

Resonant power amplifier – boundary regime

Ex. 1. Resonant power amplifier in the B class, boundary regime

Data

$i_{c\ max}=40$ mA (maximum of the current pulse of the collector)

$e_{ce\ max}=25$ V (maximum admissible voltage between collector and emitter)

$e_{ce\ sat}=0,5$ V (saturation voltage)

$P_{Tot}=300$ mW (maximum admissible power)

Find

P_1 – output power (1st harmonic)

P_0 – supply power

η – efficiency

R_0 – output resistance

Solution

1. Supply voltage of collector

Collector supply voltage must be not higher than half maximum admissible voltage for transistor.

Typical it is integer.

$$E_c = \frac{e_{ce\ max} - e_{cesat}}{2} = \frac{25 - 0,5}{2} = 12,25$$

We round result and assume $E_c=12$ V.

2. Output voltage of collector U_c

From draw (boundary regime) we have

$$U_c = E_c - e_{cesat} = 12 - 0,5 = 11,5$$

3. DC component of collector current

For B class we know coefficients of distribution current pulse: $\alpha_0=0,318$, $\alpha_1=0,5$. Then :

$$I_{c0} = i_{c\ max} \alpha_0 (\Theta = 90^\circ) = 40 \cdot 0,318 = 12,73\text{mA}$$

4. 1st harmonic of collector current

$$I_{c1} = i_{c\ max} \alpha_1 (\Theta = 90^\circ) = 40 \cdot 0,5 = 20\text{mA}$$

$$5. \text{ Output power: } P_1 = \frac{1}{2} I_{c1} \cdot U_c = 115\text{mW}$$

$$6. \text{ Supply power: } P_0 = I_{c0} \cdot E_c = 152,8\text{mW}$$

$$7. \text{ Losses power: } P_c = P_0 - P_1 = 37,8\text{mW}$$

This result must be lower than maximum admissible power P_{Tot} for our transistor.

$$8. \text{ Efficiency: } \eta = \frac{P_1}{P_0} = 75,3\%$$

$$9. \text{ Output resistance: } R_0 = \frac{U_c}{I_{c1}} = 575\Omega$$

Ex. 2. Resonant power amplifier in the C class, boundary regime

Dane:

$$i_{c\max}=120\text{ mA}$$

$$e_{ce\max}=25\text{ V}$$

$$e_{ce\text{sat}}=0,5\text{ V}$$

$$P_{\text{Tot}}=300\text{ mW}$$

$$\Theta=80^\circ$$

Find

 P_1 – output power (1st harmonic) P_0 – supply power η – efficiency R_0 – output resistance**Solution**

1. Supply voltage of collector

$$E_c = \frac{e_{ce\max} - e_{ce\text{sat}}}{2} = \frac{25 - 0,5}{2} = 12,25\text{ V}$$

We round result and assume $E_c=12\text{ V}$.2. Output voltage of collector U_c : $U_c = E_c - e_{ce\text{sat}} = 12 - 0,5 = 11,5\text{ V}$

3. Coefficients of distribution of collector current pulse:

$$\alpha_0 = \frac{\sin\Theta - \Theta\cos\Theta}{\pi(1 - \cos\Theta)} = 0,286$$

$$\alpha_1 = \frac{\Theta - \sin\Theta\cos\Theta}{\pi(1 - \cos\Theta)} = 0,472$$

Attention: Θ is in radians! We must change degrees on radians.4. DC component of collector current: $I_{c0} = i_{c\max} \alpha_0(\Theta = 80^\circ) = 120 \cdot 0,286 = 34,31\text{ mA}$ 5. 1st harmonic of collector current: $I_{c1} = i_{c\max} \alpha_1(\Theta = 80^\circ) = 120 \cdot 0,472 = 56,64\text{ mA}$ 6. Output Power: $P_1 = \frac{1}{2} I_{c1} \cdot U_c = 325,7\text{ mW}$ 7. Supply power: $P_0 = I_{c0} \cdot E_c = 411,8\text{ mW}$ 8. Losses power: $P_c = P_0 - P_1 = 86,1\text{ mW}$ This result must be lower than maximum admissible power P_{Tot} for our transistor.9. Efficiency: $\eta = \frac{P_1}{P_0} = 79,1\%$ 10. Output resistance: $R_0 = \frac{U_c}{I_{c1}} = 203\Omega$

