

ĆWICZENIE 1

DWÓJNIK ŹRÓDŁOWY PRĄDU STAŁEGO

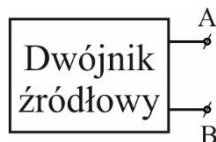
Cel ćwiczenia: Sprawdzenie zasady równoważności dla dwójnika źródłowego (twierdzenie Thevenina, twierdzenie Nortona), sprawdzenie warunku dopasowania odbiornika do źródła.

1.1. PODSTAWY TEORETYCZNE ĆWICZENIA

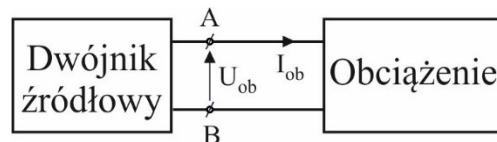
1.1.1. Dwójnik źródłowy i jego stany pracy

Dwójnik jest to dowolnie złożony układ elektryczny o wyróżnionych i wyprowadzonych na zewnątrz dwu zaciskach A i B (rys.1.1). Stan pracy dwójnika określają wartości napięcia $U_{ob}=U_{AB}$ między wyróżnionymi zaciskami A-B i natężenia prądu I_{ob} w obciążeniu dwójnika. Wartości te zależą zarówno od parametrów samego dwójnika jak i od parametrów obwodu zewnętrznego, stanowiącego obciążenie dwójnika (rys.1.2).

Dwójnik źródłowy to taki który zawiera w swej strukturze źródła zasilania (napięciowe lub prądowe).



Rys.1.1. Symbol graficzny dwójnika

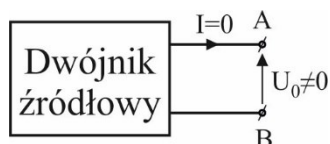


Rys.1.2. Dwójnik w warunkach pracy

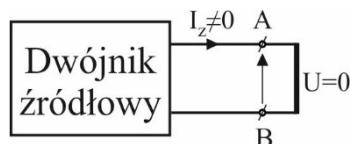
Rozróżnia się trzy stany pracy dwójnika, dwa graniczne i jeden pośredni (pomiędzy granicznymi). Granicznymi stanami pracy dwójnika źródłowego są:

a) **stan jałowy**, gdy do końcówek dwójnika nie jest dołączone żadne obciążenie. W tym przypadku natężenie prądu I w obwodzie zewnętrznym jest równe 0, natomiast napięcie między zaciskami A-B dwójnika, oznaczane jest jako U_o , o wartości różnej od zera (rys. 1.3) nazywamy napięciem stanu jałowego.

b) **stan zwarcia**, gdy końcówki dwójnika są połączone bezrezystancyjnym przewodem. W tym przypadku napięcie U między końcówkami dwójnika jest równe 0, natomiast prąd płynący pomiędzy końcówkami dwójnika oznaczony jest jako I_z o wartości różnej od 0 (rys. 1.4) jest nazywamy prądem zwarcia dwójnika.



Rys.1.3. Dwójnik w stanie jałowym



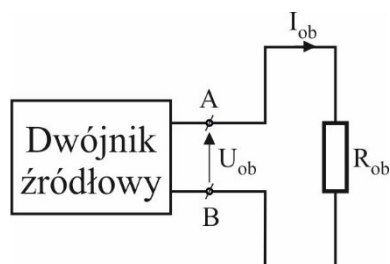
Rys.1.4. Dwójnik w stanie zwarcia

Można stwierdzić że jeżeli:

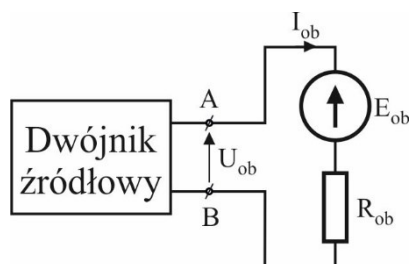
1. napięcie dwójnika w stanie jałowym jest różne od zera ($U_o \neq 0$),
2. natężenie prądu dwójnika w stanie zwarcia jest różne od zera ($I_z \neq 0$),

to taki dwójnik nazywamy **dwójnikiem źródłowym**. Dwójnik który nie wykazuje chociaż jednej z wymienionych własności jest **dwójnikiem bezźródłowym**.

Stan pośredni pracy dwójnika, nazwany stanem roboczym, gdy końcówki dwójnika są połączone poprzez obciążenie o rezystancji $\infty > R_{ob} > 0$, którego dwa często spotykane przypadki pokazano na rys.1.5 i 1.6.



Rys.1.5. Dwójnik obciążony gałęzią pasywną



Rys.1.6. Dwójnik obciążony gałęzią aktywną

Napięcie w stanie jałowym i natężenie prądu w stanie zwarcia całkowicie charakteryzują dwójnik źródłowy. Wielkości te będziemy nazywać **parametrami zewnętrznymi dwójnika**. Parametry zewnętrzne można zmierzyć lub wyznaczyć analitycznie. Do wyznaczenia parametrów zewnętrznych na drodze analitycznej trzeba znać schemat obwodu stanowiącego dwójnik.

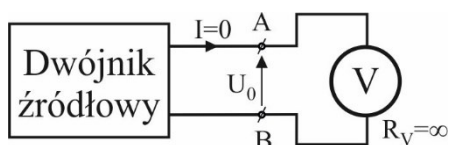
Dwójnik bezźródłowy jednoznacznie charakteryzuje jeden parametr – rezystancja dwójnika widziana z jego zacisków A-B.

1.1.2. Twierdzenie Thevenina

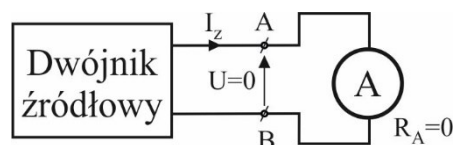
Twierdzenie Thevenina (jak i twierdzenie Nortona, omówione poniżej), wynika z zasady równoważności, która mówi że *dwa układy n zaciskowe są sobie równoważne, gdy ich wzajemna zamiana nie powoduje zmiany wielkości zaciskowych (u_k , i_k) związanych z ich końcówkami*.

Niech będzie dany liniowy dwójnik źródłowy z zaciskami A-B. Na zaciskach A-B wykonuje się dwa pomiary:

- idealnym woltomierzem (o rezystancji wewnętrznej równej ∞) pomiar napięcia U_o w stanie jałowym (rys. 1.7),
- idealnym amperomierzem (o rezystancji wewnętrznej równej 0) pomiar prądu I_z w stanie zwarcia (rys. 1.8).



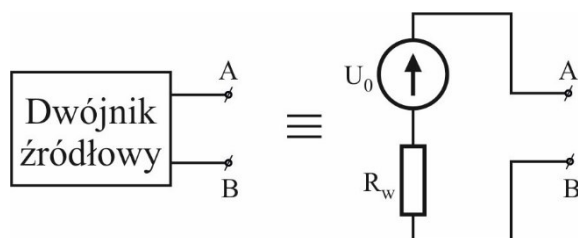
Rys.1.7. Pomiar napięcia stanu jałowego



Rys.1.8. Pomiar prądu zwarcia

Twierdzenia Thevenina:

Każdy liniowy dwójnik źródłowy o napięciu stanu jałowego U_o i prądzie zwarcia I_z , od strony swych zacisków A-B jest równoważny układowi zastępczemu złożonemu z szeregowego połączenia idealnego źródła napięci o napięciu źródłowym U_o i rezystora o rezystancji R_w określonej zależnością $R_w = \frac{U_o}{I_z}$ (rys.1.9).



