

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, wyznaczenie charakterystyki przejściowej WO w układzie nieodwracającym.

Cel ćwiczenia

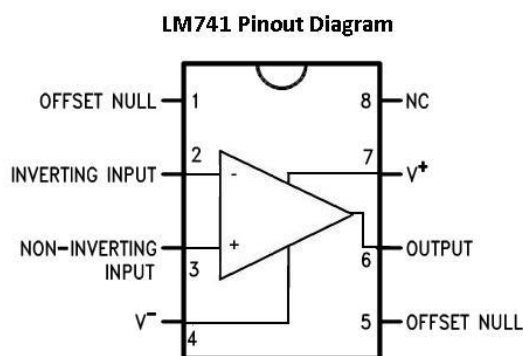
Celem ćwiczenia jest zapoznanie z właściwościami wzmacniacza operacyjnego odwracającego i nieodwracającego, zbadanie wpływu zmian rezystancji na wejściu układu oraz rezystancji w sprzężeniu zwrotnym, jak też wyznaczenie charakterystyki przejściowej i amplitudowej WO.

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

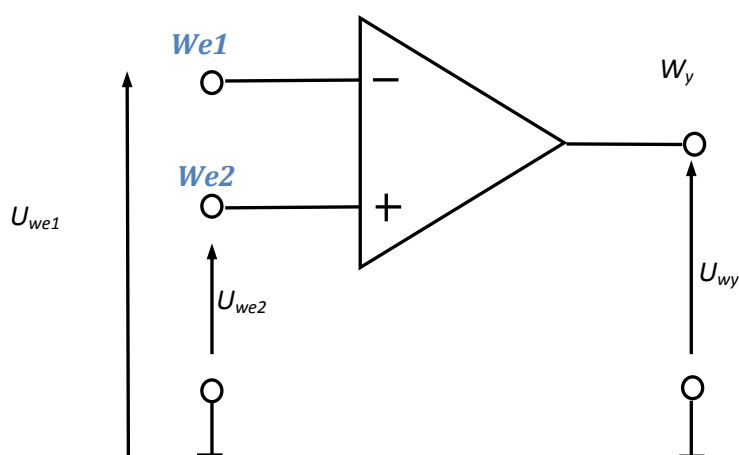
Właściwości idealnego wzmacniacza operacyjnego można w skrócie przedstawić następująco:

- 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 osiągnięcia 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 ($M\Omega$),
- posiadają małą rezystancję wyjściową (Ω).



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).

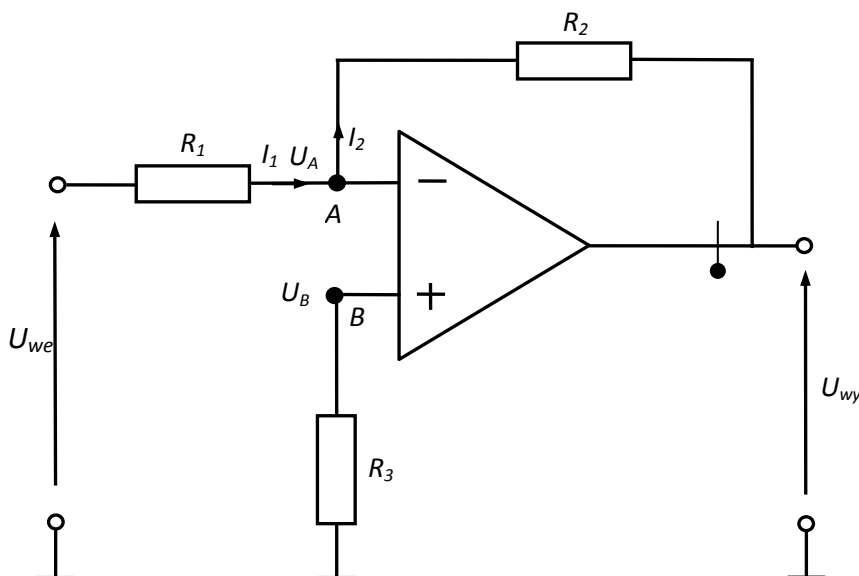
Korzystając z praw Kirchhoffa, układa się równania dla węzłów znajdujących się w układzie (np. dla węzła A i B).

