 <b>AGH</b>	<b>Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie Wydział FiIS Fizyka techniczna</b>	<b>Zespół:</b> 1.Kulig Mateusz 2.Ryś Przemysław
<b>Laboratorium elektroniczne WFiIS</b>		
Rok akademicki: 2022/2023	Semestr V	Grupa: 2
Temat ćwiczenia:  Wzmacniacze operacyjne A-3		
Data wykonania ćwiczenia 22.11.2022	Data oddania sprawozdania 06.12.2022	Ocena

## 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie parametrów wzmacniacza operacyjnego pracującego w różnych konfiguracjach układowych.

## 2 Aparatura

W ćwiczeniu użyliśmy następujących przyrządów:

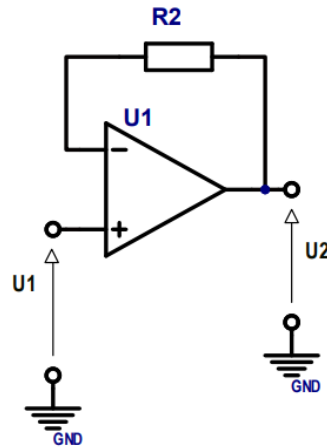
- Układ ze wzmacniaczem
- Generator sygnału
- Zasilacz
- Oscyloskop
- Woltomierz

## 3 Analiza danych

W trakcie przeprowadzania doświadczenia doszliśmy do wniosku, że wzmacniacz nie działa tak jak powinien, co jest prawdopodobną przyczyną rozbieżności niektórych obliczonych wartości z wartościami katalogowymi.

### 3.1 Badanie wtórnika napięciowego

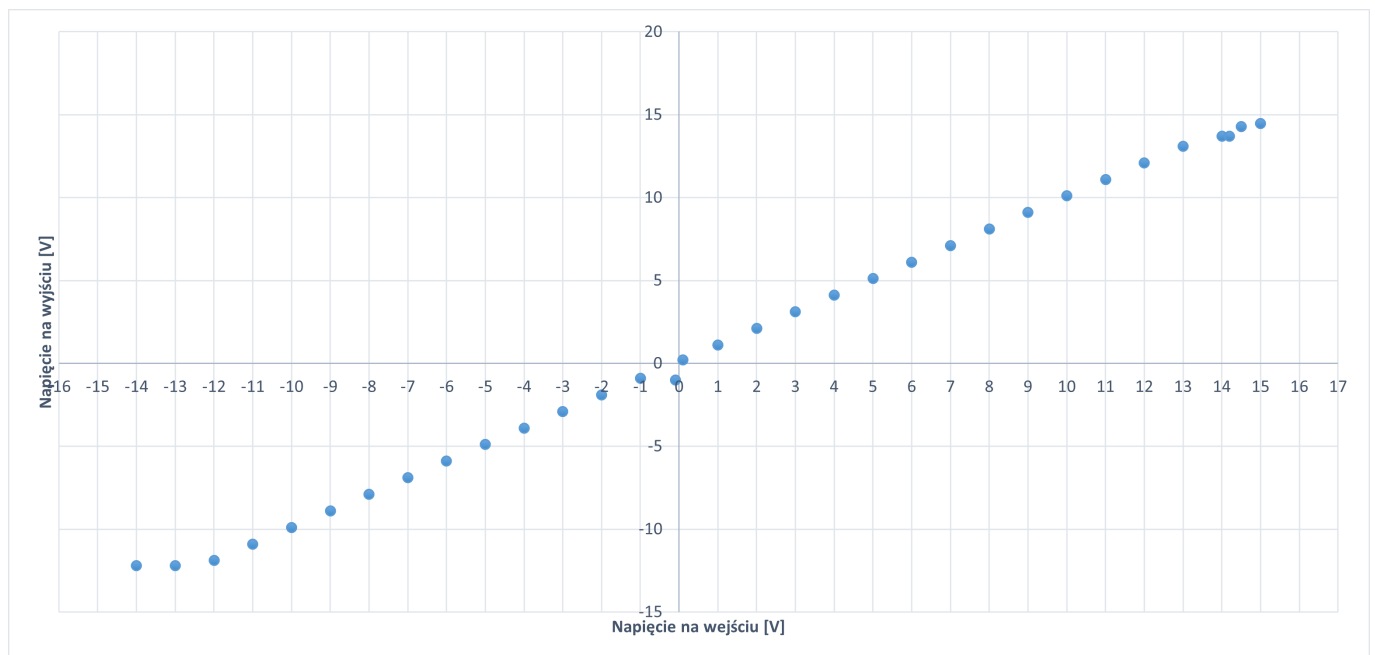
Układ konfigurujemy jako wtórnik napięciowy, który pokazany jest na rysunku 1, włączając w obwód jego sprzężenia zwrotnego rezystor  $10\text{k}\Omega$ . Sygnał wejściowy  $U_1$  podajemy na wejście nieodwracające (+) wzmacniacza wykorzystując złącze P5. Wyjściem układu obserwowanym za pomocą woltomierza lub oscyloskopu będzie  $U_2$  dostępne na złączu P6, OUT1 lub OUT2. Napięcie zasilania dla każdego podpunktu tego ćwiczenia wynosiło  $14,98\text{ [V]}$ .



