

# ĆWICZENIE 1B

## DWÓJNIK ŹRÓDŁOWY PRĄDU STAŁEGO

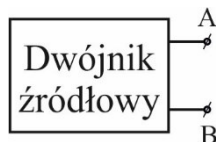
**Cel ćwiczenia:** Sprawdzenie zasady równoważności dla dwójnika źródłowego (twierdzenie Thevenina, twierdzenie Nortona), sprawdzenie warunku dopasowania odbiornika do źródła.

### 1.1. PODSTAWY TEORETYCZNE ĆWICZENIA

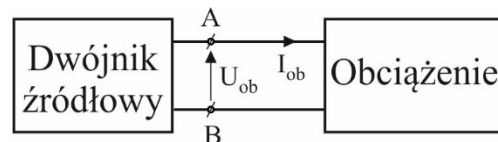
#### 1.1.1. Dwójnik źródłowy i jego stany pracy

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

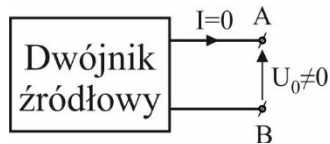


Rys.1.2. Dwójnik w warunkach pracy

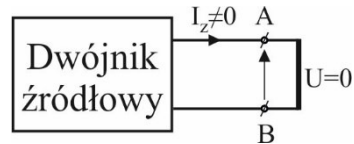
Rozróżnia się trzy stany pracy dwójnika, dwa graniczne i jeden pośredni (pomiędzy granicznymi). Granicznymi stanami pracy dwójnika źródłowego są:

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 oznaczone jest jako  $I_z$  o wartości różnej od 0 (rys. 1.4) jest nazywamy prądem zwarcia dwójnika.



Rys.1.3. Dwójnik w stanie jałowym



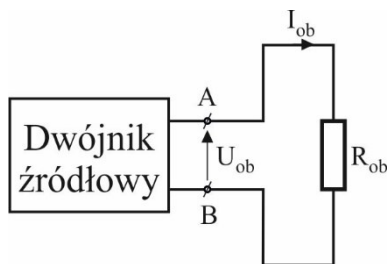
Rys.1.4. Dwójnik w stanie zwarcia

Można stwierdzić że jeżeli:

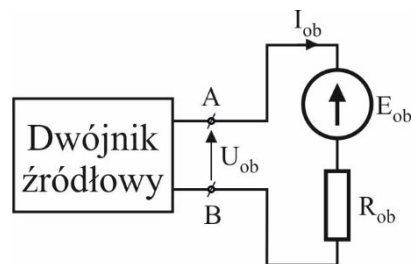
1. napięcie dwójnika w stanie jałowym jest różne od zera ( $U_0 \neq 0$ ),
2. natężenie prądu dwójnika w stanie zwarcia jest różne od zera ( $I_z \neq 0$ ),

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.

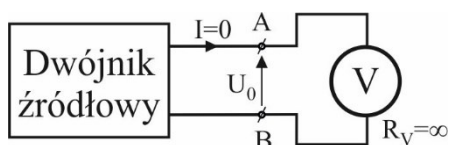
Dwójnik bezźródłowy jednoznacznie charakteryzuje jeden parametr – rezystancja dwójnika widziana z jego zacisków A-B.

### 1.1.2. Twierdzenie Thevenina

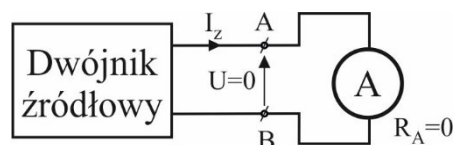
Twierdzenie Thevenina (jak i twierdzenie Nortona, omówione poniżej), wynika z zasady równoważności, która mówi że **dwa układy n zaciskowe są sobie równoważne, gdy ich wzajemna zamiana nie powoduje zmiany wielkości zaciskowych ( $u_k, i_k$ ) związanych z ich końcówkami**.

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

- idealnym woltomierzem (o rezystancji wewnętrznej równej  $\infty$ ) pomiar napięcia  $U_0$  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

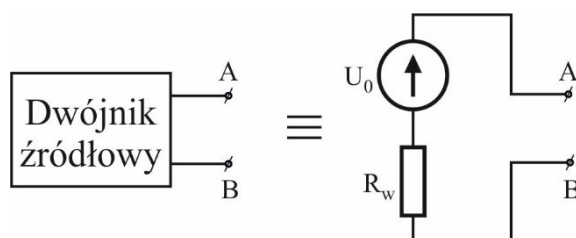


Rys.1.8. Pomiar prądu zwarcia

### Twierdzenia Thevenina:

*Każdy liniowy dwójnik źródłowy o napięciu stanu jałowego  $U_0$  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  $U_0$  i rezystora o rezystancji  $R_w$*

*określonej zależnością  $R_w = \frac{U_0}{I_z}$  (rys.1.9).*



Rys.1.9. Wynik zastosowania twierdzenie Thevenina

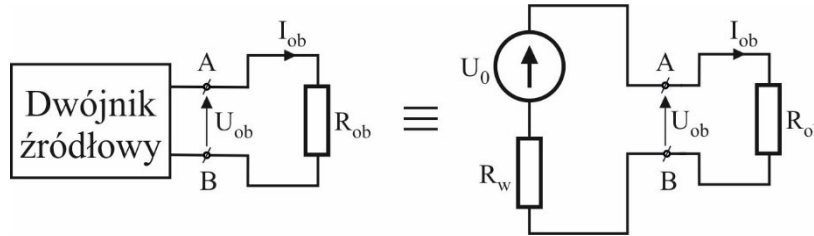
Twierdzenie Thevenina nosi również nazwę twierdzenia o zastępczym generatorze (źródle) napięcia.

