

| | |
|-----------------------------|--|
| Název a číslo úlohy: | 9 Detekce optického záření |
| Datum měření: | 4. května 2011 |
| Měření provedli: | Vojtěch Horný, Jaroslav Zeman |
| Vypracovali: | Vojtěch Horný a Jaroslav Zeman společnými silami |
| Datum: | 14. května 2011 |
| Hodnocení: | |

Abstrakt

Cílem úlohy bylo seznámit se s principem fungování různých optických detektorů (fotoodpor, fotodioda a fototranzistor) a s jejich základními charakteristikami.

1 Úvod

Principem většiny fotodetektorů je převod optického signálu na elektrický, který je pak předmětem samotného měření. Využívá se přitom zejména fotoelektrického jevu. Další skupinou fotodetektorů, která se však v praxi využívá zřídka, jsou tepelné detektory. Jejich nevýhodou je nízká účinnost a dlouhá doba odezvy.

2 Pomůcky

Zdroj stejnosměrného napětí, digitální multimetr, červená laserová dioda ($\lambda=650\text{nm}$), infračervená laserová dioda ($\lambda=780\text{ nm}$), halogenová lampa, fotoodpor, křemíková PIN fotodioda, NPN fototranzistor, otočný potenciometr ($R_{max}=2\text{ k}\Omega$), otočný atenuátor, zapojovací panel, spojovací kabely, stojánky k uchycení prvků

3 Vypracované úkoly

Ověření vlastností fotoodporu

Zadání

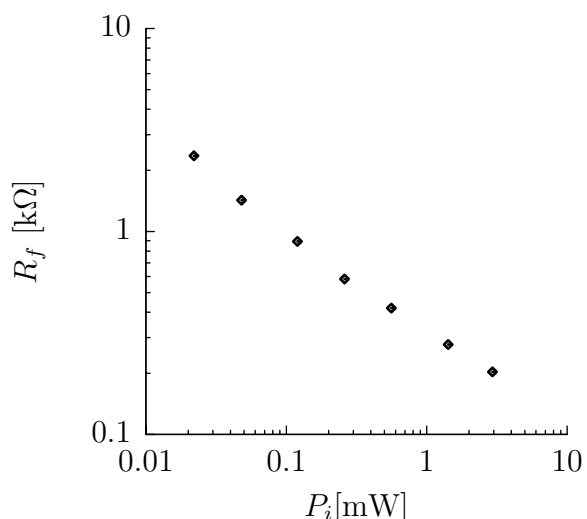
Určete velikost zátěžového odporu R_z . Do grafu vyneste závislost $R_f(P_i)$ tak, že na obou osách použijete logaritmické měřítko.

Postup a výsledky

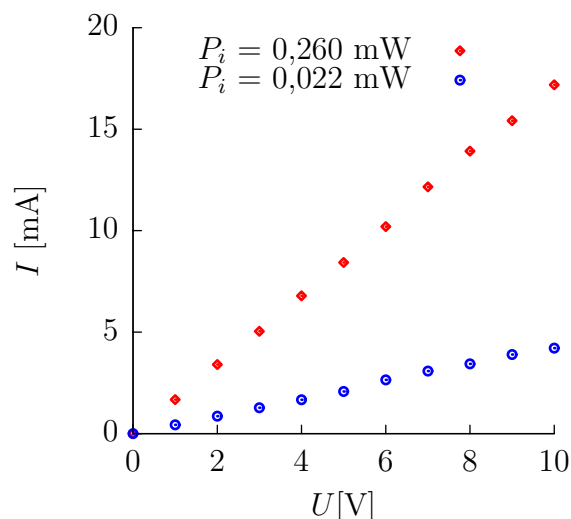
Fotoodpor jsme zapojili do série se zátěžovým odporem, který byl realizovaný potenciometrem. Nastavili jsme na něm odpor $R_z = 2,05\text{ k}\Omega$, který byl nejbližší hodnotě $R_{10lx} = 10\text{ k}\Omega$. Na oba odpory jsme přivedli celkové napětí $U_0 = 10\text{ V}$. Proměřovali jsme napětí na zátěžovém odporu U_z a snadno jsme si promysleli (Ohmův zákon), že pro fotoodpor platí

$$R_f = R_z \left(\frac{U_0}{U_z} - 1 \right)$$

Naměřená závislost $R_f(P_i)$ je vykreslena v grafu 1. Je patrná lineární závislost fotoodporu na dopadajícím optickém výkonu.



