

229879  
*numer albumu*

*Michał Gebel*  
*imię i nazwisko*

229908  
*numer albumu*

*Antoni Karwowski*  
*imię i nazwisko*

kierunek Informatyka Stosowana    czwartek  
semestr III    *dzień tygodnia*  
rok akademicki 2020/21    14:00-15:30  
    *godziny zajęć*  
    4  
    *numer zespołu*

# Laboratorium elektroniki

## Ćwiczenie E-08 Wzmacniacze Operacyjne

**17.12.2020r.**

data wykonania pomiarów

**17.12.2020r.**

data oddania raportu

ocena \_\_\_\_\_

**Uwaga!!! sprawozdanie jest niekompletne,  
nie posiada:**

1) wykresów dla wzmacniacza w układzie  
nieodwracającym

2) obliczeń rezystancji wyjściowych i  
wejściowych oraz ich niepewności a także  
niektórych obliczeń dla współczynnika  
wzmocnienia

**wszelkie brakujące punkty zostaną dodane  
w najbliższym czasie, zwracam się z  
uprzejmą prośbą, aby w przypadku  
zarejestrowania nowej wersji sprawozdania  
przed jego sprawdzeniem od razu  
przystąpić do sprawdzania wersji  
najnowszej.**

# 1. Cel ćwiczenia

## 1.1 Sformułowanie celu ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości wzmacniaczy operacyjnych oraz możliwości wykorzystania ich do realizacji bloków funkcjonalnych poprzez dobór odpowiednich sprzężeń zwrotnych.

## 1.2 Wstęp teoretyczny

### 1.2.0 Oznaczenia

$U_{wy}$  [V] – napięcie wyjściowe

$U_{we}$  [V] – napięcie wyjściowe

$k_u$  [1] – współczynnik wzmocnienia

$k_u^t$  [1] – teoretyczny współczynnik wzmocnienia

$k_u^A$  [dB] – współczynnik wzmocnienia amplitudowego

$k_u^{At}$  [dB] – teoretyczny współczynnik wzmocnienia amplitudowego

$f$  [Hz] – częstotliwość

$R_{we}$  [ $\Omega$ ] – rezystancja (opór) wejściowa

$R_{wy}$  [ $\Omega$ ] – rezystancja (opór) wyjściowa

$\Delta R_{we}$  [ $\Omega$ ] – niepewność rezystancji wejściowej

$\Delta R_{wy}$  [ $\Omega$ ] – niepewność rezystancji wyjściowej

### 1.2.1 charakterystyka przejściowa wzmacniacza operacyjnego:

$$U_{wy} = f(U_{we}) \quad (0)$$

### 1.2.2 współczynnik wzmocnienia (rzeczywisty i teoretyczny)

$$k_u^t = \frac{-R_2}{R_1} \quad k_u = \frac{U_{we}}{U_{wy}} \quad (1a, 1b)$$

### 1.2.3 współczynnik wzmocnienia Amplitudowego (rzeczywisty i teoretyczny)

$$k_u^{At} = 20 \log_{10} \left| \frac{R_2}{R_1} \right| \quad k_u^A = 20 \log_{10} \left| \frac{U_{we}}{U_{wy}} \right| \quad (2a, 2b)$$

#### 1.2.4 Rezystancja wejściowa i wyjściowa dla wzmacniacza nieodwracającego

$$R_{WE} = \frac{R_{S3}}{\frac{U_{WY}}{U_{WY R3}} - 1}; \quad R_{WY} = R_L \left( \frac{U_{WY}}{U_{WY RL}} - 1 \right) \quad (3a, 3b)$$

#### 1.2.3 Rezystancja wejściowa i wyjściowa dla wzmacniacza odwracającego

$$R_{WE} = \frac{R_{Si}}{\frac{U_{WY}}{U_{WY RSi}} - 1} = R_{WE}(x, y) = \frac{R_{Si}}{\frac{x}{y} - 1}$$

$$R_{WY} = R_L \cdot \left( \frac{U_{WY}}{U_{WY RL}} - 1 \right) = R_{WY}(x, z) = R_L \cdot \left( \frac{x}{z} - 1 \right)$$

gdzie: (4a, 4b)

$$x = U_{WY}; \quad y = U_{WY RSi}; \quad z = U_{WY RL}$$

#### 1.2.4 niepewność Rezystancji wejściowej i wyjściowej

$$u_c(R_{WY}) = R_L \cdot \left( \frac{1}{z} \right) \cdot \sqrt{u^2(x) + \left( \frac{x}{z} \right)^2 \cdot u^2(z)}$$

$$u_c(R_{WE}) = \frac{R_{Si}}{\left( \frac{x}{y} - 1 \right)^2} \cdot \left( \frac{1}{y} \right) \cdot \sqrt{u^2(x) + \left( \frac{x}{y} \right)^2 \cdot u^2(y)}$$

(5a, 5b)

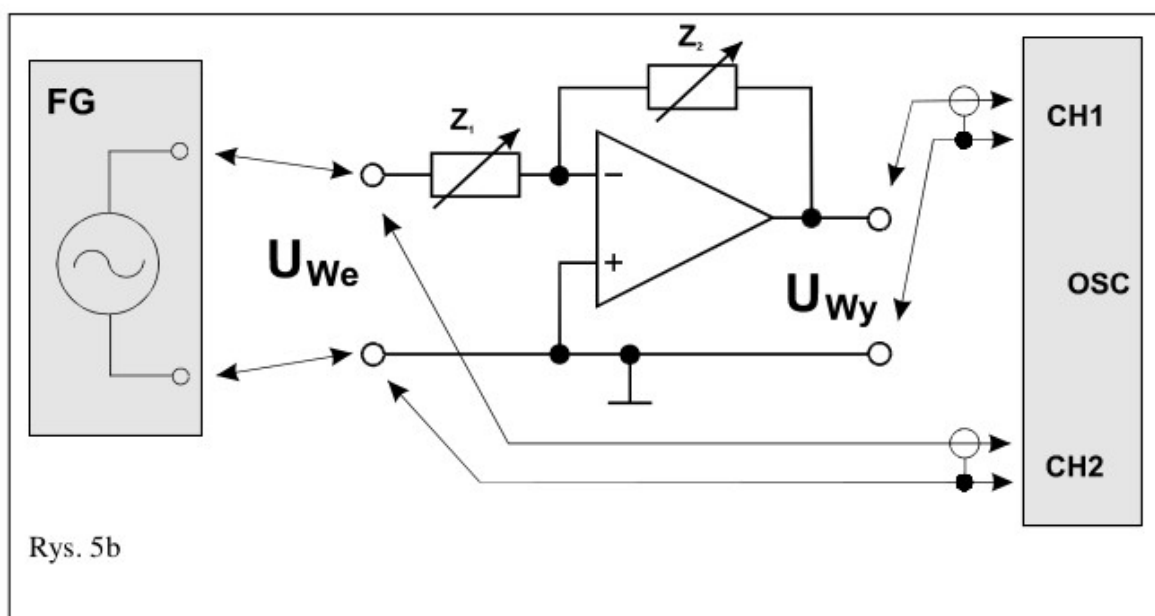
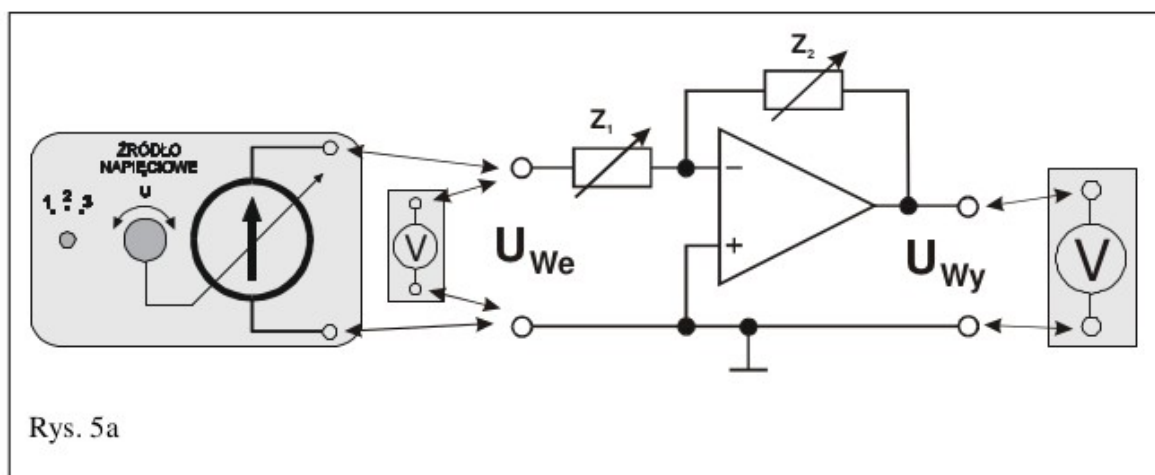
## 2. Schematy układów pomiarowych

