

# LXXIII OLIMPIADA FIZYCZNA

## ZAWODY III STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA, 13.04.2024

Za zadanie można otrzymać maksymalnie 40 punktów.

W czarnym pudełku znajduje się układ składający się z:

- 4 diod elektroluminescencyjnych (LED), to jest takich, w których przepływowi prądu elektrycznego towarzyszy emisja światła o natężeniu rosnącym wraz z natężeniem prądu, w tym:
  - 2 diod zielonych oznaczonych Z1, Z2,
  - 2 diod czerwonych oznaczonych C1, C2,
- dwóch oporników: R1 i R2 o oporach odpowiednio  $R$  i  $3R$ , gdzie  $R > 100\ \Omega$ ; oporniki nie są ze sobą bezpośrednio połączone (tzn. żadne wyprowadzenie opornika R1 nie jest zwarte z żadnym wyprowadzeniem opornika R2).

Masz do dyspozycji:

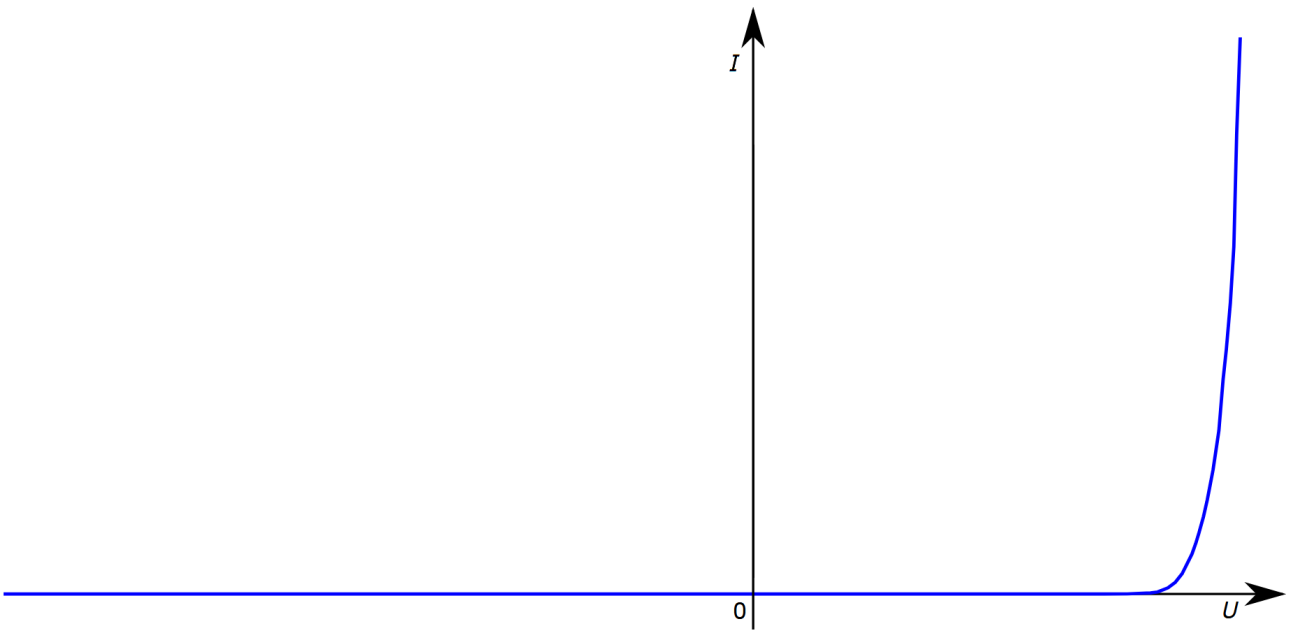
- wyżej opisane czarne pudełko,
- baterię o nominalnym napięciu 3 V,
- czerwoną diodę elektroluminescencyjną (LED) nominalnie taką samą jak diody użyte w układzie w czarnym pudełku,
- miernik mogący pełnić funkcję woltomierza lub miliamperomierza,
- 3 przewody pomiarowe zakończone zaciskami (krokodylkami).

