



Politechnika Łódzka

Instytut Fizyki

Laboratorium elektroniki

Ćwiczenie E09FT

Komparatory

Spis treści:

1. Cel ćwiczenia.....	3
2. Zagrożenia	3
3. Wprowadzenie teoretyczne.....	3
4. Dostępna aparatura	5
4.1. Moduł doświadczalny.....	5
4.2. Multimetry.....	6
4.3. Zasilacz laboratoryjny	6
5. Przebieg doświadczenia.....	7
5.1. Komparator bez histerezy. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej komparatora	7
5.2. Komparator z histerezą. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej komparatora	9
5.3. Komparator okienkowy. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej komparatora	11
6. Wskazówki do raportu.....	13
7. Literatura	13
7.1. Literatura podstawowa	13
7.2. Literatura uzupełniająca	14
8. Aneks	14
A1. Tabele rezystancji i pojemności	14

Przed zapoznaniem się z instrukcją i przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia należy opanować następujący materiał teoretyczny:

1. Rodzaje i funkcje sprzężeń zwrotnych. [1], [3], [4].
2. Budowa, działanie i własności wzmacniacza różnicowego. [1÷5].
3. Właściwości idealnego wzmacniacza operacyjnego. [1÷5].
4. Właściwości i wykorzystanie rzeczywistego komparatora. [1÷5].

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości komparatorów oraz możliwości wykorzystania ich do realizacji bloków funkcjonalnych.

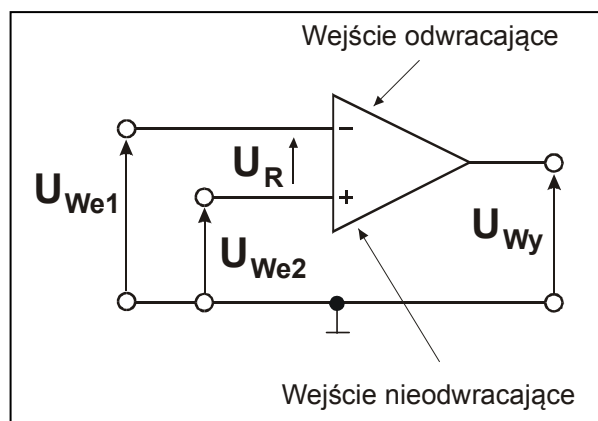
2. Zagrożenia

Rodzaj	Brak	Małe	Średnie	Duże
zagrożenie elektryczne		+		
zagrożenie optyczne	+			
zagrożenie mechaniczne (w tym akustyczne, hałas)	+			
zagrożenie polem elektro-magnetycznym (poza widmem optycznym)	+			
zagrożenie biologiczne	+			
zagrożenie radioaktywne (jonizujące)	+			
zagrożenie chemiczne	+			
zagrożenie termiczne (w tym wybuch i pożar)	+			

Przewody z wtykami bananowymi są przeznaczone wyłącznie do użytku w obwodach niskiego napięcia – nie wolno podłączać ich do gniazda sieci zasilającej 230 V.

3. Wprowadzenie teoretyczne

Wzmacniacz operacyjny pracujący bez obwodu sprzężenia zwrotnego ze wzmocnieniem równym wzmocnieniu z otwartą pętlą można wykorzystać jako tzw. komparator. Układ tak pracującego wzmacniacza przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Komparator.

Jeżeli U_{We2} jest większe niż U_{We1} to napięcie wyjściowe przyjmuje wartość dodatnią. Gdy jednak U_{We2} jest mniejsze niż U_{We1} to napięcie wyjściowe U_{Wy} przyjmuje wartość ujemną. Widać stąd, że przykładając do jednego z wejść napięcie odniesienia można uzyskać układ komparatora sygnalizujący, czy napięcie mierzone na drugim wejściu jest większe czy też mniejsze niż napięcie odniesienia.

Komparator jest zatem szczególnym rodzajem wzmacniacza operacyjnego o niesymetrycznym wejściu i dużym wzmocnieniu, który porównuje wartość napięcia sygnału podawanego na jedno wejście z napięciem odniesienia podawanym na drugie wejście i zależnie od znaku różnicy tych napięć wytwarza na wyjściu sygnał logiczny 0 (np. ujemne napięcie) lub 1 (stosownie – napięcie dodatnie). Jest więc elementarnym jednobitowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym.

