

Wzmacniacz Operacyjny

Marcin Polkowski
marcin@polkowski.eu

18 grudnia 2007

Spis treści

1 Wprowadzenie	5
1.1 Układ $\mu A741$	5
2 Wzmacniacz odwracający	7
2.1 wstęp	7
2.2 pomiary charakterystyki napięciowej	8
2.2.1 pomiary ręczne	8
2.2.2 pomiary automatyczne	9
2.3 pomiary charakterystyki częstotliwościowej	10
2.3.1 pomiary ręczne	10
2.3.2 pomiary automatyczne	11
3 Układ różniczkujący	13
3.1 wstęp	13
3.2 pomiary	14
3.2.1 pomiary charakterystyki amplitudowej	14
3.2.2 pomiary charakterystyki częstotliwościowej	16
3.3 Układ różniczkujący a filtr górnoprzepustowy	18
3.3.1 charakterystyka częstotliwościowa	18
3.3.2 Drgania rezonansowe układu różniczkującego	18
4 Podsumowanie	21
5 Bibliografia	21
6 Tabele pomiarów	23
6.1 wzmacniacz odwracający	23
6.1.1 pomiary automatyczne	23
6.1.2 pomiary manualne	43
6.2 układ różniczkujący	47
6.2.1 pomiary automatyczne	47
6.3 filtr górnoprzepustowy RC	57
6.3.1 pomiary automatyczne	57

Spis rysunków

1 Układ scalony $\mu A741$	5
2 Schemat układu scalonego $\mu A741$	6
3 Schemat wzmacniacza odwracającego	7
4 Charakterystyka napięciowa wzmacniacza odwracającego	8
5 Charakterystyka napięciowa wzmacniacza odwracającego (pomiary automatyczne)	9
6 Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza odwracającego	10
7 Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza odwracającego (pomiary automatyczne)	11
8 Charakterystyka częstotliwościowa (wzmocnienie) wzmacniacza odwracającego (pomiary auto.)	12
9 Schemat układu różniczkującego	13
10 Charakterystyka amplitudowa układu różniczkującego	14
11 Charakterystyka amplitudowa (wzmocnienie) układu różniczkującego	15
12 Charakterystyka częstotliwościowa układu różniczkującego	16
13 Charakterystyka częstotliwościowa (wzmocnienie) układu różniczkującego	17
14 Charakterystyka częstotliwościowa filtra górnoprzepustowego	18
15 rezonans układu różniczkującego	19

Spis tablic

1	Pomiary charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 100\text{hz}$	23
2	Pomiary charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 1000\text{hz}$	24
3	Pomiary charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 10000\text{hz}$	26
4	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 0,5V$	28
5	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 1,0V$	30
6	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 1,5V$	32
7	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 2,0V$	34
8	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 2,5V$	36
9	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 3,0V$	37
10	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 3,5V$	39
11	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 4,0V$	41
12	Pomiary manualne charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 1338,8\text{Hz}$	43
13	Pomiary manualne charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 2,68V$	44
14	Pomiary charakterystyki amplitudowej układu różniczkującego $\nu = 100\text{Hz}$	47
15	Pomiary charakterystyki amplitudowej układu różniczkującego $\nu = 1000\text{Hz}$	47
16	Pomiary charakterystyki amplitudowej układu różniczkującego $\nu = 10000\text{Hz}$	48
17	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 0,5V$	49
18	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 1,0V$	51
19	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 2,0V$	52
20	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 3,0V$	53
21	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 4,0V$	55
22	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej filtra górnoprzepustowego RC $U_{we} = 2V$	57
23	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej filtra górnoprzepustowego RC $U_{we} = 3V$	59
24	Pomiary charakterystyki częstotliwościowej filtra górnoprzepustowego RC $U_{we} = 4V$	61

1 Wprowadzenie

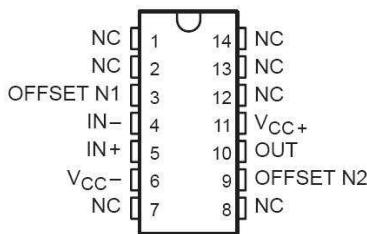
Celem wykonanego ćwiczenia było zapoznanie się z działaniem wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$ skonfigurowanego do pracy jako wzmacniacz odwracający (pierwsza część ćwiczenia) oraz układ różniczkujący (druga część ćwiczenia).

Nowością (w stosunku do ćwiczeń poprzednich) było zastosowanie do części pomiarów automatycznych stanowisk pomiarowych (sterowanych komputerowo).

1.1 Układ $\mu A741$

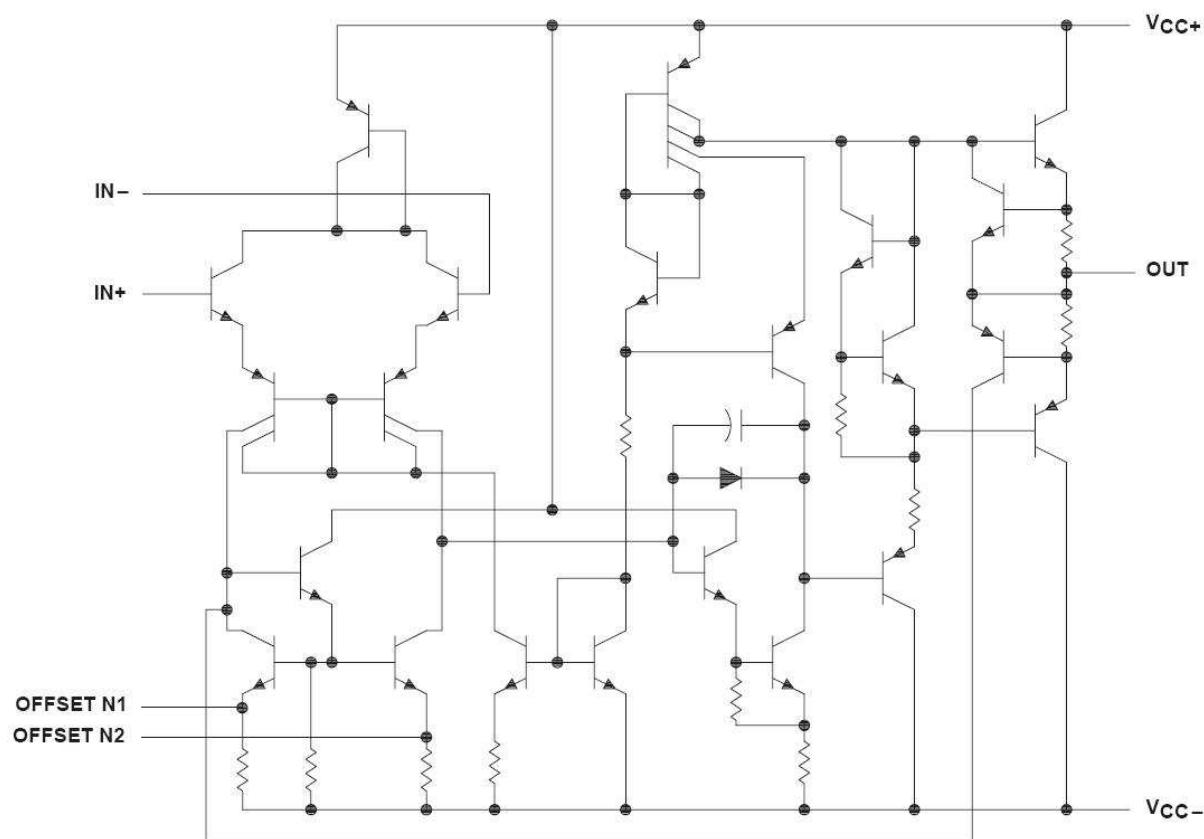
Układ scalony $\mu A741$ to wzmacniacz operacyjny ogólnego zastosowania. Na rysunku ?? (strona ??) przedstawiono wyprowadzenia układu w wersji z obudową *DIP14*, czyli taką, z jakiej korzystano na zajęciach.

Układ $\mu A741$ zbudowany jest z 22 tranzystorów, 11 rezystorów, jednej diody i jednego kondensatora. Schemat budowy układu przedstawia rysunek 2 (strona 6). Układ do pracy potrzebuje podwójnego zasilania: $+15V$ i $-15V$.

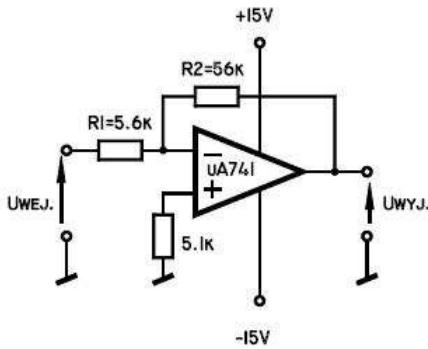


Rysunek 1: Układ scalony $\mu A741$

Od innych układów elektronicznych odróżnia go brak wyprowadzenia masy z obudowy. Nie jest ono konieczne ze względu na podwójne zasilanie układu.

Rysunek 2: Schemat układu scalonego μ A741

2 Wzmacniacz odwracający



Rysunek 3: Schemat wzmacniacza odwracającego

Schemat wzmacniacza odwracającego zbudowanego na bazie wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$ znajduje się na rysunku 3 (strona 7).

2.1 wstęp

Wzmacniacz operacyjny nie pobiera prądu, więc jednakowy prąd I płynie przez rezystory R_1 i R_2 . Potencjały obu wejść są jednakowe (ponieważ $U_+ = U_-$), skąd wynika, że oba wejścia wzmacniacza operacyjnego są na potencjalach masy. Dlatego napięcie na rezystorze R_1 jest równe

$$U_+ - U_{we} = -U_{we}$$

skąd

$$I = -\frac{U_{we}}{R_1}$$

Podobnie napięcie na rezystorze R_2 jest równe U_{wy} i tutaj również prąd

$$I = \frac{U_{wy}}{R_2}$$

Porównując prądy otrzymujemy:

$$\begin{aligned} -\frac{U_{we}}{R_1} &= \frac{U_{wy}}{R_2} \\ -R_2 U_{we} &= R_1 U_{wy} \\ -\frac{R_2}{R_1} &= \frac{U_{wy}}{U_{we}} \end{aligned}$$

Stąd wynika, że wzmacnienie napięciowe wzmacniacza odwracającego wynosi:

$k = -\frac{R_2}{R_1}$

(2.1)

Rezystancja wejściowa układu $R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}}$. Prąd wejściowy jest równy wyliczonemu wcześniej I , a podstawiając wyrażenie zawierające U_{we} otrzymujemy:

$$R_{we} = \frac{U_{we}}{\frac{U_{we}}{R_1}} = R_1$$

W wykonanym na pracowni elektronicznej układzie wzmacniacza odwracającego rezystory R_1 i R_2 miały następujące wartości:

$$R_1 = 5570 \pm 28\Omega$$

$$R_2 = 56700 \pm 284\Omega$$

Można wyliczyć stąd wzmacnienie zbudowanego układu:

$$k = -\frac{R_2}{R_1} = -10,179 \pm 0,001$$

Wzmocnienie jest ujemne \Leftrightarrow wzmacniacz odwracający.

Maksymalne napięcie wyjściowe wzmacniacza wynosi $15V$, gdyż nie może przekroczyć ono napięcia zasilania. Podczas laboratorium pomiary wykonywano podając na wejście przebieg sinusoidalny z generatora. Mierzono amplitudę (*Peak To Peak*) sygnału wejściowego i wyjściowego, więc maksymalna zmierzona amplituda wyjściowa mogła wynieść $30V$.

2.2 pomiary charakterystyki napięciowej

2.2.1 pomiary ręczne

W pierwszej kolejności wykonano pomiary (ręcznie za pomocą oscylometru) napięcia wyjściowego U_{wy} w funkcji napięcia wejściowego U_{we} . Pomiary zostały przedstawione na wykresie 4 (strona 8). Jak widać na wykresie wzmac-



Rysunek 4: Charakterystyka napięciowa wzmacniacza odwracającego

niacz pracuje liniowo do napięcia $2,8V$. Powyżej tego napięcia wejściowego napięcie wyjściowe jest stałe i wynosi $27,6V$. Pomiary wykonano dla sinusoidalnego sygnału wejściowego o częstotliwości $\omega = 1,34kHz$.

Do pomiarów z zakresu liniowego (dla $U_{we} < 2,8V$) dopasowano prostą daną wzorem

$$U_{wy} = kU_{we} + \alpha$$

gdzie k jest współczynnikiem wzmacnienia wzmacniacza. Współczynniki dopasowania:

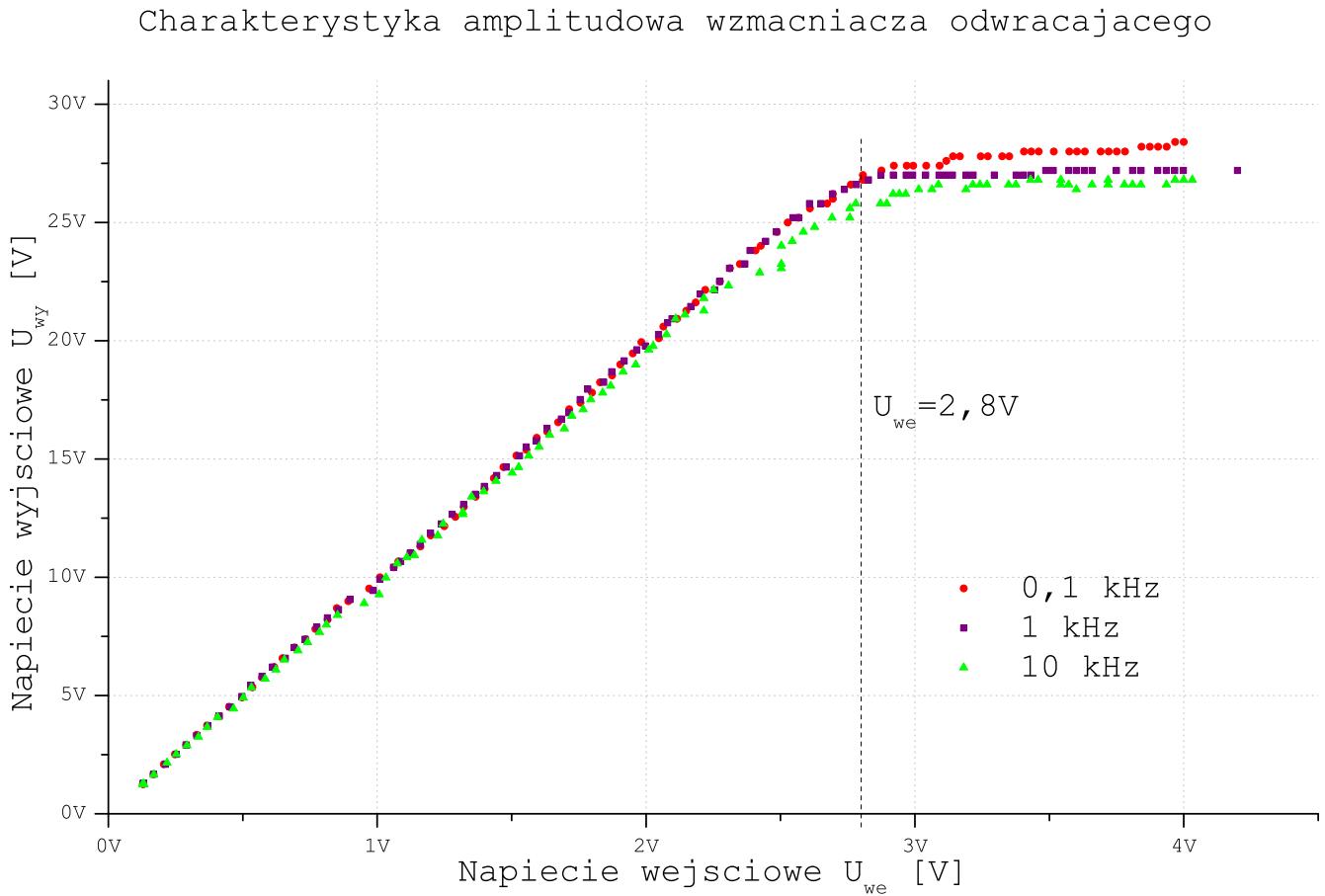
$$k = 10,1858 \pm 0,0564$$

$$\alpha = -0.4534 \pm 0.0967$$

Jak widać współczynnik wzmacnienia k jest równy (z dokładnością do σ) wartości teoretycznej obliczonej w punkcie 2.1.

2.2.2 pomiary automatyczne

Ten sam pomiar napięcia wyjściowego U_{wy} w funkcji napięcia wejściowego U_{we} został wykonany ponownie za pomocą stanowiska komputerowego dla częstotliwości sygnału $\omega_1 = 0,1kHz$, $\omega_2 = 1kHz$ oraz $\omega_3 = 10kHz$. Pomiary



Rysunek 5: Charakterystyka napięciowa wzmacniacza odwracającego (pomiary automatyczne)

zostały przedstawione na wykresie 5 (strona 9). Jak widać na wykresie wzmacniacz pracuje liniowo do napięcia $2,8V$ dla wszystkich trzech częstotliwości sygnału wejściowego. Powyżej tego napięcia wejściowego napięcie wyjściowe utrzymuje się na stałym poziomie (wyjątkiem jest napięcie wyjściowe dla małej częstotliwości wejściowej, które powoli rośnie wraz ze wzrostem napięcia wejściowego).

Do pomiarów z zakresu liniowego (dla $U_{we} < 2,8V$) dopasowano prostą daną wzorem

$$U_{wy} = kU_{we} + \alpha$$

gdzie k jest współczynnikiem wzmacnienia wzmacniacza. Współczynniki dopasowania:

$$\omega = 0,1kHz \Rightarrow \begin{cases} k = 9,800 \pm 0,027 \\ \alpha = 0,123 \pm 0,043 \end{cases}$$

$$\omega = 1kHz \Rightarrow \begin{cases} k = 9,801 \pm 0,028 \\ \alpha = 0,134 \pm 0,045 \end{cases}$$

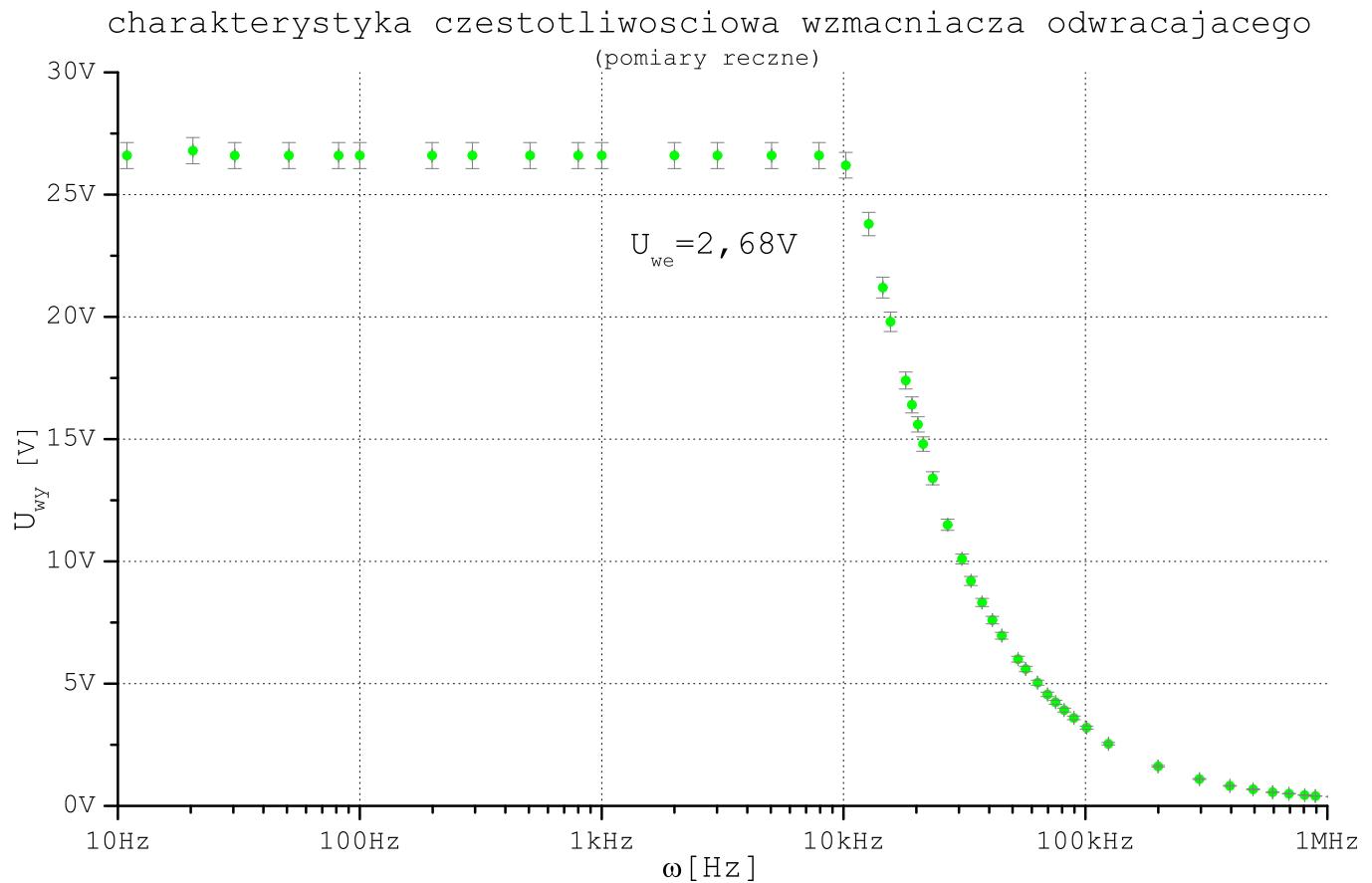
$$\omega = 10kHz \Rightarrow \begin{cases} k = 9,448 \pm 0,050 \\ \alpha = 0,248 \pm 0,081 \end{cases}$$

Jak widać, pomiary automatyczne okazały się (mimo użycia sprzętu pomiarowego wyższej klasy) mniej dokładne od pomiarów wykonywanych ręcznie. Być może było to spowodowane zbyt krótkim odstępem czasu pomiędzy pomiarami a co za tym idzie niewystarczającym czasem na samo kalibrację przyrządów. Dziwi nietypowe odchylenie charakterystyki (dla wszystkich trzech częstotliwości) w okolicach $U_{we} = 1V$.