1. Sporządź schemat elektryczny układu znajdującego się w czarnym pudełku.
2. Wyznacz wartość oporu  $R$ .

### Uwagi:

1. Nie możesz zaglądać do wnętrza pudełka.
2. Masz dostęp do trzech przewodów (zacisków) podłączonych do trzech różnych punktów układu elektrycznego ( $A, B, C$ ). Podpisz je tak samo na swoim schemacie.
3. W schemacie użyj także oznaczeń diod, których użyto na pudełku: Z1, C1, Z2, C2.
4. Nie pozostawiaj baterii podłączonej do układu ani do dodatkowej diody kiedy nie wykonujesz pomiarów.
5. Nie zwieraj biegunów baterii. Możesz założyć, że między żadną parą punktów spośród ( $A, B, C$ ) nie ma zwarcia.

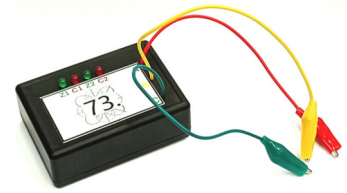
**Wskazówka:** Na rys. 1 przedstawiono zależność natężenia prądu  $I$  płynącego przez diodę elektroluminescencyjną od przyłożonego do niej napięcia  $U$ . Na osiach celowo nie naniesiono skali liczbowej.



Rys. 1

Na stanowisku pomiarowym powinny znajdować się następujące elementy:

- czarne pudełko opisane w treści zadania:



- miernik uniwersalny z przewodami pomiarowymi:

Miernika używaj tylko jako miliamperomierza prądu stałego w zakresie do 200 mA (pokrętło w pozycji oznaczonej DCA 200m) lub woltomierza prądu stałego w zakresie do 20 V (pokrętło w pozycji oznaczonej DCV 20). **Nie używaj miernika z pokrętłem ustawionym w innych pozycjach niż wskazane powyżej**, wskazania miernika mogą być wtedy nieprawidłowe.

Dodatnie wskazanie woltomierza oznacza, że potencjał czerwonego przewodu pomiarowego podłączonego do zacisku oznaczonego  $V\Omega mA$  jest wyższy od potencjału czarnego przewodu podłączonego do zacisku oznaczonego COM.

**UWAGA! Nigdy nie podłączaj miliamperomierza bezpośrednio do źródła prądu**, tzn. nie zamykaj obwodu złożonego wyłącznie z miliamperomierza i np. baterii. **Grozi to trwałym uszkodzeniem miernika!**



- bateria pastylkowa:

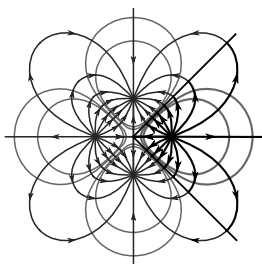
**UWAGA! Zaciski przewodów pomiarowych podłączaj wyłącznie do wyprowadzeń (nózek) baterii. Zwracaj uwagę, aby przy podłączaniu zacisków nie zewrzeć biegunów baterii.**



- czerwona dioda elektroluminescencyjna (LED):



- 3 przewody pomiarowe zakończone zaciskami



# LXXIII OLIMPIADA FIZYCZNA

## ROZWIĄZANIA ZADAŃ ZAWODÓW III STOPNIA

### CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

#### Rozwiązanie zadania D

#### Sporządzenie schematu elektrycznego układu - część teoretyczna

W celu identyfikacji schematu elektrycznego zostanie przeprowadzona seria pomiarów polegających na podłączaniu biegunów baterii do różnych par przewodów wyprowadzonych z pudełka i obserwacji diod LED. Jednocześnie, w każdej z badanych konfiguracji, zmierzone zostanie natężenie prądu płynącego przez układ za pomocą miliamperomierza połączonego szeregowo z baterią oraz napięcie na zaciskach baterii za pomocą woltomierza połączonego równolegle do nich. W identyfikacji połączenia elementów układu pomocne będą następujące spostrzeżenia:

- i) dioda LED emituje światło wtedy i tylko wtedy, kiedy przepływa przez nią prąd elektryczny;
- ii) jeżeli w badanym układzie prąd przepływa przez opornik o oporze  $R_x$ , to natężenie prądu płynącego przez ten opornik nie może być większe niż  $U_B/R_x$ , gdzie  $U_B$  to napięcie na zaciskach baterii połączonych z wyprowadzeniami badanego układu; w szczególności wynika stąd wniosek, że jeżeli po połączeniu baterii z dwoma wybranymi wyprowadzeniami układu przez układ przepływa prąd o natężeniu większym niż  $U_B/R_z$ , gdzie  $R_z$  to opór zastępczy dwóch oporników o oporach, odpowiednio, 100  $\Omega$  i 300  $\Omega$ , połączonych równolegle (tj.  $R_z = 75 \Omega$ ), to z całą pewnością pomiędzy tymi wyprowadzeniami układu istnieje ścieżka niezawierająca żadnego opornika.