Rys.1.9. Wynik zastosowania twierdzenie Thevenina

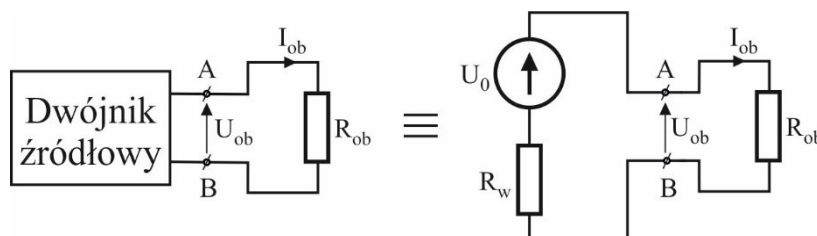
Twierdzenie Thevenina nosi również nazwę twierdzenia o zastępczym generatorze (źródle) napięcia.

Wnioski wynikające z twierdzenia Thevenina:

1. Jeżeli do zacisków danego liniowego dwójnika źródłowego (rys.1.5), między którymi występuje napięcie stanu jałowego U_o , dołączyć gałąź bezźródłową o rezystancji R_{ob} (rys.1.10), to prąd I_{ob} w tej gałęzi jest określony zależnością 1.1.

$$I_{ob} = \frac{U_o}{R_w + R_{ob}} \quad (1.1)$$

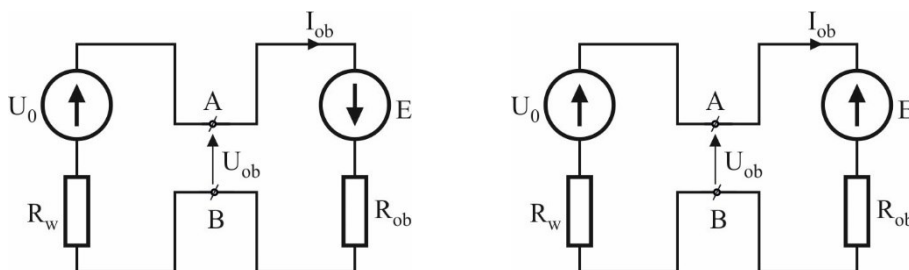
Wartość prądu I_{ob} dla $R_{ob}=0$ przyjmuje największą wartość równą prądowi zwarcia I_z , natomiast dla $R_{ob}=\infty$ przyjmuje najmniejszą wartość równą prądowi stanu jałowego ($I_{ob}=0$).



Rys. 1.10. Pierwszy wniosek z twierdzenia Thevenina

2. Jeżeli do zacisków danego liniowego dwójnika źródłowego (patrz rys. 1.6), między którymi występuje napięcie stanu jałowego U_o , dołączyć gałąź składającą się z szeregowego połączenia źródła napięciowego o wartości $E_{ob}=E$ i rezystancji R_{ob} , to prąd w tej gałęzi (zależność 1.2) jest określony ilorazem algebraicznej sumy napięć U_o oraz E przez sumę rezystancji R_w i R_{ob} (rys.1.11). Znak „+” ma zastosowanie dla schematu z lewej strony rys.1.11 a znak „-” dla schematu po prawej stronie tegoż rysunku.

$$I_{ob} = \frac{U_o \pm E}{R_w + R_{ob}} \quad (1.2)$$



Rys. 1.11. Drugi wniosek z twierdzenia Thevenina

1.1.3. Twierdzenie Nortona

Przekształcając równanie (1.1) do postaci:

$$U_o = I_{ob} \cdot R_{ob} + I_{ob} \cdot R_w \quad (1.3)$$

i dzieląc stronami przez R_w , otrzymujemy:

$$\frac{U_o}{R_w} = \frac{I_{ob} \cdot R_{ob}}{R_w} + I_{ob} \quad (1.4)$$

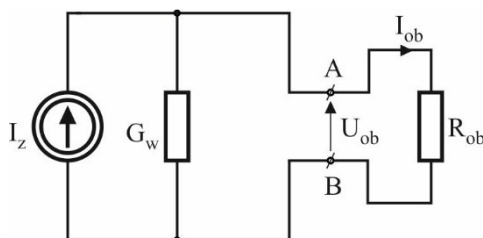
Ponieważ $\frac{U_o}{R_w} = I_z$ jest prądem zwarcia dwójnika źródłowego, oraz wprowadzając oznaczenie $\frac{I_{ob} \cdot R_{ob}}{R_w} = U_{ob} \cdot G_w = I_w$ równanie (1.4) można zapisać w postaci:

$$I_z = I_w + I_{ob} \quad (1.5)$$

gdzie: I_w – prąd płynący przez konduktancję G_w (konduktancję $G_w = \frac{1}{R_w}$) na zaciskach której występuje napięcie U_{ob} ,

I_{ob} – prąd płynący przez konduktancję obciążenia G_{ob} (konduktancję $G_{ob} = \frac{1}{R_{ob}}$) na zaciskach której występuje napięcie U_{ob} .

Równanie (1.5) opisuje układ równoległego połączenia źródła prądowego I_z i dwóch rezystancji R_w i R_{ob} (konduktancji G_w i G_{ob}) jak pokazano na rys. 1.12.

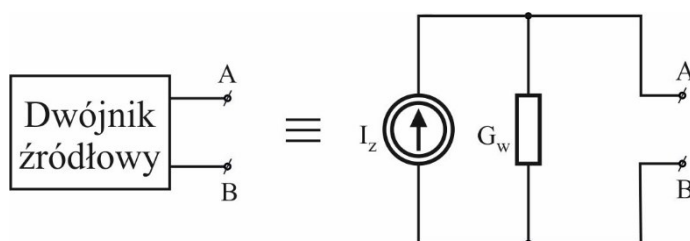


Rys. 1.12. Układ równoległego połączenia źródła prądowego I_z i dwóch konduktancji G_w i G_{ob} (rezystancji R_w i R_{ob})

Układ ten jest równoważny układowi z rys. 1.5 po zastosowaniu twierdzenia Nortona.

Twierdzenie Nortona można więc sformułować w sposób następujący:

Każdy liniowy dwójnik źródłowy o napięciu stanu jałowego U_o i prądzie zwarcia I , od strony swych zacisków jest równoważny układowi zastępczemu złożonemu z równoległego połączenia idealnego źródła prądowego o prądzie źródłowym I_z i rezystora o konduktancji G_w określonej zależnością $G_w = \frac{I_z}{U_o}$ (rys.1.13).



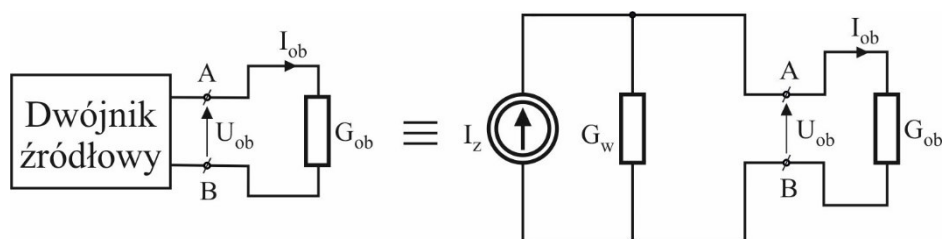
Rys.1.13. Wynik zastosowania twierdzenia Nortona

Twierdzenie Nortona nosi również nazwę twierdzenia o zastępczym generatorze prądu.

