|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Układy oparte o wzmacniacze operacyjne** | | | |
| Mikołaj Dąbrowski  Wojciech Dziuba | **10 IV 2019** | **Śr 14:45** | **E7** |

1. 1. Cel ćwiczenia

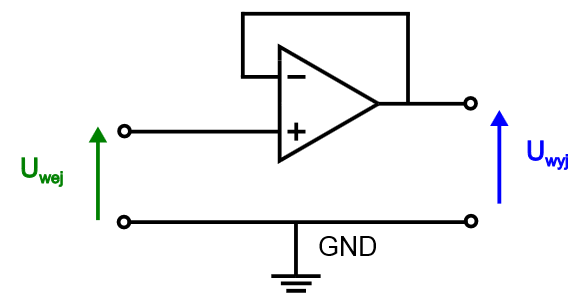
Celem ćwiczenia było zapoznanie się z budową oraz wyznaczenie charakterystyk układów opartych o wzmacniacze operacyjne: układu o wzmocnieniu jednostkowym, nieodwracającego fazy, odwracającego fazę, a także dokonanie pomiaru charakterystyki przejściowej zadanego wzmacniacza odwracającego.

1. 2. Przebieg ćwiczenia

**2.1. Przygotowanie stanowiska do zajęć**

Zajęcia zostały rozpoczęte od sprawdzenia kompletności zestawu laboratoryjnego, odpowiedniego ustawienia dwóch kanałów zasilacza: ograniczenia prądowego na 4mA przy napięciu równym 10V, połączonych w trybie *Series*.

**2.2. Wzmacniacz o wzmocnieniu jednostkowym**

W pierwszej części ćwiczenia zapoznano się ze schematem wzmacniacza o wzmocnieniu jednostkowym (*Rys.1*)*,* a następnie zmontowano podany układ na dostępnej płytce. Po weryfikacji poprawności połączeń przez prowadzącego, załączono sygnał sinusoidalny z generatora o napięciu *peak-peak* równym i wykonano serię pomiarów napięcia wejściowego oraz wyjściowego ze wzmacniacza, przy zmienianej częstotliwości w zakresie . Wyniki pomiarowe wraz z wyliczonymi wzmocnieniami przedstawiono w odpowiednich tabelach poniżej (*Tab.1* oraz *Tab.2*).

*Rys.1 Schemat wzmacniacza o wzmocnieniu jednostkowym*

*W celu zwiększenia przejrzystości prezentowanych wyników, tabele zawarte w sprawozdaniu podzielono na dwie części: w zakresie częstotliwości 100-794kHz oraz 1-10MHz*

*Tab.1 Wyniki pomiarów dla częstotliwości w zakresie 100-794 kHz*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **100** | **126** | **158** | **199** | **251** | **316** | **398** | **501** | **631** | **794** |
| **wejścia [V]** | 1,06 | 1,04 | 1,04 | 1,06 | 1,06 | 1,03 | 1,01 | 1,01 | 1 | 1 |
| **wyjścia [V]** | 1.06 | 1.04 | 1.04 | 1.06 | 1.06 | 1.03 | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.06 |
|  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.03 |
|  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.09 | 0.17 | 0.26 | 0.26 |

*Tab.2 Wyniki pomiarów dla częstotliwości w zakresie 1-10 MHz*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **1,26** | **1,58** | **1,99** | **2,51** | **3,16** | **3,98** | **5,01** | **6,31** | **7,94** | **10** |
| **wejścia** | 1 | 0.992 | 0.992 | 0.992 | 1.02 | 0.968 | 0.96 | 0.928 | 0.92 | 0.904 | 0.888 |
| **wyjścia** | 1.06 | 1.1 | 1.16 | 1.29 | 1.56 | 1.52 | 0.976 | 0.6 | 0.36 | 0.222 | 0.152 |
|  | 1.06 | 1.11 | 1.17 | 1.30 | 1.53 | 1.57 | 1.02 | 0.65 | 0.39 | 0.25 | 0.172 |
|  | 0.51 | 0.90 | 1.36 | 2.28 | 3.69 | 3.92 | 0.14 | -3.79 | -8.15 | -12.20 | -15.33 |

Wzmocnienie zostało wyliczone jako stosunek wartości do , natomiast wartość  **–** zgodnie ze wzorem: .

