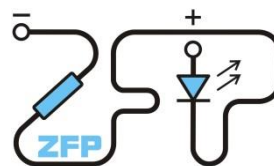


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. 5

Název úlohy: .....

Jméno: Katarína Križanová

Obor: FOF

Datum měření: .....

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	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	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## I. Pracovná úloha

1. Na internete nájdite katalógové listy všetkých optoelektronických súčiastok, ktoré budete v úlohe používať, konkrétne merané súčiastky vyberie vyučujúci. Parametre dôležité k splneniu pracovných úloh vypíšete a priložite k zápisu z merania.

2. Odmerajte V-A a svetelné charakteristiky dvoch luminiscenčných diód v priepustnom smere a určite, z akého materiálu sú vyrobené. Namerané charakteristiky spracujte graficky.

3. Zo zmeraných V-A charakteristík určite pre jednotlivé diódy statický odpor  $R_d$  a dynamický odpor  $R_{di}$ , hodnotu konštanty  $n$  a prahové napätie  $U^*$ .

4. Odmerajte charakteristiku fototranzistoru pri troch rôznych hladinách osvetlenia.

5. Určite zisk fototranzistoru.

## II. Teoretická časť

### 1.1 LED diódy, svetelná a V-A charakteristika

Luminiscenčná dioda (LED = Light Emitting Diode) je polovodičová súčiastka, ktorá má PN prechod, tj. spojenie polovodiča typu P s typom N. Ak zapojíme LED diódu v prepustnom smere, uplatňuje dioda elektroluminiscenčný jav. [1]

V-A charakteristika LED diódy je závislosť elektrického prúdu  $I$  prechádzajúceho diódou (PN prechodom) na priloženom napätí  $U$ . V prípade, že platí, že  $U \geq 100 \text{ mV}$  a súčasne  $U \gg IR_S$ , kde  $R_S$  je sériový odpor diódy, môžeme V-A charakteristiku približne popísať vzťahom [1]

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eU}{nkT}\right), \quad (1)$$

pričom  $I_0$  je zbytkový prúd pri nulovom napätí,  $e$  je náboj elektrónu,  $k$  je Boltzmannova konštanta ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  [2]),  $T$  známe absolútnu teplotu a  $n$  je dané tvarom, technológiami výroby, materiálom a inými vlastnosťami PN prechodu. Teda,  $n$  charakterizuje mechanizmus prenosu náboja prechodom.

Statický sériový odpor  $R_d$  v pracovnom bode  $U_0 I_0$  definujeme

$$R_d = \frac{U_0}{I_0} \quad (2)$$

a dynamický sériový odpor  $R_{di}$  zas definujeme ako

$$R_{di} = \left. \frac{dU}{dI} \right|_{I_0}. \quad (3)$$

Využitím vzťahov (1) - (3) dostávame vzťah pre dynamický odpor

$$R_{di} = R_d \frac{nkT}{eU_0}. \quad (4)$$

Prahové napätie  $U^*$  určíme extrapoláciou lineárnej časti V-A charakteristiky. Hodnotu  $n$  je možné určiť alebo fitovaním exponenciály na exponenciálnu časť V-A charakteristiky, alebo zo smernice linearizovanej exponenciálnej časti V-A charakteristiky. Hodnotu  $n$  zistíme zo smernice lineárnej časti logaritmickej závislosti  $\ln I = f(U)$  podľa (1) vzťahom

$$n = \frac{e}{skT} \quad (5)$$

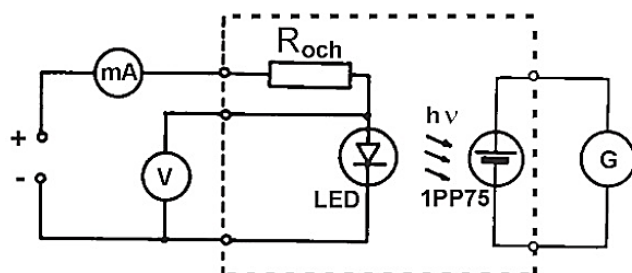
### 1.2 Fototranzistor

Optoelektronickú súčiastku slúžiacu na detekciu žiarenia využívajúcu opačný dej ku elektroluminiscenčnému javu, nazývame fotodióda. Ak skratujeme vývod báze a emitora fototranzistoru, správa sa ako fotodióda, preteká ním za týchto okolností len primárny fotoprúd  $I_\Phi$ . V prípade, že je kolektorový prúd pri určitom osvetlení  $I_{CO}$  potom platí

