

Tranzystor bipolarny

LABORATORIUM 5 i 6

Marcin Polkowski (251328)

10 maja 2007 r.

Spis treści

I Laboratorium 5	2
1 Wprowadzenie	2
2 Pomiary rodziny charakterystyk	3
II Laboratorium 6	7
3 Wprowadzenie	7
4 Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza	8
5 Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza	10
III Podsumowanie laboratorium 5 i 6	12
6 Wnioski	12
7 Bibliografia	12

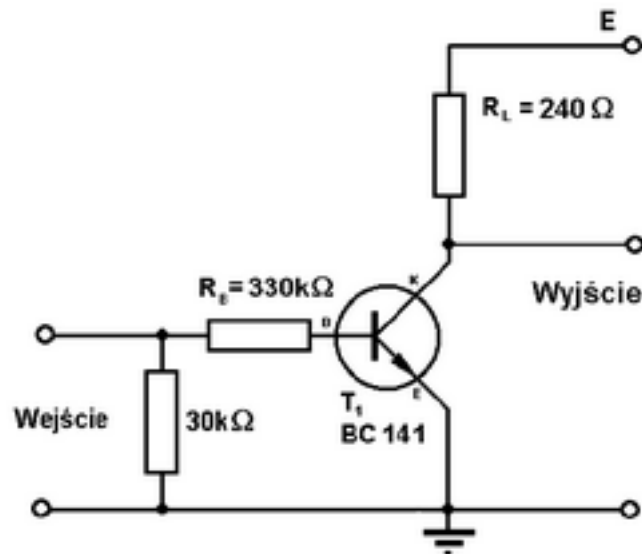
Część I

Laboratorium 5

1 Wprowadzenie

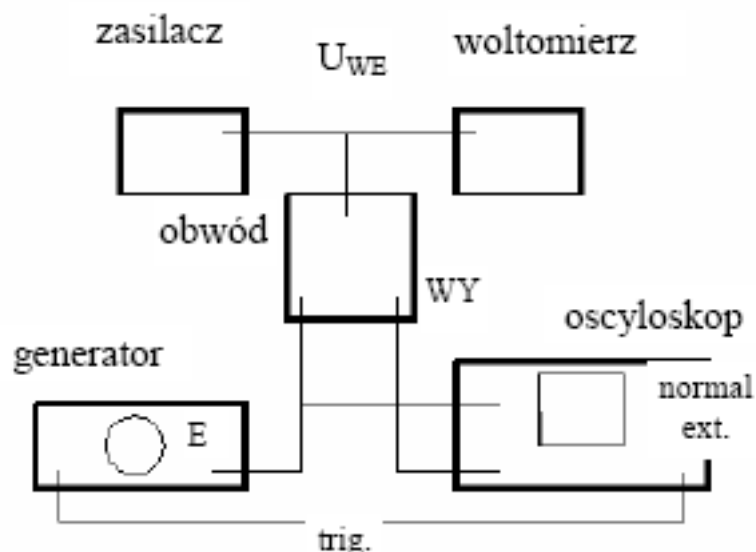
Celem pierwszej części ćwiczenia było zapoznanie się z tranzystorem bipolarnym.

W tym celu skonstruowany został układ pomiarowy przedstawiony na schemacie (1). Układ został podłączony do za-



Rysunek 1: Schemat układu pomiarowego dla części pierwszej ćwiczenia

silacza, generatora i oscyloskopu w sposób przedstawiony na schemacie (2).



Rysunek 2: Schemat podłączenia układu pomiarowego do przyrządów pomiarowych

2 Pomiary rodziny charakterystyk

Zmierzona została zależność $U_{wy}(E)$ dla 4 napięć U_{we} dostarczanych do układu z zasilacza.

Napięcie U_{we} ze względu na niedokładność zasilacza zostało mierzone miernikiem cyfrowym.

Otrzymane wyniki posłużyły do wyznaczenia charakterystyki $I_c(U_{ce})$ dla różnych prądów bazy I_b .

Przy wyznaczaniu tych wielkości posłużono się następującymi zależnościami:

$$I_b = \frac{U_{we} - 0,65V}{R_b} \quad (1)$$

$$I_c = \frac{E - U_{wy}}{R_l} \quad (2)$$

$$U_{ce} = U_{wy} \quad (3)$$

Zmierzone wartości rezystancji oporników wykorzystanych przy budowie układu wynosiły odpowiednio:

$$R_l = 237,8 \pm 19,6\Omega \quad (4)$$

$$R_b = 335,1 \pm 26,8k\Omega \quad (5)$$

Pomiary i obliczone wartości potrzebne do wyznaczenia charakterystyki zostały ujęte w następujących tabelach:

- (1) dla $U_{we} = 2V$,
- (2) dla $U_{we} = 5V$,
- (3) dla $U_{we} = 7V$,
- (4) dla $U_{we} = 10V$.

Charakterystyki zostały ujęte na wykresie rodziny charakterystyk tranzystora (3).

Na wykresie zaznaczono optymalny punkt pracy ($U_{ce} = 4V$, $I_c = 0,00266A$). Aby wyznaczyć prąd bazy w tym punkcie wyznaczono najpierw liniową zależność pomiędzy prądem kolektora i prądem bazy:

$$I_c = aI_b \quad (6)$$

Korzystając z metody najmniejszych kwadratów wyznaczono wartość współczynnika a :

$$a = 231 \pm 3 \quad (7)$$

Pozwoliło to na wyznaczenie prądu bazy w optymalnym punkcie pracy:

$$I_b = \frac{I_c}{a} = 0,0000115 \pm 0,0000001A \quad (8)$$

Następnie korzystając z równania

$$E = 0,65 + I_b R_b \quad (9)$$

po przekształceniu do równania na R_b

$$R_b = \frac{E - 0,65}{I_b} \quad (10)$$

otrzymano wartość oporu R_b

$$R_b = 638359 \pm 8084\Omega \quad (11)$$

Tablica 1: Tabela pomiarów charakterystyki tranzystora dla $U_{we} = 2V$

Pomiar	U_{we}	E	U_{wy}	I_b	I_c
1	$2,02 \pm 0,131$	$0,126 \pm 0,070$	$0,227 \pm 0,075$	0,0000409	$0,0004 \pm 0,0004$
2	$2,02 \pm 0,131$	$0,227 \pm 0,075$	$0,554 \pm 0,092$	0,0000409	$0,0014 \pm 0,0005$
3	$2,02 \pm 0,131$	$0,665 \pm 0,097$	$0,882 \pm 0,108$	0,0000409	$0,0009 \pm 0,0006$
4	$2,02 \pm 0,131$	$0,983 \pm 0,113$	$1,230 \pm 0,126$	0,0000409	$0,0010 \pm 0,0007$
5	$2,02 \pm 0,131$	$1,310 \pm 0,130$	$1,590 \pm 0,144$	0,0000409	$0,0012 \pm 0,0008$
6	$2,02 \pm 0,131$	$1,690 \pm 0,149$	$1,940 \pm 0,161$	0,0000409	$0,0011 \pm 0,0009$
7	$2,02 \pm 0,131$	$2,040 \pm 0,166$	$2,270 \pm 0,178$	0,0000409	$0,0010 \pm 0,0010$
8	$2,02 \pm 0,131$	$2,360 \pm 0,182$	$2,620 \pm 0,195$	0,0000409	$0,0011 \pm 0,0011$
9	$2,02 \pm 0,131$	$2,720 \pm 0,200$	$2,970 \pm 0,213$	0,0000409	$0,0011 \pm 0,0012$
10	$2,02 \pm 0,131$	$3,070 \pm 0,218$	$3,330 \pm 0,231$	0,0000409	$0,0011 \pm 0,0013$
11	$2,02 \pm 0,131$	$3,400 \pm 0,234$	$3,650 \pm 0,247$	0,0000409	$0,0011 \pm 0,0014$
12	$2,02 \pm 0,131$	$3,750 \pm 0,252$	$4,010 \pm 0,265$	0,0000409	$0,0011 \pm 0,0015$
13	$2,02 \pm 0,131$	$4,130 \pm 0,271$	$4,330 \pm 0,281$	0,0000409	$0,0008 \pm 0,0016$
14	$2,02 \pm 0,131$	$4,460 \pm 0,287$	$4,640 \pm 0,296$	0,0000409	$0,0008 \pm 0,0017$

Tablica 2: Tabela pomiarów charakterystyki tranzystora dla $U_{we} = 5V$

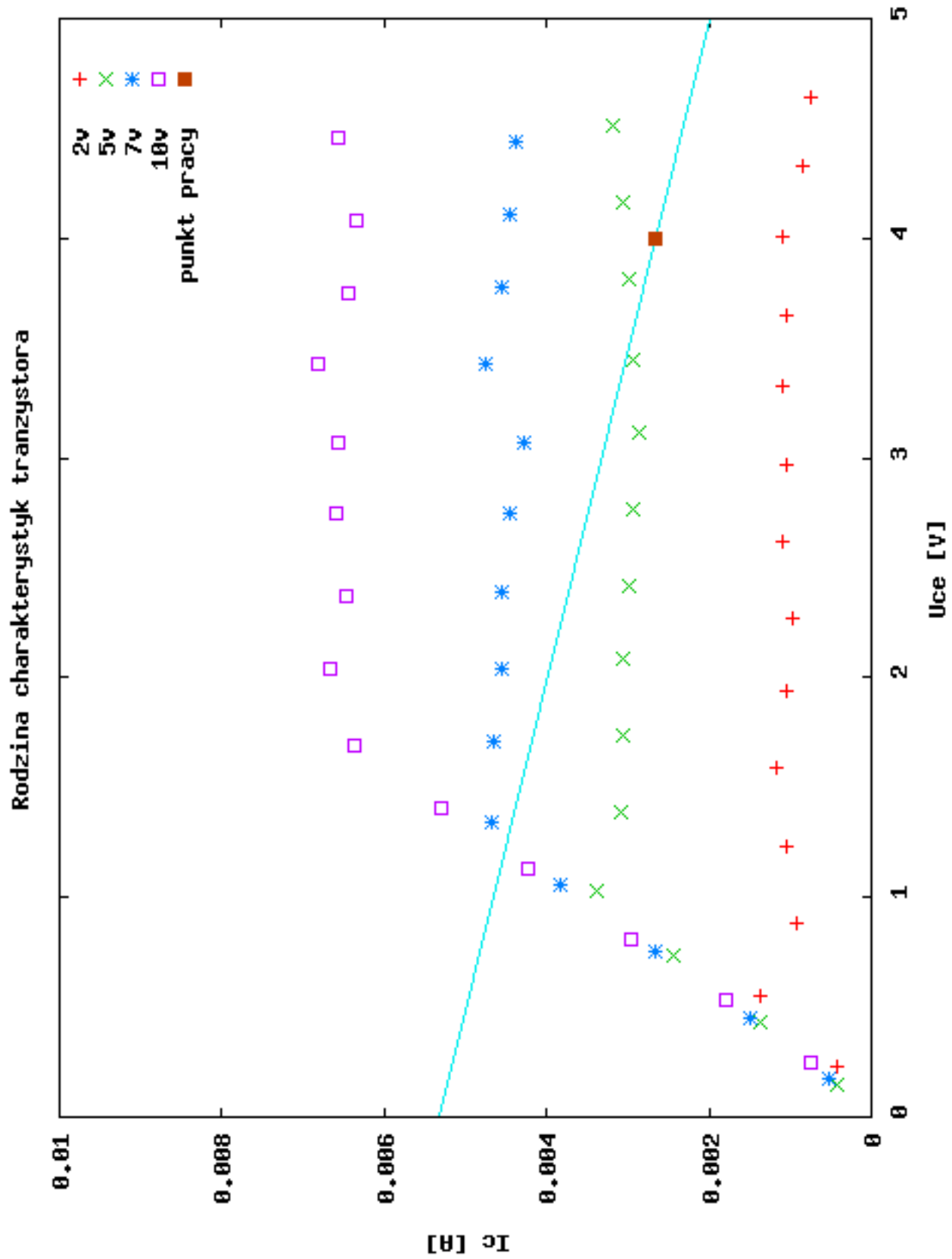
Pomiar	U_{we}	E	U_{wy}	I_b	I_c
1	$5,01 \pm 0,2805$	$0,050 \pm 0,067$	$0,151 \pm 0,072$	0,00001301	$0,000423 \pm 0,000412$
2	$5,01 \pm 0,2805$	$0,101 \pm 0,069$	$0,428 \pm 0,085$	0,00001301	$0,001375 \pm 0,000476$
3	$5,01 \pm 0,2805$	$0,151 \pm 0,072$	$0,731 \pm 0,101$	0,00001301	$0,002439 \pm 0,000557$
4	$5,01 \pm 0,2805$	$0,227 \pm 0,075$	$1,030 \pm 0,116$	0,00001301	$0,003377 \pm 0,000643$
5	$5,01 \pm 0,2805$	$0,655 \pm 0,097$	$1,390 \pm 0,134$	0,00001301	$0,003091 \pm 0,000739$
6	$5,01 \pm 0,2805$	$1,010 \pm 0,115$	$1,740 \pm 0,151$	0,00001301	$0,003070 \pm 0,000836$
7	$5,01 \pm 0,2805$	$1,360 \pm 0,132$	$2,090 \pm 0,169$	0,00001301	$0,003070 \pm 0,000935$
8	$5,01 \pm 0,2805$	$1,710 \pm 0,150$	$2,420 \pm 0,185$	0,00001301	$0,002986 \pm 0,001030$
9	$5,01 \pm 0,2805$	$2,070 \pm 0,168$	$2,770 \pm 0,203$	0,00001301	$0,002944 \pm 0,001132$
10	$5,01 \pm 0,2805$	$2,440 \pm 0,186$	$3,120 \pm 0,220$	0,00001301	$0,002860 \pm 0,001234$
11	$5,01 \pm 0,2805$	$2,750 \pm 0,202$	$3,450 \pm 0,237$	0,00001301	$0,002944 \pm 0,001329$
12	$5,01 \pm 0,2805$	$3,100 \pm 0,219$	$3,810 \pm 0,255$	0,00001301	$0,002986 \pm 0,001433$
13	$5,01 \pm 0,2805$	$3,430 \pm 0,236$	$4,160 \pm 0,272$	0,00001301	$0,003070 \pm 0,001534$
14	$5,01 \pm 0,2805$	$3,750 \pm 0,252$	$4,510 \pm 0,290$	0,00001301	$0,003196 \pm 0,001634$

