

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 2

**Zpracoval:** Tomáš Plšek

**Naměřeno:** 28. září 2017

**Obor:** Astrofyzika    **Ročník:** II    **Semestr:** III

**Testováno:**

---

### Úloha č. 2: Nelineární prvky

Povinná část:

1. Zapojíme tranzistor podle obr. 3 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.
2. Připojíme tranzistor ke snímači charakteristik instalovaném v počítači a zobrazíme soustavu výstupních charakteristik.
3. 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 (11) pak dopočítáme  $\mu$ .

Povinně volitelná část:

1. Stanovíme vlnové délky záření jednotlivých LED ze série pomocí difrakční mřížky.
2. Změříme voltampérové charakteristiky LED.
3. Z voltampérových charakteristik jednotlivých LED odečteme  $U_f$  a sestrojíme graf závislosti  $U_f$  na  $\lambda^{-1}$ , z něhož lze získat hodnotu konstanty  $hc/e$ .

## 1. Teoretický úvod

Nelineární elektrický prvek je součástka, jejíž odpor závisí na napětí a proudu, jež součástkou protéká. Voltampérová charakteristika takové součástky je nelineární a součástka se neřídí Ohmovým zákonem.

V naší úloze budeme používat unipolární tranzistor, u kterého se na vedení proudu podílí pouze jeden typ nositelů (elektrony nebo díry), které tvoří tzv. kanál. Elektrické přívody kanálu jsou source  $S$  a drain  $D$ . Proud tekoucí kanálem ovlivňuje napětí, které se vkládá mezi source a drain a elektrodu která je od kanálu izolovaná a nazývá se gate  $G$ .

Závislost výstupního proudu  $I_D$  na vstupním napětí hradla  $U_G$  při konstantním výstupním napětí  $U_D$  se nazývá statická převodní charakteristika tranzistoru:

$$I_D = f(U_G), \quad U_D = konst. \quad (1)$$

Závislost výstupního proudu  $I_D$  na výstupním napětí  $U_D$  se nazývá výstupní charakteristika tranzistoru:

$$I_D = f(U_D), \quad U_G = konst. \quad (2)$$

Derivací statické převodní charakteristiky získáme veličinu zvanou statická strmost:

$$S = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_G} \right|_{U_D} \approx \frac{\Delta I_D}{\Delta U_G}. \quad (3)$$

Derivace výstupní charakteristiky určuje vnitřní odpor tranzistoru:

$$R_i = \left. \frac{\partial U_D}{\partial I_D} \right|_{U_G} \approx \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D}. \quad (4)$$

A obdobně je definován zesilovací činitel tranzistoru:

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

Dále platí:

$$S R_i \frac{1}{\mu} = 1. \quad (6)$$

Vidíme, že všechny tři veličiny jsou v diferenciálním tvaru, a protože je tranzistor nelineární prvek, musíme všechny tři veličiny určovat v jediném tzv. pracovním bodě.

### 1.1. Voltampérové charakteristiky diod

Diody jsou dalším příkladem součástky s nelineární voltampérovou charakteristikou. Pro případ ideální diody má tato charakteristika závislost danou Shockleyho rovnicí:

$$I(U) = I_s \left[ \exp \left( \frac{eU}{k_B T} \right) - 1 \right], \quad (7)$$

kde  $I_s$  je saturační proud,  $e$  elementární náboj,  $T$  teplota a  $k_B$  Boltzmanova konstanta. Saturační proud závisí na šířce zakázaného pásu, získáváme tedy přibližnou rovnici:

$$I(U) \approx B \exp \left( - \frac{E_g - eU}{k_B T} \right), \quad (8)$$

kde  $B$  je konstanta určená dopováním a geometrií přechodu. Při vyšších proudech je voltampérová charakteristika ovlivněna stejnosměrným odporem diody  $R$ :

$$I(U) = I_s \left[ \exp \left( \frac{e(U - RI)}{k_B T} \right) - 1 \right]. \quad (9)$$

