

МОДЕЛОВАЊЕ ЕКОЛОШКЕ ПУНИОНИЦЕ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА ВОЗИЛА**MODELING OF ECOLOGICAL CHARGING STATION FOR ELECTRIC VEHICLES**Марко Миланко, Владимир Катић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – У раду је представљен модел еколошки прихватљиве фотонапонске пунионице са супербрзим пуњачем за електрична возила. Моделовање је извршено у MATLAB/Simulink програмском пакету.

Кључне речи: Електрични аутомобили, Li-ion батерије, Пунионица, Фотонапонска електрана

Abstract – This paper presents a model of an environmentally friendly photovoltaic charging station with a superfast charger for electric vehicles. The modeling was performed in the MATLAB/Simulink software package.

Keywords: Electric vehicles, Li-ion batteries, Charging station, Photovoltaic power plant

1. УВОД

Уз електрификовану флоту путничких аутомобила, емисија угљен-диоксида могла би се значајно смањити у зависности од начина производње електричне енергије. Повећана потрошња електричне енергије због потреба за пуњењем електричних аутомобила у возним парковима може се задовољити повећаном количином производње обновљиве енергије у електроенергетским системима. Са возним парком електричних возила у транспортном систему настаје потреба за успостављањем инфраструктуре за пуњење која ће дистрибуирати снагу електричним возилима.

Зависно од броја електричних возила и начина пуњења, интеграција електричних возила укључује додатне количине захтеване енергије на укупни профил оптерећења што може довести до повећања пикова на дијаграмима оптерећења. Обрасци пуњења електричних возила стохастичког карактера су јер на њих утиче индивидуално понашање возача на путу као и расположиве могућности за пуњење што потврђује претпоставку да ће увођење електричних возила утицати на промене оптерећења.

Повећана варијација оптерећења и пикови могу створити потребу за надоградњом мрежне инфраструктуре ради превенције у смањивању губитака, ризика од преоптерећења или оштећења компоненти. Међутим, уз добро испланиране подстицајне мере за кориснике електричних возила, уз одговарајућу инфраструктуру пуњења, електрична возила се могу користити као флексибилна оптерећења која могу помоћи у ублажавању варијација оптерећења и вршних оптерећења у електроенергетском систему.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Катић, ред. проф.

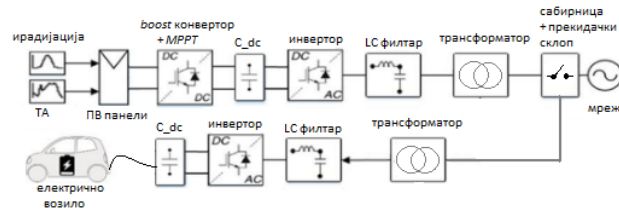
2. ПУНИОНИЦА

Систем еколошки прихватљиве пунионице састоји се од неколико важних целина. Соларна електрана се састоји од четири соларна поља и она се прикључује на остатак система преко DC/DC претварача, који је моделован као подизач напона и чија је улога да на свом излазу да напон и струју одговарајућег квалитета. То изводи помоћу MPPT алгоритма [1,2]. Следећи елемент је инвертор који једносмерне електричне величине, које на његов улаз долазе преко подизача напона, претвара у наизменичне и тако синхронизује соларну електрану са остатком система.

После њега се налазе LC филтар који има улогу да обезбеди правилну таласност излазног напона и струје, и трансформатор, који подиже напон ради ефикаснијег транспорта енергије од извора до пуњача и/или мреже. Други део система је модел самог супербрзог пуњача и електричног возила које је моделовано једном батеријом.

Пуњач се састоји од кондензаторског филтера, инвертора чија је улога, поред трансформације наизменичних величина у једносмерне, и контрола пуњења батерије. Такође, и овде су присутни LC филтар и трансформатор. Трећи подсистем представља електричну мрежу бесконачне снаге.

Сва три подсистема вежу се на сабирницу у склопу које се налази и прекидачки механизам помоћу којег се управља пунионицом, тј. врши избор мода за пуњење. Блок шема овог система представљена је на слици 1.



