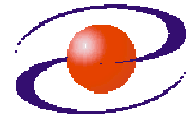




**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**



STUDIJSKI PROGRAM: *ENERGETIKA I AUTOMATIKA*

PREDMET: *ANALIZA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA II*

FOND ČASOVA: *2+2+0.5*

LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 2

NAZIV: *ANALIZA TRANZIJENTNE STABILNOSTI*

CILJEVI VJEŽBE:

- Formiranje matematičkog modela voda i potrošača za analizu stabilnosti,
- Upoređenje rezultata sa rezultatima koji su dobijeni računskim putem (auditorne vježbe iz Analize elektroenergetskih sistema II),
- Proračun kritičnog vremena isključenja,
- Proračun transfer impedanse,
- Analiza uticaja poremećaja proizvodnje i potrošnje na tranzijentnu stabilnost.

POTREBAN PRIBOR:

- kalkulator.

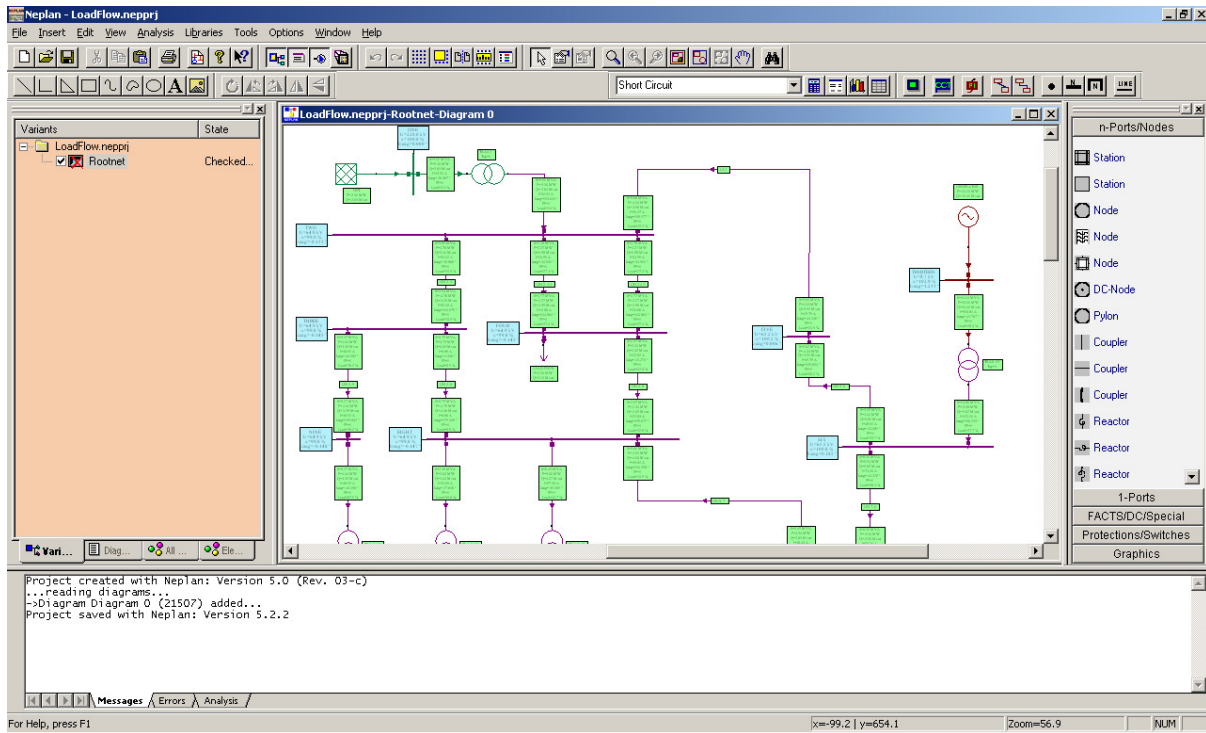
IME I PREZIME: _____.

BROJ INDEKSA: _____.

