

Podstawy Elektroniki – zajęcia laboratoryjne		
Sprawozdanie z ćwiczenia		
Nr ćwiczenia	Temat	Rok akademicki
1	Superpozycja i wzajemność w obwodach elektrycznych	2017/2018
Data wykonania ćwiczenia	Kierunek, rok, semestr, grupa	Ocena
2018-03-17	Informatyka, rok II, sem. 2, 1A	
Skład grupy laboratoryjnej, nr albumu		
1.		
2.		
3.		

1. Wprowadzenie

Ćwiczenie ma na celu praktyczne zilustrowanie zasad superpozycji i wzajemności jako metod analizy obwodów elektrycznych.

Wiadomości teoretyczne

Zasada superpozycji:

Układ fizyczny nazywamy liniowym, gdy spełnia zasadę superpozycji. Zasadę tę formułujemy następująco: odpowiedź fizycznego układu liniowego na kilka wymuszeń działających równocześnie równa jest sumie odpowiedzi na każde z tych wymuszeń, działające oddzielnie.

Prawo napięciowe Kirchhoffa:

Suma algebraiczna spadków napięć w oczku jest równa sumie algebraicznej sił elektromotorycznych działających w oczku.

Prawo prądowe Kirchhoffa:

Suma algebraiczna prądów wypływających z węzła jest równa zeru.

Prawo Ohma:

Natężenie prądu stałego I jest proporcjonalne do całkowitej siły elektromotorycznej w obwodzie zamkniętym lub do różnicy potencjałów (napięcia elektrycznego) między końcami części obwodu niezawierającej źródeł siły elektromotorycznej.

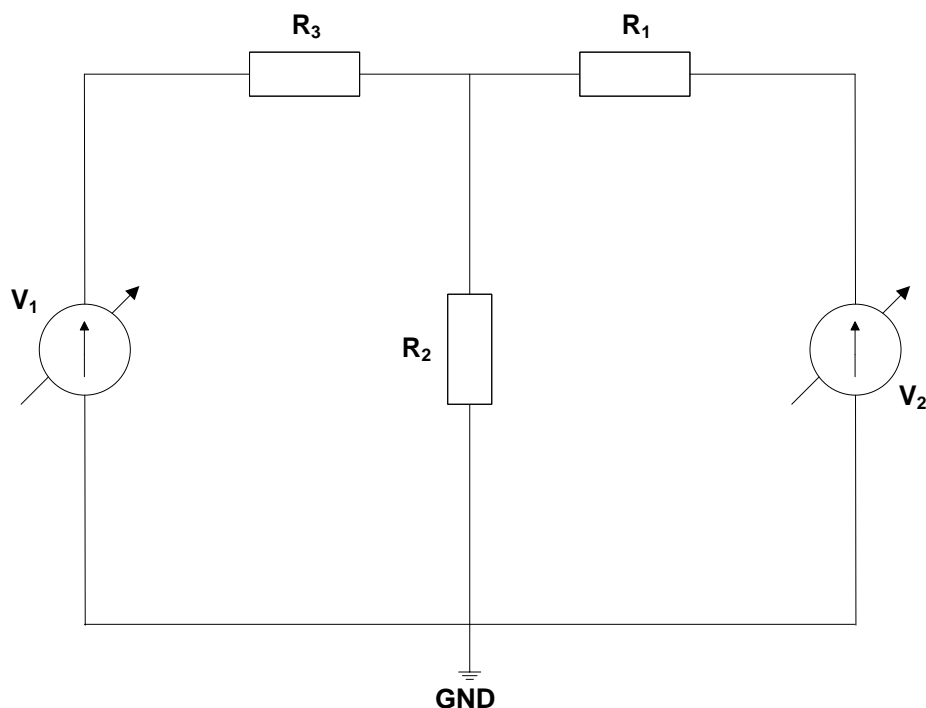
Twierdzenie o wzajemności:

Jeśli źródło napięcia znajduje się w n -tej gałęzi liniowego, pasywnego obwodu elektrycznego powoduje przepływ prądu I_k w gałęzi k -tej, wtedy to samo źródło napięcia umieszczone w gałęzi k -tej wywoła w gałęzi n -tej przepływ takiego samego prądu I_k .

Analogiczna zasada obowiązuje, gdy wymuszeniem będzie prąd, zaś odpowiedzią różnica potencjałów między dowolnymi punktami układu. Oznacza to, że zawsze spełnione są równości transmitancji $y_{kn} = y_{nk}$ oraz $z_{km} = z_{mk}$.

2. Przebieg ćwiczenia

2.1. Badanie zasady superpozycji



Zestaw pomiarowy do badania właściwości superpozycji z dwoma źródłami napięcia.

Parametry obwodu:

$$V_1 = 5,0 \text{ [V]}$$

$$V_2 = 3,2 \text{ [V]}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 1,0 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

Wartości rzeczywiste rezystorów zmierzono omomierzem. Uzyskano następujące wyniki:

$$R_1 = 0,99 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$R_2 = 0,99 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$R_2 = 0,98 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

2.1.2. Przebieg pomiarów

Dokonano połączenia układu przedstawionego w punkcie 2.1. Zgodnie ze wskazaniem prowadzącego, zmierzono napięcia na poszczególnych rezystorach pod wpływem wszystkich wymuszeń (źródeł) działających jednocześnie i pod wpływem każdego wymuszenia (źródła) działającego oddzielnie.

