

Pracovní úkoly

1. Na internetu najdete katalogové listy všech optoelektronických součástek, které budete v úloze používat, konkrétní měřené součástky vybere vyučující. Parametry důležité ke splnění pracovních úkolů vypište a přiložte do zápisu z měření.
2. Změřte voltampérové a světelné charakteristiky dvou luminiscenčních diod v propustném směru a určete, z jakého materiálu jsou jednotlivé diody zhotoveny. Naměřené charakteristiky zpracujte graficky. Nezapomeňte na graf $\ln(I_F)$ vs. U_F .
3. Ze změřených V-A charakteristik určete pro jednotlivé diody statický odpor R_d , dynamický odpor R_{di} , hodnotu konstanty n a prahové napětí U^* .
4. Změřte charakteristiky fototranzistoru při třech různých hladinách osvětlení.
5. Určete zisk fototranzistoru.

Teoretická část

Statický odpor diody R_d v pracovním bodě U_{F0} , I_{F0} se spočítá dle [1]:

$$R_d = \frac{U_{F0}}{I_{F0}} \quad (1)$$

Dynamický odpor diody R_{di} v pracovním bodě U_{F0} , I_{F0} lze spočítat podle následujícího vzorce [1]:

$$R_{di} = \frac{nkT}{eI_{F0}} \quad (2)$$

Kde k je Boltzmanova konstanta, e je elementární náboj, T je absolutní teplota diody. Konstanta n vyjadřuje charakteristiku diody a její převrácená hodnota $\alpha = 1/n$ charakterizuje mechanismus přenosu náboje přechodem (difúze, rekombinace, tunelování) [1]. Hodnotu n lze určit pomocí následujícího vzorce [1]:

$$n = \frac{e}{kT} \frac{U_{F1} - U_{F2}}{\ln \frac{I_{F1}}{I_{F2}}} \quad (3)$$

Kde body (U_{F1}, I_{F1}) a (U_{F2}, I_{F2}) jsou dostatečně vzdálené.

Prahové napětí polovodičové diody lze určit ze směrnice V-A charakteristiky v lineární části. Pokud v lineární části stanovíme závislost $I = aU + b$, pak prahové napětí bude dané následujícím vztahem:

$$U^* = -\frac{b}{a} \quad (4)$$

Zisk tranzistoru zjistíme porovnáním proudu procházejícího kolektorem ICO a proudu I_ϕ , který bude procházet tranzistorem, pokud zkratujeme emitor s bází. Tranzistor poté bude

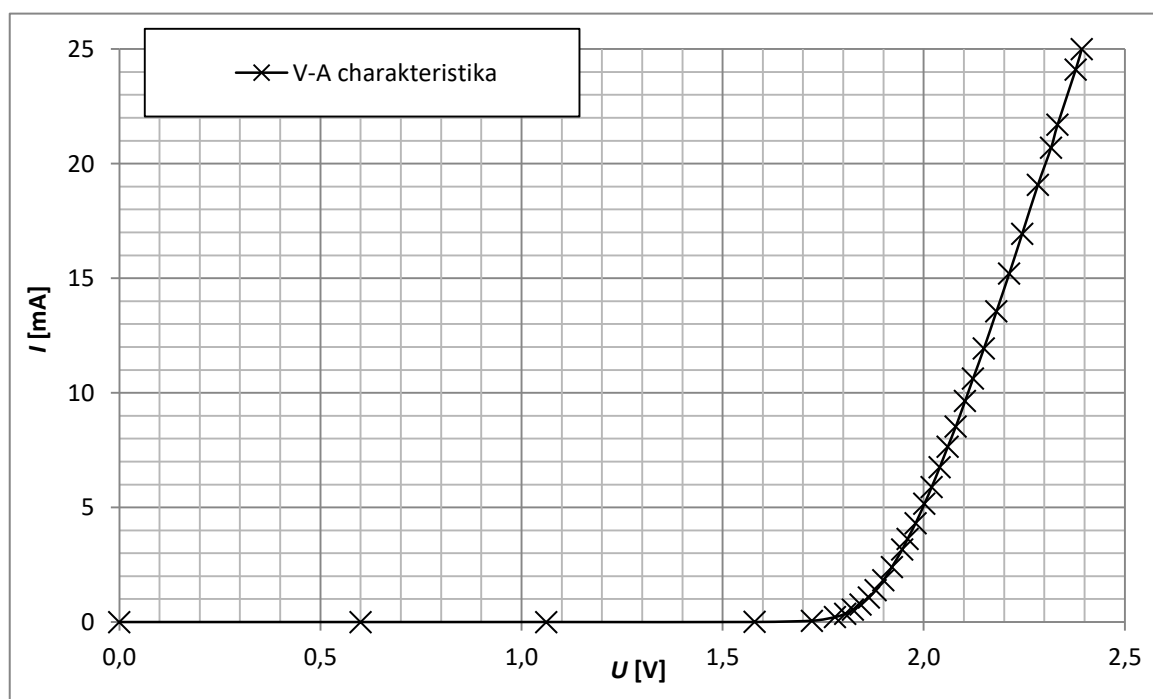
fungovat jako fotodiody a proud I_ϕ bude záviset na míře osvětlení fototranzistoru. Vzorec pro výpočet zisku G je dle [1] následující:

$$G = \frac{I_{co}}{I_\phi} \quad (5)$$

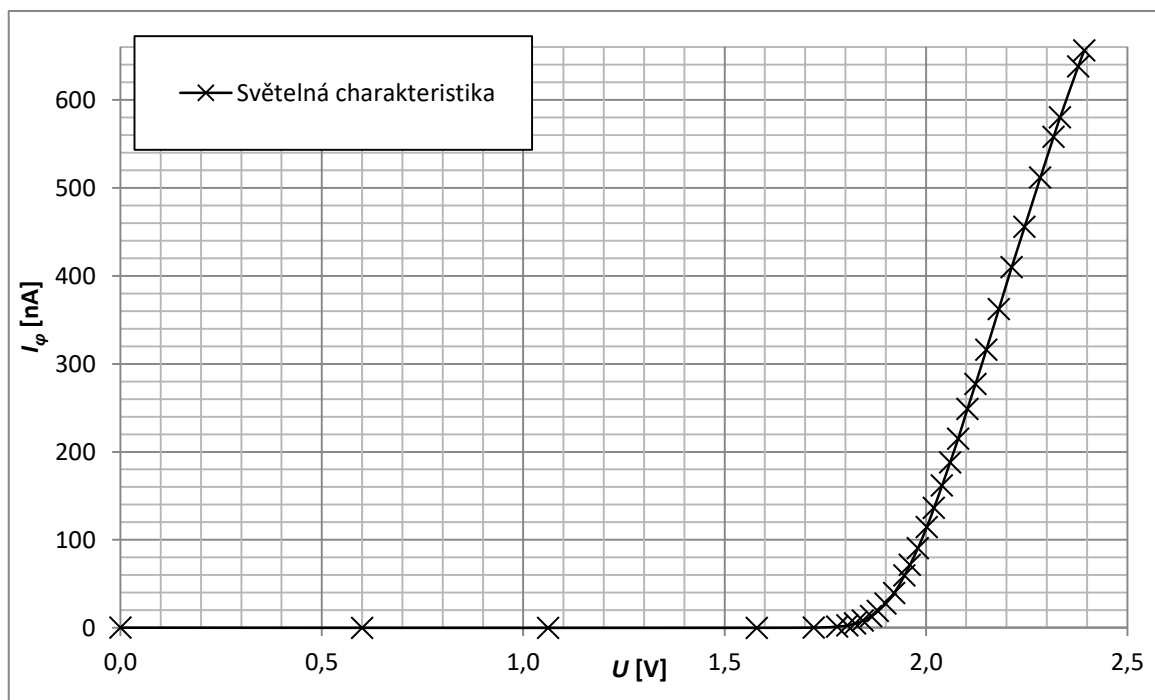
Výsledky měření

Laboratorní podmínky by neměly ovlivnit výsledky měření.