BROJ POENA:	
OVJERAVA:	
DATUM:	

1. APARATURA

Na raspolaganju je softver NEPLAN 5.2 u studentskoj verziji za simulaciju rada elektroenergetskih sistema (Slika 1.1).



Slika 1.1 Radni prozor softvera za simulaciju EES

2. TEORIJSKA OSNOVA LABORATORIJSKE VJEŽBE

2.1 Značaj analize stabilnosti

Tranzijentna stabilnost bavi se proučavanjem efekata velikih i iznenadnih poremećaja. Analize tranzijentne stabilnosti su važne jer daju podatke za izbor tipa i podešavanja zaštitnih releja, kritičnog vremena isključenja prekidača, sistema automatike, naponskih nivoa i prenosnih kapaciteta međusistemskih spojnih vodova.

Podjela analize stabilnosti na statičku (uključujući i dinamičku) i tranzijentnu stabilnost predstavlja dekompoziciju problema, tako što tranzijentna stabilnost proučava efekte poremećaja u kratkom periodu poslije njegovog nastanka, a dinamička i statička stabilnost proučava dugotrajne efekte, uključujući i stacionarna stanja.

Sinhrona mašine u režimu kvara (kratkom spoju) predstavljaju se Theveninovim ekvivalentom, tj. impedansama u subtranzijentnom, tranzijentnom ili sinhronom periodu (zavisno od posmatranog perioda prelaznog procesa) i odgovarajućim ems E_f' , E_f'' i E_f iza tih impedansi. Za analizu stabilnosti su veoma značajni izrazi za aktivne i reaktivne snage u funkciji ugla koji su izvedeni korišćenjem pomenutih ekvivalenata.

Izraz za aktivnu snagu generatora sa cilindričnim rotorom je

$$P = \operatorname{Re}\{\underline{S}\} = \frac{EU}{Z_d} \cos(\delta + \beta) - \frac{U^2}{Z_d} \cos \beta = \frac{EU}{Z_d} \sin(\delta - \psi) - \frac{U^2}{Z_d} \sin \psi \quad (2.1)$$

a za reaktivnu snagu

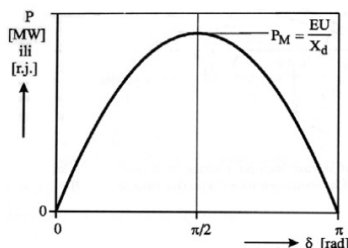
$$Q = \operatorname{Im}\{\underline{S}\} = \frac{EU}{Z_d} \sin(\delta + \beta) - \frac{U^2}{Z_d} \sin \beta = \frac{EU}{Z_d} \cos(\delta - \psi) - \frac{U^2}{Z_d} \cos \psi \quad (2.2)$$

gdje je $\psi = \pi/2 - \beta$ komplementarni ugao sinhronne impedanse Z_d .

Pošto je za sinhronne mašine $Z_d \approx jX_d$, odnosno $\beta \approx \pi/2$ i $\psi \approx 0$, onda se izrazi (2.1) i (2.2) mogu uprostiti u oblike:

$$\begin{aligned} P &= \frac{EU}{Z_d} \sin \delta = P_M \sin \delta \\ Q &= \frac{EU}{Z_d} \cos \delta - \frac{U^2}{X_d} = P_M \cos \delta - \frac{U^2}{X_d} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dijagrami $P(\delta)$ i $Q(\delta)$ nazivaju se krive snaga-ugao, a kriva $P(\delta)$ naziva se još i kriva njihanja (Slika 2.1) koja postiže maksimum P_M pri $\delta = \pi/2$.