2.3 pomiary charakterystyki częstotliwościowej

2.3.1 pomiary ręczne

Wykonano pomiary napięcia wyjściowego w funkcji częstotliwości dla ustalonego $U_{we} = 2,68 \pm 0,05V$. Jak widać



Rysunek 6: Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza odwracającego

na wykresie 6 (strona 10) wzmacnianie jest stałe dla częstotliwości sygnału wejściowego mniejszych niż $10kHz$. Powyżej tej częstotliwości na wyjściu układu mierzono coraz niższe napięcie.

W obszarze stałego wzmacniania napięcie na wyjściu układu wynosiło $26,89 \pm 0,03V$.

Korzystając ze wzoru na wzmacnianie:

$$k = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$$

oraz wzoru na propagację małych niepewności:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}}$$

obliczamy:

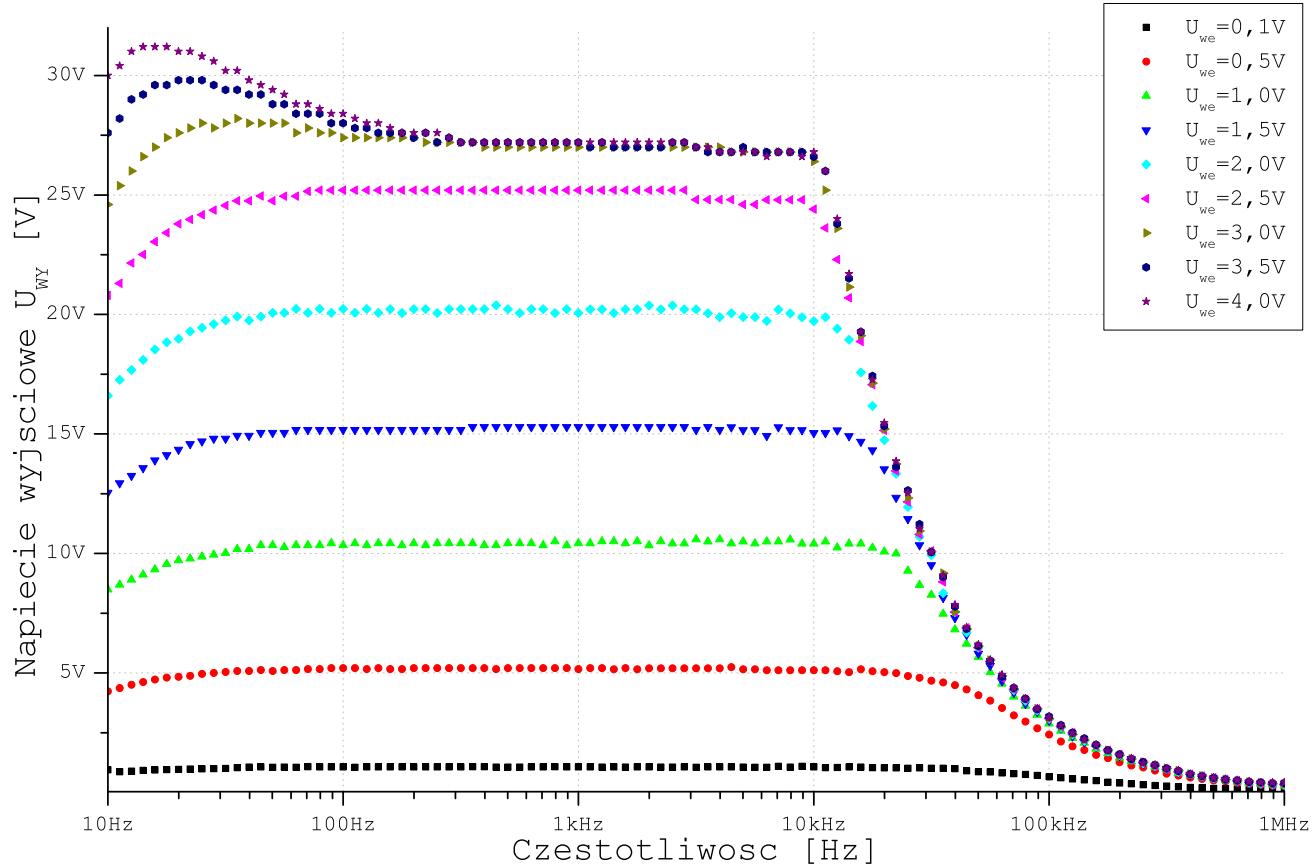
$$k = 10,03 \pm 0,19$$

Otrzymany wynik jest zgodny teoretyczną wartością wzmacnienia obliczoną w punkcie 2.1.

2.3.2 pomiary automatyczne

Charakterystyka częstotliwościowa została zmierzona przy pomocy komputerowego stanowiska pomiarowego dla napięć (amplitud) wejściowych 0,1V, 0,5V, 1,0V, 1,5V, 2,0V, 2,5V, 3,0V, 3,5V oraz 4,0V. Napięcie wyjściowe w funkcji częstotliwości zostało przedstawione na wykresie 7 (strona 11). Zagęcie charakterystyki dla małych

Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza odwracającego



Rysunek 7: Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza odwracającego (pomiary automatyczne)

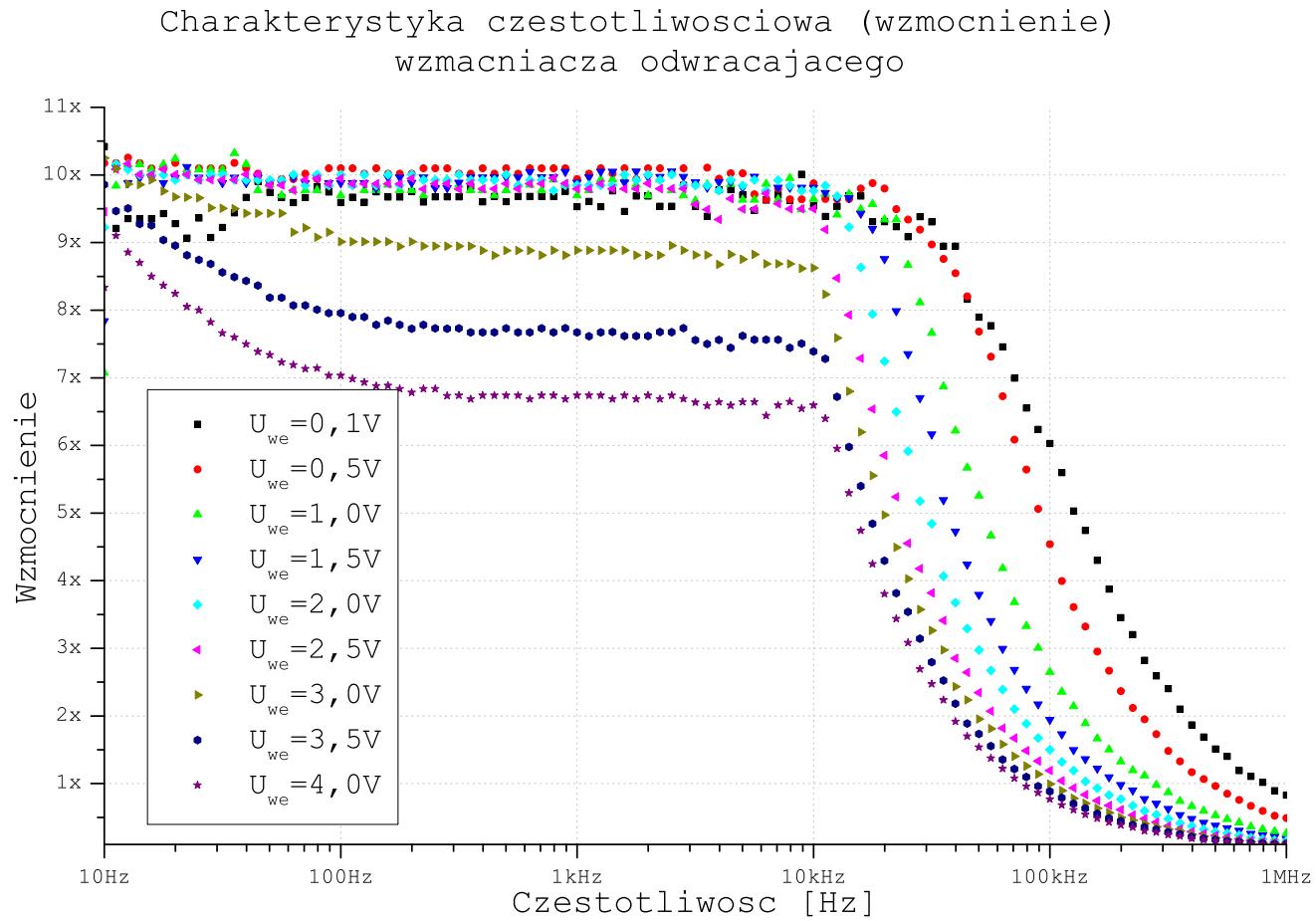
częstotliwości wynika z faktu, iż amplituda sygnału wejściowego nie była stała w zakresie od 10 do kilkudziesięciu Hz i rosła aż do osiągnięcia ustalonej wartości (takiej jak w legendzie). Na wykresie 8 (strona 12) przedstawiono wzmacnienie obliczone ze wzoru

$$k = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$$

w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego.

Jak widać na wykresach im niższa amplituda sygnału wejściowego tym większe wzmacnienie w zakresie wysokich częstotliwości ($> 10\text{kHz}$).

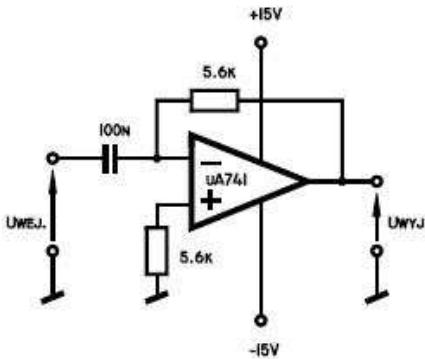
Zgodnie z pomiarami i wnioskami z punktu 2.2 (strona 8) maksymalne napięcie wejściowe, dla którego wzmacnienie jest zgodne z konfiguracją układu ($10x$) wynosi 2,8V. Na wykresie 7 (strona 11) widać, że dla sygnałów wejściowych większych niż 2,8V napięcie wyjściowe jest takie samo (w przedziale od 200 do 10kHz). Jest to spowodowane faktem, że układ nie jest w stanie dać na wyjściu napięcia wyższego niż napięcie zasilające.



Rysunek 8: Charakterystyka częstotliwościowa (wzmocnienie) wzmacniacza odwracającego (pomiary auto.)

Widać to również na wykresie 8 (strona 12). Wzmocnienie dla tych trzech ($3,0V$, $3,5V$, $4,0V$) napięć wejściowych jest znaczco niższe od oczekiwanych $10x$.

3 Układ różniczkujący



Rysunek 9: Schemat układu różniczkującego

Schemat układu różniczkującego zbudowanego na bazie wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$ znajduje się na rysunku 9 (strona 13).

3.1 wstęp

Przyjmijmy:

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_2 = R$$

$$j = \sqrt{-1}$$

$$\omega = 2\pi\nu$$

Mamy

$$U_{wy}(j\omega) = U_{we}(j\omega)RCj\omega$$

oraz

$$I_R = I_C$$

Wiemy również, że:

$$I_C = C \frac{dU_{we}}{dt}$$

$$I_R = -\frac{U_{wy}}{R}$$

Zatem:

$$U_{wy} = -RC \frac{dU_{we}}{dt}$$

Wzmocnienie układu różniczkującego wynosi:

$$k = -j\omega RC \quad (3.1)$$

Do zbudowania układu użyto elementów o następujących parametrach:

$$C = 100,3 \pm 2,1 nF$$

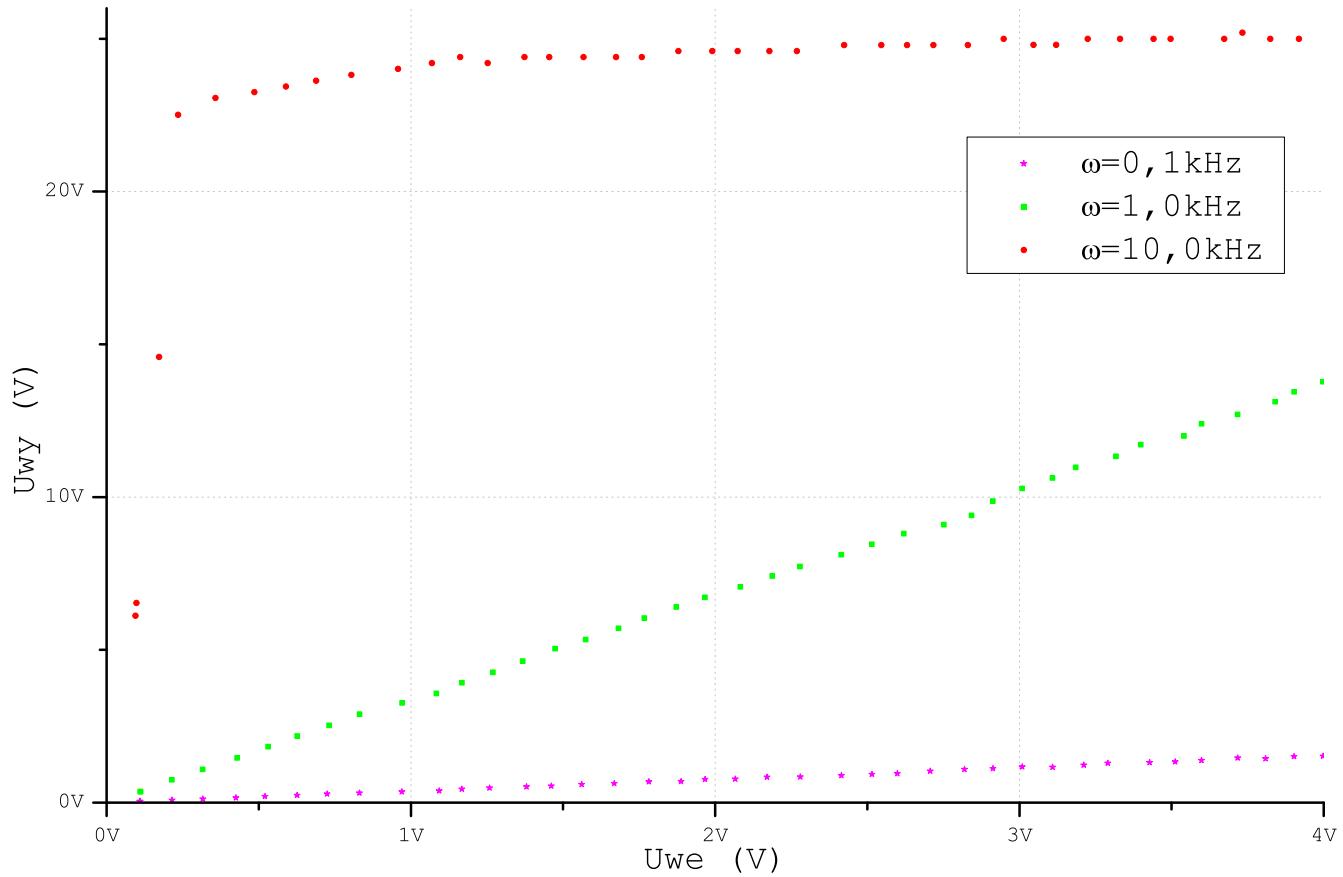
$$R = 5,56 \pm 0,11 k\Omega$$

Wartość wzmocnienia dla takich parametrów wynosi:

$$k(\omega) = \omega RC$$

$$k(\nu) = 2\pi\nu RC = (0,0035 \pm 0,0001)\nu$$

Charakterystyka amplitudowa układu różniczkującego



Rysunek 10: Charakterystyka amplitudowa układu różniczkującego

3.2 pomiary

3.2.1 pomiary charakterystyki amplitudowej

Zmierzono zależność amplitudy sygnału wyjściowego od amplitudy sygnału wejściowego dla sygnałów o częstotliwościach $0, 1\text{kHz}$, 1kHz oraz 10kHz . Jak widać na wykresie 10 (strona 14) wzmacnianie jest liniowe dla małych częstotliwości. Dopasowując krzywą

$$U_{wy} = k\omega U_{we} + \alpha$$

otrzymamy (dla $\omega = 0, 1\text{kHz}$):

$$k_1\omega = 0, 384 \pm 0, 002$$

$$\alpha = -0, 007 \pm 0, 006$$

skąd wynika:

$$k_1 = 0, 00384 \pm 0, 00002$$

Dla częstotliwości $\omega = 1\text{kHz}$ z dopasowania prostej otrzymujemy:

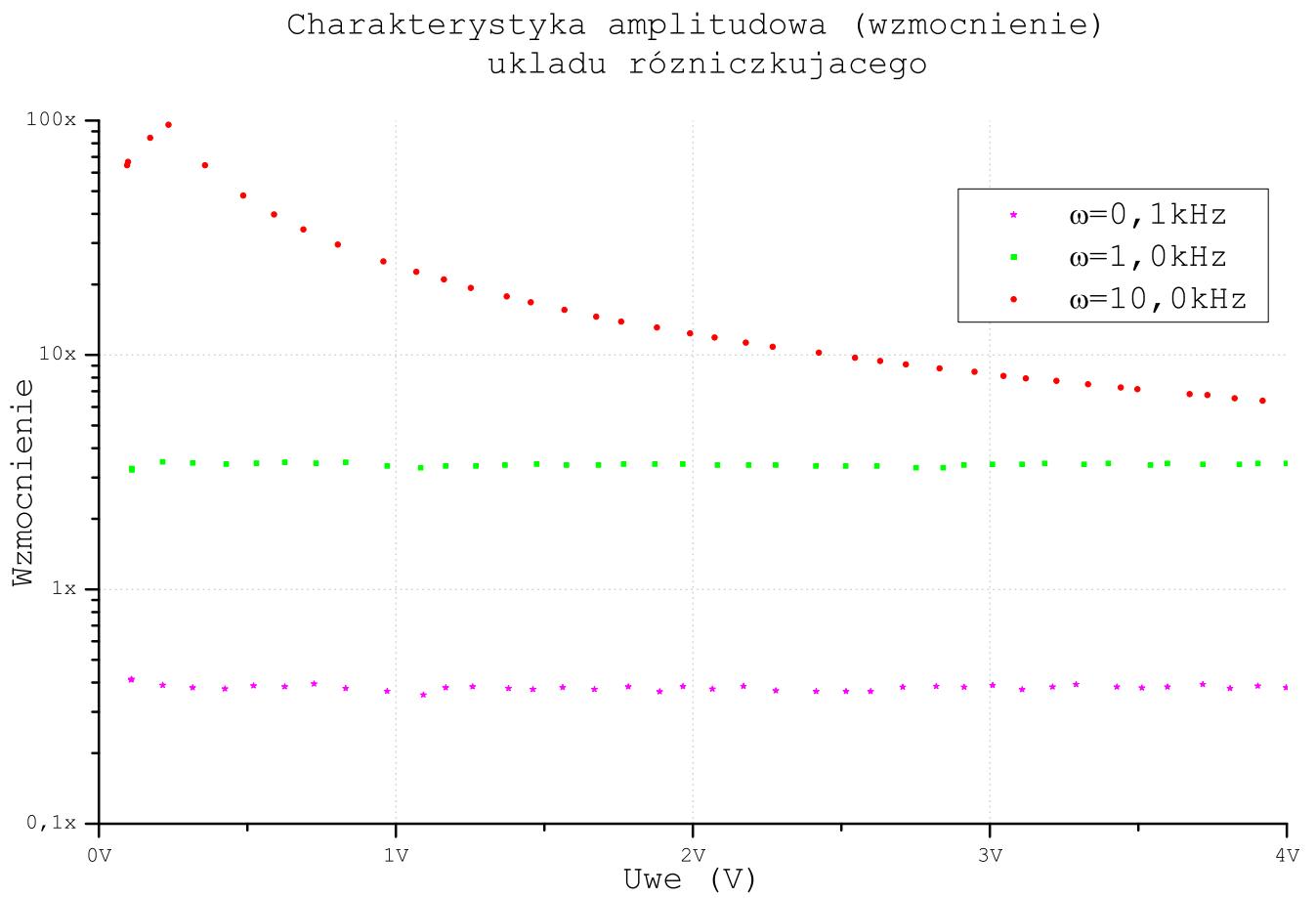
$$k_2\omega = 3, 407 \pm 0, 014$$

$$\alpha = -0, 015 \pm 0, 033$$

skąd wynika:

$$k_2 = 0, 003407 \pm 0, 000014$$

Jak widać współczynniki wzmacniania k_1 i k_2 są w przybliżeniu zgodne z wartością teoretyczną ($k = 0, 0035 \pm 0, 0001$) obliczoną w punkcie 3.1. Na wykresie 11 (strona 15) widać, że współczynnik wzmacniania dla tych dwóch częstotliwości jest stały.



