

## LABORATORIUM 2. LINIOWE UKŁADY PRĄDU STAŁEGO

### Cel laboratorium

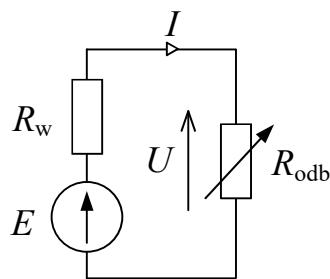
Celem zajęć jest poznanie pojęć związków z topologią rozgałęzionych obwodów elektrycznych i elektronicznych, doświadczalne potwierdzenie najważniejszych praw elektrotechniki oraz utrwalenie metodyki prowadzenia pomiarów podstawowych wielkości elektrycznych.

### Zakres tematyczny zajęć

- Badanie charakterystyk rzeczywistego źródła napięcia stałego.
- Eksperymentalne sprawdzenie praw elektrotechniki: I i II prawa Kirchhoffa, twierdzenia o superpozycji, twierdzenia Thevenina i zasady wzajemności (w wersji oczkowej).

### Wiadomości ogólne

Schemat obwodu, w którym rzeczywiste źródło napięcia obciążono odbiornikiem rezystancyjnym o regulowanej rezystancji pokazano na rysunku 2.1.



Rys. 2.1. Obciążenie rzeczywistego źródła napięcia stałego odbiornikiem o regulowanej rezystancji  
( $E$  – siła elektromotoryczna źródła napięcia,  $R_w$  – rezystancja wewnętrzna źródła,  
 $R_{\text{odb}}$  – rezystancja odbiornika)

W powyższym obwodzie zamkniętym popłynie prąd o natężeniu

$$I = \frac{E}{R_w + R_{\text{odb}}}. \quad (2.1)$$

Napięcie na zaciskach odbiornika (i jednocześnie źródła) będzie niższe niż siła elektromotoryczna źródła:

$$U = E - I \cdot R_w = I \cdot R_{\text{odb}} = \frac{E}{R_w + R_{\text{odb}}} R_{\text{odb}}. \quad (2.2)$$

Z powodu rezystancji wewnętrznej źródła, moc odbiornika

$$P = I^2 \cdot R_{\text{odb}} = \frac{E^2}{(R_w + R_{\text{odb}})^2} R_{\text{odb}} \quad (2.3)$$

będzie mniejsza od mocy dostarczanej przez źródło

$$P_{\text{zr}} = E \cdot I = \frac{E^2}{R_w + R_{\text{odb}}}. \quad (2.4)$$



Fundusze  
Europejskie  
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska

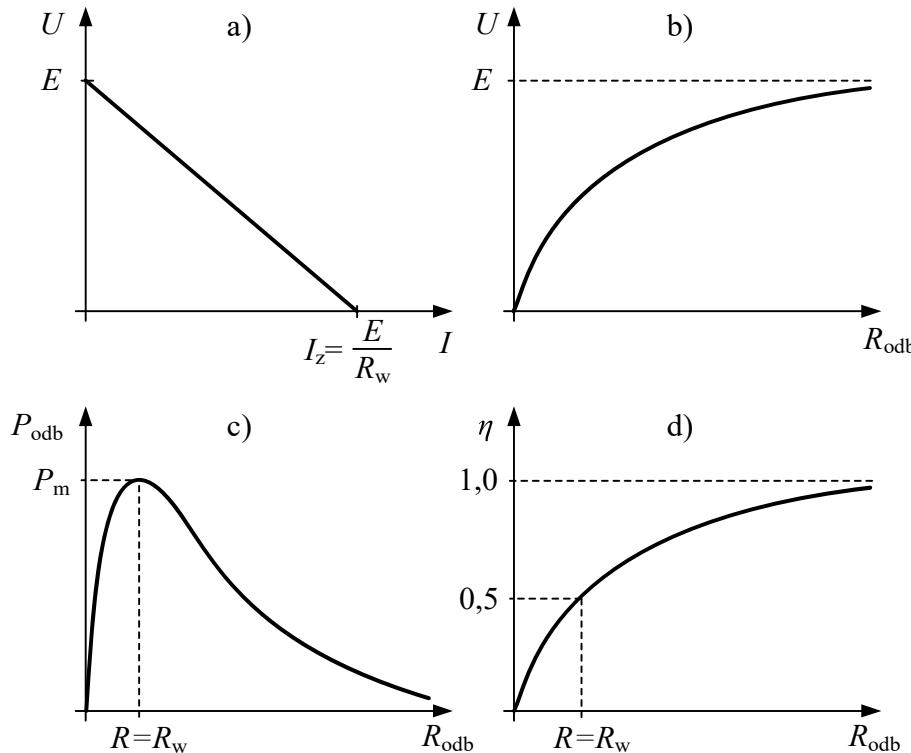


Unia Europejska  
Europejski Fundusz Społeczny

Sprawność tego obwodu będzie wynosić

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{zr}}} = \frac{I^2 \cdot R_{\text{odb}}}{E \cdot I} = \frac{R_{\text{odb}}}{R_w + R_{\text{odb}}}. \quad (2.5)$$

Charakterystyki obciążeniowe źródła opisane powyższymi wzorami zostały przedstawione na rysunku 2.2.



Rys. 2.2. Charakterystyki obciążeniowe rzeczywistego źródła napięcia:  
a)  $U = f(I)$ , b)  $U = f(R_{\text{odb}})$ , c)  $P_{\text{odb}} = f(R_{\text{odb}})$ , d)  $\eta = f(R_{\text{odb}})$

**Stan jałowy** źródła występuje, jeśli do jego zacisków nie podłączono odbiornika ( $R_{\text{odb}} \rightarrow \infty$ ) i w obwodzie nie płynie prąd. Natomiast w **stanie zwarcia** ( $R_{\text{odb}} = 0$ ) w obwodzie płynie prąd o największym możliwym natężeniu  $I_Z = \frac{E}{R_w}$ . W **stanie dopasowania** do odbiornika dociera ze źródła o danych parametrach największa możliwa moc. Aby wyznaczyć warunek stanu dopasowania należy rozwiązać równanie:

$$\frac{dP}{dR_{\text{odb}}} = 0, \quad (2.6)$$

$$\frac{d}{dR_{\text{odb}}} \left( E^2 \frac{R_{\text{odb}}}{(R_w + R_{\text{odb}})^2} \right) = 0, \quad (2.7)$$

$$E^2 \frac{R_w - R_{\text{odb}}}{(R_w + R_{\text{odb}})^3} = 0. \quad (2.8)$$



Fundusze Europejskie  
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska



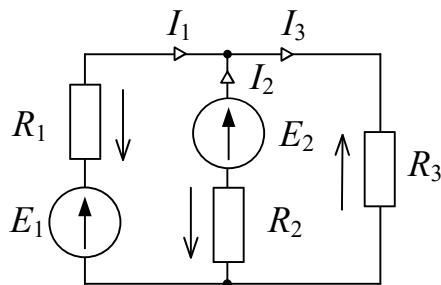
Unia Europejska  
Europejski Fundusz Społeczny

Warunkiem dopasowania jest rezystancja odbiornika równa rezystancji wewnętrznej źródła napięcia  $R_{\text{odb}} = R_w$ . Należy pamiętać, że w stanie dopasowania do odbiornika dociera największa możliwa moc  $P_m = \frac{E^2}{4 \cdot R_w}$ , ale sprawność obwodu wynosi tylko 50% (rys. 2.2d).

**Pierwsze prawo Kirchhoffa** dotyczy bilansu prądów węzle obwodu – suma wartości chwilowych natężen prądów jest równa zero. Oczywiście w bilansie należy uwzględnić zwrot prądów względem rozpatrywanego węzła.

Dla górnego węzła ze schematu na rysunku 2.3 należy zapisać równanie prądowe w postaci

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0. \quad (2.9)$$



Rys. 2.3. Schemat obwodu rozgałęzionego

**Drugie prawo Kirchhoffa** dotyczy bilansu napięć w oczku obwodu – suma wartości chwilowych napięć w oczku jest równa zero. W bilansie takim należy uwzględnić zwrot napięć względem przyjętego obiegu oczka.

Przed zapisaniem równania napięciowego dobrze jest oznaczyć strzałkami napięcia na elementach pasywnych obwodu. Na rysunku 2.3 wykonano tę czynność stosując zasadę, że napięcia odbiornikowe strzałkuje się w kierunku przeciwnym do przyjętego w danej gałęzi kierunku prądu. Przy takim założeniu grot strzałki napięcia wskazuje końcówkę elementu biernego o wyższym potencjale elektrycznym.