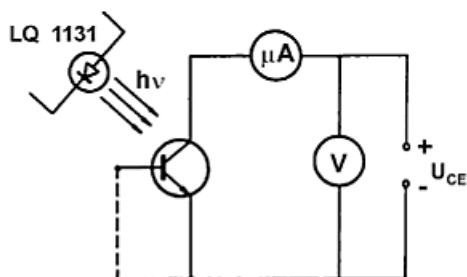
$$I_{CO} = GI_\Phi, \quad (6)$$

pričom  $G$  je zisk fototranzistoru. Zisk bežných fototranzistorov je  $\approx 100$ . Prúdový zosilovací činiteľ  $\alpha_0$  je určený vzťahom [1]

$$G = \frac{1}{1-\alpha_0}. \quad (7)$$



Obrázok 1: Zapojenie pre meranie charakteristiky LED, prevzaté z [1]



Obrázok 2: Zapojenie pre meranie charakteristiky fototranzistoru, prevzaté z [1]

### III. Výsledky merania

#### 3.1 Meracie prístroje a použité konštanty

Prístroj Keithley 6457 som použila ako pikoampérmetr, hodnoty prúdu sa na posledných desiatinných miestach menili a preto uvádzané hodnoty sú odhadnutým priemerom spolu s odhadnutou chybou.

Na odčítanie napätia som použili multimeter MY-65 s chybou v danom rozsahu  $\pm 0,1\% + 3D$ . Ampérmetr RFT má chybu  $\pm 1\% + 3D$ .

Použité konštanty [2], [3]:

Boltzmanova konštanta  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

Elementárny náboj  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

#### 3.2 Spracovávanie chýb

V prípade, že neuvádzam inak, uvedené chyby sú vypočítané podľa vzťahu [4]

$$\sigma_{f(x_i)} = \sqrt{\sum_i \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}$$

#### 3.3 Meranie charakteristik diód

Obvod som zapojila podľa obrázku 1. Pre rôzne hodnoty napätia  $U$  na diode som zisťovala tečúci prúd  $I$  a prúd pretekajúci fotodiódou  $I_\phi$ . Prúd prechádzajúci všetkými tromi diódami nesmel prekročiť hodnoty maximálneho prúdu zadaného v tabuľke T1.

T1: Použité LED diódy a maximálny prúd

dióda	LQ 1131	L-934 LGD	L-5134D
$I_{\max}$	40 mA	20 mA	30 mA

Prahové napätie všetkých troch diód som zistila pomocou lineárnej regresie v oblasti lineárnej V-A charakteristiky. Používala som rovnicu priamky  $I = aU + b$ . Použitím funkcie LINEST teda dostávam koeficienty pre všetky tri V-A charakteristiky LED diód I spolu s chybami fitu. Vďaka týmto koeficientom možno určiť priesečník priamky s osou x a tak dostávam hodnotu prahového napätia.