Ex. 3. Resonant power amplifier in the A class, boundary regime

Dane:

- $i_{c\max}=40$ mA (wartość impulsu prądu kolektora)
 $e_{ce\max}=25$ V (maksymalne napięcie dopuszczalne tranzystora)
 $e_{ce\text{sat}}=0,5$ V (napięcie nasycenia tranzystora)
 $P_{\text{Tot}}=200$ mW (maksymalna moc strat tranzystora)

Szukane

- P_1 – moc wyjściowa użyteczna
 P_0 – moc zasilania
 η – sprawność
 R_0 – rezystancja wyjściowa

Rozwiązanie

1. Supply voltage of collector: $E_c = \frac{e_{ce\max} - e_{cesat}}{2} = \frac{25 - 0,5}{2} = 12,25$

We round result and assume $E_c=12$ V.

2. Output voltage of collector U_c : $U_c = E_c - e_{cesat} = 12 - 0,5 = 11,5$

3. DC component of collector current

For class A: $\alpha_0=\alpha_1=0,5$

$I_{c0} = i_{c\max} \alpha_0(\Theta = 90^\circ) = 40 \cdot 0,5 = 20$ mA

4. 1st harmonic of collector current: $I_{c1} = i_{c\max} \alpha_1(\Theta = 180^\circ) = 40 \cdot 0,5 = 20$ mA

5. Outputpower: $P_1 = \frac{1}{2} I_{c1} \cdot U_c = 115$ mW

6. Supply power: $P_0 = I_{c0} \cdot E_c = 240$ mW

7. Losses power: $P_c = P_0 - P_1 = 125$ mW

This result must be lower than maximum admissible power P_{Tot} for our transistor.

8. Efficiency: $\eta = \frac{P_1}{P_0} = 47,9\%$

9. Output resistance : $R_0 = \frac{U_c}{I_{c1}} = 575\Omega$

Other variants

Klasa B, stan graniczny

$\Theta = 90^\circ$

	Dane				Wybór	Obliczenia									
	I _{cmax} , mA	e _{cmax} , V	e _{csat} , V	P _{tot} , mW	E _c , V	U _c , V	α_0	α_1	I _{co} , mA	I _{c1} , mA	P ₁ , mW	P _o , mW	P _c , mW	η , %	R _o , Ohm
1	40	25	0,5	300	12	11,5	0,318	0,500	12,73	20,00	115,0	152,8	37,8	75,3	575
2	35	20	0,5	250	10	9,5	0,318	0,500	11,14	17,50	83,1	111,4	28,3	74,6	543
3	50	30	0,4	250	15	14,6	0,318	0,500	15,92	25,00	182,5	238,7	56,2	76,4	584

Klasa C, stan graniczny

	Dane					Wybór	Obliczenia									
	I _{cmax} , mA	e _{cmax} , V	e _{csat} , V	P _{tot} , mW	Θ	E _c , V	U _c , V	α_0	α_1	I _{co} , mA	I _{c1} , mA	P ₁ , mW	P _o , mW	P _c , mW	η , %	R _o , Ohm
1	120	25	0,5	300	80	12	11,5	0,286	0,472	34,31	56,64	325,7	411,8	86,1	79,1%	203
2	150	20	0,5	250	70	10	9,5	0,252	0,436	37,87	65,33	310,3	378,7	68,3	82,0%	145
3	150	30	0,4	250	75	15	14,6	0,269	0,455	40,40	68,22	498,0	606,0	108,0	82,2%	214

Klasa A, stan graniczny

$\Theta =$

180

$\alpha_0 = 0,5$

$\alpha_1 = 0,5$

	Dane				Wybór	Obliczenia , stan graniczny									
	I _{cmax} , mA	e _{cmax} , V	e _{csat} , V	P _{tot} , mW	E _c , V	U _c , V	I _{co} , mA	I _{c1} , mA	P ₁ , mW	P _o , mW	P _c , mW	η , %	R _o , Ohm		
1	40	25	0,5	200	12	11,5	20,00	20,00	115,0	240,0	125,0	47,9	575		
2	35	20	0,5	150	10	9,5	17,50	17,50	83,1	175,0	91,9	47,5	543		
3	50	30	0,4	250	15	14,6	25,00	25,00	182,5	375,0	192,5	48,7	584		

Obliczenie wzmacniacza rezonansowego w stanie przewzbudzonym

Uwaga! Dobrze jest na początku każdego zadania narysować zestaw charakterystyk w celu przypomnienia i zorientowania się w zależnościach pomiędzy poszczególnymi napięciami.

