

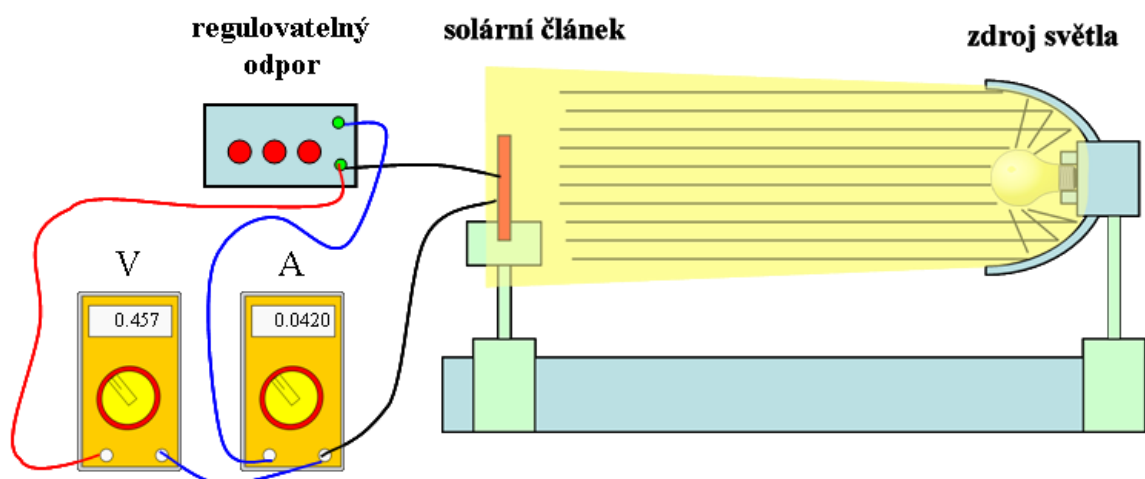
Měření parametrů solárních článků

- Úkoly :**
1. **Naměříte a pomocí počítače graficky znázorníte voltampérovou charakteristiku solárního článku. Analyzujete vliv různé intenzity osvětlení, vliv sklonu solárního článku vzhledem ke zdroji záření (kolmo, sklon 30°)**
 2. **Určete optimální pracovní bod a účinnost solárního článku při dané intenzitě osvětlení, stanovte R_{SH} , R_{SO} , FF , MPP**
 3. **Změřte spektrální odrazivost solárního článku pomocí spektrofotometru a spektrální citlivost s využitím LED diod**

Postup :

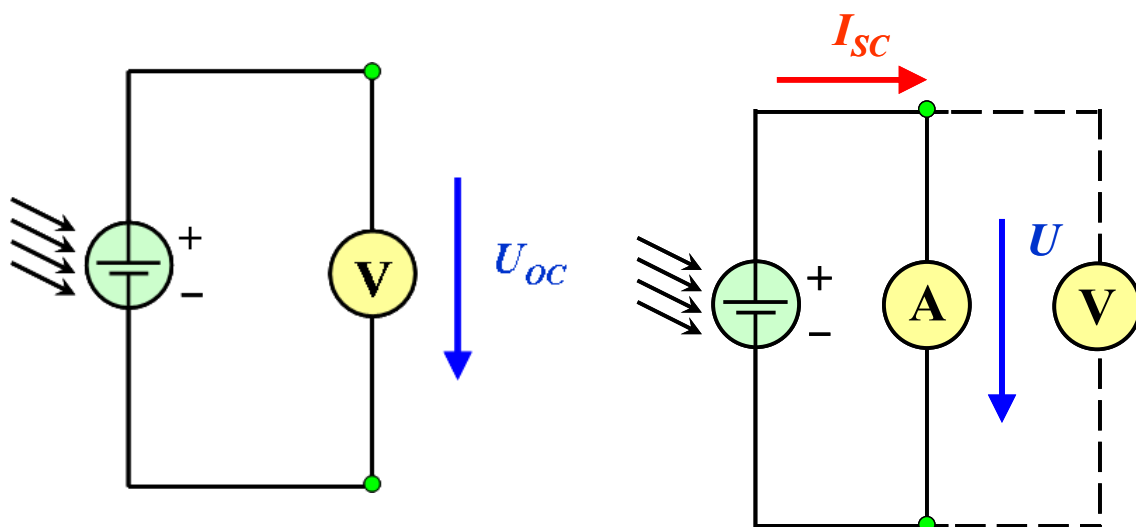
1. Měření voltampérové charakteristiky solárního článku

Zkompletujte měřicí sestavu pro měření voltampérové charakteristiky solárních článků (Obr. 1).