FG – generator

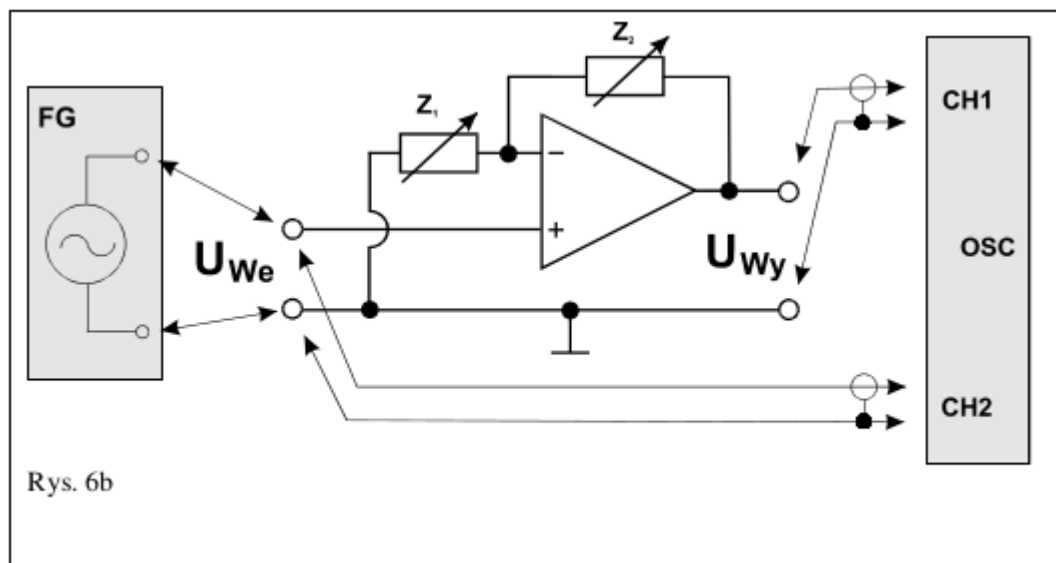
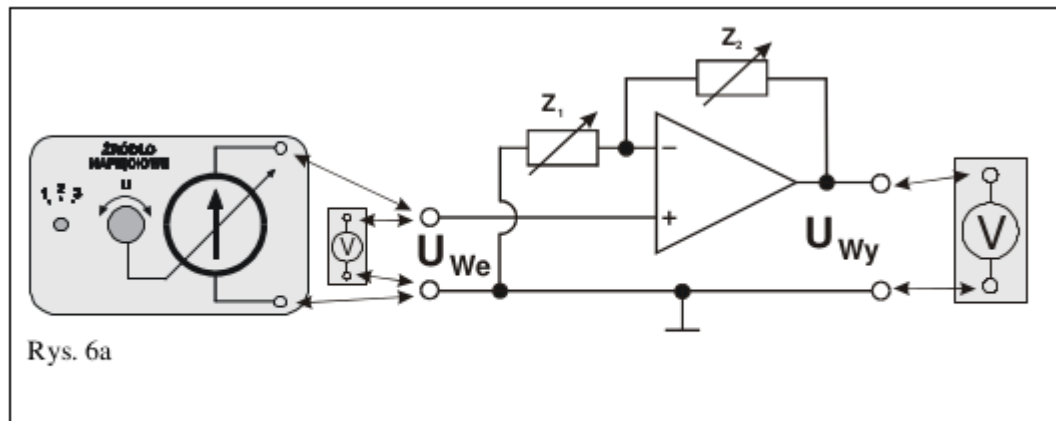
OSC – oscyloskop

CH1 i CH2 – wejścia oscyloskopu

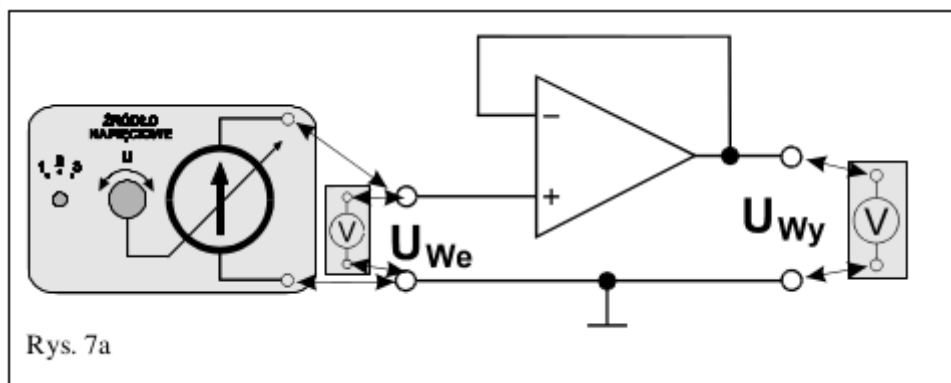
V – woltomierz



**Rys. 1.** schemat połączeń dla wzmacniacza operacyjnego w układzie odwracającym – wersja podstawowa



**Rys. 2.** schemat połączeń dla wzmacniacza operacyjnego w układzie nieodwracającym – wersja podstawowa



**Rys. 3.** schemat połączeń dla wzmacniacza operacyjnego w układzie nieodwracającym – wersja rozszerzona – wtórnik

### 3. Wykaz aparatury

#### **Aparatura użyta dla części wzmacniacz w układzie odwracającym oraz wzmacniacz w układzie nieodwracającym**

- 1). Moduł doświadczalny W-03
- 2). Zespół Źródeł Sterujących, nr inw. ZŻS-06
- 3). Multimetr UT-804, nr inw. I3/RPO/010/T8/50/1 - do pomiaru UWE, zakres 40 V DC
- 4). Multimetr Protek 506, nr inw. WD043.01-005-203 - do pomiaru UWY, zakres 40 V DC
- 5). Generator funkcyjny DF1641B, nr inw. WD045.01-007-203
- 6). Oscyloskop cyfrowy SIGLENT SDS 1052DL, nr inw. I3/RPO/010/T8/68/3
- 7). Zasilacz Siglent SPD3303D, nr inw. I3/RPO/010/T8/48/2

