

УПРАВЉАЊЕ ЕНЕРГИЈОМ БАТЕРИЈЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ВОЗИЛА ПРЕКО ДЦ ПУЊАЧА**ELECTRIC VEHICLE BATTERY MANAGEMENT USING A DC CHARGER**Стефан Војводић, Борис Думнић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – У раду је описана технологија рада електричних возила повезаног на мрежу. Објашњено је управљање током енергије батерија електричних возила, и наведене су врсте пуњача електричних возила. У софтверском окружењу MATLAB-SIMULINK симулирано је пуњење и пражњење батерије описаном методом.

Кључне речи: Батерије, електрична возила, пуњење и пражњење батерија, симулација

Abstract – This paper describes the technology of electric vehicles connected to the grid. Energy management of an electric vehicle battery is explained, and types of electric vehicle chargers are specified. In MATLAB-SIMULINK software environment, battery charging and discharging is simulated through the presented method.

Keywords: Batteries, electric vehicles, battery charging and discharging, simulation

1. УВОД

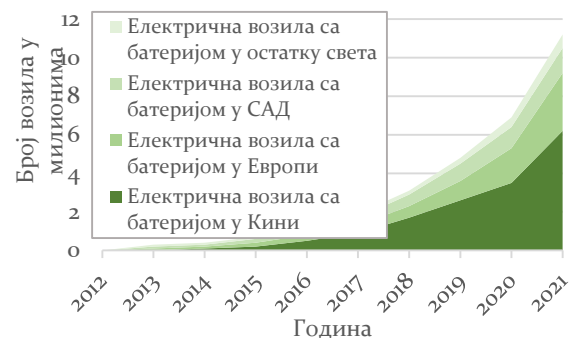
Саобраћај и транспорт чине значајан удео у потрошњи енергије. Потрошња енергије праћена је и испуштањем штетних гасова у атмосферу. Наведене две појаве су значајне приликом одабира возила. Инжењери су довели моторе са унутрашњим сагоревањем до савршенства. Висока излазна снага, ниска потрошња су најбитније карактеристике возила са моторима са унутрашњим сагоревањем.

Мотори са унутрашњим сагоревањем су у прошлости били значајни због енергије која је ускладиштена у гориву. Енергија која је ускладиштена у запремини бензина од 1 литар је 8,76 kWh. Енергија која је ускладиштена у модерним батеријама у истој запремини се креће између 250 и 620 Wh. Дакле у гориву је ускладиштено чак 14 пута више енергије него у батеријама. Научници упозоравају да се резерве нафте смањују вртоглавом брзином. Иако је у данашње време најпрактичније користити возила са моторима са унутрашњим сагоревањем, у блиској будућности то ће се променити. Ниска ефикасност, пораст цене нафте од почетка 21. века, као и значајно загађење животне средине допринели су да се саобраћај и транспорт крупним корацима електрификују. Технолошки развој батерија, као и енергетске електронике омогућавају убрзан развој електричних возила уз све повољнију цену [1].

НАПОМЕНА:

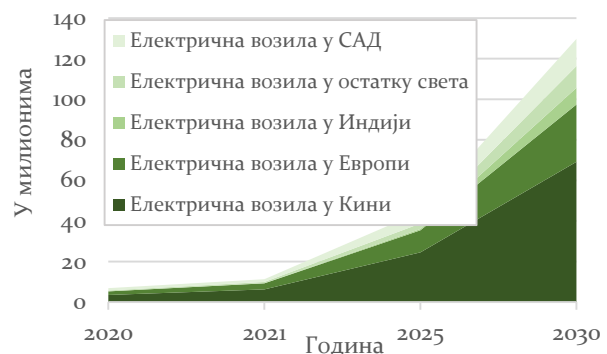
Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Борис Думнић, ванр. проф.

Због тога је све већи удео електричних возила на тржишту. Вожња електричног возила по километру је постала јефтинија од километра вожње возила са мотором са унутрашњим сагоревањем. На слици 1 приказан је тренутни број електричних возила која су регистрована у периоду од 2012. до 2021. године у свету.



Слика 1. Бројно стање електричних возила у свету [2]

Технологија производње батерија и полупроводничких компоненти све више напредује. Због наведеног развоја, компоненте постају јефтиније и самим тим електрична приступачнија. Уз смањење резерви горива, електрична возила добијају на популарности. Слика 2 приказује пројектован број електричних возила у блиској будућности у периоду до 2030. године. На слици се види да ће најзначајнији пораст бити у Кини, као светском гиганту у смислу производње електричних возила. Претпоставке указују да ће до 2025. године на путевима бити око 45 милиона електричних возила. До краја текуће деценије, у саобраћају ће се наћи чак 130 милиона електричних возила.



Слика 2. Очекивано бројно стање електричних возила у свету [2]

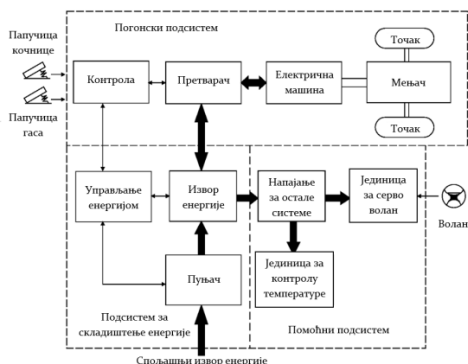
Ако се очекује масовни прелазак на електрична возила, потребно је обезбедити број пуњача који ће задовољити крајње потрошаче. Дакле, повећање броја електричних

возила на путевима треба да буде праћено ширењем мреже пуњача. Како би време допуњавања батерије било сведено на минимум, потребно је обезбедити велике снаге на прикључцима пуњача. Примена двосмерних пуњача електричних возила је значајна због тога што се током процеса пражњења батерије у мрежу одаје енергија из батерије (енгл. *Vehicle to grid*). Давањем енергије у мрежу могуће је растеретити мрежу током највећих оптерећења у току дана. Друго поглавље рада се бави објашњењем топологије, као и најзначајнијих подсистема електричног возила. У трећем поглављу су објашњене три технике пуњења батерија електричних возила. Кроз четврто поглавље је приказана симулација у којој се размењује енергија између батерије електричног возила и мреже на коју је возило прикључено преко ДЦ пуњача.

2. ТОПОЛОГИЈА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВОЗИЛА

Почетак развоја електричних возила огледао се у преправци возила заменом мотора са унутрашњим сагоревањем са електричном машином, а резервоара за гориво са складиштем за електричну енергију. Мане преправке су велика маса возила, лоше карактеристике и смањена флексибилност. Данашња електрична возила се праве на шасији која је развијена управо за такву врсту возила и омогућава флексибилност [3].

Електрична возила данашњице се могу поделити на функционалне подсистеме. Ови подсистеми су: помоћни подсистем, погонски подсистем и подсистем за складиштење енергије. На слици 3 су приказани подсистеми електричних возила [3].



Слика 3. Шематски приказ топологије електричног возила [3]

2.1. Помоћни подсистем

Помоћни подсистем напаја све јединице које су заједничке за електрична возила и возила са моторима са унутрашњим сагоревањем, попут светала, музичке и навигационе мултимедије, електричне подизаче прозора, електронско закључавање врата. Најважнији делови које напаја наведени подсистем су јединица за серво волан, која олакшава окретање волана током вожње и јединица за контролу температуре унутар кабине возила [4].

2.2. Погонски подсистем

У погонски подсистем се убрајају електрична машина, претварач и контрола, улога електричне машина је покретање возила, претварач је део који напаја електричну машину, док је улога контролног дела да управља претварачем, како би се постигао жељени

обртни момент возила. Остали делови су механички и нису од интереса. Код електричних возила, електрична машина треба да има што је могуће већи степен корисног дејства и што дужи животни век. На основу наведена два услова, најпогодније електричне машине за електрична возила су: кавезна асинхрона машина, синхрона машина са сталним магнетима, синхрона релуктантна машина, машина једносмерне струје са сталним магнетима, БЛДЦ машина (енгл. *Brushless direct current*), као и прекидачка релуктантна машина [5]. Друге врсте електричних машина нису од интереса јер захтевају чешће одржавање од наведених. Претварачи енергетске електронике који се користе у електричним возилима такође морају бити ефикасни, односно са малим прекидачким губицима. То је обезбеђено коришћењем ИГБТ-ова као прекидачких елемената [6]. Контрола електричног возила на основу положаја папучица гаса и кочнице шаље одговарајуће сигнале на извор енергије и претварач за напајање електричне машине како би се возила понашало према захтевима возача [4].

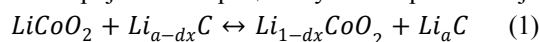
2.3. Подсистем за складиштење енергије

У подсистем за складиштење енергије се убрајају пуњач, извор енергије и јединица за управљање енергијом. Извор енергије код електричног возила јесте батерија. У возилима новије генерације, најчешће се налази литијум-јонска батерија. У подсистем за складиштење енергије, такође се убраја и пуњач за електрично возило. Пуњач који се налази унутар возила (енгл. *Onboard charger*) исправља улазни наизменични напон и добијеним једносмерним допуњава батерију електричног возила. Пуњач унутар возила омогућава да се возило прикључи на мрежу преко кућне утичнеце било где. Међутим, ограничење ове врсте пуњача јесте маса и габарити. Из тог разлога, пуњач унутар возила не може брзо допунити батерију. Са друге стране пуњач који се налази изван возила нема ограничене габарите, па се струја пуњења значајно може увећати, а време смањити. Јединица за управљање енергијом је веома важан део подсистема за складиштење енергије. Задатак наведене јединице је да даје референце струје у/из батерије како не би дошло до „препуњавања“ или дубоког пражњења батерије, као и да стално праги стање напуњености (енгл. *State of charge*) батерије и (снагу батерије) [4].

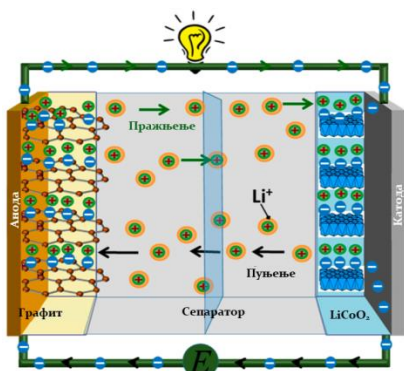
3. ТЕХНИКЕ ПУЊЕЊА И ПРАЖЊЕЊА БАТЕРИЈА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВОЗИЛА

Литијум-јонске батерије чине извор енергије код електричних возила. Наведена врста батерија је осетљива на температурне промене унутар саме ћелије. Због тога је потребно дефинисати најпогодније технике пуњења батерија заснованих на литијуму.

Хемијска реакција које се дешава унутар литијум-јонске батерије током процеса пуњења/пражњења је:



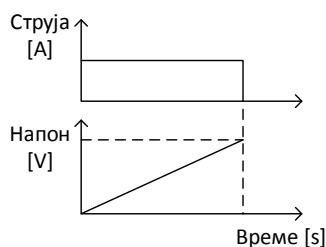
Са аноде (LiC) се отпуштају електрони који теку ка катоди кроз потрошач, као и позитивни јони литијума који теку ка катоди кроз електролит. Наведен је процес пражњења батерије. Процес је реверзибилан. На слици 4 је приказан ток електрона и литијумових јона при пуњењу/пражњењу литијум-јонске батерије.



Слика 4. Процес пуњења/празњења батерије [7]

3.1. Пуњење константном струјом

Метода пуњења батерија константном струјом (ПКС) подразумева да је напонски извор на који је повезана батерија увек вишег напона у односу на батерију. Виши напон омогућава ток струје ка батерији. Напонски извор мора бити контролисан, како би струја стално била исте вредности. Методом пуњења константном струјом, обезбеђено је да се батерија линеарно пуни од 0 до 100% капацитета (стања напуњености енгл. *SOC-state of charge*). Једини параметар који се бира код ове методе је струја пуњења, којом је одређено и време пуњења. Недостатак ове методе је немогућност прецизног одређивања стања напуњености батерије, што може проузроковати „препуњавање“ батерије [8]. На слици 5 приказани су графици струје и напона приликом пуњења батерије методом константне струје.

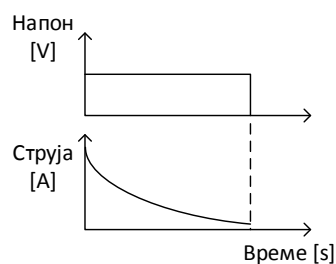


Слика 5. Метода пуњења константном струјом

3.2. Пуњење константним напонем

Најједноставнија метода пуњења батерија је пуњење константним напонем (ПKN). Прикључивањем делимично или потпуно испразњене батерије на напон у износу напона пуне батерије допуњава батерију. Код ове методе, при прикључењу батерије на пуњење јавиће се највећа струја пуњења услед највеће разлике између напона извора и напона батерије. Након тога, током процеса пуњења, струја ће се смањивати. Батерија је у потпуности напуњена када струја дође до минималне вредности (блиска нули).

Прва мана ове методе јесте то што се на почетку пуњења из извора повлачи велика струја, што значи да је потребно обезбедити велику снагу, тренутно. Управо велика почетна струја може довести до уништења батерије. Друга мана јесте што је потребно знати напон на који се прикључује батерија. Превисок напон проузроковаће скраћење животног века батерије, а ако је напон пренизак, батерија се неће у потпуности напунити [9]. На слици 6 приказани су графици струје и напона приликом пуњења батерије методом константног напона.



Слика 6. Метода пуњења константним напонем

3.3. Хибридно пуњење

Метода хибридног пуњења батерија је најпогоднија метода за пуњење литијум-јонских батерија. Хибридна метода комбинује методе пуњења константним напонем и константном струјом, како би се превазишле мане обе наведене методе. На почетку хибридне методе, примењује се метода пуњења константном струјом. Наведеном методом, батерија се пуни све док се не достигне максимално дозвољени напон батерије. Међутим, у том тренутку батерија није у потпуности напуњена и због тога се прелази на пуњење методом константног напона. Приликом пуњења батерије константним напонем, струја пуњења се смањује, а напуњеност батерије расте са временом. Батерија се сматра потпуно напуњеном када струја пуњења опадне на минималну вредност (блиску нули). Код хибридне методе пуњења батерије је битно правилно одабрати струју односно напон пуњења, али нема проблема са великом снагом на почетку пуњења, нити са несигурношћу око напуњености батерије [10].

4. РЕЗУТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

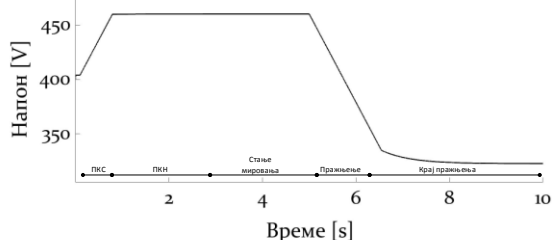
У склопу овог рада, урађена је симулација пуњења батерије хибридном методом, а затим и празњења батерије. Симулација је вршена у окружењу *MATLAB-Simulink*. За симулацију је изабрана батерија номиналног напона 396 V, максимално дозвољеног напона 462 V, односно минимално дозвољеног напона 330 V (напон на крају празњења енгл. *EOD-end of discharge voltage*). Пуњење константном струјом се врши све док батерија не достигне напон од 462 V, а након тога се прелази на метод пуњења константним напонем. За симулацију коришћен је претварач на мрежи, а батерија се налази у једносмерном колу. Претварач на мрежи се понаша као струјно контролисан извор и у режиму пуњења и у режиму празњења батерије. Пуњење батерије подразумева негативан ток струје (од мреже ка батерији), док празњење подразумева позитиван ток струје (од батерије ка мрежи).

На слици 7 види се да пуњење батерије почиње у тренутку почетка симулације. Исто се може утврдити и посматрањем слике 8, где се види да је струја негативна, што значи да тече из мреже ка батерији. На слици 8 се такође види да је споменуто пуњење константном вредношћу струје у износу од 0,5 А. Када батерија достигне напон од 462 V (у 0,8 s), прелази се на методу пуњења константним напонем. Да би експоненцијално опадање струје било видљиво, део слике је увећан. Када вредност струје опадне на вредност блиску нули, батерија је напуњена. У 5 секунди симулације, батерија почиње да се празни. Минимални дозвољени напон

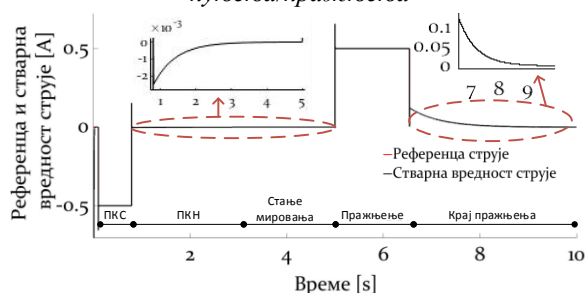
батерије је око 300 V. Када се батерија испразни до наведеног напона, струја

се регулише на нулту вредност, и батерија се више не празни до краја симулације.

