

# Model generatora za analizu prijelazne stabilnosti u EasyPower programu

---

Žuljević, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:431755>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-02**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni preddiplomski studij**

**MODEL GENERATORA ZA ANALIZU PRIJELAZNE  
STABILNOSTI U EASYPOWER PROGRAMU**

**Završni rad**

**Luka Žuljević**

**Osijek, 2021. godine**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 30.08.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Luka Žuljević
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	4602, 24.07.2018.
<b>OIB studenta:</b>	73558575624
<b>Mentor:</b>	Prof.dr.sc. Srete Nikolovski
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Model generatora za analizu prijelazne stabilnosti u EasyPower programu
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	30.08.2021.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	08.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:



## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 08.09.2021.

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Luka Žuljević
<b>Studij:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	4602, 24.07.2018.
<b>Turnitin podudaranje [%]:</b>	10 %

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Model generatora za analizu prijelazne stabilnosti u EasyPower programu**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Srete Nikolovski

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak završnog rada .....</b>	<b>1</b>
<b>2. EASYPOWER PROGRAM.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Općenito o EasyPower programu.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Primjer mreže u EasyPower programu .....</b>	<b>2</b>
<b>2.3. Svojstva EasyPower programa .....</b>	<b>3</b>
<b>3. GENERATORI.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Općenito o generatorima .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Princip rada generatora.....</b>	<b>5</b>
<b>3.3. Vrste generatora .....</b>	<b>5</b>
<b>3.4. Izmjenični generatori.....</b>	<b>6</b>
<b>4. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Općenito o elektroenergetskom sustavu.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2. Proizvodnja električne energije .....</b>	<b>9</b>
<b>4.3. Prijenos i distribucija električne energije.....</b>	<b>13</b>
<b>5. MODEL GENERATORA ZA ANALIZU U EASYPOWER-U.....</b>	<b>13</b>
<b>5.1. Prijelazna stabilnost.....</b>	<b>13</b>
<b>5.2. Model generatora u EasyPower programu .....</b>	<b>14</b>
<b>5.3. Model generatora i prijelazna stabilnost .....</b>	<b>16</b>
<b>5.4. Parametri modela generatora .....</b>	<b>18</b>
<b>5.5. Parametri sustava uzбудnika .....</b>	<b>20</b>

<b>5.6. Parametri regulatora i stabilizatora.....</b>	<b>21</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>25</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>26</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>28</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>29</b>

## **1. UVOD**

Svaki elektroenergetski sustav teži stabilnom radu uz što kraće prijelazne pojave i uz što manje poremećaja koji mogu utjecati na stabilnost sustava. Elektroenergetski sustav je vrlo kompleksan sustav te se sastoji električne mreže i postrojenja za proizvodnju električne energije. Ovaj rad se temelji na promatranju električnog generatora koji je neophodan za proizvodnju električne energije i čini temelj proizvodnje električne energije. Električni generator je stroj koji mehaničku energiju pogonskog stroja pretvara u mehanički rad. Pogonski stroj nam može biti parna, vodena ili plinska turbina, Diesel-ov motor te rjeđe vjetrena turbina ili benzinski motor. Postoje istosmjerni i izmjenični generatori. Proizvodnja električne energije u elektroenergetskom sustavu se gotovo u potpunosti bazira na izmjeničnim generatorima. Proizvodnja električne energije u svakome trenutku mora odgovarati potrošnji električne energije stoga je vrlo bitno da se cijeli elektroenergetski sustav održava na jednoj stabilnoj razini. Poremećaji koji mogu nastati naglim iskapčanjem velikih izvora, uključivanjem i isključivanjem velikih potrošača značajnih snaga te zbog određenih kvarova zbog vanjskih i unutarnjih faktora utječu na stabilnost cjelokupnog elektroenergetskog sustava. Svaki dio elektroenergetskog sustava može utjecati na stabilnost sustava pa tako i izmjenični generator. Pravilnim upravljanjem i odabirom izmjeničnog generatora negativni utjecaji na sustav se mogu svesti na minimum.

### **1.1. Zadatak završnog rada**

U završnom radu potrebno je prikazati model određenog tipa generatora u EasyPower programu s naglaskom na parametre koji utječu na prijelaznu stabilnost elektroenergetskog sustava. Iste te parametre je potrebno opisati za određeni tip generatora.

## 2. EASYPOWER PROGRAM

### 2.1. Općenito o EasyPower programu

EasyPower program je program koji se koristi u elektroenergetici. To je program koji omogućuje modeliranje, dimenzioniranje i analizu elektroenergetskog sustava. U EasyPower programu imamo mogućnost stvaranja elektroenergetske mreže koja obuhvaća proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. EasyPower nam omogućuje analizu tokova snaga kroz mrežu i analizu napona i tereta na sabirnicama sustava. U EasyPower-u promatramo mrežu kroz različite naponske nivoe i uz promjenu tereta na sabirnicama. Omogućuje nam brz uvid u moguće poremećaje sustava te načine kako ih ukloniti.

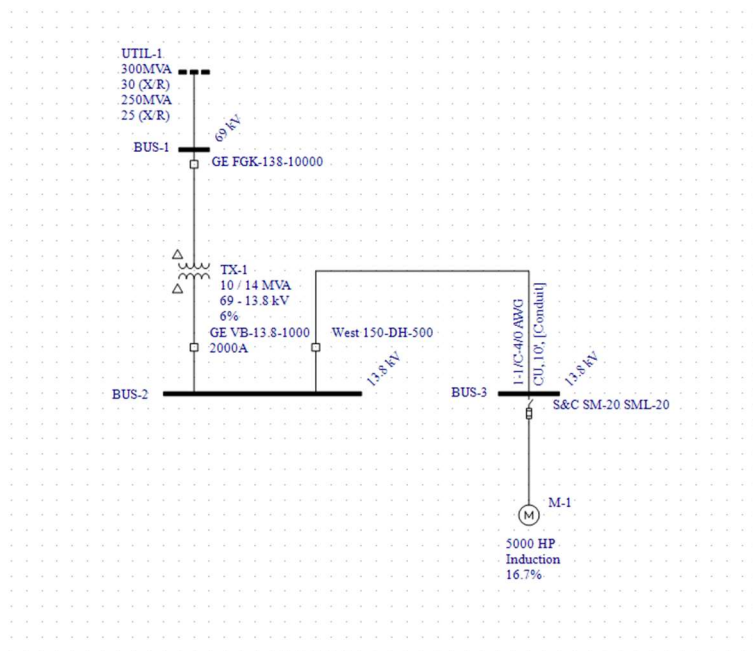


Slika 2.1. Izgled ikone EasyPower programskog paketa [2]

### 2.2. Primjer mreže u EasyPower programu

EasyPower ima vrlo široku primjenu u elektroenergetici, tim programom možemo prikazati najjednostavniju elektroenergetsku mrežu sastavljenu od generatora, transformatora, voda i potrošača. No, EasyPower omogućuje i stvaranje vrlo složene elektroenergetske mreže koja bi uz osnovne dijelove mreže uključivala i motore, različite naponske nivoe, mogućnost kontroliranja parametara koji značajno utječu na tokove snage, stabilnost i pouzdanost mreže.

