Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III – Optika

Úloha č. V.

Název: Charakteristiky optoelektronických součástek

Pracoval: Radim Pechal stud. skup. F–11 dne 12. března 2009

Odevzdal dne: ....

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: .... dne ....

Pracovní úkol

1. Změřte voltampérové a světelné charakteristiky připravených luminiscenčních diod v propustném směru a určete, z jakého materiálu jsou jednotlivé diody zhotoveny.
2. Ze změřených V–A charakteristik určete pro jednotlivé diody statický odpor R_d, dynamický odpor R_{di}, hodnotu konstanty n a prahové napětí U^*.
3. Změřte charakteristiky fototranzistoru při třech různých hladinách osvětlení. Určete zisk fototranzistoru.
4. Naměřené charakteristiky zpracujte graficky. Nezapomeňte na graf $\log(I_F)$ vs. U_F.

Teoretický úvod

U luminiscenčních diod (LED) je dle [1] možné vyjádřit voltampérovou charakteristiku přibližně vztahem

$$I_F = I_0 \exp\left(\frac{e \cdot U_F}{n \cdot k \cdot T}\right), \tag{1}$$

kde I_F je proud protékající diodou, U_F je napětí na diodě, e je náboj elektronu, k je Boltzmanova konstanta a T je absolutní teplota. Tento vztah platí pokud $e \cdot U_F \geq 4 \cdot k \cdot T$, tedy pokud při pokojové teplotě $U_F \geq 100\,\mathrm{mV}$ a zároveň $U_F \gg I_F \cdot R_S$, přičemž R_S je sériový odpor diody.

Tvar V–A charakterisitky závisí také na materiálu, ze kterého byla součástka zhotovena, na použité tchnologii a dalších faktorech. Tento vliv zahrnuje bezrozměrná veličina n. Její převrácená hodnota $\alpha = 1/n$ charakterizuje mechanizmus transportu. Pokud se jedná o difúzní mechanismus platí, že $\alpha = 1$.

Sériový statický odpor R_d v bodě U_{F0}, I_{F_0} je definován vztahem

$$R_d = \frac{U_{F0}}{I_{F0}}\,. \tag{2}$$

Sériový dynamický odpor R_{di} je definován jako

$$R_{di} = \frac{\mathrm{d}U_F}{\mathrm{d}I_F}\,, \tag{3}$$

v bodě $F = F_0$ a užitím vztahů (1) a (2) můžu vztah (3) upravit na tvar

$$R_{di} = R_d \cdot \frac{n \cdot k \cdot T}{e \cdot U_F}\,. \tag{4}$$

Logaritmováním vztahu (1) dostanu závislost $\log(I_F)$ na U_F

$$\log(I_F) = \log(I_0) \cdot \frac{e \cdot U_F}{n \cdot k \cdot T}\,. \tag{5}$$

Pokud provedu dvě měření U_F a I_F můžu dále tento vztah upravit a určit n jako

$$n = \frac{e}{k \cdot T} \frac{U_{F1} - U_{F2}}{\log\left(\frac{I_{F1}}{I_{F2}}\right)} = \frac{e}{k \cdot T} \cdot \frac{1}{\gamma}\,, \tag{6}$$

kde γ je směrnice v lineární části grafu $\log(I_F)$ vs. U_F.

Prahové napětí U^* je takové napětí extrapolované z lineární části V–A charakteristiky, při kterém dochází ke zlomu v lineárním průběhu závislosti proudu I_F na U_F. Toto napětí je přibližně rovno šířce zakázaného pásu použitého polovodiče.

Při měření charakteristiky fototranzistoru je důležitou charakteristikou závislost fotoelektrického proudu I_Φ na dopadajícím světle. Dále nás bude zajímat závislost fotoelektrického proudu v kolektoru I_{C0} na I_Φ. Zkratujeme-li u fototranzistoru emitor s bází, můžeme změřit primární fotoproud I_Φ. A při stejném světelném toku Φ určíme proud I_{C0}. Zisk G fototranzistoru se pak určí pomocí vztahu

$$G = \frac{I_{C0}}{I_\Phi}\,. \tag{7}$$

Výsledky měření

Nejdříve jsem proměřil V–A charakteristiky a světelné charakteristiky pro červenou a zelenou diodu. K měření jsem používal voltmetr s třídou přesnosti $\pm 0,1\,\%$ pro rozsahy do 2 V a do 20 V. Dále jsem používal ampérmetr s třídou přesnosti $\pm 0,4\,\%$ pro rozsah do 2 mA, s třídou přesnosti $\pm 0,1\,\%$ pro rozsah do 20 mA a s třídou přesnosti $0,05\,\%$ pro rozsah do 200 mA. K měření světelné charakteristiky jsem používal galvanometr. Výsledku jsou tak uváděny v relativních jednotkách.

