

## Ćwiczenie 4

# **Pomiar prądu i napięcia stałego**

Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego

opracowali:

Łukasz Śliwczyński

Witold Skowroński

Karol Salwik

ver. 3, 05.2019

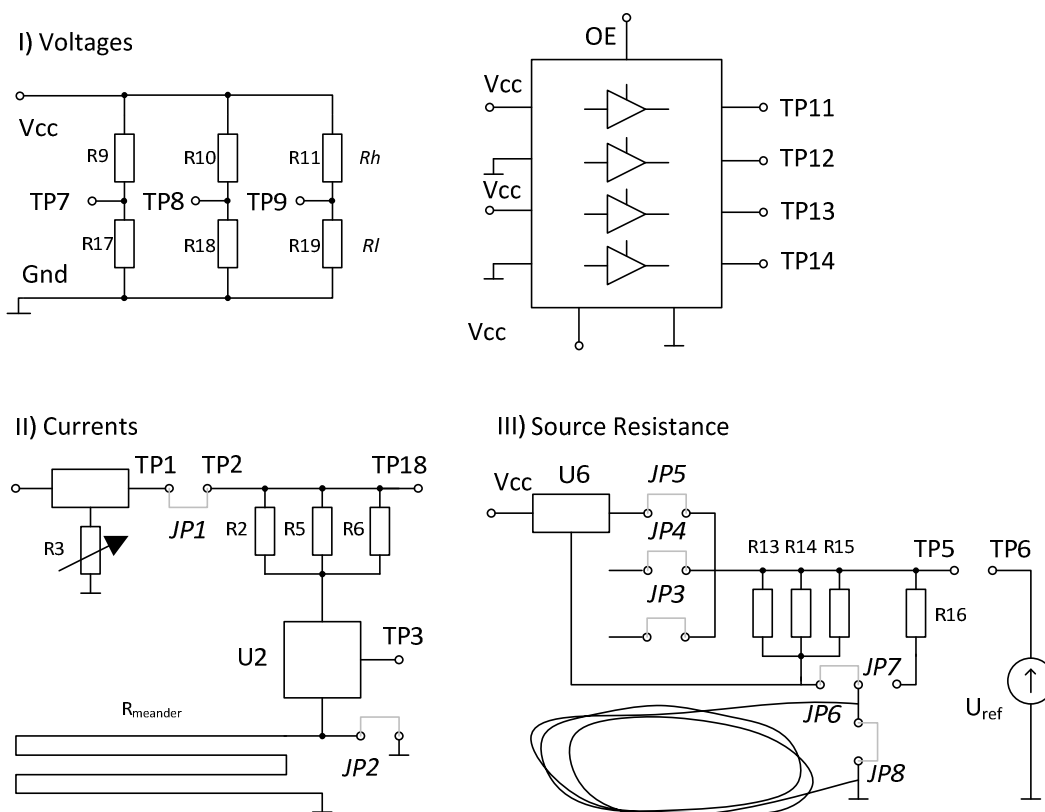
## 1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z metodami pomiaru napięć i prądów stałych, wpływem rezystancji wewnętrznych urządzeń pomiarowych na wynik pomiaru. Pomiar i wyznaczenie rezystancji układów szeregowo równoległych. Wyznaczenie rezystancji wewnętrznej źródła napięcia. Szacowanie niepewności pomiaru. Opanowanie poprawnego zapisu i opracowywania wyników pomiarowych.

## 2. Opis badanego układu

Schemat blokowy modelu do pomiaru napięć i prądów stałych jest przedstawiony na Rys. 1. Model składa się z trzech części: pomiar napięcia (voltages), pomiar prądów (currents), pomiar rezystancji źródła napięcia (source resistance). Dodatkowo do wykonania ćwiczenia wykorzystane będą:

- zasilacz transformatorowy napięcia przemiennego 9V
- stacjonarny multimetr cyfrowy Agilent U3401A,
- cyfrowy multimetr przenośny MU-02D
- multimetr analogowy (magnetoelektryczny) YX-360TR



Rys. 1. Schemat blokowy układu pomiarowego. Dokładny schemat wraz z rozmieszczeniem elementów znajduje się w dodatku.