Zakładając kierunek zegarowy obiegu obu oczek, dla oczka po lewej stronie rysunku 2.3 należy zapisać równanie napięciowe w postaci

$$E_1 - R_1 \cdot I_1 - E_2 + R_2 \cdot I_2 = 0, \quad (2.10)$$

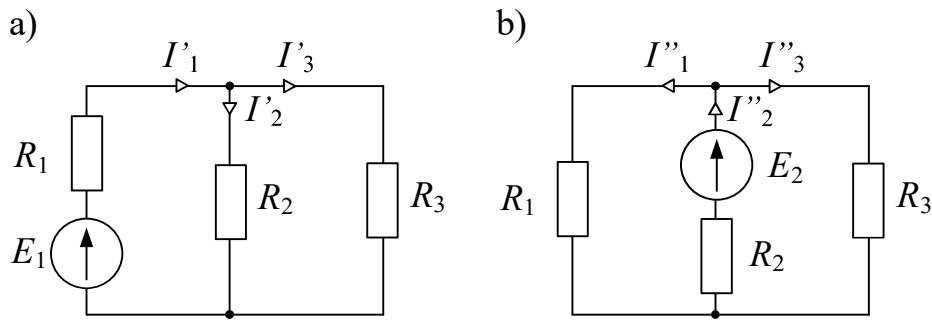
a dla oczka po prawej stronie schematu

$$E_2 - R_3 \cdot I_3 - R_2 \cdot I_2 = 0. \quad (2.11)$$

Stosując **twierdzenie o superpozycji** można wyznaczyć odpowiedź obwodu liniowego na jednoczesne działanie wielu wymuszeń – odpowiedź w takiej sytuacji jest równa sumie odpowiedzi na każde wymuszenie osobno. Oczywiście sumując natężenia prądów należy uwzględniać ich kierunki (znaki). Obwody nieliniowe nie spełniają zasadysy superpozycji.

Budując schematy zastępcze dla pojedynczych źródeł na potrzeby superpozycji należy pamiętać o zasadach eliminacji pozostałych źródeł: idealne źródła napięcia zastępuje się zwarciem, idealne źródła prądu – przerwą.

Na rysunku 2.4 przedstawiono pomocnicze schematy a) i b) zadań częściowych przygotowanych dla obwodu z rysunku 2.3.



Rys. 2.4. Schematy pomocnicze do twierdzenia o superpozycji

Stosując podaną metodę można np. dla środkowej gałęzi ze schematu 2.3 zapisać równanie superpozycji

$$I_2 = -I'_2 + I''_2 = -\frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} + \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}}, \quad (2.12)$$

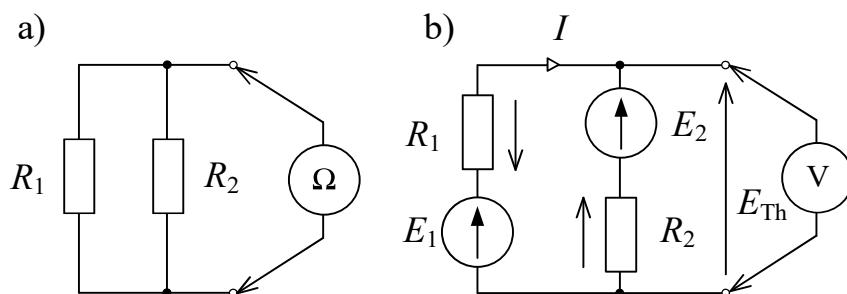
gdzie:  $I'_2$  – natężenie prądu wywołane przez źródło  $E_1$  działające samodzielnie (w zapisie wykorzystano m.in. równanie dzielnika prądu),  $I''_2$  – natężenie prądu wywołane w środkowej gałęzi tylko przez źródło  $E_2$ .

**Twierdzenie Thevenina** (twierdzenie o zastępczym źródle napięcia) pozwala zastąpić dowolnie skomplikowany liniowy obwód zasilania odbiornika układem równoważnym, złożonym tylko z jednego rzeczywistego źródła napięcia. Siła elektromotoryczna tego zastępczego źródła jest równa napięciu na zaciskach, do których podłączony był odbiornik (w stanie jałowym zasilającego), a rezystancja wewnętrzna zastępczego źródła jest równa rezystancji zastępczej obwodu zasilania w wersji pasywnej (po wyeliminowaniu źródeł energii wg zasad podanych przy twierdzeniu o superpozycji).