#### **Aparatura użyta dla części wzmacniacz w układzie nieodwracającym - wtórnik**

- 1). Moduł doświadczalny W-03
- 2). Zespół Źródeł Sterujących, nr inw. ZŻS-06
- 3). Multimetr Protek 506, nr inw. WD043.01-005-203 - do pomiaru UWE, zakres 40 V DC
- 4). Multimetr Kemot KT890, nr inw. I3/2.03/2017-K/4 - do pomiaru UWY, zakres 20 V DC
- 5). Generator funkcyjny DF1641B, nr inw. WD045.01-007-203
- 6). Oscyloskop cyfrowy SIGLENT SDS 1052DL, nr inw. I3/RPO/010/T8/68/3
- 7). Zasilacz Siglent SPD3303D, nr inw. WD051.02-004-203

## 4. Stabelaryzowane wyniki pomiarów

|                  |        |         |  |
|------------------|--------|---------|--|
| model multimetru | zakres | dgts    | niepewność graniczna                                   |
| UT-804           | 40 V   | 0,001 V | $\Delta U = \pm(0,05\%  \text{rdg}  + 5 \text{ dgts})$ |
| Protek 506       | 40 V   | 0,01 V  | $\Delta U = \pm(0,5\%  \text{rdg}  + 2 \text{ dgts})$  |

**Tabela 0** Informacje służące do wyliczania niepewności pomiarowych na podstawie dokumentacji użytych mierników

### 4.1 Wyniki pomiarów dla wzmacniacza operacyjnego w układzie odwracającym – wersja podstawowa

| Z1<br>[kΩ] | Z2<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|------------|------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|            |            | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| 10         | 20         | -12,02             | 0,01                | 14,07              | 0,09                |
| 10         | 20         | -11,04             | 0,01                | 14,07              | 0,09                |
| 10         | 20         | -10,05             | 0,01                | 14,07              | 0,09                |
| 10         | 20         | -9,02              | 0,01                | 14,07              | 0,09                |
| 10         | 20         | -8,03              | 0,01                | 14,07              | 0,09                |
| 10         | 20         | -7,13              | 0,01                | 13,97              | 0,09                |
| 10         | 20         | -6,96              | 0,01                | 13,63              | 0,09                |
| 10         | 20         | -6,63              | 0,01                | 12,99              | 0,08                |
| 10         | 20         | -6,01              | 0,01                | 11,78              | 0,08                |
| 10         | 20         | -5,03              | 0,01                | 9,87               | 0,07                |
| 10         | 20         | -4,00              | 0,01                | 7,84               | 0,06                |
| 10         | 20         | 3,00               | 0,01                | 5,88               | 0,05                |
| 10         | 20         | -1,99              | 0,01                | 3,90               | 0,04                |
| 10         | 20         | -0,99              | 0,01                | 1,94               | 0,03                |
| 10         | 20         | 0,04               | 0,01                | -0,07              | 0,02                |
| 10         | 20         | 1,06               | 0,01                | -2,08              | 0,03                |
| 10         | 20         | 2,04               | 0,01                | -4,00              | 0,04                |
| 10         | 20         | 3,00               | 0,01                | -5,94              | 0,05                |
| 10         | 20         | 4,07               | 0,01                | -7,97              | 0,06                |
| 10         | 20         | 5,01               | 0,01                | -9,82              | 0,07                |
| 10         | 20         | 5,72               | 0,01                | -11,20             | 0,08                |
| 10         | 20         | 6,06               | 0,01                | -11,87             | 0,08                |
| 10         | 20         | 6,48               | 0,01                | -12,69             | 0,08                |
| 10         | 20         | 7,06               | 0,01                | -13,04             | 0,09                |
| 10         | 20         | 8,03               | 0,01                | -13,04             | 0,09                |
| 10         | 20         | 10,13              | 0,01                | -13,04             | 0,09                |
| 10         | 20         | 11,92              | 0,01                | -13,04             | 0,09                |

**Tabela 1a** Wyniki pomiarów charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego



| RS1  | RL       | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ] | [kΩ]     | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| -    | $\infty$ | -5,03              | 0,01                | 9,85               | 0,07                |
| 10   | $\infty$ | -5,03              | 0,01                | 4,98               | 0,04                |

**Tabela 1b** Wyniki pomiarów rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego

| RS1  | RL       | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ] | [kΩ]     | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| -    | $\infty$ | -6,13              | 0,01                | 12,00              | 0,08                |
| -    | 20       | -6,13              | 0,01                | 12,00              | 0,08                |
| -    | 10       | -6,13              | 0,01                | 12,00              | 0,08                |
| -    | 5        | -6,13              | 0,01                | 12,00              | 0,08                |
| -    | 2        | -6,13              | 0,01                | 12,00              | 0,08                |

**Tabela 1c** Wyniki pomiarów rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego

| f      | UWE   | UWY   |
|--------|-------|-------|
| [kHz]  | [V]   | [V]   |
| 0,3010 | 0,172 | 1,68  |
| 105,5  | 0,176 | 0,840 |
| 171,9  | 0,176 | 0,552 |
| 222,6  | 0,174 | 0,424 |
| 281,0  | 0,174 | 0,332 |
| 325,1  | 0,174 | 0,284 |
| 427,6  | 0,174 | 0,208 |
| 499,8  | 0,176 | 0,180 |
| 527,1  | 0,174 | 0,162 |

**Tabela 1d** Wyniki pomiarów pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego

| Z1   | Z2   | UWE  | UWY  |
|------|------|------|------|
| [kΩ] | [kΩ] | [mV] | [mV] |
| 5    | 10   | 124  | 236  |
| 10   | 20   | 124  | 232  |
| 15   | 50   | 130  | 396  |
| 25   | 20   | 148  | 130  |
| 25   | 10   | 224  | 106  |
| 15   | 100  | 224  | 1480 |
| 30   | 100  | 228  | 760  |

**Tabela 1e** Wyniki pomiarów współczynnika wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego

#### 4.2 Wyniki pomiarów dla wzmacniacza operacyjnego w układzie nieodwracającym – wersja podstawowa

| Z1   | Z2   | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|------|------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ] | [kΩ] | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| 10   | 20   | -12,05             | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -11,06             | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -10,04             | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -8,98              | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -8,05              | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -7,92              | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -5,95              | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -4,96              | 0,01                | -13,05             | 0,09                |
| 10   | 20   | -4,24              | 0,01                | -12,51             | 0,08                |
| 10   | 20   | -4,11              | 0,01                | -12,17             | 0,08                |
| 10   | 20   | -3,99              | 0,01                | -11,81             | 0,08                |
| 10   | 20   | -3,62              | 0,01                | -10,72             | 0,07                |
| 10   | 20   | -3,19              | 0,01                | -9,43              | 0,07                |
| 10   | 20   | -1,96              | 0,01                | -5,82              | 0,05                |
| 10   | 20   | -1,06              | 0,01                | -3,14              | 0,04                |
| 10   | 20   | 0,01               | 0,01                | 0,17               | 0,02                |
| 10   | 20   | 1,02               | 0,01                | 3,02               | 0,04                |
| 10   | 20   | 1,98               | 0,01                | 5,87               | 0,05                |
| 10   | 20   | 3,01               | 0,01                | 8,91               | 0,06                |
| 10   | 20   | 4,02               | 0,01                | 11,90              | 0,08                |
| 10   | 20   | 4,16               | 0,01                | 12,31              | 0,08                |
| 10   | 20   | 4,33               | 0,01                | 13,56              | 0,09                |
| 10   | 20   | 4,58               | 0,01                | 14,09              | 0,09                |
| 10   | 20   | 4,81               | 0,01                | 14,09              | 0,09                |
| 10   | 20   | 6,70               | 0,01                | 14,10              | 0,09                |
| 10   | 20   | 9,11               | 0,01                | 14,10              | 0,09                |
| 10   | 20   | 10,06              | 0,01                | 14,10              | 0,09                |
| 10   | 20   | 12,02              | 0,01                | 14,10              | 0,09                |