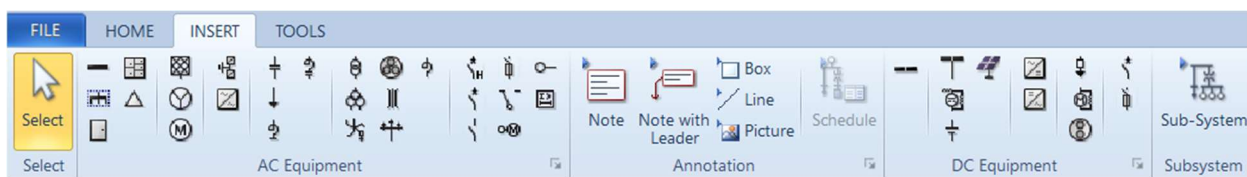




Slika 2.2 Primjer jednostavne mreže u EasyPower programu [2]

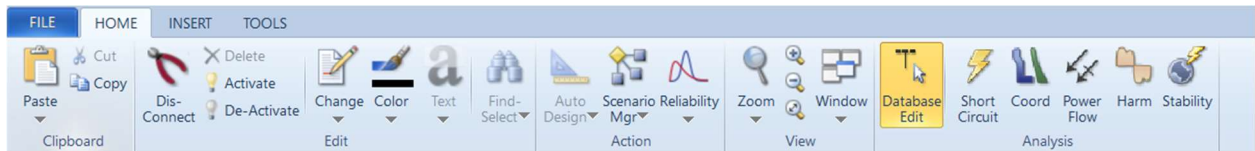
### 2.3. Svojstva EasyPower programa

Vrlo bitna značajka EasyPower programa je ta što je program prilagođen korisniku. Korisnik EasyPower programa vrlo jednostavno može pristupiti alatnoj traci i dodavati i uklanjati modele stvarnih dijelova elektroenergetskog sustava. Alatna traka nam nudi modele istosmjernih i izmjeničnih dijelova mreže te mogućnost dodavanja bilješki uz svaki pojedini model mreže. Također postoji mogućnost dodavanja i podsustava koji se nalazi na krajnjem desnom dijelu alatne trake.



Slika 2.3 Izgled alatne trake s ikonama modela elektroenergetskog sustava [2]

Uz mogućnost povezivanja modela mreže EasyPower nudi i mogućnost detaljne analize modelirane mreže. Unutar analize možemo promatrati tokove snaga u mreži, stabilnost mreže, kratki spoj mreže, uvid u harmonijski karakter mreže te koordinate mreže.



Slika 2.4 Izgled polazne alatne trake s mogućnostima analize i uređivanja [2]

Jedna od bitnijih svojstava koje nudi EasyPower je analiza tokova snaga koja je vrlo važna u studijama planiranja novih mreža ili dogradnji postojećih mreža. Iznimno je važno da se tok snage pravilno rasporedi kako ne bi došlo do kvarova mreže. Analiziranjem tokova snage i pravilnim postupanjem prilikom konstruiranja i dogradnje mreže omogućuje se otpornost na kvarove te se povećava pouzdanost elektroenergetskog sustava gdje proizvodnja u svakom trenutku mora odgovarati zahtjevima potrošača. [1]

### 3. GENERATORI

#### 3.1. Općenito o generatorima

U električne strojeve ubrajamo generatore i motore. Generatori pretvaraju mehaničku energiju u električnu energiju dok motori pretvaraju električnu energiju u mehaničku energiju. Svaki električni stroj može biti i generator i motor. Ako električnom stroju dovedemo mehaničku energiju preko osovine tada će raditi kao generator no ako stroju dovedemo električnu energiju tada će raditi kao motor.



Slika 3.1 Električni generator u hidroelektrani [4]

Generatori čine temelj elektroenergetskog sustava i gotovo cjelokupna proizvedena električna energija se proizvodi pretvorbom u generatorima. Generatori se nalaze u termoelektranama, vjetroelektranama, nuklearnim elektranama itd.

### 3.2. Princip rada generatora

Osnovni dijelovi generatora su rotor (okretni dio) i stator (nepokretni dio). I stator i rotor čine željezna jezgra i namot. Stator je smješten u kućištu generatora dok je rotor smješten na osovinu. Pretvorba mehaničke energije u električnu energiju zasniva se na magnetskoj indukciji. Jedan od tih dijelova treba imati namote vodiča u kojima će se inducirati napon dok drugi treba djelovati kao elektromagnet. Svaki put kada jedan od magnetnih polova rotora prođe pokraj namota statora inducira u njemu određeni napon. Sjeverni i južni magnetski pol induciraju napone istog iznosa, ali suprotnog predznaka. Napon koji se inducira na krajevima namota statora biti će izmjeničan pa će tako i struje koje će on potjerati biti izmjenične i tada se radi o izmjeničnom generatoru. Upravo se izmjenični generatori nalaze u elektranama i čine početni dio elektroenergetskog sustava. [3][5]

### 3.3. Vrste generatora

Električne strojeve dijelimo na sinkrone, asinkrone i kolektorske električne strojeve. Sinkroni strojevi se najčešće koriste kao generatori. Asinkroni strojevi se najčešće rabe za motorni rad, kao i kolektorski strojevi. Asinkroni generatori koriste se za male snage, a najčešći pogonski stroj su im male vodene turbine ili vjetroturbine. Temeljna razlika između sinkronog i asinkronog stroja, a time i razlike između asinkronog i sinkronog generatora je u tome što kod sinkronih strojeva brzina vrtnje rotora je jednaka brzini vrtnje okretnog magnetskog polja nastalim djelovanjem statorskih struja (takva brzina vrtnje se naziva sinkrona brzina) dok kod asinkronog stroja brzina vrtnje ovisi o opterećenju i u stacionarnom stanju razlikuje se od sinkrone. [5]



Slika 3.2 Električni generator snage 4000 kw [6]

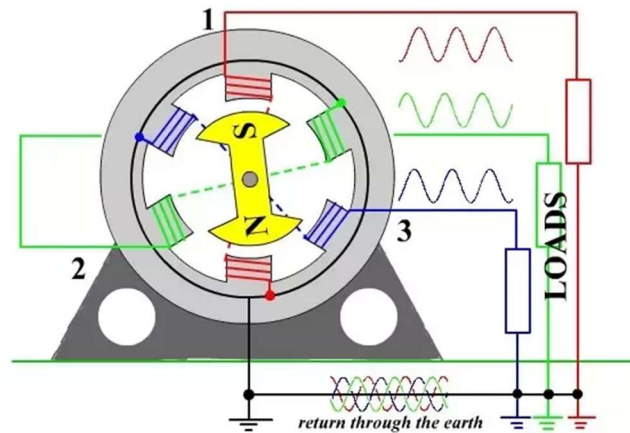
### 3.4. Izmjenični generatori

Izmjenični generatori su vrlo važni u elektroenergetskom sustavu jer okretanjem osovine izmjeničnog generatora proizvodi se izmjenična električna struja. Izmjenični generator je izum slavnog znanstvenika Nikole Tesle. Korištenjem izmjeničnih generatora u postrojenjima za proizvodnju električne energije proizvodi se izmjenična električna struja koja ima puno manje gubitke tijekom prijenosa električne energije nego što ih ima istosmjerna struja. Izmjeničnom električnom strujom je omogućeno i korištenje transformatora koji su neophodni za podizanje naponske razine čime se dodatno smanjuju gubici.[7]



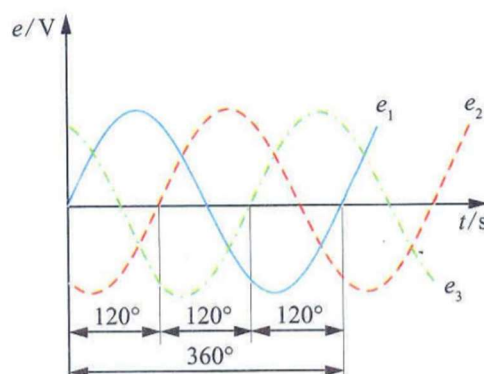
Slika 3.3 Siemens turbogenerator snage 500 MW, pokretan parnom turbinom [8]

Generator izmjenične struje sastoji se od dva pola kako bi imali jednoliko magnetsko polje. Armatura se sastoji od pravokutne zavojnice povezane s kliznim prstenima. Na kliznim prstenima se nalaze četkice od ugljika. Jedna strana četkice je povezana s krugom dok je druga povezana s prstenom. Pravokutne zavojnice rotiraju se oko osi koja je okomita na magnetsko polje, također postoji i osovina koja se vrlo brzo okreće. Okretanjem armature između polova magneta na osi okomitoj na magnetsko poljem dolazi do stalne promjene magnetskog toka armature te se inducira elektromotorna sila. Induciranjem elektromotorne sile proizvodi se električna struja koja prolazi kroz četkice i prstenove. Spajanjem galvanometra na četkice generatora otklon kazaljke galvanometra će nam oscilirati između dvije vrijednosti od kojih će jedna vrijednost biti negativna dok će druga biti pozitivna. Apsolutna vrijednost će im biti jednaka te se radi o izmjeničnoj električnoj struji. [7]