Слика 1 Блок шема система

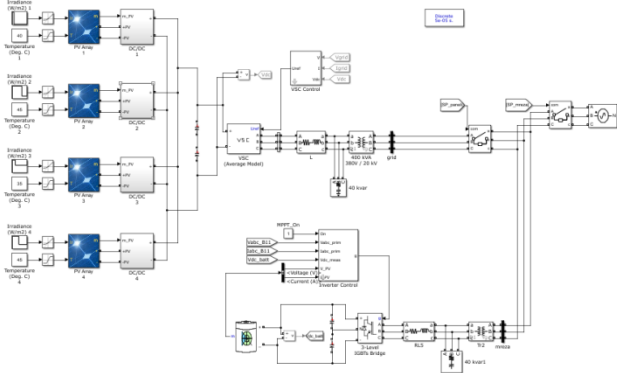
Систем је предвиђен за рад у једном од следећа три режима:

- 1) Ноћ, потпуно засенчење панела или квар неког/их од елемената у соларној електрани. Целокупна енергија потребна за пуњење батерије електричног возила се добија из електричне мреже.
- 2) Пуњач за електрична возила се напаја из соларне електране, без обзира на тренутне промене ирадијације и
- 3) Пуњач за електрична возила се напаја из соларне електране, а при томе постоји механизам за повезивање пуњача самрежом у случају смањивања

излазне снаге електране испод задате вредности, у овом случају задата је граница од $50\%P_n$.

3. MATLAB/Simulink МОДЕЛ СИСТЕМА

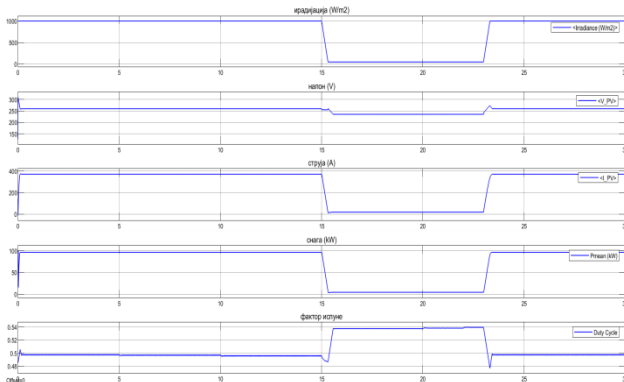
За моделовање еколошки прихватљивог система превоза коришћен је софтверски алат *MATLAB/Simulink*. Целокупан изглед модела приказан је на слици 2, са које се може уочити да се модел састоји од више подсистема. Сваки подсистем игра важну улогу у реализацији ове симулације.



Слика 2. Модел система у *MATLAB/Simulink* програму

4. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

На слици 3. на првом дијаграму је дата вредност ирадијације доведене на улазе модела фотонапонских панела првог соларног поља. Дијаграми ирадијације разликују се за сва четири соларна поља из разлога што је постојала намера да се симулира различита осунчаност на различитим локацијама где су соларна поља инсталирана, односно да сенка може пасти на једно или део једног соларног поља, а не мора и на све остале. Биће представљени само дијаграми првог соларног поља јер су остала три аналогна, само са различитим тренутним вредностима ирадијације, а онда последично и напона и снаге итд.



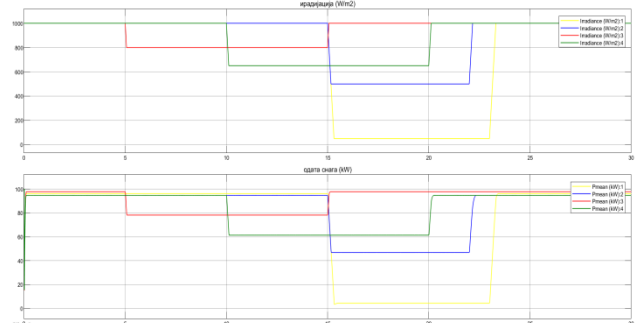
Слика 3. Ирадијација, напон, струја, снага и фактор испуне првог соларног поља

Са дијаграма се уочава да ирадијација има вредност од 1000 W/m^2 до петнаесте секунде, након чега линеарно опада до вредности од 50 W/m^2 до шеснаесте секунде и задржава ту вредност све до двадесет и треће секунде. Тада почиње линеарно да расте до двадесет и четврте секунде и вредности од 1000 W/m^2

коју задржава до краја симулације, односно до тридесете секунде.

На другом и трећем дијаграму слике 3. приказани су напон и струја соларног поља, са којих се може видети да при негативној промени вредности осунчаности (од 15. до 24. секунде) деградирају и вредности напона и струје, што за последицу има и смањену вредност снаге коју производи соларно поље и што се може видети на четвртном дијаграму. Промена вредности фактора испуне приказана је на последњем дијаграму.

На слици 4. приказана су два графика. На првом је приказана вредност ирадијације сваког од четири соларна поља у свакој од 30 секунди симулације. Жутом бојом је обележена вредност осунчаности првог соларног поља, плавом бојом осунчаност другог соларног поља, док су црвеном и зеленом бојом обележене вредности ирадијације трећег и четвртог соларног поља, респективно.

