



## REALIZACIJA PAMETNIH MREŽA I DISTRIBUIRANI GENERATORI SMART GRID REALISATION AND DISTRIBUTED GENERATORS

Isidora Savić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

### Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

**Kratak sadržaj** – U ovom radu opisana je ideja pametne mreže, sa svim svojim prednostima i nedostacima. Izvršeno je upoređivanje postojećeg elektroenergetskog sistema sa „pametnim”. Posebna pažnja posvećena je zastupljenosti obnovljivih izvora energije u svetu i u Srbiji, kao i tendencija ka njihovom maksimalnom iskorišćenju. Predstavljen je pametni distributivni sistem sa ulogama distribuiranih generatora u njemu. U radu je takođe predstavljena zaštita u distributivnim mrežama, kao i analiza uticaja distribuiranih generatora na rad relejne zaštite, nivo struje kratkog spoja i na pouzdanost napajana. Dobijeni rezultati su predstavljeni tabelarno i kroz dijagrame.

**Ključne reči:** Pametna mreža, Distributivna mreža, Distribuirani generator, Relejna zaštita

**Abstract** – This paper describes the idea of a smart grid, with all its advantages and disadvantages. The comparison of the existing electricity system with the "smart" one was made. Special attention is paid to the presence of renewable energy sources in the world and in Serbia, as well as the tendency towards their maximum utilization. A smart distribution system was introduced with the roles of distributed generators in it. The paper also presents protection in distribution networks, as well as an analysis of the influence of distributed generators on the operation of relay protection, the level of short circuit current and the reliability of the power supply. The obtained results are presented in tables and diagrams.

**Keywords:** Smart grid, Distribution network, Distributed generator, Relay protection

### 1. UVOD

Potrebe potrošača za električnom energijom su široke i raznovrsne, jer je električna energija najplemenitiji vid energije u prirodi. U elektranama se vrši pretvaranje jedne vrste energije (toplotne energije, kinetičke energije vode, energije vetra itd.) u električnu energiju. U zavisnosti od načina pretvaranja energije, razlikuju se termoelektrane, hidroelektrane, vetroelektrane itd.

Elektroenergetski sistem (EES) je sistem čiji je osnovni zadatak da osigura kvalitetnu isporuku električne energije uz minimalne troškove. Ovakav postojeći EES suočava se sa velikim ekološkim, finansijskim i tehničkim izazovima.

### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Duško Bekut, red. prof.

Upravo zbog toga, javlja se potreba za njegovom modernizacijom. Javlja se ideja za izgradnjom pametne električne mreže (Smart Grid) u cilju značajnog poboljšanja pouzdanosti, energetske efikasnosti, sigurnosti i kvaliteta napajanja električnom energijom.

Prilično je izvesno da će pametne mreže biti, a i u određenoj meri već jesu, deo svakodnevnice većine stanovnika u urbanim sredinama.

U drugom delu rada je data struktura tradicionalnog elektroenergetskog Sistema (EES), a u trećem obnovljivi izvori energije (OIE). Četvrti deo je posvećen ideji pametnih mreža, a peti trendu razvoja pametnih mreža u Evropi. U šestom delu su navedene dobiti od primene distribuiranih generatora, a poslednja dva dela su zaključak i literatura za pisanje ovog rada.

### 2. INFRASTRUKTURA TRADICIONALNOG EES

EES su uglavnom građeni pre 50 godina. Princip prema kojem su građeni je bio taj da se električna energija proizvodila u velikim elektranama, odakle je preko transformatora prenošena u visokonaponsku elektroenergetsku mrežu. Prenosna mreža je korišćena za transport električne energije do distributivnih transformatora, često na velike udaljenosti. Od distributivnih transformatora je električna energija prenošena preko srednjenaponskih i niskonaponskih električnih mreža do krajnjih potrošača.

#### 2.1. Problemi postojećeg EES i elektroprivrede

Organizacija elektroprivrede, grane privrede koja se bavi eksploatacijom elektroenergetskog sistema, zavisi od tržišta električne energije i od vlasništva nad elektroenergetskim sistemom.

Koncept organizacije elektroenergetskog sektora podrazumeva da su proizvodnja, prenos i distribucija (sa prodajom) električne energije organizovane u okviru jednog preduzeća, najčešće državnog. Razlog primene takvog koncepta je verovanje da je situacija na tržištu električne energije takva da je samo jedno preduzeće u stanju da profitabilno nudi usluge (u slučaju konkurencije, samo bi jedno preduzeće bilo u stanju da dugoročno opstane). Elektroprivrede uglavnom nisu u stanju da same finansiraju razvijanje novih, potrebnih tehnologija i uređaja, kao i velike infrastrukturne promene u mreži.

To znači da je budućnost koncepta pametnih mreža veoma zavisna od spremnosti same država da ulažu u njen razvoj i primenu. Ovakav pristup ima brojne nedostatke, a najveći je zanemarivanje planiranja i razvoja, upravljanja finansijama i troškovima itd.

Rešenje postojećih problema potrebno je tražiti u odgovornom i održivom razvoju, jer uobičajeni način rada više nije opcija. Vlade razvijenih zemalja donose brojne uredbe i inicijative o energetskej efikasnosti, konzervaciji energije, smanjenju zagađenja, smanjenju uticaja elektroenergetskog sistema na klimatske promene itd. Jedan od imperativa desetogodišnje strategije ekonomskog oporavka i razvoja zemalja Evropske unije „Evropa 2020” (eng. *Europe 2020*) je ostvarenje takozvanih ciljeva „20-20-20” [1]:

- do 2020. godine smanjiti emisiju gasova koji izazivaju efekat staklene bašte za 20% u odnosu na nivo iz 1990. godine,
- energija iz obnovljivih izvora učestvuje sa 20% u strukturi energije Evropske Unije,
- ukupna primarna potrošnja energije u EU se mora smanjiti za 20%.

### 3. ZASTUPLJENOST OBNOVLJIVIH IZVORA

Usled socijalnog i ekonomskog uticaja, energetske kompanije su pod velikim pritiskom da budu što efikasnije, kako bi postigle ne samo konkurentnost sa cenama, nego i adekvatan nivo zaštite životne sredine. Dodatno, kompanije su pod pritiskom da pokažu odgovornost, fleksibilnost, inovativnost i održivost postojećih resursa. Da bi poboljšale profitabilnost, stekle prednost u odnosu na konkurenciju i održale adekvatan nivo zaštite životne sredine, kompanije moraju da naprave izmene u svojoj strategiji poslovanja, sa akcentom na sledeće oblasti [2]: zahtevi za energijom, zastupljenost obnovljivih izvora energije u proizvodnji, smanjenje emisije ugljen-dioksida, razlika u ceni pogonskih goriva i infrastruktura sa različitim tipovima proizvodnje električne energije, poboljšanje proizvodnje nuklearne energije ili prestanak proizvodnje, pritisci za smanjenje cene električne energije, postojeći sistemi i potreba za prilagođavanjem novim uslovima.

#### 3.1. Vrste obnovljivih izvora energije

U nastavku se daje pregled OIE:

- Vodne snage, (energija vodotokova, morskih struja i talasa, plime i oseke).
- Biomasa (i biogas, uključujući i drvo i otpatke).
- Energija Sunčevog zračenja.
- Energija vetra.
- Unutrašnja toplota Zemlje (geotermalna energija).
- Energija plime i oseke.
- Energija talasa.

#### 3.2. Razvoj OIE u Srbiji

Snažan rast se nastavio kako u proizvodnji, tako i u prodaji, ali i u instalaciji postrojenja OIE zahvaljujući promeni politika mnogih zemalja, pa tako i u Srbiji.

Strategijom razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine u okviru Prioriteta selektivnog korišćenja obnovljivih izvora energije posebno je istaknuto da u Republici Srbiji postoje posebne pogodnosti i potrebe za organizovano korišćenje OIE u tzv. decentralizovanoj proizvodnji toplotne (sagorevanjem biomase i „sakupljanjem” Sunčevog zračenja) i električne energije (izgradnjom malih, mini i mikro hidroelektrana i vetrogeneratora snage

do 10 MW), za zadovoljenje potreba lokalnih potrošača, kao i za isporuke viškova električne energije lokalnoj mreži u okviru elektroenergetskog sistema Srbije.

Osnovni cilj u oblasti OIE jeste stvaranje uslova za veće korišćenje OIE, odnosno stvaranje uslova za investiranje u OIE. Broj izgrađenih objekata za eksploataciju OIE u Republici Srbiji i njihova aktuelna godišnja energetska produkcija su zanemarljivi. Kapital koji je uložen u do sada izgrađene objekte je male vrednosti. Veoma su mali, gledano sa nacionalnog nivoa, i finansijski rezultati ostvareni radom do sada izgrađenih objekata za korišćenje. Tehničko-tehnološke karakteristike opreme za eksploataciju OIE lošije su od karakteristika slične opreme koja se danas koristi u EU [3].

## 4. IDEJA PAMETNE MREŽE

### 4.1. Definicija Smart Grid

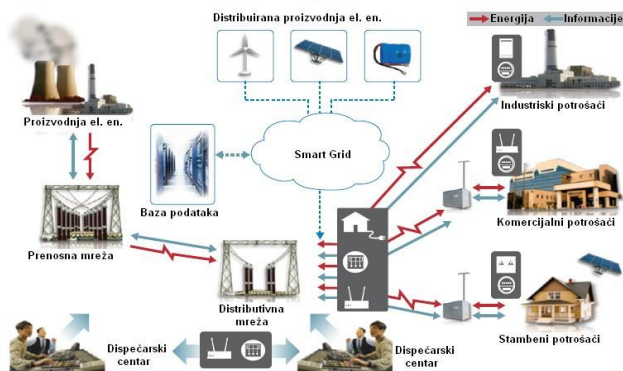
Prvu zvaničnu definiciju Smart Grid-a obezbedio je Zakon o energetskej nezavisnosti i bezbednosti iz 2007. godine, koji je odobrio Kongres SAD u januaru 2007. godine. Naslov KSIII ovog zakona daje opis sa deset karakteristika koje se mogu smatrati definicijom Smart Grid-a i to:

„Politika Sjedinjenih Država jeste da podrži modernizaciju sistema prenosa i distribucije električne energije radi održavanja pouzdane i sigurne infrastrukture za električnu energiju koja može da odgovori na budući rast potražnje i da postigne svaku od sledećih karakteristika koje zajedno karakterišu Smart Grid:

1. Povećana upotreba digitalnih informacija i kontrola tehnologije za poboljšanje pouzdanosti, sigurnosti i efikasnosti električne mreže.
2. Dinamička optimizacija operacija mreže i resursa, uz potpunu ciber-sigurnost.
3. Razvoj i integraciju distribuiranih resursa i generatora, uključujući obnovljive resurse.
4. Razvoj i inkorporiranje odgovora na tražnju, resurse potražnje i resurse energetske efikasnosti.
5. Razmeštanje „pametnih” tehnologija (u realnom vremenu, automatizovane, interaktivne tehnologije koje optimizuju fizičko funkcionisanje aparata i potrošačkih uređaja) za merenje, komunikacije u vezi sa mrežnim operacijama i statusom i automatizaciju distribucije.
6. Integracija „pametnih” uređaja i potrošačkih uređaja.
7. Razmeštanje i integracija naprednih tehnologija za skladištenje električne energije i vrhova za brijanje, uključujući električna i hibridna električna vozila sa električnim i hibridnim električnim grejanjem i klima uređaji za termičko skladištenje,
8. Obezbeđivanje pravovremenih informacija i kontrola potrošača.
9. Razvijanje standarda za komunikaciju i interoperabilnost uređaja i opreme povezanih sa električnom mrežom, uključujući i infrastrukturu koja služi mreži.
10. Identifikacija i smanjivanje nerazumnih ili nepotrebnih prepreka za usvajanje inteligentnih mrežnih tehnologija, praksi i usluga.”

## 4.2 Tehnologije pametne mreže

Pametna mreža predstavlja skup različitih tehnologija koje će se koristiti za poboljšanje kvaliteta rada elektroenergetskog sistema i koja će omogućiti: bolju kontrolu postojeće elektroenergetske infrastrukture, dodatnu funkcionalnost i poboljšanje postojeće infrastrukture, integraciju novih postrojenja u postojeći sistem, poboljšanje celokupnog elektroenergetskog sistema.



Slika 4.1 – Koncept pametnih mreža

## 4.3 Prednosti pametne mreže

Koncept pametnih mreža, pažljivo projektovan i primenjen, u odnosu na tradicionalni pristup, pruža mnogobrojne pogodnosti.

Prednosti pametne mreže većina zagovornika nove tehnologije najčešće prezentuju putem ekonomskih pogodnosti, što je razumljivo, s obzirom na to da su glavni kupci i korisnici nove tehnologije deregulisana elektroprivredna preduzeća koja se „takmiče” na konkurentnom tržištu i kojima je profit najbitnija stavka poslovanja.

Sa ekonomskog aspekta, ostvaruju se sledeće pogodnosti [4]:

- povećana korisnost infrastrukture AU (Asset Utilization),
- kapitalne uštede u prenosu i distribuciji električne energije,
- uštede pri održavanju i eksploataciji objekata prenosa i distribucije električne energije,
- smanjena mogućnost krađe električne energije,
- veća energetska efikasnost,
- manja cena električne energije.

## 5. TREND RAZVOJA PAMETNIH MREŽA U EVROPI

Iako je postignut veliki napredak u korišćenju obnovljive energije i energetske efikasnosti i širenja pristupa energiji u poslednjoj deceniji, svet nije na putu da ispuni međunarodne klimatske ciljeve, niti međunarodne ciljeve za održivi razvoj.

Utvrđeno je da je potrebna otprilike decenija da bi se globalno zagrevanje održalo ispod ovog nivoa i da bi se izbegli najgori efekti klimatskih promena. Većina zemalja i dalje subvencionira potrošnju fosilnih goriva, a subvencije za potrošnju fosilnih goriva povećane su za 11% u 2017. godini.

Odmah su potrebne hitne akcije kako bi se promenili naši EES. Šta više, teško je ispuniti ciljeve Ujedinjenih Nacija koji se odnose na održivi razvoj 7 (UN Sustainable Development Goal 7) za povećanje obnovljive energije, energetske efikasnosti i pristupa energiji ako se nastavi sadašnji energetska put.

## 5.1. Pametni distributivni sistemi

Distributivni sistem budućnosti kao deo koncepta pametnih mreža, često se naziva pametni distributivni sistem.

Klasične distributivne mreže projektovane su za jednosmerne tokove snaga (energije) i dimenzionisane samo za potrebe potrošačkih opterećenja. Obnovljivi izvori energije imaju znatno manju energetska vrednost u poređenju sa fosilnim gorivima zbog čega su njihove elektrane manje veličine. Takve male elektrane priključuju se na distributivnu mrežu i poznate su pod imenom distribuirani izvori električne energije [5].

Podrazumeva se implementacija savremenih informacijskih struktura u električne mreže - daleko većeg obima i složenosti nego što je to slučaj danas. Težnja je da se ovim putem poznaje u svakom trenutku (u realnom vremenu) stanje svakog čvora mreže, snaga koju potrošač zahteva ili je u mogućnosti da mreži, kao i snaga koju distribuirani izvori u datom trenutku, na osnovu raspoloživih resursa proizvode.

To je jedan složen, dinamički sistem, pa takva mora biti i informacijska mreža koja omogućava razmenu informacija u okviru tog sistema jer predstavlja osnovu za funkcionisanje svih ostalih podsistema. Bitni zahtevi za informacijsku mrežu u ovom slučaju su mogućnost dvosmerne komunikacije između elemenata mreže, putem sigurnih i bezbednih telekomunikacijskih kanala sa mogućnošću velikog protoka informacija.

## 5.2. Zaštita u distributivnim mrežama

U distributivnim mrežama, prisutan je veliki broj pomoćnih sistema, kako bi se obezbedili zahtevi za pouzdan, siguran i ekonomičan EES. Sistem zaštite ima veoma bitnu ulogu u obezbeđivanju ovih zahteva. Njegova osnovna uloga je da prekine deo mreže sa kvarom i da ograniče mogućnost oštećenja opreme usled kvara. Automatska detekcija i delovanje sistema zaštite je potrebna kako bi se u što kraćem vremenskom roku izolovao kvar i minimizovalo oštećenje opreme [6].

Primenom relejne zaštite omogućava se najbrže moguće isključenje elementa, odnosno dela EES sa kvarom, uz očuvanje funkcionalnosti i održanje stabilnosti ostalog dela sistema. Smanjenje broja i trajanje prekida mogu poboljšati pouzdanost napajanja. Kvalitet napajanja se takođe može poboljšati prilikom brže detekcije kvarova, čime bi se smanjila mogućnost naponskih ulegnuća, treperenja itd.

Relejna zaštita može biti klasifikovana u skladu sa načinom na koji obavlja svoju funkciju.

Postoje: prekostrujni, distantni, diferencijalni, podnaponski (nadraponski) i drugi releji.

## 6. ENERGETSKE DOBITI OD DISTRIBUIRANIH GENERATORA

U nastavku se razmatraju benefiti od primene distribuiranih generatora.

### 6.1. Uticaj distribuiranih generatora na nivo straja kratkog spoja

Uticaj koji će DG imati na struje kratkog spoja u velikoj meri zavisi od sposobnosti DG-a da napaja mesto kvara. Tip generatora koji ima značajan uticaj na nivo struja kratkog spoja je sinhroni generator.

Nije teško ustanoviti da sa porastom snage distribuiranog generatora, sve više raste struja na mestu kratkog spoja, kao i struje po granama distributivne mreže. Ovaj porast vrednosti struja kratkog spoja može dovesti do raznih problema, pre svega u funkcionisanja relejne zaštite, gde može doći do gubitka kako osetljivosti, kao i selektivnosti relejne zaštite.

### 6.2. Uticaj distribuiranih generatora na rad relejne zaštite

Integracija distribuiranih generatora u sistem bez sumnje menja nivo struja kratkog spoja. Sa druge strane, budući da će se doprinos distribuiranih generatora struji kvara odraziti na struje koje mere uređaji relejne zaštite, postojeći sistem zaštite imaće problema u radu, što će dovesti do toga da će neki kvarovi ostati nedetektovani, a u nekim slučajevima doći će i do problema selektivnosti.

Zbog uticaja distribuiranih generatora na amplitudu i smer struja kratkog spoja, javljaju se sledeći problemi u radu relejne zaštite: 1. problem selektivnosti, 2. skraćenje dosega releja, 3. loša koordinacija rada između reklozera i osigurača, 4. ostrvski rad.

### 6.3. Uticaj distribuiranih generatora na pouzdanost napajanja

Jedna od koristi upotrebe distribuiranih generatora je baš povećanje pouzdanosti sistema. Upotreba alternativnih izvora napajanja u trenucima kada dođe do kvara ili ispada nekog dela elektroenergetskog sistema predstavlja povećanje pouzdanosti sistema. Distribuirani generatori u slučaju prestanka napajanja nekog dela potrošača u kome se oni nalaze mogu da nadomeste nedostatak električne energije dok se ne otkloni kvar i uspostavi normalno napajanje. U slučaju prekida napajanja potrošača prve kategorije, alternativni izvori napajanja mogu da se koriste kao rezervno napajanje takvih potrošača.

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljene su koristi i problemi prilikom upotrebe distribuirane proizvodnje. Takođe, predstavljen

je i veliki značaj korišćenja obnovljivih izvora energije, koji predstavljaju veliki neiskorišćeni potencijal.

Od distributivne proizvodnje se očekuje da ima veoma važnu ulogu u budućim elektroenergetskim sistemima. Međutim, jedan od problema distribuiranih izvora je svakako kompleksnost povezivanja, upravljanja i nadzora tih izvora u sistemu.

Rešenje ovog problema jeste upotreba pametnih mreža. To je elektroenergetski sistem budućnosti, čiji će elementi biti „pametni” i u mogućnosti da međusobno komuniciraju putem jedinstvene komunikacione mreže. Prednost pametnih mreža se ogleda u povećanju pouzdanosti, bezbednosti, sigurnosti sistema kao i upravljanju svim uređajima u mreži, između ostalog i distribuiranim izvorima.

Distribuirana proizvodnja bi trebalo u skorijoj budućnosti da imaju dominantni udeo udeo proizvodnji energije.

## 8. LITERATURA

- [1] European Commission, „EUROPE 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth”, 2010.
- [2] Deloitte, *The future of the global power sector – Preparing for emerging opportunities and threats*
- [3] Nenad Đajić, *Obnovljivi izvori – stanje i razvoj u Srbiji*, dostupno na <http://www.energoportal.info/stranice/obnovljivi%20izvori/OIE%20-%20STANJE%20I%20RAZVOJ.pdf>
- [4] National Energy Technology Laboratory, „Understanding the Benefits of the Smart Grid: Smart Grid Implementation Strategy”, U.S. Department of energy, 2010.
- [5] *Renewables 2019, Global status report*, dostupno na <https://www.ren21.net/why-is-renewable-energy-important/>
- [6] Ioanna Xyngi: An Intelligent Algorithm for Smart Grid Protection Applications, Delft University of Technology, Delft, Netherlands

### Kratka biografija:



**Isidora Savić** rođena je u Novom Sadu 1995. godine. Osnovne studije završila je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi. Master rad je odbranila 2019. godine, na istom fakultetu, na smeru Energetika, elektronika i telekomunikacije – Elektroenergetski sistemi.