

Wzmacniacz Operacyjny

Bartosz Kundera

27.05.2025

Streszczenie

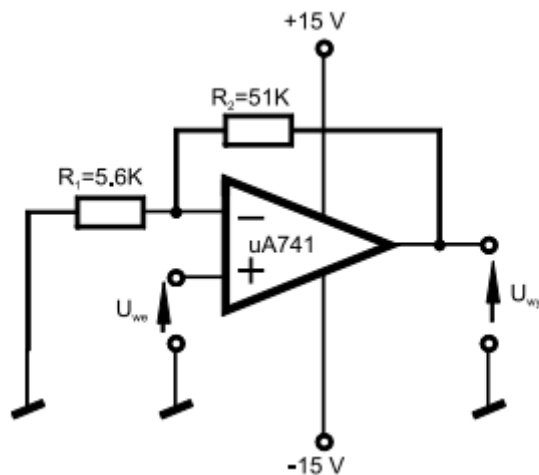
Podczas doświadczenia zbudowano łącznie cztery układy zawierające wzmacniacz operacyjny. Na jednym z nich tj. na układzie elektrycznym wzmacniacza operacyjnego odwracającego (Rysunek 2) fazy wykonano odpowiednie pomiary oraz przeprowadzono charakterystykę amplitudową oraz częstotliwościową, a następnie wyznaczono wartość k_f w obu przypadkach. Wynosiły one odpowiednio: $k_{f1} = 10.4051 \pm 0.1541$, $k_{f2} = 9.8829 \pm 0.0880$. Następnie przebudowano układ do układów: całkującego (Rysunek 3) oraz różniczkowego (Rysunek 4), aby wyznaczyć doświadczalnie obszary poprawnego całkowania, różniczkowania. Dla układu całkującego $\approx 200 \text{ Hz} - 80 \text{ kHz}$: Dla układu różniczkującego: $\approx 100 \text{ Hz} - 600 \text{ Hz}$

1 WSTĘP TEORETYCZNY

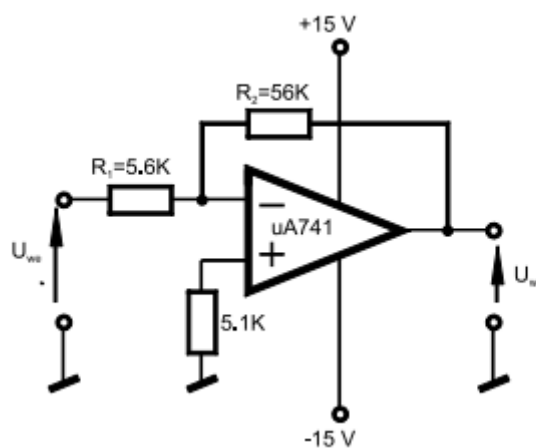
Wzmacniacz operacyjny jest wielostopniowym wzmacniaczem różnicowym prądu stałego, który charakteryzuje się bardzo dużym różnicowym wzmocnieniem napięciowym. Sam wzmacniacz posiada dwa wejścia symetryczne : odwracające(U_-) oraz nieodwracające(U_+) fazy napięcia wejściowego, wyjście niesymetryczne(U_{WY}) oraz dwa wejścia zasilania wzmacniacza ($+V_{CC} - V_{EE}$). Wzmacniacz wykonuje następującą funkcję(1):

$$U_{WY} = A(U_+ - U_-) \quad (1)$$

Gdzie A – wzmocnienie układu. Dzięki układowi wejść wzmacniacza operacyjnego, możliwe jest wykonanie wzmacniacza nieodwracającego fazy z wykorzystaniem wejścia nieodwracającego, a z wykorzystaniem wejścia odwracającego można zbudować wzmacniacz odwracający fazę. Na poniższych schematach (Rysunek 1), (Rysunek 2) przedstawiono układy elektryczne przedstawiające odpowiednio wzmacniacz nieodwracający i odwracający fazy. Na poniższych schematach (Rysunek 1), (Rysunek 2) przedstawiono układy elektryczne przedstawiające odpowiednio wzmacniacz nieodwracający i odwracający fazy.



