

ISSN 2406-2626

Број 3

НАСТАВА ФИЗИКЕ



Београд 2016.

Letkovac

НАСТАВА ФИЗИКЕ
Број 3, Мај 2016

ДРУШТВО ФИЗИЧАРА СРБИЈЕ



Часопис *Настава физике* је публикација Друштва физичара Србије. У часопису се публикују радови из методике наставе физике, историје и филозофије физике и прикази дисертација, монографских и уџбеничких публикација из области наставе физике. Намењен је наставницима физике основних и средњих школа, наставницима физике високих школа струковних студија, као и наставницима факултета који се баве истраживањима у области наставе физике

БЕОГРАД – 2016

Гостујуће уредништво/Стручни одбор:

1. В. Бојовић (Београд)
2. М. Дороцки (Нови Сад)
3. А. Жекић (Београд)
4. С. Ивковић (Београд)
5. С. Јокић (Београд)
6. М. Ковачевић (Крагујевац)
7. М Крнета (Београд)
8. Т. Марковић Топаловић (Шабац)
9. Љ. Нешић (Ниш), председник
10. С. Николић (Београд)
11. Д. Обадовић (Сомбор)
12. М. Поповић Божић (Београд)
13. М. Степић (Београд)
14. М. Стојановић (Нови Сад)

Организациони одбор семинара:

1. Саша Ивковић (председник)
2. Братислав Обрадовић
3. Иринеј Тапалага
4. Нора Тркља
5. Јелена Марковић
6. Милица Милојевић
7. Марија Марковић
8. Јелена Стошић
9. Ненад Грозданић
10. Бранка Радловић

Главни и одговорни уредник:

Љубиша Нешић

Секретар:

Лазар Раденковић

Технички уредник:

Милан Милошевић

Наслов:

„Настава физике“

Поднаслов:

„Зборник предавања, програма радионица, усмених излагања, постер радова и прилога са XXXIV Републичког семинара о настави физике“

Издавач:

Друштво физичара Србије, Београд

Штампарија:

СЗР „Тамрон-dizajn“, Панчево

ISSN: 2406-2626

Тираж: 250

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

53

НАСТАВА физике : зборник радова са
Републичког семинара о настави физике
/ уредник Љубиша Нешић. - 2015, бр. 1- . - Београд :
Друштво физичара
Србије, 2015- (Панчево : Тамрон-dizajn). - 25 cm

Два пута годишње
ISSN 2406-2626 = Настава физике
COBISS.SR-ID 214910476

Струјно-напонска карактеристика соларне ћелије

Милош Шебек¹, Ана Петковић¹, Александар Марковић¹, Стефан Марковић¹,
Свичевић Марко¹, Милан С. Ковачевић

¹ Студнети матер академских студија физике. ПМФ Крагујевац
Природно-математички факултет, Институт за физику. Крагујевац

Апстракт. У раду је описан релативно једноставан експеримент за одређивање струјно напонске карактеристике соларне ћелије од монокристалног силицијума. На основу резултата мерења израчунати су и основни параметри ћелије: максимална снага, филтинг фактор, струја кратког споја и напон отвореног кола.

Кључне речи: соларна ћелија, струјно напонска карактеристика.

СОЛАРНА ЋЕЛИЈА КАО ДИОДА

Соларна ћелија се састоји од p и n полупроводника. Услед апсорпције Сунчевог зрачења, у p - n споју се јављају парови електрон-шупљина. Ако су ови парови формирани далеко од p - n споја, брзо се рекомбинују и не доприносе претварању Сунчеве енергије у електричну. Услед апсорпције Сунчевог зрачења унутар или близу p - n споја, унутрашње електрично поље раздваја електроне и шупљине, тако да електрони крећу према n страни, а шупљине према p страни. Тако долази до смањења контактне разлике потенцијала p - n споја и до стварања напона на крајевима соларне ћелије. За више детаља о принципу рада соларне ћелије видети књигу [1]. Соларна ћелија се може моделовати као диода која ради у инверзном режиму [2-4]. У том случају се карактеристика соларне ћелије може описати једначином диоде [5]. Узимајући модел идеалне диоде, укупна струја I је

$$I = I_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{eV}{\gamma k_B T}\right) \right] + I_L \quad (1)$$

где је I_0 струја сатурације, V је напон, I_L је фотоструја, e је апсолутна вредност наелектрисања електрона, k_B Болшманова константа, T апсолутна температура, γ фактор диоде који се може одредити емпиријски ако се зна осветљеност. Стављајући $I = 0$ у једначину (1), добија се напон отвореног кола

$$V_{oc} = \gamma k_B T / e \ln(1 + I_L / I_0). \quad (2)$$

Снага соларне ћелије једнака је производу напона и струје

$$P = VI = I_0 V \left[1 - \exp\left(-\frac{eV}{\gamma k_B T}\right) \right] + I_L V. \quad (3)$$