Rys. 1: Wtórnik napięciowy

### 3.1.1

Na wejście przyłożyliśmy stałe napięcie w zakresie od 0 do  $\pm 15\text{V}$ . By nie wykonywać pomiarów dla napięcia wejściowego 0 [V] wykonaliśmy je dla  $\pm 0,1$  [V]. Pomiarów dokonywaliśmy ze skokiem 1 [V], gdy wzmacniacz wchodził w obszar nasycenia, to dokonaliśmy większej ilości pomiarów. Pomiarów przedstawiliśmy w tabeli 2. Wykres 2 przedstawia charakterystykę przenoszenia dla tego wzmacniacza. Granice zakresu liniowego wzmacniacza wynoszą -14 oraz 12[V]. Za pomocą użytej funkcji "REGLINP()" w programie Microsoft Excel wyznaczyliśmy współczynniki prostej regresji dla zmierzonych danych w zakresie liniowym. Wynoszą one odpowiednio  $a = 1,00195$ ,  $b = -0,0566$ . Wzmocnienie stało się natchyleniem charakterystyki w zakresie liniowym, a więc jego wartość jest równa współczynnikowi  $a$  prostej regresji, zatem  $k = 1,00195$ . Wejściowe napięcie niezrównoważenia jest napięciem jakie należy przyłożyć na wejściu, aby na wyjściu uzyskać napięcie równe 0. Więc w naszym przypadku offset jest dany wyrażeniem:  $0 = 1,00195 \cdot V_{OS} - 0,0566 \Rightarrow V_{OS} = 0,05639\text{[V]}$ .



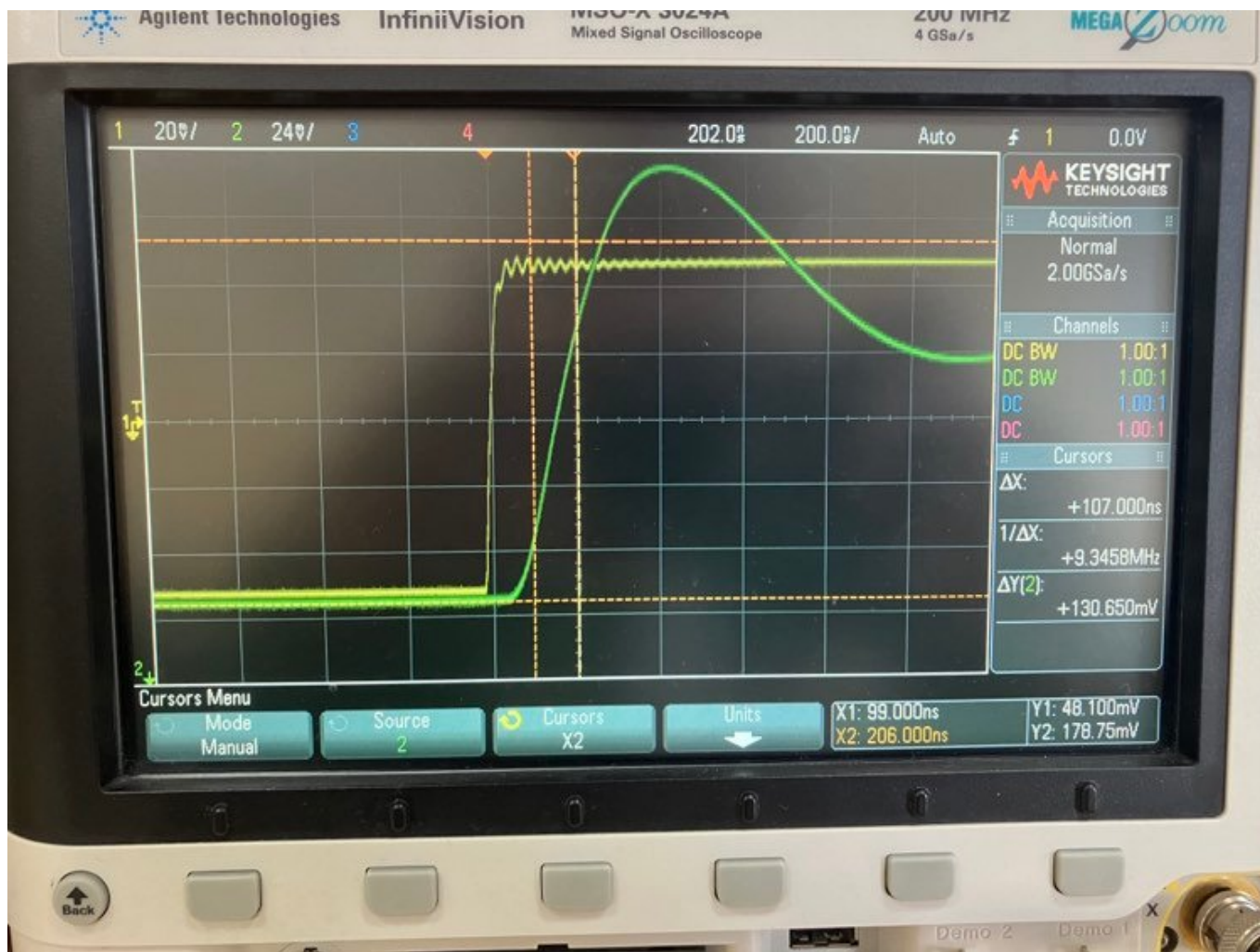
Rys. 2: Charakterystyka przenoszenia.

Tab. 1: Tabela wyników dla charakterystyki przenoszenia.

