

Igor Ivanković
HOPS
igor.ivankovic@hops.hr

Boris Avramović
HOPS, PrP Split
boris.avramovic@hops.hr

Ante Marušić
FER
ante.marusic@fer.hr

Ana Jukić
HOPS
ana.jukic@hops.hr

ODZIV SISTEMSKIH FUNKCIJA ZAŠTITE DALEKOVODA 400 kV U PRIJENOSNOM PODRUČJU SPLIT NA POREMEĆAJE U ŠIREM EES-U

SAŽETAK

U radu su kroz simulacijsko okruženje i analizom rezultata sagledavani određeni parametri za funkcije systemske zaštite u sustavima 400 kV relejne zaštite dalekovoda u PrP-u Split. Poremećaji u prijenosnoj mreži 400 kV, a koji su uzrokovani u širem elektroenergetskom sustavu mogu imati upliv na rad systemskih zaštita. Provedena je simulacija njihanja radne snage s ciljem analize utjecaja takvih poremećaja na postojeće zaštite. Simulacijsko okruženje izrađeno je u Matlab modelu.

Ključne riječi: Prijenosna mreža, systemska zaštita, relejna zaštita, Matlab, modeliranje

RESPONSE OF SYSTEM FUNCTION IN 400 kV LINE PROTECTION AT TRANSMISSION REGION SPLIT FOR WIDE AREA DISTURBANCES

SUMMARY

Paper present usage of simulations environment with result analyzing, and some setting parameters were obtain for system function in 400 kV line protections in Transmission region Split. Wide area disturbances can induced some disturbances in 400 kV transmission network with some impact on system protection operation. Active power oscillations simulations were done in order to realize influence on existing protection system. Simulation environment was created in Matlab model.

Key words: Transmission network, system protection, relay protection, Matlab, modelling

1. UVOD

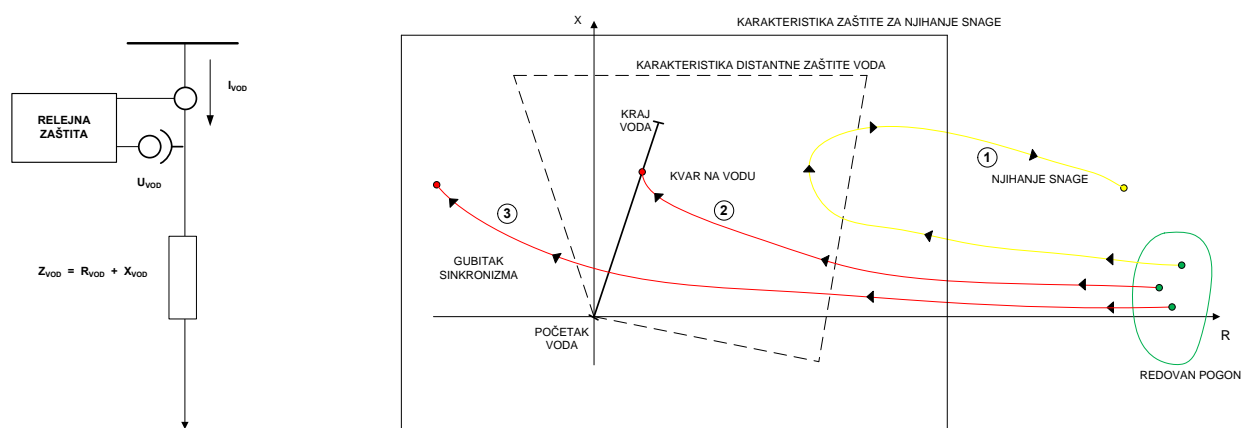
Sustavi relejne zaštite dalekovoda 400 kV sastoje se od dva uređaja. Imaju ugrađene osim, osnovnih funkcija zaštita za šticeenje dalekovoda i systemske funkcije zaštite. To su funkcije zaštite od njihanja snage i zaštite od gubitka sinkronizma. Systemski poremećaju mogu nastati na bilo kojem mjestu u elektroenergetskom sustavu, a ne nužno na samom dalekovodu. Njihanje snage i gubitak sinkronizma su poremećaji koji se javljaju na širem području elektroenergetskog sustava te mogu inicirati prorađu systemskih zaštita na više dalekovoda.

U referatu će se analizirati nekoliko scenarija s različitim poremećajima u prijenosnoj mreži i elektranama te njihov utjecaja na relejnu zaštitu dalekovoda 400 kV. Odziv systemskih funkcija u Matlab modelu biti će simuliran za male i veće oscilacije radne snage na 400 kV prijenosnim dalekovodima.

Također će se simulirati i scenariji s nastankom gubitka sinkronizma u prijenosnoj mreži. U Matlab modelu, biti će modelirane sistemske zaštite i impedantne funkcije u postojećim uređajima relejne zaštite 400 kV dalekovoda u Prijenosnom području Split. To su 400 kV dalekovodi Konjsko – RHE Velebit i RHE Velebit – Melina. Analizirat će se poremećaj u hidroelektrani Zakučac (2014. godine), koji je imao za posljedicu osciliranje radne snage na generatorima, a koje se proširile i na 400 kV prijenosnu razinu.

2. MJERENJA U RELEJU I WAM SUSTAVU

U analizama će se provjeriti utjecaj sistemskih poremećaja na rad relejne zaštite predmetnih dalekovoda. Pratiti će se gibanje radne točke impedancije na dalekovodu u odnosu na poligonalnu karakteristiku distantne zaštite u RX ravнини [1]. Podloga za izradu modela jesu mjerenja koja se koriste u relejima i sinkroniziranim mjernim jedinicama Sustava za širi nadzor mreže, (Wide area monitoring system, WAM sustava) slika 1. Model koristi mjerenja na krajevima dalekovoda kako bi se mjerila impedancija i njeno gibanje u odnosu na poligonalne karakteristike zaštitne funkcije. Kako su njihanje snage i gubitak sinkronizma u pravilu simetrična trofazna pojava, tako će se u narednim analizama koristiti samo direktne komponente napona i struja.



