

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Zpracoval: Jakub Jedlička

Naměřeno: 9.12. 2022

Obor: učitelství Bi, F **Ročník:** 3. **Semestr:** 3.

Testováno:

Úloha č. 2: **Charakteristiky tranzistoru**

$T = 20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

$p = 972\text{ hPa}$

$\varphi = 37\text{ }\%$

1. Úvod

V první části zjistím charakteristiku tranzistoru a v části druhé použiji tranzistor jako napěťový zesilovač.

2. Teorie

Charakteristiky tranzistoru

Tranzistor je odporová nelineární součástka, což znamená, že se neřídí ohmovým zákonem. Její výstupní charakteristika závisí na napětí hradla. Další charakteristikou je, že tranzistory mohou pracovat v určitých obvodech jako zesilovače napětí nebo proudu. V našem případě budeme pracovat s unipolárním tranzistorem, což znamená, že na vedení proudu podílejí jenom elektrony anebo díry. Tito nositelé se nacházejí v části, která se nazývá kanál, který má dva elektrické přívody. Tyto přívody se nazývají source S a drain D. Proud, který proudí tímto kanálem ovlivňuje napětí, které je mezi source S a elektrodou, která je od kanálu izolovaná (p-n přechod nebo oxidovaná vrstva) a nazývá se hradlo G.

Jelikož budu tranzistor používat jako zesilovač, tak budu pracovat s určitým pracovním bodem tohoto tranzistoru. Tento pracovní bod určím pro mnou zvolené konstantní napětí na drainu a na hradle. Tento bod se nachází v místě, kde se budou protínat křivky převodní a výstupní charakteristiky pro tyto zvolené hodnoty.

Pokud mám zvolený pracovní bod, tak mohu v tomto bodě určit strmost S , vnitřní odpor R_i a zesilovací činitel μ . Tyto veličiny jsou definovány těmito vztahy.

$$S = \frac{\partial I_D}{\partial U_G} \Big|_{U_D = \text{konst.}} \quad [1]$$

$$R_i = \frac{\partial U_D}{\partial I_D} \Big|_{U_G = \text{konst.}} \quad [2]$$

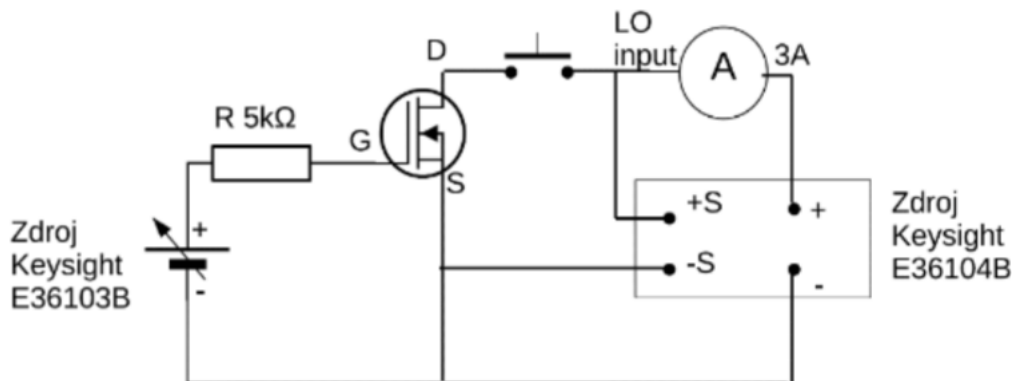
$$\mu = \frac{\partial U_D}{\partial U_G} \Big|_{I_D = \text{konst.}} \quad [3]$$

Strmost S neboli vnitřní odpor R_i , mohu určit jako směrnici tečny převodní, respektive výstupní, charakteristiky v daném pracovním bodě. Zesilovací činitel μ , lze dále dopočítat z Barkhausenovy rovnice, která má následující tvar.

$$\frac{SR_i}{\mu} = 1$$

[4]