V <sub>we</sub>	V <sub>wy</sub>	V <sub>we</sub>	V <sub>wy</sub>
-14	-12,20	0,1	0,21
-13	-12,20	1	1,11
-12	-11,89	2	2,11
-11	-10,89	3	3,11
-10	-9,89	4	4,11
-9	-8,90	5	5,11
-8	-7,90	6	6,11
-7	-6,90	7	7,11
-6	-5,90	8	8,11
-5	-4,90	9	9,10
-4	-3,90	10	10,10
-3	-2,90	11	11,10
-2	-1,90	12	12,10
-1	-0,90	13	13,10
-0,1	-1,00	14	13,70
		14,2	13,71
		14,5	14,27
		15	14,48

### 3.1.2

Na wejście podaliśmy przebieg prostokątny o częstotliwości 10 [kHz] i amplitudzie 100 [mVpp]. Czas narastania według karty katalogowej w 25 stopniach Celsjusza wynosi 0,3 [ $\mu$ s], z kolei zmierzony przez nas czas narastania wynosi 0,107 [ $\mu$ s].



Rys. 3: Obraz z oscyloskopu dla sygnału prostokątnego.

### 3.1.3

Na wejście podaliśmy przebieg prostokątny o częstotliwości 10 [kHz] i amplitudzie 5 [Vpp]. By dokonać pomiaru szybkości zmian napięcia wybraliśmy dwa punkty, na początku oraz końcu liniowego narastania sygnału wejściowego. Zmierzona zmiana napięcia  $\Delta V$  wynosiła 3,5 [V] na odcinku czasu  $\Delta t$  równym 1,45[ $\mu$ s]. Szybkość zmian napięcia wynosi zatem

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 2,41 \left[ \frac{\text{V}}{\mu\text{s}} \right].$$

Według karty katalogowej szybkość zmian napięcia (slew rate) w 25 stopniach Celsjusza wynosi 0,5[ $\frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$ ].

### 3.1.4

Na wejście podaliśmy przebieg sinusoidalny o amplitudzie 100 [mVpp]. Jednorazowo zmierzaliśmy amplitudę sygnału wejściowego i wynosiła ona  $U_{in} = 103[\text{mV}]$ . Następnie dokonaliśmy serii pomiarów zmieniając częstotliwości w zakresie od 0,1 do 10000 [kHz]. Pomiary przedstawiono w tabeli 2. Charakterystykę amplitudową przedstawiono na wykresie 6. Wzmocnienie dla małych częstotliwości wynosi  $K = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{105,25}{103} \approx 1,02184$ . Jest to wynik większy niż ten uzyskany w podpunkcie a.

Do danych dopasowaliśmy dwie krzywe za pomocą programu Microsoft Excel o wzorach analitycznych  $y = 0,054 \cdot$

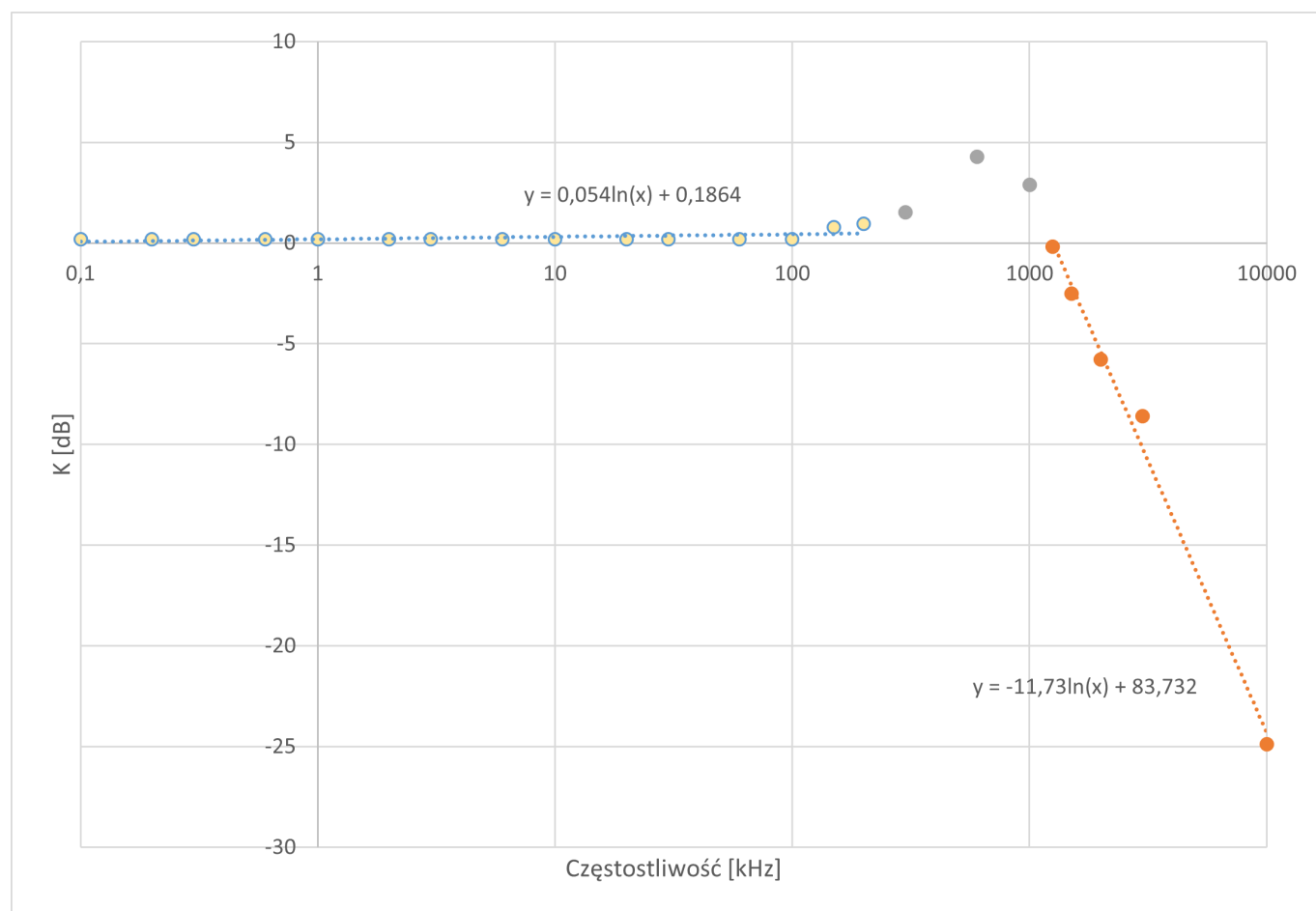
$\ln(x) + 0,1864$  oraz  $y = -11,73 \cdot \ln(x) + 83,732$ . Częstotliwość graniczną obliczyliśmy odejmując od pierwszej krzywej 3 decybele oraz wyznaczyliśmy jej punkt przecięcia z drugą krzywą. Rozwiązując poniższe równanie:

$$0,054 \cdot \ln(x) + 0,1864 - 3 = -11,73 \cdot \ln(x) + 83,732,$$

otrzymujemy:  $f_g = 1547,4[\text{kHz}]$  podczas gdy wartość katalogowa to  $f_g = 1000[\text{kHz}]$ .

Pole wzmocnienia obliczyliśmy za pomocą wzoru  $GWB = K \cdot f_g$  i w tym przypadku otrzymujemy

$$GWB = 1,02184 \cdot 1547,4 \approx 1581,195[\text{kHz}].$$



Rys. 4: Charakterystyka amplitudowa.

Tab. 2: Zależność amplitudy od częstotliwości.

częstotliwość [kHz]	amplituda wyjściowa [mV]
0,1	105,25
0,2	105,25
0,3	105,25
0,6	105,25
1	105,25
2	105,25
3	105,25
6	105,25
10	105,25
20	105,25
30	105,25
60	105,25
100	105,25
150	112,75
200	115
300	122,75
600	168,75
1000	143,75
1250	100,75
1500	77,25
2000	53
3000	38,25
10000	5,875

### 3.2 Badanie wzmacniacza o wzmocnieniu 11[V/V]

Na wejście podaliśmy przebieg sinusoidalny o amplitudzie 100 [mVpp]. Jednorazowo zmierzaliśmy amplitudę sygnału wejściowego i wynosiła ona  $U_{in} = 103$  [mV]. Następnie dokonaliśmy serii pomiarów zmieniając częstotliwości w zakresie od 0,1 do 1000 [kHz]. Pomiary przedstawiono w tabeli 3. Charakterystykę amplitudową przedstawiono na wykresie 6. Wzmocnienie dla małych częstotliwości wynosi  $K = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{1127,5}{103} \approx 10,947$ .

Do danych dopasowaliśmy dwie krzywe za pomocą programu Microsoft Excel o wzorach analitycznych  $y = -7 \cdot 10^{-15} \ln(x) + 20,786$  oraz  $y = -7,378 \cdot \ln(x) + 50,651$ . Częstotliwość graniczną obliczyliśmy odejmując od pierwszej krzywej 3 decybele oraz wyznaczyliśmy jej punkt przecięcia z drugą krzywą. Rozwiązując poniższe równanie:

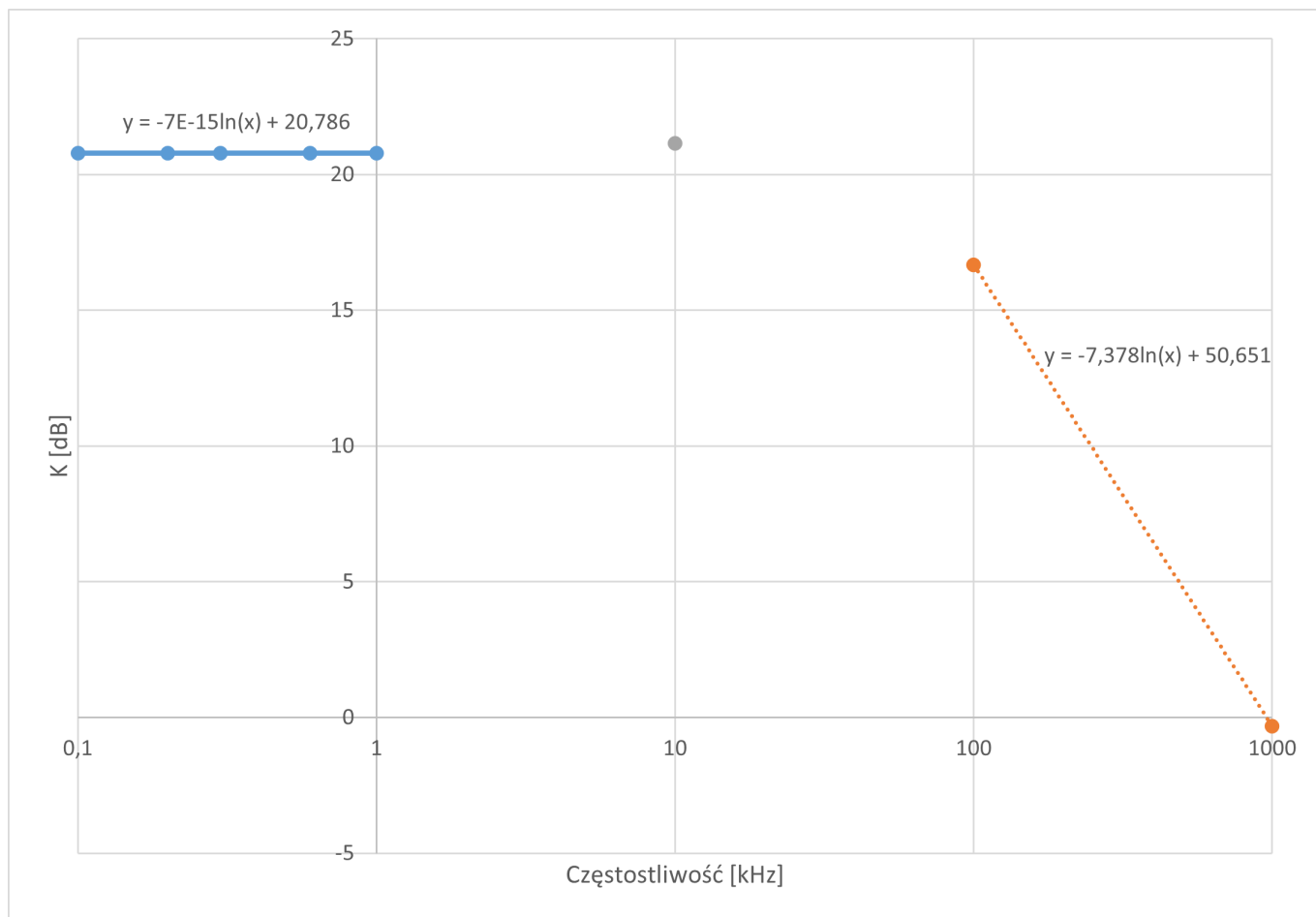
$$-7 \cdot 10^{-15} \ln(x) + 20,786 - 3 = -7,378 \cdot \ln(x) + 50,651$$

otrzymujemy:  $f_g = 86$  [kHz].

Pole wzmocnienia obliczyliśmy za pomocą wzoru  $GWB = K \cdot f_g$  i w tym przypadku otrzymujemy

$$GWB = 10,947 \cdot 86 \approx 941,442 \text{ [kHz]}.$$

Jest to wartość znacznie mniejsza niż otrzymana w poprzednim podpunkcie.



Rys. 5: Charakterystyka amplitudowa dla wzmacniacza o wzmacnieniu 11.

Tab. 3: Zależność amplitudy wyjściowej od częstotliwości.

częstotliwość [kHz]	amplituda wyjściowa [V]
0,1	1,1275
0,2	1,1275
0,3	1,1275
0,6	1,1275
1	1,1275
10	1,175
100	0,7025
1000	0,099375

### 3.3 Badanie wzmacniacza o wzmacnieniu -10 [V]

Na wejście podaliśmy przebieg sinusoidalny o amplitudzie 100 [mVpp]. Jednorazowo zmierzaliśmy amplitudę sygnału wejściowego i wynosiła ona  $U_{in} = 97,75$  [mV]. Następnie dokonaliśmy serii pomiarów zmieniając częstotliwości w zakresie od 0,1 do 1000 [kHz]. Pomiary przedstawiono w tabeli 3. Charakterystykę amplitudową przedstawiono na wykresie 6. Wzmocnienie dla małych częstotliwości wynosi  $K = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{977,5}{97,75} = 10$ .

Do danych dopasowaliśmy dwie krzywe za pomocą programu Microsoft Excel o wzorach analitycznych  $y = -0,015 \cdot \ln(x) - 40,019$  oraz  $y = -7,728 \cdot \ln(x) - 8,1526$ . Częstotliwość graniczną obliczyliśmy odejmując od pierwszej krzywej

3 decybele oraz wyznaczyliśmy jej punkt przecięcia z drugą krzywą. Rozwiązując poniższe równanie:

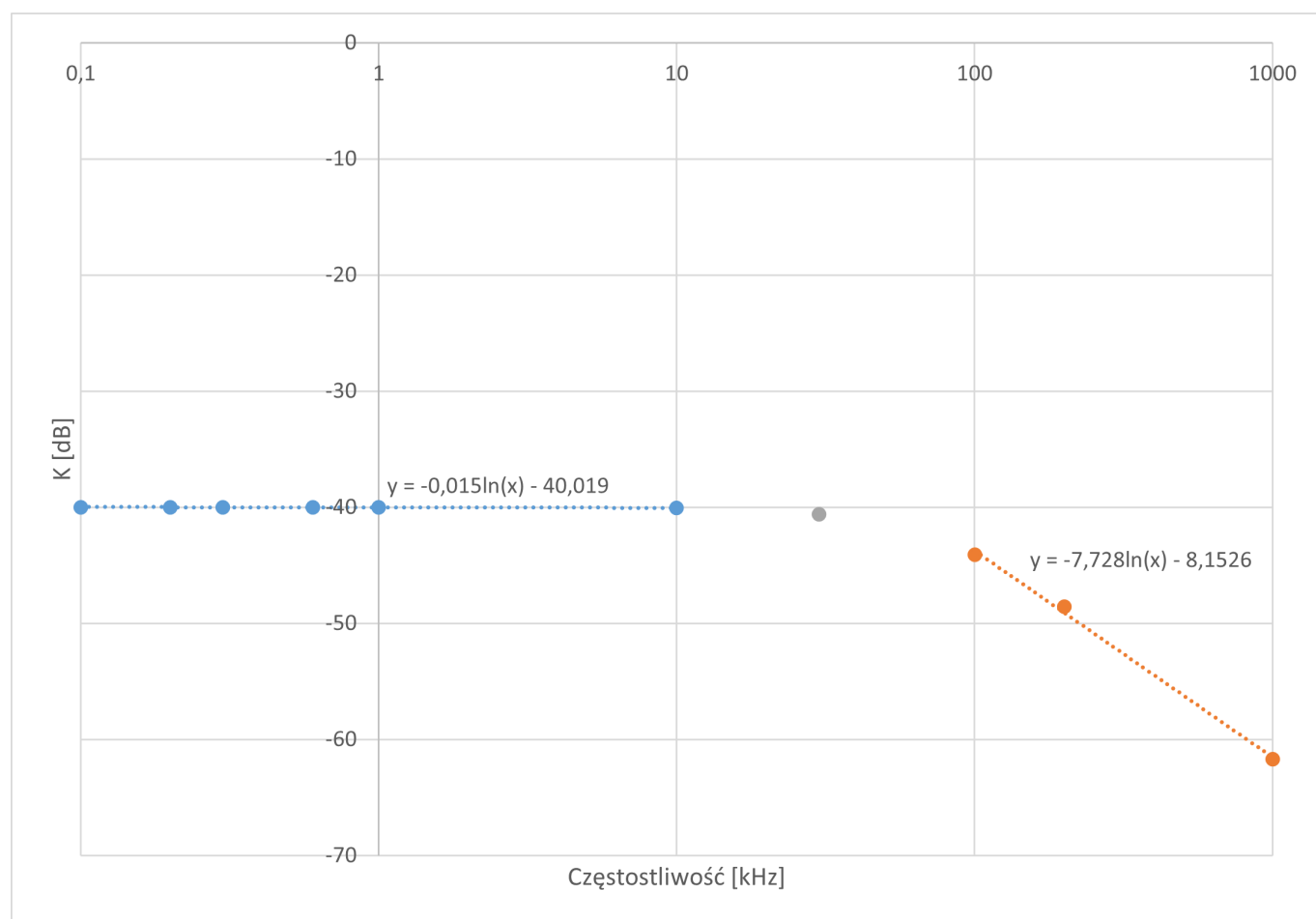
$$-0,015 \cdot \ln(x) - 40,019 - 3 = -7,728 \cdot \ln(x) - 8,1526,$$

otrzymujemy:  $f_g = 90,3[\text{kHz}]$ .

Pole wzmocnienia obliczyliśmy za pomocą wzoru  $GWB = K \cdot f_g$  i w tym przypadku otrzymujemy

$$GWB = 10 \cdot 90,3 \approx 903[\text{kHz}].$$

Jest to wartość bliska wartości uzyskanej w poprzednim punkcie.



Rys. 6: Charakterystyka amplitudowa dla wzmacniacza o wzmocnieniu 10.



Tab. 4: Zależność amplitudy wyjściowej od częstotliwości.

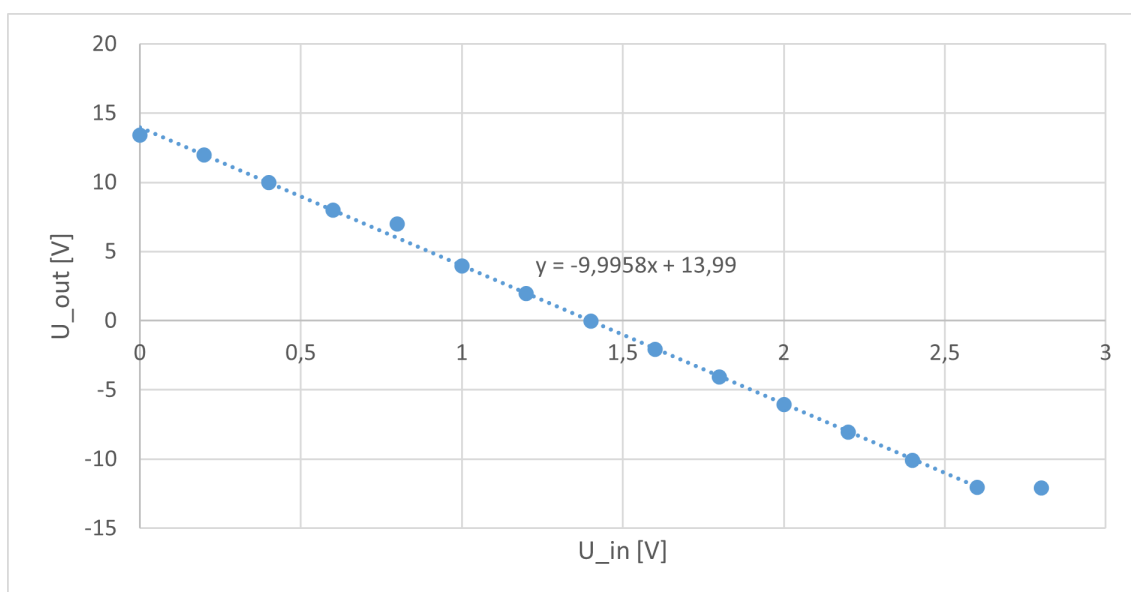
częstotliwość [kHz]	amplituda wyjściowa [V]
0,1	0,9775
0,2	0,9775
0,3	0,9775
0,6	0,9775
1	0,9775
10	0,97
30	0,9125
100	0,61
200	0,36375
1000	0,0805

