

# Politechnika Wrocławska

## Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki

### Zespół Układów Elektronicznych

## LABORATORIUM UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH

Data: 04.06.2020	Dzień: Czwartek		
Grupa: -	Godzina: 8-12		
TEMAT ĆWICZENIA:			
UKŁAD CAŁKUJĄCY I RÓŻNICZKUJĄCY			
DANE PROJEKTOWE:			
UC: $U_{WE_{m}} = 1.5V$ , $U_{WY_{m}} = 2.0V$ , $T = 2ms$ UR: $U_{WE_{m}} = 1.5V$ , $U_{WY_{m}} = 2.0V$ , $T = 3ms$			
Lp.	Nazwisko i Imię		Oceny
1.	Grajoszek Dawid, 249021		

## 1. Cel ćwiczenia

Celem tego ćwiczenia jest zapoznanie się z układami wykorzystującymi wzmacniacze operacyjne do liniowego przekształcania sygnałów. Wykorzystywane były układy: całkujący i różniczkujący.

## 2. Układ całkujący

Założenia dla danego zadania:

$R = 10\text{ k}\Omega$ ,  $C = 37.5\text{ nF}$ ,  $R_1 \gg 8492\Omega$

$$U_{WYm} = \frac{U_{WEm}T}{4RC}$$

$$C = \frac{U_{WEm}T}{4RU_{WYm}} = \frac{1.5V * 2 * 10^{-3}s}{4 * 10^4\Omega * 2V} = 37.5\text{ nF}$$

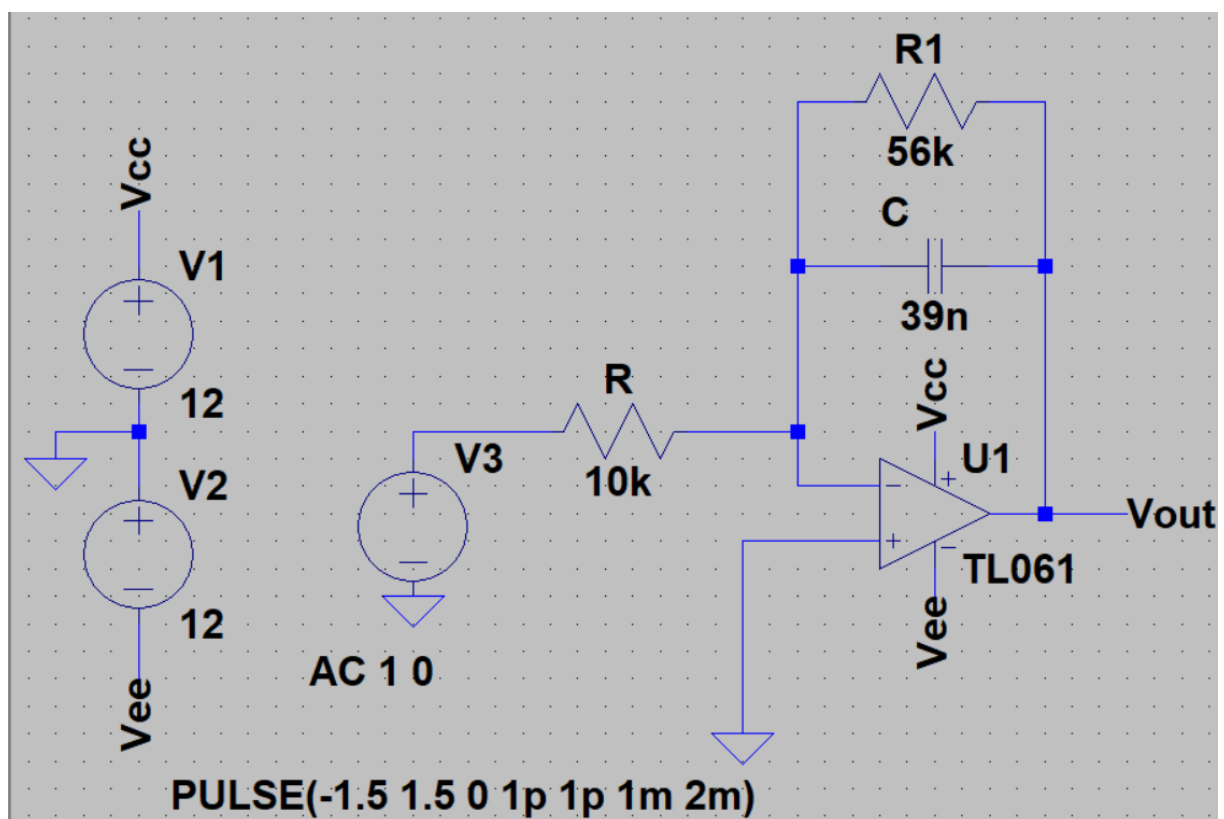
$$R_1 \gg \frac{T}{2\pi C} = \frac{2 * 10^{-3}s}{2\pi * 3.75 * 10^{-8}F} = 5492.6\Omega$$