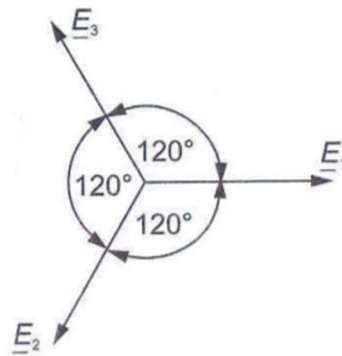


Slika 3.4 Pojednostavljena shema trofaznog generatora [9]

U elektroenergetski postrojenjima za proizvodnju električne energije upravo je trofazni generator onaj koji se najčešće koristi. U trofaznom sustavu postoje tri vodiča od kojih svaki nosi izmjeničnu struju jednake frekvencije i amplitude napona koji je sinusoidan. Između svake od faze postoji fazna razlika od trećine periode ( $120^\circ$ ) tj. svaka od pojedinih faza dostiže svoju vršnu vrijednost nakon trećine periode. Fazna razlika ili fazno kašnjenje omogućuje stalni prijenos snage uravnoteženom linearnom opterećenju i omogućuje stvaranje okretnog magnetnog polja u elektromotoru. Trofazni generator nam predstavlja izvor električne energija koja se prenosi preko trofaznih prijenosnih vodova do trofaznih ili jednofaznih trošila. Na slici 3.4 predstavljen je trofazno opterećen generator u zvijezda-zvijezda spoju gdje je nul-vodič povezan preko uzemljenja.



Slika 3.5 Napon trofaznog generatora [10]



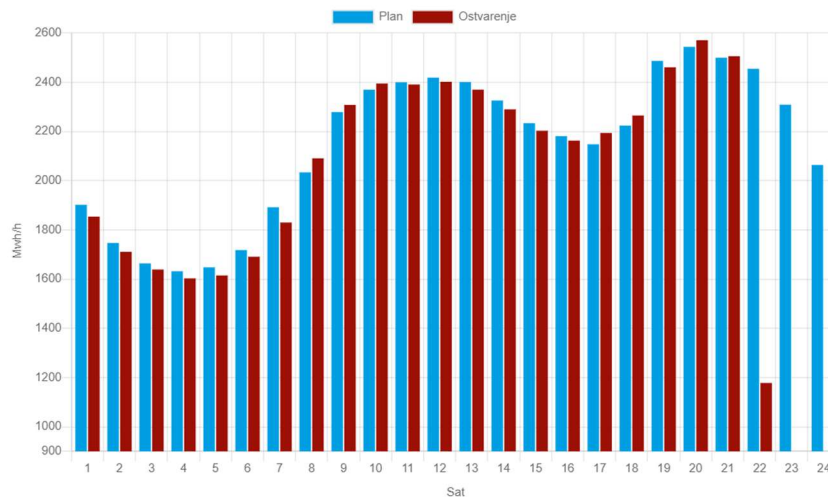
Slika 3.6 Naponi trofaznog generatora prikazano kao tri rotirajuća fazora ( $E_1, E_2, E_3$ -efektivne vrijednosti inducirano napona ) [10]

## 4. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

### 4.1. Općenito o elektroenergetskom sustavu

Elektroenergetski sustav je sustav čija je temeljna zadaća opskrba električnom energijom. Sustav se sastoji od prijenosne i distributivne mreže te od postrojenja za proizvodnju električne energije. Elektroenergetski sustav je najskuplji, najrasprostranjeniji i najveći od svih tehničkih sustava. Glavna je zadaća elektroenergetskog sustava osigurati da svakom potrošaču isporuči onoliko električne energije kolika je njegova trenutna potreba. Električnu energiju nije moguće skladištiti i razina potrošnje se mora stalno izjednačavati sa razinom proizvodnje jer potrošnja u nijednom trenutku nije stalnog iznosa. Potrošnja se mijenja tijekom dana pa je potrebno utvrditi dnevni dijagram opterećenja. Potrošnja ovisi o godišnjem dobu i dobu dana. Najmanja potrošnja je tijekom noći dok je najveća u poslijepodnevnom i ranim večernjim satima. Osim opskrbe potrebnom količinom električne energije važna je i kvaliteta električne energije. Kvalitetna električna energija čija je frekvencija i napon stalni i trajno raspoloživi. Frekvencija mora biti 50 Hz uz neznatna odstupanja dok napon mora biti sinusnog oblika te simetričan po fazama. Odstupanja od standardnih vrijednosti mogu onemogućiti korištenje električne energije te stvoriti teškoće potrošačima. [11]

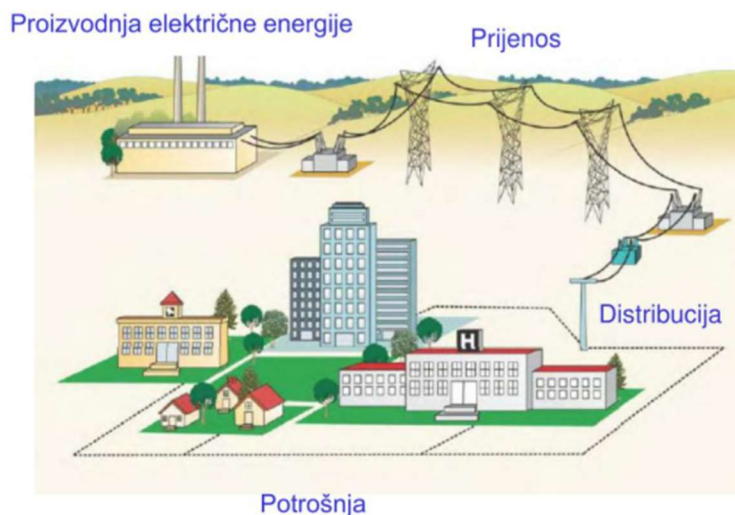
Dijagram opterećenja za 20.03.2021



Slika 4.1 Dnevni dijagram opterećenja za 20.ožujak 2021.godine [12]

## 4.2. Proizvodnja električne energije

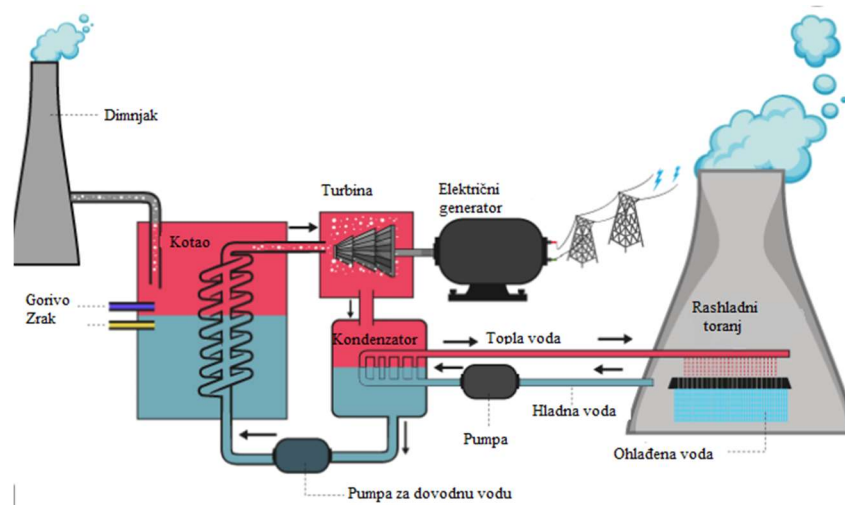
Proizvodnja električne energije odvija se u postrojenjima za proizvodnju električne energije koje nazivamo elektranama. Na pragu elektrana se nalaze generatori te blok transformatori koji su neophodni za podizanje naponske razine kako bi se smanjili gubici prijenosa.



