

# Układy i systemy elektroniczne

Projekt nr 1.

## Układ wzmacniacza tranzystorowego o zadanych parametrach

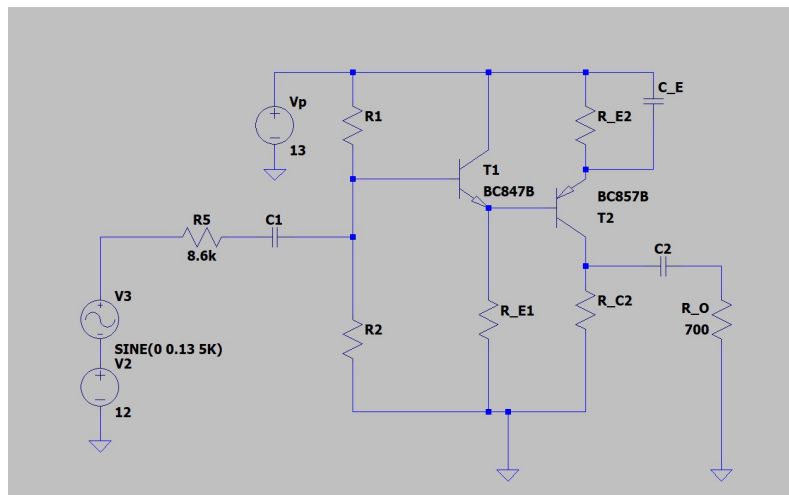
Bartosz Ostrowski 14.12.2020

### Założenia projektowe

- $R_g = 8.6 [k\Omega]$
- $E_{gDC} = 12 [V]$
- $U_{ZAS} = V_+ - V_- = 13 [V]$
- $R_O = 700 [\Omega]$
- $I_{max} < 51 [mA]$
- $R_{we} > 22 [k\Omega]$
- $R_{wy} < 6.4 [M\Omega]$
- $U_{wymax} > 5 [V]$
- $f_d < 50 [Hz]$

Dostępne tranzystory i ich parametry		
	BC847B	BC857B
Typ	NPN	PNP
$U_{CEmax}$	45 [V]	45 [V]
$I_{Cmax}$	100 [mA]	100 [mA]
$P_{max}$	250 [mW]	250 [mW]
$\beta_{DC}$	200 - 450	200 - 450
$\beta_{AC}$	Typ. 330	Typ. 330

### Schemat układu:



Sprawdzimy czy układ wspólny emiter w konfiguracji z wtórnikiem nada się do wzmacnienia tego sygnału. Zakładamy Napięcie na na złączu kolektor emiter tranzystora  $T_2 = 5,2V$  aby osiągnąć amplitudę 5V na wyjściu. Uwzględniamy tu  $U_{CEsat2} \approx 100 mV$ . Na  $R_{E2}$  zakładamy spadek napięcia 1V. Dzięki temu zapewnimy bezpieczny margines pracy tranzystora. Możemy wybrać takie napięcie ze względu na kompensację spowodowaną obecnością wtórnika. Obliczamy napięcie na rezystorze  $R_C$ :

$$U_{RC2} = V_p - U_{RE2} - U_{EC2} = 13 - 5,2 - 1 = 6,8 V$$

Obliczamy teraz rezystor  $R_{C2}$ :

$$R_{C2} \leq \frac{R_O \cdot (U_{RC} - U_{WYmax})}{U_{WYmax}}$$

$$R_C \leq \frac{700 \cdot (6,8 - 5)}{5}$$

$$R_C \leq 252 \Omega$$

Z szeregu E24 wybierzemy rezystor 240  $\Omega$ . Mając napięcie  $U_{RC}$  oraz rezystancję  $R_{C2}$  możemy obliczyć prąd  $I_{C2}$ :

$$I_{C2} = \frac{U_{RC}}{R_{C2}} = \frac{6,8}{240} \approx 28,3 \text{ mA}$$

Wyliczymy z tego rezystor  $R_{E2}$ :

$$R_{E2} = \frac{U_{E2}}{I_{E2}} = \frac{I_{E2} \approx I_{C2}}{I_{E2}} = \frac{1}{28,3 \cdot 10^{-3}} \approx 35 \Omega$$