Obr. 1 Měření voltampérové charakteristiky solárního článku

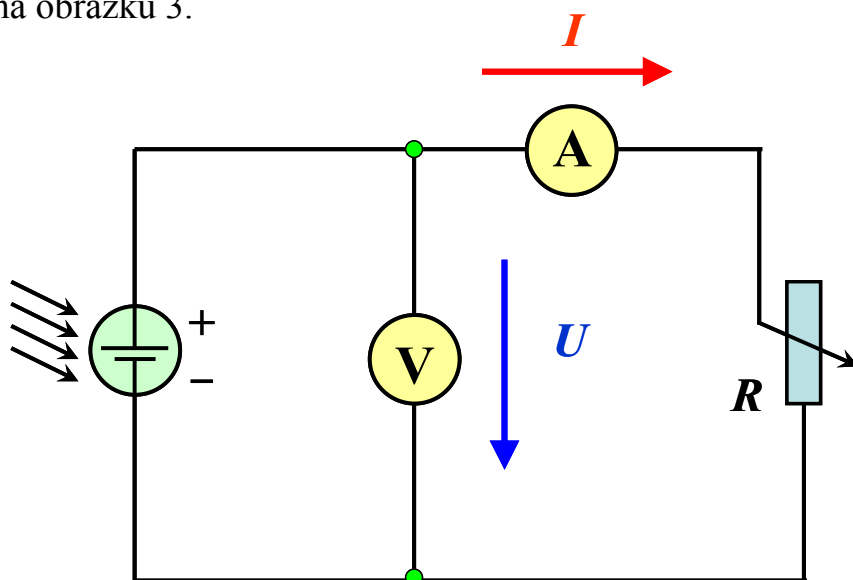
Sestava se skládá z optické lavice s držákem pro upnutí solárních článků, zdroje světla, 2 multimetrů a proměnné zátěže (regulovatelný odpor). S pomocí multimetrů změřte nejprve tzv. *napětí naprázdno* U_{OC} (*Open Circuit Voltage*) a tzv. *proud nakrátko* I_{SC} (*Short Circuit Current*), dle schématu na obr.2.



Obr. 2 Měření napětí naprázdno U_{OC} a proudu na krátko I_{SC}

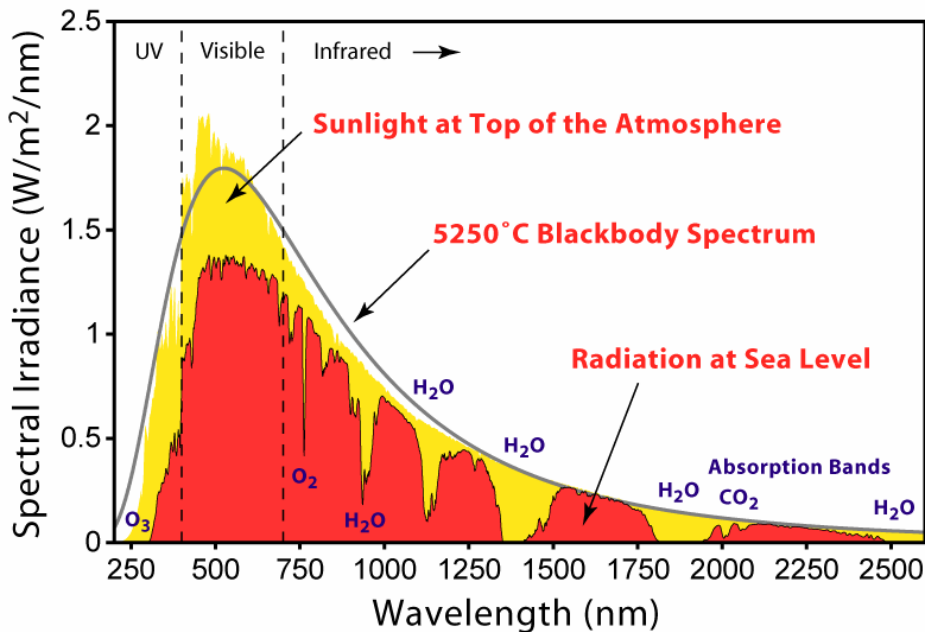
V důsledku nenulového vnitřního odporu ampérmetru je hodnota I_{SC} získaná tímto způsobem zatížena chybou. Tuto chybu lze odstranit buď pomocí speciální metody měření nebo počtetně pokud známe tzv. sériový odpor solárního článku. V případě, že vnitřní odpor ampérmetru je výrazně menší než sériový odpor fotovoltaického článku můžeme tuto chybu zanedbat.