Slika 4.2 Shema elektroenergetskog sustava [13]

U elektrane ubrajamo termoelektrane, nuklearne elektrane, hidroelektrane, solarne elektrane i vjetroelektrane. Prema podacima iz 2018.godine termoelektrane proizvode 63.9% električne

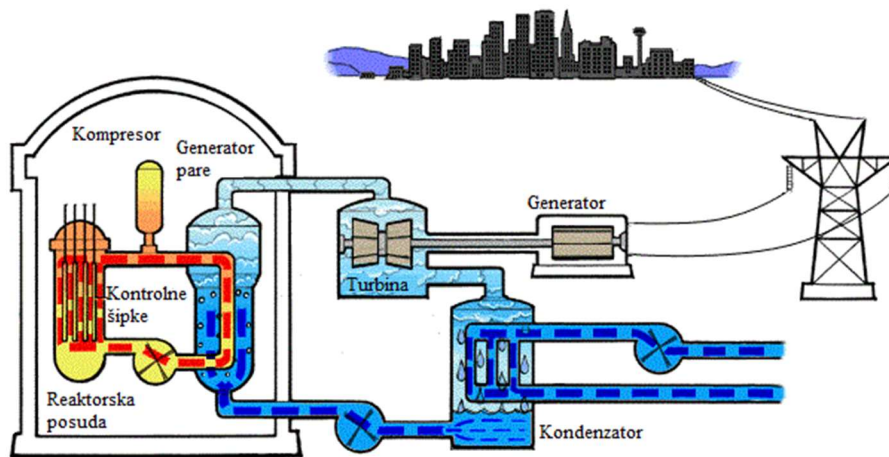
energije u svijetu iz čega je vidljivo da termoelektrane daju ogroman doprinos u proizvodnji električne energije u svijetu.



Slika 4.3 Shematski prikaz termoelektrane [19]

Ukratko, termoelektrane rade tako da se izgaranjem određenog goriva (plin, ugljen, nafta) u kotlu zagrijava voda koja se pretvara u vodenu paru. Vodena para okreće parnu turbinu koja je povezana s električnim generatorom. Okretanjem električnog generatora proizvodi se električna energija, nakon generatora se postavljaju blok transformatori koji podižu naponski nivo radi smanjenja gubitaka tijekom prijenosa električne energije. Termoelektrane se grade u blizini velikih izvora vode (rijeke, jezera, mora) jer je voda neophodna za hlađenje cijelog sustava. Također, termoelektrane imaju dva tipa dimnjaka. Kroz jedan od dimnjaka izlaze plinovi nastali izgaranjem goriva dok kroz drugi dimnjak izlazi vodena para. Cijeli sustav se sastoji od niza cijevi i pumpi koje pumpaju vodu kroz cijeli sustav termoelektrane. Slika 4.3 na jednostavan način prikazuje proces nastanka električne energije u termoelektrani. Značajan udio u potrošnji čine i nuklearne elektrane koje također pripadaju skupini termoelektrana no zbog važnosti koju imaju bitno ih je izdvojiti. Nuklearne elektrane proizvode 10.1% električne energije u svijetu što nije beznačajno. Rade na sličnom principu kao i termoelektrane osim što umjesto fosilnih goriva koriste nuklearno gorivo. Stvaranjem topline zagrijava se medij (voda) te je proces nakon zagrijavanja medija manje-više jednak procesu u termoelektrani. Bitno je naglasiti da nuklearne elektrane ne ispuštaju stakleničke plinove u atmosferu te ne zagađuju okoliš. Problem nuklearnih elektrana je što se puno pažnje mora posvetiti sigurnosti u elektrani kako ne bi došlo do katastrofe te problem skladištenja nuklearnog otpada. Pravilnim skladištenjem nuklearnog otpada i održavanjem visoke stope sigurnosti u samoj elektrani dobiva se električna energija bez zagađenja okoliša.





Slika 4.4 Princip rada nuklearne elektrane [18]

Uspoređujući sliku 4.3 i 4.4 koje nam opisuju princip rada termoelektrane i nuklearne elektrane primjetno je da se radi o vrlo sličnom principu rada osim što kod nuklearnih elektrana ne postoje tornjevi za ispuh plinova nastalih izgaranjem, nuklearne elektrane posjeduju samo rashladne tornjeve iz kojih u atmosferu izlazi vodena para.

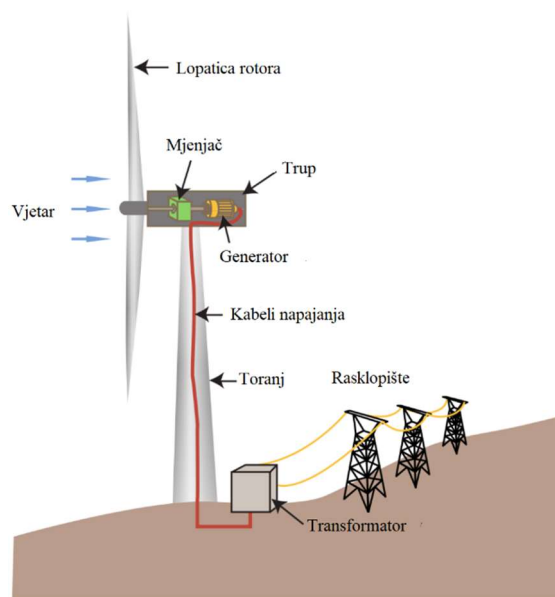


Slika 4.5 Nuklearna elektrana ,Cattenom, Francuska [14]

Uz termoelektrane i nuklearne elektrane svjetska proizvodnja električne energije nezamisliva je bez hidroelektrana. Hidroelektrane proizvode 16.2% ukupno proizvedene električne energije te proizvode najviše energije kada se radi o obnovljivim izvorima energije. Hidroelektrane kao i termoelektrane posjeduju generatore bez kojih je proizvodnja nemoguća. Prema načinu korištenja hidroelektrane se dijele na akumulacijske, protočne, reverzibilne. Akumulacijske hidroelektrane koriste akumulacijska jezera koja su smještena na većoj nadmorskoj visini od same hidroelektrane

i na koja je instalirana brana. Kada postoji potreba za električnom energijom voda se dovodi iz akumulacijskog jezera do turbine, voda okreće turbinu i stvara električnu energiju. Protočne hidroelektrane koriste kinetičku energiju vode da bi proizvele električnu energiju, ovise o trenutno raspoloživom vodenom toku. Reverzibilne elektrane koriste viškove električne energije iz mreže te pumpaju vodu u akumulacijsko jezero te kada nastupi potreba za električnom energijom istu tu vodu puštaju preko brane iz akumulacijskog jezera te snaga vode okreće turbinu i stvara se električna energija.

Uz hidroelektrane bitno je spomenuti i vjetroelektrane jer se i u njima koristi generator koji nam je tema ovog rada. Vjetroelektrane proizvode 4.8% električne energije u svijetu te su nam kao obnovljiv izvor energije vrlo važne. Vjetroelektrane koriste energiju vjetra za pokretanje turbine, a samim time i generatora. Vjetar okreće elise vjetroelektrane koje stvaraju mehaničku energiju okretanjem turbine, a zatim se ta mehanička energija u generatoru pretvara u električnu. Glavne prednosti vjetroelektrana su što je energija vjetra besplatna, ne zagađuju okoliš i smanjuje se proizvodnja iz fosilnih goriva dok su nedostaci vjetroelektrana skupa održavanja i povremenost pogona tj. ovisi o meteorološkim uvjetima. Vjetar ni na jednom području ne puše konstantno te nam je energija koju daje vjetar relativno nepouzdana. Naravno, za izgradnju vjetroelektrane biraju se područja na kojima postoje veće količine vjetra te što manje olujnih vjetrova. Također vjetroelektrane se dijele na kopnene, priobalne, plutajuće i zračne vjetroelektrane. Na slici 4.6 prikazan je pojednostavljen princip rada vjetroelektrane te su nam prikazani neophodni dijelovi za rad vjetroelektrane poput prijenosnika snage, lopatica, generatora, transformatora i dalekovoda. Također postoji i kočioni sustav u samom vjetroagregatu te upravljački i nadzorni sustav.