U_F [V]	I_F [mA]	Φ	U_F [V]	I_F [mA]	Φ
červená LED			zelená LED		
$0,000 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$0,000 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$0,208 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$0,510 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$0,494 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,089 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$0,742 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,231 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,016 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,430 \pm 0,002$	$0,000 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,269 \pm 0,002$	$0,004 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,625 \pm 0,002$	$0,007 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,424 \pm 0,002$	$0,103 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,702 \pm 0,002$	$0,042 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,441 \pm 0,002$	$0,159 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,727 \pm 0,002$	$0,072 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,451 \pm 0,002$	$0,201 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,745 \pm 0,002$	$0,109 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,468 \pm 0,002$	$0,305 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,762 \pm 0,002$	$0,154 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,487 \pm 0,002$	$0,492 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$	$1,782 \pm 0,002$	$0,241 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,516 \pm 0,002$	$1,010 \pm 0,008$	$1,0 \pm 0,5$	$1,802 \pm 0,002$	$0,360 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,532 \pm 0,002$	$1,510 \pm 0,008$	$2,0 \pm 0,5$	$1,823 \pm 0,002$	$0,548 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,545 \pm 0,002$	$2,07 \pm 0,02$	$3,0 \pm 0,5$	$1,842 \pm 0,002$	$0,770 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,553 \pm 0,002$	$2,51 \pm 0,02$	$4,0 \pm 0,5$	$1,863 \pm 0,002$	$1,084 \pm 0,008$	$0,0 \pm 0,5$
$1,560 \pm 0,002$	$3,00 \pm 0,02$	$5,0 \pm 0,5$	$1,885 \pm 0,002$	$1,520 \pm 0,008$	$1,0 \pm 0,5$
$1,567 \pm 0,002$	$3,51 \pm 0,02$	$6,0 \pm 0,5$	$1,906 \pm 0,002$	$2,00 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,5$
$1,574 \pm 0,002$	$4,03 \pm 0,02$	$7,0 \pm 0,5$	$1,925 \pm 0,002$	$2,50 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,5$
$1,578 \pm 0,002$	$4,51 \pm 0,02$	$8,0 \pm 0,5$	$1,942 \pm 0,002$	$3,01 \pm 0,02$	$2,0 \pm 0,5$
$1,584 \pm 0,002$	$5,03 \pm 0,02$	$10,0 \pm 0,5$	$1,958 \pm 0,002$	$3,54 \pm 0,02$	$2,0 \pm 0,5$
$1,587 \pm 0,002$	$5,49 \pm 0,02$	$11,0 \pm 0,5$	$1,971 \pm 0,002$	$4,02 \pm 0,02$	$2,0 \pm 0,5$
$1,592 \pm 0,002$	$6,04 \pm 0,02$	$12,0 \pm 0,5$	$1,985 \pm 0,002$	$4,52 \pm 0,02$	$3,0 \pm 0,5$
$1,596 \pm 0,002$	$6,52 \pm 0,02$	$13,0 \pm 0,5$	$1,999 \pm 0,002$	$5,06 \pm 0,02$	$3,0 \pm 0,5$
$1,599 \pm 0,002$	$7,07 \pm 0,02$	$14,0 \pm 0,5$	$2,01 \pm 0,02$	$5,52 \pm 0,02$	$4,0 \pm 0,5$
$1,605 \pm 0,002$	$8,01 \pm 0,02$	$16,0 \pm 0,5$	$2,03 \pm 0,02$	$6,04 \pm 0,02$	$4,0 \pm 0,5$
$1,611 \pm 0,002$	$9,07 \pm 0,02$	$17,0 \pm 0,5$	$2,04 \pm 0,02$	$6,52 \pm 0,02$	$5,0 \pm 0,5$
$1,617 \pm 0,002$	$10,02 \pm 0,02$	$20,0 \pm 0,5$	$2,05 \pm 0,02$	$7,00 \pm 0,02$	$5,0 \pm 0,5$
$1,622 \pm 0,002$	$11,06 \pm 0,02$	$22,0 \pm 0,5$	$2,06 \pm 0,02$	$7,50 \pm 0,02$	$5,0 \pm 0,5$
$1,627 \pm 0,002$	$12,08 \pm 0,02$	$25,0 \pm 0,5$	$2,07 \pm 0,02$	$8,07 \pm 0,02$	$6,0 \pm 0,5$
$1,632 \pm 0,002$	$13,09 \pm 0,02$	$27,0 \pm 0,5$	$2,08 \pm 0,02$	$8,50 \pm 0,02$	$6,0 \pm 0,5$
$1,636 \pm 0,002$	$14,01 \pm 0,02$	$29,0 \pm 0,5$	$2,10 \pm 0,02$	$9,10 \pm 0,02$	$7,0 \pm 0,5$
$1,640 \pm 0,002$	$15,05 \pm 0,02$	$31,0 \pm 0,5$	$2,10 \pm 0,02$	$9,55 \pm 0,02$	$7,0 \pm 0,5$
$1,644 \pm 0,002$	$16,06 \pm 0,02$	$33,0 \pm 0,5$	$2,11 \pm 0,02$	$10,02 \pm 0,02$	$7,0 \pm 0,5$
$1,648 \pm 0,002$	$17,05 \pm 0,02$	$35,0 \pm 0,5$	$2,12 \pm 0,02$	$10,50 \pm 0,02$	$8,0 \pm 0,5$
$1,652 \pm 0,002$	$18,04 \pm 0,02$	$37,0 \pm 0,5$	$2,13 \pm 0,02$	$11,01 \pm 0,02$	$8,0 \pm 0,5$

