|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PEiTC\_04 | Romaniak Hubert | Informatyka niestacjonarna II rok | Semestr zimowy 2023/24 |

# Zadanie 1

## Wzmacniacz różnicowy

### Wstęp teoretyczny

Wzmacniacz to element elektroniczny, którego zadaniem jest wytworzenie na wyjściu wzmocnionego wejściowego sygnału wejściowego kosztem energii pobranej ze źródła zasilania.

Głównymi parametrami wzmacniacza są:

* Współczynnik wzmocnienia prądowego
* Współczynnik wzmocnienia napięciowego
* Rezystancja wejściowa – obciążenie źródła sygnału (im wyższa, tym lepiej)
* Rezystancja wyjściowa – straty energii w postaci ciepła (im niższa tym lepiej)

Wzmacniacz składa się z elementów czynnych, biernych, oraz często z obwodu ujemnego sprzężenia zwrotnego. We wzmacniaczu tranzystorowym, elementem czynnym użytym do wzmacniania jest tranzystor.

Wzmacniacze tranzystorowe wykorzystują tranzystory bipolarne (BJT) lub polowe (FET). W przypadku BJT wyróżnia się układy ze wspólną bazą (OB), wspólnym emiterem (OE) i wspólnym kolektorem (OC), a w przypadku FET układy ze wspólnym źródłem (OS), wspólnym drenem (OD) i wspólną bramką (OG).

Wzmacniacz różnicowy to wzmacniacz dwuwejściowy. Składa się z dwóch tranzystorów pracujących w układzie wspólnego emitera. Napięcie wyjściowe takiego wzmacniacza jest zależne od różnicy napięć na jego wejściach.

Wzmacniasz różnicowy jest najczęściej stosowany tam, gdzie potrzeba wzmocnić słabe sygnały na które nakładają się szumy. Na jego dwóch wejściach, i , mogą być sygnały zgodne, lub przeciwne w fazie. Zgodne w fazie najczęściej są szumy i zakłócenia, a przeciwne w fazie są sygnały użyteczne.

Wzmocnienie składowych sumacyjnych to wzmocnienie sygnałów wejściowych zgodnych w fazie, a wzmocnienie składowych różnicowych – przeciwnych w fazie.

Napięcie różnicowe opisuje wzór:

Wzmocnienie napięciowe różnicowe opisuje wzór:

Tłumienie sygnału wspólnego opisuje wzór:

### Założenia

Użyty tranzystor: PZT2222ATG (, )

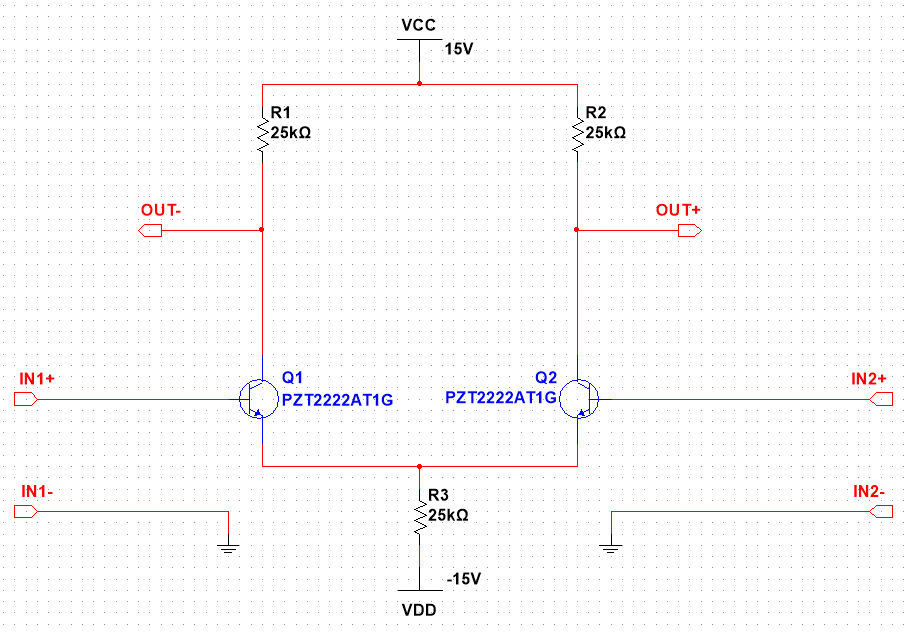
Założone wartości: ; ,

### Rezystor wpięty do emitera

#### Cel zadania

Dla wzmacniacza różnicowego z rezystorem wpiętym do emitera wyznaczyć wzmocnienie napięciowe różnicowe i tłumienie sygnału wspólnego dla zakresu częstotliwości .

#### Schemat badanego układu



Rysunek 1 – schemat badanego wzmacniacza różnicowego zbudowanego z tranzystorów PZT2222AT1G,  
z rezystorem wpiętym do emitera