#### Sporządzenie schematu elektrycznego układu - część doświadczalna

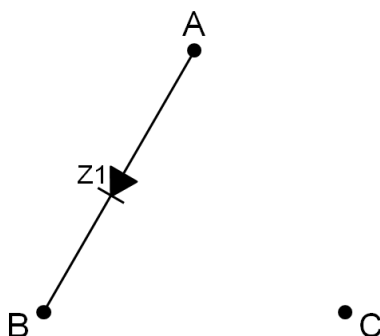
W celu wykonania pomiarów zestawiono układ składający się w czarnego pudełka, miliamperomierza lub woltomierza oraz przewodów połączeniowych i wykonano pomiary opisane powyżej w 6 konfiguracjach. Ich wyniki przedstawiono w tabeli 1:

lp.	+	-	$I$ [mA]	$U_B$ [V]	obserwacje dot. diod
1.	A	B	41	2,43	emisja światła z diody Z1
2.	B	A	40	2,45	emisja światła z diody Z2
3.	A	C	0	3,06	brak emisji światła
4.	C	A	66	2,19	emisja światła z diod C1 i C2 (większe natężenie światła z C2)
5.	B	C	0	3,05	brak emisji światła
6.	C	B	8,8	2,86	emisja światła z diod C1 i C2 (większe natężenie światła z C1)

Tabela 1: Wyniki pomiarów. Kolumny + i - zawierają oznaczenia punktów układu, do których podłączono, odpowiednio, dodatni i ujemny biegun baterii.  $I$  to natężenie prądu płynącego przez układ a  $U_B$  to napięcie na wyprowadzeniach baterii.

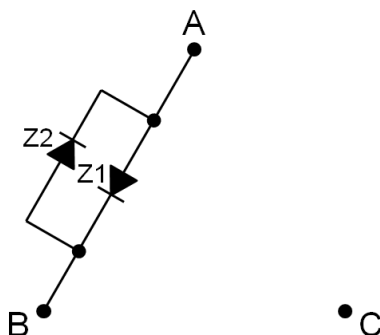
Posiłkując się wynikami odpowiednich pomiarów możemy zidentyfikować położenie kolejnych elementów w badanym układzie:

1) Z emisji światła z diody Z1 w pomiarze nr 1 wynika, że w badanym układzie istnieje taka ścieżka z punktu  $A$  do punktu  $B$ , która przechodzi przez diodę Z1 w kierunku przewodzenia. Jednocześnie natężenie prądu i napięcie na zaciskach baterii wyznaczone w tym pomiarze jednoznacznie wskazują, że na ścieżce tej nie występuje żaden opornik, zgodnie ze spostrzeżeniem ii) z części teoretycznej rozwiązania (ponieważ żadna inna dioda nie emituje w tym pomiarze światła, zgodnie ze spostrzeżeniem i) cały przepływający przez układ prąd może płynąć wyłącznie przez diodę Z1 i (ewentualnie) przez oporniki R1 lub R2). Stąd wniosek, że punkty  $A$  i  $B$  muszą być bezpośrednio połączone diodą Z1, jak na rys. 1:



Rysunek 1: Częściowy schemat elektryczny badanego układu z zaznaczoną diodą Z1.

2) Z emisji światła z diody Z2 w pomiarze nr 1 oraz z natężenia prądu i napięcia na zaciskach baterii wynika, analogicznie do punktu 1), że punkty  $A$  i  $B$  muszą być również bezpośrednio połączone diodą Z2, w kierunku przewodzenia z  $B$  do  $A$ , tzn. że diody Z1 i Z2 są połączone równoległe jak na rys. 2:



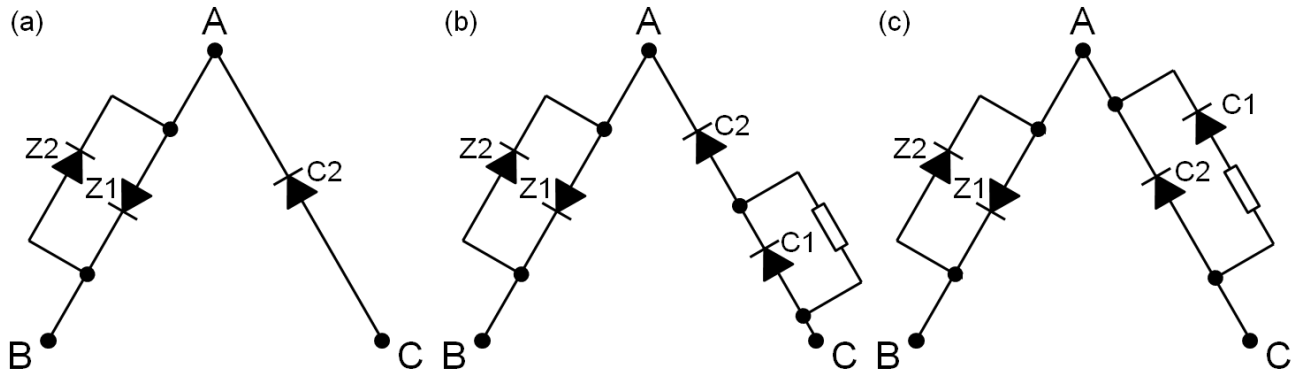
Rysunek 2: Częściowy schemat elektryczny badanego układu.

3) Z natężenia prądu i napięcia na zaciskach baterii zmierzonych w pomiarze nr 4 wynika, że w badanym układzie istnieje co najmniej jedna ścieżka z punktu  $C$  do punktu  $A$ , która nie zawiera żadnego opornika, a więc zawiera tylko jedną lub więcej diod. Ponieważ obserwowana jest emisja światła z diod C1 i C2, z większym natężeniem z diody C2, to mamy trzy możliwości:

i) punkty  $C$  i  $A$  są bezpośrednio połączone diodą C2, jak na rys. 3(a), a dioda C1 łączy inne punkty układu;

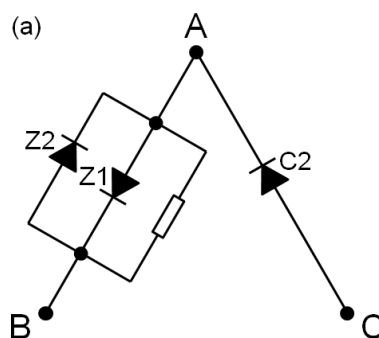
ii) punkty  $C$  i  $A$  są połączone diodami  $C1$  i  $C2$  połączonymi szeregowo, przy czym dioda  $C1$  jest dodatkowo połączona równolegle z opornikiem, np. jak na rys. 3(b) (mniejsze natężenie światła z diody  $C1$  jednoznacznie wskazuje, że nie cały prąd przepływający przez diodę  $C2$  przepływa również przez diodę  $C1$ );

iii) punkty  $C$  i  $A$  są połączone diodami  $C1$  i  $C2$  połączonymi równolegle, przy czym dioda  $C1$  jest dodatkowo połączona szeregowo z opornikiem, np. jak na rys. 3(c);



Rysunek 3: Możliwe warianty częściowego schematu elektrycznego badanego układu

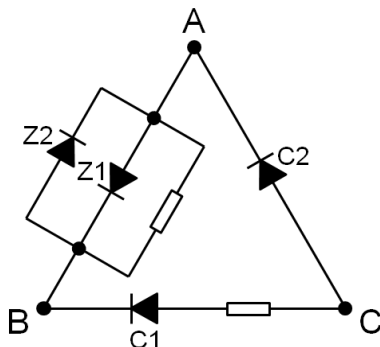
4) Z faktu, że w pomiarze nr 6 jest obserwowana emisja z diod  $C1$  i  $C2$ , a nie jest obserwowana emisja z diody  $Z1$  wynika, że aby umożliwić przepływ prądu przez diody czerwone, równolegle do diody  $Z1$  musi być połączony opornik. Jednocześnie zauważmy, że w przypadku układów z rys. 3(b) oraz 3(c), w pomiarach nr 4 i 6 relacja natężenia światła emitowanego przez diody  $C1$  i  $C2$  byłaby taka sama, tj. dioda  $C1$  zawsze emitowałaby światło o mniejszym natężeniu niż dioda  $C2$ . Natomiast w pomiarze nr 6 ta relacja jest przeciwna, co ostatecznie prowadzi do wniosku, że poprawnym (częściowym) schematem jest schemat pokazany na rys. 4, a dioda  $C1$  znajduje się pomiędzy punktami  $C$  i  $B$ .



Rysunek 4: Częściowy schemat elektryczny badanego układu.

