

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 1. října 2018

Obor: UF

Skupina: F2180/06

Testováno:

Úloha . 2: Nelineární prvky

$$T = 24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 979\text{ hPa}$$

$$\varphi = 45\text{ \%}$$

1. Povinná část

- Zapojíme tranzistor podle obrázku 1 a změříme jednu statickou převodní charakteristiku a jednu výstupní charakteristiku. Parametry, pro které měříme tyto charakteristiky, zvolíme tak, aby vybraný pracovní bod ležel na jejich průsečíku.
- Připojíme tranzistor ke snímači charakteristik instalovaném v počítači a zobrazíme soustavu výstupních charakteristik. Charakteristiky vytiskneme. Návod na obsluhu snímače charakteristik je u PC v praktiku.
- Z charakteristik určíme parametry tranzistoru ve zvoleném pracovním bodě, tj. S , R_i . Určíme je jako směrnice tečny ke grafu příslušné (převodní nebo výstupní) charakteristiky v pracovním bodě. Z Barkhausenovy rovnice 8 pak dopočítáme μ .

1.1. Teorie

U bipolárního tranzistoru závisí výstupní voltampérová charakteristika na napětí hradla. Tranzistory mohou pracovat v určitém elektrickém obvodu jako zesilovače napětí nebo proudu. Potom obvod ze kterého přivádíme napětí, které chceme zesílit, je vstupní obvod a výstupní je ten, ze kterého odebíráme zesílené napětí. Tomu odpovídá vstup mezi *gate* a *source* a výstup mezi *drain* a *source*. Takovýto elektronický prvek, můžeme popsat pomocí třech charakteristik, které jsou obecně nelineární. Je to vstupní charakteristika, výstupní charakteristika a převodní charakteristika.

Proud I_D protékající ze zdroje obvodu mezi *drain* a *source* regulujeme napětím na hradle $U_G \rightarrow I_D = f(U_D, U_G)$. Tato závislost se dá rozdělit na tzv. lineární a saturační oblast.

Výstupní charakteristika tranzistoru:

$$I_D = f(U_D), \text{ kde } U_G = \text{konstanta} \quad (1)$$

Převodní charakteristika tranzistoru:

$$I_D = f(U_G), \text{ kde } U_D = \text{konstanta} \quad (2)$$

Převodní charakteristika naměřená pro malé napětí U_D je lineární a můžeme z ní proložením přímky určit prahové napětí U_T a koeficient K :

$$I_D = L(U_G - U_T)U_D \quad (3)$$

Když měříme převodní charakteristiku v saturační oblasti, můžeme proložením přímky podle vztahu

$$\sqrt{I_D} = \sqrt{\frac{K}{4c}}(U_G - U_T) \quad (4)$$

určit prahové napětí U_T a koeficient $K/4c$. Koeficient K můžeme také určit z lineární části výstupní charakteristiky, jak zjistíme prahové napětí U_T . Proložení přímky výstupní charakteristikou v saturační oblasti určíme parametr λ . Koeficienty K, c, λ jsou parametry tranzistoru. Derivace převodní charakteristiky se nazývá statická strmost tranzistoru S a je tedy dána:

$$S = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_G} \right|_{U_D} \quad (5)$$

Derivace výstupní charakteristiky určuje vnitřní odpor tranzistoru S a je tedy:

$$R_i = \left. \frac{\partial U_D}{\partial I_D} \right|_{U_G} \quad (6)$$

Obdobně je definovaný i zesilovací činitel tranzistoru μ :

$$\mu = \left. \frac{\partial U_D}{\partial I_D} \right|_{I_D} \quad (7)$$

Převrácená hodnota zesilovacího činitele je průnik D . Takto definované veličiny splňují Barkhausenovu rovnici:

$$SR_i D = 1 \quad (8)$$

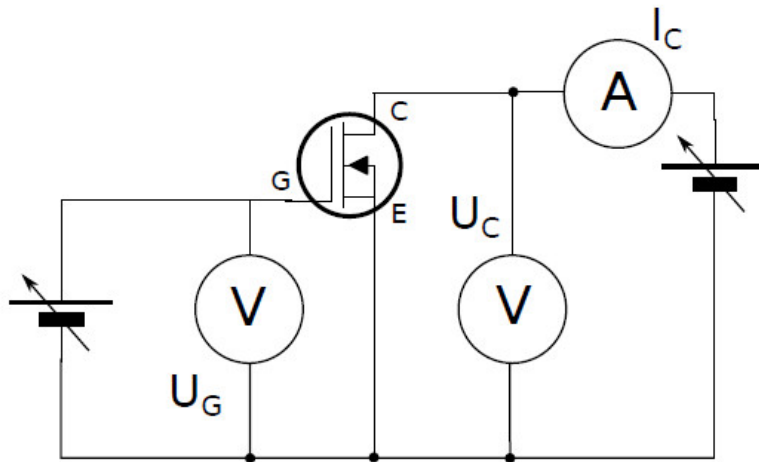
Průnik D vypočteme jako:

$$D = \frac{1}{SR_i} \quad (9)$$

A převrácená hodnota průniku D je zesilovací činitel μ , takže píšeme

$$\mu = \frac{1}{D} \quad (10)$$

Pracovní bod tranzistoru je určený trojicí hodnot I_{D0}, U_{D0} a U_{G0} .

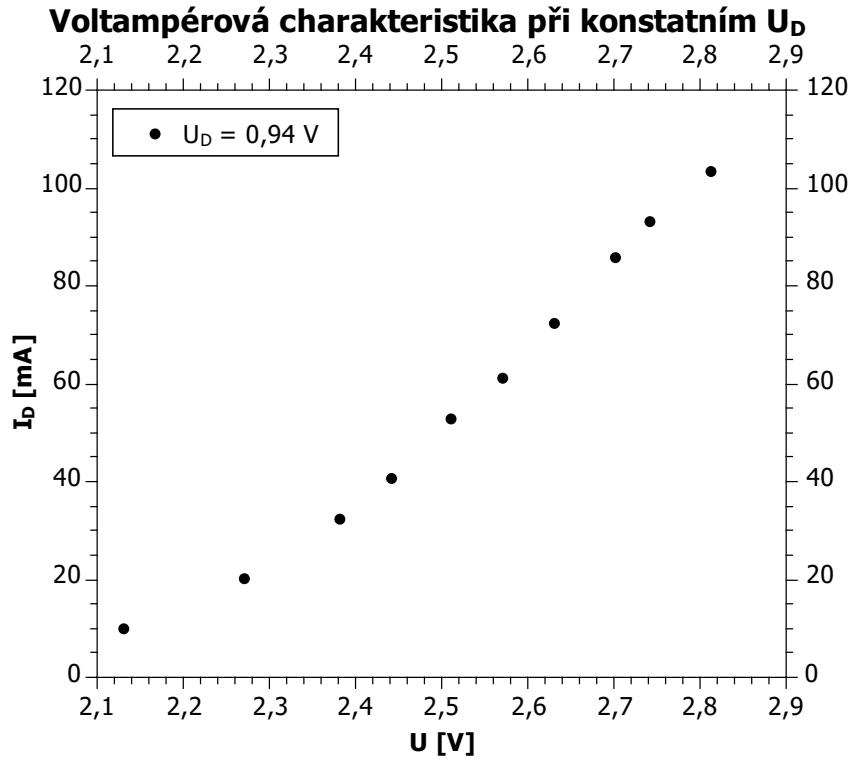


Obrázek 1: Schéma zapojení pro měření statických charakteristik unipolárního tranzistoru.

1.2. Postup měření

Zapojil jsem tranzistor a změřil jsem jednu charakteristiku tranzistoru. Připojil jsem tranzistor ke snímači charakteristik instalovaným v počítači a zobrazil jsem výstupní charakteristiky.

1.3. Naměřené hodnoty a zpracování měření



Obrázek 2: Voltampérová charakteristika při konstantním U_D – měřeno ručně.

