

Igor Ivanković
HOPS
igor.ivankovic@hops.hr

Boris Avramović
HOPS
boris.avramovic@hops.hr

Igor Kuzle
FER
igor.kuzle@fer.hr

Ninoslav Holjevac
FER
ninoslav.holjevac@fer.hr

MODELI ZA DINAMIČKE PRORAČUNE U PRIJENOSNOJ MREŽI

SAŽETAK

U radu su opisana dva modela prijenosne mreže razvijena u Matlab okruženju. Prvi model je nastao na temelju hrvatske prijenosne mreže 400 kV, a drugi je nastao na osnovi IEEE modela s 9 sabirnica. Modeli sadrži približno isti broj elemenata mreže, dalekovoda i sabirnica visokog napona, 400 odnosno 230 kV. Modeli su izrađeni s glavnim ciljem simulacija dinamičkih pojava u prijenosnoj mreži. Pomoću oba modela mogu se simulirati pojave u milisekundnoj rezoluciji. Modeli su fleksibilni i poslužili su za simulacije klasičnih kratkih spojeva u mreži te za simulacije sistemskih poremećaja, poput kutne i naponske nestabilnosti. Dakle modeli su maksimalno prilagođeni za potrebe istraživanja na području reljene zaštite. Na modelima je moguće pripremiti veliki broj simulacijskih scenarija u raznim vremenskim rezolucijama i trajanjima. Također se mogu napraviti i analize tokova snaga. Podaci dobiveni iz ovih modela su vrlo dobro strukturirani te se mogu koristiti za analize ponašanja prijenosne mreže. Uz opise oba modela, dani su i podaci o svim elementima prijenosne mreže koji su modelirani.

Ključne riječi: hrvatski model sa 6 sabirnicama, IEEE model s 9 sabirnicama, Matlab model, model prijenosnog sustava

MODELS FOR DYNAMIC SIMULATIONS IN TRANSMISSION NETWORK

SUMMARY

Paper describes two models for transmission network developed in Matlab tool. First model was based on Croatian transmission network 400 kV rated voltage and second one was based on IEEE 9 buses model. Models have very similar number of network elements, lines and buses of high voltage 400 and 230 kV. Models were designed for the purposes of simulation dynamics events in transmission network. With both models is possible to make simulations in millisecond range. Models are very flexible and it were used for simulations of standard short circuit in network and for system disturbances like is angle and voltage instabilities. So models were maximally adapted for researching in a field of relay protection. It is possible to simulate a large number of simulations scenarios in different time resolutions and intervals. Also is possible to make standard power flow analyses. Simulations results data were nicely structured and it is very useful for further analyses of transmission network behavior. Description of both models was given together with data for all transmission network elements.

Key words: Croatian model 6 buses, IEEE model 9 buses, Matlab model, model for transmission network

1. UVOD

Za potrebe istraživanja ponašanja visokonaponske prijenosne mreže kod raznih poremećaja (kratki spoj, kutna i naponska stabilnost, oscilacije snage i ostalo) napravljena su u Matlab okruženju dva modela. U navedenim modelima moguće je simulirati spore i brze poremećaje, a to su razni sistemski poremećaji i kratki spojevi na vodovima. U referatu će se prikazati u Matlab simulacijskom okruženju napravljene dinamičke matematičke modele prijenosne mreže ili dijela prijenosne mreže sa svim podacima potrebnim za modeliranje.

Jedan model je razvijen na temelju IEEE modela s devet sabirnica. Kod razvoja modela posebna pažnja je posvećena na prilagodbu i mogućnost korištenja za simuliranje složenih i brzih poremećaja u prijenosnoj mreži. Takva grupa poremećaja je iz domene kutne nestabilnosti. Model je pripremljen za simulaciju početne kutne nestabilnosti, a to su male oscilacije radne snage (small signal stability), zatim je moguće simulirati široku lepezu poremećaja njihanja snage u prijenosnoj mreži. Također je moguće simulirati i krajnji oblik kutne nestabilnosti, a to je gubitak sinkronizma.

Drugi model koji je razvijen, je model hrvatskog visokonaponskog prijenosnog sustava sa šest sabirnica. Model prati konfiguraciju unutarnje prijenosne mreže 400 kV, a također su modelirane veze prema susjednim prijenosnim mrežama te prema niže naponskim prijenosnim mrežama. Oba modela su pripremljena za raznovrsne simulacije rada relejne zaštite. Svi dalekovodi i ekvivalenti elektroenergetskih (EE) objekata u modelu, opremljeni su modelima prekidača, što je važno za simulaciju rada relejne zaštite. Također oba modela su provjeravani i prilagođavani prema dostupnim podacima iz literature odnosno iz arhive događaja i poremećaja koji su zabilježeni u prijenosnoj mreži. Procesu provjere modela posvećena je velika pažnja, kako bi se dobili što vjerodostojniji simulacijski rezultati.

Model IEEE9BUS je detaljno provjeren i validiran prema dostupnim podacima iz literature. Model omogućava izradu ispitnih scenarija za simulaciju jednostavnih i složenih kvarova u prijenosnoj mreži, od nekoliko milisekundi do nekoliko sekundi. Na temelju tog modela napravljen je drugi model prijenosne mreže. To je model za 400 kV hrvatsku prijenosnu mrežu za šest sabirnica (CRO6BUS). Taj model je također provjeravan na temelju arhiviranih podataka iz sustava za širi nadzor prijenosne mreže, upravljačkog sustava i relejne zaštite.

Dinamički matematički model je razvijen kako bi se stvorilo simulacijsko okruženje za istraživanje ponašanja prijenosnog sustava u normalnom pogonu i za vrijeme poremećaja kutne stabilnosti. U tom procesu korišteni su podaci iz PMU (Phasor Measurement Unit) uređaja kako bi se dobila dinamička slika prijenosnog sustava za potrebe istraživanja kutne stabilnosti, naponske i frekvencijske stabilnosti. Točan dinamički model je bitan kako bi se dobili kvalitetni rezultati i zaključci, koji će se kasnije koristiti za podešavanje uređaja u prijenosnoj mreži.

