

# Projekt z Elektroniki

---

*Jan Niezbędny :) Sxxxx WID 2011/2012*

Seria 4A – dla wszystkich tranzystorów n-p-n proces obliczeń jest taki sam – zmieniamy tylko wartości w PSpice i w obliczeniach zad2. Masz pnp – masz problem :) Mniej więcej jest wszystko wytłumaczone :)

## Spis treści

Definicja problemu.....	2
Zadanie 1.....	3
Charakterystyka tranzystora bipolarnego n-p-n Q2N2222 .....	3
Implementacja na konsoli w PSpice ( charakterystyka wejściowa) .....	3
Statyczna charakterystyka wejściowa tranzystora n-p-n Q2N2222 .....	4
Implementacja na konsoli w PSpice ( charakterystyka wyjściowa) .....	4
Statyczna charakterystyka wyjściowa tranzystora n-p-n Q2N2222.....	5
Wnioski.....	5
Zadanie 2.....	5
Na podstawie charakterystyki wyjściowej wybieram punkt pracy.....	5
Obliczam rezystancję $R_C$ i $R_E$ .....	6
Obliczam rezystancję $R_1$ i $R_2$ .....	6
zatem6	
Obliczam rezystancję $r_{WE}$ .....	6
Obliczam współczynnik wzmacnienia $\beta$ .....	6
Obliczam rezystancję wejściową tranzystora ( $h_{11e}$ ).....	6
Obliczam rezystancję $r_{WE}$ .....	7
Obliczam pojemności $C_1$ , $C_2$ i $CE$ .....	7
Obliczam $C_1$ .....	7
Obliczam $C_2$ .....	7
Obliczam $CE$ .....	7
Obliczam rezystancję $r_{wy}$ .....	7
Obliczam $k_u$ i $k_i$ .....	7
Podsumowanie obliczonych wartości:.....	8
Zadanie 3.....	9
Implementacja na konsoli w PSpice.....	9
Wyniki w pliku wyjściowym *.out po wykonanej analizie .....	9
Charakterystyki .....	10

## Definicja problemu

### PROJEKT Z ELEKTRONIKI

rok akad. 2011/2012

seria 4A

W zadaniach rozwiązywanych komputerowo należy stosować modele elementów opisane w bibliotece EVAL.LIB programu PSpice Eval.6.2

[1] PCSpice Evaluation Center – Micro-Sim VER. 6.2

[2] J. Porębski, P. Korohoda: SPICE – program analizy nieliniowej układów elektronicznych, WNT, Warszawa 1992.

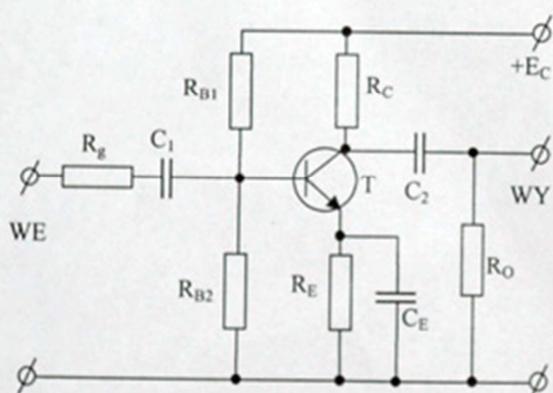
[3] A. Chwaleba, B. Moeschke, G. Płosajski: Elektronika, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1994.

[4] Praca zbiorowa pod red. A. Filipkowskiego: Projektowanie i laboratorium z „Elementów i układów elektronicznych” Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.

**Zadanie 1.** Stosując program PSpice wykonaj wykresy statycznych charakterystyk wejściowych i wyjściowych tranzystora n-p-n Q2N2222, dla układu ze wspólnym emiterem (WE). Analizę wykonaj dla temperatury:  $t_j=27^\circ\text{C}$ , w zakresie zmian prądu bazy w przedziale  $0 - 120 \mu\text{A}$ , ze skokiem  $10 \mu\text{A}$ .

**Zadanie 2.** Wykonaj projekt wzmacniacza jednostopniowego w układzie WE dla małych amplitud i 3-dB zakresu częstotliwości:  $f_d=15 \text{ Hz}$ ,  $f_g=25 \text{ kHz}$ . Przyjmij napięcie zasilające  $E_c = 12 \text{ V}$ . Określ wartości rezystorów  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$ ,  $R_C$  i  $R_E$  oraz pojemności:  $C_1$ ,  $C_2$ , i  $C_E$  dla układu ze sprzężeniem emiterowym i tranzystorem Q2N2222 (jak na rys.). Oblicz uzyskane

wzmocnienia  $K_u$  i  $K_i$  oraz rezystancję wejściową  $r_{WE}$  i wyjściową  $r_{WY}$ . Obliczenia wykonaj dla rezystancji obciążenia  $R_O = 15 \text{ k}\Omega$  i rezystancji wewnętrznej  $R_g = 4,7 \text{ k}\Omega$ .



