

STUDIUM VLIVU ZÁŘENÍ NA POLOVODIČE

Měřicí potřeby

1. zařízení složené ze zdroje světla, fotorezistoru, fotodiody a sady sítěk
2. luxmetr
3. miliampérmetr
4. voltmetr
5. reostat
6. stejnosměrný zdroj 5 V
7. rezistor ($\sim 32,8 \text{ k}\Omega$)

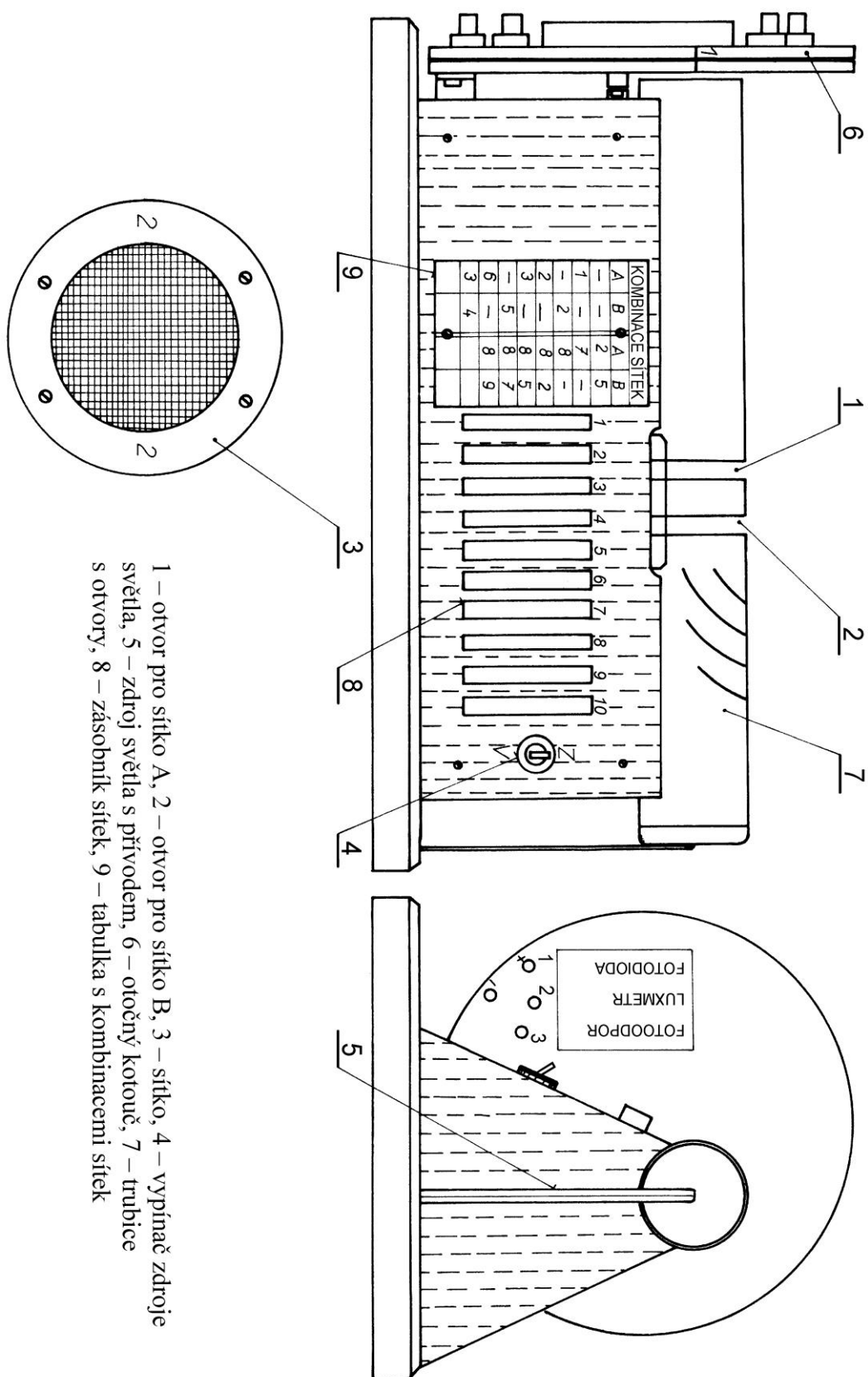
Obecná část

U izolovaného atomu elektron nabývá pouze určitých hodnot energií (tzv. energetické hladiny) navzájem oddělených oblastmi energií, kterých nemůže nabýt. Energetické spektrum elektronů vázaných v atomu má proto diskrétní charakter. V pevných látkách v důsledku vzájemné interakce atomů v krystalové mřížce dochází k rozštěpení původních hladin na celé pásy tvořené hustou, prakticky spojitou řadou dovolených hodnot energie. Tyto pásy povolených energií jsou odděleny oblastmi energií, kterých elektrony nabýt nemohou – tzv. *zakázanými pásy*. Z hlediska elektrické vodivosti látek hraje rozhodující roli vzájemná poloha nejvyššího zcela obsazeného (tzv. valenčního) a nejnižšího neúplně obsazeného (tzv. vodivostního) pásu. Rozlišujeme tyto tři případy:

- a) vodiče: vodivostní pás je zaplněn do poloviny (alkalické kovy, jednomocné kovy Cu, Ag, Au, ...), nebo se dovolené pásy překrývají (dvojmocné kovy)
- b) izolanty: valenční a vodivostní pás jsou odděleny relativně širokým zakázaným pásem o šířce $\Delta W \geq 3 \text{ eV}$, vodivostní pás je prakticky neobsazen
- c) polovodiče: zakázaný pás je relativně úzký $\Delta W \cong 1 \text{ eV}$, při nízkých teplotách se chovají jako izolanty, obsazení vodivostního pásu se zvyšuje s rostoucí teplotou. Charakteristickou vlastností polovodičů je závislost koncentrace volných nosičů náboje na teplotě (viz úloha „Závislost odporu vodičů a polovodičů na teplotě“). Koncentraci volných nosičů lze však také zvětšit působením záření. Při osvětlení polovodiče může dojít buď k *vnějšímu* fotoelektrickému jevu (projevuje se emisí elektronů do vakua), nebo k *vnitřnímu* fotoelektrickému jevu, při němž energie fotonu nestačí k uvolnění elektronu mimo krystal polovodiče.

Vnitřní fotoelektrický jev se dále dělí na dva druhy:

- a) *Fotovodivost*. Dodáme-li elektronu dostatečnou energii, překoná elektron zakázaný pás a přejde z valenčního do vodivostního pásu. Osvětlíme-li tedy polovodič světlem, jehož fotony mají energii větší, než je šířka zakázaného pásu, generují se v polovodiči nové páry nosičů elektrického proudu, což má za následek zvýšení vodivosti polovodiče (musí být ovšem splněny ještě další podmínky, které neuvádíme). Fotovodivost se využívá u fotorezistorů.



Obr. 1: Zařízení k měření vlivu záření na polovodiče

Nejstarším známým materiálem pro fotorezistory je selen. Zmiňuje se o něm již v r. 1877 anglický telegrafní inženýr W. Smith. Zajímavostí je, že Alexander Graham Bell použil selen v r. 1880 ke konstrukci fototelefonu využívajícího sluneční paprsky. Dnes se používají pro fotorezistory také sirníky thalia, stříbra, vizmutu, olova apod.

b) *Fotovoltaický jev* (nazývaný též *hradlový*). Při tomto jevu se spotřebuje energie dopadajících kvant na přechod elektronů (nacházejících se ve vodivostním pásu) přes potenciálovou bariéru přechodu PN dvou polovodičů. Na přívodech k polovodičům pak vznikne elektrické napětí, úměrné velikosti osvětlení přechodu. Tohoto jevu využívá hradlový fotoelektrický článek a fotodioda (též nazývaná polovodičová fotonka). Fotoelektrický hradlový článek může být zdrojem elektrické energie (solární články). Poměrně známý je selenový článek, který bývá často použit v luxmetrech a ve starších typech expozimetrů.

Při měření elektrického proudu osvětlené fotodiody zatížené zanedbatelně malým odporem zjistíme, že závislost tohoto proudu na osvětlení je lineární. Je-li v obvodu zařazen odpor vyšší, je charakteristika již značně nelineární. Pokud na fotodiodu vložíme vnější napětí v závěrném směru, pak při osvětlení opět protéká proud. V tomto případě má však fotodioda mnohem rychlejší odezvu na časovou změnu osvětlení.

Měření

V této úloze budeme zjišťovat závislost odporu fotorezistoru na osvětlení a závislost proudu fotodiody na osvětlení.

K měření použijeme jednoduché zařízení (obr. 1) složené z trubky, na jejímž jednom konci je zdroj světla a na opačném konci otočný kotouč s fotorezistorem, fotodiodou a pouzdrům pro vložení sondy luxmetru. Trubka má uprostřed dvě drážky pro vkládání sítěk různé hustoty, jejichž kombinací lze nastavit různou velikost světelného toku. Otočný kotouč, na němž jsou připevněny fotoprvky, natočíme vždy tak, aby byly rysky v zákrytu. **Číslo u kryjící se rysky na kotouči označuje prvek, který je připraven k měření (1 – fotodioda, 2 – luxmetr, 3 – fotorezistor).** Pro měření fotodiody je k dispozici ještě rezistor přiložený u úlohy. Osvětlení měříme přístrojem zvaným luxmetr, což je vlastně fotočlánek spojený s citlivým měřidlem, cejchovaným v jednotkách osvětlení.