Pro vysoké proudy tedy získáváme aproximativní vztah:

$$I(U) = 0, \quad U < U_f \quad (10)$$

$$I(U) = \frac{U - U_f}{R}, \quad U > U_f. \quad (11)$$

Energie vyzařovaných fotonů je přibližně rovna energii zakázaného pásu  $E_g$ :

$$U_f \approx \frac{hc}{e} \lambda^{-1}. \quad (12)$$

## 2. Měření

### 2.1. Měření převodní a výstupní charakteristiky

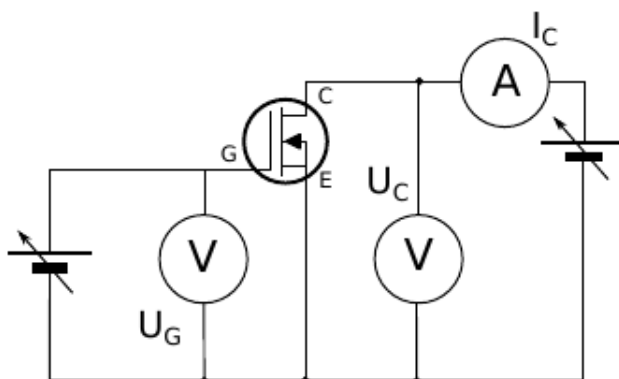
Zapojíme soustavu podle schématu (obrázek 1). Převodní charakteristiku získáme měřením závislosti podle vztahu (1) a výstupní charakteristiku podle vztahu (2).

Tabulka 1: Převodní charakteristika tranzistoru ( $U_D = 10$  V).

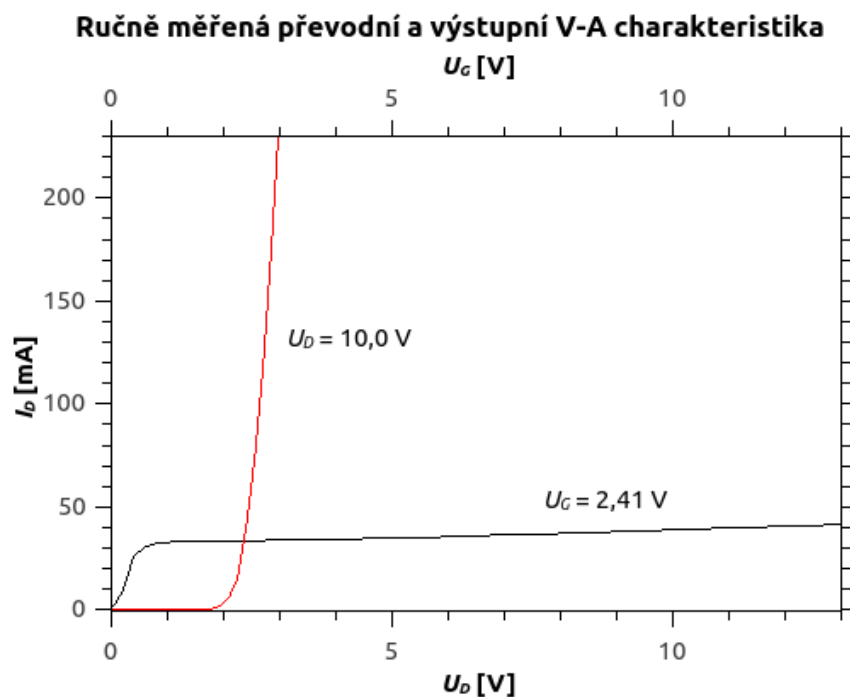
$U_G$ [V]	$I_D$ [mA]	$U_G$ [V]	$I_D$ [mA]
0,04	0,003	2,10	6,505
0,50	0,003	2,25	15,52
1,01	0,003	2,41	41,65
1,45	0,109	2,56	75,47
1,65	0,120	2,71	120,78
1,81	0,742	2,85	175,43
1,95	2,014	3,00	232,15

Tabulka 2: Výstupní charakteristika tranzistoru ( $U_G = 2,41$  V).

$U_D$ [V]	$I_D$ [mA]	$U_D$ [V]	$I_D$ [mA]
0,05	2,309	4,00	34,29
0,20	9,004	5,00	34,93
0,40	26,27	6,03	35,51
0,60	30,66	7,01	36,53
0,81	32,52	7,99	37,09
1,01	32,92	9,08	38,07
1,20	33,06	10,04	38,95
1,40	33,17	11,01	39,83
1,60	33,25	12,00	40,65
1,80	33,37	13,02	41,59
2,00	33,56	13,97	42,15
3,01	33,84	15,05	43,24