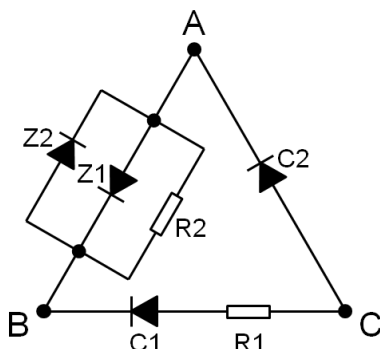
5) Z natężenia prądu płynącego przez układ w pomiarze nr 6 (8,8 mA) wynika, że dioda  $C1$  nie może łączyć punktów  $C$  i  $B$  bezpośrednio, ponieważ wtedy natężenie to byłoby większe niż natężenie prądu płynącego przez dodatkową diodę czerwoną bezpośrednio podłączoną do baterii (które, jak sprawdzowno, wynosi ok. 66 mA). Stąd dioda  $C1$  jest połączona szeregowo z opornikiem. Wziąwszy pod uwagę fakt, że – zgodnie z treścią zadania – oporniki znajdujące

się w badanym układzie nie są ze sobą bezpośrednio połączone, jedynym możliwym układem spełniającym powyższe warunki jest układ pokazany na rys. 5:



Rysunek 5: Częściowy schemat elektryczny badanego układu.

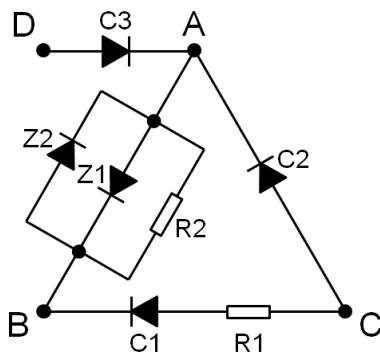
6) Identyfikacji położenia oporników  $R_1$  i  $R_2$  można dokonać na podstawie obserwacji poczynionych w trakcie pomiaru nr 6. Prąd płynący przez diodę  $C_1$  przepływa tylko przez opornik w gałęzi  $B-C$ , natomiast prąd płynący przez diodę  $C_2$  – tylko przez opornik w gałęzi  $A-B$ . Mniejsze natężenie światła z diody  $C_2$  jednoznacznie wskazuje więc, że opornikiem  $R_2$  o większym oporze jest ten w gałęzi  $A-B$ , jak pokazano na ostatecznym schemacie elektrycznym na rys. 6.



Rysunek 6: Pełny schemat elektryczny badanego układu.

### Wyznaczenie oporu $R$ - część teoretyczna

Opór  $R$  wygodnie jest wyznaczyć w układzie, w którym wewnątrz czarnego pudełka prąd płynie wyłącznie przez oporniki. Wtedy, korzystając z prawa Ohma i dokonując pomiaru natężenia tego prądu oraz napięcia pomiędzy wyprowadzeniami układu w pudełku, można wyznaczyć opór tychże oporników. Jak jednak pokazano w tabeli 1, w każdej z badanych konfiguracji, w której przez badany układ płynął prąd obserwowano towarzyszącą temu emisję światła z którejś z diod. Dzieje się tak m.in. dlatego, że napięcie wytwarzane przez baterię jest większe niż napięcie progowe użytych diod, czyli napięcie powyżej którego diody te zaczynają przewodzić prąd. Inna sytuacja może mieć miejsce, jeśli obniżymy napięcie doprowadzone do wyprowadzeń czarnego pudełka. Można tego dokonać np. poprzez szeregowe połączenie pudełka z dodatkową diodą LED, np. tak jak pokazano na rys. 7.



Rysunek 7: Schemat układu do pomiaru oporu  $R$ . Symbolem C3 oznaczono dodatkową diodę LED, znajdującą się poza czarnym pudełkiem. Biguny baterii połączone są z punktami  $D$  i  $B$ . Pomiaru napięcia dokonuje się pomiędzy punktami  $A$  i  $B$ .

Jeżeli w takim układzie połączymy bieguny baterii z punktami  $D$  i  $B$ , to napięcie pomiędzy punktami  $A$  i  $B$  wyniesie:  $U_{AB} = U_B - U_{C3}$ , gdzie  $U_B$  to napięcie na wyprowadzeniach baterii a  $U_{C3}$  to spadek napięcia na diodzie C3. Jeżeli napięcie  $U_{AB}$  okaże się dostatecznie niskie, tj. niższe niż napięcie progowe diody Z1, to prąd przez układ w pudełku popłynie, ale wyłącznie przez opornik R2 (co łatwo zweryfikować obserwując emisję światła z diod). Wtedy, mierząc napięcie  $U_{AB}$  oraz natężenie  $I$  prądu płynącego w układzie możemy wyznaczyć opór opornika R2, równy  $3R = U_{AB}/I$ . Stąd:  $R = U_{AB}/3I$ .

### Wyznaczenie oporu $R$ - część doświadczalna

W celu wyznaczenia oporu  $R$  zestawiono układ pokazany na rys. 7. Najpierw zweryfikowano, czy po połączeniu biegunów baterii z punktami  $D$  (biegun dodatni) i  $B$  (biegun ujemny) dioda Z1 emituje światło. Emisji takiej nie zaobserwowano, podczas gdy zaobserwowano ją z diody C3 – stąd wniosek, że cały prąd płynący w obwodzie przepływa przez opornik R2. Następnie dokonywano pomiarów natężenia  $I$  przy pomocy miliamperomierza połączonego szeregowo z baterią oraz napięcia  $U_{AB}$  za pomocą woltomierza. Pomiarów powtórzono trzykrotnie, a ich wyniki przedstawiono w tabeli 2: Głównym źródłem niepewności pomiaru napięcia  $U_{AB}$  były wahania wskazań woltomierza mieszczące się w zakresie  $\pm 0,03$  V. Podobnie było w przypadku pomiaru natężenia  $I$ , którego wahania mieściły się w zakresie  $\pm 0,1$  mA. W związku z tym, że pomiarów tych nie dokonywano jednocześnie, niepewność wyznaczenia oporu  $R$  podaną w tabeli 2 oszacowano metodą skrajnych wartości.

lp.	$U_{AB}$ [V]	$I$ [mA]	$R$ [ $\Omega$ ]
1.	1,02	2,1	$162 \pm 13$
2.	1,00	2,0	$167 \pm 14$
3.	0,96	2,0	$160 \pm 14$

Tabela 2: Wyniki pomiarów napięcia  $U_{AB}$  oraz natężenia  $I$  w układzie z rys. 7, wraz z wyznaczonymi wartościami oporu  $R$ .

Ostatecznie:  $R = (163 \pm 14) \Omega$ .

*Uwaga KGOF: do budowy układów udostępnionych zawodnikom w trakcie zawodów użyto oporników o nominalnym oporze  $158 \Omega$ .*



**Punktacja zadania D.**

Sporządzenie schematu elektrycznego układu - część teoretyczna:

- Pomysł na użycie diod jako detektorów przepływu prądu przez odpowiednią gałąź obwodu ..... 1 pkt.  
Pomysł na użycie kryterium natężenia prądu do stwierdzenia, czy dane dwa punkty układu są połączone opornikiem (lub pomysł równoważny) ..... 2 pkt.

Sporządzenie schematu elektrycznego układu - część doświadczalna:

- Opis układu eksperymentalnego ..... 1 pkt.  
Wykonanie pomiarów niezbędnych do jednoznacznego ustalenia schematu układu ... 2 pkt.  
Uzasadnienie, że diody Z1 i Z2 są połączone równolegle ze sobą i niepołączone szeregowo z opornikiem (rys. 2) lub równoważne rozumowanie ..... 1 pkt.  
Wykluczenie szeregowego lub równoległego połączenia diod C1 i C2 pomiędzy punktami A i C (rys. 3(b,c)) lub równoważne rozumowanie ..... 1 pkt.  
Uzasadnienie równoległego połączenia diod Z1 i Z2 z opornikiem lub równoważne rozumowanie ..... 2 pkt.  
Znalezienie pełnego schematu układu bez rozróżnienia oporników R1 i R2 (rys. 5) ... 2 pkt.  
Identyfikacja oporników (R1 i R2) i podanie pełnego schematu układu (rys. 6) ..... 2 pkt.

Wyznaczenie oporu  $R$  - część teoretyczna:

- Pomysł na wyznaczenie oporu  $R$  wraz z podaniem odpowiednich wzorów ..... 3 pkt.

Wyznaczenie oporu  $R$  - część doświadczalna:

- Wykonanie pomiarów niezbędnych do wyznaczenia  $R$  ..... 1 pkt.  
Podanie wartości  $R$  mieszczącej się w zakresie  $143 \Omega - 173 \Omega$  ..... 1 pkt.  
Oszacowanie niepewności uzyskanego wyniku ..... 1 pkt.