Slika 1. Mjerenja relejne zaštite i PMU s pripadajućom karakteristikom

Naponi (1) i struje (2) na početku voda koriste se za sve funkcije unutar releja, a za potrebe internih proračuna koriste se kompleksne vrijednosti napona (3) i struja (4).

$$U_V(t) = U_V \cdot [\cos(\omega \cdot t + \varphi_U) + j \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_U)] \quad (1)$$

$$I_V(t) = I_V \cdot [\cos(\omega \cdot t + \varphi_I) + j \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_I)] \quad (2)$$

$$\bar{U}_V = \text{Re}\{\bar{U}_V\} + j \cdot \text{Im}\{\bar{U}_V\} \quad (3)$$

$$\bar{I}_V = \text{Re}\{\bar{I}_V\} + j \cdot \text{Im}\{\bar{I}_V\} \quad (4)$$

Napon koji mjeri relej na početku voda definiran je s (5) i (6).

$$\bar{U}_V = R_V \cdot \bar{I}_V + jX_V \cdot \bar{I}_V \quad (5)$$

$$\text{Re}\{\bar{U}_V\} + j \text{Im}\{\bar{U}_V\} = (R_V + jX_V) \cdot (\text{Re}\{\bar{I}_V\} + j \text{Im}\{\bar{I}_V\}) \quad (6)$$

Mjerenje impedancije obavlja se u milisekundnom ciklusu i stalno se uspoređuje s podešenim vrijednostima. Impedancija se također računa u kompleksnom obliku (7) i (8).

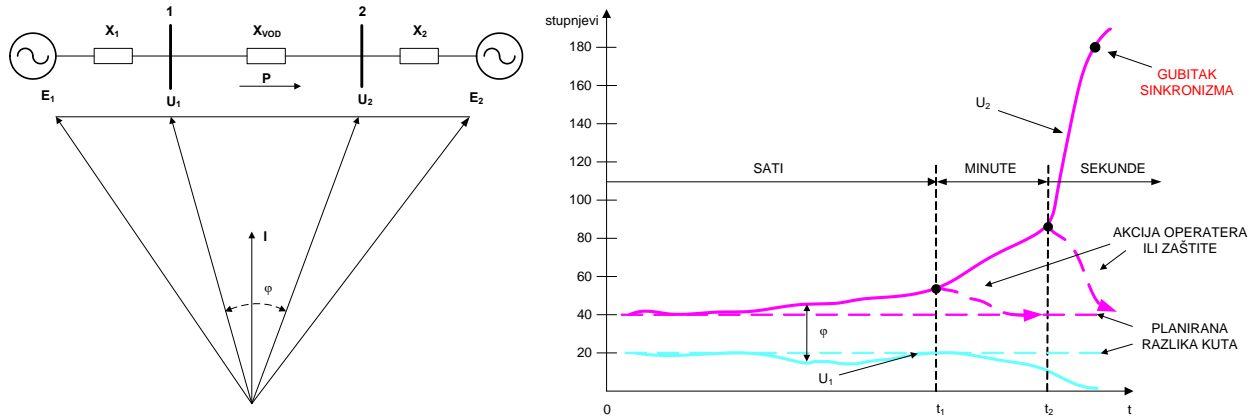
$$X_V = \frac{\text{Im}\{\bar{U}_V\} \cdot \text{Re}\{\bar{I}_V\} - \text{Re}\{\bar{U}_V\} \cdot \text{Im}\{\bar{I}_V\}}{\text{Re}\{\bar{I}_V\}^2 + \text{Im}\{\bar{I}_V\}^2} \quad (7)$$

$$R_V = \frac{\text{Re}\{\bar{U}_V\} \cdot \text{Re}\{\bar{I}_V\} + \text{Im}\{\bar{U}_V\} \cdot \text{Im}\{\bar{I}_V\}}{\text{Re}\{\bar{I}_V\}^2 + \text{Im}\{\bar{I}_V\}^2} \quad (8)$$

WAM sustav pruža nadzor dalekovoda na način da se prati kut napona između krajeva dalekovoda. Na taj način može posredno pratiti prijenos snage na dalekovodu (9).

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_{VOD}} \cdot \sin \varphi \quad (9)$$

Praćenje kuta napona na krajevima dalekovoda ili krajevima prijenosnih koridora otvara se dodatna funkcionalnost s kojom se može povećati sigurnost vođenja EES-a, slika 2.



Slika 2. Dvostrojni model i praćenje kuta napona na krajevima dalekovoda

U normalnom pogonu razlika kuta $\Delta\varphi$ je stabilna i odražava prenetu snagu na dalekovodu. Također se preko $\Delta\varphi$, može pratiti bilo koja sklopna operacija u prijenosnoj mreži. Kod nastanka poremećaja mijenja se $\Delta\varphi$, te ako izostane akcija operatera ili zaštite može se dostići točka gubitka sinkronizma.

3. SIMULACIJSKO OKRUŽENJE MODELA PRIJENOSNE MREŽE I RELEJNE ZAŠTITE

Simulacijsko okruženje je ostvareno u Matlabu, a koje pokriva model prijenosne mreže i transformatorskih stanica te model za mjerenje i zaštitu dalekovoda 400 kV. Model prijenosne mreže obuhvaća hrvatsku 400 kV prijenosnu mrežu s transformatorskim stanicama. Model u Matlabu se sastoji od dva osnovna dijela. Prvi dio je model prijenosne mreže 400 kV u RH, koji se sastoji od pet dalekovoda i šest elektroenergetskih objekata. Drugi dio je model zaštite dalekovoda [2], koji se sastoji od osnovnih zaštita dalekovoda i sistemskih zaštita.