Slika 2.1 Kriva snaga-ugao $P(\delta)$

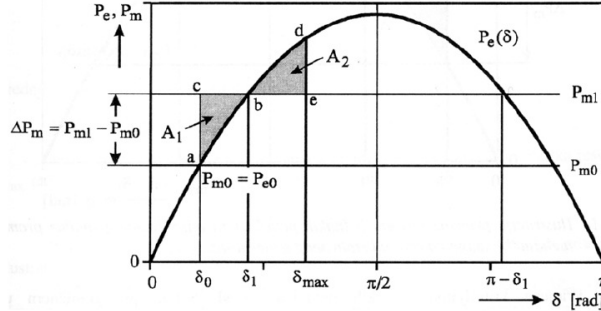
2.2 Analiza tranzijentne stabilnosti

Postupak poznat kao metod jednakih površina koristi se za brzo rješavanje problema tranzijentne stabilnosti jednomašinskog sistema. Metod se bazira na grafičkoj interpretaciji kinetičke energije obrtnih masa generatora i pogonske mašine na dijagramu $P(\delta)$.

Uslov stabilnosti je da se nakon pojave poremećaja očuva sinhronizam, što znači da, poslije izvjesnog prelaznog perioda, promjena ugaone brzine mora biti nula. Taj uslov je ispunjen pri:

$$\int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - P_e) d\delta = 0 \quad (2.4)$$

Kriterijum (2.4) pri naglom povećanju mehaničke snage na osovini generatora je grafički interpretiran na Slika 2.2.



Slika 2.2 Ilustracija primjene kriterijuma jednakih površina

Početno ravnotežno stanje određeno je presjekom karakteristika za mehaničku snagu P_m i električnu snagu $P_e(\delta)$ u tački a, pri $\delta = \delta_0$. Pri nagloj (odskočnoj) promjeni mehaničke snage od P_{m0} na P_{m1} promjera se horizontalna prava $P_{m0}(\delta)$ za $\Delta P = P_{m1} - P_{m0}$. Kako je prema Slika 2.2 u novoj tački presjeka b, $P_{m1} > P_{m0}$, odnosno $\Delta P_m > 0$, očigledno je da se i ugao povećao sa δ_0 na δ_1 . U rotoru dolazi do povećanja akumulisane kinetičke energije tokom početnog ubrzanja koja se određuje integralom:

$$\int_{\delta_0}^{\delta_1} (P_{m1} - P_e) d\delta \equiv \text{površina abc} = A_1 \quad (2.5)$$

Sa porastom ugla snage od δ_0 na δ_1 , električna snaga P_e se prilagođava promijenjenoj mehaničkoj snazi P_{m1} . U tački b, određenoj uglom δ_1 , postiže se nova ravnoteža snaga kada je proizvodnja jednaka potrošnji. Međutim, usljed naglog povećanja P_m došlo je do ubrzanja rotora koji se i pri uglu δ_1 obrće brzinom iznad sinhrona, pa ugao δ i električna snaga $P_e(\delta)$ nastavljaju da rastu. U tom prelaznom periodu je proizvodnja veća od potrošnje, što izaziva usporavanje rotora, da bi pri uglu $\delta_{max} = \delta$ došlo do vraćanja ugaone brzine ω na sinhronu brzinu ω_s i do smanjenja ugla δ . Režim će se mijenjati po krivoj d – b u kom dijelu je i dalje proizvodnja veća od potrošnje, zbog čega se nastavlja usporavanje rotora i smanjenje ω ispod ω_s .