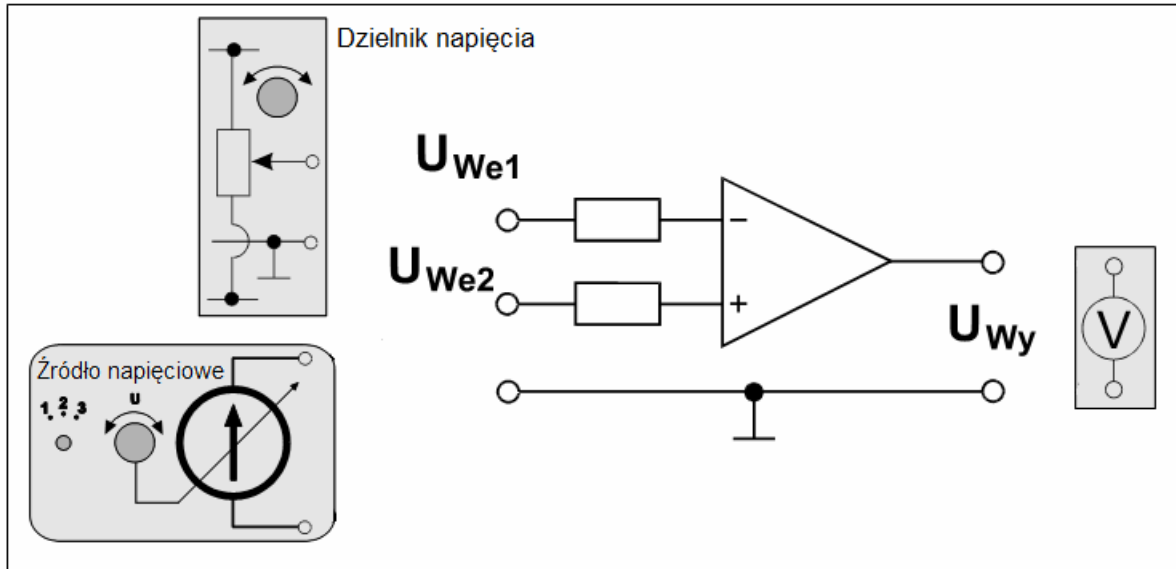
Praktycznie każdy wzmacniacz operacyjny może pracować jako komparator. Niemniej zwykle wzmacniacze operacyjne stosowane jako komparatory mają szereg wad co powoduje, że w praktyce stosuje się specjalne komparatory napięcia w postaci scalonej. Stając wobec wyboru czy stosować komparator (KO) czy zwykły wzmacniacz operacyjny (WO) należy zwrócić uwagę na podstawowe różnice pomiędzy nimi obydwoma:

- a) Komparatory przeznaczone są do pracy z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego, natomiast WO projektowane są do pracy z różnymi współczynnikami sprzężenia zwrotnego,
- b) Komparatory mają dużo większą szybkość działania niż WO,
- c) Standardowe poziomy napięcia na wyjściu KO dostosowane są do poziomu sygnału cyfrowego np. TTL, natomiast przy zastosowaniu WO należy zastosować dodatkowy układ dostosowujący poziomy napięć na wyjściu WO do obowiązującego w danym zastosowaniu poziomu sygnału cyfrowego. Zwykle podraża to koszt układu wykorzystującego WO,
- d) Komparatory posiadają szerszy niż WO zakres napięć wejściowych,
- e) Komparatory posiadają mniejsze opory wejściowe i większe prądy polaryzujące niż WO,
- f) Komparatory z wyjściami typu otwarty kolektor nie są możliwe do zrealizowania przy wykorzystaniu wzmacniaczy operacyjnych.