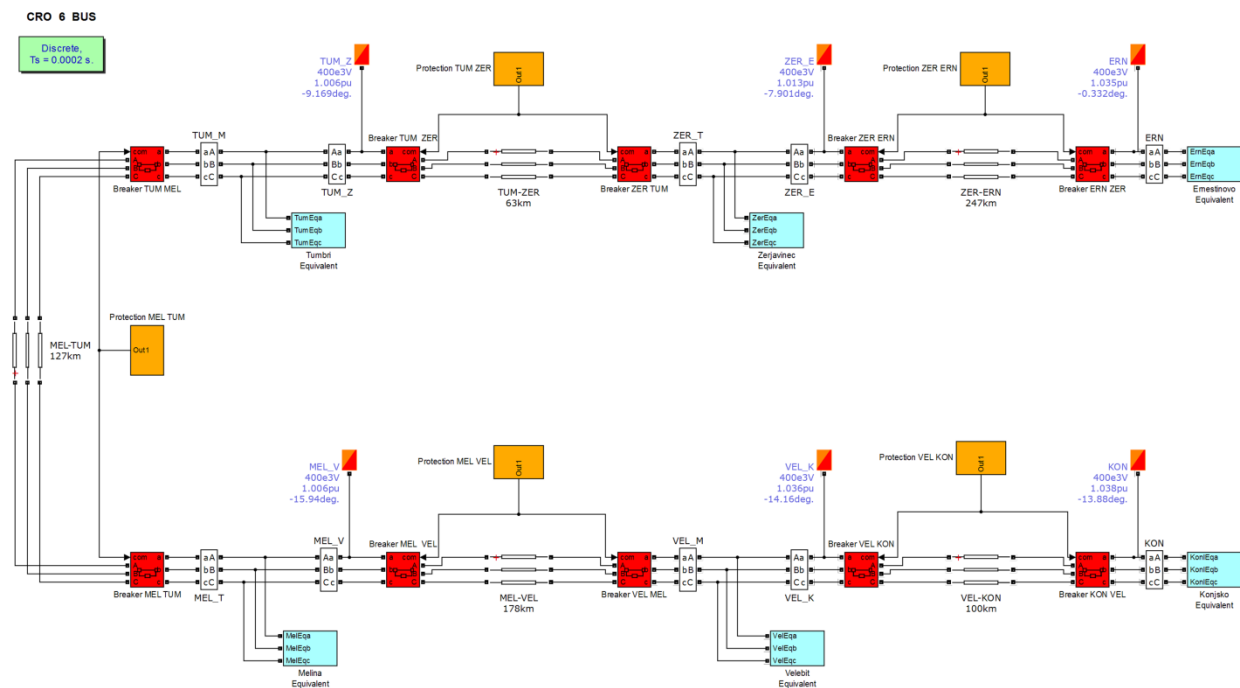
3.1. Matlab model

Model prijenosne mreže napravljen je u Matlabu na osnovu iskustva s radom postojećeg WAM sustava u NDC-u. Koristi se trofazni model i simulira se tok sinkroniziranih podataka iz sinkroniziranih mjernih jedinica. U modelu se koriste za simulaciju rada zaštite i ostalih mjerenja direktne komponente napona i struje. Modul za mjerenja postavljen je na krajevima 400 kV dalekovoda te su na taj način simulirani uvjeti za mjerenje i potpuni nadzor na dalekovodu.

Elektroenergetski objekti (TS i RHE) modelirani su s ekvivalentima. Ekvivalenti sadrže sve 400 kV spojene dalekovode prema susjednim državama, te terete priključene na sabirnicama 400 kV. Generatori su modelirani u elektrani kao i izvori na sabirnicama 220 kV u TS Konjsko i TS Melina. U tim stanicama u slučaju proizvodnje u tim regijama, postoji tok radne snage iz mreže 220 kV u mrežu 400 kV.

Svi dalekovodi i elementi u ekvivalentima imaju modeliran prekidač te je na taj način omogućena velika fleksibilnost u simulaciji. Također je model zaštite dalekovoda 400 kV priključen na prekidače te funkcije zaštite mogu djelovati na uključanje i/ili isključenje prekidača. Na taj način može se simulirati ciklus automatskog ponovnog uklopa na dalekovodu.

Model je podešavan i prilagođavan korištenjem snimljenih arhivskih podataka prvenstveno iz WAM sustava i relejne zaštite, a i iz SCADA sustava, slika 3.

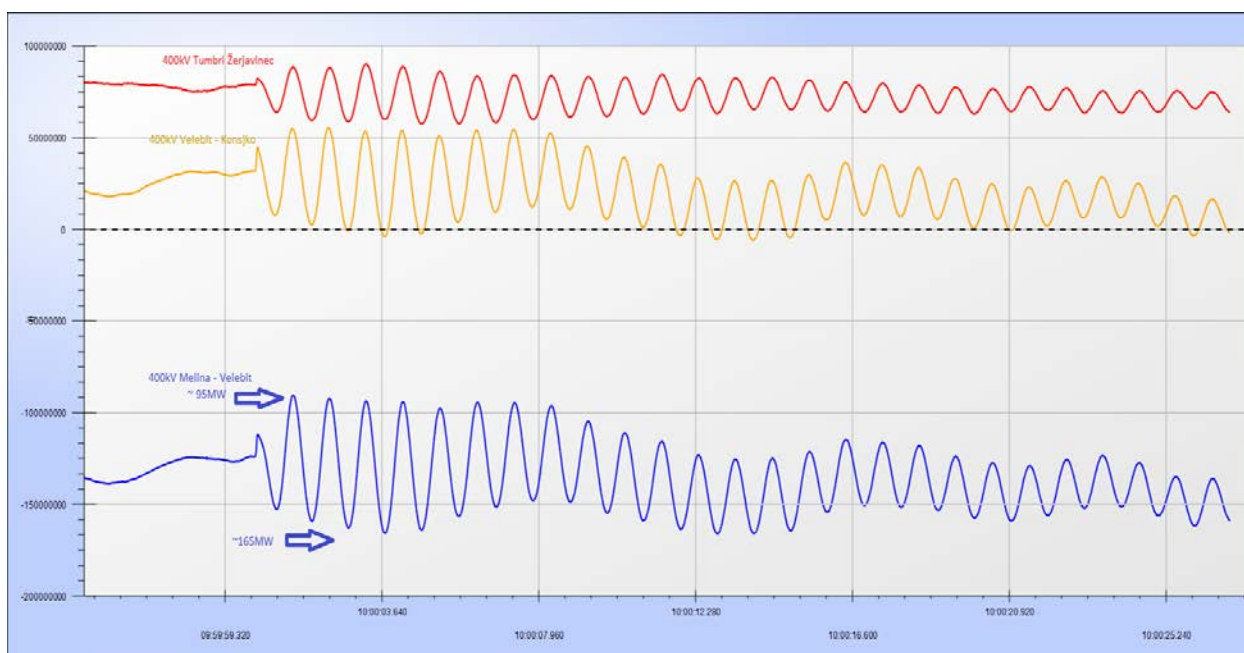


Slika 3. Hrvatski šestorosabirnični model prijenosne mreže

Verifikacija i validacija modela potvrđena je na više snimljenih poremećaja. Kao primjer koji se može posebno istaknuti je poremećaj uzrokovan kvarom u HE Zakućac kada su oscilacije i njihanja radne snage propagirali po cijeloj južnoj europskoj 400 kV prijenosnoj mreži.