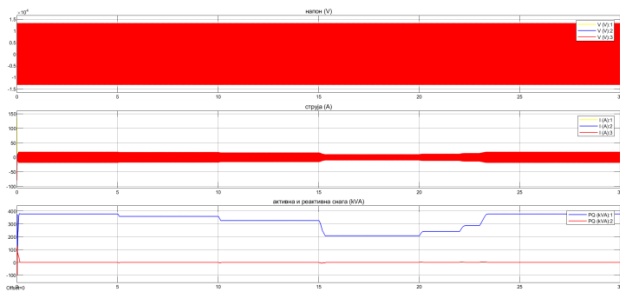


Слика 4. Зависност излазне снаге соларних поља од ирадијације

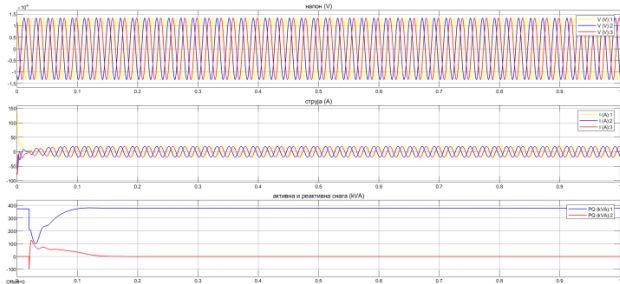
Са првог графика уочава се да је осунчаност од 1000 W/m^2 на сва четири соларна поља присутна само у првих 5 и последњих 8 секунди, и стога је само у та два периода соларна електрана у могућности да испоручи номиналну снагу од 400 kW .

На другом графику су приказане вредности активне снаге сваког појединачног соларног поља у времену. Боје за свако соларно поље и снагу које оно испоручава су аналогне са онима на графику изнад, за вредности ирадијације. Уочава се да у периоду од петнаесте до двадесет и друге секунде соларна електрана испоручује испод 50% номиналне снаге (195 kW) и то је уједно и „најкритичнији“ период током којег се значајно успорава процес пуњења.

На ликама 5. и 6. приказани су напон, струја као и активна и реактивна снага мерени на излазу соларне електране, после трансформатора. Уочава се како вредности струје варирају у односу на тренутну снагу соларне електране, док се напон одржава константним. На слици 5. приказане су величине у зависности од времена за цео период симулације, односно 30 секунди, а на слици 6. је узет период од једне секунде како би се могли уочити таласни облици струје и напона. Поред тога, на слици 6. су уочљиви и прелазни процеси на самом старту симулације, у периоду од неколико стотинки, због присутности уређаја енергетске електронике велике снаге у систему. Активна снага представљена је плавом бојом, а реактивна црвеном.

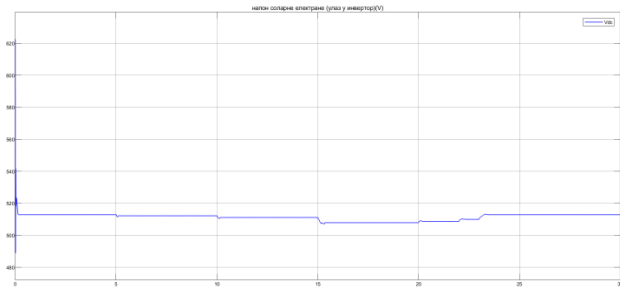


Слика 5. Напон, струја, активна и реактивна снага на излазу соларне електране



Слика 6. Напон, струја, активна и реактивна снага на излазу соларне електране, увећано

На слици 7. приказан је напон једносмерног кола соларне електране, односно напон мерен на излазу из подизача напона, односно напон који се доводи на улаз инвертора. Овај напон је добијен деловањем *MPPT* контролера и подизача напона комбиновано и мора се одржавати у одговарајућим границама од 500 V (+/- 4%). На овом напону се такође примећују последице смањења и повећања осунчања у виду пропада и пикова напона. Пропади и пикови присутни у тренуцима промене ирадијације, у петој, десетој, петнаестој итд. секунди присутни су из разлога што је примењен усредњени модел једносмерног претварача и *P&O MPPT* алгоритма, који нису у стању довољно брзо да испрате нагле промене ирадијације.