#### Pomiary i obliczenia

Częstotliwości napięć wejściowych do pomiarów zostały ustalone na . Pomiary zostały przeprowadzone za pomocą odczytów z multimetru.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| 1,0 | 1,1 | 22,097 | 0,1 | 220,970 | 20,424 |
| 10,0 | 10,1 | 22,097 | 0,1 | 220,970 | 40,043 |
| 100,0 | 100,1 | 22,096 | 0,1 | 220,960 | 60,004 |
| 1000,0 | 1000,1 | 22,059 | 0,1 | 220,590 | 80,000 |
| 10000,0 | 10000,1 | 4,700 | 0,1 | 47,000 | 100,000 |
| 1,0 | 2,0 | 220,943 | 1,0 | 220,943 | 3,522 |
| 10,0 | 11,0 | 220,943 | 1,0 | 220,943 | 20,424 |
| 100,0 | 101,0 | 220,939 | 1,0 | 220,939 | 40,043 |
| 1000,0 | 1001,0 | 220,563 | 1,0 | 220,563 | 60,004 |
| 10000,0 | 10001,0 | 48,200 | 1,0 | 48,200 | 80,000 |
| 1,0 | 11,0 | 2187,000 | 10,0 | 218,700 | -4,437 |
| 10,0 | 20,0 | 2187,000 | 10,0 | 218,700 | 3,522 |
| 100,0 | 110,0 | 2187,000 | 10,0 | 218,700 | 20,424 |
| 1000,0 | 1010,0 | 2184,000 | 10,0 | 218,400 | 40,043 |
| 10000,0 | 10010,0 | 455,300 | 10,0 | 45,530 | 60,004 |
| 1,0 | 101,0 | 11970,000 | 100,0 | 119,700 | -5,849 |
| 10,0 | 110,0 | 11970,000 | 100,0 | 119,700 | -4,437 |
| 100,0 | 200,0 | 11970,000 | 100,0 | 119,700 | 3,522 |
| 1000,0 | 1100,0 | 11546,000 | 100,0 | 115,460 | 20,424 |
| 10000,0 | 10100,0 | 3053,000 | 100,0 | 30,530 | 40,043 |

Obraz zawierający tekst, Wykres, zrzut ekranu, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 2 – sygnał wyjściowy wzmacniacza różnicowego (zielony) na tle 100-krotnie powiększonej różnicy sygnałów wejściowych (czerwony)

### 

Rysunek 3 – zależność napięcia wyjściowego od częstotliwości dla wzmacniacza różnicowego  
dla napięć wejściowych ,

#### Wnioski

Zbudowany wzmacniacz różnicowy, zasilany , , wzmacnia różnicę sygnałów wejściowych o około razy.

Należy jednak zwrócić uwagę na to, że wzmocnienie różnicowe znacznie maleje, gdy wartości napięć wejściowych i osiągają powyżej . Na przykład dla wzmocnienie wynosi około wzmocnienia oryginalnego, czyli między razy.

Dodatkowo, gdy różnica między napięciami wejściowymi wynosi więcej niż dwukrotność napięcia termicznego (dla temperatury , ), czyli ponad , można zauważyć spadek wzmocnienia. Dla , wzmocnienie różnicowe wynosi , czyli około wartości oryginalnej.

Można też zauważyć, że tłumienie sygnału wspólnego rośnie wraz ze wzrostem napięć wejściowych i , ale maleje wraz ze wzrostem napięcia różnicowego . W przeprowadzonych symulacjach osiągnęło ono największą wartość dla , . Najmniejsza wartość wyniosła dla , () – ujemna wartość tłumienia oznacza, że sygnały wspólne, takie jak szumy i zakłócenia, były wzmacniane, co jest niepożądane.

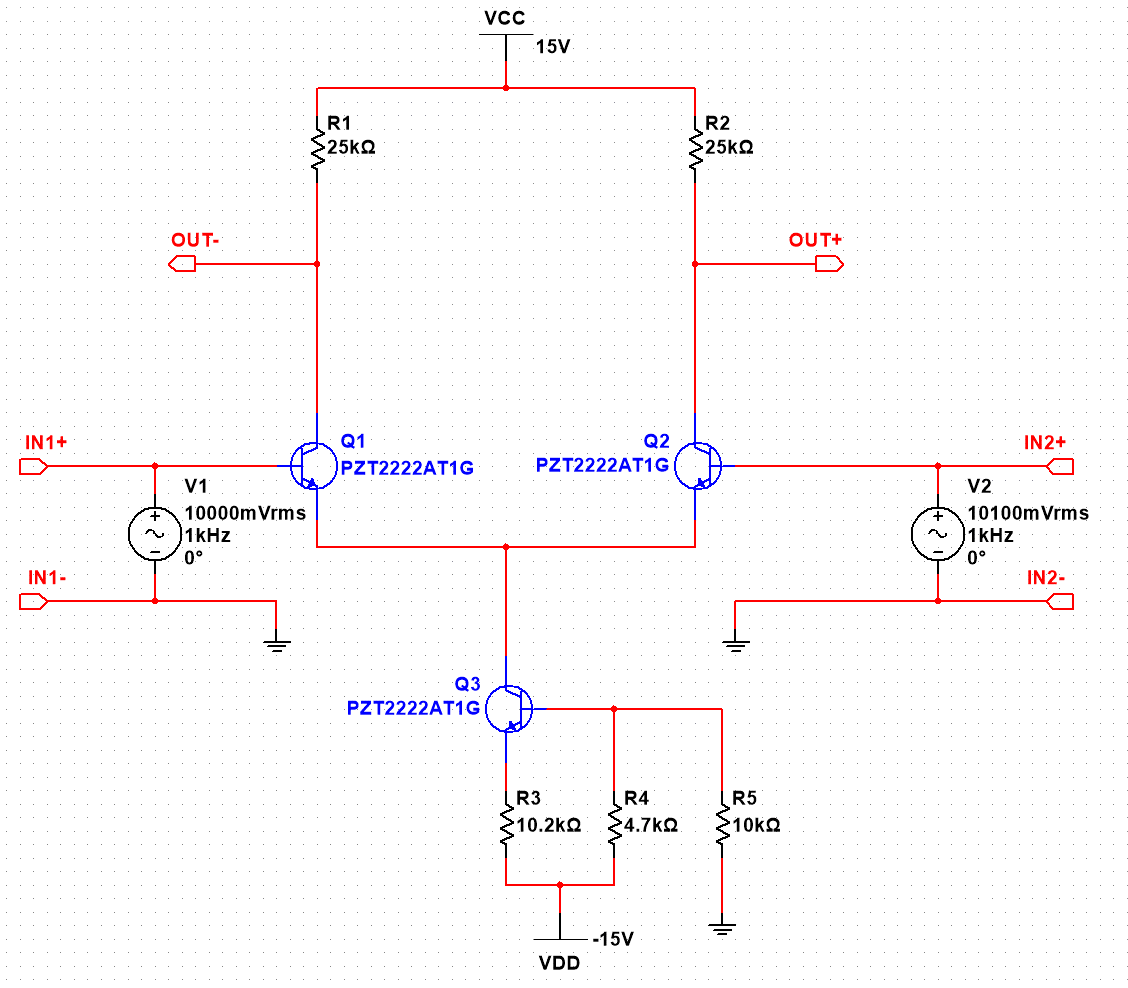
Ostatni wniosek można wyciągnąć analizując wykres napięcia wyjściowego od częstotliwości przy stałych wartościach napięć wejściowych , . Można zauważyć, że do częstotliwości od do napięcie wyjściowe pozostawało praktycznie niezmienione (wzmocnienie różnicowe ), natomiast powyżej tych wartości malało. Można z tego wyciągnąć wniosek, że wzmacniasz różnicowy jest też filtrem dolnoprzepustowym.