### 3. Przygotowanie do ćwiczenia

1. Wydrukować (lub przerysować) dodatek 2 z instrukcji zawierający wzory tabel (1-6).
2. Narysować schemat dzielnika napięcia z opornikami  $R_L$  i  $R_H$ . Podać wzór na napięcie na jednym z rezystorów wraz niepewnością, uwzględniającą niepewność pomiaru napięcia oraz tolerancje rezystancji rezystorów.
3. Narysować układ dzielnika napięcia wraz z woltomierzem o skończonej rezystancji wewnętrznej  $R_V$  (odczytać rezystancję wewnętrzną z noty katalogowej multimetru Agilent U3401A). Podać wzór na napięcie na mierzonej rezystorze oraz niepewność tego napięcia uwzględniającą tolerancję rezystancji (5%) dzielnika  $R_L$  i  $R_H$  oraz miernika  $R_V$  oraz niepewność pomiaru napięcia zasilającego dzielnik.
4. Obliczyć poprawkę uwzględniającą wpływ rezystancji wewnętrznej woltomierza na wynik pomiaru napięcia w układzie dzielnika. Wyznaczyć niepewność tej poprawki na podstawie znajomości tolerancji rezystorów.
5. W danych katalogowych multimetru Agilent U3401A (dostępne na stronie internetowej laboratorium) odczytać wartości: rezystancji wewnętrznej amperomierza na poszczególnych zakresach pomiarowych, niepewności pomiaru napięcia, prądu i rezystancji na poszczególnych zakresach.
6. Zapoznać się z działaniem bramki trójstanowej oraz znaczeniem terminu „stan wysokiej impedancji”.
7. Zapisać wzór na rezystancję połączenia równoległego trzech rezystorów oraz niepewność wyznaczenia rezystancji znając tolerancję rezystancji rezystorów (założyć 5%).
8. Zapisać wzór (wraz z niepewnością) na pomiar prądu w oparciu o prawo Ohma.
9. Obliczyć rezystancję ścieżki miedzianej o długości 120 cm, szerokości 0.5 mm i grubości 35  $\mu\text{m}$  (zakładając rezystancję właściwą dla miedzi w temperaturze 20  $^{\circ}\text{C}$ ).
10. Zaznajomić się z pojęciem niepewności standardowej oraz niepewności rozszerzonej oraz poprawnym sposobem zapisu wyników pomiaru.

### 4. Plan ćwiczenia

Podłączyć zasilacz transformatorowy do modułu. Włożyć zasilacz do gniazda sieciowego (poprawna praca będzie sygnalizowana świeceniem diody).

#### 1. Pomiar napięcia

- 1.1. Z modelu pomiarowego odczytać wartości R9-R11 oraz R17-R19 rezystorów tworzących dzielniki napięcia i wpisać do Tabeli 1 wraz z ich niepewnościami.
- 1.2. Przy pomocy multimetru cyfrowego Agilent U3401A zmierzyć wartość napięć na dzielnikach (pomiędzy punktami TP7-TP9 a GND) oraz napięcie zasilania ( $V_{cc}$ ). Zapisać wyniki w Tabeli 1 z uwzględnieniem niepewności pomiaru (skorzystać z danych multimetru). Powtórzyć pomiary multimetrem przenośnym MU-02D oraz woltomierzem analogowym YX-360TR.