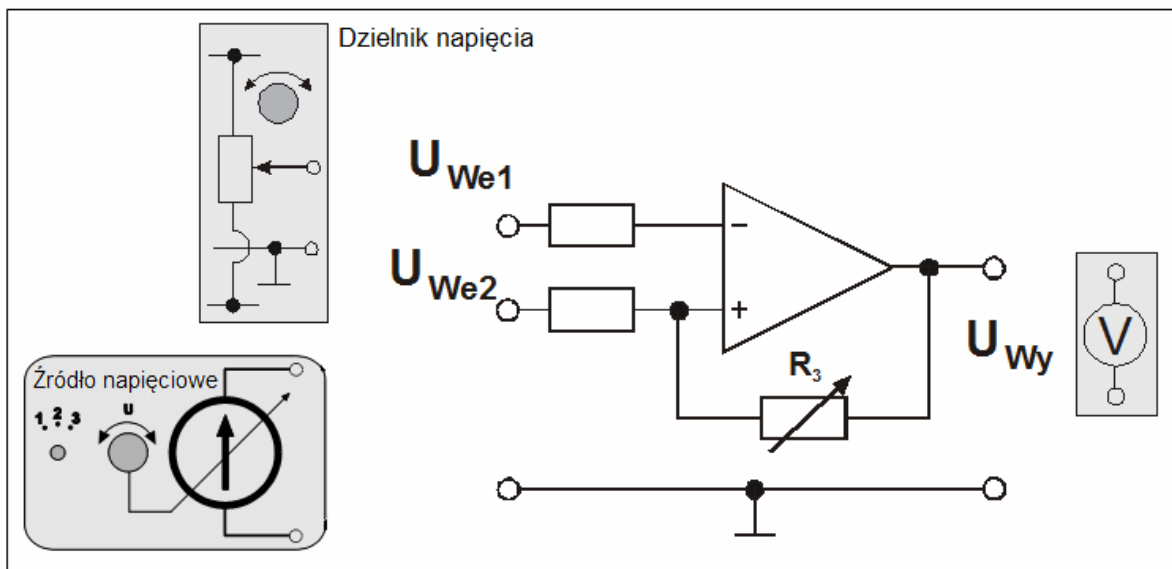
4. Dostępna aparatura

4.1. Moduł doświadczalny

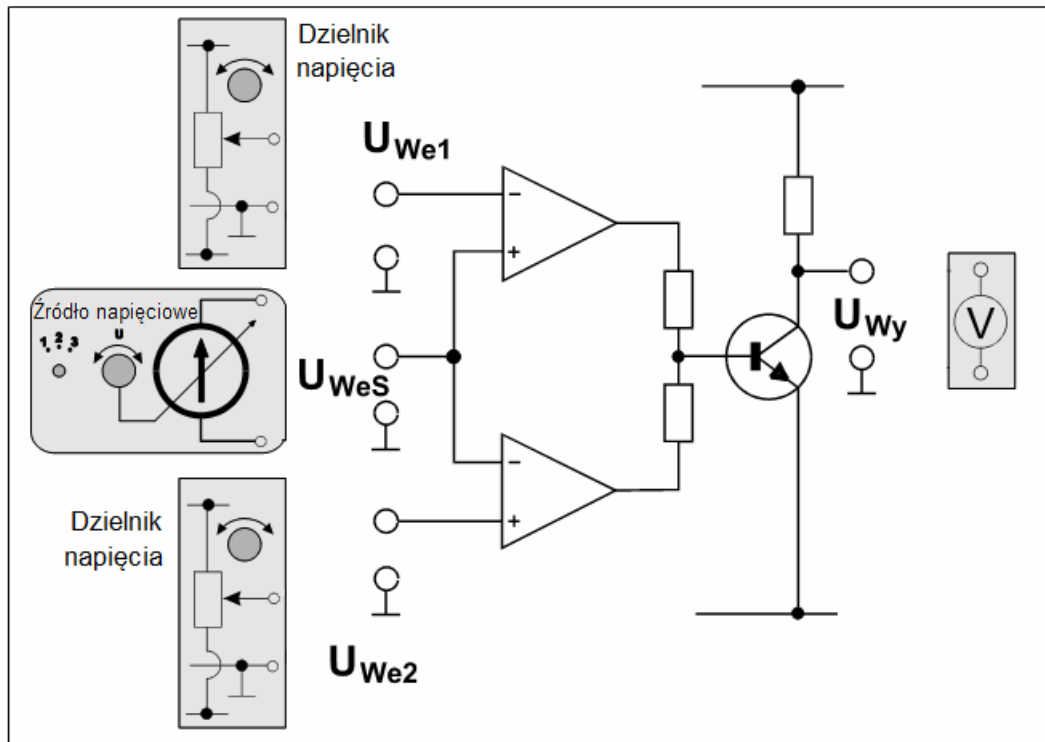
Schematy ideowe modułów doświadczalnych przedstawiono na rysunkach 2, 3 i 4.



Rys. 2. Schemat ideowy modułu doświadczalnego dla komparatora bez histerezy.



Rys. 3. Schemat ideowy modułu doświadczalnego dla komparatora z histerezą.



Rys. 4. Schemat ideowy modułu doświadczalnego dla komparatora okienkowego.

4.2. Multimetry

Pomiary napięć i natężeń prądów w module doświadczalnym wykonuje się przy użyciu multimetrów cyfrowych KT890, M-3800, M-4650, UT-804 lub Protek 506 [6]. Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić czy przełącznikiem każdego z multimetrów cyfrowych został wybrany tryb woltomierza oraz czy końcówki pomiarowe przyłączone zostały do właściwych zacisków wejściowych. Należy jednocześnie pamiętać o wyborze odpowiedniego zakresu pomiarowego woltomierza.

4.3. Zasilacz laboratoryjny

Zasilanie modułów doświadczalnych zrealizowano przy użyciu zasilacza laboratoryjnego SIGLENT model SPD3303D [6]. Przed rozpoczęciem pomiarów do wyjścia zasilacza o stałym napięciu +5V należy podłączyć: Zespół Źródeł Sterujących ZŹS (zawiera m.in. źródło napięciowe). Pozostałe moduły zawierające dzielniki napięcia oraz komparatory wymagają zasilania napięciami -20V i +20V symetrycznymi względem masy, które otrzymuje się na wyjściach kanałów zasilacza CH1 i CH2 połączonych w trybie SERIAL.

5. Przebieg doświadczenia

Komparator zrealizowany w oparciu o wzmacniacz operacyjny badany jest w typowych układach jako:

- komparator bez histerezy (wzmacniacz z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego),
- komparator z histerezą (wzmacniacz z pętlą dodatniego sprzężenia zwrotnego),
- komparator okienkowy.

Pomiary wykonywane są dla stałych napięć wejściowych, gdzie źródłem sygnału jest źródło napięciowe oraz dzielnik napięcia. Efekt pracy komparatora badany jest przy pomocy woltomierzy dołączonych do wejść i wyjścia wzmacniacza operacyjnego.

Wzmacniacz zasilany jest z zasilacza stabilizowanego SPD3303D pracującego w trybie SERIAL z nastawionymi uprzednio, symetrycznymi względem masy, napięciami $-20V$ i $+20V$.