Obrázek 1: Závislost odpor fotorezistoru na výkonu dopadajícího záření



Obrázek 2: Voltampérová charakteristika fotorezistoru

Voltampérová charakteristika fotoodporu

Zadání

Vykreslete voltampérovou charakteristiku fotoodporu při alespoň dvou různých hodnotách dopadajícího optického výkonu.

Postup a výsledky

Fotoodpor jsme připojili přímo ke zdroji napětí a procházející proud jsme měřili digitálním multimetrem. Měření probíhala pro dopadající optické výkony 0,26 mW a 0,022 mW. Graf 2 ukazuje lineární závislost proudu na napětí pro oba případy.

Voltampérová charakteristika fotodiody

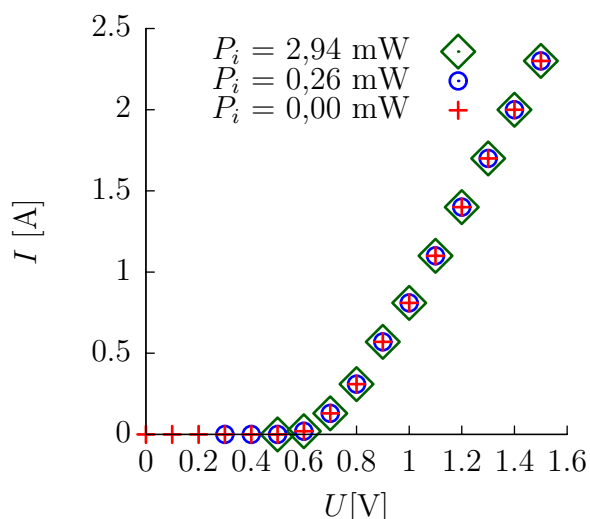
Zadání

Vykreslete voltampérové charakteristiky PIN fotodiody při různých velikostech dopadajícího optického výkonu. Okomentujte závislost voltampérové charakteristiky na hodnotě P_i .

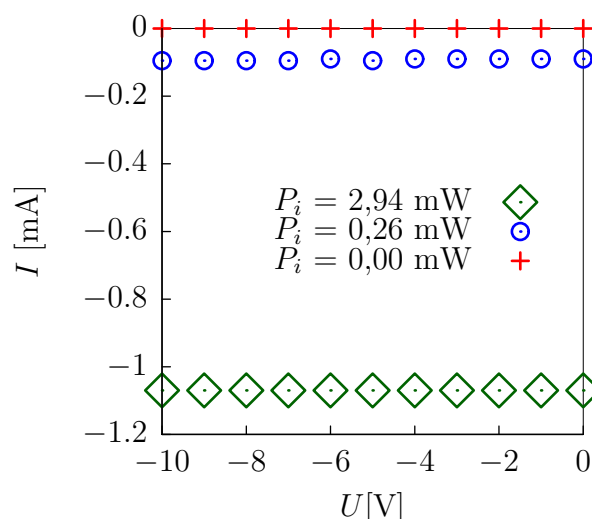
Postup a výsledky

Zapojili jsme PIN fotodiodu nejprve v propustném, a poté i závěrném směru do obvodu bez zátěžového odporu. O propustném směru jsme rozhodli experimentálně, zatížili jsme fotodiodu napětím 1 V a v propustném směru jsme pozorovali tok proudu na ampérové stupnici, v závěrném směru jsme nepozorovali nic.

Charakteristiku jsme proměřili pro tři hodnoty dopadajícího optického výkonu, konkrétně pro 2,94 mW, 0,26 mW a 0 mW, tj. bez dopadajícího záření. Při propustném směru jsme naměřili celkem 16 hodnot pro každý výkon od 0 V až po 1,5 V s krokem po 0,1 V. Pro závěrný směr jsme měřili od 0 V po -10 V s krokem 1 V. Voltampérové charakteristiky jsou vykresleny v grafech 3 a 4.