Tablica 3: Tabela pomiarów charakterystyki tranzystora dla $U_{we} = 7V$

Pomiar	U_{we}	E	U_{wy}	I_b	I_c
1	$7,00 \pm 0,38$	$0,050 \pm 0,067$	$0,176 \pm 0,073$	$0,000019$	$0,0005 \pm 0,0004$
2	$7,00 \pm 0,38$	$0,101 \pm 0,069$	$0,454 \pm 0,087$	$0,000019$	$0,0015 \pm 0,0005$
3	$7,00 \pm 0,38$	$0,126 \pm 0,070$	$0,756 \pm 0,102$	$0,000019$	$0,0026 \pm 0,0006$
4	$7,00 \pm 0,38$	$0,151 \pm 0,072$	$1,060 \pm 0,117$	$0,000019$	$0,0038 \pm 0,0007$
5	$7,00 \pm 0,38$	$0,227 \pm 0,075$	$1,340 \pm 0,131$	$0,000019$	$0,0047 \pm 0,0007$
6	$7,00 \pm 0,38$	$0,605 \pm 0,094$	$1,710 \pm 0,150$	$0,000019$	$0,0046 \pm 0,0008$
7	$7,00 \pm 0,38$	$0,958 \pm 0,112$	$2,040 \pm 0,166$	$0,000019$	$0,0046 \pm 0,0009$
8	$7,00 \pm 0,38$	$1,310 \pm 0,130$	$2,390 \pm 0,184$	$0,000019$	$0,0045 \pm 0,0010$
9	$7,00 \pm 0,38$	$1,690 \pm 0,149$	$2,750 \pm 0,202$	$0,000019$	$0,0045 \pm 0,0011$
10	$7,00 \pm 0,38$	$2,050 \pm 0,167$	$3,070 \pm 0,218$	$0,000019$	$0,0043 \pm 0,0012$
11	$7,00 \pm 0,38$	$2,300 \pm 0,179$	$3,430 \pm 0,236$	$0,000019$	$0,0048 \pm 0,0013$
12	$7,00 \pm 0,38$	$2,700 \pm 0,199$	$3,780 \pm 0,253$	$0,000019$	$0,0045 \pm 0,0014$
13	$7,00 \pm 0,38$	$3,050 \pm 0,217$	$4,110 \pm 0,270$	$0,000019$	$0,0045 \pm 0,0015$
14	$7,00 \pm 0,38$	$3,400 \pm 0,234$	$4,440 \pm 0,286$	$0,000019$	$0,0044 \pm 0,0016$

