

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## Praktikum III - Optika

Úloha č. 5

Název: Charakteristiky optoelektronických součástek

Pracoval: Matyáš Řehák stud.sk.: 13 dne: 20. 3. 2008

Odevzdal dne: .....

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	5
Teoretická část	0 - 1	1
Výsledky měření	0 - 8	8
Diskuse výsledků	0 - 4	4
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
<b>Celkem</b>	max. 20	<b>20</b>

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.
- 4) Naměřené charakteristiky zpracujte graficky. Nezapomeňte na graf  $\ln(I_F)$  vs.  $U_F$ .

## Teorie (viz. [1])

### Luminiscenční dioda

Funguje na principu zářivé rekombinace nosičů náboje v oblasti P-N přechodu. V propustném směru se dá voltampérová charakteristika vyjádřit vztahem:

$$I_F = I_0 \left\{ \exp \left[ \frac{e(U_F - I_F R_S)}{nkT} \right] - 1 \right\}, \quad (1)$$

kde  $I_F$  je proud tekoucí přechodem,  $I_0$  zbytkový proud,  $k$  Boltzmannova konstanta,  $e$  náboj elektronu,  $T$  absolutní teplota,  $U_F$  napětí na diodě,  $R_S$  sériový odpor diody. Pokud platí, že  $eU_F \geq 4kT$ , rovnice (1) se zjednoduší na tvar:

$$I_F = I_0 \exp \left( \frac{eU_F}{nkT} \right). \quad (2)$$

Bezrozměrná konstanta  $n$  zahrnuje všechny faktory definují konkrétní diodu – materiál, výrobní technologie, geometrie atd.

Sériový statický odpor je definován:

$$R_d = \frac{U_{F_0}}{I_{F_0}}, \quad (3)$$

kde  $U_{F_0}$  a  $I_{F_0}$  jsou pracovní body. Sériový dynamický odpor:

$$R_{di} = \left. \frac{dU_F}{dI_F} \right|_{I_{F_0}}. \quad (4)$$

Z rovnic (3) a (4) lze určit vztah mezi statickým a dynamickým odporem jako:

$$R_{di} = R_d \frac{nkT}{eU_F}. \quad (5)$$

Ze vztahu (2) lze vyjádřit  $n$ :

$$n = \frac{e(U_{F_1} - U_{F_2})}{kT \ln \frac{I_{F_1}}{I_{F_2}}}. \quad (6)$$

Ze vztahů (3), (4), (6) můžeme z naměřené voltampérové charakteristiky stanovit  $R_d$ ,  $R_{di}$  a  $n$ .

Prahové napětí  $U^*$  je určeno průnikem směrnic části voltampérové charakteristiky, jež je lineární, s vodorovnou osou. Je přibližně rovno šířce zakázaného pásu polovodiče.

### Fototranzistor

Při osvětlení fototranzistoru vznikají v bázi, kde je světlo pohlcováno, páry minoritních nosičů proudu, jež přetékají do kolektoru a vytvářejí primární fotoproud  $I_\Phi$ . Majoritní nosiče zůstávají v bázi a snižují potenciálovou bariéru. Takto dochází k zesílení primárního fotoproudu. Mezi zesíleným kolektorovým proudem  $I_{CO}$  a fotoproudem pak platí následující přibližný vztah:

$$I_{CO} = GI_\Phi, \quad (7)$$

kde  $G$  je zisk tranzistoru. Pokud zkratujeme editor s bází, můžeme měřit primární fotoproud. Pokud určíme při téže napětí  $I_\Phi$  a  $I_{CO}$ , můžeme určit  $G$ .

### Výsledky měření

Tabulka 1: Voltampérová a světelné charakteristiky LED diod.

