

PEiTC_03	Romaniak Hubert	Informatyka niestacjonarna II rok	Semestr zimowy 2023/24
----------	-----------------	--------------------------------------	---------------------------

## Zadanie 1

### Wzmacniacz tranzystorowy – układ wspólnego emitera

#### 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 tranzystorowy w układzie ze wspólnym emiterem cechuje się dużym wzmocnieniem napięciowym i prądowym, dobrze sprawdza dla małych i średnich częstotliwości sygnału wejściowego, ale obraca fazę sygnału wyjściowego o  $180^\circ$  i ma umiarkowanie małą rezystancję wejściową i umiarkowanie dużą rezystancję wyjściową.

#### Cel zadania

Zaprojektować i zbudować wzmacniacz tranzystorowy w układzie wspólnego emitera. Wyznaczyć przebieg sygnału wyjściowego  $U_{WY}$  na tle sygnału wejściowego  $U_{WE}$ . Wyznaczyć wzmocnienie napięciowe  $k_u$ , prądowe  $k_i$  i mocy  $k_P$ . Zbadać zachowanie układu dla różnych wartości obciążenia  $R_0$ .

Użyty tranzystor: D42C5 ( $U_{CE_{max}} = 45V$ ,  $I_{C_{max}} = 3 A$ )

Założone wartości:  $U_{CC} = 40 V$ ;  $I_{C_{max}} = 200 mA$

#### Budowa tranzystora

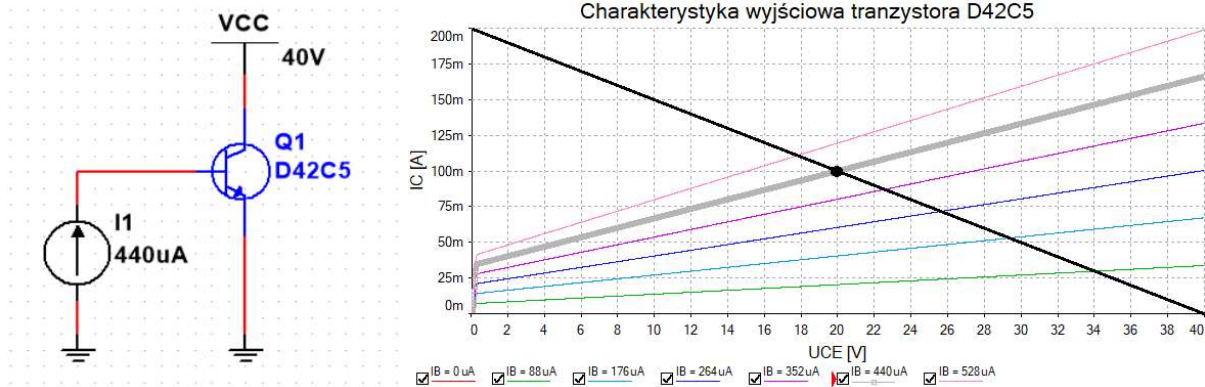
##### Wyznaczanie punktu pracy

Po wyznaczeniu rodziny charakterystyk wyjściowych tranzystora D42C5, na ich wykresie została poprowadzona prosta pracy od punktu maksymalnego napięcia kolektor-emiter i zerowego prądu kolektora ( $U_{CE} = 40 V$ ;  $I_C = 0 A$ ) do punktu zerowego napięcia kolektor-emiter i maksymalnego prądu kolektora ( $U_{CE} = 0 V$ ;  $I_C = 200 mA$ ).

Do wzmacniacza zostanie podane napięcie zmienne, więc napięcie wyjściowe nie będzie przekraczać  $U_{WY_{min}} = 0 V$ ,  $U_{WY_{max}} = 40 V$ , zatem stałe napięcie wyjściowe powinno przyjąć wartość w połowie między tymi wartościami:  $U_{WY} = 20 V$ . Maksymalna amplituda napięcia wyjściowego nie przekroczy  $u_{WY_{max}} = 20 V$ .