Należy zwrócić uwagę na dwie rzeczy:

1. W stanie przewzbudzonym prąd kolektora jest odkształcony – nie można korzystać bezpośrednio z rozkładu Berga
2. Prąd kolektora liczymy jako różnicę prądów emitera i bazy

Zad. Wyznaczyć parametry energetyczne wzmacniacza rezonansowego w stanie przewzbudzonym

Dane:

$\Theta = 120^\circ$ (klasa AB)

$S = 0,2$ A/V (nachylenie charakterystyki dla prądu kolektora)

$S_b = 0,3$ A/V (nachylenie charakterystyki dla prądu bazy)

$E_{bo} = 0,6$ V (napięcie progowe tranzystora)

$E_{bo}' = 1,2$ V (napięcie progowe dla prądu bazy)

$E_c = 15$ V (napięcie zasilania kolektora)

$I_{b\max} = 45$ mA (wartość impulsu prądu bazy)

$e_{ce\text{ sat}} = 0,4$ V (napięcie nasycenia tranzystora)

$P_{Tot} = 400$ mW (maksymalna moc strat tranzystora)

Szukane

P_I – moc wyjściowa użyteczna

P_0 – moc zasilania

P_c – moc strat tranzystora

η – sprawność

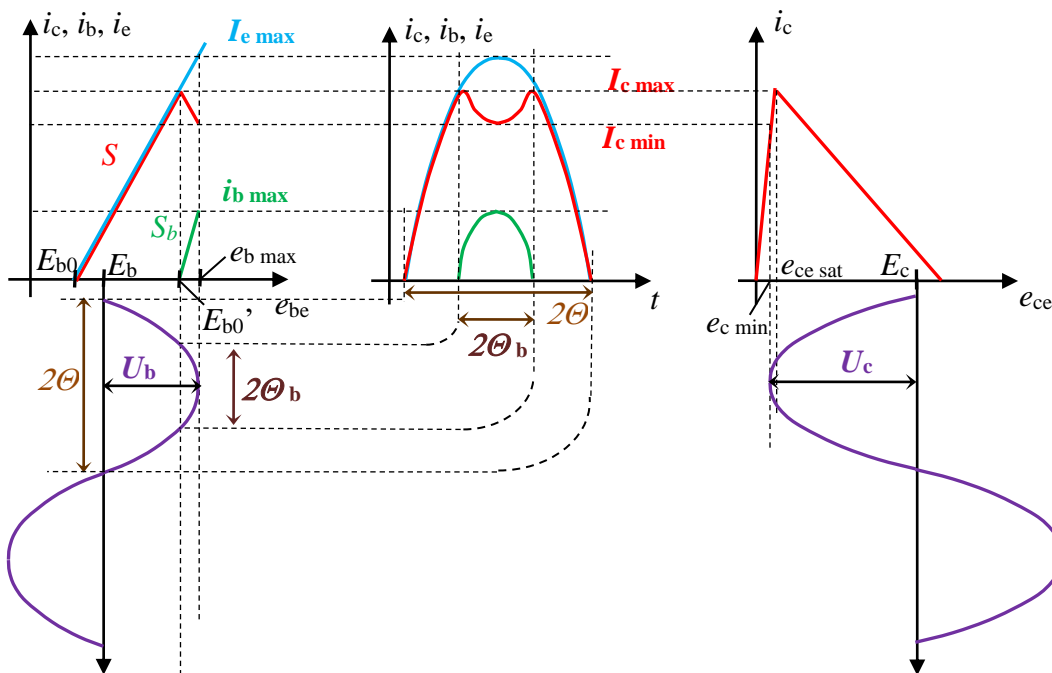
R_0 – rezystancja wyjściowa

K_p – wzmacnienie mocy

Rozwiązanie

1. Wyznaczenie napięcia zasilania bazy E_b i napięcia sygnału doprowadzonego do bazy U_b .

Wyznaczenie tych dwóch wielkości jest moim zdaniem niemożliwe bez narysowania dobrze rysunku.



