

Nr ćw. 4-a	Pracownia z Elektroniki – Fizyka Medyczna GR.I, Rok II		Ocena Wstęp:
Temat ćw.: v.4	BADANIE WZMACNIACZA OPERACYJNEGO		Ocena:
Data:03.06.2021r.	Imię: Aleksandra	Nazwisko: Mrowiec	Ocena Końcowa:
Data:			

I. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest poznanie charakterystyk oraz pewnych szczegółów wzmacniacza napięcia stałego w wykonaniu scalonym typu a 741 i pochodnych a także przebadanie właściwości operacyjnych tego wzmacniacza po zamknięciu odpowiednich pętli sprzężenia zwrotnego.

II. Wstęp Teoretyczny

1. Wzmacniacze napięcia stałego – ich budowa i cechy charakterystyczne.

Wzmacniaczem operacyjnym nazywamy wzmacniacz prądu stałego o dużym wzmocnieniu pracujący z zewnętrznym układem silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego, które zapewnia lepszą stałość pracy, zwiększa zakres dynamiki, poprawia liniowość i poszerza pasmo przenoszenia wzmacniacza. Wzmacniacze operacyjne w zależności od charakterystyki częstotliwościowej lub przejściowej mogą dokonywać operacji dodawania, odejmowania, całkowania, różniczkowania, logarytmowania i wielu innych i dlatego są stosowane w maszynach liczących, w przetwornikach analogowo- cyfrowych (A / D) i cyfrowo- analogowych (D / A) oraz w układach pomiarowych.

Idealny wzmacniacz operacyjny powinien charakteryzować się następującymi właściwościami:

- nieskończenie dużym wzmocnieniem przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego ($K \rightarrow \infty$),
- nieskończenie szerokim pasmem przenoszenia częstotliwości,

- nieskończenie dużą impedancją wejściową, zarówno między wejściami, jak i między każdym z

wejść a ziemią,

- impedancją wyjściową równą zero,

- napięciem wyjściowym równym zero przy równości napięć wejściowych ($U_{wy} = 0$ przy $U_{we1} = U_{we2}$),

- nieskończenie dużym dopuszczalnym prądem wyjściowym,

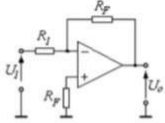
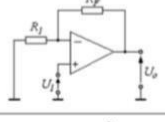
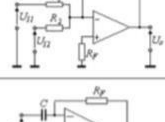
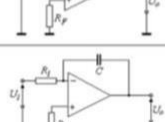
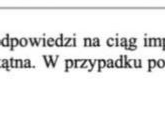
- zerowym prądem wejściowym,

- wzmocnieniem idealnie różnicowym, tzn. nieskończenie dużym współczynnikiem tłumienia

sygnału nieróżnicowego (definicję tego współczynnika podano w dalszej części opracowania),

- zachowaniem powyższych właściwości przy zmianach temperatury.

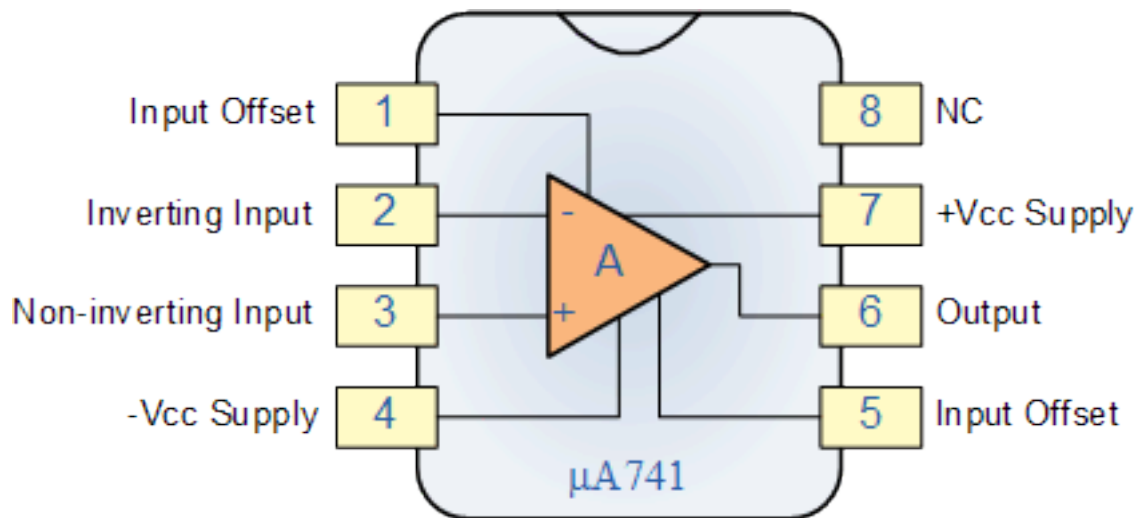
Uprozczone schematy i wzory podstawowych zastosowań wzmacniaczy operacyjnych

Wzmacniacz odwracający		$U_o = -\frac{R_F}{R_i} U_i$
Wzmacniacz nieodwracający		$U_o = \frac{R_i + R_F}{R_i} U_i$ Dla $R_i \rightarrow \infty$ otrzymuje się wódnik napięciowy
Wzmacniacz sumujący		$U_o = -R_F \left(\frac{U_{i1}}{R_{i1}} + \frac{U_{i2}}{R_{i2}} + \dots \right)$
Układ różniczkujący		$U_o = -R_F C \frac{dU_i}{dt}$
Układ całkujący		$U_o = -\frac{1}{R_i C} \int U_i dt$

Jak widać na rysunku 7.13 w odpowiedzi na ciąg impulsów podanych na wejście układu, na jego wyjściu pojawia się fala prostokątna. W przypadku podanym na opisywanym rysunku dla fali

(Rysunki z linku nr3.)

Wzmacniacze operacyjne są dostępne w obudowach układów scalonych. Mogą zawierać pojedynczy, podwójny lub poczwórny wzmacniacz operacyjny w jednej kostce. Najszerzej znanym spośród wszystkich wzmacniaczy operacyjnych ogólnego przeznaczenia jest leciwy już $\mu A-741$.



Wzmacniacz operacyjny μA 741 składa się z trzech podstawowych układów:

- wejściowego wzmacniacza różnicowego
- stopnia niesymetrycznego (separujący, wzmacniający i przesuwający poziom napięcia stałego)
- stopień wyjściowy
- dwa układy pomocnicze
- układ polaryzacji
- układ zabezpieczający

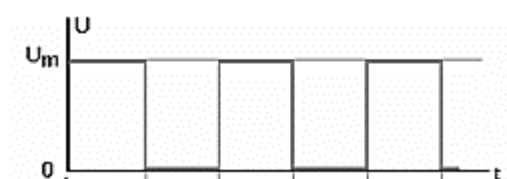
Parametry wzmacniacza μA 741:

- wzmocnienie przy otwartej pętli sprzężenia $K_u = 100\,000 [V/V]$,
- rezystancja wejściowa $R_i = 2000\,k\Omega$,
- wejściowy prąd polaryzujący $I_i = 0,5\,\mu A$,
- maksymalne różnicowe napięcie wejściowe $= \pm 30\,V$,
- napięcie zasilania $\pm 15\,V$,
- pobór mocy $45\,mW$.

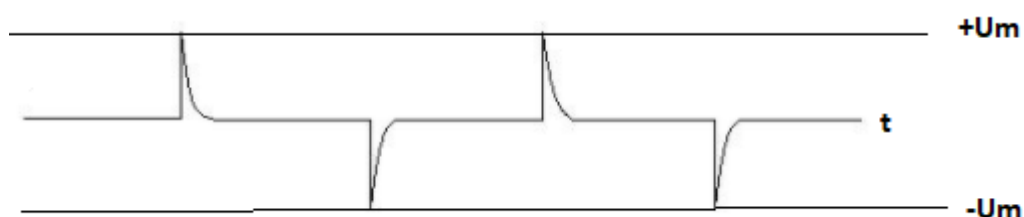
Nazwa parametru (jednostka)		Wzmacniacz idealny	$\mu A741$	Inne WO
Wzmocnienie różnicowe napięciowe K_{u_p}	V/V	$\rightarrow \infty$	10^3	$10^4 \dots 10^7$
Rezystancja wejściowa różnicowa R_{WE}	M Ω	$\rightarrow \infty$	1	0,05... 10^4
Rezystancja wyjściowa R_{WY}	Ω	$\rightarrow 0$	75	50...200
Częstotliwość graniczna f_r	MHz	$\rightarrow \infty$	1	1...100

3. Odpowiedź na wymuszenie typu fali prostokątnej wzmacniacza operacyjnego jako członu

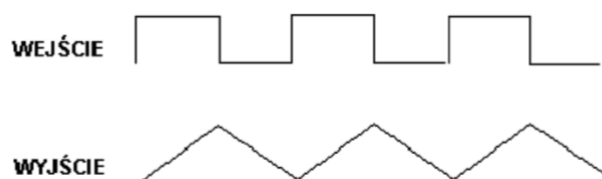
a) Proporcjonalnego



b) różniczkującego



c) całkującego



d) inercyjnego I rzędu



e) inwertora



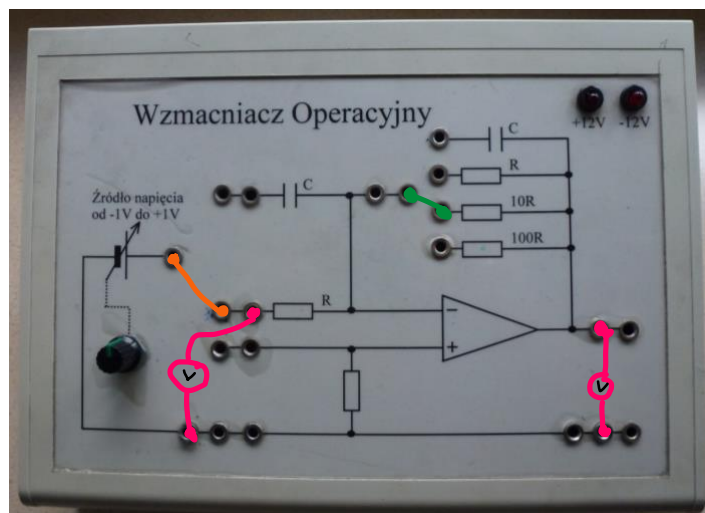
Literatura

1. J. Kalisz, "Podstawy elektroniki cyfrowej" WKŁ 2002r
2. W. Głocki „Układy cyfrowe”
3. <http://elektron.pol.lublin.pl/keo/dydaktyk/Ins/Cw07pdf.pdf>
4. <http://home.agh.edu.pl/~aprzem/pliki/wo1.pdf>

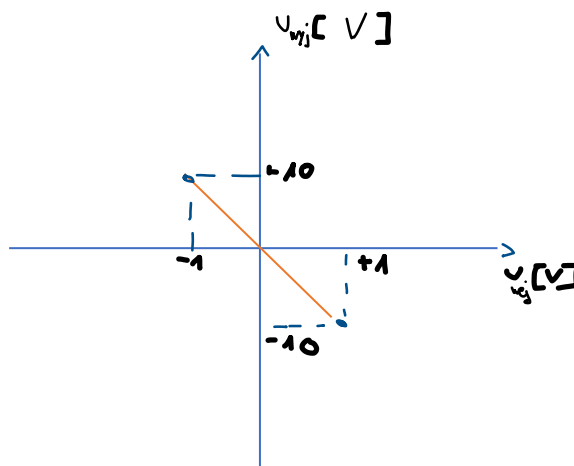
III. Przebieg ćwiczenia

***1. BADANIE CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNEJ PRZY WZMOCNIENIU 20dB

$K_u = 20\text{dB}$



Schemat podłączenia.