Zakładając, że w obwodzie z rysunku 2.3 odbiornikiem energii jest rezistor  $R_3$ , a pozostałe elementy tworzą układ zasilania, można narysować schematy ułatwiające wyznaczania parametrów zastępczego źródła Thevenina (rys. 2.5) i zapisać wzory:

$$R_{Th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2.13)$$

$$E_{Th} = E_2 + I \cdot R_2 = E_2 + \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} R_2. \quad (2.14)$$

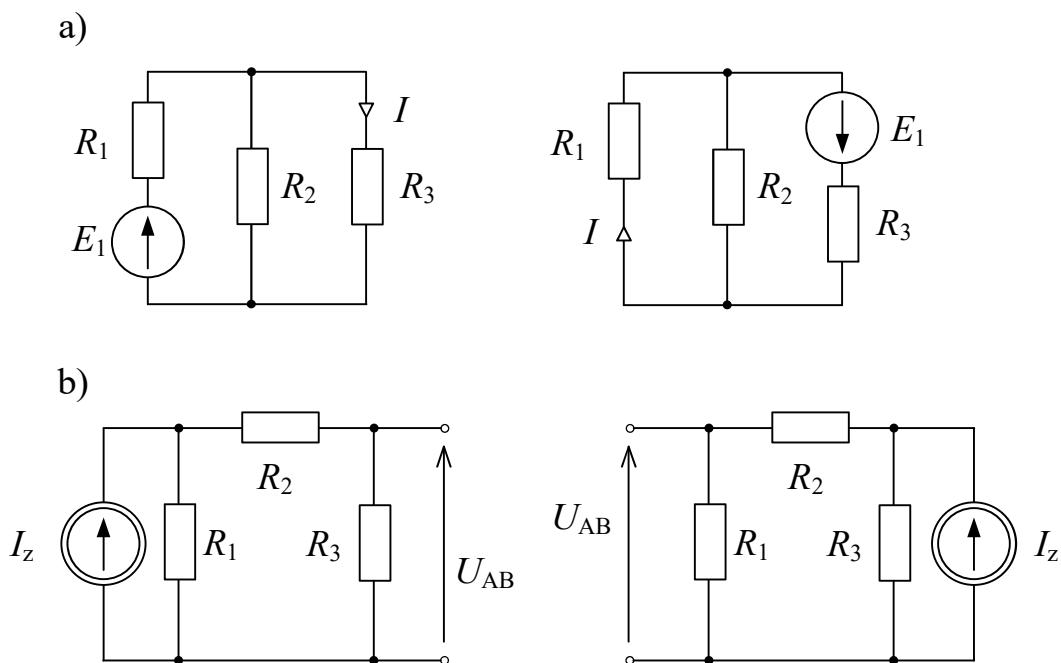


Rys. 2.5. Schematy pomocnicze do wyznaczania parametrów źródła Thevenina:  
a) wyznaczanie rezystancji wewnętrznej, b) wyznaczanie siły elektromotorycznej



**Twierdzenia o wzajemności** są słuszne dla obwodów liniowych rozgałęzionych z pojedynczym źródłem energii. Jeżeli źródło napięcia  $E$  znajdujące się w gałęzi X wywołuje w gałęzi Y prąd o natężeniu  $I$ , to po przeniesieniu tego źródła do gałęzi Y, w gałęzi X popłynie prąd o natężeniu  $I$ . Jest to **wersja oczkowa** twierdzenia o wzajemności (rys. 2.6a).

**Wersja węzlowa** twierdzenia, pozwala wnioskować, że jeżeli źródło prądu  $I_Z$  działające w gałęzi X wywołuje napięcie  $U_{AB}$  pomiędzy węzłami A i B innej gałęzi, to po podłączeniu tego źródła do węzłów A i B takie samo napięcie  $U_{AB}$  pojawi się na zaciskach otwartej gałęzi X (rys. 2.6b).



