

# WZMACNIACZ OPERACYJNY

T. Fąs

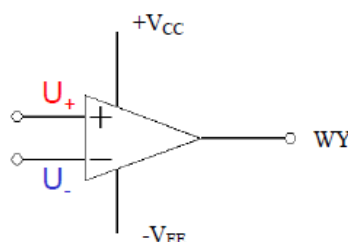
21 maja 2018

## STRESZCZENIE

W doświadczeniu zbadano właściwości wzmacniacza operacyjnego oraz skonstruowano układy oparte o ten wzmacniacz. Wszystkie konstrukcje zachowywały się zgodnie z oczekiwaniami.

## WSTĘP

Wzmacniacz operacyjny jest układem realizującym operację wzmocnienia różnicy sygnałów wejściowych. Symbol wzmacniacza przedstawiony jest na Rysunku 1.



Rysunek 1: Wzmacniacz operacyjny.

Jeżeli na wejście "+" znajduje się napięcie  $U_+$ , a na wejściu "-" napięcie  $U_-$ , to na wyjściu wzmacniacza otrzymamy sygnał  $A(U_+ - U_-)$ , gdzie  $A$  jest pewną stałą wzmocnienia. Układ ten wymaga dodatkowo zasilania z dwóch źródeł, tu oznaczonych jako  $V_{CC}$  i  $V_{EE}$ .

Korzystając z tego elementu można stworzyć: wzmacniacz odwracający fazę (sygnał na wyjściu ma przeciwną fazę), wzmacniacz nieodwracający fazy, układ różniczkujący (sygnał na wyjściu jest pochodną sygnału wejściowego) i układ całkujący. Schematy tych układów przedstawiono na Rysunku 2.

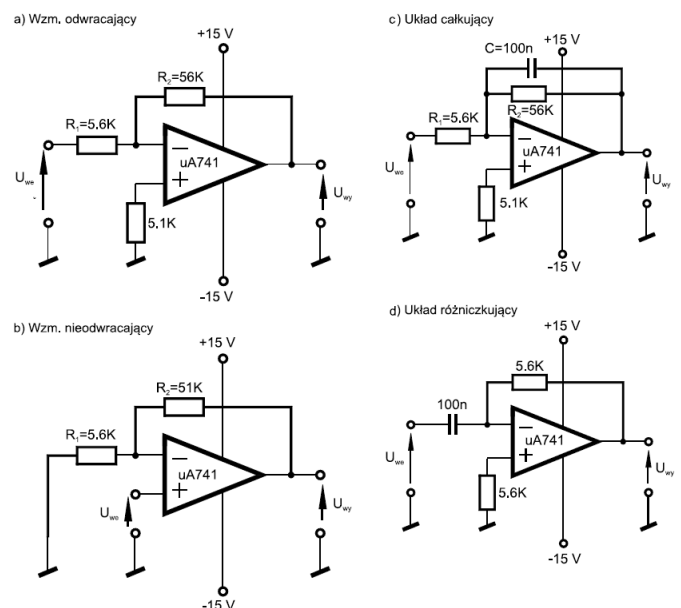
W przypadku wzmacniaczy, zależność napięcia wejściowego od wyjściowego jest zależnością liniową, a zależność napięcia wyjściowego  $U_{wy}$  od częstotliwości  $\omega$  napięcia wejściowego  $U_{we}$  jest zależnością filtra dolnoprzepustowego, tj:

$$k = \left| \frac{U_{wy}}{U_{we}} \right| = \frac{k_0 \omega_g}{\sqrt{\omega^2 + \omega_g^2}}, \quad (1)$$

gdzie  $k$  to stała wzmocnienia, a  $\omega_g$  to częstota krytyczna, dla której stosunek napięć wynosi  $1/\sqrt{2}$ .

## UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Układ doświadczalny składał się z: wzmacniacza operacyjnego uA741, oscyloskopu, zasilacza i oporników o rezystancji: 56,39, 5,55, 4,99, 52,35 i 5,08 kΩ. Na Rysunku 2 znajdują się ich położenia w układzie i przybliżone wartości. Do wejścia +15 V podłączono wyjście + jednego z zasilaczy, a do wejścia -15 V podłączono wyjście - drugiego z zasilaczy. Wolne wyjścia kolejno - i + zasilaczy podłączono do wspólnego uziemienia.



Rysunek 2: Schematy układów [1].

## WYNIKI POMIARÓW

Dokonano pomiarów zależności wzmocnienia  $k$  od amplitudy napięcia wejściowego przy stałej częstotliwości 1 kHz oraz zależności wzmocnienia od częstotliwości przy stałej amplitudzie 1 V sygnału wejściowego. Wyniki te dla wzmacniacza odwracającego i nieodwracającego przedstawiono kolejno w Tabeli 1 i Tabeli 2.

W przypadku wzmacniacza odwracającego sygnał wyjściowy był przesunięty w fazie o  $\pi$ , co zmieniało znak sygnału na przeciwny, jednak w analizie danych przyjęto wartość bezwzględną amplitudy.

Zbadano również zachowanie układu różniczkującego i całkującego. Zgodnie z oczekiwaniami zamieniały one kolejno sygnał trójkątny na prostokątny i sygnał prostokątny na trójkątny. Zmierzone też przedziały dobrego całkowania/różniczkowania dla tych układów. Otrzymano przedział 150 Hz - 150 kHz dla układu całkującego i 40 Hz - 1 kHz dla różniczkującego.

## ANALIZA DANYCH

Na podstawie danych z Tabeli 1 wykonano wykres zależności współczynnika wzmocnienia  $k$  od amplitudy sygnału wejściowego. Wykresy te przedstawiono na Rysunku 3 i Rysunku 4.

Do danych dopasowano funkcję stałą w przedziale stałego wzmocnienia. Przyjęto wartości błędów równe 2% dla pomiarów napięcia. Otrzymano wartości  $k_0 = 10,025 \pm 0,022$  dla wzmacniacza odwracającego i przedziału (0,0616;2,62) V oraz  $k_0 = 10,328 \pm 0,025$  dla nieodwracającego w przedziale (0,206;2,44) V.

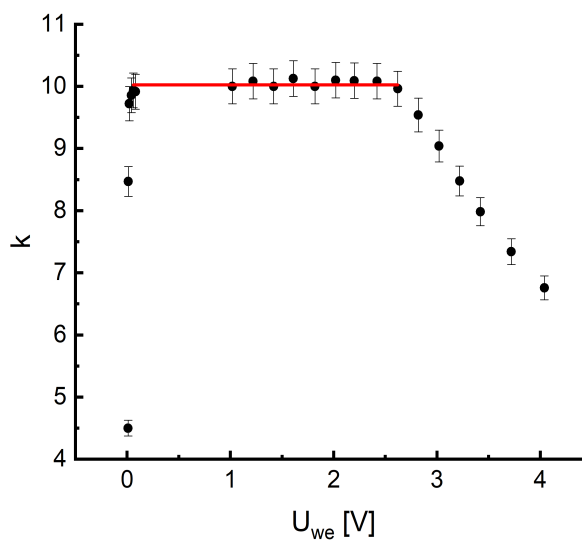
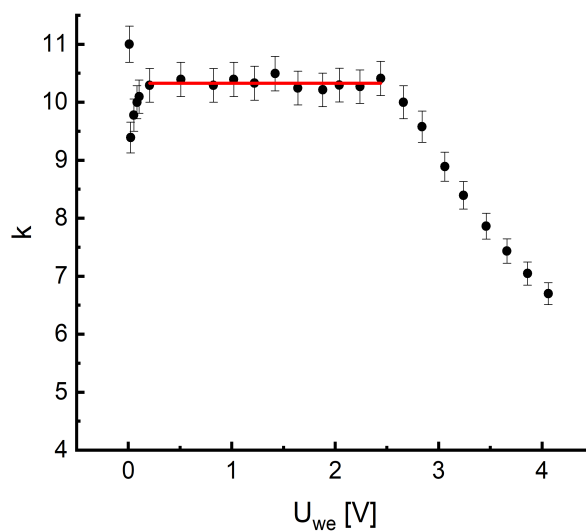
Teoretyczne wartości bezwzględne wzmocnienia dla wzmacniacza odwracającego i nieodwracającego to kolejno  $R_2/R_1$  i  $1 + R_2/R_1$ , co po podstawieniu zmierzonych wartości oporu daje wzmocnienia  $10,16 \pm 0,29$  i  $10,43 \pm 0,30$ . Założono błąd pomiaru oporu jako 2%. Wartości te są zgodne z wartościami otrzymanymi eksperymentalnie, otrzymano rozbieżność wyników kolejno  $0,38\sigma$  i  $0,28\sigma$ , gdzie  $\sigma$  to to pierwiastek z sumy kwadratów niepewności.

