

## Úkol

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 vypíšete a přiložíte do zápisu z měření.
2. Změřte voltampérové a světelné charakteristiky dvou luminiscenčních diod v propustném směru. Grafy vytvořte v praktiku, jsou povinnou součástí zápisu z měření.
3. Ze změřených V-A charakteristik určete pro jednotlivé diody statický odpor  $R_d$ , dynamický odpor  $R_{di}$ , hodnotu konstanty  $n$  a prahové napětí  $U^*$ . Určete, z jakého materiálu jsou jednotlivé diody zhotoveny. Nezapomeňte na graf  $\ln(I_F)$  vs.  $U_F$ .
4. Změřte charakteristiky fototranzistoru při třech různých hladinách osvětlení. Měření proveďte pomocí pikoampérmetru s vestavěným zdrojem Keithley s funkcí ukládání dat do paměti přístroje. Povinnou součástí zápisu z měření jsou grafy naměřených charakteristik, tabulky do protokolu netiskněte.
5. Změřte zisk fototranzistoru.

## Teorie

Optoelektronické součástky využívají fyzikální vlastnosti polovodičových P-N přechodů. V této úloze studujeme luminiscenční diody, fotodiody a fototranzistor.

Luminiscenční diody LED jsou založeny na emisi fotonů z oblasti P-N přechodu, kterým prochází proud. Voltampérové charakteristiky těchto součástek záleží mimo jiné na geometrii, vlastnostech přechodu a použitém materiálu.

Pro LED diody definujeme sériový statický odpor v pracovním bodě  $U_{F_0}$ ,  $I_{F_0}$  jako

$$R_d = \frac{U_{F_0}}{I_{F_0}}. \quad (1)$$

Můžeme ho určit lineární regresí lineární části VA závislosti.

Sériový dynamický odpor spočítáme pomocí

$$R_{di} = R_d \frac{nkT}{eU_{F_0}}, \quad (2)$$

kde  $k$  je Boltzmannova konstanta,  $T$  absolutní teplota,  $e$  náboj elektronu a  $n$  bezrozměrná konstanta popisující výše jmenované vlivy na průběh VA charakteristiky diody.

Tuto konstantu spočteme podle vztahu

$$n = \frac{e}{kT} \frac{U_{F_1} - U_{F_2}}{\ln \frac{I_{F_1}}{I_{F_2}}}. \quad (3)$$

Prahové napětí  $U^*$  je takové napětí, při kterém dochází ke zlomu v lineárním průběhu VA charakteristiky, viz [1].

Fotodiody a fototranzistory fungují na principu opačném k principu LED diod. Fotony o vhodné energii dopadají na P-N přechod a vyvolávají vznik elektrického napětí na jeho

vývodech. Fototranzistory se používají pro detekci slabších světelných toků, pro které není fotodioda dostatečně citlivá.

V režimu užívaném v tomto praktiku je závislost fotoelektrického proudu  $I_\Phi$  fotodiodou na světelném toku v širokém rozsahu lineární, kvalitativní vlastnosti se tedy dají usuzovat z průběhu  $I_\Phi$ . Světelnou charakteristikou LED diody proto v tomto praktiku nazýváme závislost fotoelektrického proudu  $I_\Phi$  detektoru na proud  $I_F$  protékající diodou.

Při zapojení fototranzistoru popsaném v návodu [2] je fotoelektrický proud v kolektoru  $I_{C0}$  dán přibližným vztahem

$$I_{C0} = GI_\Phi, \quad (4)$$

kde  $G$  je zisk fototranzistoru a  $I_\Phi$  je primární fotoproud, který získáme zkratováním emitoru s bází.

Voltampérovými charakteristikami fototranzistoru se rozumí závislost  $I_{C0}$  na napětí mezi kolektorem a emitorem  $U_{CE}$ . Mění se v závislosti na dopadajícím světelném toku.