Rys. 2.6. Schematy obrazujące twierdzenie o wzajemności: a) wersja oczkowa, b) wersja węzlowa

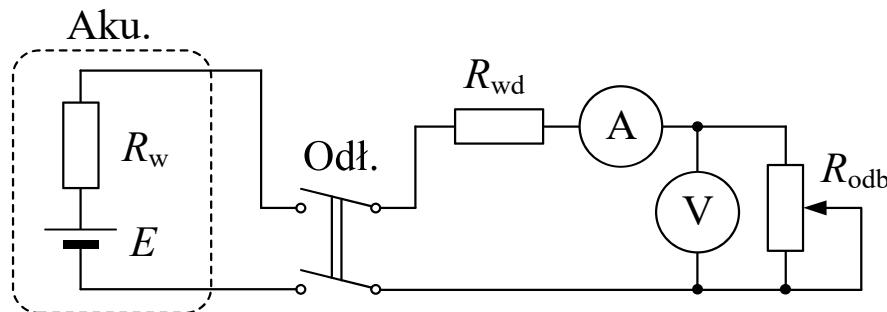
### Pytania kontrolne

- Parametry i charakterystyki rzeczywistego źródła napięcia; stany pracy.
- I i II prawo Kirchhoffa.
- Twierdzenie o superpozycji.
- Twierdzenie Thevenina.
- Twierdzenia o wzajemności.

### Zadanie 2.1. Badanie rzeczywistego źródła napięcia stałego

W układzie z rysunku 2.7 należy przeprowadzić badanie charakterystyki zewnętrznej rzeczywistego źródła napięcia stałego. Przed rozpoczęciem pomiarów należy odczytać i zanotować dopuszczalne natężenia prądów dla wykorzystywanych rezystorów. Przekraczanie wartości dopuszczalnych skutkuje przegrzewaniem tych elementów i ich uszkodzeniami termicznymi.

Serię pomiarową warto rozpocząć od pomiaru siły elektromotorycznej  $E$  badanego źródła (napięcie na zaciskach nieobciążonego źródła). Następnie należy wykonywać pomiary napięcia na odbiorniku i natężenia prądu w obwodzie, zmieniając wartość rezystancji odbiornika  $R_{\text{odb}}$ .



Rys. 2.7. Schemat układu pomiarowego do badania stanu obciążenia rzeczywistego źródła napięcia stałego (Aku. – akumulator – rzeczywiste źródło napięcia stałego, Odl. – odłącznik stanowiskowy,  $R_{wd}$  – rezystor dodatkowy powiększający rezystancję wewnętrzną źródła  $R_w$ ,  $A$  – amperomierz prądu stałego,  $V$  – woltomierz napięcia stałego,  $R_{odb}$  – rezystor suwakowy – odbiornik energii o regulowanej rezystancji)

Tabela 2.1. Tabela pomiarowo-obliczeniowa do badania rzeczywistego źródła napięcia stałego

lp.	siła elektromotoryczna źródła $E = 19V$						
	$U$	$I$	$R_{odb}$	$R_w$	$P_{zr}$	$P_{odb}$	$\eta$
	V	A	$\Omega$	$\Omega$	W	W	-
1	8.26	8.26	1	1.3	156.94	68.2276	0.4347
2	13.4	4.31	3.11	1.3	81.89	57.7717	0.7054
3	15.2	2.91	5.22	1.3	55.29	44.2035	0.7995
4	16.1	2.2	7.33	1.3	41.8	35.4772	0.8487
5	16.7	1.77	9.44	1.3	33.63	29.5746	0.8794
6	17.1	1.48	11.6	1.3	28.12	25.4086	0.9036
7	17.3	1.27	13.7	1.3	24.13	22.0967	0.9157
8	17.6	1.11	15.8	1.3	21.09	19.4671	0.9230
9	17.7	0.99	17.9	1.3	18.81	17.5438	0.9327
10	17.8	0.892	20	1.3	16.948	15.9132	0.9389
				$R_{w\text{sr}} =$	1.3		

### Opracowanie wyników

Obliczenia należy wykonać zakładając, że siła elektromotoryczna  $E$  badanego źródła napięcia nie ulegała zmianom w czasie serii pomiarowej. W sprawozdaniu należy wykonać następujące wykresy:

- napięcia na zaciskach odbiornika w funkcji prądu  $U = f(I)$ ,
- natężenia prądu w funkcji rezystancji odbiornika  $I = f(R_{odb})$ ,
- napięcia na zaciskach odbiornika w funkcji jego rezystancji  $U = f(R_{odb})$ ,
- mocy odbiornika w funkcji jego rezystancji  $P_{odb} = f(R_{odb})$ ,
- sprawności zasilania w funkcji rezystancji odbiornika  $\eta = f(R_{odb})$ .

