

**РАЗВОЈ АЛГОРИТМА ПУЊЕЊА/ПРАЖЊЕЊА БАТЕРИЈЕ ПРЕТВАРАЧЕМ ПОВЕЗАНИМ НА МРЕЖУ****DESIGN OF BATTERY CHARGING AND DISCHARGING ALGORITHM BASED ON GRID-CONNECTED CONVERTER**Мирко Бештић, Стеван Грабић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

**Кратак садржај** – У раду су објашњене основне методе пуњења оловних батерија. Поред тога, приказан је развој прекидачког симулационог модела претварача на мрежи који контролише пуњење и пражњење. Развијени су усредњени модели за прањење процеса пуњења/пражњења који су нумерички мање захтевни. На крају рада дати су одзиви који су потврдили веродостојност симулационих модела.

**Кључне речи:** батерија, претварач повезан на мрежу, методе пуњења

**Abstract** – This paper describes the basic methods of charging lead-acid batteries. Additionally, the development of the switching grid-connected converter simulation model is presented. Averaged models have been developed in order to monitor the charging and discharging processes. These models are numerically less demanding. At the end of the paper, the simulation results are given to confirm the performance of the presented models.

**Keywords:** Battery, Grid-connected converter, Charging methods

**1. УВОД**

Примјена батерије у различитим апликацијама енергетског сектора је врло изазовна и разносврсна. Тако на примјер, батерија се користи као главни извор енергије у електричним и хибридним возилима. Поред функције доминантног извора енергије, батерије у возилима имају и друге улоге - обскрбљивање других подсистема возила. Батерија представља и једну од основних компонентни паметних електричних мрежа, у којима су неки чворови и произвођачи и потрошачи електричне енергије.

Батерија у паметним мрежама има улогу складиштења вишка електричне енергије која се послуже, при потреби за енергијом може или послати у мрежу или обскрбити сопствени захтеви за потрошњом. Свакако, модерне технологије и захтеви за све већом енергетском ефикасношћу доводе до пораста употребе батерија, самим тим и до пораста њиховог броја и значаја на тржишту.

**НАПОМЕНА:**

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Стеван Грабић, ванр. проф.

Прогноза је да ће батерије бити друге по важности од десет кључних стратешких технологија које ће обликовати пословање у 21. веку. Ово се може поткрити чињеницом да постоји огроман пораст у продаји преносних електронских уређаја (мобилни телефони, лаптоп и преносиви рачунари, камкордери итд.) којима је потребно напајање из батерије, као и уређаја прикључених на мрежу који користе батерије као складиште енергије. У индустрији и трговини појављује се велики раст потражње за стационарним батеријама које обезбеђују тренутну снагу у случају неуспјешног напајања из мреже. Енергетска стабилност захтјева све већи број батерија за складиштење произведене електричне енергије како би се ускладиле флукуације између снабдевања и потражње [1].

Фокус овог истраживачког рада јесте развој симулационих модела који на адекватан начин приказују процес пуњења и пражњења батерија помоћу претварача повезаног на мрежу. Након увода у коме је приказан значај батерија, у другом поглављу је дат кратак резиме о оловним батеријама, као и методе пуњења. У трећем поглављу дат је математички модел разматраног претварача на мрежи, који је искоришћен за развијање модела чији је опис дат у поглављу 4. Приказани су симулациони резултати који су послужили за верификацију креираних модела након чега је изведен закључак истраживачког рада.

**2. ОЛОВНЕ БАТЕРИЈЕ И МЕТОДЕ ПУЊЕЊА**

Батерије су битно еволуирале у претходних нешто више од два вијека. Најчешће употребљаване пуњиве батерије данашњице су оловна, никл-кадмијумска, никл-метал хидридна и литијумска.

Иако најстарији тип пуњиве батерије, оловна батерија и даље има многобројну употребу. Њен модел је коришћен у фокусу истраживања овога рада. По својим карактеристикама је робусна и економична, али има ниску специфичну енергију и ограничен број циклуса пуњења и пражњења. У режиму употребе гдје се празни великим струјама вијек трајања им знатно опада. Капацитет на ниским температурама им такође опада, али нема потребе за загријавањем као код неких других, нпр. батерија на бази натријума. Номинални напон једне ћелије оловне батерије је 2 V. Поседује значајну унутрашњу отпорност, веома дуго вријеме пуњења које није фиксно услед велике унутрашње отпорности. Такође, ефекат самопражњења је значајно изражен [2].

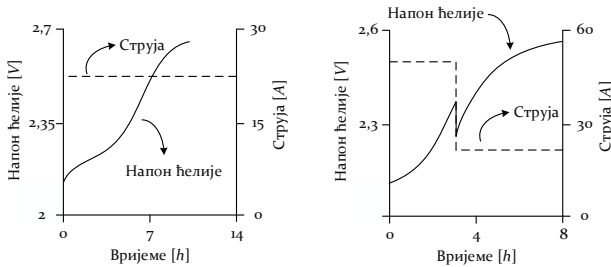
## 2.1 Методе пуњења оловне батерије

Главни допринос овог рада представља симулациони модел оловне батерије и претварача повезаног на мрежу. Симулациони модел коришћен је ради анализе пуњења и пражњења оловних батерија, чије методе су описане у овом поглављу. У литератури [3] је извршена подела на дванаест метода пуњења оловних батерија, између осталог и метода пуњења константом струјом и константим напонем који ће бити коришћени у симулационом моделу.