2. DINAMIČKI HRVATSKI ŠESTOROSABIRNIČNI MODEL PRIJENOSNOG SUSTAVA

2.1. Prijenosna mreža 400 kV u Hrvatskoj

Prijenosna mreža u Hrvatskoj je dio europske kontinentalne interkonekcije u njenom jugoistočnom dijelu. Ta mreža je dobro povezana sa susjednim prijenosnim sustavima na svim razinama. Postoji 10 prekograničnih dalekovoda 400 kV razine koji omogućavaju siguran pogon hrvatskog EES-a i njegovu dostatnost u slučajevima male domaće proizvodnje. Također je potrebno osigurati određene tranzite energije prema drugim prijenosnim mrežama, što čini prijenosnu mrežu i po tom pitanju osjetljivom. Osnovna shema povezanosti 400 kV mreže s susjednim prijenosnim sustavima i nižim naponskim razinama [1] dana je na Slici 1.

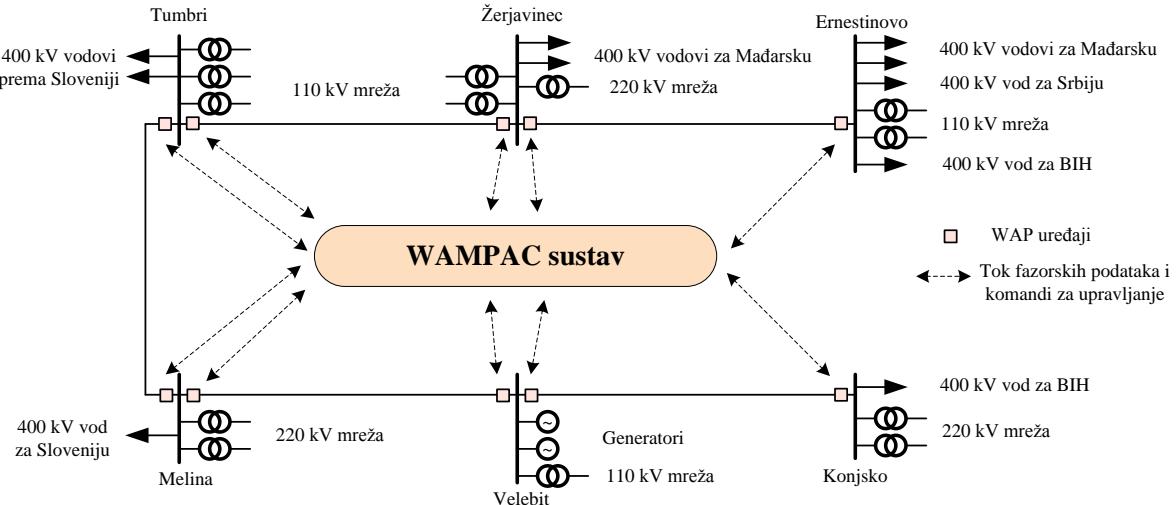
Duljina dalekovoda 400 kV nalazi se u kategoriji kratkih i srednjih duljina (63 do 230 km). Svi navedeni 400 kV dalekovodi imaju ugrađene PMU uređaje. Prema Slici 1, modeliran je hrvatski šestorosabirnični model (CRO6BUS) 400 kV prijenosne mreže za dinamičke proračune.

2.1.1. Osnovne značajke modela

Osnovni zahtjevi za simulacijsko okruženje koji su realizirani u modelu, su sljedeći:

- Razvijen je trofazni model prijenosne mreže
- Na modelima mreže mogu se obavljati proračuni tokova snaga
- Modeli mreže imaju mogućnost simulacije u vremenskoj rezoluciji u milisekundama
- Mogu se simulirati sve vrsta kvarova u mreži (tropolni, dvopolni, dvopolni sa zemljom i jednopolni kratki spoj te razvijajući kvarovi)
- Simulacija sistemskih poremećaja (kutne i naponske nestabilnosti), u prijenosnoj mreži

400 kV prijenosna mreža u Hrvatskoj



Slika 1. Osnovna shema hrvatske prijenosne mreže 400 kV i povezanost s ostalim prijenosnim sustavima i niženaponskom prijenosnom mrežom

Kako bi se mogli ispuniti navedeni zahtjevi, odabранo je simulacijsko okruženje u Matlabu, uz korištenje modula Simulink. Ovo okruženje je vrlo fleksibilno u kreiranju raznih modela i simulacijskih scenarija. Podaci dobiveni kao rezultati simulacija su dobro strukturirani i pogodni za analize i prezentacije. Model se sastoji od četiri glavna dijela:

- Vodovi 400 kV prijenosne mreže u Hrvatskoj.
- Agregati u RHE Velebit.
- Ekvivalenti ostalih elemenata u EE objektima, dalekovodi prema susjednim prijenosnim mrežama, mrežama 220 kV i 110 kV, te tereti.
- Dio za mjerjenje napona, struje, radne i jalove snage te dijela za dobivanje fazorskih veličina na svakom prijenosnom dalekovodu.

Također model koji se koristi za testiranje relejne zaštite i istraživanje dinamičkih pojava, treba raditi u milisekundnom području za razliku od proračuna tokova snaga. Model može za ovu vrstu proračuna biti manji nego za proračune tokova snaga.

Kako bi se mogli simulirati razne vrste poremećaja za potrebe ispitivanja funkcija relejne zaštite, na sve dalekovode i sve elemente u ekvivalentima EE objekata (transformatorskih stanica i elektrane) modelirani su i prekidači na svakom dalekovodu te svim elementima u ekvivalentima.

