Elementy elektroniczne i przyrządy pomiarowe

1. Czas trwania: 3h

2. Cele ćwiczenia

- Nabycie umiejętności posługiwania się miernikami uniwersalnymi, oscyloskopem, generatorem, zasilaczem itp.
- Nabycie umiejętności rozpoznawania i diagnostyki podstawowych elementów elektronicznych (rezystory, kondensatory, diody, tranzystory, układy scalone itp.).

3. Wymagana znajomość pojęć

- Multimetr cyfrowy:
    - pomiar U, I, R, C, L, pomiar DC, AC,
    - czujnik diodowy i czujnik ciągłości, sonda logiczna (stan Hi, Lo, X).
- Zasilacz:
    - wyjście pojedyncze (+, GND) i symetryczne (+, -, GND),
    - ograniczenie prądowe i napięciowe.
- Generator:
    - skokowa, płynna, precyzyjna regulacja częstotliwości, amplituda sygnału, składowa stała,
    - kształt sygnału (sinus, prostokąt, trójkąt, impuls, sygnał TTL), rezystancja wyjściowa.
- Oscyloskop:
    - podstawa czasu, skokowa, zmienna regulacja,
    - synchronizacja 50Hz, LINE, EXT, filtry synchronizacji, DC, AC LF, HF, polaryzacja,
    - poziom wyzwalania, źródło wyzwalania kanał A, B, A lub B,
    - zmiana rozdzielczości osi Y,
    - filtry wejściowe DC, AC, polaryzacja, odłączenie wejścia,
    - oscyloskop wielostrumieniowy i wielokanałowy,
    - przełączanie kanałów ALT, CHOP,
    - tryb pracy AUTO, NORMAL, ONE SHOT,
    - masa sygnału i oscyloskopu,
    - rezystancja i pojemność wejściowa,
    - sonda oscyloskopowa,
    - ostrość, intensywność astygmatyzm, podświetlenie,
    - tryby pracy: x-t, x-y, x-t-z, A+B, A-B,
    - pomiar przesunięcia fazowego,
    - krzywe Lissajous.
- Rozwiązywanie równań oczkowych.
- Prawa Kirchhoff'a.
- Zasada Thevenina.

© D. Fenc, J.J. Młodzianowski, 2008

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

$$I=\frac{U}{R}$$

I i II prawa Kirchhoff'a stwierdzają, że suma prądów wpływających do oczka jest równa zero ($\Sigma i=0$), oraz, że suma spadków napięć w oczku jest równa zero ($\Sigma u=0$).
Moc rozpraszana jest proporcjonalna do napięcia i prądu ($P=U*I$).
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, prąd w obwodzie płynie od zacisków dodatnich do ujemnych źródła (w źródle odwrotnie!). Siła elektromotoryczna źródła jest zdolnością tegoż do wytwarzania różnicy potencjałów.

4.1 Łączenie elementów elektronicznych
Z praw Kirchoffa wynika, że rezystancja szeregowo połączonych rezystorów jest równa:

$$R=\Sigma R_i$$

a równolegle:

$$\frac{1}{R}=\sum\frac{1}{R_i}$$ albo: $G=\Sigma G_i$ 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.

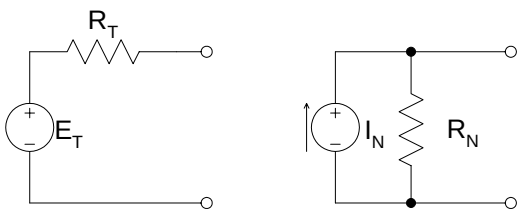
Uwaga:
Należy mówić o napięciu *panującym między* punktami układu i prądzie *płynącym przez* element. Pod żadnym pozorem nie wolno używać amperomierza do pomiaru napięcia!

© D. Fenc, J.J. Młodzianowski, 2008

Kondensatory elektrolityczne muszą być w odpowiedni sposób podłączane (polaryzowane) do układu.
Uziemienie polega na połączeniu obudów (oraz innych części metalowych) urządzeń pomiarowych z przewodem neutralnym (N lub zerowym) zasilającej sieci energetycznej. Zwykle jeden z punktów badanego układu jest również uziemiony.

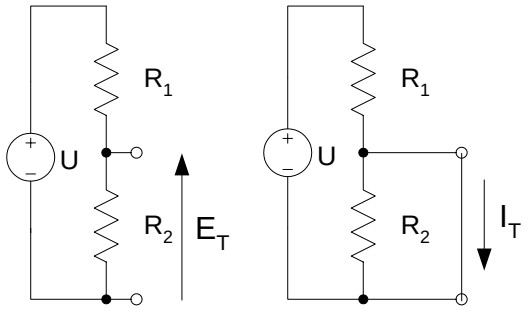
4.2 Zasada Thevenina

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 (źródła 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 Theveninana na wyjściu układu obliczamy jako napięcie na rezystorze R_2 a prąd Thevenina jako prąd płynący przez zwarte wyjście:

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

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

stąd:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad \text{albo: } R_T = R_1 || R_2$$

4.3 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. Napięciowe równania Kirchhoffa zapisane dla każdego z oczek można zastąpić opisem macierzowym całego obwodu:

$$\mathbf{Z} \cdot \mathbf{I_0} = \mathbf{E}$$

gdzie:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \dots & Z_{N3} \end{bmatrix}, \mathbf{E} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_N \end{bmatrix} \mathbf{I_0} = \begin{bmatrix} I_{01} \\ I_{02} \\ \dots \\ I_{0N} \end{bmatrix}$$

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.