Rysunek 11: Charakterystyka amplitudowa (wzmocnienie) układu różniczkującego

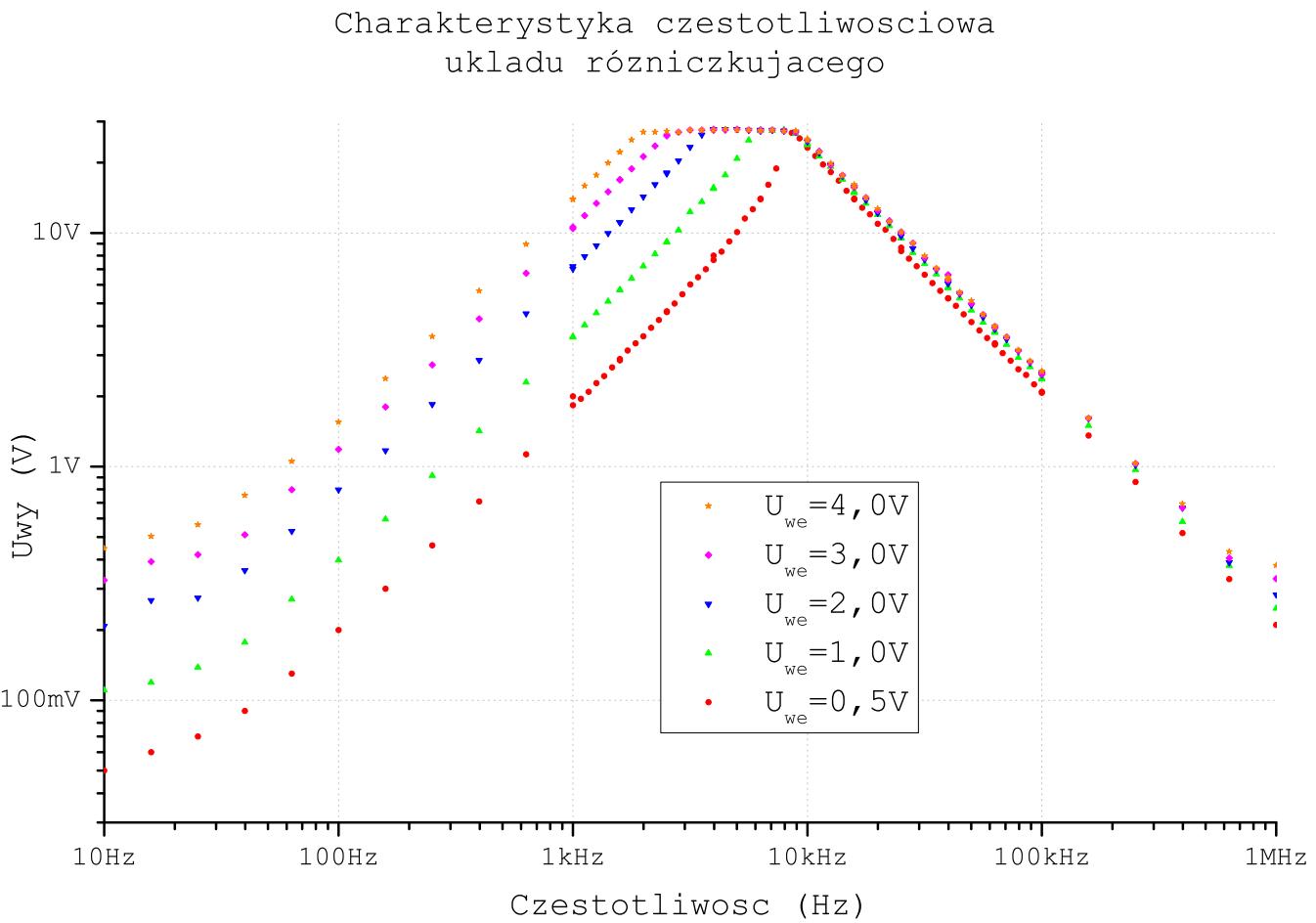
Dla częstotliwości sygnału wejściowego $\omega = 10\text{kHz}$ teoretyczna wartość wzmocnienia wynosi

$$k_3 = 35 \pm 1$$

Należy pamiętać, że dla tak zbudowanego układu maksymalna amplituda sygnału wyjściowego wynosi $30V$, więc nie ma możliwości tak dużego wzmocnienia sygnału dla amplitud wejściowych od $0,8V$ do $4V$.

3.2.2 pomiary charakterystyki częstotliwościowej

Zmierzono zależność wzmacnienia sygnału sinusoidalnego o amplitudach 0,5V, 1,0V, 2,0V, 3,0V oraz 4,0V w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego. Jak widać na wykresach 12 (strona 16) i 13 (strona 17) wzmacnienie



Rysunek 12: Charakterystyka częstotliwościowa układu różniczkującego

dla wszystkich mierzonych amplitud sygnału wejściowego rośnie w przybliżeniu liniowo do momentu osiągnięcia maksymalnego możliwego napięcia na wyjściu. Wartość wzmacnienia zaczyna spadać dla sygnałów o częstotliwości większej niż 10kHz. Jest to zgodne z pomiarami charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza (punkt 2.2).

Dopasowując krzywą do liniowego (wznoszącego) fragmentu charakterystyki z wykresu 13 (strona 17) otrzymamy:

- Dla sygnału o amplitudzie 0,5V:

$$k = 0,0042 \pm 0,0001$$

- Dla sygnału o amplitudzie 1,0V:

$$k = 0,0038 \pm 0,0001$$

- Dla sygnału o amplitudzie 2,0V:

$$k = 0,0035 \pm 0,0001$$

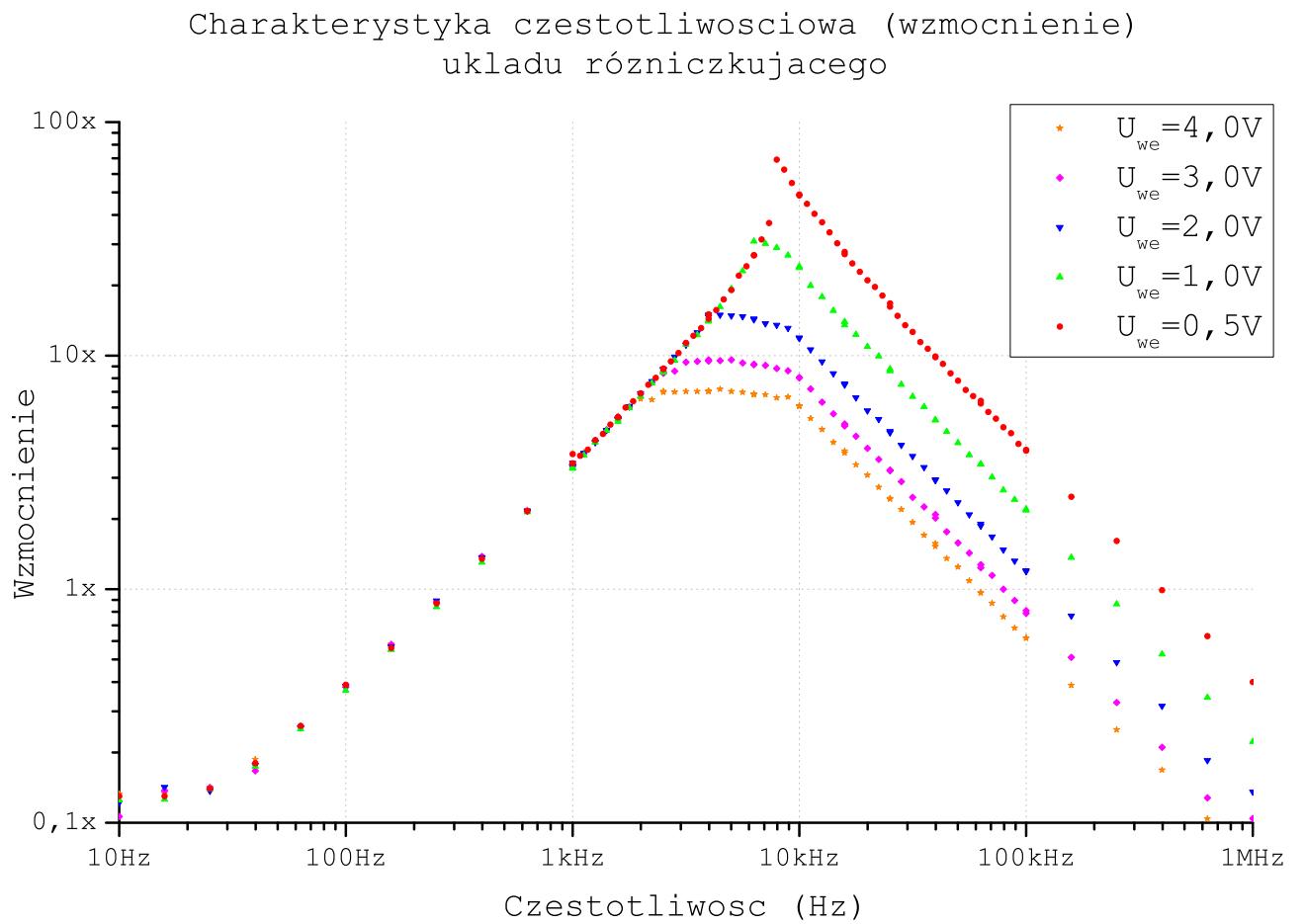
- Dla sygnału o amplitudzie 3,0V:

$$k = 0,0034 \pm 0,0001$$

- Dla sygnału o amplitudzie 4,0V:

$$k = 0,0033 \pm 0,0001$$

Jak widać powyższe wartości są zgodne (w przybliżeniu) z wartością teoretyczną obliczoną w punkcie 3.1.



Rysunek 13: Charakterystyka częstotliwościowa (wzmocnienie) układu różniczkującego

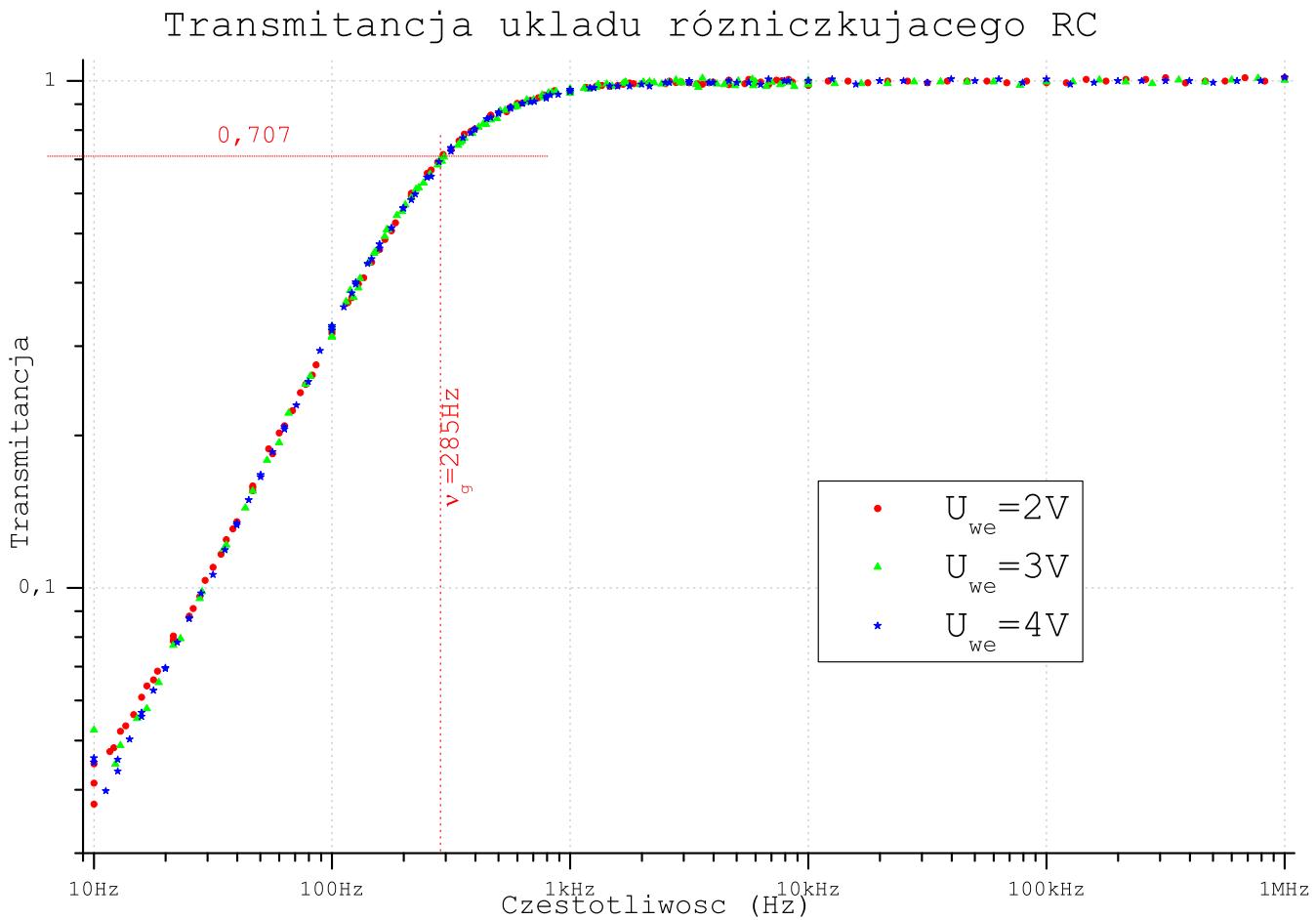
3.3 Układ różniczkujący a filtr górnoprzepustowy

3.3.1 charakterystyka częstotliwościowa

Układ różniczkujący oparty na wzmacniaczu operacyjnym $\mu A741$ jest pewnego rodzaju filtrem różniczkującym, a więc górnoprzepustowym.

Klasyczny filtr różniczkujący jest zbudowany z opornika oraz kondensatora (filtr RC).

Charakterystyka częstotliwościowa układu różniczkującego jest przedstawiona na wykresie 12 (strona 16). Dla porównania wykonano klasyczny filtr różniczkujący z elementów o takich samych wartościach pojemności i rezystancji. Jego charakterystyka częstotliwościowa została przedstawiona na wykresie 14 (strona 18). Jak widać na



Rysunek 14: Charakterystyka częstotliwościowa filtra górnoprzepustowego

wykresach filtr RC przepuszcza sygnały o częstotliwości większej od częstotliwości granicznej. Układ różniczkujący maksymalnie wzmacnia sygnały w wąskim przedziale częstotliwości. Jest to spowodowane charakterystyką wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$.

3.3.2 Drgania rezonansowe układu różniczkującego

Po wprowadzenie na wejściu układu różniczkowego sygnału trójkątnego zaobserwowano na wyjściu sygnał prostokątny (odwróconą pochodną sygnału wejściowego) z charakterystycznymi drganiami rezonansowymi na początku każdego płaskiego odcinka sygnału wyjściowego.

Dzieje się tak dlatego, że kondensator jest ładowany (zbocze sygnału prostokątnego) po czym następuje rozładowywanie poprzez ruch ładunków pomiędzy okładkami kondensatora (przez opornik).

Stosując II prawo Kirchhoffa można zapisać równanie na ruch ładunków w układzie:

$$\frac{dq(t)}{dt}R + \frac{q(t)}{C} = 0$$

$$\frac{dq}{q} = -\frac{dt}{RC}$$

Obie strony równania całkujemy otrzymując:

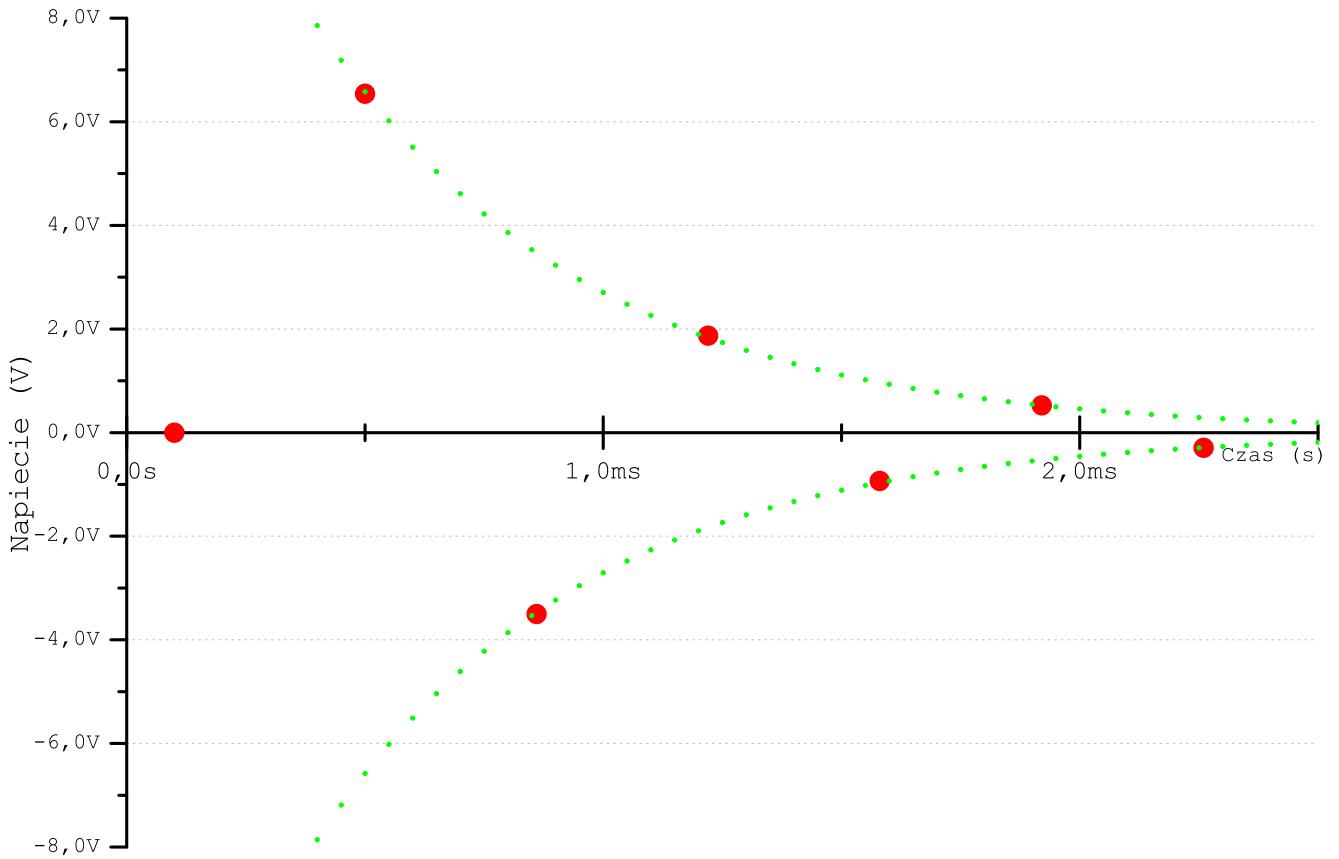
$$\ln(q) = -\frac{1}{RC}(t + t_0)$$

co po przekształceniach daje:

$$q(t) = Ae^{-\frac{1}{RC}t} \quad (3.2)$$

Z oscyloskopu sczytano parametry tego rezonansu (współrzędne kolejnych wierzchołków) i przedstawiono na wykresie 15 (strona 19). Organia rezonansowe są drganiami tłumionymi więc postulowano ich postać (krzywa opisująca

Rezonans układu różniczkującego



Rysunek 15: rezonans układu różniczkującego

tyko wierzchołki przebiegu):

$$U(t) = Ae^{Bt} \quad (3.3)$$

Parametry A i B wyznaczono poprzez dopasowanie krzywej do punktów pomiarowych. Wartość parametru A zależy tylko od wyboru punktu początkowego, więc parametr ten został pominięty.

Otrzymano:

$$B = -1759,21 \pm 14,55$$

Sprawdzamy zgodność wartości otrzymanego parametru B z oczekiwany (por. równanie 3.2) $-\frac{1}{RC}$ (wartości R i C są znanne, a niepewność policzono ze wzoru na propagację małych niepewności¹):

$$-\frac{1}{RC} = 1793,18 \pm 50,72$$

Jak widać parametr B z równania 3.3 jest zgodny z oczekiwaniem z równania 3.2.

¹ $\sigma = \sqrt{\sum \left(\frac{df}{dx_i} \sigma_{x_i} \right)^2}$, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, John R. Tylor, strona 87

4 Podsumowanie

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z możliwościami zastosowania wzmacniaczy operacyjnych w różnych aplikacjach, oraz zbadanie charakterystyk tak zbudowanych układów.

Na potrzeby ćwiczenia skonstruowano wzmacniacz odwracający oraz wyznaczono jego charakterystykę amplitudową i częstotliwościową oraz układ różniczkujący, dla którego również wyznaczono obydwie charakterystyki.

Dodatkowo dla układu różniczkującego porównano jego działanie z klasycznym filtrem różniczkującym RC zbudowanym z elementów o takich samych wartościach.