### Wnioski wynikające z twierdzenia Thevenina:

1. Jeżeli do zacisków danego liniowego dwójnika źródłowego (rys.1.5), między którymi występuje napięcie stanu jałowego  $U_0$ , dołączyć gałąź bezźródłową o rezystancji  $R_{ob}$  (rys.1.10), to prąd  $I_{ob}$  w tej gałęzi jest określony zależnością 1.1.

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

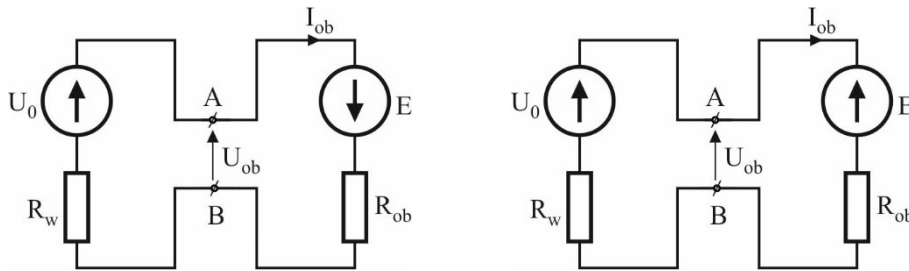
Wartość prądu  $I_{ob}$  dla  $R_{ob}=0$  przyjmuje największą wartość równą prądowi zwarcia  $I_z$ , natomiast dla  $R_{ob}=\infty$  przyjmuje najmniejszą wartość równą prądowi stanu jałowego ( $I_{ob}=0$ ).



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:

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

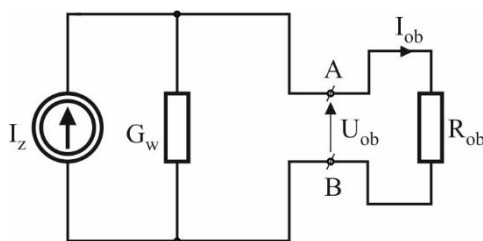
Ponieważ  $\frac{U_o}{R_w} = I_z$  jest prądem zwarcia dwójnika źródłowego, oraz wprowadzając oznaczenie  $\frac{I_{ob} \cdot R_{ob}}{R_w} = U_{ob} \cdot G_w = I_w$  równanie (1.4) można zapisać w postaci:

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

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.

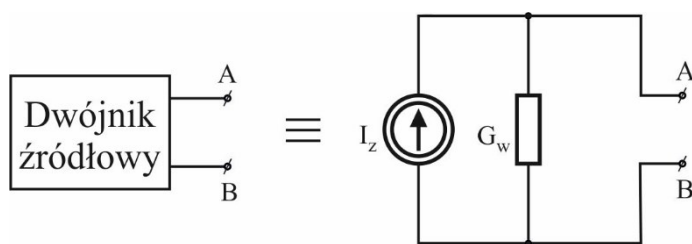


Rys. 1.12. Układ równoległego połączenia źródła prądowego  $I_z$  i dwóch konduktancji  $G_w$  i  $G_{ob}$  (rezystancji  $R_w$  i  $R_{ob}$ )

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).*



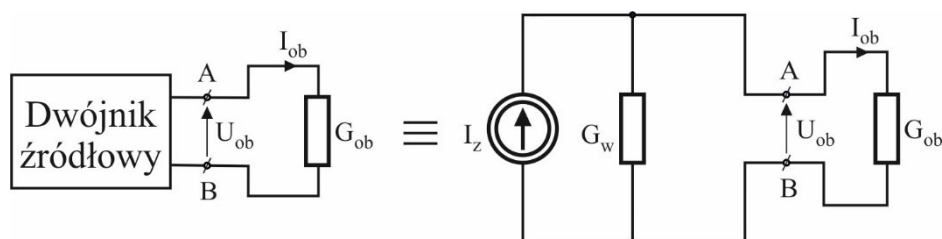
Rys.1.13. Wynik zastosowania twierdzenia Nortona

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  $G_{ob}$ .