- 1.3. Zmierzyć wartość napięcia na wyjściach bramki 74HC125 w punktach TP11 - TP14 względem masy (Gnd) oraz względem napięcia zasilania (Vcc) przy pomocy miernika Agilent U3401A oraz woltomierza analogowego YX-360TR. Wartości napięcia wraz z niepewnością wpisać do Tabeli 2.
2. Pomiar prądu
    - 2.1. Na podstawie kodu kolorowego (paskowego) rezystorów (w dodatku), określić wartość i tolerancje trzech rezystorów w układzie do pomiaru prądu (R2, R5, R6) i zapisać w Tabeli 3.
    - 2.2. Rozłączyć zworkę JP1, włączyć zworkę JP2. Omomierzem zmierzyć wartość obciążenia  $R_L = R2 \parallel R5 \parallel R6$  pomiędzy punktami pomiarowymi TP2 i TP18. Zapisać wyniki z uwzględnieniem niepewności pomiaru w Tabeli 3.
    - 2.3. **Przy pomocy potencjometru R3 ustawić wartość napięcia pomiędzy ok 1-2 V, mierząc napięcie pomiędzy zaciskami TP1 i masą. Wartość napięcia wraz z niepewnością zapisać w Tabeli 4. Następnie**, przy zadanym napięciu, zmierzyć prąd płynący przez obciążenie na zaciskach TP1 i TP2 na dwóch zakresach amperomierza: 500mA oraz 10A (pamiętać o zmianie zakresu na mierniku i zmianie wejścia prądowego). Powtórzyć pomiar dla wyciągniętej zworki JP2.
    - 2.4. Zmieniając napięcie potencjometrem R3, wykonać pomiary 10 par punktów: napięcia na wyjściu czujnika Halla ACS712 w funkcji napięcia na rezystorach obciążających (pomiędzy punktami TP2-TP18). Wartości wraz z niepewnościami wpisać do Tabeli 5.
    - 2.5. Zaobserwować wpływ magnetycznych elementów przykładanych do obudowy układu Halla ACS712 na wynik pomiaru (źródłem pola magnetycznego może być głośnik w telefonie).
    - 2.6. Przy wyłączonym napięciu zasilania zmierzyć wartość rezystancji ścieżki (meandra) pomiędzy punktami TP18 and GND. Wartości wraz z niepewnością zapisać w Tabeli 4.
  3. Pomiar rezystancji wewnętrznej źródła napięcia.
    - 3.1. Przy wyłączonych wszystkich zworach zmierzyć i zapisać wraz z niepewnością wartość obciążenia źródeł napięcia: równolegle połączone rezystory  $R_{L2} = R13 \parallel R14 \parallel R15$  oraz rezystor R16. Wartości wpisać poniżej Tabeli 6.
    - 3.2. Następnie podłączyć zworkę JP8 i zmierzyć wartość napięcia na wyjściu stabilizatorów (pomiędzy punktem TP6 a GND) włączając kolejno zworki:
      - regulowanego U1 – NCP5662, zworka JP3 (należy ustawić wartość ok 3V przy pomocy potencjometru R3 i nie zmieniać jej do końca ćwiczenia)
      - LDO (U4 - Low-Dropout LDO) , zworka JP4,
      - U6 - stabilizator równoległy, band-gap), zworka JP5Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 6 (pierwsza kolumna)
    - 3.3. Powtórzyć pomiary z punktu 3.2 dla obciążenia  $R_{L2}$  (wpięta zworka JP6) i obciążenia  $R_{16}$  (wpięta zworka JP7). Napięcia wraz z niepewnościami wpisać do Tabeli 6 (druga i trzecia kolumna)
    - 3.4. Następnie, przy wypiętych zworkach JP6 i JP7 zmierzyć napięcia  $V_1$  pomiędzy punktami TP5 i TP6 (czyli różnice napięć pomiędzy stabilizatorem referencyjnym a badanym) kolejno

włączając zworki:

- regulowanego U1 – NCP5662, zworka JP3
- LDO (U4 - Low-Dropout LDO) , zworka JP4,
- U6 - stabilizator równoległy, band-gap), zworka JP5

Wyniki pomiarów wpisać do Tabeli 6 (czwarta kolumna).

3.5. Powtórzyć pomiary z punktu 3.4 dla obciążenia  $R_{L2}$  (wpięta zworka JP6). Napięcia wraz z niepewnościami wpisać do Tabeli 6 (piąta kolumna)

3.6. Zaobserwować wpływ przewodów pomiarowych na wynik pomiaru (w układzie pomiarowym tę rolę pełni krótki kawałek przewodu zainstalowany na płytce drukowanej i dołączany poprzez wyjęcie zworki JP8).

## 5. Opracowanie wyników

1. Wartości rezystancji R9-R11 oraz R17-R19 (patrz schemat płytki w Dodatku) wraz z niepewnościami wpisać do Tabeli 1. Obliczyć teoretyczną wartość napięcia na punktach pomiarowych TP7-TP9 względem masy (Gnd). Porównać zmierzone wartości z wyliczeniami teoretycznymi. Skomentować ewentualne rozbieżności.

	$R_H$	$R_L$	$V_{\text{teoretyczne}}$	$V_{\text{Agilent}}$	$V_{\text{cyfrowy}}$	$V_{\text{analogowy}}$
R9-R17, TP7						
R10-R18, TP8						
R11-R19, TP9						

Tabela 1.