Z szeregu E24 wybierzemy rezystor 33  $\Omega$ . Chcąc policzyć rezystor  $R_{E1}$  należy założyć jakiś prąd płynący przez ten rezystor. Będzie on sumą prądu wpływającego do bazy tranzystora  $T_2$  oraz prądu wpływającego do emitera tranzystora  $T_1$ . Potrzebujemy też potencjału bazy tranzystora  $T_2$ . Do obliczeń przyjmieby  $\beta = 250$  według noty katalogowej tranzystora BC857B dla prądu kolektora ok 30mA:

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta_2} = \frac{28,3 \cdot 10^{-3}}{250} \approx 113 \mu A$$

Prąd emitera tranzystora  $T_1$  nie musi być duży więc możemy założyć, że  $I_{RE} = I_{B2} + I_{E1} = 0,5 \text{ mA}$ . Możemy teraz obliczyć rezystor  $R_{E1}$ . Do obliczeń przyjmieby  $U_{BE} = -0,75V$  według noty katalogowej tranzystora BC847B dla prądu ok 30 mA. :

$$R_{E1} = \frac{V_p - U_{B2}}{I_{RE1}} = \frac{V_p - U_{RE2} + U_{BE}}{I_{RE1}} = \frac{13 - 1 - 0,75}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 22,5 \text{ k}\Omega$$

Z szeregu E24 weźmiemy rezystor 22  $k\Omega$ .

Należy teraz spolaryzować bazę tranzystora  $T_1$ . W tym przypadku napięcie  $U_{BE} = -0,6V$  według noty katalogowej tranzystora BC547B dla prąd rzędu 0.5 mA:

$$U_{B1} = U_{E1} + U_{BE} = U_{B2} + U_{BE1} = 11,25 + 0,6 = 11,85V$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_{B1}}{V_p - U_{B1}} = \frac{11,85}{1,15} = 10,3$$

Aby poprawnie dobrać rezystory  $R_1$  i  $R_2$  musimy policzyć rezystancję wejściową tak aby spełnia warunek  $r_{we} > 22k\Omega$ . Do obliczeń przyjmieby  $\beta_1, \beta_2 = 200$ , czyli najgorszy przypadek:

$$((R_{E1} || r_{b'e2}) \cdot \beta_1 + r_{b'e1}) || (R_1 || R_2) > 22k\Omega$$

$$r_{b'e1} = \beta_1 \cdot \frac{\varphi_T}{I_{C1}} = 200 \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{\sim 0,387 \cdot 10^{-3}} \approx 13k\Omega$$

$$r_{b'e2} = \beta_2 \cdot \frac{\varphi_T}{I_{C2}} = 200 \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{28,3 \cdot 10^{-3}} = 176,7\Omega$$

$$(35,1 \cdot 10^3 + 13 \cdot 10^3) || (R_1 || R_2) > 22k\Omega$$

$$48,1 \cdot 10^3 || (R_1 || R_2) > 22k\Omega$$

$$\begin{aligned}
 R_1 || R_2 &> 41k\Omega \\
 \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} &> 41k\Omega \\
 \frac{R_2 \cdot R_2 \cdot 10,3}{R_2 + R_2 \cdot 10,3} &> 41k\Omega \\
 R_2 &> \frac{11,3}{10,3} \cdot 41k\Omega \\
 R_2 &= 50k\Omega \\
 R_1 &= 500k\Omega
 \end{aligned}$$