2.1.3. Wyniki pomiarów

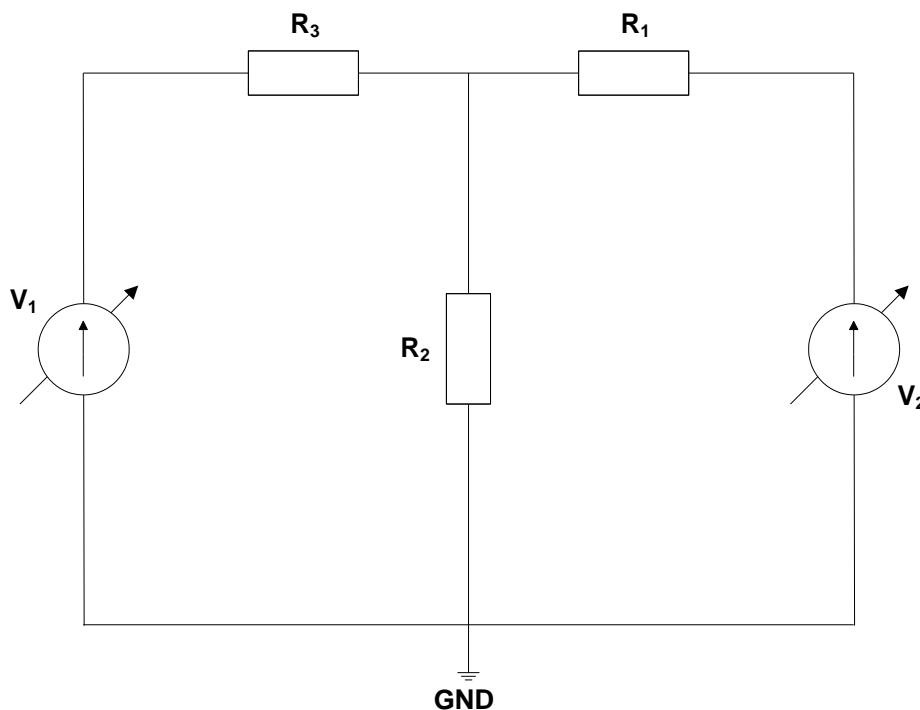
Pomiar				
V ₁ [V]	V ₂ [V]	U _{R1} [V]	U _{R2} [V]	U _{R2} [V]
5,0	3,2	2,28	-1,675	2,15
5,0	-	2,753	1,679	1,063
-	3,2	-0,482	-3,351	1,072

2.1.4. Obliczenia

Dysponując wartościami rezystorów oraz spadków napięć na nich w poszczególnych gałęziach trzech rozpatrywanych obwodów możemy na podstawie prawa Ohma wyliczyć prądy, przepływające przez te elementy.

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

a) Schemat obwodu do badania właściwości superpozycji z dwoma źródłami napięcia.



Obliczenia:

- dla wartości zadanych w ćwiczeniu

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{2,28}{1 \cdot 10^3} = 2,28 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{-1,675}{1 \cdot 10^3} = -1,675 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{2,15}{1 \cdot 10^3} = 2,15 \cdot 10^{-3} [A]$$

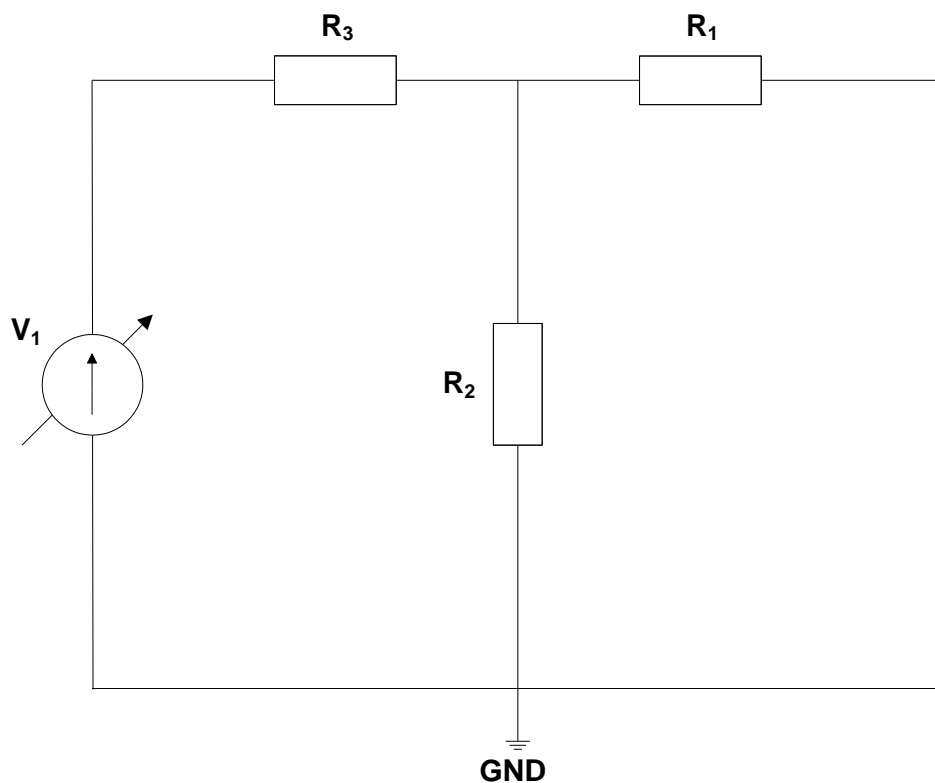
- dla wartości rzeczywistych rezystorów

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{2,28}{0,99 \cdot 10^3} = 2,3 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{-1,675}{0,99 \cdot 10^3} = -1,69 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{2,15}{0,99 \cdot 10^3} = 2,17 \cdot 10^{-3} [A]$$

b) Schemat obwodu do badania właściwości superpozycji z jednym źródłem V_1



Obliczenia:

- dla wartości zadanych w ćwiczeniu

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{2,753}{1 \cdot 10^3} = 2,753 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{1,678}{1 \cdot 10^3} = 1,678 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{1,063}{1 \cdot 10^3} = 1,063 \cdot 10^{-3} [A]$$

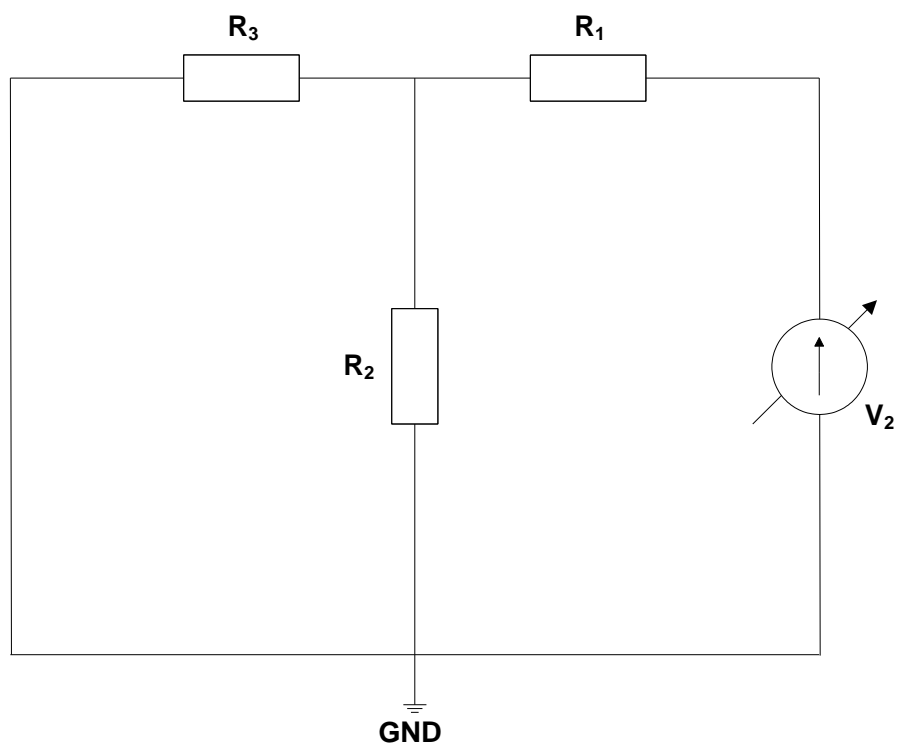
- dla wartości rzeczywistych rezystorów

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{2,753}{0,99 \cdot 10^3} = 2,78 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{1,678}{0,99 \cdot 10^3} = 1,69 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{1,063}{0,98 \cdot 10^3} = 1,08 \cdot 10^{-3} [A]$$

c) Schemat obwodu do badania właściwości superpozycji z jednym źródłem V_2



Obliczenia:

- dla wartości zadanych w ćwiczeniu

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{-0,482}{1 \cdot 10^3} = -0,482 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{-3,351}{1 \cdot 10^3} = -3,351 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{1,072}{1 \cdot 10^3} = 1,072 \cdot 10^{-3} [A]$$

- dla wartości rzeczywistych rezystorów

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{-0,482}{0,99 \cdot 10^3} = -0,487 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{-3,351}{0,99 \cdot 10^3} = -3,38 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3} = \frac{1,072}{0,98 \cdot 10^3} = 1,094 \cdot 10^{-3} [A]$$

Powyższe obliczenia przedstawia tabela:

- dla wartości zadanych w ćwiczeniu

		Obliczenia		
V ₁ [V]	V ₂ [V]	I _{R1} [A]	I _{R2} [A]	I _{R3} [A]
5,0	3,2	2,28 · 10 ⁻³	-1,675 · 10 ⁻³	2,15 · 10 ⁻³
5,0	-	2,753 · 10 ⁻³	1,678 · 10 ⁻³	1,063 · 10 ⁻³
-	3,2	-0,482 · 10 ⁻³	-3,351 · 10 ⁻³	1,072 · 10 ⁻³

- dla wartości rzeczywistych rezystorów

		Obliczenia		
V ₁ [V]	V ₂ [V]	I _{R1} [A]	I _{R2} [A]	I _{R3} [A]
5,0	3,2	2,3 · 10 ⁻³	-1,69 · 10 ⁻³	2,17 · 10 ⁻³
5,0	-	2,78 · 10 ⁻³	1,69 · 10 ⁻³	1,08 · 10 ⁻³
-	3,2	-0,487 · 10 ⁻³	-3,38 · 10 ⁻³	1,094 · 10 ⁻³

Zgodnie z zasadą superpozycji:

$$\mathbf{I}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

W przypadku badanego w ćwiczeniu obwodu:

$$\mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$\mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$\mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