Slika 4.6 Izgled vjetroagregata sa pripadajućim dijelovima [14]

### **4.3. Prijenos i distribucija električne energije**

Proizvodnja električne energije ne bi imala smisla kada se ista ta energija ne bi mogla prenositi odnosno distribuirati do krajnjih potrošača. Kada govorimo o prijenosu govorimo o prijenosu vrlo velikih snaga na velike udaljenosti tj. prijenosom se proizvodnja spaja s velikim potrošačkim centrima električne energije. Distribucija električne energije obuhvaća dopremu električne energije od prijenosa pa do krajnjih potrošača. Prema tehničkoj podjeli prijenosnu mrežu obuhvaćaju vodovi napona 110kV i više dok je sve ostalo distributivna mreža. Dakle prijenosna mreža obuhvaća veće naponske nivoe koji su neophodni kako bi se smanjio gubitak električne energije te su nam za to potrebni blok transformatori u elektranama kako bi se naponski nivo podigao.

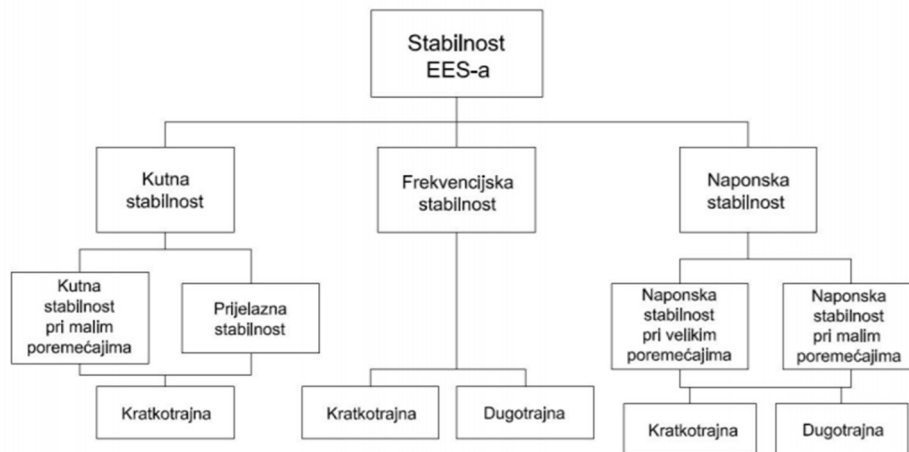
Podjelom elektroenergetskog sustava na proizvodnju, prijenos i distribuciju ostvaruju se uvjeti za kvalitetnu isporuku električne energije uz stalnu frekvenciju, napon i raspoloživost. Kvarovi su mogući u elektroenergetskom sustavu no velika većina kvarova otkloni se u vrlo kratkom vremenskom periodu tako da potrošač u svako doba dana može uzeti količinu energije koja mu je potrebna .

## **5. MODEL GENERATORA ZA ANALIZU U EASYPOWER-U**

### **5.1. Prijelazna stabilnost**

Prije odabira generatora za analizu potrebno je definirati pojam prijelazne stabilnosti. Prijelazna stabilnost generatora je ključna u elektroenergetskom sustavu što je sposobnost generatora da održi sinhronizam sa ostalim generatorima tijekom naglih promjena u mreži. Gubitkom stabilnost jednog generatora može doći do preopterećenja te gubitka stabilnosti ostalih generatora što bi za konačan ishod imalo raspad elektroenergetskog sustava. Prijelazna stabilnost ovisi o prilikama u sustavu prije kvara, parametrima kvara (trajanje, mjesto nastanka kvara i vrsta kvara) te ostalim parametrima generatora i ostalih dijelova elektroenergetskog sustava (brzina vrtnje, regulator uzbuđene, parametri dalekovoda) . U svim elektroenergetskim sustavima dolazi do malih poremećaja u mreži koji se ne mogu izbjeći i uobičajena su stvar. Prijelazna stabilnost ima određeno vremensko trajanje i tijekom prijelazne stabilnosti dolazi do preraspodjele tokova snaga te se sustav prilagođava promjenama nastalim zbog poremećaja i omogućuje očuvanje sinhronizima.

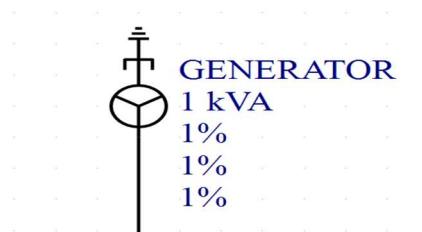
Prijelazna stabilnost očituje se tijekom kratkih spojeva u mreži, naglog iskapčanja ili ukapčanja velikih potrošača ili velikih izvora. Tijekom planiranja izgradnje ili rekonstrukcije dijelova elektroenergetskog sustava potrebno je izvršiti mjerenja parametara o kojima ovisi prijelazna stabilnost kako bi se jasno očitavala otpornost sustava na određene kvarove i nagle promjene. Izvođenje takvih simulacija na samom sustavu bilo bi vrlo zahtjevno i neisplativo te se zato kao pomoć koriste programski paketi namijenjeni simulacijama elektroenergetskog sustava. [16]



Slika 5.1 Klasifikacija stabilnosti elektroenergetskog sustava [17]

## 5.2. Model generatora u EasyPower programu

Korištenjem EasyPower programskog paketa moguće je modelirati dijelove elektroenergetskog sustava uz odgovarajuće parametre, jedan od dijelova sustava koji se može modelirati je i generator.



Slika 5.2 Model generatora u EasyPower-u [2]

Na slici 5.2 su prikazani i osnovni podaci o samom modelu generatora. Generator na slici ima prividnu snagu od 1 kVA i sinkronu reaktanciju od 1%. Uz odabir snage generatora moguće je

birati i spoj generatora (spoj trokut, spoj zvijezda i spoj zvijezda sa uzemljenim zvjezdishem ). Odabirom jednog od ponuđenih spojeva mijenja se i prikaz modela generatora stoga je uočljivo da je generator na slici 5.2 spojen u spoj zvijezda.

Generator Data

Collected Data >

Connection Information

ID Name: GENERATOR

To Bus: BUS-1 Base kV (LL): 3

Phase: 3-Phase

Conn:  D  Y  YG

Specifications Power Flow Impedance TCC Harmonics Stability 1 Stability 2 Reliability Location Comments Hyperlinks

