**Streszczenie**

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z właściwościami wzmacniaczy operacyjnych oraz poznanie możliwości realizacji bloków funkcjonalnych za pomocą wzmacniaczy operacyjnych.

**Wykaz aparatury**

1. Multimetry UNI-T UT804 (nr. WD054.01-003-203 oraz WD051.01-008-203)

2. Zasilacz SPD3303D (nr. WD051-02-006-203)

3. Zespół źródeł sterujących ZŹS-06

4. Układ pomiarowy W-01

5. Generator funkcyjny DF1641B (nr. WD045.01-002-203)

**Wzmacniacz w układzie odwracającym**

**Zadanie 1.1**

Zadanie polegało na zbadaniu charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego. Zgodnie z instrukcją ustawiono opory odpowiednio Z1=10kΩ i Z2=20kΩ; teoretyczna wartość wzmocnienia wynosi zatem .

Tabela 1. Wyniki pomiarów charakterystyki przejściowej w układzie odwracającym.

|  |  |
| --- | --- |
| Uwe [V] | Uwy [V] |
| -12,656 | 14,126 |
| -11,529 | 14,127 |
| -10,420 | 14,127 |
| -9,620 | 14,128 |
| -8,852 | 14,128 |
| -7,596 | 14,129 |
| -7,118 | 14,131 |
| -6,987 | 13,971 |
| -6,766 | 13,521 |
| -6,457 | 12,912 |
| -6,145 | 12,287 |
| -5,267 | 10,532 |
| -4,421 | 8,832 |
| -3,1980 | 6,390 |
| -2,2874 | 4,560 |
| -1,6825 | 3,3646 |
| -0,7324 | 1,4649 |
| 0,3044 | -0,6087 |
| 1,5957 | -3,1907 |
| 2,5937 | -5,182 |
| 3,8036 | -7,601 |
| 5,099 | -10,202 |
| 6,549 | -13,110 |
| 6,802 | -13,348 |
| 8,082 | -13,348 |
| 10,742 | -13,347 |
| 12,789 | -13,348 |

Rys. 1. Charakterystyka przejściowa układu odwracającego.

Tabela 2. Obliczone wzmocnienie napięciowe dla obszaru, gdzie wykres jest ukośny

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Uwe [V] | Uwy [V] | ku |
| -7,118 | 14,131 | -1,98525 |
| -6,987 | 13,971 | -1,99957 |
| -6,766 | 13,521 | -1,99837 |
| -6,457 | 12,912 | -1,99969 |
| -6,145 | 12,287 | -1,99951 |
| -5,267 | 10,532 | -1,99962 |
| -4,421 | 8,832 | -1,99774 |
| -3,1980 | 6,390 | -1,99812 |
| -2,2874 | 4,560 | -1,99353 |
| -1,6825 | 3,3646 | -1,99976 |
| -0,7324 | 1,4649 | -2,00014 |
| 0,3044 | -0,6087 | -1,99967 |
| 1,5957 | -3,1907 | -1,99956 |
| 2,5937 | -5,182 | -1,99792 |
| 3,8036 | -7,601 | -1,99837 |
| 5,099 | -10,202 | -2,00078 |
| 6,549 | -13,110 | -2,00183 |
| 6,802 | -13,348 | -1,96236 |

Wykres z uzyskanych pomiarów wskazuje, że wzmacniacz ma liniowe wzmocnienie odwracające w swoim zakresie napięć. Wyliczone wzmocnienie napięciowe jest bliskie wartości wzmocnienia teoretycznego.

**Zadanie 1.2**

Zadanie polegało na pomiarze rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego. Po podłączeniu rezystora RS1 o oporze 10kΩ dla napięcia wejściowego Uwe = 5,838V zmierzono napięcie wyjściowe Uwy = -5,842. Brak jest pomiaru z podpunktu 1.1 dla dokładnie takiego napięcia wejściowego, lecz korzystając z liniowości wzmocnienia można przewidzieć, że wynosiłoby ono około -11,7V. Korzystając ze wzoru wyznaczamy rezystancję wejściową jako 9972,7Ω.

**Zadanie 1.3**

Zadanie polegało na pomiarze rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego. Dla ustawionego na wejściu napięcia 12,035V zmieniano wartość oporu RL.