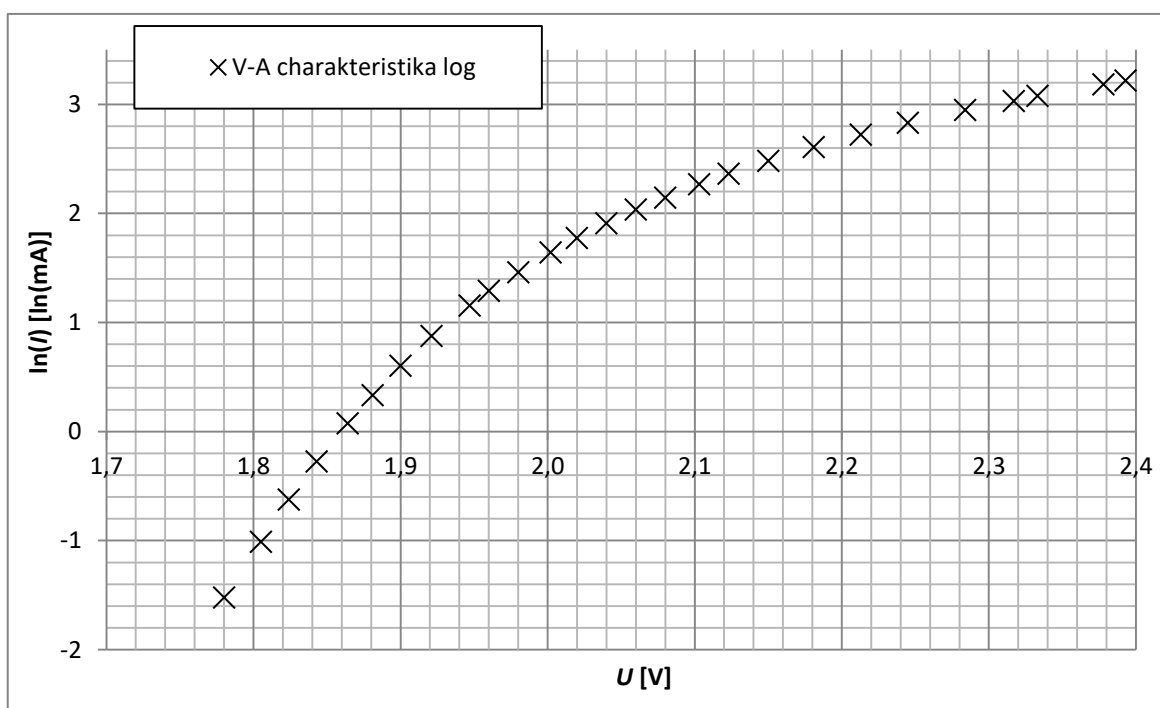
Nejprve jsme měřili V-A a světelnou charakteristiku diody L934LGD. Tato dioda měla zelenou barvu. Materiál diody byl GaP. Graf 1 zobrazuje V-A charakteristiku. Naměřené hodnoty jsou proloženy hladkou křivkou. Graf č. 2 obsahuje světelnou charakteristiku diody. Tato závislost byla stanovena za pomoci fotodiody, která byla osvětlena LED diodou. V grafu je tedy zachycena závislost proudu I_ϕ , indukovaného ve fotodiodě, na napětí U na LED diodě. Naměřená data jsou opět proložena hladkou křivkou. Graf č. 3 obsahuje závislost $\ln(I_F)$ na U .