- dla wartości zadanych w ćwiczeniu

$$\mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$I_{R1}(V_1, V_2) = 2,753 \cdot 10^{-3} + (-0,482 \cdot 10^{-3}) = 2,271 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}$$

$$\mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$I_{R2}(V_1, V_2) = 1,678 \cdot 10^{-3} + (-3,351 \cdot 10^{-3}) = -1,673 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}$$

$$\mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$I_{R3}(V_1, V_2) = 1,063 \cdot 10^{-3} + 1,072 \cdot 10^{-3} = 2,135 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}$$

- dla wartości rzeczywistych rezystorów

$$\mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$I_{R1}(V_1, V_2) = 2,78 \cdot 10^{-3} + -0,487 \cdot 10^{-3} = 2,293 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}$$

$$\mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$I_{R2}(V_1, V_2) = 1,69 \cdot 10^{-3} + (-3,38 \cdot 10^{-3}) = -1,69 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}$$

$$\mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_1) + \mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_2) = \mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$$

$$I_{R3}(V_1, V_2) = 1,08 \cdot 10^{-3} + 1,094 \cdot 10^{-3} = 2,174 \cdot 10^{-3} \text{ [A]}$$

Powyższe obliczenia przedstawia tabela:

Prądy		
	parametry zadane	wartości rzeczywiste
$\mathbf{I}_{R1}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2) \text{ [A]}$	$2,271 \cdot 10^{-3}$	$2,293 \cdot 10^{-3}$
$\mathbf{I}_{R2}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2) \text{ [A]}$	$-1,673 \cdot 10^{-3}$	$-1,69 \cdot 10^{-3}$
$\mathbf{I}_{R3}(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2) \text{ [A]}$	$2,135 \cdot 10^{-3}$	$2,174 \cdot 10^{-3}$

Porównanie prądów obliczonych w obwodzie na podstawie prawa Ohma i zasady superpozycji:

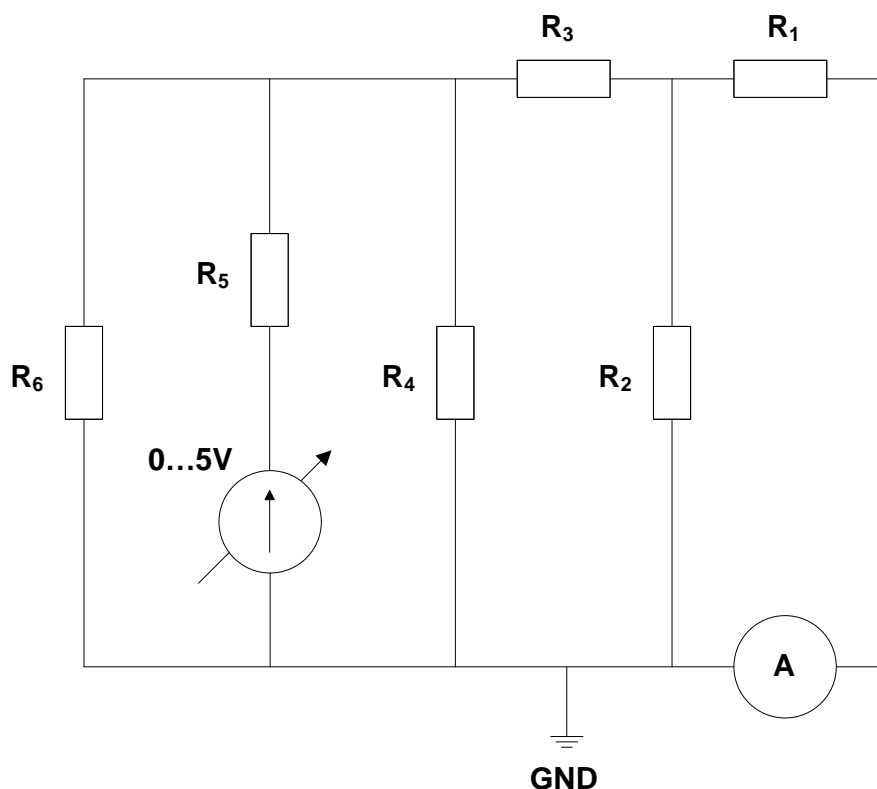
- dla parametrów zadanych w ćwiczeniu:

Prądy		
	Prawo Ohma	Superpozycja
$I_{R1}(V_1, V_2)$ [A]	$2,28 \cdot 10^{-3}$	$2,271 \cdot 10^{-3}$
$I_{R2}(V_1, V_2)$ [A]	$-1,675 \cdot 10^{-3}$	$-1,673 \cdot 10^{-3}$
$I_{R3}(V_1, V_2)$ [A]	$2,15 \cdot 10^{-3}$	$2,135 \cdot 10^{-3}$

- dla wartości rzeczywistych rezystorów:

Prądy		
	Prawo Ohma	Superpozycja
$I_{R1}(V_1, V_2)$ [A]	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,2931 \cdot 10^{-3}$
$I_{R2}(V_1, V_2)$ [A]	$-1,69 \cdot 10^{-3}$	$-1,69 \cdot 10^{-3}$
$I_{R3}(V_1, V_2)$ [A]	$2,17 \cdot 10^{-3}$	$2,174 \cdot 10^{-3}$

