

Technikum Łączności
im. Obrońców Poczty Polskiej w Gdańsku

Pracownia Konstrukcji i Eksploatacji Urządzeń Elektronicznych

Badanie wzmacniacza operacyjnego (WO) odwracającego i nieodwracającego

opracowali:
Renata Jank
Marek Przybylski

Sprawozdania wykonał:.....

Klasa:.....

Badanie wzmacniacza operacyjnego odwracającego i nieodwracającego. Wyznaczanie pasma przenoszenia WO dla różnych wzmocnień, wyznaczanie charakterystyki przejściowej WO w układzie nieodwracającym.

Cel ćwiczenia

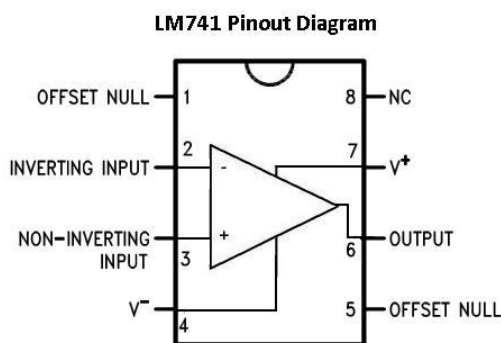
- Celem ćwiczenia jest zapoznanie z właściwościami wzmacniacza operacyjnego odwracającego i nieodwracającego, zbadanie wpływu zmian rezystancji na wejściu układu oraz rezystancji w sprzężeniu zwrotnym, jak też wyznaczenie charakterystyki przejściowej i amplitudowej WO.

Wprowadzenie teoretyczne

(skorzystano z materiałów:

http://www.uz.zgora.pl/~mchciuk/elektronika/wzmacniacz_teoria.doc)

- **Wzmacniacz operacyjny** jest to wzmacniacz prądu stałego, który charakteryzuje się bardzo dużym wzmocnieniem. Służy on do wzmocnienia napięcia czy też mocy, różni się jednak od zwykłych wzmacniaczy tym, że sposób jego działania zależy głównie od zastosowanego zewnętrznego obwodu sprzężenia zwrotnego (najczęściej silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego).
- Na rysunku 1 przedstawiony jest przykładowy schemat wyprowadzeń wzmacniacza operacyjnego. Wejście oznaczone znakiem "-" jest tak zwanym wejściem odwracającym (odwraca fazę sygnału wejściowego), wejście oznaczone znakiem "+" to wejście nieodwracające, po przeciwnej stronie znajduje się wyjście wzmacniacza (w tym przypadku końcówka nr 6). Aby na wejściach i wyjściu mogły występować napięcia zarówno dodatnie jak i ujemne to układ musi być zasilany napięciami ujemnym i dodatnim podawanymi na końcówki 4 i 7 (oczywiście dotyczy to tego typu wzmacniacza jak na rys. 1 dla innych typów będą to inne numery końcówek).



rys. 1

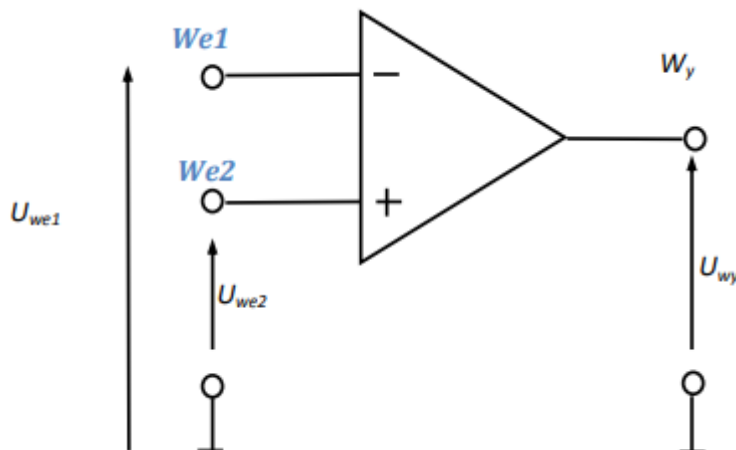
Właściwości idealnego wzmacniacza operacyjnego można w skrócie przedstawić następująco:

- nieskończenie duże wzmocnienie przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego,
- nieskończenie duża wejściowa impedancja zarówno różnicowa jak i pomiędzy każdym wejściem i masą,
- impedancja wyjściowa równa zero,
- nieskończenie szerokie pasmo przenoszenia częstotliwości,
- napięcie wyjściowe równe zero przy równych napięciach wejściowych,
- zerowy prąd wejściowy,
- nieskończenie duży dopuszczalny prąd wyjściowy,
- nieskończenie duże tłumienie sygnału współbieżnego,
- niezmiennosc parametrów pod wpływem temperatury.

