja wartości wynosi 10%, 5% lub dla elementów precyzyjnych 1%. Przekroczenie zalecanych reżimów pracy może spowodować uszkodzenie elementów.

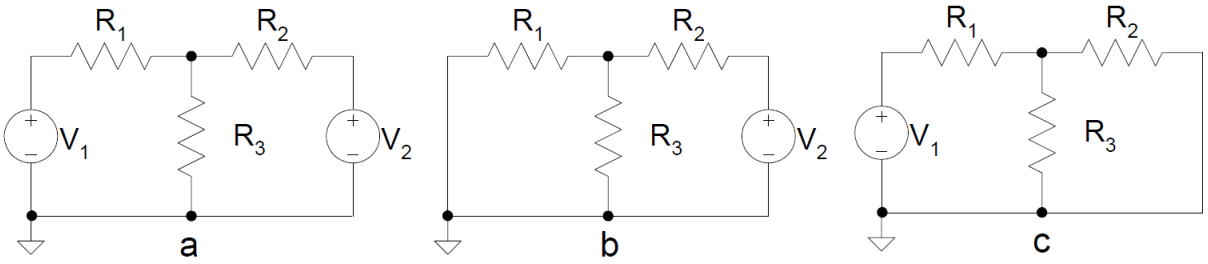
Przebieg ćwiczenia - badania oraz pomiary.

1. Pomiar przesunięcia fazowego metodą elipsy. Krzywe Lissajous.

Zapoznać się z elementami kontrolnymi oscyloskopu. Podłączając do kanałów A i B oscyloskopu generatory przebiegów sinusoidalnych przedstawić krzywe Lissajous. Jak interpretować powstałe figury? Ustawić na obu generatorach przebiegi o takiej samej częstotliwości. Jak z otrzymanej figury można określić przesunięcie fazowe?

2. Zasada superpozycji.

a) zmontować układ jak na rysunku 5a,
b) zmierzyć i zanotować wartości prądów i napięć występujących na rezystorach R_1, R_2 i R_3. Zwrócić uwagę na kierunki przepływu prądu i znaki napięć,
c) odłączyć od układu źródło V_1 a wolne końcówki zewrzeć jak na rysunku 5b. zanotować wartości i znaki prądów i napięć,
d) ponownie włączyć źródło V_1, jednocześnie odłączając źródło V_2 i zwierając wolne końcówki jak na rysunku 5c zmierzyć wartości prądów i napięć.
e) dodać do siebie wartości prądów i napięć występujące w układach b i c i porównać z wartościami otrzymanymi w układzie a.
f) napisać i rozwiązać układ równań oczkowych dla schematu a i porównać otrzymane wyniki z wartościami wyznaczonymi wcześniej.
Przyjąć: $V_1 = 5\ V, V_2 = 15\ V, R_1 = 5\ k\Omega, R_2 = 10\ k\Omega$ i $R_3 = 1\ k\Omega$



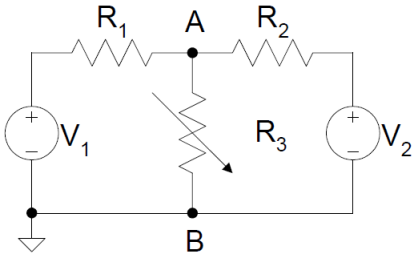
Rys. 5. Układ do badania zasady superpozycji.

Wielkość	a	b	c	b+c	analitycznie
V_{R1}					
V_{R2}					
V_{R3}					
I_{R1}					
I_{R2}					
I_{R3}					

Tab. 1. Tabela do weryfikacji zasady superpozycji.

3. Zasada Thevenina.

a) połączyć układ jak na rysunku 6.
b) zmieniając wartość nastawy rezystora R_3
zmierzyć i zanotować w tabeli 5 do 7 wartości prądu I_{AB} i napięcia U_{AB} a następnie wykonać wykres $U_{AB} = f(I_{AB})$. Z wykresu wyznaczyć wartości $V(I = 0)$ oraz $I(V = 0)$.
c) odłączyć rezystor R_3 i zmierzyć napięcie U_{AB}. Porównać zmierzoną wartość z wartością wyznaczoną z wykresu.
d) zewrzeć końcówki AB i zmierzyć prąd I_{AB}. Porównać zmierzoną wartość z wartością wyznaczoną z wykresu.
e) wyliczyć, dla podanych wartości V_1, V_2, R_1 i R_2 zastępcze źródło Thevenina i porównać wyniki z wartościami wyznaczonymi wcześniej.
Przyjąć: $V_1 = 5\ V, V_2 = 15\ V, R_1 = 5\ k\Omega, R_2 = 1\ k\Omega$ i $R_3 = 10\ k\Omega$



Rys. 6. Układ do sprawdzenia zasady Thevenina.

U_{AB} [V]		...		
I_{AB} [mA]				

Tab. 2. Pomiar U_{AB} i I_{AB}.