červená LQ 1131					zelená L-934LGD				
$U$ [V]	$\sigma_V$ [V]	$I$ [mA]	$\sigma_I$ [mA]	$\Phi$	$U$ [V]	$\sigma_V$ [V]	$I$ [mA]	$\sigma_I$ [mA]	$\Phi$
0,2083	0,0005	0,0000	0,0001	0	0,4659	0,0008	0,0000	0,0001	0
0,6258	0,0009	0,0000	0,0001	0	1,5689	0,0019	0,0026	0,0001	0
1,1465	0,0014	0,0001	0,0001	0	1,7418	0,0020	0,1047	0,0005	0
1,2023	0,0015	0,0010	0,0001	0	1,7822	0,0021	0,250	0,002	0
1,2874	0,0016	0,0047	0,0001	0	1,8295	0,0021	0,634	0,004	0
1,3700	0,0017	0,0265	0,0002	0	1,8756	0,0022	1,353	0,006	0
1,4168	0,0017	0,0787	0,0004	0	1,8994	0,0022	1,893	0,009	0
1,4343	0,0017	0,1209	0,0006	0	1,9262	0,0022	2,59	0,02	1
1,4781	0,0018	0,368	0,002	0	1,9432	0,0022	3,12	0,02	1
1,4905	0,0018	0,515	0,003	0	1,9555	0,0023	3,55	0,02	2
1,5015	0,0018	0,682	0,004	0	1,9718	0,0023	4,10	0,03	2
1,5181	0,0018	1,038	0,005	0	1,9844	0,0023	4,58	0,03	2
1,5274	0,0018	1,327	0,006	1	1,9945	0,0023	4,95	0,03	3
1,5395	0,0018	1,824	0,008	2	2,006	0,005	5,26	0,03	3
1,5472	0,0018	2,21	0,02	3	2,016	0,005	5,68	0,03	3
1,5525	0,0019	2,54	0,02	3	2,028	0,005	6,18	0,03	4
1,5602	0,0019	3,06	0,02	4	2,034	0,005	6,46	0,04	4
1,5651	0,0019	3,46	0,02	5	2,043	0,005	6,84	0,04	4
1,5709	0,0019	3,98	0,03	6	2,051	0,005	7,21	0,04	5

1,5784	0,0019	4,71	0,03	8	2,064	0,005	7,79	0,04	5
1,5826	0,0019	5,23	0,03	9	2,075	0,005	8,28	0,04	5
1,5874	0,0019	5,84	0,03	10	2,089	0,005	8,93	0,05	6
1,5906	0,0019	6,24	0,03	11	2,102	0,005	9,56	0,05	6
1,5939	0,0019	6,68	0,04	12	2,110	0,005	9,93	0,05	6
1,5975	0,0019	7,20	0,04	13	2,120	0,005	10,42	0,05	7
1,6036	0,0019	8,12	0,04	15	2,129	0,005	10,90	0,05	7
1,6088	0,0019	9,07	0,05	17	2,140	0,005	11,45	0,06	8
1,6117	0,0019	9,62	0,05	18	2,151	0,005	11,98	0,06	8
1,6170	0,0019	10,55	0,05	20	2,162	0,005	12,56	0,06	9
1,6191	0,0019	11,08	0,05	21	2,177	0,005	13,36	0,06	9
1,6216	0,0019	11,58	0,06	22	2,199	0,005	14,46	0,07	10
1,6262	0,0019	12,50	0,06	24	2,227	0,005	15,95	0,07	11
1,6280	0,0019	12,96	0,06	25	2,252	0,005	17,30	0,08	12
1,6326	0,0019	13,94	0,07	27	2,281	0,005	18,84	0,09	13
1,6344	0,0019	14,35	0,07	28	2,288	0,005	19,47	0,09	13
1,6364	0,0019	14,88	0,07	29	2,313	0,005	20,8	0,2	14
1,6390	0,0019	15,50	0,07	30	2,322	0,005	21,5	0,2	14
1,6407	0,0019	15,95	0,07	31	2,342	0,005	22,4	0,2	15
1,6428	0,0019	16,44	0,08	32	2,360	0,005	23,6	0,2	15
1,6449	0,0019	16,97	0,08	33	2,375	0,005	24,3	0,2	16
1,6465	0,0019	17,50	0,08	34	2,391	0,005	25,3	0,2	16
1,6482	0,0019	17,98	0,08	35	2,414	0,005	26,4	0,2	17
1,6499	0,0019	18,51	0,08	36	2,423	0,005	27,0	0,2	17
1,6518	0,0020	19,06	0,09	37	2,447	0,005	28,5	0,2	18
1,6538	0,0020	19,58	0,09	38	2,475	0,005	30,0	0,2	19
1,6547	0,0020	20,3	0,2	39					
1,6570	0,0020	20,7	0,2	40					
1,6586	0,0020	21,3	0,2	41					
1,6604	0,0020	21,9	0,2	42					
1,6628	0,0020	22,6	0,2	43					
1,6645	0,0020	23,1	0,2	44					
1,6664	0,0020	23,6	0,2	45					
1,6677	0,0020	24,1	0,2	46					
1,6694	0,0020	24,7	0,2	47					
1,6707	0,0020	25,2	0,2	48					
1,6728	0,0020	25,9	0,2	49					
1,6743	0,0020	26,3	0,2	50					
1,6752	0,0020	27,0	0,2						
1,6787	0,0020	27,9	0,2						
1,6793	0,0020	28,8	0,2						
1,6813	0,0020	29,5	0,2						
1,9822	0,0023	30,0	0,2						