Oczywiście wszystkie te właściwości nie są osiągalne, ale upraszczają analizę wzmacniaczy i stanowią wyznacznik do osiągania najlepszych parametrów produkcyjnych wzmacniaczy.

Wzmacniacze operacyjne stanowią największą grupę analogowych układów scalonych. Charakteryzują się następującymi właściwościami:

- bardzo dużym wzmocnieniem napięciowym (powyżej 10000 V/V czyli 80dB),
- wzmacniają prąd stały ,
- odwracają fazę sygnału wyjściowego w stosunku do sygnału podawanego na wejściu odwracające (oznaczenie „ - „) lub zachowują zgodność w fazie jeżeli sygnał wejściowy jest podawany na wejście nieodwracające (oznaczenie „ + „),
- posiadają dużą rezystancję wejściową (M),
- posiadają małą rezystancję wyjściową ().



Rys. 2. Symbol wzmacniacza operacyjnego.

Podział wzmacniaczy ze względu na przeznaczenie:

- ogólnego przeznaczenia,
- szerokopasmowe,
- stosowane w urządzeniach dokładnych, gdzie wymagana jest duża rezystancja wejściowa, mały współczynnik cieplny i małe szумы,
- do zastosowań specjalnych.

Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych:

- układach analogowych, gdzie wykonują operacje: dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia, całkowania i różniczkowania,
- wzmacniaczach logarytmicznych,
- generatorach sygnałów: prostokątnych, trójkątnych i sinusoidalnych,
- filtrach,
- detektorach liniowych i detektorach wartości szczytowej,
- układach próbkujących z pamięcią.

Zakłada się, że rezystancja wejściowa wzmacniacza operacyjnego jest nieskończenie duża (wzmacniacz nie pobiera prądów wejściowych), wartości prądów polaryzujących są równe zero

$$I_{we-} = I_{we+} = 0$$

Literami oznacza się węzły na schemacie (np. A , B) i ich potencjały (np. U_A , U_B).

Zaznacza się prądy płynące w układzie (np. I_1 , I_2).

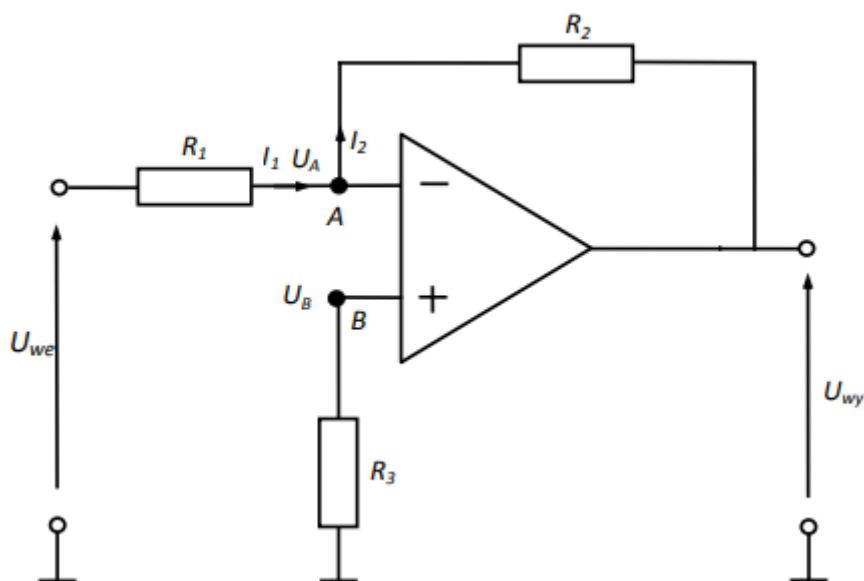
Korzystając z praw Kirchhoffa, układa się równania dla węzłów znajdujących się w układzie (np. dla węzła A i B).