5 Bibliografia

Do sporządzenia niniejszego raportu wykorzystane zostały wiadomości z następujących prac:

- A. Filipkowski, *Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe*, Warszawa 1978, 1995
- wykładów Prof. W. Dominika
- John R. Tylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Warszawa 1995
- specyfikacji technicznych użytych układów scalonych

6 Tabele pomiarów

6.1 wzmacniacz odwracający

6.1.1 pomiary automatyczne

Tablica 1: Pomiary charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 100\text{hz}$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie	$\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	100	4,00	28,40	7,10	
2	100	3,97	28,40	7,16	
3	100	3,94	28,20	7,16	
4	100	3,90	28,20	7,22	
5	100	3,87	28,20	7,28	
6	100	3,84	28,20	7,34	
7	100	3,78	28,00	7,41	
8	100	3,75	28,00	7,47	
9	100	3,72	28,00	7,53	
10	100	3,69	28,00	7,59	
11	100	3,63	28,00	7,71	
12	100	3,60	28,00	7,77	
13	100	3,57	28,00	7,83	
14	100	3,52	28,00	7,96	
15	100	3,46	28,00	8,09	
16	100	3,43	28,00	8,16	
17	100	3,41	28,00	8,22	
18	100	3,35	27,80	8,30	
19	100	3,32	27,80	8,36	
20	100	3,27	27,80	8,50	
21	100	3,24	27,80	8,57	
22	100	3,17	27,80	8,78	
23	100	3,14	27,80	8,85	
24	100	3,12	27,60	8,86	
25	100	3,09	27,40	8,86	
26	100	3,04	27,40	9,01	
27	100	2,99	27,40	9,15	
28	100	2,97	27,40	9,23	
29	100	2,92	27,40	9,38	
30	100	2,88	27,20	9,46	
31	100	2,81	27,00	9,62	
32	100	2,81	26,80	9,55	
33	100	2,76	26,60	9,63	
34	100	2,70	26,20	9,72	
35	100	2,70	26,00	9,65	
36	100	2,67	25,80	9,65	
37	100	2,61	25,60	9,81	
38	100	2,57	25,20	9,81	
39	100	2,53	25,00	9,90	
40	100	2,49	24,60	9,90	
41	100	2,43	24,01	9,90	
42	100	2,41	23,82	9,90	
43	100	2,35	23,25	9,90	
44	100	2,31	23,06	9,98	
45	100	2,27	22,51	9,89	
46	100	2,22	22,15	9,98	
47	100	2,18	21,61	9,89	
48	100	2,15	21,27	9,89	
49	100	2,12	20,93	9,89	

50	100	2,06	20,59	9,98
51	100	2,05	20,10	9,81
52	100	1,98	19,94	10,06
53	100	1,95	19,46	9,98
54	100	1,90	18,99	9,98
55	100	1,87	18,54	9,90
56	100	1,83	18,24	9,98
57	100	1,80	17,80	9,90
58	100	1,76	17,38	9,90
59	100	1,71	17,10	9,98
60	100	1,67	16,55	9,89
61	100	1,63	16,15	9,89
62	100	1,59	15,89	9,98
63	100	1,56	15,39	9,89
64	100	1,52	15,14	9,97
65	100	1,47	14,66	9,97
66	100	1,43	14,19	9,89
67	100	1,40	13,73	9,81
68	100	1,37	13,40	9,81
69	100	1,32	12,97	9,81
70	100	1,29	12,56	9,73
71	100	1,25	12,16	9,73
72	100	1,20	11,77	9,81
73	100	1,16	11,30	9,73
74	100	1,12	11,03	9,81
75	100	1,08	10,67	9,89
76	100	1,06	10,42	9,81
77	100	1,01	10,00	9,90
78	100	0,97	9,52	9,81
79	100	0,89	8,99	10,07
80	100	0,85	8,70	10,24
81	100	0,82	8,21	10,07
82	100	0,77	7,82	10,15
83	100	0,73	7,38	10,07
84	100	0,69	7,03	10,15
85	100	0,65	6,58	10,15
86	100	0,62	6,21	10,07
87	100	0,57	5,76	10,07
88	100	0,54	5,35	9,98
89	100	0,50	4,92	9,90
90	100	0,45	4,53	10,07
91	100	0,41	4,13	10,07
92	100	0,37	3,73	10,16
93	100	0,33	3,34	10,16
94	100	0,29	2,91	10,07
95	100	0,25	2,52	10,16
96	100	0,21	2,10	10,16
97	100	0,17	1,68	9,96
98	100	0,13	1,27	9,76
99	100	0,13	1,25	9,68
100	100	0,13	1,26	9,76
101	100	0,13	1,26	9,84

Tablica 2: Pomiary charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 1000\text{hz}$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie	$\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	1000	4,20	27,20	6,48	
2	1000	4,00	27,20	6,80	
3	1000	3,97	27,20	6,86	
4	1000	3,93	27,20	6,91	
5	1000	3,90	27,20	6,97	
6	1000	3,84	27,20	7,08	
7	1000	3,81	27,20	7,14	
8	1000	3,75	27,20	7,26	
9	1000	3,75	27,20	7,26	
10	1000	3,66	27,20	7,43	
11	1000	3,63	27,20	7,49	
12	1000	3,60	27,20	7,55	
13	1000	3,57	27,20	7,61	
14	1000	3,51	27,20	7,74	
15	1000	3,49	27,20	7,80	
16	1000	3,43	27,00	7,87	
17	1000	3,40	27,00	7,93	
18	1000	3,38	27,00	8,00	
19	1000	3,30	27,00	8,19	
20	1000	3,30	27,00	8,19	
21	1000	3,22	27,00	8,40	
22	1000	3,19	27,00	8,46	
23	1000	3,14	27,00	8,60	
24	1000	3,11	27,00	8,67	
25	1000	3,09	27,00	8,74	
26	1000	3,04	27,00	8,88	
27	1000	2,99	27,00	9,03	
28	1000	2,97	27,00	9,10	
29	1000	2,92	27,00	9,25	
30	1000	2,87	27,00	9,40	
31	1000	2,83	26,80	9,48	
32	1000	2,78	26,60	9,56	
33	1000	2,74	26,40	9,64	
34	1000	2,69	26,20	9,73	
35	1000	2,69	26,20	9,73	
36	1000	2,65	25,80	9,73	
37	1000	2,61	25,80	9,89	
38	1000	2,57	25,20	9,82	
39	1000	2,55	25,20	9,90	
40	1000	2,48	24,60	9,90	
41	1000	2,44	24,21	9,90	
42	1000	2,39	23,82	9,98	
43	1000	2,37	23,25	9,82	
44	1000	2,31	23,06	9,98	
45	1000	2,27	22,51	9,90	
46	1000	2,26	22,15	9,82	
47	1000	2,20	21,97	9,98	
48	1000	2,17	21,44	9,90	
49	1000	2,10	20,93	9,98	
50	1000	2,08	20,76	9,98	
51	1000	2,05	20,26	9,90	
52	1000	2,00	19,78	9,90	
53	1000	1,97	19,62	9,98	
54	1000	1,92	19,15	9,98	
55	1000	1,87	18,69	9,98	
56	1000	1,84	18,24	9,90	
57	1000	1,78	17,95	10,06	

58	1000	1,75	17,52	9,98
59	1000	1,71	16,96	9,90
60	1000	1,69	16,69	9,90
61	1000	1,63	16,28	9,98
62	1000	1,59	15,76	9,90
63	1000	1,55	15,51	9,98
64	1000	1,53	15,14	9,90
65	1000	1,48	14,65	9,90
66	1000	1,44	14,30	9,90
67	1000	1,40	13,85	9,90
68	1000	1,36	13,51	9,90
69	1000	1,32	13,08	9,90
70	1000	1,28	12,66	9,90
71	1000	1,24	12,26	9,90
72	1000	1,20	11,86	9,90
73	1000	1,16	11,39	9,82
74	1000	1,12	11,03	9,82
75	1000	1,09	10,67	9,82
76	1000	1,06	10,42	9,82
77	1000	1,01	9,92	9,82
78	1000	0,99	9,44	9,58
79	1000	0,90	9,06	10,08
80	1000	0,86	8,63	10,08
81	1000	0,81	8,28	10,17
82	1000	0,78	7,89	10,17
83	1000	0,73	7,38	10,08
84	1000	0,69	7,03	10,17
85	1000	0,66	6,58	9,99
86	1000	0,61	6,21	10,17
87	1000	0,57	5,81	10,17
88	1000	0,53	5,44	10,25
89	1000	0,50	4,96	9,99
90	1000	0,45	4,52	9,99
91	1000	0,41	4,13	9,99
92	1000	0,37	3,73	10,08
93	1000	0,33	3,31	10,08
94	1000	0,29	2,91	10,08
95	1000	0,25	2,52	9,99
96	1000	0,21	2,10	9,89
97	1000	0,17	1,68	9,99
98	1000	0,13	1,27	9,79
99	1000	0,13	1,27	9,95
100	1000	0,13	1,28	9,87
101	1000	0,13	1,27	9,87

Tablica 3: Pomiary charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 10000\text{hz}$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10000	4,80	26,60	5,54
2	10000	4,03	26,80	6,65
3	10000	4,00	26,80	6,70
4	10000	3,97	26,80	6,75
5	10000	3,94	26,60	6,76
6	10000	3,81	26,60	6,98
7	10000	3,84	26,60	6,93

8	10000	3,78	26,60	7,04
9	10000	3,72	26,80	7,21
10	10000	3,72	26,60	7,15
11	10000	3,66	26,60	7,27
12	10000	3,60	26,40	7,33
13	10000	3,57	26,60	7,45
14	10000	3,54	26,60	7,51
15	10000	3,54	26,80	7,56
16	10000	3,46	26,80	7,75
17	10000	3,43	26,80	7,81
18	10000	3,38	26,60	7,88
19	10000	3,38	26,60	7,88
20	10000	3,35	26,60	7,94
21	10000	3,27	26,60	8,14
22	10000	3,22	26,60	8,27
23	10000	3,24	26,60	8,21
24	10000	3,19	26,40	8,28
25	10000	3,09	26,60	8,61
26	10000	3,06	26,40	8,62
27	10000	3,01	26,40	8,76
28	10000	2,97	26,20	8,83
29	10000	2,94	26,20	8,91
30	10000	2,92	26,20	8,98
31	10000	2,90	25,80	8,91
32	10000	2,87	25,80	8,98
33	10000	2,78	25,80	9,28
34	10000	2,76	25,60	9,28
35	10000	2,76	25,20	9,14
36	10000	2,69	25,20	9,36
37	10000	2,63	24,80	9,44
38	10000	2,59	24,60	9,52
39	10000	2,54	24,21	9,52
40	10000	2,50	24,01	9,59
41	10000	2,50	23,25	9,29
42	10000	2,50	23,06	9,21
43	10000	2,42	22,88	9,44
44	10000	2,31	22,33	9,68
45	10000	2,25	22,15	9,84
46	10000	2,22	21,79	9,84
47	10000	2,22	21,27	9,60
48	10000	2,14	21,10	9,84
49	10000	2,11	20,93	9,92
50	10000	2,08	20,26	9,76
51	10000	2,03	19,78	9,76
52	10000	2,01	19,62	9,76
53	10000	1,96	18,99	9,68
54	10000	1,91	18,69	9,76
55	10000	1,87	18,09	9,68
56	10000	1,84	17,80	9,68
57	10000	1,79	17,51	9,76
58	10000	1,77	17,09	9,68
59	10000	1,72	16,82	9,76
60	10000	1,70	16,28	9,60
61	10000	1,64	16,02	9,76
62	10000	1,60	15,51	9,68
63	10000	1,56	15,14	9,68
64	10000	1,53	14,65	9,60
65	10000	1,50	14,42	9,60
66	10000	1,44	14,07	9,76

67	10000	1,40	13,62	9,76
68	10000	1,35	13,40	9,92
69	10000	1,32	12,76	9,68
70	10000	1,32	12,66	9,60
71	10000	1,24	12,25	9,84
72	10000	1,23	11,76	9,60
73	10000	1,17	11,57	9,92
74	10000	1,14	10,93	9,60
75	10000	1,11	10,84	9,76
76	10000	1,08	10,58	9,84
77	10000	1,03	9,99	9,67
78	10000	1,01	9,27	9,20
79	10000	0,95	8,90	9,35
80	10000	0,85	8,40	9,85
81	10000	0,81	8,00	9,85
82	10000	0,79	7,68	9,77
83	10000	0,74	7,25	9,77
84	10000	0,71	6,90	9,77
85	10000	0,65	6,51	9,94
86	10000	0,62	6,09	9,77
87	10000	0,58	5,70	9,77
88	10000	0,53	5,34	10,03
89	10000	0,50	4,91	9,78
90	10000	0,47	4,44	9,52
91	10000	0,41	4,09	10,05
92	10000	0,37	3,66	9,96
93	10000	0,34	3,25	9,70
94	10000	0,29	2,89	9,88
95	10000	0,25	2,52	9,97
96	10000	0,22	2,15	9,87
97	10000	0,17	1,65	9,77
98	10000	0,13	1,24	9,47
99	10000	0,13	1,25	9,86
100	10000	0,13	1,25	9,63
101	10000	0,13	1,25	9,48

Tablica 4: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 0,5V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,000	0,416	4,234	10,177
2	11,220	0,429	4,369	10,177
3	12,589	0,440	4,509	10,256
4	14,125	0,454	4,617	10,177
5	15,849	0,468	4,728	10,098
6	17,783	0,476	4,804	10,098
7	19,953	0,476	4,842	10,179
8	22,387	0,487	4,881	10,020
9	25,119	0,491	4,959	10,099
10	28,184	0,495	4,998	10,099
11	31,623	0,499	5,038	10,099
12	35,481	0,499	5,079	10,180
13	39,811	0,503	5,079	10,099
14	44,668	0,511	5,119	10,020
15	50,119	0,515	5,078	9,861
16	56,234	0,515	5,119	9,940

17	63,096	0,515	5,119	9,940
18	70,795	0,515	5,160	10,019
19	79,433	0,519	5,160	9,940
20	89,125	0,515	5,201	10,100
21	100,000	0,515	5,201	10,100
22	112,202	0,515	5,201	10,100
23	125,893	0,515	5,160	10,019
24	141,254	0,515	5,201	10,099
25	158,489	0,515	5,159	10,018
26	177,828	0,515	5,159	10,018
27	199,526	0,519	5,201	10,018
28	223,872	0,515	5,201	10,099
29	251,189	0,515	5,201	10,099
30	281,838	0,515	5,201	10,099
31	316,228	0,519	5,201	10,019
32	354,813	0,519	5,201	10,019
33	398,107	0,515	5,201	10,100
34	446,684	0,515	5,159	10,019
35	501,187	0,515	5,200	10,099
36	562,341	0,519	5,200	10,019
37	630,957	0,515	5,200	10,100
38	707,946	0,515	5,200	10,100
39	794,328	0,515	5,200	10,100
40	891,251	0,515	5,200	10,100
41	1000,000	0,519	5,159	9,940
42	1122,018	0,519	5,200	10,019
43	1258,925	0,515	5,200	10,100
44	1412,538	0,515	5,158	10,019
45	1584,893	0,515	5,200	10,099
46	1778,279	0,519	5,158	9,939
47	1995,262	0,515	5,199	10,099
48	2238,721	0,515	5,199	10,099
49	2511,886	0,519	5,199	10,019
50	2818,383	0,515	5,199	10,100
51	3162,278	0,527	5,199	9,863
52	3548,134	0,514	5,199	10,106
53	3981,072	0,523	5,199	9,946
54	4466,836	0,523	5,241	10,026
55	5011,872	0,514	5,157	10,026
56	5623,413	0,531	5,157	9,715
57	6309,573	0,531	5,116	9,637
58	7079,458	0,522	5,116	9,794
59	7943,282	0,531	5,116	9,640
60	8912,509	0,531	5,116	9,640
61	10000,000	0,518	5,116	9,877
62	11220,185	0,530	5,116	9,646
63	12589,254	0,526	5,075	9,646
64	14125,375	0,522	5,034	9,646
65	15848,932	0,526	5,155	9,799
66	17782,794	0,513	5,073	9,879
67	19952,623	0,513	5,032	9,800
68	22387,211	0,526	4,992	9,494
69	25118,864	0,522	4,872	9,341
70	28183,829	0,522	4,794	9,191
71	31622,777	0,522	4,679	8,971
72	35481,339	0,526	4,604	8,757
73	39810,717	0,526	4,494	8,547
74	44668,359	0,526	4,314	8,205
75	50118,723	0,530	4,072	7,684

76	56234, 133	0, 526	3, 844	7, 312
77	63095, 734	0, 526	3, 537	6, 727
78	70794, 578	0, 530	3, 225	6, 086
79	79432, 823	0, 526	2, 967	5, 645
80	89125, 094	0, 530	2, 683	5, 062
81	100000, 000	0, 534	2, 425	4, 540
82	112201, 845	0, 534	2, 134	3, 995
83	125892, 541	0, 534	1, 929	3, 612
84	141253, 754	0, 534	1, 775	3, 323
85	158489, 319	0, 534	1, 576	2, 951
86	177827, 941	0, 538	1, 437	2, 670
87	199526, 231	0, 534	1, 265	2, 368
88	223872, 114	0, 530	1, 123	2, 120
89	251188, 643	0, 534	1, 042	1, 952
90	281838, 293	0, 530	0, 917	1, 731
91	316227, 766	0, 530	0, 785	1, 482
92	354813, 389	0, 530	0, 704	1, 328
93	398107, 171	0, 534	0, 625	1, 170
94	446683, 592	0, 534	0, 570	1, 067
95	501187, 234	0, 526	0, 506	0, 963
96	562341, 325	0, 542	0, 461	0, 851
97	630957, 344	0, 525	0, 399	0, 759
98	707945, 784	0, 533	0, 357	0, 670
99	794328, 235	0, 533	0, 317	0, 595
100	891250, 938	0, 538	0, 282	0, 524
101	1000000, 000	0, 533	0, 261	0, 490

Tablica 5: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 1,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,000	1,200	8,486	7,072
2	11,220	0,883	8,690	9,839
3	12,589	0,876	8,899	10,157
4	14,125	0,897	9,112	10,157
5	15,849	0,926	9,331	10,078
6	17,783	0,941	9,555	10,157
7	19,953	0,948	9,708	10,238
8	22,387	0,971	9,785	10,078
9	25,119	0,979	9,864	10,078
10	28,184	0,987	9,943	10,078
11	31,623	0,994	10,022	10,078
12	35,481	0,987	10,182	10,322
13	39,811	1,002	10,182	10,159
14	44,668	1,058	10,345	9,774
15	50,119	1,050	10,345	9,853
16	56,234	1,058	10,263	9,697
17	63,096	1,058	10,345	9,774
18	70,795	1,058	10,345	9,774
19	79,433	1,058	10,345	9,774
20	89,125	1,058	10,427	9,853
21	100,000	1,067	10,344	9,696
22	112,202	1,058	10,427	9,853
23	125,893	1,058	10,343	9,774
24	141,254	1,067	10,426	9,774
25	158,489	1,058	10,426	9,853

26	177,828	1,058	10,343	9,774
27	199,526	1,067	10,425	9,774
28	223,872	1,067	10,342	9,696
29	251,189	1,058	10,425	9,852
30	281,838	1,050	10,425	9,931
31	316,228	1,058	10,425	9,853
32	354,813	1,067	10,425	9,774
33	398,107	1,058	10,341	9,774
34	446,684	1,066	10,341	9,697
35	501,187	1,066	10,424	9,774
36	562,341	1,058	10,424	9,853
37	630,957	1,058	10,424	9,853
38	707,946	1,058	10,341	9,774
39	794,328	1,058	10,506	9,931
40	891,251	1,049	10,338	9,851
41	1000,000	1,075	10,421	9,697
42	1122,018	1,066	10,421	9,775
43	1258,925	1,058	10,504	9,933
44	1412,538	1,058	10,504	9,933
45	1584,893	1,049	10,420	9,933
46	1778,279	1,066	10,503	9,854
47	1995,262	1,066	10,335	9,697
48	2238,721	1,057	10,501	9,931
49	2511,886	1,066	10,417	9,774
50	2818,383	1,074	10,417	9,696
51	3162,278	1,100	10,583	9,620
52	3548,134	1,065	10,499	9,859
53	3981,072	1,082	10,583	9,781
54	4466,836	1,056	10,413	9,861
55	5011,872	1,090	10,497	9,632
56	5623,413	1,081	10,413	9,632
57	6309,573	1,064	10,496	9,867
58	7079,458	1,089	10,496	9,636
59	7943,282	1,063	10,580	9,952
60	8912,509	1,097	10,411	9,489
61	10000,000	1,080	10,411	9,643
62	11220,185	1,080	10,494	9,720
63	12589,254	1,088	10,242	9,412
64	14125,375	1,071	10,406	9,718
65	15848,932	1,097	10,406	9,490
66	17782,794	1,070	10,240	9,568
67	19952,623	1,079	10,076	9,340
68	22387,211	1,070	9,995	9,340
69	25118,864	1,070	9,275	8,667
70	28183,829	1,070	8,682	8,113
71	31622,777	1,079	8,265	7,662
72	35481,339	1,087	7,472	6,871
73	39810,717	1,096	6,814	6,217
74	44668,359	1,096	6,215	5,670
75	50118,723	1,079	5,668	5,255
76	56234,133	1,079	5,033	4,667
77	63095,734	1,087	4,550	4,185
78	70794,578	1,087	4,004	3,683
79	79432,823	1,087	3,619	3,329
80	89125,094	1,078	3,243	3,007
81	100000,000	1,087	2,880	2,649
82	112201,845	1,096	2,580	2,355
83	125892,541	1,061	2,271	2,141
84	141253,754	1,095	2,071	1,892

85	158489, 319	1, 095	1, 822	1, 665
86	177827, 941	1, 086	1, 633	1, 504
87	199526, 231	1, 095	1, 450	1, 325
88	223872, 114	1, 086	1, 299	1, 196
89	251188, 643	1, 077	1, 206	1, 119
90	281838, 293	1, 086	1, 061	0, 977
91	316227, 766	1, 103	0, 959	0, 869
92	354813, 389	1, 094	0, 813	0, 743
93	398107, 171	1, 086	0, 722	0, 665
94	446683, 592	1, 103	0, 659	0, 597
95	501187, 234	1, 094	0, 580	0, 530
96	562341, 325	1, 094	0, 519	0, 475
97	630957, 344	1, 085	0, 457	0, 421
98	707945, 784	1, 111	0, 402	0, 362
99	794328, 235	1, 102	0, 357	0, 324
100	891250, 938	1, 094	0, 320	0, 293
101	1000000, 000	1, 076	0, 284	0, 264

Tablica 6: Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 1,5V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10, 000	1, 600	12, 544	7, 840
2	11, 220	1, 280	12, 945	10, 114
3	12, 589	1, 341	13, 256	9, 882
4	14, 125	1, 363	13, 574	9, 960
5	15, 849	1, 396	13, 900	9, 960
6	17, 783	1, 429	14, 122	9, 882
7	19, 953	1, 441	14, 348	9, 960
8	22, 387	1, 441	14, 578	10, 120
9	25, 119	1, 475	14, 695	9, 962
10	28, 184	1, 487	14, 812	9, 962
11	31, 623	1, 499	14, 812	9, 883
12	35, 481	1, 499	14, 931	9, 962
13	39, 811	1, 511	14, 931	9, 883
14	44, 668	1, 511	15, 050	9, 962
15	50, 119	1, 523	15, 050	9, 883
16	56, 234	1, 523	15, 050	9, 883
17	63, 096	1, 523	15, 170	9, 962
18	70, 795	1, 535	15, 170	9, 883
19	79, 433	1, 523	15, 170	9, 962
20	89, 125	1, 535	15, 170	9, 883
21	100, 000	1, 535	15, 170	9, 883
22	112, 202	1, 535	15, 170	9, 883
23	125, 893	1, 535	15, 170	9, 883
24	141, 254	1, 547	15, 170	9, 805
25	158, 489	1, 522	15, 170	9, 964
26	177, 828	1, 523	15, 170	9, 964
27	199, 526	1, 535	15, 170	9, 885
28	223, 872	1, 522	15, 170	9, 965
29	251, 189	1, 547	15, 170	9, 808
30	281, 838	1, 547	15, 170	9, 808
31	316, 228	1, 534	15, 170	9, 887
32	354, 813	1, 534	15, 292	9, 966
33	398, 107	1, 534	15, 292	9, 966
34	446, 684	1, 534	15, 292	9, 966