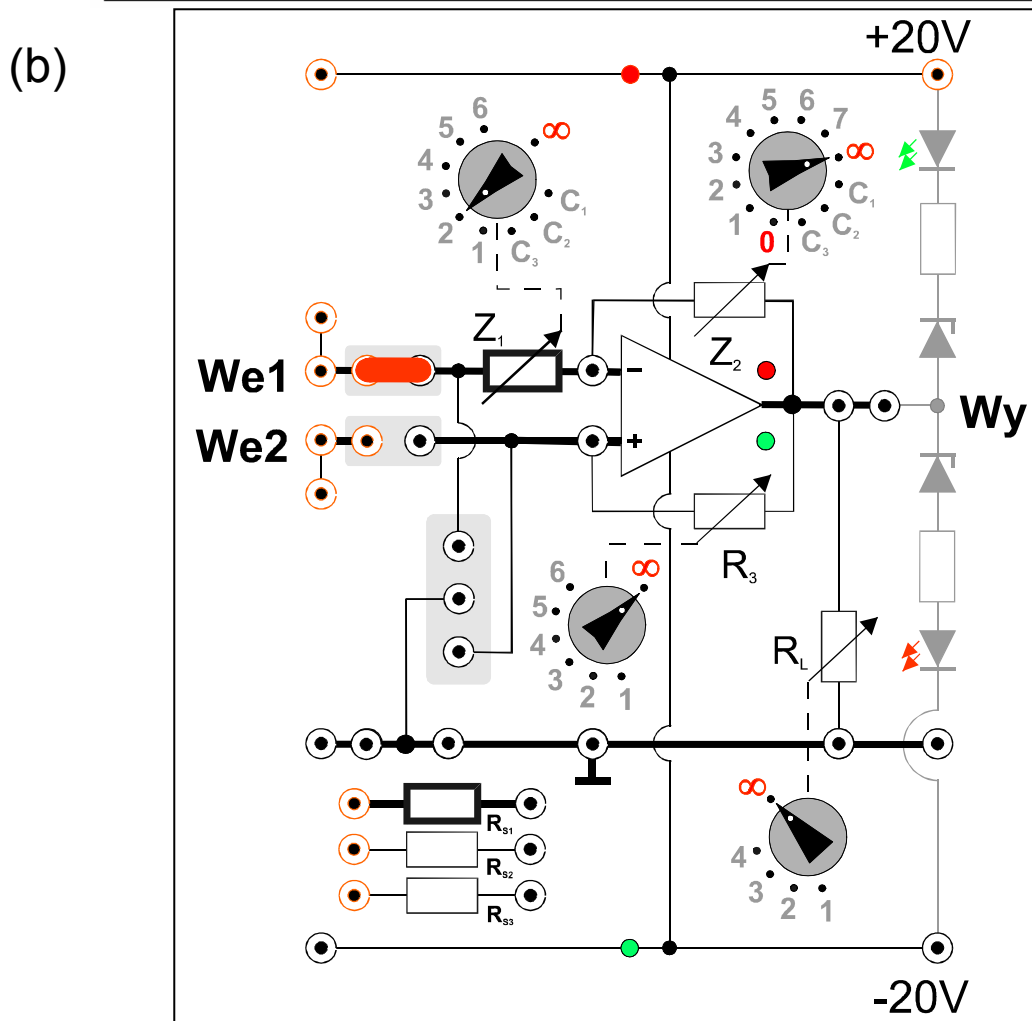
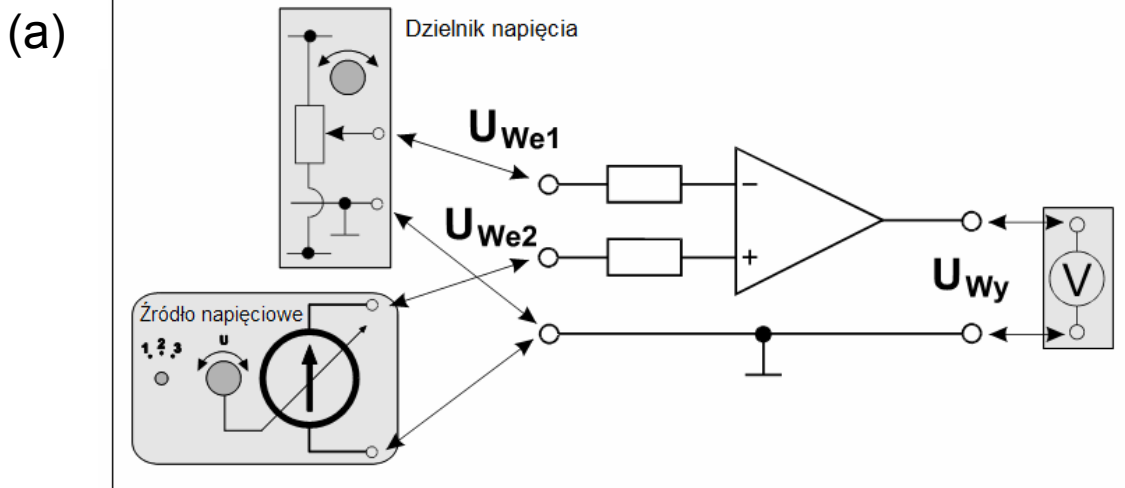
Diody elektroluminescencyjne świecące w pobliżu wyjść wzmacniaczy sygnalizują ich stan nasycenia – tzn. osiągnięcie maksymalnego dodatniego napięcia na wyjściu wzmacniacza (dioda czerwona) albo maksymalnego napięcia ujemnego (dioda zielona). Stan diod elektroluminescencyjnych uzupełnia informacje o stanie wyjścia wzmacniacza pozyskiwane niezależnie ze wskazań mierników.