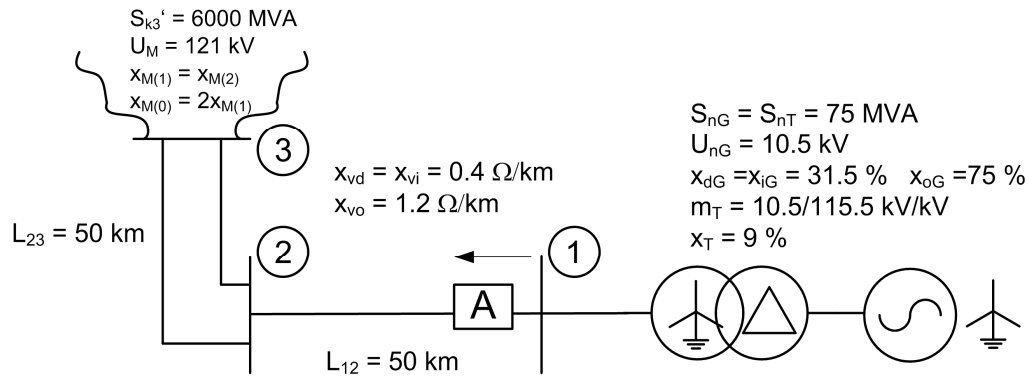
U tački b će ponovo doći do ravnoteže mehaničke i električne snage. Međutim, ugaona brzina generatora je manja od sinhrona jer se od tačke d stalno smanjivala, pa će i ugao δ i dalje da se smanjuje. Proces će se odvijati po dijelu b – a karakteristike $P_e(\delta)$ na kome je ponovo potrošnja veća od proizvodnje, što će dovesti ponovo do ubrzanja rotora. Zbog ubrzanja, pri nekom uglu $\delta < \delta_1$ nastupiće izjednačavanje $\omega = \omega_s$ i ponovni rast ugla δ . Rotor će oscilovati oko tačke b sve dok postoji višak kinetičke energije u obrtnim masama. Veličina te energije koju rotor troši prilikom svog usporavanja dok se kod ugla $\delta = \delta_{max}$ ne povrti na sinhronu brzinu je:

$$\int_{\delta_1}^{\delta_{max}} (P_e - P_{m1}) d\delta \equiv \text{površina bdc} = A_2 \quad (2.6)$$

Prethodna analiza je pokazala da rotor osciluje i da se vraća u novu ravnotežnu tačku b iz položaja određenog uglom δ_{max} kada se ostvari uslov jednakosti energija ubrzanja i usporenja, odnosno jednakosti odgovarajućih površina A_1 i A_2 , time je definisan kriterijum stabilnosti poznat kao kriterijum jednakih površina. U prelaznom periodu javljaju se oscilacije po uglu δ i ugaonoj brzini ω koje se pod dejstvom prigušenja mašine brzo smanjuju, tako da se novo ravnotežno stanje u tački b, ako je sistem stabilan, brzo uspostavlja.

