

# FYZIKÁLNE PRAKTIKUM

**Spracoval:** Vladimír Domček

**Namerané:** 26.9.2012

**Obor:** Astrofyzika    **Ročník:** II    **Semester:** III

**Testované:**

## Úloha č. 2:      **Nelineárne prvky**

$$T = 21,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p = 965 \text{ hPa}$$

$$\varphi = 54 \text{ \%}$$

### 1. Zadanie

- Namerajte výstupné charakteristiky unipolárneho tranzistora pre tri hodnoty napätia na hradle a prevodnú charakteristiku pre jednu hodnotu napätia na drain.
- V zadanom pracovnom bode určite strmosť, vnútorný odpor a zosilňovací činiteľ tranzistoru a overte platnosť Barkhausenovej rovnice.
- Pre zadaný zaťažovací odpor, napätie zdroja a pracovný bod určite dynamickú strmosť a napäťové zosilnenie.

### 2. Teória

#### 2.1. Unipolarny tranzistor

Nelineárnym el. prvkom rozumieme súčiastku, ktorej odpor závisí na pretekajúcom prúde alebo priloženom napätí. Takým je napríklad unipolárny tranzistor. Na vedenie prúdu takého tranzistora sa podieľa iba jeden typ nositeľov (elektróny alebo diery), ktoré tvoria tzv. kanál. El. prívody kanálu sú emitor E a kolektor C. Prúd tečúci kanálom ovplyvňuje napätie medzi emitorom a hradlom G, čo je katóda izolovaná od kanála p-n priechodom.

Pri použití kolektorového (výstupného) prúdu  $I_C$ , (vstupného) napätia hradla  $U_G$  a (výstupného) napätia kolektoru  $U_C$  je možné zistiť nasledovné charakteristiky:

Statická prevodná charakteristika:

$$I_C = f(U_G), U_C = \text{konst.}$$

Výstupná charakteristika:

$$I_C = f(U_C), U_G = \text{konst.}$$

Statistická strmosť  $S$ , vnútorný odpor  $R_i$ , zosilňujúci činiteľ  $\mu$ , prienik tranzistora  $D$ :

$$S = \left( \frac{\partial I_C}{\partial U_G} \right)_{U_C}, R_i = \left( \frac{\partial U_C}{\partial I_C} \right)_{U_G}, \mu = \left( \frac{\partial U_C}{\partial U_G} \right)_{I_C}, D = \frac{1}{\mu} \quad (1)$$

Tieto veličiny spĺňajú tzv. Barkhausenovu rovnicu  $SR_iD = 1$ . Tieto charakteristiky tiež závisia od bodu charakteristiky, v ktorom robíme deriváciu, teda na tzv. pracovnom bode tranzistora, ktorý je určený hodnotami  $I_{C0}, U_{C0}, U_{G0}$ .

## 2.2. Tranzistor ako zosilovač napätia

Dynamická strmosť je derivácia dynamickej prevodnej charakteristiky  $I_C = f_{U_G}$ , pri ktorej nie je konštantné kolektorové napätie, ale je pevné napätie zdroja a zaťažujúci odpor  $R_Z$ . Zosilnenie sa dá vyjadriť pomerom amplitúdy vstupného a výstupného napätia. Dynamická strmosť a zosilnenie sa dajú vyjadriť buď z výstupných charakteristík:

$$S_d = \frac{dI_C}{dU_G} = \frac{S}{1 + \frac{R_z}{R_i}} \quad (2)$$

$$A = \frac{dU_C}{dU_G} = \frac{\mu}{1 + \frac{R_z}{R_i}} = -S_d R_z \quad (3)$$

Alebo sa dajú vyjadriť graficky ako pomer odpovedajúcich rozdielov napätí na kolektore, napätí na hradle a prúdov na kolektore ohraňované k pracovnému bodu najbližšími prienkami kriviek  $I_C = f_{U_C}$  so zaťažujúcou priamkou:

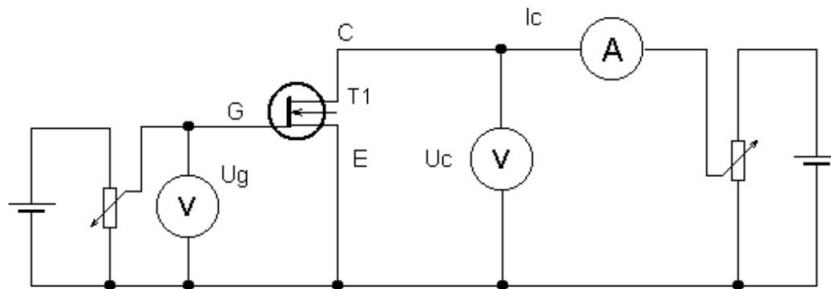
$$I_C = -\frac{1}{R_z} U_C + \frac{E}{R_z} \quad (4)$$

kde E je konštantné napätie zdroja.

## 3. Postup

### 3.1. Určenie parametrov tranzistora

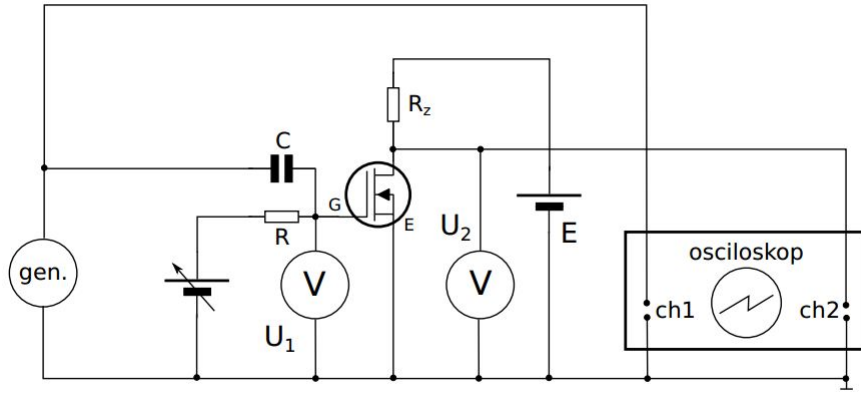
- zapojíme tranzistor podľa obr.1 a zmeriame statickú prevodnú a výstupnú charakteristiku. Parametre, pre ktoré meriame tieto charakteristiky, zvolíme tak, aby vybraný pracovný bod ležal na ich priesečníku.
- zvolíme pracovný bod P
- z charakteristík určíme parametre tranzistoru v zvolenom pracovnom bode, tj. S,  $R_i$ ,  $\mu$  a overíme platnosť Barkhausenovej rovnice.



Obr.1 Schéma zapojenia tranzistora

### 3.2. Tranzistor ako zosilovač napätia

- zvolíme napätie zosilňovača E a pracovný bod P, určíme zaťažovací odpor  $R_z$  a nakreslíme zaťažovaciu priamku.
- zapojíme obvod podľa obr.2 a určíme zosilnenie  $A_u$ . Meníme amplitúdu striedavého napätia generátora a pozorujeme vplyv na tvar výstupného napätia.
- určíme dynamickú strmosť  $S_d$  jednak ako deriváciu prevodnej dynamickej charakteristiky a jednak výpočtom podľa vzťahu (2)
- vypočítame hodnoty zosilnenia  $A_v$  a  $A_G$