Wykres zależności napięcia wejściowego od wzmacnienia przy układzie z wzmacniaczem w ustawieniu odwracającym.

Nr pomiaru	Napięcie wejściowe [V]	Zmierzone napięcie wyjściowe [V]
1	-1	
2	-0.9	
3	-0.8	
4	-0.7	
5	-0.6	
6	-0.5	
7	-0.4	

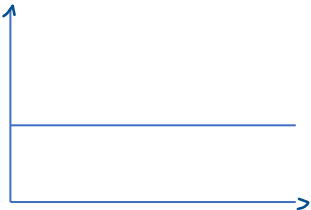
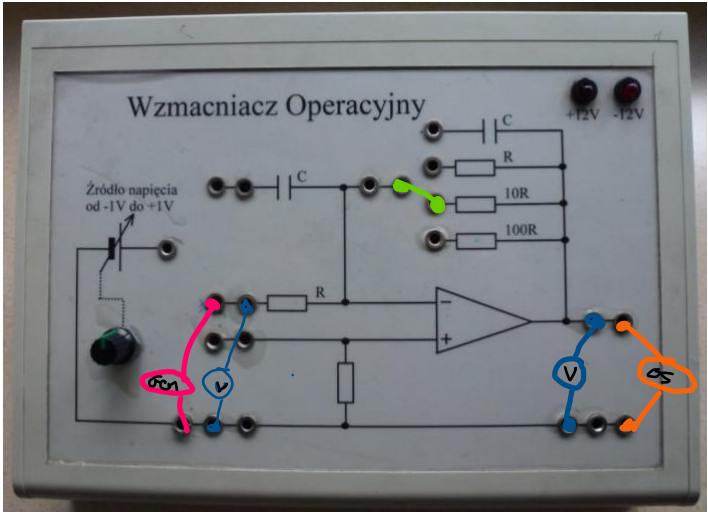
8	-0.3	
9	-0.2	
10	-0.1	
11	0	
12	0.1	
13	0.2	
14	0.3	
15	0.4	
16	0.5	
17	0.6	
18	0.7	
19	0.8	
20	0.9	
21	1	

***2. BADANIE CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ

Ku= 20dB

Uwe= 100mV

f=0

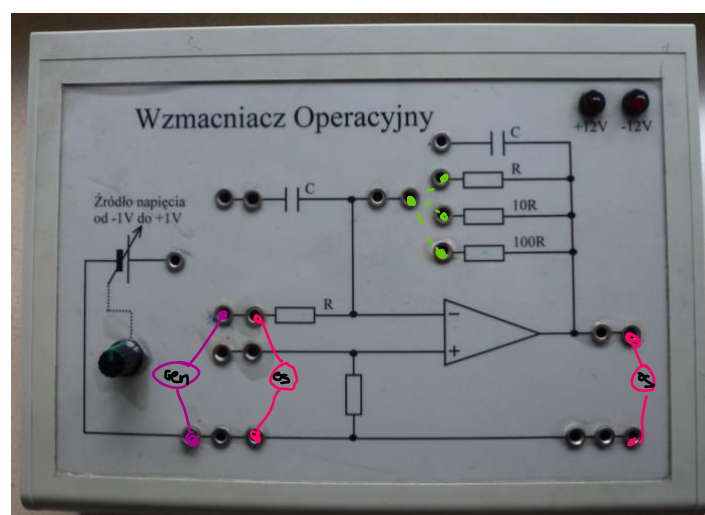


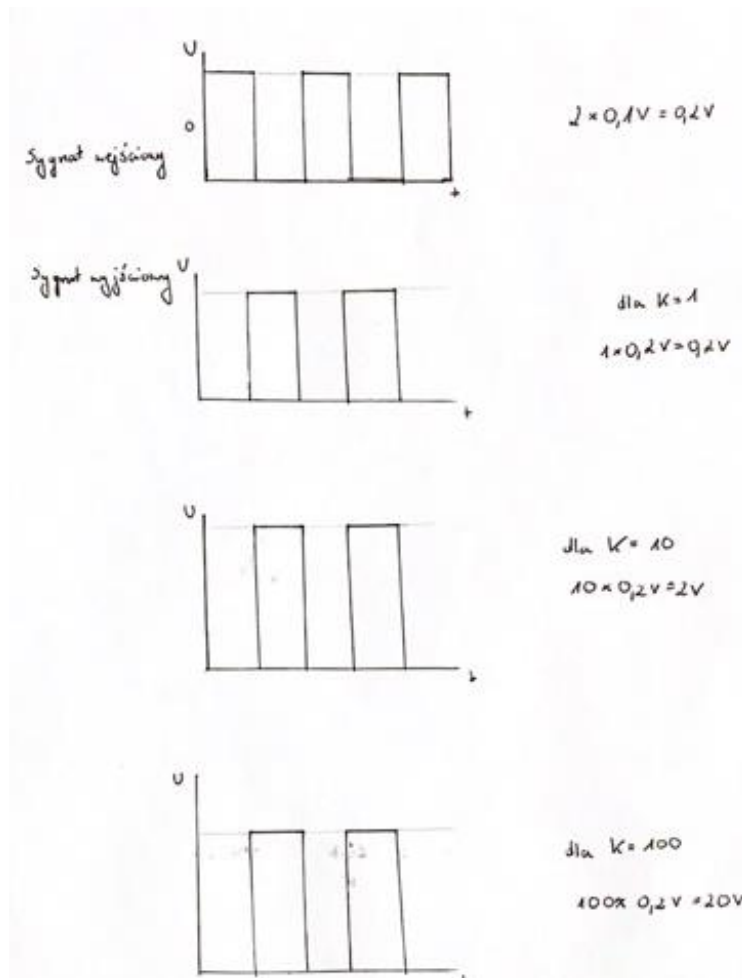
Nr pomiaru	f [Hz]	f.ust[Hz]	Sygnal na wejściu [mV]	Napięcie wyjściowe [V]
1	20			
2	40			
3	60			

4	80			
5	100			
6	200			
7	300			
8	400			
9	500			
10	600			
11	700			
12	800			
13	900			
14	1000			
15	2000			
16	3000			
17	4000			
18	5000			
19	6000			
20	7000			
21	8000			
22	9000			
23	10000			
24	20000			
25	30000			
26	40000			
27	50000			
28	60000			
29	70000			
30	80000			
31	90000			
32	100000			

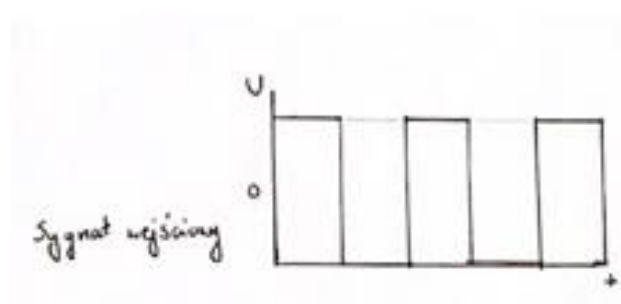
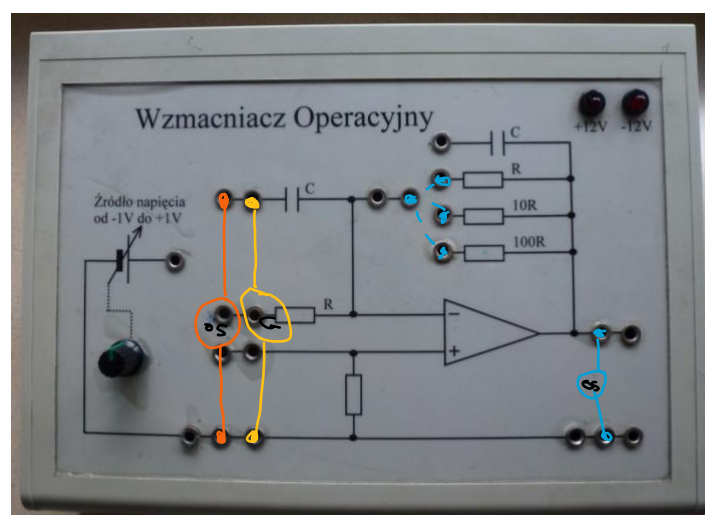
3. BADANIE WZMACNIACZA W UKŁADZIE OPERACYJNYM

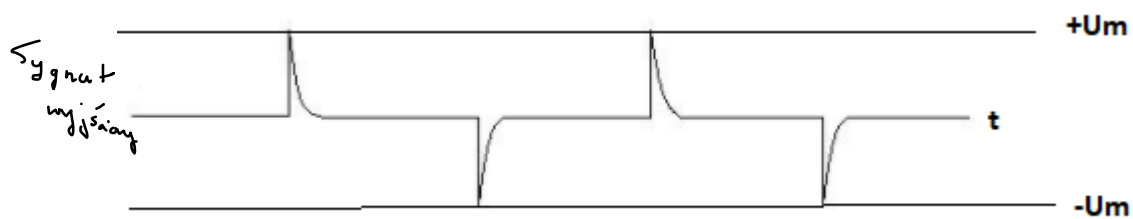
a) proporcjonalny – dla wszystkich trzech wariantów (R, 10R, 100R)



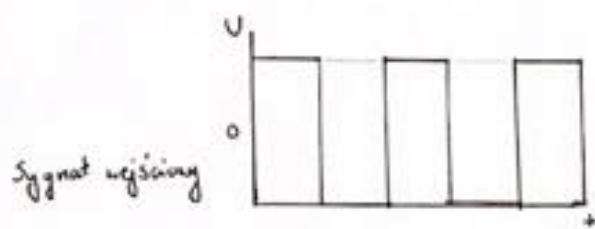
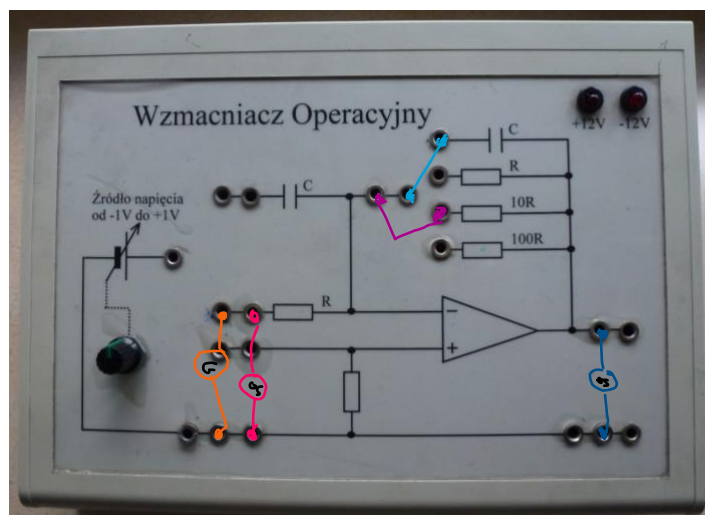


d) różniczkujący – dla wszystkich trzech wariantów (R, 10R, 100R)