Dla powyżej wyliczonych wartości utworzono wykres w programie MATLAB, a następnie nałożono na niego charakterystykę wyznaczoną poprzez symulację w *LtSpice.*

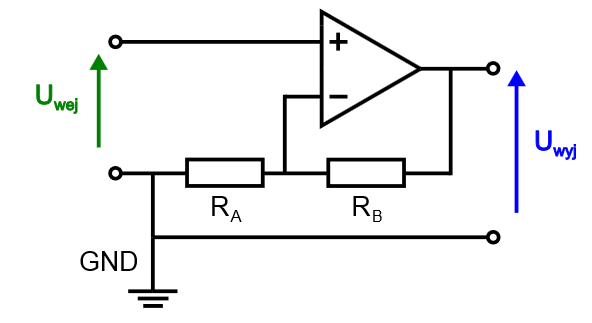
|  |
| --- |
| untitled.emf |
| **Wyk 2.2.1** Charakterystyka wzmacniacza o wzmocnieniu jednostkowym |

Jak widzimy, charakterystyka wzmacniacza o wzmocnieniu jednostkowym wyznaczona doświadczalnie znacząco się różni swoim kształtem do charakterystyki wyznaczonej w programie LTSpice, w szczególności dla częstotliwości powyżej .

Wartość wyznaczonego doświadczalnie wzmocnienia zaczyna rosnąć powyżej wartości ok. 316 kHz i osiąga wartość maksymalną równą 3,92 dB, dla 3,16 MHz, a następnie zaczyna gwałtownie spadać. Dla wartości około 3,98 MHz wzmocnienie ponownie osiąga wartość 0dB, po czym maleje nadal, aż do osiągnięcia wzmocnienia na poziomie .

**2.3. Wzmacniacz nieodwracający fazy**

W celu zmontowania tego układu (*Rys.2*), dobrano i odszukano na płytce odpowiednie wartości rezystorów tak, aby tego wzmacniacza wyniosło 2 (zgodnie z tabelą przedstawioną w instrukcji).



*Rys.2 Schemat wzmacniacza nieodwracającego fazy*

Za wartość rezystancji przyjęto , za wartość : . Następnie dokonano pomiarów amplitud wejścia, wyjścia oraz przesunięcia fazowego w podobny sposób, jak dla punktu 2.2, a wyniki przedstawiono w poniższych tabelach:

*Tab.3 Wyniki pomiarów dla częstotliwości w zakresie 100-794 kHz*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **100** | **126** | **158** | **199** | **251** | **316** | **398** | **501** | **631** | **794** |
| **wejścia [V]** | 1,06 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,02 | 1,02 | 1,01 |
| **wyjścia [V]** | 2,08 | 2,06 | 2,06 | 2,06 | 2,08 | 2,06 | 2,06 | 2,09 | 2,12 | 2,12 |
|  | 1,96 | 2 | 2 | 2 | 2,02 | 2 | 2 | 2,05 | 2,08 | 2,1 |
|  | 5,86 | 6,02 | 6,02 | 6,02 | 6,1 | 6,02 | 6,02 | 6,23 | 6,35 | 6,44 |
|  | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 11 | 14 | 18 | 22 | 28 |

*Ze względów praktycznych, tabelę z przedziałem wartości 1-10MHz również podzielono na dwie pomniejsze:*

*Tab.5 Wyniki pomiarów dla częstotliwości w zakresie 1-2.91 MHz*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1** | **1,26** | **1,58** | **1,99** | **2,25** | **2,51** | **2,7** | **2,91** |
| **wejścia** | 1,01 | 1,01 | 1 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,97 | 0,97 |
| **wyjścia** | 2,16 | 2,18 | 2,12 | 1,9 | 1,66 | 1,5 | 1,32 | 1,18 |
|  | 2,14 | 2,16 | 2,12 | 1,92 | 1,69 | 1,54 | 1,36 | 1,22 |
|  | 6,6 | 6,68 | 6,53 | 5,64 | 4,54 | 3,73 | 2,69 | 1,72 |
| **Przesunięcie fazowe [deg]** | 37 | 56 | 72 | 97 | 111 | 122 | 134 | 142 |

*Tab.6 Wyniki pomiarów dla częstotliwości w zakresie 3.16-10 MHz*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **3,16** | **3,55** | **3,98** | **4,5** | **5,01** | **6,31** | **7,94** | **9** | **10** |
| **wejścia** | 0,97 | 0,97 | 0,96 | 0,94 | 0,93 | 0,91 | 0,89 | 0,86 | 0,856 |
| **wyjścia** | 1,08 | 0,85 | 0,7 | 0,55 | 0,45 | 0,29 | 0,2 | 0,16 | 0,138 |
|  | 1,12 | 0,88 | 0,73 | 0,58 | 0,48 | 0,32 | 0,22 | 0,19 | 0,161 |
|  | 0,95 | -1,1 | -2,7 | -4,7 | -6,3 | -9,8 | -13 | -15 | -15,9 |
| **Przesunięcie fazowe [deg]** | 210 | 160 | 171 | 180 | 169 | 210 | 225 | 238 | 250 |

Wzmocnienie zostało wyliczone jako stosunek wartości do , natomiast wartość  **–** zgodnie ze wzorem: .