Obr.2 Schéma zapojenia pre meranie vlastností zosilňovača

## 4. Meranie

### 4.1. Výstupná prevodná charakteristika

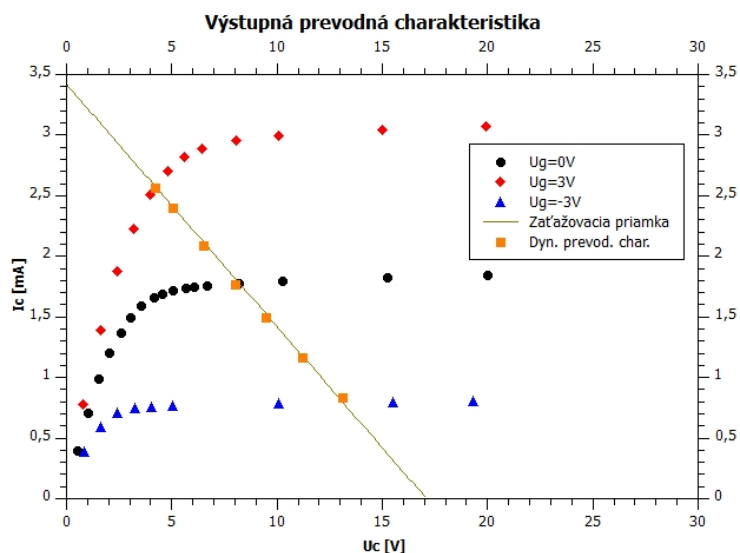
$U_G = 0 \text{ V}$		$U_G = 3 \text{ V}$		$U_G = -3 \text{ V}$	
$\frac{U_C}{\text{V}}$	$\frac{I_C}{\text{mA}}$	$\frac{U_C}{\text{V}}$	$\frac{I_C}{\text{mA}}$	$\frac{U_C}{\text{V}}$	$\frac{I_C}{\text{mA}}$
0,5	0,397	0,79	0,775	0,84	0,389
0,99	0,71	1,62	1,392	1,61	0,597
1,53	0,991	2,43	1,877	2,42	0,707
2,04	1,2084	3,2	2,224	3,27	0,746
2,55	1,3736	4	2,509	4,02	0,757
3,03	1,4973	4,83	2,705	5,06	0,7656
3,52	1,59	5,61	2,82	10,09	0,787
4,12	1,663	6,45	2,892	15,49	0,801
4,51	1,694	8,08	2,958	19,29	0,809
5,02	1,72	10,08	2,994		
5,63	1,7396	15,01	3,04		
6,04	1,7485	19,91	3,073		
6,67	1,76				
8,18	1,777				
10,24	1,795				
15,24	1,826				
19,96	1,846				

Tab.1 Namerané hodnoty výstupnej charakteristiky

Zaťažovacia priamka:

$$E=17,1 \text{ V}, \quad R_z=5 \text{ k}\Omega$$

$$I_C = -\frac{1}{5\text{k}\Omega}U_C + \frac{17,1\text{V}}{5\text{k}\Omega}$$

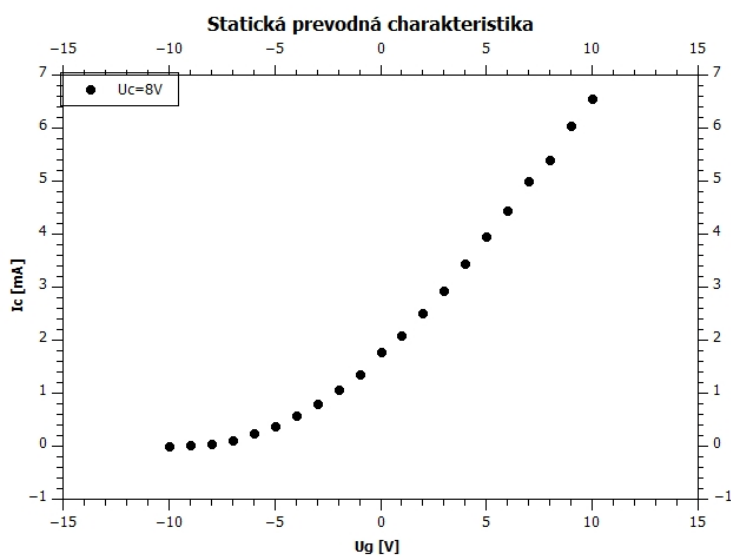


Obr.3 Výstupná prevodná charakteristika so zaťažovacou priamkou a dynamickou prevodnou charakteristikou