**Tabela 2a** Wyniki pomiarów charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego

| RS2/RS3 | RL       | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|---------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ]    | [kΩ]     | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| -       | $\infty$ | 3,03               | 0,01                | 8,99               | 0,07                |
| 300     | $\infty$ | 3,03               | 0,01                | 8,98               | 0,06                |
| 10000   | $\infty$ | 3,03               | 0,01                | 8,74               | 0,06                |

**Tabela 2b** Wyniki pomiarów rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego

| RS2/RS3 | RL       | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|---------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ]    | [kΩ]     | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| -       | $\infty$ | 4,06               | 0,01                | 12,02              | 0,08                |
| -       | 20       | 4,06               | 0,01                | 12,02              | 0,08                |
| -       | 10       | 4,06               | 0,01                | 12,02              | 0,08                |
| -       | 5        | 4,06               | 0,01                | 12,02              | 0,08                |
| -       | 2        | 4,06               | 0,01                | 12,02              | 0,08                |

**Tabela 2c** Wyniki pomiarów rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego

| f      | UWE | UWY  |
|--------|-----|------|
| [kHz]  | [V] | [V]  |
| 0,2990 | 152 | 1500 |
| 117,2  | 152 | 720  |
| 176,7  | 148 | 504  |
| 245,6  | 148 | 354  |
| 297,1  | 150 | 304  |
| 364,0  | 150 | 244  |
| 466,1  | 150 | 180  |
| 496,5  | 150 | 176  |
| 576,0  | 150 | 148  |

**Tabela 2d** Wyniki pomiarów pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego

| Z1   | Z2   | UWE | UWY  |
|------|------|-----|------|
| [kΩ] | [kΩ] | [V] | [V]  |
| 5    | 10   | 146 | 408  |
| 10   | 20   | 148 | 408  |
| 15   | 50   | 146 | 600  |
| 25   | 20   | 146 | 252  |
| 25   | 10   | 148 | 200  |
| 15   | 100  | 154 | 1100 |
| 30   | 100  | 150 | 616  |
| 25   | 1000 | 148 | 5600 |

**Tabela 2e** Wyniki pomiarów współczynnika wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego

### 4.3 Wyniki pomiarów dla wzmacniacza operacyjnego w układzie nieodwracającym – wersja rozszerzona - wtórnik

| Z1   | Z2   | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|------|------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ] | [kΩ] | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| ∞    | 0,0  | -12,63             | 0,01                | -12,55             | 0,08                |
| ∞    | 0,0  | -10,52             | 0,01                | -10,54             | 0,07                |
| ∞    | 0,0  | -8,42              | 0,01                | -8,44              | 0,06                |
| ∞    | 0,0  | -6,37              | 0,01                | -6,39              | 0,05                |
| ∞    | 0,0  | -4,25              | 0,01                | -4,26              | 0,04                |
| ∞    | 0,0  | -2,15              | 0,01                | -2,16              | 0,03                |
| ∞    | 0,0  | -1,04              | 0,01                | -1,04              | 0,03                |
| ∞    | 0,0  | 0,00               | 0,01                | 0,00               | 0,02                |
| ∞    | 0,0  | 1,00               | 0,01                | 1,00               | 0,03                |
| ∞    | 0,0  | 2,16               | 0,01                | 2,16               | 0,03                |
| ∞    | 0,0  | 4,22               | 0,01                | 4,23               | 0,04                |
| ∞    | 0,0  | 6,49               | 0,01                | 6,51               | 0,05                |
| ∞    | 0,0  | 10,60              | 0,01                | 10,63              | 0,07                |
| ∞    | 0,0  | 12,76              | 0,01                | 12,79              | 0,08                |

**Tabela 3a** Wyniki pomiarów charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego

| RS2/RS3 | RL   | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|---------|------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ]    | [kΩ] | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| -       | ∞    | 10,57              | 0,01                | 10,60              | 0,07                |
| 300     | ∞    | 10,57              | 0,01                | 10,60              | 0,07                |
| 10000   | ∞    | 10,57              | 0,01                | 10,58              | 0,07                |

**Tabela 3b** Wyniki pomiarów rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego

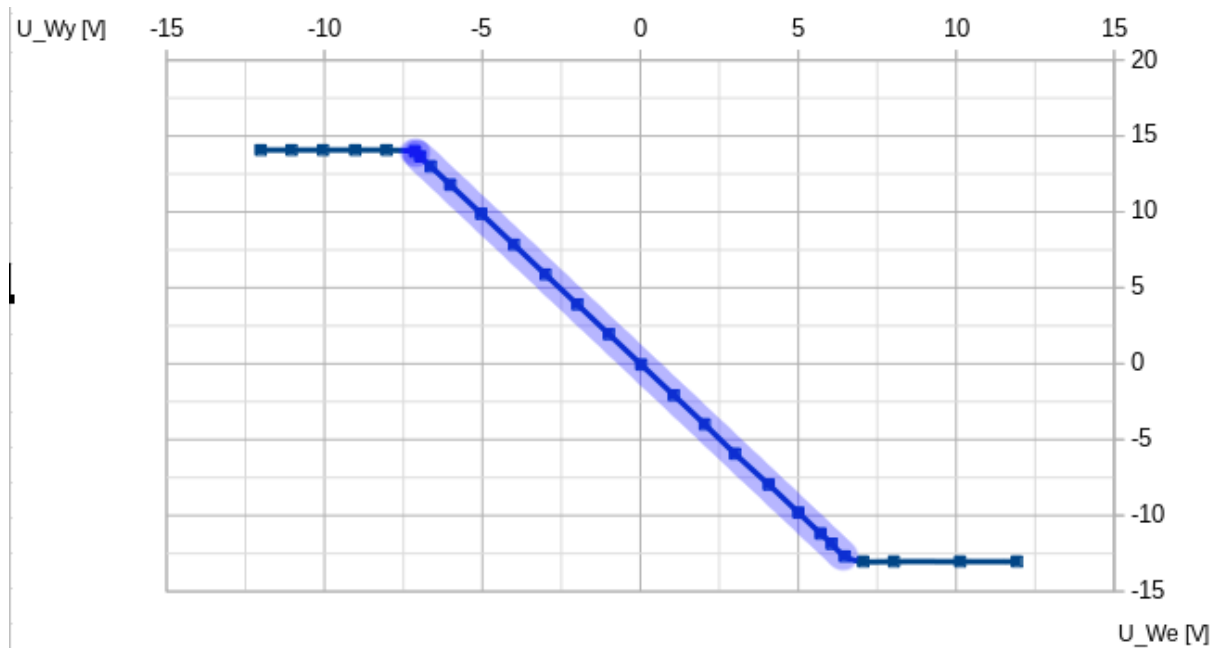
| RS2/RS3 | RL   | Napięcie wejściowe |                     | Napięcie wyjściowe |                     |
|---------|------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| [kΩ]    | [kΩ] | UWE [V]            | $\Delta U_{WE}$ [V] | UWY [V]            | $\Delta U_{WY}$ [V] |
| -       | ∞    | 10,57              | 0,01                | 10,60              | 0,07                |
| -       | 20   | 10,57              | 0,01                | 10,60              | 0,07                |
| -       | 10   | 10,57              | 0,01                | 10,60              | 0,07                |
| -       | 5    | 10,57              | 0,01                | 10,60              | 0,07                |
| -       | 2    | 10,57              | 0,01                | 10,60              | 0,07                |