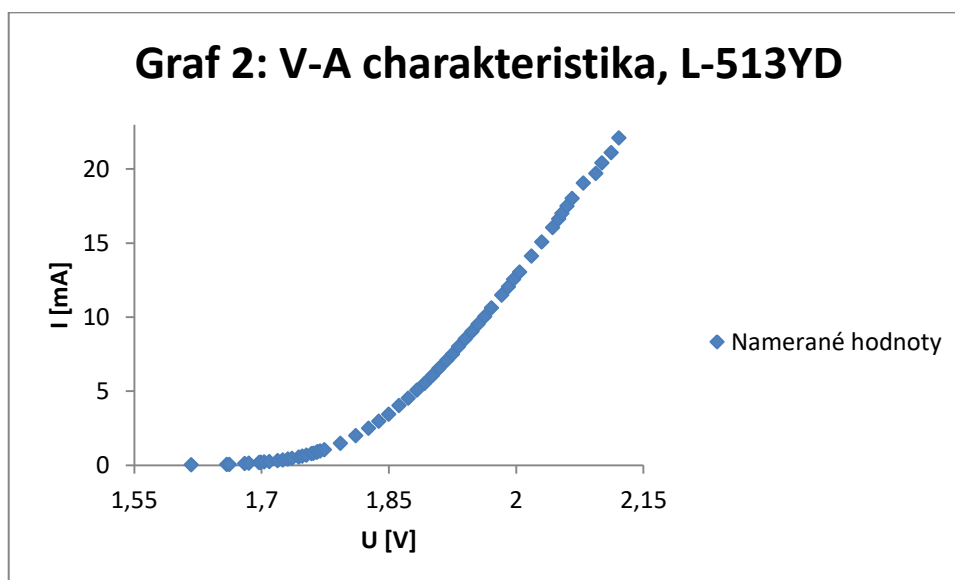
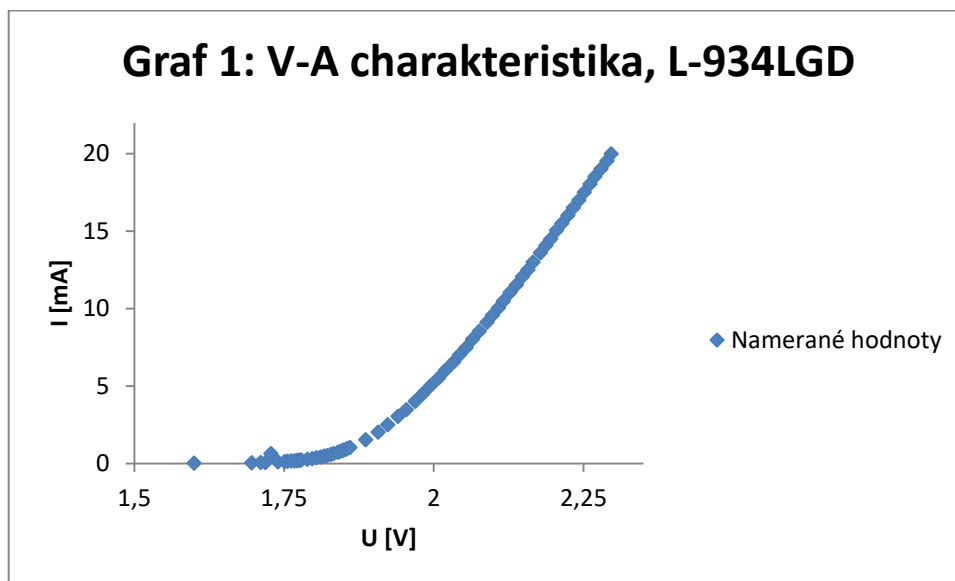
$$\text{LQ 1131: } I = (250,7 \pm 6,7) \cdot 10^{-3} U + (-395 \pm 11) \cdot 10^{-3} \text{ [A]}, U^* = 1,58 \pm 0,94$$