35	501,187	1,534	15,292	9,966
36	562,341	1,534	15,292	9,966
37	630,957	1,522	15,292	10,046
38	707,946	1,534	15,292	9,967
39	794,328	1,534	15,292	9,967
40	891,251	1,522	15,292	10,047
41	1000,000	1,546	15,292	9,889
42	1122,018	1,534	15,292	9,969
43	1258,925	1,522	15,292	10,049
44	1412,538	1,522	15,292	10,049
45	1584,893	1,546	15,292	9,891
46	1778,279	1,521	15,292	10,052
47	1995,262	1,534	15,292	9,972
48	2238,721	1,534	15,292	9,972
49	2511,886	1,521	15,292	10,052
50	2818,383	1,533	15,292	9,972
51	3162,278	1,533	15,170	9,893
52	3548,134	1,558	15,291	9,815
53	3981,072	1,533	15,169	9,895
54	4466,836	1,545	15,290	9,895
55	5011,872	1,545	15,168	9,815
56	5623,413	1,521	15,168	9,975
57	6309,573	1,533	14,925	9,737
58	7079,458	1,557	15,283	9,814
59	7943,282	1,545	15,161	9,814
60	8912,509	1,545	15,161	9,814
61	10000,000	1,532	15,040	9,814
62	11220,185	1,545	15,040	9,736
63	12589,254	1,569	15,160	9,660
64	14125,375	1,544	14,917	9,660
65	15848,932	1,557	14,679	9,430
66	17782,794	1,557	14,326	9,203
67	19952,623	1,544	13,524	8,758
68	22387,211	1,544	12,334	7,987
69	25118,864	1,557	11,446	7,353
70	28183,829	1,544	10,347	6,701
71	31622,777	1,544	9,519	6,165
72	35481,339	1,569	8,149	5,194
73	39810,717	1,544	7,301	4,730
74	44668,359	1,556	6,600	4,242
75	50118,723	1,531	5,808	3,793
76	56234,133	1,556	5,297	3,405
77	63095,734	1,556	4,661	2,996
78	70794,578	1,556	4,177	2,685
79	79432,823	1,543	3,709	2,403
80	89125,094	1,556	3,382	2,174
81	100000,000	1,543	3,004	1,946
82	112201,845	1,555	2,691	1,730
83	125892,541	1,568	2,347	1,497
84	141253,754	1,543	2,103	1,363
85	158489,319	1,568	1,918	1,223
86	177827,941	1,568	1,718	1,096
87	199526,231	1,568	1,540	0,982
88	223872,114	1,542	1,392	0,902
89	251188,643	1,567	1,214	0,774
90	281838,293	1,555	1,097	0,706
91	316227,766	1,579	0,992	0,628
92	354813,389	1,567	0,841	0,537
93	398107,171	1,554	0,747	0,480

94	446683, 592	1, 567	0, 663	0, 423
95	501187, 234	1, 567	0, 594	0, 379
96	562341, 325	1, 554	0, 532	0, 343
97	630957, 344	1, 554	0, 473	0, 304
98	707945, 784	1, 579	0, 412	0, 261
99	794328, 235	1, 554	0, 369	0, 238
100	891250, 938	1, 554	0, 331	0, 213
101	1000000, 000	1, 566	0, 289	0, 184

Tablica 7: Pomiarystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 2,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,000	1,800	16,600	9,222
2	11,220	1,699	17,264	10,160
3	12,589	1,754	17,678	10,081
4	14,125	1,810	18,103	10,003
5	15,849	1,853	18,537	10,003
6	17,783	1,883	18,834	10,003
7	19,953	1,913	18,984	9,924
8	22,387	1,928	19,288	10,003
9	25,119	1,959	19,442	9,924
10	28,184	1,959	19,598	10,004
11	31,623	1,975	19,755	10,004
12	35,481	2,006	19,913	9,925
13	39,811	1,990	19,753	9,925
14	44,668	2,006	19,911	9,925
15	50,119	2,022	20,071	9,925
16	56,234	2,022	20,071	9,925
17	63,096	2,022	20,231	10,004
18	70,795	2,038	20,069	9,846
19	79,433	2,022	20,230	10,004
20	89,125	2,038	20,068	9,846
21	100,000	2,022	20,229	10,004
22	112,202	2,038	20,067	9,846
23	125,893	2,022	20,227	10,004
24	141,254	2,038	20,066	9,846
25	158,489	2,022	20,226	10,004
26	177,828	2,038	20,064	9,846
27	199,526	2,022	20,225	10,004
28	223,872	2,038	20,225	9,925
29	251,189	2,021	20,063	9,925
30	281,838	2,038	20,224	9,925
31	316,228	2,021	20,224	10,005
32	354,813	2,038	20,224	9,926
33	398,107	2,038	20,224	9,926
34	446,684	2,054	20,385	9,926
35	501,187	2,021	20,222	10,006
36	562,341	2,037	20,061	9,847
37	630,957	2,037	20,221	9,926
38	707,946	2,037	20,221	9,926
39	794,328	2,053	20,059	9,769
40	891,251	2,053	20,220	9,847
41	1000,000	2,037	20,058	9,847
42	1122,018	2,053	20,218	9,847
43	1258,925	2,053	20,218	9,847

44	1412, 538	2, 037	20, 057	9, 847
45	1584, 893	2, 021	20, 217	10, 006
46	1778, 279	2, 037	20, 217	9, 926
47	1995, 262	2, 037	20, 379	10, 006
48	2238, 721	2, 037	20, 216	9, 926
49	2511, 886	2, 037	20, 378	10, 005
50	2818, 383	2, 053	20, 215	9, 846
51	3162, 278	2, 053	20, 215	9, 846
52	3548, 134	2, 037	20, 053	9, 846
53	3981, 072	2, 037	19, 892	9, 767
54	4466, 836	2, 020	20, 052	9, 925
55	5011, 872	2, 020	19, 891	9, 846
56	5623, 413	2, 004	19, 891	9, 925
57	6309, 573	2, 020	19, 732	9, 767
58	7079, 458	2, 036	20, 206	9, 923
59	7943, 282	2, 036	20, 044	9, 843
60	8912, 509	2, 036	19, 884	9, 764
61	10000, 000	2, 020	19, 724	9, 764
62	11220, 185	2, 020	19, 882	9, 843
63	12589, 254	2, 004	19, 405	9, 684
64	14125, 375	2, 052	18, 939	9, 230
65	15848, 932	2, 036	17, 576	8, 634
66	17782, 794	2, 036	16, 170	7, 944
67	19952, 623	2, 036	14, 747	7, 245
68	22387, 211	2, 052	13, 331	6, 497
69	25118, 864	2, 019	11, 945	5, 916
70	28183, 829	2, 067	10, 702	5, 177
71	31622, 777	2, 051	9, 932	4, 843
72	35481, 339	2, 051	8, 343	4, 068
73	39810, 717	2, 051	7, 542	3, 677
74	44668, 359	2, 035	6, 697	3, 292
75	50118, 723	2, 035	6, 054	2, 976
76	56234, 133	2, 067	5, 521	2, 671
77	63095, 734	2, 034	4, 859	2, 389
78	70794, 578	2, 034	4, 276	2, 102
79	79432, 823	2, 034	3, 831	1, 884
80	89125, 094	2, 050	3, 433	1, 674
81	100000, 000	2, 050	3, 076	1, 500
82	112201, 845	2, 050	2, 707	1, 320
83	125892, 541	2, 034	2, 425	1, 192
84	141253, 754	2, 083	2, 154	1, 034
85	158489, 319	2, 066	1, 930	0, 934
86	177827, 941	2, 066	1, 713	0, 829
87	199526, 231	2, 033	1, 563	0, 769
88	223872, 114	2, 065	1, 388	0, 672
89	251188, 643	2, 049	1, 221	0, 596
90	281838, 293	2, 049	1, 104	0, 539
91	316227, 766	2, 065	0, 989	0, 479
92	354813, 389	2, 049	0, 847	0, 413
93	398107, 171	2, 049	0, 759	0, 370
94	446683, 592	2, 065	0, 674	0, 326
95	501187, 234	2, 049	0, 593	0, 289
96	562341, 325	2, 065	0, 550	0, 266
97	630957, 344	2, 049	0, 489	0, 238
98	707945, 784	2, 065	0, 414	0, 201
99	794328, 235	2, 065	0, 371	0, 180
100	891250, 938	2, 065	0, 339	0, 164
101	1000000, 000	2, 048	0, 314	0, 153

Tablica 8: Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 2,5V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie	$\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,000	2,200	20,800	9,455	
2	11,220	2,112	21,299	10,085	
3	12,589	2,180	22,151	10,163	
4	14,125	2,249	22,506	10,005	
5	15,849	2,303	23,046	10,005	
6	17,783	2,322	23,414	10,085	
7	19,953	2,377	23,789	10,006	
8	22,387	2,396	23,979	10,006	
9	25,119	2,435	24,171	9,927	
10	28,184	2,454	24,365	9,927	
11	31,623	2,474	24,560	9,927	
12	35,481	2,494	24,756	9,927	
13	39,811	2,474	24,756	10,007	
14	44,668	2,494	24,954	10,007	
15	50,119	2,514	24,754	9,849	
16	56,234	2,534	24,952	9,849	
17	63,096	2,554	24,952	9,770	
18	70,795	2,533	25,152	9,928	
19	79,433	2,533	25,200	9,947	
20	89,125	2,554	25,200	9,868	
21	100,000	2,533	25,200	9,947	
22	112,202	2,554	25,200	9,869	
23	125,893	2,554	25,200	9,869	
24	141,254	2,554	25,200	9,869	
25	158,489	2,554	25,200	9,869	
26	177,828	2,554	25,200	9,869	
27	199,526	2,533	25,200	9,948	
28	223,872	2,574	25,200	9,791	
29	251,189	2,553	25,200	9,870	
30	281,838	2,553	25,200	9,870	
31	316,228	2,574	25,200	9,792	
32	354,813	2,553	25,200	9,871	
33	398,107	2,573	25,200	9,793	
34	446,684	2,573	25,200	9,793	
35	501,187	2,553	25,200	9,872	
36	562,341	2,573	25,200	9,793	
37	630,957	2,553	25,200	9,872	
38	707,946	2,553	25,200	9,872	
39	794,328	2,532	25,200	9,952	
40	891,251	2,552	25,200	9,873	
41	1000,000	2,573	25,200	9,795	
42	1122,018	2,573	25,200	9,795	
43	1258,925	2,552	25,200	9,874	
44	1412,538	2,573	25,200	9,795	
45	1584,893	2,573	25,200	9,795	
46	1778,279	2,573	25,200	9,795	
47	1995,262	2,552	25,200	9,874	
48	2238,721	2,573	25,200	9,796	
49	2511,886	2,573	25,200	9,796	
50	2818,383	2,573	25,200	9,796	
51	3162,278	2,593	24,800	9,564	
52	3548,134	2,614	24,800	9,488	
53	3981,072	2,656	24,800	9,339	

54	4466,836	2,571	24,800	9,647
55	5011,872	2,591	24,602	9,494
56	5623,413	2,591	24,602	9,494
57	6309,573	2,550	24,798	9,726
58	7079,458	2,591	24,798	9,573
59	7943,282	2,611	24,798	9,497
60	8912,509	2,611	24,798	9,497
61	10000,000	2,570	24,402	9,497
62	11220,185	2,570	23,621	9,193
63	12589,254	2,631	22,298	8,474
64	14125,375	2,610	20,693	7,928
65	15848,932	2,589	18,872	7,288
66	17782,794	2,610	17,060	6,536
67	19952,623	2,589	15,149	5,851
68	22387,211	2,568	13,453	5,238
69	25118,864	2,671	12,161	4,553
70	28183,829	2,586	10,799	4,177
71	31622,777	2,648	10,108	3,818
72	35481,339	2,584	8,814	3,411
73	39810,717	2,646	7,545	2,851
74	44668,359	2,604	6,881	2,643
75	50118,723	2,583	6,055	2,344
76	56234,133	2,645	5,474	2,070
77	63095,734	2,624	4,773	1,819
78	70794,578	2,582	4,315	1,671
79	79432,823	2,623	3,901	1,487
80	89125,094	2,623	3,495	1,332
81	100000,000	2,602	3,104	1,193
82	112201,845	2,644	2,756	1,042
83	125892,541	2,665	2,491	0,935
84	141253,754	2,644	2,212	0,837
85	158489,319	2,601	1,947	0,748
86	177827,941	2,601	1,760	0,677
87	199526,231	2,601	1,591	0,612
88	223872,114	2,601	1,387	0,533
89	251188,643	2,601	1,243	0,478
90	281838,293	2,601	1,114	0,428
91	316227,766	2,622	0,971	0,370
92	354813,389	2,622	0,855	0,326
93	398107,171	2,643	0,759	0,287
94	446683,592	2,622	0,680	0,259
95	501187,234	2,622	0,609	0,232
96	562341,325	2,580	0,536	0,208
97	630957,344	2,663	0,489	0,184
98	707945,784	2,641	0,423	0,160
99	794328,235	2,662	0,385	0,145
100	891250,938	2,641	0,348	0,132
101	1000000,000	2,620	0,320	0,122

Tablica 9: Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 3,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,000	2,400	24,600	10,250
2	11,220	2,515	25,387	10,094
3	12,589	2,636	26,000	9,864

4	14, 125	2, 699	26, 600	9, 855
5	15, 849	2, 721	27, 000	9, 924
6	17, 783	2, 808	27, 400	9, 758
7	19, 953	2, 853	27, 600	9, 675
8	22, 387	2, 876	27, 800	9, 668
9	25, 119	2, 899	28, 000	9, 660
10	28, 184	2, 922	27, 800	9, 515
11	31, 623	2, 945	28, 000	9, 507
12	35, 481	2, 969	28, 200	9, 499
13	39, 811	2, 969	28, 000	9, 432
14	44, 668	2, 969	28, 000	9, 432
15	50, 119	2, 969	28, 000	9, 432
16	56, 234	2, 969	28, 000	9, 432
17	63, 096	3, 016	27, 600	9, 151
18	70, 795	3, 016	27, 800	9, 217
19	79, 433	3, 040	27, 600	9, 078
20	89, 125	3, 016	27, 600	9, 151
21	100, 000	3, 040	27, 400	9, 013
22	112, 202	3, 040	27, 400	9, 013
23	125, 893	3, 040	27, 400	9, 013
24	141, 254	3, 040	27, 400	9, 013
25	158, 489	3, 040	27, 400	9, 013
26	177, 828	3, 064	27, 400	8, 941
27	199, 526	3, 040	27, 400	9, 013
28	223, 872	3, 040	27, 200	8, 947
29	251, 189	3, 040	27, 200	8, 947
30	281, 838	3, 040	27, 200	8, 947
31	316, 228	3, 040	27, 200	8, 947
32	354, 813	3, 040	27, 200	8, 947
33	398, 107	3, 040	27, 000	8, 882
34	446, 684	3, 064	27, 000	8, 811
35	501, 187	3, 040	27, 000	8, 882
36	562, 341	3, 040	27, 000	8, 882
37	630, 957	3, 040	27, 000	8, 882
38	707, 946	3, 064	27, 000	8, 812
39	794, 328	3, 040	27, 000	8, 883
40	891, 251	3, 064	27, 000	8, 812
41	1000, 000	3, 039	27, 000	8, 883
42	1122, 018	3, 039	27, 000	8, 883
43	1258, 925	3, 039	27, 000	8, 883
44	1412, 538	3, 039	27, 000	8, 883
45	1584, 893	3, 039	27, 000	8, 883
46	1778, 279	3, 064	27, 000	8, 813
47	1995, 262	3, 064	27, 000	8, 813
48	2238, 721	3, 064	27, 000	8, 813
49	2511, 886	3, 015	27, 000	8, 956
50	2818, 383	3, 039	27, 000	8, 885
51	3162, 278	3, 063	27, 000	8, 815
52	3548, 134	3, 063	27, 000	8, 815
53	3981, 072	3, 112	27, 000	8, 676
54	4466, 836	3, 037	26, 800	8, 823
55	5011, 872	3, 062	26, 800	8, 753
56	5623, 413	3, 037	26, 800	8, 824
57	6309, 573	3, 086	26, 800	8, 685
58	7079, 458	3, 086	26, 800	8, 685
59	7943, 282	3, 086	26, 800	8, 685
60	8912, 509	3, 111	26, 800	8, 616
61	10000, 000	3, 061	26, 400	8, 625
62	11220, 185	3, 061	25, 200	8, 233

63	12589, 254	3, 110	23, 600	7, 589
64	14125, 375	3, 110	21, 146	6, 800
65	15848, 932	3, 085	19, 116	6, 197
66	17782, 794	3, 085	17, 128	5, 552
67	19952, 623	3, 060	15, 209	4, 970
68	22387, 211	3, 060	13, 749	4, 493
69	25118, 864	3, 060	12, 319	4, 026
70	28183, 829	3, 060	10, 940	3, 575
71	31622, 777	3, 085	10, 064	3, 263
72	35481, 339	3, 085	9, 179	2, 976
73	39810, 717	3, 109	7, 563	2, 432
74	44668, 359	3, 060	6, 837	2, 235
75	50118, 723	3, 133	6, 126	1, 955
76	56234, 133	3, 058	5, 538	1, 811
77	63095, 734	3, 082	4, 873	1, 581
78	70794, 578	3, 082	4, 328	1, 404
79	79432, 823	3, 107	3, 912	1, 259
80	89125, 094	3, 082	3, 505	1, 137
81	100000, 000	3, 107	3, 085	0, 993
82	112201, 845	3, 057	2, 739	0, 896
83	125892, 541	3, 106	2, 432	0, 783
84	141253, 754	3, 106	2, 199	0, 708
85	158489, 319	3, 106	1, 970	0, 634
86	177827, 941	3, 106	1, 765	0, 568
87	199526, 231	3, 106	1, 553	0, 500
88	223872, 114	3, 081	1, 404	0, 456
89	251188, 643	3, 106	1, 270	0, 409
90	281838, 293	3, 106	1, 127	0, 363
91	316227, 766	3, 106	1, 010	0, 325
92	354813, 389	3, 056	0, 913	0, 299
93	398107, 171	3, 105	0, 767	0, 247
94	446683, 592	3, 105	0, 687	0, 221
95	501187, 234	3, 105	0, 610	0, 197
96	562341, 325	3, 105	0, 542	0, 175
97	630957, 344	3, 105	0, 481	0, 155
98	707945, 784	3, 080	0, 435	0, 141
99	794328, 235	3, 129	0, 397	0, 127
100	891250, 938	3, 079	0, 368	0, 120
101	1000000, 000	3, 104	0, 353	0, 114

Tablica 10: Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 3,5V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie	$\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,000	2,800	27,600	9,857	
2	11,220	2,979	28,200	9,466	
3	12,589	3,051	29,000	9,506	
4	14,125	3,148	29,200	9,275	
5	15,849	3,199	29,600	9,254	
6	17,783	3,275	29,600	9,037	
7	19,953	3,328	29,800	8,955	
8	22,387	3,381	29,800	8,814	
9	25,119	3,408	29,800	8,744	
10	28,184	3,408	29,600	8,685	
11	31,623	3,435	29,400	8,558	
12	35,481	3,463	29,400	8,490	

13	39,811	3,463	29,200	8,432
14	44,668	3,491	29,200	8,365
15	50,119	3,519	28,800	8,185
16	56,234	3,519	28,800	8,185
17	63,096	3,519	28,400	8,071
18	70,795	3,519	28,400	8,071
19	79,433	3,547	28,400	8,007
20	89,125	3,518	28,000	7,958
21	100,000	3,518	28,000	7,958
22	112,202	3,518	27,800	7,901
23	125,893	3,518	27,800	7,901
24	141,254	3,546	27,600	7,782
25	158,489	3,518	27,600	7,845
26	177,828	3,546	27,600	7,783
27	199,526	3,546	27,400	7,726
28	223,872	3,546	27,600	7,783
29	251,189	3,518	27,200	7,732
30	281,838	3,546	27,400	7,727
31	316,228	3,518	27,200	7,732
32	354,813	3,546	27,200	7,671
33	398,107	3,546	27,200	7,671
34	446,684	3,546	27,200	7,671
35	501,187	3,517	27,200	7,733
36	562,341	3,546	27,200	7,672
37	630,957	3,546	27,200	7,672
38	707,946	3,517	27,200	7,733
39	794,328	3,545	27,200	7,672
40	891,251	3,517	27,200	7,734
41	1000,000	3,545	27,200	7,673
42	1122,018	3,545	27,000	7,616
43	1258,925	3,545	27,200	7,673
44	1412,538	3,517	27,000	7,678
45	1584,893	3,545	27,000	7,617
46	1778,279	3,545	27,000	7,617
47	1995,262	3,545	27,000	7,617
48	2238,721	3,517	27,000	7,678
49	2511,886	3,545	27,200	7,674
50	2818,383	3,516	27,200	7,735
51	3162,278	3,573	27,000	7,558
52	3548,134	3,573	26,800	7,502
53	3981,072	3,544	26,800	7,562
54	4466,836	3,601	26,800	7,443
55	5011,872	3,543	27,000	7,621
56	5623,413	3,543	26,800	7,564
57	6309,573	3,543	26,800	7,564
58	7079,458	3,543	26,800	7,564
59	7943,282	3,600	26,800	7,445
60	8912,509	3,571	26,800	7,505
61	10000,000	3,600	26,600	7,390
62	11220,185	3,571	26,000	7,281
63	12589,254	3,542	23,800	6,719
64	14125,375	3,599	21,515	5,978
65	15848,932	3,570	19,278	5,400
66	17782,794	3,599	17,427	4,843
67	19952,623	3,570	15,336	4,296
68	22387,211	3,570	13,618	3,815
69	25118,864	3,570	12,638	3,540
70	28183,829	3,570	11,222	3,144
71	31622,777	3,598	10,055	2,794