Schéma zapojení pro měření voltampérové charakteristiky FV článku je zobrazeno na obrázku 3.



Obr. 3 Schéma zapojení pro měření VA charakteristiky solárního článku

Měření parametrů fotočlánku by mělo probíhat za standardizovaných podmínek tj. spektrální složení záření zdroje AM1.5 (*Air Mass*), které odpovídá slunečnímu záření na Zemském povrchu při zahrnutí vlivu atmosféry a hodnota intenzity ozařování fotočlánku $E = 1000\text{W/m}^2$. Spektrální složení AM0 a AM1 v porovnání se zářením černého tělesa o teplotě $T = 5250\text{K}$ je uvedeno na obr. 4.



Obr. 4 Sluneční spektrum AM0, AM1.5 a spektrum černého tělesa

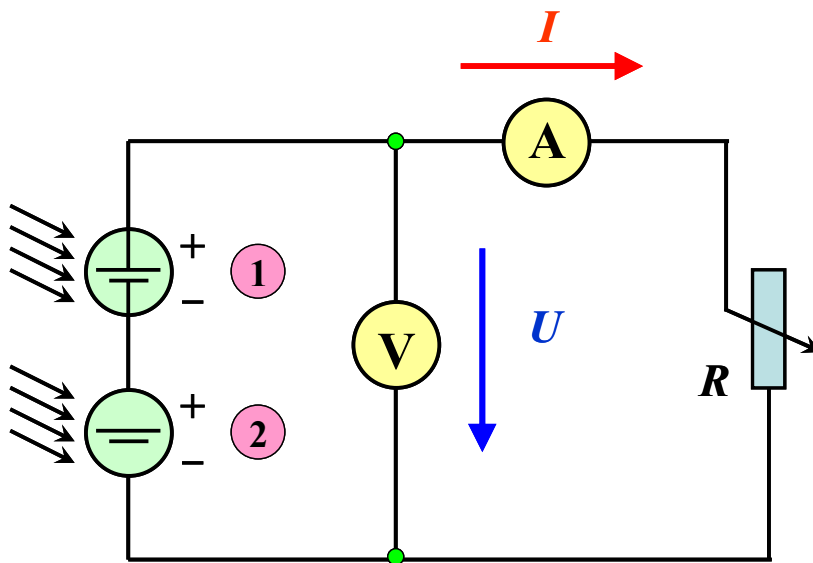
Pro měření použijte žárovku s denním spektrem a posuvem jezdce s fotočlánkem nastavte hodnotu osvětlení fotočlánku na standardních 1000W/m^2 (intenzitu osvětlení měřte radiometrem).

Plynulou změnou zátěže (regulovatelný odpor) postupně proměřte VA charakteristiku solárního článku při daném osvětlení. Měřené hodnoty napětí a proudu zaznamenávejte do tabulky. Zatěžování provádějte tak aby jste získali 20 bodů rovnoměrně rozložených po VA křivce. Při měření zahrňte bod křivky s napětím $U = 450\text{mV}$ a zapište si příslušnou hodnotu proudu I_{450} , který je jednou ze základních charakteristik solárního článku.