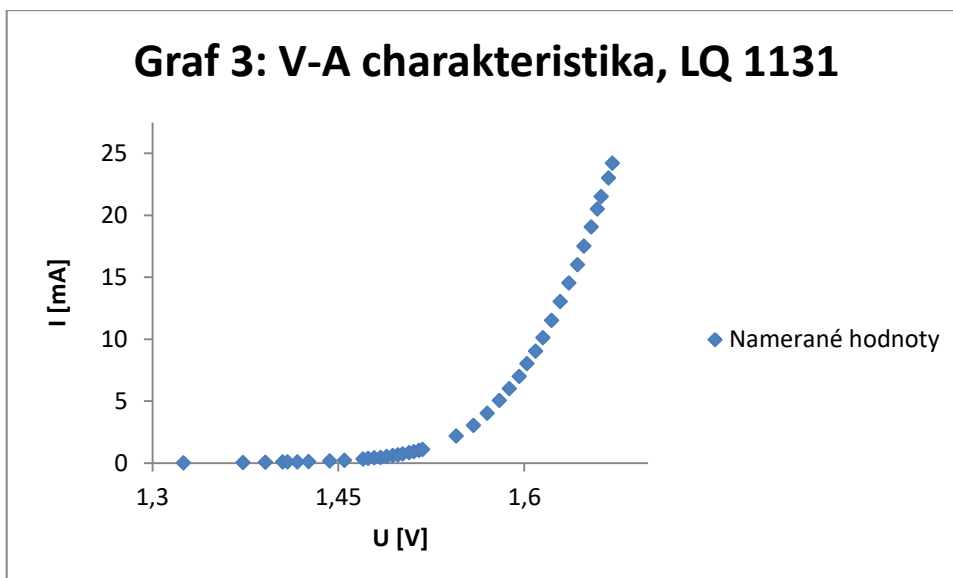
$$\text{L-934 LGD: } I = (51,53 \pm 0,27) \cdot 10^{-3} U + (-98,54 \pm 0,60) \cdot 10^{-3} \text{ [A]}, U^* = 1,91 \pm 0,41$$

$$\text{L-5134D: } I = (74,89 \pm 0,51) \cdot 10^{-3} U + (-136,9 \pm 1,1) \cdot 10^{-3} \text{ [A]}, U^* = 1,83 \pm 0,50$$

Využitím týchto zistených priamok môžem určiť i prahové napätie  $U^*$  a to tak, že určím priesečník s osou x.

V grafoch 1-3 sú nanesené V-A charakteristiky pre jednotlivé diódy.





Následne som určila statický a dynamický odpor všetkých troch diód. Ako pracovný bod som použila  $I_{F0} = 20\text{mA}$ . Na určenie napätia som využila znovu fit v lineárnej oblasti. Statický odpor som dopočítala zo vzťahu (2).

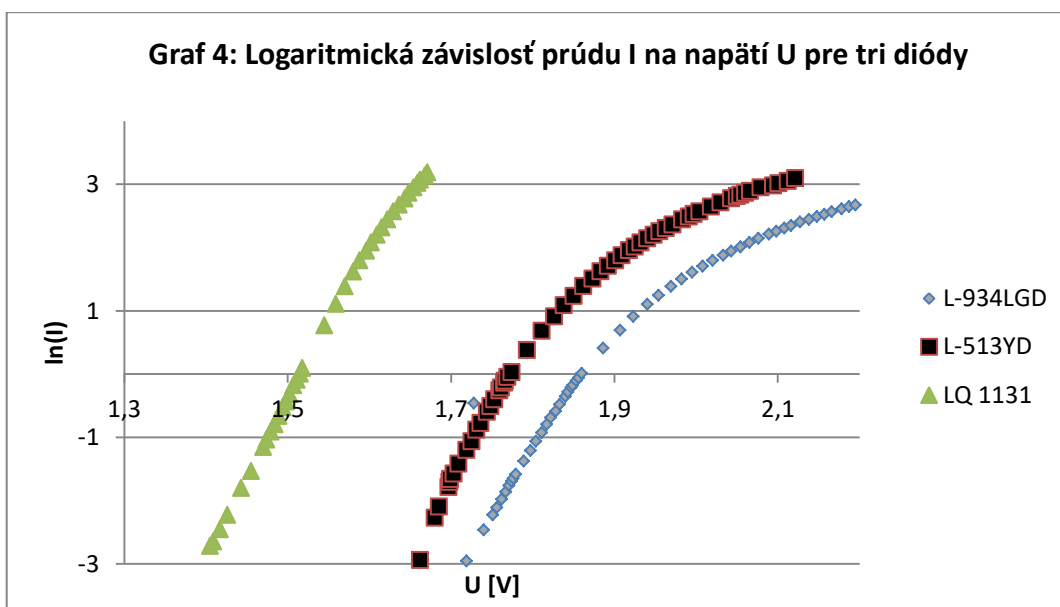
LQ 1131:  $R_d = (82,7 \pm 0,7) \Omega$   
 L-934 LGD:  $R_d = (115,0 \pm 6,1) \Omega$   
 L-5134D:  $R_d = (99,4 \pm 3,5) \Omega$

Dynamický odpor som určila podľa vzťahu (3) a to ako dotyčnicu v danom bode.