5.1. Komparator bez histerezy. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej komparatora

1. Połączyć układ według rys. 5a i rys. 5b, tzn. jedną zworę (pionową) usunąć z układu, drugą (poziomą - czerwoną) przełożyć w położenie obok We_1 , przełączniki R_3 i R_L ustawić na ∞ . Woltomierze ustawić na zakres pomiaru napięć stałych 20V albo 40V DC (w zależności od użytych multimetrów). Następnie jeden woltomierz wpiąć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wyjście Wy oraz kolejne dwa woltomierze pomiędzy gniazdo masy a wejścia We_1 i We_2 . Do linii zasilania $+20V$, $-20V$ i masy w module doświadczalnym podłączyć zasilacz ustawiony do pracy w trybie szeregowym.
2. Pokrętko Z_1 ustawić w pozycji „2” zaś Z_2 ustawić w pozycji „ ∞ ”.
3. Przełącznik w źródle napięciowym ustawić na poz. 2.
4. W położenie obok We_2 (poniżej poziomej - czerwonej zwory) podłączyć opór R_{S1} .
5. Źródło napięciowe dołączyć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wejście We_2 (nieodwracające).
6. Dzielnik napięcia dołączyć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wejście We_1 (odwracające).
7. Po uzyskaniu zezwolenia od opiekuna włączyć zasilanie urządzeń.
8. Ustawić kolejno 3 (trzy) wartości napięć U_{We1} (na wejściu odwracającym We_1) z przedziału $(-8V \div +8V)$ różniące się od siebie o minimum 2V. Dla każdej z nich sporządzić charakterystykę przejściową komparatora zmieniając napięcie U_{We2} (na wejściu We_2) od wartości skrajnie ujemnych do wartości skrajnie dodatnich. Wyniki zapisywać w tabeli 1.
9. Zamienić miejscami podłączenia dzielnika napięcia i źródła napięciowego, tzn. dzielnik napięcia podłączyć do wejścia We_2 (nieodwracającego) a źródło napięciowe do wejścia We_1 (odwracającego).
10. Powtórzyć pomiary z punktu 8 ustawiając tym razem 3 różne napięcia U_{We2} (na wejściu nieodwracającym We_2) i zmieniając napięcie U_{We1} (na wejściu We_1).
11. Wyłączyć zasilanie.

Napięcie wejściowe U_{We1} [V]	Napięcie wejściowe U_{We2} [V]	Napięcie wyjściowe U_{Wy} [V]

Tab.1. Wyniki uzyskane dla komparatora bez histerezy.



Rys. 5a i 5b. Schemat połączeń dla wyznaczenia charakterystyki przejściowej komparatora bez histerezy.

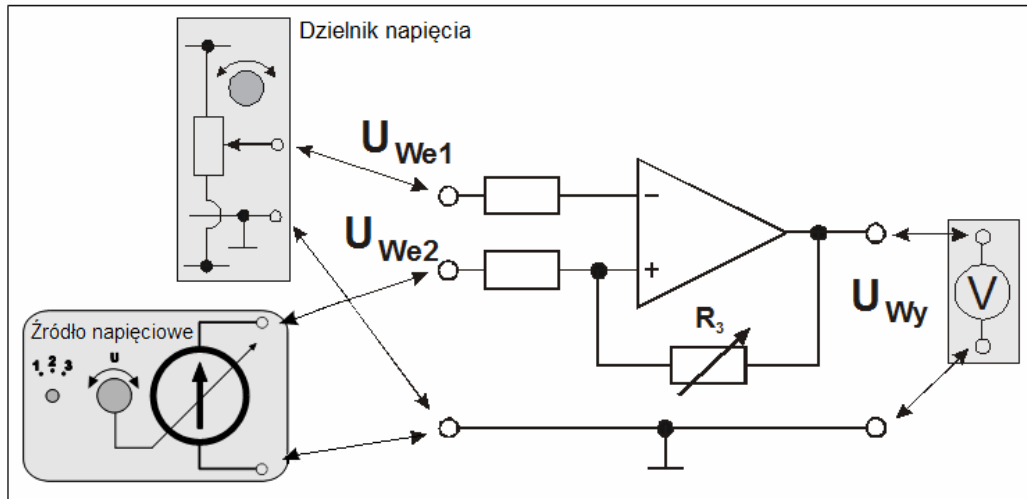
5.2. Komparator z histerezą. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej komparatora

1. Połączyć układ według rys. 6a. i rys. 6b, tzn. jedną zworę (pionową) usunąć z układu, drugą (poziomą - czerwoną) przełożyć w położenie obok We_1 , przełączniki R_L ustawić na ∞ . Mierniki ustawić na zakres pomiaru napięć stałych 20V albo 40V DC. Następnie jeden z nich wpiąć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wyjście Wy . Następnie jeden woltomierz wpiąć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wyjście Wy oraz kolejne dwa woltomierze pomiędzy gniazdo masy a wejścia We_1 i We_2 . Do linii zasilania +20V, -20V i masy w module doświadczalnym podłączyć zasilacz ustawiony do pracy w trybie szeregowym.
2. Pokrętko Z_1 ustawić w pozycji „2” zaś Z_2 ustawić w pozycji „ ∞ ”.
3. Przełącznik w źródle napięciowym ustawić na poz. 2.
4. W położenie obok We_2 (poniżej poziomej - czerwonej zwory) podłączyć opór R_{S1} .
5. Źródło napięciowe dołączyć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wejście We_2 (nieodwracające).
6. Dzielnik napięcia dołączyć pomiędzy gniazda masy (\perp) a wejście We_1 (odwracające).
7. Po uzyskaniu zezwolenia od opiekuna włączyć zasilanie urządzeń.
8. Ustawić napięcie U_{We1} na wejściu odwracającym We_1 na wartość z przedziału (-2V ÷ +2V).
9. Zmieniając napięcie U_{We2} na wejściu We_2 sporządzić dwie charakterystyki przejściowe komparatora dla przełącznika oporu R_3 ustawionego w pozycjach: „1”, „5” albo „2”, „6”. Żeby podczas wykonywania charakterystyki zaobserwować zjawisko histerezy należy pamiętać, aby napięcie U_{We2} zmieniać najpierw od wartości skrajnie ujemnych do skrajnie dodatnich a następnie od skrajnie dodatnich do skrajnie ujemnych. W przypadku omyłkowego przekręcenia gałki potencjometru w niewłaściwym kierunku, badanie danej charakterystyki należy rozpocząć od nowa. Wyniki zapisywać w tabeli 2.
10. Zamienić miejscami podłączenia dzielnika napięcia i źródła napięciowego, tzn. dzielnik napięcia podłączyć do wejścia We_2 (nieodwracającego) a źródło napięciowe do wejścia We_1 (odwracającego).
11. Powtórzyć pomiary z punktów 8 i 9 ustawiając tym razem napięcie U_{We2} (na wejściu nieodwracającym We_2) i zmieniając napięcie U_{We1} (na wejściu We_1).
12. Wyłączyć zasilanie.