Максимална снага соларне ћелије као извора струје износи $P_{mp} = I_{mp} V_{mp}$. Напон V_{mp} и струја I_{mp} су вредности које одговарају максималној снази и могу се добити из (3) узимајући да је $dP/dV = 0$. Тако се добија имплицитна једначина за V_{mp} у облику:

$$\left[1 + \frac{eV_{mp}}{\gamma k_B T} \right] \exp \left[\frac{eV_{mp}}{\gamma k_B T} \right] = 1 + \frac{I_L}{I_0}. \quad (4)$$

Струја која одговара максималној снази ћелије I_{mp} се може одредити проналажењем правоугаоника са највећом површином који се може уцртати унутар графика струјно напонске карактеристике ћелије. Један од најзначајнијих параметара соларне ћелије је ефикасност соларне ћелије који се дефинише односом између максималне снаге ћелије и снаге Сунчевог зрачења које пада на површину ћелије:

$$\eta = P_{mp} / P_m = I_{sc} V_{oc} FF / P_m \quad (5)$$

где је

$$FF = I_{mp} V_{mp} / I_{sc} V_{oc} \quad (6)$$

фактор испуне (филинг фактор). За идеалну ћелију је $FF = 1$. У реалним условима филинг фактор је мањи од јединице. Да би искористили једначину (1) за фитовање експерименталних резултата, потребно је познавати и фактор диоде γ (енг. *diode ideality factor*). Овај фактор се може израчунати из графика функције $\ln(I_L - 1) = f(V)$ за напоне при којима важи $\exp[eV_{mp} / \gamma k_B T] \gg 1$. Добија се линеарна функција облика

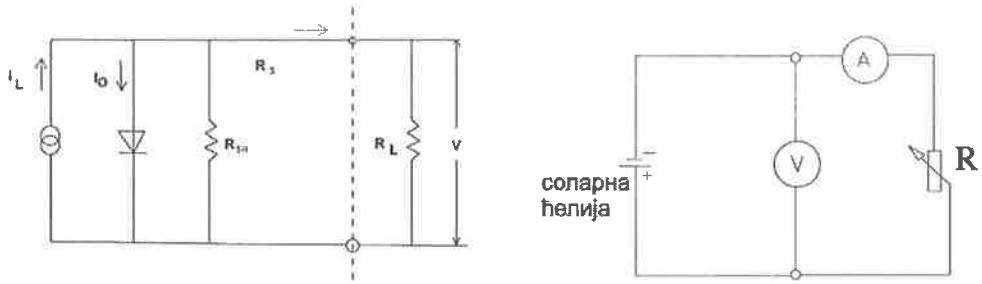
$$\ln(I_L - 1) = eV / (\gamma k_B T) + \ln I_0, \quad (7)$$

где се вредност за I_0 одређује из пресека графика са ординатном осом, а фактор γ из коефицијента правца праве (за $T=291$ K).

ЕКСПЕРИМЕНТ

Потребан прибор: соларна ћелија, сијалица као извор светлости, реостат (отпорна декада) 0 – 100 kΩ, амперметар (милиамперметар), и волтметар. У експерименту је коришћена монокристална силицијумска соларна ћелија чије су димензије 70x65x3,2 mm.

Задаци експеримента: 1. Снимити струјно напонску карактеристику соларне ћелије. 2. На основу $I-V$ карактеристике проценити вредности за напон празног хода и струју кратког споја. 3. Израчунати карактеристични отпор соларне ћелије по формули $R_k = V_{oc} / I_{sc}$. 4. Израчунати вредност за фактор испуне (филинг фактор, FF) соларне ћелије. 5. У реалном моделу соларне ћелије, узимајући у обзир серијски и паралелни отпор (серијска отпорност R_s која потиче од отпорности њених слојева и од отпорности површинских слојева-електрода, и паралелна отпорност R_{sh} која потиче од микродефеката унутар соларне ћелије), написати једначину за јачину струје коју даје соларна ћелија.

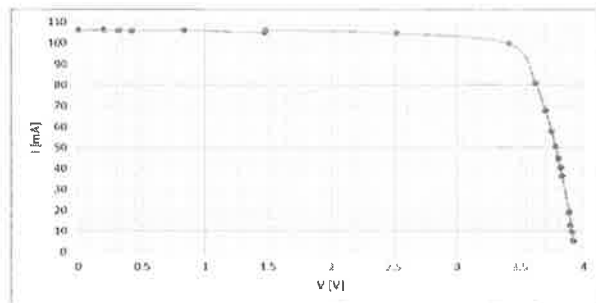


СЛИКА 11. а. Еквивалентно коло соларне ћелије: серијски отпор R_s , паралелни отпор (шапт) R_{SH} , спољашњи отпор R_L ; б. шематски приказ кола за мерење струјно-напонске карактеристике соларне ћелије: А - амперметар, V - волтметар, R –променљиви отпор.