LQ 1131:  $R_{di} = (2,10 \pm 0,71) \Omega$   
 L-934 LGD:  $R_{di} = (2,31 \pm 0,05) \Omega$   
 L-5134D:  $R_{di} = (2,40 \pm 0,15) \Omega$

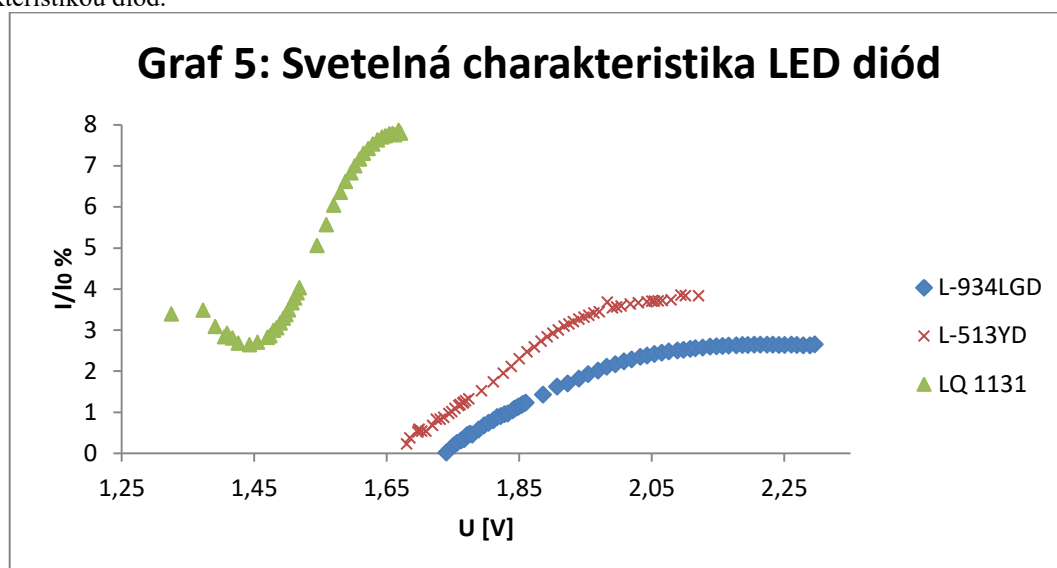
V grafe 4 je vynesená logaritmická závislosť prúdu na napätí pre všetky tri použité LED diódy. Konštantu  $n$  som zistila zo smernice priamky hodnôt logaritmu  $I$  v závislosti na napätí  $U$ .

LQ 1131:  $n = (1,7 \pm 0,1)$   
 L-934 LGD:  $n = (2,1 \pm 0,1)$   
 L-5134D:  $n = (2,3 \pm 0,1)$



Za pomoci vzťahu (4) som určila konštantu  $n$ . Hodnotu teploty, ktorú som použila je  $T = 297,35 \text{ K}$  čo korešponduje s teplotou v laboratóriu  $t = 24,2 \pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

V grafe 5 je nanesená svetelná charakteristika LED diód, ktorá bola meraná zároveň s V-A charakteristikou diód.



### 3.4 Fototranzistor

Merala som pri troch rozdielnych osvetleniach, ktoré boli pri daných prúdoch pretekajúcich cez diódu. Tieto prúdy mali hodnoty  $0,200\text{mA}$ ,  $0,400\text{mA}$  a  $0,600\text{mA}$ . Všetky hodnoty boli automaticky zaznamenávané prístrojom Keithley, meranie prebiehalo od 0 do 10 V a do 1V som zvolila častejší zber dát. Následne som vyniesla závislosť do grafu, ktorý sa nachádza v prílohe pri nameraných údajoch. Na tomto grafe vidieť V-A charakteristiku fototranzistoru pri rôznych osvetleniach.