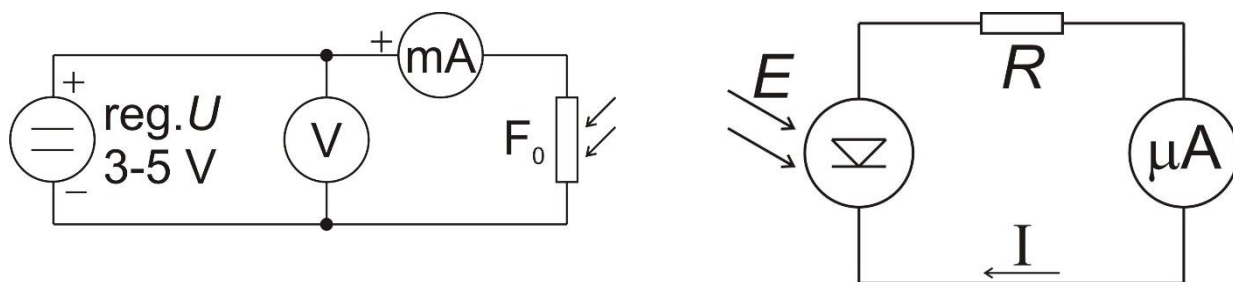
Pro úplnost dodejme, že *osvětlení* je definováno jako světelný tok dopadající na jednotkovou plochu:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad [\text{lx}; \text{lm}, \text{m}^2]$$

Jednotkou je lux (lx), což je osvětlení, při kterém na plochu 1 m² dopadá světelný tok 1 lumen (lm) rovnoměrně po ní rozložený. Takže lux = lumen/m².

Pracovní úkol

- 1) Proměřte pro všechny uvedené kombinace sítí v tab. 1 osvětlení luxmetrem. Naměřené hodnoty zapisujte do druhého sloupce tabulky.
- 2) Proměřte u fotorezistoru WK65037 1k5 závislost proudu na osvětlení pro dvě různé hodnoty napětí. Obvod zapojte podle schématu na obr. 2 vlevo. Pro zápis použijte opět tabulku 1.
- 3) Graficky znázorněte závislost proudu fotorezistorem na osvětlení pro obě hodnoty napětí.
- 4) Pro obě hodnoty napětí vypočtete odpor fotorezistoru a graficky znázorněte jeho závislost na osvětlení $R = f(E)$. **Hodnoty pro tmu do grafu nevynášejte.**
- 5) Změřte závislost proudu fotodiody na dopadajícím světelném toku pro **tři** různé hodnoty zatěžovacího odporu. V prvním případě zatěžujte diodu vnitřním odporem ampérmetru a do série s ním zapojeným rezistorem R . Poté rezistor z obvodu odstraňte a změřte závislost fotoproudu na osvětlení nejprve na rozsahu $20 \mu\text{A}$ a pak na rozsahu $200 \mu\text{A}$. Nezapomeňte si poté pomocí druhého multimetru změřit vnitřní odpor ampérmetru pro oba rozsahy. Hodnoty zaznamenávejte opět do tabulky 1.
- 6) Graficky znázorněte pro všechny tři případy závislost fotoproudu diody na osvětlení.
- 7) Závislost $I(E)$, kterou získáte v případě nejmenšího zatěžovacího odporu, zpracujte standardním způsobem. Naměřenými body proložte přímkou $I = C \cdot E$ a najděte směrnici C této přímky a její chybu (viz kapitola „Chyby měření“). Zapište výslednou hodnotu směrnice spolu s chybou správně zaokrouhlenou podle pravidel na straně 19 skript a nezapomeňte uvést též její rozměr v základních jednotkách.



Obr. 2 Schéma zapojení pro měření fotoodporu (vlevo) a fotodiody (vpravo)

Tabulka 1

komb. sítek		osvět- lení E [lx]	fotooodpor		fotodioda		
			$U_1 =$	$U_2 =$	$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$
A	B		I [mA]	I [mA]	I [μA]	I [μA]	I [μA]
0	0						
1	0						
0	2						
2	0						
3	0						
0	5						
6	0						
3	4						
2	5						
7	0						
8	0						
8	2						
8	5						
8	7						
8	9						
tma							