## Výsledky

### Úkol 2

Byly měřeny dvě LED diody, červená **LQ1131** a modrá **560LB7D**. Všechny hodnoty byly měřeny automaticky multimetrem **Keithley 6487** s automatickým nastavením rozsahu. Chyby měřicího přístroje nejsou signifikantní vedle chyb lineárních regresí.

Voltampérové charakteristiky zobrazují grafy 1 a 4, světelné charakteristiky grafy 2 a 5.

### Úkol 3

Převrácením směrnic lineárních regresí v grafu 1 a 4 byla získána hodnota sériového statického odporu červené resp. modré diody

$$R_d^{\check{}} = (14,77 \pm 0,20) \Omega,$$

$$R_d^m = (17,17 \pm 0,17) \Omega.$$

Lineární regresí v grafu 3 a 6 a použitím vztahu (2) a (3) získáme pro  $U_{F0}$  odpovídající proudu 20 mA hodnoty sériového dynamického odporu

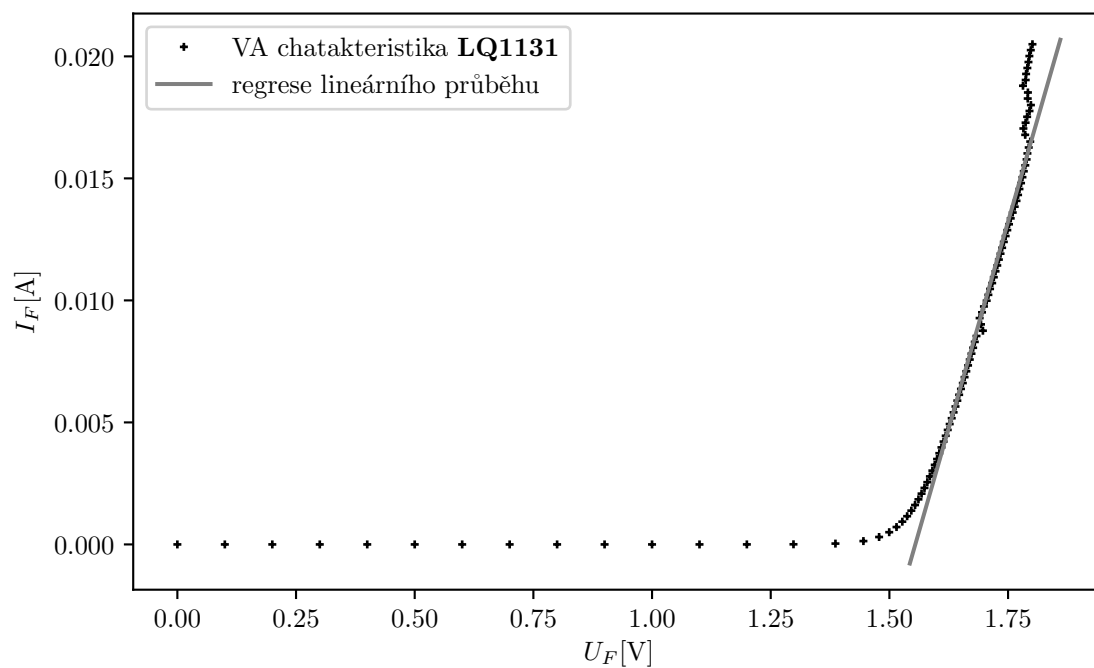
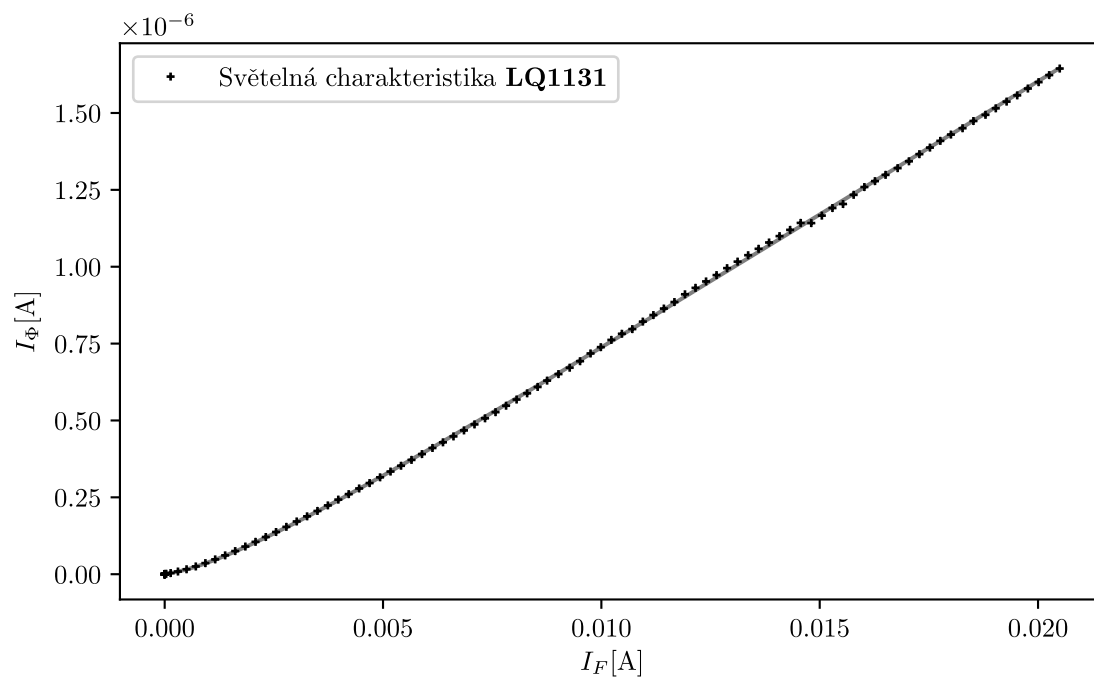
$$R_{di}^{\check{}} = (0,399 \pm 0,008) \Omega,$$