### Źródło prądu wpięte do emitera

#### Cel zadania

Dla wzmacniacza różnicowego ze źródłem prądu wpiętym do emitera wyznaczyć wzmocnienie napięciowe różnicowe i tłumienie sygnału wspólnego dla zakresu częstotliwości . Określić wpływ źródła prądowego na zmianę tłumienia. Porównać wyniki z poprzednim układem.

#### Schemat badanego układu

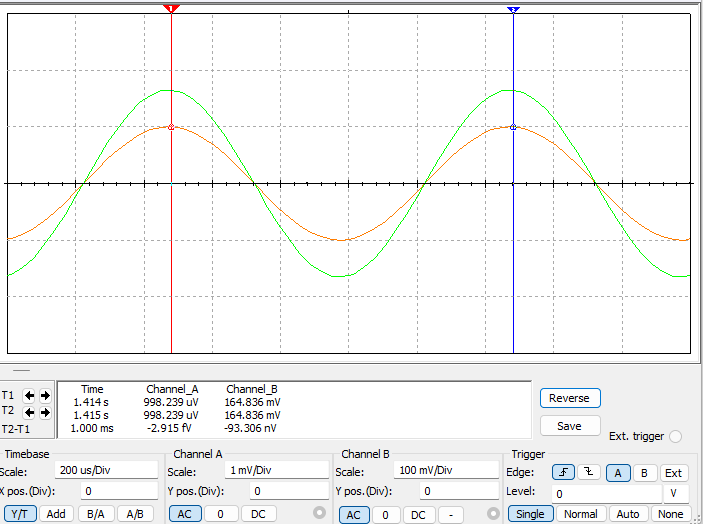


Rysunek 4 – schemat badanego wzmacniacza różnicowego zbudowanego z tranzystorów PZT2222AT1G,  
ze źródłem prądu wpiętym do emitera

#### Pomiary i obliczenia

Częstotliwości napięć wejściowych do pomiarów zostały ustalone na . Pomiary zostały przeprowadzone za pomocą odczytów z multimetru.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| 1,0 | 1,1 | 16,512 | 0,1 | 165,120 | 20,424 |
| 10,0 | 10,1 | 16,512 | 0,1 | 165,120 | 40,043 |
| 100,0 | 100,1 | 16,512 | 0,1 | 165,120 | 60,004 |
| 1000,0 | 1000,1 | 16,511 | 0,1 | 165,110 | 80,000 |
| 10000,0 | 10000,1 | 7,560 | 0,1 | 75,600 | 100,000 |
| 1,0 | 2,0 | 165,106 | 1,0 | 165,106 | 3,522 |
| 10,0 | 11,0 | 165,106 | 1,0 | 165,106 | 20,424 |
| 100,0 | 101,0 | 165,106 | 1,0 | 165,106 | 40,043 |
| 1000,0 | 1001,0 | 165,087 | 1,0 | 165,087 | 60,004 |
| 10000,0 | 10001,0 | 75,600 | 1,0 | 75,600 | 80,000 |
| 1,0 | 11,0 | 1632,000 | 10,0 | 163,200 | -4,437 |
| 10,0 | 20,0 | 1632,000 | 10,0 | 163,200 | 3,522 |
| 100,0 | 110,0 | 1632,000 | 10,0 | 163,200 | 20,424 |
| 1000,0 | 1010,0 | 1632,000 | 10,0 | 163,200 | 40,043 |
| 10000,0 | 10010,0 | 736,200 | 10,0 | 73,620 | 60,004 |
| 1,0 | 101,0 | 8556,000 | 100,0 | 85,560 | -5,849 |
| 10,0 | 110,0 | 8556,000 | 100,0 | 85,560 | -4,437 |
| 100,0 | 200,0 | 8556,000 | 100,0 | 85,560 | 3,522 |
| 1000,0 | 1100,0 | 8556,000 | 100,0 | 85,560 | 20,424 |
| 10000,0 | 10100,0 | 4725,000 | 100,0 | 47,250 | 40,043 |



Rysunek 5 – sygnał wyjściowy wzmacniacza różnicowego (zielony) na tle 100-krotnie powiększonej różnicy sygnałów wejściowych (czerwony)

### 

Rysunek 6 – zależność napięcia wyjściowego od częstotliwości dla wzmacniacza różnicowego  
dla napięć wejściowych ,

#### Wnioski

Zbudowany wzmacniacz różnicowy, zasilany , , wzmacnia różnicę sygnałów wejściowych o około razy. W porównaniu z poprzednim układem, wzmocnienie różnicowe jest mniejsze, ponieważ przez źródło prądu płynie mniejszy prąd niż przez rezystancję w poprzednim przykładzie.