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_G} = \frac{41,1 - 32,6}{2,44 - 2,38} = 141,6 \text{ A} \cdot \text{V}^{-1} \quad (11)$$

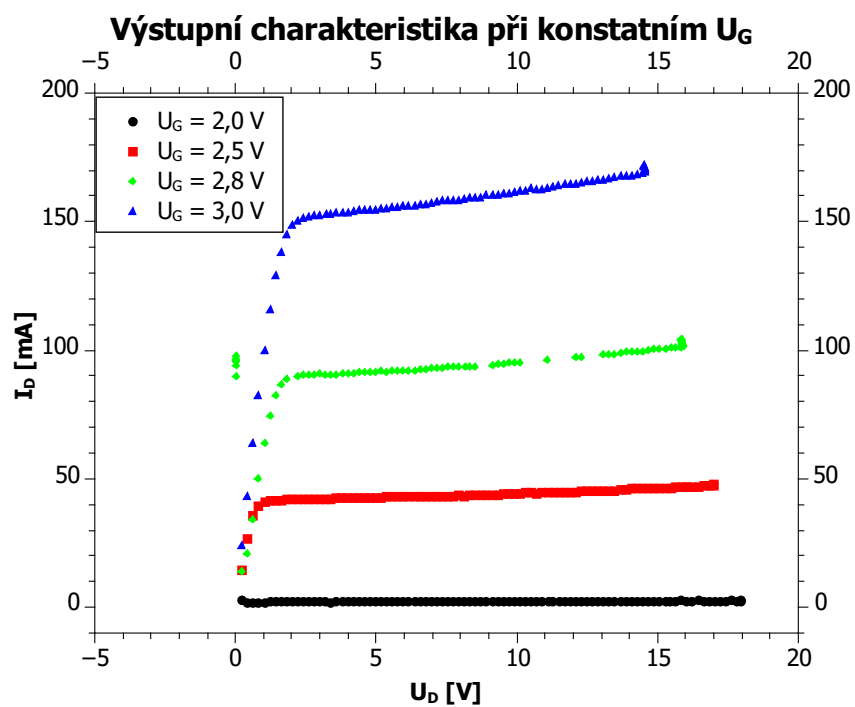
$$R = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D} = \frac{1,18414 - 0,986875}{41,4062 - 40,0391} = 1,3671 \text{ m}\Omega = 1367,1 \Omega \quad (12)$$

Z Barkhausenovy rovnice 8 dopočteme D jako:

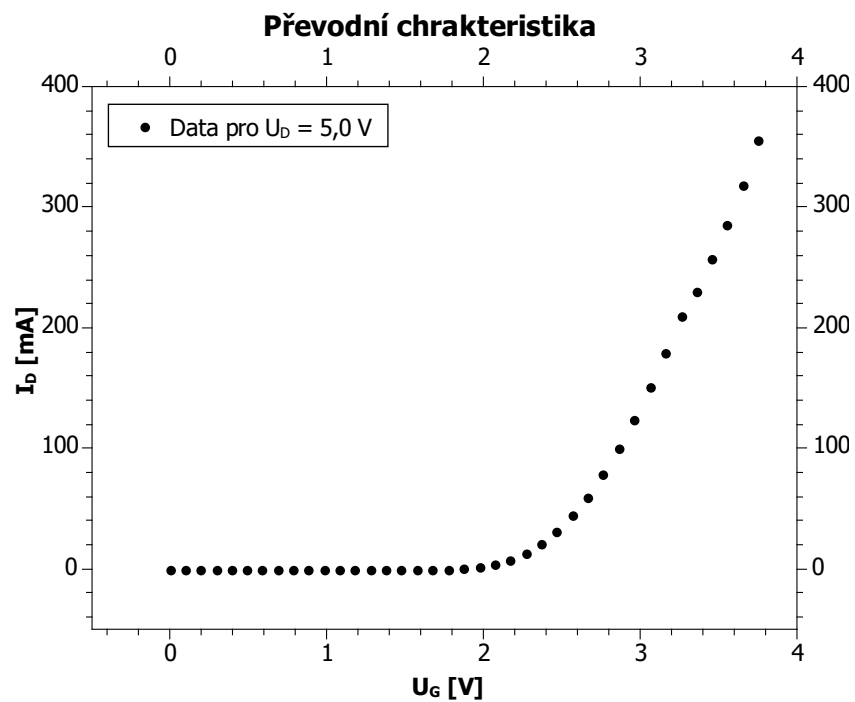
$$D = \frac{1}{S \cdot R} = \frac{1}{141,6 \cdot 1367,1} = \frac{1}{193581,36} = 5,17 \cdot 10^{-6}$$