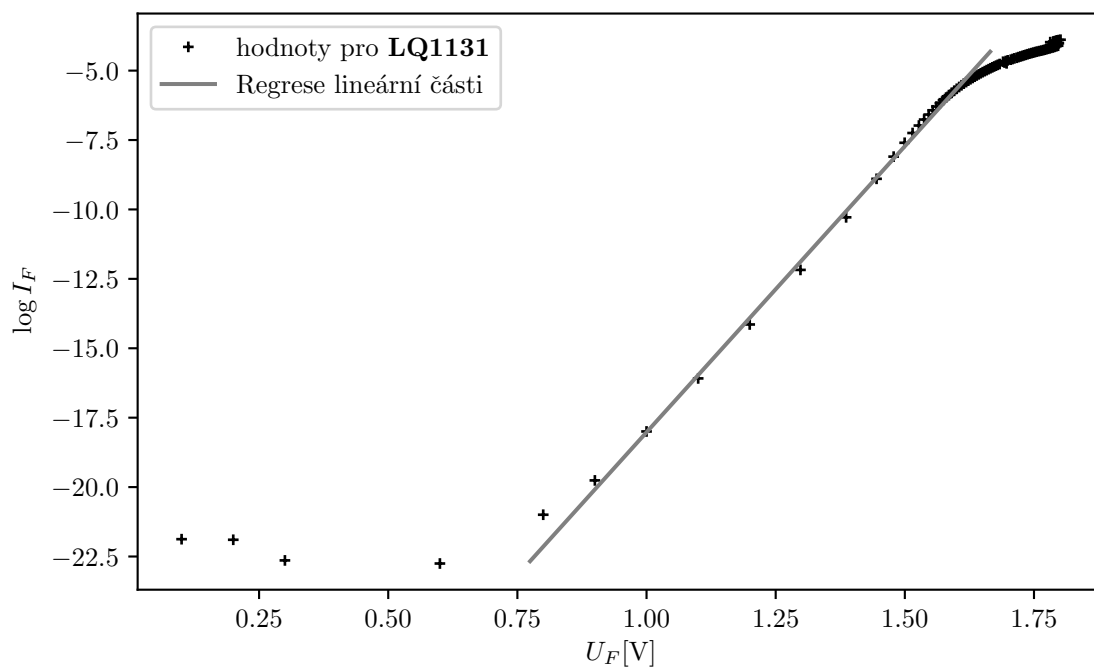
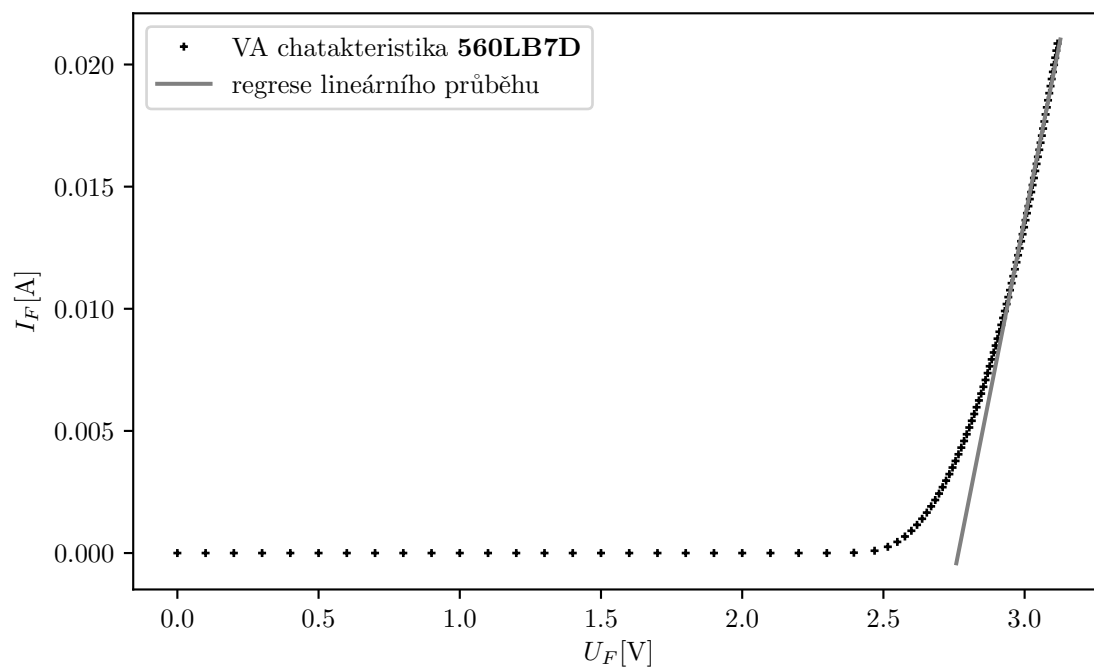
$$R_{di}^m = (0,289 \pm 0,010) \Omega.$$