Należy jednak zwrócić uwagę na to, że wzmocnienie różnicowe znacznie maleje, gdy wartości napięć wejściowych i osiągają powyżej . Na przykład dla wzmocnienie wynosi około wzmocnienia oryginalnego, czyli między razy. Zamiana rezystancji emitera na źródło prądu pozwala na większą swobodę przy wybieraniu maksymalnej wartości napięć wejściowych – w przypadku gdy miejsce źródła prądu zajmowała rezystancja, wzmocnienie wynosiło tylko wzmocnienia oryginalnego.

Dodatkowo, gdy różnica między napięciami wejściowymi wynosi więcej niż dwukrotność napięcia termicznego (dla temperatury , ), czyli ponad , można zauważyć spadek wzmocnienia. Dla , wzmocnienie różnicowe wynosi , czyli około wartości oryginalnej. Zamiana rezystancji emitera na źródło prądu nie miała wpływu na ograniczenie wynikające z wyboru odpowiedniego napięcia różnicowego .

Można też zauważyć, że tłumienie sygnału wspólnego rośnie wraz ze wzrostem napięć wejściowych i , ale maleje wraz ze wzrostem napięcia różnicowego . W przeprowadzonych symulacjach osiągnęło ono największą wartość dla , . Najmniejsza wartość wyniosła dla , () – ujemna wartość tłumienia oznacza, że sygnały wspólne, takie jak szumy i zakłócenia, były wzmacniane, co jest niepożądane. Jest to wynik dokładnie taki sam jak w przypadku układu z rezystancją wpiętą do emitera.

Ostatni wniosek można wyciągnąć analizując wykres napięcia wyjściowego od częstotliwości przy stałych wartościach napięć wejściowych , . Można zauważyć, że do częstotliwości od do napięcie wyjściowe pozostawało praktycznie niezmienione (wzmocnienie różnicowe ), natomiast powyżej tych wartości malało. Można z tego wyciągnąć wniosek, że wzmacniasz różnicowy jest też filtrem dolnoprzepustowym. Również w tym przypadku dodanie źródła prądu w miejsce rezystancji emitera nie modyfikuje wyników (z dokładnością do ).

# Zadanie 2

## Wzmacniacz operacyjny

### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy różnicowych – patrz „Zadanie 1: wstęp teoretyczny”

Wzmacniacz operacyjny to specjalny rodzaj wzmacniacza różnicowego, który charakteryzuje się bardzo dużym wzmocnieniem napięciowym różnicowym .

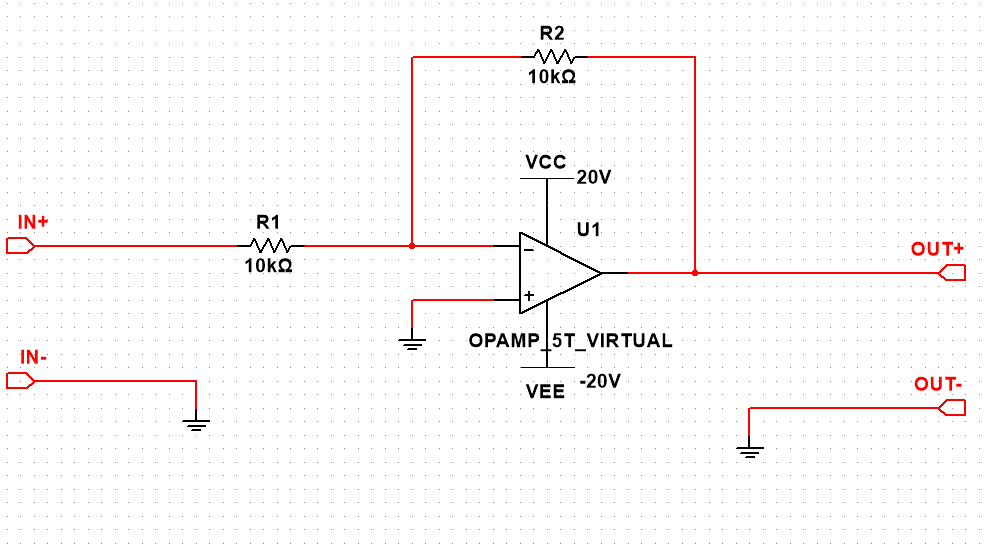
Wzmacniacz operacyjny posiada dwa wejścia – odwracające (symbol „-”, napięcie na tym wejściu to „”) i nieodwracające (symbol „+”, napięcie na tym wejściu to „”)) oraz jedno wyjście (napięcie oznaczone „”). Różnica napięć wejściowych to napięcie różnicowe ().

Idealny wzmacniacz operacyjny charakteryzuje się:

* Nieskończenie dużym różnicowym wzmocnieniem napięciowym (realnie )
* Zerowym wejściowym napięciem niezrównoważenia (realnie )
* Nieskończenie dużą impedancją wejściową (realnie )
* Zerową impedancją wyjściową (realnie )
* Nieskończenie szerokim pasmem przenoszonych częstotliwości (realnie do )

### Wzmacniacz odwracający

#### Schemat badanego układu





Rysunek 7 – schemat wzmacniacza odwracającego

#### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy operacyjnych – patrz „Zadanie 2: wstęp teoretyczny”

Napięcie wyjściowe wzmacniacza odwracającego można wyliczyć ze wzoru:

#### Cel zadania

1. Dobrać wartości rezystorów . Na wejście podłączyć źródło napięcia stałego, zmierzyć napięcie na wyjściu.
2. Dobrać wartości rezystorów, aby uzyskać wzmocnienie napięciowe . Sprawdzić poprawność działania układu.
3. Dobrać wartości rezystorów, aby uzyskać wzmocnienie napięciowe . Sprawdzić poprawność działania układu.
4. Doświadczalnie wyznaczyć rezystancję wejściową wzmacniacza.