#### 4.2. Statická prevodná charakteristika

$U_C=8\text{ V}$		$U_C=8\text{ V}$	
$U_G$ [V]	$I_C$ [mA]	$U_G$ [V]	$I_C$ [mA]
-10	0,001	1	2,0848
-9	0,012	2	2,5015
-8	0,0545	3	2,9326
-7	0,12	4	3,4338
-6	0,238	5	3,9569
-5	0,387	6	4,4385
-4	0,573	7	5,0067
-3	0,811	8	5,4
-2	1,061	9	6,036
-1	1,3664	10	6,55
0	1,7687		

Tab.2 Namerané hodnoty prevodnej charakteristiky



Obr.4 Statická prevodná charakteristika

### 4.3. Parametre tranzistoru

Pracovný bod:

$$U_C=8 \text{ V}, \quad U_G=0 \text{ V}, \quad I_C=1,7687 \text{ mA}$$

$$S = \left( \frac{\partial I_C}{\partial U_G} \right)_{U_C} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta U_G} = \frac{0,3161 \text{ mA}}{1 \text{ V}} = 0,3161 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$$

$$R_i = \left( \frac{\partial U_C}{\partial I_C} \right)_{U_G} \approx \frac{\Delta U_C}{\Delta I_C} = \frac{0,18 \text{ V}}{0,0083 \text{ mA}} = 21,687 \text{ k}\Omega$$

### 4.4. Dynamická prevodná charakteristika

$U_G$	$U_C$	$I_C$
-3	13,1	0,8375
-2	11,19	1,168
-1	9,47	1,495
0	8	1,7738
1	6,51	2,095
2	5,03	2,4
3	4,19	2,57

Tab.3 Hodnoty merania dynamickej prevodnej charakteristiky

### 4.5. Napätové zosilnenie tranzistoru

$U_G$ [V]	$U_C$ [V]	A
2,4	3,2	1,333
1,6	2,4	1,5
0,56	0,85	1,518

Tab.4 Napätové zosilnenie tranzistoru

$$A_u = (1,45 \pm 0,06)$$

### 4.6. Dynamická strmosť

- Graficky:

$$S_g = \frac{dI_C}{dU_G} \approx \frac{0,6262 \text{ mA}}{2 \text{ V}} = 0,31 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$$

- Výpočtom:

$$S_v = \frac{S}{1 + \frac{R_z}{R_i}} = 0,26 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$$

### 4.7. Napätové zosilnenie

- Graficky:

$$A_g = \frac{dU_C}{dU_G} \approx \frac{1,49 \text{ V}}{1 \text{ V}} = 1,49$$

- Výpočtom:

$$A_v = \frac{dU_C}{dU_G} \approx \frac{8,88 \text{ V}}{6 \text{ V}} = 1,485$$

### 4.8. Zosilňujúci činiteľ

$$\mu = A_d \left( 1 + \frac{R_i}{R_z} \right) = 7,93$$

### 4.9. Overenie Barkhausenovej rovnice

$$SR_i D = 0,86$$

## 5. Záver

V prvej časti úlohy sme merali výstupnú a statickú prevodnú charakteristiku. Namerané hodnoty sme vyniesli do grafu na obr.3 a obr.4. Pomocou týchto charakteristík sme si zvolili pracovný bod P a dopočítali sme parametre tranzistora: vnútorný odpor  $R_i = 21,687 \text{ k}\Omega$ , strmosť  $S = 0,3161 \text{ mA}\cdot\text{V}^{-1}$  a zosilňovací činiteľ  $\mu = 7,93$ .

V druhej časti úlohy sme vypočítali a vykreslili do obr.3 zaťažovaciu priamku. Zmerali dynamickú prevodnú charakteristiku, zosilnenie tranzistora.

Namerané hodnoty sme dosadili do Barkhausenovej rovnice, ktorá nám vyšla 0,86. Táto hodnota sa približuje k nami očakávanej 1. Najväčšie chyby boli spôsobené pri derivovaní, kde sme nebrali 2 body nekonečne blízko pri sebe.