**Tabela 3c** Wyniki pomiarów rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego

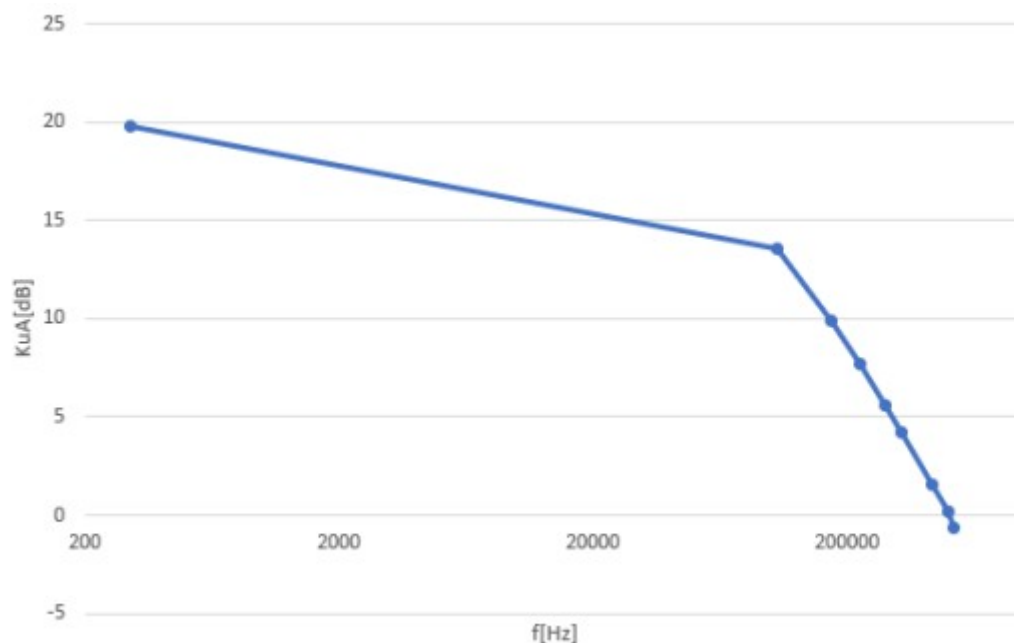
| f<br>[kHz] | UWE<br>[mV] | UWY<br>[mV] |
|------------|-------------|-------------|
| 0,2963     | 18,8        | 20,0        |
| 2,951      | 18,8        | 20,4        |
| 30,12      | 18,4        | 20,0        |
| 310,0      | 18,8        | 20,4        |
| 634,1      | 18,8        | 20,4        |
| 814,2      | 18,8        | 19,6        |
| 910,0      | 18,4        | 19,2        |
| 999,3      | 18,4        | 17,6        |
| 1101       | 18,4        | 16,8        |
| 1201       | 18,0        | 15,6        |
| 1300       | 18,4        | 14,8        |
| 1401       | 18,0        | 13,6        |
| 1451       | 18,4        | 13,2        |
| 1508       | 18,4        | 12,8        |

**Tabela 3d** Wyniki pomiarów pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego

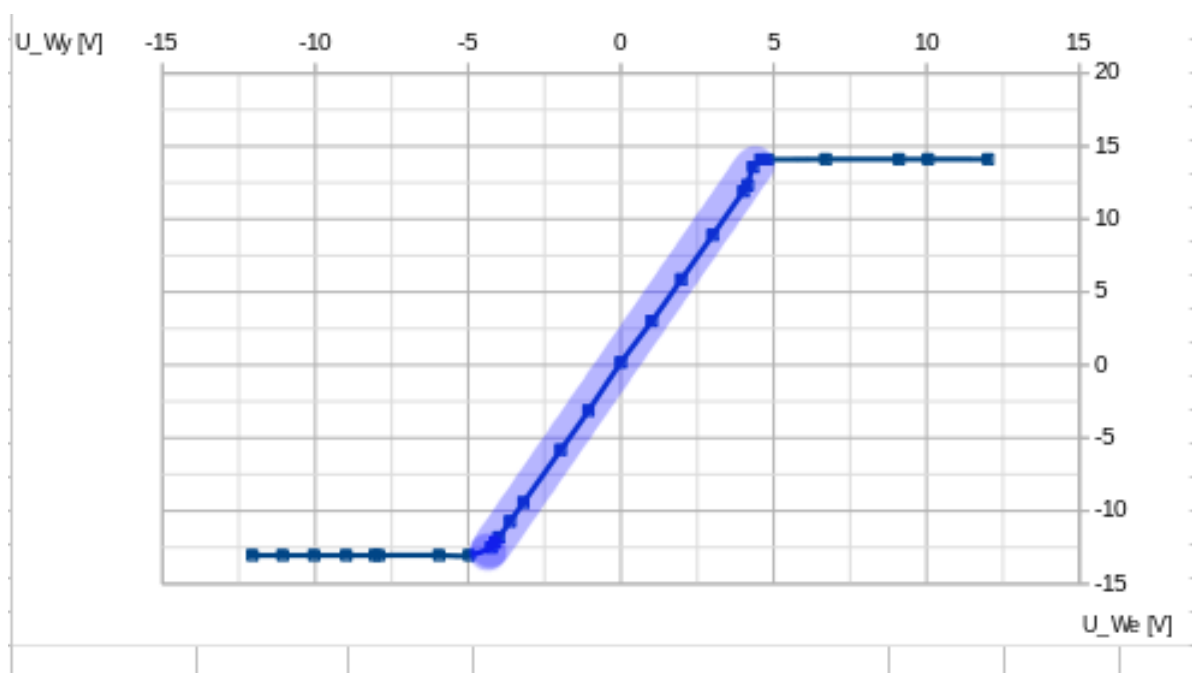
## 5. Wykresy



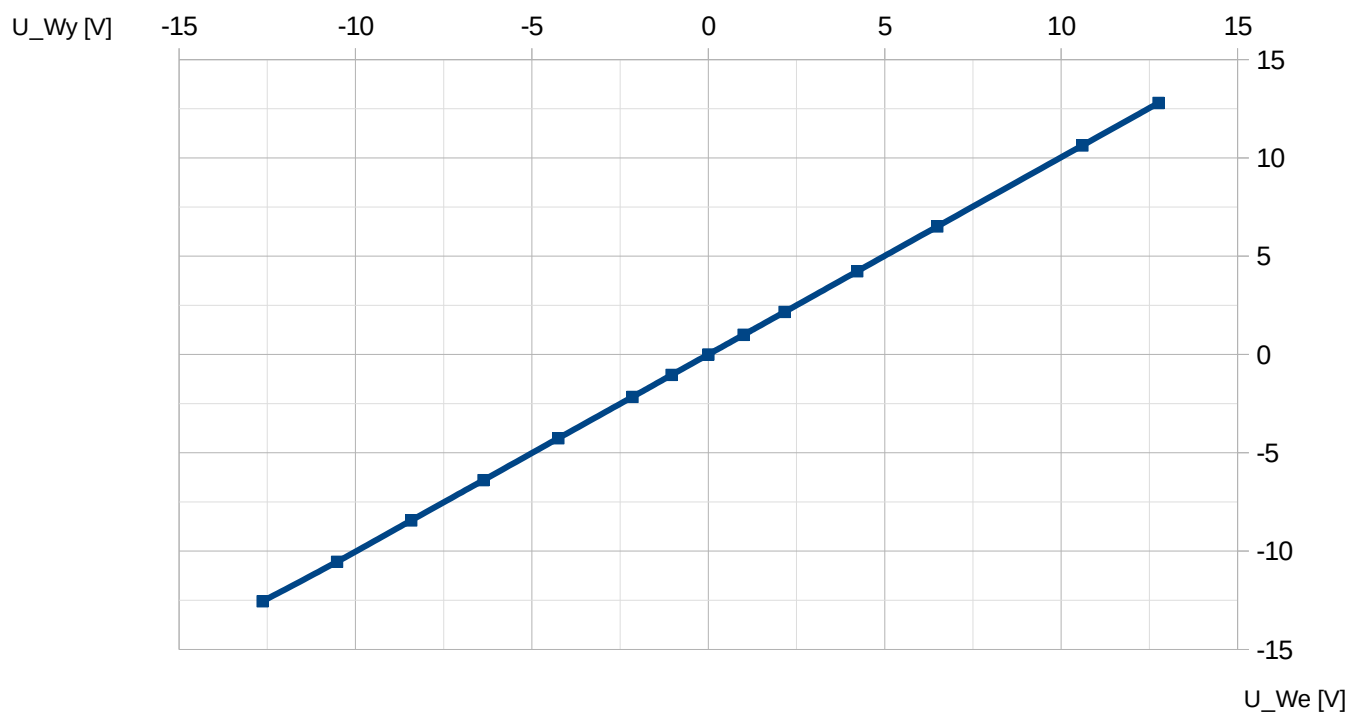
**Wykres 1a** wykres charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego w układzie odwracającym z zaznaczonym fragmentem wykorzystanym do wyznaczenia wzmocnienia napięciowego (**obliczenia w 6.1**)