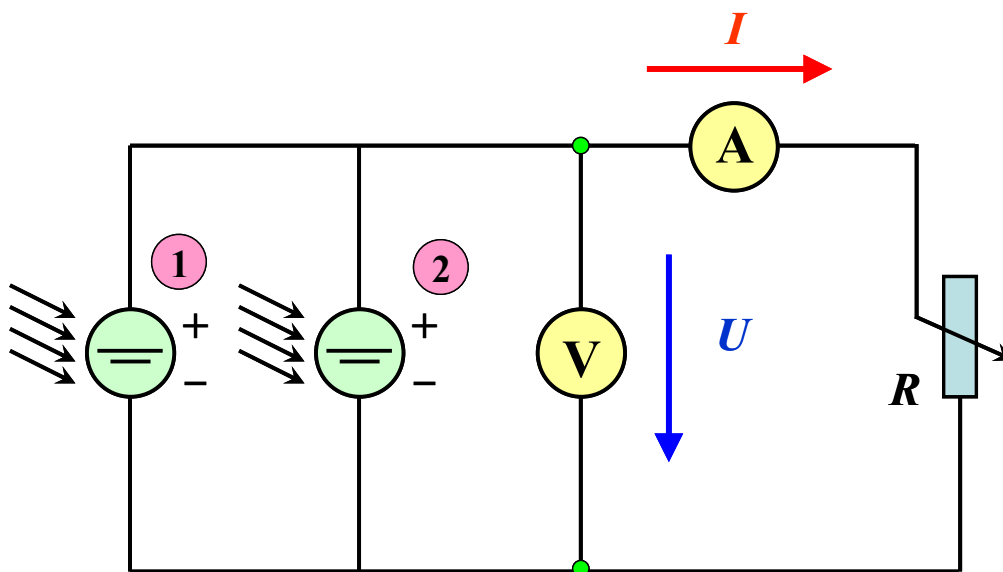
Změřte VA charakteristiku článku při sklonu 30° a porovnejte s kolmým dopadem. Měření opakujte pro poloviční hodnotu osvětlení. Intenzitu ozařování (W/m^2) změřte digitálním radiometrem.

Při standardním konstantním osvětlení proměřte při (kolmém dopadu) 2 typově shodné solární články a poté proveďte měření článků zapojených do

série (Obr. 4) a paralelně (Obr. 5). Porovnejte s měřeními prováděnými na samostatných člancích. Zpracování měření proveďte na počítači.



Obr. 4 Sériové zapojení solárních článků



Obr. 5 Paralelní zapojení solárních článků

Průběh voltampérové charakteristiky fotodiody (solárního článku) lze přibližně (při zanedbání vlivu vnitřních odporů článku) popsat následujícím vztahem

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

kde I je proud který článek dodává do zátěže, U je napětí na svorkách článku při dané zátěži, I_L je fotoproud úměrný zářivému toku, I_0 je závěrné napětí, e je náboj elektronu, k je Boltzmanova konstanta, T je termodynamická teplota článku a n je koeficient, který respektuje kvalitu fotovoltaického prvku z hlediska materiálového složení a jeho hodnota se pohybuje řádově v oblasti jednotek. Jestliže chceme analyzovat VA charakteristiku musíme tedy provést aproximaci naměřených dat funkcí typu

$$I = a - b[\exp(cU) - 1],$$

Kde a , b , c jsou neznámé hodnoty koeficientů. To lze nejjednodušeji provést nějakou iterační optimalizační metodou. Pro analýzu využijte aplikaci *Fotočlánek* vytvořenou v prostředí MATLAB. Tato aplikace graficky zobrazí naměřená data, provede popsanou aproximaci zjednodušeným matematickým modelem fotočlánku a vypočte základní charakteristiky fotočlánku.

2. Stanovení základních charakteristik solárních článků

Na základě analýzy naměřených VA charakteristik stanovte základní měřených parametry solárních článků. Za základní parametry můžeme považovat

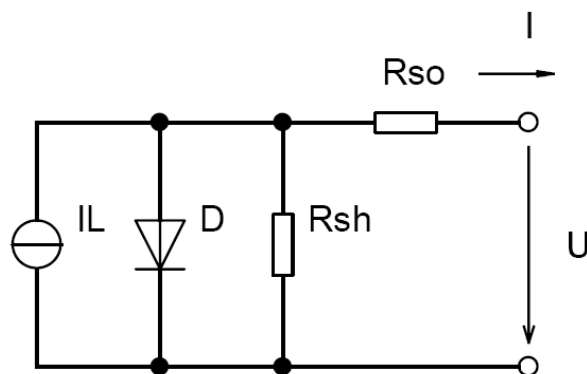
U_{OC} - napětí naprázdno (*open circuit voltage*)

I_{SC} - proud na krátko

I_{450} - proud při napětí 450 mV

Vnitřní odpory solárního článku

Při podrobnějším zkoumání vlastností solárních článků lze odvodit následující náhradní schéma (Obr.6)