Tabela 3. Pomiary przy zmiennym oporze RL.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Uwe [V] | Uwy [V] | RL | wartość RL[Ω] |
| 12,035 | -13,344 |  |  |
| 12,035 | -12,862 | 1 | 2000 |
| 12,035 | -13,186 | 2 | 5000 |
| 12,035 | -13,287 | 3 | 10000 |
| 12,035 | -13,315 | 4 | 20000 |

Niestety na laboratoriach pomiary zostały przeprowadzone niewłaściwie (ustalono napięcie na wejściu zamiast na wyjściu); wynika stąd niemożność przeprowadzenia jakichkolwiek obliczeń w tym podpunkcie.

**Zadanie 1.4**

Zadanie polegało na pomiarze pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego. Z uwagi na niedokładność oscyloskopu cyfrowego odczytywano VRMS.

Tabela 4. Wyniki pomiarów dla zadania 1.4.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Uwe[mV] | Uwy[mV] | f[kHz] | [dB] |
| 20 | 216 | 0,3019 | 20,66848 |
| 22,4 | 108 | 0,1235 | 13,66351 |
| 22,4 | 72 | 197,1 | 10,14169 |
| 22,4 | 56 | 265 | 7,9588 |
| 21,6 | 40 | 395,4 | 5,352125 |
| 22,4 | 26 | 508,1 | 1,294507 |

Rys. 2. Wykres zależności współczynnika wzmocnienia od częstotliwości.

Z uwagi na ustawione opory Z1=5kΩ oraz Z2=50kΩ teoretyczna wartość wzmocnienia wynosi .

Uzyskany wykres jest bliski przewidywaniom teoretycznym. Dla małych częstotliwości wzmocnienie empiryczne ma wartość bliską teoretycznej.

**Zadanie 1.5**

Celem zadania było zmierzenie współczynnika wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego dla napięć zmiennych.

Tabela 5. Pomiar współczynnika wzmocnienia.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Z2 | opór Z1[kΩ] | Z2 | opór Z2[kΩ] | Uwe[mV] | Uwy[mV] | [dB] | [dB] |
| 1 | 5000 | 1 | 10000 | 21,6 | 42 | 5,775911 | 6,0206 |
| 3 | 15000 | 3 | 50000 | 21,6 | 74 | 10,69556 | 10,45757 |
| 5 | 25000 | 3 | 200000 | 22,4 | 46 | 6,250196 | 18,0618 |
| 5 | 25000 | 7 | 1000000 | 20 | 840 | 32,46499 | 32,0412 |

Poza trzecią serią danych empirycznie wyznaczone wartości współczynnika wzmocnienia dość dobrze opisują te wyznaczone teoretycznie.

**Wzmacniacz w układzie nieodwracającym**

**Zadanie 2.1**

Zadanie polegało na wyznaczeniu charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego.

Tabela 6. Wyniki pomiarów charakterystyki przejściowej w układzie nieodwracającym.

|  |  |
| --- | --- |
| Uwe [V] | Uwy [V] |
| -12,687 | -13,339 |
| -11,448 | -13,342 |
| -10,237 | -13,341 |
| -9,455 | -13,342 |
| -8,497 | -13,343 |
| -7,325 | -13,347 |
| -6,364 | -13,348 |
| -5,165 | -13,347 |
| -4,443 | -13,324 |
| -4,224 | -12,674 |
| -3,987 | -11,963 |
| -3,7619 | -11,280 |
| -3,4896 | -10,464 |
| -3,0083 | -9,018 |
| -2,5627 | -7,684 |
| -2,0537 | -6,157 |
| -1,4472 | -4,281 |
| -1,2104 | -3,6317 |
| -0,9561 | -2,8683 |
| -0,3364 | -1,0094 |
| -0,1090 | -0,3274 |
| 0,1434 | 0,4310 |
| 0,3455 | 1,0371 |
| 0,6025 | 1,8087 |
| 1,4146 | 4,240 |
| 2,3287 | 6,981 |
| 3,1938 | 9,576 |
| 3,833 | 11,492 |
| 4,170 | 12,513 |
| 4,312 | 12,931 |
| 4,419 | 13,260 |
| 4,597 | 13,798 |
| 4,715 | 14,136 |
| 4,791 | 14,135 |
| 6,548 | 14,136 |
| 8,740 | 14,141 |
| 10,597 | 14,144 |
| 11,896 | 14,146 |

Rys. 3. Charakterystyka przejściowa układu nieodwracającego.