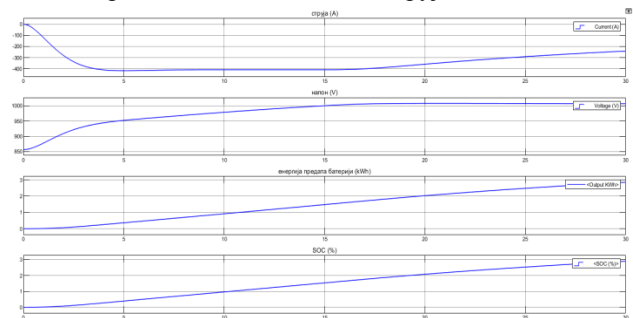


Слика 7. Напон соларне електране мерен на улазу у инвертор

4.1 Режим 1)

На слици 8. виде се четири графика. На њима су представљене промене струје, напона, енергије и стања напуњености батерије (*SoC – State of Charge*) током 30 секунди симулације. На првом графику се види да струја добија негативну вредност, а то је из разлога што се батерија пуни, односно смер струје је из система у батерију. Да је батерија та која испоручује енергију систему, вредност струје би била позитивна. На старту симулације струја расте до вредности од 400 A и одржава се константном, према *CCCV* [3] алгоритму (прво се струја одржава константном, а затим напон),

док напон не достигне задату вредност, у овом случају 1020 V. У периоду док се струја одржавала константном, напон је растао. Када је достигао задату вредност, отпочела је друга (*CV*) [3] фаза пуњења, током које се напон одржава константним, док струја пада.

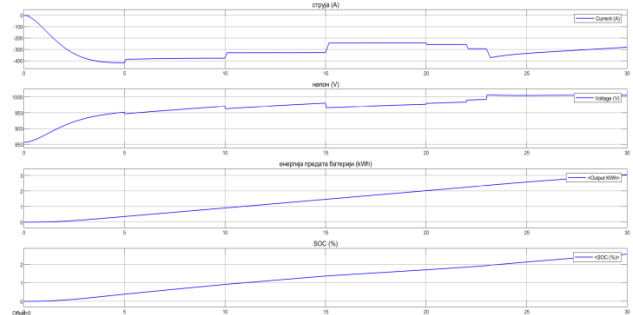


Слика 8. Струја, напон, енергија и SOC батерије у процесу пуњења 1)

На другом графикону приказана је енергија коју пуњач испоручује батерији. У овом случају, када се пуњач снабдева директно из електричне мреже, за период од 30 секунди симулације, укупна енергија предата батерији достигла је вредност од 3.046 kWh. И, на последњем графику приказано је стање напуњености батерије, које је у овом сценарију, дакле када се узима снага из електричне мреже, достигло вредност од 2.894 %.

4.2 Режим 2)

У овом случају, на слици 9. уочавају се пропади струје и напона сразмерно са наиласком сенке преко соларних поља, односно са смањењем тренутне излазне снаге соларне електране. Могу се уочити сразмерни пропади струје и напона као последица засеђења сваког соларног поља појединачно. Од пете до петнаесте секунде соларно поље три (црвена линија на графику са слике 4) одаје 20 % мање санге. Затим од десете до двадесете секунде соларно поље четири (зелена линија на графику са слике 4) одаје 40 % мање снаге. Од петнаесте до двадесет и друге секунде соларно поље два (плава линија на графику са слике 4) одаје 55 % мање снаге од номиналне и од петнаесте до двадесет и треће секунде соларно поље број један (жута линија на графику са слике 4) одаје 95 % мање снаге од номиналне.



Слика 9. Струја, напон, енергија и SOC батерије у процесу пуњења 2)

На друга два графика са слике 9. се поново налазе тренутне вредности енергије испоручене батерији и стања напуњености батерије, чије криве у овом случају расту мање стрмо. Такође је могуће уочити благе промене нагиба криве стања напуњености у

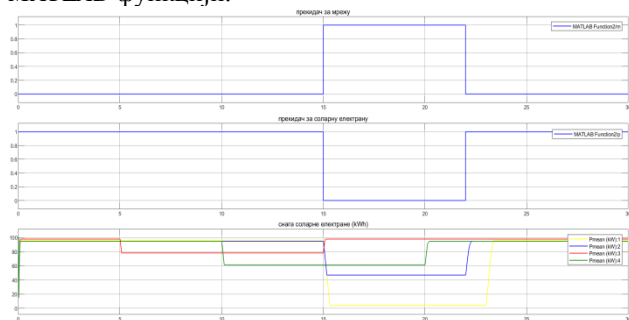
тренуцима промене осунчаности соалрних поља (пета, десета, петнаеста, двадесета, двадесет друга и двадесет и трећа секунда).