Wartości użytych rzeczywistych komponentów dobieranych z szeregów E12 oraz E6:

$R = 10\text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 56\text{ k}\Omega$ ,  $C = 39\text{ nF}$

Zasilanie:  $\pm 12\text{ V}$

Schemat układu całkującego wykorzystanego w ćwiczeniu:



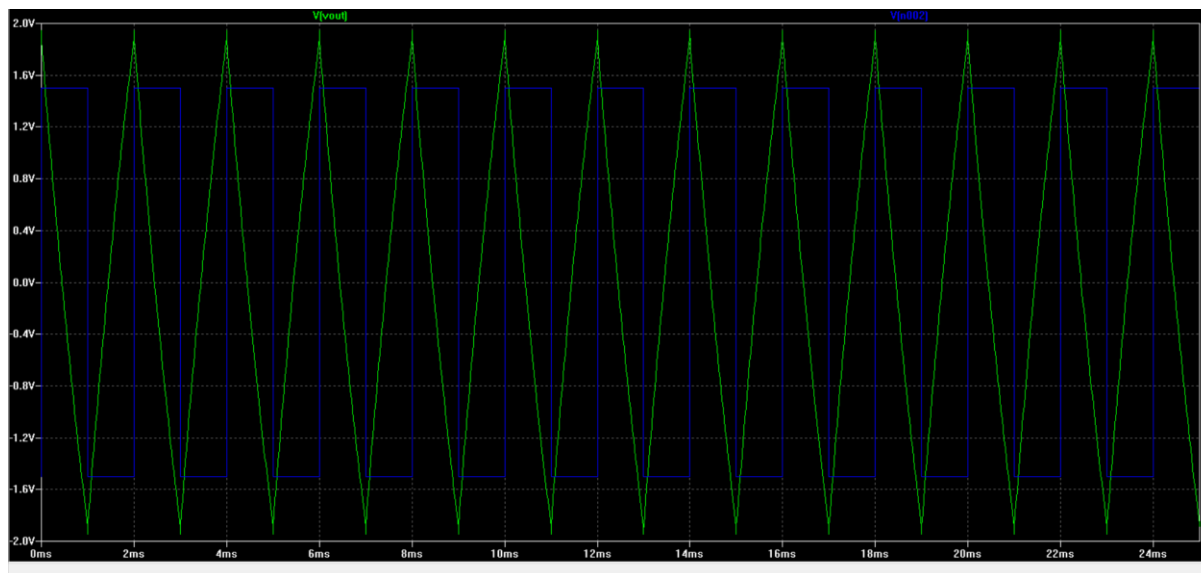
Ze względu na brak czasu na rzeczywistych zajęciach laboratoryjnych, wszystkie poniższe ćwiczenia przeprowadzone zostały w programie LTSpice jako symulacja rzeczywistych układów.