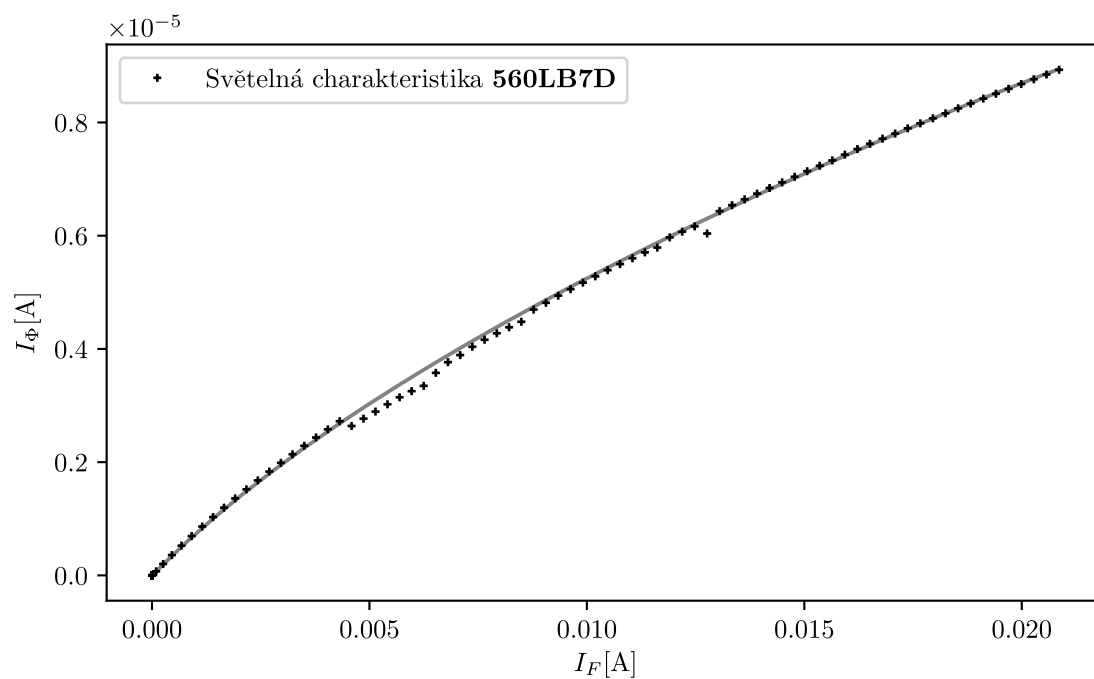
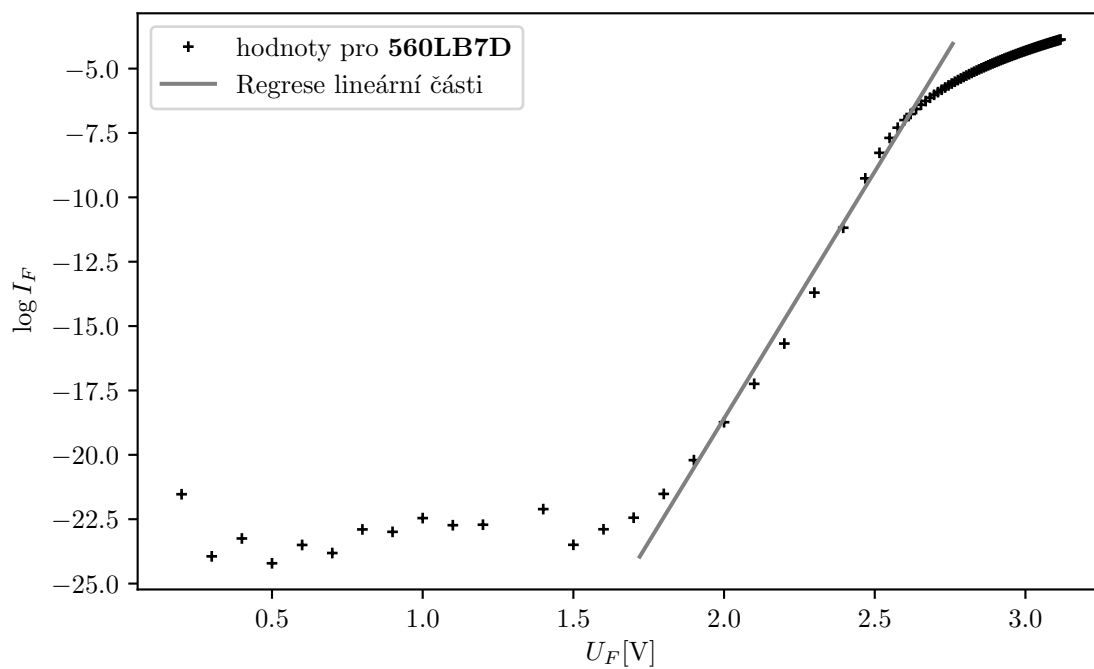
Z lineární regrese v grafech 1 a 4 byly určeny hodnoty