Obliczenia bez użycia komputera dokonaj przy założeniu  $r_{bb} = 0$  oraz  $h_{22} = 1/r_{ce} = 0$ . Dobór punktu pracy tranzystora na charakterystykach uzyskanych w **Zad.1**.

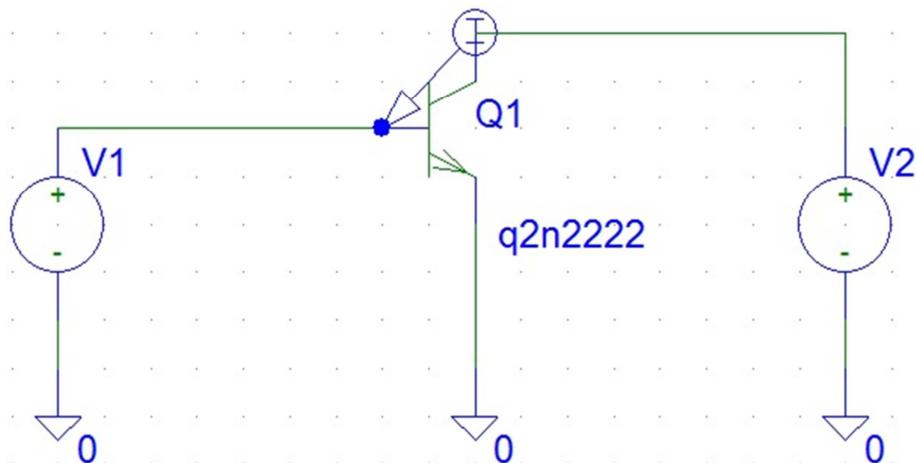
**Zadanie 3.** Wykonaj analizę projektu z **Zad.2**, stosując program PSpice. Porównaj uzyskane wyniki obliczeń uwzględniając przy porównaniu fakt zastosowania uproszczonej danych w **Zad.2**.

**CZYLI JEST TO UKŁAD ZE WSPÓŁNĄ BAZĄ (MOWA O TRANZYSTORZE – TO k W KÓŁKU ☺ )**

## Zadanie 1

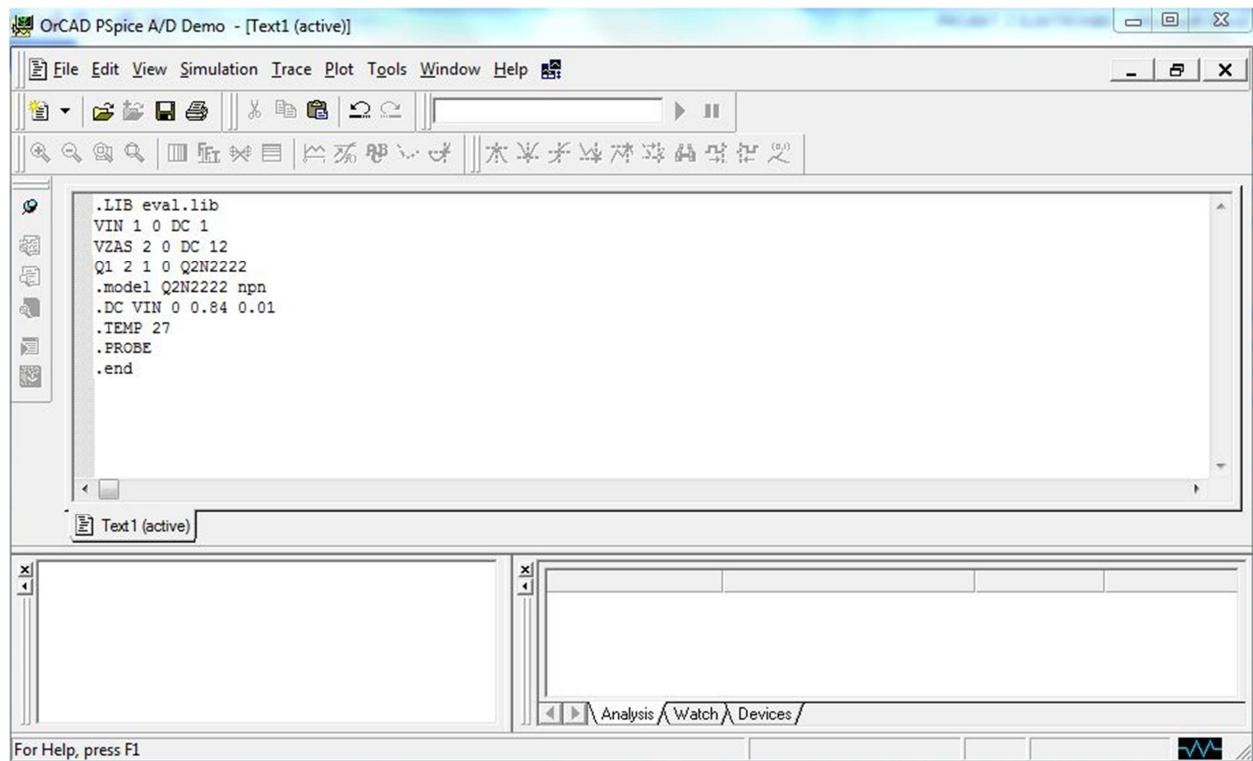
Stosując program PSpice wykonaj wykresy statycznych charakterystyk wejściowych i wyjściowych tranzystora n-p-n Q2N2222, dla układu ze wspólnym emiterem (WE). Analizę wykonaj dla temperatury:  $t_j=27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , w zakresie zmian prądu bazy w przedziale 0-120 uA, ze skokiem 10 uA