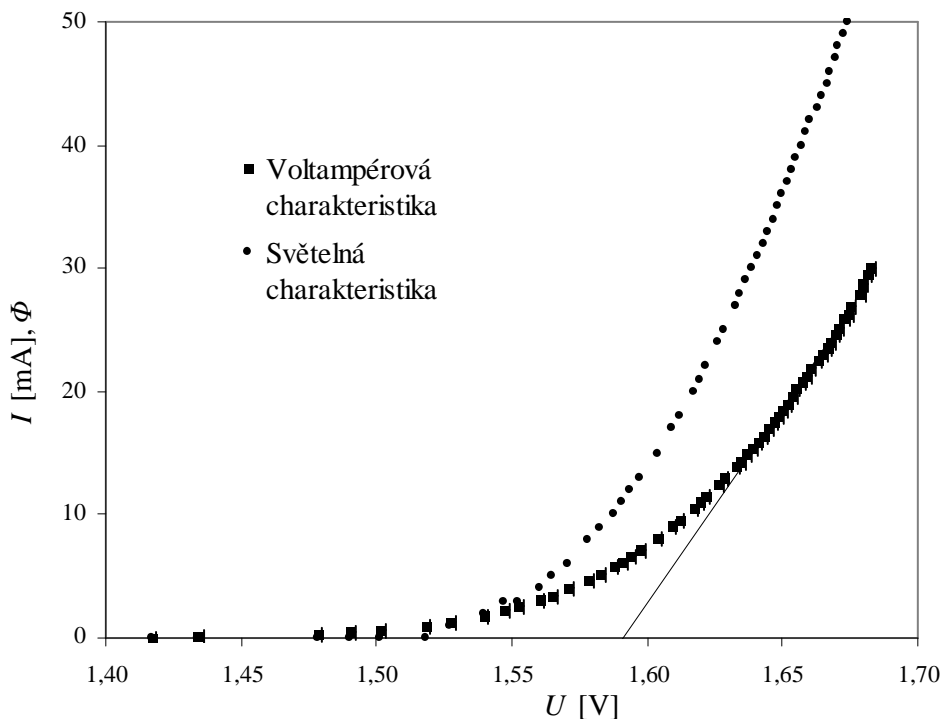
Chyba proudu a napětí  $\sigma$  je určena podle manuálů k použitým digitálním přístrojům. Osvětlení bylo měřeno galvanometrem, jehož přesnost odhaduji na 0,5 dílku, ke konci měření červené diody byly měřené hodnoty fotoproudu mimo stupnici a měření při vyšším bylo natolik nepřesné, že jsem ho vynechal. Osvětlení je pouze v relativních jednotkách, neboť fotodioda nebyla kalibrována. Charakteristiky červené diody jsem určoval při jmenovitém proudu 20,3 mA a zelené při 20,8 mA.