Obr. 6 Náhradní schéma fotodiody (solárního článku)

R_{SO} - sériový odpor solárního článku, je dán sklonem VA křivky v okolí bodu U_{OC}

$$R_{SO} = -\left. \frac{dU}{dI} \right|_{U_{OC}}$$

R_{SH} - paralelní odpor solárního článku, je dán sklonem VA křivky v okolí bodu I_{SC}

$$R_{SH} = -\left. \frac{dU}{dI} \right|_{I_{SC}}$$

Znalost velikosti sériového a paralelního odporu fotočlánku nám dává informaci o jeho kvalitě. Příliš vysoká hodnota sériového odporu způsobuje, že svorkové napětí fotočlánku bude tím menší, čím bude větší úbytek napětí na sériovém odporu. Příliš nízká hodnota paralelního odporu nás informuje o vadném článku; FVČ se chová, jako by byl zevnitř zkratován. Proud procházející solárním článkem pak můžeme v rámci tohoto modelu vyjádřit jako

$$I = I_L - I_0 \left[\frac{e(U + IR_{SO})}{nkT} - 1 \right] - \frac{U + IR_{SO}}{R_{SH}}$$

V případě, že sériový odpor je malý a paralelní odpor je velký (kvalitní článek) potom můžeme jejich vliv zanedbat a lze použít zjednodušený model daný vztahem (1).

MPP – Maximal power point

Optimální pracovní bod fotočlánku pro který dodává maximální výkon. Tento bod leží na VA charakteristice ve vrcholu vepsaného obdélníka s maximální plochou.

P_m - maximální výkon solárního článku, $P_m = U_m I_m$

U_m - napětí při maximálním výkonu solárního článku

I_m - proud při maximálním výkonu solárního článku

R_m - odpor při maximálním výkonu solárního článku $R_m = U_m / I_m$

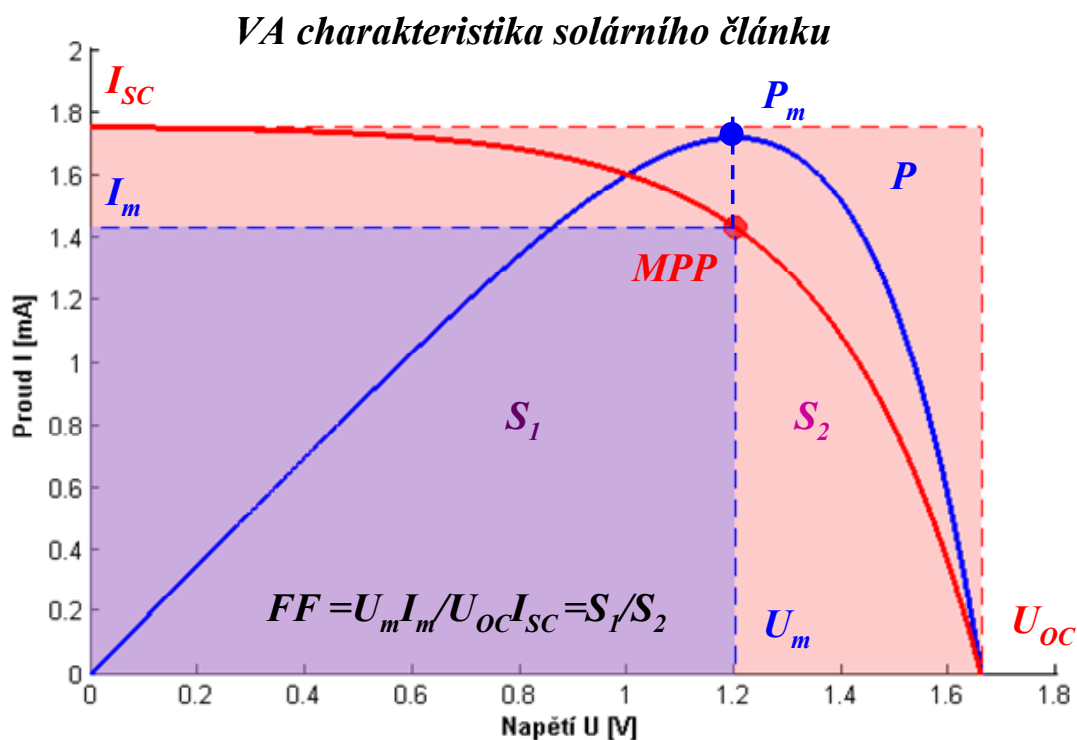
FF - fill factor $FF = \frac{P_m}{U_{OC} I_{SC}}$