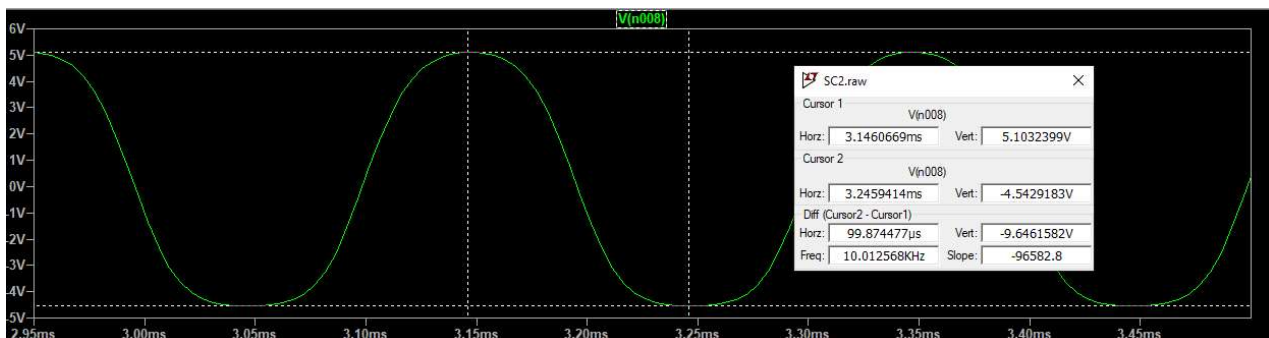
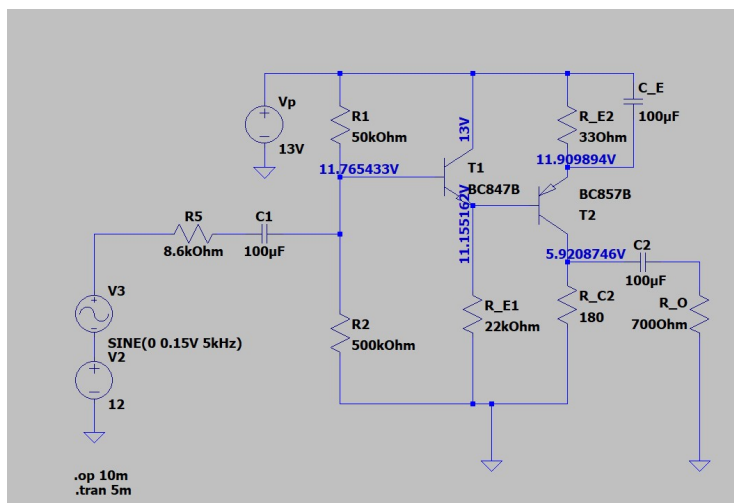
Możemy teraz sprawdzić układ:

$$\begin{aligned}
 U_{B1} &= \frac{500k - 50k}{50k} \cdot 13 = 11,7V \\
 U_{E1} &= 11,7 - 0,6 = 11,1V \\
 I_{RE1} &= \frac{11,1}{22 \cdot 10^3} = 504,5\mu A \\
 U_{E2} &= 11,1 + 0,75 = 11,85V \\
 I_{E2} &= \frac{13 - 11,85}{33} = 34mA \\
 U_{EC2} &= 11,85 - 240 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 4,71V
 \end{aligned}$$

Napięcie  $U_{EC2}$  jest zbyt małe więc należy zmniejszyć rezystor  $R_{C2}$ :

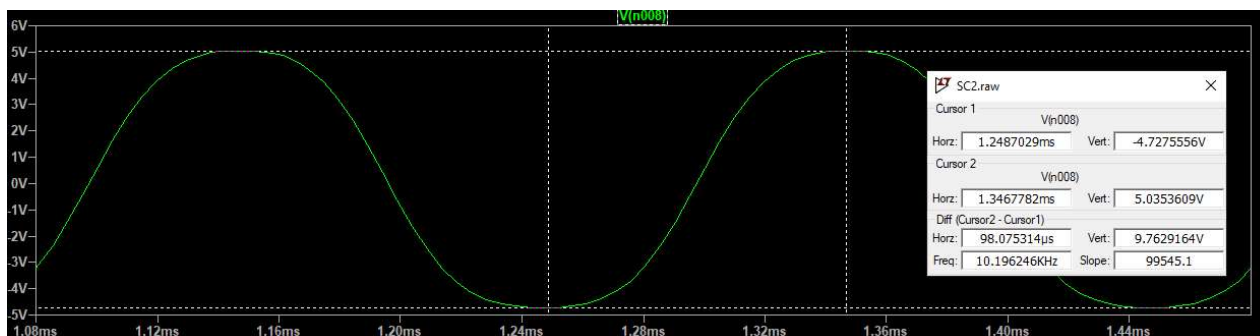
$$U_{EC2} = 11,85 - 180 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 5,5V$$

Symulacja:



Niestety nie udało mi się przekroczyć napięcia 5V na wyjściu na dolnej połówce. Taki wynik uzyskano przy napięciu wejściowym 150mV Potencjał na kolektorze powinien wynosić 6,5V. Prąd

kołektora wynosi 32,8 mA więc trochę mniej niż według obliczeń. Aby możemy zatem zwiększyć nieznacznie rezystor  $R_{C2}$  do 200Ω.



W tym momencie nasz przebieg ponownie jest niesymetryczny względem 0, natomiast aby sygnał przesterował należało zmniejszyć napięcia na wejściu do 130 mV.