**Wykres 1b** Wykres zależności amplitudowego współczynnika wzmocnienia wzmacniacza odwracającego od częstotliwości wzmacnianego zmiennego napięcia dla ustalonej kombinacji  $Z_1 = 5 \text{ k}\Omega$  oraz  $Z_2 = 50 \text{ k}\Omega$



**Wykres 2a** wykres charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego w układzie nieodwracającym z zaznaczonym fragmentem wykorzystanym do wyznaczenia wzmocnienia napięciowego



**Wykres 3** wykres charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego w układzie nieodwracającym - wtórnik

## 6. Analiza wyników

| Z1<br>[kΩ] | Z2<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe<br>UWE [V] | Napięcie wyjściowe<br>UWY [V] | Współczynnik<br>wzmocnienia<br>teoretycznego<br>$K_u^t$ | Rzeczywisty<br>współczynnik<br>wzmocnienia<br>$K_u$ |
|------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|---|---|
| 10         | 20         | -7,13                         | 13,97                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -6,96                         | 13,63                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -6,63                         | 12,99                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -6,01                         | 11,78                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -5,03                         | 9,87                          | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -4,00                         | 7,84                          | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -3,00                         | 5,88                          | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -1,99                         | 3,90                          | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | -0,99                         | 1,94                          | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | 0,04                          | -0,07                         | -2  | -2  |
| 10         | 20         | 1,06                          | -2,08                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | 2,04                          | -4,00                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | 3,00                          | -5,94                         | -2  | -1,98   |
| 10         | 20         | 4,07                          | -7,97                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | 5,01                          | -9,82                         | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | 5,72                          | -11,20                        | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | 6,06                          | -11,87                        | -2  | -1,96   |
| 10         | 20         | 6,48                          | -12,69                        | -2  | -1,96   |

**Tabela 6.1** przedstawienie wyników obliczeń współczynnika wzmocnienia teoretycznego i rzeczywistego dla wzmacniacza operacyjnego w układzie odwracającym

| f<br>[kHz] | $U_{WE}$<br>[V] | $U_{WY}$<br>[V] | $K_u^{tA}$<br>[dB] | $K_u^A$<br>[dB] |
|------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 0,30       | 0,17            | 1,68            | 20,00              | 19,80           |
| 105,50     | 0,18            | 0,84            | 20,00              | 13,58           |
| 171,90     | 0,18            | 0,55            | 20,00              | 9,93            |
| 222,60     | 0,17            | 0,42            | 20,00              | 7,74            |
| 281,00     | 0,17            | 0,33            | 20,00              | 5,61            |
| 325,10     | 0,17            | 0,28            | 20,00              | 4,26            |
| 427,60     | 0,17            | 0,21            | 20,00              | 1,55            |
| 499,80     | 0,18            | 0,18            | 20,00              | 0,20            |
| 527,10     | 0,17            | 0,16            | 20,00              | -0,62           |

**Tabela 6.2** przedstawienie wyników obliczeń amplitudowego rzeczywistego i teoretycznego współczynnika wzmocnienia wzmacniacza dla wzmacniacza operacyjnego w układzie odwracającym



## **7. Wnioski**

## 8. Literatura

- [1] M. Rusek, J. Pasierbiński, Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach, WNT, Warszawa, 1999.
- [2] M. Nadachowski, Z. Kulka, Scalone układy analogowe , WKiŁ, Warszawa, 1985.
- [3] Z. Nosal, J. Baranowski, Układy elektroniczne. Cz. I. Układy analogowe liniowe Seria Podręczniki Akademickie, (Elektronika, Informatyka, Telekomunikacja), WNT, Warszawa, 2003.
- [4] A. Filipowski, Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe , Seria Podręczniki Akademickie, (Elektronika, Informatyka, Telekomunikacja), WNT, Warszawa, 2005.
- [5] P. Horowitz, W. Hill, Sztuka elektroniki. Cz. 1. , (tłum. ang.), WKiŁ, Warszawa, 2003.
- [6] Instrukcje obsługi do multimetrów, zasilacza laboratoryjnego, generatora funkcyjnego i oscyloskopu dostępne są na stronie internetowej:  
<https://fizyka.p.lodz.pl/pl/dla-studentow/podstawy-elektroniki-laboratorium/zasoby/>
- [7] Ł. Piskorski, Wyznaczanie niepewności pomiarów , Skrypt PŁ, Łódź , 2019 (WIKAMP, Pracownia Fizyczna): <https://ftims.edu.p.lodz.pl/mod/resource/view.php?id=62256>
- [8] E08IS – Instrukcja wykonania zadania E08 Instytut Fizyki WFTIMS

## 9. Otrzymany dokument z wynikami

Ćwiczenie E08IS "Wzmacniacz operacyjny" - wyniki pomiarów, zestaw 4

Aparatura użyta w częściach 5.1 i 5.2:

- 1). Moduł doświadczalny W-03
- 2). Zespół Źródeł Sterujących, nr inw. ZŻS-06
- 3). Multimetr UT-804, nr inw. I3/RPO/010/T8/50/1 - do pomiaru UWE, zakres 40 V DC
- 4). Multimetr Protek 506, nr inw. WD043.01-005-203 - do pomiaru UWY, zakres 40 V DC
- 5). Generator funkcyjny DF1641B, nr inw. WD045.01-007-203
- 6). Oscyloskop cyfrowy SIGLENT SDS 1052DL, nr inw. I3/RPO/010/T8/68/3
- 7). Zasilacz Siglent SPD3303D, nr inw. I3/RPO/010/T8/48/2