72	35481,339	3,570	9,009	2,524
73	39810,717	3,570	7,784	2,181
74	44668,359	3,627	6,850	1,889
75	50118,723	3,540	6,138	1,734
76	56234,133	3,540	5,499	1,554
77	63095,734	3,568	4,839	1,356
78	70794,578	3,597	4,375	1,216
79	79432,823	3,568	3,920	1,099
80	89125,094	3,625	3,481	0,960
81	100000,000	3,596	3,174	0,883
82	112201,845	3,567	2,819	0,790
83	125892,541	3,567	2,503	0,702
84	141253,754	3,567	2,263	0,634
85	158489,319	3,596	1,991	0,554
86	177827,941	3,624	1,768	0,488
87	199526,231	3,595	1,599	0,445
88	223872,114	3,595	1,394	0,388
89	251188,643	3,595	1,271	0,354
90	281838,293	3,595	1,149	0,320
91	316227,766	3,567	1,002	0,281
92	354813,389	3,595	0,898	0,250
93	398107,171	3,566	0,761	0,214
94	446683,592	3,623	0,682	0,188
95	501187,234	3,565	0,606	0,170
96	562341,325	3,594	0,543	0,151
97	630957,344	3,594	0,499	0,139
98	707945,784	3,565	0,439	0,123
99	794328,235	3,594	0,418	0,116
100	891250,938	3,623	0,382	0,105
101	1000000,000	3,594	0,391	0,109

Tablica 11: Pomiary charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 4,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,000	3,600	30,000	8,333
2	11,220	3,341	30,400	9,100
3	12,589	3,501	31,000	8,854
4	14,125	3,585	31,200	8,702
5	15,849	3,671	31,200	8,499
6	17,783	3,730	31,200	8,365
7	19,953	3,760	31,000	8,245
8	22,387	3,850	31,000	8,052
9	25,119	3,850	30,800	8,000
10	28,184	3,912	30,600	7,823
11	31,623	3,943	30,200	7,659
12	35,481	3,974	30,200	7,598
13	39,811	3,974	29,800	7,498
14	44,668	4,006	29,600	7,388
15	50,119	4,006	29,400	7,338
16	56,234	4,038	29,200	7,231
17	63,096	4,006	28,800	7,189
18	70,795	4,038	28,800	7,132
19	79,433	4,006	28,600	7,140
20	89,125	4,038	28,400	7,033
21	100,000	4,038	28,400	7,033

22	112, 202	4, 038	28, 200	6, 984
23	125, 893	4, 038	28, 000	6, 934
24	141, 254	4, 070	28, 000	6, 879
25	158, 489	4, 038	27, 800	6, 885
26	177, 828	4, 038	27, 600	6, 836
27	199, 526	4, 070	27, 600	6, 782
28	223, 872	4, 037	27, 600	6, 836
29	251, 189	4, 037	27, 600	6, 836
30	281, 838	4, 070	27, 400	6, 733
31	316, 228	4, 037	27, 200	6, 738
32	354, 813	4, 069	27, 200	6, 684
33	398, 107	4, 037	27, 200	6, 738
34	446, 684	4, 037	27, 200	6, 738
35	501, 187	4, 037	27, 200	6, 738
36	562, 341	4, 037	27, 200	6, 738
37	630, 957	4, 069	27, 200	6, 685
38	707, 946	4, 037	27, 200	6, 738
39	794, 328	4, 037	27, 200	6, 738
40	891, 251	4, 069	27, 200	6, 685
41	1000, 000	4, 036	27, 200	6, 739
42	1122, 018	4, 036	27, 200	6, 739
43	1258, 925	4, 036	27, 200	6, 739
44	1412, 538	4, 069	27, 200	6, 685
45	1584, 893	4, 036	27, 200	6, 739
46	1778, 279	4, 068	27, 200	6, 686
47	1995, 262	4, 036	27, 200	6, 740
48	2238, 721	4, 068	27, 200	6, 686
49	2511, 886	4, 035	27, 200	6, 740
50	2818, 383	4, 068	27, 200	6, 687
51	3162, 278	4, 068	27, 000	6, 638
52	3548, 134	4, 100	27, 000	6, 585
53	3981, 072	4, 035	26, 800	6, 642
54	4466, 836	4, 067	26, 800	6, 590
55	5011, 872	4, 034	26, 800	6, 643
56	5623, 413	4, 034	26, 800	6, 643
57	6309, 573	4, 131	26, 600	6, 439
58	7079, 458	4, 065	26, 800	6, 593
59	7943, 282	4, 033	26, 800	6, 646
60	8912, 509	4, 065	26, 600	6, 544
61	10000, 000	4, 065	26, 800	6, 593
62	11220, 185	4, 065	26, 000	6, 396
63	12589, 254	4, 032	24, 000	5, 952
64	14125, 375	4, 097	21, 696	5, 296
65	15848, 932	4, 064	19, 266	4, 740
66	17782, 794	4, 064	17, 262	4, 247
67	19952, 623	4, 064	15, 467	3, 806
68	22387, 211	4, 032	13, 859	3, 437
69	25118, 864	4, 064	12, 528	3, 083
70	28183, 829	4, 096	11, 025	2, 691
71	31622, 777	4, 064	10, 055	2, 474
72	35481, 339	4, 064	9, 089	2, 237
73	39810, 717	4, 096	7, 853	1, 917
74	44668, 359	4, 063	6, 911	1, 701
75	50118, 723	4, 031	6, 192	1, 536
76	56234, 133	4, 031	5, 548	1, 376
77	63095, 734	4, 031	4, 927	1, 222
78	70794, 578	4, 063	4, 375	1, 077
79	79432, 823	4, 096	3, 920	0, 957
80	89125, 094	4, 063	3, 512	0, 864

81	100000,000	4,095	3,147	0,768
82	112201,845	4,095	2,795	0,682
83	125892,541	4,063	2,482	0,611
84	141253,754	4,095	2,223	0,543
85	158489,319	4,095	1,992	0,486
86	177827,941	4,095	1,753	0,428
87	199526,231	4,095	1,571	0,384
88	223872,114	4,062	1,433	0,353
89	251188,643	4,095	1,226	0,299
90	281838,293	4,095	1,148	0,280
91	316227,766	4,128	1,001	0,242
92	354813,389	4,095	0,913	0,223
93	398107,171	4,062	0,767	0,189
94	446683,592	4,094	0,687	0,168
95	501187,234	4,094	0,616	0,150
96	562341,325	4,062	0,556	0,137
97	630957,344	4,062	0,521	0,128
98	707945,784	4,127	0,458	0,111
99	794328,235	4,094	0,422	0,103
100	891250,938	4,126	0,415	0,101
101	1000000,000	4,060	0,418	0,103

6.1.2 pomiary manualne

Tablica 12: Pomiary manualne charakterystyki amplitudowej wzmacniacza odwracającego $\nu = 1338,8\text{Hz}$

Pomiar	U_{we}	błąd	$\sigma_{U_{we}}$	U_{wy}	błąd	$\sigma_{U_{wy}}$
1	0,200	2,00%	0,004	1,320	2,00%	0,026
2	0,300	2,00%	0,006	2,480	2,00%	0,050
3	0,400	2,00%	0,008	3,560	2,00%	0,071
4	0,560	2,00%	0,011	4,760	2,00%	0,095
5	0,600	2,00%	0,012	5,400	2,00%	0,108
6	0,840	2,00%	0,017	8,200	2,00%	0,164
7	0,960	2,00%	0,019	9,600	2,00%	0,192
8	1,040	2,00%	0,021	10,400	2,00%	0,208
9	1,200	2,00%	0,024	11,800	2,00%	0,236
10	1,120	2,00%	0,022	11,200	2,00%	0,224
11	1,240	2,00%	0,025	12,400	2,00%	0,248
12	1,320	2,00%	0,026	13,000	2,00%	0,260
13	1,360	2,00%	0,027	13,600	2,00%	0,272
14	1,520	2,00%	0,030	15,000	2,00%	0,300
15	1,580	2,00%	0,032	15,800	2,00%	0,316
16	1,680	2,00%	0,034	16,600	2,00%	0,332
17	1,760	2,00%	0,035	17,400	2,00%	0,348
18	1,800	2,00%	0,036	18,000	2,00%	0,360
19	1,920	2,00%	0,038	19,400	2,00%	0,388
20	2,040	2,00%	0,041	20,400	2,00%	0,408
21	2,120	2,00%	0,042	21,200	2,00%	0,424
22	2,200	2,00%	0,044	22,000	2,00%	0,440
23	2,320	2,00%	0,046	23,200	2,00%	0,464
24	2,440	2,00%	0,049	24,400	2,00%	0,488
25	2,520	2,00%	0,050	25,400	2,00%	0,508
26	2,580	2,00%	0,052	25,800	2,00%	0,516
27	2,720	2,00%	0,054	26,800	2,00%	0,536
28	2,800	2,00%	0,056	27,600	2,00%	0,552

29	2,880	2,00%	0,058	27,600	2,00%	0,552
30	2,960	2,00%	0,059	27,600	2,00%	0,552
31	3,000	2,00%	0,060	27,600	2,00%	0,552
32	3,040	2,00%	0,061	27,600	2,00%	0,552
33	3,080	2,00%	0,062	27,600	2,00%	0,552
34	3,160	2,00%	0,063	27,600	2,00%	0,552
35	3,200	2,00%	0,064	27,600	2,00%	0,552
36	3,240	2,00%	0,065	27,600	2,00%	0,552
37	3,300	2,00%	0,066	27,600	2,00%	0,552
38	3,380	2,00%	0,068	27,600	2,00%	0,552
39	3,420	2,00%	0,068	27,600	2,00%	0,552
40	3,500	2,00%	0,070	27,600	2,00%	0,552
41	3,520	2,00%	0,070	27,600	2,00%	0,552
42	3,580	2,00%	0,072	27,600	2,00%	0,552
43	3,600	2,00%	0,072	27,600	2,00%	0,552
44	3,640	2,00%	0,073	27,600	2,00%	0,552
45	3,720	2,00%	0,074	27,600	2,00%	0,552
46	3,760	2,00%	0,075	27,600	2,00%	0,552
47	3,820	2,00%	0,076	27,600	2,00%	0,552
48	3,860	2,00%	0,077	27,600	2,00%	0,552
49	3,920	2,00%	0,078	27,600	2,00%	0,552
50	4,000	2,00%	0,080	27,600	2,00%	0,552
51	4,040	2,00%	0,081	27,600	2,00%	0,552
52	4,100	2,00%	0,082	27,600	2,00%	0,552
53	4,140	2,00%	0,083	27,600	2,00%	0,552
54	4,180	2,00%	0,084	27,600	2,00%	0,552
55	4,220	2,00%	0,084	27,600	2,00%	0,552
56	4,280	2,00%	0,086	27,600	2,00%	0,552
57	4,360	2,00%	0,087	27,600	2,00%	0,552
58	4,400	2,00%	0,088	27,600	2,00%	0,552
59	4,420	2,00%	0,088	27,600	2,00%	0,552
60	4,460	2,00%	0,089	27,600	2,00%	0,552
61	4,500	2,00%	0,090	27,600	2,00%	0,552
62	4,560	2,00%	0,091	27,600	2,00%	0,552
63	4,600	2,00%	0,092	27,600	2,00%	0,552
64	4,640	2,00%	0,093	27,600	2,00%	0,552
65	4,680	2,00%	0,094	27,600	2,00%	0,552
66	4,720	2,00%	0,094	27,600	2,00%	0,552
67	4,780	2,00%	0,096	27,600	2,00%	0,552
68	4,820	2,00%	0,096	27,600	2,00%	0,552
69	4,880	2,00%	0,098	27,600	2,00%	0,552
70	4,920	2,00%	0,098	27,600	2,00%	0,552
71	4,960	2,00%	0,099	27,600	2,00%	0,552
72	5,000	2,00%	0,100	27,600	2,00%	0,552
73	5,080	2,00%	0,102	27,600	2,00%	0,552
74	5,140	2,00%	0,103	27,600	2,00%	0,552
75	5,200	2,00%	0,104	27,600	2,00%	0,552

Tablica 13: Pomiarystyczki częstotliwościowej wzmacniacza odwracającego $U_{we} = 2,68V$

Pomiar	częstotliwość ν	błąd	σ_ν	U_{wy}	błąd	$\sigma_{U_{wy}}$
1	10,90	0,10%	0,01	26,600	2,00%	0,532
2	20,42	0,10%	0,02	26,800	2,00%	0,536
3	30,42	0,10%	0,03	26,600	2,00%	0,532
4	50,92	0,10%	0,05	26,600	2,00%	0,532
5	81,69	0,10%	0,08	26,600	2,00%	0,532

6	99,98	0, 10%	0, 10	26, 600	2, 00%	0, 532
7	198,98	0, 10%	0, 20	26, 600	2, 00%	0, 532
8	292,00	0, 10%	0, 29	26, 600	2, 00%	0, 532
9	506,00	0, 10%	0, 51	26, 600	2, 00%	0, 532
10	800,00	0, 10%	0, 80	26, 600	2, 00%	0, 532
11	1000,00	0, 10%	1, 00	26, 600	2, 00%	0, 532
12	2000,00	0, 10%	2, 00	26, 600	2, 00%	0, 532
13	3010,00	0, 10%	3, 01	26, 600	2, 00%	0, 532
14	5040,00	0, 10%	5, 04	26, 600	2, 00%	0, 532
15	7910,00	0, 10%	7, 91	26, 600	2, 00%	0, 532
16	10220,00	0, 10%	10, 22	26, 200	2, 00%	0, 524
17	12700,00	0, 10%	12, 70	23, 800	2, 00%	0, 476
18	14540,00	0, 10%	14, 54	21, 200	2, 00%	0, 424
19	15630,00	0, 10%	15, 63	19, 800	2, 00%	0, 396
20	18070,00	0, 10%	18, 07	17, 400	2, 00%	0, 348
21	19170,00	0, 10%	19, 17	16, 400	2, 00%	0, 328
22	20280,00	0, 10%	20, 28	15, 600	2, 00%	0, 312
23	21330,00	0, 10%	21, 33	14, 800	2, 00%	0, 296
24	23390,00	0, 10%	23, 39	13, 400	2, 00%	0, 268
25	26930,00	0, 10%	26, 93	11, 500	2, 00%	0, 230
26	30880,00	0, 10%	30, 88	10, 100	2, 00%	0, 202
27	33620,00	0, 10%	33, 62	9, 200	2, 00%	0, 184
28	37380,00	0, 10%	37, 38	8, 320	2, 00%	0, 166
29	41230,00	0, 10%	41, 23	7, 600	2, 00%	0, 152
30	45110,00	0, 10%	45, 11	6, 960	2, 00%	0, 139
31	52630,00	0, 10%	52, 63	6, 000	2, 00%	0, 120
32	56600,00	0, 10%	56, 60	5, 600	2, 00%	0, 112
33	63360,00	0, 10%	63, 36	5, 040	2, 00%	0, 101
34	69660,00	0, 10%	69, 66	4, 560	2, 00%	0, 091
35	75250,00	0, 10%	75, 25	4, 240	2, 00%	0, 085
36	81670,00	0, 10%	81, 67	3, 920	2, 00%	0, 078
37	89610,00	0, 10%	89, 61	3, 600	2, 00%	0, 072
38	101080,00	0, 10%	101, 08	3, 200	2, 00%	0, 064
39	124400,00	0, 10%	124, 40	2, 540	2, 00%	0, 051
40	199480,00	0, 10%	199, 48	1, 620	2, 00%	0, 032
41	295910,00	0, 10%	295, 91	1, 100	2, 00%	0, 022
42	395380,00	0, 10%	395, 38	0, 820	2, 00%	0, 016
43	493090,00	0, 10%	493, 09	0, 680	2, 00%	0, 014
44	593800,00	0, 10%	593, 80	0, 560	2, 00%	0, 011
45	693800,00	0, 10%	693, 80	0, 500	2, 00%	0, 010
46	805520,00	0, 10%	805, 52	0, 440	2, 00%	0, 009
47	892000,00	0, 10%	892, 00	0, 400	2, 00%	0, 008
48	1050000,00	0, 10%	1050, 00	0, 380	2, 00%	0, 008

6.2 układ różniczkujący

6.2.1 pomiary automatyczne

Tablica 14: Pomiary charakterystyki amplitudowej układu różniczkującego $\nu = 100Hz$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	100,0000	4,2000	1,6000	0,380952361
2	100,0000	3,9984	1,5232	0,380952392
3	100,0000	3,9024	1,5110	0,387197463
4	100,0000	3,8088	1,4385	0,377676268
5	100,0000	3,7174	1,4615	0,393154578
6	100,0000	3,5984	1,3797	0,383406633
7	100,0000	3,5121	1,3355	0,38026362
8	100,0000	3,4278	1,3141	0,383380059
9	100,0000	3,2907	1,2931	0,392964037
10	100,0000	3,2117	1,2310	0,383301239
11	100,0000	3,1089	1,1621	0,373797614
12	100,0000	3,0094	1,1714	0,389243373
13	100,0000	2,9131	1,1152	0,382808985
14	100,0000	2,8199	1,0884	0,385973212
15	100,0000	2,7071	1,0362	0,382756508
16	100,0000	2,5988	0,9533	0,366807638
17	100,0000	2,5157	0,9228	0,366806848
18	100,0000	2,4150	0,8858	0,366806351
19	100,0000	2,2798	0,8433	0,369914805
20	100,0000	2,1704	0,8366	0,385457483
21	100,0000	2,0662	0,7764	0,375740764
22	100,0000	1,9670	0,7577	0,38521232
23	100,0000	1,8883	0,6910	0,36595247
24	100,0000	1,7826	0,6855	0,384559761
25	100,0000	1,6685	0,6252	0,374697932
26	100,0000	1,5617	0,5952	0,381102811
27	100,0000	1,4618	0,5476	0,374587707
28	100,0000	1,3799	0,5213	0,377761428
29	100,0000	1,2585	0,4837	0,384387469
30	100,0000	1,1679	0,4450	0,381074624
31	100,0000	1,0931	0,3881	0,355017727
32	100,0000	0,9707	0,3570	0,367812344
33	100,0000	0,8309	0,3142	0,378126327
34	100,0000	0,7246	0,2865	0,395470491
35	100,0000	0,6260	0,2407	0,384482361
36	100,0000	0,5208	0,2022	0,38818149
37	100,0000	0,4250	0,1601	0,376765626
38	100,0000	0,3162	0,1204	0,380814405
39	100,0000	0,2150	0,0838	0,389783399
40	100,0000	0,1101	0,0456	0,414129215
41	100,0000	0,1092	0,0449	0,410802465

Tablica 15: Pomiary charakterystyki amplitudowej układu różniczkującego $\nu = 1000Hz$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	1000,0000	4,2000	14,0000	3,333333106
2	1000,0000	3,9984	13,7760	3,445378419

3	1000, 0000	3, 9024	13, 4454	3, 445377796
4	1000, 0000	3, 8400	13, 1227	3, 417365226
5	1000, 0000	3, 7171	12, 7028	3, 417366126
6	1000, 0000	3, 5982	12, 3979	3, 445608842
7	1000, 0000	3, 5406	12, 0012	3, 389585027
8	1000, 0000	3, 3990	11, 7131	3, 446078267
9	1000, 0000	3, 3174	11, 3383	3, 417833689
10	1000, 0000	3, 1847	10, 9755	3, 446315013
11	1000, 0000	3, 1083	10, 6243	3, 418065975
12	1000, 0000	3, 0088	10, 2843	3, 418068605
13	1000, 0000	2, 9125	9, 8729	3, 389820963
14	1000, 0000	2, 8426	9, 3990	3, 306461753
15	1000, 0000	2, 7517	9, 0983	3, 306461671
16	1000, 0000	2, 6196	8, 8071	3, 362032787
17	1000, 0000	2, 5148	8, 4548	3, 362033603
18	1000, 0000	2, 4142	8, 1166	3, 362035698
19	1000, 0000	2, 2790	7, 7270	3, 390523911
20	1000, 0000	2, 1878	7, 4180	3, 390522711
21	1000, 0000	2, 0828	7, 0619	3, 390522658
22	1000, 0000	1, 9662	6, 7229	3, 419254041
23	1000, 0000	1, 8718	6, 4002	3, 419256622
24	1000, 0000	1, 7670	6, 0418	3, 41925245
25	1000, 0000	1, 6822	5, 7035	3, 390514275
26	1000, 0000	1, 5745	5, 3384	3, 390512849
27	1000, 0000	1, 4738	5, 0395	3, 419493241
28	1000, 0000	1, 3676	4, 6363	3, 390014587
29	1000, 0000	1, 2692	4, 2654	3, 360789465
30	1000, 0000	1, 1676	3, 9242	3, 360789302
31	1000, 0000	1, 0836	3, 5789	3, 302847428
32	1000, 0000	0, 9709	3, 2639	3, 361825743
33	1000, 0000	0, 8311	2, 8984	3, 487496895
34	1000, 0000	0, 7313	2, 5274	3, 455784579
35	1000, 0000	0, 6260	2, 1837	3, 488087618
36	1000, 0000	0, 5309	1, 8343	3, 455184757
37	1000, 0000	0, 4289	1, 4674	3, 420963404
38	1000, 0000	0, 3157	1, 0918	3, 458159591
39	1000, 0000	0, 2147	0, 7511	3, 49883344
40	1000, 0000	0, 1116	0, 3605	3, 229672845
41	1000, 0000	0, 1107	0, 3634	3, 281722982

Tablica 16: Pomiary charakterystyki amplitudowej układu różniczkującego $\nu = 10000\text{Hz}$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10000, 0000	4, 6000	25, 3440	5, 509565145
2	10000, 0000	4, 0480	25, 0000	6, 175890015
3	10000, 0000	3, 9185	25, 0000	6, 380051146
4	10000, 0000	3, 8244	25, 0000	6, 536935808
5	10000, 0000	3, 7326	25, 0000	6, 751264739
6	10000, 0000	3, 6729	25, 0000	6, 806587312
7	10000, 0000	3, 4966	25, 0000	7, 149772189
8	10000, 0000	3, 4407	25, 0000	7, 266029215
9	10000, 0000	3, 3306	25, 0000	7, 506226495
10	10000, 0000	3, 2240	25, 0000	7, 754362575
11	10000, 0000	3, 1208	24, 8000	7, 946623591
12	10000, 0000	3, 0459	24, 8000	8, 142038568

13	10000,0000	2, 9485	24, 9984	8, 478487629
14	10000,0000	2, 8305	24, 7984	8, 761106022
15	10000,0000	2, 7173	24, 7984	9, 126158416
16	10000,0000	2, 6303	24, 7984	9, 427848366
17	10000,0000	2, 5462	24, 7984	9, 739518407
18	10000,0000	2, 4239	24, 7984	10, 23058493
19	10000,0000	2, 2688	24, 6000	10, 84266689
20	10000,0000	2, 1781	24, 6000	11, 29445624
21	10000,0000	2, 0735	24, 6000	11, 86393841
22	10000,0000	1, 9906	24, 6000	12, 35825769
23	10000,0000	1, 8791	24, 6000	13, 09136945
24	10000,0000	1, 7588	24, 4032	13, 87459807
25	10000,0000	1, 6744	24, 4032	14, 57417686
26	10000,0000	1, 5673	24, 4032	15, 57070878
27	10000,0000	1, 4544	24, 4032	16, 77880611
28	10000,0000	1, 3730	24, 4032	17, 77413478
29	10000,0000	1, 2521	24, 2080	19, 3332413
30	10000,0000	1, 1620	24, 4017	20, 99988551
31	10000,0000	1, 0690	24, 2065	22, 64336818
32	10000,0000	0, 9579	24, 0128	25, 06945831
33	10000,0000	0, 8046	23, 8207	29, 60586622
34	10000,0000	0, 6887	23, 6301	34, 30956359
35	10000,0000	0, 5896	23, 4411	39, 76051912
36	10000,0000	0, 4858	23, 2536	47, 86721013
37	10000,0000	0, 3575	23, 0675	64, 51645018
38	10000,0000	0, 2345	22, 5139	95, 98790777
39	10000,0000	0, 1726	14, 5890	84, 51093656
40	10000,0000	0, 0981	6, 5359	66, 65604688
41	10000,0000	0, 0949	6, 1176	64, 45176257

Tablica 17: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 0,5V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,00	0,43	0,05	0,13
2	15,85	0,48	0,06	0,13
3	25,12	0,50	0,07	0,14
4	39,81	0,52	0,09	0,18
5	63,10	0,52	0,13	0,26
6	100,00	0,52	0,20	0,39
7	158,49	0,53	0,30	0,56
8	251,19	0,52	0,46	0,87
9	398,11	0,53	0,71	1,35
10	630,96	0,52	1,13	2,16
11	1000,00	0,53	1,83	3,46
12	1000,00	0,53	2,00	3,79
13	1079,78	0,52	1,95	3,73
14	1165,91	0,53	2,09	3,96
15	1258,93	0,52	2,28	4,35
16	1359,36	0,53	2,44	4,62
17	1467,80	0,52	2,66	5,07
18	1584,89	0,52	2,85	5,45
19	1584,89	0,53	2,89	5,47
20	1711,33	0,52	3,14	6,00
21	1847,85	0,53	3,37	6,38
22	1995,26	0,52	3,61	6,90

23	2154, 43	0, 52	3, 93	7, 51
24	2326, 31	0, 53	4, 24	8, 04
25	2511, 89	0, 52	4, 62	8, 82
26	2511, 89	0, 52	4, 59	8, 76
27	2712, 27	0, 53	4, 99	9, 45
28	2928, 64	0, 53	5, 47	10, 27
29	3162, 28	0, 53	6, 03	11, 34
30	3414, 55	0, 53	6, 47	12, 16
31	3686, 95	0, 53	6, 99	13, 13
32	3981, 07	0, 53	7, 66	14, 39
33	3981, 07	0, 53	8, 00	15, 04
34	4298, 66	0, 53	8, 33	15, 66
35	4641, 59	0, 53	9, 20	17, 43
36	5011, 87	0, 53	10, 08	19, 10
37	5411, 70	0, 52	11, 53	22, 03
38	5843, 41	0, 52	12, 64	24, 14
39	6309, 57	0, 52	13, 95	26, 87
40	6309, 57	0, 52	14, 00	26, 96
41	6812, 92	0, 51	16, 08	31, 46
42	7356, 42	0, 51	18, 90	36, 99
43	7943, 28	0, 40	27, 37	69, 03
44	8576, 96	0, 43	26, 80	62, 57
45	9261, 19	0, 46	25, 40	54, 91
46	10000, 00	0, 47	23, 20	48, 98
47	10000, 00	0, 48	23, 40	48, 57
48	10797, 75	0, 48	21, 34	44, 70
49	11659, 14	0, 49	19, 64	40, 48
50	12589, 25	0, 49	18, 22	37, 27
51	13593, 56	0, 50	16, 76	33, 75
52	14677, 99	0, 50	15, 16	30, 26
53	15848, 93	0, 51	13, 94	27, 19
54	15848, 93	0, 50	14, 04	27, 80
55	17113, 28	0, 52	12, 83	24, 82
56	18478, 50	0, 53	12, 01	22, 86
57	19952, 62	0, 52	10, 95	21, 02
58	21544, 35	0, 53	10, 34	19, 68
59	23263, 05	0, 52	9, 43	18, 10
60	25118, 86	0, 52	8, 37	16, 20
61	25118, 86	0, 52	8, 65	16, 73
62	27122, 73	0, 53	7, 77	14, 80
63	29286, 45	0, 53	7, 21	13, 51
64	31622, 78	0, 52	6, 63	12, 64
65	34145, 49	0, 53	6, 10	11, 44
66	36869, 45	0, 53	5, 66	10, 70
67	39810, 72	0, 53	5, 25	9, 85
68	39810, 72	0, 53	5, 26	9, 93
69	42986, 62	0, 53	4, 88	9, 22
70	46415, 89	0, 53	4, 49	8, 41
71	50118, 72	0, 53	4, 16	7, 81
72	54116, 95	0, 54	3, 83	7, 13
73	58434, 14	0, 53	3, 55	6, 72
74	63095, 73	0, 53	3, 33	6, 24
75	63095, 73	0, 53	3, 37	6, 41
76	68129, 21	0, 53	3, 06	5, 74
77	73564, 23	0, 53	2, 84	5, 37
78	79432, 82	0, 53	2, 61	4, 94
79	85769, 59	0, 53	2, 47	4, 66
80	92611, 87	0, 54	2, 25	4, 19
81	100000, 00	0, 53	2, 09	3, 95

82	100000, 00	0, 53	2, 07	3, 92
83	158489, 32	0, 55	1, 36	2, 49
84	251188, 64	0, 53	0, 86	1, 61
85	398107, 17	0, 53	0, 52	0, 99
86	630957, 34	0, 53	0, 33	0, 63
87	1000000, 00	0, 53	0, 21	0, 40

Tablica 18: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 1,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10, 00	0, 88	0, 11	0, 13
2	15, 85	0, 95	0, 12	0, 13
3	25, 12	0, 99	0, 14	0, 14
4	39, 81	1, 02	0, 18	0, 17
5	63, 10	1, 07	0, 27	0, 25
6	100, 00	1, 08	0, 40	0, 37
7	158, 49	1, 08	0, 60	0, 55
8	251, 19	1, 09	0, 91	0, 84
9	398, 11	1, 09	1, 42	1, 30
10	630, 96	1, 07	2, 29	2, 14
11	1000, 00	1, 09	3, 58	3, 28
12	1000, 00	1, 08	3, 60	3, 32
13	1122, 02	1, 08	4, 03	3, 75
14	1258, 93	1, 07	4, 55	4, 26
15	1412, 54	1, 07	5, 09	4, 77
16	1584, 89	1, 09	5, 70	5, 23
17	1584, 89	1, 07	5, 71	5, 34
18	1778, 28	1, 07	6, 39	5, 99
19	1995, 26	1, 08	7, 21	6, 70
20	2238, 72	1, 07	8, 13	7, 62
21	2511, 89	1, 08	9, 17	8, 52
22	2511, 89	1, 07	9, 12	8, 50
23	2818, 38	1, 08	10, 27	9, 55
24	3162, 28	1, 10	12, 33	11, 19
25	3548, 13	1, 11	13, 61	12, 25
26	3981, 07	1, 10	15, 46	14, 03
27	3981, 07	1, 10	15, 60	14, 21
28	4466, 84	1, 09	17, 68	16, 18
29	5011, 87	1, 08	20, 80	19, 34
30	5623, 41	1, 08	24, 96	23, 02
31	6309, 57	0, 89	27, 55	30, 84
32	6309, 57	0, 89	27, 40	30, 88
33	7079, 46	0, 91	27, 40	30, 19
34	7943, 28	0, 95	27, 60	29, 02
35	8912, 51	0, 99	26, 60	26, 89
36	10000, 00	1, 00	24, 20	24, 08
37	10000, 00	1, 00	23, 80	23, 78
38	11220, 18	1, 07	21, 30	19, 92
39	12589, 25	1, 08	19, 25	17, 86
40	14125, 38	1, 09	16, 94	15, 59
41	15848, 93	1, 08	15, 04	13, 96
42	15848, 93	1, 10	14, 85	13, 54
43	17782, 79	1, 09	13, 36	12, 30
44	19952, 62	1, 10	11, 97	10, 93
45	22387, 21	1, 08	10, 72	9, 95

46	25118, 86	1, 09	9, 52	8, 77
47	25118, 86	1, 11	9, 50	8, 60
48	28183, 83	1, 09	8, 23	7, 52
49	31622, 78	1, 10	7, 37	6, 68
50	35481, 34	1, 10	6, 66	6, 04
51	39810, 72	1, 09	5, 81	5, 31
52	39810, 72	1, 11	5, 85	5, 29
53	44668, 36	1, 11	5, 25	4, 72
54	50118, 72	1, 10	4, 67	4, 23
55	56234, 13	1, 10	4, 14	3, 75
56	63095, 73	1, 09	3, 75	3, 42
57	63095, 73	1, 11	3, 79	3, 43
58	70794, 58	1, 10	3, 33	3, 01
59	79432, 82	1, 10	2, 93	2, 65
60	89125, 09	1, 10	2, 67	2, 42
61	100000, 00	1, 09	2, 39	2, 20
62	100000, 00	1, 09	2, 37	2, 18
63	158489, 32	1, 10	1, 50	1, 36
64	251188, 64	1, 12	0, 97	0, 86
65	398107, 17	1, 11	0, 58	0, 53
66	630957, 34	1, 10	0, 38	0, 34
67	1000000, 00	1, 11	0, 25	0, 22

Tablica 19: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 2,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10, 00	1, 71	0, 21	0, 12
2	15, 85	1, 88	0, 27	0, 14
3	25, 12	2, 01	0, 27	0, 14
4	39, 81	2, 04	0, 36	0, 18
5	63, 10	2, 07	0, 53	0, 26
6	100, 00	2, 07	0, 80	0, 38
7	158, 49	2, 07	1, 17	0, 57
8	251, 19	2, 07	1, 85	0, 89
9	398, 11	2, 09	2, 85	1, 37
10	630, 96	2, 09	4, 52	2, 17
11	1000, 00	2, 09	7, 02	3, 36
12	1000, 00	2, 08	7, 20	3, 47
13	1122, 02	2, 08	7, 95	3, 83
14	1258, 93	2, 08	8, 84	4, 26
15	1412, 54	2, 08	9, 97	4, 80
16	1584, 89	2, 07	11, 11	5, 37
17	1584, 89	2, 08	11, 09	5, 34
18	1778, 28	2, 08	12, 60	6, 06
19	1995, 26	2, 08	14, 31	6, 89
20	2238, 72	2, 08	16, 14	7, 77
21	2511, 89	2, 06	17, 95	8, 71
22	2511, 89	2, 07	18, 14	8, 76
23	2818, 38	2, 06	20, 39	9, 90
24	3162, 28	2, 09	23, 32	11, 14
25	3548, 13	2, 09	26, 31	12, 57
26	3981, 07	1, 86	27, 80	14, 96
27	3981, 07	1, 89	27, 72	14, 68
28	4466, 84	1, 86	27, 80	14, 96
29	5011, 87	1, 87	27, 80	14, 84

30	5623, 41	1, 87	27, 60	14, 73
31	6309, 57	1, 90	27, 40	14, 39
32	6309, 57	1, 93	27, 60	14, 28
33	7079, 46	2, 01	27, 60	13, 73
34	7943, 28	2, 03	27, 40	13, 52
35	8912, 51	2, 06	27, 00	13, 12
36	10000, 00	2, 06	24, 60	11, 95
37	10000, 00	2, 07	24, 60	11, 87
38	11220, 18	2, 08	22, 04	10, 62
39	12589, 25	2, 08	19, 57	9, 43
40	14125, 38	2, 09	17, 54	8, 38
41	15848, 93	2, 09	15, 71	7, 51
42	15848, 93	2, 07	15, 74	7, 60
43	17782, 79	2, 09	13, 83	6, 61
44	19952, 62	2, 09	12, 17	5, 82
45	22387, 21	2, 07	11, 10	5, 35
46	25118, 86	2, 07	9, 85	4, 75
47	25118, 86	2, 07	9, 70	4, 68
48	28183, 83	2, 07	8, 59	4, 14
49	31622, 78	2, 07	7, 70	3, 71
50	35481, 34	2, 09	6, 96	3, 33
51	39810, 72	2, 06	6, 07	2, 95
52	39810, 72	2, 12	6, 21	2, 93
53	44668, 36	2, 07	5, 49	2, 64
54	50118, 72	2, 09	4, 92	2, 35
55	56234, 13	2, 09	4, 37	2, 09
56	63095, 73	2, 07	3, 88	1, 87
57	63095, 73	2, 09	3, 97	1, 90
58	70794, 58	2, 09	3, 50	1, 68
59	79432, 82	2, 11	3, 11	1, 48
60	89125, 09	2, 11	2, 79	1, 32
61	100000, 00	2, 06	2, 48	1, 20
62	100000, 00	2, 10	2, 51	1, 19
63	158489, 32	2, 09	1, 61	0, 77
64	251188, 64	2, 09	1, 02	0, 49
65	398107, 17	2, 10	0, 67	0, 32
66	630957, 34	2, 10	0, 39	0, 18
67	1000000, 00	2, 09	0, 28	0, 14

Tablica 20: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 3,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10, 00	3, 07	0, 33	0, 11
2	15, 85	2, 85	0, 39	0, 14
3	25, 12	2, 96	0, 42	0, 14
4	39, 81	3, 06	0, 51	0, 17
5	63, 10	3, 08	0, 80	0, 26
6	100, 00	3, 11	1, 19	0, 38
7	158, 49	3, 11	1, 80	0, 58
8	251, 19	3, 11	2, 72	0, 88
9	398, 11	3, 11	4, 29	1, 38
10	630, 96	3, 11	6, 73	2, 17
11	1000, 00	3, 11	10, 45	3, 36
12	1000, 00	3, 10	10, 60	3, 42
13	1122, 02	3, 12	11, 87	3, 80

14	1258,93	3,10	13,39	4,32
15	1412,54	3,12	15,00	4,80
16	1584,89	3,13	16,88	5,39
17	1584,89	3,10	16,92	5,46
18	1778,28	3,12	18,81	6,03
19	1995,26	3,10	21,22	6,85
20	2238,72	3,07	23,60	7,68
21	2511,89	3,10	26,05	8,41
22	2511,89	3,08	26,34	8,54
23	2818,38	3,15	27,00	8,58
24	3162,28	2,94	27,60	9,37
25	3548,13	2,92	27,60	9,45
26	3981,07	2,90	27,80	9,59
27	3981,07	2,91	27,60	9,48
28	4466,84	2,90	27,60	9,52
29	5011,87	2,90	27,80	9,59
30	5623,41	2,97	27,60	9,30
31	6309,57	2,99	27,40	9,16
32	6309,57	3,00	27,60	9,19
33	7079,46	3,04	27,60	9,08
34	7943,28	3,11	27,40	8,80
35	8912,51	3,14	27,00	8,61
36	10000,00	3,11	25,00	8,03
37	10000,00	3,10	25,00	8,06
38	11220,18	3,11	22,40	7,20
39	12589,25	3,09	19,53	6,33
40	14125,38	3,14	17,66	5,63
41	15848,93	3,14	15,68	5,00
42	15848,93	3,10	15,80	5,10
43	17782,79	3,14	14,17	4,52
44	19952,62	3,11	12,47	4,01
45	22387,21	3,14	11,28	3,60
46	25118,86	3,11	10,01	3,22
47	25118,86	3,13	10,11	3,24
48	28183,83	3,14	9,05	2,89
49	31622,78	3,16	7,82	2,47
50	35481,34	3,11	7,01	2,25
51	39810,72	3,11	6,28	2,02
52	39810,72	3,18	6,63	2,09
53	44668,36	3,14	5,53	1,76
54	50118,72	3,16	4,99	1,58
55	56234,13	3,14	4,48	1,43
56	63095,73	3,19	3,94	1,24
57	63095,73	3,12	3,98	1,27
58	70794,58	3,13	3,59	1,15
59	79432,82	3,13	3,13	1,00
60	89125,09	3,13	2,81	0,90
61	100000,00	3,13	2,54	0,81
62	100000,00	3,15	2,48	0,79
63	158489,32	3,15	1,61	0,51
64	251188,64	3,15	1,03	0,33
65	398107,17	3,17	0,67	0,21
66	630957,34	3,17	0,41	0,13
67	1000000,00	3,17	0,33	0,10

Tablica 21: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej układu różniczkującego $U_{we} = 4,0V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	wzmocnienie $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,00	3,36	0,45	0,13
2	15,85	3,76	0,50	0,13
3	25,12	3,97	0,56	0,14
4	39,81	4,04	0,75	0,19
5	63,10	4,10	1,05	0,26
6	100,00	4,10	1,55	0,38
7	158,49	4,10	2,38	0,58
8	251,19	4,10	3,61	0,88
9	398,11	4,13	5,65	1,37
10	630,96	4,10	8,96	2,18
11	1000,00	4,10	13,90	3,39
12	1000,00	4,13	14,00	3,39
13	1122,02	4,13	15,90	3,85
14	1258,93	4,13	17,69	4,28
15	1412,54	4,13	19,95	4,83
16	1584,89	4,13	22,24	5,38
17	1584,89	4,13	22,18	5,37
18	1778,28	4,13	25,02	6,05
19	1995,26	4,13	27,00	6,53
20	2238,72	4,17	27,00	6,48
21	2511,89	3,90	27,20	6,98
22	2511,89	3,87	27,22	7,03
23	2818,38	3,87	27,00	6,98
24	3162,28	3,93	27,60	7,02
25	3548,13	3,93	27,60	7,02
26	3981,07	3,90	27,60	7,08
27	3981,07	3,93	27,60	7,02
28	4466,84	3,87	27,80	7,19
29	5011,87	3,93	27,60	7,02
30	5623,41	3,96	27,60	6,97
31	6309,57	4,02	27,40	6,81
32	6309,57	3,99	27,40	6,86
33	7079,46	4,06	27,60	6,80
34	7943,28	4,12	27,20	6,60
35	8912,51	4,12	27,40	6,65
36	10000,00	4,12	25,00	6,07
37	10000,00	4,12	25,20	6,11
38	11220,18	4,12	22,20	5,39
39	12589,25	4,12	19,89	4,83
40	14125,38	4,15	17,66	4,25
41	15848,93	4,12	16,11	3,91
42	15848,93	4,12	15,80	3,83
43	17782,79	4,15	14,18	3,41
44	19952,62	4,12	12,70	3,08
45	22387,21	4,09	11,18	2,73
46	25118,86	4,15	10,10	2,43
47	25118,86	4,12	10,11	2,45
48	28183,83	4,12	9,05	2,20
49	31622,78	4,12	7,97	1,93
50	35481,34	4,15	7,07	1,70
51	39810,72	4,15	6,34	1,53
52	39810,72	4,12	6,47	1,57
53	44668,36	4,12	5,58	1,35
54	50118,72	4,12	5,13	1,25
55	56234,13	4,12	4,48	1,09

56	63095, 73	4, 12	3, 97	0, 96
57	63095, 73	4, 12	3, 99	0, 97
58	70794, 58	4, 12	3, 59	0, 87
59	79432, 82	4, 15	3, 16	0, 76
60	89125, 09	4, 15	2, 83	0, 68
61	100000, 00	4, 15	2, 56	0, 62
62	100000, 00	4, 12	2, 55	0, 62
63	158489, 32	4, 16	1, 61	0, 39
64	251188, 64	4, 12	1, 03	0, 25
65	398107, 17	4, 12	0, 69	0, 17
66	630957, 34	4, 16	0, 43	0, 10
67	1000000, 00	4, 16	0, 38	0, 09