#### Pomiary i obliczenia

1. , ,   
   Pomiar:

Obliczenia:   
Błąd pomiaru:

1. , ,   
   Pomiar:

Obliczenia:   
Błąd pomiaru:

1. , ,   
   Pomiar:

Obliczenia:   
Błąd pomiaru:

1. Do wyznaczenia rezystancji wejściowej wzmacniacza został użyty poniższy układ ze źródłem napięcia i amperomierzem.

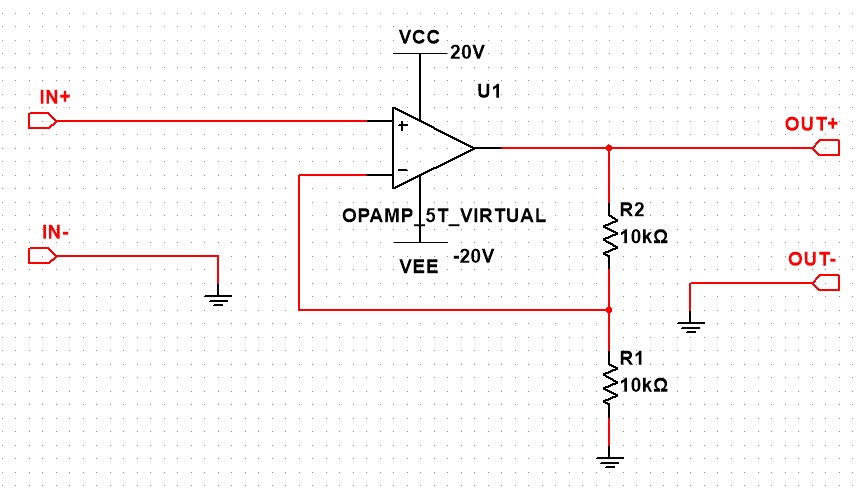
Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Czcionka

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek 8 – układ do badania rezystancji wejściowej wzmacniacza

### Wzmacniacz nieodwracający

#### Schemat badanego układu



Rysunek 9 – schemat wzmacniacza nieodwracającego

#### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy operacyjnych – patrz „Zadanie 2: wstęp teoretyczny”

Napięcie wyjściowe wzmacniacza nieodwracającego można wyliczyć ze wzoru:

#### Cel zadania

1. Dobrać wartości rezystorów, aby uzyskać wzmocnienie napięciowe . Sprawdzić poprawność działania układu.
2. Dobrać wartości rezystorów, aby uzyskać wzmocnienie napięciowe . Sprawdzić poprawność działania układu.
3. Dobrać wartości rezystorów, aby uzyskać wzmocnienie napięciowe . Przeanalizować układ.

#### Pomiary i obliczenia

1. , ,   
   Pomiar:

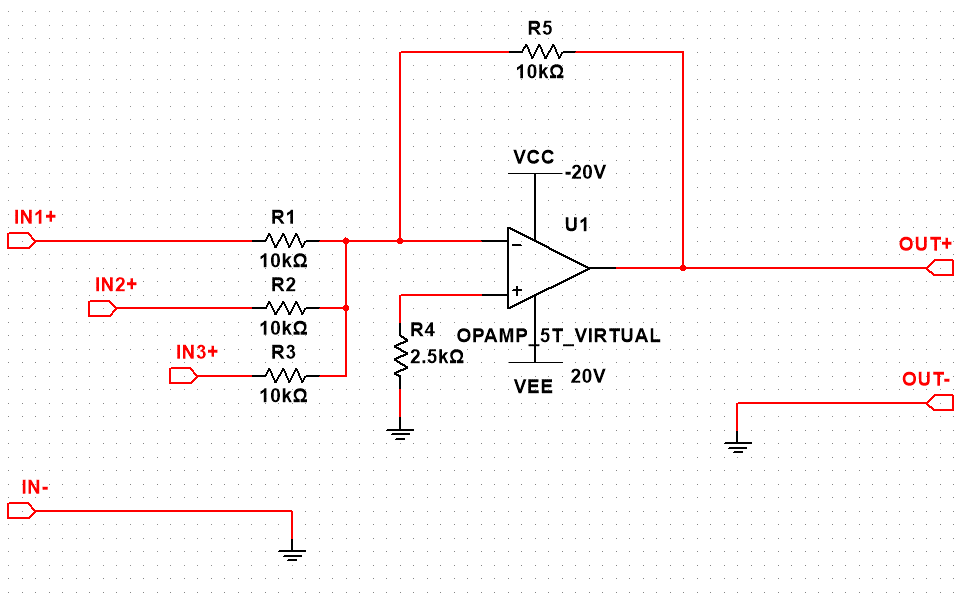
Obliczenia:   
Błąd pomiaru:

1. Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza nieodwracającego ma wzór . Rezystancje są nieujemne, zatem ze wzoru jasno wynika, że najmniejsze możliwe do osiągnięcia wzmocnienie dla wzmacniaczy nieodwracających to .
2. , , (zwarcie)   
   Pomiar:

Obliczenia:   
Błąd pomiaru:

### Wzmacniacz sumujący

#### Schemat badanego układu



Rysunek 10 – schemat wzmacniacza sumującego

#### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy operacyjnych – patrz „Zadanie 2: wstęp teoretyczny”

Jeśli i , to napięcie wyjściowe wzmacniacza sumującego można wyliczyć ze wzoru:

Jeśli dodatkowo rezystancja , to współczynnik skalujący sumę jest równy , zatem wzór przyjmuje postać:

Napięcie wyjściowe jest zanegowane, ponieważ sygnały wejściowe zostały podłączone do wejścia odwracającego wzmacniacza.

#### Cel zadania

Zbadać przy pomocy napięć stałych przedziały poprawnej pracy wzmacniacza sumującego.