Wnioski wynikające z twierdzenia Nortona:

1. Jeżeli do zacisków danego liniowego dwójnika źródłowego, o prądzie zwarcia I_z , dołączyć gałąź bezźródłową o konduktancji G_{ob} (rys.1.14), to napięcie U_{ob} (zależność 1.6) na tej gałęzi jest określone ilorazem prądu I_z przez sumę konduktancji G_w i G_{ob} .

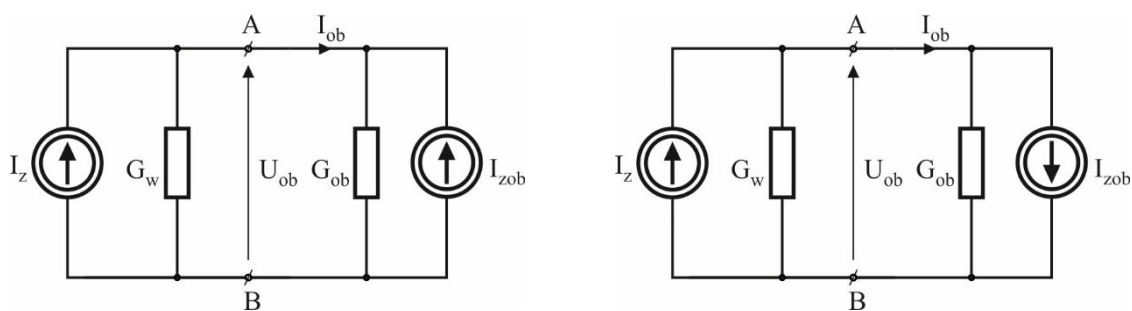
$$U_{ob} = \frac{I_z}{G_w + G_{ob}} \quad (1.6)$$



Rys.1.14. Pierwszy wniosek z twierdzenia Nortona

2. Jeżeli do zacisków danego liniowego dwójnika źródłowego (rys.1.15), o prądzie zwarcia I_z , dołączyć gałąź złożoną z równoległego połączenia źródła prądu o wartości I_{zob} i konduktancji G_{ob} , to napięcie na tej gałęzi jest określone ilorazem algebraicznej sumy prądów I_z oraz I_{zob} przez sumę konduktancji G_w i G_{ob} .

$$U_{ob} = \frac{I_z \pm I_{zob}}{G_w + G_{ob}} \quad (1.7)$$



Rys. 1.15. Dwójnik źródłowy obciążony gałęzią źródłową

Znak „+” ma zastosowanie dla schematu z lewej strony rys.1.11 a znak „-” dla schematu po prawej stronie tegoż rys.1.15.

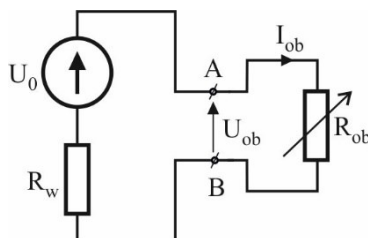
1.1.4. Warunek dopasowania obciążenia do dwójnika źródłowego

W układach elektrycznych, w procesie przekazywania mocy, spotykamy się często z potrzebą maksymalizacji mocy pobieranej przez odbiornik dołączony do dwójnika źródłowego.

Przez problem dopasowania energetycznego odbiornika do dwójnika źródłowego rozumiemy taki dobór parametrów odbiornika (przy ustalonych parametrach dwójnika źródłowego), dla których moc użyteczna odbiornika osiąga maksimum.

Dla obwodu z rys.1.16 (schemat zastępczy Thevenina), przy warunkach jak określono powyżej i zmianie rezystancji obciążenia od zera do nieskończoności, moc użyteczną $P_{uż}$ określa zależność 1.8.

$$P_{uż} = G_{ob} \cdot U_{ob}^2 = R_{ob} \cdot I_{ob}^2 = U_0^2 \cdot \frac{R_{ob}}{(R_w + R_{ob})^2} \quad (1.8)$$



Rys. 1.16. Dwójnik źródłowy obciążony regulowaną rezystancją R_{ob}

Problem sprowadza się do znalezienia takiej wartości zmiennej rezystancji obciążenia, przy której funkcja ($P_{uż} = f(R_{ob})$ - zależność (1.8)) osiąga ekstremum. Ponieważ:

$$P_{uż} \geq 0 \quad \text{oraz} \quad P_{uż} = 0 \quad \text{przy} \quad R_{ob} = 0 \quad \text{i} \quad \lim_{R_{ob} \rightarrow \infty} P_{uż} = 0$$

funkcja $P_{uż} = f(R_{ob})$ posiada co najmniej jedno maksimum.

W celu wyznaczenia warunków, w których moc odbiornika jest największa, obliczamy pochodną funkcji $P_{uż} = f(R_{ob})$.

$$\frac{dP_{uż}}{dR_{ob}} = U_0^2 \frac{(R_w + R_{ob})^2 - 2 \cdot R_{ob}(R_w + R_{ob})}{(R_w + R_{ob})^4} = U_0^2 \cdot \frac{R_w^2 - R_{ob}^2}{(R_w + R_{ob})^4} \quad (1.9)$$

Następnie wyznaczamy wartość rezystancji odbiornika, przy której obliczona pochodna przyjmuje wartość zerową.

$$\text{Stąd} \quad R_{ob} = R_w \quad (1.10)$$

i jest to jedyne rozwiązanie dla $R_{ob} > 0$.

Warunek (1.10) nazywamy dopasowaniem odbiornika do źródła (dwójnika źródłowego).

Wartość maksymalnej mocy użytecznej w warunkach dopasowania wynosi więc (podstawiając (1.10) do (1.8)):

$$P_{u\dot{z} max} = \frac{U_0^2}{4 \cdot R_w} . \quad (1.11)$$

Oprócz mocy użytecznej odbiornika w układzie źródło – odbiornik, występuje również moc strat wewnątrz źródła P_w (na rezystancji wewnętrznej).

$$P_w = R_w \cdot I_{ob}^2 = U_0^2 \cdot \frac{R_w}{(R_w + R_{ob})^2} \quad (1.12)$$

Zgodnie z zasadą Tellegena całkowita moc źródła napięcia wynosi:

$$P_c = P_w + P_{u\dot{z}} = \frac{U_0^2}{(R_w + R_{ob})^2} R_w + \frac{U_0^2}{(R_w + R_{ob})^2} R_{ob} = \frac{U_0^2}{(R_w + R_{ob})^2} (R_w + R_{ob}) = \frac{U_0^2}{R_w + R_{ob}} \quad (1.13)$$

Stosunek mocy użytecznej do mocy całkowitej źródła nosi nazwę sprawności η .