U_F [V]	I_F [mA]	Φ	U_F [V]	I_F [mA]	Φ
červená LED			zelená LED		
$1,656 \pm 0,002$	$19,02 \pm 0,02$	$38,0 \pm 0,5$	$2,14 \pm 0,02$	$11,52 \pm 0,02$	$8,0 \pm 0,5$
$1,660 \pm 0,002$	$20,6 \pm 0,2$	$41,0 \pm 0,5$	$2,16 \pm 0,02$	$12,09 \pm 0,02$	$9,0 \pm 0,5$
$1,661 \pm 0,002$	$21,2 \pm 0,2$	$42,0 \pm 0,5$	$2,16 \pm 0,02$	$12,49 \pm 0,02$	$9,0 \pm 0,5$
$1,664 \pm 0,002$	$22,0 \pm 0,2$	$43,0 \pm 0,5$	$2,17 \pm 0,02$	$13,02 \pm 0,02$	$10,0 \pm 0,5$
$1,667 \pm 0,002$	$23,0 \pm 0,2$	$45,0 \pm 0,5$	$2,18 \pm 0,02$	$13,52 \pm 0,02$	$10,0 \pm 0,5$
$1,670 \pm 0,002$	$23,9 \pm 0,2$	$47,0 \pm 0,5$	$2,19 \pm 0,02$	$14,05 \pm 0,02$	$11,0 \pm 0,5$
$1,674 \pm 0,002$	$25,0 \pm 0,2$	$49,0 \pm 0,5$	$2,20 \pm 0,02$	$14,51 \pm 0,02$	$11,0 \pm 0,5$
$1,677 \pm 0,002$	$26,0 \pm 0,2$	60 ± 5	$2,21 \pm 0,02$	$14,97 \pm 0,02$	$11,0 \pm 0,5$
$1,678 \pm 0,002$	$27,1 \pm 0,2$	60 ± 5	$2,21 \pm 0,02$	$15,17 \pm 0,02$	$11,0 \pm 0,5$
$1,682 \pm 0,002$	$28,2 \pm 0,2$	70 ± 5	$2,23 \pm 0,02$	$16,14 \pm 0,02$	$12,0 \pm 0,5$
$1,684 \pm 0,002$	$29,1 \pm 0,2$	70 ± 5	$2,25 \pm 0,02$	$16,99 \pm 0,02$	$12,0 \pm 0,5$
$1,686 \pm 0,002$	$29,8 \pm 0,2$	70 ± 5	$2,27 \pm 0,02$	$18,06 \pm 0,02$	$13,0 \pm 0,5$
			$2,29 \pm 0,02$	$19,04 \pm 0,02$	$14,0 \pm 0,5$
			$2,30 \pm 0,02$	$20,1 \pm 0,2$	$14,0 \pm 0,5$
			$2,34 \pm 0,02$	$22,0 \pm 0,2$	$15,0 \pm 0,5$
			$2,37 \pm 0,02$	$24,0 \pm 0,2$	$17,0 \pm 0,5$
			$2,41 \pm 0,02$	$26,0 \pm 0,2$	$18,0 \pm 0,5$
			$2,45 \pm 0,02$	$28,0 \pm 0,2$	$19,0 \pm 0,5$
			$2,48 \pm 0,02$	$29,9 \pm 0,2$	$20,0 \pm 0,5$

Tabulka 1: V–A charakteristika a světelná charakteristika červené a zelené diody.