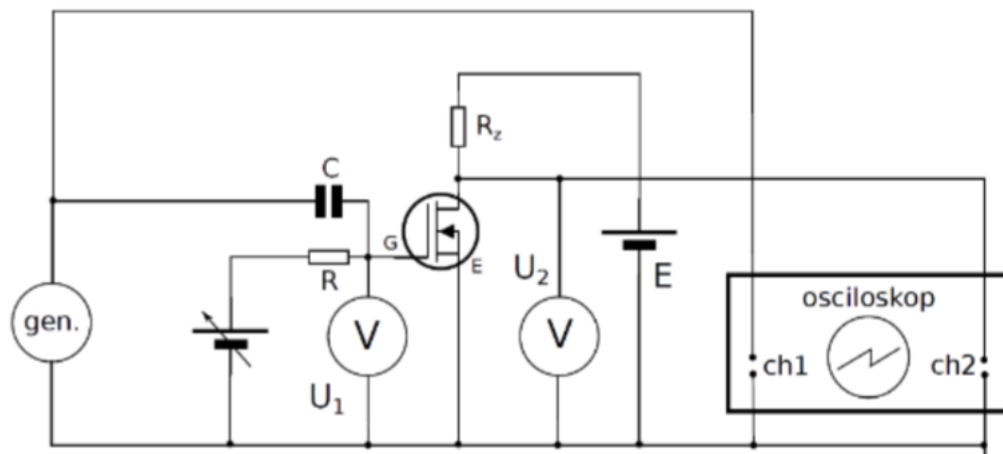
Měření provedu v zapojení, které je znázorněno na obrázku 1



Obrázek 1: obvod pro měření statistických charakteristik

Tranzistor jako zesilovač napětí

Zapojení pro tranzistor použitý jako zesilovač je znázorněno na obrázku 2, kde R_Z je zatěžovací odpor.



Obrázek 2: obvod pro měření vlastností zesilovače

Na toto zapojení se dá dívat jako na napěťový dělič. Jelikož je na tranzistoru napětí U_D a na odporu $R_Z I_D$, a tyto napětí dávají v součtu napětí E . Pokud zvýšíme napětí na G , klesne odpor tranzistoru, což znamená, že klesne napětí na D a vzroste úbytek napětí na zatěžovém odporu. Změna napětí na D a několikanásobně větší než změna na G . To znamená, že dochází k napěťovému zesílení.

Zesílení tranzistorového zesilovače je definováno tímto vztahem.

$$A_V \equiv \frac{dU_D}{dU_G} = -\frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_Z}} = -S_d R_Z$$

[5]

Kde S_d je dynamická strmost a je definována tímto vztahem.

$$S_d \equiv \frac{dI_D}{dU_G} = \frac{S}{1 + \frac{R_Z}{R_i}}$$

[6]

A kde R_Z mohu spočítat tímto vztahem.

$$R_Z = \frac{E - U_{D0}}{I_{D0}}$$

[7]

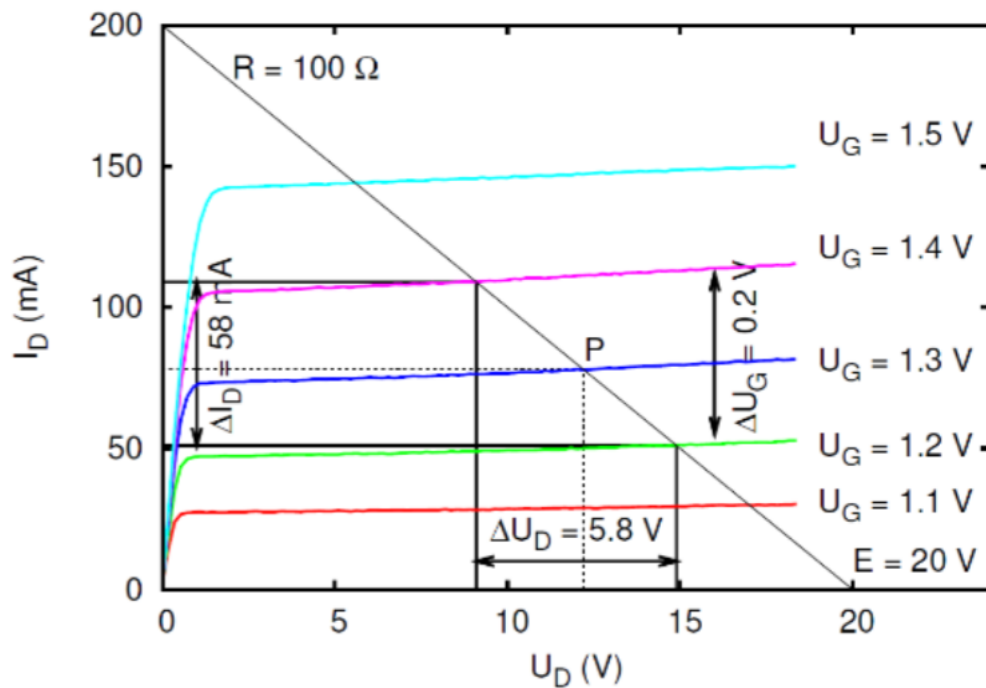
Kde U_{D0} a I_{D0} jsou hodnoty v určitém pracovním bodě. Z těchto vztahů plyne, že největšího zesílení bude dosaženo, pokud E zvolím dvojnásobně vůči U_{D0} .