Graf 1: V-A charakteristika diody L934LGD



Graf 2: Světelná charakteristika diody L934LGD



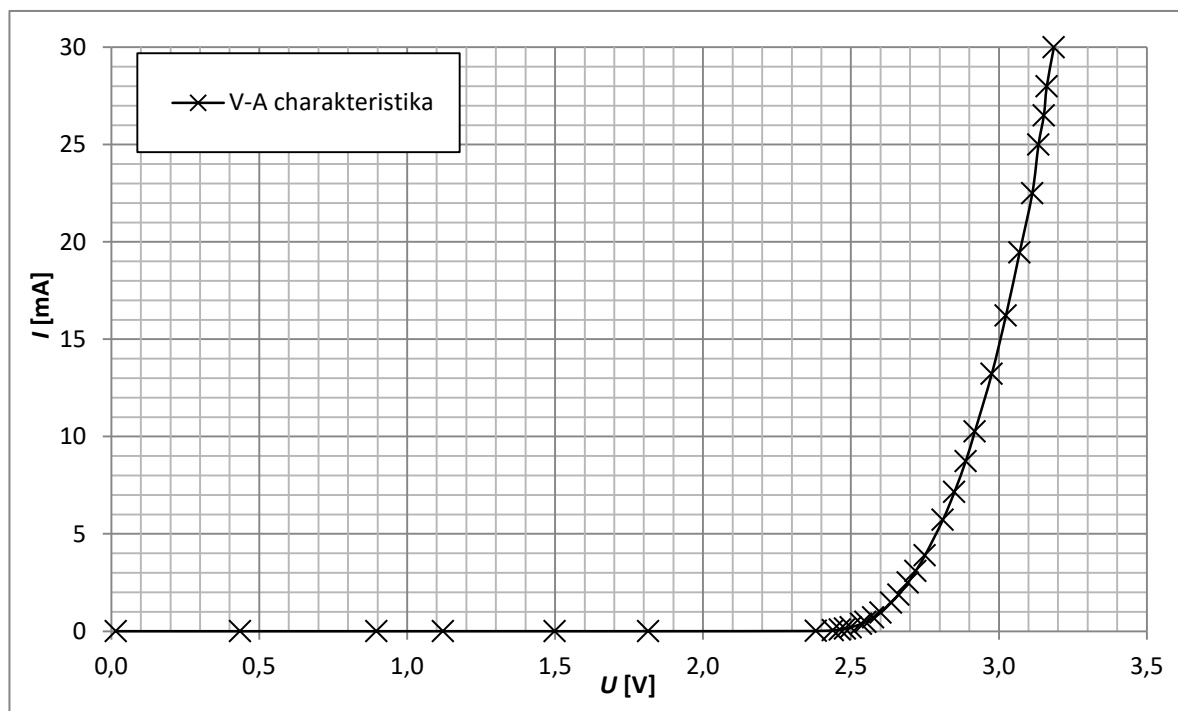
Graf 3: Závislost $\ln(I_F)$ na U pro diodu L934LGD

Tabulka 1 obsahuje parametry LED diody L934LGD. Statický odpor jsme spočítali v pracovním bodě $I_F = 20.7$ mA za pomoci vzorce (1). Konstantu n jsme určili ze vzorce (3) a následně spočítali dynamický odpor dle (2) a to opět v bodě 20.7 mA. Prahové napětí jsme určili ze směrnice v lineární části V-A charakteristiky (2 V až 2.33 V). Vzhledem k použitým měřicím přístrojům jsme odhadli chybu naměřených veličin na 1%. Chyba určení prahového napětí je daná chybou lineární regrese použité pro zjištění parametrů a a b .

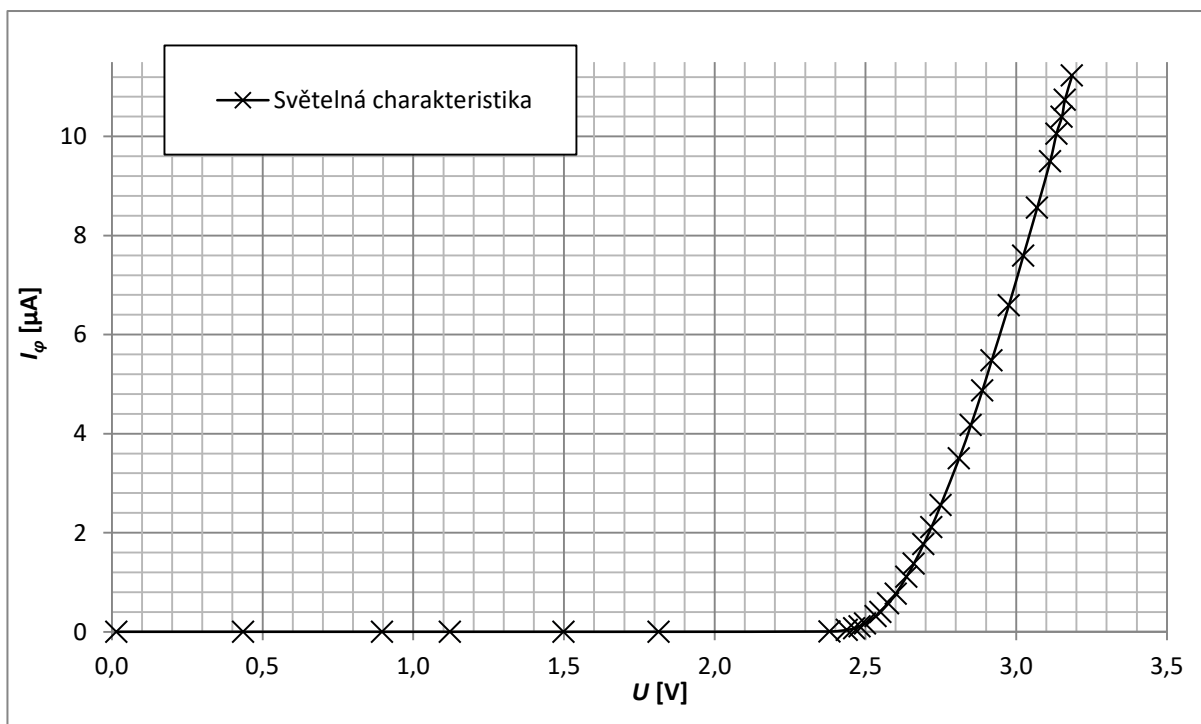
**Tabulka 1: Parametry LED diody
L934LGD**