Osnovni dio Matlab modela čini hrvatska prijenosna mreža 400 kV dalekovoda. Podaci o vodovima dobiveni su iz više izvora, uređaji relejne zaštite, program za proračun kratkog spoja i tokova snaga te mjeranjem parametara pojedinih dalekovoda na terenu, Ti podaci su prilagođeni za upis u Matlab, Tablica I., te se odnose na trofazni sustav nazivne frekvencije 50 Hz.

Tablica I. Podaci za direktnе i nulte komponente parametre dalekovoda 400 kV

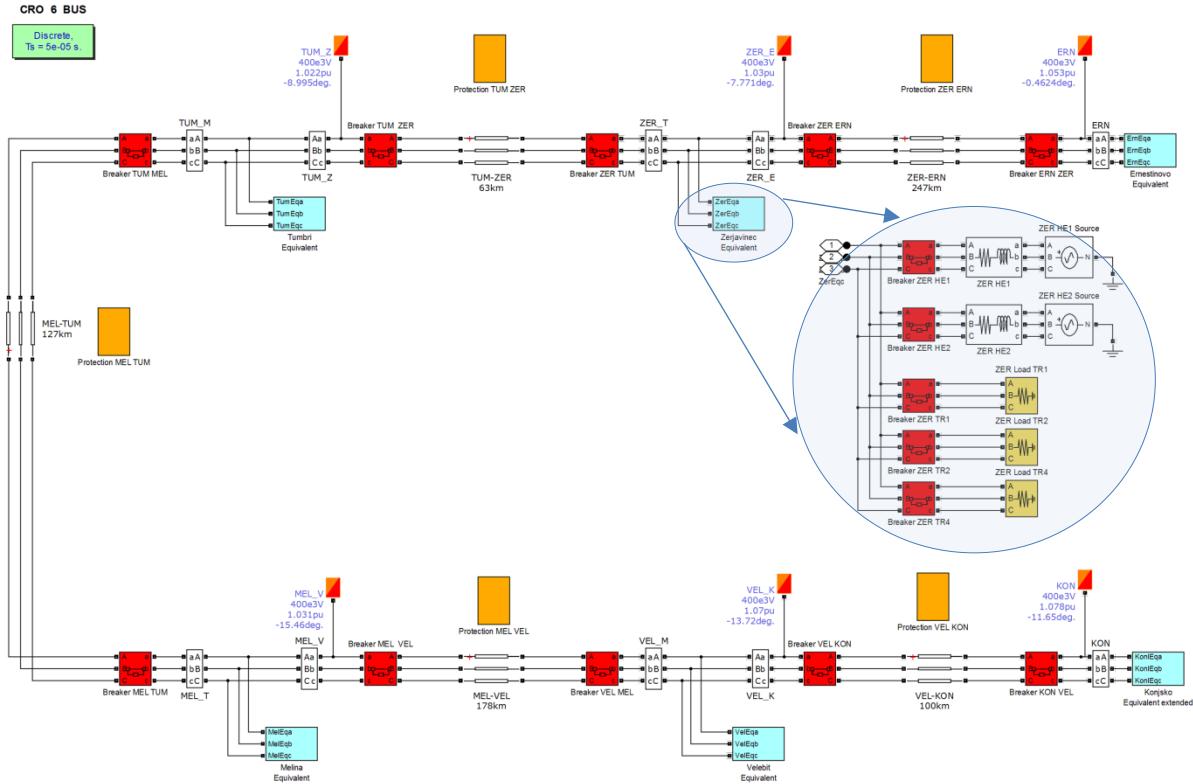
Parametri vodova	ZER-ERN	TUM-ZER	MEL-TUM	MEL-VEL	VEL-KONJ
r1 (Ω/km)	0.0319	0.0308	0.0300	0.0340	0.0340
r0 (Ω/km)	0.1897	0.1222	0.1920	0.2500	0.2500
I1 (H/km)	1.0554×10^{-3}	1.021×10^{-3}	1.00964×10^{-3}	1.0859×10^{-3}	1.0859×10^{-3}
I0 (H/km)	2.3120×10^{-3}	2.136×10^{-3}	3.2800×10^{-3}	2.6560×10^{-3}	2.6560×10^{-3}
c1 (F/km)	11.0828×10^{-9}	11.493×10^{-9}	11.2102×10^{-9}	11.2102×10^{-9}	11.2102×10^{-9}
c0 (F/km)	4.9363×10^{-9}	6.847×10^{-9}	5.4140×10^{-9}	8.0255×10^{-9}	8.0255×10^{-9}
duljina(km)	233	63	127	178	100

Parametri iz Tablice I., provjereni su također po kriteriju brzine širenja vala na dalekovodu prema,

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (1)$$

kako bi se mogli dobiti korektni rezultati simulacije. Dio podataka (uglavnom kapacitivnih veličina) je prema (1) neznatno korigiran kako bi se uopće mogao pokrenuti simulacijski scenarij u Matlab okruženju. Za model dalekovoda koristi se model s distribuiranim parametrima. Trofazni model omogućava osim simuliranja tropolnih kratkih spojeva i simulaciju nesimetričnih kvarova, kao i kvarova s različitim otporom na mjestu kvara.

Hrvatski model sa šest sabirnica i pet dalekovoda 400 kV [1] prikazan je na Slici 2. Na Slici 2 uvećan je detalj jednog ekvivalenta s kojim je nadomještena veza prema susjednom prijenosnom sustavu (dva dalekovoda prema Mađarskoj) te veze prema 220 i 110 kV prijenosnoj mreži.