Otrzymane wyniki przedstawiono na wykresie w programie MATLAB.

|  |
| --- |
| untitled.emf |
| **Wyk. 2.3.1** Charakterystyki amplitudowo fazowe wzmacniacza nieodwracającego |

W tym przypadku charakterystyki są do siebie zbliżone kształtem.

Wzmocnienie w przypadku charakterystyki wyznaczonej doświadczalnie zaczyna zwiększać swoją wartość po przekroczeniu częstotliwości 398 kHz z około 6 dB, do 6,68 dB dla częstotliwości   
1,26 MHz, a następnie wartość wzmocnienia zaczyna szybko maleć, aż osiąga wartość -15,9 dB dla 10MHz.

Tak samo w przypadku charakterystyki wyznaczonej w programie LTSpice, wzmocnienie nie jest stałe przy narastającej częstotliwości. Po przekroczeniu częstotliwości 398 kHz, wartość wzmocnienia zaczyna spadać (jednak wolniej niż w przypadku charakterystyki wyznaczonej doświadczalnie), aż osiąga wartość -14,6 dB dla częstotliwości 10 MHz.

Przesunięcie fazowe w obu przypadkach poprawnie zaczyna rosnąć od wartości około od samego początku charakterystyki. Gwałtownie zaczynają się rozbiegać przy częstotliwości około 1 MHz, by ostatecznie osiągnąć dla charakterystyki wyznaczonej doświadczalnie i dla wyznaczonej w programie LTSpice.

Częstotliwość graniczna dla charakterystyki wyznaczonej doświadczalnie wynosi 4,06 MHz, natomiast dla charakterystyki wyznaczonej w LTSpice 4,34 MHz.

**2.4. Wzmacniacz odwracający fazę**

W celu zmontowania tego układu (*Rys.2*), dobrano i odszukano na płytce odpowiednie wartości rezystorów tak, aby tego wzmacniacza wyniosło 2 (zgodnie z tabelą przedstawioną w instrukcji).

|  |
| --- |
|  |
| *Rys. 3 Układ wzmacniacza odwracającego fazę* |

Za wartość rezystancji przyjęto , za wartość : . Następnie dokonano pomiarów amplitud wejścia, wyjścia oraz przesunięcia fazowego w podobny sposób, jak dla punktu 2.2, a wyniki przedstawiono w poniższych tabelach:

*Tab.7 Wyniki pomiarów dla częstotliwości w zakresie 100-794 kHz*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **100** | **126** | **158** | **199** | **251** | **316** | **398** | **501** | **631** | **794** |
| **wejścia** | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.99 |
| **wyjścia** | 4.52 | 4.52 | 4.48 | 4.44 | 4.36 | 4.20 | 4.04 | 3.80 | 3.40 | 3.08 |
|  | 4.63 | 4.63 | 4.59 | 4.55 | 4.47 | 4.30 | 4.14 | 3.89 | 3.46 | 3.10 |
|  | 13.31 | 13.31 | 13.24 | 13.16 | 13.00 | 12.68 | 12.34 | 11.81 | 10.77 | 9.84 |
| **Przesunięcie fazowe [deg]** | -170 | -164 | -162 | -157 | -151 | -144 | -135 | -124 | -112 | -97 |