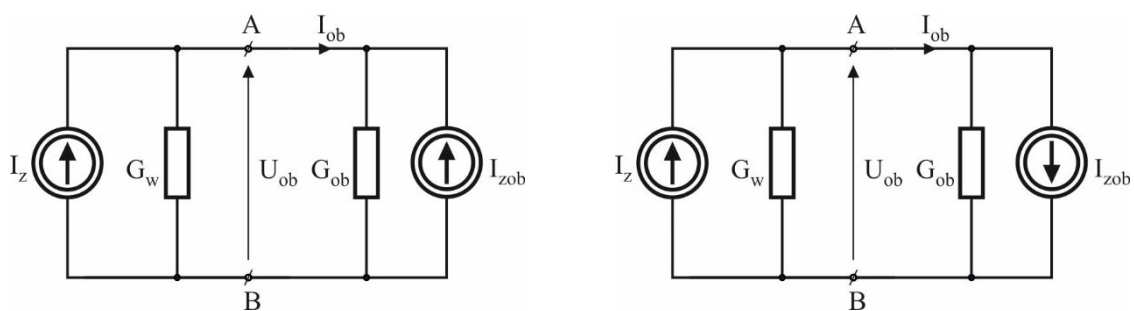
$$U_{ob} = \frac{I_z}{G_w + G_{ob}} \quad (1.6)$$



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.

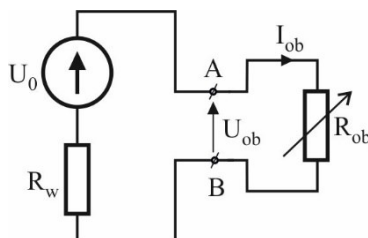
### 1.1.4. Warunek dopasowania obciążenia do dwójnika źródłowego

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  $\eta$ .

- 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:

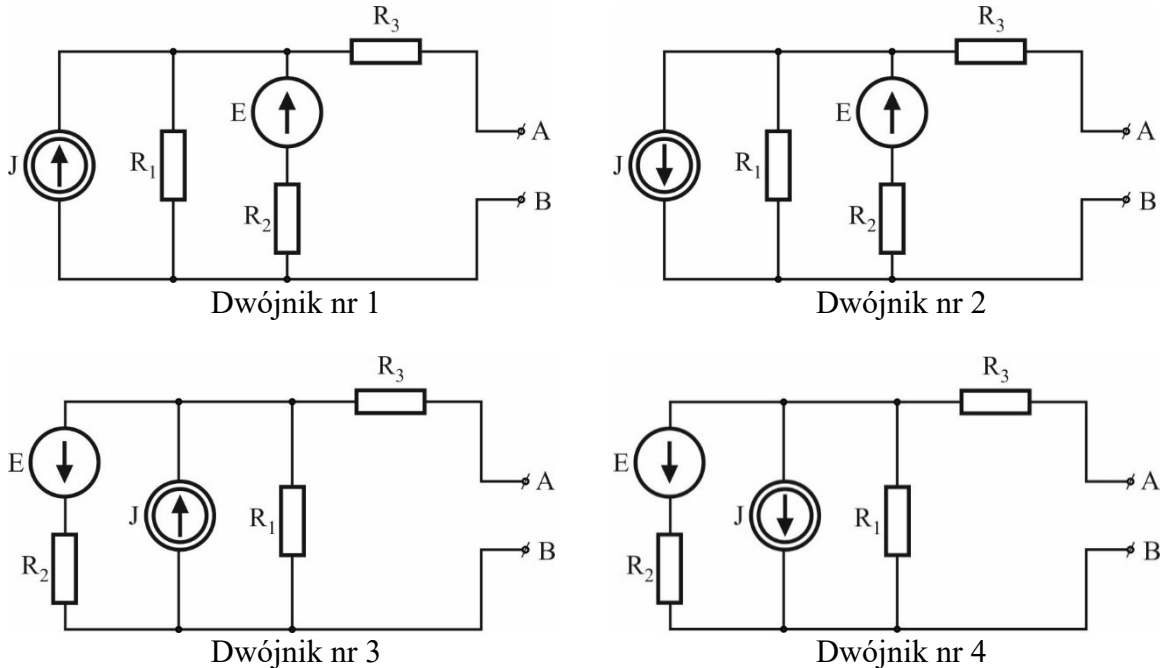
$$P_c|_{R_{ob}=R_w} = \frac{U_0^2}{2 \cdot R_w} = \frac{I_Z^2}{2 \cdot G_w} \quad (1.17)$$



## 1.2. BADANIA LABORATORYJNE

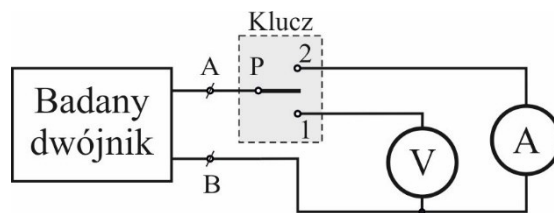
**Etap 1. Wyznaczenie parametrów zastępczych badanego dwójnika poprzez wykonanie pomiarów i analizę teoretyczną układu**