Tabulka 2: Charakteristiky diod

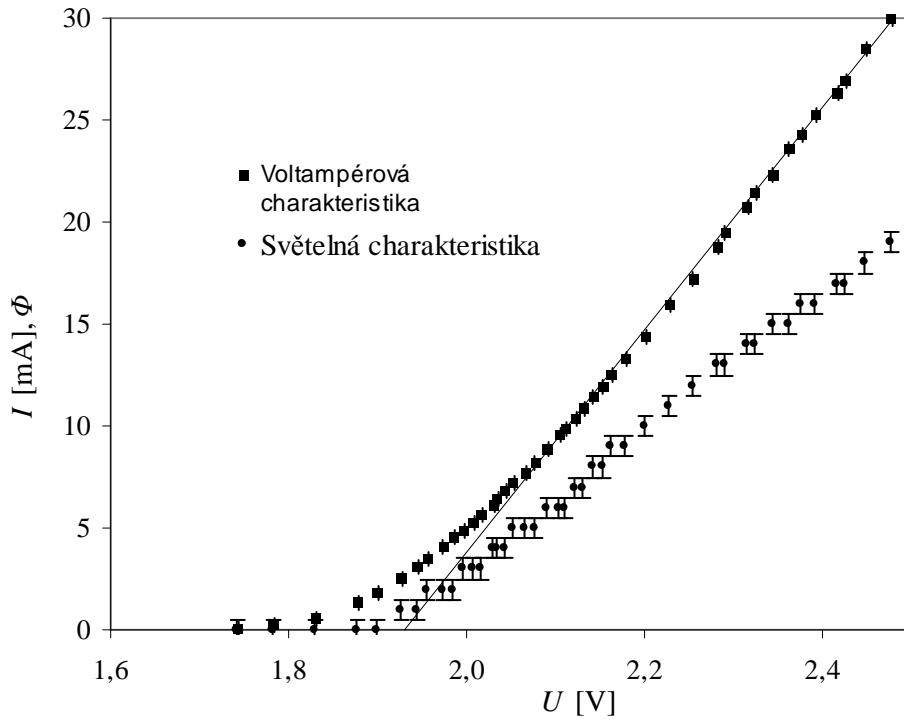
	LQ 1131	L-934LGD
$R_d$ [ $\Omega$ ]	$81,5 \pm 0,7$	$111,2 \pm 1,0$
$R_{di}$ [ $\Omega$ ]	$3,2 \pm 0,5$	$18,3 \pm 0,6$
$U^*$ [V]	$1,59 \pm 0,06$	$1,90 \pm 0,04$
$n$	$1,61 \pm 0,02$	$1,85 \pm 0,03$

$R_d$  jsem určil dle vztahu (3). Při určování  $R_{di}$  jsem okolí jmenovitého proudu proložil přímkou a dle vztahu (4) určil směrnici.  $U^*$  jsem určil proložení celé lineární části voltampérové charakteristiky přímkou. Hodnotu  $n$  jsem určil z grafu  $\ln(I)(U)$ , jehož lineární část jsem proložil přímkou. Všechny chyby jsou určeny přenosem chyb z použitých vztahů a regrese. Hodnoty  $k$  a  $e$  pro určení  $n$  jsou z [2]. Protože jsem nezměřil přesnou teplotu v laboratoři, odhadl jsem ji jako  $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ . Ze zjištěných hodnot prahových napětí vyplývá, že obě diody jsou GaAsP, přičemž v LQ 1131 je více As a v L-934LGD více P.