3.2. Poremećaj u prijenosnoj mreži i odziva modela za potrebe relejne zaštite

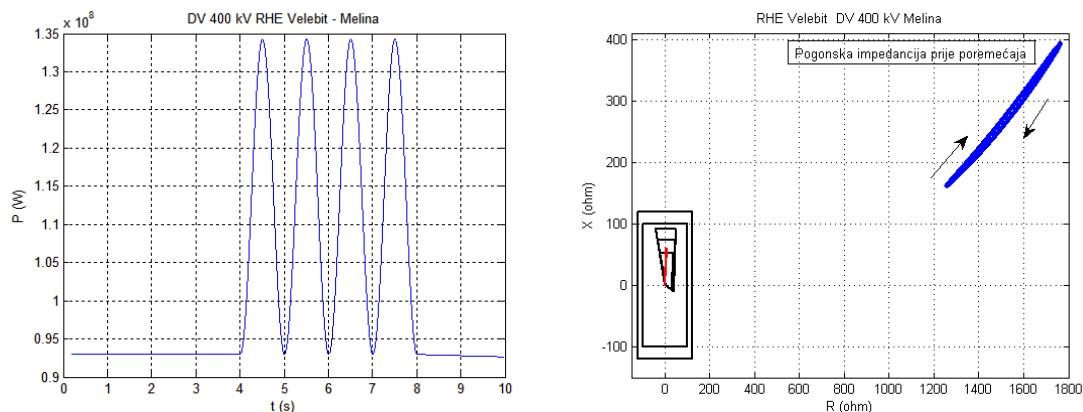
Primjer poremećaja u EES-u s oscilacijom radne snage na prijenosnim 400 kV dalekovodima [3] kod poremećaja čiji je izvor bio u HE Zakućac, zabilježene su u WAM sustavu u NDC-u, slika 4.



Slika 4. Početak oscilacija radne snage na 400 kV dalekovodima kod poremećaja u HE Zakućac

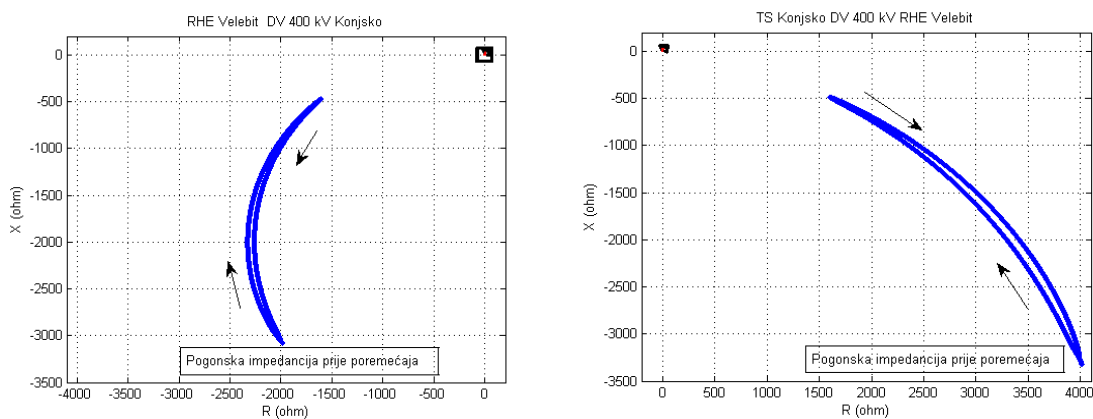
Dalekovodi u PrP-u Split bili su slabo opterećeni. Dominantni mod elektromehaničkih oscilacija prema Prony analizi bio je s frekvencijom $f_0 = 0.96$ Hz i koeficijentom prigušenja oscilacije $\xi=0.057$. Odstupanja i oscilacije su također zabilježene i na frekvenciji na cijelom području Dalmacije i Primorja, na razinama 400 i 220 kV, gdje su ugrađene sinkronizirane mjerne jedinice. Prony analiza također je na uzorku frekvencije pokazala iste parametre za oscilaciju $f_0 = 1.0$ Hz s nešto manjim koeficijentom prigušenja oscilacije $\xi=0.0043$ (ovisno o trenutku analize oscilacije, budući je poremećaj trajao dulje).

Poremećaj je bio niskog intenziteta i nije ugrozio rad prijenosnog sustava 400 kV. Korištenjem modela simuliran je takav poremećaj kako bi se analizirao utjecaj na distantnu zaštitu. Niz podataka i zaključaka iz [3], korišteno je za pripremu simulacijskih parametra u Matlab modelu. Na slici 5 prikazane su oscilacije radne snage i u RX ravni karakteristika distantnog releja i kretanje pogonske impedancije za taj poremećaj u RHE Velebit na DV 400 kV Melina.



Slika 5. DV 400 kV RHE Velebit – Melina, oscilacija radne snage na vodu i RX ravni s karakteristikom releja i kretanjem pogonske impedancije

Na desnom oscilogramu, crvenom bojom označena je karakteristika voda, a plavom bojom kretanje pogonske impedancije kod njenja snage na vodu. DV 400 kV RHE Velebit – Melina je bio opterećen cca. 100 MW. Na slici 6 za isti poremećaj prikazane su u RX ravni, karakteristike distantne zaštite (gornji dio) za oba releja na DV 400 kV RHE Velebit – Konjsko.



Slika 6. DV 400 kV RHE Velebit – Konjsko, RX ravni s karakteristikom releja i kretanjem pogonske impedancije kod njenja snage

Kako je dalekovod gotovo bio u praznom hodu (opterećen samo s 30-tak MW), korišteno je prikladno mjerilo kako bi se obuhvatila pogonska impedancija koja je bila "vrlo udaljena" u odnosu karakteristike relaja. U konkretnom slučaju nije bilo prorade niti jedne funkcije u sustavima relejne zaštite dalekovoda 400 kV, budući se trajektorija pogonske impedancije niti u jednom trenutku nije približila ni karakteristici impedantnih zoni, a ni karakteristici za detekciju njenja snage.