2. Wyznaczyć wartość poprawki, którą należy uwzględnić ze względu na skończona wartość rezystancji miernika (odczytaną z dokumentacji). Porównać wyniki obliczeń oraz pomiarów z uwzględnieniem poprawki.
3. Skomentować wyniki pomiarów napięcia w układzie z bramką trójstanową. Czy w tym układzie jest spełnione napięciowe prawo Kirchhoffa?

	Pomiar V względem GND		Pomiar V względem Vcc		Komentarz
	U3401A	YX-360TR	U3401A	YX-360TR	
TP11					
TP12					
TP13					
TP14					

Tabela 2

4. Obliczyć wartość rezystancji obciążenia  $R_L$  układu do pomiaru prądu wraz z niepewnością. Porównać wartość obliczoną z rezystancją zmierzoną (przy włączonej zworce JP2).

R2	R5	R6	$R_L$ – zmierzone	$R_L = R2    R5    R6$ - wyliczone

Tabela 3.

Napięcie ustawione potencjometrem R3:

$$V_{TP1} = \dots\dots\dots$$

5. Obliczyć wartość prądu płynącego przez obciążenie korzystając z prawa Ohma. Porównać zmierzone wartości z obliczeniami teoretycznymi – Tabela 4. Porównać zmierzoną wartość meandra z obliczeniami dla ścieżki miedzianej z części przygotowawczej do ćwiczenia.

I zakres mA JP2 zwarta	I zakres A JP2 zwarta	I zakres mA JP2 rozwarta	I zakres A JP2 rozwarta	I obliczone

Tabela 4.

Wynik pomiaru rezystancji meandra:

$$R_{meander} = \dots\dots\dots$$

6. Obliczyć rezystancję wewnętrzną amperomierza na zakresie 10A oraz 500mA. Porównać wartość obliczonej rezystancji z notą katalogową multimetru.
7. Wykorzystując prawo Ohma obliczyć prąd płynący przez 3 równolegle połączone rezystory  $R2 || R5 || R6$  ( $I_L$ ) dla każdego napięcia i wpisać do Tabeli 5. Następnie, wykorzystując metodę regresji liniowej wyznaczyć czułość Hallotronu ACS712 jako stosunek napięcia na wyjściu układu ( $V_{Hall}$ ) do prądu prądów płynącego ( $I_L$ ).

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{RL}$										
$I_L$										
$V_{Hall}$										

Tabela 5.

8. Zmierzone wartości napięcia na stabilizatorach przy różnych obciążeniach wpisać do Tabeli 6. Korzystając z wyprowadzonych wzorów obliczyć rezystancję wewnętrzną trzech źródeł napięcia (U1, U4 i U6). Skomentować ewentualne różnice w napięciach.

	$V_O$ nieobciążony	$V_{JP6}$ obciążenie JP6 ( $R_{L2}$ )	$V_{JP7}$ obciążenie JP7 $R_{16}$	U5 – TL431ACT <i>regulowany</i>		$R_w$ obliczyć
				$V_1$ TP5 – TP6	$V_2$ TP5 – TP6	
U1 – NCP5662 <i>regulowany</i>						
U4 – LDO <i>nieregulowany</i>						
U6 – band gap <i>nieregulowany</i>						

Tabela 6.

$$R_{16} = \dots\dots\dots$$

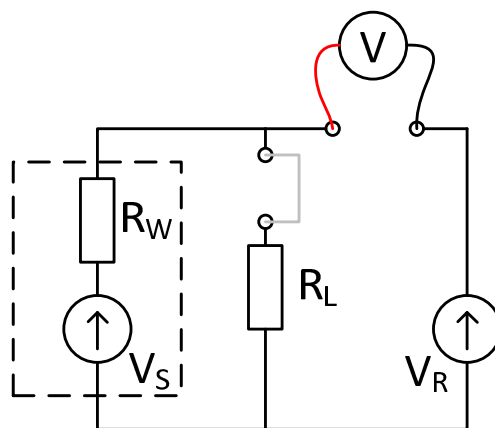
$$R_{L2} = \dots\dots\dots$$

9. Dla dociekliwych: obliczyć wartość rezystancji wewnętrznej stabilizatora U4 dla wyłączonej zworki JP8. Skomentować otrzymane wyniki. Czy można się spodziewać podobnego efektu dla stabilizatora U6? Dlaczego?