Zakłada się, że różnica napięć $\Delta U = U_A - U_B$ jest prawie równa zero, a co za tym idzie potencjał w punkcie A (U_A) jest równy potencjałowi w punkcie B (U_B). U_B nazywamy masą pozorną lub „wirtualną” ziemią.

Korzystając z prawa Ohma, układa się równania dla poszczególnych prądów.

Na podstawie otrzymanych równań wyznacza się zależność napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego (ewentualnie napięć wejściowych).

WZMACNIACZ ODWRACAJĄCY



Rys.3. Schemat wzmacniacza odwracającego.

Schemat wzmacniacza przedstawiono na rysunku 3. Zaznaczono na nim węzły A i B i prądy płynące w układzie. Prąd płynący przez rezystor R_1 jest równy prądowi płynącemu przez rezystor R_2 . Przy założeniu, iż jest nieskończenie duża rezystancja wejściowa oraz rezystancja wyjściowa równa zero. W myśl tego otrzymujemy:

$$I_1 = I_2$$

Zgodnie z założeniami mamy:

$$U_A = U_B = 0$$

Węzeł B jest połączony przez rezystor R_3 do masy układu, zatem potencjał w punkcie B jest równy zero, jest to tak zwany punkt masy pozornej.

Równania poszczególnych prądów są następujące:

$$I_1 = \frac{U_{we} - U_A}{R_1} ; I_2 = \frac{U_A - U_{wy}}{R_2}$$

Ponieważ

$$\frac{U_{we} - U_A}{R_1} = \frac{U_A - U_{wy}}{R_2} ; \quad \frac{U_{we}}{R_1} = \frac{-U_{wy}}{R_2}$$

otrzymujemy napięcie na wyjściu równe:

$$U_{wy} = -\frac{R_2}{R_1} U_{we}$$

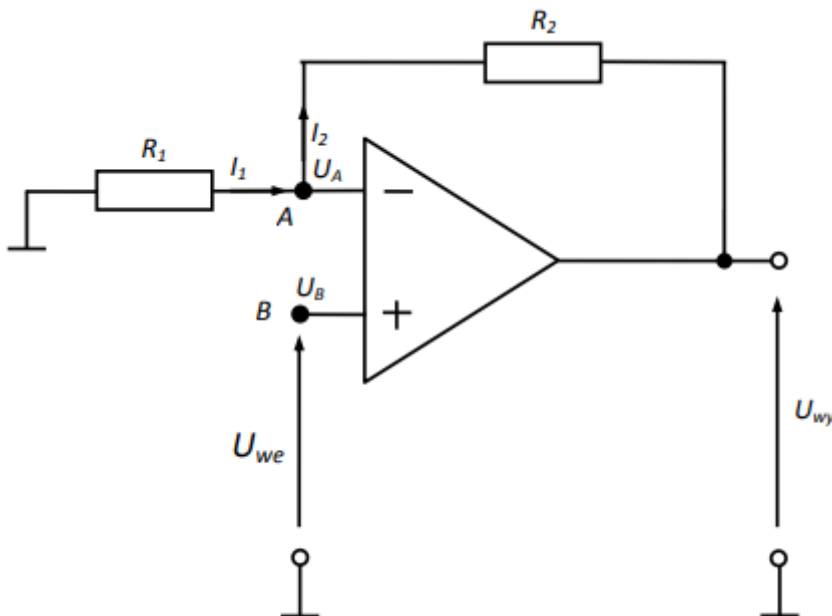
a wzmocnienie układu wynosi

$$k_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

przy czym znak „ - „ oznacza odwrócenie fazy napięcia wyjściowego względem napięcia wejściowego. Rezystancja wejściowa układu jest równa R_1 , ponieważ punkt A jest punktem masy pozornej. Rezystancję wyjściową określa się zgodnie z zależnością obowiązującą dla układu ze sprzężeniem zwrotnym napięciowym równoległym.