3. ZADACI LABORATORIJSKE VJEŽBE

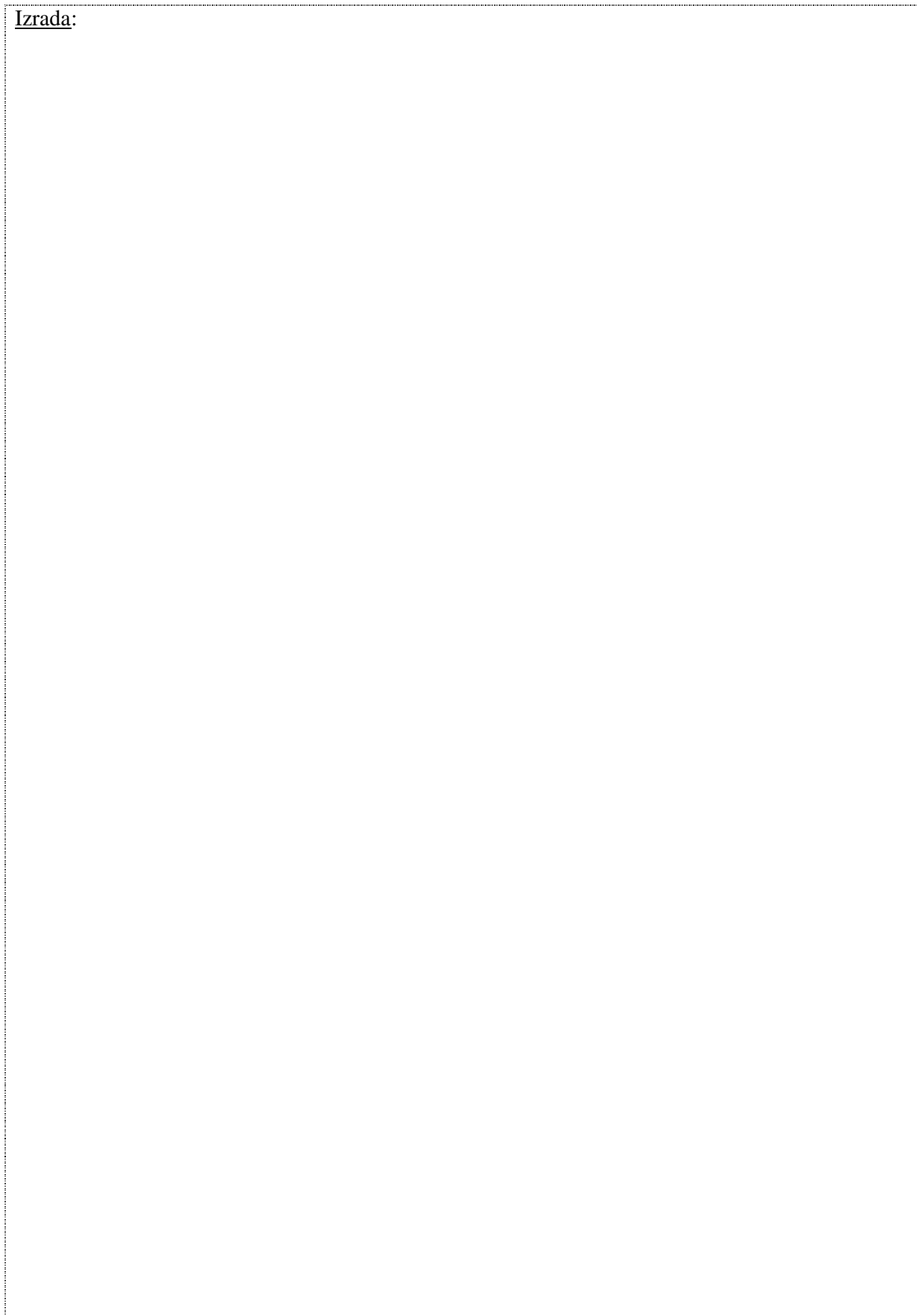
1) U dijelu sistema prikazanom na Slici 3.1, dolazi do trolepnog kratkog spoja na polovini jednog od vodova između čvorova 2 i 3. Odrediti koliko je maksimalno vrijeme poslije koga se mora isključiti vod u kvaru kako bi sistem ostao stabilan. Napon u čvoru 1 prije kvara iznosio je 113.4 kV, a snaga $S_{12} = (50 - j25.9)$ MVA. Uzeti da je $T_i = 8s$.