- dla schematu napięciowego dwójnika:

$$\eta = \frac{P_{u\dot{z}}}{P_c} = \frac{R_{ob}}{R_w + R_{ob}} \quad (1.14)$$

- dla schematu prądowego dwójnika:

$$\eta = \frac{P_{u\dot{z}}}{P_c} = \frac{G_{ob}}{G_w + G_{ob}} . \quad (1.15)$$

W warunkach dopasowania, sprawność przyjmuje wartość:

$$\eta|_{R_{ob}=R_w} = 0,5 \quad (1.16)$$

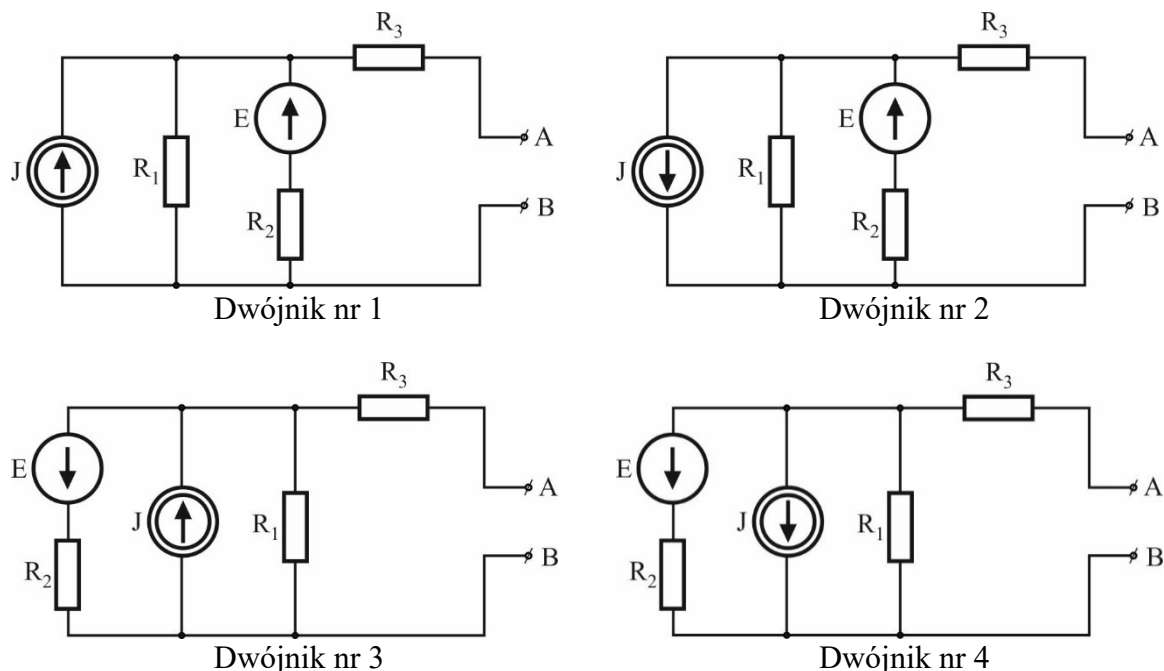
a moc całkowita źródła:

$$P_{c|_{R_{ob}=R_w}} = \frac{U_0^2}{2 \cdot R_w} = \frac{I_z^2}{2 \cdot G_w} \quad (1.17)$$

1.2. BADANIA LABORATORYJNE

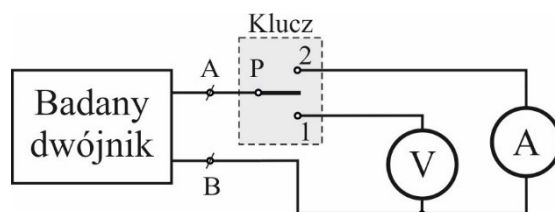
Etap 1. Wyznaczenie parametrów zastępczych badanego dwójnika poprzez wykonanie pomiarów i analizę teoretyczną układu

1.2.1. Schematy badanych dwójników



Rys. 2.1. Schematy badanych dwójników (jeden do wyboru).

1.2.2. Schemat układu do pomiaru parametrów dwójnika zastępczego



Rys. 2.2. Układy do pomiaru parametrów zastępczych badanego dwójnika (przełącznik P w położeniu 1 – pomiar U_{0p} , przełącznik w położeniu 2 – pomiar I_{zp}).

1.2.3. Zestawienie parametrów zastępczych badanego dwójnika w drodze pomiarowej i teoretycznej

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys.2.2 dla wybranego dwójnika z rys. 2.1, wykonać pomiary napięcia stanu jałowego U_o (przełącznik P w położeniu 1) i prądu w stanie zwarcia I_z (przełącznik P w położeniu 2). Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do tabeli 2.1.

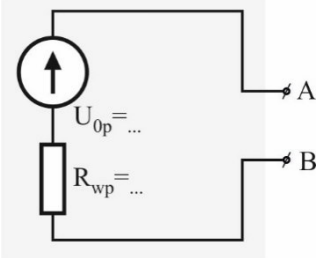
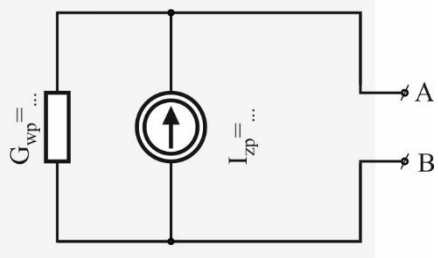
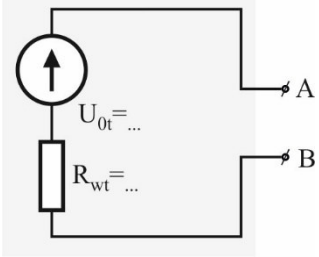
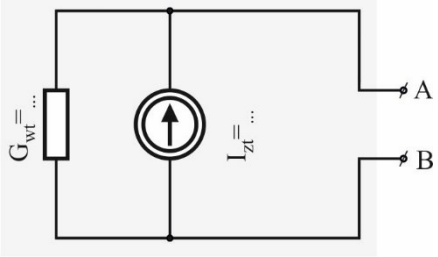
Tab. 2.1

Badany dwójnik nr							
E =[V]; J = [mA]; R ₁ = [Ω]; R ₂ = [Ω]; R ₃ = [Ω]							
Wyniki pomiarów i obliczeń na ich podstawie				Wyniki analizy teoretycznej (na podstawie schematu rys. 1.1)			
U _{0p}	I _{zp}	R _{wp}	G _{wp}	U _{0t}	I _{zt}	R _{wt}	G _{wt}
V	mA	Ω	mS	V	mA	Ω	mS

Przebieg obliczeń:

- rezystancje wewnętrzną **R_{wp}** i konduktancje wewnętrzną **G_{wp}** badanego dwójnika obliczyć na podstawie pomierzonych wielkości zaciskowych,
- rezystancje wewnętrzną **R_{wt}** i konduktancje wewnętrzną **G_{wt}** badanego dwójnika obliczyć w wyniku analizy teoretycznej badanego dwójnika. W celu ich wyznaczenia należy wykonać rysunki pomocnicze,
- napięcia stanu jałowego **U_{0t}** oraz prądu zwarcia **I_{zt}** badanego dwójnika obliczyć w wyniku analizy teoretycznej badanego dwójnika. W celu ich wyznaczenia należy wykonać rysunki pomocnicze oraz zamieścić niezbędne zależności.

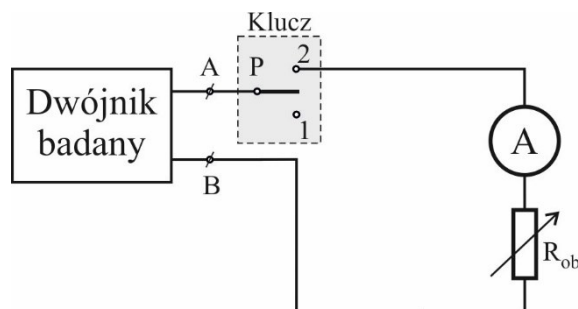
1.2.4. Podsumowanie wyznaczania parametrów badanego dwójnika

	Schemat zastępczy Thevenina (napięciowy)	Schemat zastępczy Nortona (prądowy)
Wartości pomiarowe		
Wartości teoretyczne		

Etap 2. Wyznaczenie charakterystyk zewnętrznych badanego dwójnika

1.2.5. Pomiar prądu w odbiorniku obciążającego badany dwójnik

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 2.3 dokonać pomiaru prądu w odbiorniku (R_{ob}) przy zmianie wartości rezystancji R_{ob} od zera do wartości maksymalnej (podanej przez prowadzącego). Wyniki pomiarów prądu wpisać do tabeli 2.1.