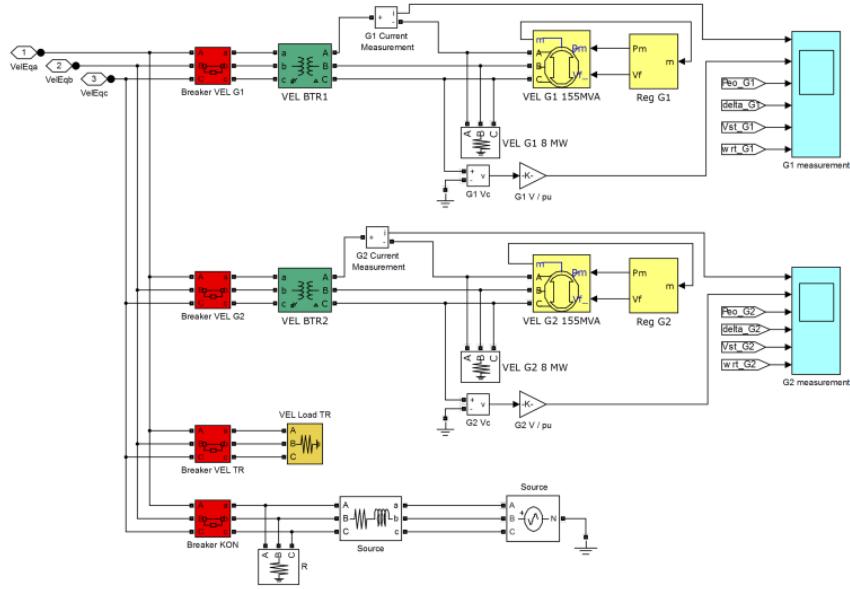
Slika 2. Model (CRO6BUS) hrvatske prijenosne mreže 400 kV u Matlabu

Svaki prijenosni dalekovod ima modelirane prekidače (crveni element) s obje strane dalekovoda. Prekidačima se upravlja u simulacijama na dva načina. Moguće je definirati vrijeme sklapanja prekidača ili se na njega djeluje preko funkcija zaštite i upravljanja iz modeliranog WAMPAC sustava. Također je unutar prekidača moguće definirati određene elemente otpora kvara, a što je važno kada se radi detaljna analiza određenog specifičnog kvara na prijenosnom dalekovodu (tzv. visokoomski kvar ili razvijajući kvar).

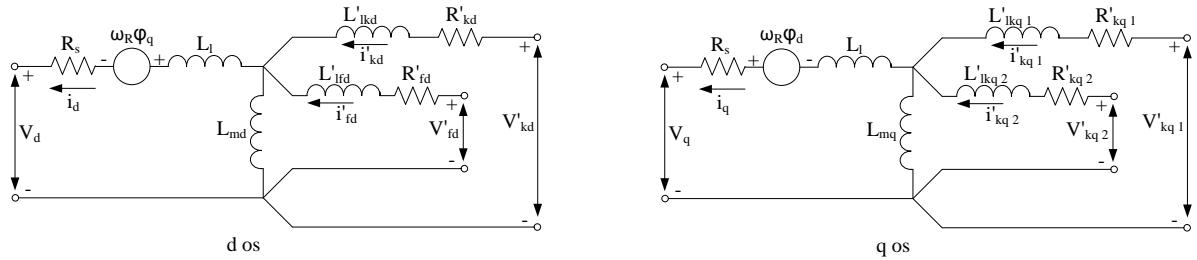
Kako svaki dalekovod ima ugrađene PMU uređaje na oba kraja, Slika 1, tako je modeliran mjerni modul (narandžasta boja) koji simulira mjerena i tok sinkrofazorskih mjerena s obje strane dalekovoda. Te se na taj način mogu dobiti podaci iz cijelog modela i svih dalekovoda tijekom simulacija.

Elektrana Velebit s dva agregata spojena je na 400 kV mrežu. U istom rasklopištu nalazi se i mrežni transformator kao spoj prema 110 kV mreži, Slika 3. Također je na istim sabirnicama modeliran i nadomjesni izvor u slučaju smjera energije iz mreže 110 kV u mrežu 400 kV.

Podaci o generatorima upisani su u model generatora Matlaba [2], gdje se koristio model generatora koji je najpogodniji za istraživanje i simuliranje dinamičkih pojava u prijenosnoj mreži ili elektroenergetskom sustavu, a to je model opisan sa šest jednadžbi (šestog reda), Slika 4. Pomoću tih jednadžbi detaljno su opisani dijelovi generatora, stator, uzbuda, prigušni namoti (nadomjesna shema i za drugi prigušni krug).



Slika 3. Dinamički matematički model za elektranu RHE Velebit



Slika 4. Model generatora u Matlabu, šestog reda

Kratice koje se koriste za ovakav detaljan opis modela generatora su:

- d i q: za d q osi.
- R i s: za rotorski i statorski krug.
- l i m: za rasipni i glavni induktivitet.
- f i k: za uzbudu i prigušne namote.

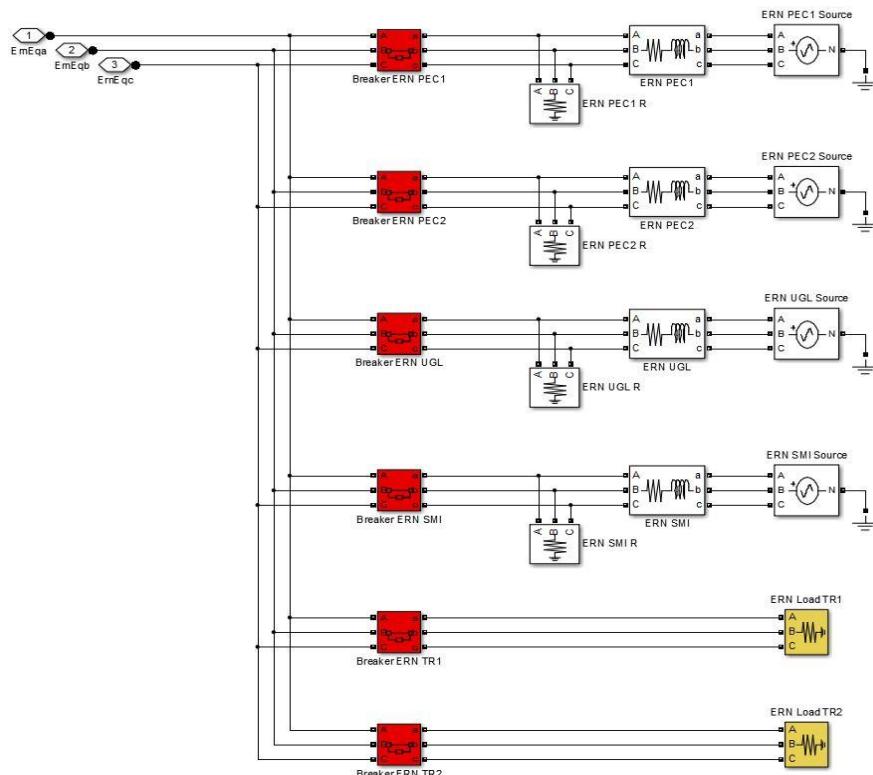
Model sinkronog generatora i pripadajućih sustava u Matlabu detaljno je opisan u [3]. Sustav regulacije uzbude sa stabilizatorom elektroenergetskog sustava i sustav turbinske regulacije, sadržan je u modelu generatora.