Obrázek 3: Voltampérová charakteristika fotodiody v propustném směru



Obrázek 4: Voltampérová charakteristika fotodiody v závěrném směru

Diskuse

V propustném směru jsou voltampérové charakteristiky pro různé hodnoty výkonů nerozlišitelné. V závěrném směru jakýsi rozdíl vidíme. Je však způsoben pouze tím, že hodnoty proudu jsou v miliampérech. S takovou přesností jsme v propustném směru neměřili, v grafu proto rozdíl nevidíme.

V závěrném směru jsou závislosti konstantní pro všechny výkonů. Samozřejmě, největší proud (v absolutní hodnotě) protéká pro největší optický výkon. Konstantnost nás nijak nepřekvapuje, jelikož udávaná hodnota průrazného napětí je 30 V a my jsme měřili pouze do 10 V.

Spektrální citlivost fotodiody

Zadání

Určete hodnoty citlivosti C PIN a účinnosti η_λ pro vlnové délky použitých zdrojů světla. Porovnejte získané hodnoty s teorií. Naměřené hodnoty $I_f(P_i)$ vynesete do grafu a získanou závislost porovnejte s teorií.

Postup a výsledky

Nastavovali jsme hodnoty dopadajícího optického výkonu P_i a měřili hodnotu napětí U na zátěžovém odporu při $R_z = 1 \text{ k}\Omega$. Tím jsme vlastně měřili i fotoproud $I_f = U \cdot R_z$.

Citlivost C jsme vypočetli podle vztahu $C = P_i/I_f$ a účinnost η_λ jako $\eta_\lambda = 1,24C/\lambda$. Výsledky pro oba moduly jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Měření probíhalo při závěrném směru na fotodiody $U_R = -10 \text{ V}$. Vlnové délky jednotlivých vlnových modulů byly $0,65 \mu\text{m}$ a $0,78 \mu\text{m}$. Naměřené hodnoty citlivosti i účinnosti jsou v souladu s teorií.

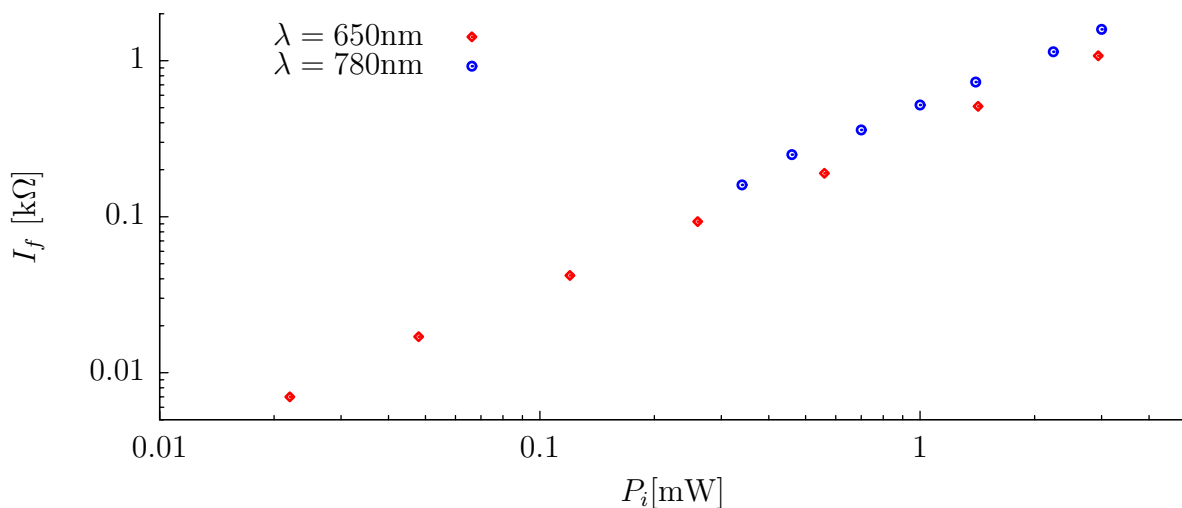
Naměřenou závislost $I_f(P_i)$ zobrazuje graf 5. Naměřená závislost odpovídá teoretickému očekávání.