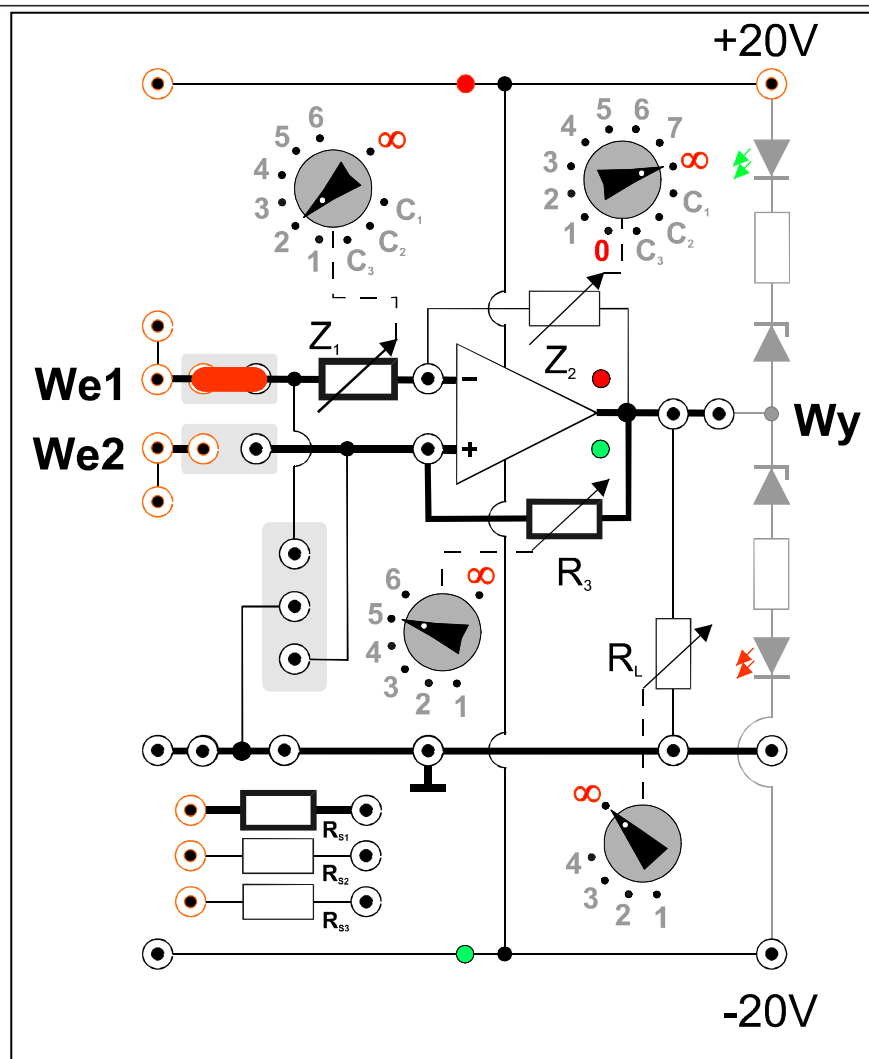
Opór R_3 [k Ω]	Napięcie wejściowe U_{We1} [V]	Napięcie wejściowe U_{We2} [V]	Napięcie wyjściowe U_{Wy} [V]

Tab.2. Wyniki uzyskane dla komparatora z histerezą.

(a)



(b)



Rys. 6a i 6b. Schemat połączeń dla wyznaczenia charakterystyki przejściowej komparatora z histerezą.

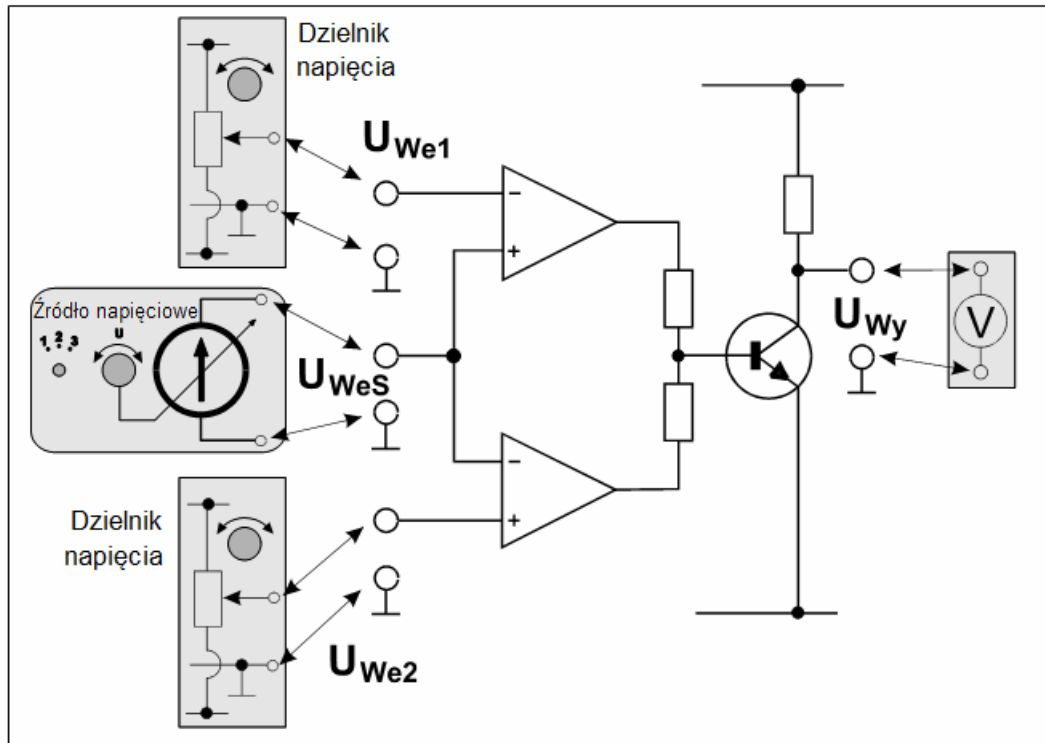
5.3. Komparator okienkowy. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej komparatora