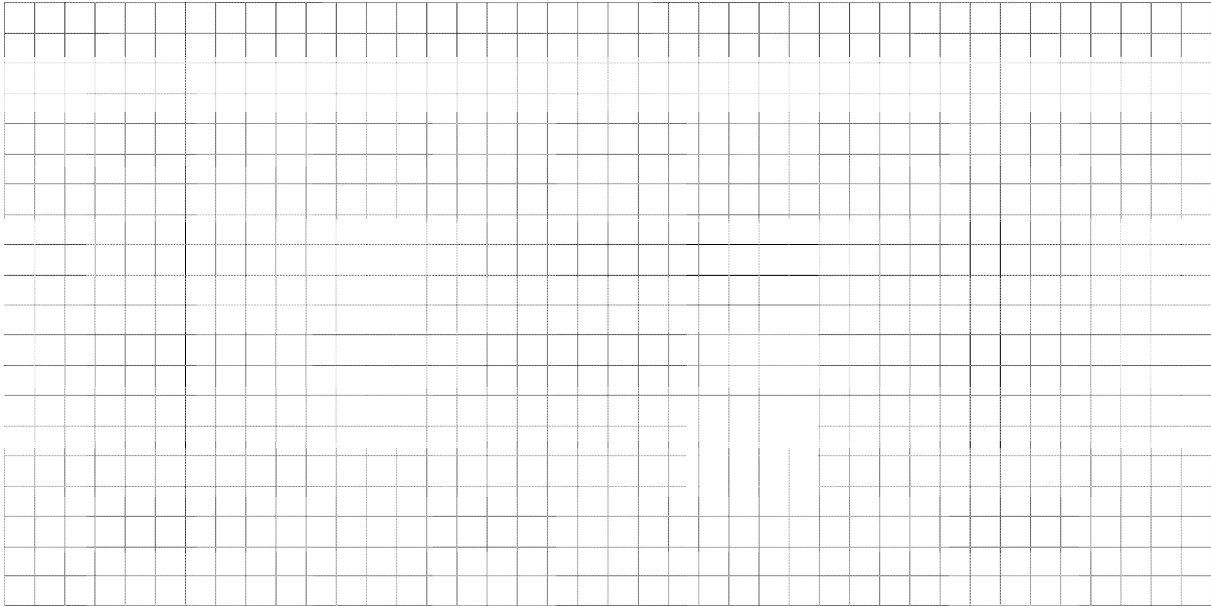
Slika 3.1 Dio EES-a

Izrada:

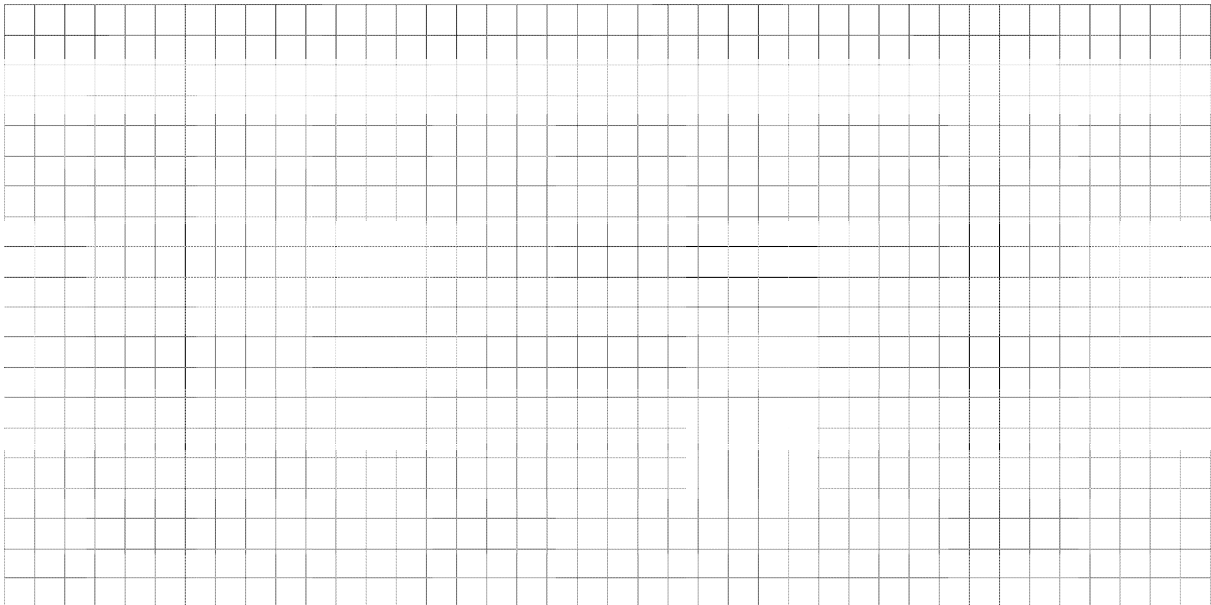
Izrada:



2) Koristeći softver Neplan 5.2 za simulaciju EES, formirati model iz prethodnog zadatka i provjeriti rezultate dobijene proračunom iz prethodnog zadatka. Nacrtati grafik snage i ugla rotora u zavisnosti od vremena za analizirani slučaj graničnog vremena isključenja. (Podesiti da generator daje mreži $P_G = 50$ MW i radi sa naponom od 0.9524 r.j. na sabirnicama, a koeficijent prigušenja D na 2 MW/Hz)