Přesnou teplotu polovodičového přechodu nebylo možné změřit, ale předpokládám, že se blížila telotě laboratoře $T = (22 \pm 3)°C$. Faktor n jsem určil tak, že jsem si vynesl graf $\log(I_F)$ vs. U_F (viz. graf 2). Z lineární části jsem pomocí programu GNUplot určil směrnici γ. Dosazením do vztahu (6) jsem určil n_c pro červenou diodu a n_z pro zelenou diodu

$$n_c = 1,58 \pm 0,06\,,$$

$$n_z = 1,92 \pm 0,08\,.$$

Hodnoty e a k jsem určil z [2].

Prahové napětí U^* pro červenou a zelenou diodu jsem určil tak, že jsem ve V–A charakteristice červené a zelené diody v grafu 1 proložil lineární část grafu přímkou. Tam, kde přímka protla x–ovou osu, jsem odečelt U_c^* resp. U_z^*. Vyšly mi hodnoty

$$U_c^* = (1,58 \pm 0,08)\,\mathrm{V}\,.$$

$$U_z^* = (1,92 \pm 0,10)\,\mathrm{V}\,.$$

Charakteristiky diody jsem určil pro proud $I = 20\,\mathrm{mA}$. Kolem tohoto bodu jsem lineárně interpoloval závislost a získal hodnoru statického odporu pomocí vztahu (2). Interpolované napětí $U_{F\,20\,c} = (1,661 \pm 0,002)\,\mathrm{V}$, $U_{F\,20\,z} = (2,300 \pm 0,002)\,\mathrm{V}$.

$$R_{d\,c} = (83,0 \pm 0,9)\,\Omega\,,$$

$$R_{d\,z} = (115,0 \pm 2,3)\,\Omega\,.$$

Dosazením naměřených hodnot U^*, n, U_F do vztahu (4) jsem určil dynamický odpor

$$R_{di\,c} = (2,11 \pm 0,14)\,\Omega\,,$$

$$R_{di\,z} = (2,9 \pm 0,2)\,\Omega\,.$$

Dále jsem měřil charakteristiky fototranzistoru. K měření jsem používal stějné přístroje jako pro měření V–A charakteristik diod. Jako mikroampérmetr jsem používal galvanometr, který neměl uvedenu třídu přesnosti. Předpokládám, že chyba přístroje je řádově menší než polovina dílku.

