

Marino Peruško, dipl.ing.el.
Prinsis d.o.o.
Marino.Perusko@prinsis.si

Božidar Škrjanec, dipl.ing.el.
Prinsis d.o.o.
bozidar.skrjanec@prinsis.si

mr. sc. Viktor Lovrenčić, dipl.ing.el.
C&G d.o.o. Ljubljana i CiG d.o.o. Pula
viktor.lovrencic@c-g.si

INTEGRACIJA I GRUPIRANJE DIESEL ELEKTRIČNIH AGREGATA U VIRTUALNU ELEKTRANU

SAŽETAK

Za razvoj naprednih mreža, potrebno je aktivno upravljanje distribuiranom proizvodnjom kao i distribucijskom mrežom. Jedno od rješenja aktivnog upravljanja je primjena virtualnih elektrana. Razvoj virtualnih elektrana traži nova tehnološka rješenja. Za upravljanje kritičnim situacijama u distribucijskom elektroenergetskom sustavu (DEES) je moguće praktično rješenje korištenje diesel električnih agregata (DEA). U DEES je uključen velik broj DEA te mogu igrati važnu ulogu kod brzog prilagođavanja potrošnji sa dodatnom proizvodnjom električne energije. DEA je pouzdan izvor i može biti uključen u DEES neovisno o okolnostima ili vremenskim uvjetima. Vrijeme potrebno za prilagodbu i integraciju DEA u sustav je obično oko dvije minute. Uključivanjem pojedinih DEA u sustav virtualne diesel elektrane, moguće je osigurati respektabilan izvor za brzu prilagodbu DEES na promjene u proizvodnji i potrošnji električne energije.

Ključne riječi: virtualna elektrana (VE), diesel električni agregat (DEA), distribucijski elektroenergetski sustav (DEES), tercijarna rezerva

INTEGRATION AND GROUPING DIESEL GENERATOR IN VIRTUAL POWER PLANT

SUMMARY

Development of virtual power plants (VPP) requires new technological solutions. To manage critical situations, a practical solution is possible in electrical power system (EPS) using diesel electrical aggregates (DEA). A large number of DEAs are connected in EPS so they are a practical solution and can play an important role in quick adjustment to consumption with additional production of electricity. DEA is a reliable source and can be included in EPS regardless of the circumstances or weather conditions. Time required for the adjustment and integration of DEA in the system is usually about two minutes. Inclusion of certain DEAs in the system of a virtual diesel power plant can provide a respectable source for quick adjustment of EPS to changes in the production and consumption of electricity.

Key words: Virtual Power Plants (VPP), Diesel Generator (DG), Electricity Distribution System (EDS), Manual Frequency Restoration Reserve (mFRR)

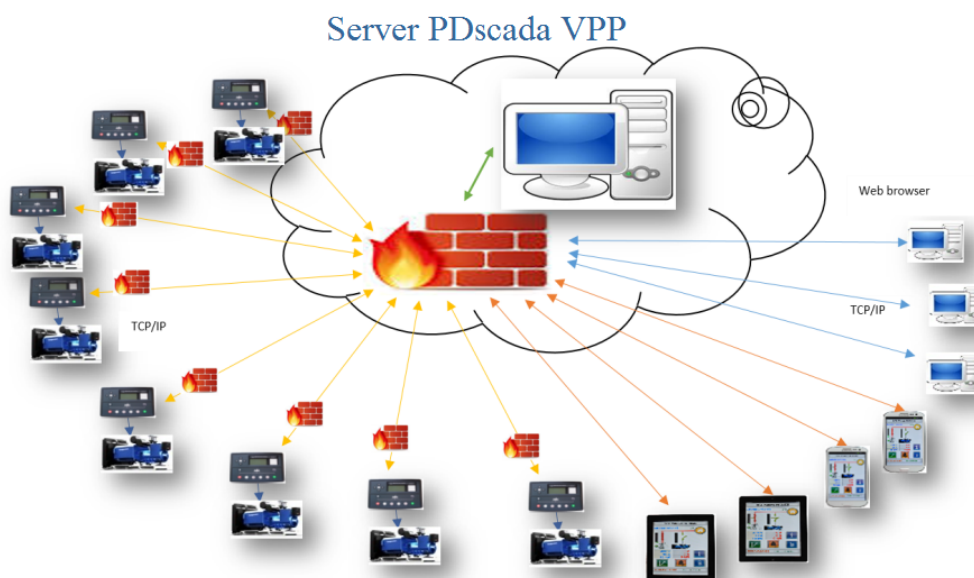
1. UVOD

Korištenje diesel električnih agregata (DEA) u sustavu za osiguranje mehanizma uravnoteženja odnosno za vraćanje u normalu (tercijarna rezerva) pruža vlasnicima takvih sustava dodatne mogućnosti iskorištenja i marketinga vlastitih DEA kapaciteta. Na taj način je u velikoj mjeri moguće pokriti operativne troškove DEA sustava za primarnu svrhu – osiguravanje vlastite opskrbe električnom energijom u slučaju smetnji ili prekida u napajanju. Vlasnici DEA sustava također aktivno sudjeluju u osiguravanju visoke razine raspoloživosti mreže, čime pridonose boljoj vlastitoj opskrbi električnom energijom.

DEA uređaji, koji su namijenjeni za rezervno napajanje, obično imaju mali broj aktivacija koje su uvjetovane smetnjama ili ispadima mreže. Za pouzdan rad u kritičnim situacijama, kao što je ispad mreže, potrebno je ipak provesti redovite preglede održavanja i servisiranja.

Preporučuje se provedba mjesečnih testova DEA sustava. Te testove je potrebno provesti pod opterećenjem (kod novijih motora oko 40 % nazivne snage), u suprotnom se smanjuje životni vijek i raspoloživost motora. DEA mora tijekom pravilnog testiranja doseći nominalnu radnu temperaturu. Također, mora se provoditi redovite godišnje servisne preglede koji uključuju zamjenu motornog ulja, filtera, ostalih komponenti prema servisnom protokolu, te ostalo po potrebi. Iskustvo pokazuje da troškovi redovnog održavanja i servisiranja na godišnjoj razini tako iznose otprilike 2.200€/MW instalirane snage (ovisno o snazi DEA).

Ugovor između operatera virtualne elektrane (VE) i ponuđača DEA kapaciteta obično definira i ugovornu kaznu za neizvršenu aktivaciju odnosno za neisporučenu električnu energiju. Stoga mora DEA sustav za rad u VE ispunjavati uvjete za visoku dostupnost i pouzdanost rada (odgovarajuća sustavna rješenja, kvalitetna oprema, kvalitetno održavanje). Pouzdanost rada se obično povezuje sa stupnjem automatiziranosti sustava. Upravljanje VE se temelji na suvremenoj informacijskoj i komunikacijskoj platformi, što omogućuje potpuno automatizirani rad. Stoga je potrebno osigurati odgovarajuću komunikaciju između sustava kontrole VE i kontrolne elektronike DEA sustava. Integracija u sustav kontrole VE omogućuje ponuđaču DEA sustava dodatne pogodnosti u smislu poboljšane kontrole nad DEA sustavom, kako za operativne potrebe u VE, tako i za potrebe otočnog pogona u slučaju ispada napajanja mreže. Sustav omogućuje prijenos podataka i pristup sa udaljenih lokacija (suvremeni mobilni uređaji). Funkcionalnost u svakom trenutku omogućava administratorima sustava i osoblju za održavanje kvalitetan pregled stanja sustava (slika 1).



Slika 1. Koncept virtualne elektrane (VE)

Već duži niz godina je u SAD-u i Europi aktualno udruživanje DEA sustava u VE u svrhu osiguravanja sustavnih rješenja u slučaju kritičnih pogonskih stanja elektroenergetskog sustava. Tako Velika Britanija za implementaciju sustavnih rješenja pod nazivom STOR (*Short Term Operating Reserve*) već primjenjuje > 500 MW DEA snage za potporu nacionalnog operatera National Grid. Sustav uključuje uređaje snage od 200 kW do 2 MW. Ukupni DEA potencijal procjenjuju na približno 20 GW.

Također i Francuska u svoj sustav EJP (*Effacement Jour de Pointe*) po potrebi uključuje čak 5 GW DEA snage.

2. RAD DIESEL ELEKTRIČNOG AGREGATA U VIRTUALNOJ ELEKTRANI

Diesel električni agregat je zbog svoje sposobnosti brze integracije u elektroenergetski sustav idealan za osiguravanje tercijarne rezerve snage. Vrijeme potrebno za pokretanje, sinkronizaciju s mrežom i postizanja nominalne snage u normalnim uvjetima ne traje više od 2 minute.

Pouzdan rad prvenstveno ovisi o adekvatnosti sustavnih rješenja i kvaliteti ugrađene opreme. DEA mora biti u osnovi namijenjen za neprekidan rad (sustav za hlađenje i odvod ispušnih plinova).

Zbog rada u VE ne smije biti ugroženo ili narušeno napajanje pojedine mikro lokacije. Također je potrebna maksimalna briga za optimalan rad pojedine jedinice, jer vlasnik uređaja ne smije pretrpjeti nikakvu ekonomsku štetu zbog nepravilnog ili nemarnog korištenja u VE.

Spremnik za gorivo mora biti odgovarajućeg kapaciteta da zadovolji potrebe za otočnim pogonom i radom u VE. Kontrola nad raspoloživom količinom goriva u spremniku je potpuno automatska. Nakon dostizanja minimalne količine goriva, koja je rezervirana za otočni pogon, mora sustav obavijestiti nadređeni kontrolni sustav o nemogućnosti proizvodnje za potrebe VE. Također je vrlo važno pravilno definirati postupak nabave, isporuke i dopunjavanja goriva.

2.1. Zahtjevi za DEA upravljanje i preklonnu automatiku

Upravljačka i preklopna automatika DEA sustava mora ispunjavati uvjete za sinkronizaciju i trajan paralelan rad sa mrežom. Automatika treba biti u mogućnosti da automatski prilagodi radne parametre bez obzira da li DEA funkcioniра u otočnom načinu rada te napaja objekt u slučaju smetnji na mreži ili pak radi za potrebe VE (Slika 2).



Slika 2. Upravljanje VE

Za aplikacije s paralelnom funkcionalnošću je vrlo važan ispravan izbor prekidača na preklopnom mjestu, posebice u pogledu odgovarajuće strujne izdržljivosti u odnosu na uvjete kratkog spoja na pojedinoj lokaciji s integriranom pravilnom selektivnom nadstrujnom i kratkospojnom zaštitom. Selektivnost je vrlo važna u kombinaciji s mrežnom zaštitom koja mora kod paralelnog spoja, prilikom javljanja anomalije na mreži reagirati prioritarno. Također, oba prekidača moraju omogućavati adekvatnu brzinu uključivanja i isključivanja za paralelne aplikacije, a kontrola upravljanja prekidača mora osigurati operativnu sposobnost sigurnog rukovanja odnosno manipulacija u svim pogonskim uvjetima.

Zbog moguće izrazite prisutnosti trećeg harmonika u paralelnom spoju i kako bi se izbjeglo pregrijavanje namotaja generatora u punom strujnom opterećenju je između zvjezdista i nulte sabirnice objekta montiran sklopnik (NUL), koji je u paralelnom načinu rada isključen. Ugradnja NUL sklopnika je uvjetovana i ovisi o situaciji na mjestu integracije.

Za rasklopno mjesto je u SN prostoru koji je pod kontrolom operatora distribucijske mreže montirana kombinacija preklopke s ključem i tipke. U slučaju aktiviranja nadstrujne zaštite rastavnog mjesta je do dolaska mrežnog operatera i resetiranja kvara pomoću tipke spriječeno ponovno uključanje mrežnog napajanja. Prilikom aktiviranja nadstrujne zaštite je blokiran i rad DEA jedinice, ali se rad iste može lokalno ponovno omogućiti. Mrežnom operateru je dodijeljena i mogućnost prisilnog isključenja prekidača rasklopnog mjesta pomoću prekidača s ključanicom zbog preventivnog sigurnosnog postupka tijekom servisiranja mrežne opreme za napajanje ili zbog uočenih nepravilnosti u paralelnom radu DEA sa mrežom. Prioritet lokalne automatike je osiguravanje raspoloživosti rezervnog napajanja objekta u slučaju ispada mreže, a širok raspon funkcija omogućava integraciju DEA u VE.

U slučaju aktiviranja mrežnih rasklopnih frekventnih i naponskih zaštita te isključenju rasklopnog mjesta je u automatskom načinu rada omogućena tzv. „auto reset“ zaštita s proizvoljnim vremenskim kašnjenjem nakon stabilizacije mreže i ponovne sinkronizacije.

Kada je dat zahtjev iz kontrolnog centra za rad u rezervi, a obavijest o primljenom zahtjevu se potvrdi, DEA starta i po zahtijevanoj proceduri uključi paralelno u mrežu. Odmah nakon paralelnog uključanja počinje linearno opterećivanje otprilike 1 %/s. Nakon pokretanja se programu za upravljanje šalje poruka „DEA se uključuje“, koja traje dok jedinica ne postigne 90 % nominalnog opterećenja. Istodobno se promijeni status iz raspoloživog u nedostupan. Nakon postizanja pune zadane izlazne snage, slijedi obavijest programu za upravljanje o postignutoj punoj snazi. Nakon otkazivanja zahtjeva za rad vraća se poruka „DEA se isključuje“, koja traje do isključenja iz paralelnog pogona, a DEA se rasterećuje dinamikom 1 %/s. Signal o dostupnosti se ponovno aktivira, kada je izlazna snaga manja od 90 %.

Analogni signal za regulaciju napona ostane u stanju pripravnosti. Ako proizvodnja jalove energije prelazi maksimalnu pozitivnu ili negativnu vrijednost, analogni signal se ponovno aktivira i vodi proizvodnju jalove energije do završetka aktivacije, a istodobno izda i alarm upozorenja o nepravilnom radu primarne regulacije generatora za paralelni rad (slika 3).

Analogni signal se uključuje i u slučaju aktiviranja mrežne rasklopne zaštite i isključenja rasklopnog mjesta, kada mora DEA nastaviti sa otopnim napajanjem kritičnih potrošača.



Slika 3. Dopušteni tolerantni raspon proizvodnje jalove energije generatora

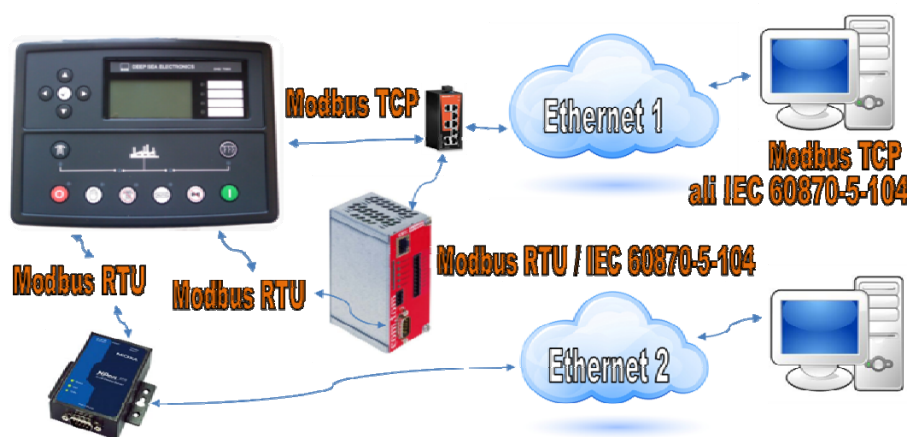
2.2. Kontroler DEA

Kontroler DEA mora kontrolirati sve funkcionalnosti za automatski rad diesel električnog agregata kao rezervnog izvora napajanja i istodobno omogućavati operateru VE odnosno integratoru DEA sustava široku programsku nadogradnju za kontroliranje specifičnih zahtjeva cjelokupnog sustava.

Osnovne funkcionalnosti kontrolera su:

- Pokretanje i zaustavljanje uređaja u različitim režimima rada;

- Kontrola osnovnih parametara diesel motora, kao što su: obrtaji, tlak motornog ulja, temperature motornog ulja, temperaturu rashladne tekućine, razine goriva s dvostrukim pragom zaštita (upozorenje i isključenje), te niz sigurnosnih prekidača, koji kontroliraju razine tekućina i temperaturu pojedinih dijelova motora. Izvedbe kontrolne senzorike ovise o tipu diesel motora. U osnovi mogu se podijeliti u dvije skupine, prva je s klasičnim ožičenjem pojedinih senzora i kontrolera, a druga skupina odnosi se prvenstveno na novije motore, čiji rad kontrolira mikroprocesorska jedinica ECU. U tom slučaju je kontroler komunikacijski povezan s ECU jedinicom na motoru preko CAN BUS protokola, skup parametara je širi (temperatura ulaznog zraka prije turbopunjača, temperatura zraka iza turbopunjača i hladnjaka prije ulaska u motor, temperatura goriva, temperatura ispuha, atmosferski tlak zraka, tlak zraka turbopunjača, potrošnja goriva, posredovanje i ispisivanje greški odnosno upozorenja ECU jedinice itd.);
- Kontrola parametara generatora (U, I, f, S, P, Q, PF) s dvostrukim pragom zaštita;
- Kontrola mrežnog izvora (U, I, f, S, P, Q, PF), uključujući i integrirane mrežne rasklopne zaštite;
- Izvršenje preklopnih operacija između izvora napajanja i generatorom;
- Kontroliranje sinkronizacijskih funkcija i paralelnog načina rada s mrežnim izvorom. U tu svrhu kontroler ima dva odvojena analogna izlaza za preciznu korekciju obrtaja motora i napona generatora. Također je moguća varijanta s beznaponskim kontaktima za podizanje ili spužtanje obrtaja ili napona. U nekim od novijih motora s CAN BUS komunikacijom je također moguća regulacija obrtaja preko same komunikacije. Kod većih „STAND BY“ agregata je ugradnja opreme s funkcijom paralelnog rada sve češća i ograničena uglavnom na korištenje za testiranje opterećenja s neprekidnim prijelazima između mrežnog i generatorskog otočnog napajanja kritičnih korisnika objekta;
- Kronologija rada, ispada mrežnog izvora i detektiranih greški;
- Komunikacija s sustavima za vođenje, kontrolu i monitoring. Osnovni komunikacijski protokol je Modbus RTU/TCP. Kontroler omogućava istodobnu razmjenu podataka s više „Mastara“:
 - RS232 port se može koristiti preko TCP/IP sučelja za lokalni kontrolni sustav objekta, ili za modemska vezu za slanje SMS poruka korisniku;
 - RS485 port se može koristiti za pretvarač protokola Modbus RTU/IEC60870-5-104 za vezu s sustavom za vođenje elektroenergetskog sustava, s aplikacijom za upravljanje DEA jedinica u VE;
 - RJ45 TCP port kojeg može koristiti lokalni HMI panel i dijagnostički kontrolni program.



Slika 4. Komunikacija s sustavima vođenja

- PLC funkcionalnost je osnova novijim kontrolnim sustavima i omogućuje maksimalnu prilagodbu specifičnostima pojedinog sustava napajanja, provedbu automatskih prekonfiguracija izlazne generatorske snage i izradu aplikacija za potpunu integraciju u VE.

2.3. Vođenje

Dodatna PLC funkcionalnost kontrolera omogućava implementaciju aplikacije za provedbu specifičnih zahtjeva za uključivanje u tercijarnu rezervu odnosno u VE.

U osnovi aplikacija obavlja sljedeće funkcije:

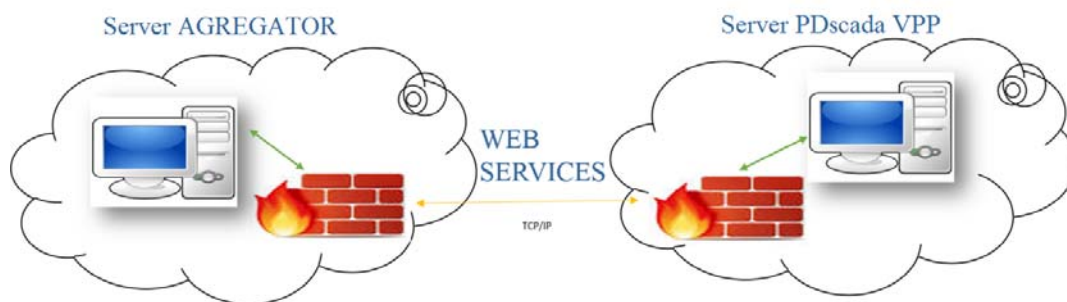
- Praćenje raspoloživosti za VE (kontroler bez greške i u položaju automatsko, preklopka sustava u položaju VE, mreža prisutna, dovoljna količina goriva za VE);
- Obavješćavanje kontrolnog programa o trenutnom stanju (DEA spreman za start, DEA u startnoj proceduri nakon primljenog zahtjeva za aktivaciju, DEA u fazi zaustavljanja nakon zaprimanja zahtjeva za deaktivaciju, samoisključenje DEA zbog nedostatka goriva DEA aktiviran za otočni pogon, aktiviranje mrežne rasklopne zaštite, aktiviranje nadstrujne zaštite rasklopnog mjesta, trenutna izlazna snaga, itd);
- Brojila daljinskih aktivacijskih zahtjeva za rezervu sustava (uspješnih odaziva, vrijeme rada proizvedene radne i jalove energije i potrošenog goriva). Na temelju raspoložive količine te trenutne potrošnje goriva se izračunava i autonomija za VE. Autonomija za VE se izračunava na temelju mjerne sonde nivoa (+/-1%) u rezervoaru. Potrošnja goriva se precizno izračunava na temelju podataka proizvođača motora u kombinaciji praznog hoda i specifične potrošnje na kWh. Izračun potrošnje goriva za VE je neovisan o podatku o trenutnoj i ukupnoj potrošnji goriva, kojeg prezentiraju neki noviji diesel motori preko CAN BUS komunikacije. Svi ti podaci su dostupni na lokalnom displeju kontrolera i preko komunikacije se mogu prenijeti u nadređene kontrolne sustave VE za daljnju obradu;
- Automatska prekonfiguracija paralelnog načina rada i izlazne radne snage DEA jedinice. Kada je zaprimljen daljinski zahtjev za rad u VE, kontroler automatski promjeni način rada (iz „Mrežnog načina“ u „Generatorski način“ rada). Mrežni način paralelnog rada je normalan način rada „STAND BY“ agregata, kada može generator u paralelnom načinu rada proizvesti samo onoliko snage kolika je trenutna potrošnja u svrhu preuzimanja napajanja potrošača. U generatorskom načinu se sustav ne obazire na trenutnu potrošnju objekta, cilj je zadana generatorska snaga (normalno 100 % odnosno sukladno niže, ako mrežni sustav zbog fizičkih ograničenja ne omogućava potpune evakuacije generatorske snage). Kontroler ima programski integriranu funkciju za postupnim smanjenjem maksimalne izlazne radne snage u slučaju povećanja mrežne frekvencije s proizvoljno podesivim vremenskim odazivom.
- Automatska prekonfiguracija regulacije generatora za aktivnu proizvodnju jalove snage prema dvodimenzionalnom dijagramu, ovisno o naponskim uvjetima mreže. U uobičajenom radnom stanju je analogni signal za ispravljanje izlaznog napona generatora aktivan tijekom same sinkronizacije kada se ispravlja razlika napona između ta dva izvora, kao i za vrijeme paralelnog povezivanja u svrhu testnih neprekidnih prebacivanja između izvora odnosno u otočnom načinu rada generatora. Za potrebe dugoročnog paralelnog spoja se ovaj signal nakon uspješne sinkronizacije programski blokira, aktivira se interna „Droop“ funkcija naponskog regulatora generatora koja preko u paralelnom spoju aktivirane mjerno strujne kombinacije pomoću kašnjenja struje i zadanog dogovorenog napona omogućava dvodimenzionalnu regulaciju proizvodnje jalove energije.

3. NADZORNI SUSTAV PDscada VPP ZA UPRAVLJANJE S RASPRŠENIM DEA IZVORIMA U SUSTAVU VE

Nadzorni sustav je važan dio složenog sustava VE i omogućuje automatsko aktiviranje pojedinih agregata za potrebe tercijarne rezerve. Komunicira sa nadređenim kontrolnim sustavima, od kojih prima zahtjeve za aktivaciju.

Komunikacija se odvija putem web servisa, a sljedeće informacije se razmjenjuju u intervalima od 30 s (slika 5):

- nadzorni sustav PDscada VPP šalje podatke o raspoloživoj snazi agregata koji su trenutno dostupni;
- nadzorni sustav centra upravljanja (CU) šalje zahtjeve za aktivaciju sa točnim podacima o uključanju i isključenju za VE.

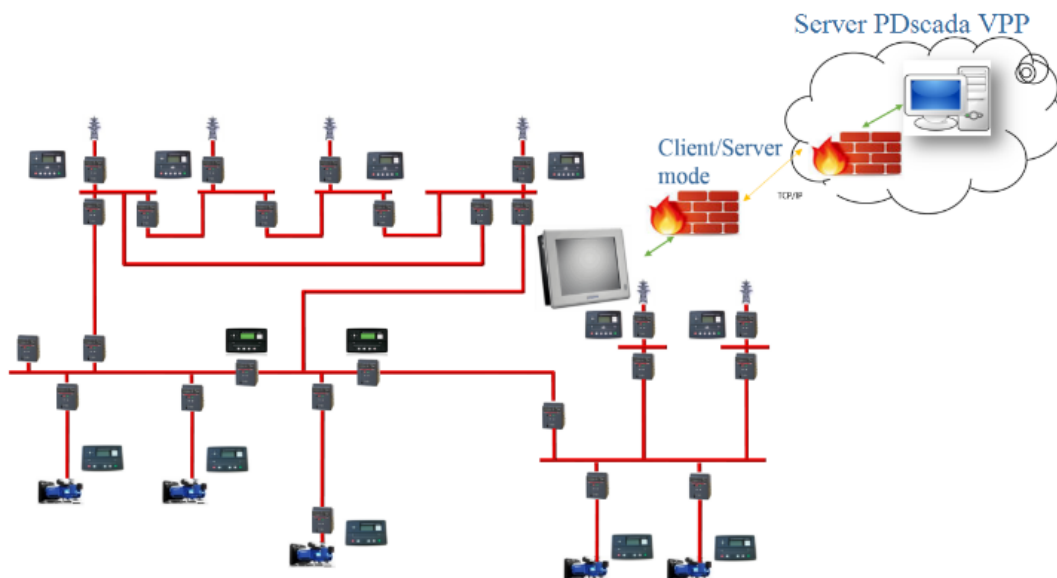


Slika 5. Komunikacija se odvija putem web servisa

Kontrolni sustav PDscada VPP je fleksibilna aplikacija koja osim detaljne kontrole i upravljanja pojedinih uređaja omogućuje i istodobni „hosting“ različitih ponuđača VE, dakako svako sa svojom grupom zakupljene generatorske snage.

Kako bi se povećala operativna pouzdanost kontrolnog sustava sistem je koncipiran redundantno (primarni i sekundarni server instalirani na različitim komunikacijskim čvorištima).

Kompleksni sustavi već imaju svoje kontrolne sustave, namijenjene isključivo za upravljanje izvora napajanja, pa u tim slučajevima, komunikacija s DEA jedinicama nije izravna, nego posredna preko upravljačkih programa. U tom slučaju, se dijagnostika i kronologija provode na lokalnoj razini, a upravljanje za tercijarnu rezervu na razini VE.



Slika 6. Kompleksni sustavi upravljanja

3.1. Monitoring

Monitoring je osnova za osiguravanje visoke razine spremnosti DEA i za pravovremene preventivne radove održavanja na njima. Namijenjen je:

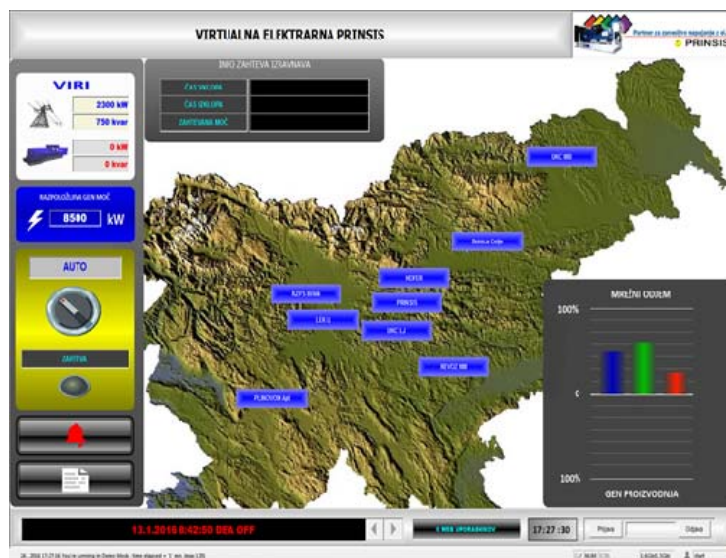
- praćenju stanja svih komponenti pojedinog DEA;
- kontroli rada;
- planiranju i praćenju održavanja pojedinih DEA.

Za obavljanje monitoringa je ključna odgovarajuća aplikacija za monitoring i dijagnostiku, koja treba omogućavati:

- komunikaciju s kontrolerima pojedinih DEA (npr. korištenjem ModbusTCP protokola);
- pristup do aplikacija na različitim razinama putem različitih uređaja (računalo, tablet, pametni telefon), poželjan pristup podacima koristeći web preglednik;

- kontrolu parametara za dijagnostiku po sklopovima, na primjer:
 - DEA: električni (snage, naponi, struje, frekvencija) i mehanički parametri (broj obrtaja motora, temperatura, pritisak ulja, potrošnja goriva, radni sati);
 - gorivo: veličina spremnika, trenutna količina goriva, trenutna potrošnja, autonomija trenutne potrošnje, zahtjevi za dopunu goriva;
 - način rada: mrežni i lokalni način;
 - održavanje: datumi (godišnji servis, probno pokretanje, kontrola tekućina);
- pregled statusa svih DEA;
- alarmiranje i upozoravanje;
- podešavanje razina alarma i upozorenja;
- kontrolu komunikacija pomoću DEA (neažuriranje podataka, nepromjenjive vrijednosti, prekid komunikacije s kontrolerima DEA);
- arhiviranje i pregled povijesti kontroliranih parametara;
- izradu izvješća i analiza;
- daljinski pristup do pojedinog DEA uređaja, naravno, s odgovarajućim mehanizmom autentikacije i autoriziranja;
- integraciju sa sustavima za potporu održavanju (npr. IBM Maximo);
- integraciju sa sustavima za obavješćavanje i alarmiranje (SMS, e-mail), (npr. Mobicall).

Praćenje na nadzornom sustavu VE (PDScada VPP) je prikazano na slici 7.



Slika 7.

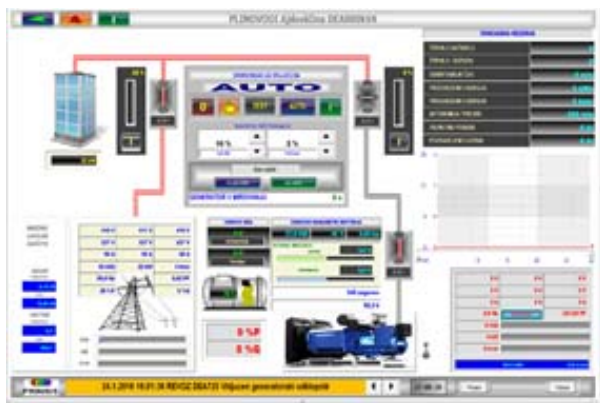
Ulazni ekran nadzornog sustava prikazuje status pojedine DEA jedinice, u smislu pripravnosti za VE. Na raspolaganju su podaci o ukupnoj raspoloživoj snazi, koja je trenutno na raspolaganju za VE. Raspoloživost pojedine DEA jedinice za rad u VE definiraju slijedeći podaci: automatika AUTO, alarm nije prisutan, DEA trenutno nije u pogonu za vlastito napajanje objekta, dovoljna količina goriva, komunikacija ispravna.

Prisutni su podaci o sveukupnoj potrošnji i generatorskoj proizvodnji (svih DEA lokacija).

Prilikom zaprimanja zahtjeva za aktivaciju od strane korisnika sustava odnosno nadređenog nadzornog sustava ispisuju se podaci: vrijeme početka aktivacije, vrijeme kraja aktivacije, zatražena snaga.

Nadzorni sustav u režimu AUTOMATSKO samostalno odlučuje koje DEA jedinice uključiti za dostizanje zadane snage.

S klikom na pojedinu lokaciju dostupna je kompletna shema napajanja objekta iz DEA. Prikazuju se svi bitni parametri (status mrežnih zaštita, statusi mrežnog i generatorskog sklopnika parametri motora i generatora, upravljačka konzola za ponovno podešavanje snage te izborom režima rada, mjerna brojlila za VE, grafički prikaz proizvodnje (slika 8).



Slika 8. Grafički prikaz proizvodnje

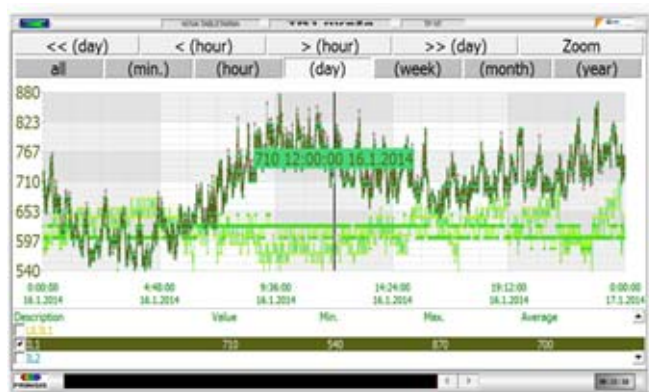
Na ekranu se prikazuju podaci sa brojila pojedinačnih aktivacija te vremenom trajanja, proizvedene električne energije te u tu svrhu potrošenom količinom goriva, predviđeni servisni intervali itd. (slika 9)



Slika 9. Prikaza podataka o proizvodnji

Raspoloživost goriva za rad u VE se kontinuirano izračunava na način da se uzima u obzir realna potrošnja nužnih potrošača. U slučaju da količina goriva dosegne minimalnu dopuštenu vrijednost DEA jedinica se automatski isključuje iz VE. Kada količina goriva padne pod razinu koja je dostatna za još dva sata rada u VE nadzorni sustav automatski šalje poruku o potrebi nadopunjavanja.

U grafičkom obliku su na raspolaganju svi bitni parametri mreže, motora i generatora (slika 10). Precizna mjerenja su važna za analizu rada pojedine jedinice te osnova za pravodobnu prevenciju u slučaju odstupanja. Operateri sustava su preko SMS ili e-mail poruke pravovremeno obaviješteni o eventualnim poteškoćama u radu.



Slika 10. Grafika dostupnih podataka

Sustav omogućava pristup do nadzornog sustava preko web preglednika putem različitih uređaja (tableta, pametnog telefona) te odgovarajuće lozinke (slika 11). Pristup pojedinom korisniku je dozvoljen samo do vlastitog DEA sustava.



Slika 11. Izbor uređaja za dostup do podataka

4. PROCJENA TROŠKOVA I PRIHODA

U procjenu troškova i prihoda su uzeti u obzir samo troškovi koji su nastali zbog nadogradnje DEA sustava kako bi se zadovoljile potrebe VE. Ponuđač koristi DEA sustav prvenstveno u svrhu vlastitog pouzdanog napajanja, zato investicijski troškovi za izgradnju DEA sustava u procjeni troškova nisu uključeni. Također je predviđeno da DEA sustav već pruža odgovarajuću razinu raspoloživosti i pouzdanosti, te u tom smislu ne zahtijeva nikakve dodatne investicije.

U nastavku su detaljnije definirani financijski učinci uključivanja DEA sustava 500 kW u VE.

4.1. Investicijski troškovi

Troškove nadogradnje za pogon u VE dijelimo ovisno o vrsti:

- (1) Automatizacija kontrolne i preklapne automatike te odgovarajuća nadogradnja upravljanja motora i generatora;
- (2) Ugradnja sustava za obračunsko mjerenje potrošnje goriva u VE, koji omogućava kupnju goriva bez trošarine;
- (3) Sustav komunikacije sa nadređenim sustavom upravljanja VE (npr. PDscada VPP).

Procjena visine troškova nadgradnje (TN) za uključivanje DEA sustava snage 500 kW u VE:

$$TN = (1) + (2) + (3) = 8.000 + 2.500 + 3.000 = 13.500 \text{ €}$$

4.2. Operativni troškovi

DEA sustav za rad u VE mora ispunjavati slijedeće zahtjeve:

- | | |
|--|-------|
| • Vrijeme za aktivaciju (min): | 15 |
| • Max. broj aktivacija (godina/dan): | 100/2 |
| • Max. vrijeme trajanja pojedine aktivacije (min): | 120 |
| • Min. vrijeme između dvije aktivacije (min): | 600 |
| • Max vrijeme trajanja aktivacija u 24 sata (min) | 240 |

Broj radnih sati za VE je na godišnjoj razini približno 100 sati, zato nije potrebno izvoditi dodatne servisne preglede (standardno jednom godišnje). Stoga se u troškove VE ne uzimaju u obzir troškovi godišnjeg servisa.

Rad je u potpunosti automatiziran i temelji na suvremenoj aplikaciji za vođenje DEA sustava u VE (npr. PDscada VPP). Sa stajališta posluživanja DEA sustava u VE nije potrebno uzimati u obzir dodatne

troškove rada, osim u vezi sa opskrbom goriva. Praćenje stanja goriva i izvještavanje u svezi sa dopunjavanjem izvodi se putem kontrolnog sustava VE.