4. KLJUČNI POKAZATELJI PRIJENOSNE MREŽE KOD NJIHANJA SNAGE

Simulacije su pripremljene na temelju pogonskih iskustava o poremećajima koji bi se mogli pojaviti u konkretnoj mreži. Kako se radi o rijetkom poremećaju u prijenosnoj mreži koriste se arhivski podaci iz dužeg vremenskog perioda [4], [5].

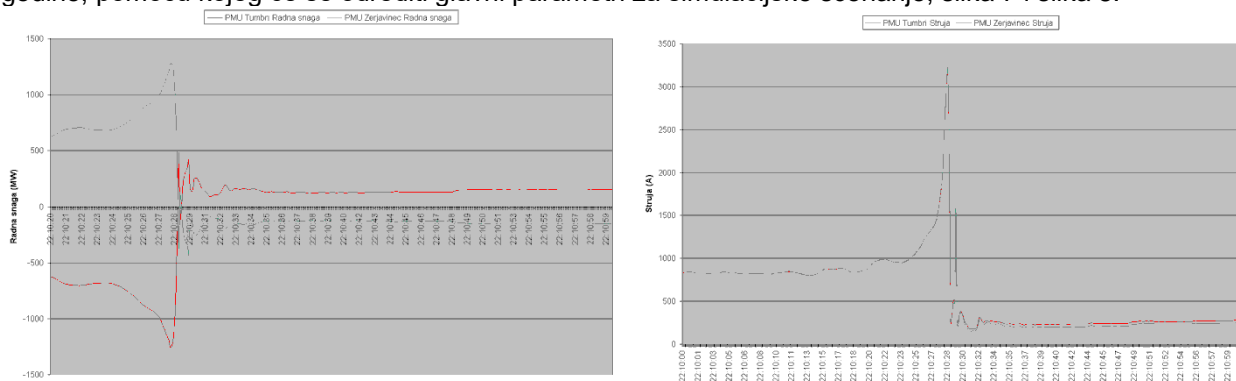
Cilj izvođenja niza simulacija za karakteristične situacije u prijenosnoj mreži, je dobiti ključne pokazatelje ponašanja prijenosne mreže, a koji se mogu koristiti za ulazne parametre u sustavima relejne zaštite 400 kV dalekovoda. Na primjer, jedan od ključnih pokazatelja (KP) ponašanja je praćenje razlike kuta napona na krajevima dalekovoda. Prema dosadašnjoj praksi u Tablici I, prikazane su četiri moguće kategorije za razliku kuta $\Delta\varphi$.

Tablica I. Ključni pokazatelji (KP) za razliku kuta na krajevima dalekovoda

	Kategorije		Razlika kuta (stupnjevi)
1.	Prihvatljivo	■	$\Delta\varphi \leq 3^\circ$
2.	Izvodljivo	■	$3^\circ < \Delta\varphi \leq 10^\circ$
3.	Vrlo zahtjevno	■	$10^\circ < \Delta\varphi \leq 20^\circ$
4.	Neprihvatljivo	■	$\Delta\varphi > 20^\circ$

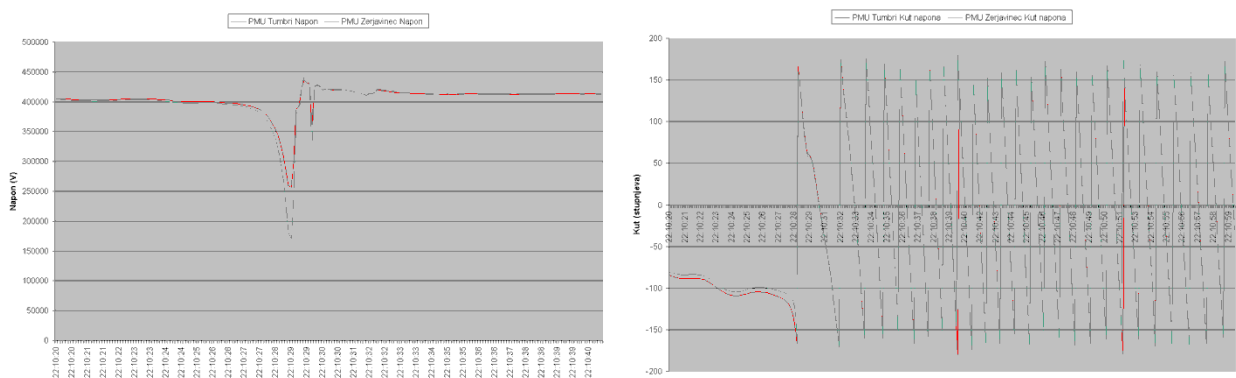
Obuhvat simulacija u prijenosnoj mreži određen je temeljem dosadašnjeg iskustva sa sličnim poremećajima. U prethodno opisanom poglavlju može se reći, kako je definiran jedan rubni scenarij s malo opterećenim dalekovodom i malim oscilacijama radne snage.

Kao drugi rubni scenarij za razmatranje poslužit će veliki europski poremećaj od 4.11.2006. godine, pomoću kojeg će se odrediti glavni parametri za simulacijske scenarije, slika 7 i slika 8.



Slika 7. DV 400 kV Tumbri – Žerjavinec, povećanje radne snage i struje zabilježeno s WAM sustavom

Povećanje struje na zahvaćenim prijenosnim dalekovodima na sve tri naponske razine bilo je osjetno iznad nazivnih vrijednosti, što je zabilježeno i u WAM sustavu. Uz smanjivanje napona, posljedica je bila isključivanje dalekovoda djelovanjem distantne zaštite.



Slika 8. DV 400 kV Tumbri – Žerjavinec, smanjivanje napona i razlika kuta kod dijeljenja EES-a zabilježeno s WAM sustavom

Taj poremećaj je u našoj prijenosnoj mreži imao snažno obilježje kaskadnog poremećaja s izrazitim oscilacijama radne i jalove snage i smanjivanjem frekvencije (do 1 Hz).