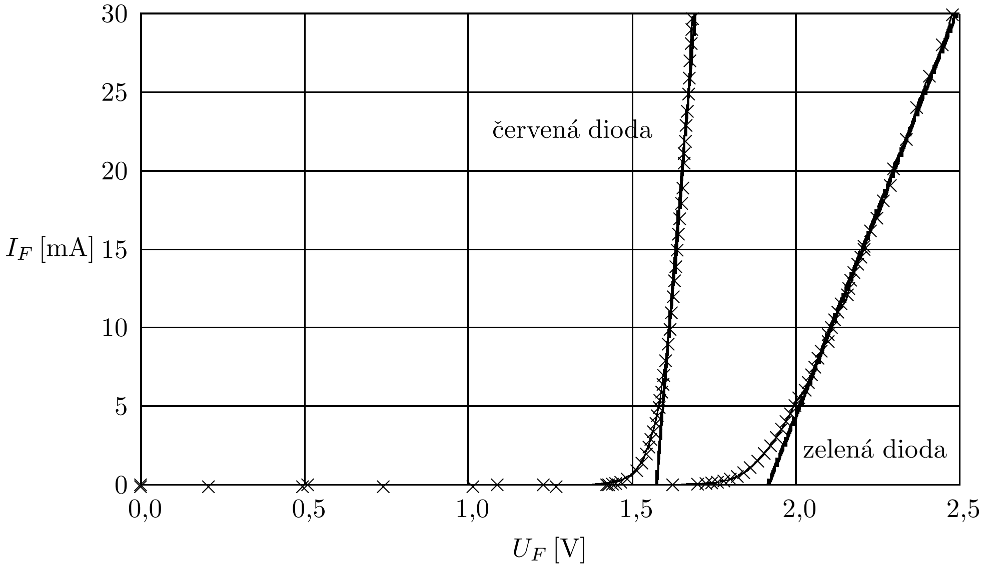
U [V]	I [μA]	U [V]	I [μA]	U [V]	I [μA]
$I_d = 0,2\,$mA		$I_d = 0,4\,$mA		$I_d = 0,6\,$mA	
$0,000 \pm 0,002$	$0,00 \pm 0,03$	$0,000 \pm 0,002$	$0,00 \pm 0,03$	$0,000 \pm 0,002$	$0,00 \pm 0,03$
$0,026 \pm 0,002$	$0,05 \pm 0,03$	$0,032 \pm 0,002$	$0,25 \pm 0,03$	$0,017 \pm 0,002$	$0,25 \pm 0,03$
$0,041 \pm 0,002$	$0,10 \pm 0,03$	$0,046 \pm 0,002$	$0,50 \pm 0,03$	$0,029 \pm 0,002$	$0,50 \pm 0,03$
$0,053 \pm 0,002$	$0,15 \pm 0,03$	$0,055 \pm 0,002$	$0,75 \pm 0,03$	$0,037 \pm 0,002$	$0,75 \pm 0,03$
$0,059 \pm 0,002$	$0,20 \pm 0,03$	$0,064 \pm 0,002$	$1,00 \pm 0,03$	$0,043 \pm 0,002$	$1,00 \pm 0,03$
$0,066 \pm 0,002$	$0,25 \pm 0,03$	$0,070 \pm 0,002$	$1,25 \pm 0,03$	$0,048 \pm 0,002$	$1,25 \pm 0,03$
$0,086 \pm 0,002$	$0,50 \pm 0,03$	$0,075 \pm 0,002$	$1,50 \pm 0,03$	$0,053 \pm 0,002$	$1,50 \pm 0,03$
$0,100 \pm 0,002$	$0,75 \pm 0,03$	$0,080 \pm 0,002$	$1,75 \pm 0,03$	$0,056 \pm 0,002$	$1,75 \pm 0,03$
$0,111 \pm 0,002$	$1,00 \pm 0,03$	$0,084 \pm 0,002$	$2,00 \pm 0,03$	$0,060 \pm 0,002$	$2,00 \pm 0,03$
$0,120 \pm 0,002$	$1,25 \pm 0,03$	$0,088 \pm 0,002$	$2,25 \pm 0,03$	$0,062 \pm 0,002$	$2,25 \pm 0,03$
$0,129 \pm 0,002$	$1,50 \pm 0,03$	$0,091 \pm 0,002$	$2,50 \pm 0,03$	$0,066 \pm 0,002$	$2,50 \pm 0,03$
$0,135 \pm 0,002$	$1,75 \pm 0,03$	$0,107 \pm 0,002$	$5,0 \pm 0,3$	$0,077 \pm 0,002$	$5,0 \pm 0,3$
$0,144 \pm 0,002$	$2,00 \pm 0,03$	$0,122 \pm 0,002$	$7,5 \pm 0,3$	$0,092 \pm 0,002$	$7,5 \pm 0,3$
$0,145 \pm 0,002$	$2,5 \pm 0,3$	$0,136 \pm 0,002$	$10,0 \pm 0,3$	$0,102 \pm 0,002$	$10,0 \pm 0,3$
$0,157 \pm 0,002$	$3,0 \pm 0,3$	$0,164 \pm 0,002$	$15,0 \pm 0,3$	$0,111 \pm 0,002$	$12,5 \pm 0,3$
$0,176 \pm 0,002$	$3,5 \pm 0,3$	$0,198 \pm 0,002$	$20,0 \pm 0,3$	$0,119 \pm 0,002$	$15,0 \pm 0,3$
$0,206 \pm 0,002$	$4,0 \pm 0,3$	$0,242 \pm 0,002$	$25,0 \pm 0,3$	$0,133 \pm 0,002$	$20,0 \pm 0,3$
$0,256 \pm 0,002$	$4,5 \pm 0,3$	$0,668 \pm 0,002$	30 ± 3	$0,146 \pm 0,002$	$25,0 \pm 0,3$
$0,531 \pm 0,002$	$4,5 \pm 0,3$	$1,164 \pm 0,002$	35 ± 3	$0,188 \pm 0,002$	50 ± 3
$1,053 \pm 0,002$	$5,0 \pm 0,3$	$2,47 \pm 0,02$	35 ± 3	$0,232 \pm 0,002$	70 ± 3
$2,04 \pm 0,02$	$5,0 \pm 0,3$	$5,05 \pm 0,02$	35 ± 3	$0,531 \pm 0,002$	80 ± 3
$5,02 \pm 0,02$	$5,5 \pm 0,3$	$9,97 \pm 0,02$	40 ± 3	$1,060 \pm 0,002$	85 ± 3
$10,15 \pm 0,02$	$6,0 \pm 0,3$			$2,18 \pm 0,02$	85 ± 3
				$3,00 \pm 0,02$	85 ± 3
				$5,15 \pm 0,02$	90 ± 3
				$9,95 \pm 0,02$	95 ± 3

Tabulka 2: Měření charakteristiky optotranzistoru.