Tablica II. Podaci RLC modul za 400 kV ekvivalent u TS Ernestinovo

P _n (VA)	155e6	H (s)	6.65
V _n (V _{rms})	15750	F (pu)	0
f _n (Hz)	50	p	5
X _d (pu)	1.154	T _{d'} (s)	3.130
X _{d'} (pu)	0.364	T _{d''} (s)	0.046
X _{d''} (pu)	0.214	T _{q0''} (s)	0.080133
X _q (pu)	0.694	R _s (pu)	1.5021e-3
X _{q''} (pu)	0.206	d axis time constant	Short-circuit
X _I (pu)	0.131	q axis time constant	Open-circuit

Dostupni podaci o generatorima iz navedenog izvora korišteni su u modeliranju. Kako Matlab model sadrži puno više podataka za sustave regulaciju, nego što je dostupno, neki detaljni podaci za regulaciju su zadržani kao zadani i odgovarajući. Pripremljeni podaci za sinkroni generator u Matlab modelu su u Tablici II. Na sabirnicama elektrane modeliran je teret i moguća proizvodnja u 110 kV mreži na isti način kao i ekvivalenti u ostalim transformatorskim stanicama.

Ekvivalenti u EE objektima u modelu nadomještaju 400 kV mrežu prema susjednim prijenosnim sustavima i prema mreži 220 kV i 110 kV. Svaki vod ili transformator spojen na sabirnice 400 kV nadomješten je s trofaznim programabilnim naponskim izvorom i serijski spojenim RLC modulom.



Slika 4. Ekvivalent za ostalu prijenosnu mrežu 220 i 110 kV u TS 400 kV Ernestinovo

Ekvivalent za TS Ernestinovo prikazan je na Slici 4, gdje su nadomještena četiri dalekovoda 400 kV i dva transformatora 400/110 kV s teretom na 110 kV. Tereti su modelirani direktno na 400 kV. Svi ekvivalenti napravljeni su prema modelu prikazanom na Slici 4. Vrijednosti RLC modula u nadomjesnoj shemi za svaki pojedini odvod u ekvivalentu odabran je na temelju snage kratkog spoja, Tablica III. Na taj način je modeliran doprinos i utjecaj iz susjednih mreža.

Tablica III. Podaci RLC modul za 400 kV ekvivalent u TS Ernestinovo

Ovdodi u TS	I _{ks} (A)	KUT (ϕ)	NAPON (KV)	SNAGA (MVA)
PEČUH 1	4,737	74	400,000	3,278
PEČUH 2	4,737	74	400,000	3,278
UGLJEVIK	3,916	57	400,000	2,710
SREMSKA MITROVICA	4,810	76	400,000	3,329
ŽERJAVINEC	2,465	83	400,000	1,706
TR1	620	79	400,000	429
TR2	620	79	400,000	429

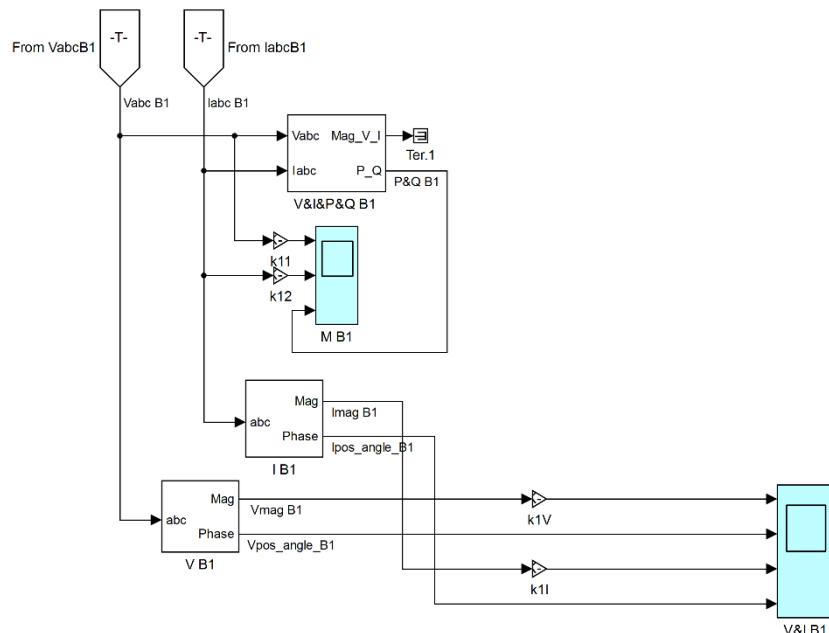
Podaci za struje kratkog spoja uzete su za maksimalna ukloplna stanja prijenosne mreže iz EMS (Energy Management System) sustava u realnom vremenu u aplikaciji za vođenje sustava, Network Manager u NDC-u. Podaci za ostale ekvivalentirane EE objekte odabrani su na isti način. Podaci za tokove

snaga koji se koriste u modelu preuzeti su za zimsko opterećenje također iz SCADA sustava za vođenje, Network Manager.