2.2. Badanie zasady wzajemności



Układ pomiarowy dla badania własności wzajemności

Parametry obwodu:

$$V = 0 \dots 5 \text{ [V]}$$

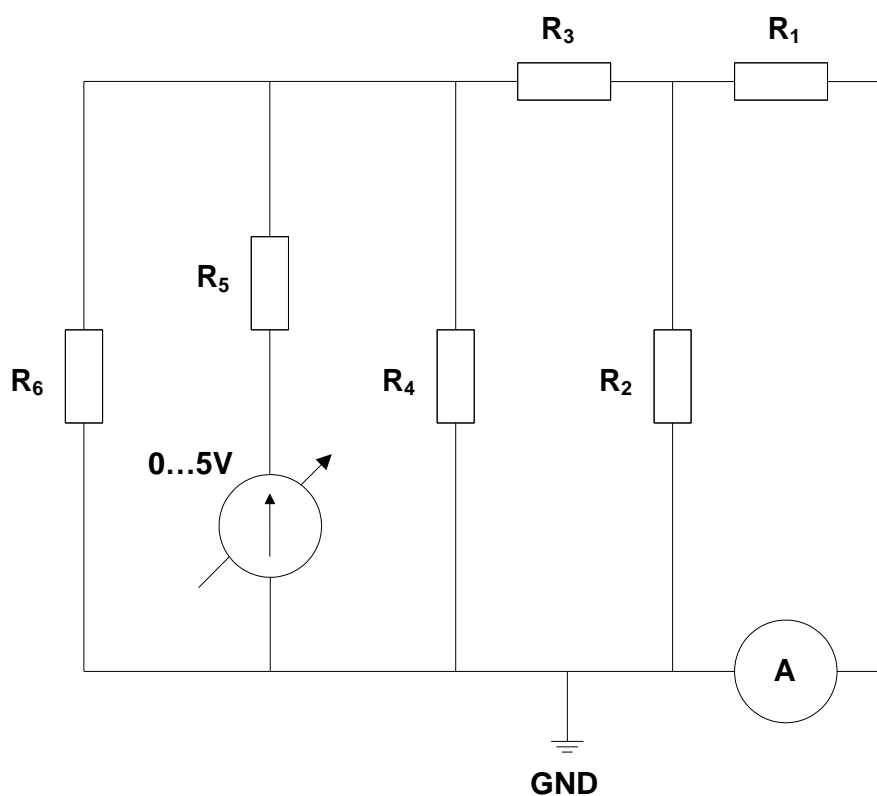
$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 \text{ } 1,0 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

2.2.1. Przebieg pomiarów

Dla tej części nie udało się wykonać pomiarów na zajęciach. Zostały one zasymulowane w programie PSpice. W programie został zbudowany układ według schematu przedstawionego w punkcie 2.2. Wykonano serię 10-u pomiarów prądu i napięcia w obwodzie, zmieniając wartości napięć zasilania w zakresie 0...5 V. Następnie zamieniono miejscami źródło z miernikiem i czynności powtórzono.