Tabulka 1: Hodnoty citlivosti C účinnosti η pro vlnovou délku 650 nm. P_i - dopadající optický výkon, U napětí na zátěžovém odporu, I_f - fotoproud.

| P_i [W] | U [V] | I_f [mA] | C [A/W] | η [-] |
|-----------|---------|------------|-----------|------------|
| 2,94 | 1,075 | 1,075 | 0,37 | 0,70 |
| 1,42 | 0,51 | 0,51 | 0,36 | 0,69 |
| 0,56 | 0,19 | 0,19 | 0,34 | 0,65 |
| 0,26 | 0,093 | 0,093 | 0,36 | 0,68 |
| 0,12 | 0,042 | 0,042 | 0,35 | 0,67 |
| 0,048 | 0,017 | 0,017 | 0,35 | 0,68 |
| 0,022 | 0,007 | 0,007 | 0,32 | 0,61 |

Tabulka 2: Hodnoty citlivosti C účinnosti η pro vlnovou délku 780 nm. P_i - dopadající optický výkon, U napětí na zátěžovém odporu, I_f - fotoproud.

| P_i [W] | U [V] | I_f [mA] | C [A/W] | η [-] |
|-----------|---------|------------|-----------|------------|
| 3 | 1,59 | 1,59 | 0,53 | 0,84 |
| 2,24 | 1,14 | 1,14 | 0,51 | 0,81 |
| 1,4 | 0,73 | 0,73 | 0,52 | 0,83 |
| 1 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,83 |
| 0,7 | 0,36 | 0,36 | 0,51 | 0,82 |
| 0,46 | 0,25 | 0,25 | 0,54 | 0,86 |
| 0,34 | 0,16 | 0,16 | 0,47 | 0,75 |



Obrázek 5: Závislost proudu procházejícím fotodiodou na výkonu dopadajícího záření různých vlnových délek

Fotovoltaické zapojení fotodiody

Zadání

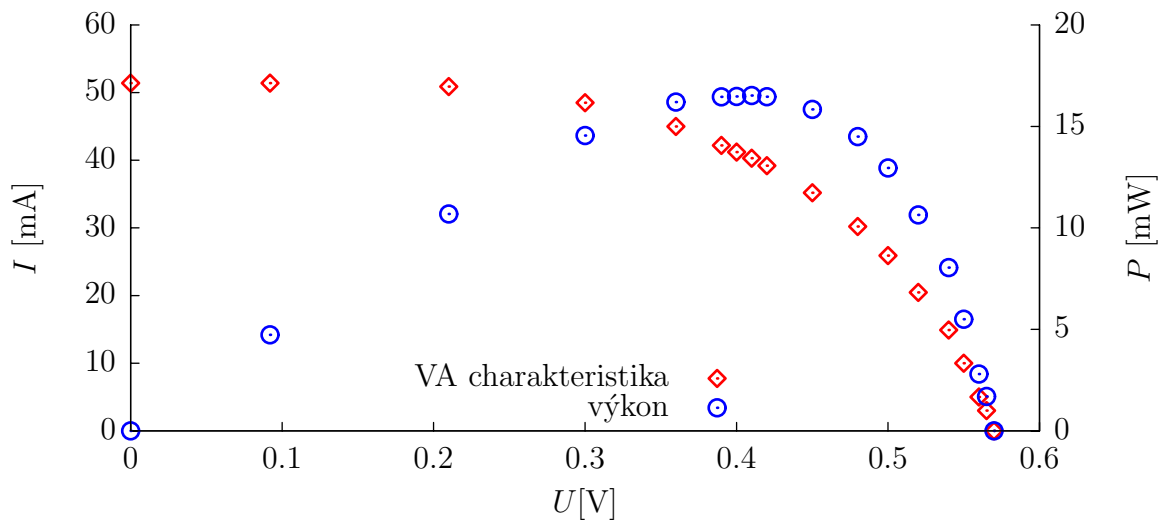
Vykreslete voltampérovou charakteristiku fotovoltaického zapojení PIN fotodiody. Uveďte hodnotu maximálního výstupního výkonu fotodiody P_{max} a schéma zapojení solárního panelu s výkonem 1 W při napětí 1 A.