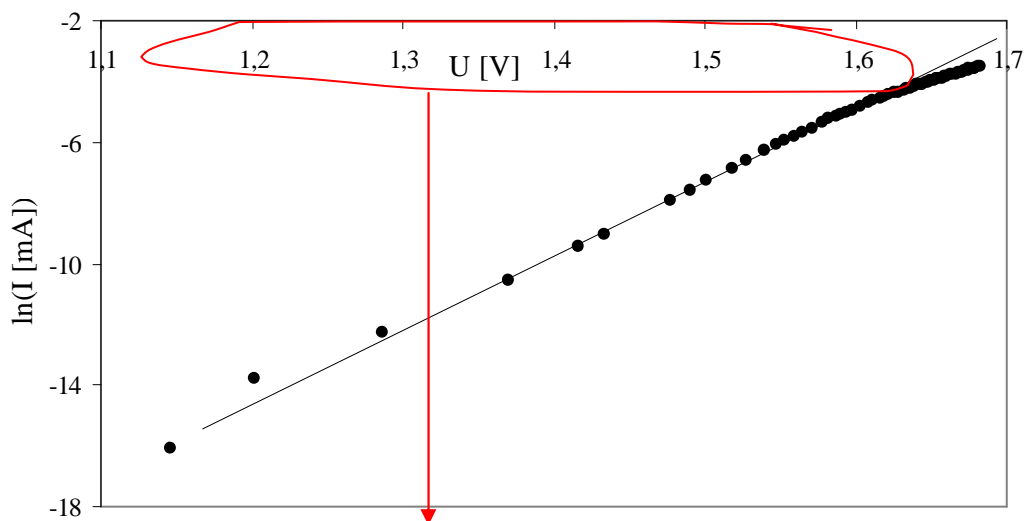
Graf 1: Charakteristiky červené diody LQ 1131



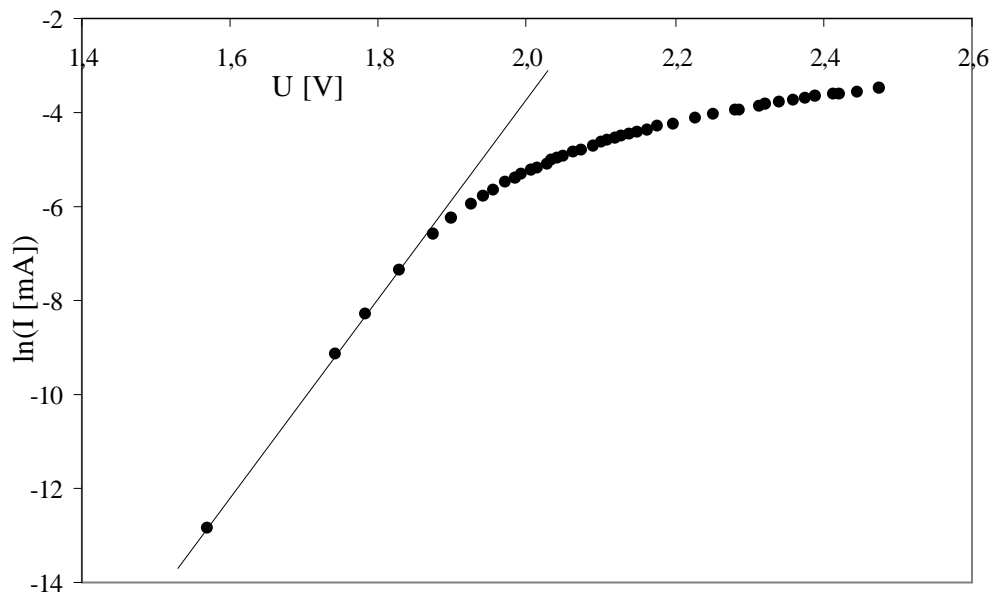
Graf 2: Charakteristiky zelené diody L-934LGD