a) wyznaczamy wartość $e_{b\max}$ – maksymalnej wartości napięcia na bazie. Ponieważ mamy dane $i_{b\max}$ oraz wartość nachylenia charakterystyki S_b dla prądu bazy możemy wyznaczyć wartość napięcia pomiędzy E_{bo}' i $e_{b\max}$. W związku z tym możemy zapisać:

$$e_{b\max} - E_{bo}' = \frac{I_{b\max}}{S_b} \Rightarrow e_{b\max} = E_{bo}' + \frac{I_{b\max}}{S_b} = 1,35V$$

b) Znając $e_{b \max}$ możemy wyznaczyć wartości prądów $I_{e \max}$, $I_{c \max}$ oraz $I_{c \min}$.

$$S = \frac{I_{e \max}}{e_{b \max} - E_{b0}} \Rightarrow I_{e \max} = S \cdot (e_{b \max} - E_{b0}) = 150 \text{ mA} \quad S = \frac{I_{c \max}}{E_{b0}' - E_{b0}} \Rightarrow I_{c \max} = S \cdot (E_{b0}' - E_{b0}) = 120 \text{ mA}$$

$$I_{c \min} = I_{e \max} - I_{b \max} = 105 \text{ mA}$$

c) do wyznaczenia kąta przepływu dla prądu bazy potrzebne są wartości U_b i E_b . Musimy więc je wyznaczyć.

$$\text{Wiemy, że } \cos \Theta = \frac{E_{b0} - E_b}{U_b}. \text{ Zauważmy, że } U_b = e_{b \max} - E_b.$$

$$\text{Przekształcając uzyskujemy: } \cos \Theta = \frac{E_{b0} - E_b}{U_b} = \frac{E_{b0} - E_b}{e_{b \max} - E_b} \Rightarrow (e_{b \max} - E_b) \cdot \cos \Theta = E_{b0} - E_b$$

$$(e_{b \max} - E_b) \cdot \cos \Theta = E_{b0} - E_b$$

$$e_{b \max} \cdot \cos \Theta - E_b \cdot \cos \Theta = E_{b0} - E_b$$

$$E_b - E_b \cdot \cos \Theta = E_{b0} - e_{b \max} \cdot \cos \Theta$$

$$E_b \cdot (1 - \cos \Theta) = E_{b0} - e_{b \max} \cdot \cos \Theta$$

$$E_b = \frac{E_{b0} - e_{b \max} \cdot \cos \Theta}{(1 - \cos \Theta)} = 0,85 \text{ V}$$

$$\text{Korzystając z wcześniejszego związku mamy: } U_b = e_{b \max} - E_b = 0,50 \text{ V}$$

2. Wyznaczenie wartości prądów kolektora

Impuls prądu kolektora ma kształt inny niż odcinek cosinusoidy, nie możemy więc bezpośrednio skorzystać z rozkładu Berga. Obliczamy je metodą pośrednią:

$$I_{c0} = I_{e0} - I_{b0} \text{ oraz } I_{c1} = I_{e1} - I_{b1}$$

Możliwe jest to, gdyż oba prądy – emitera i bazy mają kształt odcinków cosinusoidy.

Uwaga! Jeżeli ktoś na zaliczeniu liczy metodą jak dla stanu granicznego, nie zaliczam zadania !!

a) wyznaczmy wartości współczynników rozkładu Berga dla impulsów prądu emitera:

$$\alpha_0 = \frac{\sin \Theta - \Theta \cos \Theta}{\pi(1 - \cos \Theta)} = 0,406 \text{ oraz } \alpha_1 = \frac{\Theta - \sin \Theta \cos \Theta}{\pi(1 - \cos \Theta)} = 0,536$$