$$U_c^* = (1,55 \pm 0,03) \text{ V},$$

$$U_m^* = (2,77 \pm 0,04) \text{ V}.$$

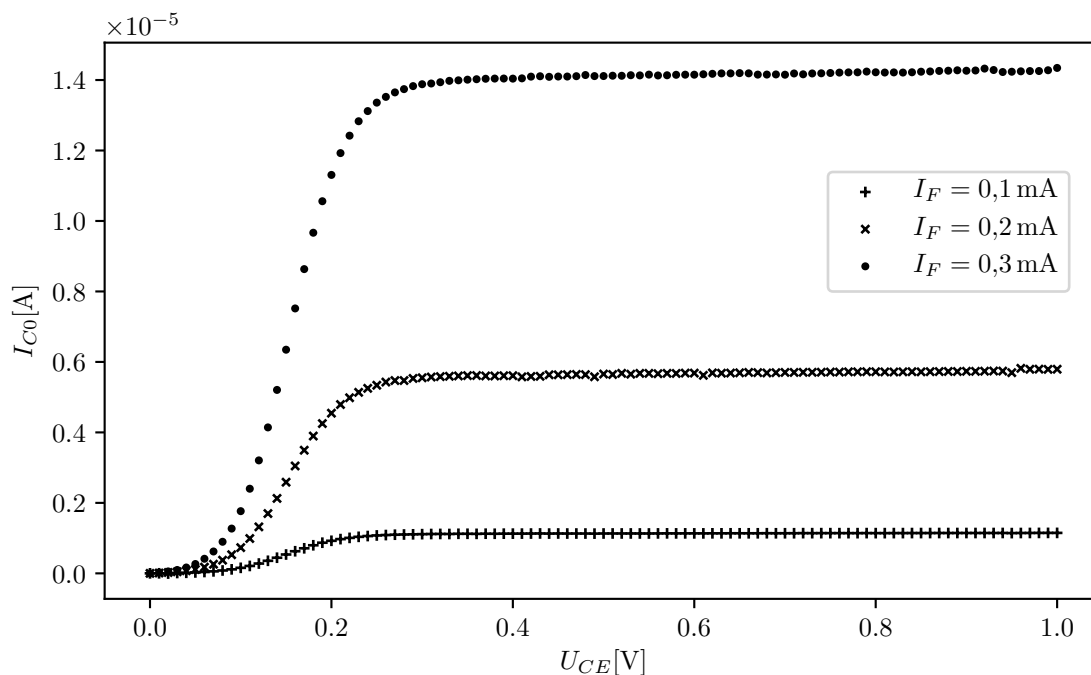
Obrázek 1: Graf voltampérové charakteristiky diody **LQ1131**Obrázek 2: Graf světelné charakteristiky diody **LQ1131**

Obrázek 3: Závislost  $\log I_F$  na  $U_F$  pro diodu **LQ1131**Obrázek 4: Graf voltampérové charakteristiky diody **560LB7D**

Obrázek 5: Graf světelné charakteristiky diody **560LB7D**Obrázek 6: Závislost  $\log I_F$  na  $U_F$  pro diodu **560LB7D**

## Úkol 4

Následující graf zobrazuje voltampérové charakteristiky fototranzistoru pro osvětlení způsobené proudem  $I_F$  protékajícím LED diodou.



Obrázek 7: VA charakteristiky fototranzistoru při různých proudech LED diodou

## Úkol 5

Pro získání zisku fototranzistoru byly měřeny hodnoty  $I_{C0}$  a  $I_\Phi$  při napětí mezi kolektorem a emitorem  $U_{CE} = 3$  V. Chyby byly odhadnuty z proměnnosti údajů zobrazených na displeji (měřicí přístroj má výrazně větší přesnost).