## 2.2 Пуњење константном струјом

Пуњење константном струјом једне или више вриједности није често коришћено у случају оловних батерија, осим када се струја пуњења одржава на ниском нивоу. Ово за последицу има дуго вријеме пуњења, 12 сати и дуже. Слика 1 приказује карактеристике пуњења константном струјом. На слици лево приказано је пуњење струјом константе вредности, док је на слици десно приказано пуњење са двије различите вредности константе струје током периода пуњења.

Пуњење константном струјом се користи код оловно-киселинских батерија нижег капацитета. Ова метода пуњења се користи приликом „формирања“ батерије. Пуњење константном струјом се понекад користи и у лабораторији због погодности израчунавања капацитета, као и због тога што се пуњење константном струјом може обавити једноставном и јефтиним опремом. Пуњење константном струјом чија је вриједност половина номиналне може се користити за смањење сулфације у батеријама, које су превише испражњене или превише напуњене. Овакав третман може да скрати вијек трајања батерије и требало би да се користи само уз препоруку произвођача батерије.



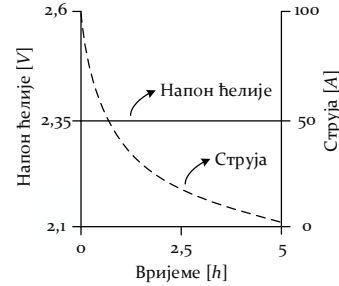
Слика 1. Карактеристике пуњења батерије константном струјом

## 2.3. Пуњење константним напонем

Постоји више метода пуњења константним напонем, а најзаступљенија је метода пуњења константним напонем са константном почетном струјом. Ова метода се користи за путничка возила и системе непрекидног напајања (енгл. *Uninterruptible Power Supply - UPS*).

У овом случају, коло за пуњење има ограничење струје и ова вриједност се одржава до унапријед одређеног напона који треба да се постигне. Затим се напон одржава константним. Унапријед се мора одредити ограничење струје и вриједност константног напона. Избор зависи од временског тренутка када је батерија под константним напонем и у стању напуњености од 100%. За ово одржавање напона

батерије пожељно је да струја буде ниска и на тај начин да се спречи прекомјерно пуњење. Прекомјерно пуњење може довести до низа лоших појава на батерији као што је на примјер губитак воде у електролиту. Да би се постигло потпуно пуњење са ниским константним напонем неопходан је правилан избор стартне струје, која се бира на основу спецификације произвођача. На слици 2 је приказана карактеристика пуњења константним напонем.



Слика 2. Карактеристика пуњења константним напонем

## 3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ПРЕТВАРАЧА ПОВЕЗАНОГ НА МРЕЖУ

Први корак у управљању радом претварача на мрежи је формирање нормализованог математичког модела у синхронно ротирајућем  $dq$  домену, који се може описати системом једначина датих у наставку.

$$\tau_s \cdot \frac{di_d}{dt} = -r_s \cdot i_d + x_s \cdot n_{MRZ} \cdot i_q - u_{dMRZ} + u_{ds} \quad (1)$$

$$\tau_s \cdot \frac{di_q}{dt} = -r_s \cdot i_q - x_s \cdot n_{MRZ} \cdot i_d + u_{qs} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{d\theta_{MRZ}}{dt} = n_{MRZ} \quad (3)$$

$$p_{MRZ} = i_d \cdot u_{dMRZ} \quad (4)$$

$$q_{MRZ} = -i_q \cdot u_{dMRZ} \quad (5)$$

Главни изазов при развоју овог модела је формирање петље за регулацију напона батерије. Циљ поставке претварача на мрежи у овом раду је да се контролише струја пуњења/пражњења батерије.

Управо из тог разлога је наведени модел неопходно прилагодити тако да се преко струје мреже контролише струја батерије. Међусобна веза између наведених струја се може успоставити преко чињенице да је  $p_{DC} = -p_{MRZ}$ . Када се одговарајуће величине уврсте у формулу за снагу добијају се изрази (6) и (7).

$$p_{DC} = u_{DC} \cdot i_{DC} = -u_{dMRZ} \cdot i_d \quad (6)$$

$$i_d = i_{DC} \cdot \left( -\frac{u_{DC}}{u_{dMRZ}} \right) \quad (7)$$

Како би се извела структура регулационе петље у линеарном облику уместо напона  $DC$  кола претварача  $u_{DC}$  регулише се проток енергије у једносмерном колу



остварити жељени напони и на тај начин успјешно реализовати комплетна контрола.