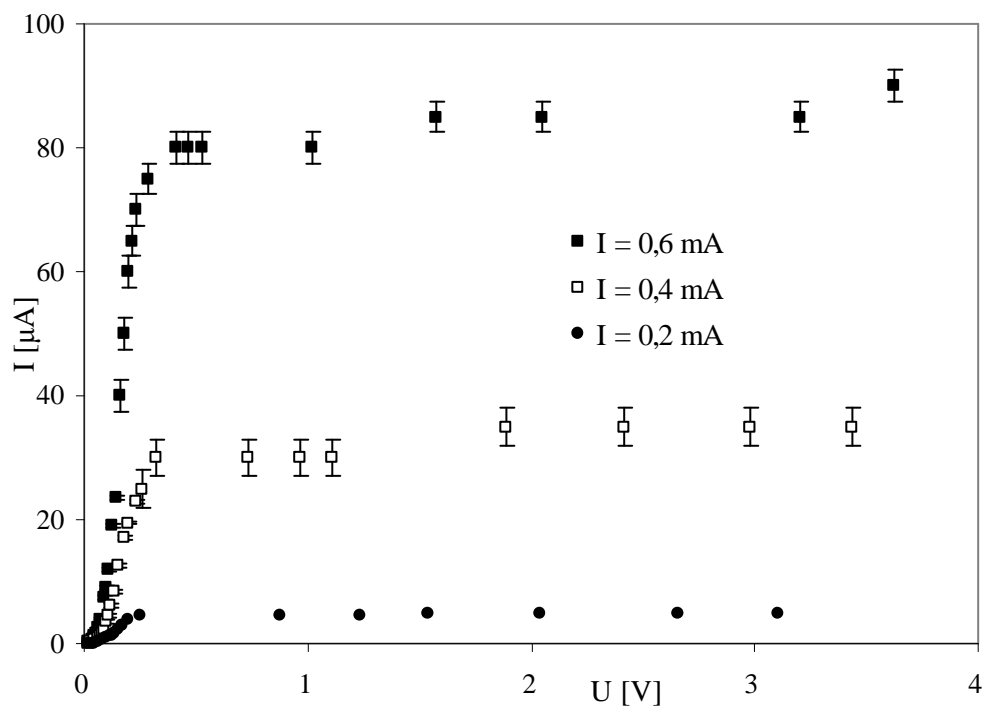
Graf 3: závislost logaritmu proudu na napětí diody LQ 1131



Graf 4: Závislost logaritmu proudu na napětí diody L-934LGD



Graf 5: Voltampérové charakteristiky fototranzistoru



Ve všech grafech jsou chybové úsečky vyznačeny jen tam, kde jsou větší než body naměřených hodnot.

Tabulka 3: Charakteristiky pro fototranzistor

$I_D = 0,6 \text{ mA}$				$I_D = 0,4 \text{ mA}$				$I_D = 0,2 \text{ mA}$			
$U$ [mV]	$\sigma_U$ [mV]	$I$ [ $\mu\text{A}$ ]	$\sigma_I$ [ $\mu\text{A}$ ]	$U$ [mV]	$\sigma_U$ [mV]	$I$ [ $\mu\text{A}$ ]	$\sigma_I$ [ $\mu\text{A}$ ]	$U$ [mV]	$\sigma_U$ [mV]	$I$ [ $\mu\text{A}$ ]	$\sigma_I$ [ $\mu\text{A}$ ]
17,1	0,3	0,25	0,03	18,9	0,3	0,15	0,03	17,2	0,3	0,05	0,03
32,4	0,3	0,65	0,03	30,8	0,3	0,25	0,03	33,4	0,3	0,10	0,03
43,1	0,3	1,00	0,03	43,7	0,3	0,50	0,03	45,3	0,3	0,15	0,03
46,4	0,3	1,20	0,03	58,2	0,4	0,85	0,03	63,6	0,4	0,25	0,03
53,9	0,4	1,60	0,03	69,2	0,4	1,30	0,03	85,0	0,4	0,55	0,03
64,8	0,4	2,45	0,03	77,3	0,4	1,70	0,03	102,8	0,4	0,90	0,03
70,0	0,4	4,0	0,3	86,0	0,4	2,25	0,03	113,6	0,4	1,15	0,03
90,0	0,4	7,5	0,3	95,5	0,4	3,5	0,3	123,8	0,4	1,40	0,03
95,8	0,4	9,0	0,3	104,0	0,4	4,5	0,3	135,6	0,4	1,75	0,03
107,5	0,4	12,0	0,3	114,1	0,4	6,0	0,3	156,2	0,5	2,30	0,03
128,8	0,4	19,0	0,3	132,6	0,4	8,5	0,3	168,5	0,5	3,0	0,3
140,5	0,4	23,5	0,3	152,1	0,5	12,5	0,3	200,3	0,5	4,0	0,3
160,1	0,5	40	3	178,9	0,5	17,0	0,3	248,5	0,5	4,5	0,3
177,3	0,5	50	3	194,3	0,5	19,5	0,3	876,5	1,2	4,5	0,3
200,5	0,5	60	3	229,3	0,5	23,0	0,3	1238,0	1,5	4,5	0,3
212,6	0,5	65	3	258,4	0,6	25	3	1538,1	1,8	5,0	0,3
236,5	0,5	70	3	319,5	0,6	30	3	2036	5	5,0	0,3
287,3	0,6	75	3	730,9	1,0	30	3	2654	6	5,0	0,3
407,3	0,7	80	3	962,4	1,3	30	3	3101	6	5,0	0,3
464,9	0,8	80	3	1109	4	30	3				
528,0	0,8	80	3	1890	5	35	3				
1023,7	1,3	80	3	2414	5	35	3				
1573,5	1,9	85	3	2984	6	35	3				
2045	5	85	3	3434	6	35	3				
3202	6	85	3								
3620	7	90	3								