Znając parametry źródła  $E$  i  $R_{w\text{sr}}$  należy obliczyć maksymalną moc odbiornika w stanie dopasowania i porównać ją z największą wartością odczytaną z wykresu  $P_{odb} = f(R_{odb})$ .



Fundusze Europejskie  
Wiedza Edukacja Rozwój



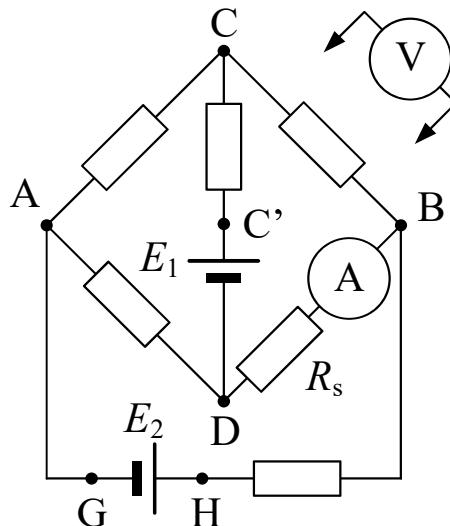
Rzeczpospolita  
Polska



Unia Europejska  
Europejski Fundusz Społeczny

### Zadanie 2.2. Sprawdzenie II prawa Kirchhoffa

W układzie z rysunku 2.8 należy wykonać pomiary napięć pomiędzy węzłami gałęzi elektrycznych tworzących oczko obwodu. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 2.2.



Rys. 2.8. Schemat układu pomiarowego do sprawdzania praw Kirchhoffa ( $E_1, E_2$  – akumulatory,  $R_s$  – rezistor suwakowy,  $A$  – amperomierz prądu stałego,  $V$  – woltomierz napięcia stałego)

Tabela 2.2. Tabela pomiarowo-obliczeniowa do sprawdzenia II prawa Kirchhoffa

oczko	pomiary napięcia		równanie i bilans napięć w oczku
	oznaczenie	wartość	$\Sigma U$
		V	V
ACC'DA	$U_{CA}$	7.44	$U_{CA}+U_{C'C}-U_{C'D}+U_{AD}=0$ $7.44+5.39-10-2.84=0$
	$U_{C'C}$	5.39	
	$U_{C'D}$	10	
	$U_{AD}$	-2.84	
BCC'DB	$U_{CB}$	-0.126	$U_{CB}+U_{C'C}-U_{C'D}+U_{BD}=0$ $-0.126+5.39-10+4.73=0$
	$U_{C'C}$	5.39	
	$U_{C'D}$	10	
	$U_{BD}$	4.73	
ADBHG	$U_{AD}$	-2.84	$-U_{AD}+U_{BD}+U_{HB}-U_{HG}=0$ $2.84+4.73+2.43-10=0$
	$U_{BD}$	4.73	
	$U_{HB}$	2.43	
	$U_{HG}$	10	

### Opracowanie wyników

Dla dwóch wybranych oczek obwodu sformułować równania napięciowe i obliczeniowo potwierdzić słuszność II prawa Kirchhoffa. Zapisać treść napięciowego prawa Kirchhoffa.

Na podstawie zmierzonych napięć, należy wykonać wykres potencjałów elektrycznych w kolejnych węzłach obwodu ACC'DBHG. W celu obliczenia potencjałów założyć zerowy potencjał odniesienia jednego z węzłów (np. węzła A).



Fundusze Europejskie  
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska



Unia Europejska  
Europejski Fundusz Społeczny

### Zadanie 2.3. Sprawdzenie I prawa Kirchhoffa

Wyniki pomiarów napięć ma gałęziach obwodu należy przenieść z poprzedniego zadania. Z układu pokazanego na rysunku 2.8 należy odłączyć źródła napięcia oraz amperomierz, a następnie posługując się omomierzem, zmierzyć rezystancje elementów pasywnych znajdujących się w gałęziach tego obwodu. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 2.3.