Stanje kuta napona zabilježeno je na kratkom (60 km) dalekovodu DV 400 kV Tumbri – Žerjavinec, gdje je vidljivo povećanje razlike kuta praktično do granice gubitka sinkronizma $\Delta\varphi = 180^\circ$. Dakle veličina $\Delta\varphi$ može biti od praktične koristi za ukazivanje stanja na prijenosnoj mreži. Prikazani su najkarakterističniji detalji zabilježeni u WAM sustavu. Također poremećaj je zabilježeno na više sustava relejne zaštite dalekovoda 400 kV.

Razmatraju se samo poremećaji na 400 kV razini. Analizom simulacije za poremećaj s izvorom u HE Zakučac (220 i 110 kV) pokazuje, kako takav poremećaj na nižoj naponskoj razini, ne može ugroziti stabilnost na 400 kV. Poremećaji koji se mogu pojaviti iz šireg područja 400 kV prijenosne mreže mogu imati značajan utjecaj. Za PrP Split to će biti smjerovi prema Mostaru i prema Melini. Raspon frekvencija koji se razmatrao podijeljen je prema karakterističnim vrijednostima za takve oscilacije [1], [6]:

- za lokalni mod elektrane između 0,8 do 2,0 Hz,
- za međupodručne oscilacije između 0,1 i 0,8 Hz,
 - grupa generatora oscilira prema drugoj grupi, s frekvencijom između 0,4 do 0,7 Hz,
 - dijelovi EES prema drugom dijelu EES-a s frekvencijom između 0,1 i 0,3 Hz.

Određivanje opterećenja dalekovoda prilagođeno je za 400 kV prijenosnu mrežu PrP-a Split, a koju karakteriziraju dugačka konfiguracija uzduž jadranske obale, nekad i bez potpore proizvodnih jedinica, Tablica II.

Tablica II. Simulacijski scenariji za 400 kV dalekovode u PrP-u Split

Redni broj poremećaja	Opterećenje dalekovoda	Izvor oscilacija	Oscilacije radne snage
1.*	Malo opterećen < 100MW	HE Zakučac 110 kV	Mali poremećaj $f=1,0\text{Hz}$, $\Delta f=0,035\text{Hz}$
2.	Srednje opterećen ~ 300MW Jako opterećen 400-500MW	Mostar 400 kV	Srednji poremećaj $f=0,6\text{Hz}$, $\Delta f=0,2\text{Hz}$
3.			Veliki poremećaj $f=0,6\text{Hz}$, $\Delta f=0,5\text{Hz}$
4.			Srednji poremećaj $f=0,8\text{Hz}$, $\Delta f=0,2\text{Hz}$
5.			Veliki poremećaj $f=0,8\text{Hz}$, $\Delta f=0,5\text{Hz}$
6.	Srednje opterećen ~ 300MW Jako opterećen 400-500MW	Divača 400 kV	Srednji poremećaj $f=0,6\text{Hz}$, $\Delta f=0,2\text{Hz}$
7.			Veliki poremećaj $f=0,6\text{Hz}$, $\Delta f=0,5\text{Hz}$
8.			Srednji poremećaj $f=0,8\text{Hz}$, $\Delta f=0,2\text{Hz}$
9.			Veliki poremećaj $f=0,8\text{Hz}$, $\Delta f=0,5\text{Hz}$

* - izvor poremećaja u HE Zakučac (2014. godine)

Simulacijski scenarij 1* obradio je postojanje izvora oscilacija na nižim naponskim prijenosnim razinama (220 i 110 kV). Taj scenarij temeljen je na stvarnom poremećaju koji je nastao u HE Zakučac 2014. godine. Poremećaji s većim odstupanjima od nazivne frekvencije mogući su samo na 400 kV prijenosnoj razini. Pravci mogućih oscilacija radne snage za prijenosnu mrežu PrP-a Split su na dalekovodima prema TS Mostar i TS Melina (odnosno iz pravca Divače). Frekvencija oscilacija u simulacijama odabrana je za raspon međupodručnih oscilacija, a to su iznosi 0,6 Hz i 0,8 Hz.

5. SIMULACIJE NJIHANJA RADNE SNAGE I NJIHOV UTJECAJ NA RAD DISTANTNE ZAŠTITE

Praćenje njihanja radne snage na dalekovodima i ostalih parametara koji su ključni za poremećaje, a mogu se koristiti za relejnu zaštitu, bit će prikazani tablično. Karakteristični poremećaji za njihanje snage i gubitak sinkronizma prikazat će se u RX ravnini zajedno s karakteristikama releja. Dio rezultata simulacije obradit će se za DV 400 kV Konjsko – RHE Velebit u Tablici III, a za DV 400 kV RHE Velebit – Melina u Tablici IV. Prikazati će se dva parametra vezana za radnu snagu, to je iznos amplitude oscilacije radne snage i brzina promjene snage $\frac{dP}{dt}$. Parametri od direktnog značenja za relejnu zaštitu

su brzina promjene otpora $\frac{dR}{dt}$ i dvije veličine vezane za kut napona na krajevima dalekovoda, to su

razlika kuta, $\Delta\varphi$ i brzina promjene kuta $\frac{d\varphi}{dt}$. Te veličine mogu biti od koristi pri izboru podešenja sistemskih funkcija relejne zaštite.

Tablica III. Rezultati simulacije za 400 kV Konjsko – RHE Velebit

Redni broj poremećaja	Oscilacije snage P (MW)	dP/dt (MW/s)	dR/dt (ohm/s)	$\Delta\phi$ (stupanj)	KP za kut	d ϕ /dt (stupanj/s)	Ulazi u karakteristike releja
1.*	50	200	8400	0,8	■	2,4	Ne
2.	640	1040	840	8,5	■	16	Ne
3.	740	2000	1400	27	■	52	Da
4.	560	1400	830	6	■	16	Ne
5.	950	2850	1350	18	■	44	Ne
6.	200	380	2450	2,5	■	5	Ne
7.	495	880	118000	5,4	■	11	Ne
8.	190	500	1050	2	■	5	Ne
9.	450	1200	13500	4	■	12	Ne