Rysunek 1. Układ elektryczny przedstawiający wzmacniacz nieodwracający fazy



Rysunek 2. Układ elektryczny przedstawiający wzmacniacz odwracający fazy

Dla wzmacniacza nieodwracającego można wyznaczyć efektywne wzmocnienie układu, tj. zależność między napięciem wyjściowym, a wejściowym. Tą zależność przedstawia poniższe równanie (2):

$$k_f = \frac{U_{WY}}{U_{WE}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

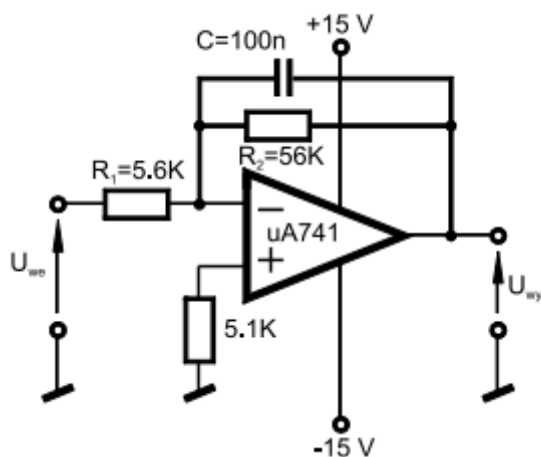
Gdzie R_1, R_2 to wartości rezystancji oporników.

Dla wzmacniacza odwracającego również można wyznaczyć efektywne wzmocnienie układu, które będzie wyrażało się następującym wzorem (3):

$$k_f = \frac{U_{WY}}{U_{WE}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

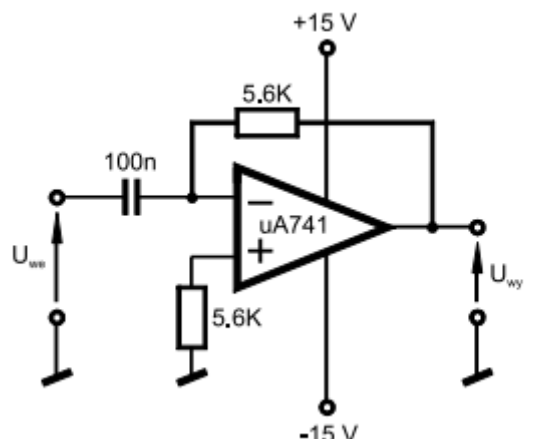
2 UKŁAD DOŚWIADCZALNY I POMIARY

Podczas doświadczenia zostały wykorzystane poniższe narzędzia: Oscyloskop RIGOL; Generator funkcyjny RIGOL; Zasilacz; kondensator o pojemności 100 nF, Oporniki o rezystancji 51 k Ω , 5.57 k Ω , 56 k Ω , 5.1 k Ω ; Miernik uniwersalny Multimetr BRYMEN BM805, Przewody, Lutownica, Cyna, Płytki montażowa, Układ Scalony uA741. W celu wykonania doświadczenia należało odpowiednio włożyć na płytkę montażową układ scalony uA741, a następnie przy użyciu odpowiednich kabli oraz lutownicy, podłączyć go do odpowiednich wejść. Następnie korzystając z oporników o rezystancji 51 k Ω i 5.57 k Ω oraz przy użyciu lutownicy, połączono odpowiednio do płytki montażowej tworząc układ elektryczny z (Rysunek 1). Po odpowiednim połączeniu układu do generatora, zasilacza oraz oscylatora zaczęto część pomiarową. Wyznaczono odpowiednie wielkości tj. charakterystykę amplitudową poprzez zmiany napięcia wejściowego, a następnie charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza poprzez zmiany częstotliwości. Po wykonaniu tej części doświadczenia przebudowano układ, na początku do postaci układu całkującego (Rysunek 3):



Rysunek 3. Układ elektryczny przedstawiający układ całkujący

Po znalezieniu i wyznaczeniu obszarów odpowiedniego całkowania, przebudowano układ do postaci układu różniczkującego (Rysunek 4):



Rysunek 4. Układ elektryczny przedstawiający układ różniczkujący

Następnie, podobnie jak w przypadku układu całkującego, wyznaczono obszary poprawnego różniczkowania.

3 ANALIZA DANYCH

W analizie na początku wyznaczono charakterystykę amplitudową wzmacniacza. Aby wykonać odpowiednie pomiary zadano na generatorze częstotliwość 1kHz, a następnie na generatorze zmieniano amplitudę napięcia wejściowego w zakresie od 0 do 4V. Następnie po zebraniu pomiarów wykonano charakterystykę i dopasowano najlepiej pasującą funkcję (Wykres 1).