Zesílení lze dále určit graficky z tohoto vztahu.

$$A_G = \frac{\Delta U_D}{\Delta U_G}$$

[8]

Kde ΔU_D a ΔU_G vyčtu z výstupních charakteristik se zatěžovací přímkou. Toto je znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 3: výstupní charakteristiky

Zesílení budu také určovat dvoukanálovým osciloskopem, kterým budu měřit dvojnásobek amplitudy vstupního napětí u_{m1} a amplitudy výstupního napětí u_{m2} . Zesílení poté určím jako podíl výstupní a vstupní amplitudy napětí.

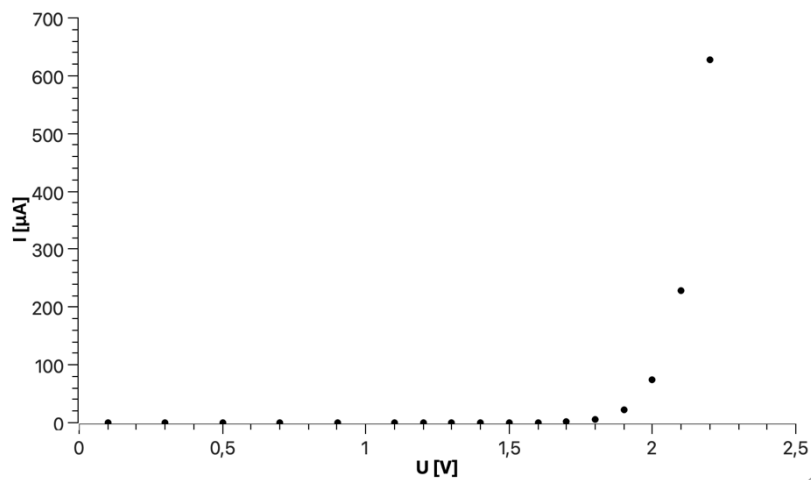
$$A_M = \frac{u_{m2}}{u_{m1}}$$

[9]