Z uwagi na ustawione Z1=10kΩ, Z2=20kΩ można wyznaczyć będące wzmocnieniem teoretycznym, co w zakresie operacyjnym wzmacniacza pokrywa się ze współczynnikiem kierunkowym prostej wyznaczonej metodą najmniejszych kwadratów ku=2,999.

**Zadanie 2.2**

Celem zadania był pomiar rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego.

Tabela 7. Wyniki pomiarów do obliczenia rezystancji wejściowej.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Uwe [V] | Uwy [V] | RWE |
| 2,1369 | 6,404 | - |
| 2,1369 | 8,213 | RS2(300kΩ) |
| 2,1369 | 14,133 | RS3(10MΩ) |

Korzystając ze wzorów oraz wyznaczono wartości oporu wejściowego na odpowiednio -1,3MΩ oraz -18,3MΩ, co świadczy o popełnieniu błędu przy łączeniu układu.

**Zadanie 2.3**

Celem zadania było wyznaczenie rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego ze wzoru .

Tabela 7. Pomiary dla podpunktu 2.3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Uwe [V] | Uwy [V] | RL | wartość RL[Ω] |
| 3,997 | 11,993 |  |  |
| 3,997 | 11,993 | 1 | 2000 |
| 3,997 | 11,993 | 2 | 5000 |
| 3,996 | 11,993 | 3 | 10000 |
| 3,996 | 11,993 | 4 | 20000 |

Zauważono, że zadawanie oporu na wyjściu nie wpływa na odczyty (Uwy jest równe UwyRL), można zatem wywnioskować, że Rwy jest bliskie bądź równe zeru.

**Zadanie 2.4**

Celem zadania był pomiar pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego. Z uwagi na niedokładność oscyloskopu cyfrowego odczytywano VRMS.

Tabela 8. Pomiary dla podpunktu 2.4.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Uwe [V] | Uwy [V] | f[kHz] |
| 480 | 5200 | 0,3007 |
| 480 | 2600 | 13,55 |
| 480 | 1800 | 19,88 |
| 480 | 1400 | 27,12 |
| 480 | 1000 | 39,73 |
| 480 | 800 | 50,81 |
| 480 | 520 | 78,77 |
| 480 | 320 | 119,8 |
| 480 | 200 | 184,8 |
| 480 | 164 | 496,8 |

Ustawiono na wejściu i wyjściu opory odpowiednio Z1=5kΩ, Z2=50Ω, zatem dB.

Rys. 4. Wykres zależności współczynnika wzmocnienia od częstotliwości.

Uzyskany wykres jest bliski przewidywaniom teoretycznym. Dla małych częstotliwości wzmocnienie empiryczne ma wartość bliską teoretycznej.

**Zadanie 2.5**

Celem zadania było zmierzenie współczynnika wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego dla napięć zmiennych.

Tabela 9. Pomiar współczynnika wzmocnienia.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Z2 | opór Z1[kΩ] | Z2 | opór Z2[kΩ] | Uwe [V] | Uwy [V] | [dB] | [dB] |
| 1 | 5 | 1 | 10 | 480 | 1,36 | 50,95 | 9,54 |
| 3 | 15 | 3 | 50 | 480 | 2,08 | 47,26 | 12,74 |
| 5 | 25 | 3 | 50 | 480 | 1,44 | 50,46 | 9,54 |
| 5 | 25 | 7 | 1000 | 480 | 11,6 | 32,34 | 32,26 |

Wartości współczynnika wzmocnienia pokrywają się jedynie dla jednej serii danych – prawdopodobnie został popełniony błąd przy podłączaniu układu.

**Źródła**

Bogdan Żółtowski, Wprowadzenie do zajęć laboratoryjnych z fizyki, Skrypt Politechniki Łódzkiej, Łódź 2002.

Instrukcja do ćwiczenia E01 Miernictwo.

Instrukcja do ćwiczenia E08 Tranzystory.