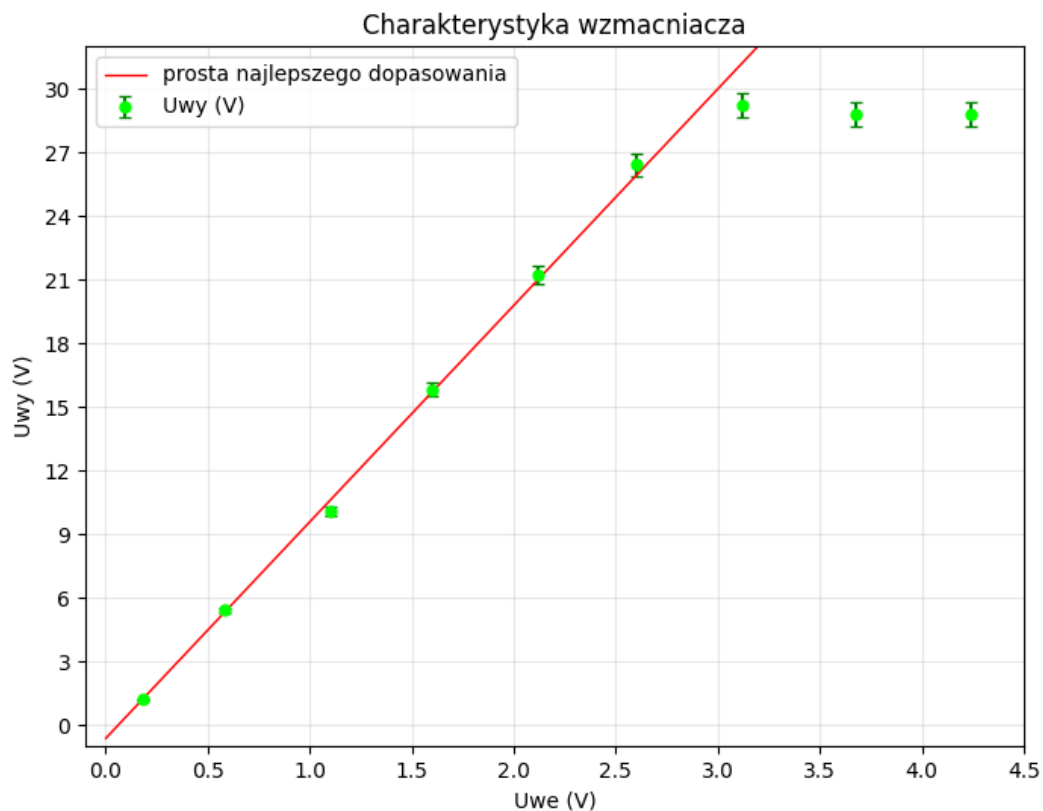
Dokładność pomiaru napięcia wejściowego i wyjściowego obliczono korzystając ze wzoru $\Delta U = 3\%U$. Podczas dokonywania pomiarów zauważono, że przy wartościach napięcia wejściowego od 3 V – 4V dochodziło do załamania się wzmocnienia i zależność napięcia wyjściowego przestała być liniowa i zaczęła przyjmować stałe wartości, dlatego podczas wykonywania dopasowania postanowiono nie uwzględniać tych pomiarów. Przy dopasowaniu wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów oraz wyznaczono odpowiednie wartości wraz z ich niepewnościami. Wartość współczynnika $k_{f1} = 10.4051 \pm 0.1541$. Do zweryfikowania modelu teoretycznego przeprowadzono test χ^2 Pearsona. Wartość zredukowanego $\chi^2 = 2.33$, a statystyka $p = 0.0553$, co sugeruję, że nasze dopasowanie zostało prawidłowo dopasowane. Porównując również z teoretyczną wartością korzystając ze wzoru (2) otrzymujemy wartość wzorową równą $k_{fw} = 10,107$, która jest zbliżona do wielkości wyliczonej.