Rated kV (LL): 3

Rating: 1 kVA

Type: SYN-SPA

Power Factor: 0.8

Efficiency: 0.95

RPM: 3000

GSU Transformer

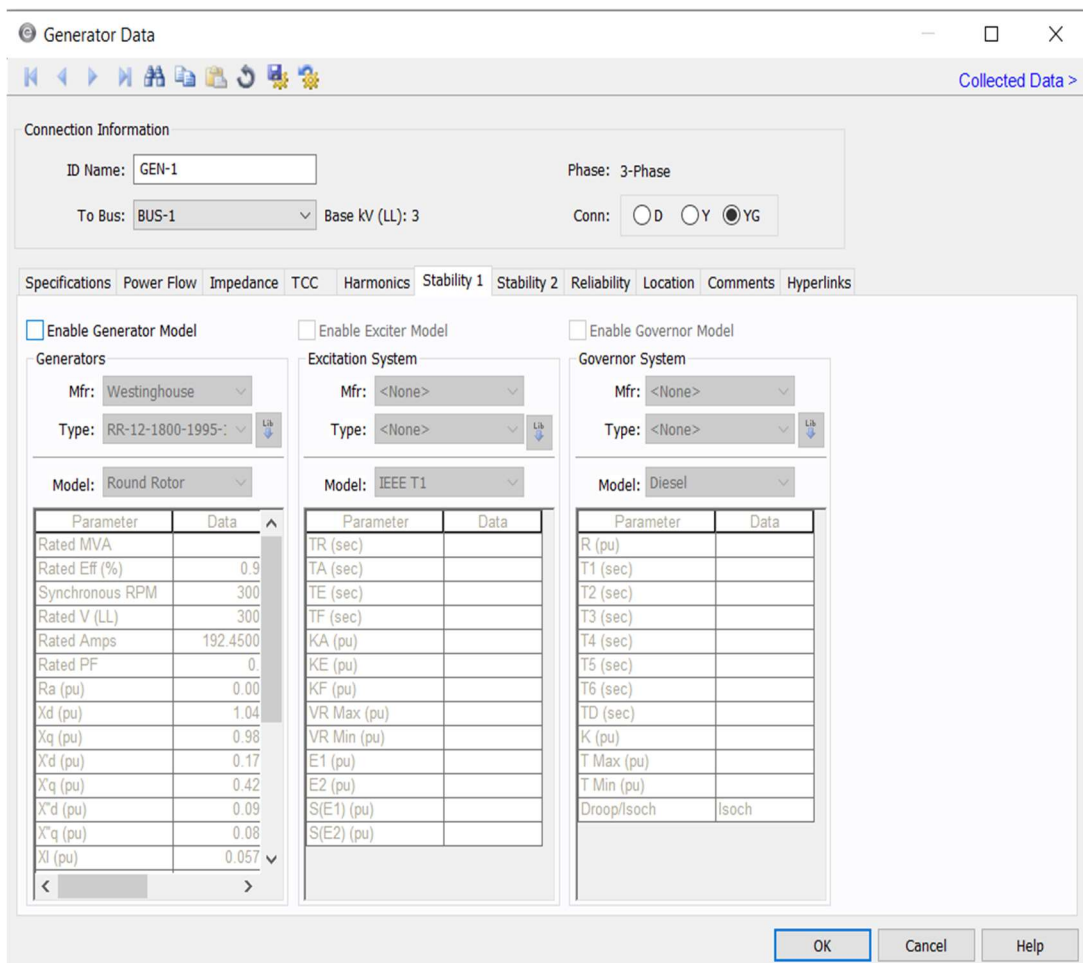
<None>

OK Cancel Help

Slika 5.3 Prikaz izbornika s podacima generatora [15]

Klikom na simbol generatora otvara se izbornik koji nam prikazuje podatke o generatoru gdje možemo birati između parametara koje želimo mijenjati kao što su broj okretaja po minuti, korisnost, faktor snage i ostalo. Uz osnovne podatke te podatke o impedanciji, tokovima snaga i harmonicima moguće je prikazati generator u svrhu proučavanja stabilnosti što je prikazano na slici 5.3 pod izbornicima Stability 1 i Stability 2.

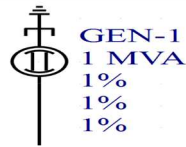
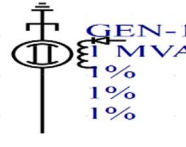
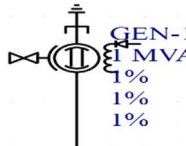
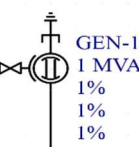
### 5.3. Model generatora i prijelazna stabilnost



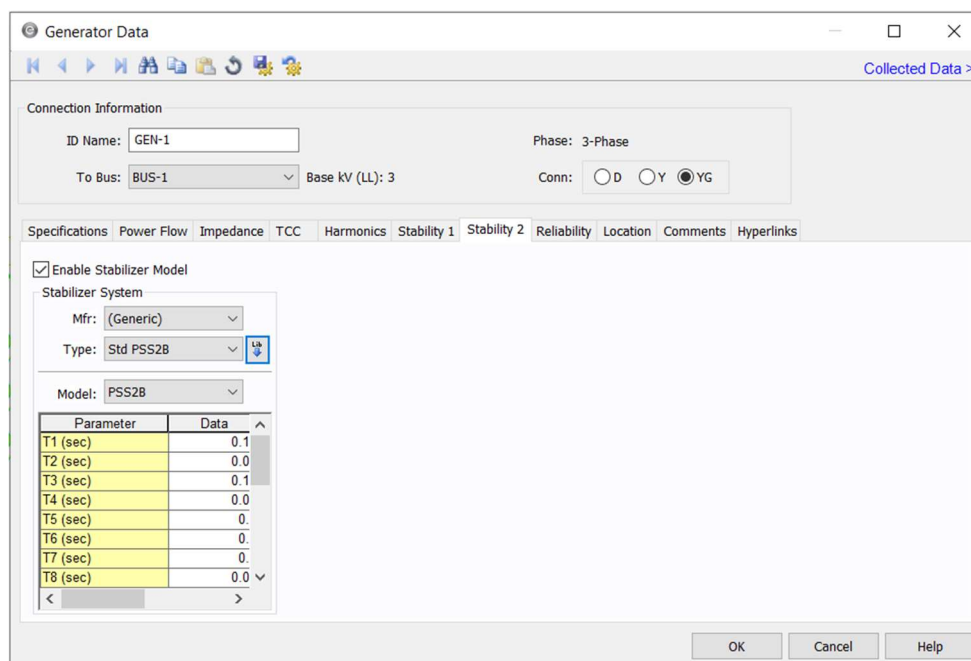
Slika 5.4 Izgled izbornika Stability 1 [2]

Odabirom izbornika Stability 1 otvara se mogućnost određenih promjena na samom modelu generatora. Izbornik nudi opciju odabira točno određenog modela generatora (u programu: generators) , opciju odabira uzbude generatora (u programu: excitation system) te opciju odabira regulatora generatora (u programu: governor system). Odabirom opcije modela generatora otključavaju se opcije odabira određenih tipova uzбудnika te regulatora generatora. Za svaki od generatora postoje parametri koji se povlače iz EasyPower-ove biblioteke (u programu: library). Odabirom svake od opcija mijenja se i simbol generatora prikazan u samom programu.

Tablica 1. Promjene simbola generatora primjenom različitih opcija [2]

Opcija:	Simbol:
Uključen model generatora	
Uključen model generatora i sustav uzбудnika	
Uključen model generatora, sustav uzбудnika i regulator	
Uključen model generatora i regulator	

Osim opcije Stability 1 koja je prethodno opisana u programu postoji mogućnost odabira opcije Stability 2.



Slika 5.5 Izgled izbornika Stability 2 [2]

U izborniku Stability 2 postoji mogućnost odabira stabilizatora, odabirom tog istog modela simbol generatora se ne mijenja što nije slučaj kod ostala tri parametra (sustav uzbudnika, model generatora i regulator). Kao i kod prethodnih parametara odabire se model i tip stabilizatora te se podaci za određeni tip povlače iz programske biblioteke.

## 5.4. Parametri modela generatora

Kod odabira opcije modela generatora EasyPower nudi različite opcije prikazane na slici 5.6.

Parameter	Data
Rated MVA	
Rated Eff (%)	0.9
Synchronous RPM	300
Rated V (LL)	300
Rated Amps	192.4500
Rated PF	0.
Ra (pu)	0.00
Xd (pu)	1.1
Xq (pu)	1.1

Slika 5.6 Proizvođač, vrsta, model i parametri određenog generatora [2]

Odabirom opcije modela generatora EasyPower nudi opciju odabira proizvođača, vrste i modela generatora te povlačenja parametara za odabrani generator iz programske biblioteke. Pod opcijom proizvođača (u programu: Mfr) prikazani su proizvođači koji se nalaze unutar programske biblioteke. Ako postoji proizvođač koji nije u programskoj biblioteci postoji mogućnost dodavanja proizvođača u biblioteku. Nakon odabira proizvođača odabire se i vrsta generatora odabranog proizvođača (u programu: type) te zatim i model generatora odabrane vrste generatora. Na temelju odabira proizvođača, vrste i modela generatora EasyPower povlači parametre iz biblioteke sustava. Na slici 5.6 odabran je Westinghouse-ov generator s okruglim rotorom te je prikazan i dio parametara tog generatora bitnih za prijelaznu stabilnost.