### 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.

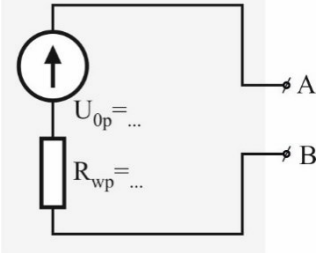
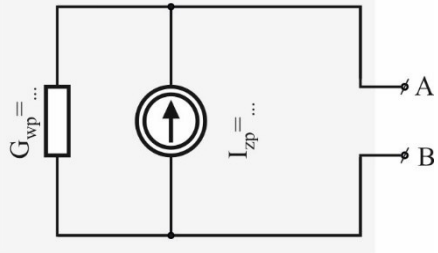
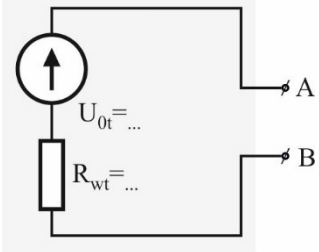
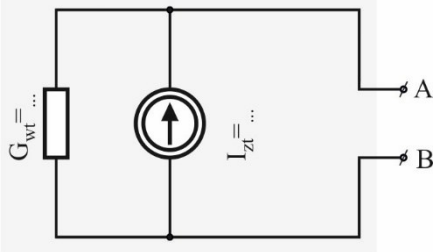
Tab. 2.1

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

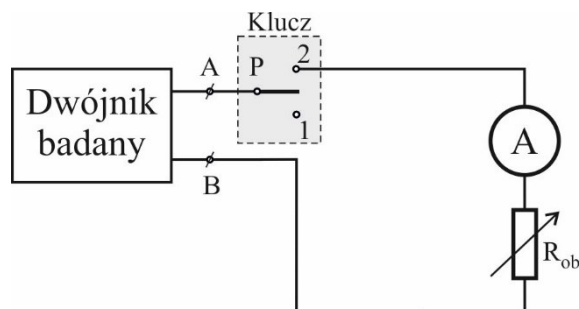
**1.2.4. Podsumowanie wyznaczania parametrów badanego dwójnika**

	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:

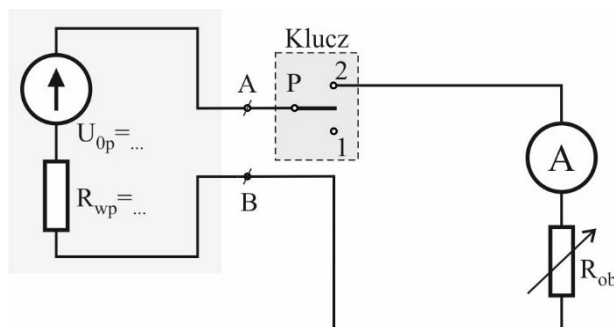
✓ scharakteryzować charakter zmian oraz punkty charakterystyczne wykreślonych zależności:

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

### 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.	$R_{ob}$	$I_{ob}$	$U_{ob}$	$P_{uż}=P_{ob}$	$P_w$	$P_c$	$\eta$
	$\Omega$	mA	V	mW	mW	mW	-
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  $\eta$ . 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:

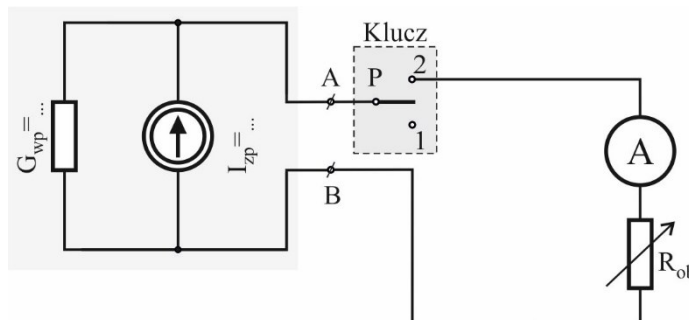
$$I_{ob}=f(R_{ob}), U_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(I_{ob}), P_{uż} = f(R_{ob}), P_w = f(R_{ob}), P_c = f(R_{ob}), \eta = f(R_{ob})$$

– 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							
$I_{zp} = \dots\dots\dots$ [mA]		$G_{wp} = \dots\dots\dots$ [mS]					
POMIARY			OBLICZENIA				
Lp.	$R_{ob}$ Ω	$I_{ob}$ mA	$U_{ob}$ V	$P_{uż}=P_{ob}$ mW	$P_w$ mW	$P_c$ mW	$\eta$ -
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  $\eta$ . 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:

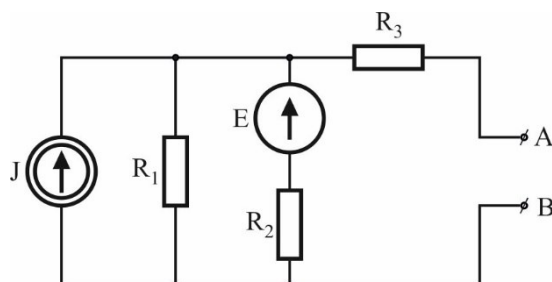
$$I_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(R_{ob}), U_{ob} = f(I_{ob}), P_{uż} = f(R_{ob}), P_w = f(R_{ob}), P_c = f(R_{ob}), \eta = f(R_{ob})$$

– porównaj z wyznaczonymi na etapie 2 i 3.