Rys. 2.3. Układ do pomiaru prądu płynącego przez odbiornik (przełącznik P w położeniu 2).

Tab. 2.2

Badany dwójnik nr				
E =[V] J = [mA]				
R1 = [Ω] R2 = [Ω] R3 = [Ω]				
POMIARY			OBLICZENIA	
Lp.	R_{ob}	I_{ob}	U_{ob}	$P_{uz}=P_{ob}$
	Ω	mA	V	mW
1	0			
2				
...				
...				
20				

Opracowanie wyników pomiarów:

✓ na podstawie pomiaru prądu I_{ob} obliczyć napięcie U_{ob} na rezystancji odbiornika R_{ob} i moc użyteczną P_{uz} odbiornika, wyniki obliczonych wartości napięcia i mocy użytecznej wpisać do tabeli 2.2.

✓ w oparciu o wyniki pomiarów i obliczeń zamieszczonych w tabelach 2.2 wykonać wykresy następujących zależności:

$$I_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(I_{ob}), P_{uz} = f(R_{ob}).$$

Omówienie wyznaczonych charakterystyk:

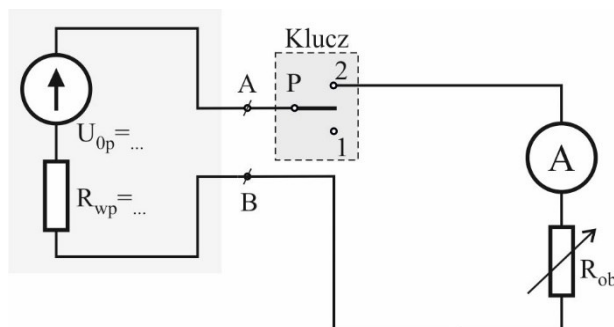
✓ scharakteryzować charakter zmian oraz punkty charakterystyczne wykreślonych zależności:

$$I_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(I_{ob}), P_{uz} = f(R_{ob}).$$

Etap 3. Wyznaczenie charakterystyk zewnętrznych dwójnika równoważnego Thevenina

1.2.6. Pomiar prądu w odbiorniku obciążającego dwójnik równoważny Thevenina

Połączyć układ dwójnika równoważnego Thevenina (rys.2.2) o wartościach U_{0p} i R_{wp} uzyskanych na etapie 1 w wyniku pomiarów. Wykonać pomiar prądu w odbiorniku (R_{ob}) przy zmianie wartości rezystancji R_{ob} od zera do wartości maksymalnej (takiej samej jak w etapie 2). Wyniki pomiarów prądu wpisać do tabeli 3.1.



Rys.2.2. Układ do pomiaru prądu płynącego przez odbiornik (przełącznik P w położeniu 2).

Tab. 2.3

Dwójnik równoważny Thevenina							
$U_{0p} = \dots\dots\dots [V]$		$R_{wp} = \dots\dots\dots [\Omega]$					
POMIARY			OBLICZENIA				
Lp.	R_{ob} Ω	I_{ob} mA	U_{ob} V	$P_{uż}=P_{ob}$ mW	P_w mW	P_c mW	η -
1	0						
2							
...							
...							
20							

Opracowanie wyników pomiarów:

- ✓ na podstawie pomiaru prądu I_{ob} obliczyć napięcie U_{ob} na rezystancji odbiornika R_{ob} , moc użyteczną $P_{uż}$ odbiornika, moc traconą na rezystancji wewnętrznej P_w , moc całkowitą P_c oraz sprawność przekazywania mocy z dwójnika do obciążenia η . Wyniki obliczonych wartości wpisać do tabeli 2.3.
- ✓ w oparciu o wyniki pomiarów i obliczeń zamieszczonych w tabelach 2.3 wykonać wykresy następujących zależności: $I_{ob} = f(R_{ob})$, $U_{ob} = f(R_{ob})$, $U_{ob} = f(I_{ob})$, $P_{uż} = f(R_{ob})$, $P_w = f(R_{ob})$, $P_c = f(R_{ob})$ i $\eta = f(R_{ob})$.

Omówienie wyznaczonych charakterystyk:

- ✓ scharakteryzować charakter zmian oraz punkty charakterystyczne wykreślonych zależności:

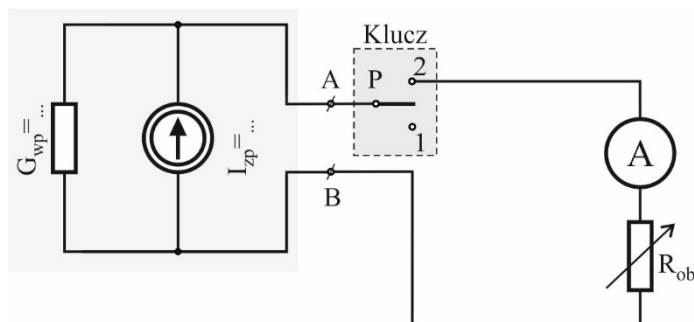
$$I_{ob}=f(R_{ob}), U_{ob}=f(R_{ob}), U_{ob}=f(I_{ob}), P_{uż}=f(R_{ob}), P_w=f(R_{ob}), P_c=f(R_{ob}), \eta=f(R_{ob})$$

– porównaj z wyznaczonymi na etapie 2.

Etap 4. Wyznaczenie charakterystyk zewnętrznych dwójnika równoważnego Nortona

1.2.7. Pomiar prądu w odbiorniku obciążającego dwójnik równoważny Nortona

Połączyć układ dwójnika równoważnego Nortona (rys.2.3) o wartościach I_{zp} i G_{wp} uzyskanych na etapie 1 w wyniku pomiarów. Wykonać pomiar prądu w odbiorniku (R_{ob}) przy zmianie wartości rezystancji R_{ob} od zera do wartości maksymalnej (takiej samej jak w etapie 2). Wyniki pomiarów prądu wpisać do tabeli 2.4.



Rys.2.3. Układ do pomiaru prądu płynącego przez odbiornik (przełącznik P w położeniu 2).

Tab. 2.4

Dwójnik równoważny Nortona							
$I_{zp} = \dots\dots\dots [\text{mA}]$		$G_{wp} = \dots\dots\dots [\text{mS}]$					
POMIARY			OBLICZENIA				
Lp.	R_{ob} Ω	I_{ob} mA	U_{ob} V	$P_{uż}=P_{ob}$ mW	P_w mW	P_c mW	η -
1	0						
2							
...							
...							
20							

Opracowanie wyników pomiarów:

- ✓ na podstawie pomiaru prądu I_{ob} obliczyć napięcie U_{ob} na rezystancji odbiornika R_{ob} , moc użyteczną $P_{uż}$ odbiornika, moc traconą na rezystancji wewnętrznej P_w , moc całkowitą

P_c oraz sprawność przekazywania mocy z dwójnika do obciążenia η . Wyniki obliczonych wartości wpisać do tabeli 2.4.

- ✓ w oparciu o wyniki pomiarów i obliczeń zamieszczonych w tabelach 2.4 wykonać wykresy następujących zależności: $I_{ob} = f(R_{ob})$, $U_{ob} = f(R_{ob})$, $U_{ob} = f(I_{ob})$, $P_{uż} = f(R_{ob})$, $P_w = f(R_{ob})$, $P_c = f(R_{ob})$ i $\eta = f(R_{ob})$.