- a) Z generatora przebiegu sinusoidalnego podano sygnał prostokątny o parametrach, które są zgodne ze wcześniejszymi założeniami teoretycznymi. Następnie zmierzono wartość amplitudy sygnału na wyjściu, który był sygnałem trójkątnym. Jak można zauważyć na wykresie amplituda sygnału wyjściowego oraz jego okres pokrywają się z założeniami, co potwierdza, iż wartości komponentów użytych do symulacji są poprawnie obliczone. Ponadto kształt wykresu jest

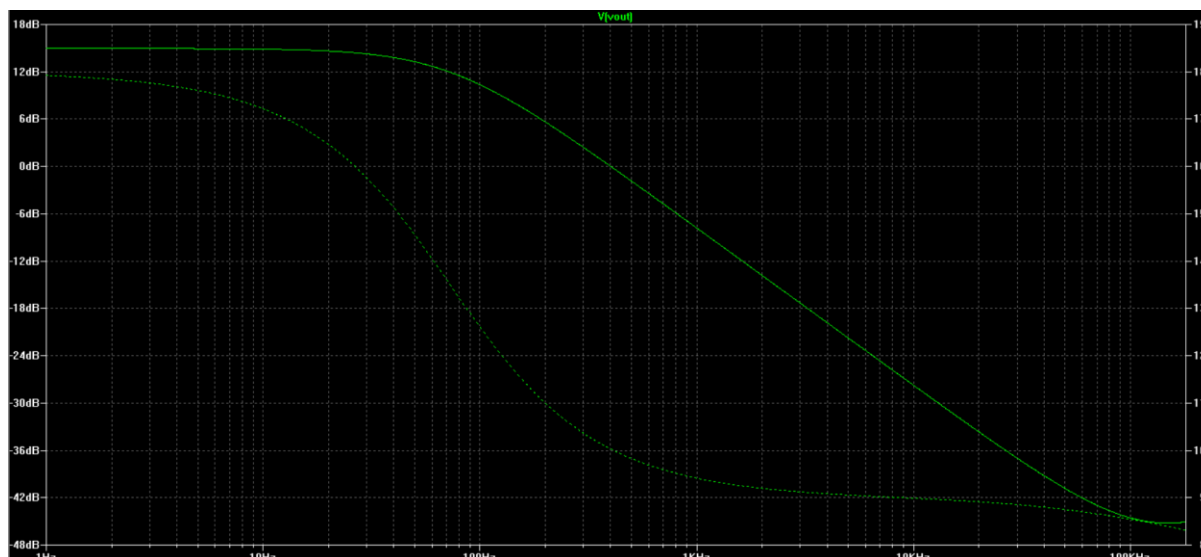
odpowiedni, gdyż należało się spodziewać, iż po podaniu na wejście fali prostokątnej otrzyma się sygnał trójkątny. Po napisaniu równań łączących sygnał wejściowy z wyjściowym otrzymuje się poniższy wzór na napięcie wyjściowe układu całującego:

$$U_{wy}(t) = -\frac{1}{RC} \int U_{we}(t) dt$$

W powyższym wzorze nie ma rezystora  $R_1$ , a na schemacie on występuje, ponieważ układ nie ma sprzężenia zwrotnego dla prądu stałego, co skutkuje nasycaniem się wzmacniacza operacyjnego. W tym celu został właśnie wprowadzony dodatkowy rezystor  $R_1$ .