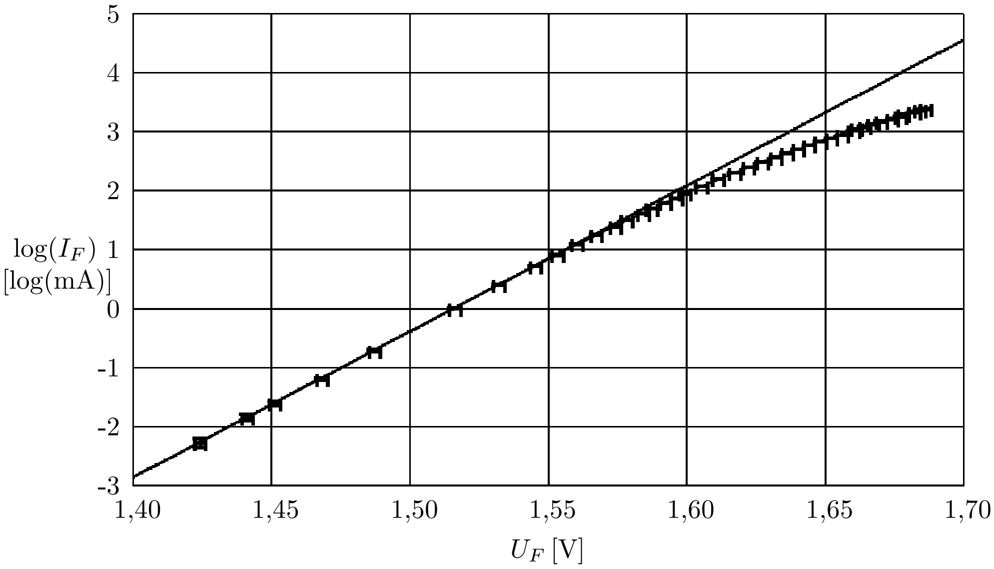
Pro každý bázový proud jsem zvolil jedno napětí $U \approx 5\,$V. Pro tyto hodnoty jsem změřil I_Φ a pomocí vztahu (7) jsem určil zisk G pro daný světelný tok Φ.

I_d [mA]	U [V]	I_Φ [μA]	I_{C0} [μA]	G [$-$]
$0,20 \pm 0,01$	$5,02 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,03$	$5,5 \pm 0,3$	110 ± 10
$0,40 \pm 0,01$	$5,05 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,03$	35 ± 3	233 ± 18
$0,60 \pm 0,01$	$5,15 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,03$	90 ± 3	300 ± 10

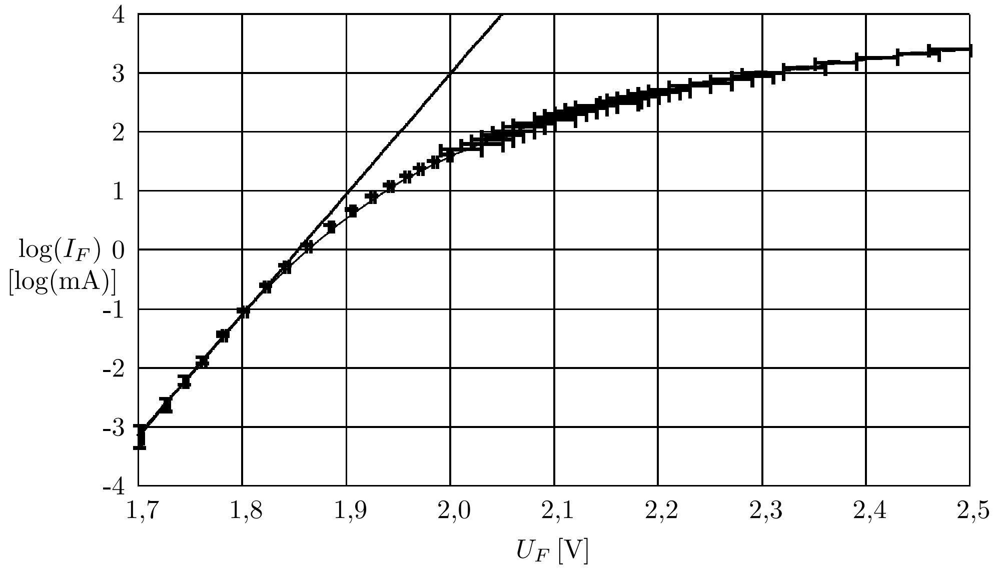
Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro určení zisku G fototranzistoru.