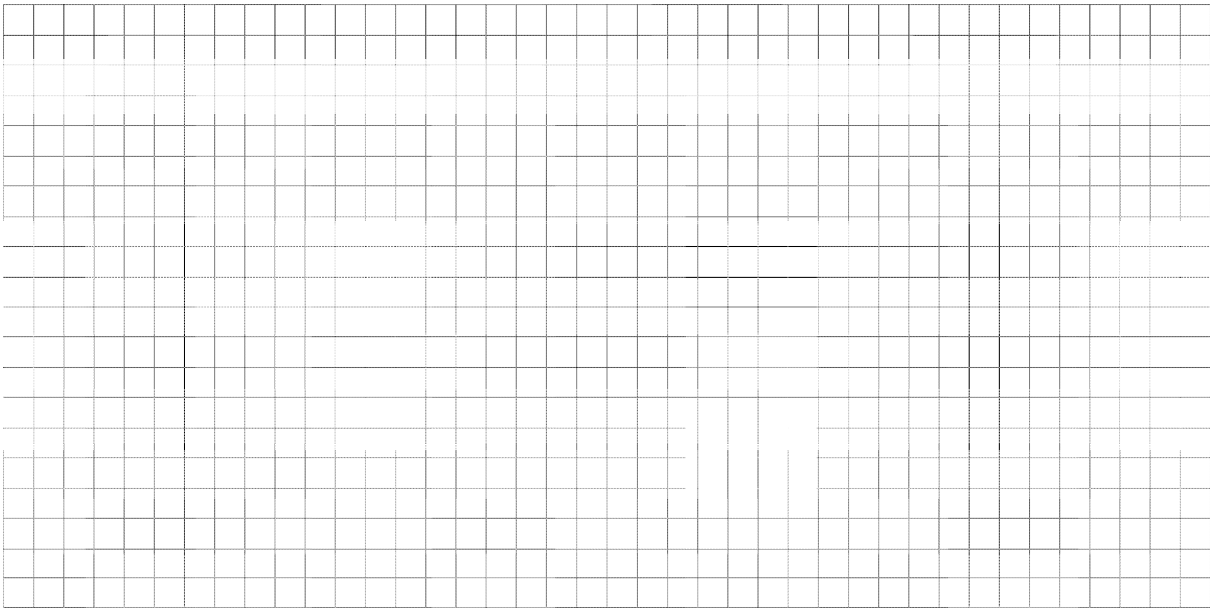


Slika 3.2 Aktivna i reaktivna snaga generatora G_1 u funkciji vremena

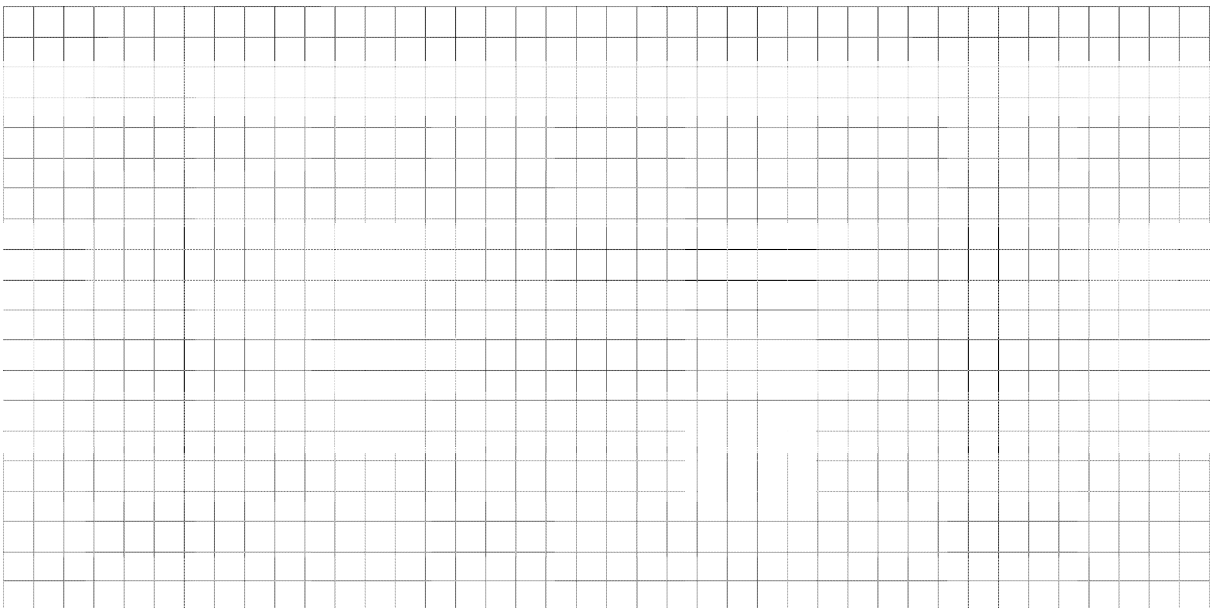


Slika 3.3 Ugao rotora generatora G_1 u funkciji vremena

3) Koristeći Neplan, ispitati tranzijentnu stabilnost u slučaju