Hodnoty použité pre získanie fototranzistoru sú uvedené v tabuľke T2. Tieto hodnoty som namerala pri konštantnej hodnote napätia  $U = 5\text{V}$ . V tabuľke T2 som uviedla namerané hodnoty prúdu  $I_\Phi$  v stave, v ktorom sa fototranzistor správa ako fotodióda, ktoré som získala skratovaním.

T2: Fototranzistor

$I_{\text{osv}}$ [mA]	$U$ [V]	$I$ [ $\mu\text{A}$ ]	$I_\Phi$ [nA]	$G$	$\sigma G$
0,200	5	4,27	25,1	170	6
0,400	5	24,3	95,6	254	9
0,600	5	65,5	205,5	319	12

## IV. Diskusia výsledkov

V-A charakteristika oboch diód je v priepustnom smere diódového typu. Overila som, že v oblasti do prahového napätia platí exponenciálna závislosť a potom prejde závislosť na lineárnu, čo vidieť v grafoch 1-3 pre všetky tri študované diódy. Exponenciálna časť V-A charakteristiky je po zlogaritmovaní v grafe 4 lineárna, čiže som naozaj overila, že ide približne o exponenciálnu závislosť.

Hodnoty prahového napätia, statického i dynamického odporu som zistila sz lineárnej regresie. Pri určovaní konštanty  $n$  som využila lineárny fit lineárnej časti grafu  $\ln(I)$  v závislosti na napätí  $U$ .

Meranie s fototranzistorom bolo prevádzané pomocou automatického zberu dát na zariadení Keithley. Chyba tohto merania je malá ak ju porovnáme so zmenou osvetlenia diódy, ktorú som napájala z externého zdroja a ktorá bola spôsobená jej zahriatím. Pre tri rôzne hodnoty osvetlenia som zistila získanie fototranzistoru tak, že som porovnávala hodnoty prúdu v móde tranzistoru a fotodiódy.

## V. Záver

V tabuľke T1 sú spísané dôležité hodnoty z katalógových listov pre meranie s vybranými tromi diódami. Pre tri diódy som zmerala V-A charakteristiky, ktoré som naniesla v grafoch 1-3, v grafe 4 je nanosená logaritmická závislosť prúdu na napätí.

Následne som určila hodnoty prahového napätia a statického i dynamického odporu.

LQ 1131:  $R_d = (82,7 \pm 0,7) \Omega$ ,  $R_{di} = (2,10 \pm 0,71) \Omega$ ,  $U^* = 1,58 \pm 0,94$

L-934 LGD:  $R_d = (115,0 \pm 6,1) \Omega$ ,  $R_{di} = (2,31 \pm 0,05) \Omega$ ,  $U^* = 1,91 \pm 0,41$

L-5134D:  $R_d = (99,4 \pm 3,5) \Omega$ ,  $R_{di} = (2,40 \pm 0,15) \Omega$ ,  $U^* = 1,83 \pm 0,50$

V grafe 5 je svtelná charakteristika všetkých troch LED diód.

Zistený zisk fototranzistoru je v tabuľke T2.

## VI. Zoznam použitej literatúry

[1] Študijný text dostupný z webových stránok Základní fyzikální praktikum:

[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/media/zadani/pokyny/mereni\\_305.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/media/zadani/pokyny/mereni_305.pdf)

[2] Wikipédia, internetová encyklopédia

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Boltzmannova\\_konstanta](http://cs.wikipedia.org/wiki/Boltzmannova_konstanta)

[3] Wikipédia, internetová encyclopedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Elementary\\_charge](https://en.wikipedia.org/wiki/Elementary_charge)

[4] English J.: Zpracování výsledku fyzikálních měření, 1999,

<http://physics.mff.cuni.cz/to.en/vyuka/zfp>