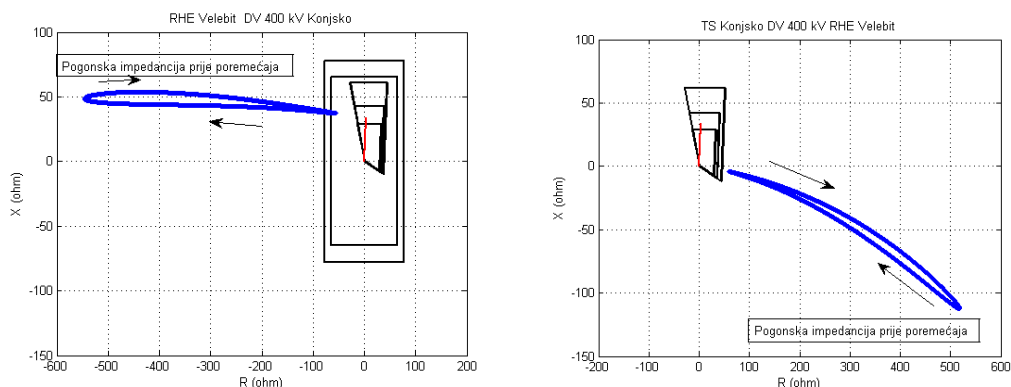
Tablica IV. Rezultati simulacije za 400 kV RHE Velebit - Melina

Redni broj poremećaja	Oscilacije snage P (MW)	dP/dt (MW/s)	dR/dt (ohm/s)	$\Delta\phi$ (stupanj)	KP za kut	d ϕ /dt (stupanj/s)	Ulazi u karakteristike releja
1.*	40	120	1500	0,8	■	2,4	Ne
2.	300	580	1300	6	■	15	Ne
3.	400	1150	2100	17	■	36	Da
4.	280	730	450	6	■	16	Ne
5.	445	1450	800	15	■	38	Ne
6.	205	640	88000	7,5	■	14	Ne
7.	630	1420	86000	19	■	35	Ne
8.	330	830	1430	10	■	15	Ne
9.	750	1950	12000	14	■	36	Ne

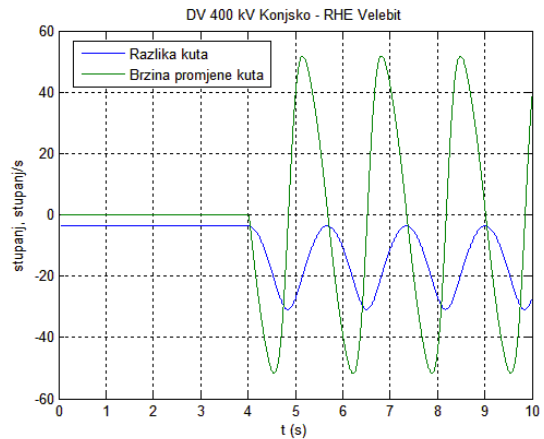
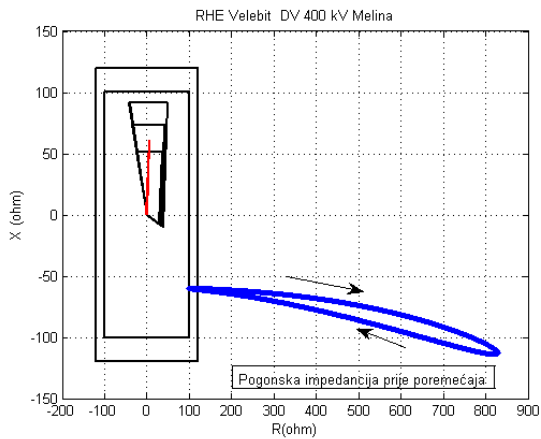
Odabrano vrijeme simulacije za svaki pojedini poremećaj je 10 sekundi. Cilj je bio u tri grupe poremećaja analizirati utjecaj njihovanja radne snage na rad distantne zaštite i zaštite od njihovanja snage s postojećim parametrima podešenja u relejima.

5.1. Odzivi kod srednje opterećenog dalekovoda i velikog poremećaja

Za srednje opterećene dalekovode napravljene su četiri simulacije, od kojih je najinteresantnija simulacija broj 3. Kod simulacije tog poremećaja dobivene su velike promjene u veličinama kuta $\Delta\phi$ i brzine promjene kuta $\frac{d\phi}{dt}$, na dalekovodu 400 kV Konjsko – RHE Velebit, slike 9 i 10.



Slika 9. DV 400 kV RHE Velebit – Konjsko, RX ravnina s karakteristikom releja i kretanjem pogonske impedancije kod njihovanja snage za srednji poremećaj

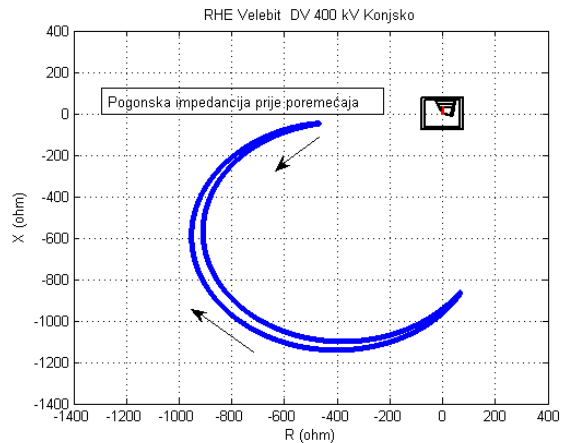
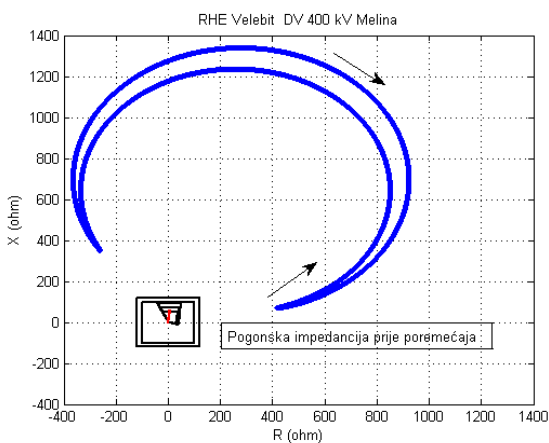


Slika 10. DV 400 kV RHE Velebit – Melina, RX ravnina s karakteristikom releja i kretanjem pogonske impedancije kod njihanja snage i DV 400 kV RHE Velebit – Konjsko razlika kuta i brzina promjene kuta za srednji poremećaj

Trajektorija pogonske impedancije tijekom njihanja dolazi rubno u karakteristiku njihanja snage distantne zaštite, nekoliko puta tijekom simulacije.