#### Pomiary i obliczenia

, , ,

Obraz zawierający tekst, linia, Wykres, numer

Opis wygenerowany automatycznie

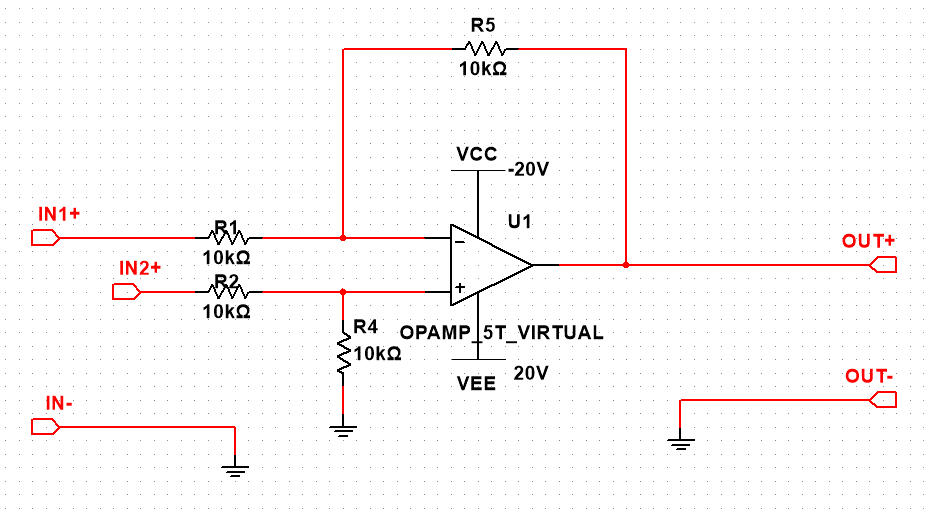


Rysunek 11 – wykres zależności napięcia wyjściowego od sumy napięć wejściowych   
we wzmacniaczu sumującym

Dla stałych napięć , , suma napięć . Wykres zależności napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego pokazuje, że wzmacniacz pracuje poprawnie dla sumy napięć od do .

### Wzmacniacz różnicowy

#### Schemat badanego układu



Rysunek 12 – schemat wzmacniacza różnicowego

#### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy operacyjnych – patrz „Zadanie 2: wstęp teoretyczny”

Jeśli i , to napięcie wyjściowe wzmacniacza różnicowego można wyliczyć ze wzoru:

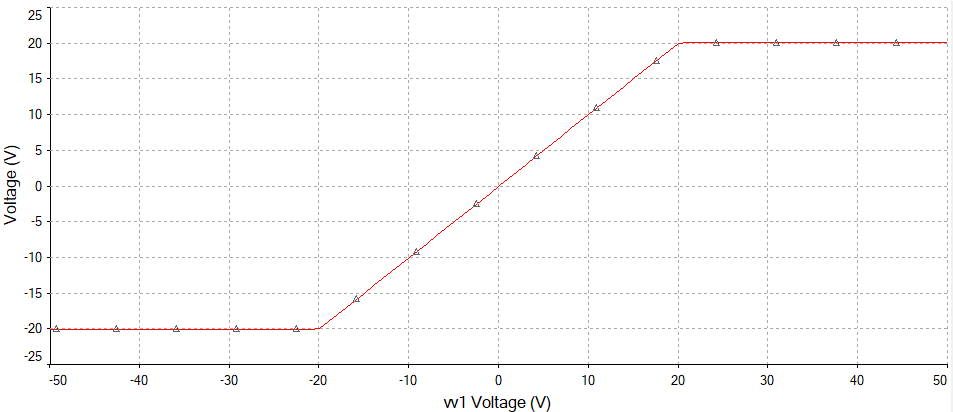
Jeśli dodatkowo rezystancja , to współczynnik skalujący różnicę jest równy , zatem wzór przyjmuje postać:

#### Cel zadania

Zbadać przy pomocy napięć stałych przedziały poprawnej pracy wzmacniacza różnicowego.

#### Pomiary i obliczenia

, , ,

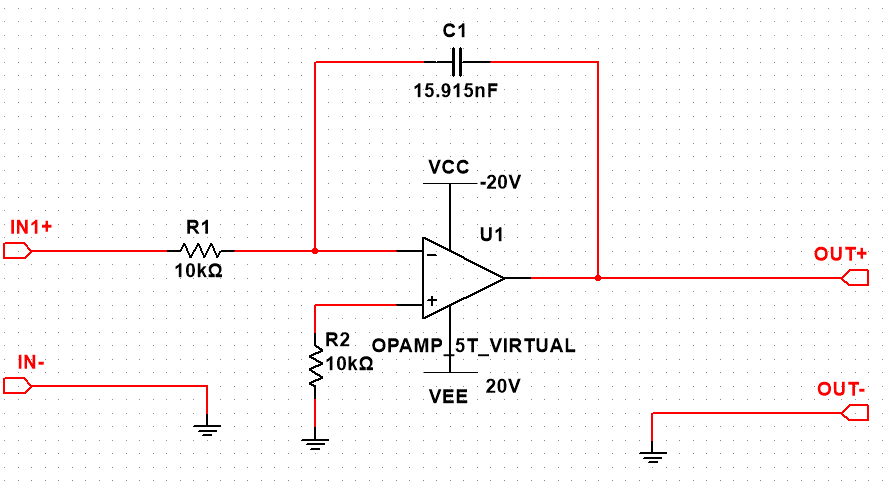


Rysunek 13 – wykres zależności napięcia wyjściowego od różnicy napięć wejściowych   
we wzmacniaczu różnicowym

Dla stałego napięcia , różnica napięć . Wykres zależności napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego pokazuje, że wzmacniacz pracuje poprawnie dla różnicy napięć od do .

