

ОПТИМИЗАЦИЈА И ВЕРИФИКАЦИЈА СИСТЕМА БЕСПРЕКИДНОГ НАПАЈАЊА У ТС 110/20 kV ЛАКТАШИ 2

Здравко Перић¹, Жељко В. Деспотовић², Бранислав Копрена³

¹Техничка школа, Градишка, Република Српска

²Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду, Београд, Србија

³Електропренос БиХ, Оперативно подручје Бања Лука

servisperc33@gmail.com, zeljko.despotovic@pupin.rs, branislav.koprena@elprenos.ba

Сажетак—У овом раду наведени су основни елементи беспрекидног напајања који се користи за потребе сопствене потрошње у трансформаторској станици 110/20 kV Лакташи 2. Ово напајање садржи основне компоненте, као што су исправљачи, инвертори, батерије, статичка преклопка и пратећу управљачку и сигнализациону опрему. Главни допринос у овом истраживању се односи на оптимизацију рада и побољшање рада како самог напајања, тако и статичке преклопке. У току експлоатационих испитивања и тестирања извршена је верификација квалитета и поузданости пројектованог рјешења. На крају су на основу овога приказани добијени експериментални резултати и изведени су најбитнији закључци.

Кључне ријечи — *беспрекидно напајање; трансформаторска станица; исправљач; инвертор; статичка преклопка*

I. УВОД

Беспрекидни системи напајања данас су неизоставан технички дио трансформаторских станица (ТС) које се користе у системима претварања и преноса електричне енергије. Намјена им је да обезбједе поуздано и стабилно напајање потрошача сопствене потрошње у свим режимима рада, обзиром да непоуздано напајање може довести до прекида у преносу и испоруци електричне енергије, престанка рада SCADA система, рачунарске и ТТ мреже и сл. [1], [2]. Приликом пројектовања и изградње ТС (електронски системи мјерења, заштите и управљања) морају се, уместо линеарних потрошача, узети у обзир претежно нелинеарна оптерећења. Ово је последица чињенице да је у напојној мрежи присутан велики број електронских уређаја који се напајају наизмјеничним напонам [3].

Нелинеарна оптерећења код нас су претежно капацитивног типа, што је нетипично гледајући земље ЕУ код којих преовладавају индуктивни потрошачи, као резултат велике индустријске развијености (60% потрошене електричне енергије отпада на погон мотора). Код нас преовладавају капацитивни потрошачи: клима уређаји, телевизори, рачунари и сл., који у себи садрже енергетске претвараче (углавном исправљаче) и капацитивне акумулационе елементе-кондензаторе у

једносмјерном (DC) међуколу. Све ово је довело до нових захтјева за рад система беспрекидног напајања у погледу рада са струјама оптерећења које одступају од синусног таласног облика и са израженим вршним вриједностима [4]. Нарочито треба поменути напајање најкритичнијих капацитивних потрошача као што су рачунарска напајања са релативно великим вриједностима DC кондензатора, које се крећу од 330 μF до 1000 μF).

У електроенергетским постројењима, најзахтјевнији и најкритичнији DC потрошачи који изискују беспрекидан напон напајања су следећи уређаји:

- системи заштите и аларма,
- даљинске станице,
- растављачи (управљање и погон),
- електромоторни погони прекидача,
- управљачки кругови ВН, СН и НН прекидача,
- системи телекомуникација,
- системи мјерења и
- општа потрошња DC и (или) AC (расвјета и др.).

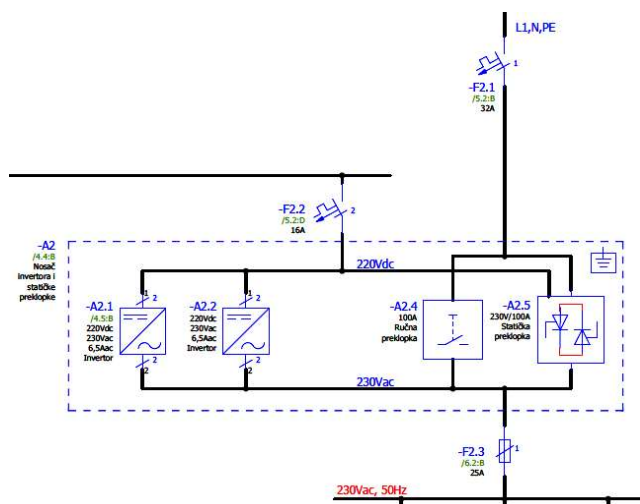
У раду су представљени основни елементи беспрекидног напајања који се користи за потребе сопствене потрошње у трансформаторској станици 110/20 kV Лакташи 2.

Опрема система беспрекидног напајања која је одабрана приликом пројектовања ТС 110/20 kV Лакташи 2 [5], морала је бити верификована интерним испитивањима. Испитивање се односило на мјерење улазног једносмјерног напона са DC сабирница, напона на потрошачима (излаз са статичке преклопке) и струје потрошача.

Резултати верификације су показали да је вријеме преклапања статичке преклопке на секундарни извор напајања по нестанку или опадању примарног извора напајања испод 5 ms (1/4 периоде сигнала од 50 Hz). Такав захтјев је условљен прикљученим AC потрошачима за које сваки прекид напајања изнад 5 ms представља губитак напајања и уређаји се присилно гасе. Такође овај захтјев за прекидом напајања, иде на страну сигурности у погледу поузданости напајања и поузданог рада DC потрошача.

II. ОПИС СТРУКТУРЕ СИСТЕМА БЕСПРЕКИДНОГ НАПАЈАЊА

Основна структура система непрекидног напајања властите и неопходне потрошње ТС 110/20 kV Лакташи 2, састављена од кућног трансформатора, двије акумулаторске банке, два инвертора и три монофазна исправљача, је дата на Сл. 1 [5]. Инверторске јединице и јединице статичке преклопке су управљане савременом микропроцесорском технологијом и одликују се брзим и ефикасним дјеловањем, добрим дијагностичким функцијама са могућношћу повезивања у систем управљања путем индустријске „ETHERNET“ комуникације по IEC 61850 протоколу.



Сл. 1 Једнополна шема система непрекидног напајања ТС 110/20kV Лакташи 2

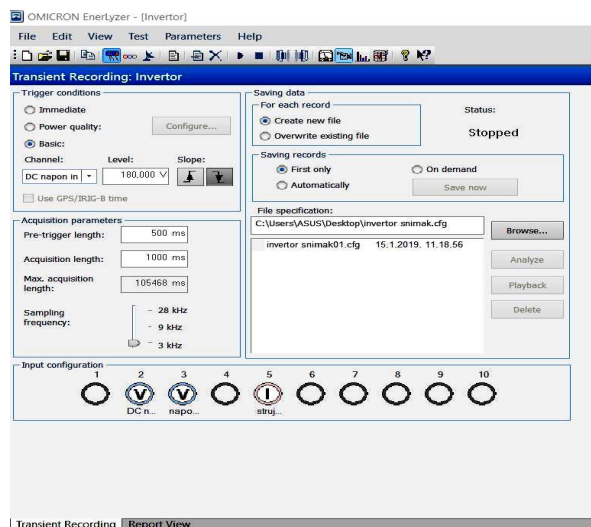
Статичка преклопка је реализована примјеном брзих полупроводничких прекидача (тиристора). Основни задатак статичке преклопке је да се, у случају нестанка или значајног смањења напона примарног извора, на потрошаче пребаци други извор напајања, а да при томе нема прекида [2]. Уз правилно управљање, могуће је обезбједити пребацивање напајања потрошача са једног извора на други практично са минималном напонском паузом, односно да при томе пауза у напајању не буде дужа од 5 ms [1], [2]. Статичка преклопка је у овом случају реализације система непрекидног напајања интегрисана у склопу инверторског модула.

Веома битни елементи приказаног система непрекидног напајања су конфигурација улазних величина, диспозиција мјernih тачака као и коришћена мјерна опрема. Ови елементи су били од кључног значаја при верификацији система непрекидног напајања.

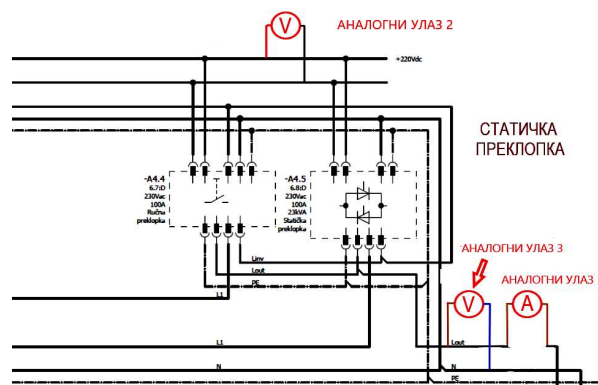
Распоред и подешавање улазних величина на мјерном анализатору су представљени на Сл. 2.

Мјерне тачке које су битне за испитивање и мјерење квалитета рада система су приказане на Сл. 3. Ту спадају:

- DC напон сабирница на улазу у инвертор (аналогни улаз 2. у анализатору),
- AC напон на потрошачима на излазу статичке преклопке (аналогни улаз 3. у анализатору) и
- AC струја на потрошачима на излазу статичке преклопке (аналогни улаз 5. у анализатору).



Сл. 2 Приказ почетног подешавања анализатора



Сл. 3 Мјерне тачке за испитивање рада статичке преклопке

Инструменти који су коришћени током верификације и тестирања:

- Анализатор OMICRON CMC 256-6,
- Струјна клијешта OMICRON CURRENT PROBE C-Probe1 и
- Мултиметар FLUKE 179.

Анализатор OMICRON CMC 256-6 има десет аналогних улаза на које се могу довести напонски и струјни сигнали [6]. Инструмент се повезује са рачунаром преко USB улаза са стране рачунара и LPT порта са стране анализатора помоћу одговарајућег кабл интерфејса. Софтвер помоћу којег се прати и управља радом инструмента је „TEST UNIVERSE“, модул „EnerLyzer“. За

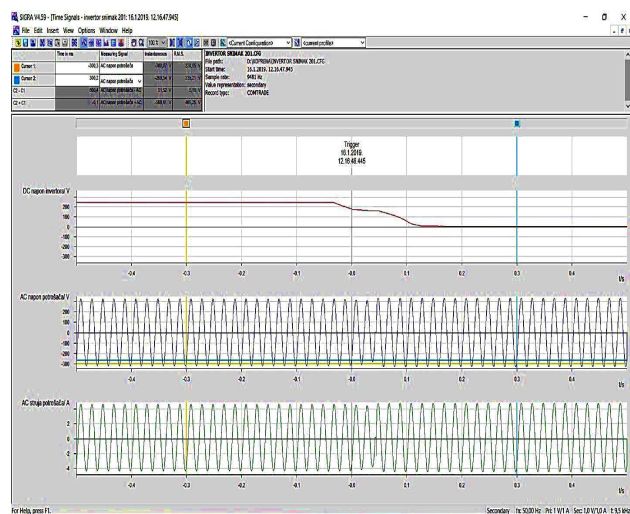
анализу резултата испитивања коришћен је програм *SIGRA V4.59*. За потребе верификације система непрекидног напајања је веома било битно остварити функцију тригеровања анализатора и ускладити напонске нивое.

Тригеровање анализатора *OMICRON CMC 256-6* је подешено кад напон на *DC* сабирницама опадне испод 180 V (на силазну ивицу сигнала) што је уједно и напон батерије кад су све ћелије испразњене. Фреквенција узорковања сигнала је 9 kHz. Вријеме које је обухваћено снимком је пола секунде прије окидања и траје једну секунду.

III. РЕЗУЛТАТИ МЈЕРЕЊА И ИСПИТИВАЊА

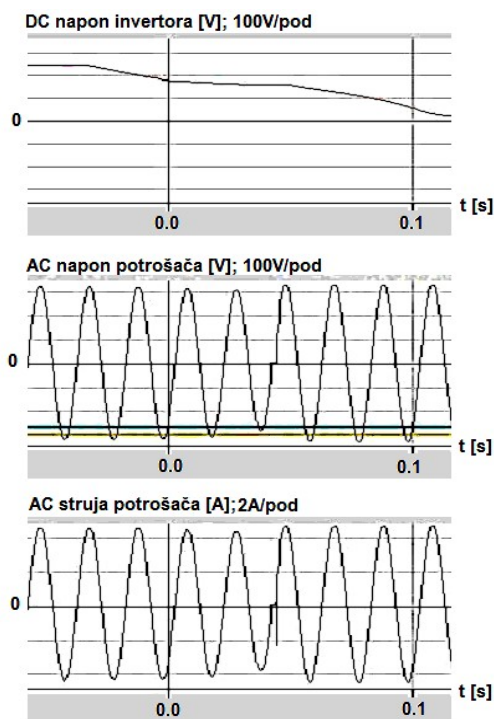
Статичка преклопка која је интегрисана у инвертор *INVERTRONIC (220Vdc/230Vac/6.5A)* је тако подешена да јој је *DC* напон са батерија (излаз исправљача) примарни улаз, а *AC* напон мреже секундарни улаз, гледано по приоритету. Напон на излазу инвертора се добија коришћењем дигиталног сигнал процесора (*DSP*) помоћу којег се остварује контрола рада снажних излазних *MOSFET* транзистора, при чему је цијели систем базиран на *PWM* технологији. Разлог за овакав рад је тај што је систем непрекидног напајања у *TC* Лакташи 2 конципиран тако да потрошачи који су везани на *DC* сабирнице ни у једном тренутку не остану без напајања. У случају да неки од батеријских чланака буде у квару (прекид и сл.), потрошаче напаја без икаквог преклапања *AC/DC* мрежни исправљач који је својим излазом стално везан на *DC* сабирнице. Ако се деси квар на једном од три *AC/DC* исправљача (три исправљача везани на фазне водове L1, L2, L3 кућног трансформатора *KT*, 20/0.4 kV/kV и снаге 160 kVA, чине степен редунданције $n+2$), напајање *DC* сабирница преузимају акумулаторске банке.

Оптерећење које је спојено на излаз статичке преклопке је чист омски потрошач снаге 800 W, и као такво обезбјеђује да нема фазног помјераја између напона и струје.



Сл. 4 Резултати мерења напона *DC* сабирница и *AC* напона и струје на потрошачима

На Сл. 4 су приказани снимци напона на *DC* сабирницама, напона и струје на излазу инвертора (напон и струја *AC* потрошача). Сигнал напона на *DC* сабирницама је представљен црвеном бојом (скала графика је 100 V по подиоку), сигнал *AC* напона је представљен плавом бојом (скала графика је 100 V по подиоку) и сигнал *AC* струје је представљен зеленом бојом (скала графика је 1 A по подиоку). Напон на *DC* сабирницама је примарни напонски улаз у инвертор. На овом напонском сигналу се јасно види смањење нивоа напона и потпуни нестанак у временском интервалу од око 150 ms. Што се тиче *AC* напона и струје на потрошачима, уочава се рад без прекида и поред смањења и потпуног нестанка *DC* напона. У тренутку смањења нивоа *DC* напона уочава се мало смањење *AC* напона и његов релативно брз опоравак у интервалу мањем од 100 ms.



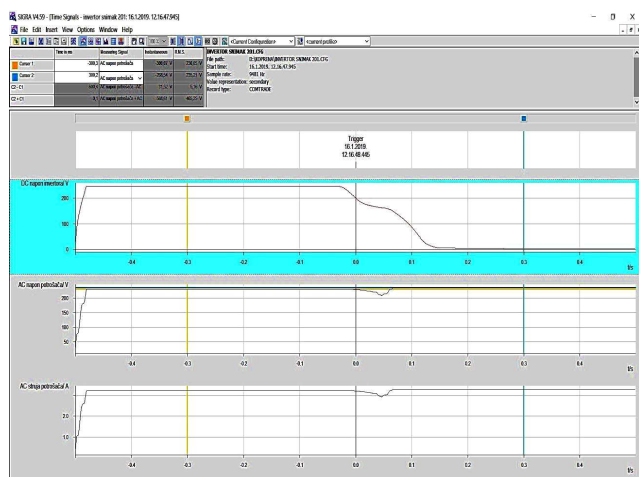
Сл. 5 Детаљан приказ напона на *DC* сабирницама и прекида напона и струје за вријеме дјеловања статичке преклопке

На Сл. 5 је дат детаљан приказ прекида напона и струје приликом преклапања за вријеме деловања статичке преклопке. Уочава се да су након опадања *DC* напона испод подешеног нивоа од 180 V протекле двије периоде и да је извршено је пребацивање са *DC* на *AC* напајање. Такођер, укључење је извршено приликом проласка и струје и напона потрошача кроз нулу што је још један доказ о квалитету изабраног система непрекидног напајања, што умногоме продужава радни вијек статичке преклопке и прикљученог *AC* оптерећења. Укључење статичке преклопке при проласку мрежног напона кроз нулту вриједност је осигурано поузданим контролним колом које у основи сачињавају функционалне цјелине: (1) детектор проласка мрежног напона кроз нулу ("zero-

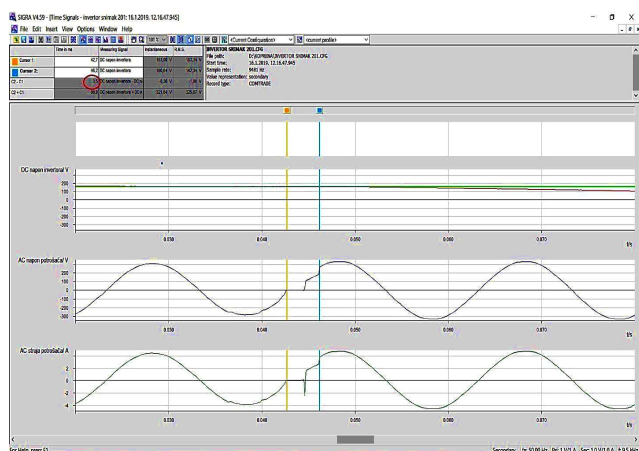
cross detection"), (2) логичко коло за дозволу укључења тиристорских прекидача, (3) коло са фазно спрегнутом петљом ("Phase locked loop" - PLL) и (4) сигнални генератор са галвански изолованим побудним колом (драјверима) за укључење тиристорских прекидача.

Присуство двије периоде примарног напона напајања након тригерована су резултат нагомилане енергије у излазним кондензаторима AC/DC претварача (исправљача). Поменута слика приказује чист синусни напон и на излазу инвертора као и приликом напајања са AC мреже.

На Сл. 6 је дат приказ снимка мјерења ефективних вриједности струје и напона на потрошачу. Резултат показује благи пропад ефективних вриједности AC напона и струје на потрошачу приликом преклапања статичке преклопке. Ефективна вриједност напона на AC потрошачима која је измјерена и приказана у табели при врху снимка износи 230 V, док је активан примарни DC напон, односно 235 V кад је присутан AC напон са мреже.



Сл. 6 Снимљени приказ мјерења ефективних вриједности („RMS value“) струје и напона



Сл. 7 Детаљан снимак AC напона и струје у моменту дејства статичке преклопке

На Сл. 7 је приказан детаљан снимак напона и струје потрошача у моменту дејства статичке преклопке. Из табеле која се налази у горњем десном углу снимка, величине које се упоређују и прате су смјештене између плавог и жутог граничника. У овом случају измјерен је почетак преклапања кад је напон на DC сабирницама 163 V, а крај преклапања је при 162 V. Могуће је подесити посматрање било која од три улазна сигнала у подешеном временском периоду и израчунавање разлике и збира изабраних сигнала.

На Сл.8 је приказан детаљан снимак пропада напона на AC потрошачу са приказом времена трајања пропада.

Жути граничник C1 на Сл. 7 и Сл. 8 које приказују резултате мјерења је постављен на мјесто почетка дјеловања статичке преклопке, а плави граничник C2 на мјесто краја преклапања.

Табела у горњем десном углу на Сл. 8 приказује временски резултат C2-C1 и црвеним кругом је показано да то вријеме износи 3.5 ms. Успостављање напајања се изврши и раније, али прави континуитет синусног напона настаје најкасније по истеку ове временске разлике.

Овакав резултат мјерења од 3.5 ms трајања прекида при пребацивању статичке преклопке верификује изабрано пројектантско рјешење као исправно и конзистентно.



Сл. 8 Детаљан приказ пропада напона на AC потрошачу са табеларним приказом времена трајања пропада

IV. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је представљен систем непрекидног напајања у трансформаторској станици TC 110/20 kV Лакташи 2, који је био предмет тестирања и верификације. У оквиру експлоатационих тестова је показано да су задовољени основни захтјеви у погледу димензионисања и квалитета опреме, безбједности и поузданости рада система. У склопу реализованог пројекта је остварена оптимизација и побољшање система непрекидног напајања.

Побољшање система се прије свега огледа у употреби три монофазна исправљача који су замјенили један трофазни у претходним верзијама система непрекидних напајања. Овим је повећана редундантност у напајању DC сабирница. Такођер, урађено је и спајање акумулаторских батерија директно на DC сабирнице, умјесто на исправљач као што је било реализовано у претходним системима. На овај начин је спријечен губитак напајања критичних потрошача приликом квара исправљача. Редунданција је остварена и у инверторском и батеријском дијелу употребом два инвертора, односно двије акумулаторске групе батерија у паралелном раду.

Могућност даљњег побољшања и оптимизације система непрекидног напајања у ТС би ишла у правцу кориштења акумулаторских ћелија од 6 V, умјесто употребљених од 2 V. Разлози за ово су практичне и економске природе. Лакше је и економичније смјестити у ормаре, годишње испитивати и тестирати, ћелије од 6 V, при чему приликом отказа једне од њих у акумулаторској банци, не нарушава се значајно називни напон исте.

Конкретним мјерењима и испитивањима показано је да је вријеме дјеловања статичке преклопке испод 5 ms и да се извршава приликом проласка струје кроз нулу, чиме је верификовано непрекидно, поуздано и квалитетно напајање прикључених потрошача како у нормалном погону, тако и приликом присуства кварова и грешака.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B.Gurevich, Power Supply Devices and Systems of Relay Protection, CRC Press; 1 edition, Boca Raton - FLORIDA, April, 2016.
- [2] A.King. W.Knight, Uninterruptible Power Supplies, McGraw Hill Professional, 2002
- [3] V. Katić, Kvalitet električne energije-viši harmonici, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Novi Sad 2002.
- [4] S. Mujović, J. Radović, "Karakteristike opterećenja računara sa aspekta uticaja na kvalitet električne energije", XII Savetovanje Energetska Elektronika, Novi Sad, 5-7 Novembar 2003.
- [5] Енергоинвест-СУЕ, „Пројекат: Опрема помоћног напајања-власита потрошња“, 30.05.2016, Електропренос ОП Бања Лука.
- [6] CMC 256 plus- User Manual, OMICRON Article Number VESD2002 - Version CMC256plus.AE.6
<http://userequip.com/files/specs/6009/CMC%20256plus%20User%20Manual.pdf>

ABSTRACT

This paper describes the basic elements of uninterruptible power supply used for self-consumption in the 110/20 kV-Laktaši 2 transformer station (TS). This power supply contains basic components such as rectifiers, inverters, batteries, static switches and associated control and signaling equipment. The main contribution in this research is to optimize and improve the operation of both the power supply and the static switch. During exploitation and testing, the quality and reliability of the designed solution were verified. Finally, the experimental results are presented on this basis and the most important conclusions are drawn.

OPTIMIZATION AND VERIFICATION OF THE SYSTEM FOR UNINTERRUPTIBLE POWER IN THE TRANSFORMER STATION 110/20 kV LAKTAŠI 2

Zdravko Perić
Željko V. Despotović
Branislav Koprena