	hodnota	chyba
R_d [Ω]	112	2
R_{di} [Ω]	11.1	0.2
n	8.91	0.11
U^* [V]	1.91	0.03

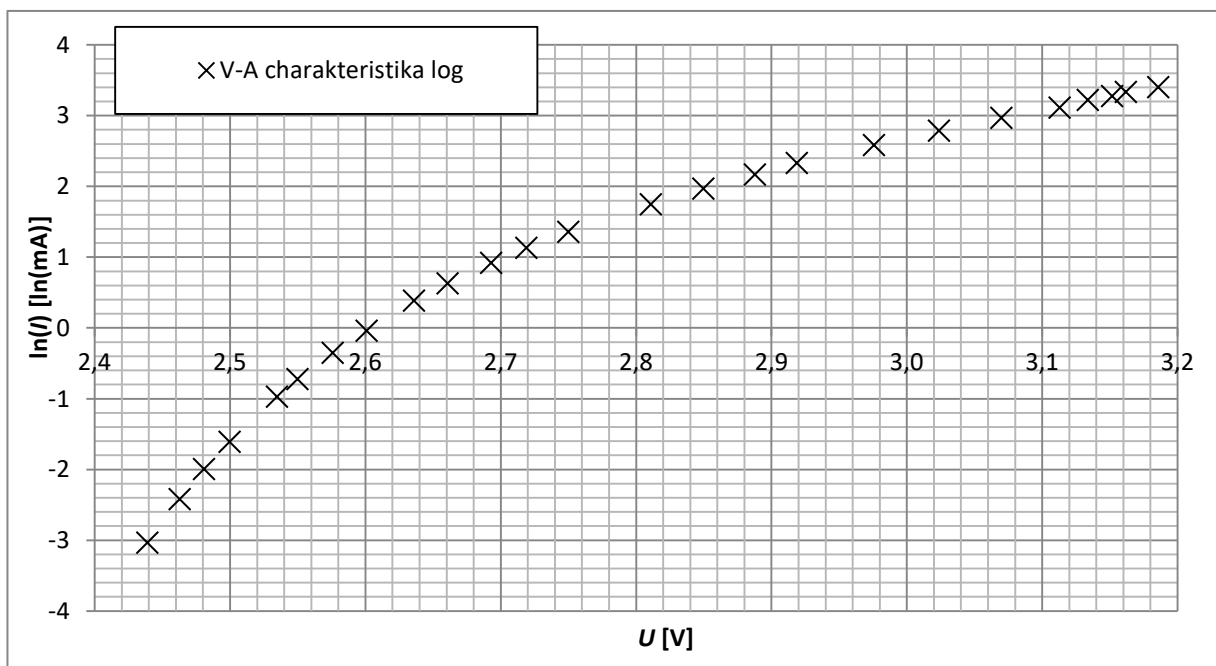
Jako duhou jsme zkoumali LED diodu 560LB7D. Měření probíhalo obdobným způsobem jako v předchozím případě. Zkoumaná dioda měla modrou barvu. Materiál diody je InGaN. Graf 4 obsahuje V-A charakteristiku. Graf 5 Světelnou charakteristiku a graf 6 závislost logaritmu proudu na napětí. Parametry uvedené v tabulce 2 jsme spočetli stejným způsobem jako u předchozí diody.