W celu uzyskania kompensacji błędu (napięcia niezrównoważenia) spowodowanego różnymi pod względem wartości prądami polaryzującymi I_{we+} i I_{we-} ($I_{we+} = I_{we-} = 0$), wartość rezystancji R_3 powinna być równa wartości rezystancji wynikającej z równoległego połączenia rezystorów R_1 i R_2 .

WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY



Rys. 4. Schemat wzmacniacza nieodwracającego.

Sygnal wejściowy jest podawany na wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego.

$$I_1 = I_2$$

$$U_B = U_{we} = U_A$$

$$I_1 = \frac{U_{we}}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_{wy} - U_{we}}{R_2}$$

$$\frac{U_{we}}{R_1} = \frac{U_{wy} - U_{we}}{R_2}$$

napięcie na wyjściu wynosi

$$U_{wy} = \frac{(R_1 + R_2)U_{we}}{R_1}$$

natomiast wzmocnienie wynosi

$$k_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Imię i nazwisko:	Klasa:	Stanowisko:	Nr w dzienniku:	KRYTERIA OCENY
Skład grupy: • • •				Do 49% - 1 50 – 60% - 2 61 – 75% - 3 76 – 85% - 4 86 – 95% - 5 > 95% - 6
Temat ćwiczenia: Badanie wzmacniacza operacyjnego (WO) odwracającego i nieodwracającego.			Data:	
Ocena z przeprowadzonego ćwiczenia:		Podpis nauczyciela:		