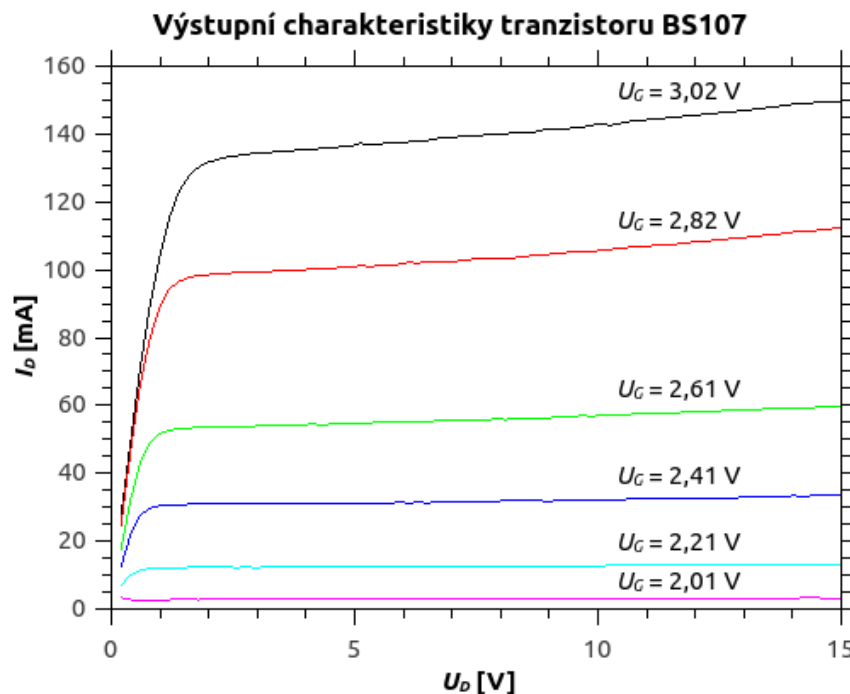
Obrázek 1: Schéma zapojení pro měření charakteristik unipolárního tranzistoru.



Graf 1: Převodní a výstupní charakteristika tranzistoru BS107.

## 2.2. Měření výstupních charakteristik tranzistoru pomocí počítače

Pro jednotlivé převodní napětí ( $U_G = 2 - 3 \text{ V}$ ) jsem změřil pomocí počítače výstupní charakteristiky tranzistoru.



Graf 2: Výstupní charakteristiky unipolárního tranzistoru.

### 2.3. Určení parametrů tranzistoru ve zvoleném pracovním bodě

Pro určení parametrů tranzistoru jsem si zvolil následující pracovní bod:

$$\text{vstupní napětí } U_G = (2,41 \pm 0,01) \text{ V},$$

$$\text{výstupní napětí } U_D = (10,0 \pm 0,1) \text{ V},$$

$$\text{výstupní proud } I_D = (40 \pm 1) \text{ mA}.$$

Výsledné parametry  $S$  a  $R_i$  jsem určoval z rozdílu pracovního bodu a dvou okolních hodnot (vztahy (3) a (4)).

Výsledné parametry:

$$\text{strmost tranzistoru } S = (199 \pm 6) \text{ mA/V},$$

$$\text{vnitřní odpor tranzistoru } R_i = (1,10 \pm 0,04) \text{ k}\Omega,$$

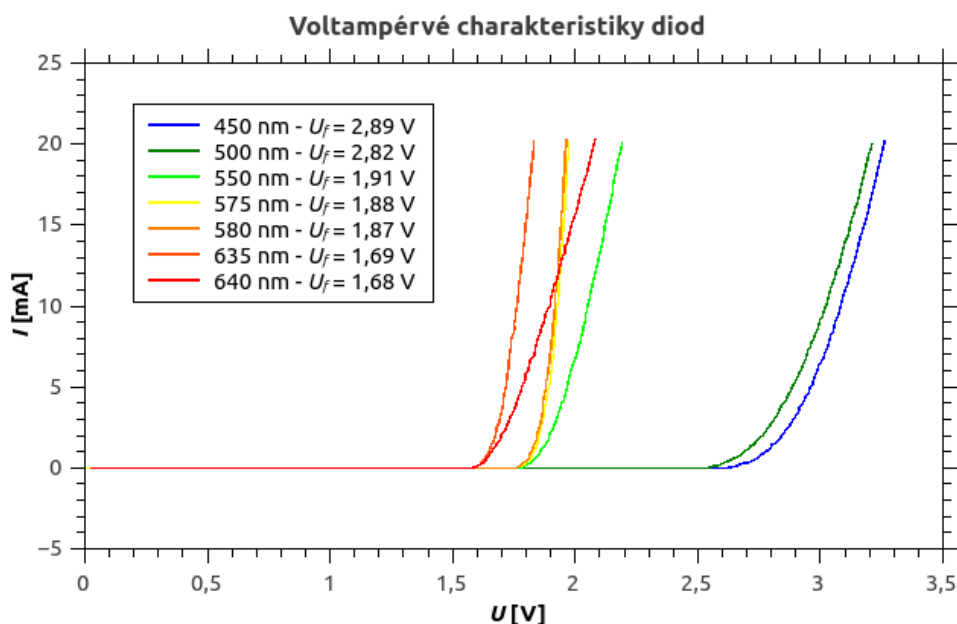
$$\text{zesilovací činitel } \mu = 220 \pm 10.$$