Natężenie prądu zmiennego na wyjściu wzmacniacza nie przekroczy  $I_{WY_{min}} = 0 \text{ A}$ ,  $I_{WY_{max}} = 200 \text{ mA}$ , zatem stałe napięcie wyjściowe powinno przyjąć wartość w połowie między tymi wartościami:  $I_{WY} = 100 \text{ mA}$ . Maksymalna amplituda prądu wyjściowego nie przekroczy  $i_{WY_{max}} = 100 \text{ mA}$ .

Oznacza to, że punkt pracy tranzystora powinien zostać wybrany jako ( $U_{CE} = 20 \text{ V}$ ;  $I_C = 200 \text{ mA}$ ). Dla wybranego punktu pracy, prąd bazy wynosi  $I_B = 440 \text{ }\mu\text{A}$ .



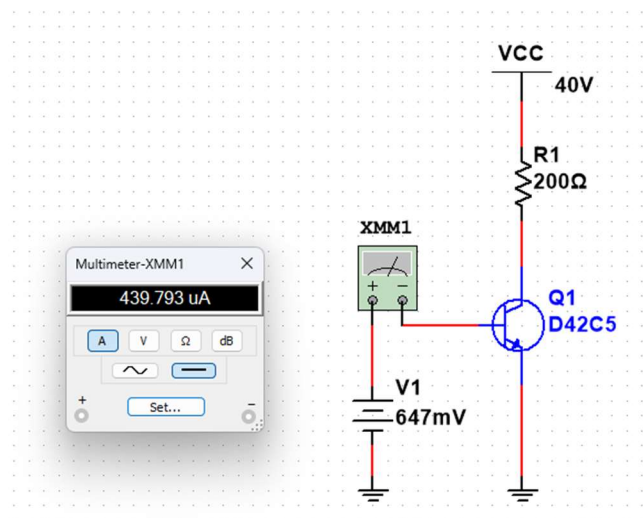
Rysunek 1 – układ z tranzystorem D42C5 przeznaczony do badania charakterystyki wyjściowej oraz rodzina charakterystyk wyjściowych z wyznaczoną prostą pracy i punktem pracy ( $U_{CE} = 20 \text{ V}$ ;  $I_C = 200 \text{ mA}$ ); charakterystyka dla wybranego prądu bazy  $I_B = 440 \text{ }\mu\text{A}$  w punkcie pracy została pogrubiona

#### Wyznaczenie rezystancji $R_C$ oraz napięcie zasilania bazy $U_{BE}$

Rezystancja kolektora  $R_C$  to rezystancja ograniczająca maksymalny przepływ prądu  $I_C$ . Jej wartość wynosi  $R_C = \frac{U_{CC}}{I_{C_{max}}} = \frac{40 \text{ V}}{0,2 \text{ A}} = 200 \text{ }\Omega$ .

Napięcie baza-emiter zostało wyznaczone eksperymentalnie:  $U_{BE}$ . Złącze baza-emiter jest diodą spolaryzowaną w kierunku przewodzenia, ale prąd bazy nie spełnia dokładnie równanie Shockley'a ze względu na dodatkowe złącze kolektor-emiter w okolicy. Można jednak przyjąć, że złącze przewodzony prąd rośnie eksponentalnie do przyłożonego napięcia.