Graf 4: V-A charakteristika diody 560LB7D



Graf 5: Světelná charakteristika diody 560LB7D

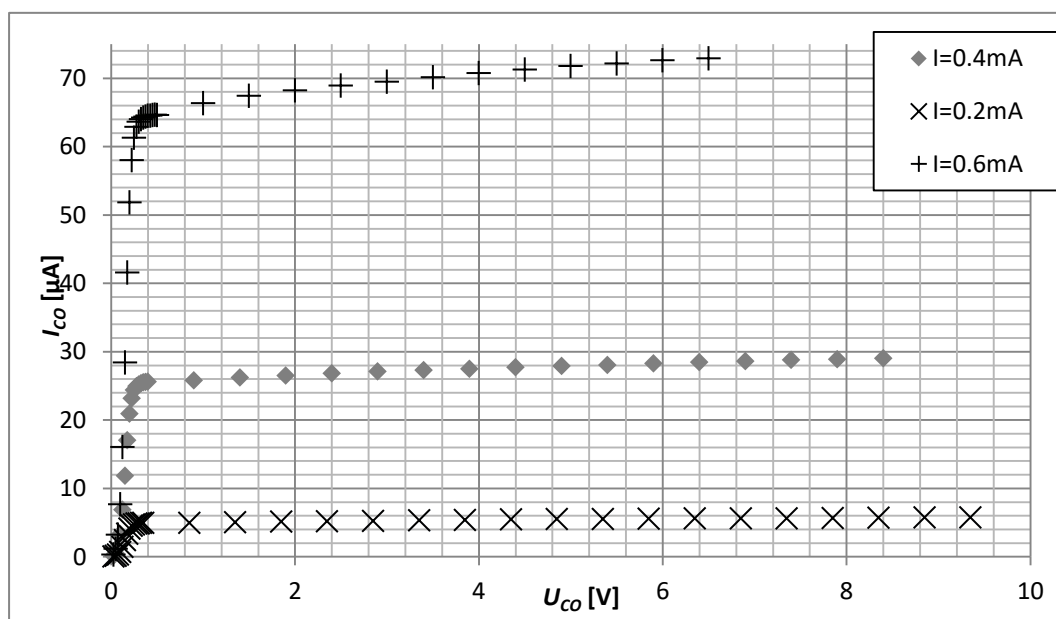


Graf 6: Logaritmická závislost proudu na napětí pro diodu 560LB7D

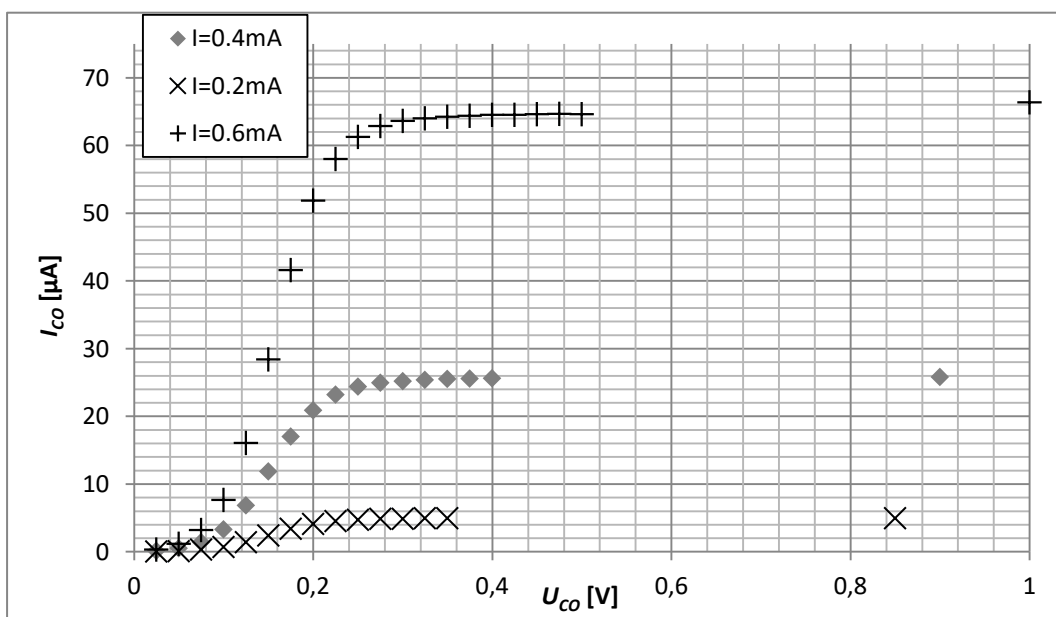
Tabulka 2: Parametry diody 560LB7D

	hodnota	chyba
R_d [Ω]	158	2
R_{di} [Ω]	9.54	0.15
n	7.18	0.09
U^* [V]	2.7	0.2

V-A charakteristiku fototranzistoru jsme měřili pro tři různé proudy procházející osvětľující LED diodou. Grafy 7 a 8 ukazují V-A charakteristiku fototranzistoru, graf 8 ukazuje detailněji okolí 0.



Graf 7: V-A charakteristika fototranzistoru pro 3 hodnoty osvětlení



Graf 8: V-A charakteristika fototranzistoru v okolí počátku

Zisk tranzistoru, který je uveden v tabulce 3, jsme spočetli dle (5) při napětí 2 V pro tři hodnoty osvětlení.

Tabulka 3: Zisk fototranzistoru pro různé úrovně osvětlení

osvětlení	$I=0.2\text{mA}$	$I=0.4\text{mA}$	$I=0.6\text{mA}$
G	172	252	306

Diskuse

Chyba měření charakteristik diod byla způsobena zejména nepřesností přístrojů, která však byla velmi malá, naše měření je tedy dostatečně přesné. Při určování konstanty n (a následně dynamického odporu R_{di}) vystupuje ve vzorci (3) absolutní teplota PN přechodu v diodě. Vzhledem k procházejícímu proudu dochází k zahřívání diody, a proto je obtížné stanovit velikost této teploty. Náš odhad teploty činil 300 K a vychází z toho, že uvnitř diody bude kvůli Joulovu teplu teplota vyšší než jaká je teplota v laboratoři.