### Wzmacniacz całkujący

#### Schemat badanego układu



Rysunek 14 – schemat wzmacniacza całkującego

#### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy operacyjnych – patrz „Zadanie 2: wstęp teoretyczny”

Jeśli , to napięcie wyjściowe wzmacniacza całkującego można wyliczyć ze wzoru:

Jeśli dodatkowo pojemność , to współczynnik skalujący całkę jest równy , zatem wzór przyjmuje postać:

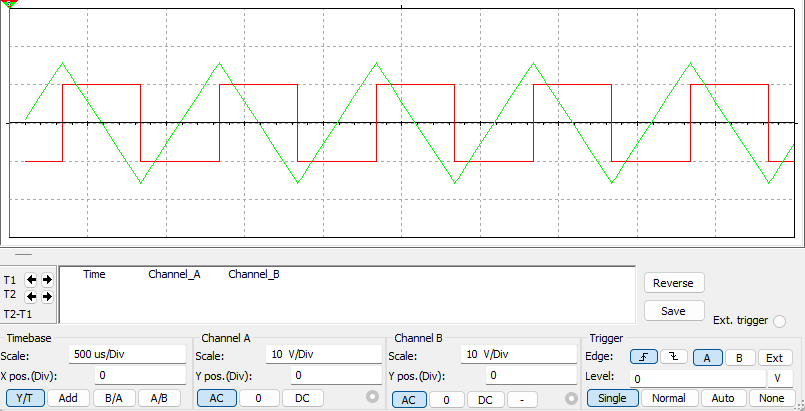
Napięcie wyjściowe jest zanegowane, ponieważ sygnał wejściowy został podłączony do wejścia odwracającego wzmacniacza.

#### Cel zadania

Zbadać odpowiedź wzmacniacza całkującego na ciąg prostokątnych impulsów.

#### Pomiary i obliczenia

, ,

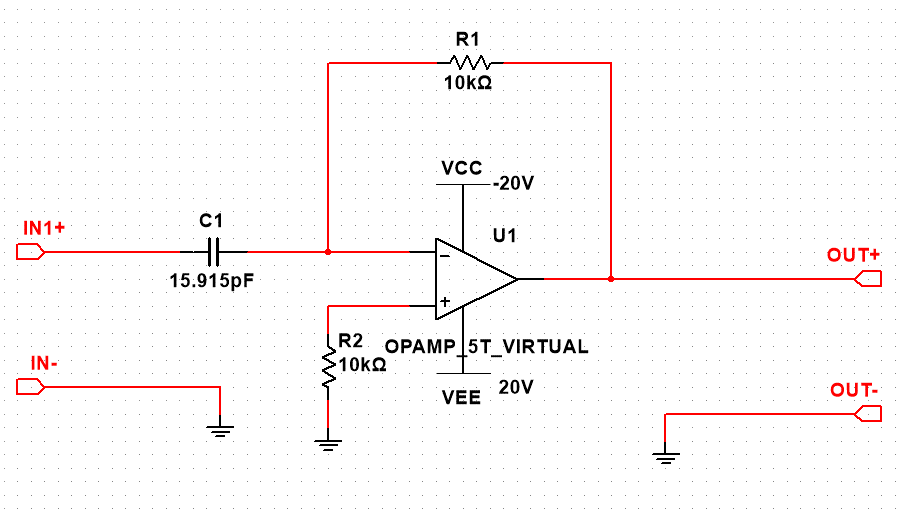


Rysunek 15 – napięcie wyjściowe wzmacniacza całkującego (zielony) na tle prostokątnego sygnału wejściowego (czerwony)

Odpowiedź wzmacniacza całkującego na sygnał prostokątny to sygnał trójkątny.

### Wzmacniacz różniczkujący

#### Schemat badanego układu



Rysunek 16 – schemat wzmacniacza różniczkującego

#### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy operacyjnych – patrz „Zadanie 2: wstęp teoretyczny”

Jeśli , to napięcie wyjściowe wzmacniacza różniczkującego można wyliczyć ze wzoru:

Jeśli dodatkowo pojemność , to współczynnik skalujący pochodną jest równy , zatem wzór przyjmuje postać:

Ze względu na znaczne szumy przy wzmocnieniu równym , wskazane jest aby wzmocnienie było znacznie mniejsze od , w celu ich eliminacji.

Napięcie wyjściowe jest zanegowane, ponieważ sygnał wejściowy został podłączony do wejścia odwracającego wzmacniacza.

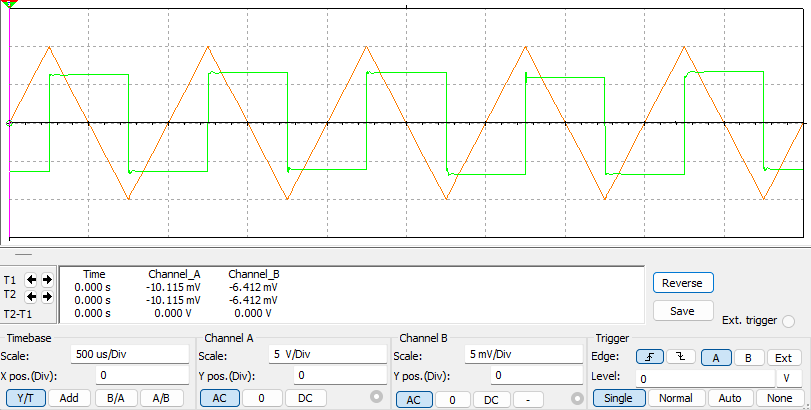
#### Cel zadania

Zbadać odpowiedź wzmacniacza różniczkującego na ciąg trójkątnych impulsów.

#### Pomiary i obliczenia

, ,

Aby uniknąć szumów, został wybrany kondensator o pojemności .