### 1.3. ZAGADNIENIA DO SAMODZIELNEGO PRZYGOTOWANIA

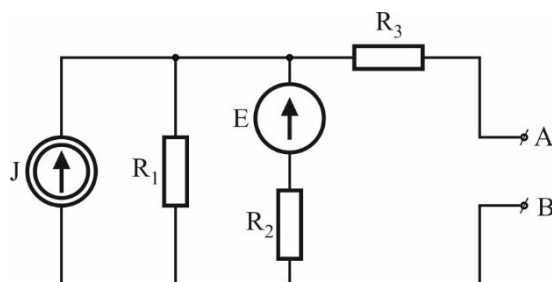
Zad.1. Dla dwójnika o schemacie poniżej oblicz napięcie stanu jałowego  $U_o$  dla następujących danych:

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



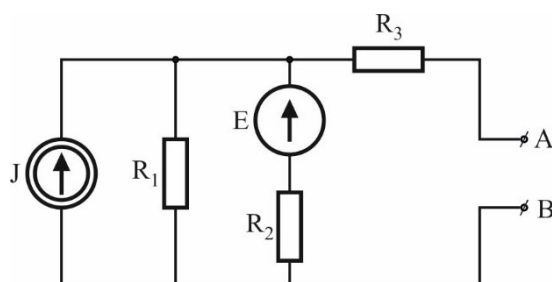
Zad. 2. Dla dwójnika o schemacie poniżej oblicz prąd zwarcia  $I_z$  dla następujących danych:

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



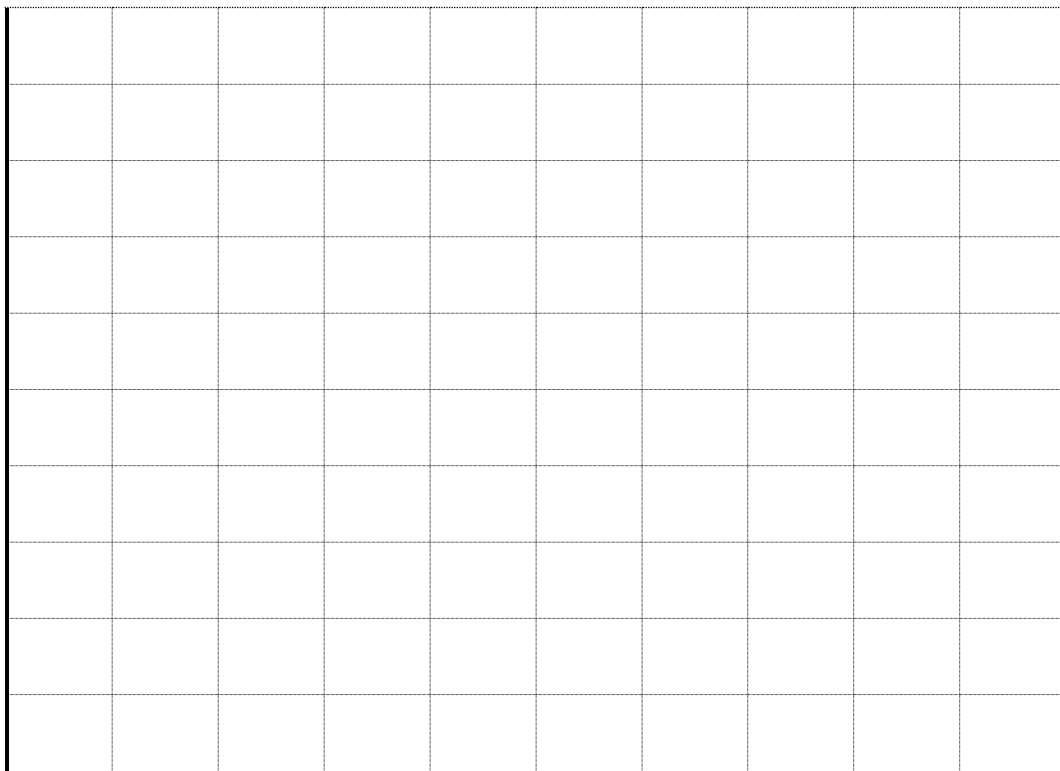
Zad. 3. Dla dwójnika o schemacie poniżej oblicz rezystancję wewnętrzną  $R_w$  i konduktancję wewnętrzną  $G_w$  danych:

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



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

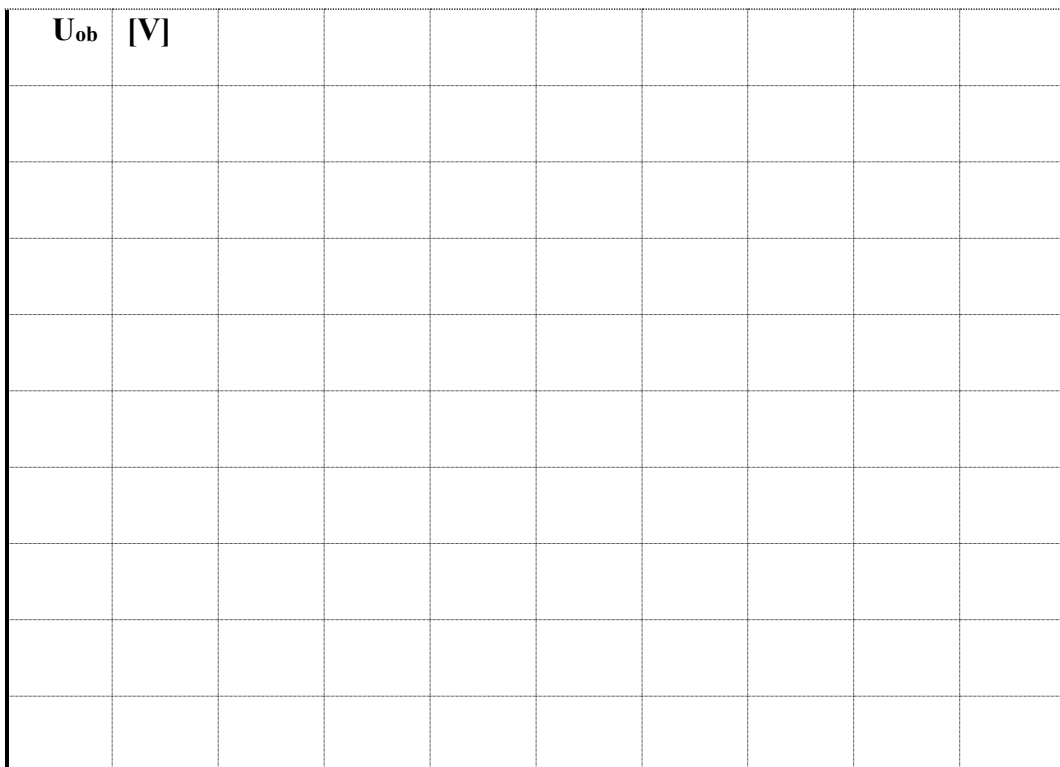
**$I_{ob}$  [mA]**



**$R_{ob}$  [Ω]**

Zad. 5. 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 rezystancji obciążenia  $R_{ob}$ .

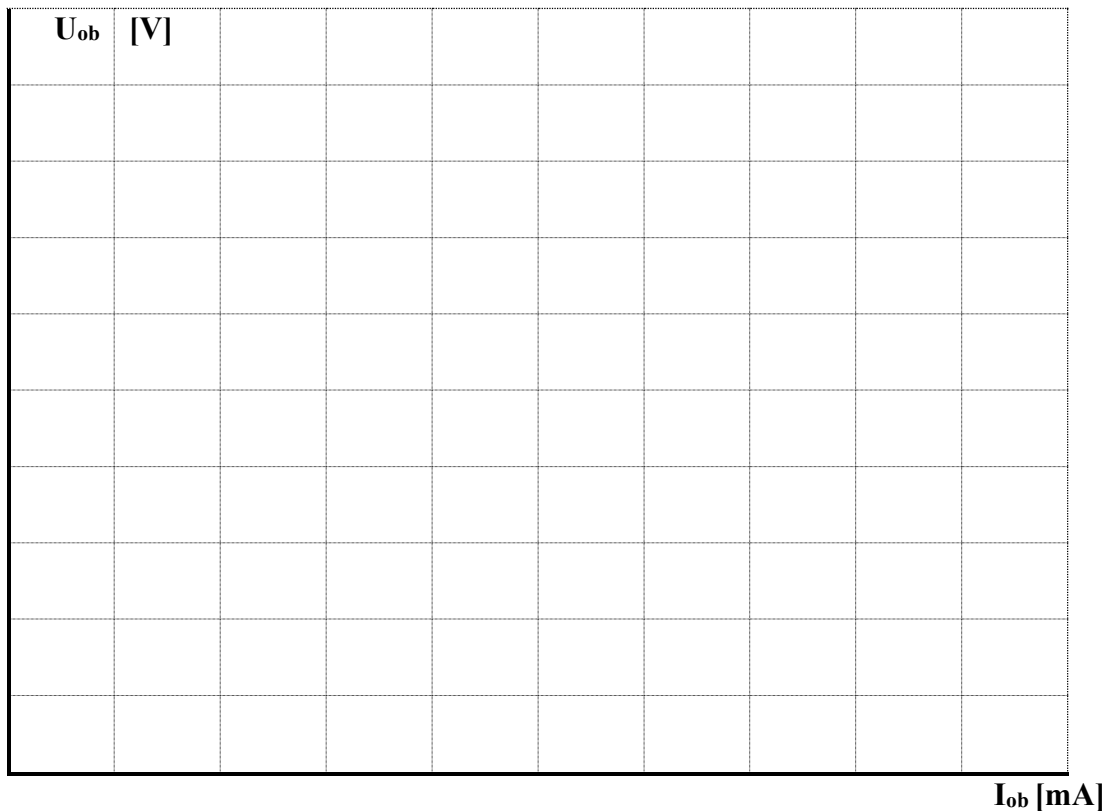
**$U_{ob}$  [V]**



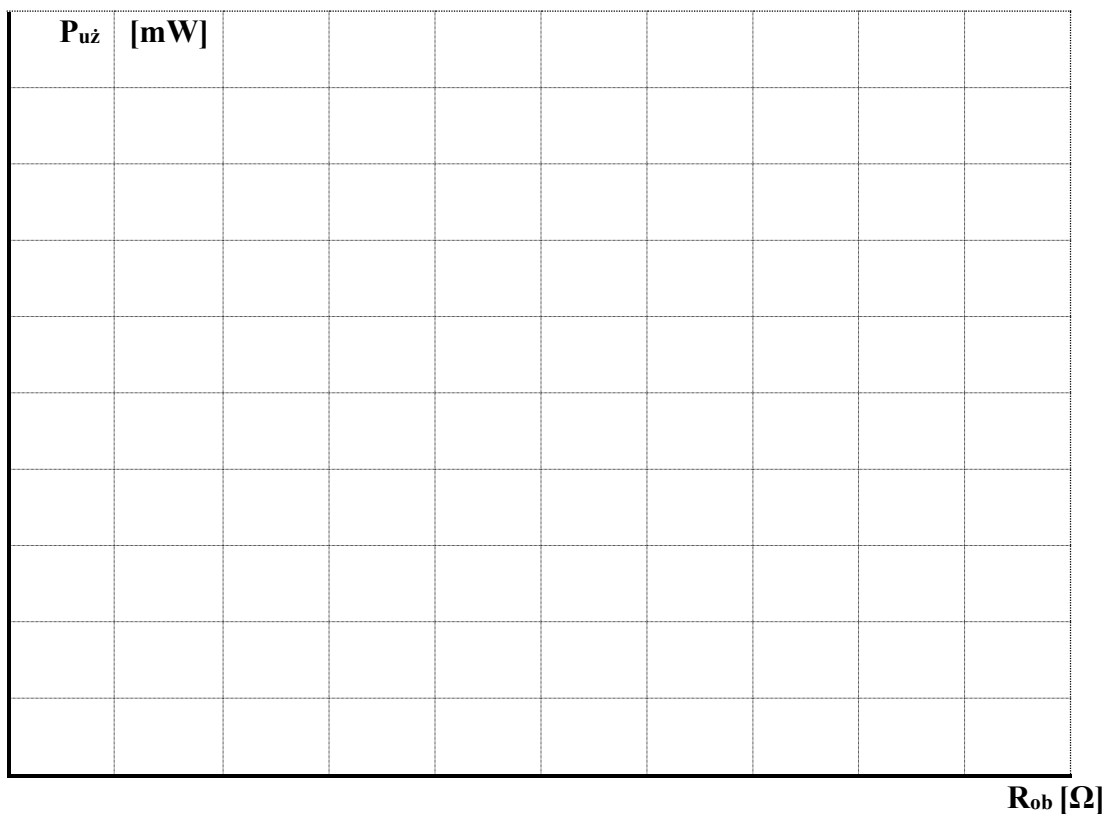
**$R_{ob}$  [Ω]**



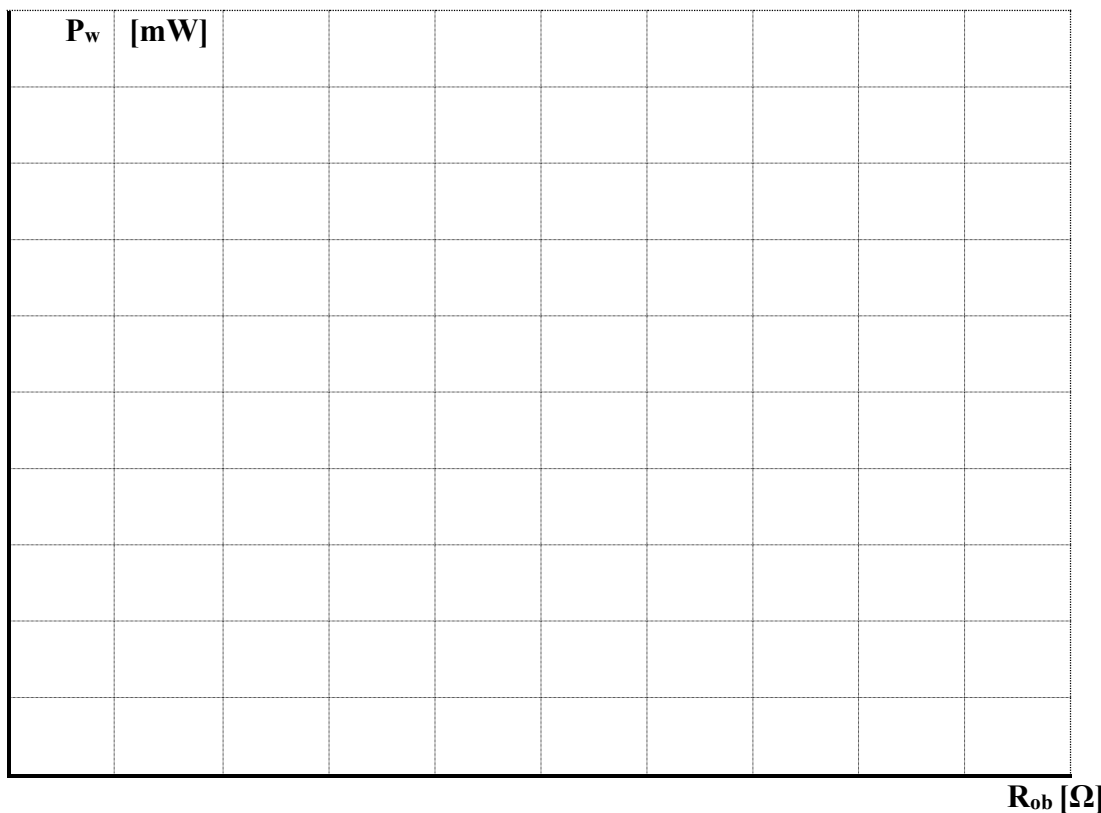
Zad. 6. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych  $U_o=5\text{ V}$ ,  $I_z=100\text{ mA}$ ,  $R_{ob}=0\div 150\ \Omega$  wykreśl zależność napięcia obciążenia  $U_{ob}$  od zmian prądu obciążenia  $I_{ob}$ .