1. Połączyć układ według rys. 7a i rys. 7b. Mierniki pracujące w trybie woltomierza ustawić na zakres pomiaru napięć stałych 20V albo 40V DC. Następnie jeden woltomierz wpiąć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wyjście W_y oraz kolejne trzy woltomierze pomiędzy gniazdo masy a wejścia W_{e1} , W_{eS} i W_{e2} . Do linii zasilania +20V, -20V i masy w module doświadczalnym podłączyć zasilacz ustawiony do pracy w trybie szeregowym.
2. Źródło napięciowe dołączyć pomiędzy gniazda masy (\perp) a wejście W_{eS} (środkowe).
3. Jeden dzielnik napięcia dołączyć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wejście W_{e1} (odwracające).
4. Drugi dzielnik napięcia dołączyć pomiędzy gniazdo masy (\perp) a wejście W_{e2} (nieodwracające).
5. Przełącznik w źródle napięciowym ustawić na poz. 2.
6. Po uzyskaniu zezwolenia od opiekuna włączyć zasilanie urządzeń.
7. Ustawić napięcie $U_{W_{e1}}$ na wejściu W_{e1} (odwracającym) na wartość z przedziału: +1V ÷ +3V.
8. Ustawić napięcie $U_{W_{e2}}$ na wejściu W_{e2} (nieodwracającym) na wartość z przedziału: -3V ÷ -1V.
9. Sporządzić charakterystykę przejściową komparatora zmieniając napięcie na wejściu W_{eS} od skrajnej wartości ujemnej do skrajnej wartości dodatniej. Wyniki zapisywać w tabeli 3. Pamiętać także o notowaniu (odpowiednio dla każdej wartości mierzonego napięcia $U_{W_{eS}}$) stanu diod LED na wyjściu modułu komparatora okienkowego oraz na wyjściach dwóch komparatorów składowych oznaczonych na rys. 7b jako 1 i 2.
10. Wyłączyć zasilanie.

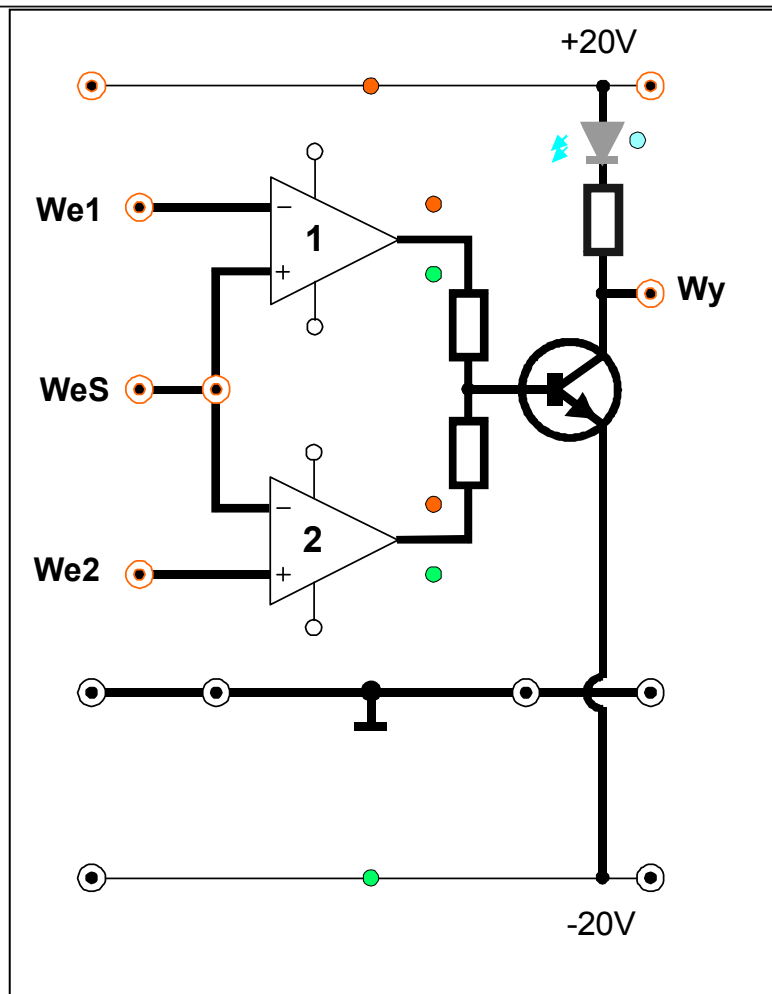
$U_{W_{e1}}$	$U_{W_{e2}}$	$U_{W_{eS}}$	U_{W_y}	Diody LED na wyjściu komparatora				
				1 - górnego		2 - dolnego		Wy
[V]	[V]	[V]	[V]	Zielona	Czerwona	Zielona	Czerwona	Niebieska

Tab.3. Wyniki uzyskane dla komparatora okienkowego.