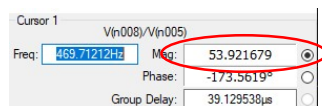
Wzmocnienie teoretyczne to w głównej mierze wzmocnienie modułu wspólnego emitara, gdyż sam wtórnik nie wzmacnia sygnału a zwiększa rezystancję wejściową.

$$k_u = \frac{I_c \cdot R_c || R_o}{\varphi_t}$$

$$k_u = 32,8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{200 \cdot 700}{200 + 700} = 204,4 \frac{V}{V}$$

$$k_{us} = \frac{r_{we}}{r_{we} + R_g} \cdot k_u = 147 \frac{V}{V}$$

Wzmocnienie faktyczne:



Policzmy dla pewności  $r_{we}$ :

$$r_{we} = ((R_{E1} || r_{b'e2}) \cdot \beta_1 + r_{b'e1}) || (R_1 || R_2)$$

$$r_{we} = 22,15 \text{ k}\Omega$$

Aby obliczyć dolną częstotliwość graniczną należy policzyć częstotliwość graniczną wszystkich kondensatorów w układzie. W tym celu policzymy rezystancję widzianą z każdego z kondensatorów:

$$R_{capE} \approx R_{E2} || R_{eb'2} = \frac{\frac{\varphi_T}{I_{C2}} \cdot R_{E2}}{\frac{\varphi_T}{I_{C2}} + R_{E2}} \approx 0,75 \Omega$$

$$R_{cap2} = R_{C2} + R_o = 900\Omega$$

$$R_{cap1} = R_g + R_{we} = 8,6k + 22,15k = 30,75k\Omega$$

Zakładamy  $f_{dcap1} = 25Hz$ :

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 30,35 \cdot 10^3 \cdot 25} \approx 210 \text{ nF}$$

Wybieramy wartość dla kondensatora  $C_1$  z szeregu E24 i będzie to 220nF

$$f_{dcap1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 30,75 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-9}} \approx 23,52 \text{ Hz}$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 900 \cdot 25} \approx 7,07 \mu F$$

Wybieramy wartość dla kondensatora  $C_2$  z szeregu E24 i będzie to  $6,8 \mu F$

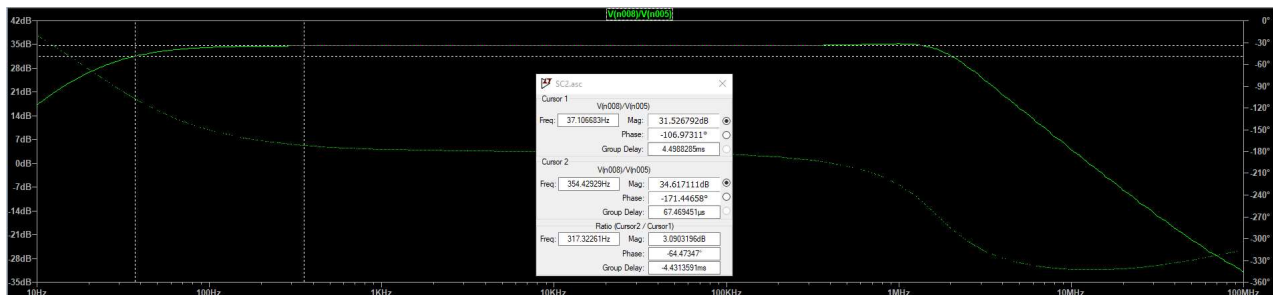
$$f_{dcap2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 900 \cdot 6,8 \cdot 10^{-6}} \approx 26 \text{ Hz}$$

$$C_E = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,75 \cdot 25} \approx 8,5 \text{ mF}$$

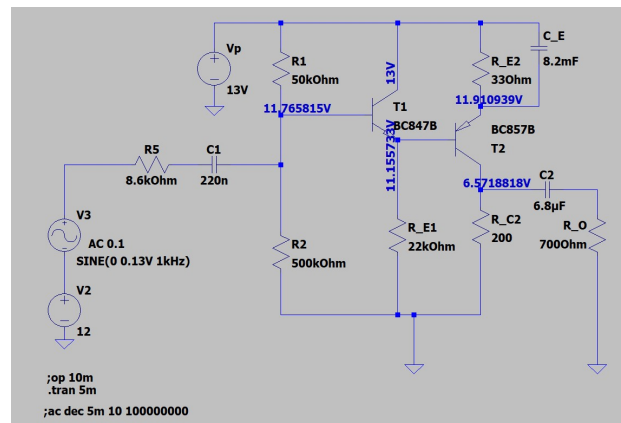
Wybieramy wartość dla kondensatora  $C_E$  z szeregu E24 i będzie to  $8,2 \text{ mF}$

$$f_{dcap} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,75 \cdot 8,2 \cdot 10^{-3}} \approx 25,9 \text{ Hz}$$

$$f_d = \sqrt{f_{dcap1}^2 + f_{dcap2}^2 + f_{dcapE}^2} = 43 \text{ Hz}$$



Rzeczywista częstotliwość dolna wynosi 37 Hz.