У овом сценарију, енергија коју је пуњач предао батерији за период од 30 секунди, износи 2.857 kWh, а батерија је напуњена до 2.562 % свог максималног капацитета.

Може се приметити како је батерија мање напуњена у односу на први сценарио, када је пуњена из мрже, што свакако представља недостатак оваквог једног система, који има за примарни циљ пуњење електричног возила из еколошки чистог извора, соларне електране. Рачуном се долази до чињенице да би се за исто време које потребно да се батерија напуни од 0 до 100 % преко електричне мреже, преко соларне електране напунила до 88 % свог капацитета, у условима овакве осунчаности. Ових 12 % разлике представља практичан недостатак у случају другог сценарија и он се може делимично решити постављањем прекидачког алгоритма у систем, у циљу унапређивања перформанси пуњача када се он напаја из соларне електране.

Прекидачки алгоритам је осмишљен тако да ради на принципу укључивања/искључивања одређених делова система у зависности од тренутне вредности ирадијације или излазне снаге соларне електране. Када тренутна излазна снага соларне електране падне на испод 50 % њене номиналне вредности, прекидачки склоп аутоматски прикључује пуњач на мрежу. У пракси би се још додала опција да се тада соларна електрана прикључује на мрежу или стационарну батерију, уколико постоји, како се не би дозволио губитак енергије од 50 или мање процената од њене номиналне.

На слици 10. је приказан принцип рада прекидачког склопа, чији је алгоритам реализован у екстерној MATLAB функцији.



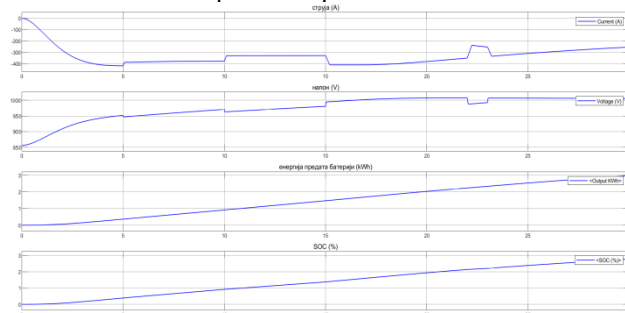
Слика 10. Уклопна стања прекидача у зависности од тренутне излазне снаге соларне елктране

Применом оваквог решења, могуће је унапредити претходни случај. Имплементацијом прекидачког склопа дошло се до сценарија број три.

4.3 Режим 3)

Прва два графика са слике 11 разликују се од оних на слици 9 само у временском периоду од петнаесте до двадесет и друге секунде. Вредности напона и струје не разликују се од оних приказаних на слици 9. првих петнаест и последњих осам секунди симулације. Разлика је дакле видљива у тих седам секунди и она се огледа у повећању вредности напона и струје на вредности које смо имали у случају првог сценарија, тј. када је пуњач црпио енергију искључиво из електричне

мреже. У том периоду вредности су једнаке управо из разлога што се у овом случају, дејством алгоритма прекидачког склопа, пуњач прикључио на мрежу и тиме су саниране последице превеликог пада тренутне излазне снаге соларне електране.



Слика 11. Струја, напон, енергија и SOC батерије у процесу пуњења 3)

5. ЗАКЉУЧАК

Рад описује моделе и симулације рада еколошки прихватљиве фотонапонске пунионице за електрична возила у три предвиђена режима. Дати су резултати низа симулација за сваки од ова три режима, а претходно су приказани резултати симулације модела саме соларне електране. Резултати су коментарисани и помоћу њих је објашњен начин рада система. Показано је да модел успешно обавља предвиђене задатке и даје очекиване резултате за сваки режим.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] З. Ивановић, В.А. Катић, „Обновљиви извори електричне енергије – вежбе“, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2018.
- [2] <https://pdf.sciencedirectassets.com> „Study on the optimal charging method for lithium-ion batteries“
- [3] <https://www.researchgate.net/publication/228816125> „Model Predictive Control Based Fast Charging for Vehicular Batteries“

Кратка биографија:



Марко Миланко рођен је у Книну 1995. Факултет техничких наука уписује школске 2014/2015 године. На мастер студијама се определио за смер Дистрибуирани електроенергетски ресурси на којима је одбранио мастер тезу 2020 године.



Владимир Катић рођен је 1954. годинеу НовомСаду. Докторирао је на Универзитету у Београду 1991. године. Од 2002. године је редовни професор Универзитета у Новом Саду. Области интересовања су енергетска електроника, квалитет електричне енергије, обновљиви извори електричне енергије и електрична возила.