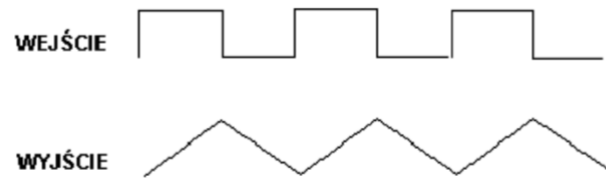
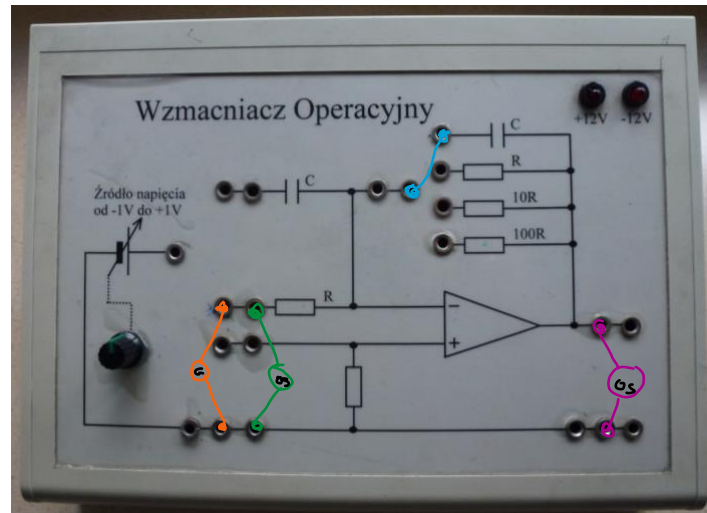




c) inercyjny I rzędu dla 10R

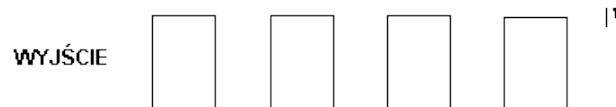
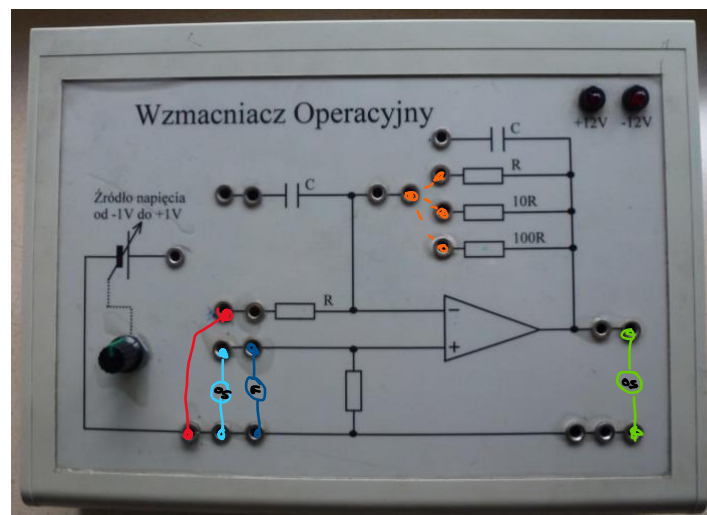


d) całkujący dla R.



4. BADANIE WZMACNIACZA OD STRONY WEJŚCIA NIEINWERSYJNEGO

Fali prostokątnej o częstotliwości około 1 kHz i amplitudzie nie większe niż 0,1V



|WZMOCNIENIE| ≈ 1

$$2 \times 0,1 \text{ V} = 0,2 \text{ V}$$

$$\text{dla } K=1$$

$$1 \times 0,2 \text{ V} = 0,2 \text{ V}$$

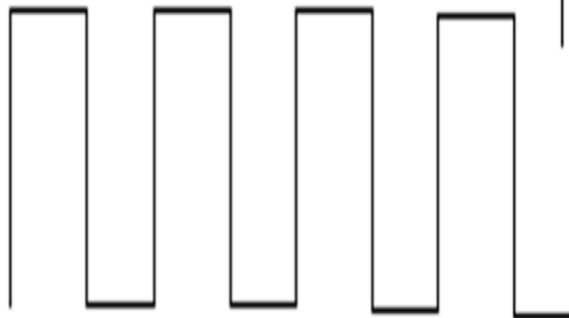
WYJŚCIE



$$\text{dla } k = 10$$

$$10 \times 0,2V = 2V$$

WYJŚCIE



$$\text{dla } k = 100$$

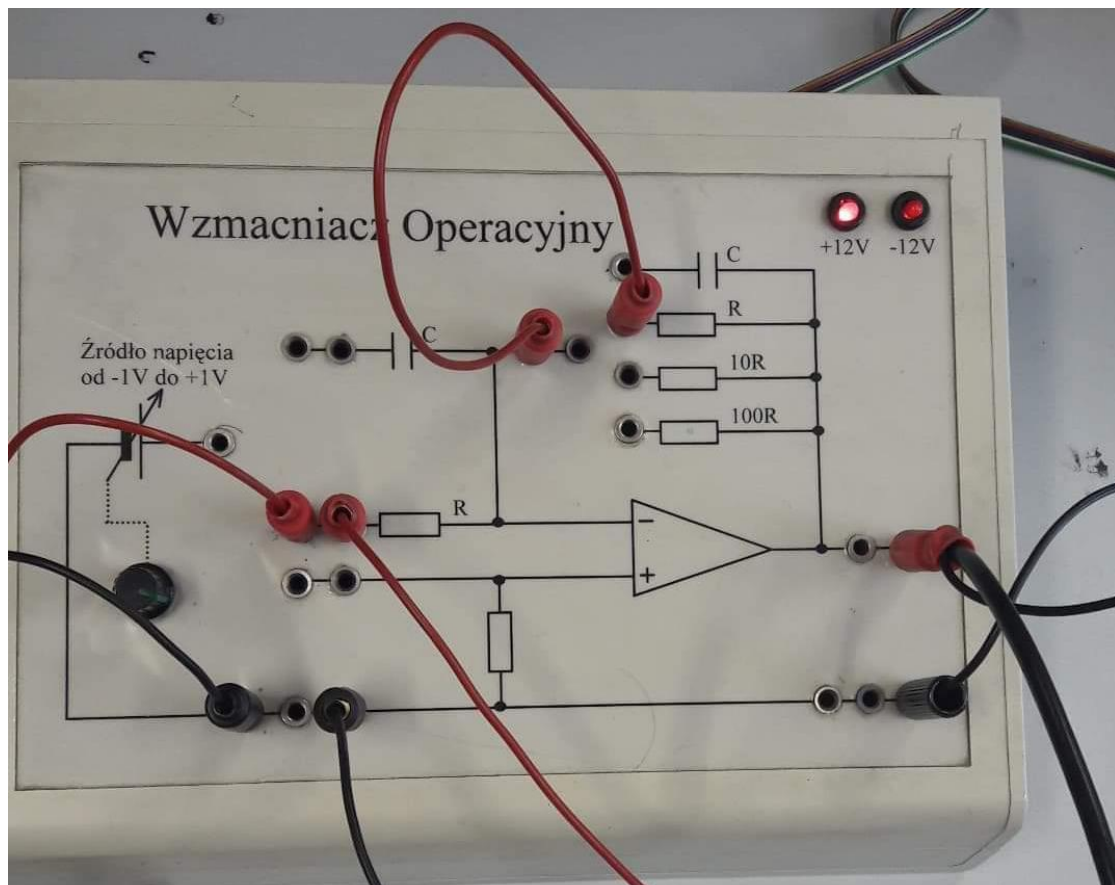
$$100 \times 0,2V = 20V$$

IV. BADANIE WZMACNIACZA W UKŁADZIE OPERACYJNYM- Laboratorium

Otrzymane obrazy na oscyloskopie

A) Układ proporcjonalny odwracający fazę.

i) $R_2 = R$





Z rysunku można odczytać wzmocnienie:

$$K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}}.$$

Jak widać:

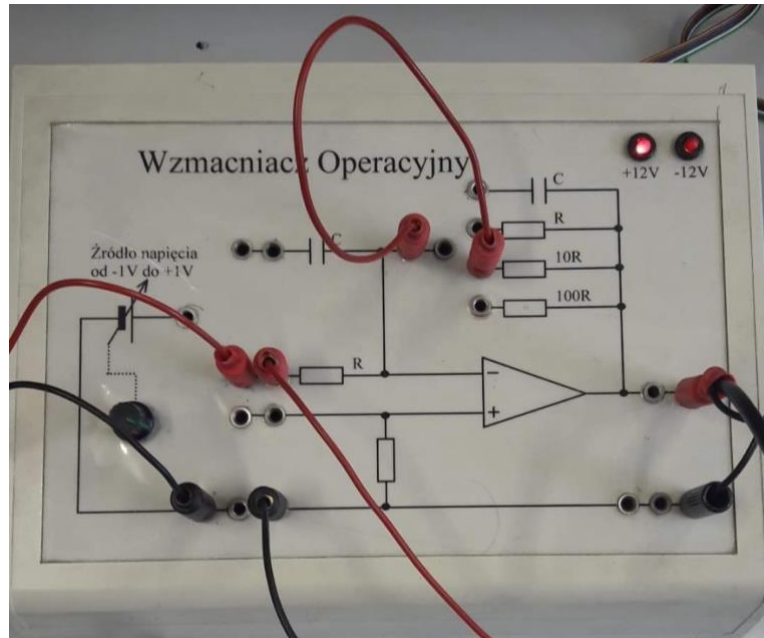
$U_{we}=0,1[V]$

$U_{wy}=-0,1[V]$

Czyli:

$$\underline{K_u = -1}$$

Minus oznacza że napięcie wyjściowe jest przesunięte w fazie o 180° w stosunku do napięcia wejściowego.
ii) $R_2=10R$.