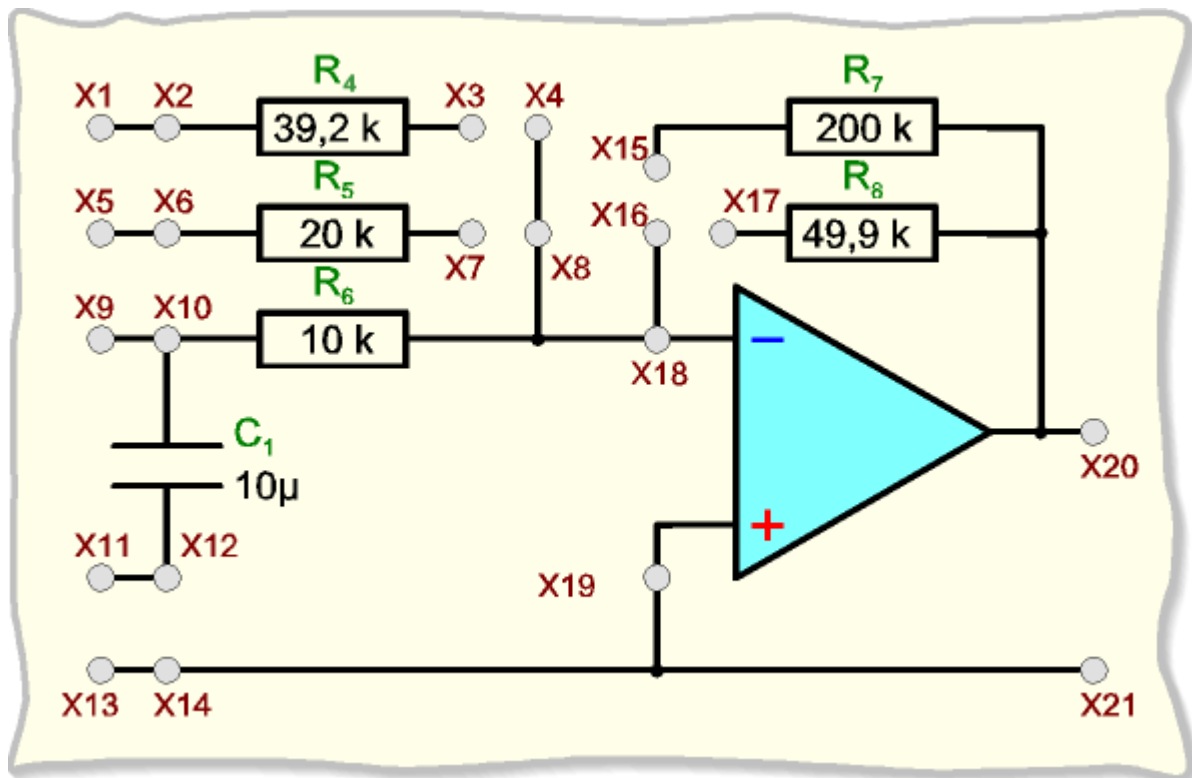
ZADANIA POMIAROWE

A. Wzmacniacz odwracający dla prądu stałego DC

- Połącz kartę z interfejsem Unitr@in i tak jak to pokazano na liście połączeń – obok.
- Otwórz następujące wirtualne urządzenia z menu *Przyrządy*:
 - Źródło napięcia stałego DC,
 - Woltomierz A i
 - Woltomierz B
i nastaw je na ustawienia podane w tabeli obok.
- Zmierz napięcie wyjściowe i wprowadź wynik w odpowiednie pole tabeli Tab1 poniżej.
- Powtórz kolejne pomiary zgodnie z zapisami Tab1. oraz dokonaj odpowiednich zapisów.
- Zmień wartość U_{we} tak aby woltomierz B wskazywał 1.0 V.
- Zmieniając połączenia zgodnie z Tab. 2 wykonaj kolejne pomiary i zapisy wyników pomiarów.
- Jeżeli mierzona wartość woltomierzem A przekroczy 10 V zmień zakres na 20 V

<i>Od</i>	<i>Do</i>
Interfejs S	Terminal X9
Interfejs GND	Terminal X13
Interfejs S	Interfejs B+
Interfejs GND	Interfejs B-
Interfejs A+	Terminal X20
Interfejs A-	Terminal X21
Terminal X16	Terminal X17

Źródło DC	>Zasilanie ON, Wzrastająca amplituda aż Woltomierz B osiągnie 0.5 V
Woltomierz A U_{wy}	Cyfrowy Zakres 10V DC i AV
Woltomierz B U_{we}	Cyfrowy Zakres 2V DC i AV



Wpływ rezystancji wejściowej i sprzężenia zwrotnego na wzmacnienie WO.

$U_{we} = (+0,5 \text{ V})$.

Tab.1

Pary rezystorów	Podłączeni			$U_{wy} \text{ [V]}$	$K_u \text{ [V/V]}$	wg teorii [V/V]
R6 i R8	Interfejs S – X9	-----	X16 – X17			
R5 i R8	Interfejs S – X5	X7 – X8				
R4 i R8	Interfejs S – X1	X3 – X4				
R6 i R7	Interfejs S – X1	X3 – X4	X15 – X16			
R5 i R7	Interfejs S – X5	X7 – X8				
R4 i R7	Interfejs S – X9	-----				
$U_{we} = +1.0\text{V}$						
R6 i R8	Interfejs S – X9	-----	X16 – X17			
R5 i R8	Interfejs S – X5	X7 – X8				
R4 i R8	Interfejs S – X1	X3 – X4				
R6 i R7	Interfejs S – X1	X3 – X4	X15 – X16			
R5 i R7	Interfejs S – X5	X7 – X8				
R4 i R7	Interfejs S – X9	-----				

Wartości rezystancji rezystorów:

Rezystor	Wartość	Rezystor	Wartość	Rezystor	Wartość
R4	39,2 kΩ	R6	10 kΩ	R8	49,9 kΩ
R5	20 kΩ	R7	200 kΩ		-----

$$k_u \text{ [V/V]} = U_{wy} / U_{we}; \quad K_u \text{ [dB]} = 20 \log(k_u)$$

B. Pomiar charakterystyki przejściowej WO.

Tabela 2. Charakterystyka przejściowa WO (R6 i R8).

U _{we} [V]	U _{wy} [V]	K _u [v/v]	K _u [dB]
-3,5			
-3,0			
-2,5			
-2,0			
-1,5			
-1,0			
-0,5			
0			
0,5			
1,0			
1,5			
2,0			
2,5			
3,0			
3,5			

U_{we} – X9; X16 – X17;

Narysuj charakterystyki zgodnie z tabelą 2.