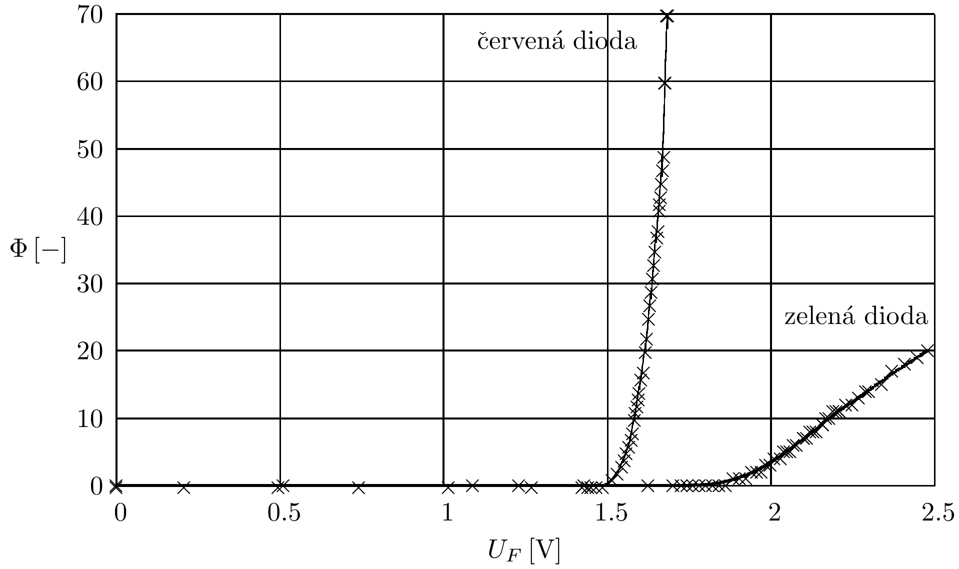
Graf 1: V–A charakteristika červené a zelené diody.



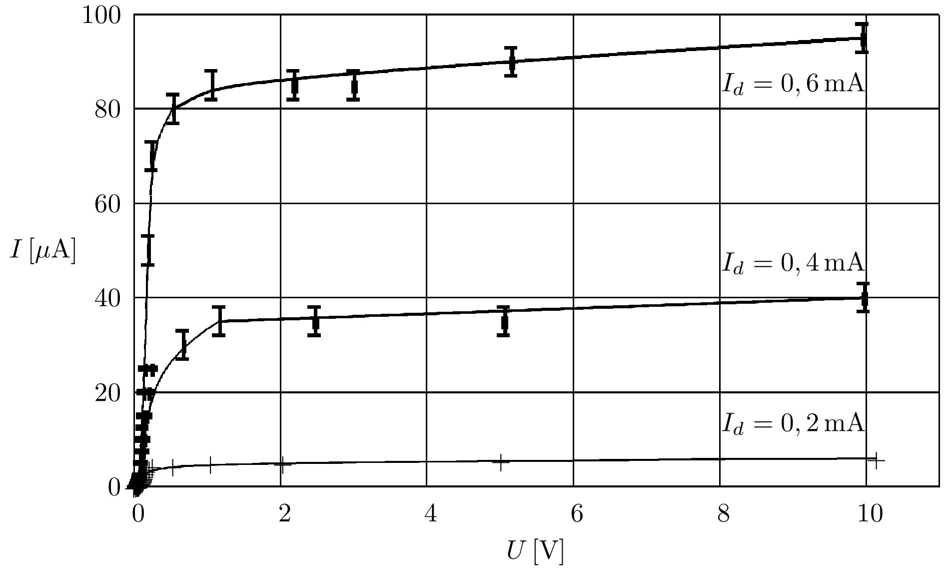
Graf 2: Závoslost $log(I_F)$ na U_F pro červenou diodu.



Graf 3: Závoslost $log(I_F)$ na U_F pro zelenou diodu.



Graf 4: Světelná charakteristika diod



Graf 5.: V–A charakteristika fototranzistoru.

Diskuse výsledků

Pro výpočet chyb u vypočtených veličin jsem používal kvadratický zákon přenosu chyb uvedený v [3]. K prokládání přímkou jsem používal program GNUplot. Tento program umí vhodně proložit body přímkou, ovšem neumí určit chybu měření, určí pouze statistickou chybu. Proto bylo potřeba vždy ještě odhadnout, nebo vypočítat chybu měření dané veličiny a tu připočítat ke statistické chybě.