6.3 filtr górnoprzepustowy RC

6.3.1 pomiary automatyczne

Tablica 22: Pomiary charakterystyki częstotliwościowej filtra górnoprzepustowego RC $U_{we} = 2V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	transmitancja $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,0000	1,7072	0,0768	0,0450
2	10,0000	1,7072	0,0704	0,0412
3	10,0000	1,7072	0,0640	0,0375
4	11,6591	1,7755	0,0845	0,0476
5	12,1153	1,8028	0,0872	0,0484
6	12,9155	1,8165	0,0947	0,0521
7	13,5936	1,8323	0,0980	0,0535
8	14,6780	1,8605	0,1047	0,0563
9	15,8489	1,9056	0,1160	0,0609
10	16,6810	1,9037	0,1220	0,0641
11	17,7828	1,9200	0,1265	0,0659
12	18,4785	1,9361	0,1327	0,0686
13	21,5443	1,9815	0,1568	0,0791
14	21,5443	1,9671	0,1582	0,0804
15	21,5443	1,9646	0,1542	0,0785
16	25,1189	1,9985	0,1759	0,0880
17	26,1016	1,9973	0,1819	0,0911
18	27,8256	2,0117	0,1937	0,0963
19	29,2864	1,9985	0,2069	0,1035
20	31,6228	2,0133	0,2212	0,1099
21	34,1455	2,0305	0,2367	0,1166
22	35,9381	2,0278	0,2526	0,1246
23	38,3119	2,0294	0,2655	0,1308
24	39,8107	2,0468	0,2765	0,1351
25	46,4159	2,0619	0,3207	0,1555
26	46,4159	2,0468	0,3229	0,1578
27	46,4159	2,0603	0,3273	0,1589
28	54,1170	2,0468	0,3849	0,1881
29	56,2341	2,0784	0,3822	0,1839
30	59,9484	2,0603	0,4164	0,2021
31	63,0957	2,0631	0,4311	0,2090
32	68,1292	2,0784	0,4648	0,2236
33	73,5642	2,0466	0,4966	0,2427
34	77,4264	2,0603	0,5196	0,2522
35	82,5404	2,0784	0,5466	0,2630
36	85,7696	2,0630	0,5681	0,2754
37	100,0000	2,0950	0,6647	0,3173
38	100,0000	2,0630	0,6545	0,3173
39	100,0000	2,0603	0,6610	0,3208
40	116,5914	2,0630	0,7540	0,3655
41	121,1528	2,0782	0,7763	0,3736
42	129,1550	2,0603	0,8196	0,3978
43	135,9356	2,0795	0,8505	0,4090
44	146,7799	2,0782	0,9130	0,4393
45	158,4893	2,0629	0,9594	0,4651
46	166,8101	2,0603	1,0032	0,4869
47	177,8279	2,0616	1,0444	0,5066
48	184,7850	2,0464	1,0745	0,5251
49	215,4435	2,0616	1,2283	0,5958
50	215,4435	2,0627	1,2378	0,6001
51	215,4435	2,0603	1,2199	0,5921

52	251, 1886	2,0627	1, 3566	0, 6577
53	261, 0157	2,0616	1, 3757	0, 6673
54	278, 2559	2,0603	1, 4248	0, 6916
55	292, 8645	2,0462	1, 4652	0, 7160
56	316, 2278	2,0616	1, 5077	0, 7313
57	341, 4549	2,0462	1, 5589	0, 7619
58	359, 3814	2,0603	1, 6186	0, 7856
59	383, 1187	2,0616	1, 6404	0, 7957
60	398, 1072	2,0626	1, 6587	0, 8042
61	464, 1589	2,0616	1, 7585	0, 8530
62	464, 1589	2,0603	1, 7610	0, 8548
63	464, 1589	2,0461	1, 7516	0, 8561
64	541, 1695	2,0788	1, 8076	0, 8695
65	562, 3413	2,0616	1, 8288	0, 8871
66	599, 4843	2,0603	1, 8596	0, 9026
67	630, 9573	2,0622	1, 8655	0, 9046
68	681, 2921	2,0616	1, 8874	0, 9155
69	735, 6423	2,0622	1, 9103	0, 9263
70	774, 2637	2,0603	1, 9340	0, 9387
71	825, 4042	2,0616	1, 9478	0, 9448
72	857, 6959	2,0457	1, 9561	0, 9562
73	1000, 0000	2,0616	1, 9633	0, 9523
74	1000, 0000	2,0621	1, 9561	0, 9486
75	1000, 0000	2,0603	1, 9650	0, 9538
76	1165, 9144	2,0456	1, 9874	0, 9716
77	1211, 5277	2,0616	1, 9948	0, 9676
78	1291, 5497	2,0603	2, 0121	0, 9766
79	1359, 3564	2,0620	2, 0192	0, 9793
80	1467, 7993	2,0616	2, 0107	0, 9753
81	1584, 8932	2,0620	2, 0192	0, 9793
82	1668, 1005	2,0603	2, 0282	0, 9845
83	1778, 2794	2,0616	2, 0429	0, 9909
84	1847, 8498	2,0455	2, 0192	0, 9872
85	2154, 4347	2,0603	2, 0445	0, 9923
86	2154, 4347	2,0616	2, 0429	0, 9909
87	2154, 4347	2,0618	2, 0353	0, 9872
88	2511, 8864	2,0618	2, 0354	0, 9872
89	2610, 1572	2,0616	2, 0592	0, 9988
90	2782, 5594	2,0603	2, 0445	0, 9923
91	2928, 6446	2,0783	2, 0679	0, 9950
92	3162, 2777	2,0946	2, 0757	0, 9910
93	3414, 5489	2,1116	2, 0845	0, 9872
94	3593, 8137	2,0932	2, 0608	0, 9845
95	3831, 1868	2,0946	2, 0757	0, 9910
96	3981, 0717	2,0778	2, 0678	0, 9952
97	4641, 5888	2,0765	2, 0773	1, 0004
98	4641, 5888	2,0946	2, 0591	0, 9831
99	4641, 5888	2,0778	2, 0843	1, 0031
100	5411, 6953	2,0944	2, 0677	0, 9872
101	5623, 4133	2,0611	2, 0756	1, 0070
102	5994, 8425	2,0931	2, 0773	0, 9925
103	6309, 5734	2,0777	2, 0677	0, 9952
104	6812, 9207	2,0941	2, 0590	0, 9832
105	7356, 4225	2,0777	2, 0842	1, 0031
106	7742, 6368	2,0763	2, 0773	1, 0005
107	8254, 0419	2,0773	2, 0919	1, 0070
108	8576, 9590	2,0777	2, 0675	0, 9951
109	10000, 0000	2,0939	2, 0919	0, 9990
110	10000, 0000	2,0763	2, 0607	0, 9925

111	10000,0000	2,0943	2,0510	0,9793
112	12115,2766	2,0939	2,0919	0,9990
113	14677,9927	2,0772	2,0752	0,9990
114	17782,7941	2,0772	2,0586	0,9910
115	21544,3469	2,0772	2,0750	0,9990
116	26101,5722	2,0772	2,0751	0,9990
117	31622,7766	2,0772	2,0584	0,9910
118	38311,8685	2,0772	2,0749	0,9989
119	46415,8883	2,0772	2,0749	0,9989
120	56234,1325	2,0772	2,0749	0,9989
121	68129,2069	2,0938	2,0749	0,9910
122	82540,4185	2,0770	2,0749	0,9990
123	100000,0000	2,0937	2,0749	0,9911
124	121152,7659	2,0937	2,0749	0,9911
125	146779,9268	2,0937	2,1081	1,0069
126	177827,9410	2,0937	2,0913	0,9989
127	215443,4690	2,0937	2,1080	1,0068
128	261015,7216	2,0937	2,1080	1,0068
129	316227,7660	2,0769	2,1080	1,0150
130	383118,6850	2,0935	2,0743	0,9908
131	464158,8834	2,0935	2,0908	0,9987
132	562341,3252	2,0935	2,0908	0,9987
133	681292,0691	2,0600	2,0908	1,0150
134	825404,1853	2,0930	2,0908	0,9990
135	1000000,0000	2,0930	2,1243	1,0150

Tablica 23: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej filtra górnoprzepustowego RC $U_{we} = 3V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	transmitancja $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,0000	2,5600	0,1344	0,0525
2	10,0000	2,5600	0,1344	0,0525
3	12,3285	2,7034	0,1215	0,0449
4	12,9155	2,7034	0,1322	0,0489
5	15,1991	2,8115	0,1555	0,0553
6	16,6810	2,8547	0,1650	0,0578
7	18,7382	2,9240	0,1904	0,0651
8	21,5443	2,9461	0,2271	0,0771
9	23,1013	2,9707	0,2360	0,0795
10	27,8256	2,9932	0,2853	0,0953
11	28,4804	2,9945	0,2946	0,0984
12	35,1119	3,0424	0,3629	0,1193
13	35,9381	3,0411	0,3697	0,1216
14	43,2876	3,0668	0,4413	0,1439
15	46,4159	3,0655	0,4762	0,1553
16	53,3670	3,0422	0,5437	0,1787
17	59,9484	3,0900	0,5981	0,1935
18	65,7933	3,0666	0,6785	0,2213
19	77,4264	3,0900	0,7799	0,2524
20	81,1131	3,0911	0,8088	0,2617
21	100,0000	3,0911	0,9706	0,3140
22	100,0000	3,1147	0,9733	0,3125
23	100,0000	3,1008	1,0176	0,3282
24	100,0000	3,0976	1,0080	0,3254
25	114,5048	3,0976	1,1370	0,3671
26	119,3777	3,0760	1,1886	0,3864
27	123,2847	3,0911	1,1569	0,3743

28	129, 1550	3, 0898	1, 2068	0, 3906
29	131, 1134	3, 1224	1, 2735	0, 4079
30	142, 5103	3, 1006	1, 3597	0, 4385
31	150, 1311	3, 0974	1, 4161	0, 4572
32	151, 9911	3, 0911	1, 4253	0, 4611
33	166, 8101	3, 0898	1, 5254	0, 4937
34	170, 1254	3, 0758	1, 5664	0, 5093
35	171, 9072	3, 0974	1, 5747	0, 5084
36	187, 3817	3, 0664	1, 6648	0, 5429
37	196, 8419	3, 1222	1, 7259	0, 5528
38	203, 0918	3, 1004	1, 7669	0, 5699
39	215, 4435	3, 0898	1, 8183	0, 5885
40	225, 3934	3, 0722	1, 8778	0, 6112
41	231, 0130	3, 0909	1, 9045	0, 6162
42	242, 4462	3, 1004	1, 9506	0, 6292
43	258, 0862	3, 0968	2, 0280	0, 6549
44	278, 2559	3, 0898	2, 1093	0, 6827
45	284, 8036	3, 0662	2, 1483	0, 7007
46	289, 4266	3, 1004	2, 1535	0, 6946
47	295, 5209	3, 0720	2, 1740	0, 7077
48	338, 3855	3, 0966	2, 3131	0, 7470
49	345, 5107	3, 1004	2, 3430	0, 7557
50	351, 1192	3, 0907	2, 3546	0, 7618
51	359, 3814	3, 0651	2, 3624	0, 7707
52	387, 4675	3, 0718	2, 4241	0, 7892
53	412, 4626	3, 0756	2, 4930	0, 8106
54	432, 8761	3, 0660	2, 5241	0, 8233
55	443, 6687	3, 0964	2, 5405	0, 8205
56	464, 1589	3, 0896	2, 5892	0, 8380
57	492, 3883	3, 1002	2, 6126	0, 8427
58	508, 0218	3, 0716	2, 6828	0, 8734
59	533, 6699	3, 0905	2, 7058	0, 8755
60	581, 7091	3, 0962	2, 7472	0, 8873
61	587, 8016	3, 0754	2, 7380	0, 8903
62	599, 4843	3, 0896	2, 7549	0, 8917
63	657, 9332	3, 0658	2, 8141	0, 9179
64	666, 0846	3, 0962	2, 8131	0, 9086
65	701, 7038	3, 1000	2, 8475	0, 9186
66	762, 6986	3, 0714	2, 8806	0, 9379
67	774, 2637	3, 0896	2, 8651	0, 9273
68	811, 1308	3, 0658	2, 9041	0, 9473
69	837, 6776	3, 0752	2, 9159	0, 9482
70	873, 3262	3, 0714	2, 9267	0, 9529
71	1000, 0000	3, 0960	2, 9267	0, 9453
72	1000, 0000	3, 0658	2, 9506	0, 9624
73	1000, 0000	3, 0649	2, 9567	0, 9647
74	1000, 0000	3, 0752	2, 9392	0, 9558
75	1145, 0476	3, 0712	2, 9735	0, 9682
76	1193, 7766	3, 0998	2, 9862	0, 9634
77	1291, 5497	3, 0894	3, 0041	0, 9724
78	1311, 1339	3, 0712	3, 0211	0, 9837
79	1425, 1027	3, 0750	3, 0340	0, 9867
80	1501, 3107	3, 0712	2, 9969	0, 9758
81	1668, 1005	3, 0647	3, 0281	0, 9881
82	1701, 2543	3, 0504	3, 0340	0, 9946
83	1719, 0722	3, 0712	3, 0449	0, 9914
84	1968, 4194	3, 0958	3, 0449	0, 9835
85	2030, 9176	3, 0748	3, 0583	0, 9946
86	2154, 4347	3, 0892	3, 0765	0, 9959

87	2253,9339	3,0710	3,0449	0,9915
88	2424,4620	3,0994	3,0583	0,9867
89	2580,8615	3,0956	3,0692	0,9915
90	2782,5594	3,0645	3,0765	1,0039
91	2894,2661	3,1242	3,1072	0,9946
92	2955,2092	3,1204	3,0938	0,9915
93	3383,8552	3,1453	3,0938	0,9836
94	3455,1073	3,1492	3,0575	0,9709
95	3593,8137	3,1135	3,1504	1,0118
96	3874,6751	3,1202	3,0938	0,9915
97	4124,6264	3,1492	3,1064	0,9864
98	4436,6873	3,1451	3,0938	0,9837
99	4641,5888	3,1135	3,1000	0,9957
100	4923,8826	3,1492	3,0816	0,9785
101	5080,2180	3,1200	3,1185	0,9995
102	5817,0913	3,1200	3,1435	1,0075
103	5878,0161	3,1492	3,0816	0,9785
104	5994,8425	3,1135	3,1000	0,9957
105	6660,8463	3,1449	3,0681	0,9756
106	7017,0383	3,1492	3,1309	0,9942
107	7626,9859	3,1449	3,0926	0,9834
108	7742,6368	3,1384	3,1000	0,9877
109	8376,7764	3,1240	3,1058	0,9942
110	8733,2616	3,1449	3,0679	0,9755
111	10000,0000	3,1198	3,0679	0,9834
112	10000,0000	3,0882	3,1000	1,0038
113	10000,0000	3,1240	3,0810	0,9862
114	12915,4967	3,1376	3,1000	0,9880
115	16681,0054	3,1125	3,0752	0,9880
116	21544,3469	3,1125	3,0752	0,9880
117	27825,5940	3,1125	3,0998	0,9959
118	35938,1366	3,1125	3,0998	0,9959
119	46415,8883	3,1125	3,0998	0,9959
120	59948,4250	3,1374	3,1246	0,9959
121	77426,3683	3,1625	3,0996	0,9801
122	100000,0000	3,1119	3,0996	0,9960
123	129154,9665	3,1368	3,1244	0,9960
124	166810,0537	3,1368	3,1494	1,0040
125	215443,4690	3,1368	3,1242	0,9960
126	278255,9402	3,1619	3,1242	0,9881
127	359381,3664	3,1366	3,1492	1,0040
128	464158,8834	3,1366	3,1240	0,9960
129	599484,2503	3,1366	3,1490	1,0039
130	774263,6827	3,1617	3,1993	1,0119
131	1000000,0000	3,1364	3,1482	1,0037

Tablica 24: Pomiar charakterystyki częstotliwościowej filtra górnoprzepustowego RC $U_{we} = 4V$

Pomiar	częstotliwość [Hz]	U_{we}	U_{wy}	transmitancja $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	10,0000	3,3936	0,1536	0,0453
2	10,0000	3,3936	0,1568	0,0462
3	11,2202	3,5022	0,1392	0,0398
4	12,5893	3,5836	0,1647	0,0459
5	12,5893	3,6143	0,1571	0,0435
6	14,1254	3,6721	0,1847	0,0503

7	15, 8489	3, 7557	0, 2134	0, 0568
8	15, 8489	3, 7602	0, 2098	0, 0558
9	17, 7828	3, 8204	0, 2400	0, 0628
10	19, 9526	3, 8758	0, 2697	0, 0696
11	19, 9526	3, 8815	0, 2689	0, 0693
12	22, 3872	3, 9126	0, 3054	0, 0781
13	25, 1189	3, 9689	0, 3453	0, 0870
14	25, 1189	3, 9752	0, 3470	0, 0873
15	28, 1838	4, 0070	0, 3914	0, 0977
16	31, 6228	4, 0324	0, 4281	0, 1062
17	31, 6228	4, 0390	0, 4289	0, 1062
18	35, 4813	4, 0390	0, 4804	0, 1189
19	39, 8107	4, 0646	0, 5412	0, 1331
20	39, 8107	4, 0390	0, 5419	0, 1342
21	44, 6684	4, 0713	0, 6069	0, 1491
22	50, 1187	4, 0646	0, 6797	0, 1672
23	50, 1187	4, 1039	0, 6797	0, 1656
24	56, 2341	4, 1039	0, 7613	0, 1855
25	63, 0957	4, 0971	0, 8428	0, 2057
26	63, 0957	4, 1039	0, 8527	0, 2078
27	70, 7946	4, 1039	0, 9414	0, 2294
28	79, 4328	4, 0971	1, 0451	0, 2551
29	79, 4328	4, 1039	1, 0468	0, 2551
30	89, 1251	4, 1039	1, 2059	0, 2938
31	100, 0000	4, 0971	1, 3377	0, 3265
32	100, 0000	4, 1039	1, 3506	0, 3291
33	100, 0000	4, 1328	1, 3312	0, 3221
34	112, 2018	4, 1039	1, 4695	0, 3581
35	121, 1528	4, 1328	1, 5761	0, 3814
36	125, 8925	4, 1039	1, 6458	0, 4010
37	125, 8925	4, 0971	1, 6267	0, 3970
38	141, 2538	4, 1039	1, 7906	0, 4363
39	146, 7799	4, 1328	1, 8409	0, 4454
40	158, 4893	4, 0971	1, 9520	0, 4764
41	158, 4893	4, 1367	1, 9339	0, 4675
42	177, 8279	4, 1036	2, 1041	0, 5127
43	177, 8279	4, 1328	2, 1208	0, 5132
44	199, 5262	4, 1036	2, 3060	0, 5620
45	199, 5262	4, 0971	2, 2955	0, 5603
46	215, 4435	4, 1328	2, 4092	0, 5829
47	223, 8721	4, 1036	2, 4536	0, 5979
48	251, 1886	4, 1036	2, 6499	0, 6457
49	251, 1886	4, 0971	2, 6445	0, 6454
50	261, 0157	4, 1328	2, 6790	0, 6482
51	281, 8383	4, 1036	2, 8407	0, 6922
52	316, 2278	4, 1036	3, 0225	0, 7365
53	316, 2278	4, 0971	3, 0253	0, 7384
54	316, 2278	4, 1328	3, 0005	0, 7260
55	354, 8134	4, 1036	3, 1676	0, 7719
56	383, 1187	4, 1328	3, 2645	0, 7899
57	398, 1072	4, 1036	3, 2943	0, 8028
58	398, 1072	4, 0971	3, 2915	0, 8034
59	446, 6836	4, 1036	3, 4524	0, 8413
60	464, 1589	4, 0997	3, 4734	0, 8472
61	501, 1872	4, 1036	3, 5353	0, 8615
62	501, 1872	4, 0971	3, 5548	0, 8676
63	562, 3413	4, 1036	3, 6201	0, 8822
64	562, 3413	4, 0997	3, 6402	0, 8879
65	630, 9573	4, 1036	3, 7070	0, 9033

66	630,9573	4,0971	3,6970	0,9023
67	681,2921	4,0997	3,7275	0,9092
68	707,9458	4,1036	3,7367	0,9106
69	794,3282	4,1036	3,8263	0,9324
70	794,3282	4,0971	3,7857	0,9240
71	825,4042	4,0997	3,8468	0,9383
72	891,2509	4,1036	3,8570	0,9399
73	1000,0000	4,1036	3,9187	0,9549
74	1000,0000	4,0971	3,9372	0,9610
75	1000,0000	4,0997	3,9084	0,9533
76	1211,5277	4,0997	3,9709	0,9686
77	1258,9254	4,0971	3,9687	0,9686
78	1467,7993	4,0997	4,0027	0,9763
79	1584,8932	4,0971	4,0004	0,9764
80	1778,2794	4,0997	4,0027	0,9763
81	1995,2623	4,0971	4,0324	0,9842
82	2154,4347	4,1325	4,0347	0,9763
83	2511,8864	4,0644	4,0324	0,9921
84	2610,1572	4,0664	4,0347	0,9922
85	3162,2777	4,1294	4,1292	1,0000
86	3162,2777	4,1315	4,0992	0,9922
87	3831,1868	4,1315	4,0992	0,9922
88	3981,0717	4,1624	4,1292	0,9920
89	4641,5888	4,1315	4,1320	1,0001
90	5011,8723	4,1624	4,1292	0,9920
91	5623,4133	4,1315	4,0990	0,9921
92	6309,5734	4,1624	4,0962	0,9841
93	6812,9207	4,0984	4,1318	1,0081
94	7943,2823	4,1291	4,1289	1,0000
95	8254,0419	4,1312	4,1318	1,0001
96	10000,0000	4,1291	4,1289	1,0000
97	10000,0000	4,1312	4,1318	1,0001
98	12589,2541	4,0961	4,1289	1,0080
99	15848,9319	4,1616	4,0959	0,9842
100	19952,6231	4,1283	4,1287	1,0001
101	25118,8643	4,0953	4,0956	1,0001
102	31622,7766	4,1608	4,1284	0,9922
103	39810,7171	4,1275	4,1614	1,0082
104	50118,7234	4,1275	4,1281	1,0001
105	63095,7344	4,1275	4,1611	1,0081
106	79432,8235	4,1606	4,1279	0,9921
107	100000,0000	4,1273	4,1609	1,0081
108	125892,5412	4,1933	4,1276	0,9843
109	158489,3192	4,1598	4,1276	0,9923
110	199526,2315	4,1598	4,1606	1,0002
111	251188,6432	4,1598	4,1606	1,0002
112	316227,7660	4,1265	4,1273	1,0002
113	398107,1706	4,1595	4,1604	1,0002
114	501187,2336	4,1928	4,1604	0,9923
115	630957,3445	4,1592	4,1604	1,0003
116	794328,2347	4,1592	4,1604	1,0003
117	1000000,0000	4,1260	4,1936	1,0164