C. Pomiary wzmacniacza odwracającego dla sygnałów zmiennych.

Generator funkcyjny	Oscyloskop Kanał A U_{wy}	Oscyloskop Kanał B U_{we}	500mV / dz. Sprężenie DC
Zasilanie ON, Amplituda 100% przy 1:10 Częstotliwość 100 Hz Sinusoidalny	2V / dz. Sprężenie DC	Oscyloskop podstawa czasu i wyzwianie	Tryb X/T 2ms / dz. Wyzwalanie B

Tabela 3. Charakterystyka częstotliwościowa

U _{we} =50mV R6 i R8	f[kHz]	0,1	1	5	10	15	17,5	20	40	75	100	200
	U _{wy} [V]											
	K _u [V/V]											
	K _u [dB]											
U _{we} =50mV R6 i R7	f[kHz]	0,1	1	5	10	15	17,5	20	40	75	100	200
	U _{wy} [V]											
	k _u [V/V]											
	K _u [dB]											

D. Lokalizacja usterek

Wykonaj pomiary w celu lokalizacji usterek wskazanych przez nauczyciela.

Pary rezystorów	Podłączenia			Usterka	Usterka
				Uwy [V]	Uwy [V]
R6 i R8	Interfejs S – X9	-----	X16 – X17		
R5 i R8	Interfejs S – X5	X7 – X8			
R4 i R8	Interfejs S – X1	X3 – X4			
R6 i R7	Interfejs S – X1	X3 – X4	X15 – X16		
R5 i R7	Interfejs S – X5	X7 – X8			
R4 i R7	Interfejs S – X9	-----			

Zlokalizuj, elementy które uległy uszkodzeniu.

.....

.....

E. Badanie wzmacniacza nieodwracającego w ukł. DC

- Narysuj schemat badanego WO;
 - Połącz układ wg schematu przyjmując rezystancję wejściową równą $R_{11}=10\text{ k}\Omega$;
 - Do wejścia nieodwracającego WO doprowadź napięcie wejściowe w wysokości $U_{we} = 0,5\text{ V DC}$;
 - Kolejno dla dwóch wartości rezystancji w pętli sprzężenia zwrotnego wykonaj pomiary napięcia wejściowego i wyjściowego; zanotuj wyniki w tabelach 4 i 5;
 - Wyznacz wzmocnienie napięciowe układu K_U ;
 - Powtórz czynności (3.4 i 3.5) dla napięcia wejściowego równego $-0,5\text{ V}$.
- **Badanie wzmacniacza nieodwracającego w ukł. AC**
 - Narysuj schemat badanego WO;
 - Połącz układ wg schematu przyjmując rezystancję wejściową równą $R_{11}=10\text{ k}\Omega$ oraz rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego równą $R_{10}=100\text{ k}\Omega$;
 - Do wejścia nieodwracającego WO (X30, przy zwartych X28-X29) doprowadź napięcie wejściowe o amplitudzie $1,0\text{V}$ i częstotliwości $f=100\text{ Hz}$;
 - Pomierz (za pomocą oscyloskopu) wartości napięcia wejściowego i wyjściowego pracującego WO; przerysuj przebiegi z ekranu oscyloskopu. Określ k_U [V/V];
 - Zmieniaj częstotliwość f zgodnie z wartościami z tabeli. Uzupełnij tabelę wynikami pomiarów napięcia wyjściowego oraz obliczeniami współczynnika wzmocnienia k_U [V/V] oraz K_U [dB];

$$k_U [\text{V/V}] = U_{wy} / U_{we}; \quad K_U [\text{dB}] = 20 \log(k_U)$$

WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY

Tabela 4. Wpływ rezystancji w pętli sprzężenia zwrotnego ($U_{we}=0,5V$)

Pary rezystorów	U_{wy} [V]	K_u [v/v]	wg teorii [V/V]
R11 i R9			
R11 i R10			

Tabela 5. Wpływ rezystancji w pętli sprzężenia zwrotnego ($U_{we}=-0,5V$)

Pary rezystorów	U_{wy} [V]	K_u [v/v]	wg teorii [V/V]
R11 i R9			
R11 i R10			

Tabela 6. Charakterystyka częstotliwościowa

$U_{we}=1000$ mV

f[kHz]	0,1	1	5	10	15	17,5	20	40	75	100
U_{wy} [V]										
k_u [V/V]										
K_u [dB]										

Narysuj schemat uniwersalnego układu do badania WO odwracającego z uwzględnieniem generatora, oraz woltomierzy pomiarowych:

odwracającego

nieodwracającego