Omówienie wyznaczonych charakterystyk:

- ✓ scharakteryzować charakter zmian oraz punkty charakterystyczne wykreślonych zależności:

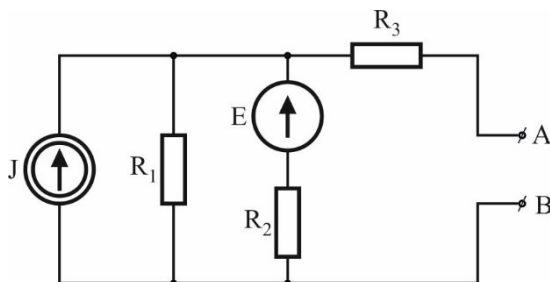
$$I_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(I_{ob}), P_{uż} = f(R_{ob}), P_w = f(R_{ob}), P_c = f(R_{ob}), \eta = f(R_{ob})$$

– porównaj z wyznaczonymi na etapie 2 i 3.

1.3. ZAGADNIENIA DO SAMODZIELNEGO PRZYGOTOWANIA

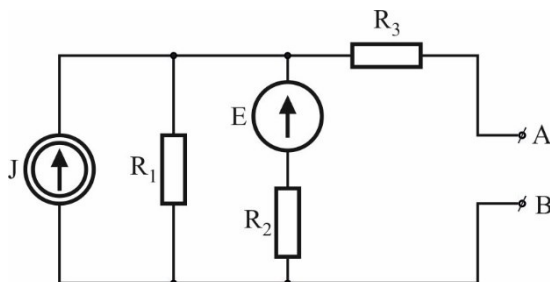
Zad.1. Dla dwójnika o schemacie poniżej oblicz napięcie stanu jałowego U_o dla następujących danych:

$$E=10V, J=400 \text{ mA}, R_1=R_2=100 \, \Omega, R_3=50 \, \Omega.$$



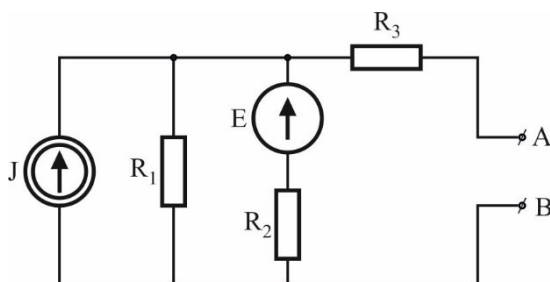
Zad. 2. Dla dwójnika o schemacie poniżej oblicz prąd zwarcia I_z dla następujących danych:

$$E=10V, J=400 \text{ mA}, R_1=R_2=100 \, \Omega, R_3=50.$$

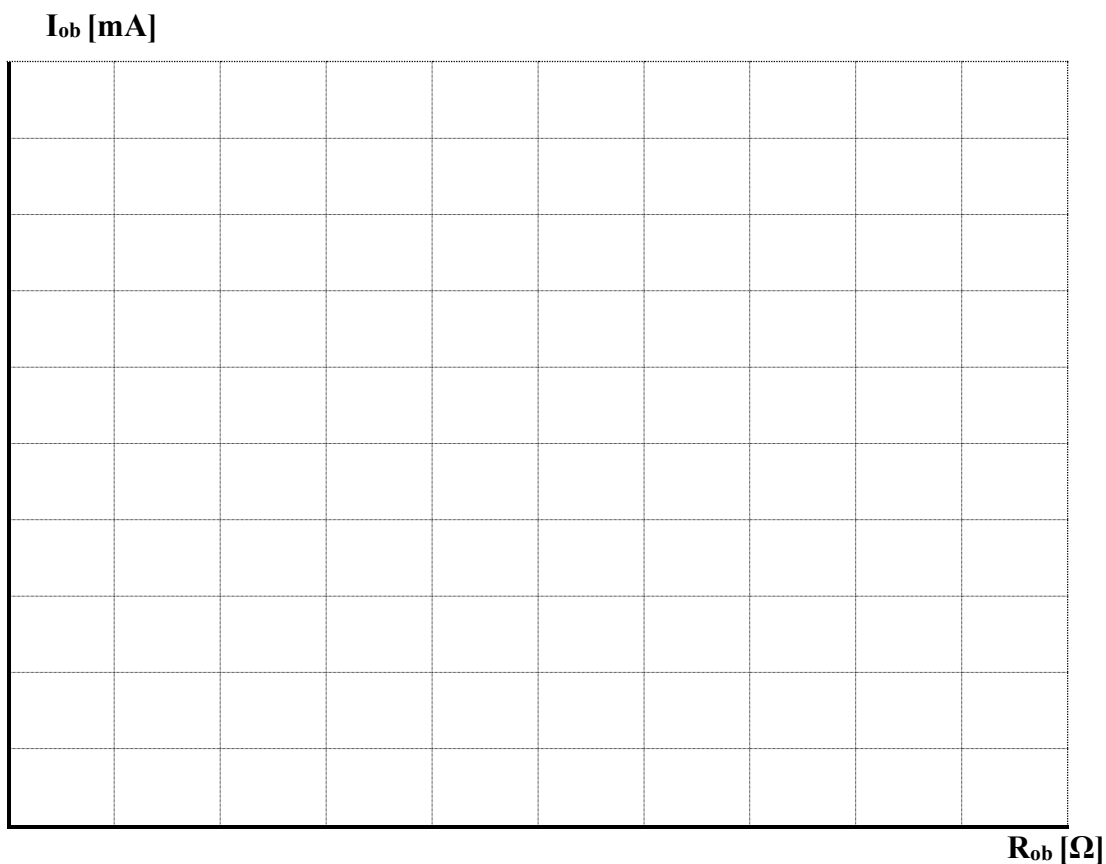


Zad. 3. Dla dwójnika o schemacie poniżej oblicz rezystancję wewnętrzną R_w i konduktancję wewnętrzną G_w danych:

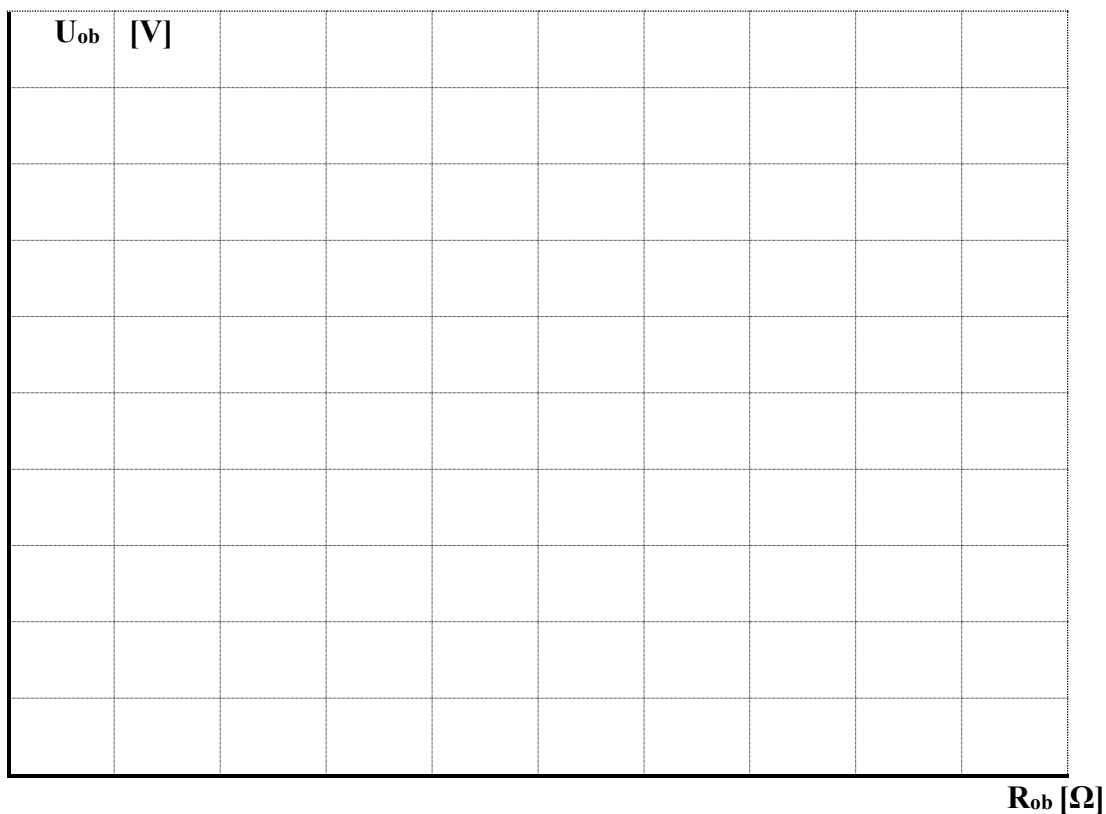
$$E=10V, J=400 \text{ mA}, R_1=R_2=100 \, \Omega, R_3=50.$$