A z rovnice 10 dopočteme μ :

$$\mu = \frac{1}{D} = \frac{1}{5,17 \cdot 10^{-6}} = 193423 \quad (13)$$



Obrázek 3: Výstupní charakteristika pro zvolené U_G - měřeno na PC.



Obrázek 4: Převodní charakteristika pro $U_D = 5,0 \text{ V}$ - naměřeno na PC.

2. Povinně volitelná varianta B - Voltampérové charakteristiky LED diod

- Stanovíme vlnové délky záření jednotlivých LED ze série pomocí difrakční mřížky.
- Změříme voltampérové charakteristiky LED.
- Z voltampérových charakteristik jednotlivých LED odečteme U_f a sestojíme graf závislosti U_f na λ^{-1} , něhož lze získat hodnotu hc/e .

2.1. Teorie

Planckova konstanta $h = 6,57 \cdot 10^{-34}$ J·s lze určit pomocí souvislosti mezi charakteristickým napětím nutným k rozsvícení diody a barvou vyzařovaného světla. Ideální dioda má voltampérovou charakteristiku danou Shockleyho rovnicí, do které když při vysokých proudech zahrneme vliv jednosměrného odporu diody, můžeme ji vyjádřit jako:

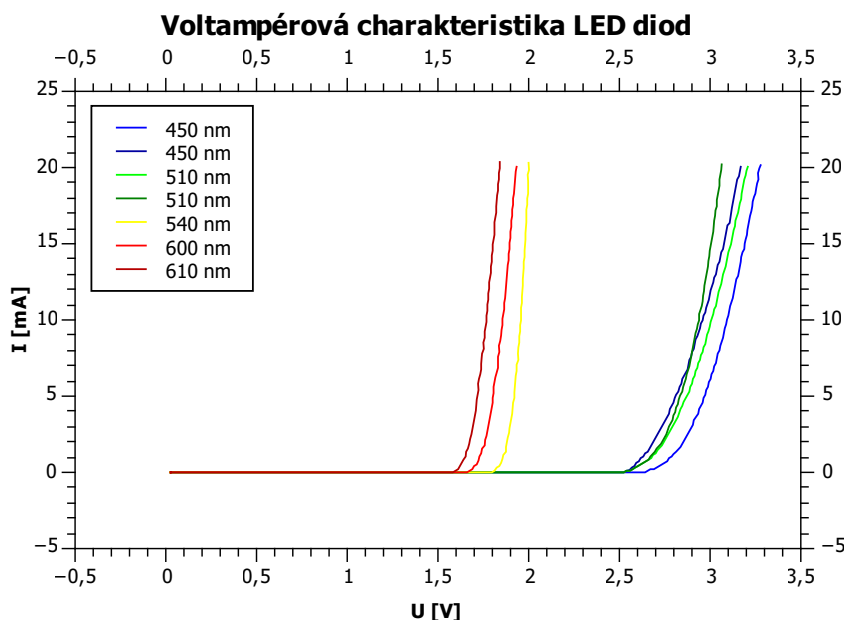
$$I(U) = I_s \left[\exp \left(\frac{e(U - RI)}{k_B T} \right) - 1 \right], \quad (14)$$

kde I_s je saturační proud, e je elementární náboj, T je teplota a k_B je Boltzmannova konstanta. Pro $U \leq U_f$ platí:

2.2. Postup měření

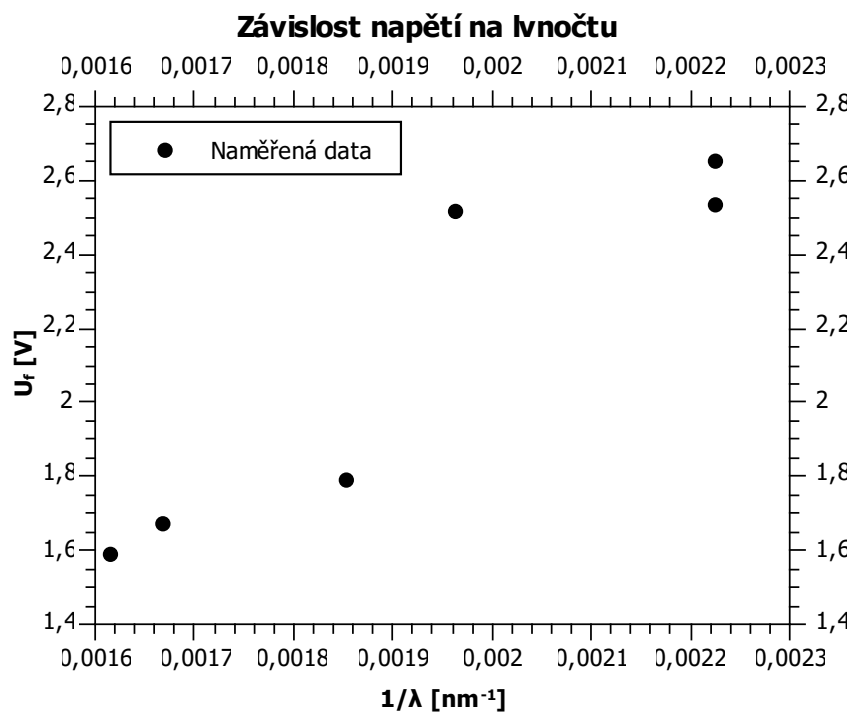
Stanovil jsem vlnové délky LED diod pomocí difrakční mřížky. Změřil jsem voltampérové charakteristiky LED diod pomocí PC.

2.3. Zpracování měření



Obrázek 5: Voltampérové charakteristiky jednotlivých diod. Barvy na grafu odpovídají rámcově barvám LED diod. To znamená, že tmavě modrá i světle modrá je zobrazení pro modrou LED diodu.

$$h = (6,0 \pm 0,7) 10^{-34} \cdot \text{J} \cdot \text{s} \quad (15)$$



Obrázek 6: Graf závislosti napětí a vlnočtu, u kterého není zřejmá žádná závislost.

Tabulka 1: Hodnoty vlnové délky λ , napětí U_f a vypočtené planckové konstanty h .

$\lambda \text{ [nm]}$	$U_f \text{ [V]}$	$h \text{ [} 10^{-34} \cdot \text{J} \cdot \text{s]}$
450	2,65625	6,38367
450	2,53906	6,10204
510	2,52441	6,87574
510	2,52441	6,87574
540	1,79688	5,18206
600	1,6748	5,36665
620	1,59668	5,28687

3. Závěr

V povinné části jsem určoval parametry tranzistoru a to konkrétně strmost, vnitřní odpor a zesilovací činitel. Strmost a vnitřní odpor jsem určil pomocí diferencí. Tyto tři veličiny my vyšli jako

$$S = 141,6 \text{ A} \cdot \text{V}^{-1}$$

$$R = 1367,1 \text{ } \Omega$$

$$\mu = 193423$$

V povinné volitelné části jsem proměřoval 7 LED diod a na základě odečtených hodnot z grafů v tabulce 1 jsem určil hodnotu Planckovy konstanty jako $h = (6,0 \pm 0,7) \cdot 10^{-34} \cdot \text{J} \cdot \text{s}$. Podle CODATA 2014 je experimentálně zjištěná hodnota Planckovy konstanty $h = (6,626070040 \pm 0,000000081) \cdot 10^{-34} \cdot \text{J} \cdot \text{s}$. Jak je zřejmé, tak naše metoda není příliš přesná. Naše měření však obsahuje tuto přesněji naměřenou hodnotu Planckovi konstanty.

Závislost napětí na vlnótu, která měl být lineární mi tak vůbec nevyšla, proto jsem z této závislosti ani nepočítal Planckovu konstantu.