### Charakterystyka tranzystora bipolarnego n-p-n Q2N2222



Schemat układu (nie mając tego schematu – będziesz go na pewno rysować przy obronie projektu 😊 )

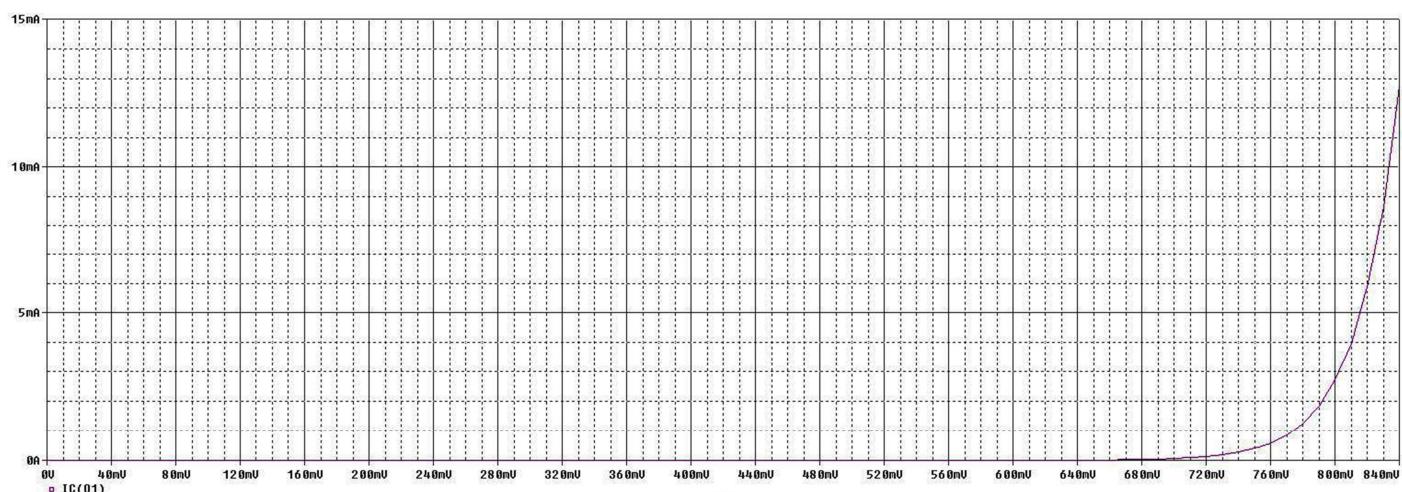
### Implementacja na konsoli w PSpice (charakterystyka wejściowa)



.PROBE – jest po to żeby odczytać dane z pliku .out. Beta w pliku .out jest inna niż w wyliczeniach poniżej ponieważ jest to beta statyczna. Nas interesuje dynamiczna – dlatego ją liczymy w zad 2.