## Dodatek 1

### Wyznaczanie rezystancji wewnętrznej źródła napięcia metodą porównawczą.

Niewielką wartość rezystancji wewnętrznej źródła napięcia  $U_S$  można wyznaczyć porównując spadek napięcia na rezystorze  $R_L$  podłączonego do źródła równoległe z drugim źródłem  $U_R$  o podobnym napięciu wyjściowym. Schemat układu pomiarowego jest przedstawiony na Rys. 2.



Rys. 2. Schemat ideowy układu pomiarowego rezystancji wewnętrznej źródła napięcia.

Gdy rezystor obciążający źródło  $R_L$  jest niepodłączony, woltomierz wskazuje różnicę napięć pomiędzy źródłami napięciowymi:

$$V_1 = V_R - V_S \quad (1)$$

Gdy rezystor  $R_L$  jest włączony, woltomierz wskazuje napięcie, które jest różnicą napięcia na rezystorze:

$$V_{RL} = V_S \cdot R_L / (R_W + R_L) \quad (2)$$

oraz napięcia na pomocniczym źródle napięcia  $V_R$ , zatem:

$$V_2 = V_S \cdot R_L / (R_W + R_L) - V_R \quad (3)$$

Przekształcając równanie (3) można obliczyć wartość oporu wewnętrznego  $R_W$ .



**Dodatek 2****Wzory tabelk do zapisania wyników pomiarowych**

Napięcie zasilania :

$$V_{TP4} = \dots\dots\dots$$

	$R_H$	$R_L$	$V_{teoretyczne}$	$V_{Agilent}$	$V_{cyfrowy}$	$V_{analogowy}$
R9-R17, TP7						
R10-R18, TP8						
R11-R19, TP9						

Tabela 1.

	Pomiar V względem GND		Pomiar V względem Vcc		Komentarz
	U3401A	YX-360TR	U3401A	YX-360TR	
TP11					
TP12					
TP13					
TP14					

Tabela 2

R2	R5	R6	$R_L$ – zmierzone	$R_L = R2    R5    R6$ - wyliczone

Tabela 3.

Napięcie ustawione potencjometrem R3:

$$V_{TP1} = \dots\dots\dots$$

I zakres mA JP2 zwarta	I zakres A JP2 zwarta	I zakres mA JP2 rozwarta	I zakres A JP2 rozwarta	I obliczone

Tabela 4.

Wynik pomiaru rezystancji meandra:

$$R_{\text{meander}} = \dots\dots\dots$$

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{RL}$										
$I_L$										
$V_{Hall}$										

