

**УТИЦАЈ СКЛАДИШТА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ НА КРАТКЕ СПОЈЕВЕ У
НАПОЈНОЈ МРЕЖИ****INFLUENCE OF ENERGY STORAGE SYSTEMS ON SHORT CIRCUITS IN THE
SUPPLY NETWORK**Невена Крунић, Зоран Стојановић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај – У раду су описани основни принципи функционисања складишта електричне енергије. Пример њиховог рада дат је кроз модел дистрибутивне мреже, у којој је симулиран трополни кратак спој, са акцентом на LVRT функционалност.

Кључне речи: Складиште електричне енергије, Батерије, Кратак спој, LVRT функционалност

Abstract – This paper presents the basic principles of energy storage systems. An example of their work is given through a distribution network model, in which a three-phase fault is simulated, with an emphasis on LVRT functionality.

Keywords: Energy storage systems, Batteries, Short circuits, LVRT functionality

1. УВОД

Електроенергетски систем је централизован систем, који се састоји из електроенергетских извора, преносне мреже, дистрибутивне мреже и потрошача електричне енергије. Ова структура подразумева јединствени ток енергије од извора ка потрошачу, као и поузданост и стабилност рада система. Међутим, овакав систем има и доста недостатака. Један од њих је и удаљеност електрана од потрошачких подручја, што доводи до великих губитака приликом преноса електричне енергије до крајњих потрошача. Такође, ови системи доприносе емисији штетних гасова, који доводе до стварања ефекта стаклене баште, производње нуклеарног отпад, негативног утицаја на околину, итд. Велики део ових проблема могуће је решити применом обновљивих извора електричне енергије. Обновљиви извори енергије представљају неисцрпне изворе енергије из природе.

Дистрибуирани електроенергетски ресурси (ДЕР) обухватају све енергетске изворе за генерисање електричне енергије који се могу прикључити на систем изван постојећих централизованих структура [1]. Најчешће се прикључују на дистрибутивну мрежу, а могу се наћи и у оквирима самих потрошача, што помаже смањењу губитака у преносном систему и представљају децентрализовану производњу електричне енергије.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Зоран Стојановић, ванр. проф.

Производња електричне енергије из обновљивих извора је по природи непредвидива, мења се у току времена и зависи од различитих услова, као што су временски услови, доба дана, итд. Из тог разлога створила се потреба за акумулацијом електричне енергије у периодима повећане производње, а та акумулисана енергија се користи у периоду смањене производње. Нису само обновљиви извори били повод за формирање складишта електричне енергије. Један од главних разлога њиховог развоја је и неравномерна потрошња електричне енергије у току дана, њиховом употребном остварује се енергетски биланс (усклађује се неистовремена потрошња и производња електричне енергије).

У наставку рада биће описана складишта електричне енергије, LVRT функционалност, модели складишта који су коришћени у симулацији, као и резултат симулације.

2. ДИСТРИБУИРАНА СКЛАДИШТА ЕНЕРГИЈЕ

Дистрибуирана складишта енергије су управљиви извори енергије у смислу контролисане промене активне и реактивне снаге. То је и главни разлог њиховог интензивног развоја последњих година. Употребом ових складишта повећава се ефикасност, унапређује поузданост и сигурност у снабдевању енергијом, смањују се трошкови производње, олакшава се употреба обновљивих извора енергије, смањују се инвестициона улагања, врше се напајање изван мреже, итд.

Како би се у наизменичном систему извршило складиштење и чување електричне енергије на одређено време, потребно ју је претворити у други облик енергије који је погодан за складиштење, као што је електромагнетска, електрохемијска, кинетичка или потенцијална енергија. Енергија се складишти у интервалима када производња енергије надмашује њену потрошњу, а ускладиштене резерве се користе када потрошња енергије надмашује њену производњу. На овај начин се производња електричне енергије не треба драстично повећавати или смањивати према захтевима потрошње, него се одржава у равномерном односу.

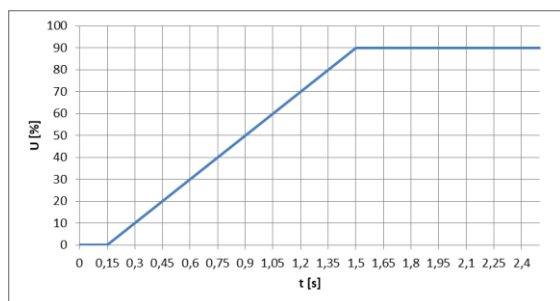
Комбиновани системи су системи са једним примарним извором енергије на улазу и две или више врста енергије на излазу. Док су хибридни системи системи са две или више врста улазних енергија и једном врстом енергије на излазу (ветро-фотонапонски системи).

Постоје различити критеријуми поделе складишта енергије. Најчешће коришћена метода поделе складишта је према облику унутрашње енергије и према том критеријуму постоје: складишта механичке енергије (потенцијална и кинетичка енергија), складишта електромагнетске енергије, складишта електрохемијске енергије и складишта топлотне енергије [2].

3. ПРАВИЛА О ПОГОНУ ДИСТРИБУТИВНИХ МРЕЖА

Приликом појаве квара у мрежи обновљиви извори, односно у овом случају батерије, имају унапред дефинисане начине реаговања. У зависности од посебних захтева који су уграђени у Правилима о погону дистрибутивних мрежа различитих земаља, инвертори могу бити подешени на различите начине. Већина развијених земаља има јасно дефинисана Правила о погону преносних и дистрибутивних мрежа. У оквиру тих правила дефинисани су и посебни захтеви „Fault Ride Through – FRT“, односно детаљније „Low Voltage Ride Through – LVRT“. Ови захтеви дефинишу услове и начин рад ДЕР приликом појаве сниженог напона на месту његовог прикључења на мрежу [3].

Као што је већ речено, већина развијених земаља има своје стриктно дефинисане захтеве FRT. У овом раду управљање ДЕР је вршено по немачком стандарду, те ће он бити и објашњен. Од ДЕР се захтева да остане прикључен на мрежу 0.15s у случају да напон на месту њиховог прикључења на мрежу падне на нулу. Ако је напон између 0% и 90% од номиналне вредности, онда граница останка ДЕР на мрежи линеарно расте између 0.15s и 1.5s. После 1.5s, ако им је напон већи од 90% од номиналне вредности, ДЕР мора да остане трајно у погону. Уколико је напон испод те граничне линије дозвољено је искључење ДЕР са мреже, након истека предвиђеног времена. С обзиром да гранична линија линеарно расте, највећи број ДЕР треба да остане прикључен на мрежу у моменту појаве квара, док после неколико милисекунди, ако квар није елиминисан, на мрежи остају само они ДЕР чији је напон на месту њиховог прикључења на мрежу изнад 90% од номиналне вредности напона. На слици 1 приказани су захтеви LVRT у правилима о раду дистрибутивних мрежа Немачке.

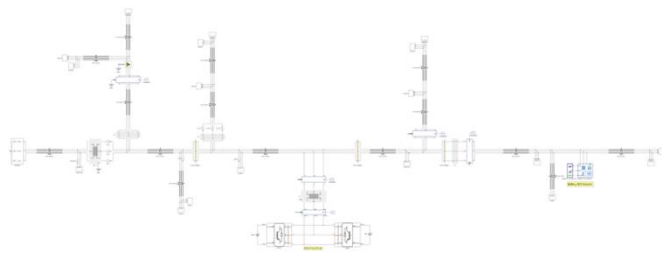


Слика 1. Захтеви LVRT у правилима о раду дистрибутивних мрежа Немачке

4. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ МОДЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКОГ СИСТЕМА

На слици 2 приказан је модел дистрибутивног система на којем се заснива овај рад. Основни елементи који

се јављају у приказаном систему су: напонски извор, вод, трансформатор, потрошач, складиште електричне енергије и мерни уређаји.

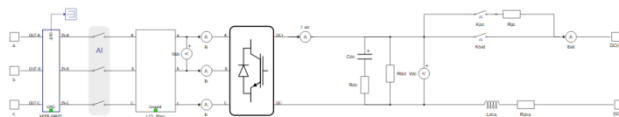


Слика 2. Приказ модела система

Како је акценат у овом раду на складиштима електричне енергије, у наставку ће само она бити детаљно објашњена. У оквиру овог рада коришћена су два типа складишта:

- EPC Battery inverter

Први тип се зове EPC Battery inverter и моделован је преко два трофазна инвертора, која нам омогућавају двосмерни проток енергије. То значи да компонента може да се понаша и као потрошач и као извор, у зависности од потреба за енергијом у систему. На слици 3 приказан је изглед једног од инвертора.



Слика 3. Изглед једног инвертора типа EPC Battery inverter

Као што се може видети, коло се састоји од трофазног прекидача који нам омогућава прикључење инвертора на мрежу, LCL филтра који се налази са AC стране претварача (служи као заштита од превеликих вредности струја и напона и за филтрирање виших хармоника), претварача који врши претварање наизменичне струје у једносмерну и обрнуто. После њега се налази једносмерни део кола који нам омогућава прикључење батерије на излазу, у којој се и врши само складиштење енергије.

Да би омогућили потпуно управљање овим дистрибуираним складиштем електричне енергије неопходно је да користимо HIL604 у комбинацији са EPC-ом. Да би управљање било одговарајуће и да би дефинисали начин понашања овог складишта електричне енергије у различитим условима, неопходно је било користити EPCyQ програм. Он нам омогућава да извршимо потпуну комуникацију са HIL уређајем и EPC-ом. Сви подаци који се овде подесе, шаљу се на EPC, а он их даље прослеђује HIL-у.

Да би на коректан начин обезбедили LVRT управљање, било је неопходно да дефинишемо промену напона у функцији од времена по немачком стандарду, активне снаге у функцији од напона (VoltWatt) и реактивне снаге у функцији од напона (VoltVar).

- Battery ESS Generic

Battery ESS Generic је други тип складишта електричне енергије који је коришћен у овом раду. У оквиру генералних података можемо дефинисати

номиналну активну и привидну снагу овог складишта, номинални напон и фреквенцију. Ова компонента у оквиру себе има укључен трансформатор, како би се на најједноставнији начин прикључила на мрежу. Могуће је изабрати по ком стандарду желимо да се понаша батерија када детектује пропад напона. Овде је такође изабран немачки стандард.

5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

У оквиру рада вршена је симулација трополног кратког споја, јер је једино он симетричан и уравнотежен. Међутим, постављане су различите вредности импедансе уземљења на месту избијања квара, чији је основни циљ да омогући различите падове напона, како на месту избијања квара, тако и у остатку мреже. У следећем разматрању биће приказан један случај, када је импеданса на месту квара једнака нули.

Референтна вредност активне снаге EPC Battery inverter-a је 50kW. То значи да складиште у нормалним условима ињектира активну снагу у мрежу, односно производи је и потпомаже мрежи.

Референтна вредност реактивне снаге EPC Battery inverter-a је 50kvar. Складиште у нормалним условима производи реактивну снагу и потпомаже мрежи.

Референтна вредност активне снаге Battery ESS Generic-a је 0.5г.ј. од номиналне вредности ($P_n = 300kW$), односно она је 150kW. И ово складиште у нормалним условима производи активну снагу и потпомаже мрежи.

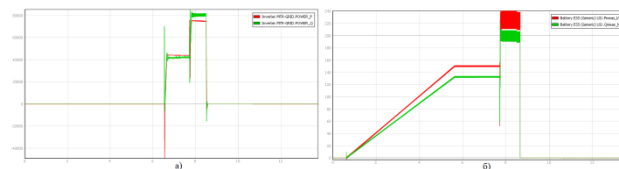
Референтна вредност реактивне снаге Battery ESS Generic-a је 0.5г.ј. То значи да она износи 50% од номиналне вредности реактивне снаге и да се производи у нормалним условим ($Q_n = 264.57kvar$), односно она је 132.29kvar.

Напон на месту прикључења складишта на мрежу током периода квара није пао на нулу. То је последица веће удаљености места прикључења складишта на мрежу од места избијања квара и постојања идеалног напонског извора, који наставља да напаја мрежу иако је детектован квар у њој, као и деловања ових складишта. С обзиром да су складишта релативно близу један другом и вредности њихових напона су слични, како у нормалном режиму, тако и у периоду квара.

На слици 4 приказане су промене активне и реактивне снаге оба складишта електричне енергије. На првој слици је приказана промена код EPC Battery inverter-a, где можемо уочити да се ово складиште после одређеног временског интервала нагло прикључује на мрежу, аутоматски иде на своје референтне вредности и њих држи све док се не детектује квар у мрежи. Када детектује пропад напона, он креће да производи номиналну активну и реактивну снагу и у том стању остаје временски период који је прорачунао на основу вредности пропада напона на месту његовог прикључења на мрежу и жељеног LVRT стандарда. Након истека тог времена он се искључује, што се и види са слике.

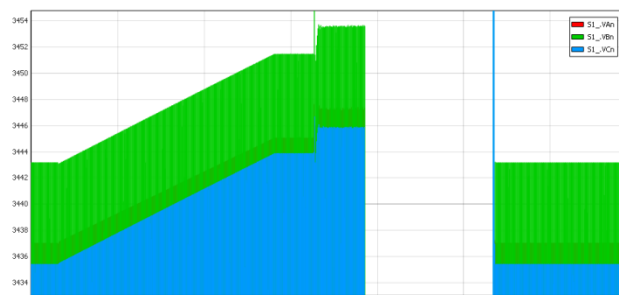
На другој слици можемо видети промену код Battery ESS Generic-a и овде можемо уочити да се он

постепено укључује, односно његове вредности активне и реактивне снаге постепено иду ка референтним вредностима, које су дефинисане на почетку ове главе. Након достизања референтних вредности, он остаје у том стању све док не детектује квар. Када је квар детектован, вредности ињектиране активне и реактивне снаге одлазе на одговарајуће вредности. Након истека израчунатог времена по немачком стандарду складиште се искључује.



Слика 4. Приказ промене активне и реактивне снаге на а) EPC Battery inverter-у б) Battery ESS Generic-у

На слици 5 приказана је увеличана промена напона, како би се видео утицај прикључења оба складишта електричне енергије на мрежу. На самом почетку слике видимо да је првих 0.5s напон константан и да има номиналну вредност. Након тога, он креће постепено да расте. То је последица постепеног прикључења Battery ESS Generic-a на мрежу јер он производи реактивну снагу, а самим тим утиче на мрежу тако што повећава напон. Када је Battery ESS Generic достигао своју референтну вредност снага, и напон престаје да расте све до тренутка када се EPC Battery inverter не прикључи на мрежу. Како његова вредност снага аутоматски иде на референтну вредност, тако и напон нагло расте, јер и ово складиште електричне енергије производи реактивну снагу у нормалном режиму рада. Након тога, вредност напона је константна све док не дође до квара. У периоду квара, напон на месту квара је једнак нули јер је симулиран метални трополни кратак спој. Кад је квар елиминисан, напон поново има номиналну вредност, коју је имао и на самом почетку симулације, пре прикључења складишта електричне енергије.

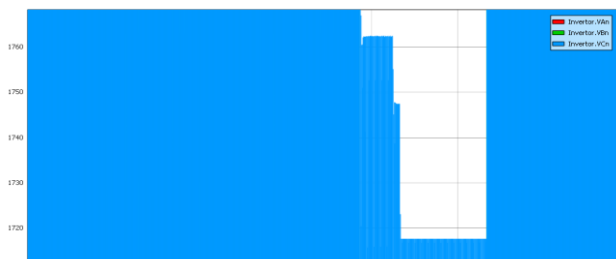


Слика 5. Приказ увеличане промене напона на месту избијања квара

Утицај складишта електричне енергије на напон у периоду трајања квара приказан је на слици 6. У периоду квара могу се уочити три нивоа напона. Први ниво, који наступа одмах након избијања квара и који је највиши, одговара периоду кад су оба складишта прикључена на мрежу. Други ниво, који је нешто нижи, одговара периоду када је EPC Battery inverter искључен са мреже, а Battery ESS Generic је још увек прикључен на мрежу. И трећи ниво одговара периоду када су оба складишта електричне енергије искључена са мреже.

Да би одредили временски интервал, колико дуго дата батерија треба да буде прикључена на мрежи спрам немачког стандарда, прво је потребно да одредимо колики пад напона се јавља у периоду квара. То можемо израчунати помоћу следеће релације:

$$u_{drop} = \frac{U_{during_fault}}{U_{nom}} * 100\% \quad (1)$$

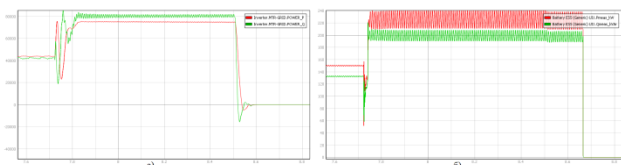


Слика 6. Увеличан приказ промене напона у периоду квара на месту прикључења EPC Battery inverter-a на мрежу

Као што се види са слике 4 и 6, складишта електричне енергије се не искључују у истом тренутку, главни разлог за то је што немају исти вид управљања. Управљање EPC Battery inverter-a је у виду каскаде и он ће често остајати дужи временски интервал прикључен на мрежу него што је за дати пропад напона предвиђено тим стандардом. Међутим, код њега се време држања прерачунава само једном и то у тренутку када напон пропадне, односно када се квар деси. Из тог разлога њему одговара ниво напона када су оба складишта искључена са мреже (1717V), односно пропад напона од $u_{drop_min} = 49.98\%$. Из тог разлога његово време држања је 0.8s. Код Battery ESS Generic-a, иако он ради по линеарној криви, он остаје нешто дуже прикључен на мрежу, јер обрачунава време држања више пута у току квара. То значи да он, када детектује пропад напона, израчуна време држања али поново мери ниво напона када уђе у LVRT режим, односно када је ниво напона подигнут као последица његовог деловања и деловања EPC Battery invertera, и спрам те вредности прерачунава нови временски интервал колико треба да буде прикључен на мрежу. Из тог разлога њему одговара ниво напона од 1762V, односно пропад напона $u_{drop_max} = 51.29\%$. Да би израчунали његов период држања неопходно је да користимо линеарну криву која одговара немачком стандарду:

$$\frac{u_{drop}}{100\%} = 0.667 * t_{hold} - 0.1 \rightarrow t_{hold} = 0.9189s \quad (2)$$

Са слике 7 можемо видети да израчуната времена држања одговарају временима држања из симулације.



Слика 7. Приказ промене снага у периоду квара на а) EPC Battery inverter-у б) Battery ESS Generic-у

6. ЗАКЉУЧАК

У овом раду укратко је објашњен принцип деловања два типа складишта електричне енергије приликом појаве трополног кратког споја у мрежи, са посебним акцентом на LVRT функционалност.

Да би се верификовало понашање складишта електричне енергије, у практичном делу рада вршена је симулација у Typhoon HIL Control Center-у. Такође, извршена је упоредна анализа EPC Battery inverter-a и Battery ESS Generic-a, како са аспекта понашања у мрежи, тако и са аспекта LVRT функционалности. Оба складишта имају своје предности и мане, али вернији стандарду је свакако Battery ESS Generic. Да би EPC Battery inverter имао што бољи начин реаговања, односно вернију дужину трајања LVRT-ја одговарајућем стандарду, потребно је да његово понашање дефинишемо са што више тачака.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Стрезоски, „Основи електроенергетике“, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2015.
- [2] Paul W. C. Northrop, M.L. Crow, „Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications“, Proceedings of the IEEE, 2014.
- [3] L. Strezoski, B. Dumnić, K. A. Loparo, “Novel Fault Models for Electronically Coupled Distributed Energy Resources and their Laboratory Validation“, IEEE Transactions on Power Systems, 2019.

Кратка биографија:.



Невена Крунић рођена је у Новим Саду 09.07.1996. године. 2015. године је уписала Факултет техничких наука, струдијски програм Енергетика, електроника и телекомуникације. На студијама се определила за смер Електроенергетика – Електроенергетски системи и дипломирала 2019. године. Мастер студије је уписала 2019. године.



Зоран Н. Стојановић рођен је 22.07.1979. год. у Пожаревцу. Докторску дисертацију под називом „Усмерени релеји базирани на дигиталном фазном компаратору“ одбранио је 2012. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Области научноистраживачког рада којима се до сада бавио су релејна заштита, разводна постројења и мониторинг и дијагностика високонапонских потројења.