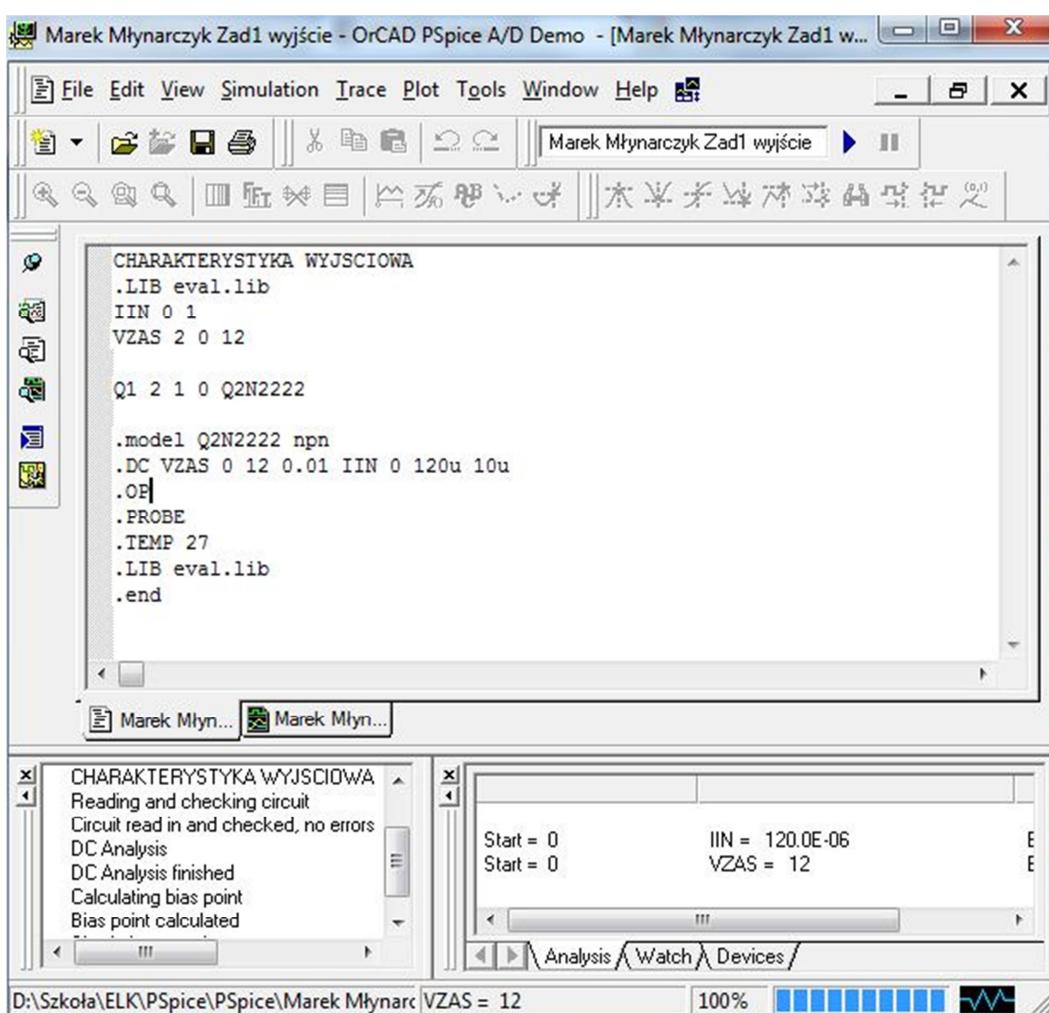
## Statyczna charakterystyka wejściowa tranzystora n-p-n Q2N2222

Charakterystyka wejściowa, na wykresie poniżej, opisuje zależność prądu bazy  $I_B$  od napięcia baza-emiter  $U_{BE}$ , przy stałym napięciu kolektor-emiter  $U_{CE}$ . Z powyższego wykresu odczytać można, że do napięcia o wartości około 0,7 V prąd jest znikomy. Po przekroczeniu tej wartości następuje gwałtowny wzrost prądu przy nieznacznym wzroście napięcia. **CHARAKTERYSTYKA JEST DLA Prądu Kolektora -  $I_C$**