### 3.4 Badanie wzmacniacza odejmującego o wzmacnieniu 10[V/V]

Układ skonfigurowaliśmy jako wzmacniacz odejmujący. Napięcie  $U_2$  było stałe i wynosiło 1,3[V]. Napięcie  $U_1$  zmienialiśmy w zakresie od 0 do 2,8[V] z krokiem 0,2[V]. Otrzymane przez nas pomiary przedstawione zostały w tabeli 7 oraz na wykresie. Z wykresu możemy wyznaczyć zakres liniowy wzmacniacza, w naszym przypadku jest to 2,6[V]. Do danych z obszaru liniowego dopasowaliśmy krzywą o równaniu

$$y = -9,9958x + 13,99.$$

Wzmocnienie stało prądowe wzmacniacza jest równe współczynnikowi  $a$  dopasowanej krzywej zatem  $K = 9,9958$ , czyli zgadza się to ze wzmocnieniem teoretycznym równym 10.



Rys. 7: Zależność napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego dla wzmacniacza odejmującego z dopasowaną prostą w obszarze liniowym.

Tab. 5: Zależność napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego dla wzmacniacza odejmującego.

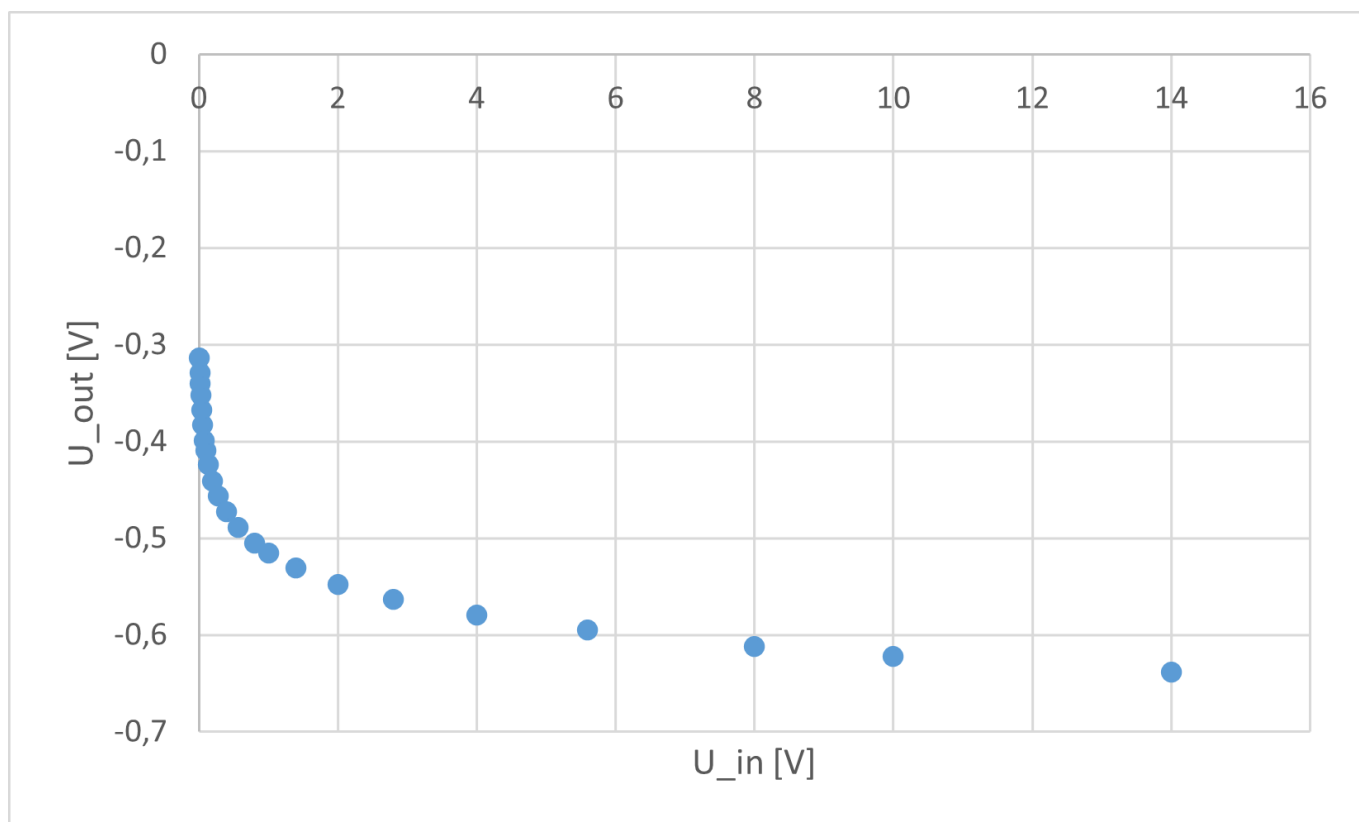
$U_1$	$U_{out}$
0	13,423
0,2	11,999
0,4	9,9901
0,6	7,9833
0,8	6,9752
1	3,9695
1,2	1,9632
1,4	-0,0429
1,6	-2,047
1,8	-4,056
2	-6,0625
2,2	-8,068
2,4	-10,074
2,6	-12,02
2,8	-12,097