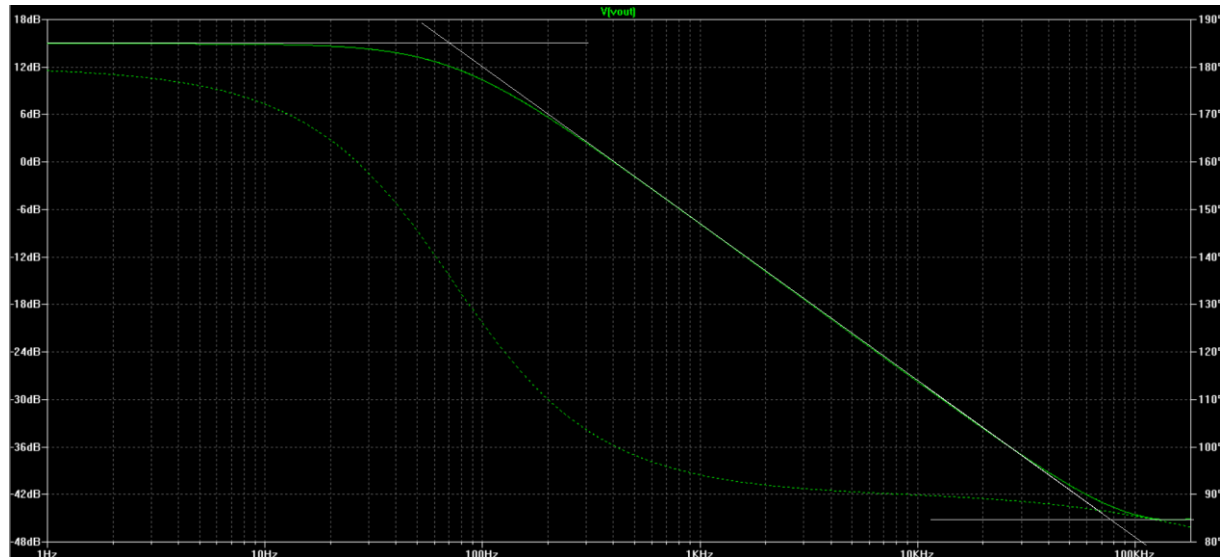
## b) Charakterystyka amplitudowo – fazowa



Powyższy wykres otrzymany w wyniku symulacji prezentuje charakterystykę amplitudowo – fazową układu całującego. Jest on zgodny z przewidywaniami co do swojego kształtu.

Na powyższy wykres z symulacji naniesiono proste aproksymujące w celu odczytania częstotliwości, dla których układ poprawnie całkuje. Poprawny przedział częstotliwości dla tego układu to wartości od 67.73 Hz do około 75.8 kHz. W tym przedziale częstotliwości nachylenie charakterystyki wynosi - 20 dB/dek. Poza tym przedziałem układ ma stałą wartość wzmocnienia i nie wykonuje żadnych operacji na sygnale wejściowym poza jego wzmacnianiem.

Jak można zauważyć na powyższym wykresie, na dużej części długości obszaru poprawnego całkowania wartość przesunięcia fazowego zachowuje stałą wartość. Ponadto załamanie wykresu charakterystyki amplitudowej w okolicy częstotliwości  $f = 67.73 \text{ Hz}$  świadczy o tym, że transmitancja układu całkującego posiada tylko jeden biegun, który powoduje załamanie  $-20 \text{ dB/dek}$ .



### 3. Układ różniczkujący

Założenia dla danego zadania:

$R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 100 \text{ nF}$ ,  $R_1 > 126 \Omega$

$$U_{WYm} = \frac{4U_{WE m}RC}{T}$$

$$C = \frac{U_{WYm}T}{4RU_{WE m}} = \frac{2V * 3 * 10^{-3} s}{4 * 10^4 \Omega * 1.5V} = 100 \text{ nF}$$

$$R_1 > \sqrt{\frac{R}{2\pi C f_t}} = \sqrt{\frac{10^4 \Omega}{2\pi * 10^{-7} F * 10^6 \text{ Hz}}} = 126.2 \Omega$$