5.1. Wzmacniacz w układzie odwracającym

5.1.1. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego

| Z1   | Z2   | Napięcie wejściowe |          | Napięcie wyjściowe |          |
|------|------|--------------------|----------|--------------------|----------|
| [kΩ] | [kΩ] | UWE [V]            | ΔUWE [V] | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| 10   | 20   | -12,015            | 0,011    | 14,07              | 0,090    |
| 10   | 20   | -11,039            | 0,011    | 14,07              | 0,090    |
| 10   | 20   | -10,047            | 0,010    | 14,07              | 0,090    |
| 10   | 20   | -9,023             | 0,010    | 14,07              | 0,090    |
| 10   | 20   | -8,033             | 0,009    | 14,07              | 0,090    |
| 10   | 20   | -7,131             | 0,009    | 13,97              | 0,090    |
| 10   | 20   | -6,960             | 0,008    | 13,63              | 0,088    |
| 10   | 20   | -6,634             | 0,008    | 12,99              | 0,085    |
| 10   | 20   | -6,011             | 0,008    | 11,78              | 0,079    |
| 10   | 20   | -5,032             | 0,008    | 9,87               | 0,069    |
| 10   | 20   | -3,999             | 0,007    | 7,84               | 0,059    |
| 10   | 20   | 3,003              | 0,007    | 5,88               | 0,049    |
| 10   | 20   | -1,990             | 0,006    | 3,90               | 0,040    |
| 10   | 20   | -0,991             | 0,005    | 1,94               | 0,030    |
| 10   | 20   | 0,035              | 0,005    | -0,07              | 0,020    |
| 10   | 20   | 1,062              | 0,006    | -2,08              | 0,030    |
| 10   | 20   | 2,039              | 0,006    | -4,00              | 0,040    |
| 10   | 20   | 3,003              | 0,007    | -5,94              | 0,050    |
| 10   | 20   | 4,070              | 0,007    | -7,97              | 0,060    |
| 10   | 20   | 5,011              | 0,008    | -9,82              | 0,069    |
| 10   | 20   | 5,716              | 0,008    | -11,20             | 0,076    |
| 10   | 20   | 6,061              | 0,008    | -11,87             | 0,079    |
| 10   | 20   | 6,475              | 0,008    | -12,69             | 0,083    |
| 10   | 20   | 7,058              | 0,009    | -13,04             | 0,085    |
| 10   | 20   | 8,029              | 0,009    | -13,04             | 0,085    |
| 10   | 20   | 10,128             | 0,010    | -13,04             | 0,085    |

|    |    |        |       |        |       |
|----|----|--------|-------|--------|-------|
| 10 | 20 | 11,924 | 0,011 | -13,04 | 0,085 |
|----|----|--------|-------|--------|-------|

### 5.1.2. Pomiar rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego.

| RS1<br>[kΩ] | RL<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |          | Napięcie wyjściowe |          |
|-------------|------------|--------------------|----------|--------------------|----------|
|             |            | UWE [V]            | ΔUWE [V] | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| -           | ∞          | -5,030             | 0,008    | 9,85               | 0,069    |
| 10          | ∞          | -5,030             | 0,008    | 4,98               | 0,045    |

### 5.1.3. Pomiar rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego

| RS1<br>[kΩ] | RL<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |          | Napięcie wyjściowe |          |
|-------------|------------|--------------------|----------|--------------------|----------|
|             |            | UWE [V]            | ΔUWE [V] | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| -           | ∞          | -6,126             | 0,008    | 12,00              | 0,080    |
| -           | 20         | -6,126             | 0,008    | 12,00              | 0,080    |
| -           | 10         | -6,126             | 0,008    | 12,00              | 0,080    |
| -           | 5          | -6,126             | 0,008    | 12,00              | 0,080    |
| -           | 2          | -6,126             | 0,008    | 12,00              | 0,080    |

### 5.1.4. Pomiar pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego

Z1 = 5 kΩ, Z2 = 50 kΩ

| f<br>[kHz] | UWE<br>[V] | UWY<br>[V] | Uwaga:<br>napięcia UWE i UWY zmierzone jako międzyszczytowe. |
|------------|------------|------------|--|
| 0,3010     | 0,172      | 1,68       |  |
| 105,5      | 0,176      | 0,840      |  |
| 171,9      | 0,176      | 0,552      |  |
| 222,6      | 0,174      | 0,424      |  |
| 281,0      | 0,174      | 0,332      |  |
| 325,1      | 0,174      | 0,284      |  |
| 427,6      | 0,174      | 0,208      |  |
| 499,8      | 0,176      | 0,180      |  |
| 527,1      | 0,174      | 0,162      |  |

### 5.1.5. Pomiar wsp. wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego dla zmiennych napięć

| Z1<br>[kΩ] | Z2<br>[kΩ] | UWE<br>[mV] | UWY<br>[mV] | Uwaga:<br>napięcia UWE i UWY zmierzone jako międzyszczytowe. |
|------------|------------|-------------|-------------|--|
| 5          | 10         | 124         | 236         |  |
| 10         | 20         | 124         | 232         |  |
| 15         | 50         | 130         | 396         |  |

|    |     |     |      |
|----|-----|-----|------|
| 25 | 20  | 148 | 130  |
| 25 | 10  | 224 | 106  |
| 15 | 100 | 224 | 1480 |
| 30 | 100 | 228 | 760  |

## 5.2. Wzmacniacz w układzie nieodwracającym

### 5.2.1. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego

| Z1<br>[kΩ] | Z2<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |          | Napięcie wyjściowe |          |
|------------|------------|--------------------|----------|--------------------|----------|
|            |            | UWE [V]            | ΔUWE [V] | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| 10         | 20         | -12,052            | 0,011    | -13,05             | 0,085    |
| 10         | 20         | -11,062            | 0,011    | -13,05             | 0,085    |
| 10         | 20         | -10,036            | 0,010    | -13,05             | 0,085    |
| 10         | 20         | -8,982 0,009       | -13,05   | 0,085              |          |
| 10         | 20         | -8,054 0,009       | -13,05   | 0,085              |          |
| 10         | 20         | -7,920 0,009       | -13,05   | 0,085              |          |
| 10         | 20         | -5,949 0,008       | -13,05   | 0,085              |          |
| 10         | 20         | -4,963 0,007       | -13,05   | 0,085              |          |
| 10         | 20         | -4,235 0,007       | -12,51   | 0,083              |          |
| 10         | 20         | -4,114 0,007       | -12,17   | 0,081              |          |
| 10         | 20         | -3,991 0,007       | -11,81   | 0,079              |          |
| 10         | 20         | -3,622 0,007       | -10,72   | 0,074              |          |
| 10         | 20         | -3,187 0,007       | -9,43    | 0,067              |          |
| 10         | 20         | -1,964 0,006       | -5,82    | 0,049              |          |
| 10         | 20         | -1,061 0,006       | -3,14    | 0,036              |          |
| 10         | 20         | 0,005 0,005        | 0,17     | 0,021              |          |
| 10         | 20         | 1,019 0,006        | 3,02     | 0,035              |          |
| 10         | 20         | 1,981 0,006        | 5,87     | 0,049              |          |
| 10         | 20         | 3,008 0,007        | 8,91     | 0,065              |          |
| 10         | 20         | 4,018 0,007        | 11,90    | 0,080              |          |
| 10         | 20         | 4,158 0,007        | 12,31    | 0,082              |          |
| 10         | 20         | 4,333 0,007        | 13,56    | 0,088              |          |
| 10         | 20         | 4,582 0,007        | 14,09    | 0,090              |          |
| 10         | 20         | 4,806 0,007        | 14,09    | 0,090              |          |
| 10         | 20         | 6,701 0,008        | 14,10    | 0,091              |          |
| 10         | 20         | 9,105 0,010        | 14,10    | 0,091              |          |
| 10         | 20         | 10,055 0,010       | 14,10    | 0,091              |          |
| 10         | 20         | 12,020 0,011       | 14,10    | 0,091              |          |