### 3.5 Badanie wzmacniacza sumującego o wzmocnieniach -10[V/V] (U1) i -2[V/V] (U2)

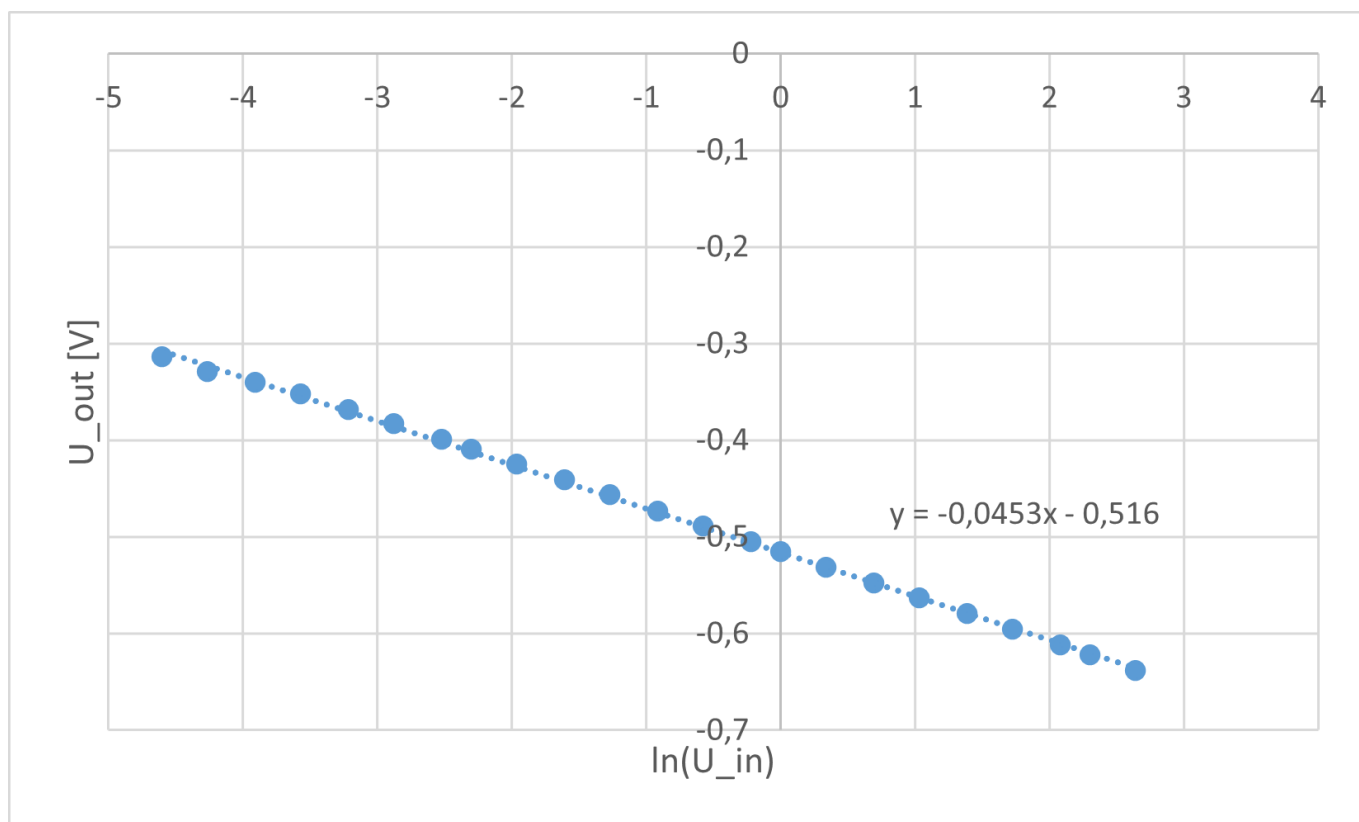
Pominięto.

### 3.6 Wzmacniacz logarytmiczny

Układ skonfigurowaliśmy jako wzmacniacz logarytmiczny. Dokonaliśmy szeregu pomiarów napięcia wyjściowego. Otrzymaną zależność napięcia wyjściowego od wejściowego przedstawiono w tabeli ?? oraz na wykresie 8. Otrzymana Zlinearyzowaną zależność przedstawiliśmy na wykresie 9 oraz dopasowaliśmy do niej krzywą o równaniu  $y = -0,0453x - 0,516$ . Dokładność logarytmowania wzmacniacza jest dobra ponieważ punkty dobrze układają się na dopasowanej prostej. Przyjmując, że dane zostały zmierzone w temperaturze pokojowej, przyjmujemy napięcie termiczne  $V_T = 25mV$ . Zatem współczynnik  $\eta = \frac{-a}{V_T} = \frac{0,0453}{0,025} = 1,812$ .



Rys. 8: Zależność napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego dla wzmacniacza logarytmicznego.



Rys. 9: Zależność napięcia wyjściowego od zlinearyzowanego napięcia wejściowego dla wzmacniacza logarytmicznego.

Tab. 6: Zależność napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego dla wzmacniacza logarytmicznego.

$U_{in} [V]$	$U_{out} [V]$	$U_{in} [V]$	$U_{out} [V]$
0,01	-0,31372	0,56	-0,48851
0,014	-0,32875	0,8	-0,50503
0,02	-0,34029	1	-0,51547
0,028	-0,3522	1,4	-0,53105
0,04	-0,36789	2	-0,54752
0,056	-0,38254	2,8	-0,56306
0,08	-0,39916	4	-0,57952
0,1	-0,40914	5,6	-0,59507
0,14	-0,42427	8	-0,61173
0,2	-0,44099	10	-0,62209
0,28	-0,45627	14	-0,63806
0,4	-0,47304		