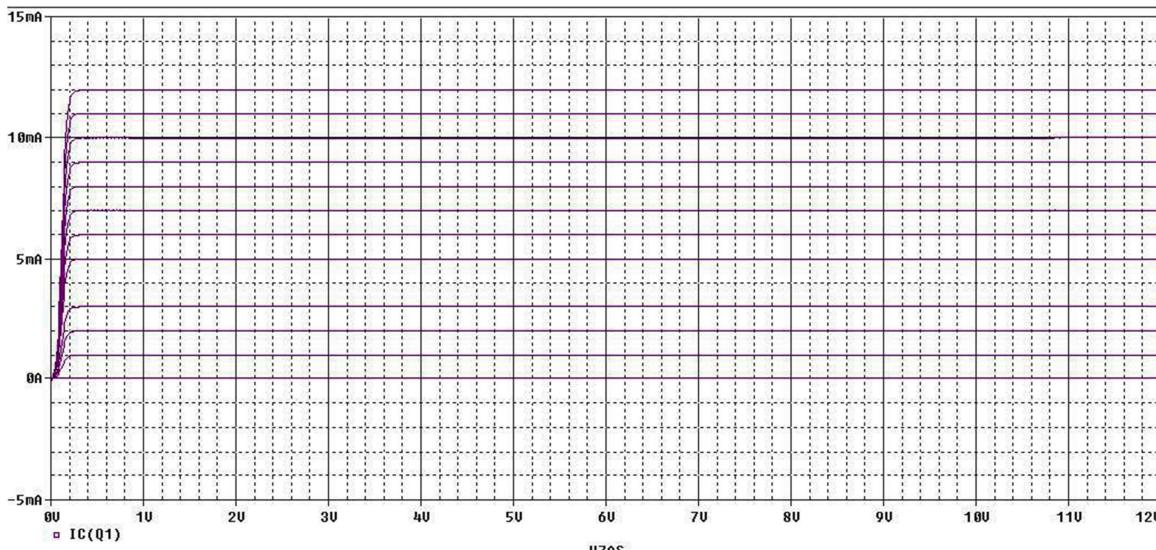


## Implementacja na konsoli w PSpice (charakterystyka wyjściowa)

Zależność prądu kolektora  $I_C$  od napięcia kolektor-emiter  $U_{CE}$  przy doprowadzonym napięciu wejściowym baza-emiter  $U_{BE}$  i stałym prądzie bazy  $I_B$ .



## Statyczna charakterystyka wyjściowa tranzystora n-p-n Q2N2222



### Wnioski

Z wykresu charakterystyki wejściowej odczytać można, że do napięcia o wartości około 0,7V prąd jest znikomy. Po przekroczeniu tej wartości następuje gwałtowny wzrost natężenia prądu przy nieznacznym wzroście napięcia. Na podstawie wykresu charakterystyki wyjściowej można stwierdzić, iż powyżej pewnego napięcia (około 0,25V) prąd kolektora prawie nie zależy od napięcia  $U_{CE}$  **TUTAJ MOŻNA DORZUCIĆ JESZCZE CAŁY WYKŁAD W SUMIE – ALE TYLE WYSTARCZA**