5.2. Odzivi kod jako opterećenog dalekovoda i velikog poremećaja

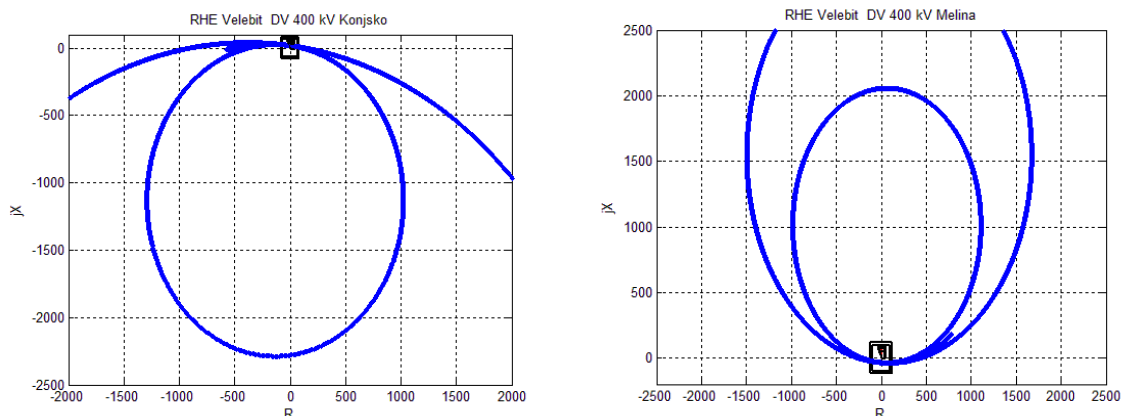
Izdvojiti će se simulacija broj 9, za jako opterećen dalekovod s relativno velikim njihanjem radne snage, slika 11. U RX ravnini prikazano je gibanje trajektorije impedancije za releje u RHE Velebit. Radi zapažanja ovakvih poremećaja u EES-u, pomoću WAM sustava moguće je generirati upozorenje, a koje se može uključiti u SCADA sustav. Relejna zaštita neće izdati alarm u ovakvim slučajevima.



Slika 11. DV 400 kV RHE Velebit – Konjsko, RX ravnina s karakteristikom releja i kretanjem pogonske impedancije kod njihanja snage za veliki poremećaj

5.3. Odzivi kod gubitka sinkronizma

Njihanje snage može prijeći u puno ozbiljniji poremećaj, a to je gubitak sinkronizma. To je karakterizirano s velikim oscilacijama radne snage i promjenama razlike kuta napona preko 180°. Primjer takvog poremećaja prikazan je za oba dalekovoda 400 kV u RHE Velebit, slika 12. Izvor oscilacija je na DV Mostar. Trajektorija impedancije prolazi kroz karakteristike distantne zaštite za DV 400 kV Konjsko – RHE Velebit, a za DV 400 kV RHE Velebit – Melina samo kroz poligon njihanja snage.



Slika 12. DV 400 kV RHE Velebit – Konjsko i DV 400 kV RHE Velebit – Melina, RX ravnina s karakteristikom releja i kretanjem pogonske impedancije za gubitak sinkronizma

6. ZAKLJUČAK

Simulacijsko okruženje kreirano je u Matlabu modelu za 400 kV prijenosnu mrežu s elektroenergetskim objektima, kao i podsustav za mjerenje i zaštitu 400 kV dalekovoda. U modelu su napravljene funkcije zaštite temeljene na direktnim komponentama. Karakteristike distantne zaštite na 400 kV vodovima u PrP-u Splitu također su postavljene u modelu.

Simulacija njihanja radne snage provedena je s ciljem sagledavanja utjecaja takvih poremećaja na postojeće zaštite. Postojeći sustavi relejne zaštite 400 kV dalekovoda u PrP-u Split, u slučaju potrebe mogu relevantno i kvalitetno odgovoriti na poremećaje, koji mogu nastati u širem dijelu elektroenergetskog sustava, a posebno u udaljenoj prijenosnoj mreži.

Vođenje prijenosne mreže može se unaprijediti korištenjem informacija koje generira WAM sustav. Pomoću tog sustava, dodatni kriteriji i alarmi trebaju se uključiti u SCADA sustav i na taj način su na raspolaganju za vođenje EES-a. Podloga za te korake, mogu biti u ovom radu dobiveni ključni pokazatelji za razliku kuta napona između krajeva dalekovoda, kao i neki drugi pokazatelji.

Pomoću WAM sustava mogu se generirati alarmi i prije nastupa takvog stanja, što je vidljivo iz tablica III i IV. Sustavi relejne zaštite za ovakvu vrstu poremećaja generiraju alarme kada je već nastupio ozbiljan poremećaj u prijenosnoj mreži.

Rad autora sufinancirali su Hrvatska zaklada za znanost i Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o. kroz projekt Smart Integration of RENewables - SIREN (I-2583-2015).

7. LITERATURA

- [1] P. Kundur, "Power System Stability and Control", EPRI Power System Engineering Series, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [2] M.M. Eissa, M.E. Masoud, M.M.M. Elanwar, "A Novel Back Up Wide Area Protection Technique for Power Transmission Grids Using Phasor Measurement Unit," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 1, January 2010, pp. 270-278, 2010.
- [3] R. Rubeša, "HOPS Wide Area Monitoring System recordings of Oscillations on the 14th November 2014," Report for the ENTSO-e System Protection and Dynamics Group, HOPS, Croatia, February 2015. pp 1-12
- [4] Union of the Co-ordination of Transmission of Electricity - UCTE, "Final report - System Disturbance on 4 November 2006," January 2007, Brussels, Belgium. pp. 1–85, 2007.
- [5] Z. Čerina, R. Vlačević, "Analiza rada sustava relejne zaštite u mreži PrP Zagreb pri pogonskom događaju 04.11.2006. u 22.10 sati", HEP Operator prijenosnog sustava, Prijenosno područje Zagreb, Zagreb, Hrvatska, studeni 2006, stranice 1-10
- [6] M. Stojšavljević, D. Nemeč, I. Ivanković, "WAMS in Croatian Power System", 2nd International Conference, Monitoring of Power System Dynamics Performance, Saint Petersburg, Russia, April, 2008, pp 1-9.