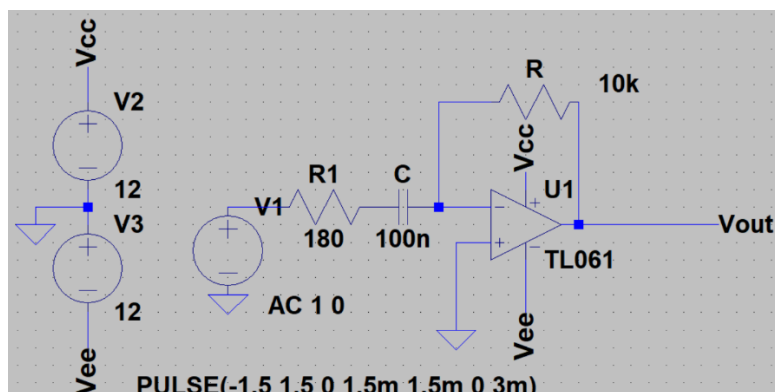
gdzie  $f_t$  to częstotliwość graniczna wzmacniacza, dla TL061 to 1 MHz.

Wartości użytych rzeczywistych komponentów dobieranych z szeregów E12 oraz E6:

$R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 180 \Omega$ ,  $C = 100 \text{ nF}$

Zasilanie:  $\pm 12 \text{ V}$

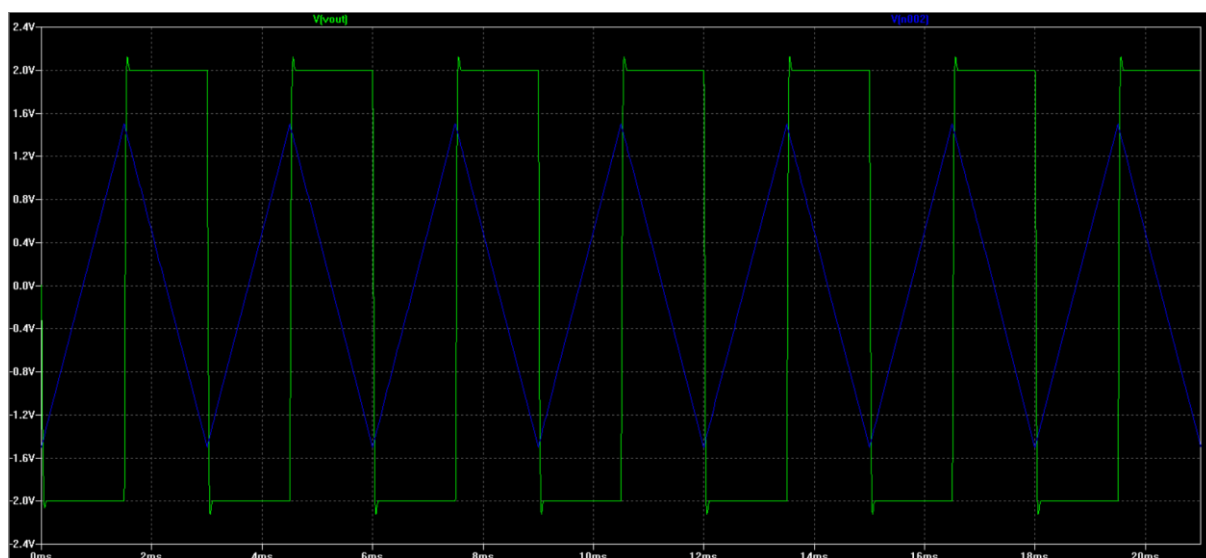
Schemat układu różniczkującego wykorzystanego w ćwiczeniu:



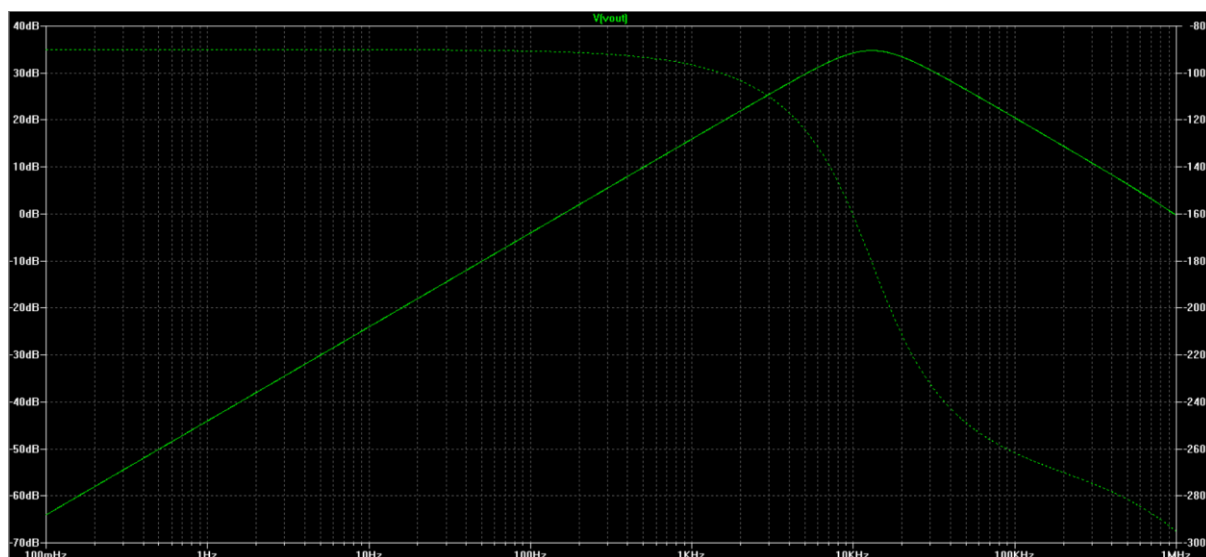
- a) Z generatora przebiegu sinusoidalnego podano sygnał trójkątny, którego parametry były zgodne z założeniami. Kolejnym krokiem było zmierzenie amplitudy sygnału wyjściowego. Jej wartość oraz okres sygnału pokrywają się ze wcześniejszymi założeniami projektowymi, co nasuwa wniosek, iż wartości rezystorów oraz pojemność kondensatora zostały dobrane w poprawny sposób. Ponadto kształt sygnału wyjściowego jest odpowiedni, gdyż należało się spodziewać, iż po podaniu na wejście fali trójkątnej otrzyma się sygnał prostokątny. Po napisaniu równań łączących sygnał wejściowy z wyjściowym otrzymuje się poniższy wzór na napięcie wyjściowe układu różniczkującego:

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

W powyższym wzorze nie występuje rezystor  $R_1$ , a na schemacie tak, gdyż został on wprowadzony w celu minimalizacji wad układu różniczkującego. Są nimi m.in. skłonność do oscylacji, duże wejściowe napięcie szumów czy też niezwykle mała impedancja wejściowa dla dużych wartości częstotliwości.