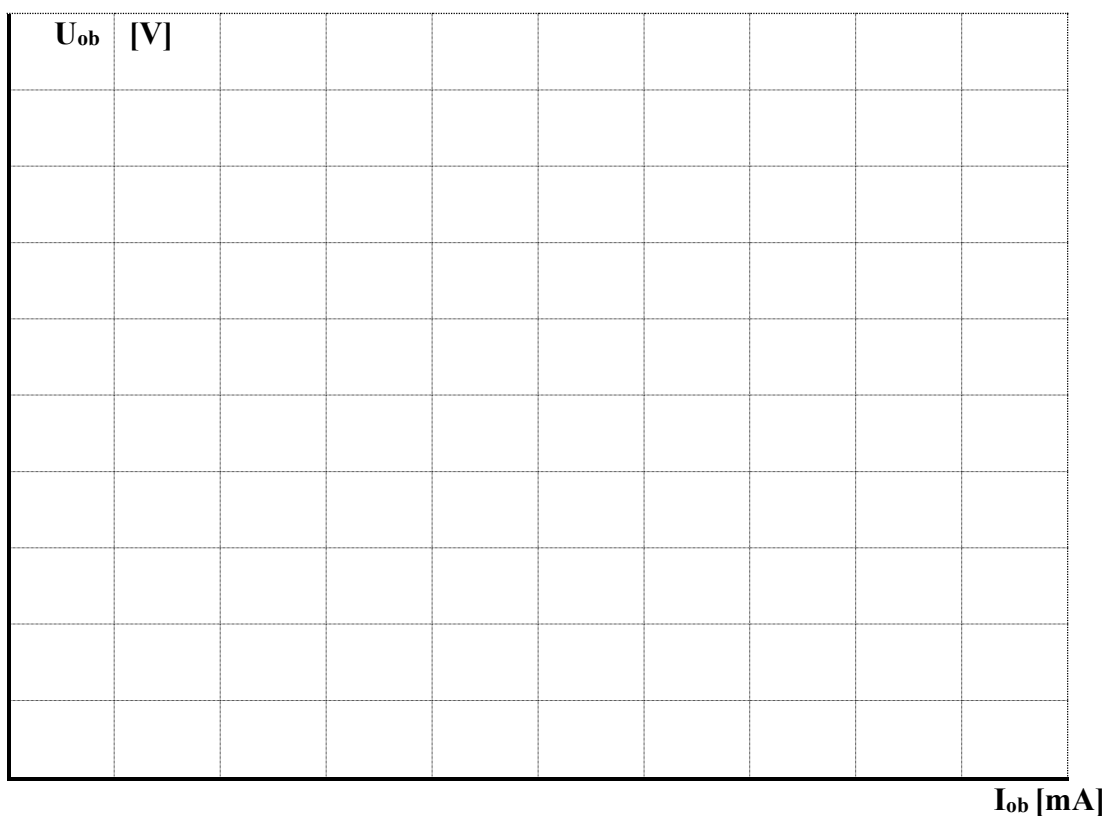
Zad. 4. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych $U_o=5\text{ V}$, $I_z=100\text{ mA}$, $R_{ob}=0\div 150\text{ }\Omega$ wykreśl zależność prądu obciążenia I_{ob} od zmian rezystancji obciążenia R_{ob} .



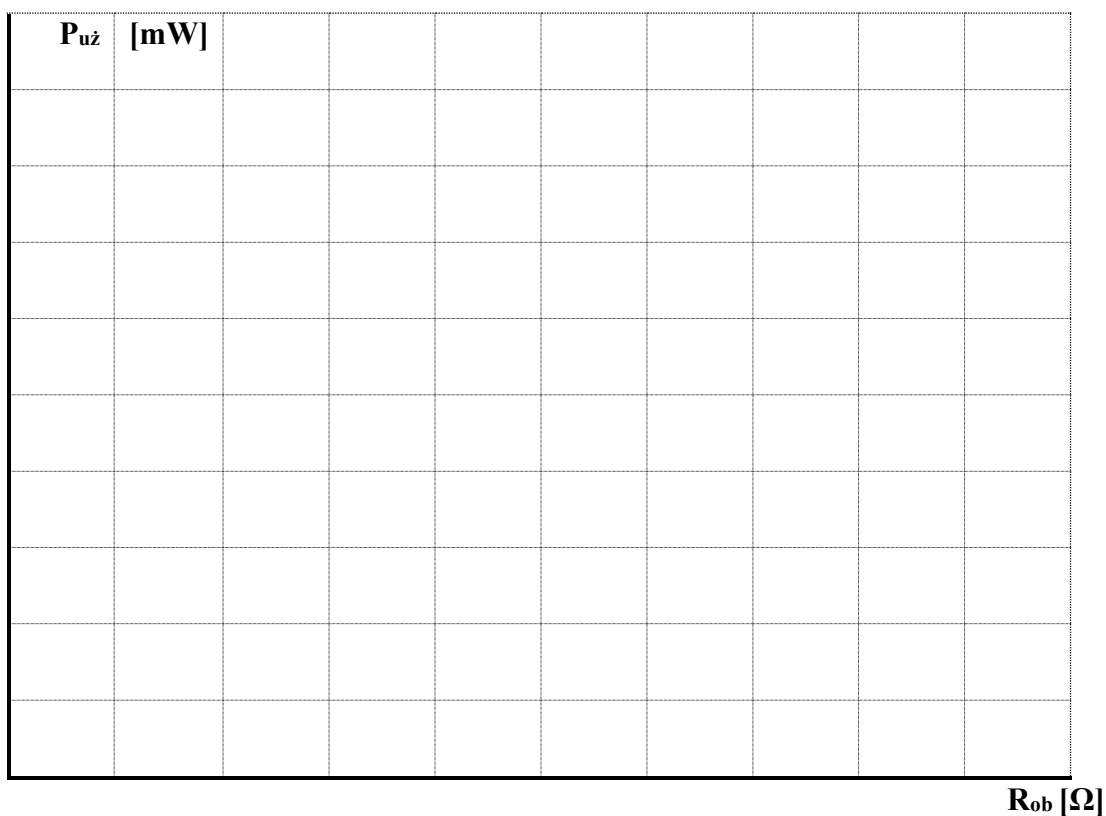
Zad. 5. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych $U_o=5\text{ V}$, $I_z=100\text{ mA}$, $R_{ob}=0\div 150\text{ }\Omega$ wykreśl zależność napięcia obciążenia U_{ob} od zmian rezystancji obciążenia R_{ob} .