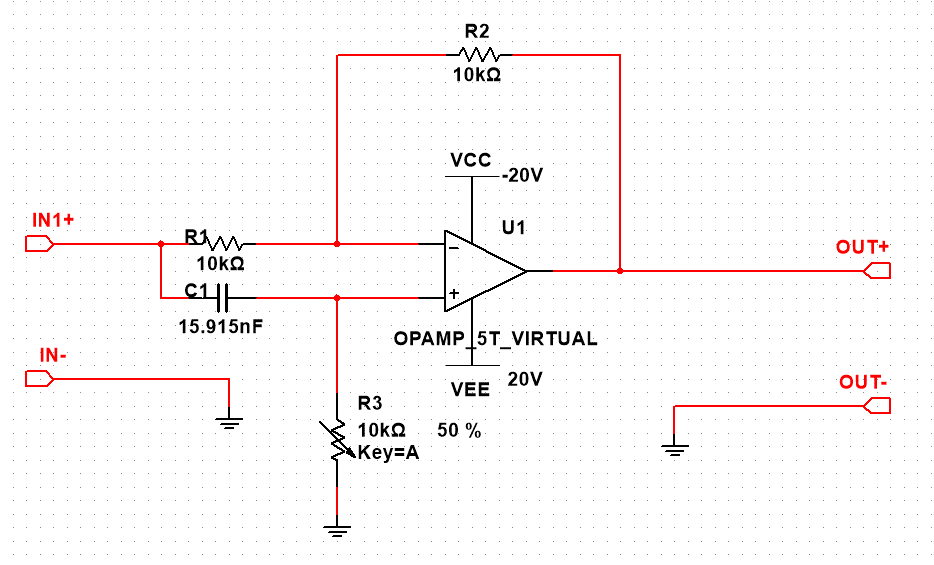


Rysunek 17 – napięcie wyjściowe wzmacniacza różniczkującego (zielony) na tle 1000-krotnie pomniejszonego  
trójkątnego sygnału wejściowego (czerwony)

Odpowiedź wzmacniacza różniczkującego na sygnał trójkątny to sygnał prostokątny.

### Przesuwnik fazowy

#### Schemat badanego układu



Rysunek 18 – schemat przesuwnika fazowego

#### Wstęp teoretyczny

Wstęp do wzmacniaczy operacyjnych – patrz „Zadanie 2: wstęp teoretyczny”

Jeśli , to amplituda sygnału wyjściowego przesuwnika fazowego jest taka sama jak amplituda sygnału wejściowego. Przesunięcie fazowe można wyliczyć ze wzoru:

Przesunięcie w czasie sygnału wyjściowego względem wejściowego można opisać wzorem:

Napięcie wyjściowe jest zanegowane, ponieważ sygnał wejściowy został podłączony do wejścia odwracającego wzmacniacza.

#### Cel zadania

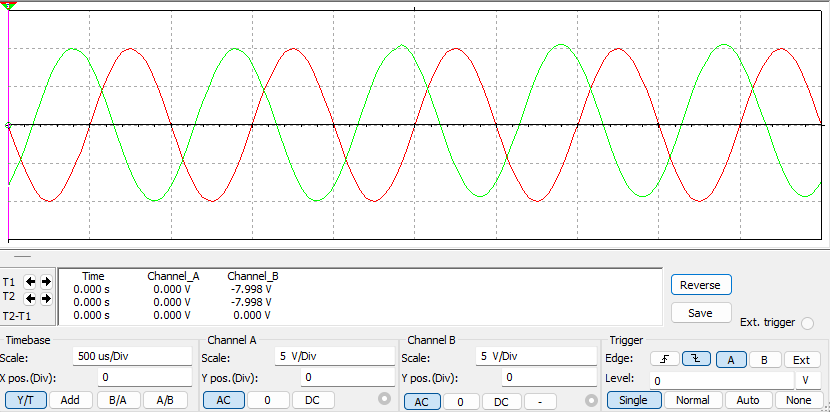
Zbadać odpowiedź przesuwnika fazowego na sygnał sinusoidalny w zależności od wartości rezystora regulującego .

#### Pomiary i obliczenia

, , , (okres )

Pomiary zostały przeprowadzone za pomocą odczytów z oscyloskopu.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | błąd pomiaru |
| **pomiar** | **obliczenia** |
| 0 | 0,000 | 0,000 | 0,00 |
| 1 | 30,303 | 31,725 | 4,48 |
| 5 | 155,303 | 147,580 | 5,23 |
| 10 | 250,000 | 249,995 | 0,00 |
| 50 | 437,500 | 437,165 | 0,08 |
| 100 | 469,697 | 468,274 | 0,30 |
| 500 | 500,000 | 493,634 | 1,29 |
| 1000 | 500,000 | 496,817 | 0,64 |



Rysunek 19 – napięcie wyjściowe przesuwnika fazowego (zielony)  
na tle sygnału wejściowego (czerwony) dla

Przesunięcie w fazie sygnału wyjściowego przesuwnika fazowego względem sygnału wejściowego jest zerowe dla i asymptotycznie zbliża się do (przesunięcie o połowę okresu) dla rosnącej wartości .

#### Wnioski

Podsumowując przeprowadzone doświadczenia i wyciągnięte z nich wnioski można zauważyć, że wzmacniacze operacyjne można wykorzystać w wielu zastosowaniach.

Najprostsze z nich, wzmacniacze odwracające i nieodwracające, nadają się doskonale do prostych zadań jakim może być wzmocnienie i/lub odwrócenie sygnału wejściowego, a także jako filtry dolnoprzepustowe.

Wzmacniacze sumujące i różnicowe mogą być przydatne do łączenia ze sobą prostych sygnałów sinusoidalnych w bardziej złożone sygnały.

Wzmacniacze całkujące i różniczkujące mogą się nadawać do przekształcania sygnałów od danym kształcie na inny.

Wreszcie, przesuwniki fazowe mogą być użyteczne wtedy, gdy jest potrzebne sterowanie przesunięciem fazowym sygnału wejściowego za pomocą rezystora.

Oczywiście, każdy ze wzmacniaczy poza specyficznym dla siebie zastosowaniem, może dodatkowo wzmocnić lub osłabić sygnał wyjściowy, a wartość wzmocnienia lub osłabienia może być bardzo precyzyjnie ustawiona.