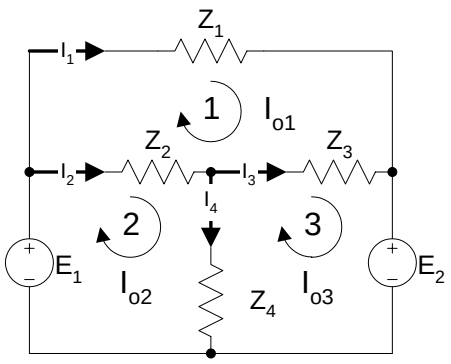
© D. Fenc, J.J. Młodzianowski, 2008

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, stad: $Z_{ij}=Z_{ji}$.
Element i-ty *wektora wymuszeń* **E** jest równy geometrycznej sumie wszystkich napięć źródłowych występujących w oczku.
Rozwiązując równanie macierzowe należy wyznaczyć nieznany wektor $\mathbf{I_0}$.

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

Równanie macierzowe (układ równań) można rozwiązać dowolną metodą (np. metodą wyznaczników lub metodą eliminacji Gaussa).
Wektor $\mathbf{I_0}$ opisuje *prądy oczkowe*. Znajomość wektora $\mathbf{I_0}$ 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 i 3), 4 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 gałęziowym 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, Z_4 i źródło E_1 a w oczku 3 znajdują się impedancje: Z_3, Z_4 oraz źródło E2.



Rys. 3 Metoda oczkowa.

Macierz oczkowa **Z** i wektor pobudzeń **E** mają postać:

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

Po wyznaczeniu wektora $\mathbf{I_0}$ można wyliczyć poszczególne prądy gałęziowe:

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

$$I_1=I_{01}$$
$$I_2=I_{02}-I_{01}$$
$$I_3=I_{03}-I_{01}$$
$$I_4=I_{02}-I_{03}$$

4.4 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 0V. W obwodzie dopuszcza się jedynie źródła prądowe. Ewentualne źródła napięciowe należy zastąpić zgodnie zasadą Thevenina-Nortona źródłami prądowymi. W opisie węzłowym wygodniej jest zastąpić impedancje admitancjami: Y=1/Z.

Macierz Y jest macierzą węzłową postaci:

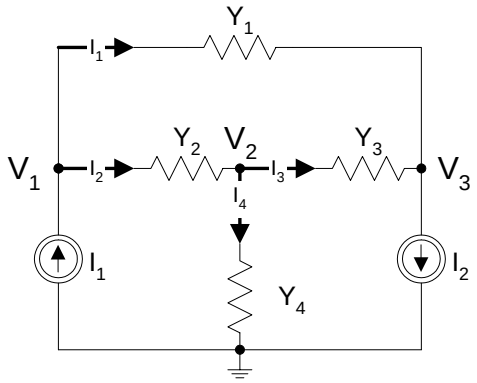
$$\mathbf{Y\cdot V=Iźr}$$

gdzie:

$$\mathbf{Y}=\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \dots & Y_{N3} \end{bmatrix}, \mathbf{V}=\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_N \end{bmatrix} \mathbf{I_{źr}}=\begin{bmatrix} I_{źr1} \\ I_{źr2} \\ \dots \\ I_{źrN} \end{bmatrix}$$

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 j a i, stad: $Y_{ij}=Y_{ji}$.
Elementy wektora **Iźr** 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: V1, V2 i V3 (czwarty węzeł ma potencjał 0V), 4 admitancji: Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 i dwu niezależnych źródeł prądowych: I_1 i I_2.
Prądami gałęziowym są: I_1, I_2, I_3 oraz I_4. Do węzła V1 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 **Iźr** mają postać:

$$\mathbf{Y}=\begin{bmatrix} Y_1+Y_2 & -Y_2 & -Y_1 \\ -Y_2 & Y_2+Y_3+Z_4 & -Y_3 \\ -Y_1 & -Y_3 & Y_3+Y_4 \end{bmatrix}, \mathbf{Iźr}=\begin{bmatrix} I_1 \\ 0 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}=\mathbf{Y}^{-1}\cdot\mathbf{Iźr}$$

Poszczególne prądy gałęziowe można wyrazić jako:

$$I_1=Y_1\cdot(V_1-V_3)$$
$$I_2=Y_2\cdot(V_1-V_2)$$
$$I_3=Y_3\cdot(V_2-V_1)$$
$$I_4=Y_4\cdot V_2$$

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.

5. Zadania pomiarowe

5.1. Rozpoznawanie i diagnostyka elementów elektronicznych.
Zapoznać się z wyglądem, opisem i sposobem diagnostyki elementów elektronicznych.