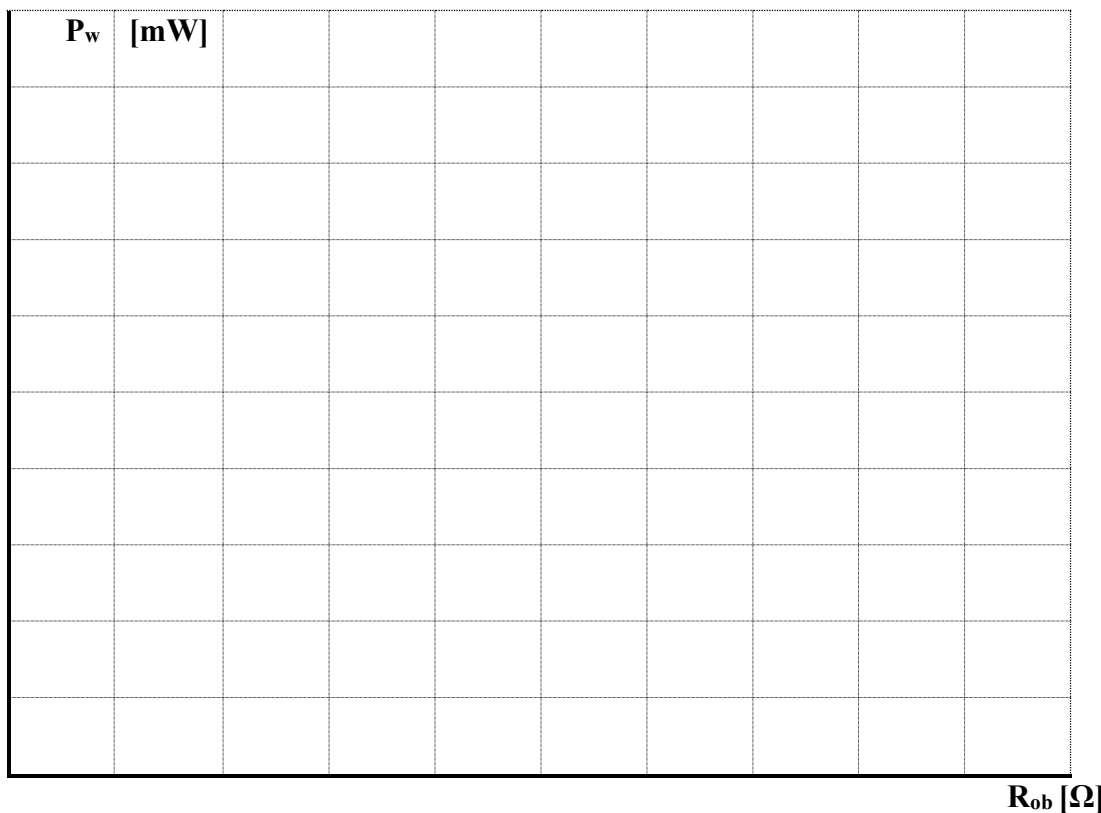
Zad. 6. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych $U_o=5\text{ V}$, $I_z=100\text{ mA}$, $R_{ob}=0\div 150\ \Omega$ wykreśl zależność napięcia obciążenia U_{ob} od zmian prądu obciążenia I_{ob} .



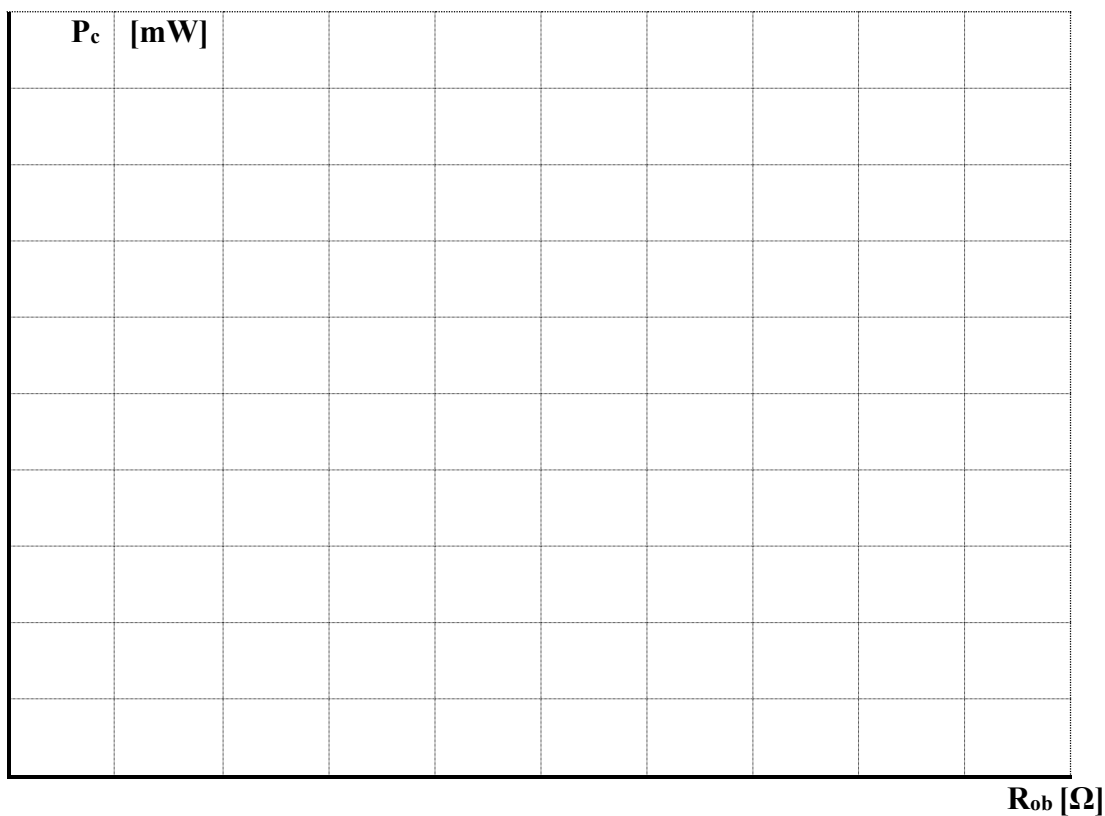
Zad. 7. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych $U_o=5\text{ V}$, $I_z=100\text{ mA}$, $R_{ob}=0\div 150\ \Omega$ wykreśl zależność mocy użytecznej $P_{uż}$ od zmian rezystancji R_{ob} .



Zad. 8. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych $U_o=5\text{ V}$, $I_z=100\text{ mA}$, $R_{ob}=0\div 150\text{ }\Omega$ wykreśl zależność mocy traconej na rezystancji wewnętrznej P_w od zmian rezystancji R_{ob} .



Zad. 9. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych $U_o=5\text{ V}$, $I_z=100\text{ mA}$, $R_{ob}=0\div 150\text{ }\Omega$ wykreśl zależność mocy całkowitej P_c od zmian rezystancji R_{ob} .



Zad. 10. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych $U_o=5\text{ V}$, $I_z=100\text{ mA}$, $R_{ob}=0\div 150\text{ }\Omega$ wykreśl zależność sprawności przekazywania mocy η od zmian rezystancji R_{ob} dla schematu szeregowego i równoległego.