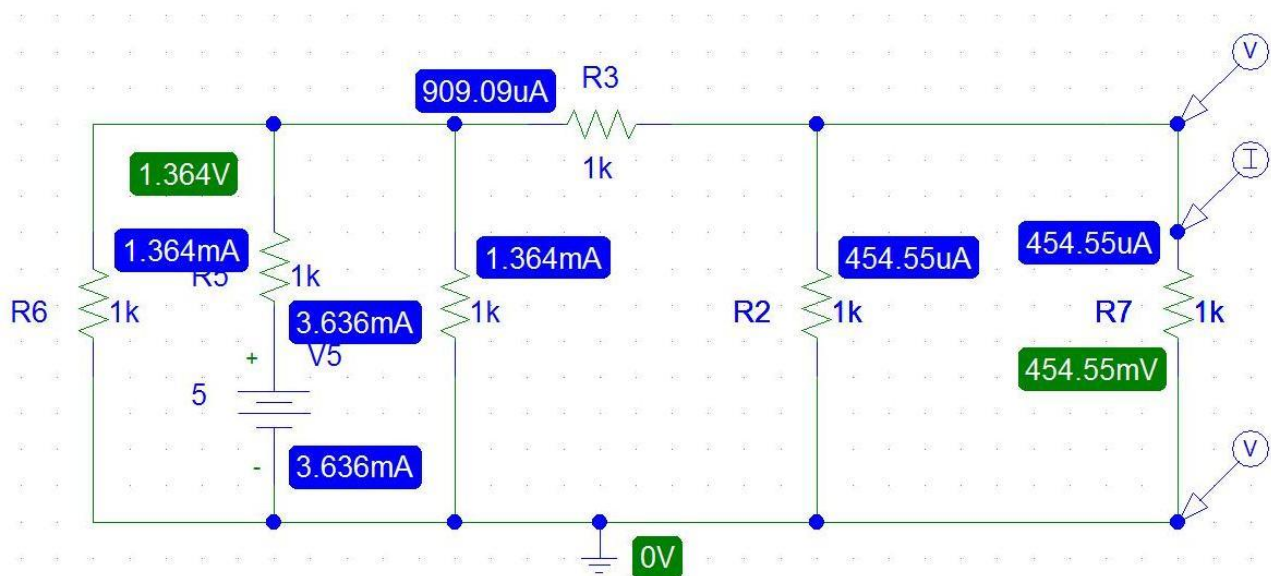
2.2.2. Wyniki pomiarów

a) Obwód 1

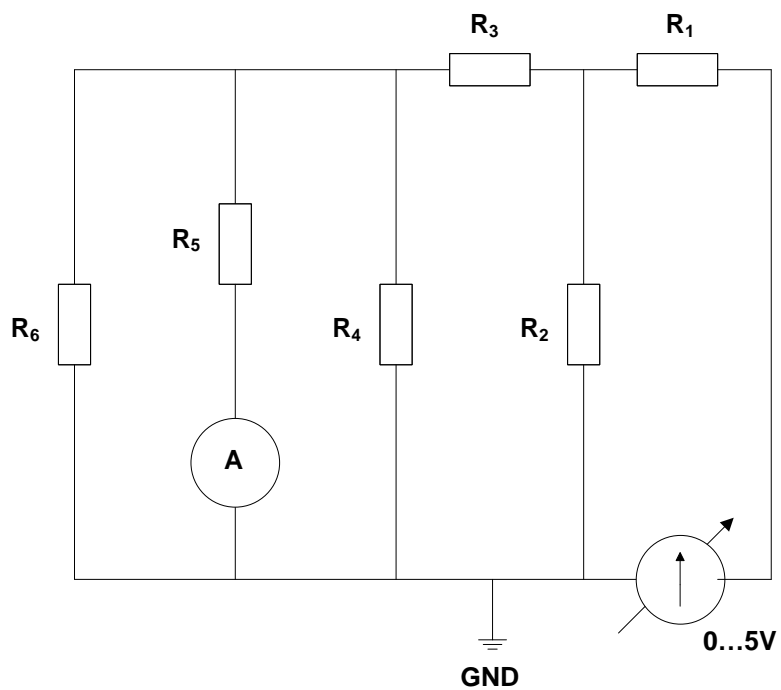


E [V]	I _A [μA]	U [mV]
0,5	45,46	45,46
1,0	90,91	90,91
1,5	136,36	136,36
2,0	181,82	181,82
2,5	227,27	227,27
3,0	272,73	272,73
3,5	318,18	318,18
4,0	363,64	363,64
4,5	409,09	409,09
5,0	454,55	454,55

Obwód symulacyjny w programie PSpice

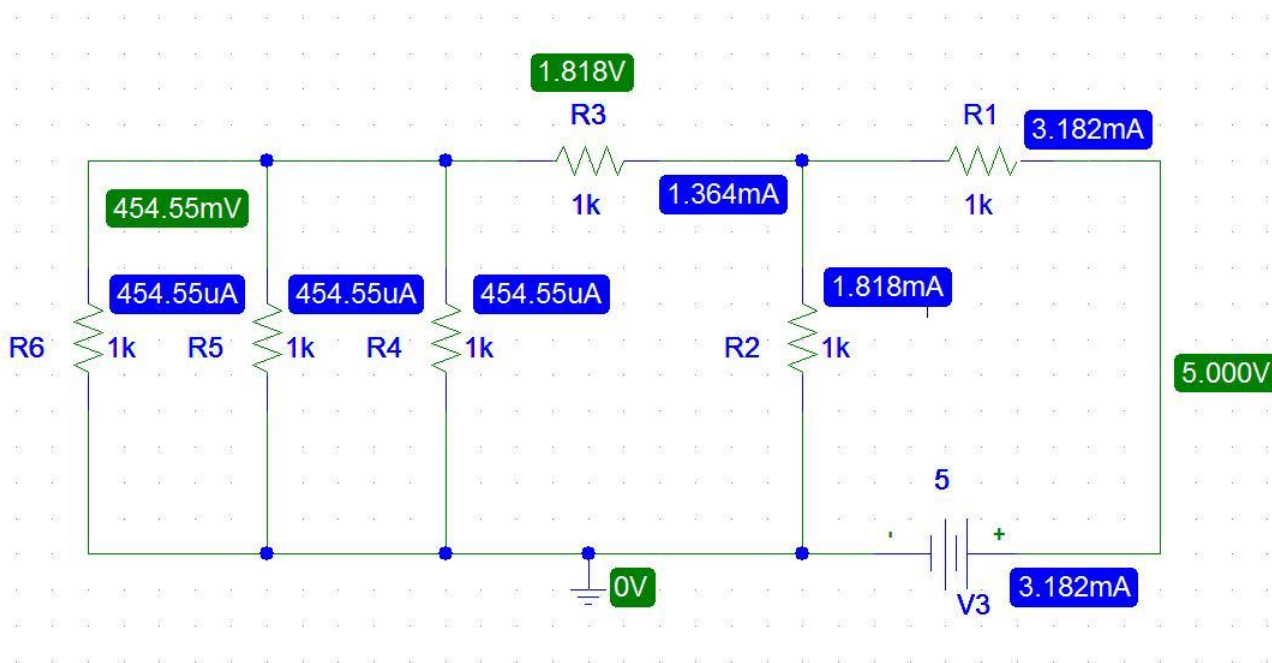


b) Obwód 2



E [V]	I _A [μA]	U [mV]
0,5	45,46	45,46
1,0	90,91	90,91
1,5	136,36	136,36
2,0	181,82	181,82
2,5	227,27	227,27
3,0	272,73	272,73
3,5	318,18	318,18
4,0	363,64	363,64
4,5	409,09	409,09
5,0	454,55	454,55