Tablica 4: Tabela pomiarów charakterystyki tranzystora dla $U_{we} = 10V$

Pomiar	U_{we}	E	U_{wy}	I_b	I_c
1	$10,00 \pm 0,53$	$0,076 \pm 0,068$	$0,252 \pm 0,077$	$0,000028$	$0,0007 \pm 0,0004$
2	$10,00 \pm 0,53$	$0,101 \pm 0,069$	$0,529 \pm 0,090$	$0,000028$	$0,0018 \pm 0,0005$
3	$10,00 \pm 0,53$	$0,101 \pm 0,069$	$0,806 \pm 0,104$	$0,000028$	$0,0030 \pm 0,0006$
4	$10,00 \pm 0,53$	$0,126 \pm 0,070$	$1,130 \pm 0,121$	$0,000028$	$0,0042 \pm 0,0007$
5	$10,00 \pm 0,53$	$0,151 \pm 0,072$	$1,410 \pm 0,135$	$0,000028$	$0,0053 \pm 0,0008$
6	$10,00 \pm 0,53$	$0,176 \pm 0,073$	$1,690 \pm 0,149$	$0,000028$	$0,0064 \pm 0,0009$
7	$10,00 \pm 0,53$	$0,454 \pm 0,087$	$2,040 \pm 0,166$	$0,000028$	$0,0067 \pm 0,0010$
8	$10,00 \pm 0,53$	$0,832 \pm 0,106$	$2,370 \pm 0,183$	$0,000028$	$0,0065 \pm 0,0010$
9	$10,00 \pm 0,53$	$1,180 \pm 0,123$	$2,750 \pm 0,202$	$0,000028$	$0,0066 \pm 0,0011$
10	$10,00 \pm 0,53$	$1,510 \pm 0,140$	$3,070 \pm 0,218$	$0,000028$	$0,0066 \pm 0,0012$
11	$10,00 \pm 0,53$	$1,810 \pm 0,155$	$3,430 \pm 0,236$	$0,000028$	$0,0068 \pm 0,0013$
12	$10,00 \pm 0,53$	$2,220 \pm 0,175$	$3,750 \pm 0,252$	$0,000028$	$0,0064 \pm 0,0014$
13	$10,00 \pm 0,53$	$2,570 \pm 0,193$	$4,080 \pm 0,268$	$0,000028$	$0,0063 \pm 0,0015$
14	$10,00 \pm 0,53$	$2,900 \pm 0,209$	$4,460 \pm 0,287$	$0,000028$	$0,0066 \pm 0,0016$



Rysunek 3: Rodzina charakterystyk tranzystora

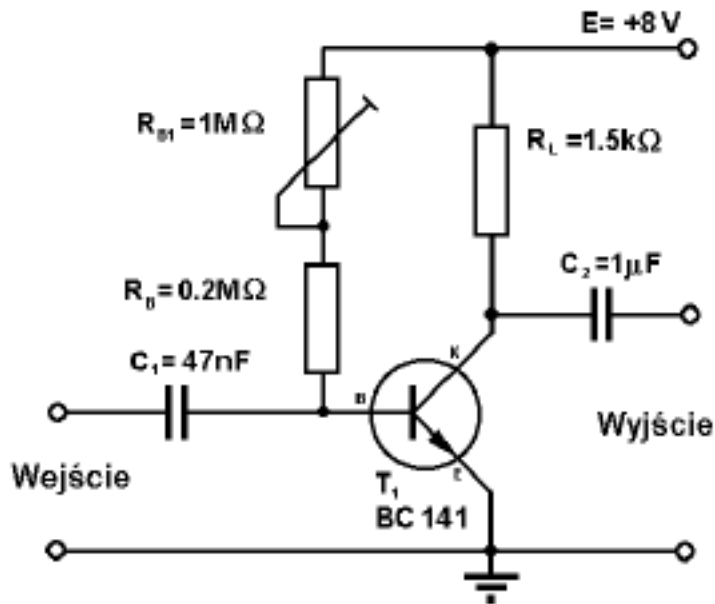
Część II

Laboratorium 6

3 Wprowadzenie

Celem drugiej części ćwiczenia było zapoznanie się ze wzmacniaczem tranzystorowym.

W tym celu skonstruowany został układ pomiarowy przedstawiony na schemacie (4). Układ został zasilony stałym napię-



Rysunek 4: Schemat układu pomiarowego dla części drugiej ćwiczenia

ciem $E = 8V$. W celu osiągnięcia optymalnego punktu pracy tranzystora opór opornika R_{b1} został dobrany tak, aby napięcie na kolektorze tranzystora wynosiło $4V$.

Zmierzono opór oporników R_b i R_{b1} i otrzymano:

$$R_{bc} = R_b + R_{b1} = 0,660 \pm 0,047M\Omega \quad (12)$$

Jak widać wartość rezystancji R_{bc} jest zgodna (z dokładnością do σ) z wartością oporu R_b wyznaczoną w równaniu (11).

4 Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza

Na wejście układu podano sygnał sinusoidalny o częstotliwość 1000Hz.