Tabela 2.3. Tabela pomiarowo-obliczeniowa do sprawdzenia I prawa Kirchhoffa

węzeł	pomiary napięcia		pomiary rezystancji		natężenia prądów	
	oznaczenie	wartość	oznaczenie	wartość	oznaczenie	wartość
		V		Ω		mA
A	$U_{CA}$	7.44	$R_{CA}$	8	$I_{CA}$	0.93
	$U_{AD}$	-2.84	$R_{AD}$	10	$I_{AD}$	-0.284
	$U_{HB}$	2.43	$R_{HB}$	2	$I_{HB}$	1.215
B	$U_{CB}$	-0.126	$R_{CB}$	4	$I_{CB}$	0.0315
	$U_{BD}$	4.73	$R_{BD}$	4	$I_{BD}$	1.1825
	$U_{HB}$	2.43	$R_{HB}$	2	$I_{HB}$	1.215
C	$U_{CA}$	7.44	$R_{CA}$	8	$I_{CA}$	0.93
	$U_{CB}$	-0.126	$R_{CB}$	4	$I_{CB}$	0.0315
	$U_{C'C}$	5.39	$R_{C'C}$	6	$I_{C'C}$	0.898(3)
D	$U_{AD}$	-2.84	$R_{AD}$	10	$I_{AD}$	-0.284
	$U_{BD}$	4.73	$R_{BD}$	4	$I_{BD}$	1.1825
	$U_{C'C}$	5.39	$R_{C'C}$	6	$I_{C'C}$	0.898(3)
równanie i bilans natężeń prądów w węźle A						
A	$I_{HB} + I_{AD} = I_{CA}$		$1.215 - 0.284 = 0.93$			
B	$I_{CB} + I_{BD} = I_{HB}$		$0.0315 + 1.1825 = 1.215$			
C	$I_{C'C} + I_{CB} = I_{CA}$		$0.898(3) + 0.0315 = 0.93$			
D	$I_{BD} + I_{AD} = I_{C'C}$		$1.1825 - 0.284 = 0.898(3)$			

### Opracowanie wyników

Korzystając z prawa Ohma należy obliczyć natężenia prądów w gałęziach obwodu. Następnie dla trzech wybranych węzłów tego obwodu sformułować równania prądowe i obliczeniowo potwierdzić słuszność I prawa Kirchhoffa. Zapisać treść prądowego prawa Kirchhoffa.

### Zadanie 2.4. Sprawdzenie twierdzenia o superpozycji

W układzie z rysunku 2.8 należy wykonać pomiary natężenia prądu w gałęzi włączonej pomiędzy węzły B i D w następujących konfiguracjach źródeł zasilania:

- zasilanie z obu źródeł napięcia (schemat jak na rysunku 2.8) – natężenie  $I$ ,
- zasilanie tylko ze źródła  $E_1$  (źródło  $E_2$  odłączone, a zaciski do których było wcześniej podłączone – zwarte) – natężenie  $I'$ ,
- zasilanie tylko ze źródła  $E_2$  (źródło  $E_1$  odłączone, a zaciski do których było wcześniej podłączone – zwarte) – natężenie  $I''$ .

Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli 2.4.



Fundusze Europejskie  
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczypospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz Społeczny



Tabela 2.4. Tabela pomiarowo-obliczeniowa do sprawdzenia twierdzenia o superpozycji

<b>I</b>	<b>I'</b>	<b>I''</b>	<b>I'+I''</b>
<b>mA</b>	<b>mA</b>	<b>mA</b>	<b>mA</b>
1.18	0.615	0.568	1.18

### Opracowanie wyników

Należy obliczyć sumę prądów  $I'+I''$  wywołanych przez każde źródło osobno i porównać jej wartość ze zmierzonym natężeniem  $I$  przy obu działających źródłach. Na podstawie uzyskanych wyników sformułować treść twierdzenia o superpozycji.

### Zadanie 2.5. Sprawdzenie twierdzenia Thevenina

W układzie z rysunku 2.8 należy wykonać następujące pomiary:

- napięcia  $U_{BD}$  na gałęzi z odbiornikiem oznaczonym  $R_S$  i amperomierzem podczas normalnej pracy obwodu,
- natężenia prądu odbiornika  $I$  w gałęzi BD podczas normalnej pracy obwodu,
- napięcia  $U_{0BD}$  w stanie jałowym obwodu zasilającego (wyznaczenie siły elektromotorycznej zastępczego źródła Thevenina), tzn. po odłączeniu odbiornika  $R_S$  ( $R_S \rightarrow \infty$ ),
- natężenia prądu  $I_Z$  w stanie zwarcia zacisków obwodu zasilającego ( $R_S = 0$ ),
- rezystancji zastępczej  $R'$  wersji pasywnej obwodu zasilającego (wyznaczenie rezystancji wewnętrznej zastępczego źródła Thevenina) – pomiar należy wykonać omomierzem po odłączeniu źródeł napięcia i zwarciu zacisków, do których były one podłączone.

Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli 2.5.

Tabela 2.5. Tabela pomiarowo-obliczeniowa do sprawdzenia twierdzenia Thevenina

<b>U<sub>BD</sub></b>	<b>I</b>	<b>R<sub>S</sub></b>	<b>U<sub>0BD</sub></b>	<b>I<sub>Z</sub></b>	<b>R</b>	<b>R'</b>	<b>I<sub>OBL</sub></b>	<b>I'<sub>OBL</sub></b>
V	mA	$\Omega$	V	mA	$\Omega$	$\Omega$	mA	mA
4.73	1.18	4	11	2.07	5.314	4	1.181	1.375

### Opracowanie wyników

Należy wyznaczyć rezystancję odbiornika  $R_S$  metodą techniczną:

$$R_S = \frac{U_{BD}}{I} \quad (2.15)$$

Wyznaczyć rezystancję wersji pasywnej obwodu zasilającego (rezystancja wewnętrzna zastępczego źródła Thevenina) na podstawie pomiarów stanu jałowego i stanu zwarcia:

$$R' = \frac{U_{0BD}}{I_Z} \quad (2.16)$$

Obliczyć dwiema metodami natężenia prądu odbiornika  $I_{OBL}$  oraz  $I'^{OBL}$ :

$$I_{OBL} = \frac{U_{0BD}}{R + R_S}, \quad (2.17)$$



Fundusze Europejskie  
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita  
Polska



Unia Europejska  
Europejski Fundusz Społeczny

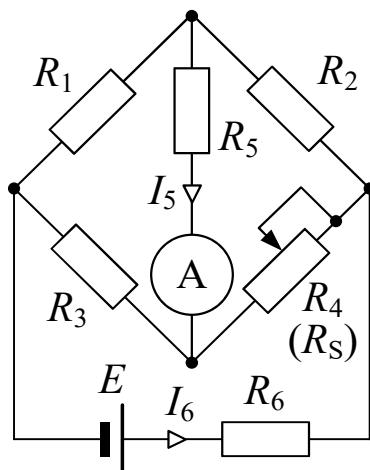
$$I'_{\text{OBL}} = \frac{U_{\text{OBD}}}{R' + R_s}. \quad (2.18)$$

Należy następnie porównać obie obliczone wartości z natężeniem zmierzonym  $I$ , wyjaśniając ewentualne rozbieżności oraz sformułować treść twierdzenia Thevenina.

### Zadanie 2.6. Sprawdzenie zasady wzajemności

W układzie z rysunku 2.9 należy wykonać pomiary wg następującej procedury:

- doprowadzić mostek elektryczny do stanu równowagi tzn. regulując rezystancję  $R_4$  ( $R_s$ ) sprowadzić natężenie prądu w środkowej gałęzi  $I_5$  do zera,
- zamienić miejscami źródło napięcia  $E$  i amperomierz, zmierzyć natężenie prądu  $I_6$ ,
- wyrowadzić mostek ze stanu równowagi ustawiając za pomocą rezystora  $R_4$  ( $R_s$ ) niezerowe natężenie prądu  $I'_6$ ,
- ponownie zamienić miejscami źródło napięcia  $E$  i amperomierz, zmierzyć natężenie prądu  $I'_5$ .



Rys. 2.9. Schemat układu pomiarowego do sprawdzania zasady wzajemności  
( $E$  – akumulator,  $R_s$  – rezistor suwakowy,  $A$  – amperomierz prądu stałego)

Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli 2.6.

Tabela 2.6. Tabela pomiarowo-obliczeniowa do sprawdzania zasady wzajemności

$I_5$ mA	$I_6$ mA	$I'_6$ mA	$I'_5$ mA

### Opracowanie wyników

Należy wyjaśnić ewentualne rozbieżności w pomiarach, sformułować treść zasady wzajemności w postaci oczkowej.