Następnie, po wykonaniu charakterystyki amplitudowej, przeprowadzono pomiary potrzebne do wykonania charakterystyki częstotliwościowej, którą można opisać poniższym wzorem:

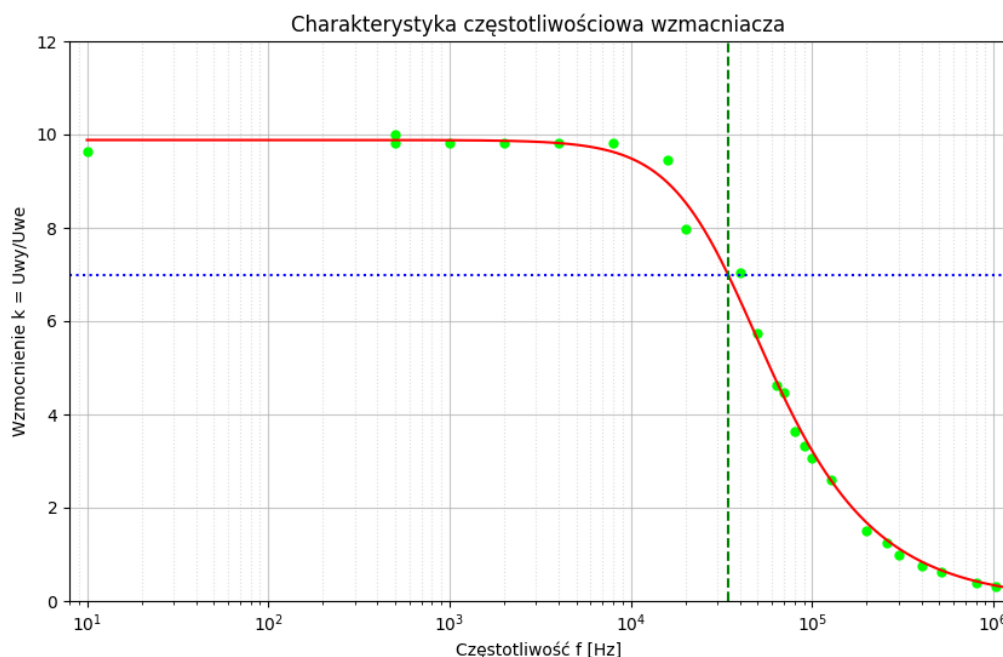
$$k = \frac{k_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_g}\right)^2}} \quad (4)$$

gdzie k_0 jest parametrem odpowiadającym wzmocnieniu stałoprądowemu, a f_g jest częstotliwością graniczną tego wzmacniacza.

Zadając na generatorze amplitudę napięcia wejściowego 1V oraz przeprowadzając pomiary w zakresie 10 Hz – 1MHz. Charakterystyka częstotliwościowa została przedstawiona na poniższym wykresie (Wykres 2).



Wykres 1. Charakterystyka amplitudowa dla wzmacniacza operacyjnego odwracającego fazy



Wykres 2. Charakterystyka częstotliwościowa dla wzmacniacza operacyjnego odwracającego fazy

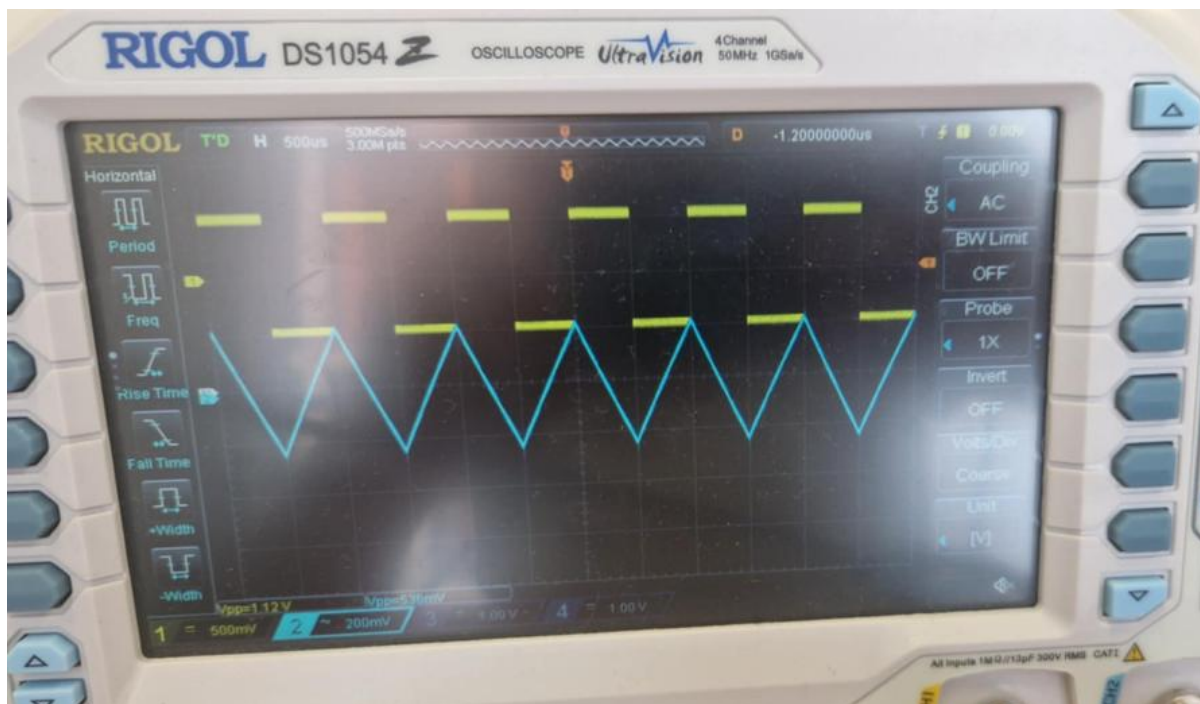
Dokładność pomiaru napięcia wejściowego i wyjściowego obliczono korzystając ze wzoru $\Delta U = 3\%U$. Przy dopasowaniu wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów oraz wyznaczono odpowiednie wartości wraz z ich niepewnościami. Wartość współczynnika $k_{f2} = 9.8829 \pm 0.0880$. Do zweryfikowania modelu teoretycznego przeprowadzono test χ^2 Pearsona. Wartość zredukowanego $\chi^2 = 2.86$, a statystyka $p = 0.08$, co sugeruje, że nasze dopasowanie zostało prawidłowo dopasowane.