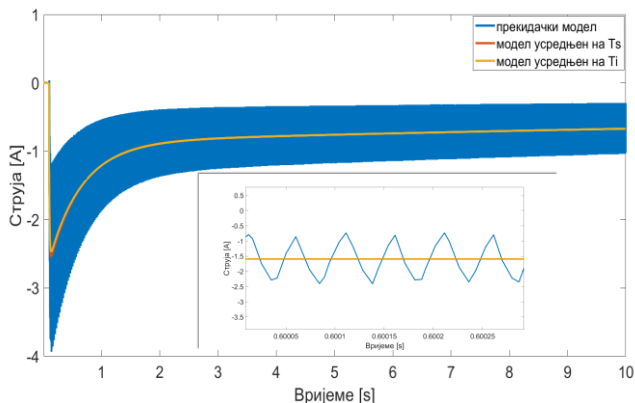
Прекидачки модел детаљно описује све радне операције у току извршавања контролног алгоритма, међутим превише је нумерички захтјеван за примену на рачунару. Услјед те чињенице развијени су усредњени модели који су мање нумерички захтјевни.

Први модел који је усредњен на периоди прекидања  $T_s$  усваја предпоставку да је  $PLL$  подистем ефикасно извршио синхронизацију претварача на мрежу ( $u_d$  и  $n$  имају вриједност 1  $rj$ ). Сигнали које модулатор добија на свом улазу су напони  $u_{ds}$  и  $u_{qs}$  које претварач остварује на свом излазу као средњу вриједност унутар периода прекидања  $T_s$ . Другим ријечима његова преносна функција је једнака јединици унутар периода прекидања. Ова чињеница оправдава да се модел може усредњити на периоду  $T_s$  тако што се модулатор и претварач замијене јединичним појачањем. Са друге стране, усредњен утицај претварача и модулатора на  $DC$  коло може се представити струјним извором чији је излаз једнак  $I_{DC} = \frac{P_{DC}}{u_{DC}}$ .

Други модел је усредњен на временској константи струје петље  $T_i$ , при чему је усвојена предпоставка да је динамика промјене струје мреже за најмање ред величине бржа од динамике промјене напона у  $DC$  колу. Односно, струјна петља замењена је јединичним појачањем, и самим тим важи  $i_{dc} = i_{dc}^{ref}$ .

На слици 7 приказана је струје батерије у прекидачком и два усредњена модела при методи пуњења констатним напонем. Може се приметити да струја пуњења током симулација спроведених користећи прекидачки модел испољава таласност између вршних вриједности. Ово је последица прекидачког рада претварача.

Примећује се да струје пуњења усредњених модела прате средњу вриједност струје пуњења прекидачког модела, што је и очекивано. Спроведене симулације потврђују вјеродостојност поступка прорачуна регулатора, понашање прекидачког модела и усредњених модела, који надаље могу послужити за значајно једноставнију анализу пуњења претварачем повезаним на мрежу.



Слика 7. Поређење струје пуњења прекидачког и усредњених модела

## 5. ЗАКЉУЧАК

Јасно је да поред употребе обновљивих извора енергије развој друштва мора да се усмјери и на повећање енергетске ефикасности, где уређаји за складиштење енергије имају једну од кључних улога. У будућности, технолошки развој батерија ће дефинитивно дефинисати пут којим ће се човечанство развијати.

Истраживачки рад базира се на основном моделу претварача повезног на мрежу, који је искоришћен ради примене методе пуњења констатним напонем на оловним батеријама. У раду је изложен поступак развоја управљачког алгоритма и прорачуна параметара регулатора. Приказани су прекидачки и усредњени модели креирани у *MATLAB/Simulink* софтверском окружењу, а који могу бити искоришћени и за примену других метода пуњења, али и врста батерија. На крају рада приказано је поређење струја пуњења прекидачког и усредњених модела, чиме је потврђена веродостојност симулација, односно показано је да су сва три модела примјенљива. Даљи правци у истраживачком раду су примјена симулациони модела и различитих метода пуњења на другим типовима батеријама.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Dell and D. A. J. Rand, *Understanding batteries*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001.
- [2] J. Larminie and J. Lowry, *Electric vehicle technology explained*, Second edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, a John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2012.
- [3] T. B. Reddy and D. Linden, Eds., *Linden's handbook of batteries*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [4] Скрипта из предмета Управљање енергетским претварачима, Факултет техничких наука, др Стеван Грабић, 2016.

### Кратка биографија:



**Мирко Бештић** рођен је у Невесињу 5. новембра 1998. године. Средњу школу је завршио у родном граду 2017. године. Исте године је успишао на Факултету техничких наука у Новом Саду смјер Енергетика електроника и телекомуникације. Основне академске студије завршио је 2021. године. контакт: besticmirko@uns.ac.rs



**Ванр. проф. др Стеван Грабић** дипломирао је 1997. године на Факултету техничких наука, смјер Индустијска електроника. Докторирао је на Факултету техничких наука 2011. године. Запослен је на катедри за енергетску електронiku и електричне претвараче. Област интересовања су управљање енергетским претварачима и енергетска електроника.

контакт: grabics@uns.ac.rs