Při osvětlení fototranzistoru diodou protékanou proudem 0,1 mA byly naměřeny hodnoty

$$I_\Phi^{0,1 \text{ mA}} = (8,0 \pm 0,3) \text{ nA},$$

$$I_{C0}^{0,1 \text{ mA}} = (1,14 \pm 0,01) \text{ }\mu\text{A}.$$

Zisk je pak

$$G^{0,1 \text{ mA}} = 143 \pm 6.$$

Při osvětlení fototranzistoru diodou protékanou proudem 0,2 mA byly naměřeny hodnoty

$$I_\Phi^{0,2 \text{ mA}} = (29,8 \pm 0,3) \text{ nA},$$

$$I_{C0}^{0,2 \text{ mA}} = (5,14 \pm 0,05) \text{ }\mu\text{A}.$$

Zisk je pak

$$G^{0,2 \text{ mA}} = 172 \pm 2.$$

Při osvětlení fototranzistoru diodou protékanou proudem 0,3 mA byly naměřeny hodnoty

$$I_{\Phi}^{0,3\text{ mA}} = (64,2 \pm 0,2) \text{ nA},$$

$$I_{C0}^{0,3\text{ mA}} = (14,20 \pm 0,05) \mu\text{A}.$$

Zisk je pak

$$G^{0,3\text{ mA}} = 221 \pm 1.$$

## Diskuse

Mnoho veličin a jejich chyb naměřených v tomto praktiku bylo určeno pomocí lineárních regresí. Protože však měřené průběhy nebyly v celém rozsahu lineární, do zpracování dat vstupuje jistý subjektivní prvek výběru lineární části závislosti pro regresi, tato dodatečná chyba je však jen těžko systematicky zachytitelná. Zároveň jsou u těchto veličin zanedbány chyby způsobené nepřesností měřicího přístroje, které jsou však bez výjimky řádově menší, než chyby lineárních regresí, tudíž by se stejně neprojevíly.

Naměřené voltampérové a světelné charakteristiky jakožto i voltampérové charakteristiky vesměs odpovídají teoretickým předpovědím. Je však nutné podotknout, že napříč měřeními se v závislostech nekonzistentně vyskytují drobné nespojitosti a výchyly (viz pravá část grafu 1 či část grafu 5), které neumíme uspokojivě vysvětlit.

## Závěr

Naměřené voltampérové a světelné charakteristiky dvou LED diod i voltampérové charakteristiky fototranzistoru kvalitativně odpovídají teoretickým průběhům.

Sériové statické odpory diod jsou

$$R_d^{\varepsilon} = (14,77 \pm 0,20) \Omega,$$

$$R_d^m = (17,17 \pm 0,17) \Omega,$$

sériové dynamické odpory

$$R_{di}^{\varepsilon} = (0,399 \pm 0,008) \Omega,$$

$$R_{di}^m = (0,289 \pm 0,010) \Omega.$$

Prahová napětí jsou

$$U_{\varepsilon}^* = (1,55 \pm 0,03) \text{ V},$$

$$U_m^* = (2,77 \pm 0,04) \text{ V}.$$

Zisk fototranzistoru je pro tři hodnoty proudu diodou

$$G^{0,1\text{ mA}} = 143 \pm 6,$$

$$G^{0,2\text{ mA}} = 172 \pm 2,$$

$$G^{0,3\text{ mA}} = 221 \pm 1.$$

## Reference

- [1] Studijní text "Kvantová optika a optoelektronika", dostupné z  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_305.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_305.pdf),  
9.3.2018
- [2] Návod "Pokyny k měření pikoampérmetrem", dostupný z  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/pokyny/pikoampermetr.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/pikoampermetr.pdf),  
9.3.2018