Parametar	Mjerna jedinica	Opis
<i>Rated MVA</i>	<i>MVA</i>	Prividna snaga
<i>Rated Efficiency</i>	%	Efikasnost
<i>Rated Speed</i>	<i>RPM</i>	Broj okretaj u minuti
<i>Rated Voltage</i>	<i>V</i>	Napon
<i>Rated Current</i>	<i>A</i>	Struja
$R_a$	<i>pu</i>	Otpor armature
$X_d$	<i>pu</i>	Sinkrona reaktancija s izravnom osi
$X_q$	<i>pu</i>	Sinkrona reaktancija s kvadraturnom osi
$X'_d$	<i>pu</i>	Prijelazna reaktancija s izravnom osi
$X'_q$	<i>pu</i>	Prijelazna reaktancija s kvadraturnom osi
$X''_d = X''_q$	<i>pu</i>	Subtranzijenta reaktancija s izravnom i kvadraturnom osi
$X_l$	<i>pu</i>	Reaktancija propuštanja statora
$T'_{do}$	<i>sekunda</i>	Prijelazna vremenska konstanta otvorenog kruga s izravnom osi
$T'_{qo}$	<i>sekunda</i>	Prijelazna vremenska konstanta otvorenog kruga s kvadraturnom osi
$T''_{do}$	<i>sekunda</i>	Subprijelazna vremenska konstanta otvorenog kruga s kvadraturnom osi
$T''_{qo}$	<i>sekunda</i>	Subprijelazna vremenska konstanta otvorenog kruga s kvadraturnom osi

$E_1$	$pu$	Prvi napon za definiranje zasićenja
$E_2$	$pu$	Drugi napon za definiranje zasićenja
$S_{(E1)}$	$pu$	Zasićenje za E1
$S_{(E2)}$	$pu$	Zasićenje za E2
$H$	$kW-Sec / kVA$	Kombinirana inercija stroja i glavnog pokretača
$D$	$pu$	Strojno prigušivanje

\* $pu$ - per unit

Tablica 2. Parametri kod modela generatora [2]

## 5.5. Parametri sustava uzбудnika

Kod odabira opcije sustava uzbudnika EasyPower nudi različite opcije prikazane na slici 5.7.

Enable Exciter Model

Excitation System

Mfr: (Generic) ▾

Type: Std Simple ▾ Lib

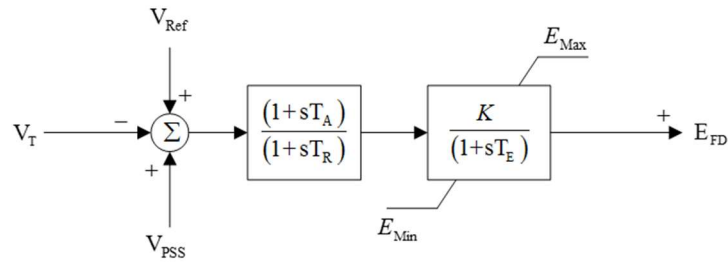
Model: Simple ▾

Parameter	Data
TA (sec)	1
TB (sec)	0.1
TE (sec)	0.05
K (pu)	10
E Min (pu)	-3.2
EMax (pu)	4

< [ ] >

Slika 5.7 Proizvođač, vrsta, model i parametri određenog sustava uzbudnika [2]

U svrhu prikaza parametara odabran je opći sustav uzbudnika, vrste Std Simple i modela Simple. Također EasyPower nudi i prikaz sustava uzbudnika u obliku blok dijagrama. Do opcije prikaza blok dijagrama sustava uzbudnika dolazi se uz pomoć EasyPower Help opcije.



Slika 5.8 Prikaz blok dijagrama odabranog sustava uzbuđivača. [2]

Parametar	Mjerna jedinica	Opis
$T_A$	<i>sekunda</i>	Vrijeme izvođenja
$T_B$	<i>sekunda</i>	Vrijeme zaostajanja
$T_E$	<i>sekunda</i>	Vremenska konstanta pobude
$K$	<i>pu</i>	Korist uzbuđivača
$E_{min}$	<i>pu</i>	Minimalno ograničenje uzbuđivača
$E_{max}$	<i>pu</i>	Maksimalno ograničenje uzbuđivača

Tablica 3. Parametri odabranog sustava uzbuđivača [2]

## 5.6. Parametri regulatora i stabilizatora

Osim modela generatora i sustava uzbuđivača EasyPower nudi opciju promatranja stabilnosti generatora uz regulator i stabilizator. Kao i kod modela generatora i sustava uzbuđivača i kod regulatora i kod stabilizatora odabire se proizvođač, vrsta i model odabranog regulatora i/ili stabilizatora. U svrhu dobivanja parametara odabran je opći regulator (u programu: generic) te model i vrsta predviđena za dizelski generator.

Enable Governor Model

Governor System

Mfr: (Generic) ▾

Type: Std Diesel ▾ Lib

Model: Diesel ▾

Parameter	Data
R (pu)	0.0
T1 (sec)	0.
T2 (sec)	0.04
T3 (sec)	0.1
T4 (sec)	
T5 (sec)	0.32
T6 (sec)	0.0
TD (sec)	

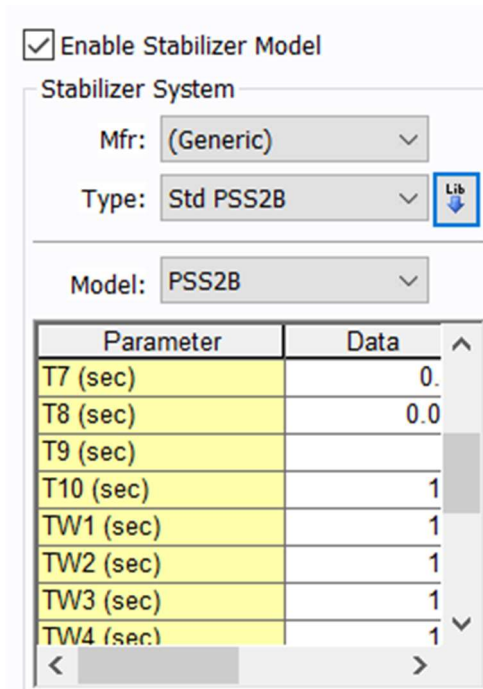
Slika 5.9 Proizvođač, vrsta, model i parametri određenog sustava regulatora [2]

Parametar	Mjerna jedinica	Opis
$R$	<i>sekunda</i>	Povratna informacija o iskorištenosti gasa
$T_1$	<i>sekunda</i>	Konstanta vremena upravljačke ploče
$T_2$	<i>sekunda</i>	Konstanta vremena upravljačke ploče
$T_3$	<i>sekunda</i>	Konstanta vremena upravljačke ploče
$T_4$	<i>sekunda</i>	Vremenska konstanta pokretača
$T_5$	<i>sekunda</i>	Vremenska konstanta pokretača
$T_6$	<i>sekunda</i>	Vremenska konstanta pokretača
$T_d$	<i>sekunda</i>	Vrijeme odgode paljenja motora
$K$	<i>pu</i>	Korist pokretača

$T_{\max}$	$pu$	Maksimalan obrtni moment pokretača
$T_{\min}$	$pu$	Minimalni obrtni moment pokretača
<i>Droop/Isoch</i>		Opadajući način ili izokroni način

Tablica 4. Parametri odabranog sustava regulatora [2]

U izborniku Stability 2 nalazi se mogućnost odabira stabilizatora. Zbog dobivanja određenih parametara odabran je opći stabilizator (u programu: generic) te vrsta Std PSS2B i model IEEE 1A.



