

Igor Ivanković, dipl. ing.
mr. sc. Božidar Filipović-Grčić, dipl. ing.
Robert Vlajčević, dipl. ing.
HEP – Prijenos, Prijenosno područje Zagreb

B5 – 16

SISTEMSKA ZAŠTITA ZA POREMEĆAJE NA RAZINI EES-A

SAŽETAK

Novi pristup u korištenju i upravljanju elektroenergetskim sistemom su i sistemske zaštite. Poremećaji na razini sistema koji nisu klasični kvarovi mogu dovesti do ozbiljnih poremećaja u radu elektroenergetskog sistema. Razvoj i primjena novih tehnologija omogućili su danas operativnu primjenu u postrojenjima i upravljačkim centrima. Zadaci sistemske zaštite svakog elektroenergetskog sistema (EES) sastoje se u nadzoru dinamičkog ponašanja i otkrivanju početne nestabilnosti, a u cilju održanja stabilnosti EES-a. Zahvaljujući mjernim jedinicama, suvremenim komunikacijskim sistemima i brzim algoritmima, ispunjeni su uvjeti za ostvarenje kvalitetne i efikasne sistemske zaštite.

Ključne riječi: Sistemska zaštita, nadzor elektroenergetskog sistema, mjerne jedinice

SYSTEM PROTECTION FOR DISTURBANCE IN POWER SYSTEM

SUMMARY

System protection schemes are today a new approach for using and controlling power system. Some disturbances in the power system can lead to the serious outages. New technology that came from development laboratories today is ready for fully operational use in substations, power plants and control centres. System protection tasks for every power system is controlling of dynamic behaviour and detection of incipient instability, in order to keep power system stability. Thanks to power measurement units, modern communication systems and fast algorithms, conditions for quality and effective system protection are fulfilled today.

Key words: System protection schemes, wide area monitoring, power measurement unit

1. UVOD

Široko rasprostranjeni poremećaji u elektroenergetskom sistemu su još uvijek ne posve riješeni izazov za elektroprivrede, zbog izuzetne veličine i složenosti EES-a. Sistemi zaštite i upravljanja moraju zaustaviti degradaciju EES-a kod pojave poremećaja. Današnji sistemi upravljanja uglavnom su dizajnirani tako da ne mogu kvalitetno reagirati na brzo razvijajuće poremećaje. Postojeći programski paketi su u principu namijenjeni za "off-line" analize. Postojeći sistemi zaštite omogućuju efikasnu zaštitu od brzih poremećaja, odnosno kvarova, ali ipak oni djeluju samo lokalno i ne mogu uzimati u obzir situaciju u cijelom EES-u ili njegovom dijelu.

Općeniti trend je iskorištavanje EES-a do krajnjih granica, čime se smanjuju sigurnosne margine iz razloga postizanja što bolje ekonomičnosti i učinkovitosti, a zatim je tu i ne mali utjecaj zaštite okoliša, koji bitno u nekim situacijama može ograničiti proširenja ili izgradnju.

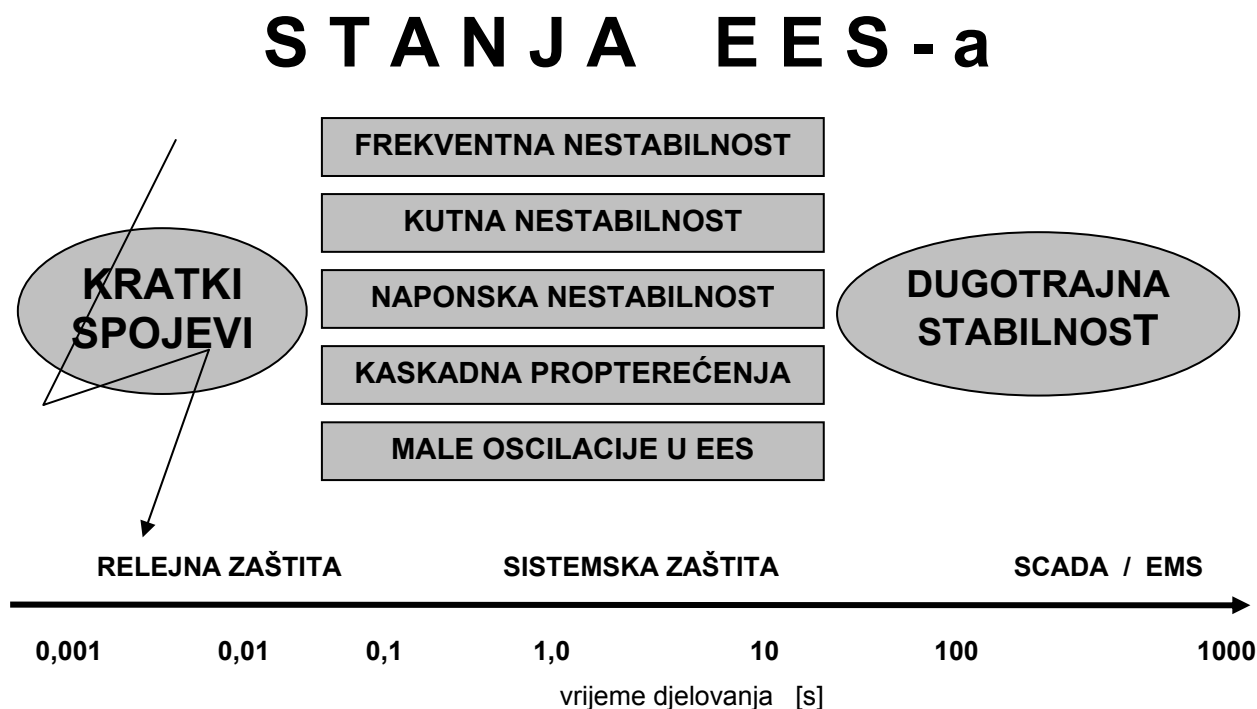
Planiranjem se uvijek nastoji dizajnirati EES takav, da je stabilan na sve moguće poremećaje. Međutim i najbolje planirani sistemi mogu se suočiti s posve nepredviđenim poremećajima za koje nisu dizajnirani. Ima više razloga koji dovode do ovakvih situacija, to je zapravo gotovo neograničen broj kombinacija koji se mogu pojaviti u sistemu, nepredvidive promjene koje uzrokuju različite dinamičke pojave koje nisu obuhvaćene kod planiranja i dizajniranja, istovremena pojava nesvakidašnjih i neželjenih događaja i konačno filozofija iskorištenja sistema do krajnjih granica.

Stalan porast potrošnje bez adekvatnog povećanja prijenosnih kapaciteta rezultirao je smanjivanjem radnih granica za većinu EES-a, te vodi rad EES-a bliže njegovim granicama stabilnosti i ne uzima u obzir novonastale tokove snaga. Danas je takav trend prisutan u većini zemalja s dereguliranim ili djelomično dereguliranim tržištem. Traži se stalno što bolje iskorištenje, upravljanje i vođenje sustava. Iz tih razloga se kao rezultat istraživanja i razvoja novih tehnologija pojavljuju rješenja poznata pod različitim nazivima, ali svima je zajedničko to da nude rješenja upravo za ovakve situacije. Razvoj takvih sistema traje relativno kratko vrijeme, a vrijeme primjene je još kraće.

Danas su se iskristalizirali nazivi za takva tehnička rješenja koja nastoje kvalitetno odgovoriti na postavljene izazove. To su nazivi koji se koriste, a različiti su od proizvođača do proizvođača, odnosno ovise o broju i vrsti funkcija, a CIGRE je usvojila naziv i definiciju za takve vrste zaštita, Special Protection Schemes ili skraćeno SPS. Njihova namjena je optimizirano vođenje sistema i poduzimanje mjera koje će spriječiti raspade. SPS trebaju moći detektirati nenormalna stanja te nakon toga trebaju moći poduzeti mjere koje su unaprijed dogovorene i pripremljene za očuvanje integriteta sistema i njegovih nominalnih parametara.

2. KLASIFIKACIJA POREMEĆAJA NA RAZINI SISTEMA

U uvodu je napomenuto kako se današnji elektroenergetski sistemi koriste sve bliže svojim krajnjim mogućnostima, te su nekad postojeće rezerve i zalihe u pogonu sve manje i to se čak radi planski. Znači potrebno je nešto promijeniti u postojećem sistemu upravljanja i zaštite, jer ako se ne uzmu u obzir te činjenice, nema zapravo puno mogućnosti da se spriječe posljedice poremećaja. Prije to nije dolazilo do izražaja upravo zbog postojanja određene rezerve. Nadalje ako se uzme u obzir postojanje novih tehnologija i uređaja, naziru se određena rješenja za poremećaje koji sada mogu brže dovesti do raspada, nego prije.



Slika 1. Prikaz poremećaja u vremenskoj domeni

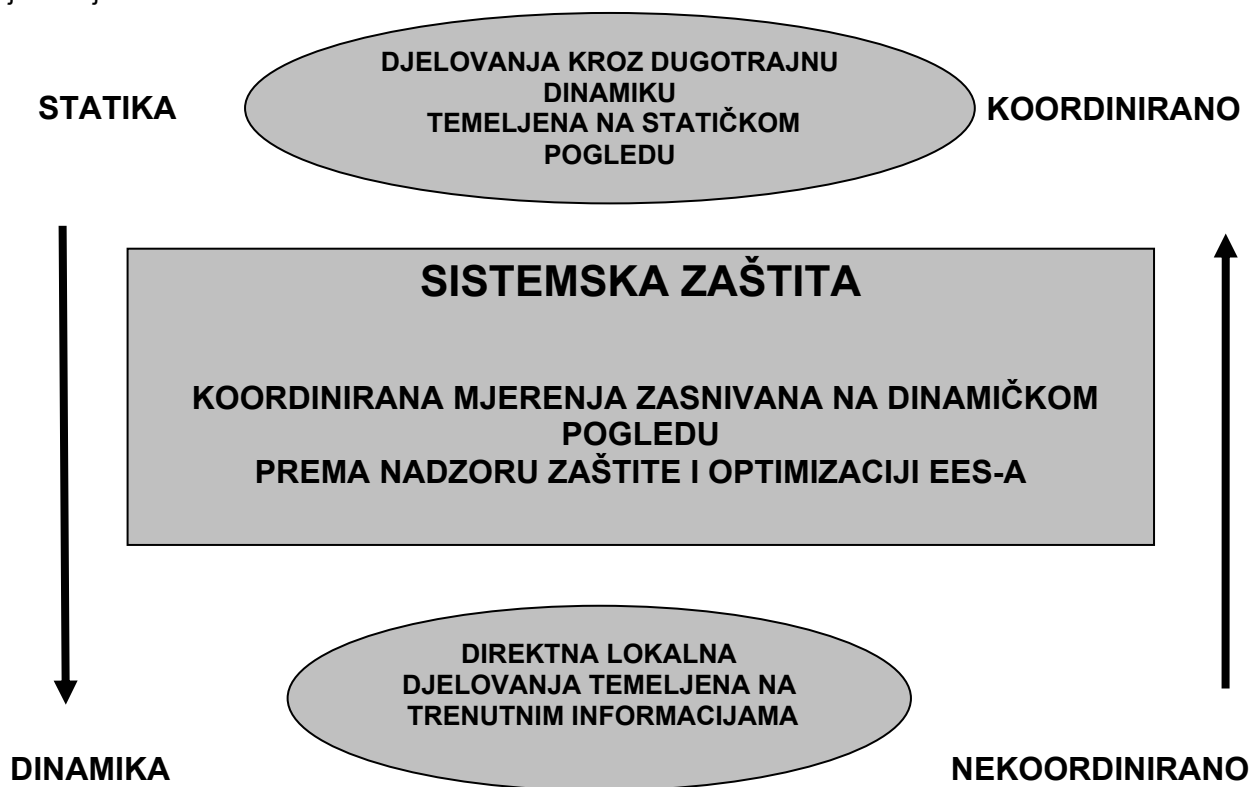
Ovdje je potrebno navesti poremećaje za koje klasični sistemi relejne zaštite ne mogu reagirati na adekvatan način. Oni su dizajnirani za otklanjanje uglavnom kratkih spojeva, a na druge vrste poremećaja oni zapravo ne mogu kvalitetno odgovoriti. Dakako klasični sustavi su danas znatno poboljšani, upravo korištenjem novih tehnologija i uspješno mogu detektirati i otkloniti praktički sve vrste kvarova u vremenskoj domeni do 100 ms.

Poremećaji koji se pojavljuju u vremenskoj domeni od 0,1 sekunde do 100 sekundi, približno su upravo poremećaji koji mogu ozbiljno ugroziti stabilnost i sigurnost sistema. Takve vrste poremećaja moraju se na neki način obuhvatiti suvremenim sistemima upravljanja i zaštite, jer ih praktično klasični sistemi relejne zaštite ne mogu pravilno sanirati i otkloniti.

Prema navodima u literaturi, poremećaji koji dovode upravo do ovakvih opasnih stanja u sistemu su manje više klasificirani u tri do pet karakterističnih slučajeva, to su;

- poremećaji u frekvenciji,
- poremećaji u sinkronizmu (ili kutna nestabilnost, prijelazna stabilnost, itd.),
- poremećaji u naponu (ili naponska nestabilnost, brzi ili spori naponski slom, itd.),
- preopterećenja u sistemu (ili kaskadna preopterećenja, itd.),
- male oscilacije u sistemu.

Prikaz poremećaja u vremenskoj domeni naveden je na slici 1, gdje je vidljivo kako do ovih pojava dolazi upravo u vremenskom prostoru između dva postojeća sistema zaštite i upravljanja, koju gotovo svaki elektroenergetski sistem posjeduje kao tehničko rješenje. Međutim upravo su ovo poremećaji koji nisu obuhvaćeni postojećim sistemima upravljanja i zaštite, nego ih obuhvaćaju nove systemske zaštite. Na slici 2, prikazan je budući položaj systemskih zaštita u odnosu na mjesto i vrstu djelovanja.



Slika 2. Položaj systemskih zaštita obzirom na mjesto i vrstu djelovanja

Projektirana konfiguracija sistema i njegove veze prema susjednim sistemima, odlučujući su faktor za pojavnost određenih vrsta poremećaja. Pojedine vrste poremećaja mogu se naravno smanjivati ili čak povećavati ovisno o karakteristikama sistema. Struktura sistema može biti vrlo različita, s koncentriranim područjima proizvodnje, potrošnje, ili s različitim vezama prema susjednim interkonekcijama, koje mogu biti sinkrono povezane ili čak postoje nesinkrone veze, itd. Uglavnom su rješenja i djelovanja systemskih zaštita specifična i ovisi o krajnjim korisnicima, njihovoj tradiciji, tehničkim zahtjevima, itd. Ali poremećaji su u suštini svugdje i uvijek isti. Za svaki od navedenih poremećaja i stanja sistema moguće su određene akcije u cilju smanjivanja ili eliminiranja poremećaja. To su slijedeće akcije;

- povećanje proizvodnje generatora,
- djelovanje na regulatore turbina,
- brzo pokretanje plinskih turbina i pumpnih agregata,
- promjena radne točke generatora,
- rasterećenje po kriteriju frekvencije,
- rasterećenje po kriteriju napona,
- kontrolirano daljinsko rasterećenje,
- povećanje razmjene preko HVDC,
- automatsko isključenje prigušnica,
- automatsko uključanje proizvodnje jalove energije,
- promjena radne točke FACTS uređaja,
- dinamičko kočenje,
- kontrolirano isključivanje interkonekcijskih dalekovoda,
- blokiranje automatskih regulatora napona.

Sistemska zaštita prije svega ima zadatak praćenje ponašanja dinamike EES-a s vrlo visokom preciznošću. Od velike je važnosti prepoznati i na vrijeme otkriti početne nestabilnosti, njihovu prirodu, izvor i opseg kao i procijeniti situaciju mogućih utjecaja na stabilnost sustava te po potrebi djelovati u cilju očuvanja stabilnosti EES-a.

Sistemska zaštita stoga mora brzo i pravodobno reagirati na kriznu situaciju za što je neophodno koristiti brze komunikacijske veze uz sinkronizaciju vremena i visoku točnost mjerenja. Ona mora biti neovisna i realizirana sa sofisticiranim brzim algoritmima i proračunima. Isto tako se zahtijeva koordinacija i optimizacija u djelovanju.

Glavne komponente sistemske zaštite predstavljaju fazne mjerne jedinice (PMU) zajedno s komunikacijskom infrastrukturom. Ona zahtijeva sinkronizirano centralno računalo koje bi preko programskog sučelja prikupljalo sve potrebne informacije i obrađivalo ih kroz brze algoritme zaštite. Potrebno je provoditi koordinaciju u djelovanju i optimizaciju rada svih objekata u EES-u. Djelovanje sistemske zaštite osim samog nadzora i mjerenja, odnosi se na akcije upravljanja prema samim objektima u svrhu eliminiranja poremećaja, a to su akcije koje su prije nabrojane.

3. MJERNE JEDINICE

Nova tehnologija omogućila je proizvodnju mjernih jedinica, a to je bila karika koja nedostaje, jer su komunikacije i računala već od prije praktički neograničenih kapaciteta. Glavne komponente sistemske zaštite predstavljaju mjerne jedinice (Power Measurement Unit, PMU) zajedno s modernom komunikacijskom infrastrukturom.

Za razliku od klasičnih sustava relejne zaštite gdje je osnovna značajka rad s lokalnim parametrima sistema (U , I , P , Q , f , itd.), sistemska zaštita koristi informacije iz "cijelog sistema". Sistemska zaštita je jedan oblik adaptivne zaštite, koja mora nadzirati kako kratkotrajnu dinamiku tako i dugotrajnu dinamiku EES-a.

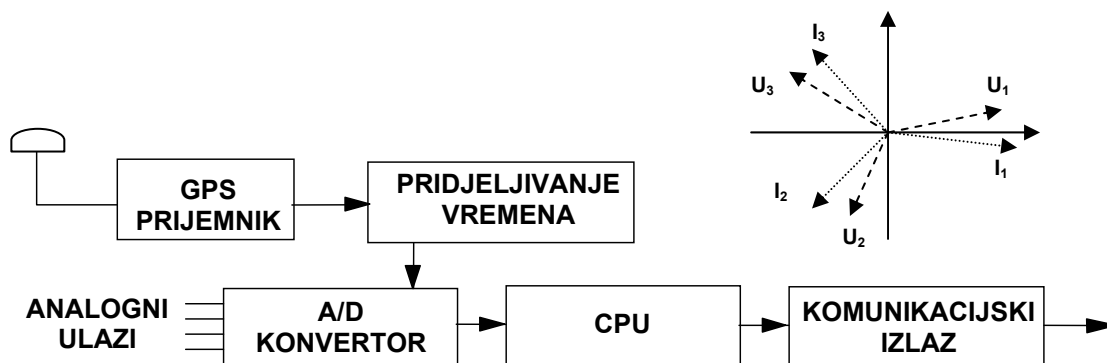
Sistemska zaštita zahtijeva brze i pouzdane komunikacije kojima bi se prenosile informacije iz PMU smještenih u pojedinim dijelovima EES-a. To su uglavnom moderne digitalne komunikacije s GPS sinkronizacijom, s točnošću boljom od $1\mu s$. Iz instaliranih mjernih jedinica, telekomunikacije omogućuju prijenos svih raspoloživih informacija električnih veličina. Mjerne jedinice se spajaju na sekundarno ožičenje mjernih transformatora zajedno s već ugrađenom sekundarnom opremom na mjerne jezgre i namote, zbog postizanja bolje točnosti oni se spajaju na mjerne jezgre i namote.

Sve te informacije prikupljaju se u centralnom računalu koje koristi programsku podršku kroz razvijene brze algoritme zaštite i u vrlo kratkom vremenu generira odzive na poremećaje u cilju očuvanja stabilnosti EES-a.

Sistemske zaštite ili korišteni nazivi na engleskom jeziku su, Wide Area Protection, System Protection Schemes, Power System Guard, Wide Area Monitoring System, itd. Komunikacije su danas u elektroprivredama na raspolaganju uglavnom u digitalnom obliku, kroz razne vrste radio veza i komunikacije koje koriste optičku infrastrukturu. U posljednje vrijeme razvile su se mjerne jedinice. Mjerne jedinice služe za prikupljanje informacija iz pojedinih točaka u sistemu. Kako bi se podaci mogli uspoređivati u centralnom računalu potrebno je imati podatke koji imaju pridijeljenu vremensku oznaku.

Na slici 3 prikazana je osnovna blok shema za mjerne jedinice. Tehnologija koju koriste mjerne jedinice je provjerena metoda, koja zapravo omogućava gotovo idealni mjerni sistem za nadzor i

upravljanje u elektroenergetskom sistemu. Bitna njihova odlika je mjerenje direktnih, inverznih i nultih komponenti napona i struja u sistemu u realnom vremenu i koji su sinkronizirani. Ta metoda omogućava usporedbu mjerenja s raznih lokacija u realnom vremenu. Sinkronizacija se postiže korištenjem GPS sistema. Pomoću tog sistema mjerenje se sinkronizira na točnost bolju od 1 μ s. Preko prijemnika GPS pridjeljuje se točno vrijeme analogno/digitalnom konverteru, koji se zatim obrađuju podatke i priređuju ih kao uzorak sinkroniziranih oblika vektora napona i struja. Najčešće se pripremaju podaci kao direktne komponente. Digitalni konvertor omogućava dovoljnu točnost i rezoluciju.



Slika 3. Osnovna blok shema za mjernu jedinicu

Ovisno o komunikacijskim putevima informacije prikupljene s mjernih jedinica šalju se prema računalu na kojem se vrši obrada podataka. Brzina prijenosa s novim vezama je reda nekoliko 10 ms. Podaci se konvertiraju u 16 bitnom formatu. Format u kojem se prenose vektori struja i napona je danas najčešće IEEE protokol 1344, s uzorkovanjem 20 puta u sekundi. Ponekad se u jednom objektu koriste i koncentratori podataka koji sumiraju podatke iz svih mjernih jedinica u objektu i tek onda ih šalju dalje u centralno računalo. Prolaz podataka kroz konzentator ne usporava bitno protok i brzinu slanja, kašnjenje je tada do par 100 ms.

Točnost današnjih mjernih jedinica je na vrlo visokom nivou, gotovo kao brojila. Raspon točnosti mjerenja je također vrlo širok i za niska opterećenja i za struje kvara, također vrlo dobro se pokriva i sadržaj viših harmonika koji se pojavljuju u mreži. Ovi uređaji imaju osim mjerenja vektora struja i napona, mjerenje niza ostalih veličina, kao na primjer, frekvencije, djelatne i jalove snage, više harmonike, faktor snage, kuteve između struja i napona, itd. Viši harmonici se mogu analizirati do gotovo 3kHz, kao i flikeri. Uređaji posjeduju funkciju koja im omogućava kompenzaciju greške strujnih i naponskih mjernih transformatora. Kompenziraju se greške koje su nastale u bakru i željezu, te se provodi i temperaturna kompenzacija. Također je ugrađena funkcija autokalibracije. Uređaji najčešće imaju na raspolaganju niz komunikacijskih izlaza i standardnih protokola.

Za razliku od klasičnih mjernih pretvornika koji su danas u upotrebi ove mjerne jedinice prenose sinkronizirane vektore napona i struje, dok su klasični pretvornici prenosili efektivne vrijednosti koje nisu bile sinkronizirane. SCADA ih je obrađivala po redoslijedu kako su stizali u računalo i bilo ih je teže obrađivati, jer nikada nisu bili podaci iz istog vremena. Točnosti podataka iz klasičnih mjernih pretvornika je bitno manja u odnosu na nove mjerne jedinice.

Mjerne jedinice posjeduju vlastitu memoriju, gdje je moguće pohraniti veću količinu podataka, a to je bitna odlika svih današnjih sekundarnih uređaja.

4. PRIMJENA SISTEMSKIH ZAŠTITA U HRVATSKOJ

Nabrojani poremećaji koji su prije klasificirani imaju već pripremljeno tehničko rješenje ili je tehničko rješenje u planu. Gubitak sinkronizma ili kutna nestabilnost će se riješiti s posebnim funkcijama ili relejima. Naponski slom i preopterećenja mogu se riješiti primjenom klasične tehnologije ili korištenjem nove tehnologije.

4.1. Funkcije preopterećenja i naponskog sloma na dalekovodu s klasičnom tehnologijom

Klasična tehnologija podrazumijeva primjenu procesorskih releja s novim naprednim funkcijama. Njihovo djelovanje je isključivo vezano za jedno polje u objektu ili na razini objekta uz korištenje staničnog

računala. Algoritmi za djelovanje se mogu realizirati unutar procesorskog releja ili se čak mogu koristiti složeni algoritmi za stanično računalo. Mjerenja su unutar releja i računala dovoljno točna za sigurnu primjenu, iako su oni spojeni na zaštitne jezgre i namote.

Novi procesorski releji danas standardno imaju u sebi sadržane funkcije s kojima se može donekle kvalitetno riješiti problem preopterećenja dalekovoda i naponskog sloma na dalekovodu.

4.1.1. Preopterećenje dalekovoda

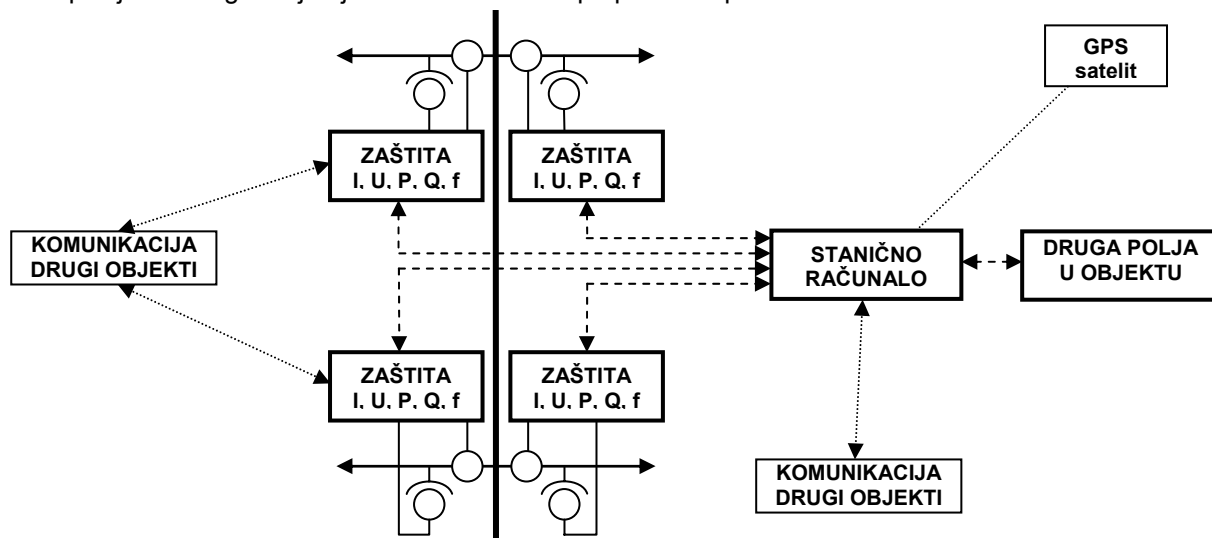
Funkcija termičke zaštite mora se danas koristiti na svakom prijenosnom dalekovodu, uz signale upozorenja odnosno isključenja. Glavni nedostatak ove funkcije je zapravo to što ne uzima u obzir trenutnu temperaturu okoline koja je od presudnog značenja za mogućnosti preopterećenja dalekovoda. Upravo su uvjeti za rad ove zaštite bitno različiti tijekom godine. Jedno od rješenja je mogućnost posebnog udešenja za ljetno odnosno zimsko, što se može realizirati uz primjenu daljinskog dohвата releja.

Dalekovodi se uglavnom projektiraju za vanjsku temperaturu od 40°C i za još dodatnu nadtemperaturu od isto 40°C. Vidljivo je kako su ovo podaci za krajnje rubno stanje, koje se pojavljuje vremenski relativno rijetko. Stoga postoji određena mogućnost za dodatno korištenje opreme, tj dalekovoda. Prema literaturi, promjena vanjske temperature u rasponu od 10°C omogućava promjenu opterećenja od 7 do 8%, što može poprimiti značajne razlike za periode ljetno odnosno zima, budući se dalekovod projektira za vanjsku temperaturu od 40°C. Zimska prosječna temperatura je niža, te je moguće više iskoristiti dalekovod upravo u uvjetima kada je to najpotrebnije.

Sve navedeno se mora koristiti kao približno točne podatke i aproksimacije, ali još uvijek se ne zna prava temperatura dalekovoda. Stoga se mora ugraditi određena sigurnosna margina, koja se primjenjuje u svim udešenjima sustava relejne zaštite.

4.1.2. Naponski slom na dalekovodu

Zaštita od naponskog sloma može se realizirati funkcijama unutar releja i unutar staničnog računala, te uz primjenu određenog algoritma, slika 4. U odnosu na dosadašnja rješenja ovakve funkcije pružaju prilično kvalitetno rješenje za slučajeve brzog i sporog naponskog sloma. Prije nije postojala nikakva zaštita u tom smislu, te je pojava naponske nestabilnosti, uvijek vodila u naponski slom, te je imala za posljedicu događanje djelomičnih odnosno potpunih raspada.



Slika 4, primjer blok sheme korištenja postojećih zaštita, za potrebe sistemskih funkcija zaštite

Kada se govori o naponskom slomu posve je jasno kako je to pojam koji je vezan za dio sistema, a ne jednu lokaciju. Međutim moguće je govoriti i o naponskom slomu za interkonektivne dalekovode, pogotovo, ako je prijenosni kapacitet tih dalekovoda relativno velik, u odnosu na ukupnu snagu dijela sustava koji napaja. Pri određenim granicama mora se moći signalizirati narušeno stabilno stanje u dijelu sistema. Ako postoje dovoljno jaki pokazatelji tada je moguće prema unaprijed definiranim kriterijima isključiti dalekovod.

Releji imaju programabilnu logiku koja se može kombinirati zajedno s funkcijama mjerenja. Na sličan način moguće je koristiti resurse staničnog računala, koje može informacije dobivati iz releja ili ulazno izlaznih jedinica, te se adekvatan algoritam može realizirati u staničnom računalu. Mjerne funkcije mjere slijedeće veličine;

- efektivne vrijednost $3xI$,
- efektivne vrijednost $3xU_{fazno}$ i $3x U_{linijsko}$,
- simetrične komponente, U_0 , I_0 , U_2 i I_2 ,
- P i smjer P ,
- Q i smjer Q ,
- S ,
- $\cos\varphi$,
- frekvencija,
- pogonske impedancije $R + jX$, itd.

Rješenje na slici 4, može se realizirati na tri načina;

- korištenje samo relejne zaštite,
- korištenje samo staničnog računala,
- korištenje relejne zaštite i staničnog računala.

Ograničenje ovog rješenja je upravo činjenica što uređaji relejne zaštite mogu djelovati samo na temelju lokalnih mjernih veličina. To je ipak nedostatak budući je naponski slom pojava koja zahvaća šire područje. Druga bitna odlika pojave naponskog sloma je ta da se zapravo na spojnem vodu ili vodovima (koridoru) nije dogodio kvar, a ipak je potrebno bezuvjetno isključiti dalekovod. Uzimajući u obzir ove spoznaje moguće je kreirati rješenje za određeno područje odnosno regiju, uz određeni rizik neselektivnog djelovanja. Ograničeno područje u smislu prijenosne mreže ima ipak manji broj spojnih vodova prema drugim dijelovima sistema, te se na tim vodovima može uspostaviti određena zaštita za naponski slom. Ukoliko se kombiniraju još i telekomunikacije rješenje se može bolje nadopuniti.

Novi procesorski releji uz niz funkcija koje su uglavnom zaštitne i nadzorne, posjeduju i blok mjernih funkcija. Korištenjem bloka mjernih funkcija moguće je uz primjenu određenog algoritma kreirati rješenje za lokalnu primjenu zaštite od naponskog sloma. Mjerne funkcije danas standardno imaju mjerenje struje, napona, smjera radne i smjera jalove snage.

Posljednjih nekoliko godina svjedoci smo nekoliko situacija u kojima je poremećaj iz susjedne elektroprivrede utjecao na stanje u sjeverozapadnom dijelu hrvatskog EES-a. U takvoj situaciji dolazi do mogućnosti da se poremećaj prenese i na naš sistem što može dovesti i do raspada kako dijela tako i cijelog sistema. Na tragu tih iskustava kreirana su određena rješenja uz korištenje klasične tehnologije, tj. relejne zaštite. Na dalekovodima koji povezuju elektroenergetski sistem Hrvatske i BiH, aktivirana je zaštita za naponski slom na dalekovodu. Funkcija radi na kriterijima za naponski slom, a to su ;

- smjer radne snage,
- iznos radne snage,
- razina napona.

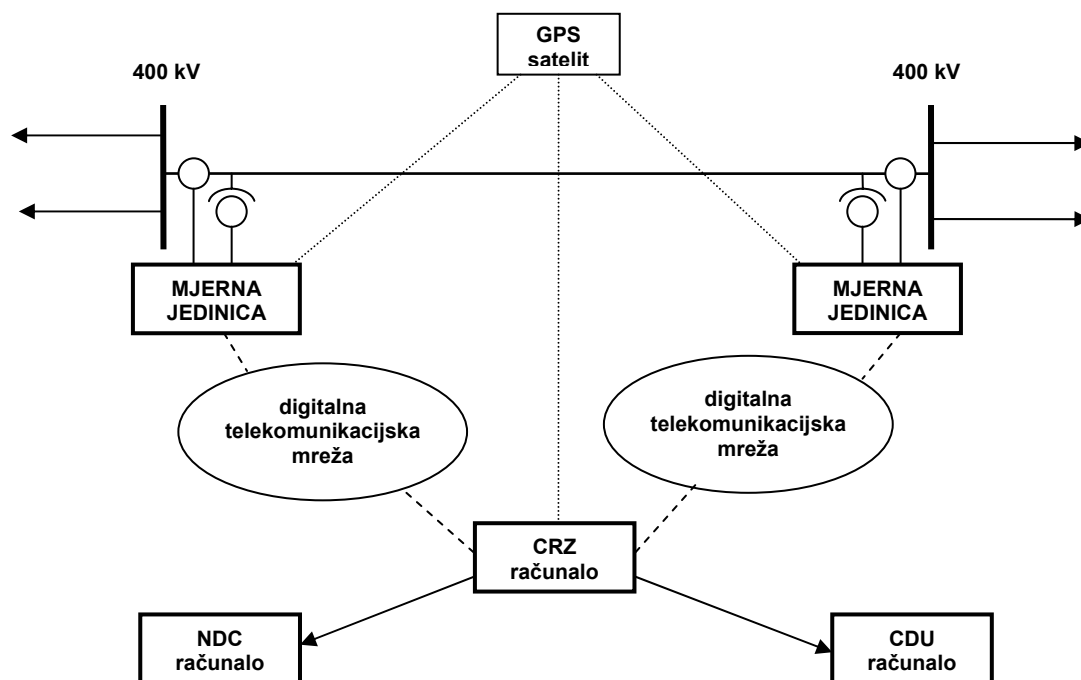
To su osnovni i jednostavni kriteriji poznati iz P-V dijagrama. Na taj način se ograničava prijenos radne komponente snage iz hrvatskog EES-a ukoliko nastupi znatno sniženje napona. Navedena funkcija je imala nekoliko uspješnih prorada i djelovala je na isključenje. Različiti su razlozi koji su doveli do instaliranja ovakvih sistemskih zaštita. Analiza tokova snaga pokazala je kritične slučajeve kada je potrebno provesti akciju odvajanja sistema, zbog nastalog poremećaja, a u svrhu očuvanja rada drugog sistema. U normalnim okolnostima instalirano rješenje sistemskih zaštita nema nikakvih ograničenja u pogledu iznosa tranzita električne energije između dviju elektroprivreda, ali u situaciji koja je nepovoljna za hrvatski EES zaštita prvo djeluje na upozorenje, a zatim nakon vremenskog zatezanja i na isključenje prekidača.

4.2. Funkcije preopterećenja i naponskog sloma na dalekovodu s tehnologijom sinkroniziranih mjernih jedinica

Za razliku od korištenja klasične tehnologije koja ima svoja bitna ograničenja u pogledu šticanja EES-a za poremećaje koji su u domeni sistemskih zaštita, upotreba mjernih jedinica pruža posve druge mogućnosti. Ti poremećaji se sada mogu puno bolje nadzirati pa i otkloniti u pojedinim slučajevima, kada se koriste s određenim funkcijama upravljanja. Mjerne jedinice omogućavaju nadzor i mjerenja u realnom vremenu u cijelom sistemu, što je do sada zapravo bilo nemoguće. Korištenje nove tehnologije u hrvatskom EES-u je za sada na početku, te će se ostvariti mjerenje i nadzor na jednom dalekovodu 400 kV s osnovnim funkcijama. Ovo rješenje će poslužiti kao osnova za daljnji razvoj i nadogradnju tehničkog rješenja za sistemske zaštite.

Dalekovod 400 kV imat će na svoja dva kraja priključene mjerne jedinice, koje će biti povezane na mjerne transformatore, slika 5. Komunikacija između računala u CRZ-u i mjernih jedinica ostvarit će se kroz digitalnu telekomunikacijsku mrežu elektroprivrede. Ovo je osnovna početna shema systemske zaštite s mjernim jedinicama.

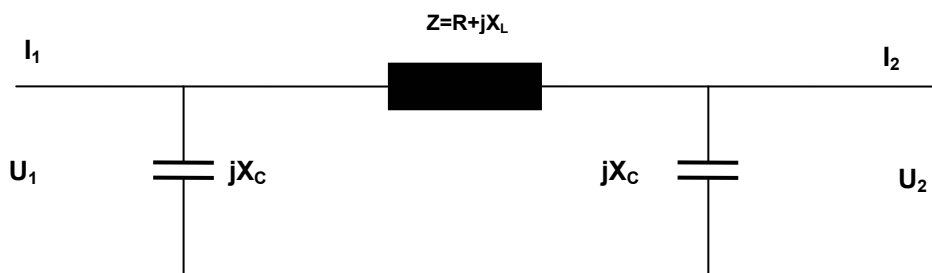
U prvoj fazi neće se izvoditi funkcije upravljanja i isključenja, nego će biti aktivne funkcije nadzora, mjerenja i signalizacije. Računalo u CRZ-u je server koje prikuplja podatke i obrađuje ih, te ih šalje dalje u CDU i NDC. Na osnovu tih podataka, moguće je olakšati posao operateru uz prikaz određenih signala upozorenja, a može se provesti određene akcije u sistemu. Također podaci će se sakupljati na računalu i moći će poslužiti za daljnju analizu.



Slika 5, blok shema systemske zaštite na dalekovodu

4.2.1. Termički nadzor dalekovoda

Uzimajući u obzir temperaturu okoline, moguće je dalekovod različito teretiti, što u slučajevima kada se ukaže potreba može biti vrlo značajno. Bez poznavanja vanjske temperature na čitavoj trasi to zapravo nije moguće. Zatim nastupa problem preudešenja termičke zaštite. Korištenje mjernih jedinica pruža mogućnosti da se upravo nedostatak dosadašnje klasične tehnologije nadoknadi.



Slika 6, pojednostavljena shema dalekovoda

Na slici 6 prikazana je pojednostavljena shema dalekovoda. Raspoloživi podaci o vektorima napona i struja s oba kraja dalekovoda omogućuju računanje točne impedancije cijelog dalekovoda, što prije nije bilo moguće. Iz podatka o trenutnom otporu dalekovoda može se izračunati temperatura dalekovoda. Tada se može točnije odrediti eventualno preopterećenje dalekovoda. Izraz za temperaturu je općepoznat,

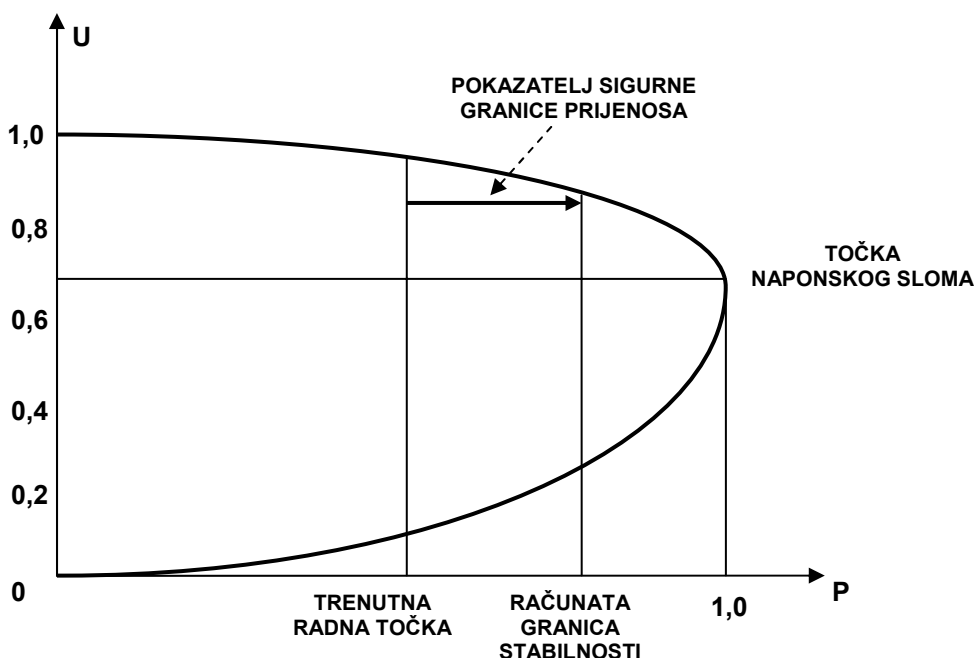
$$T = (R - R_0)/\alpha + T_0 \quad (1)$$

Korištenje ovog jednostavnog principa može prilično pomoći u vođenju elektroenergetskog sistema u novom okruženju za elektroprivredu.

Naravno primjena ovakvog rješenja traži zapravo izvanredno uredno održavanje dalekovoda na čitavoj trasi, kako ne bi dolazilo do nenadziranih lokalnih pregrijavanja. Ovo rješenje implicira upotrebu sofisticirane tehnike za pregled dalekovoda (ultrazvučni detektori, termovizija, itd.), kao i drugačije uvjete za projektiranje dalekovoda. Potrebno je koristiti kvalitetna užeta i ovjesnu opremu, koja doista omogućuju ovakva termička naprezanja dalekovoda.

4.2.2. Nadzor naponskog sloma na dalekovodu

Naponski slom ili nestabilnost je pojava koja uvijek zahvaća dio sistema i nikad nije strogo lokacijski određen. Stoga su danas razvijene tehnike kako se mogu računati uvjeti kada se bliži naponski slom ili je on već nastupio. Postoji već niz tzv. indikatora naponske stabilnosti koji se dobivaju proračunima, ali rijetko koji od njih se može dobiti u realnom vremenu. Za takve račune potrebno je koristiti složene proračune koje je teško ostvariti u realnom vremenu, na klasičnim SCADA sustavima i mjernim pretvornicima. Iz takvih proračuna moguće je tada dobiti informaciju koja se može upotrijebiti za lokalizaciju problema gdje nastupa naponska nestabilnost. Tehnologija mjernih jedinica također može kvalitetno odgovoriti na zahtjeve takvih složenih proračuna, na razini cijelog sistema odnosno njegovog manjeg dijela.



Slika 7, P-V dijagram

U ovom konkretnom slučaju primijenit će se rješenje na samo jednom dalekovodu gdje će se moći nadgledati stabilnost prijenosa snage uz kontrolu napona. Postoji već poznato rješenje kako se mogu nadgledati kutevi između vektora napona na krajevima dalekovoda, ali uz pomoć mjernih jedinica ovo rješenje postaje kvalitetnije i sigurnije. Shema spoja mjernih jedinica na slici 4, omogućuje uz primjenu adekvatnog algoritma nadzor naponske stabilnosti prijenosa snage na dalekovodu. Prijenos snage na dalekovodu definiran je prema izrazu 2.

$$P = (U_1 U_2) / X_L \sin \delta \quad (2)$$

Kut između vektora napona δ , sada se može direktno mjeriti i na taj način se dobiva vrijednost snage koja se prenosi po dalekovodu. Klasično rješenje nadzora kuta na dalekovodu do sada se obavljalo korištenjem modela dalekovoda. Podaci u jednadžbi 2 su poznati iz podataka prikupljenih u mjernim jedinicama, te se koriste za računanje naponske stabilnosti.

S podacima koji su dostupni iz mjernih jedinica moguće je imati uvijek u stalnom nadzoru trenutnu radnu točku na prijenosnom dalekovodu, a isto tako je moguće uvijek točno računati granicu

stabilnosti. Na taj način se može točno odrediti pokazatelj sigurne granice prijenosa, što prije jednostavno nije bilo moguće. Ova informacija daje precizne odgovore na pitanje u kakvom je stanju tranzit na dalekovodu ili koridoru, za razliku od indikatora naponske stabilnosti, koji najčešće nisu egzaktni.

5. ZAKLJUČAK

Zahvaljujući razvoju mjernih jedinica i komunikacijskih sustava ispunjene su pretpostavke za instaliranjem kvalitetnih i efikasnih sistemskih zaštita koje su neophodne za osiguranje stabilnosti svakog EES-a od različitih vrsta poremećaja kako u samom EES-u tako i izvan njega. Suvremeni EES iz ekonomskih razloga rade jako blizu krajnjih granica i s manjom rezervom u stabilnosti. Današnji sustavi rade u znatno pogoršanim uvjetima i istraživanje kratkotrajne i dugotrajne dinamike sistema kao i usavršavanje sistemске zaštite dobivaju sve veći značaj. Potrebno je implementirati sistemске zaštite u EES i nastaviti s prihvaćanjem novih tehnologija i rješenja, jer je to najbolji način na koji se može osigurati sigurnost svakog EES-a.

Koristeći novu tehnologiju sinkroniziranih mjernih jedinica, moguće je praćenje dinamike elektroenergetskog sistema s vrlo velikom preciznošću. Odmah se točno i precizno uočava začetak početne nestabilnosti, te je tada relativno lako moguće napraviti određene korake u spriječavanju tih poremećaja, odnosno očuvanja stabilnosti.

Sistemске zaštite moraju ispuniti nekoliko zahtjeva, a to su prije svega modularna izvedba, jednostavnost u pogledu proširenja i nadogradnji, a posebno je to bitno što se tiče programske podrške.

U budućnosti će se koristiti sistemska zaštita kao standardni dio opreme u objektima, a u svrhu povećanja pouzdanosti i povećanja prijenosnih kapaciteta. Osnova ovog sistema su brze komunikacije i adaptivne funkcije zaštite. Ove karakteristike će omogućiti povezivanje na tradicionalne SCADA sisteme, kao i na nove, gdje će se moći unaprijediti niz funkcija u upravljanju, prvenstveno će biti na raspolaganju novi oblik vrlo preciznih informacija i postojat će snažni programski alati koji će moći obraditi i prezentirati takve informacije. Postojeći programi za estimiranje stanja na osnovu ovakvih informacija imat će bitno bolje proračune. Za pretpostaviti je kako će ovakve nove funkcije sistemске zaštite biti odvojene od klasičnih SCADA sistema, te će se oni razviti kao funkcionalna cjelina za sebe.

LITERATURA

- [1] M. Zima, "PSGuard for Hrvatska Elektroprivreda" ABB Schweiz AG, 13.11.2002.
- [2] ABB Switzerland Ltd, Utility Automation "System for wide area protection and optimization PSGuard", Baden, 2002.
- [3] C.W. Taylor, "Power System Voltage Stability", McGraw-Hill, New York, 1994.
- [4] A.G. Phadke, J.S. Throp, K.J. Karimi, "State Estimation with Phasor Measurements", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.PWRS-1, No. 1, February 1986.
- [5] P.Kundur. G.K. Morison, L.Wang, "Techniques For On-Line Transient Stability Assessment And Control", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2000.
- [6] I. Ivanković, R. Vlačević, H. Bulat, "Funkcije relejne zaštite za spriječavanje naponskog sloma" Zbornik radova petog simpozija o sustavu vođenja EES-a HK Cigre, Cavtat 20.-23.10.2002.
- [7] I.A. Bogomolova, A.S. Zekkel, E.P. Salita, "Adaptive centralized emergency control systems in the integrated power system of Russia: Background, state of the art and prospects", Helsinki, August 1995., pp 110-05.
- [8] CIGRE Task Force 38.02.19, "System protection schemes in the power networks", Paris, June, 2001.
- [9] IEEE WG C-6, "Wide area protection and emergency control", Final report, 2003.
- [10] Arbiter System, Inc., Operational manual "Model 1133A Power Sentinel", Paso Robles, California, USA, November 2001.