Zakłada się, że różnica napięć $\Delta U = U_A - U_B$ jest prawie równe 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:

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

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:

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

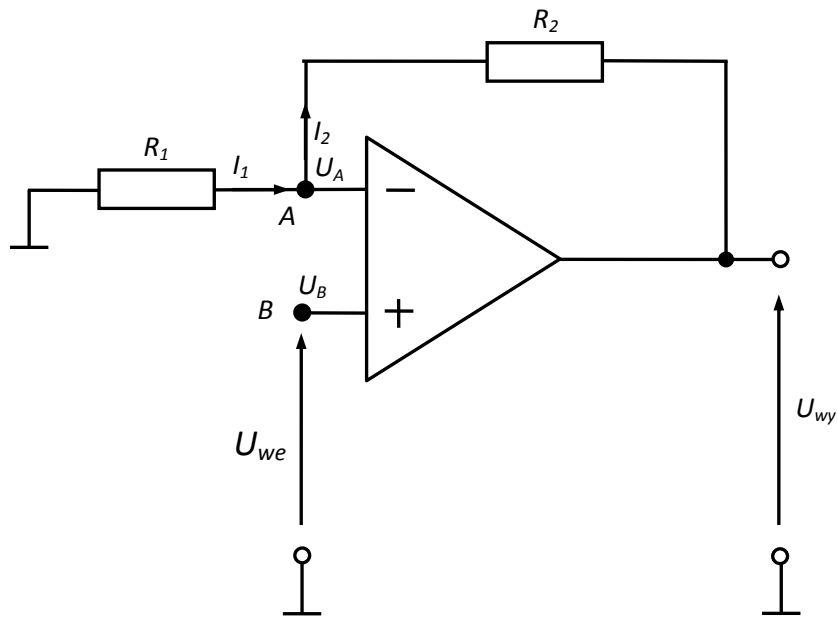
a wzmocnienie układu wynosi

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

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-} ($I_{we+} \neq I_{we-} \neq 0$), 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.

Sygnał 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

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

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: 1. 2. 3. 4.				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:	
Przygotowanie do ćwiczenia	Wykonanie ćwiczenia	Sprawozdanie z ćwiczenia		
Pkt.:/ 4	Pkt.:/ 4	Pkt.:/ 12		
Suma punktów:/		Procent punktów:.....		
Ocena z przeprowadzonego ćwiczenia:		Podpis nauczyciela:		

ZADANIA POMIAROWE

A – Wzmacniacz odwracający

1. Badanie wzmacniacza odwracającego w ukł. DC
 - 1.1. Narysuj schemat badanego WO wzorując się na połączeniach karty pomiarowej **SO4203-7W**.
 - 1.2. Połącz układ wg schematu przyjmując rezystancję wejściową $R_4 = 39,2 \text{ k}\Omega$ oraz rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego $R_8 = 49,9 \text{ k}\Omega$.
 - 1.3. Do wejścia odwracającego WO doprowadź napięcie wejściowe $U_{we} = 0,5 \text{ V (DC)}$
 - 1.4. Wykonaj pomiary napięcia wejściowego i wyjściowego; zanotuj wyniki w odpowiednim miejscu tabeli 1.
 - 1.5. Wyznacz wzmocnienie napięciowe układu k_U
 - 1.6. Powtórz czynności (1.4 i 1.5) dla napięcia wejściowego równego 1 V
 - 1.7. Zmień rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego na $R_7 = 200 \text{ k}\Omega$
 - 1.8. Powtórz czynności (1.3, 1.4, 1.5 i 1.6)
 - 1.9. Zmień rezystancję wejściową na $R_5 = 20 \text{ k}\Omega$ oraz rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego $R_8 = 49,9 \text{ k}\Omega$.
 - 1.10. Powtórz czynności (1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 i 1.8)
 - 1.11. Zmień rezystancję wejściową na $R_6 = 10 \text{ k}\Omega$ oraz rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego $R_8 = 49,9 \text{ k}\Omega$.
 - 1.12. Powtórz czynności (1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 i 1.8)
 - 1.13. Połącz układ wg schematu przyjmując rezystancję wejściową $R_6 = 10 \text{ k}\Omega$ oraz rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego $R_8 = 49,9 \text{ k}\Omega$.
 - 1.14. Zmieniaj napięcie wejściowe według wartości podanych w tabeli 2.
 - 1.15. Dla każdego z napięć wejściowych zmierz napięcie wyjściowe a wynik zapisz w tabeli 2.
 - 1.16. Oblicz poszczególne wzmocnienia i zapisz je w tabeli 2.

2. Badanie wzmacniacza odwracającego w ukł. AC
 - 2.1. Narysuj schemat badanego WO wzorując się na połączeniach karty pomiarowej **SO4203-7W**.
 - 2.2. Połącz układ wg schematu przyjmując rezystancję wejściową $R_6 = 10 \text{ k}\Omega$ oraz rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego równą $R_8 = 49,9 \text{ k}\Omega$.
 - 2.3. Do wejścia odwracającego WO (X11) doprowadź napięcie wejściowe o amplitudzie 50 mV i częstotliwości $f = 100 \text{ Hz}$
 - 2.4. Pomierz (za pomocą oscyloskopu) wartości napięcia wejściowego i wyjściowego pracującego WO; przerysuj przykładowy przebieg z ekranu oscyloskopu. Określ k_U [V/V]
 - 2.5. Zmieniaj częstotliwość f zgodnie z wartościami z tabeli 3. Uzupełnij tabelę wynikami pomiarów napięcia wyjściowego oraz obliczeniami współczynnika wzmocnienia k_U [V/V] oraz K_U [dB]
 - 2.6. Powtórz czynności 2.3, 2.4 i 2.5 dla ustawionych rezystancji wejściowej $R_6 = 10 \text{ k}\Omega$ oraz rezystancji w gałęzi sprzężenia zwrotnego równą $R_7 = 200 \text{ k}\Omega$.

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

Tabela 1. Wpływ rezystancji wejściowej i sprzężenia zwrotnego na wzmocnienie WO

Pary rezystorów	U_{we} [V]	U_{wy} [V]	K_U [V/V]	wg teorii ¹ [V/V]
R4 i R8	0,5 V			
R5 i R8				
R6 i R8				
R4 i R8	1,0 V			
R5 i R8				
R6 i R8				
R4 i R7	0,5 V			
R5 i R7				
R6 i R7				
R4 i R7	1,0 V			
R5 i R7				
R6 i R7				

¹ Chodzi o wartość wzmocnienia obliczoną z wartości rezystancji

Tabela 2. Charakterystyka przejściowa WO (R6 i R8)

U _{we} [V]	U _{wy} [V]	K _u [v/v]
-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		

Tabela 3. Charakterystyka częstotliwościowa

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

B – Wzmacniacz nieodwracający**3. Badanie wzmacniacza nieodwracającego w ukł. DC**

- 3.1. Narysuj schemat badanego WO
- 3.2. Połącz układ wg schematu przyjmując rezystancję wejściową równą $R_{11}=10\text{ k}\Omega$
- 3.3. Do wejścia nieodwracającego WO doprowadź napięcie wejściowe w wysokości $U_{we} = 0,5\text{ V DC}$
- 3.4. Kolejno dla dwóch wartości rezystancji w pętli sprzężenia zwrotnego wykonaj pomiary napięcia wejściowego i wyjściowego; zanotuj wyniki w tabelach 4 i 5.
- 3.5. Wyznacz wzmocnienie napięciowe układu k_u
- 3.6. Powtórz czynności (3.4 i 3.5) dla napięcia wejściowego równego $-0,5\text{ V}$

4. Badanie wzmacniacza nieodwracającego w ukł. AC

- 4.1. Narysuj schemat badanego WO
- 4.2. Połącz układ wg schematu przyjmując rezystancję wejściową równą $R_{11}=10\text{ k}\Omega$ oraz rezystancję w gałęzi sprzężenia zwrotnego równą $R_{10}=100\text{ k}\Omega$.
- 4.3. Do wejścia nieodwracającego WO (X30, przy zwartych X28-X29) doprowadź napięcie wejściowe o amplitudzie 1,0V i częstotliwości $f=100\text{ Hz}$
- 4.4. Pomierz (za pomocą oscyloskopu) wartości napięcia wejściowego i wyjściowego pracującego WO; przerysuj przebiegi z ekranu oscyloskopu. Określ k_U [V/V]
- 4.5. 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 ($U_{we}=-0,5V$)

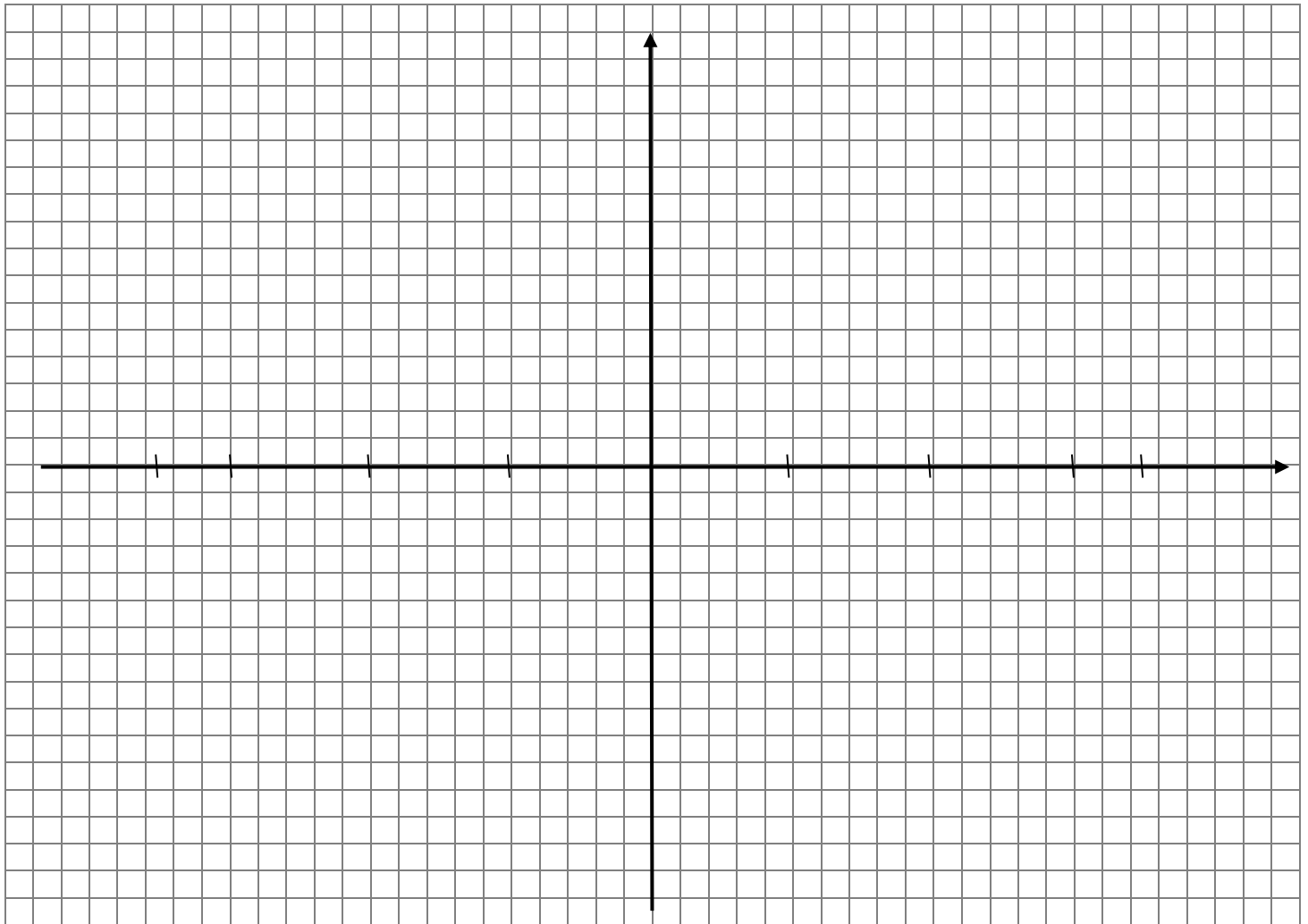
Pary rezystorów	U_{wy} [V]	K_U [v/v]	wg teorii [V/V]
R11 i R9			
R11 i R10			

Tabela 6. Charakterystyka częstotliwościowa

$U_{we}=1000\text{ mV}$

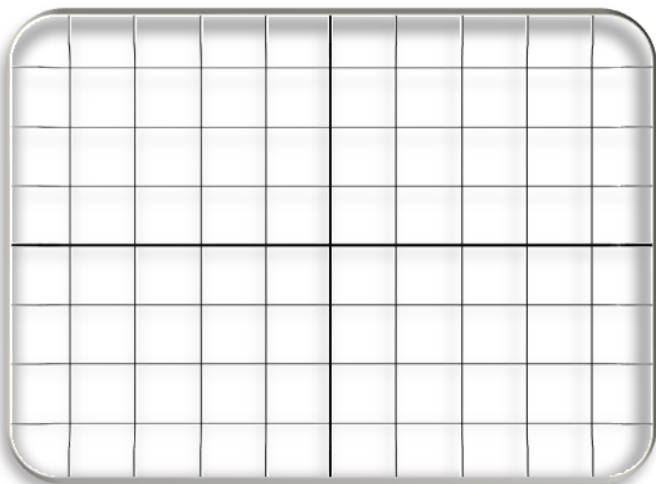
f[kHz]	0,1	1	5	10	15	17,5	20	40	75	100
U_{wy} [V]										
k_U [V/V]										
K_U [dB]										

Charakterystyka przejściowa $U_{wy} = f(U_{we})$

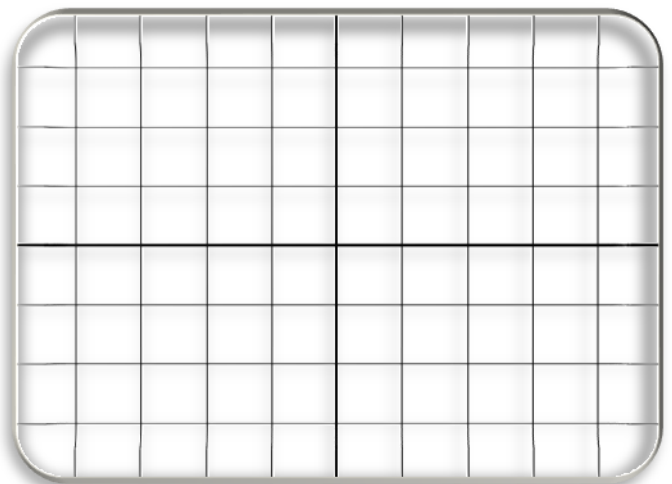


Przykładowe oscylogramy U_{wy} i U_{we} dla $f=100\text{Hz}$ (jeden okres)

WO odwracający



WO nieodwracający



Charakterystyki $K_U = f(f)$