На слици 9 дате су струје све три фазе мреже. На слици се види да струје повећавају амплитуду, у истим тренуцима када се струја у/из батерије повећава (било на позитивну или негативну страну). Амплитуда струје са 0,5 А, у 0,8 s опада на 0,08 А. У 5 s, амплитуда струје је поново 0,5 А, што се поклапа са чињеницом да у том тренутку енергија тече из батерије. На слици се такође приказују вредности струје мреже у временском интервалу између 5,18 и 5,38 секунди као и између 6,5 и 6,58 секунди, како би се лакше уочио таласни облик наведених струја. Са слике се види да је таласни облик струја мреже синусоидалан, као и да су струје мреже симетричне.



Слика 7. Напон батерије током процеса пуњења/пражњења



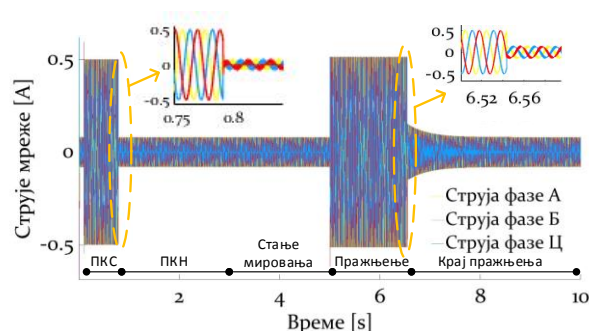
Слика 8. Референца и стварна вредност струје у/из батерије током процеса пуњења/пражњења

5. ЗАКЉУЧАК

Електрична возила су све више заступљена у саобраћају. Даљим повећањем броја може доћи до преоптерећења електроенергетског система, који већ ради у највећем могућем обиму. Ако је могуће у мрежу дати енергију из батерије електричних возила, тренуци највеће потражње за електричном енергијом се могу превазићи без бојазни за недостатком електричне енергије. Касније, исто возило се може допунити. Оваквим контролом, могуће је довести електроенергетски систем до стадијума да је потрошња готово константа.

У раду је теоријски описан начин пуњења батерија електричних возила. Хибридна метода пуњења и прањњења батерија представљена је и кроз симулацију у софтверском окружењу *MATLAB-Simulink*.

Теоријске претпоставке везане за пуњење и прањњење батерија потврђене су резултатима симулације.



Слика 9. Вредности струја мреже

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Olumide A. Towoju, Felix A. Ishola: „A case for the internal combustion engine powered vehicle“, Energy Reports, Доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719309977>
- [2] IEA (2022), Global EV Outlook 2022, IEA, Paris доступно на: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>
- [3] C.C. Chan & K.T. Chau „Modern electric vehicle technology“, Oxford [England], Oxford University Press, 2001.
- [4] Michael H. Westbrook: „The electric car: development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars“, Institution of electrical engineers, London
- [5] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Stephen Umans: „Electric machinery“, 2003.
- [6] Веран Васић, Ђура Орос: „Енергетска електроника у погону и индустрији“, 2012.
- [7] Madian M, Eychmüller A, Giebeler L. Current Advances in TiO₂-Based Nanostructure Electrodes for High Performance Lithium Ion Batteries. Batteries. 2018; 4(1):7. <https://doi.org/10.3390/batteries4010007>
- [8] Бане Попадић „Преглед метода за управљање претвараčem енергетске електронике приликом пуњења Li-Ion батерија“, ФТН, 2016.
- [9] John Hayes, Abas Goodarzi: „Electric powertrain“, 2018.
- [10] James Larminie, John Lowry: „Electric vehicle technology explained“, John Wiley and Sons, 2012.

Кратка биографија:



Стефан Војводић рођен је у Врбасу 1998. године. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Електротехнике и рачунарства – Енергетска електроника и електричне машине одбранио је 2021. године. Исте године је уписао мастер академске студије.
Контакт: vojvodic.stefan@gmail.com



Борис Думнић рођен је 1976. године. Запослен је на Факултету техничких наука, Департману за енергетику, електроника и телекомуникације, Катедри за енергетску електроника и претвараче. Области интересовања су му електричне машине, погони енергетска електроника и обновљиви извори електричне енергије.