Na podstawie danych z Tabeli 2 wykonano wykresy zależności wzmocnienia  $k$  od częstotliwości  $\omega = 2\pi f$ . Wykresy przedstawiono na Rysunku 5 i Rysunku 6.

Do punktów pomiarowych dopasowano zależność z Równania (1), zakładając błąd pomiaru napięcia równy 2%. Otrzymano wartości dopasowania:  $k_0 = 10,18 \pm 0,12$  i  $\omega_g = 33400 \pm 620 \text{ s}^{-1}$  dla wzmacniacza odwracającego oraz  $k_0 = 10,36 \pm 0,12$  i  $\omega_g = 33400 \pm 600 \text{ s}^{-1}$  dla nieodwracającego. Wartości  $k_0$  są zgodne z wcześniej otrzymanymi wynikami.

Tabela 1: Wyniki pomiarów: wzmocnienie od amplitudy.

Wzmacniacz odwracający		Wzmacniacz nieodwracający	
$U_{we}$ [V]	$U_{wy}$ [V]	$U_{we}$ [V]	$U_{wy}$ [V]
0.01	0.045	0.01	0.11
0.0124	0.105	0.023	0.216
0.0214	0.208	0.054	0.528
0.0418	0.412	0.084	0.84
0.0616	0.612	0.105	1.06
0.0816	0.809	0.206	2.12
1.02	10.2	0.508	5.28
1.22	12.3	0.824	8.48
1.42	14.2	1.02	10.6
1.61	16.3	1.22	12.6
1.82	18.2	1.42	14.9
2.02	20.4	1.64	16.8
2.2	22.2	1.88	19.2
2.42	24.4	2.04	21
2.62	26.1	2.24	23
2.82	26.9	2.44	25.4
3.02	27.3	2.66	26.6
3.22	27.3	2.84	27.2
3.42	27.3	3.06	27.2
3.72	27.3	3.24	27.2
4.04	27.3	3.46	27.2
		3.66	27.2
		3.86	27.2
		4.06	27.2

Rysunek 3:  $k(U_{we})$ : wzmacniacz odwracający.Rysunek 4:  $k(U_{we})$ : wzmacniacz nieodwracający.