Při měření V–A charakteristiky jsem používal výše popsané přístroje. Z naměřených hodnot jsem určil n_c a n_z. Postupoval jsem tak, že jsem pomocí fitování hodnot v lineární části grafu 2 resp. grafu 3 funkcí $\widetilde{I} = \log(I) = \gamma \cdot U + \delta$ určil směrnici pro červenou a zelenou LED diodu. Chybu n jsem odhadl 4 %. V grafu 1 jsem podobně jako v předchozím případě fitoval lineární část dat vztahem $I = \varepsilon \cdot U + \zeta$. Pak jsem z grafu 1 určil hodnotu U^* pro kterou platilo $I = 0$ (odečítal jsem při větším rozlišení výřezu z grafu než je uveden v protokolu). Chybu jsem odhadl na 5 %.

Hodnotu statického odporu jsem určil pro proud $I_F = 20\,\mathrm{mA}$. Neměl jsem přesně naměřeny hodnoty, proto jsem v okolí těchto bodů považoval charakteristiku za lineární a určil tak přesnou hodnotu. Dynamické odpory $R_{di\,c}$ a $R_{di\,z}$ jsem určil pomocí vztahu (4).

Naměřená data jsem porovnal s katalogem [4]. Měření probíhalo s LED diodama o průměru 3 mm. Naměřené rozsahy se shodovaly s uvedenými. Proto bych řekl, že červená LED dioda byla vyrobena z `GaAsP` a zelená dioda byla vyrobena z `GaP`. Ze známých hodnot n také mohu určil mechanismus přenosu α

$$\alpha_c = 0,63 \pm 0,02\,,$$

$$\alpha_z = 0,52 \pm 0,02\,,$$

nejedná se tedy pouze o difúzní mechanismus.

V–A charakteristiky fototranzistoru jsem prováděl pro tři bázové proudy $I_{d1} = 0,2\,\mathrm{mA}$, $I_{d2} = 0,4\,\mathrm{mA}$ a $I_{d3} = 0,6\,\mathrm{mA}$. Z naměřených hodnot jsem spolu s naměřenými hodnotami I_Φ určil zisk G pro dané bázové proudy. Měření probíhalo v lineární části charakteristiky.

Závěr

Proměřil jsem V–A charakteristiky červené a zelené LED diody. Charakteristiky jsou znázorněny v grafu 1 až grafu 4. Z naměřených hodnot jsem určil veličiny

$$\begin{aligned} n_c &= 1,58 \pm 0,06\,, & n_z &= 1,92 \pm 0,08\,, \\ U_c^* &= (1,58 \pm 0,08)\,\mathrm{V}\,, & U_z^* &= (1,92 \pm 0,10)\,\mathrm{V}\,, \\ R_{d\,c} &= (83,0 \pm 0,9)\,\Omega\,, & R_{d\,z} &= (115,0 \pm 2,3)\,\Omega\,, \\ R_{di\,c} &= (2,11 \pm 0,14)\,\Omega\,, & R_{di\,z} &= (2,9 \pm 0,2)\,\Omega\,. \end{aligned}$$

Předpokládám, že červená LED dioda byla vyrobena z `GaAsP` a zelená dioda byla vyrobena z `GaP`.

Dále jsem změřil charakteristiky fototranzistoru, které jsem zobrazil do grafu 5. Z měření I_Φ jsem dále určil zisk pro dané proudy

$$\begin{aligned} G_{Id=0,2\,\mathrm{mA}} &= 110 \pm 10\,, \\ G_{Id=0,4\,\mathrm{mA}} &= 233 \pm 18\,, \\ G_{Id=0,6\,\mathrm{mA}} &= 300 \pm 10\,. \end{aligned}$$

Seznam použité literatury

[1] I. Pletant, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fähnrich: *Fyzikální praktikum III.* Optika. Karolinum, Praha 1993. ISBN 80–7066–763–X

[2] J. Bureš: *Konstanty - fyzikální a jiné konstanty.* `http://www.converter.cz/prevody/konstanty.htm`

[3] J. Englich: *Zpracování výsledků fyzikálních měření.* Praha 2000. `http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/mereni.pdf`

[4] J. Lu: *T-1 (*3 mm*) Low Curent LED Lamps.* Listopad 2001. `http://pdf1.alldatasheet.co.kr/datasheet-pdf/view/117985/KINGBRIGHT/L-934LSRD.html`