W tym przypadku

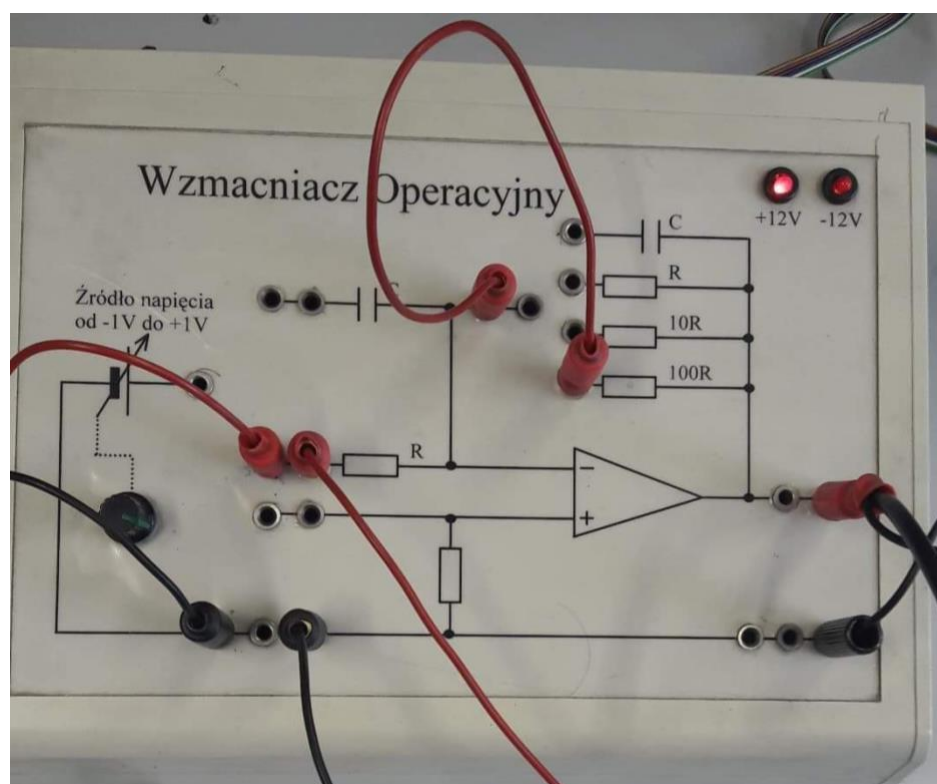
$$U_{we}=0,1[V]$$

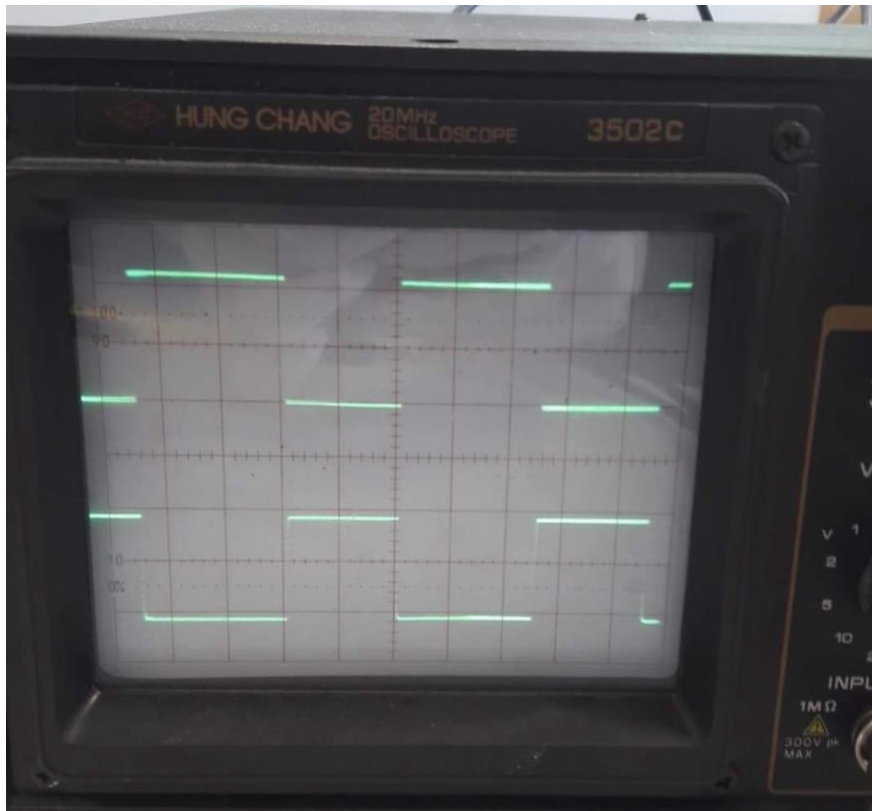
$$U_{wy}=-1[V]$$

Czyli:

$$\underline{K_u = -10}$$

iii) $R_2=100R$.





W tym przypadku

$$U_{we}=0,1[V]$$

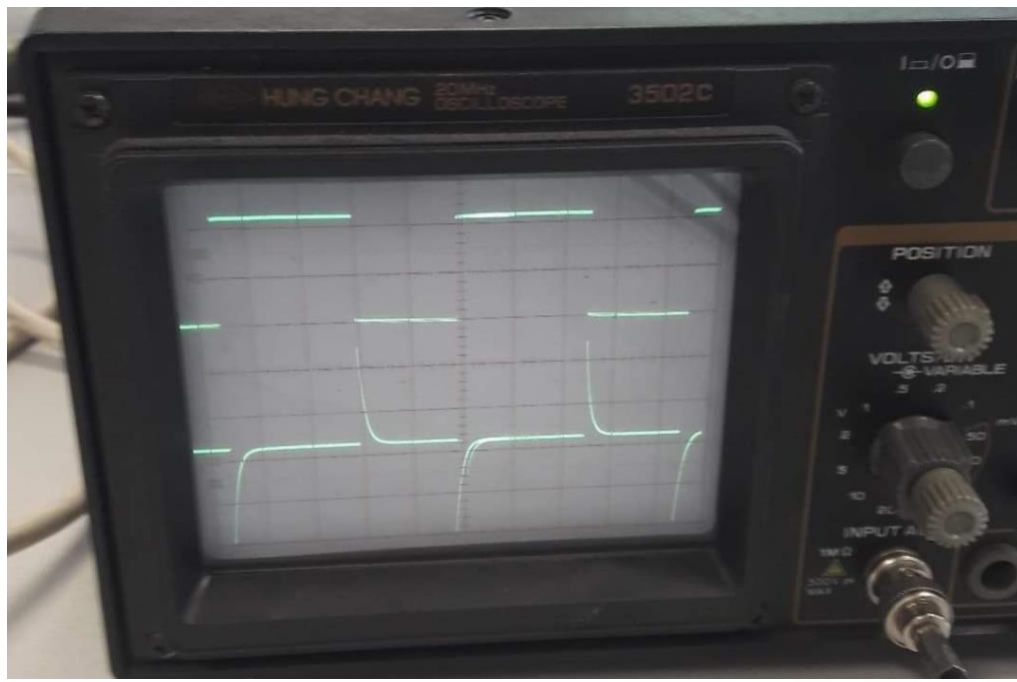
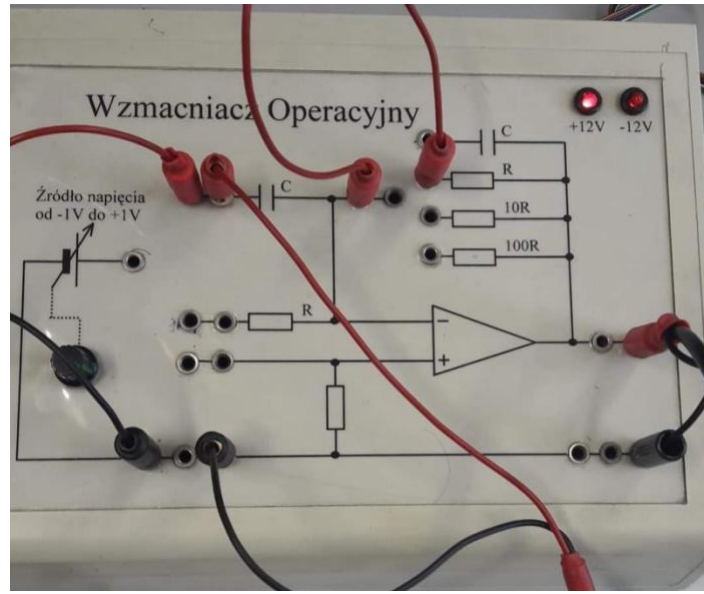
$$U_{wy}=-10[V]$$

Czyli:

$$\underline{K_u = -100}$$

B) Wzmacniacz różniczkujący.