Znając je możemy wyznaczyć składowe impulsu prądu emitera:

$$I_{e0} = i_{e \max} \alpha_0 = 60,9 \text{ mA} \text{ oraz } I_{e1} = i_{e \max} \alpha_1 = 80,4 \text{ mA}$$

b) wyznaczamy wartość kąta odcięcia dla prądu bazy

$$\cos \Theta_b = \frac{E_{b0}' - E_b}{U_b} \Rightarrow \Theta_b = \arccos \left(\frac{E_{b0}' - E_b}{U_b} \right) = 45,6^\circ$$

Uwaga. Jest to podpunkt, w którym najczęściej pojawiają się błędy!!

c) wyznaczmy wartości współczynników rozkładu Berga dla impulsów prądu emitera:

$$\alpha_{b0} = \frac{\sin \Theta_b - \Theta_b \cos \Theta_b}{\pi(1 - \cos \Theta_b)} = 0,167 \text{ oraz } \alpha_{b1} = \frac{\Theta_b - \sin \Theta_b \cos \Theta_b}{\pi(1 - \cos \Theta_b)} = 0,314$$

Znając je możemy wyznaczyć składowe impulsu prądu emitera:

$$I_{b0} = i_{b \max} \alpha_{b0} = 7,5 \text{ mA} \text{ oraz } I_{b1} = i_{b \max} \alpha_{b1} = 14,1 \text{ mA}$$

d) wyznaczamy wartości składowych prądu kolektora:

$$I_{c0} = I_{e0} - I_{b0} = 53,4 \text{ mA} \text{ oraz } I_{c1} = I_{e1} - I_{b1} = 66,3 \text{ mA}$$

3. Wyznaczenie parametry energetyczne układu

a) Wyznaczenie wartości napięcia wyjściowego kolektora U_c : $U_c = E_c - e_{c \min}$.

Nie znamy wartości minimalnej napięcia kolektora, ale z rysunku możemy ją łatwo wyznaczyć z

proporcji: $\frac{I_{c \max}}{e_{ce \text{ sat}}} = \frac{I_{c \min}}{e_{c \min}} \Rightarrow e_{c \min} = e_{ce \text{ sat}} \frac{I_{c \min}}{I_{c \max}} = 0,35V$.

W związku z tym $U_c = E_c - e_{c \min} = 14,7V$

b) Wyznaczenie wartości mocy: wyjściowej P_1 , zasilania P_0 i strat P_c .

$$P_1 = \frac{1}{2} I_{c1} \cdot U_c = 486 \text{mW}, \quad P_0 = I_{c0} \cdot E_c = 801 \text{mW}, \quad P_c = P_0 - P_1 = 315 \text{mW}.$$

c) Wyznaczenie sprawności η oraz rezystancji wyjściowej R_0 .

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = 60,7\% \quad \text{oraz} \quad R_0 = \frac{U_c}{I_{c1}} = 221 \Omega.$$

d) Wyznaczenie wzmocnienia mocy K_p : $K_p = \frac{P_1}{P_b}$

W celu wyznaczenia wzmocnienia mocy musimy znać najpierw wartość mocy wejściowej P_b .

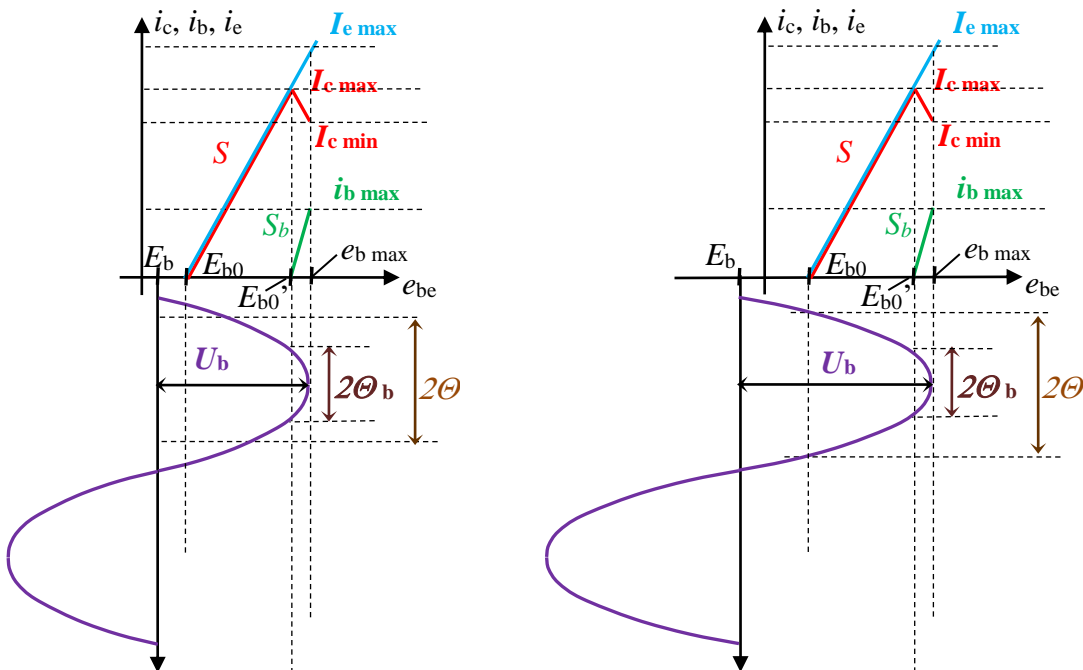
$$P_b = \frac{1}{2} I_{b1} \cdot U_b = 3,53 \text{mW}.$$