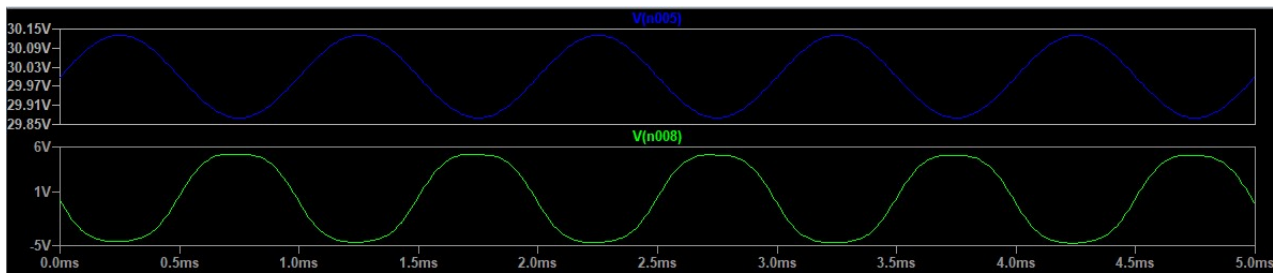
Oto schemat działającego wzmacniacza.

Zużycie mocy przez tranzystory:

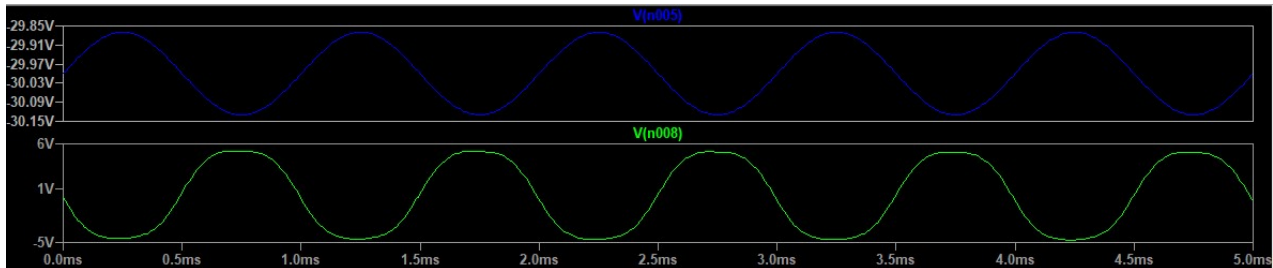
$$P_{T1} = I_{C1} \cdot U_{CE1} = (13 - 11,156) \cdot 0,369 \cdot 10^{-3} = 0,7 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

$$P_{T2} = I_{C2} \cdot U_{CE2} = (11,91 - 6,57) \cdot 32,85 \cdot 10^{-3} = 180,8 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

Działa on niezależnie od składowej stałej sygnału wejściowego.



Przebieg wyjściowy dla źródła ze składową stałą 30V



Przebieg wejściowy wyjściowy dla źródła ze składową stałą -30V

### Zakończenie:

Wzmocnienie skuteczne:  $\approx 54 \frac{V}{V}$

Pobór prądu:  $I(V_p) : -0.03339 < 51mA$

Rezystancja wejściowa:  $22,15k\Omega > 22$

Rezystancja wyjściowa:  $200\Omega < 6400k\Omega$

Amplituda sygnału na wyjściu 4.88V Nie udało się spełnić założenia  $U_{WYma} > 5V$

Częstotliwość dolna graniczna:  $37Hz < 50Hz$

Układ dzięki zastosowaniu kondensatora  $C_1$  pozwala na pracę z dowolną składową stałą.

Zmieniając tranzystory na BC847C i BC857C uzyskujemy mniejszą możliwą amplitudę na wyjściu o 9,6%. Pobór prądu przez układ pozostaje taki sam. Wzmocnienie skuteczne wzrosło o 6%.