### 2.4. Měření vlnové délky světla a V-A charakteristiky diod

Pomocí spektrometru jsem určil vlnové délky jednotlivých diod. Měření V-A charakteristiky jsem prováděl pomocí počítače a následně jsem ze získané závislosti zjistil  $U_f$  z lineárního fitu v nejstrmější části závislosti.

Tabulka 3: Vlnové délky jednotlivých diod.

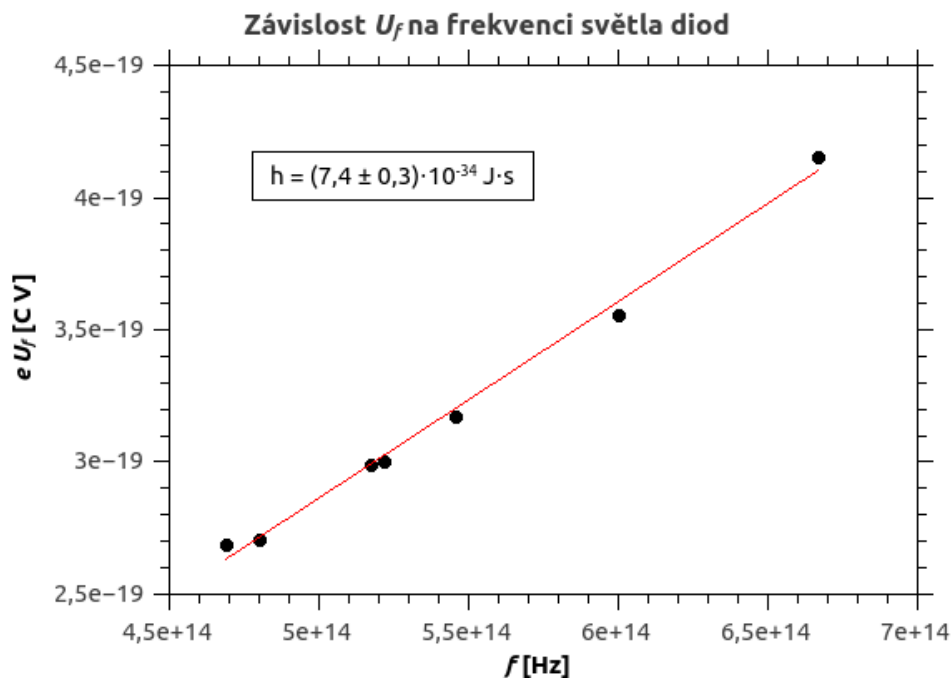
Barva	$\lambda$ [nm]
modrá	450
zelená I	500
zelená II	550
žlutá	575
oranžová	580
červená I	625
červená II	640



Graf 3: Voltampérová charakteristika jednotlivých diod.

## 2.5. Určení závislosti $U_f$ na frekvenci

Vynesáním závislosti  $U_f$  na frekvenci můžeme zjistit hodnotu planckovy konstanty  $h$ .



Graf 3: Závislost  $U_f$  na frekvenci světla diody.

## 3. Závěr

Ve zvoleném pracovním bodě jsem určil strmost tranzistoru  $S = (199 \pm 6) \text{ mA/V}$ , vnitřní odpor tranzistoru  $R_i = (1,10 \pm 0,04) \text{ k}\Omega$  a zesilovací činitel tranzistoru  $\mu = 220 \pm 10$ .

Určil jsem voltampérové charakteristiky jednotlivých diod (graf 2) a z nich jsem stanovil hodnotu planckovy konstanty na  $h = (7,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ . Reálná hodnota této konstanty je přibližně  $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .