

Softverska rešenja za digitalizaciju kontrolnih centara i upravljanje distributivnim mrežama

Luka Strezoski

Departman za energetiku, elektroniku, i telekomunikacije, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Rezime - Digitalizacija kontrolnih centara postaje neophodna za savremene elektrodistributivne sisteme, s obzirom da poboljšava njihovu sigurnost, pouzdanost i efikasnost. Ovaj rad daje pregled softverskih rešenja za upravljanje distributivnim mrežama, sa fokusom na ADMS i DERMS sisteme. Opisane su njihove funkcije, način integracije distribuiranih izvora energije i doprinos optimizaciji rada elektroenergetskog sistema. Razmatrani su ključni izazovi i prednosti njihove primene, kao i uticaj na razvoj kontrolnih centara.

Ključne reči - Distribuirani energetske resursi, Distributivni menadžment sistem, Digitalizacija, ADMS, DERMS.

I UVOD

Tradicionalno, operatori distributivnih mreža oslanjali su se na papirne mape, manuelne evidencije i iskustvo terenskog osoblja kako bi nadgledali i upravljali elektrodistributivnim sistemima [1-3]. Ovakav pristup bio je dugogodišnji standard i pokazao se kao dovoljan u vremenu kada su distributivne mreže bile pasivne, sa jednostavnim jednosmernim tokovima energije, od centralizovanih elektrana prema krajnjim korisnicima. Međutim, kako su se energetske sistemi razvijali, a potrošnja električne energije rasla, postalo je jasno da ručne metode upravljanja ne mogu adekvatno odgovoriti na složenost i dinamiku modernih mreža [4].

Poslednjih decenija, zahvaljujući napretku u oblasti elektroenergetskih tehnologija i digitalizacije, distributivne mreže su postale znatno složenije. Automatizacija opreme, uvođenje pametnih brojlara i senzora, kao i rastuća integracija distribuiranih energetske resursa (DER) doneli su novu dimenziju upravljanju elektrodistributivnim sistemima. DER resursi, poput solarnih panela, vetroelektrana, baterijskih skladišta i električnih vozila, uvode dvosmerne tokove snage i dinamičnije promene u mreži, što zahteva napredniji i sofisticiraniji pristup vođenju sistema. Tradicionalne metode nadzora i upravljanja nisu više dovoljne za održavanje stabilnosti i pouzdanosti mreža u ovakvim uslovima [5-7].

Osim same složenosti mreže, kvarovi i poremećaji u distributivnim sistemima mogu imati značajne posledice po krajnje korisnike, privredu i elektroenergetske kompanije. Iznenadni prekidi u napajanju mogu prouzrokovati velike finansijske gubitke industriji, dok ekstremni uslovi, poput kvarova u zimskom periodu ili tokom ekstremnih vremenskih nepogoda, mogu ugroziti bezbednost i zdravlje ljudi. U tom kontekstu, jasno je da su tradicionalni pristupi upravljanju

mrežama morali biti unapređeni kroz digitalizaciju i primenu naprednih softverskih rešenja.

Kako bi se obezbedila efikasna automatizacija distributivnih mreža, omogućila sigurna i stabilna integracija DER resursa i osigurala pouzdanost elektroenergetskog sistema, kontrolni centri su prošli kroz značajnu transformaciju. Ovaj proces modernizacije zasnovan je na implementaciji naprednih sistema za upravljanje distributivnim mrežama (ADMS) i sistema za upravljanje distribuiranim energetske resursima (DERMS). ADMS omogućava sofisticirano vođenje distributivnih mreža kroz funkcije kao što su optimalna analiza stanja sistema, automatska detekcija i izolacija kvarova, predikcija opterećenja i balansiranje opterećenja u realnom vremenu. S druge strane, DERMS omogućava efikasnu integraciju i upravljanje distribuiranim izvorima energije, optimizaciju njihovog rada i njihovu koordinaciju s potrebama elektrodistributivne mreže [6-8].

Implementacija ovih naprednih sistema donosi značajne benefite, uključujući povećanu pouzdanost napajanja, bolju otpornost sistema na poremećaje, smanjenje operativnih troškova i optimizaciju korišćenja postojećih resursa. Međutim, proces njihove integracije nije bez izazova. Tehničke prepreke, potreba za standardizacijom, interoperabilnost različitih softverskih i hardverskih rešenja, kao i organizacioni i regulatorni zahtevi predstavljaju ključne faktore koji utiču na brzinu i uspešnost njihove primene u elektrodistributivnim sistemima.

U ovom radu daje se pregled ADMS i DERMS rešenja, analiziraju se ključni izazovi koji prate njihovu implementaciju u kontrolnim centrima, diskutuju se benefiti koje oni donose elektroenergetskom sektoru, kao i potencijalni modeli njihove međusobne integracije. Cilj je da se kroz ovaj pregled istakne uloga digitalizacije kontrolnih centara u modernizaciji elektrodistributivnih mreža i njen značaj za unapređenje stabilnosti i efikasnosti elektroenergetskih sistema u budućnosti.

II SISTEMI ZA UPRAVLJANJE DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA (ADVANCED DISTRIBUTION MANAGEMENT SYSTEM – ADMS)

Prvobitno, kontrolni centri distributivnih mreža bili su rudimentarni, oslanjajući se na papirne mape i manuelne procese, što je bilo dovoljno za jednostavne i pasivne distributivne mreže u njihovim ranim fazama. Operateri su se oslanjali na fizičke dokumente i manuelno vođenje evidencije kako bi nadgledali i upravljali protokom električne energije.

Međutim, s napretkom tehnologije i uvođenjem automatizovanih uređaja, senzora, napredne infrastrukture za merenje (AMI) i

DER, tradicionalne mreže su se značajno promenile. One su evoluirale u složene, međusobno povezane sisteme, poznate kao pametne mreže (*smart grids*), u kojima informacije teku mnogo brže i dinamičnije nego ranije. Rudimentarni sistemi, dizajnirani za manje dinamična okruženja, postali su nedovoljni da podrže sve veće zahteve modernih elektrodistributivnih mreža, kako u pogledu kompleksnosti, tako i brzine reakcije na promene.

Kao odgovor na ove izazove, pre otprilike dve decenije započeo je razvoj ADMS sistema. ADMS predstavlja naprednu softversku platformu koja integriše različite funkcionalne module, uključujući SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), DMS (*Distribution Management System*), OMS (*Outage Management System*), WOM (*Work Order Management*), kao i TS (*Training Simulator*). Ova integracija omogućava objedinjeno i visoko automatizovano rešenje koje prevazilazi ranije decentralizovane i često redundantne sisteme [9].

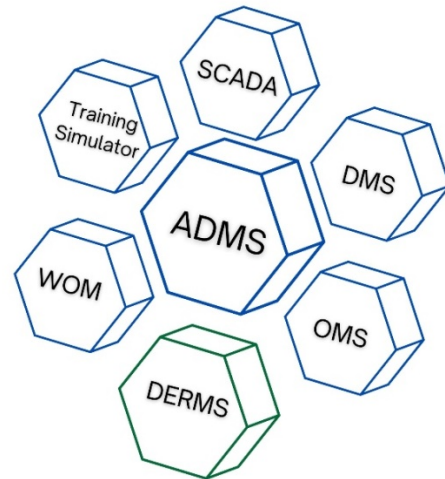
ADMS pruža jedno korisničko okruženje koje se oslanja na bogat skup podataka i detaljan mrežni model, omogućavajući poboljšani nadzor, analizu, kontrolu, optimizaciju, planiranje i obuku. Implementacija ADMS-a ne predstavlja samo tehnološki, već i strateški iskorak u vođenju distributivnih mreža. S obzirom na sve veću kompleksnost elektroenergetskih sistema, elektroprivrede se suočavaju sa potrebom za moćnim alatima koji omogućavaju pouzdano, efikasno i otporno upravljanje mrežom. ADMS pruža jedinstvenu softversku platformu sa objedinjenim modelom podataka i mogućnostima obrade u realnom vremenu, čime se optimizuju operacije i minimiziraju greške i neefikasnosti [8, 9].

Implementacija ADMS-a donosi brojne koristi koje prevazilaze poboljšane operativne sposobnosti. Za elektrodistributivne kompanije, ADMS omogućava veću fleksibilnost mreže, sigurnost i precizno vođenje evidencije. Osim toga, standardizuje procese obuke, smanjuje operativne troškove i skraćuje vreme potrebno za uvođenje novih operatera u sistem. Krajnji korisnici takođe imaju direktne koristi, kroz poboljšanu pouzdanost napajanja i otpornost sistema, što su ključni faktori u današnjem energetske zavisnom društvu. ADMS pruža širok spektar funkcionalnosti koje uključuju monitoring, analizu, kontrolu, optimizaciju i planiranje rada mreže, kao i obuku operativnog osoblja. Ove sveobuhvatne mogućnosti omogućavaju elektrodistribucijama da efikasnije reaguju na kvarove, integrišu veći broj DER resursa i bolje upravljaju vršnim opterećenjima, sve u okviru sigurnijeg i pouzdanijeg operativnog okruženja.

Dakle, ADMS predstavlja ključni evolutivni korak u upravljanju elektrodistributivnim mrežama. Zamenjujući zastarele i fragmentisane sisteme jedinstvenim, inteligentnim i visoko integrisanim rešenjem, ADMS odgovara na izazove modernih elektrodistributivnih mreža i postavlja temelje za buduće inovacije. Njegova široka primena donosi značajna poboljšanja u efikasnosti, sigurnosti i pouzdanosti kako za operatore, tako i za krajnje korisnike, označavajući važan korak ka pametnijim i održivijim energetske sistemima.

Na Slici 1, dat je jednostavan dijagram koji opisuje ADMS rešenje sa modulima od kojih se sastoji. Primetiti da je DERMS prikazan drugačije u odnosu na druge module, s obzirom da DERMS može i ne mora biti modul u okviru ADMS-a o čemu će

biti više rečeno u narednim sekcijama [9].



Slika 1. ADMS rešenje sa modulima od kojih se sastoji

III SISTEMI ZA UPRAVLJANJE DISTRIBUIRANIM ENERGETSKIM RESURSIMA (DERMS)

Kako se koncept DERMS-a još uvek razvija, njegova definicija nije u potpunosti standardizovana. U osnovi, DERMS je softversko rešenje za upravljanje DER-ovima, ali ovaj termin može obuhvatati različite nivoe softverske hijerarhije [6-8, 10].

S jedne strane, postoje decentralizovana rešenja dizajnirana za agregaciju velikog broja DER-ova male snage, koji se nalaze iza brojila, poput klimatizacije, grejanja, krovnih solarnih panela, baterijskih skladišta i električnih vozila. Ovi sistemi omogućavaju poboljšanu preglednost niskonaponske mreže i daju mogućnost malim resursima da kolektivno pružaju usluge na tržištu električne energije i u programima energetske efikasnosti [7].

S druge strane, postoje centralizovani DERMS sistemi koji omogućavaju elektrodistribucijama bolji uvid u režim rada mreže, ručnu i automatsku kontrolu DER-ova, rešavanje problema tehničkih ograničenja i optimizaciju rada srednjih i velikih DER sistema. Ovi sistemi pomažu operatorima distributivnih mreža da bolje integrišu DER resurse u svakodnevne operacije i povećaju efikasnost mreže [6].

Dva ključna softverska koncepta u domenu DERMS-a su DER agregator i Mrežni DERMS. Iako se njihovi ciljevi mogu činiti sličnima, oni imaju različite uloge i odgovornosti.

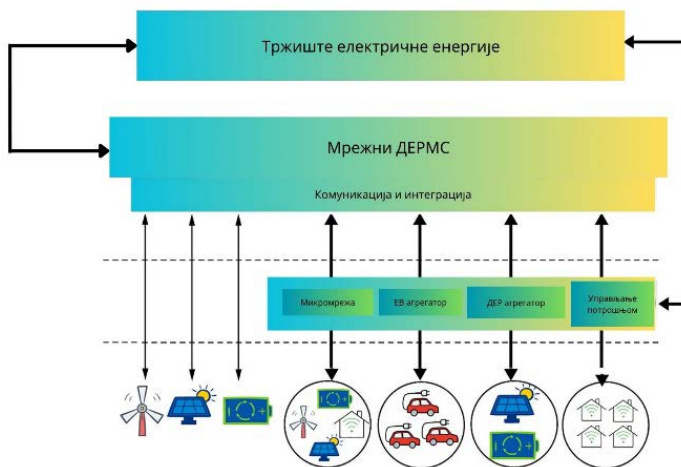
DER agregator objedinjuje male DER resurse iza brojila i omogućava njihovo kolektivno učešće na tržištu, u programima smanjenja opterećenja i energetske efikasnosti. Međutim, agregatori nemaju direktan pristup mrežnom modelu i ne mogu u potpunosti uzeti u obzir tehnička ograničenja distributivne mreže.

Mrežni DERMS, s druge strane, je napredna softverska platforma za upravljanje i optimizaciju rada DER sistema na nivou distributivne mreže, uzimajući u obzir mrežna ograničenja poput naponskih profila, preopterećenja i stabilnosti mreže. Ovaj sistem može proaktivno rešavati postojeće ili predviđene probleme u radu mreže.

Iako se DER agregator i Mrežni DERMS mogu koristiti nezavisno, njihova prava snaga dolazi kroz integraciju. Kada su pravilno povezani, oni omogućavaju operatorima i distributivnim inženjerima da:

- maksimalno iskoriste DER resurse u operativnom radu mreže,
- povećaju vidljivost i kontrolu nad DER-ovima iza brojlara,
- osiguraju da programi DER agregatora ne narušavaju stabilnost mreže, itd.

Komunikacija između DER agregatora i Mrežnog DERMS-a omogućava sinhronizovano upravljanje DER-ovima, čime se obezbeđuje sigurno i efikasno vođenje distributivnih mreža u eri sve veće penetracije DER resursa. Ova integracija, poznata kao Hibridno DERMS rešenje, predstavlja ključni korak u modernizaciji elektrodistributivnih sistema i omogućava njihov prelazak u novu fazu upravljanja velikim brojem distribuiranih izvora energije bez ugrožavanja stabilnosti mreže. Hibridno DERMS rešenje je prikazano na Slici 2.



Slika 2 – Hibridno DERMS rešenje [10]

Dalje u ovom radu, pod terminom DERMS smatraće se Hibridno DERMS rešenje.

IV INTEGRACIJA ADMS I DERMS SISTEMA

Integracija ADMS i DERMS sistema postaje ključni korak u savremenom elektroenergetskom sektoru. Ova integracija prvenstveno ima za cilj da poboljša vidljivost operatora u sistem i sve njegove resurse u realnom vremenu, posebno u kontekstu visokorasprostranjenih i varijabilnih DER resursa, povećava otpornost i pouzdanost mreže, kao i da optimizuje rad elektrodistributivnog sistema [9].

Kombinovanjem funkcionalnosti ADMS i DERMS sistema, elektroprivrede mogu postići poboljšanu pouzdanost kroz automatizovane funkcije poput lokalizacije, izolacije i obnove napajanja nakon kvara (FLISR – *Fault Location, Isolation, and Service Restoration*). Na primer, tokom prekida u snabdevanju, ADMS u saradnji sa DERMS-om može iskoristiti DER resurse kako bi omogućio ponovno napajanje delova mreže koji nisu direktno pogođeni kvarom. Takođe, integracija ova dva sistema doprinosi optimizaciji rada mreže, jer omogućava istovremenu upotrebu klasičnih elektroenergetskih komponenti poput

regulatora napona, kompenzacionih kondenzatora i transformatora sa promenljivim brojem namotaja, zajedno sa DER resursima. Na taj način moguće je precizno regulisati napon, smanjiti gubitke u mreži i zadovoljiti operativne kriterijume u skladu sa trenutnim stanjem sistema.

Još jedna važna prednost integracije ADMS i DERMS jeste lakša i fleksibilnija integracija novih DER resursa, bez obzira na njihov kapacitet i lokaciju. Korišćenjem naprednih alata za planiranje, automatizovane registracije novih DER jedinica i sveobuhvatnih sistema za situacionu svest, elektroprivrede mogu znatno brže i efikasnije prilagođavati mrežu novim izvorima energije.

Kako bi se ostvarile sve ove koristi, postoje tri različita modela integracije ADMS i DERMS sistema, pri čemu svaki od njih donosi određene izazove i prednosti:

1. DERMS kao modul unutar ADMS sistema: Ovaj model podrazumeva da DERMS funkcionalnosti budu direktno ugrađene u ADMS platformu, pri čemu su oba sistema razvijena od strane istog proizvođača. Ova strategija omogućava visok nivo integracije i kompatibilnosti, ali može ograničiti fleksibilnost u izboru najboljih softverskih rešenja na tržištu.
2. DERMS kao zaseban sistem, ali od istog proizvođača kao ADMS. U ovom modelu, ADMS i DERMS su od istog proizvođača, ali funkcionišu kao dva odvojena softverska rešenja koja međusobno komuniciraju putem unapred definisanih interfejsa. Ovaj pristup omogućava određeni stepen fleksibilnosti i specijalizacije, dok istovremeno zadržava visok nivo sistemske integracije.
3. Integracija ADMS sistema sa DERMS rešenjem treće strane. Ovaj model pruža najveću fleksibilnost, jer omogućava izbor najboljih dostupnih rešenja od različitih proizvođača. Međutim, takva konfiguracija može doneti izazove u pogledu interoperabilnosti, konzistentnosti podataka i upravljanja sistemom, s obzirom na to da različiti softveri mogu imati različite protokole i pristupe obradi podataka.

Svaki od ovih modela zahteva pažljivo razmatranje, kako bi se pronašao pravi balans između stepena integracije i fleksibilnosti sistema. Cilj je osigurati pouzdanost, otpornost i efikasnost distributivne mreže, dok se istovremeno omogućava skalabilnost i budući razvoj elektroenergetskih sistema.

III ZAKLJUČAK

ADMS sistemi omogućavaju napredno upravljanje distributivnim mrežama kroz praćenje stanja sistema, automatizaciju rada mreže i optimizaciju naponskih profila i opterećenja. Oni su ključni za povećanje pouzdanosti, efikasnosti i sigurnosti elektrodistributivnih sistema.

S druge strane, DERMS sistemi omogućavaju upravljanje DER-ovima, uključujući njihovu optimizaciju, balansiranje i koordinaciju sa potrebama mreže. Kako se broj DER resursa povećava, DERMS postaje neophodan alat za njihovu efikasnu integraciju i iskorišćenje u mrežnim operacijama.

Integracija ADMS i DERMS sistema omogućava elektroprivredama bolji pregled i nadzor mreže, veću otpornost mreže i optimizaciju njenog rada, kao i lakšu i bezbedniju

integraciju DER-ova. U radu su diskutovana i tri modela integracije: (1) DERMS kao deo ADMS-a, što donosi visoku integraciju, ali ograničava fleksibilnost; (2) DERMS kao zaseban sistem istog proizvođača kao ADMS, što balansira integraciju i fleksibilnost; i (3) ADMS povezan sa DERMS-om drugog proizvođača, što omogućava najveću slobodu u izboru rešenja, ali donosi izazove u kompatibilnosti i upravljanju podacima.

Svaki od ovih modela ima svoje prednosti i izazove, a izbor optimalnog pristupa zavisi od potreba i infrastrukture elektrodistributivnog sistema. Jasno je da će dalji razvoj i implementacija ovih rešenja igrati ključnu ulogu u modernizaciji elektroenergetskih mreža.

ZAHVALNICA

Ovaj rad podržan je od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, u okviru projekta pod nazivom „Razvoj i primena savremenih alata i metoda istraživanja u energetici, elektronici i telekomunikacijama”.

LITERATURA

- [1] Sajadi, A, Strezoski, L., Strezoski, V., Prica, M., Loparo, K.A. Integration of renewable energy systems and challenges for dynamics, control, and automation of electrical power systems, WIREs Energy Environ, Vol. 8, e321, 2019. <https://doi.org/10.1002/wene.321>
- [2] Đurišić, Ž.R. *Vjetroelektrane*, Akademska misao, Beograd, 2019.
- [3] Agüero, J.R., Takayasu, E., Novosel, D., Masiello, R. Modernizing the grid: challenges and opportunities for a sustainable future, IEEE Power and

Energy Magazine, Vol. 15, No. 3, pp. 74-83, 2017.

<https://doi.org/10.1109/MPE.2017.2660819>

- [4] Guerrero, J.M., Blaabjerg, F., Zhelev, T., Hemmes, K., Monmasson, E., Jemel, S. Distributed generation: toward a new energy paradigm, IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol. 4, No. 1, pp. 52-64, 2010. <https://doi.org/10.1109/MIE.2010.935862>
- [5] Strezoski, L. *Modelovanje i fundamentalni proračuni aktivnih distributivnih mreža*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2021.
- [6] Strezoski, L., Padullaparti, H., Ding, F., Baggu, M. Integration of Utility Distributed Energy Resource Management System and Aggregators for Evolving Distribution System Operators, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, Vol. 10, No. 2, pp. 277-285, 2022. <https://doi.org/10.35833/MPCE.2021.000667>
- [7] Strezoski, L. Distributed energy resource management systems—DERMS: State of the art and how to move forward, WIREs Energy and Environment, Vol. 12, No. 1, e460, 2023. <https://doi.org/10.1002/wene.460>
- [8] Strezoski, L., Stefani, I. Utility DERMS for Active Management of Emerging Distribution Grids with High Penetration of Renewable DERs, Electronics, Vol. 10, No. 16, pp. 2027. 2021. <https://doi.org/10.3390/electronics10162027>
- [9] Bekut, D., Švenda, G., Kanjuh, S., Koturević, V. Generalized Distribution Network Data-Gathering Procedure for ADMS Deployment, Energies, Vol. 17, pp. 6020, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17236020>
- [10] Strezoski, L. Sistemi za upravljanje distribuiranim energetske resursima: stanje u oblasti, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 25, No. 3, pp. 24-29, 2023. <https://doi.org/10.46793/EEF23-3.24S>

AUTOR

Luka Strezoski, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, lukastrezoski@uns.ac.rs, ORCID [0000-0003-0109-4320](https://orcid.org/0000-0003-0109-4320)

Software Solutions for Digitizing Control Centers and Distribution Networks Management

Abstract – The digitalisation of control centres is becoming essential for modern electricity distribution systems, as it improves their security, reliability, and efficiency. This paper provides an overview of software solutions for managing distribution networks, focusing on ADMS (Advanced Distribution Management Systems) and DERMS (Distributed Energy Resources Management Systems). Their functions, the integration of distributed energy resources, and their contribution to the optimisation of power system operation are described. Key challenges and advantages of their implementation are discussed, as well as their impact on the development of control centres.

Index terms – Distributed energy resources, Distribution management system, Digitalisation, ADMS, DERMS