### 5.2.2. Pomiar rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego.

| RS2/RS3<br>[kΩ] | RL<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |          | Napięcie wyjściowe |          |
|-----------------|------------|--------------------|----------|--------------------|----------|
|                 |            | UWE [V]            | ΔUWE [V] | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| -               | ∞          | 3,034              | 0,007    | 8,99               | 0,065    |
| 300             | ∞          | 3,034              | 0,007    | 8,98               | 0,065    |
| 10000           | ∞          | 3,034              | 0,007    | 8,74               | 0,064    |

### 5.2.3. Pomiar rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego

| RS2/RS3 |      | RL      |       | Napięcie wejściowe |       | Napięcie wyjściowe |          |
|---------|------|---------|-------|--------------------|-------|--------------------|----------|
| [kΩ]    | [kΩ] | UWE [V] |       | ΔUWE [V]           |       | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| -       | ∞    | 4,060   | 0,007 | 12,02              | 0,080 |                    |          |
| -       | 20   | 4,060   | 0,007 | 12,02              | 0,080 |                    |          |
| -       | 10   | 4,060   | 0,007 | 12,02              | 0,080 |                    |          |
| -       | 5    | 4,060   | 0,007 | 12,02              | 0,080 |                    |          |
| -       | 2    | 4,060   | 0,007 | 12,02              | 0,080 |                    |          |

### 5.2.4. Pomiar pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego

Z1 = 5 kΩ, Z2 = 50 kΩ

| f      | UWE | UWY  | Uwaga:   |
|--------|-----|------|--|
| [kHz]  | [V] | [V]  |  |
| 0,2990 | 152 | 1500 | napięcia UWE i UWY zmierzone jako międzyszczytowe. |
| 117,2  | 152 | 720  |  |
| 176,7  | 148 | 504  |  |
| 245,6  | 148 | 354  |  |
| 297,1  | 150 | 304  |  |
| 364,0  | 150 | 244  |  |
| 466,1  | 150 | 180  |  |
| 496,5  | 150 | 176  |  |
| 576,0  | 150 | 148  |  |

### 5.2.5. Pomiar wsp. wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego dla zmiennych napięć

| Z1   | Z2   | UWE | UWY  | Uwaga:   |
|------|------|-----|------|--|
| [kΩ] | [kΩ] | [V] | [V]  |  |
| 5    | 10   | 146 | 408  | napięcia UWE i UWY zmierzone jako międzyszczytowe. |
| 10   | 20   | 148 | 408  |  |
| 15   | 50   | 146 | 600  |  |
| 25   | 20   | 146 | 252  |  |
| 25   | 10   | 148 | 200  |  |
| 15   | 100  | 154 | 1100 |  |
| 30   | 100  | 150 | 616  |  |
| 25   | 1000 | 148 | 5600 |  |

### 5.3. Wzmacniacz w układzie nieodwracającym – wtórnik

Aparatura użyta w części 5.3:

- 1). Moduł doświadczalny W-03
- 2). Zespół Źródeł Sterujących, nr inw. ZŻS-06
- 3). Multimetr Protek 506, nr inw. WD043.01-005-203 - do pomiaru UWE, zakres 40 V DC
- 4). Multimetr Kemot KT890, nr inw. I3/2.03/2017-K/4 - do pomiaru UWY, zakres 20 V DC
- 5). Generator funkcyjny DF1641B, nr inw. WD045.01-007-203
- 6). Oscyloskop cyfrowy SIGLENT SDS 1052DL, nr inw. I3/RPO/010/T8/68/3
- 7). Zasilacz Siglent SPD3303D, nr inw. WD051.02-004-203

#### 5.3.1. Wyznaczenie charakterystyki przejściowej wzmacniacza operacyjnego

| Z1<br>[kΩ] | Z2<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |          |        | Napięcie wyjściowe |          |
|------------|------------|--------------------|----------|--------|--------------------|----------|
|            |            | UWE [V]            | ΔUWE [V] |        | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| ∞          | 0,0        | -12,63             | 0,011    | -12,55 | 0,083              |          |
| ∞          | 0,0        | -10,52             | 0,010    | -10,54 | 0,073              |          |
| ∞          | 0,0        | -8,42              | 0,009    | -8,44  | 0,062              |          |
| ∞          | 0,0        | -6,37              | 0,008    | -6,39  | 0,052              |          |
| ∞          | 0,0        | -4,25              | 0,007    | -4,26  | 0,041              |          |
| ∞          | 0,0        | -2,15              | 0,006    | -2,16  | 0,031              |          |
| ∞          | 0,0        | -1,04              | 0,006    | -1,04  | 0,025              |          |
| ∞          | 0,0        | 0,00               | 0,005    | 0,00   | 0,020              |          |
| ∞          | 0,0        | 1,00               | 0,006    | 1,00   | 0,025              |          |
| ∞          | 0,0        | 2,16               | 0,006    | 2,16   | 0,031              |          |
| ∞          | 0,0        | 4,22               | 0,007    | 4,23   | 0,041              |          |
| ∞          | 0,0        | 6,49               | 0,008    | 6,51   | 0,053              |          |
| ∞          | 0,0        | 10,60              | 0,010    | 10,63  | 0,073              |          |
| ∞          | 0,0        | 12,76              | 0,011    | 12,79  | 0,084              |          |

#### 5.3.2. Pomiar rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego.

| RS2/RS3<br>[kΩ] | RL<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |          |       | Napięcie wyjściowe |          |
|-----------------|------------|--------------------|----------|-------|--------------------|----------|
|                 |            | UWE [V]            | ΔUWE [V] |       | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| -               | ∞          | 10,57              | 0,010    | 10,60 | 0,073              |          |
| 300             | ∞          | 10,57              | 0,010    | 10,60 | 0,073              |          |
| 10000           | ∞          | 10,57              | 0,010    | 10,58 | 0,073              |          |

#### 5.3.3. Pomiar rezystancji wyjściowej wzmacniacza operacyjnego

| RS2/RS3<br>[kΩ] | RL<br>[kΩ] | Napięcie wejściowe |          |       | Napięcie wyjściowe |          |
|-----------------|------------|--------------------|----------|-------|--------------------|----------|
|                 |            | UWE [V]            | ΔUWE [V] |       | UWY [V]            | ΔUWY [V] |
| -               | ∞          | 10,57              | 0,010    | 10,60 | 0,073              |          |
| -               | 20         | 10,57              | 0,010    | 10,60 | 0,073              |          |
| -               | 10         | 10,57              | 0,010    | 10,60 | 0,073              |          |
| -               | 5          | 10,57              | 0,010    | 10,60 | 0,073              |          |

- 2 10,57 0,010 10,60 0,073

#### 5.3.4. Pomiar pasma przenoszenia wzmacniacza operacyjnego

$Z1 = \infty$ ,  $Z2 = 0 \text{ k}\Omega$

| f      | UWE  | UWY  |
|--------|------|------|
| [kHz]  | [mV] | [mV] |
| 0,2963 | 18,8 | 20,0 |
| 2,951  | 18,8 | 20,4 |
| 30,12  | 18,4 | 20,0 |
| 310,0  | 18,8 | 20,4 |
| 634,1  | 18,8 | 20,4 |
| 814,2  | 18,8 | 19,6 |
| 910,0  | 18,4 | 19,2 |
| 999,3  | 18,4 | 17,6 |
| 1101   | 18,4 | 16,8 |
| 1201   | 18,0 | 15,6 |
| 1300   | 18,4 | 14,8 |
| 1401   | 18,0 | 13,6 |
| 1451   | 18,4 | 13,2 |
| 1508   | 18,4 | 12,8 |