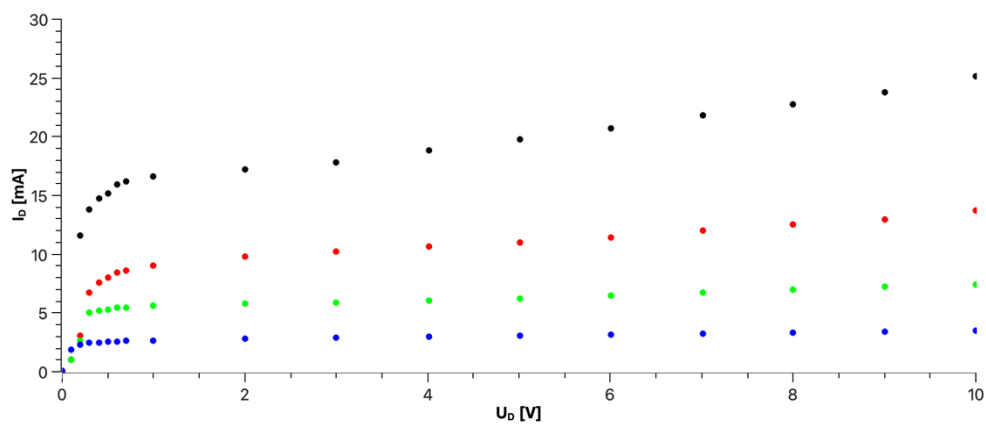
3. Zpracování měření

Charakteristiky tranzistoru

Nejdříve jsem ručně měřil výstupní a vstupní charakteristiku

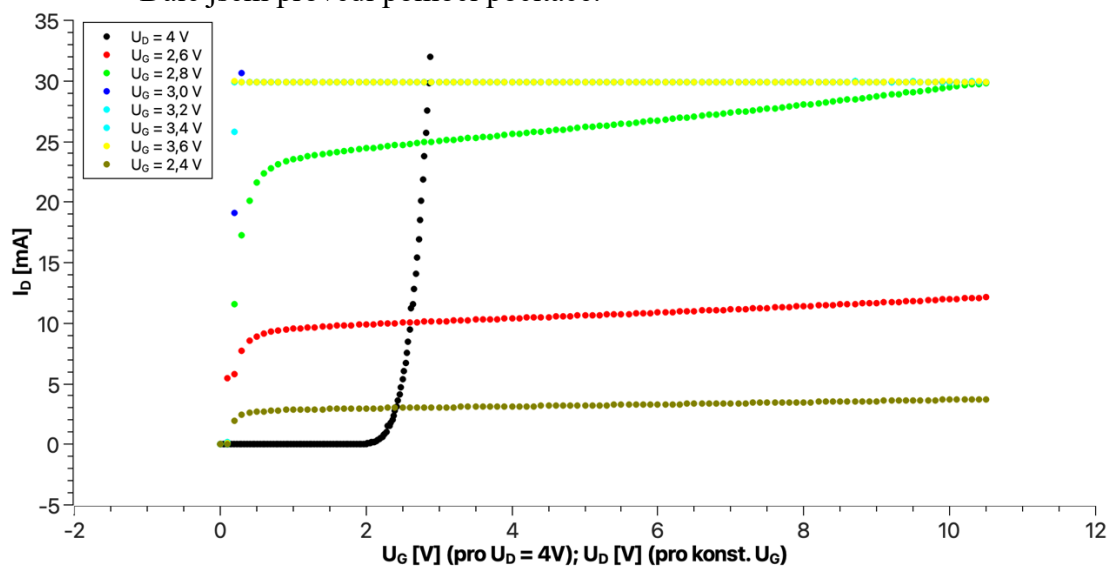


Obrázek 4: převodní charakteristiky naměřené ručně



Obrázek 5: výstupní charakteristiky naměřené ručně

Dále jsem provedl pomocí počítače.



Obrázek 6: převodní a výstupní charakteristika provedená pomocí počítače

Pracovní bod je charakterizován $U_{G0} = 2,5 \text{ V}$ a $U_{D0} = 4,0 \text{ V}$. Statistickou strmost S mohu určit jako směrnici tečny převodní charakteristiky v našem pracovním bodě. Podobně mohu určit i vnitřní odpor tranzistoru. Tu určím tak, že provedu převrácenou hodnotu směrnice tečny výstupní charakteristiky v našem pracovním bodě.

$$k_{\text{převodní}} = (32,3 \pm 0,7) \text{ mAV}^{-1} = (0,0323 \pm 0,0007) \Omega$$

$$k_{\text{výstuoní}} = (4,3 \pm 0,3) \cdot 10^3 \text{ AV}^{-1} = (4,3 \pm 0,3) \cdot 10^3 \Omega$$

Díky tomu

$$S = (32,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

$$R_i = (4,3 \pm 0,3) \cdot 10^3 \Omega$$

Z rovnice [4] si vyjádřím zesilovací činitel μ a absolutní nejistotu dopočítám ze zákona přenosu nejistot.

$$\mu = SR_i$$

[10]

$$u(\mu) = \mu \sqrt{\left(\frac{u(S)}{S}\right)^2 + \left(\frac{u(R_i)}{R_i}\right)^2}$$

[11]

$$\mu = (139 \pm 10)$$

Tranzistor jako zesilovač napětí

Jak je již jednou výše uvedeno, tak náš pracovní bod je určen dvojicí napětí a to $U_{G0} = 2,5 \text{ V}$ a $U_{D0} = 4,0 \text{ V}$. Pro tyto hodnoty je proud $I_D = 18,8 \text{ mA}$. Nyní se musí zvolit napětí zesilovače E , které je nejvýhodnější zvolit dvojnásobné oproti U_{D0} , díky tomu $E = 8 \text{ V}$. Z těchto hodnot lze určit zatěžovací odpor R_Z podle vztahu [7].

$$R_Z = 213 \Omega$$

Nyní když mám určené hodnoty R_Z , R_i a S mohu z vzorců [5] a [6] a tím dopočítám zesílení tranzistoru A_V . Díky tomu dostanu následující vztah.

$$A_V = \frac{SR_Z}{1 + \frac{R_Z}{R_i}}$$

[12]

A ze zákona šíření nejistot si vyjádřím tento vztah.

$$u(A_V) = A_V \sqrt{\left(\frac{u(S)}{S}\right)^2 + \left(\frac{R_Z}{R_i} \frac{u(R_i)}{R_Z + R_i}\right)^2}$$

[13]

$$A_V = (6,55 \pm 0,14)$$

Dále jsem měřil změřil vstupní a výstupní hodnoty dvojnásobku amplitudy napětí. Tyto údaje jsem odečítal z osciloskopu, který jsem do obvodu zapojil podle obrázku 2. Z těchto hodnot jsem schopný vypočítat zesílení zesilovače A_M , a to jako podíl u_{m2} amplitudy výstupního napětí a u_{m1} vstupního napětí podle vzorce [9]

