УДК: 621.316.018.1
621.317.785:681.5

Данијел Давидовић[1*], Далибор Црноја[1], Сретен Давидов[2]

Идентификација фаза и прекида у нисконапонским мрежама на основу података о догађајима регистрованим у паметним бројилима

[1] Електро Љубљана д. д., Љубљана, Словенија
[2] ЕИМВ, Љубљана, Словенија

https://doi.org/10.18485/epij.2025.3.2.3
Стручни рад

Кључне поруке

- Паметна бројила омогућавају податке за контролу и мониторинг НН мрежа
- Паметна бројила могу омогућити аларме о прекидима на НН мрежи у реалном времену
- Подаци у реалном времену ће омогућити даљу оптимизацију процеса детекције прекида

Кратак садржај

Оператори дистрибутивног система (ОДС) суочавају се са разним изазовима у нисконапонским (НН) мрежама, који резултирају непредвидљивим варијацијама оптерећења и напона. Да би имао даљинско праћење НН мрежа, ОДС мора дигитализовати НН мреже увођењем паметних бројила. Паметна бројила су кључна за НН мреже јер омогућавају праћење и контролу различитих величина и функција попут напона, струје, снаге, потрошње, аларма итд. Паметна бројила су све напредније и данас могу пружати податке у скоро реалном времену. Такви подаци омогућавају ОДС-у да открије различите догађаје на НН мрежи, као што су прекиди, преоптерећења, неуравнотеженост фаза и слично. Поред тога, уз комуникацију у реалном времену путем паметних бројила, ОДС може осигурати континуитет процеса.

Овај рад представља идентификацију фаза и прекида у НН мрежама на основу података у вези са догађајима које региструју паметна бројила. Очекивани доприноси рада су:

- *повезивање догађаја из података паметних бројила са догађајима укључења и искључења како би се утврдили јединствени прекиди за извештавање;*
- *могућност идентификације фаза за кориснике са једнофазним прикључком коришћењем информација о прекидима у напајању;*
- *коришћење информација из паметних бројила у реалном времену и испитивање поузданости комуникације при агрегирању података о прекидима на НН мрежама.*

Кључне речи

Аларми, бројила, догађаји, идентификација фаза, НН мреже, прекиди

Примљено: 29. октобар 2024. Рецензирано: 20. мај 2025.
Измењено: 5. јун 2025. Одобрено: 6. јун 2025.
*Кореспондирајући аутор: Данијел Давидовић, 00386 30 716 818
Имејл: Danijel.Davidovic@elektro-ljubljana.si

Напомена:

Овај чланак представља проширену, унапређену и додатно рецензирану верзију рада „*Идентификација фаза и испада у НН мрежама заснована на догађајима са подацима паметних бројила*“, награђеног у Стручној комисији СТК-4 *Дистрибуирана производња и ефикасно коришћење електричне енергије,* на 14. Саветовању CIRED Србија, Копаоник, 16-20. септембра 2024.

COBISS.SR-ID 172896265 © ЕПС АД Београд. All rights reserved

1. УВОД

Паметна бројила са свим доступним подацима и паметним функцијама воде дигитализацију у нисконапонским (НН) мрежама. Паметна бројила могу донети велику вредност операторима дистрибутивног система (ОДС) и крајњим корисницима. У данашње време, паметна бројила се користе за праћење НН мрежа, укључујући откривање одступања напона, прекида мрежних линија, грешака, као и техничких и нетехничких губитака итд., [1]. Паметна бројила су наши сензори у НН мрежи, а њихово коришћење нам омогућава да проценимо виталне варијабле НН мреже, као што су напони и снага. Електро Љубљана д. д. свакодневно прикупља податке са паметних бројила у мерном центру. Са већине дигиталних бројила подаци се прикупљају једном дневно, а са неких паметних бројила подаци се прикупљају готово у реалном времену путем тачка-тачка (*point-to-point*, P2P) комуникације мобилне мреже. Изведена мерења се прикупљају, анализирају и користе у различите сврхе. Основна сврха је израчунавање потрошње и генерисане снаге, док се други метрички подаци користе за квалитет снабдевања електричном енергијом, [2]. За мониторинг НН мреже на неким од трансформаторских станица тренутно се користе аларми и регистровани догађаји. Догађаји су историјски подаци који се користе за идентификацију фаза и контролу инцидената у НН мрежи који су се већ десили. Догађаји могу бити подељени у више група. Догађаји у вези са квалитетом електричне енергије могу послужити за пружање већег задовољства потрошачима, поготово уколико се догађаји анализирају помоћу вештачке интелигенције, [3]. Аларми су информације у реалном времену које омогућавају локализацију прекида у НН мрежи. Аларми омогућавају оптимизацију процеса у будућности. Коришћењем аларма могуће је детектовати испаде у НН мрежи и информацију искористити за обавештење свих потрошача који су због испада остали без електричне енергије. Систем који шаље информације потрошачима о испадима помоћу података са паметних бројила и алгоритама за анализу тих података већ успешно користе неке од дистрибуција. Једна таква дистрибуција је из Скандинавије где паметна бројила шаљу аларме услед испада и та иста обавештења добијају потрошачи, [4]. Даље, аларми омогућавају и боље дефинисање локације испада и врсту квара. Са алармима ће убудуће бити могуће аутоматско креирање налога за рад и смањивање дужине трајања прекида напајања. Употребом нове вештачке интелигенције биће омогућена аутоматизација која се данас чини недоступном.

Сврха овог рада је да подстакне процес који ће омогућити разумевање параметризације паметних бројила, како би се видело како се догађаји активирају и да се открије да ли постоје могући помаци у времену од стране паметног бројила. На тај начин, комуникација и квалитет испоруке података могу се проверити и повезати са ADMS-ом (*Advanced Distribution Management System*), активираним инцидентима са догађајима који су се догодили на страни паметног бројила. На пример, инцидент забележен на средњенапонском изводу може се потврдити догађајима регистрованим у паметним бројилима на НН мрежи. Догађаји могу бити планирани и непланирани. Подаци из паметних бројила откривају догађаје који су се десили у НН мрежи и могу се користити за контролу и мониторинг НН водова.

У овом раду представљамо повезивање догађаја регистрованих у паметним бројилима са укључивањем и искључивањем напајања, како бисмо одредили јединствене догађаје прекида за извештавање. Наш циљ је одредити могућу идентификацију фаза корисника са једнофазним прикључком на мрежу, користећи информације о укључивању и искључивању напајања или догађаје прекида фаза. На крају, користићемо информације о алармима из паметних бројила у реалном времену и истражити поузданост комуникације при агрегирању података о прекидима НН водова. У будућности се на анализираном подручју очекује већа употреба паметних бројила која могу да шаљу податке и аларме у реалном времену. На тај начин лакше ће бити упоредити податке паметних бројила са мерних места потрошача са подацима паметних бројила у трансформаторској станици. Због тачнијих информација у реалном времену идентификација фаза биће много лакша. Исто тако, убудуће се очекује много већа употреба вештачке интелигенције у смислу анализа података и аутоматизације дефинисања инцидената у НН мрежи.

Рад је структуриран на следећи начин: у Поглављу 2 представљамо како радимо идентификацију испада на основу догађаја, у Поглављу 3 описујемо аларме догађаја и у Поглављу 4 дајемо закључке овог рада.

2. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ИСПАДА НА ОСНОВУ ДОГАЂАЈА

Информације паметних бројила о регистрованим догађајима обећавајуће су за мониторинг НН мреже, јер пружају податке о различитим инцидентима у НН мрежама. Догађаји могу пружити информације о одступањима напона, па чак и о прекидима у напајању, [5]. Догађаји су историјски подаци и обично се користе за анализу прошлих инцидената или за спречавање прекида или инцидената у будућности. У Електро Љубљани д. д. користимо догађаје и за контролу извештавања о прекидима и за идентификацију фаза на паметном бројилу. Идентификација фаза може се обезбедити и са анализом 10-минутних дијаграма напона. Што је већа грануларност података напона, то је лакше урадити идентификацију једнофазних потрошача. За такве анализе препоручено је употребљивати једноминутни дијаграм напона. Ти исти подаци могу се употребити и за детекцију других грешака у НН мрежи, [6].

© ЕПС АД Београд All rights reserved

2.1 Повезивање догађаја из података паметних бројила са укључивањем и искључивањем напајања ради утврђивања јединствених догађаја прекида за извештавање

У Електро Љубљани д. д. покушавамо да повежемо инцидент на терену са подацима паметних бројила. Догађаји могу бити планирани због радова на одржавању у НН мрежи или непланирани прекиди. Историјски подаци паметних бројила омогућавају нам да анализирамо прошле инциденте. Од доступних података паметних бројила користимо догађаје о искључивању напајања, укључивању напајања, недостатку напона по фазама и о нормалном напону по фазама. Сви догађаји се прикупљају са временским ознакама. На пример, ако на трансформаторској станици добијемо ADMS-ов извештај о кварy на једној фази, догађаји са паметних бројила могу показати да је заправо дошло до потпуног прекида на целој НН линији са трансформаторске станице. На тај начин детектујемо и можемо контролисати нетачне ADMS-ове извештаје које достављају радници на терену о инцидентима, а даљом анализом можемо чак детектовати повезаност фаза паметних бројила и прикључака корисника са једном фазом.

2.2 Могућа идентификација фаза корисника са једном фазом коришћењем информација о укључивању и искључивању напајања или догађајима прекида фаза

Овај рад истражује изводљивост идентификације корисника са једнофазним прикључком анализом информација о укључивању и искључивању напајања, као и о догађајима у вези са прекидима фаза. Истражујући обрасце у прекидима снабдевања, као што су узастопни догађаји искључивања напајања или прекиди фаза, циљ нам је да утврдимо на коју од фаза система су прикључени монофазни корисници. Ови догађаји нам пружају драгоцене увиде за ефикасно управљање и оптимизацију НН мреже, чиме се побољшава поузданост услуга и задовољавају јединствене потребе корисника са једнофазним прикључком.

Да бисмо утврдили на коју фазу је повезан корисник са једнофазним прикључком, било је потребно тестирати и разумети параметризацију паметног бројила. На пример, ако се региструје догађај прекида фазе, регистрација паметног бројила за кориснике са једном фазом (L1), Слика 1, активира се догађајем искључивања напајања и поновног успостављања напајања једне фазе, али не долази до евидентирања догађаја искључивања напајања потрошача.

За трофазно паметно бројило, на Слици 2 можемо видети да уколико је једна фаза искључена, вредност напона опада на нулу.

	Time	Event ID	Event description
1	09.04.2024 08:47:03	232	Power Down Phase L1
2	09.04.2024 08:49:14	235	Power Restored For L1
3	09.04.2024 08:49:14	88	Phase sequence reversal

Слика 1. Искључивање напајања код једнофазних потрошача

Time	Status	3; 1-0:32.7.0*255; 2 [V]	3; 1-0:52.7.0*255; 2 [V]	3; 1-0:72.7.0*255; 2 [V]
09.04.2024 08:46:40	Daylight Saving Time Active	240	240	239,9
09.04.2024 08:46:50	Daylight Saving Time Active	240,1	240,1	240,1
09.04.2024 08:47:00	Daylight Saving Time Active	240,2	240,2	240,2
09.04.2024 08:47:10	Daylight Saving Time Active	0	240,6	240,5
09.04.2024 08:47:20	Daylight Saving Time Active	0	240,7	240,6
09.04.2024 08:47:30	Daylight Saving Time Active	0	241	240,9
09.04.2024 08:47:40	Daylight Saving Time Active	0	240,9	240,8
09.04.2024 08:47:50	Daylight Saving Time Active	0	238	237,9
09.04.2024 08:48:00	Daylight Saving Time Active	0	238	238
09.04.2024 08:48:10	Daylight Saving Time Active	0	238,1	238,1
09.04.2024 08:48:20	Daylight Saving Time Active	0	238,1	238
09.04.2024 08:48:30	Daylight Saving Time Active	0	237,8	237,7
09.04.2024 08:48:40	Daylight Saving Time Active	0	237,6	237,6
09.04.2024 08:48:50	Daylight Saving Time Active	0	237,8	237,8
09.04.2024 08:49:00	Daylight Saving Time Active	0	237,4	237,4
09.04.2024 08:49:10	Daylight Saving Time Active	0	237,4	237,4
09.04.2024 08:49:20	Daylight Saving Time Active	237,2	237,1	237,1
09.04.2024 08:49:30	Daylight Saving Time Active	237,4	237,4	237,4
09.04.2024 08:49:40	Daylight Saving Time Active	237,3	237,3	237,3

Слика 2. Напон фазе опада на нулу у случају прекида једне фазе

© ЕПС АД Београд All rights reserved

Када се фазе искључују једна по једна, коначни догађај искључивања напајања ствара се када су све три фазе искључене. Овај догађај се затим шаље у центар управљања. То нам омогућава да ефикасније постављамо упите и претражујемо базу података за конкретне догађаје, чиме можемо одредити фазу на коју је повезан корисник са једнофазним прикључком. На Слици 3 можемо видети конкретне догађаје искључивања напајања када се фазе искључују једна по једна.

7	09.04.2024 09:12:11	232	Power Down Phase L1
8	09.04.2024 09:13:15	233	Power Down Phase L2
9	09.04.2024 09:14:26	234	Power Down Phase L3
10	09.04.2024 09:14:26	1	Power down
11	09.04.2024 09:14:48	2	Power up
12	09.04.2024 09:14:48	88	Phase sequence reversal
13	09.04.2024 09:14:49	235	Power Restored For L1
14	09.04.2024 09:14:49	236	Power Restored For L2
15	09.04.2024 09:14:49	237	Power Restored For L3

Слика 3. Коначни догађај искључивања и поновног укључивања напајања

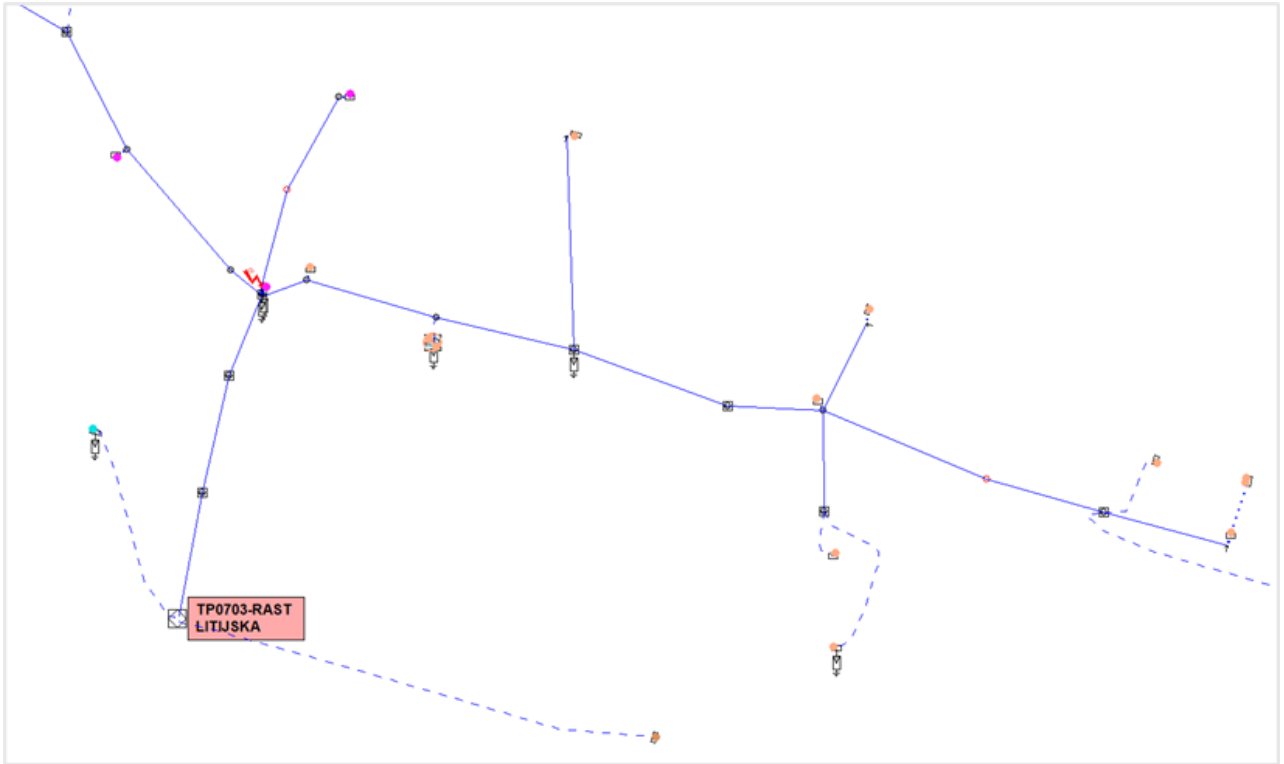
3. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ДОГАЂАЈА ЗАСНОВАНА НА АЛАРМИМА

Идентификација догађаја заснована на алармима могућа је за паметна бројила која омогућавају прикупљање информација у реалном времену. У нашем случају, одлучили смо да тестирамо аларме на трансформаторској станици („Раст литијска”) са 15 мерних тачака. На Слици 4 можемо видети трансформаторску станицу са три НН извода. На свакој од мерних тачака су инсталирана паметна бројила са 4G модулима који омогућавају пренос информација у реалном времену. Циљ је био да се покаже могућност детекције прекида са алармима и идентификација фаза.

3.1 Коришћење информација из паметних бројила са алармима у реалном времену за утврђивање поузданости комуникације у агрегирању прекида нисконапонских доводних линија

Да би детектовале аларме, дистрибутивне компаније морају припремити одговарајући систем, *Head-End-System* (HES) и паметна бројила како би успоставиле комуникациони пут за информације у реалном времену. У случају Електро Љубљане д. д. смо у HES поставили функционалности „*Push-on-Alarm*” (PoA) и „*Push-on-PowerDown*” (PoPD) за P2P бројила.

Сврха PoA је слање аларма у HES, чим се они појаве у регистру аларма. Када HES прими одређени аларм, активира се процес који ресетује дескриптор и регистре, чита све догађаје са бројила и чува их у бази података (*Data Base*, DB). Аларми ће бити активирани и послати HES-у када се догоди један од следећих догађаја приказаних на Слици 5.



Слика 4. Нисконапонска трансформаторска станица „Раст литијска”

© ЕПС АД Београд All rights reserved

B1	Power resume	☑
B2	Voltage missing phase L1	☑
B3	Voltage missing phase L2	☑
B4	Voltage missing phase L3	☑
B5	Voltage normal phase L1	☑
B6	Voltage normal phase L2	☑
B7	Voltage normal phase L3	☑

Слика 5. Одабрани догађаји за активирање аларма

Унутар аларма, догађај „Потпуни прекид напајања" није укључен, јер се шаље као PoPD користећи функционалност „*last gasp*", и даље је означен као аларм. Пошто је бројило недоступно у тренутку „Потпуног прекида напајања", не можемо активирати читање догађаја. HES шаље обавештење ADMS-у, а чим се бројило повеже на мрежу APN (*Access Point Name*), остали аларми се шаљу, а процес за читање свих догађаја се активира.

Са оваквим информацијама у реалном времену, ADMS омогућава праћење НН мреже уз помоћ паметних бројила и HES-а. На Слици 6 можемо видети обавештење HES-а о послатом аларму. На Слици 7 можемо видети примере аларма који су тестирани на трансформаторској станици на једној мерној тачки.

NotificationPushAlarm		3. 04. 2024 09:16:37	3. 04. 2024 09:16:39		
PushNotifikacija	Succeeded	3. 04. 2024 09:16:37	3. 04. 2024 09:16:39	100% (1/1)	100% (1/1)
31985	Succeeded	3. 04. 2024 09:16:37	3. 04. 2024 09:16:39	100% (1/1)	100% (1/1)

Слика 6. Слање „Push" обавештења ADMS-у

Alarms (14)

Alarms

Date	Name	Id	Data	Description
18.03.2024 09:02:16	PowerDown	1000	Push Power Down Data	Power down
19.03.2024 06:18:08	PowerUp	1001		Power up
19.03.2024 06:18:08	VoltageDownPhaseL1	1002		Missing voltage L1
19.03.2024 06:18:08	VoltageNormalPhaseL1	1008		Voltage L1 normal
19.03.2024 06:18:08	AlarmOn	1167		Alarm occurred

Слика 7. Аларми на HES-у

Кроз тестирање на трансформаторској станици (ТС) имали смо различите тест-сценарије:

- прекид напајања на једној мерној тачки;
- прекид једне фазе на једној мерној тачки;
- прекид НН линије са ТС;
- прекид једне фазе на НН линији са ТС;
- прекид две фазе на НН линији са ТС;
- прекид напајања ТС.

Сви тестови су били успешни, и у сваком тест-сценарију добили смо аларме у ADMS-у који су испунили наш циљ. Са оваквим информацијама, прекиди ће у будућности бити детектовани одмах када се догоде, омогућавајући нашим радницима на терену да смање време опоравка у НН мрежи.

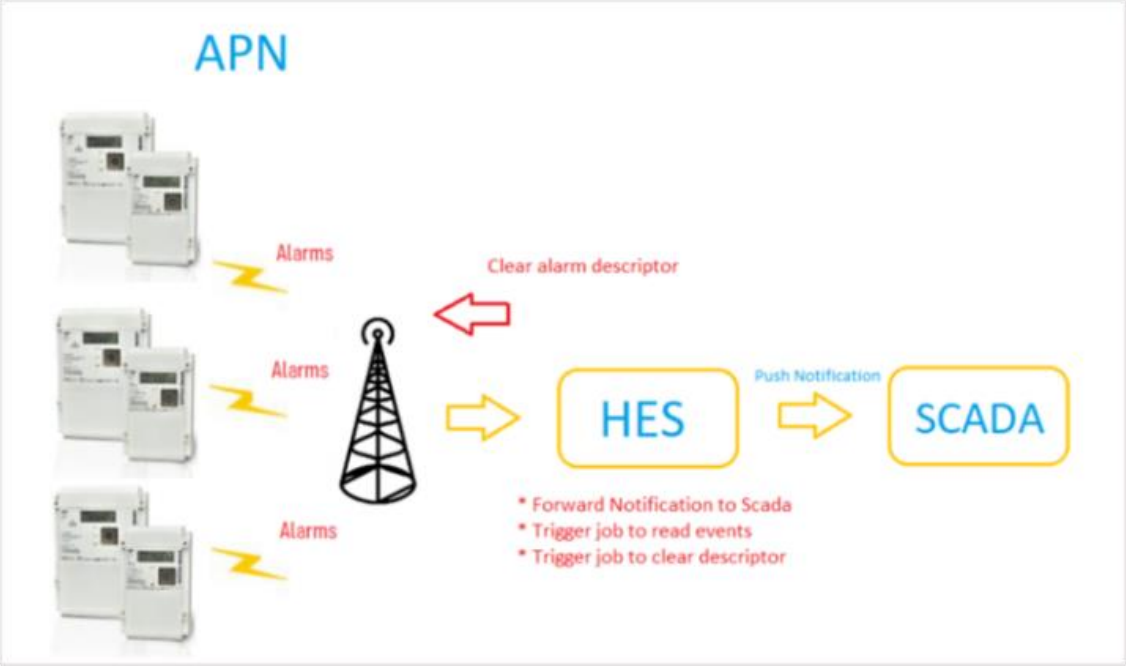
3.2 Комуникациони пут

На Слици 8 можемо видети успостављени комуникациони пут за аларме паметних бројила у случају Електро Љубљане д. д. Очекује се да ће се свакодневно прикупљати око 5.000 аларма, што ће помоћи ADMS-у у праћењу и управљању дистрибутивном мрежом. Да би се управљало оваквим бројем аларма, систем ће захтевати додатну аутоматизацију и интеграцију са системом за радне налоге.

4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду представили смо могућности за утврђивање прекида и идентификацију фаза користећи историјске податке паметних бројила. Такође, приказали смо унапређење прикупљањем података у реалном времену. Са подацима у реалном времену добијамо још корисније информације које омогућавају даљу аутоматизацију процеса. Без аутоматизације система за обраду аларма и система радних налога, мониторинг мерних података у реалном времену, као што су аларми, биће немогућ. Све функционалности савремених ADMS-ова за вођење и управљање мрежом јесу (или ће бити) зависни од улазних података паметних бројила. У будућности се очекује да ће подаци о прекидима аутоматски генерисати радне налоге, а информације ће се слати и потрошачима. Овом информационом аутоматизацијом смањићемо непотребне телефонске позиве, оптимизовати процесе детекције прекида и, што је најважније, повећати квалитет напајања и задовољство потрошача. Са фазном идентификацијом остварујемо даље побољшање дигиталног модела дистрибутивне НН мреже и равномернију расподелу оптерећења по фазама.

© ЕПС АД Београд All rights reserved



Слика 8. Комуникациони пут

ЛИТЕРАТУРА

[1] Khazaei M., Stanković L., Stanković V., 2019, Trends and Challenges in Smart Metering, Chapter in the Book, University of Strathclyde
[2] Vafeiadis T., et al, 2019, Anomaly Detection in Smart Meters, 14th Conference of Slovenian Energetics (CIGRE-CIRED), 2019, Laško (Slovenia)
[3] Sanchez T. M., et. al., Fault Detection in Low Voltage Networks with Smart Meters and Machine Learning Techniques, International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), 2019, Madrid (Spain)
[4] Marie-Cecile Alvarez-Herault, et al., 2019, Monitoring and Control of LV Networks, Report CIRED WG 2019-5
[5] Prado J. G., Gonzalez A., Riano S., Adopting Smart Meter Events as Key Data for Low-voltage Network Operation, 24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), 2017, Glasgow (UK) 924-928
[6] Andrew U., et al., Phase Identification Using Smart Meter Data, International Conference on Electricity Distribution (CIRED), 2023, Rome (Italy)

БИОГРАФИЈЕ

Данијел Давидовић је рођен 1994. године у Љубљани. Дипломирао је на Факултету за електротехнику Универзитета у Љубљани године 2016. и исте године после дипломирања запослио се у Електро Љубљани д. д., у одељењу за мерење. Ту ради и данас као вођа одељења за мерне справе. Године 2022. стекао је и звање мастер пословних наука на Економском факултету Универзитета у Љубљани. ORCID: 0009-0009-1967-3276.

Далибор Црноја је рођен 1979. године у Љубљани, где је и стекао звање инжењер телекомуникација и запослио се у Телекому Словенија, где је радио 13 година. Године 2019. запослио се у Искраемеку, где се први пут срео са концептом паметног мерења. Од 2023. наставља своју радну каријеру у Електро Љубљани д.д. ORCID: 0009-0007-0758-4837.

Сретен Давидов је рођен у Неготину, Северна Македонија, 1989. године. Дипломирао је на ФЕИТ-у у Скопљу, 2012. године, а мастер студије је завршио на Факултету за електротехнику Универзитета у Љубљани 2014. године и докторирао на истом факултету из подручја електротехнике и електроенергетике 2018. године. Тренутно ради у ЕИМВ-у у Љубљани, Словенија. ORCID: 0000-0003-3584-5073.

© ЕПС АД Београд All rights reserved

UDC: 621.316.018.1
621.317.785:681.5

Danijel Davidović[1*], Dalibor Crnoja[1], Sreten Davidov[2]

Event-Based Identification of Phases and Outages in LV Networks with Smart Meter Data

[1] Elektro Ljubljana d.d., Ljubljana, Slovenija,
[2] EIMV, Ljubljana, Slovenija,

Professional article

Highlights

- Smart meters provide data for monitoring and control of LV networks.
- Smart meters can enable real-time alarms for outages in the LV network.
- Real-time data will allow further optimization of the outage detection process in DNOs.

Abstract

DNOs are facing various challenges on the LV grid. Challenges result in more unpredictable variations of loads and voltage. To get remote monitoring over the LV grid DNOs need to enable digitalization of the LV network with implementation of smart meters. Smart meters are vital for the LV network since voltage, current, consumption, power to different alarms, and additional functions can be used to monitor and control the LV feeders and users. Moreover, smart meters are still improving. Today they are capable to provide data near real-time. With such data DNOs can detect various events on the LV network like outages, overloads, phase imbalance, etc. Furthermore, with real-time smart meter communication, DNOs may ensure contingency and continuity of the processes.

This paper will further present an event-based identification of phases and outages in LV networks with smart meter data. The expected contributions of the paper are the following:

i) Linking the events on smart meter data with power-up, power-down to determine unique outage events for reporting.

ii) Possible phase identification of single-phase users using the power-up, power down information or phase outages events.

iii) Using smart meter information from real-time alarming and find communication reliability in aggregating LV feeder outages.

Keywords

Alarms, Events, LV Network, Meters, Outages, Phase-Identification

Received: October 29th, 2024 Reviewed: May 21st, 2025
Modified: June 5th, 2025 Accepted: June 6th, 20205.
*Corresponding author: Danijel Davidović, +386 30 716 818
E - mail: Danijel.Davidovic@elektro-ljubljana.si

Note:
This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "*Event-Based Identification of Phases and Outages in LV Networks with Smart Meter Data*", awarded by Expert Committee EC-4 *Distributed Generation and Efficient Use of Electricity* at the 14th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 16-20, 2024

© ЕПС АД Београд All rights reserved