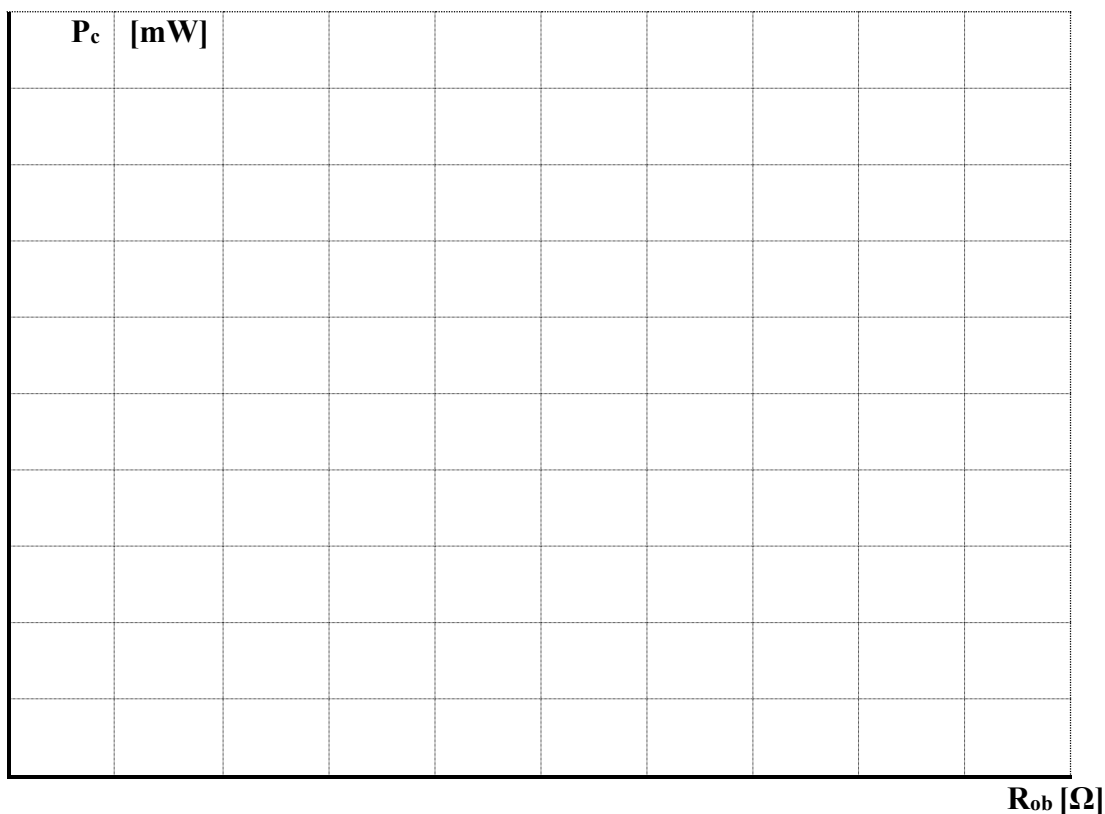
Zad. 7. Dla dwójnika o parametrach zewnętrznych  $U_o=5\text{ V}$ ,  $I_z=100\text{ mA}$ ,  $R_{ob}=0\div 150\ \Omega$  wykreśl zależność mocy użytecznej  $P_{u\dot{z}}$  od zmian rezystancji  $R_{ob}$ .



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



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



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