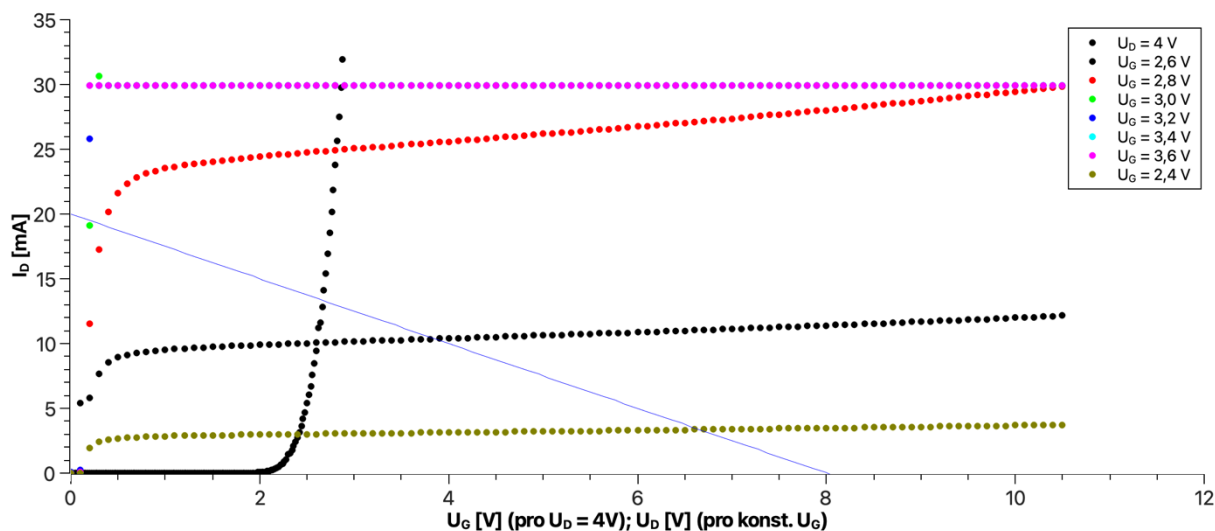
Naměřená data statisticky zpracuji a za nejpravděpodobnější hodnotu budu považovat aritmetický průměr a za absolutní nejistotu směrodatnou odchylku aritmetického průměru.

Tabulka 1: amplitudy vstupního a výstupního napětí

u_{m1} [V]	u_{m2} [V]	A_M
0,184	4,400	23,913
0,312	5,440	17,436
0,368	5,520	15,000
0,544	6,000	11,029
0,156	3,920	25,128
0,232	4,960	21,379
0,552	6,000	10,870
0,416	5,760	13,846
0,472	5,920	12,542
0,354	5,520	15,593
0,272	5,200	19,118
0,344	5,520	16,047
0,296	5,360	18,108
0,240	5,000	20,833

$$A_M = (17,2 \pm 1,2)$$

Jako poslední určím A_G ze vztahu [8], s tím že důležité údaje určím z obrázku 7, což je obrázek 6, akorát se zatěžovací přímkou, která je znázorněna modře.



Obrázek 6: převodní a výstupní charakteristika se zatěžovací přímkou

$$A_G = \frac{\Delta U_D}{\Delta U_G} = \frac{3,87 - 0,35}{2,8 - 2,6} = 18$$

4. Závěr

V první části mého měření jsem určil charakteristiky tranzistoru a to $S = (32,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} \Omega$, $R_i = (4,3 \pm 0,3) \cdot 10^3 \Omega$ a $\mu = (139 \pm 10)$.

Ve druhé části jsem změřil zesílení tranzistorového zesilovače díky třem různým metodám. První metoda byla teoretická, v níž jsem z veličin R_Z , R_i a S určil $A_V = (6,55 \pm 0,14)$. Dále jsem zesílení určil statistickým způsobem z měření vstupního a výstupního napětí. Vyšlo mi $A_M = (17,2 \pm 1,2)$. A nakonec jsem určil zesílení z grafu se zatěžovací přímkou. Toto zesílení jsem určil jako $A_G = 18$. Statistické a grafické měření má podobný výsledek, proto si myslím, že pravá hodnota se nachází v jejich okolí. První metoda se od druhých značně liší, proto usuzuji, že v ní došlo k hrubé chybě, která negativně ovlivnila výsledek.