Při měření fototranzistoru jsme použili stejně přesné přístroje jako u fotodiod, přesnost měření je tedy stejná. Při určování zisku tranzistoru jsme se dopustili systematické chyby, kdy jsme neodečetli tzv. temný proud¹ od hodnoty I_{CO} .

Závěr

Naměřené charakteristiky obou LED diod jsou v souladu s teoretickými předpoklady.

Pro diodu L934LGD jsme zjistili následující vlastnosti:

$$R_d = (112 \pm 2) \Omega$$

$$R_{di} = (11.1 \pm 0.2) \Omega$$

$$n = 8.91 \pm 0.11$$

$$U^* = (1.91 \pm 0.03) \text{ V}$$

Pro diodu 560LB7D jsme zjistili následující parametry:

$$R_d = (158 \pm 2) \Omega$$

$$R_{di} = (9.54 \pm 0.15) \Omega$$

$$n = 7.18 \pm 0.09$$

$$U^* = (2.7 \pm 0.2) \text{ V}$$

Naměřená V-A charakteristika fototranzistoru odpovídá teoretickým předpokladům. Zisk fototranzistoru jsme určili:

Pro osvětlení LED diodou, kterou protékal proud $I = 0.2 \text{ mA}$: $G = 172$, pro proud $I = 0.4 \text{ mA}$: $G = 252$ a pro proud $I = 0.6 \text{ mA}$: $G = 306$.

¹ Proud procházející fototranzistorem při žádném osvětlení

Literatura

- [1] Kvantová optika a optoelektronika. *Fyzikální praktikum* [online].
[cit. 4.5.2017]. Dostupné z:
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_305.pdf