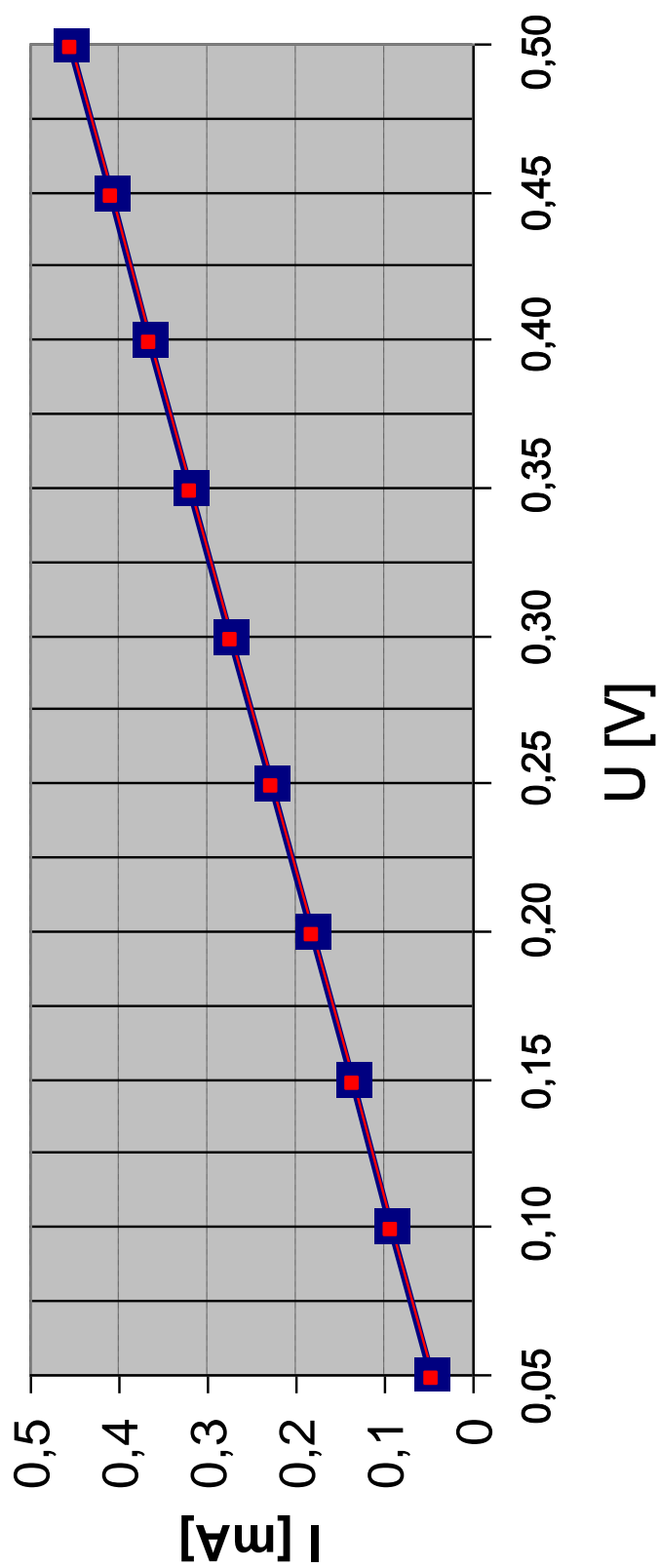
Obwód symulacyjny w programie PSpice



2.2.3. Charakterystyka prądowo- napięciowa $I_A = f(U)$

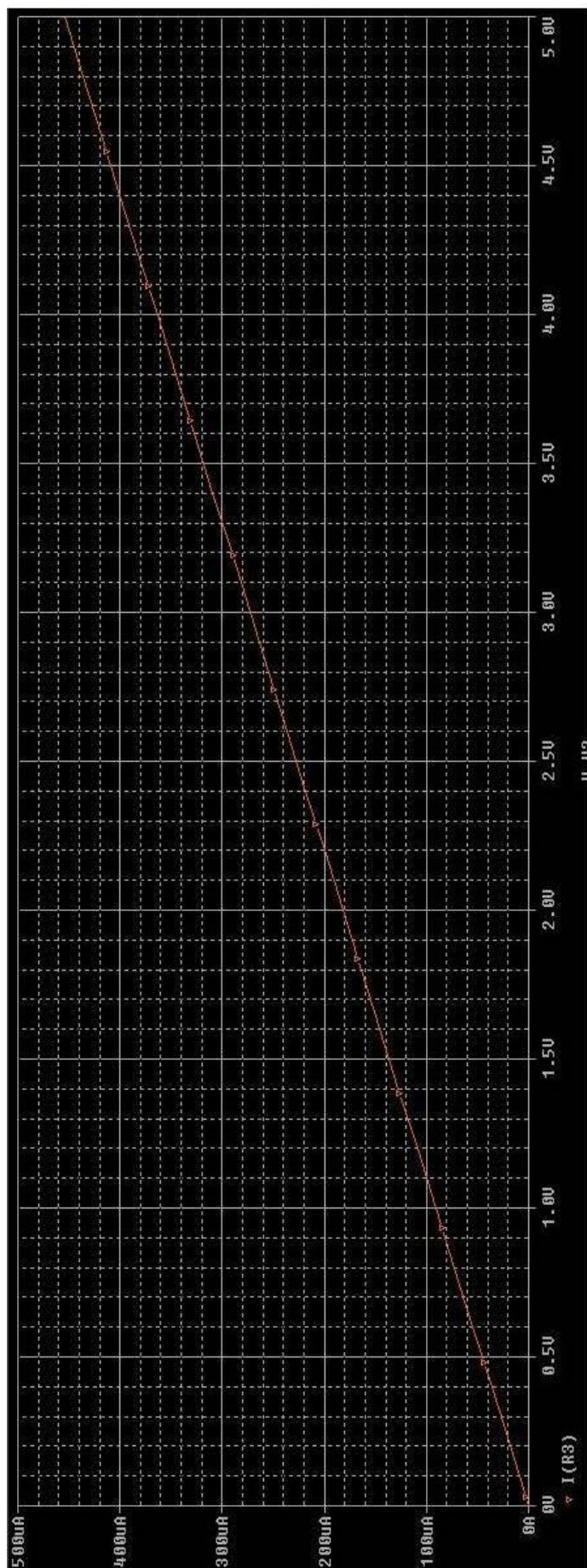
Charakterystyka prądowo-napięciowa

$$I=f(U)$$

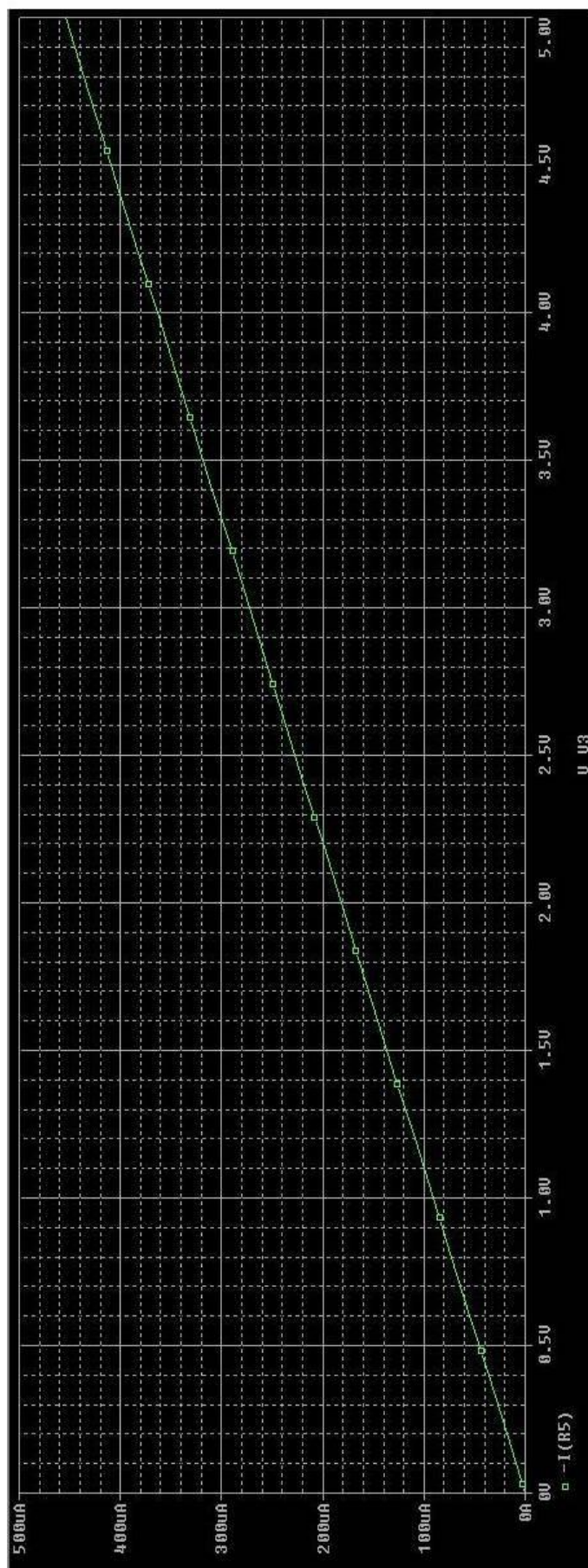


—■ $I=f(U)$ - obwód 1" —■ $I=f(U)$ - obwód 2

Charakterystyka prądowo - napięciowa dla obwodu 1



Charakterystyka prądowo - napięciowa dla obwodu 2



3. Wnioski

Cel ćwiczenia, jakim było praktyczne zilustrowanie zasad superpozycji i wzajemności jako metod analizy obwodów elektrycznych, został zrealizowany.

Ćwiczenie potwierdziło prawidłowość zasady superpozycji jako sposobu obliczania liniowych obwodów prądu stałego.

Porównując wartości prądów w poszczególnych gałęziach uzyskanych z obliczeń na podstawie prawa Ohma oraz z zasady superpozycji widzimy, że różnią się one nieznacznie. Różnica ta może być spowodowana:

- niedokładnością mierników, używanych do wykonania pomiarów,
- niedokładnością w odczycie pomiarów,
- pominięciem rezystancji przewodów w obliczeniach.

Udowodniona została również zasada wzajemności. Źródło napięcia znajdujące się w gałęzi z opornikiem R_5 wywołuje przepływ pewnego prądu I_A (w zależności od wartości napięcia źródłowego) w gałęzi z opornikiem R_1 . Kiedy źródło napięcia umieszczono w gałęzi z opornikiem R_1 a amperomierz w gałęzi z opornikiem R_5 to zmierzono przepływ takiego samego prądu I_A co do wartości (w zależności od wartości napięcia źródłowego). Przedstawia to charakterystyka prądowo – napięciowa (wykresy dla obu obwodów pokrywają się).

Gdyby jednak uwzględnić kierunek przepływu prądu to mają one przeciwne znaki (prąd I_A w obwodzie 2 ma znak ujemny). Wówczas charakterystyka prądowo – napięciowa dla drugiego przypadku przyjmuje na osi rzędnych wartości ujemne.