Operativni troškovi VE:

- T_g - nabavni troškovi goriva;
- T_d – troškovi povezani sa nabavom goriva;
- T_{ns} - troškovi najma kontrolnog sustava za rad u VE.

Za izračun troškova goriva su uzeti u obzir sljedeći podaci u Sloveniji:

- Cijena dizela bez PDV (€/l): 0,8016
- Cijena dizela bez PDV i trošarine (€/l): 0,3756
- Prosječna potrošnja goriva (l/MWh): 250
- Broj radnih sati (godina): 50
- Aktivirana snaga (MW): 0,5
- Autonomija spremnika (h): 8

$$T_g = 0,3756 \times 250 \times 50 \times 0,5 = 2.348 \text{ €}$$

U izračunu troškova dostave goriva uzimamo u obzir činjenicu da je veličina spremnika za gorivo dovoljna za 8 sati rada agregata pri nominalnoj snazi (standardna kapaciteta pri izvedbi spremnika u postolju agregata).

Uzimajući u obzir da bi u spremniku u svakom trenutku trebala biti zaliha za 4-satni otočni rad, onda slijedi da je spremnik potrebno dopuniti na svake 3 aktivacije u VE.

Na godišnjoj razini je predviđeno 17 dopuna s cijenom dostave 50 €.

Troškovi dostave goriva (T_d) na godišnjoj razini dakle iznose:

$$T_d = 50 \times 17 = 2.250 \text{ €}$$

Koristeći rad u VE izbjegnemo troškove mjesečnih testiranja. Testiranje se provodi samo u okviru godišnjeg servisnog pregleda.

U izračunu troškova testiranja uzimamo u obzir troškove goriva s trošarinom.

$$T_t = 0,8016 \times 250 \times 11 \times 0,5 \times 0,5 = 551 \text{ €}$$

Za automatiziran rad sustava bez posade ponuđač DEA sustava koristi usluge integratora koji raspolaže sa namjensko razvijenim aplikacijama (npr. PDscada VPP) za rad u VE.

Troškovi najma kontrolnog sustava (T_{ns}) na godišnjoj razini iznose oko 1.950 €.

Dakle, ukupni troškovi pogona DEA sustava snage 500 kW u sustavu VE iznose:

$$T = T_g + T_d - T_t + T_{ns} = 2.348 + 2.250 - 551 + 1.950 = 5.997 \text{ €}$$

4.3. Prihodi

Prihodi za pogon DEA u VE obično se izračunavaju na sljedeći način:

- P_p - premija za pripravnost;
- P_e - premija za proizvedenu električnu energiju.

Na temelju trenutne ponude i potražnje formiraju se sljedeće cijene u Sloveniji:

- Premija za pripravnost (€/MW): 30.000
- Cijena za proizvedenu el. energiju (€/MWh): 210
- Broj radnih sati (godina): 50

$$P_e = 210 \times 50 \times 0,5 = 5.250 \text{ €}$$

Uzimajući u obzir navedene cijene su godišnji prihodi za pogon DEA sustava 500 kW u VE:

$$P = P_p + P_e = (30.000 \times 0,5) + 210 \times 50 \times 0,5 = 15.000 + 5.250 = 20.250 \text{ €}$$

5. ZAKLJUČAK

DEA sustav može ispunjavati sve tehničke zahtjeve operatera sustava za brzo uključivanje u sustav za osiguravanje tercijarne rezerve. Udruživanjem pojedinih DEA sustava u VE moguće je osigurati respektabilne kapacitete DEA snaga u sustavu (distribucija, bolnice, industrija, druga infrastruktura).

Prezentiran sustav DEA uključenih u VE već ima pozitivna iskustva u sigurnom i pouzdanom radu u slovenskom distribucijskom sustavu.

Analize pokazuju da su DEA sustavi cjenovno konkurentni ostalim produktima za osiguravanje tercijarne rezerve. Uz odgovarajuću automatizaciju moguće je osigurati adekvatnu raspoloživost i operativnu pouzdanost DEA u VE i na taj način smanjiti utjecaj ugovornih kazni za neisporučenu energiju i profitabilnost produkta odnosno usluge.

Sa stajališta operatora distribucijskog i prijenosnog sustava (ODS i OPS) je uvođenje novog produkta dobrodošlo, jer povećava ponudu i stvara uvjete za povoljnije uvjete najma DEA.

6. LITERATURA

- [1] B. Škrjanec, "Novi pristopi uporabe rezervnih diesel električnih agregatov", Prinsis d.o.o., listopad 2014.
- [2] J. Kosmač, G. Sitar, D. Matvoz, A. Souvent, G. Omahen, B. Škrjanec "Uporaba dizel električnih agregatov za terciarno regulaciju frekvence", 12. konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE - CIRED, Portorož, Slovenija, svibanj 2015.
- [3] J. Kordiš, E. Gregorič, V. Lovrenčič, D. Debeljak, P. Čižman "Lastna raba v elektroenergetskih objektih s poudarkom na visoki zanesljivosti obratovanja rezervnih napajalnih virov", 12. konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE - CIRED, Portorož, Slovenija, svibanj 2015.
- [4] F. Kienzle, S. Ghatzivasileiadis, T. Krause, M. Arnold, "Integration of Renewable Energy Sources Using Microgrids, Virtual Power Plants and the Energy Hub Approach", EEH Power System Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Zurich, March, 2010.