Поступак рада: 1. Подесити вредност отпора на декади, R_L , на максималну вредност и записати вредности струје I и напона V у колу. Ако је отпор довољно велики ($R \sim 100\text{k}\Omega$, струја у колу ће бити нула) напон у колу одговара напону празног хода V_{oc} . 2. Ако се смањује вредност отпора R_L у корацима по $10\text{ k}\Omega$, постепено се повећава струја у колу. За десет и више вредности отпора R_L у колу, очитати вредности струје и напона укључујући и вредност струје кратког споја I_{sc} која одговара вредности отпора $R_L = 0$. Фотоструја I_L у једначини (1) добија се из услова $V = 0$. 3. Графички приказати зависност струје од напона и са графика одредити тачку која одговара максималној снази ћелије. Упоредити тако добијене вредности за V_{mp} и I_{mp} са вредностима које налазимо из једначина (1) и (4).

4. Помоћу формуле (6) израчунати филинг фактор, FF, за дату соларну ћелију. Познавајући интензитет светлости могуће је израчунати и ефикасност ћелије η , која се добија из једначине (5). 5. Фитовањем експерименталних резултата базираних на једначини (1) за идеалну диоду, могу се одредити вредности параметара I_0 и γ за дату соларну ћелију.

Експериментална поставка (коло са слике 1, [6]) је реализована у Лабораторији за наставна средства у Институту за физику Природно-математичког факултета у Крагујевцу.



СЛИКА 2. Струјно-напонска карактеристика соларне ћелије.

На слици 2 приказана је струјно напонска карактеристика соларне ћелије добијена мерењем напона и струје у колу са слике 1б. Тачка на графику која одговара максималној снази ћелије има координате $V_{mp} = 3,3\text{ V}$ и $I_{mp} = 100\text{ mA}$. Вредност за максималну снагу ћелије износи $P_m = 0,33\text{ W}$. Процењене вредности напона празног хода и струје кратког споја су 4 V и 104 mA , редом. Из (6) добијена је нумеричка вредност за филдинг фактор соларне ћелије, $FF = 0,79$, што у процентима износи 79%. За карактеристични отпор соларне ћелије се добија вредност $38,5\ \Omega$. Читаоцима остављамо да фитовањем експерименталних резултата, помоћу једначине (1), одреде вредности параметара I_0 и γ за дату соларну ћелију.

ПРИМЕНА СОЛАРНИХ ЋЕЛИЈА

Фотонапонска конверзија Сунчевог зрачења подразумева претварање енергије Сунца у електричну енергију. Ова конверзија се врши на соларним ћелијама које се изграђују од полупроводничких материјала, најчешће силицијума. Соларне ћелије се везују у веће целине које се називају модули. Модули садрже одређен број редно или паралелно повезаних соларних ћелија како би се добили жељени напон, односно јачина струје. За израду соларних модула најчешће се користи моно-кристални, поликристални и аморфни силицијум. Соларне ћелије могу се користити за осветљавање, телекомуникације, хлађење, пумпање воде, као и у добијању електричне енергије за читава насеља, нарочито у удаљеним областима, за напајање електричном енергијом бродова, авиона, космичких станица, сателита итд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павловић Т., Милосављевић Д. Д., Мирјанић Љ. Д., Обновљиви извори енергије (Бања Лука, 2013) 70-108.
2. Feldman B. (2010). An introduction to solar cell, *Phys. Teach.* **48**, 306-308
3. Kraftmakher Y. (2000), Photovoltaic cell: efficiency of energy conversion, *EJP.* **21**, 159-166
4. Gfroerer T. (2013), Circuit in the Sun: Solar Panel Physics, *Phys. Teach.* **51**, 403-405
5. Поповић М., Основи електронике (Електротехнички факултет, Београд, 2006)
6. Kammer D. D., Ludington M. A. (1997), Laboratory experiments with silicon solar cell, *AJP.* **45**, 602-605

The current-voltage characteristic of a solar cell

Abstract: This paper presents an experiment for teaching solar cell operation principles along with characterization and modeling method. The basic theory of solar cell is presented, including equivalent circuits and characteristic equations. Experimental results such as the I-V characteristic, fill factor, open-circuit voltage, maximum power, short-circuit current and agreement with theory are presented for a typical inexpensive cell.

Keywords: solar cell, current voltage characteristic.