Następnie po przeprowadzeniu obu charakterystyk, przebudowano układ do postaci z (Rysunek 3) oraz zadano na wejście na generatorze sygnał prostokątny o częstotliwości 1kHz i amplitudzie 1V. Następnie zmieniając częstotliwość na generatorze wyznaczono doświadczalnie zakres dobrego całkowania. Na poniższych zdjęciach zostały przedstawione poszczególne etapy działania układu.

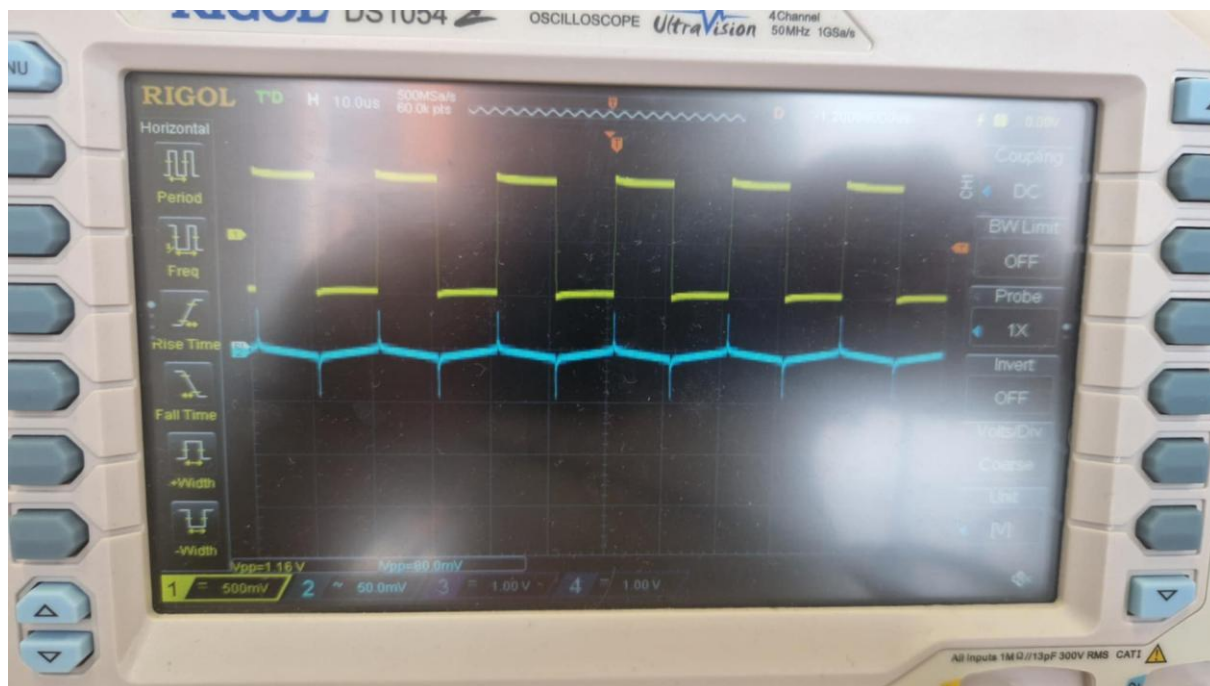
Jak widać na poniższym obrazie (Rysunek 5) dla zadanych wielkości na generatorze dla sygnału wejściowego tj. częstotliwości 1kHz oraz amplitudzie 1V, otrzymujemy obraz poprawnej operacji całkowania sygnału prostokątnego. W dalszej części doświadczenia zmieniano częstotliwości na generatorze i wyznaczono obszar całkowania. Następny obraz (Rysunek 6) przedstawia obszar, w którym całkowanie jest niepoprawnie wykonane. Doświadczenie zostało przeprowadzone na częstotliwości zadanej na generatorze równej 150 kHz. Przy takiej wielkości można zauważyć piki w sygnale całkowanym oraz lekkie zniekształcenie w sygnale wejściowym co sugeruje, że dany obszar znajduje się poza obszarem poprawnego całkowania. Podsumowując, doświadczalnie wyznaczono, że obszar poprawnego całkowania wynosi około: 30 Hz – 80 kHz