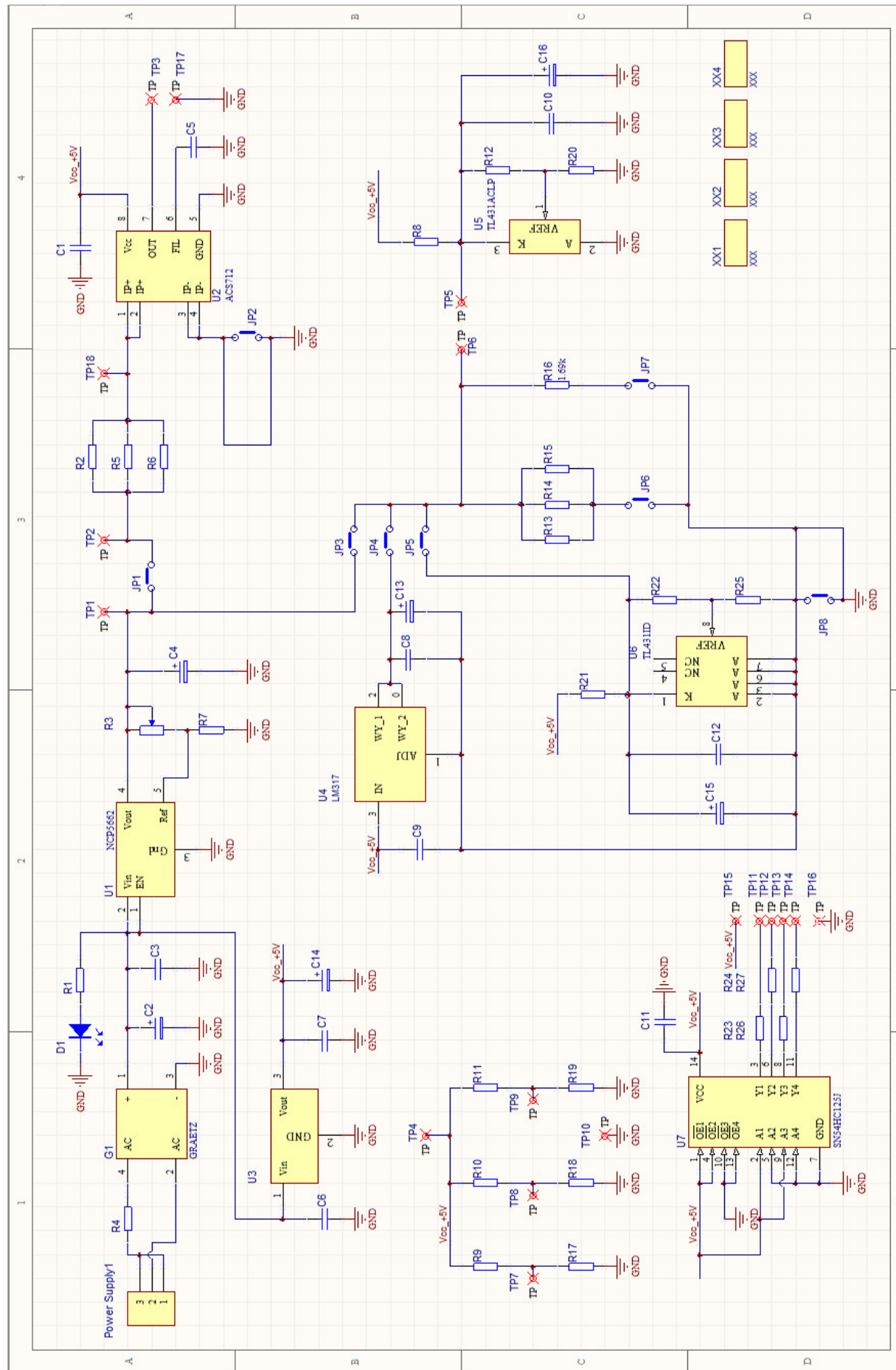
Tabela 5.

	$V_O$ nieobciążony	$V_{JP6}$ obciążenie JP6 ( $R_{L2}$ )	$V_{JP7}$ obciążenie JP7 $R_{16}$	U5 – TL431ACT <i>regulowany</i>		$R_w$ obliczyć
				$V_1$ TP5 – TP6	$V_2$ TP5 – TP6	
U1 – NCP5662 <i>regulowany</i>						
U4 – LDO <i>nieregulowany</i>						
U6 – band gap <i>nieregulowany</i>						