Wobec tego $K_p = \frac{P_1}{P_b} = 138$

Wartość wzmocnienia mocy często wyrażana jest w decybelach: $K_{p \text{ dB}} = 10 \cdot \log K_p = 21,4 \text{ dB}$

Dla innych klas obliczenia wyglądają identycznie. Pewnego komentarza może jedynie wymagać przypadek klasy C.

W przypadku klasy C napięcie polaryzacji bazy może mieć zarówno wartości dodatnie jak i ujemne. Dla obliczeń nie ma to żadnego znaczenia. Jedynie może zaistnieć potrzeba korekty rysunku. Zauważmy, że widoczna jest konieczność zwiększenia wartości sygnału sterującego, w celu osiągnięcia stanu przewzbudzonego (rys. są w tej samej skali).



Inne warianty

wariant	$\Theta, ^\circ$	$S, A/V$	$S_b, A/V$	E_{bo}, V	E'_{bo}, V	$I_{b \max}, mA$	E_c, V	$e_{c \text{ sat}}, V$	P_{tot}, mW		$\cos \Theta$
1	110	0,2	0,4	0,6	1,2	25	15	0,3	400	1	-0,342
2	100	0,15	0,25	0,6	1,25	50	12	0,2	250	2	-0,174
3	80	0,3	0,5	0,65	1,3	60	15	0,3	350	3	0,174

część 1 Wzbudzenie: E_b, U_b

wariant	$e_{b \max}, V$	$I_{e \max}, mA$	$i_{c \max}, mA$	$i_{c \min}, mA$	E_b, V	U_b, V		$\cos \Theta_b$
1	1,26	132,5	120,0	107,5	0,77	0,49	1	0,8734
2	1,45	127,5	97,5	77,5	0,73	0,72	2	0,7238
3	1,42	231,0	195,0	171,0	0,49	0,93	3	0,8712

część 2 Prądy

wariant	α_0	α_1	I_{e0}, mA	I_{e1}, mA	$\Theta_b, ^\circ$	α_{b0}	α_{b1}	I_{b0}, mA	I_{b1}, mA	I_{c0}, mA	I_{c1}, mA	γ
1	0,379	0,532	50,2	70,4	29,1	0,107	0,209	2,7	5,2	47,5	65,2	1,373
2	0,349	0,520	44,5	66,3	43,6	0,160	0,302	8,0	15,1	36,5	51,2	1,400
3	0,286	0,472	66,1	109,0	29,4	0,108	0,211	6,5	12,7	59,6	96,4	1,618

część 3 Energetyka

wariant	$e_{c \min}, V$	U_c, V	P_1, mW	P_o, mW	P_c, mW	η	R_o, Ω	P_b, mW	K_p	K_p, dB
1	0,27	14,7	480	712	232	67,4%	226	1,29	372	25,7
2	0,16	11,8	303	438	135	69,1%	231	5,47	55	17,4
3	0,26	14,7	710	893	183	79,5%	153	5,90	120	20,8