Účinnost přeměny zářivé energie na elektrickou

Účinnost přeměny zářivé energie na elektrickou vypočteme ze vztahu

$$\eta = \frac{P_m}{P_{rad}} = \frac{P_m}{EA_C},$$

kde P_{rad} je výkon dopadajícího záření, A_C je plocha fotočlánku, E je intenzita ozařování. Vybrané parametry jsou znázorněny na ukázce VA charakteristiky (Obr. 7)

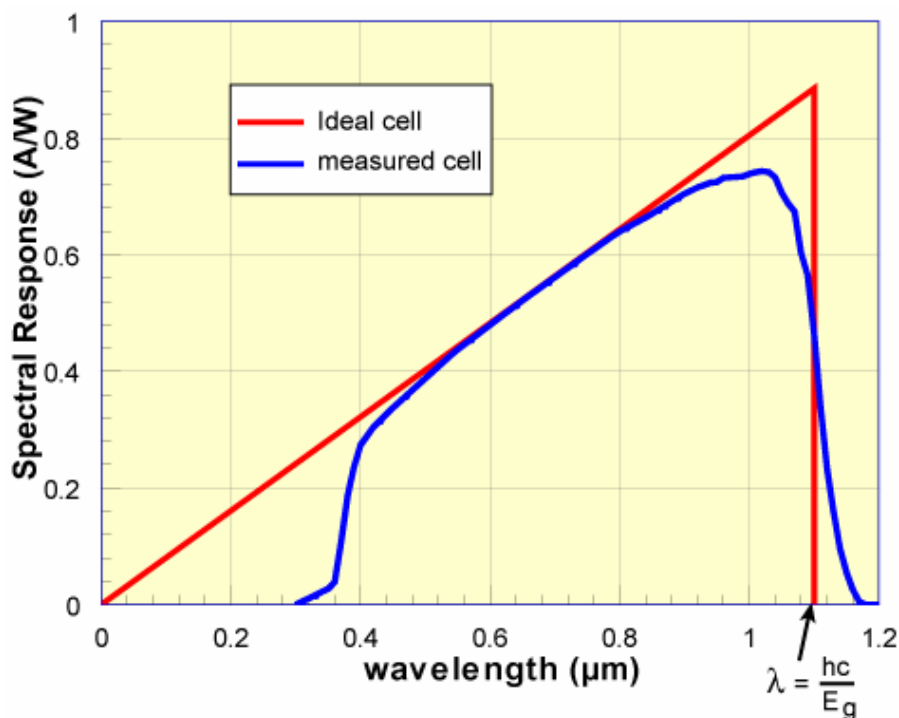


Obr. 7 Typický průběh VA charakteristiky solárního článku

Na charakteristice je možno vidět optimální pracovní bod fotočlánku při daném osvětlení (*MPP*), dále je patrný grafický význam parametru *FF* (fill factor) tj. že je to poměr maximální plochy obdélníka vetknutého pod VA charakteristikou S_1 k ploše nejmenšího obdélníka který obsahuje celou křivku S_2 . Modrá křivka zobrazená na obr. 7 je výkonová křivka. Jak je patrné křivka má své maximum P_m tj. maximální možný výkon dodávaný do zátěže při daném osvětlení. Napětí U_m a proud I_m při maximálním výkonu potom udávají polohu bodu *MPP* na voltampérové charakteristice.

3. Stanovení spektrální odrazivosti a spektrální citlivosti solárního článku

Změřte spektrální odrazivost solárního článku pomocí spektrofotometru. Ovládání spektrofotometru a postup při měření odrazivosti materiálů je popsán v návodu k úloze 6. S využitím výkonných LED diod o různých vlnových délkách proměřte odezvu solárního článku na různé vlnové délky světla a určete přibližně spektrální citlivost fotočlánku (Obr.8).



Obr. 8 Typický průběh spektrální citlivosti křemíkového solárního článku krytého sklem

Pomůcky : solární články, držák na solární články, LED diody, lampa, žárovky s denním světlem, radiometr, spektrofotometr, regulovatelná zátěž (odpor), 2 x multimetr