Postup a výsledky

Na PIN fotodiodu osvětlenou halogenovou lampou jsme sériově připojili potenciometr a měřili napětí na fotodiodě a proud protékající obvodem. Voltampérová charakteristika fotovoltaického zapojení PIN diody, tedy závislost proudu protékajícího obvodem na napětí měřeném na fotodiodě je zobrazena v grafu 6.

Změřili jsme i další požadované hodnoty, proud nakrátko 51,4 mA, napětí naprázdno 570 mV a maximální výkon $P = 16,5$ mW při napětí 410 mV a proudu 40,3 mA. Abychom získali solární panel s výkonem 1 W při napětí 1 V, bylo by třeba zapojit 21 paralelních větví vždy

po třech sériově zapojených fotodiodách.



Obrázek 6: Voltampérová charakteristika fotodiody ve fotovoltaickém zapojení

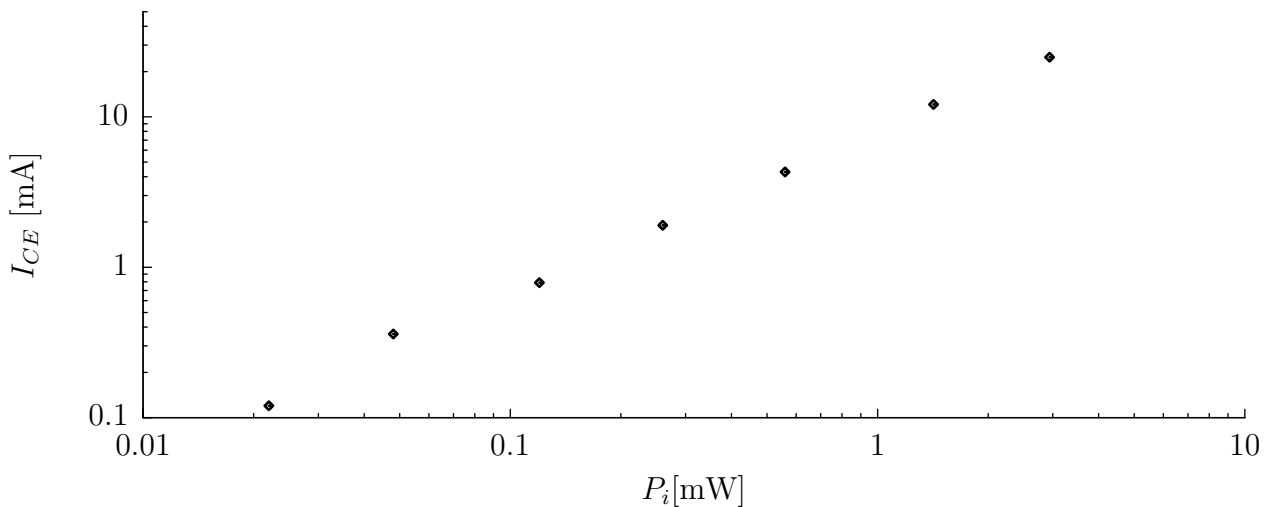
Proudová charakteristika fototranzistoru

Zadání

Vykreslete graf závislosti kolektorového proudu I_{CE} na dopadajícím optickém výkonu P_i .

Postup a výsledky

Zapojili jsme fototranzistor kolektorem ke kladné elektrodě na zdroji a bází přes zátěžový odpor $R_z=100 \Omega$ k záporné elektrodě na zdroji napětí. Na zdroji jsme nastavili 5,0 V a pro různé intenzity dopadajícího světla jsme měřili napětí na zátěžovém odporu U_z . Jednoduše jsme tak získali kolektorový proud $I_{CE} = U_z/R_z$. Naměřená závislost $I_{CE}(P_i)$ je zobrazena v grafu 7.



Obrázek 7: Závislost proud procházejícího fototranzistorem na výkonu dopadajícího záření

4 Závěr

Seznámili jsme se s principem jednotlivých fotodetektorů. Proměřili jsme různé charakteristiky fotoodporu, fotodiody a fototranzistoru.

Literatura

- [1] *Návod k úloze 9* [online],
[cit. 3. května 2011], http://optics.fjfi.cvut.cz/files/pdf/ZPOP_09.pdf