Slika 5.10 Proizvođač, vrsta, model i parametri određenog sustava regulatora [2]

Parametar	Mjerna jedinica	Opis
$T_1$	<i>sekunda</i>	Prva vremenska konstanta izvođenja
$T_2$	<i>sekunda</i>	Prva vremenska konstanta zaostajanja

$T_3$	<i>sekunda</i>	Druga vremenska konstanta izvođenja
$T_4$	<i>sekunda</i>	Druga vremenska konstanta zaostajanja
$T_5$	<i>sekunda</i>	Treća vremenska konstanta izvođenja
$T_6$	<i>sekunda</i>	Treća vremenska konstanta zaostajanja
$T_7$	<i>sekunda</i>	Filtar vremenske konstante izvođenja
$T_8$	<i>sekunda</i>	Filtar vremenske konstante zaostajanja
$T_9$	<i>sekunda</i>	Vremenska konstanta frekvencije faze
$T_{10}$	<i>sekunda</i>	Vremenska konstanta snage faze
$T_{w1}$	<i>sekunda</i>	Prva vremenska konstanta ispiranja frekvencije faze
$T_{w2}$	<i>sekunda</i>	Druga vremenska konstanta ispiranja frekvencije faze
$T_{w3}$	<i>sekunda</i>	Druga vremenska konstanta ispiranja snage faze
$T_{w4}$	<i>sekunda</i>	Druga vremenska konstanta ispiranja snage faze
$K_1$	<i>sekunda</i>	Korist energetskeg stabilizatora
$K_2$	<i>sekunda</i>	Prvo povećanje snage faze
$K_3$	<i>sekunda</i>	Drugo povećanje snage faze
$V_{\max}$	<i>sekunda</i>	Maksimalni izlaz energetskeg stabilizatora
$V_{\min}$	<i>sekunda</i>	Minimalni izlaz energetskeg stabilizatora

Tablica 5. Parametri stabilizatorskog modela [2]

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazan je i objašnjen model generatora u EasyPower programskom paketu s naglaskom na prijelaznu stabilnost. EasyPower nudi mogućnost odabira generatora određenog proizvođača te model istog. Parametri prijelazne stabilnosti dobivaju se odabirom određenog modela generatora te podešavanjem parametara modela generatora, sustava uzbudnika, regulatora i stabilizatora. EasyPower korisniku ostavlja mogućnost odabira određenih parametara prijelazne stabilnosti te mogućnost dodavanja novih parametara u vidu dodavanja modela generatora drugih tipova i proizvođača. Sama mogućnost uključivanja parametara prijelazne stabilnosti od velike je važnosti prilikom dimenzioniranja mreže i analizom generatora takve mreže promatraju se određeni parametri tijekom naglog ukapčanja ili iskapčanja velikih izvora i potrošača te kratkih spojeva u mreži. Generator je temelj svake mreže te kao takav iznimno je bitan i promatranjem parametara generatora može se doći i do dodatnih zaključaka o mreži napajanog iz tog generatora. Još jedna prednost koju nudi EasyPower mogućnost je uvida u svaki od parametara prijelazne stabilnosti te objašnjenje istih. Dobra strana programskih paketa kao što je EasyPower mogućnost je dimenzioniranja i simulacije određenih generatora bez posjedovanja posebnih mjernih instrumenata i opreme te laboratorijske analize promatranog generatora što značajno umanjuje troškove koji su potrebni kako bi se došlo do određenih rezultata i zaključaka.

## LITERATURA

- [1] Kolundžić, M., Tokovi snaga u elektroenergetskoj mreži, Osijek, 2017.
- [2] EasyPower programski paket, zadani modeli mreže i ostalo, Osijek, 2021.
- [3] Hrvatska enciklopedija, članak o električnim generatorima ,dostupno na: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17578> , pristupljeno 1.7.2021.
- [4] Wikipedia, službena stranica, članak o električnom generatoru, dostupno na: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni\\_generator](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_generator) , pristupljeno 1.7.2021.
- [5] Mandić, I., Tomljenović, V., Pužar, M., Sinkroni i asinkroni električni strojevi, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel, Zagreb, 2012.,dostupno na: <https://bib.irb.hr/datoteka/629238.SinAsin.pdf> , pristupljeno 1.7.2021.
- [6] Generator Source ,službena stranica, članak o generatorima, dostupno na: <https://www.generatorsource.com/Cat-C175-20-Generator-Set.aspx> , pristupljeno 1.7.2021.
- [7] Toppr, službena stranica, članak o izmjeničnim generatorima, dostupno na: <https://www.toppr.com/guides/physics/electromagnetic-induction/ac-generator/> , pristupljeno 1.7.2021.
- [8] Wikipedia, službena stranica, članak o proizvodnji električne energije, dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity\\_generation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_generation) , pristupljeno 1.7.2021.
- [9] Quora, službena stranica, rasprava o generatorima, dostupno na: <https://www.quora.com/What-is-a-single-phase-power> , pristupljeno 1.7.2021.
- [10] Komen, V., Predavanje o trofaznom sustavu izmjenične struje, Osnove elektrotehnike i elektronike, Veleučilište u Rijeci, dostupno na: [https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni\\_materijali/k\\_sigurnost\\_1/ELEK\\_POG\\_06.pdf](https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_sigurnost_1/ELEK_POG_06.pdf) , pristupljeno 1.7.2021.
- [11] Hrvatska enciklopedija, članak o elektroenergetskom sustavu ,dostupno na: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17604> , pristupljeno 1.7.2021.
- [12] HOPS, službena stranica, dnevni dijagram opterećenja, dostupno na: <https://www.hops.hr/dijagram-opterecenja-dnevni> , pristupljeno 20.3.2021.
- [13] Slideserve, prezentacija o proizvodnji i potrošnji električne energije, dostupno na: <https://www.slideserve.com/sidone/proizvodnja-i-potro-nja-elektri-ne-energije> , pristupljeno 1.7.2021.
- [14] Ilikeese, službena stranica, članak o nuklearnoj elektrani u Cattenomu-u, dostupno na: <https://www.ilikeese.com/industry/energy/power-station/nuclear/cattenom-nuclear-power-plant/> , pristupljeno 1.7.2021.
- [15] Mechanical Booster, službena stranica, članak o vjetroelektranama, dostupno na: <https://www.mechanicalbooster.com/2017/12/wind-power-plant.html> , pristupljeno 1.7.2021.



[16] Bajš, D., Analiza prijelazne stabilnosti planiranog elektroenergetskog sustava na području srednje Dalmacije, članak, Zagreb, 2010. dostupno na:  
[http://www.eihp.hr/~dbajš/energija\\_prijel%20stab.pdf](http://www.eihp.hr/~dbajš/energija_prijel%20stab.pdf), pristupljeno 1.7.2021.

[17] Grulović-Plavljančić, Nedjeljka., Analiza kutne stabilnosti generatora priključenog na elektroenergetski sustav, Split, 2012.

[18] Be a good earthling, opis rada nuklearne elektrane ,službena stranica, dostupno na:  
<https://beagoodearthling.com/nuclear-power-plants>, pristupljeno 1.7.2021.

[19] Byjus, službena stranica, članak o fosilnim gorivima, dostupno na:  
<https://byjus.com/physics/fossil-fuel/>, pristupljeno 1.7.2021.

## **SAŽETAK**

Zadatak ovog završnog rada bio je opisati model generatora s naglaskom na prijelaznu stabilnost u EasyPower programu. U prvom poglavlju ovog završnog rada prikazan je uvod i opis zadatka. Drugo poglavlje bazira se na EasyPower programu i kratkom opisu samog programa i prikazu mogućnosti koje program nudi. U trećem poglavlju opisan je princip rada generatora te su prikazane određene vrste generatora. U četvrtom poglavlju opisan je elektroenergetski sustav te primjena generatora unutar određenih elektrana i postrojenja. U petom poglavlju opisan je model generatora uz uključene parametre prijelazne stabilnosti.

Ključne riječi: EasyPower, generator, prijelazna stabilnost, sustav uzбудnika, sustav regulatora, sustav stabilizatora

## **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to describe model of generator in EasyPower with an emphasis on transient stability. In the first chapter of this paper is the introduction and description of task. The second chapter is based on description of EasyPower and is showing opportunities that EasyPower offers. The third chapter describes working principles of generator and it shows different types of generators. In the fourth chapter is the description of power system application of generator within certain power plants and facilities. The fifth chapter describes model of generator with the included transient stability parameters.

Key words: EasyPower, generator, transient stability, exciter model, governor model, stabilizer model

## **ŽIVOTOPIS**

Luka Žuljević rođen je 4.veljače.2000. u Osijeku. Nakon završetka osnovne škole upisuje 2014. Gimnaziju A.G.Matoš u Đakovu, smjer: opća gimnazija. 2018. završava srednju školu i polaže državnu maturu. 2018. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Na drugoj godini studija odabire izborni blok elektroenergetika.