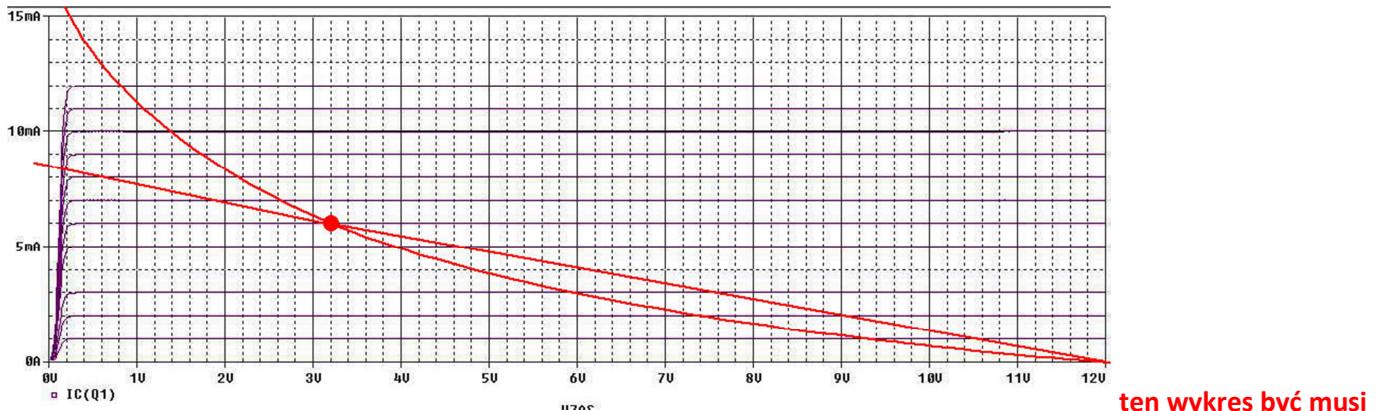
### Zadanie 2

Wykonaj projekt wzmacniacza jednostopniowego w układzie WE dla małych amplitud i 3-dB zakresu częstotliwości:  $f_a = 15\text{Hz}$ ,  $f_g = 25\text{kHz}$ . Przyjmij napięcie zasilające  $E_C = 12\text{V}$ . Określ wartości rezystorów  $R_b1$ ,  $R_b2$ ,  $R_C$ ,  $R_E$  oraz pojemności  $C_1, C_2$  i  $C_E$  dla układu ze sprzężeniem emiterowym i tranzystorem Q2N2222. Oblicz uzyskane wzmacnienia  $K_u$  i  $K_i$  oraz rezystancję wejściową  $r_{WE}$  i wyjściową  $r_{WE}$ . Obliczenia wykonaj dla rezystancji obciążenia  $R_o=12\text{k}\Omega$  i rezystancji wewnętrznej  $R_g=4,7\text{k}\Omega$

Obliczenia bez użycia komputera dokonaj przy założeniu  $r_{bb} = 0$  oraz  $h_{22} = 1/r_{ce} = 0$ . Dobór punktu pracy tranzystora na charakterystykach uzyskanych w zadaniu 1

### Na podstawie charakterystyki wyjściowej wybieram punkt pracy

$I_{CQ}=6\text{mA}$ ,  $U_{CEQ}=3,2 \text{ V}$ ,  $I_B=60 \mu\text{A}$ . – **TE DANE SĄ WZIĘTE Z WYKRESU PONIŻEJ**



**ten wykres być musi**

## Obliczam rezystancję $R_C$ i $R_E$

$$R_C + R_E = (U_C - U_{CEQ}) / I_{CQ}$$

$$R_C + R_E = (12V - 3,2V) / 6mA = 1,47k\Omega$$

Przyjmuje, że  $U_E = 20\% * U_C$

$$U_E = 0,2 * 12V = 2,4V$$

Przyjmuje, że  $I_E = I_{CQ}$

$$I_E = I_{CQ} = 5mA$$

$$R_E = U_E / I_E = 2,4V / 5mA = 480\Omega$$

$$R_C = 1,47k\Omega - 480\Omega = 990\Omega$$

## Obliczam rezystancję $R_1$ i $R_2$

Przyjmuje, że  $I_d = 10 * I_B$  ( $I_d$  - prąd płynący przez dzielnik)

$$I_B = 60\mu A$$

$$I_d = 600\mu A$$

Prąd płynący przez dzielnik musi być przynajmniej 10 razy większy niż prąd bazy żeby ten prąd bazy nie obniżył nam napięcia na  $R_2$ . Bo jak wiadomo nieobciążony dzielnik napięć daje napięcie równe

$$U_{yw} = [R_2 / (R_1 + R_2) * U_{we}] = 1V.$$

### Z prawa Ohma

$$R_1 + R_2 = E_C / I_d$$

$$R_1 + R_2 = 12V / 600\mu A = 20k\Omega$$

### dodatkowo

$$R_2 / (R_1 + R_2) = U_{R2} / E_C$$

$U_{R2} = U_{BE} + U_E$  Ube – jest zawsze w granicach 0,6-0,7V – teoria w google na hasło „tranzystor Ube” 😊

$$U_{R2} = 0,7V + 2,4V = 3,1V$$

### zatem

$$R_2 = U_{R2} * (R_1 + R_2) / E_C$$

$$R_2 = (3,1V * 20k\Omega) / 12V \text{ a więc:}$$

$$R_2 = 5,2k\Omega$$

$$R_1 = 20k\Omega - 5,2k\Omega \text{ a więc:}$$

$$R_1 = 14,8k\Omega$$

## Obliczam rezystancję $r_{WE}$

### Obliczam współczynnik wzmacnienia $\beta$

$$I_B = I_{CQ} / \beta$$

$$\beta = 6mA / 60\mu A = 100 \text{ a/a}$$

### Obliczam rezystancję wejściową tranzystora ( $h_{11e}$ )

Przyjmuje, że  $U_T$  (potencjał elektrokinetyczny w temp 300K) wynosi 26mA

W Polsce przyjmuje się potencjał elektrokinetyczny ok. 25 mV (dla  $T = 293$  K tj.  $20^\circ C$ ). Czasami może prowadzić to do różnic w wynikach, szczególnie w konfrontacji z wartościami obliczonymi za pomocą oprogramowania analizującego obwody (programy zazwyczaj wpisane mają jako domyślną temperaturę  $T = 300$  K).