Zmierzono amplitudy sygnału wejściowego i wyjściowego. Pomiary zestawiono w tabeli (5). Można uznać, że charak-

Tablica 5: Tabela pomiarów charakterystyki amplitudowej wzmacniacza tranzystorowego

Pomiar	U_{we}	U_{wy}
1	$0,036 \pm 0,013$	$2,600 \pm 0,631$
2	$0,040 \pm 0,013$	$2,800 \pm 0,641$
3	$0,044 \pm 0,013$	$3,000 \pm 0,651$
4	$0,048 \pm 0,013$	$3,400 \pm 0,671$
5	$0,056 \pm 0,014$	$4,000 \pm 0,701$
6	$0,060 \pm 0,014$	$4,400 \pm 0,721$
7	$0,068 \pm 0,014$	$5,000 \pm 0,751$
8	$0,072 \pm 0,015$	$5,200 \pm 0,761$
9	$0,080 \pm 0,015$	$5,800 \pm 0,791$
10	$0,084 \pm 0,015$	$6,000 \pm 0,801$
11	$0,088 \pm 0,015$	$6,400 \pm 0,821$
12	$0,096 \pm 0,016$	$6,600 \pm 0,831$
13	$0,108 \pm 0,016$	$7,000 \pm 0,851$

terystyka ta ma charakter liniowy w punktach pomiarowych od 1 do 11.

Korzystając z metody najmniejszych kwadratów wyznaczono współczynnik k prostej:

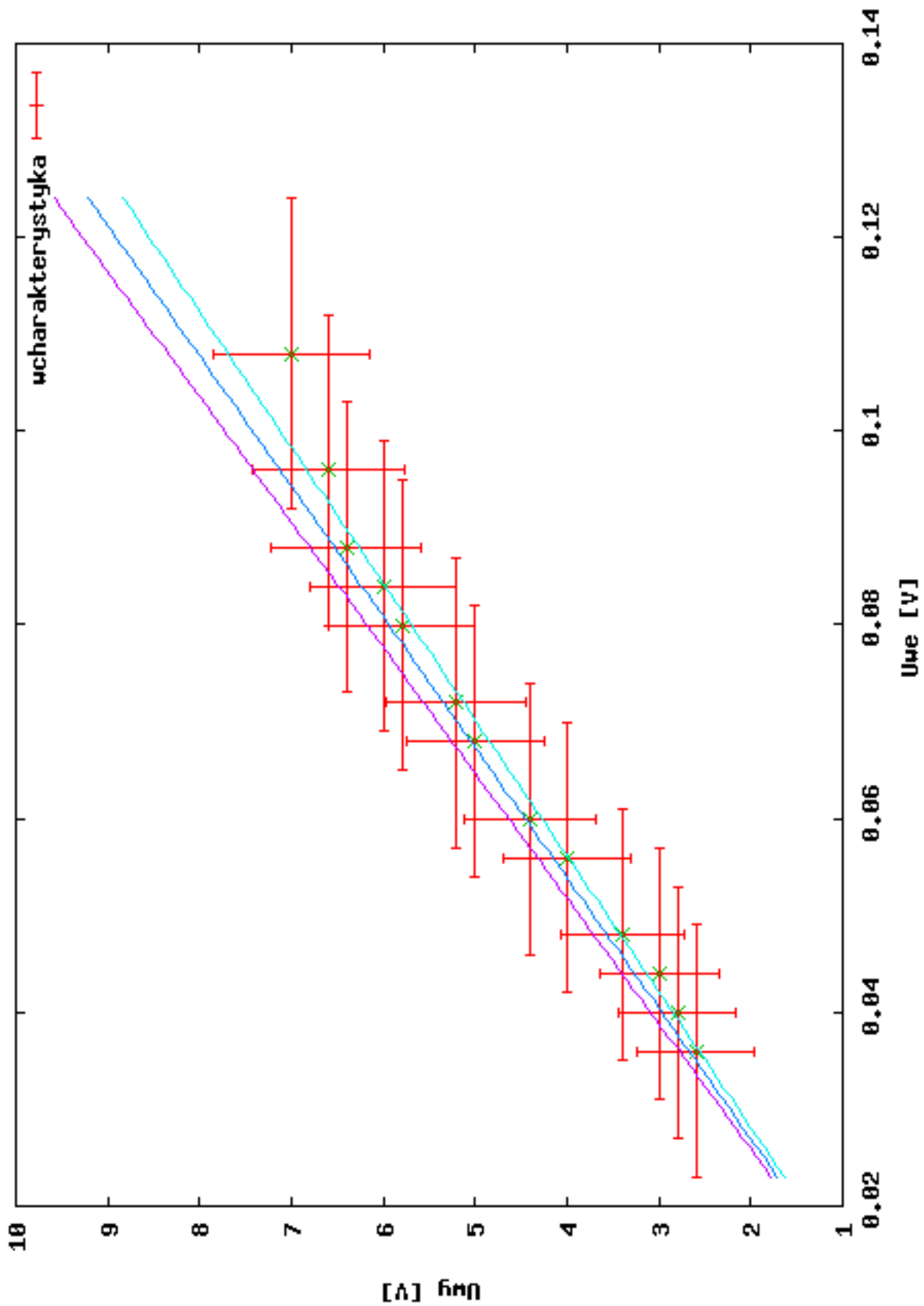
$$U_{wy} = kU_{we} \quad (13)$$

Wartość współczynnika k wyniosła:

$$k = 74 \pm 3 \quad (14)$$

Zależność $U_{wy} = U_{we}$ wraz z dopasowaną prostą przedstawiono na wykresie (5).

Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza



Rysunek 5: Charakterystyka amplitudowa tranzystora

5 Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza

Wyznaczono charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza, czyli jego wzmocnienie w funkcji częstotliwości $\frac{U_{wy}}{U_{we}(f)}$.

Wykonano 16 pomiarów napięć U_{we} i U_{wy} dla częstotliwości od 30 Hz do 1 MHz.

W tabeli (6) przedstawiono wyznaczone wartości $\frac{U_{wy}}{U_{we}}$. Wartości z tabeli (6) zostały przedstawione na wykresie (6).

Tablica 6: Tabela pomiarów charakterystyki częstotliwościowej tranzystora

Pomiar	częstotliwość f	$\frac{U_{wy}}{U_{we}}$
1	30, 30	6, 5854 ± 1, 1444
2	83, 70	10, 2564 ± 1, 7309
3	100, 66	10, 7692 ± 1, 9863
4	202, 45	20, 5128 ± 3, 4458
5	504, 43	58, 9744 ± 9, 7622
6	801, 30	69, 2308 ± 12, 1348
7	1000, 00	82, 5000 ± 13, 9162
8	2030, 00	110, 2564 ± 20, 0649
9	5030, 00	123, 0769 ± 21, 9599
10	10000, 00	120, 5128 ± 21, 5797
11	20240, 00	127, 1429 ± 24, 1330
12	50580, 00	125, 8065 ± 25, 8815
13	100380, 00	125, 0000 ± 26, 9221
14	200480, 00	120, 0000 ± 25, 4488
15	500210, 00	85, 0000 ± 26, 2716
16	998510, 00	65, 3846 ± 18, 1256

Prosta pozioma określa granicę, powyżej której leży pasmo przenoszenia wzmacniacza. Rozciąga się ono między częstotliwościami f_1 i f_2 .

Wartości f_1 i f_2 zostały odczytane z wykresu i wynoszą odpowiednio:

$$f_1 = 1100Hz \quad (15)$$

$$f_2 = 140000Hz \quad (16)$$

Rosnące zbocze charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza można interpretować jako zbocze rosnące pewnego filtra górnoprzepustowego, którego charakterystyka teoretyczna (przedstawiona na wykresie (6)) jest wyrażona wzorem:

$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{\omega RC}{\sqrt{(\omega RC)^2 + 1}} \quad (17)$$

Wartość C wynosi:

$$C = 0,000000047F \quad (18)$$

Wartość R została dobrana w następujący sposób:

$$R = 20000\Omega \quad (19)$$

Jak widać rezystancja wejściowa wzmacniacza wynosi około $20k\Omega$.

Do opadającego zbocza charakterystyki częstotliwościowej udało się dopasować teoretyczną krzywą charakterystyki filtra dolnoprzepustowego (przedstawiona na wykresie (6)) wyrażoną wzorem:

$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}} \quad (20)$$

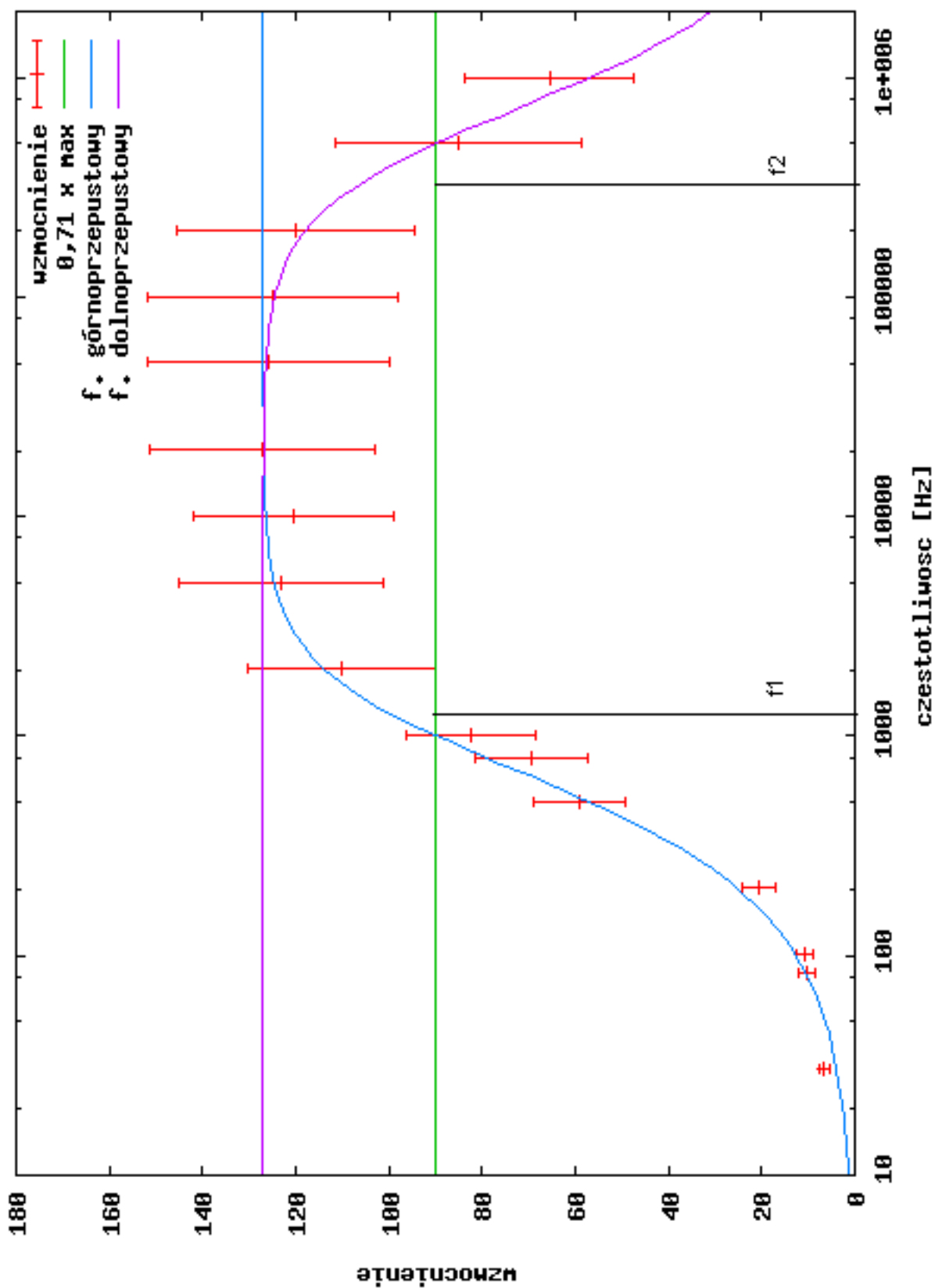
Wartość C wynosi:

$$C = 0,000000047F \quad (21)$$

Wartość R została dobrana w następujący sposób:

$$R = 50\Omega \quad (22)$$

Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza



Rysunek 6: Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza

Część III

Podsumowanie laboratorium 5 i 6

6 Wnioski

Ćwiczenie wykonane podczas piątego i szóstego laboratorium miało na celu zapoznanie się z działaniem tranzystora bipolarnego.

Zbadana została rodzina charakterystyk tranzystora (strona 6). Na jej podstawie wyznaczona została rezystancja bazy tranzystora w jego optymalnym punkcie pracy. Wartość tej rezystancji wynosi:

$$R_b = 638359 \pm 8084\Omega \quad (23)$$

Zbadana została charakterystyka amplitudowa tranzystora w układzie przebudowanym na wzmacniacz o wspólnym emiterze (strona 9). Okazało się, że dla amplitud sygnału wejściowego poniżej $0,09V$ charakterystyka ta ma charakter liniowy który można opisać prostą:

$$U_{wy} = kU_{we} \quad (24)$$

o wartości współczynnika k wynoszącej:

$$k = 74 \pm 3 \quad (25)$$

Zbadana została również charakterystyka częstotliwościowa tranzystora w układzie przebudowanym na wzmacniacz o wspólnym emiterze (strona 11).

Charakterystyka ta została porównana do charakterystyki filtrów dolno i górnoprzepustowych. Okazało się z wzmacniacz ma ograniczone z góry i z dołu pasmo przenoszenia, więc zachowuje się jak filtr dolno-górnoprzepustowy, którego częstotliwości graniczne wynoszą odpowiednio:

$$f_1 = 1100Hz \quad (26)$$

$$f_2 = 140000Hz \quad (27)$$

7 Bibliografia

Do sporządzenia niniejszego raportu wykorzystane zostały wiadomości z następujących prac:

- John R. Tylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Warszawa 1995
- Roman Nowak, *Statystyka dla fizyków*, Warszawa 2002

oraz własnych notatek z wykładu prof. A. Majhofera.