Chyba napětí je určena podle manuálu k použitému digitálnímu přístroji. Proud byl měřen galvanometrem, jehož přesnost odhaduji na 0,5 dílku.  $I_D$  je proud LED diodou, jež osvětlovala fototranzistor, tj. určuje osvětlení.

Tabulka 4: Zisk tranzistoru

$I_D$ [mA]	0,6	0,4	0,2
$I_\Phi$ [ $\mu\text{A}$ ]	$0,25 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,03$
$I_{CO}$ [ $\mu\text{A}$ ]	$90 \pm 3$	$35 \pm 3$	$5,0 \pm 0,3$
$G$	$360 \pm 45$	$233 \pm 51$	$100 \pm 60$

$I_\Phi$  je primární fotoproud,  $I_{CO}$  kolektorový proud,  $G$  zisk tranzistoru, chyby  $I$  stejně jako v tab. 3, chyba  $G$  určena přenosem chyb ze vztahu (7). Hodnoty v tab. 4 jsou při nasyceném proudu  $I_{CO}$ .



## Diskuse

Naměřené voltampérové charakteristiky elektroluminiscenčních diod a fototranzistoru odpovídají očekávaným. Při určování  $U^*$  a  $n$  byla chyba dána zejména neurčitým přechodem k lineární závislosti. Poměrně velká nejistota při prokládání stála také za vcelku velkou chybou určení dynamického odporu.

Při měření voltampérových charakteristik fototranzistoru je vidět, že v oblasti nasyceného proudu bylo měření zatíženo poměrně velkými chybami způsobenými velkým rozdílem jednotlivých rozsahů galvanometru. Naměřené hodnoty fotoproudu jsou rovněž zatíženy velkou chybou z důvodů velmi malých hodnot proudu.

## Závěr

Změřil jsem průběh voltampérových a světelných charakteristik elektroluminiscenčních diod, zaznamenal je do grafů 1-4 a určil vlastnosti těchto diod: Statický odpor ( $81,5 \pm 0,7$ )  $\Omega$  u červené resp. ( $111,2 \pm 1,0$ )  $\Omega$  u zelené diody, dynamický odpor ( $3,2 \pm 0,5$ )  $\Omega$  resp. ( $18,3 \pm 0,6$ )  $\Omega$ , prahové napětí ( $1,59 \pm 0,06$ ) V resp. ( $1,90 \pm 0,04$ ) V, konstanta  $n$  ( $1,61 \pm 0,02$ ) resp. ( $1,85 \pm 0,03$ ).

Změřil jsem také voltampérové charakteristiky fototranzistoru při různých hladinách osvětlení a zaznamenal je do grafu 5. Při různých hladinách osvětlení jsem určil zisk fototranzistoru jako ( $360 \pm 45$ ) resp. ( $233 \pm 51$ ) resp. ( $100 \pm 60$ ).

## Literatura

[1] I. Pelant, V. Kohlová, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fährnich: Fyzikální praktikum III: Optika, Matfyzpress, Praha 2005

[2] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980