Następnie, po zakończeniu wyznaczania obszaru dobrego całkowania, przebudowano układ do analogicznego co na (Rysunek 4) oraz przeprowadzono analogiczną procedurę. Na wejście generatora zadano sygnał trójkątny o częstotliwości 100 Hz o amplitudzie 100 mV, a następnie zmieniając częstotliwość na generatorze wyznaczono doświadczalnie zakres dobrego różniczkowania.

Jak widać na pierwszym obrazie (Rysunek 7) można zauważyć, że dla zadanych na początku doświadczenia wielkości, układ znajduje się w obszarze poprawnego różniczkowania, wynika to z faktu, że sygnał wyjściowy przyjmuje postać prostokątną. Można również zauważyć, że na (Rysunek 7) sygnał wyjściowy zawiera w sobie lekkie szumy. Może być to spowodowane zadaną niską częstotliwością. Następnie, na (Rysunek 8) zmieniono częstotliwość z 100 Hz na 800 Hz, oraz zauważono zmiany w kształcie sygnału wyjściowego, w szczególności w miejscach maksymalnej amplitudy sygnału wejściowego co może sugerować, że układ znajduje się w obszarze niepoprawnego różniczkowania. . Podsumowując, doświadczalnie wyznaczono, że obszar poprawnego różniczkowania wynosi około: 100Hz – 600 Hz



Rysunek 5. Zdjęcie oscylatora dla częstotliwości 1kHz i amplitudzie 1V przedstawiający obszar poprawnego całkowania



Rysunek 6. Zdjęcie oscylatora dla częstotliwości 150kHz i amplitudzie 1V przedstawiający obszar niepoprawnego całkowania



Rysunek 7. Zdjęcie oscylatora dla częstotliwości 100Hz i amplitudzie 100 mV przedstawiający obszar poprawnego różniczkowania



Rysunek 8. Zdjęcie oscylatora dla częstotliwości 800Hz i amplitudzie 100 mV przedstawiający obszar niepoprawnego różniczkowania

4 PODSUMOWANIE

W pracy dokonano analizy własności wzmacniacza operacyjnego, zapoznano się z jego charakterystyką napięciową i częstotliwościową oraz zbadano jego wzmocnienie. Zbudowano układ wzmacniacza nieodwracającego fazę i przeprowadzono odpowiednie pomiary. Przebudowano układy oraz do postaci układu całkującego i różniczkującego oraz przy odpowiednich narzędziach wyznaczono obszary poprawnego całkowania oraz różniczkowania. Wyznaczona na podstawie charakterystyki napięciowej oraz charakterystyki częstotliwościowej wartość efektywnego wzmocnienia wynosi odpowiednio $k_{f1} = 10.4051 \pm 0.1541$, $k_{f2} = 9.8829 \pm 0.0880$. Wyznaczono również doświadczalnie obszary poprawnego całkowania, różniczkowania, które wynoszą odpowiednio: dla układu całkującego $\approx 200 \text{ Hz} - 80 \text{ kHz}$, dla układu różniczkującego: $\approx 100 \text{ Hz} - 600 \text{ Hz}$.