## DYSKUSJA WYNIKÓW I WNIOSKI

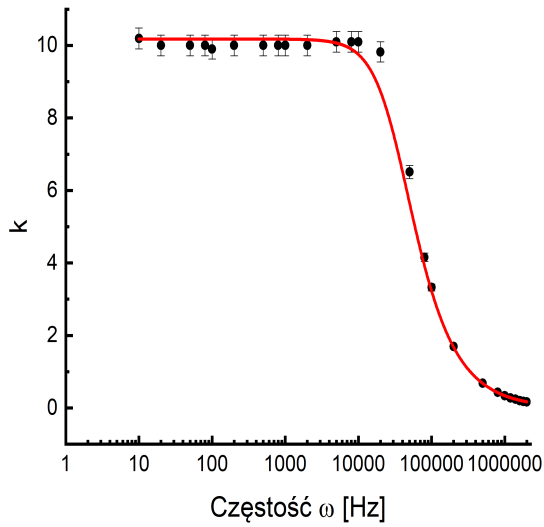
Otrzymane wartości wzmocnień były ze sobą zgodne jak i były zgodne z wartościami teoretycznymi. To samo dotyczy się otrzymanych charakterystyk jak i własności różniczkujących i całkujących. Podsumowując: doświadczenie przebiegło pomyślnie.

## Literatura

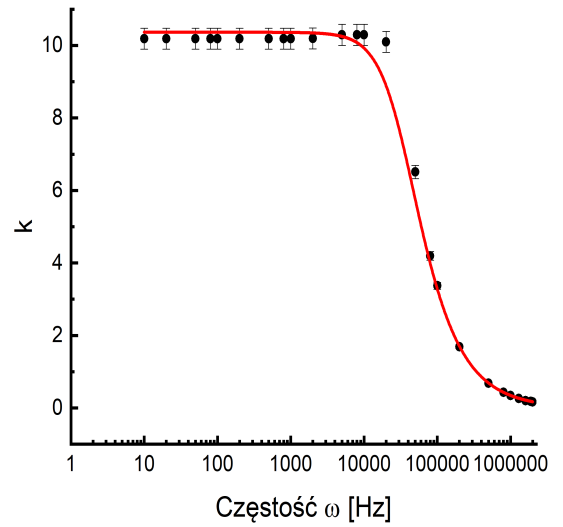
- [1] Praca zbiorowa, *Instrukcja do ćwiczenia "Wzmacniacz operacyjny"*, FUW, Warszawa, 2016.

Tabela 2: Wyniki pomiarów: wzmacnienie od częstości.

Wzmacniacz odwracający			Wzmacniacz nieodwracający		
$f$ [Hz]	$U_{we}$ [V]	$U_{wy}$ [V]	$f$ [Hz]	$U_{we}$ [V]	$U_{wy}$ [V]
10	1.04	10.6	10	1.06	10.8
20	1.06	10.6	20	1.06	10.8
50	1.06	10.6	50	1.06	10.8
80	1.06	10.6	80	1.06	10.8
100	1.03	10.2	100	1.06	10.8
200	1.02	10.2	200	1.06	10.8
500	1.02	10.2	500	1.06	10.8
800	1.02	10.2	800	1.06	10.8
1000	1.02	10.2	1000	1.06	10.8
2000	1.02	10.2	2000	1.03	10.5
5000	1.01	10.2	5000	1.02	10.5
8000	1.01	10.2	8000	1.02	10.5
10000	1.01	10.2	10000	1.02	10.5
20000	1.01	9.92	20000	1.02	10.3
50000	1.02	6.64	50000	1.02	6.64
80000	1.02	4.24	80000	1.02	4.28
100000	1.02	3.39	100000	1.02	3.44
200000	1.01	1.71	200000	1.02	1.72
500000	1.02	0.7	500000	1.02	0.7
800000	1.02	0.44	800000	1.02	0.437
1000000	1.02	0.34	1000000	1.02	0.351
1200000	1.02	0.28	1300000	1.01	0.266
1400000	1.02	0.244	1600000	1.01	0.206
1600000	1.02	0.206	1900000	1.01	0.182
1800000	1.01	0.18	2000000	1.01	0.168
2000000	1.01	0.168			



Rysunek 5:  $k(\omega)$ : wzmacniacz odwracający.



Rysunek 6:  $k(\omega)$ : wzmacniacz nieodwracający.