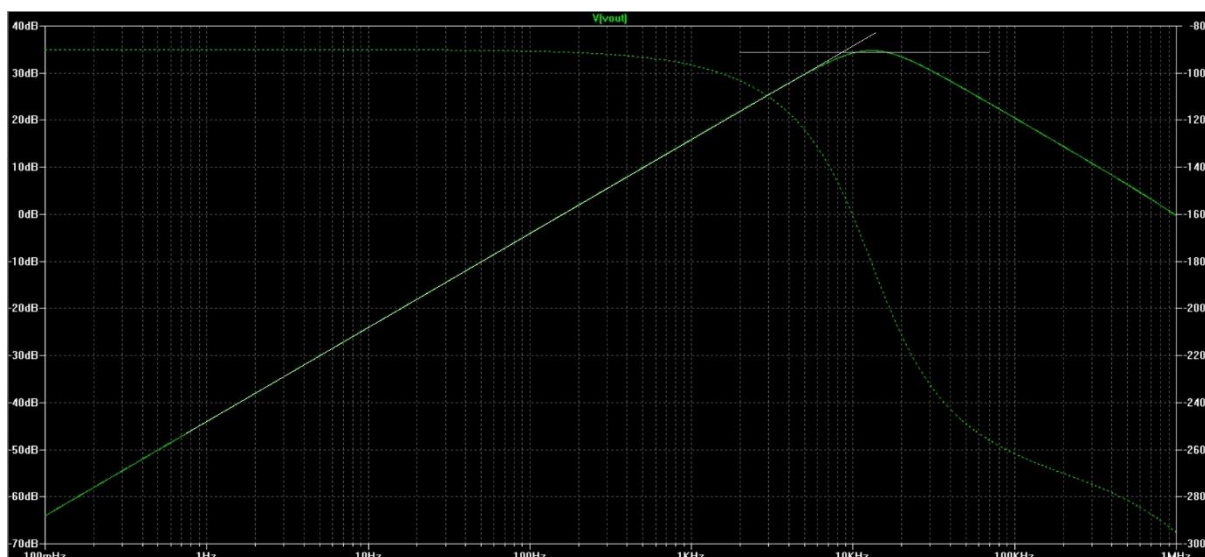
## b) Charakterystyka amplitudowo – fazowa



Powyższy wykres otrzymany w wyniku symulacji prezentuje charakterystykę amplitudowo – fazową układu różniczkującego. Jest on zgodny z przewidywaniami co do swojego kształtu.

Na powyższy wykres z symulacji naniesiono proste aproksymujące w celu odczytania częstotliwości, dla których układ poprawnie różniczkuje. Poprawny przedział częstotliwości dla tego układu to wartości od częstotliwości niemalże równych 0 Hz do około 8.6 kHz. W tym przedziale częstotliwości nachylenie charakterystyki wynosi +20 dB/dek. Poza tym przedziałem układ nie wykonuje już operacji różniczkowania sygnału wejściowego tylko charakteryzuje się stałą wartością wzmocnienia w danym zakresie częstotliwości oraz całkowaniem sygnału dla częstotliwości o wartościach większych od podanego przedziału.

Jak można zauważyć na powyższym wykresie, na niemalże całej długości obszaru poprawnego różniczkowania wartość przesunięcia fazowego zachowuje stałą wartość. Ponadto załamanie wykresu charakterystyki amplitudowej w okolicy częstotliwości  $f = 8.6 \text{ kHz}$  świadczy o tym, że transmitancja układu całkującego posiada dwa bieguny, które powodują załamanie -20 dB/dek (na początku i końcu obszaru, gdzie wzmocnienie ma stałą wartość).



#### 4. Wnioski

W tym ćwiczeniu niestety nie można porównać wyników uzyskanych w warunkach laboratoryjnych z tymi otrzymanymi dzięki symulacji ze względu na brak wykonania tego ćwiczenia. Zadanie to pozwoliło na zapoznanie się z podstawowymi układami służącymi do liniowego przekształcania sygnałów, jakimi są układ całkujący oraz różniczkujący. Ćwiczenie to pokazało również, że każdy układ rzeczywisty ma swoje ograniczenia, tak jak np. zakres częstotliwości, dla których układ poprawnie całkuje. Pokazuje to, iż przy projektowaniu układu należy wziąć pod uwagę ten fakt, aby nie występowały znaczące błędy w późniejszym jego użytkowaniu.

Wyniki otrzymane dzięki symulacji w programie LTSpice oczywiście są poprawne, jednak należy zwrócić uwagę na to, iż operacje były przeprowadzane na układach o właściwościach idealnych. Otrzymane wykresy potwierdzają wcześniejsze założenia teoretyczne oraz to, że obliczone wartości komponentów były poprawne.