Nadmieniam tylko że:

$$U_T = \frac{kT}{q}$$

gdzie q - ładunek elektronu, T - temperatura (w Kelwinach), k - stała Boltzmana

**Potencjał być musi – jak się nie umieści teorii to z tego pytają. A jak wiadomo jest to przejebane ☺**

$$h_{11e} = U_T/I_B$$

$$h_{11e} = 26\text{mA}/60\mu\text{A} = 520\Omega$$

### Obliczam rezystancję $r_{WE}$

$$r_{WE} = R_B \parallel h_{11e}$$

$$r_{WE} = (R_B * h_{11e}) / (R_B + h_{11e}),$$

gdzie :

$$R_B = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2) = (14,8\text{k}\Omega * 5,2\text{k}\Omega) / (14,8\text{k}\Omega * 5,2\text{k}\Omega) = 3,84\text{k}\Omega$$

więc :

$$r_{WE} = (3,84\text{k}\Omega * 0,52\text{k}\Omega) / (3,84\text{k}\Omega + 0,52\text{k}\Omega) = 243\Omega$$

$$r_{WE} = 243\Omega$$

### Obliczam pojemności $C_1$ , $C_2$ i $C_E$

Pojemności  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_E$  tworzą filtry dolnoprzepustowe

#### Obliczam $C_1$

$$f_d = 1/(2\pi R_{C1} C_1)$$

gdzie  $R_{C1} = R_g + r_{WE}$

$$R_{C1} = 4,7\text{k}\Omega + 243\Omega = 4,94\text{k}\Omega$$

$$C_1 = 1/(2\pi 3,14 * 4,94\text{k}\Omega * 15\text{Hz}) = 2,1\mu\text{F}$$

#### Obliczam $C_2$

$$f_d = 1/(2\pi R_{C2} C_2)$$

gdzie  $R_{C2} = R_c + R_o$

$$R_{C2} = 990\Omega + 12\text{k}\Omega = 12,99\text{k}\Omega$$

$$C_2 = 1/(2\pi 3,14 * 12,99\text{k}\Omega * 15\text{Hz}) = 0,8\mu\text{F}$$

#### Obliczam $C_E$

$$C_E = (\beta + 1) / [2\pi f_d (R_g + h_{11e})]$$

$$C_E = 101 / [2\pi 3,14 * 15\text{Hz} * (4,7\text{k}\Omega + 520\Omega)] = 205\mu\text{F}$$

#### Obliczam rezystancję $r_{wy}$

$$r_{wy} \approx R_c = 990\Omega$$

#### Obliczam $k_u$ i $k_i$

$$k_u = (R_c * R_o) / (R_c + R_o) * \beta * (1/h_{11e}) = (990\Omega * 12\text{k}\Omega) / (990\Omega + 12\text{k}\Omega) * 100 * (1/520\Omega) = 175,87\text{V/V}$$

$$k_i = [R_c / (R_c + R_o)] * \beta * [R_B / (R_B + h_{11e})] = [990\Omega / (990\Omega + 12\text{k}\Omega)] * 100 * [3,84\text{k}\Omega / (3,84\text{k}\Omega + 520\Omega)] = 6,66\text{A/A}$$

### **Podsumowanie obliczonych wartości:**

$$\begin{array}{llllll} R_1=14,8 \text{ k}\Omega; & R_2=5,2 \text{k } \Omega; & R_C=990 \text{ }\Omega; & R_E=480 \text{ }\Omega; & R_{C1}=4,94 \text{ k}\Omega; & R_{C2}=12,99 \text{ k}\Omega; \\ C_1=2,1 \text{ }\mu\text{F}; & C_2=0,8 \text{ }\mu\text{F}; & C_E=205 \text{ }\mu\text{F}; & K_u=175,87 \text{ V/V}; & K_i=6,66 \text{ A/A}; \\ r_{WE}=243 \text{ }\Omega; & r_{WE}=990 \text{ }\Omega & & & & \end{array}$$

## Zadanie 3

Wprowadzenie i przetestowanie obliczonych danych z użyciem programu PSPICE. **Wyniki z zad2 wbijamy do PSpice**

### Implementacja na konsoli w PSpice

The screenshot shows the OrCAD PSpice A/D Demo software interface. The top window displays the circuit source code:

```
ANALIZA WZMACNIACZA W UKLADZIE WE Z TRANZYSTOREM Q2N2222
.LIB EVAL.LIB
VIN 1 0 AC 1
RG 1 11 4.7K
R1 33 2 14.8K
R2 2 0 5.2K
RC 33 4 990
RE 3 0 480
C1 2 1 2.1U
C2 4 5 0.8U
CE 3 0 205U
RO 5 0 12K
VZAS 33 0 DC 12V
Q1 4 2 3 Q2N2222
.OP
.AC DEC 10 15 25K
.MODEL Q2N2222 npn
.TRAN 2U 2M
.TEMP 25
.PROBE
.END
```