5.2. Podstawowe przyrządy pomiarowe.
Należy zaznajomić się z działaniem przyrządów pomiarowych dostępnych w pracowni. W szczególności potrafić wyjaśnić działanie i przeznaczenie poszczególnych elementów kontrolnych.

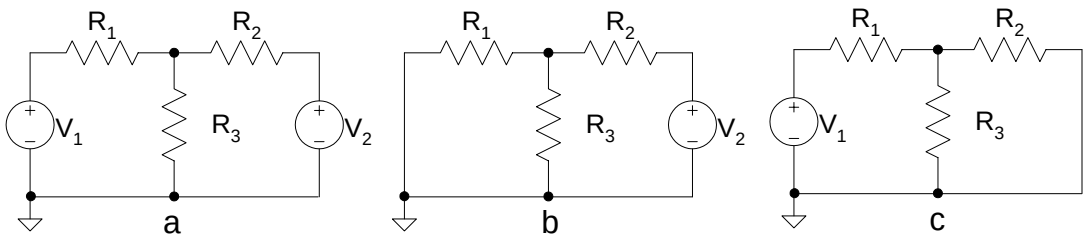
5.3. Pomiar rezystancji
Dla podanego, przez prowadzącego rezystora, dokonać pomiaru rezystancji a) przy użyciu miernika, b) poprzez pomiar napięcia i prądu. W każdym przypadku pomiar należy przeprowadzić zgodnie z zasadami statystycznej obróbki danych. Przedstawić i porównać otrzymane wyniki.

© D. Fenc, J.J. Młodzianowski, 2008

5.4. 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?

5.5. Zasada superpozycji.

1. Zmontować układ jak na rys. 5a.
2. 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.
3. Odłączyć od układu źródło V_1 a wolne końcówki zewrzeć jak na rys. 5b. Zanotować wartości i znaki prądów i napięć.
4. Ponownie włączyć źródło V_1, jednocześnie odłączając źródło V_2 i zwierając wolne końcówki jak na rys. 5c zmierzyć wartości prądów i napięć.
5. Dodać do siebie wartości prądów i napięć występujące w układach b i c i porównać z wartościami otrzymanymi w układzie a.
6. Napisać i rozwiązać układ równań oczkowych dla schematu a) i porównać otrzymane wyniki z wartościami wyznaczonymi wcześniej. Przyjąć: V_1=5V, V_2=,15V, R_1=4.7kΩ, R_2=10kΩ, R_3=1kΩ.



Rys. 5. Układ do badania zasady superpozycji.

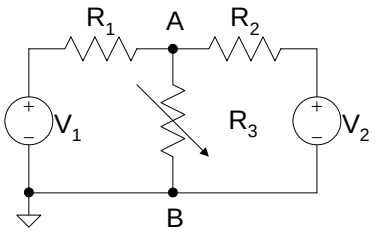
Wielkość	a	b	c	b+c	analitycznie
V_{R1}					
V_{R2}					
V_{R3}					
I_{R1}					
I_{R2}					
I_{R3}					

Tab. 1. Tabela do weryfikacji zasady superpozycji.

© D. Fenc, J.J. Młodzianowski, 2008

5.6. Zasada Thevenina

1. Połączyć układ jak na rys. 6.
2. Zmieniając wartość nastawy rezystora R_3 zmierzyć i zanotować w tabeli 5..7 wartości prądu I_{AB} i napięcia U_{AB} a następnie wykonać wykres $U_{AB}=f(I_{AB})$. Z wykresu wyznaczyć wartości V=V(I=0) oraz I=I(V=0).
3. Odłączyć rezystor R_3 i zmierzyć napięcie U_{AB}. Porównać zmierzoną wartość z wartością wyznaczoną z wykresu.
4. Zewrzeć końcówki AB i zmierzyć prąd I_{AB}. Porównać zmierzoną wartość z wartością wyznaczoną z wykresu.
5. 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=5V, V_2=15V, R_1=4.7kΩ, R_2=1kΩ, R_3=10kΩ.



Rys. 6. Układ do sprawdzenia zasady Thevenina.

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

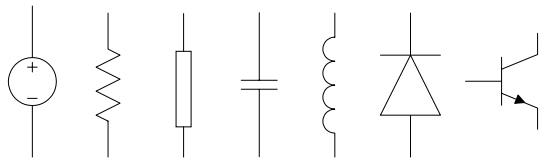
Tab. 2. Pomiar U_{AB} i I_{AB}.

6. Przyrządy

Zestaw laboratoryjny, zasilacz, miernik uniwersalny, generator, oscyloskop.

7. Literatura

Instrukcje obsługi przyrządów.
P.Horowitz, W.Hill, "Sztuka elektroniki", WKŁ 1995, ISBN 83-206-1128-8, Tom 1, str.16-27.
R. Śledziewski, "Elektronika dla fizyków", PWN 1982, ISBN 83-01-04076-9, str.14-24.
J.Rydzewski, "Pomiary oscyloskopowe", WNT



Rys. 7 Źródło napięcia, rezystor, impedancja, kondensator, induktor, dioda, tranzystor NPN.

© D. Fenc, J.J. Młodzianowski, 2008