*Tab.8 Wyniki pomiarów dla częstotliwości w zakresie 1-10 MHz*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1000** | **1260** | **1580** | **1990** | **2510** | **3160** | **3980** | **5010** | **6310** | **7940** | **10000** |
| **wejścia** | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.94 | 0.92 | 0.90 | 0.88 | 0.86 |
| **wyjścia** | 2.56 | 2.12 | 1.64 | 1.22 | 0.89 | 0.62 | 0.40 | 0.26 | 0.16 | 0.09 | 0.05 |
|  | 2.58 | 2.14 | 1.65 | 1.24 | 0.92 | 0.64 | 0.43 | 0.28 | 0.17 | 0.10 | 0.06 |
|  | 8.23 | 6.60 | 4.37 | 1.90 | -0.75 | -3.85 | -7.38 | -11.11 | -15.32 | -20.00 | -24.85 |
| **Przesunięcie fazowe [deg]** | -86 | -69 | -52 | -31 | -14 | 6 | 30 | 52 | 79 | 101 | 131 |

|  |
| --- |
| untitled.emf |
| **Wyk. 2.4.1** Charakterystyki amplitudowo fazowe wzmacniacza nieodwracającego |

Również w tym przypadku charakterystyki są do siebie zbliżone kształtem.

Wzmocnienie w przypadku charakterystyki wyznaczonej doświadczalnie zaczyna zmniejszać swoją wartość po przekroczeniu częstotliwości około 200 kHz z około 13,16 dB, do -24,85 dB dla częstotliwości 10 MHz.

Tak samo w przypadku charakterystyki wyznaczonej w programie LTSpice, wzmocnienie nie jest stałe przy narastającej częstotliwości. Po przekroczeniu częstotliwości około 200 kHz, wartość wzmocnienia zaczyna spadać i rozbiega się z charakterystyką wyznaczoną doświadczalnie po przekroczeniu około 1,5 MHz, odkąd zaczyna maleć wolniej niż charakterystyka doświadczalna.

Przesunięcie fazowe w obu przypadkach poprawnie zaczyna rosnąć od wartości około od samego początku charakterystyki. Przy około 13 MHz wzrost przesunięcia fazowego wyznaczone w LTSpice stabilizuje się i dalej rośnie już jednostajnie, osiągając wartość . Przesunięcie fazowe wyznaczone doświadczalnie po przekroczeniu 13 MHz nadal rośnie coraz szybciej i osiąga wartość .

Częstotliwość graniczna dla charakterystyki wyznaczonej doświadczalnie wynosi 2,98 MHz, natomiast dla charakterystyki wyznaczonej w LTSpice 3,64 MHz.

**2.5. Wzmacniacz odwracający fazę**

W celu wykonania układu do tego zadanie zamieniono rezystor z części 2.4 tego sprawozdania, na rezystor o rezystancji .

Następnie podawano na jego wejście sygnał o bezpiecznej dla tego wzmacniacza częstotliwości i wartości od -6V do 6V z krokiem co 0,5V i zmierzono napięcie na wyjściu ze wzmacniacza.

Zebrane dane zamieszczono w poniższych tabelach:

*Tab.9 Wyniki pomiarów dla napięć w zakresie -6V do 0V*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Napięcie na wejściu [V]** | -6 | -5.5 | -5 | -4.5 | -4 | -3.5 | -3 | -2.5 | -3 | -2.5 | -2 | -1.5 | -1 | -0.5 | 0 |
| **Napięcie na wyjściu [V]** | 8.4 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 8.6 | 7.6 | 6.6 | 5.6 | 6.6 | 5.6 | 4.4 | 1.5 | 2.2 | 1.2 | 0.007 |

*Tab.10 Wyniki pomiarów dla napięć w zakresie 0.5V do 6V*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Napięcie na wejściu [V]** | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 |
| **Napięcie na wyjściu [V]** | -1.04 | -2.24 | -3.2 | -4.26 | -5.3 | -6.46 | -7.48 | -7.82 | -7.82 | -7.8 | -7.74 | -7.72 |

Zależność napięcia wejściowego od wyjściowego w tym wzmacniaczu przedstawiono na wykresie wykonanym w programie MATLAB.

|  |
| --- |
| untitled.emf |
| **Wyk. 2.5.1**  Zależność napięcia wejściowego od wyjściowego dla wzmacniacza o wzmocnieniu G = -2,2 |

Jak widzimy na powyższym wykresie pojawia się błąd gruby dla wartości w okolicy napięcia wejściowego równego , jednak pomijając tę odchyłkę kształt wykresu zgadza się z teorią, możemy odczytać z niego wzmocnienie: wynosi ono około .

Charakterystyka wzmacniacza o wzmocnieniu równym wyglądałaby analogicznie jak powyższe, jedynie byłaby „obrócona” względem osi OX.

Nasycenie wzmacniacza dla skrajnych wartości wynika z faktu, że na zasilanie wzmacniacza podajemy , co w zastosowanym układzie przekłada się na maksymalną wartość około .