The bottom window shows the simulation log and results:

```
Circuit read in and checked, no errors
Calculating bias point
Bias point calculated
AC (and Noise) Analysis
AC Analysis finished
Calculating bias point for Transient Analysis:
Bias point calculated
Transient Analysis
Transient Analysis finished
```

Temperature = 25.0  
Time step = 28.68E-06 Time = 2.000E-03 End =

Analysis Watch Devices

For Help, press F1

Time= 2.000E-03 100%

### Wyniki w pliku wyjściowym \*.out po wykonanej analizie

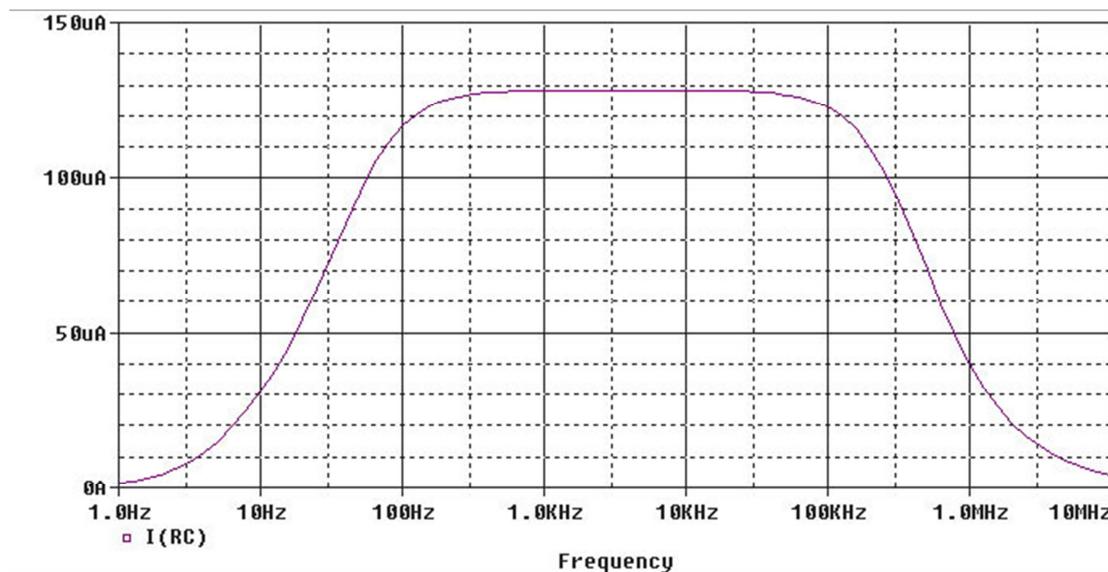
```
NAME      Q1
MODEL    Q2N2222
IB       4.40E-05
IC       4.40E-03
VBE     8.15E-01
```

VBC	-4.69E+00
VCE	5.50E+00
BETADC	1.00E+02
GM	1.71E-01
RPI	5.83E+02
RX	0.00E+00
RO	1.00E+12
CBE	0.00E+00
CBC	0.00E+00
CJS	0.00E+00
BETAAC	1.00E+02
CBX/CBX2	0.00E+00
FT/FT2	2.73E+18

## Charakterystyki

Można zrobić charakterystyki wszystkiego tak naprawdę – wtedy mamy 8/10pkt. Aby uzyskać 10/10 trzeba umieścić tą charakterystykę i zrobić małą zmianę w schemacie (zostawiam dla naprawdę ambitnych – którzy dadzą radę się obronić 😊 )

Tą charakterystykę uzyskuje się po dostawieniu dwóch cewek – patrząc na R0 – po prawej na górze(WY) i na dole.



## Bibliografia

Podczas robienia projektu korzystałem z następujących źródeł:

1. "Elementy i układy elektroniczne. Projekt i laboratorium" pod red. Andrzeja Filipkowskiego, wydanie 2, OWPW, Warszawa, 2007
2. "Podstawy elektroniki" części 1 i 2, Barbara Pióro i Marek Pióro, wydanie 2, WSIP, Warszawa, 1997
3. "Odbiorniki radiowe", Henryk Chacioski, WSIP, 1980, Warszawa
4. Forum poświęcone elektronice [www.elektroda.pl](http://www.elektroda.pl)
5. Materiały źródłowe dla studentów Akademii Górnictwa i Hutnictwa na stronie internetowej <http://home.agh.edu.pl>
6. Pomoce dydaktyczne Massachusetts Institute of Technology – Wydział Informatyki