(a)



(b)



Rys. 7a i 7b. Schemat połączeń dla wyznaczenia charakterystyki przejściowej komparatora okienkowego.

6. Wskazówki do raportu

Raport powinien zawierać:

1. Stronę tytułową.
2. Sformułowanie celu ćwiczenia.
3. Schematy układów pomiarowych.
W sprawozdaniu należy umieścić schematy tylko takich układów, które były rzeczywiście zestawiane w trakcie wykonywania pomiarów. Każdy schemat powinien być opatrzony numerem kolejnym i zatytułowany. Wszystkie elementy pokazane na schemacie muszą być jednoznacznie opisane i oznaczone za pomocą powszechnie stosowanej symboliki.
4. Wykaz aparatury (nr inwentarzowy, typ, wykorzystywane nastawy i zakresy).
W wykazie aparatury należy jednoznacznie opisać używaną aparaturę pomiarową poprzez podanie numeru inwentarzowego, typu itd. Nadane poszczególnym przyrządom oznaczenia należy konsekwentnie stosować na wszystkich schematach i w opisach.
5. Stabelaryzowane wyniki pomiarów.
Jako wyniki pomiarów należy zamieścić tabele ze zmierzonymi wartościami i zanotowanymi stanami diod LED. Każda tabela powinna posiadać swój numer kolejny i tytuł.
6. Wykresy i analizę wyników.
Wszystkie wykresy wykonane na podstawie przeprowadzonych pomiarów powinny mieć numery porządkowe oraz podpisy zawierające informację o tym co dany wykres przedstawia. Pod każdym wykresem lub uzyskanym wynikiem obliczeń należy zamieścić stosowne wnioski. W szczególności należy wykonać:
 - 6.1. Wspólny wykres przedstawiający wszystkie charakterystyki przejściowe komparatora bez histerezy sporządzone w części 5.1.
 - 6.2. Wspólny wykres przedstawiający wszystkie charakterystyki przejściowe komparatora z histerezą sporządzone w części 5.2.
 - 6.3. Wspólny wykres przedstawiający wypadkową charakterystykę przejściową komparatora okienkowego oraz dwie charakterystyki komparatorów składowych (oznaczonych na rys. 7b jako 1 i 2) sporządzone w części 5.3.
7. Uwagi końcowe i wnioski. We wnioskach należy zamieścić ocenę dokładności pomiarów oraz własne spostrzeżenia co do przebiegu ćwiczenia

W raporcie ocenie podlegać będzie obecność i poprawność wszystkich wymienionych powyżej składników, czytelność prezentacji wyników (w postaci tabel i wykresów wraz z opisami) oraz jakość dyskusji i sformułowanych wniosków. Wstęp teoretyczny nie jest wymagany i w przypadku jego zamieszczenia w raporcie nie wpłynie na ocenę.

7. Literatura

7.1. Literatura podstawowa

- [1] M. Rusek, J. Pasierbiński, *Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach*, WNT, Warszawa, 1999.
- [2] M. Nadachowski, Z. Kulka, *Scalone układy analogowe*, WKiŁ, Warszawa, 1985.
- [3] P. Horowitz, W. Hill, *Sztuka elektroniki. Cz. 1.*, (tłum. ang.), WKiŁ, Warszawa, 2003.
- [4] Z. Nosal, J. Baranowski, *Układy elektroniczne. Cz. I. Układy analogowe liniowe*, Seria Podręczniki Akademickie, (Elektronika, Informatyka, Telekomunikacja), WNT, Warszawa, 2003.

[5] A. Filipowski, *Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe*, Seria Podręczniki Akademickie, (Elektronika, Informatyka, Telekomunikacja), WNT, Warszawa, 2004.

7.2. Literatura uzupełniająca

[6] Instrukcje obsługi do multimetrów, zasilacza laboratoryjnego, dostępne są na stronie internetowej:
<https://fizyka.p.lodz.pl/pl/dla-studentow/laboratorium-elektroniki/>

8. Aneks

A1. Tabele rezystancji i pojemności

Z₁	
Pozycja	Wartość
1	5 kΩ
2	10 kΩ
3	15 kΩ
4	20 kΩ
5	25 kΩ
6	30 kΩ
∞	∞ Ω
C ₁	0,1 μF
C ₂	1,0 μF
C ₃	10 μF

Z₂	
Pozycja	Wartość
0	0 Ω
1	10 kΩ
2	20 kΩ
3	50 kΩ
4	100 kΩ
5	200 kΩ
6	500 kΩ
7	1 MΩ
∞	∞ Ω
C ₁	0,1 μF
C ₂	1,0 μF
C ₃	10 μF

R₃	
Pozycja	Wartość
1	20 kΩ
2	50 kΩ
3	100 kΩ
4	200 kΩ
5	500 kΩ
6	1 MΩ
∞	∞ Ω

R_L	
Pozycja	Wartość
1	2 kΩ
2	5 kΩ
3	10 kΩ
4	20 kΩ
∞	∞ Ω

R_{S1}	10 kΩ
R_{S2}	300 kΩ
R_{S3}	10 MΩ