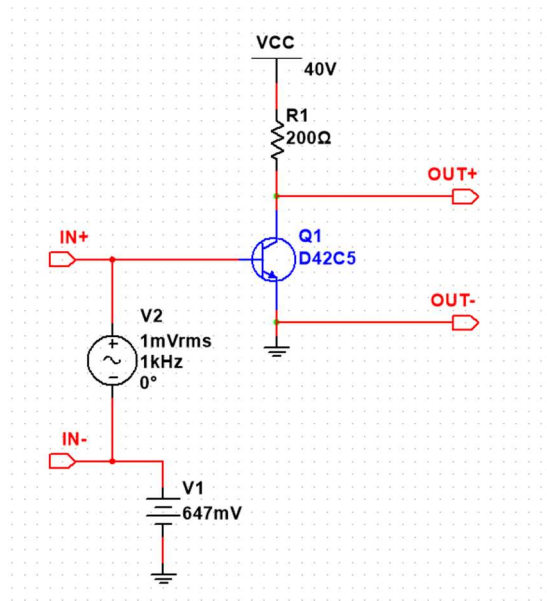
Dla dostatecznie niskich napięć wejściowych, bliskich napięciu polaryzacji złącza, prądy są rzędu setek mikroamperów. Wartość napięcia baza-emiter została zatem wyznaczona eksperymentalnie jako  $U_{BE} = 647 \text{ mV}$ .



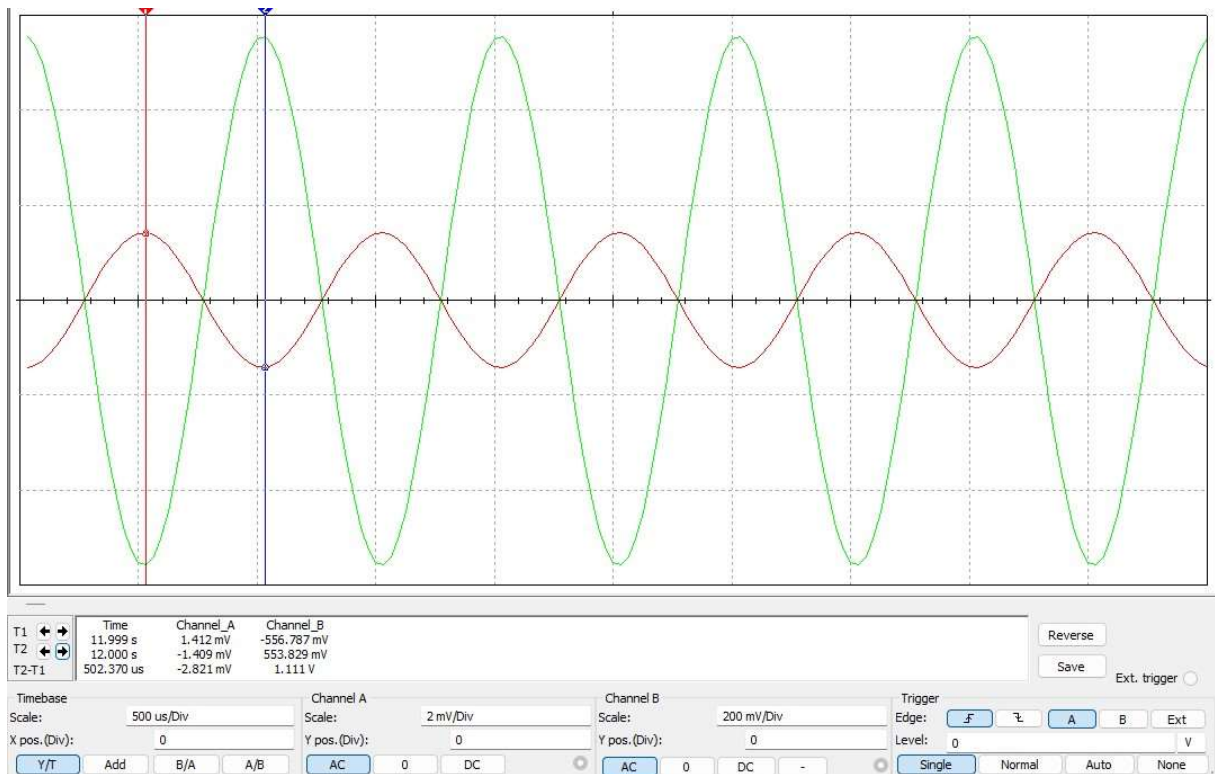
Rysunek 2 – wzmacniacz z tranzystorem D42C5 pracującym w punkcie pracy ( $U_{BE} = 647 \text{ mV}$ ;  $I_B = 440 \text{ }\mu\text{A}$ ;  $R_C = 200 \text{ }\Omega$ )

### Przyłożenie mało-sygnałowego napięcia zmiennego do wejścia wzmacniacza

Do napięcia  $U_{BE}$  został dołożony mało-sygnałowy przebieg zmienny  $u_{WE} = 1\text{ mV(rms)}$ ,  $f = 1\text{ kHz}$ , a następnie został zbadany oscyloskopem sygnał wyjściowy na tle sygnału wejściowego.



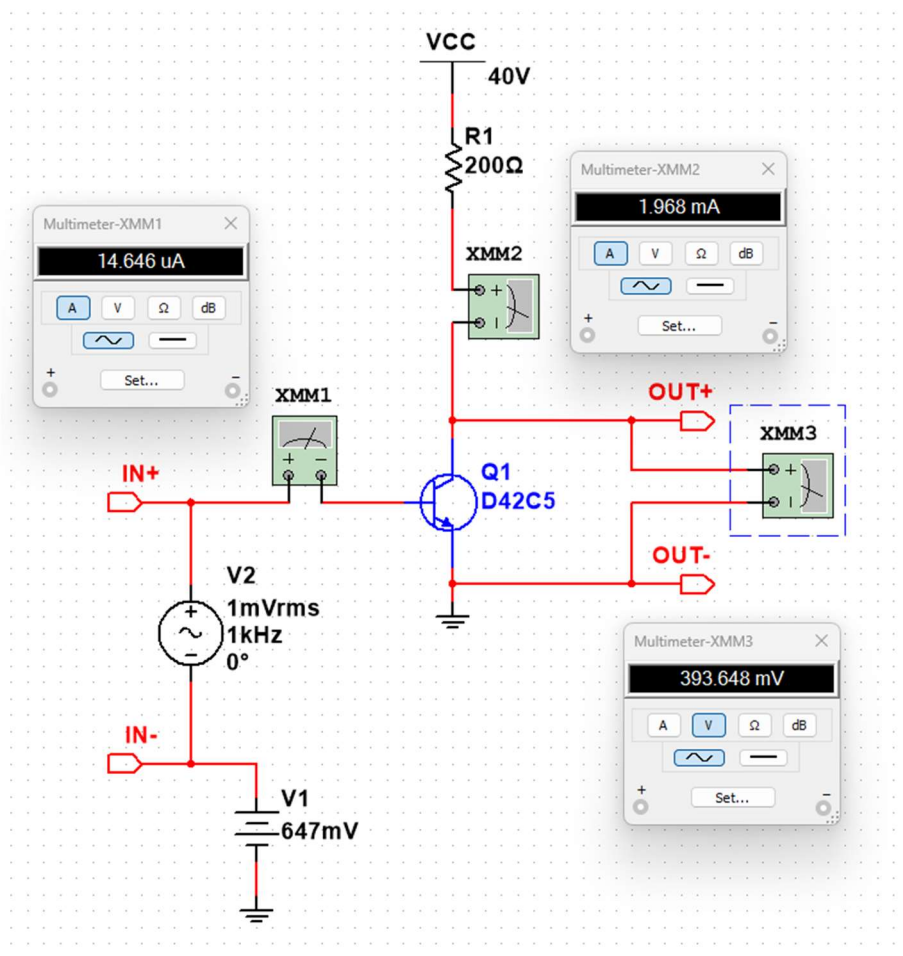
Rysunek 3 – układ wzmacniacza z przyłożonym mało-sygnałowym przebiegiem zmiennym



Rysunek 4 – przebieg sygnału wyjściowego wzmacniacza (zielony) na tle 100-krotnie powiększonego przebiegu sygnału wejściowego (czerwony)

Można zauważyć, że sygnał wyjściowy jest przesunięty w fazie o  $180^\circ$  w stosunku do powiększonego 100-krotnie sygnału wejściowego. Widoczne również jest ponad 200-krotne wzmocnienie amplitudy napięcia wyjściowego.

## Dokładne wyznaczenie wzmacnień



Rysunek 5 – układ wzmacniacza z pomiarami prądów i napięć wejściowych i wyjściowych

Po wpięciu w odpowiednie miejsca woltomierzów i amperomierzów, można wyznaczyć dokładne wzmacnienia prądowe, napięciowe i mocy dla zbudowanego wzmacniacza.

- Napięcie wejściowe (źródło napięcia zmiennego):  $u_{WE} = 1 \text{ mV}(rms)$
- Natężenie prądu wejściowego:  $i_{WE} = 14,646 \text{ } \mu\text{A}$
- Napięcie wyjściowe:  $u_{WY} = 393,648 \text{ mV}(rms)$
- Natężenie prądu wyjściowego:  $i_{WY} = 1,968 \text{ mA}$

Wzmocnienie napięciowe:  $k_u = \frac{u_{WY}}{u_{WE}} = \frac{393,648 \text{ mV}(rms)}{1 \text{ mV}(rms)} \approx 393,65$

Wzmocnienie prądowe:  $k_i = \frac{i_{WY}}{i_{WE}} = \frac{1,968 \text{ mA}}{14,646 \text{ } \mu\text{A}} \approx 134,37$

Wzmocnienie mocy:  $k_P = k_u \cdot k_i \approx 393,648 \cdot 134,371 \approx 52\,894,93$

Możliwe jest również obliczenie wzmacnienia prądowego, napięciowego i mocy w decybelach.

Wzmocnienie napięciowe (dB):  $k_{u_{dB}} = 20 \cdot \log k_u \approx 20 \cdot 2,595 = 51,90 \text{ [dB]}$

Wzmocnienie prądowe (dB):  $k_{i_{dB}} = 20 \cdot \log k_i \approx 20 \cdot 2,128 \approx 42,57 \text{ [dB]}$

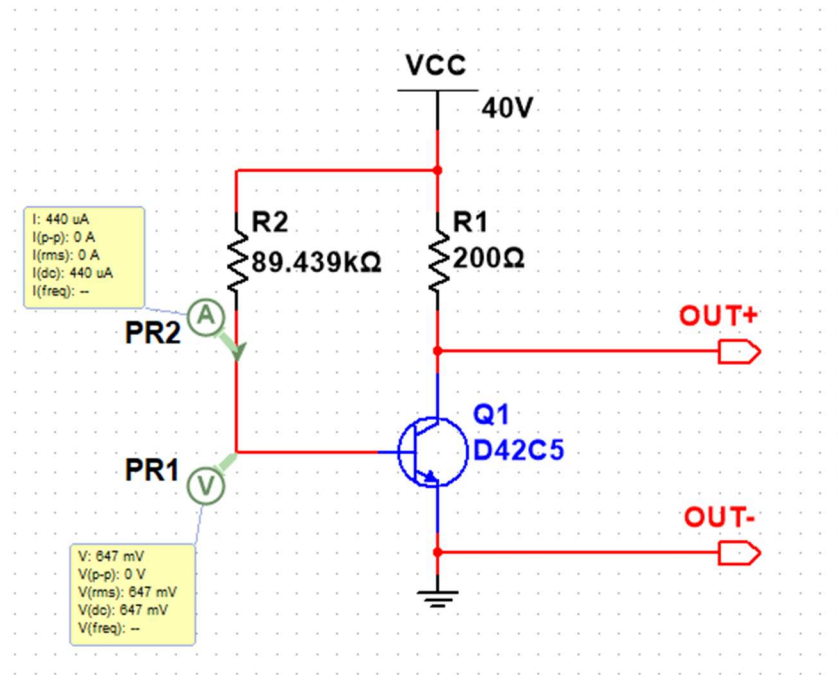
Wzmocnienie mocy (dB):  $k_{P_{dB}} = 10 \cdot \log k_P \approx 10 \cdot 4,723 = 47,23 \text{ [dB]}$

#### Zasilanie bazy napięciem zasilającym wzmacniacz $U_{CC}$

Można zastąpić dodatkowe źródło napięcia zasilające bazę, korzystając z głównego napięcia zasilającego wzmacniacz  $U_{CC}$ . Należy to zrobić poprzez ograniczenie tego napięcia odpowiednio dużą rezystancją, na której będzie się odkładało napięcie  $U_{BE} = 647 \text{ mV}$  i będzie płynął przez nią oczekiwany prąd  $I_B = 440 \mu\text{A}$ .

Aby obliczyć wartość tej rezystancji, należy skorzystać ze wzoru  $R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_B}$ .

$$R_B = \frac{40 \text{ V} - 647 \text{ mV}}{440 \mu\text{A}} = \frac{39,353 \text{ V}}{0,00044 \text{ A}} = 89,439 \text{ k}\Omega$$



Rysunek 6 – układ wzmacniacza z bazą zasilaną z głównego napięcia zasilającego  $U_{CC}$  przez odpowiednią rezystancję; można zauważyć zachowane parametry  $U_{BE} = 647 \text{ mV}$  oraz  $I_B = 440 \mu\text{A}$

Po dodaniu rezystancji bazy, należy przyłożyć między bazę a uziemienie mało-sygnałowy przebieg zmienny  $u_{WE}$ . Nie można tego zrobić bezpośrednio, ponieważ prąd stały służący do ustawienia parametrów tranzystora, popłynąłby przez źródło napięcia zmiennego do uziemienia, zamiast przez złącze baza-emiter. Można temu zapobiec, wpinając między sygnał wejściowy a bazę kondensator, którego wielkość minimalną wyznacza się ze wzoru  $C_{IN} \geq \frac{1}{2\pi R_B f} [F]$ .

$$\text{Dla częstotliwości } f = 1 \text{ kHz: } C_{IN} \geq \frac{1}{2\pi \cdot 89439 \cdot 1000} F \approx \frac{1}{561\,961\,810} F \approx 1.78 \text{ nF}$$

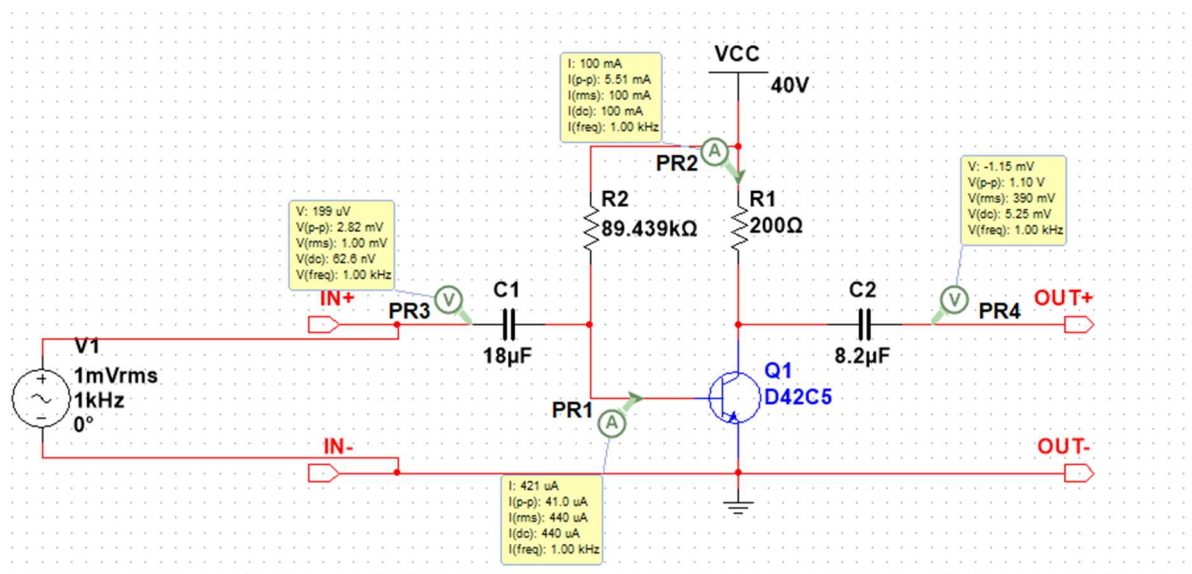
$C_{IN}$  powinno być znacznie większe od wyznaczonej wartości minimalnej dla poprawnego i pełnego działania wzmacniacza. Eksperymentalnie wyznaczono, że wartość ta powinna być około 10 000 razy większa od wartości minimalnej, zatem została wybrana wartość  $C_{IN} = 18 \mu\text{F}$ .

Podobnie można postąpić w przypadku wyjścia wzmacniacza, aby obciążenie składową stałą można przed wyjściem wpinąć kondensator, którego wielkość minimalną wyznacza wzór  $C_{OUT} \geq \frac{1}{2\pi R_C f} [F]$ .

$$\text{Dla częstotliwości } f = 1 \text{ kHz: } C_{OUT} \geq \frac{1}{2\pi \cdot 200 \cdot 1000} F \approx \frac{1}{1\,256\,637} F \approx 795 \text{ nF}$$



$C_{OUT}$  również powinno być znacznie od wyznaczonej wartości minimalnej. Eksperymentalnie wyznaczono, że jego wartość powinna być około 10 razy większa, zatem została wybrana wartość  $C_{OUT} = 8,2 \mu F$ .



Rysunek 7 – układ wzmacniacza z kondensatorami na wejściu i wyjściu oraz z wpiętym mało-sygnałowym przebiegiem zmiennym na wejściu  $u_{WE} = 1 \text{ mV}(rms)$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$ ; widać zachowane wartości prądu stałego oraz wzmacnione napięcie zmienne na wyjściu

#### Badanie zachowania wzmacniacza dla różnych obciążeń $R_o$

Dla takiego samego źródła sygnału zmiennego  $u_{WE} = 1 \text{ mV}(rms)$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $i_{WE} = 14,5 \mu A(rms)$ , i różnych obciążeń zostały zmierzone wartości napięć wyjściowych, a następnie na podstawie tych danych zostały wyliczone prądy wyjściowe oraz wzmacnienia napięciowe, prądowe i mocy w  $dB$ .

$R_o [\Omega]$	$u_{WY} [mV(rms)]$	$i_{WY} [\mu A(rms)]$	$k_u [dB]$	$k_i [dB]$	$k_p [dB]$
1	3,17	3170,00	10,02	46,79	28,41
10	29,60	2960,00	29,43	46,20	37,81
100	176,00	1760,00	44,91	41,68	43,30
1 000	348,00	348,00	50,83	27,60	39,22
10 000	385,00	38,50	51,71	8,48	30,10
100 000	390,00	3,90	51,82	-11,41	20,21
1 000 000	390,00	0,39	51,82	-31,41	10,21

#### Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że zaprojektowany i zbudowany wzmacniacz tranzystorowy dla częstotliwości  $f = 1 \text{ kHz}$  pozwala osiągnąć maksymalne wzmacnienie mocy o ponad 40  $dB$  dla obciążenia około  $100 \Omega - 1000 \Omega$ .

Dodatkowo można zauważyć, że wraz ze wzrostem rezystancji obciążenia wzrasta wzmacnienie napięciowe, osiągając swoje maksimum dla obciążeń pomiędzy  $10k\Omega - 100k\Omega$  – wynosi ono 51,82  $dB$ .

Ponadto, wzrost rezystancji obciążenia powoduje zmniejszenie wzmacnienia prądowego, które pomiędzy  $10k\Omega - 100k\Omega$  osiąga wartości ujemne.

Można zatem wywnioskować, że wzmacniacze mają największe wzmacnienie napięciowe dla dużych obciążeń, natomiast największe wzmacnienie prądowe dla małych obciążeń.