i) $R_2=R$



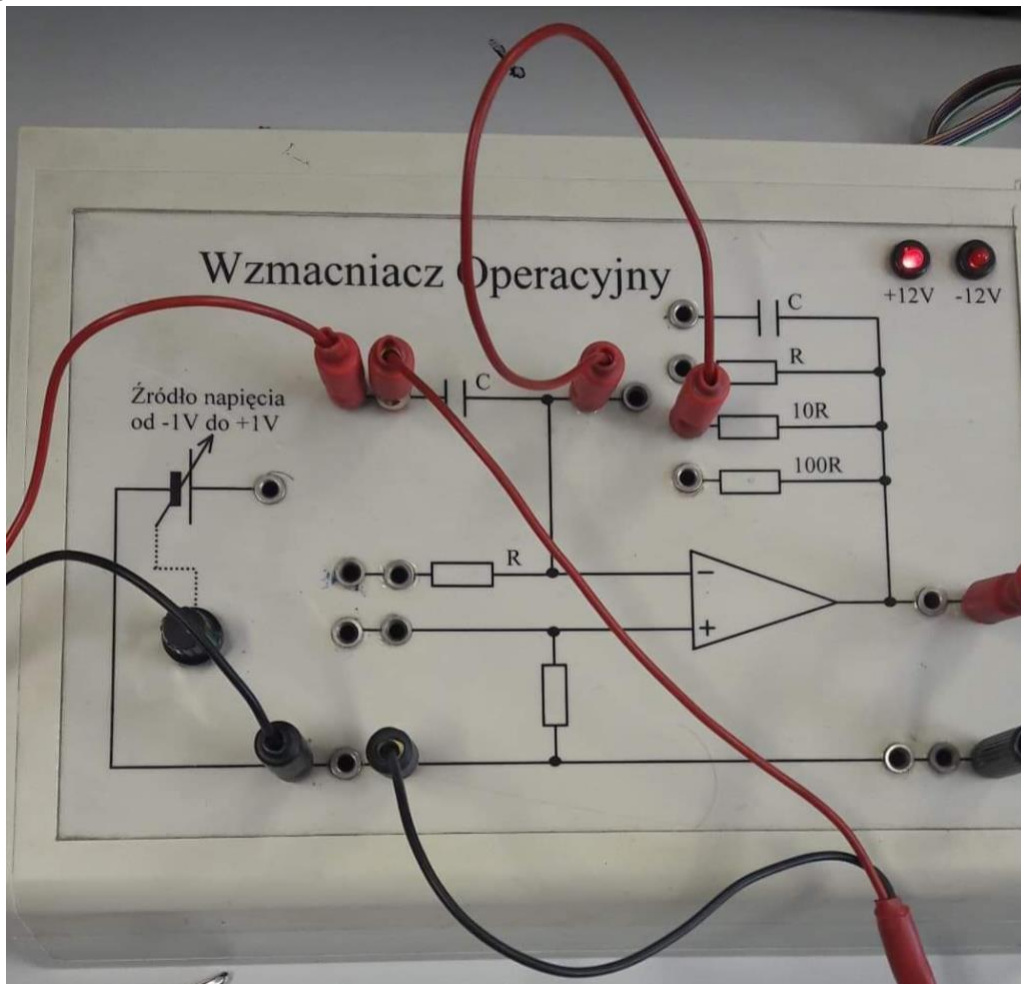


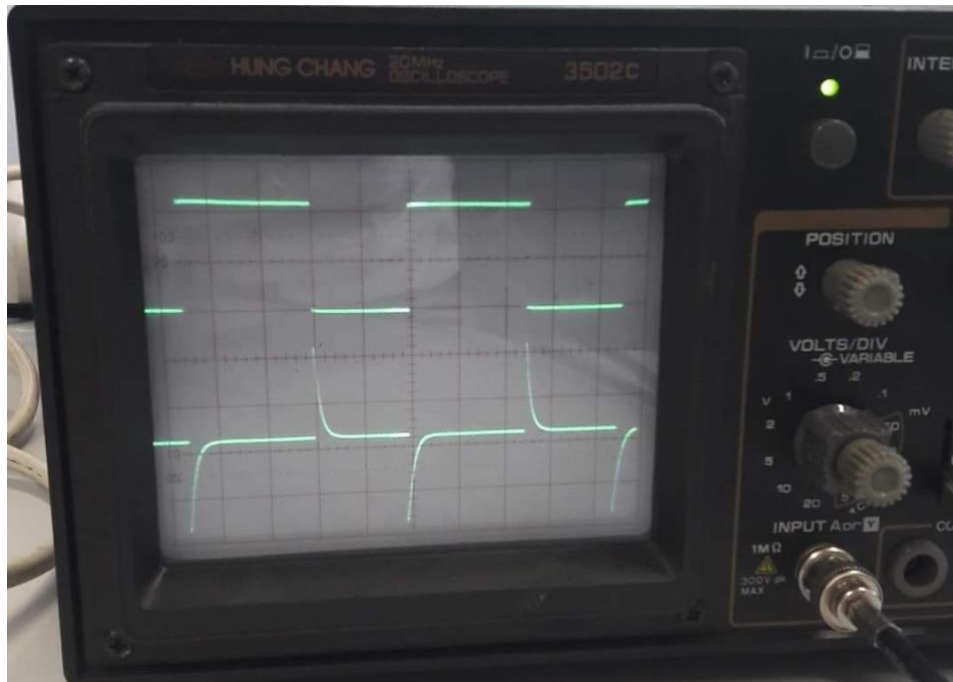
Dla tego układu można odczytać maksymalną oraz minimalną amplitudę napięcia wyjściowego:

$$U_{\max} = 0,04[V]$$

$$U_{\min} = 0[V]$$

ii) $R_2 = 10R$

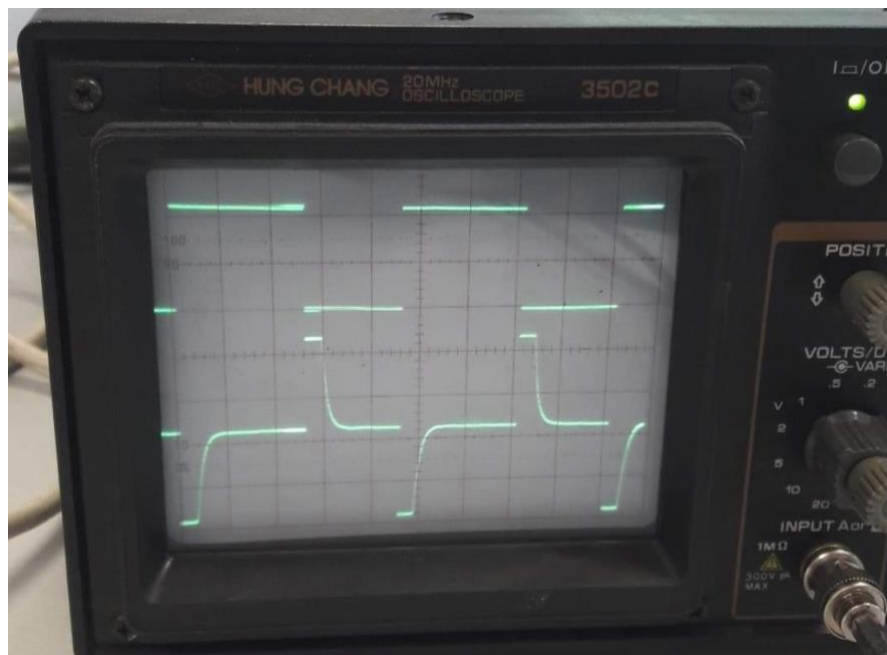
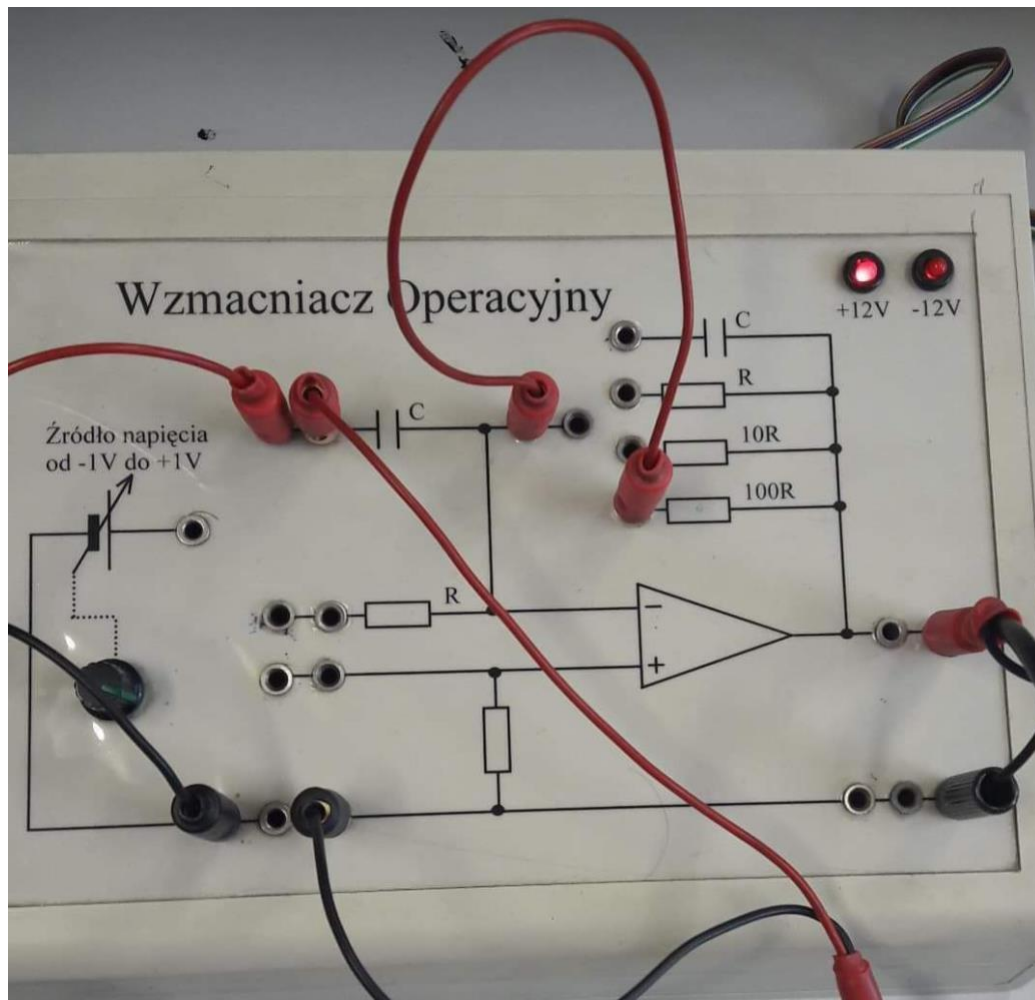




W tym przypadku:

$$\begin{aligned} U_{\max} &= 0,4[V] \\ U_{\min} &= 0[V] \end{aligned}$$

iii) $R_2 = 100R$





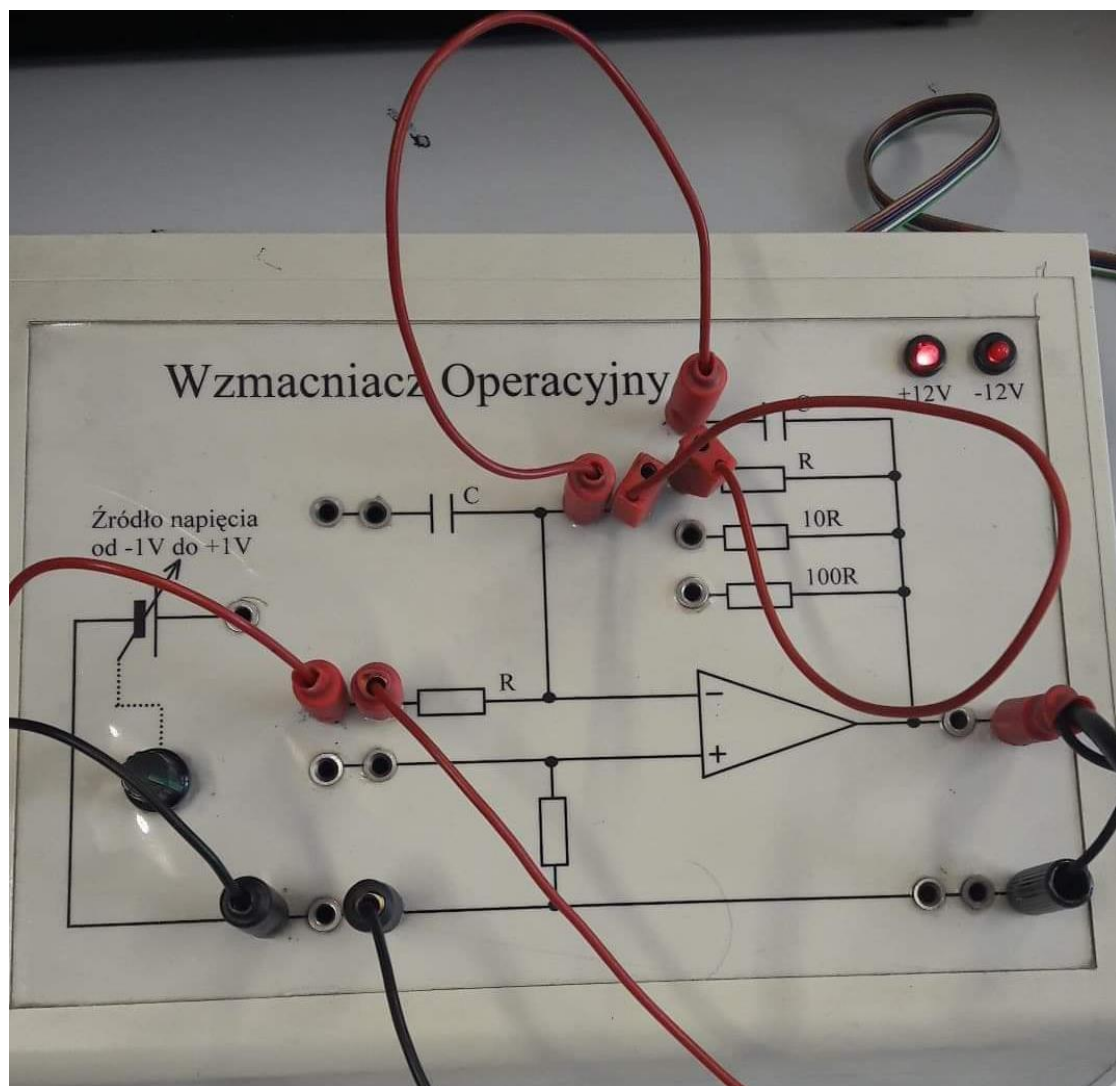
W tym przypadku:

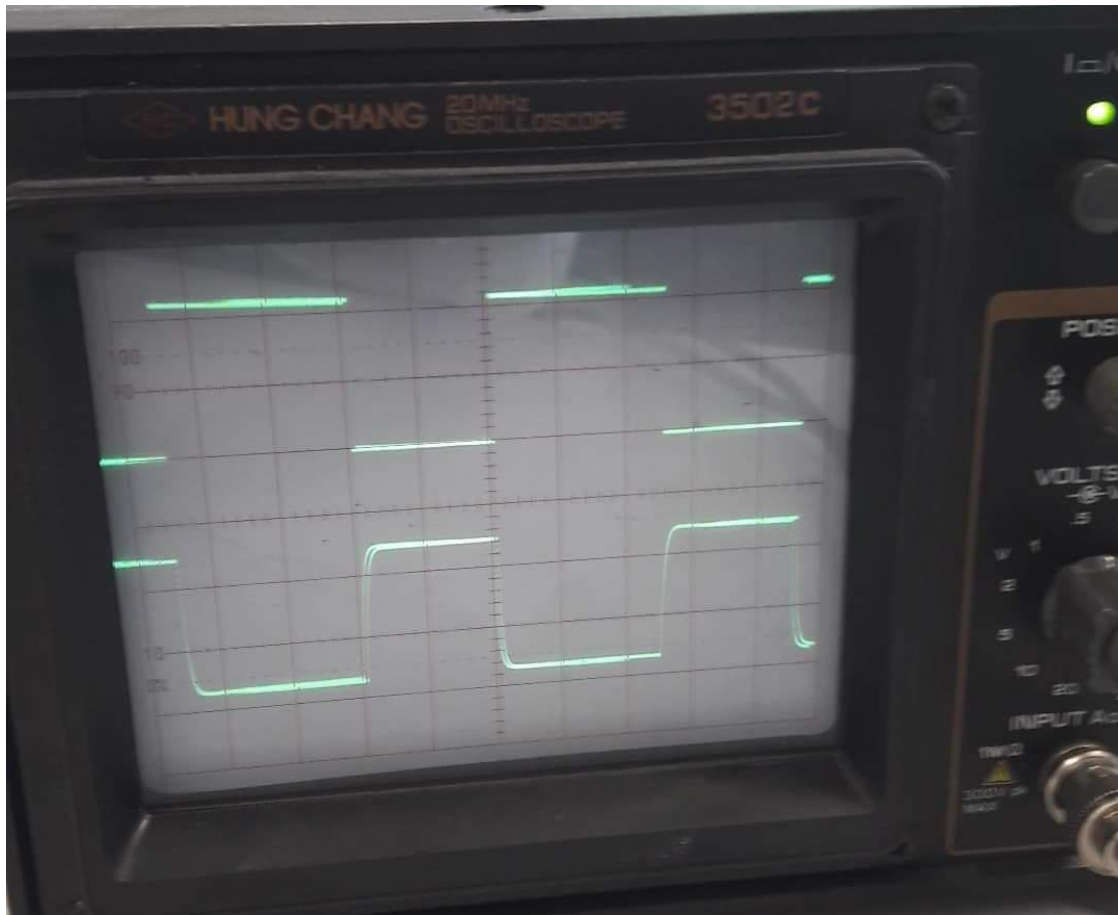
$$U_{\max}=4[V]$$

$$U_{\min}=0[V]$$

C) Wzmacniacz inercyjny I rzędu.

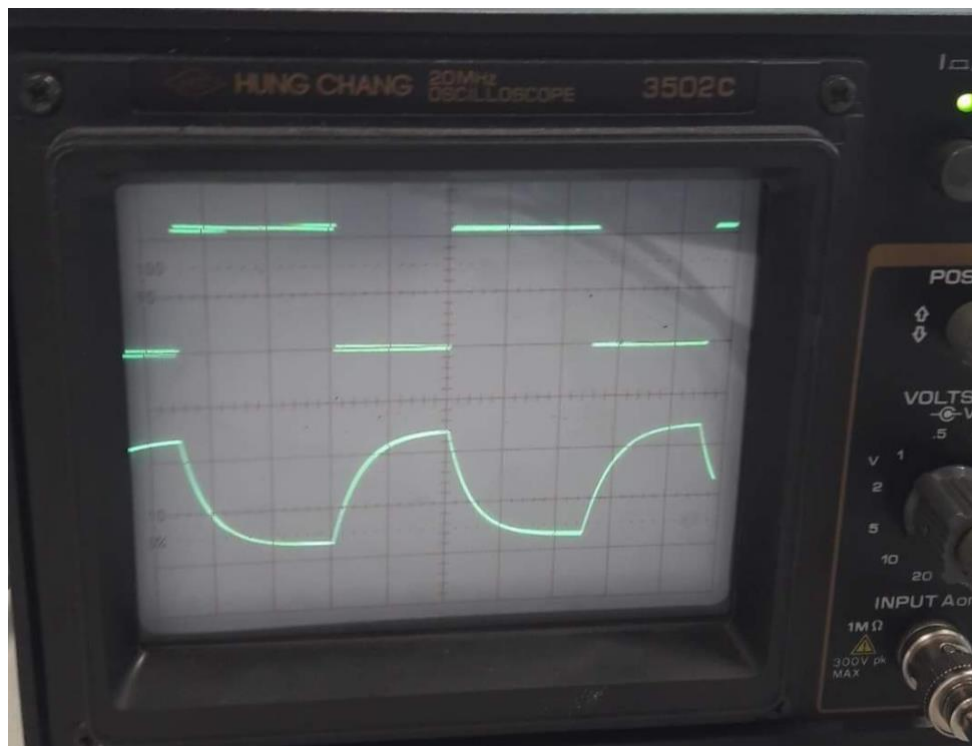
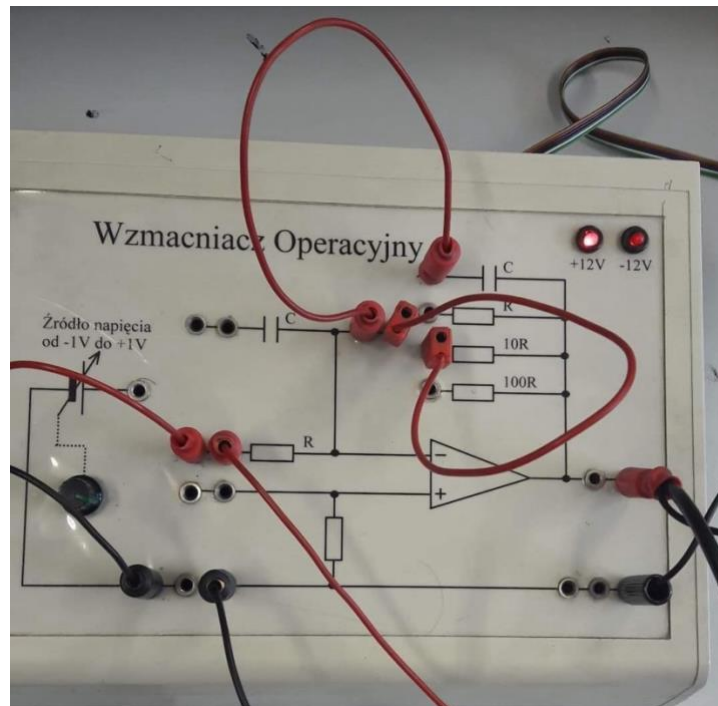
i) $R_2=R$





$$\tau = 1,7[ms]$$

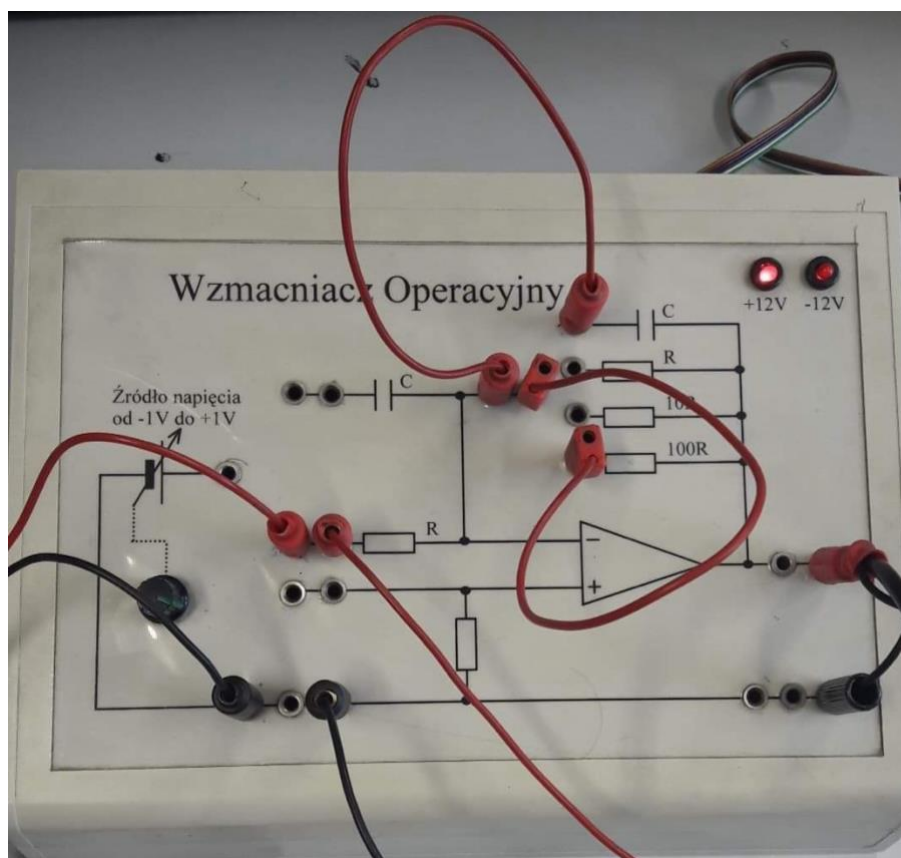
ii) $R_2 = 10R$

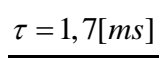


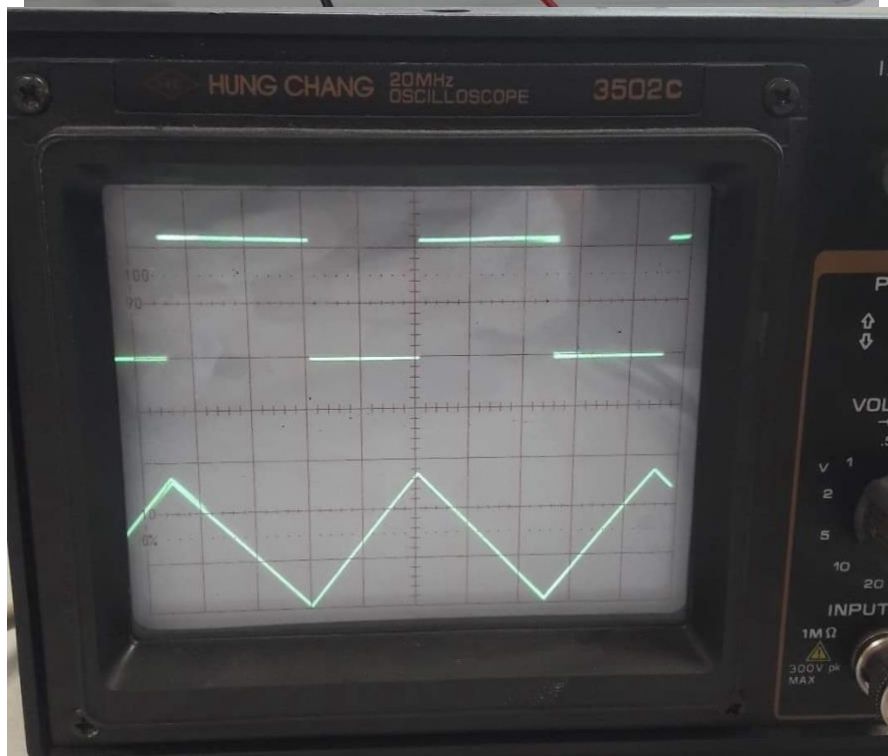
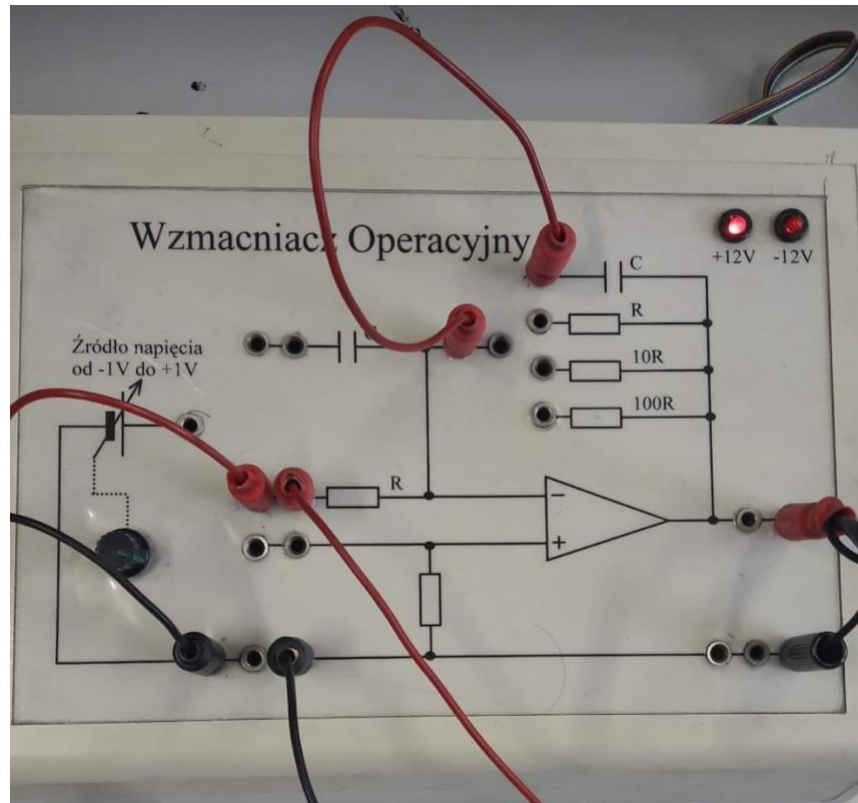


$$\tau = 1,7[ms]$$

iii) $R_2=100R$







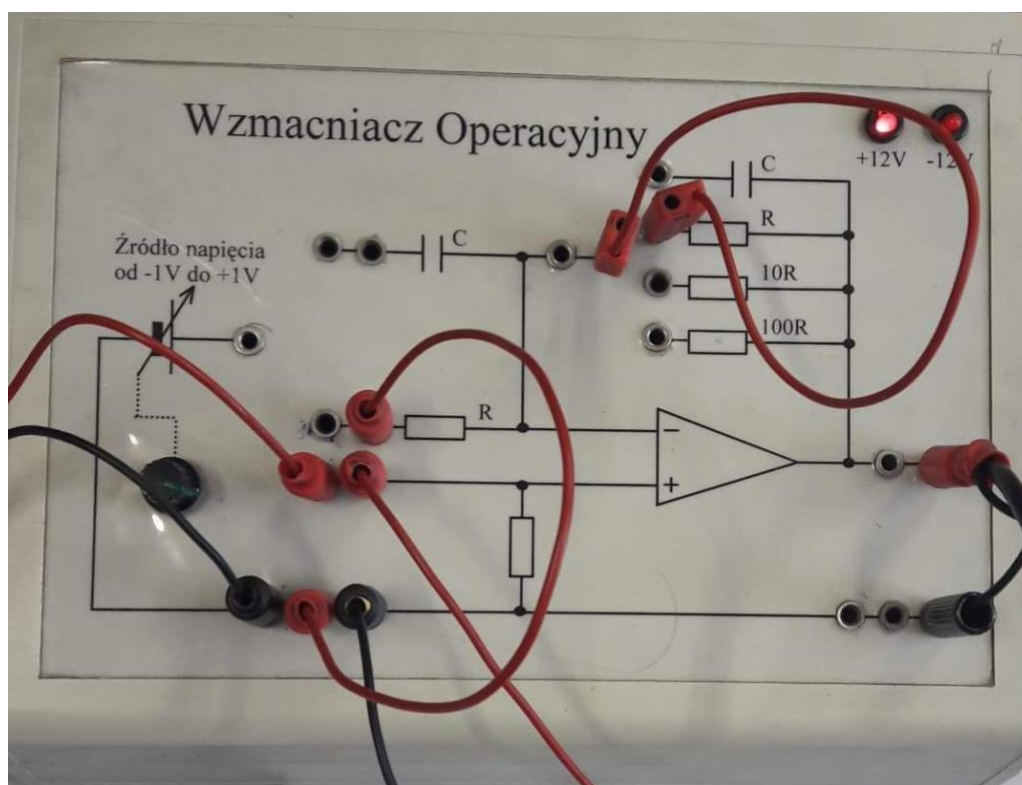


Dla tego układu można odczytać maksymalną amplitudę napięcia wyjściowego:

$$U_{\max} = 14 \text{ [V]}$$

E) Układ proporcjonalny nie odwracający fazy.

i) $R_2 = R$.

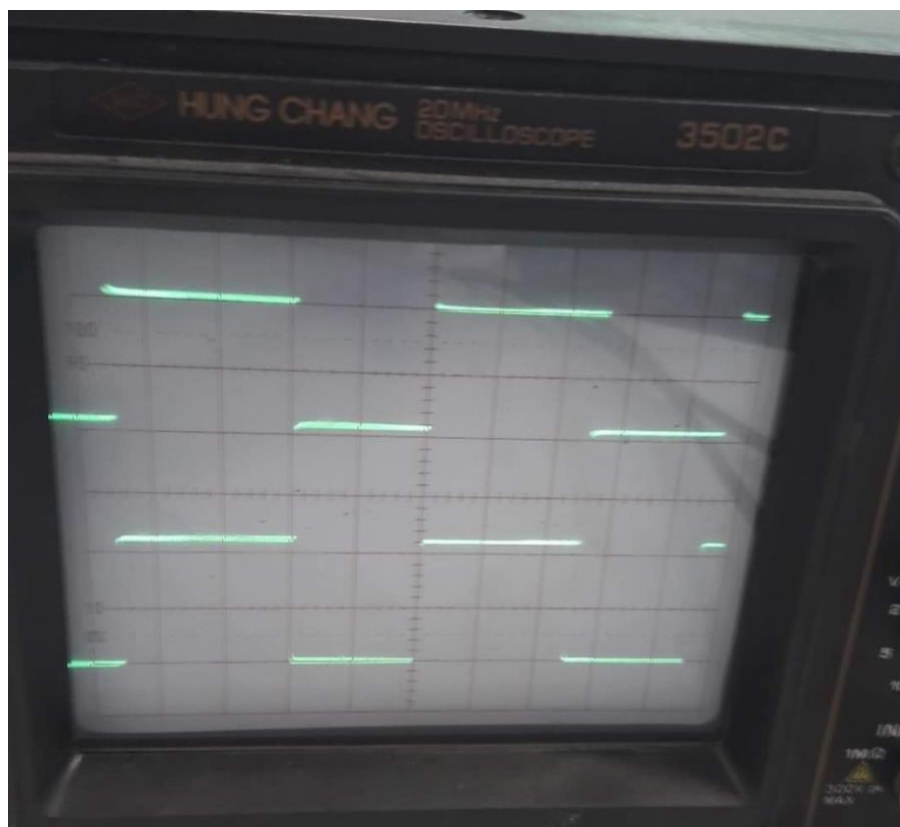
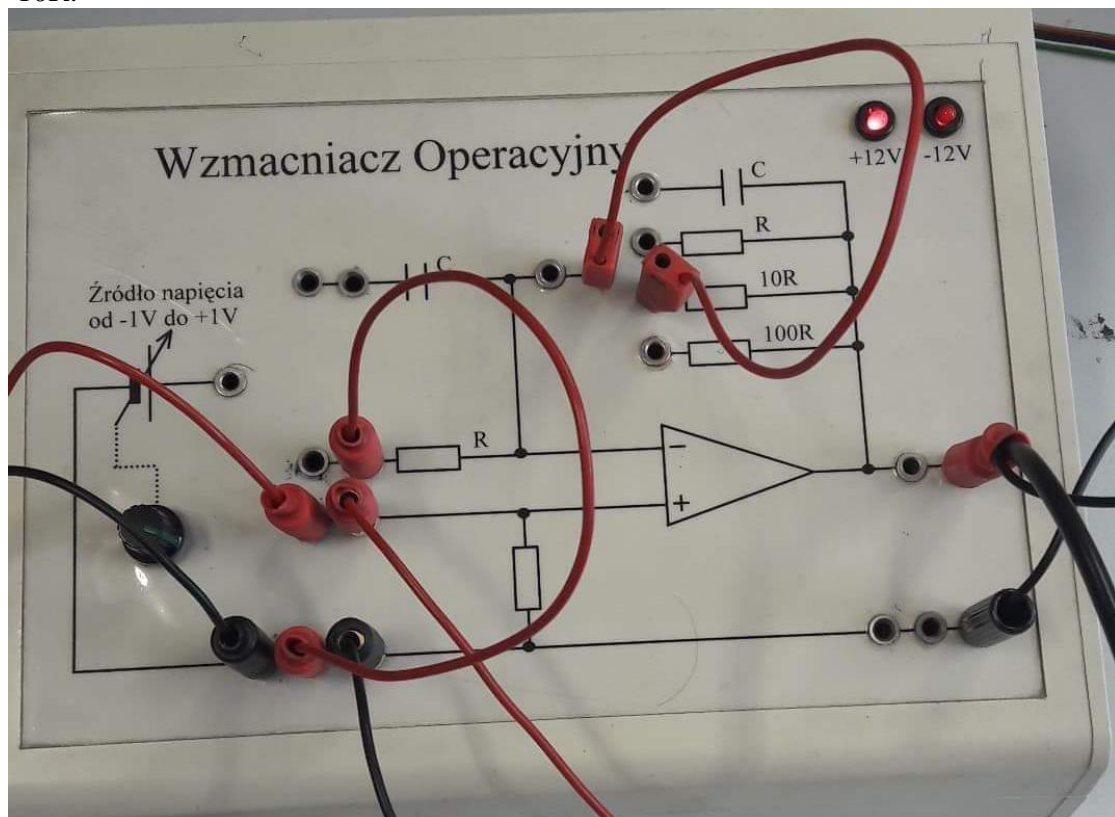



$$U_{wy}=0,2[V]$$

Czyli:

$$\underline{K_u = 2}$$

ii) $R_2 = 10R$.





W tym przypadku

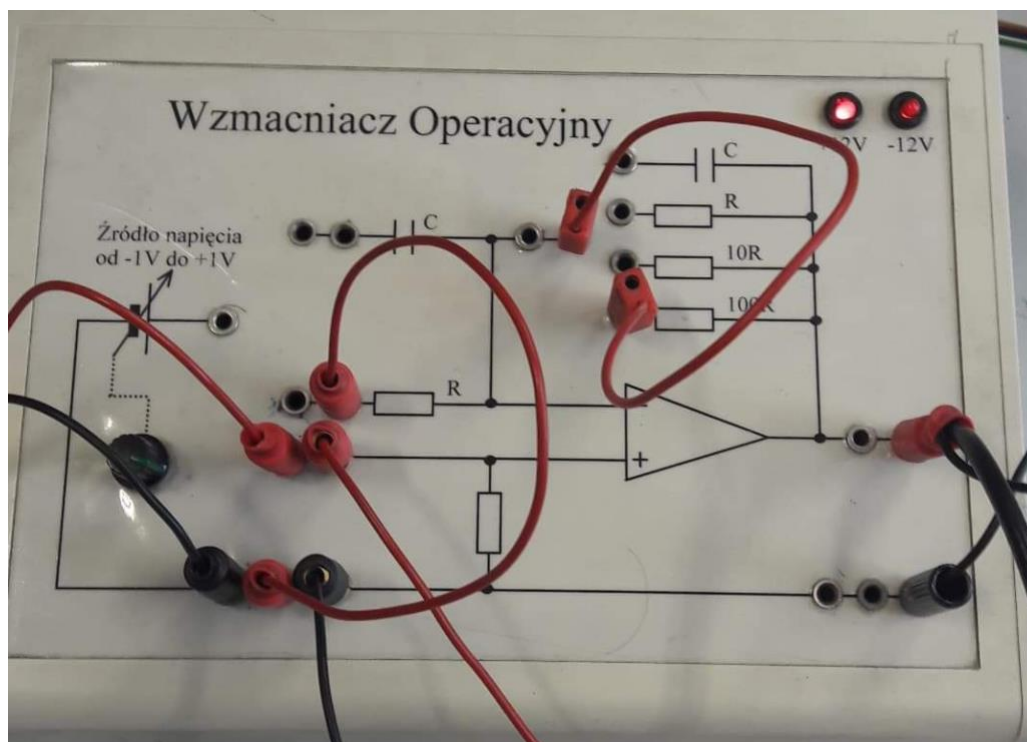
$U_{we}=0,1[V]$

$U_{wy}=1,1[V]$

Czyli:

$$\underline{K_u = 11}$$

iii) $R_2=100R$.





W tym przypadku

$U_{we}=0,1[V]$

$U_{wy}=10,1[V]$

Czyli:

$$\underline{K_u = 101}$$

IV. Obliczenie wzmocnienia i napięcia wyjściowego.

A) Układ proporcjonalny odwracający fazę.

i) $R_2=R$.

Wzmocnienie obliczamy ze wzoru:

$$K_U = -\frac{R_2}{R_1}.$$

gdzie:

$$R_1=R_2=R=2,2[k\Omega]$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{K_U = -1.}$$

Czyli:

$$\underline{U_{wy} = -U_{we}}$$

ii) $R_2=10R$.

$$R_1=R=2,2,$$

$$R_2=10R=22[k\Omega].$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{K_U = -10.}$$

Czyli:

$$\underline{U_{wy} = -10U_{we}}$$

iii) $R_2=100R$.

$$R_1=R=2,2,$$

$$R_2=100R=220[k\Omega].$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{K_U = -100.}$$

Czyli:

$$\underline{U_{wy} = -100U_{we}}$$

B) Wzmacniacz różniczkujący.

i) $R_2=R$.

Transmitancję operatorową wyznaczamy ze wzoru:

$$k_u(s) = -sCR_2$$

Gdzie:

$$s=i\omega,$$

$$\omega=2\pi f,$$

$$f=100[Hz],$$

$$C=8,2[nF],$$

$$R=2,2[k\Omega].$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{k_u(s) = -0,01133i}$$

Jest to więc wielkość zespolona.

$$[k_u(s)] = \frac{\cancel{s^4} \cdot \cancel{A^2}}{\cancel{kg} \cdot \cancel{m^2}} \cdot \frac{\cancel{kg} \cdot \cancel{m^2}}{s^3 \cdot \cancel{A^2}} \cdot \frac{1}{\cancel{s}}$$

Jest to więc wielkość bezjednostkowa.

Dla obliczenia napięcia wyjściowego można zastosować przybliżenie wzoru:

$$U_{wy} = -R_2C_1 \frac{dU_{we}}{dt} = -R_2C_1 \frac{\Delta U_{we}}{\Delta t}$$

Maksymalne napięcie wyjściowe następuje przy zmianie napięcia wejściowego. Czas zmiany tego napięcia można przyjąć jako:

$$\Delta t = 100 \mu s = 10^{-4} s$$

Natomiast:

$$\Delta U_{we} = 0,2[V]$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{U_{wy} = -0,036[V] :}$$

ii) $R_2=10R$.

W tym przypadku po podstawieniu wartości do wzorów, otrzymujemy:

$$k_u(s) = -0,1133i$$

$$\underline{U_{wy} = -0,36[V]}$$

iii) $R_2=100R$.

W tym przypadku po podstawieniu wartości do wzorów, otrzymujemy:

$$k_u(s) = -1,133i$$

$$\underline{U_{wy} = -3,6[V]}$$

We wszystkich przypadkach napięcie minimalne wynosi 0. ponieważ pochodna funkcji stałej jest równa 0.

C) Wzmacniacz inercyjny I rzędu.

Stałą czasową można wyznaczyć ze wzoru:

$$\underline{\tau = R_2 C :}$$

Po podstawieniu wartości (podanych w poprzednim punkcie) otrzymujemy:

$$\underline{\tau = 0,0018[s] = 1,8[ms] :}$$

D) Wzmacniacz całkujący.

Transmitancję operatorową wyznaczamy ze wzoru:

$$k_u(s) = -\frac{1}{CR} \cdot \frac{1}{s}$$

Gdzie:

$$s=i\omega,$$

$$\omega=2\pi f,$$

$$f=100[Hz],$$

$$C=8,2[nF],$$

$$R=2,2[k\Omega].$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{k_u(s) = -88,2i}$$

Jest to więc również wielkość zespolona.

Minimalne napięcie wyjściowe można wyznaczyć ze wzoru:

$$\underline{U_{wy} = -\frac{1}{R_1 C_1} \int_0^{\frac{1}{2f}} U_{we}(t) dt = \left| U_{we=const} \right| = -\frac{1}{R_1 C_1} U_{we} t \Big|_0^{\frac{1}{2f}} = -\frac{1}{R_1 C_1} U_{we} \frac{1}{2f} :}$$

Gdzie:

$$U_{we}=0,1[V],$$

$$f=100[Hz],$$

$$C=8,2[nF],$$

$$R_1=2,2[k\Omega].$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{U_{wy} = -28[V]}$$

E) Układ proporcjonalny nie odwracający fazy.

i) $R_2=R$.

Wzmocnienie obliczany ze wzoru:

$$\underline{K_U = 1 + \frac{R_2}{R_1} .}$$

gdzie:

$$R_1=R_2=R.=2,2[k\Omega]$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{K_U = 2 .}$$

Czyli:

$$\underline{U_{wy} = 2U_{we}}$$

ii) $R_2=10R$.

$$R_1=R.=2,2,$$

$$R_2=10R=22[k\Omega].$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{K_U = 11 .}$$

Czyli:

$$\underline{U_{wy} = 11U_{we}}$$

iii) $R_2=100R$.

$$R_1=R.=2,2,$$

$$R_2=100R=22[k\Omega].$$

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\underline{K_U = 101 .}$$

Czyli:

$$\underline{U_{wy} = 101U_{we}}$$

V. Wnioski

Cel ćwiczenia polegał na zbadaniu działania wzmacniacza operacyjnego. Obserwowaliśmy tu przebiegi napięć w różnych układach za pomocą oscyloskopu. Uzyskane wyniki możemy zobaczyć na zdjęciach wyżej.