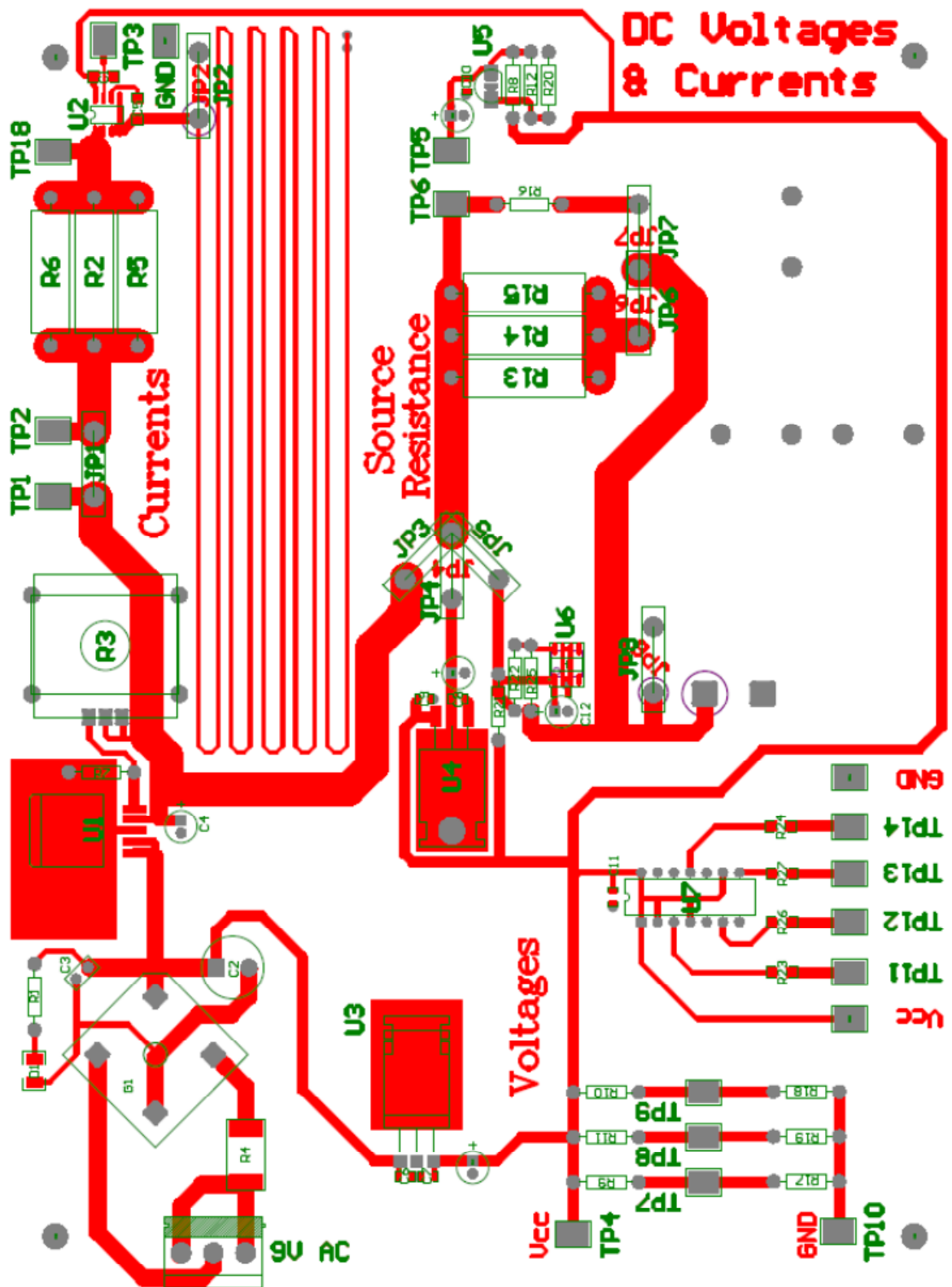
Tabela 6.

$$R_{16} = \dots\dots\dots$$

$$R_{L2} = \dots\dots\dots$$



Rys. 3. Schemat modelu pomiarowego.



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce

<p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>0 Black 1 Brown 2 Red 3 Orange 4 Yellow 5 Green 6 Blue 7 Purple 8 Grey 9 White</p> <p>±1% Brown ±2% Red ±5% Gold ±10% Silver</p>	<p>±1% ±2% ±5% ±10%</p> <p>27K EXAMPLE</p> <p>0 0 ×1</p> <p>1 1 ×10 2 2 ×100 3 3 ×1000 4 4 ×10000 5 5 ×100000 6 6 ×1000000 7 7 ÷10 8 8 ÷100 9 9</p>	<p>±1% ±2% ±5% ±10%</p> <p>15K EXAMPLE</p> <p>0 0 ×1</p> <p>1 1 1 ×10 2 2 2 ×100 3 3 3 ×1000 4 4 4 ×10000 5 5 5 ÷10 6 6 6 ÷100 7 7 7 8 8 8 9 9 9</p>	<p>±1% 100 50 ±2% 25 15 ±5% 10 5 ±10% 1</p> <p>620K EXAMPLE</p> <p>0 0 ×1</p> <p>1 1 1 ×10 2 2 2 ×100 3 3 3 ×1000 4 4 4 ×10000 5 5 5 ÷10 6 6 6 ÷100 7 7 7 8 8 8 9 9 9</p>
<p><b>Color Codes</b></p>	<p><b>4 Band Resistors</b></p>	<p><b>5 Band Resistors</b></p>	<p><b>6 Band Resistors</b></p>

Rys. 5. Legenda kolorowego oznaczenia rezystorów.