Modul za mjerjenje važan dio je modela prijenosne mreže te je ujedno početni dio razvijenog modula zaštite i upravljanja prijenosne mreže zasnovan na sinkroniziranim mjeranjima. U tom modulu mjeri se na početku svakog voda sljedeće veličine:

- Fazne napone i struje.
- Radnu i aktivnu snagu.
- Sinkrofazore napona i struje.

Modul sinkrofazora simulira tok sinkrofazorskih podataka iz PMU uređaja na početku voda, a ostala navedena mjerjenja služe za kontrolu i provjeru modela, Slika 5.



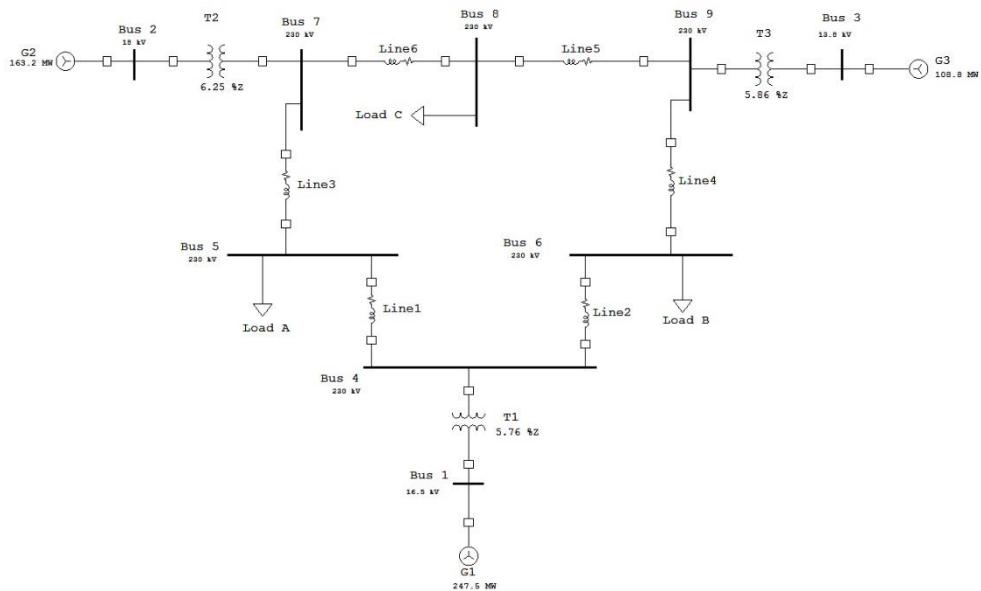
Slika 5. Modul mjerjenja na početku dalekovoda 400 kV

Mjerjenja za nadzor stanja na dalekovodu koriste trofazni mjerni modul za napon i struju, koji predstavlja idealne mjerne transformatore te se nalazi na početku svakog voda (prije prekidača), Slika 5. Mjerena s trofaznog modula su dovedena na modul mjerjenja, Slika 5.

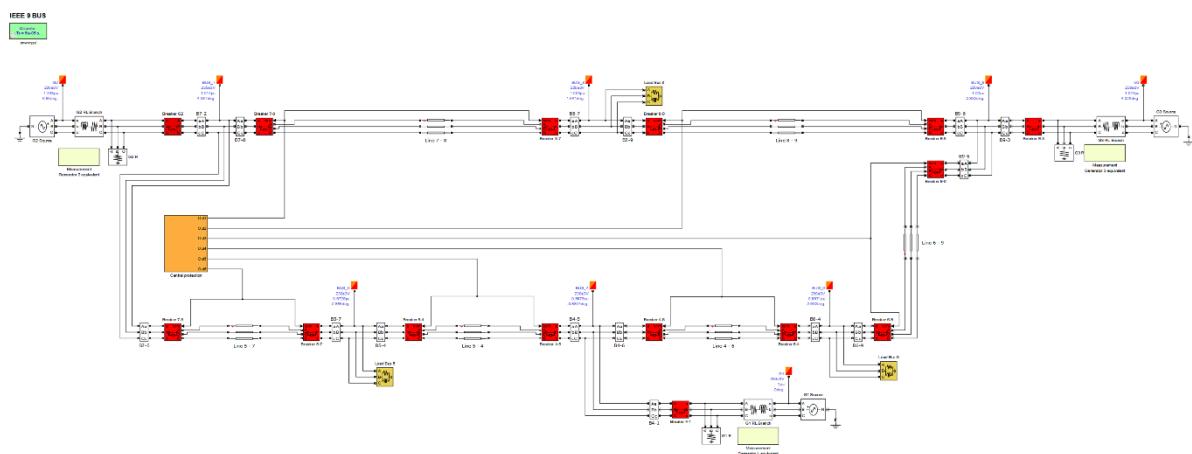
3. DINAMIČKI IEEE MODEL S DEVET SABIRNICA

Usporedbom prema hrvatskom šestorosabirničnom modelu (CRO6BUS), odabran je IEEE model koji ima gotovo isti broj vodova i sabirnica, a to je IEEE model s 9 sabirnicama (60 Hz), Slika 6. Model sadrži šest visokonaponskih sabirnica (sabirnice 4, 5, 6, 7, 8 i 9) i šest vodova 230 kV. Također model sadrži tri izvora, modelirana s blok spojem generator-transformator. Tu su modelirane tri generatorske sabirnice (sabirnice 1, 2 i 3). Glavni izvor podataka za ovaj model su literature [3-6].

Cilj istraživanja su dinamičke pojave u prijenosnoj mreži, te je IEEE model s 9 sabirnicama modificiran na način da su generatorska čvorišta i sabirnice ekvivalentirane na isti način kao i kod hrvatskog šestorosabirničnog modela. Naglasak u modelu je dan na prijenosnu mrežu 230 kV, a sve kako bi se dobio pogodan model za istraživanje rada zaštite u prijenosnoj mreži sa sinkroniziranim mjeranjima, Slika 7. Model u Matlab okruženju napravljen identično kao i za hrvatski model. Slijedio se princip modeliranja dalekovoda s prekidačem i mjerjenjima na početku i kraju voda. Ekvivalentni izvori modelirani su prema originalnom predlošku na sabirnicama broj 1, 2 i 3, a ekvivalentni tereta modelirani su na sabirnicama broj 5, 6 i 8.



Slika 6. IEEE model 9 sabirnica



Slika 7. Vlastiti IEEE model 9 sabirnica u Matlabu

U modelu na Slici 7, je odmah postavljen centralizirani modul za mjerjenje i zaštitu, te je povezan na prekidače dalekovoda. Centralizirani modul sadrži i mjerni modul, Slika 5, kojim se simulira prikupljanje podataka sa svakog dalekovoda. Podaci o vodovima za ovaj model nalaze se u Tablici IV.

Tablica IV. Podaci za direktnе i nulte komponente parametre dalekovoda 230 kV

Parametri vodova	4 - 5	4 – 6	5 – 7	6 - 9	7 – 8	8 - 9
r1 (Ω/km)	0.0529	0.08993	0.16928	0.20631	0.044965	0.062951
r0 (Ω/km)	0.13225	0.224825	0.4232	0.5157	0.11241	0.15737
I1 (H/km)	1.192×10^{-3}	1.290×10^{-3}	2.259×10^{-3}	2.380×10^{-3}	1.010×10^{-3}	1.414×10^{-3}
I0 (H/km)	2.380×10^{-3}	3.220×10^{-3}	5.640×10^{-3}	6.090×10^{-3}	2.020×10^{-3}	3.530×10^{-3}
c1 (F/km)	$9.322 \times 10^{-9}*$	$8.614 \times 10^{-9}*$	1.534×10^{-8}	1.795×10^{-8}	7.471×10^{-8}	1.047×10^{-8}
c0 (F/km)	5.188×10^{-9}	4.740×10^{-9}	9.025×10^{-9}	1.055×10^{-9}	$5.50060 \times 10^{-9}*$	6.15×10^{-9}
duljina(km)	100	100	100	100	100	100

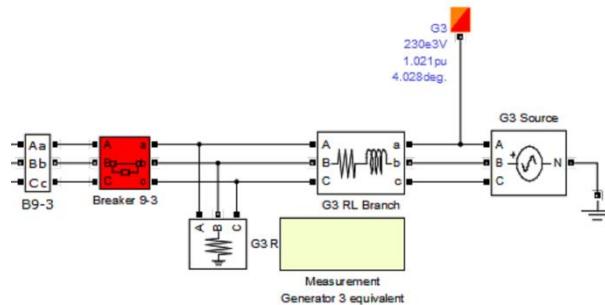
* provjera i modifikacija parametara prema (1)

Nadomjesno modeliranje generatora u modelu IEEE 9 sabirnica, provedeno je temeljem podataka navedenih u Tablici V. Nazivna snaga blok transformatora u modelu je procijenjena prema nazivnoj snazi generatora.

Tablica V. Podaci RLC modul za 230 kV ekvivalentne

	Transformator (%)	Transformator (Ω)	Napon (kV)	Snaga KS (MVA)
Sabirnica 4 - 1	5,76	12,188	230,000	4,340
Sabirnica 7 - 2	4,737	16,531	230,000	3,200
Sabirnica 9 - 3	3,916	20,666	230,000	2,560

Detalj samog ekvivalenta izvora priključenog na sabirnice 230 kV s mjernim modulom prikazan je na Slici 8.

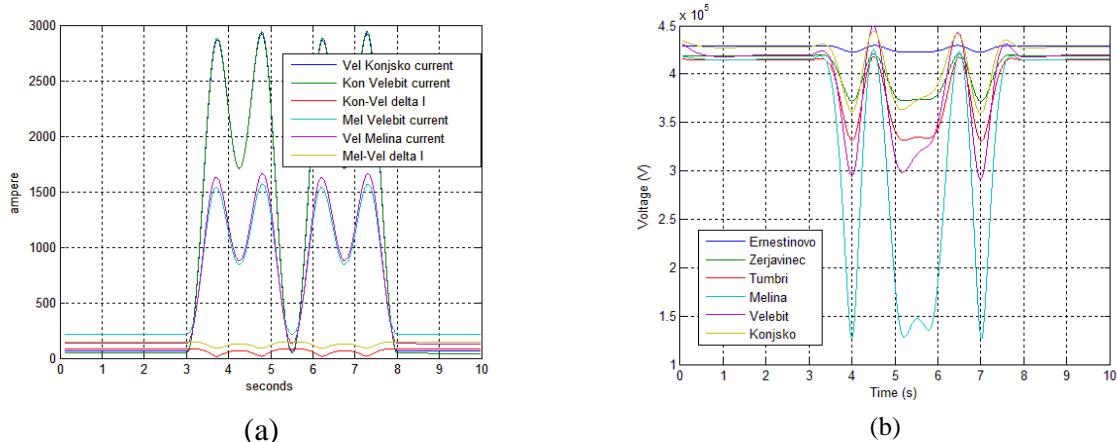


Slika 8. Model za ekvivalent generatora i blok transformatora u modelu IEEE 9 sabirnica u Matlabu

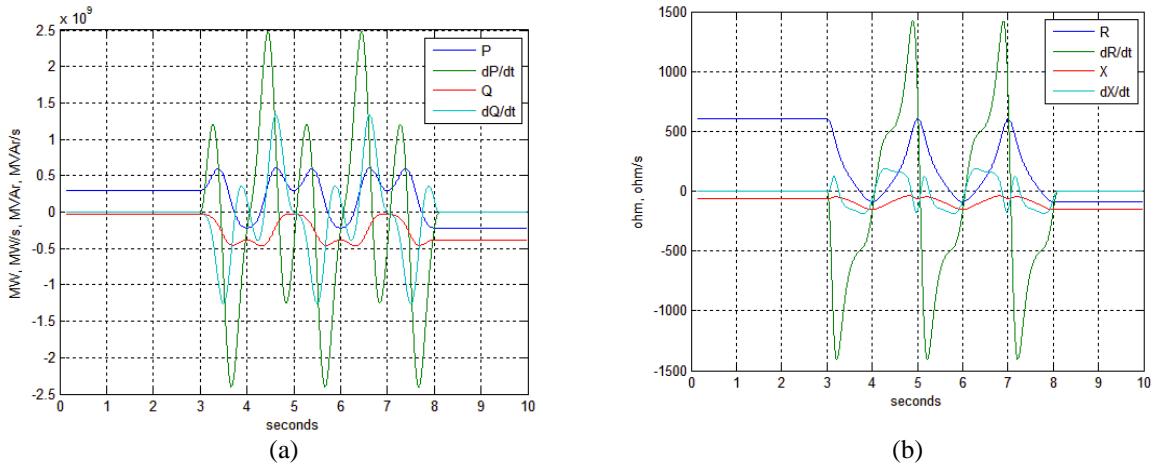
Mjernim modulom u ovom dijelu modela nadziru se naponi i struje u ekvivalentu izvora na sabirnicama 230 kV. Taj dio ne sadrži zaštitne funkcije, nego samo mjerne funkcionalnosti, kao na Slici 5.

4. REZULTATI SIMULACIJE

. Modeli pružaju izvanredne mogućnosti za izvođenje događaja i poremećaja koji mogu nastati u prijenosnoj mreži, a također simulacijski podaci pružaju dobre mogućnosti za analize i daljnje obrade. Na sljedećim slikama pokazani je samo mali dio mogućnosti koji mogu biti od interesa za istraživanje na području relejne zaštite i dinamike prijenosne mreže. Slika 9, prikazuje rezultate iz CRO6BUS modela za struje i napone na vodovima kod oscilacija radne snage s izvorom oscilacija u ekvivalentu u TS Konjsko i ekvivalentu u TS Melina.



Slika 9. Struje kvara za gubitak sinkronizma na DV 400 kV Konjsko-Velebit i njihanje snage za DV 400 kV Velebit-Melina (a) i Promjene napona na 400 kV dalekovodima za izvor oscilacija u TS Melina (b)



Slika 10. Radna snaga, brzina promjene radne snage, jalova snaga i brzina promjene jalove snage u TS Ernestinovo na vodu Žerjavinec, (a) i Promjena otpora, brzina promjene otpora, reaktancija i brzina promjene reaktancije, za vrijeme oscilacija radne snage s izvorom oscilacija u TS Ernestinovo

Simulacijski rezultati za snagu i impedanciju, iz istog modela prikazani su na slici 10. Dobiveni simulacijski rezultati mogu se koristiti za obradu i razvoj naprednih zaštitnih funkcija i novih algoritama za upravljanje prijenosnom mrežom.

Modeli su provjeravani, verificirani i validirani pomoću arhiviranih podataka za redovne sklopne operacije, za razne ostale poremećaje u mreži i korišteni su podaci iz dostupne literature. Provjere su obavljane za sljedeće vrste poremećaja, redovna uključenja i isključenja visokonaponskih prekidača prijenosne mreže, poremećaji kratkog spoja na 400 kV elementima prijenosne mreže, poremećaji kutne stabilnosti u široj prijenosnoj mreži,

Model IEEE9BUS provjeravan je prema podacima koji su dostupni u literaturi, to se uglavnom podaci koji se odnose na tokove radnih i jalovih snaga te naponske prilike (amplituda i kut).

5. ZAKLJUČAK

U referatu su prikazani kreirani modeli u Matlab okruženju, koji su nastali za potrebe istraživanja dinamičkih pojava u prijenosnoj mreži. Modeli i rezultati niza simulacijskih scenarija korišteni su za potrebe novih zaštitnih funkcija na samim dalekovodima prijenosne mreže te za nadzor i zaštitu šireg dijela prijenosne mreže. Modeli mogu poslužiti i druga istraživanja dinamičkih pojava u prijenosnoj mreži.

ZAHVALA

Rad autora sufinancirali su Hrvatska zaklada za znanost, Hrvatski operator prijenosnog sustava i HEP Proizvodnja kroz projekt WINDLIPS – WIND Energy Integration in Low Inertia Power System, darovnica broj. PAR-02-2017-03.

6. LITERATURA

- [1] I. Ivanković, I. Kuzle, N. Holjevac, "Multifunctional WAMPAC system concept for out-of-step protection based on synchrophasor measurements", International journal of electrical power & energy systems (0142-0615), Vol. 87, May 2017, pp 77-88, DOI:10.1016/j.ijepes.2016.11.005.
- [2] "RHE Velebit G1, Podaci za sistemske analize", HEP Proizvodnja, svibanj 2006.
- [3] Dokumentacija i upute, dostupno na poveznici www.mathworks.com (siječanj 2017).
- [4] Podaci za IEEE model s 9 sabirnicama, dostupno na poveznici <http://icseg.iti.illinois.edu/wscc-9-bus-system>, jedan od izvora podataka, (siječanj 2017).
- [5] A. Sharma, A.K. Singh, "Power System Stability Using FACTS", International Journal of Technical Research & Science, ISSN No.:2454-2024 (online).
- [6] P.R. Mishra, D. K. Singh, "Mitigation of Voltage Sag in Nine Bus System with STATCOM", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, www.ijetae.com, (siječanj 2017), Volume 3, Issue 5, May 2013.