isključenja i ponovnog uključenja voda v_{12} nakon 0.05s. Nacrtati grafik snage i ugla rotora u zavisnosti od vremena za analizirani slučaj graničnog vremena isključenja.



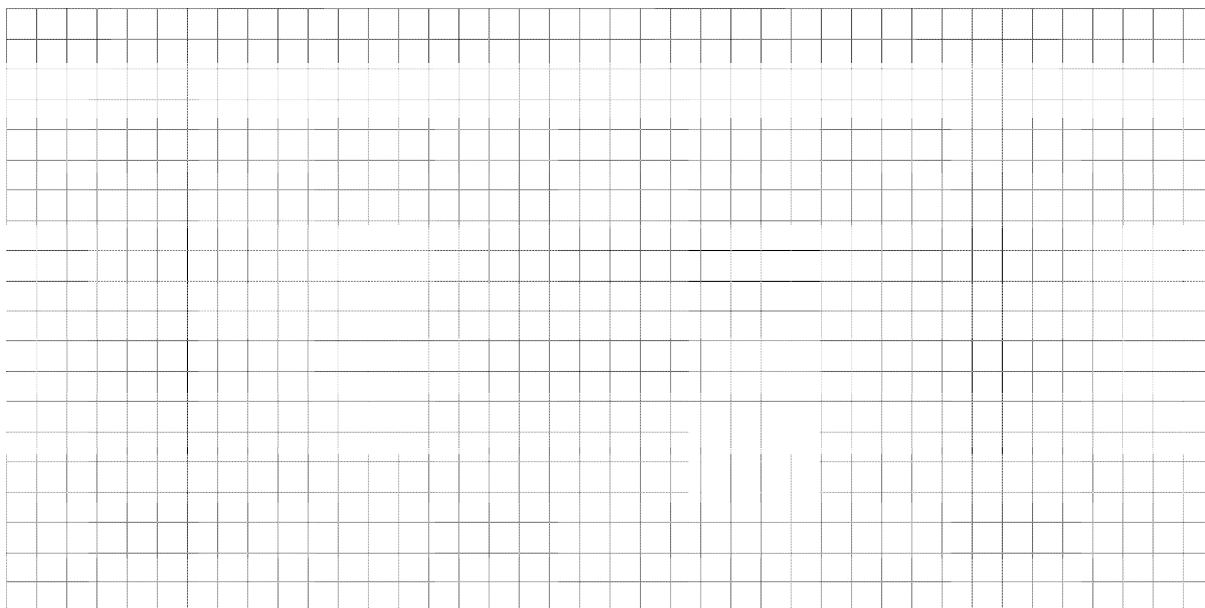
Slika 3.4 Aktivna i reaktivna snaga generatora G_1 u funkciji vremena



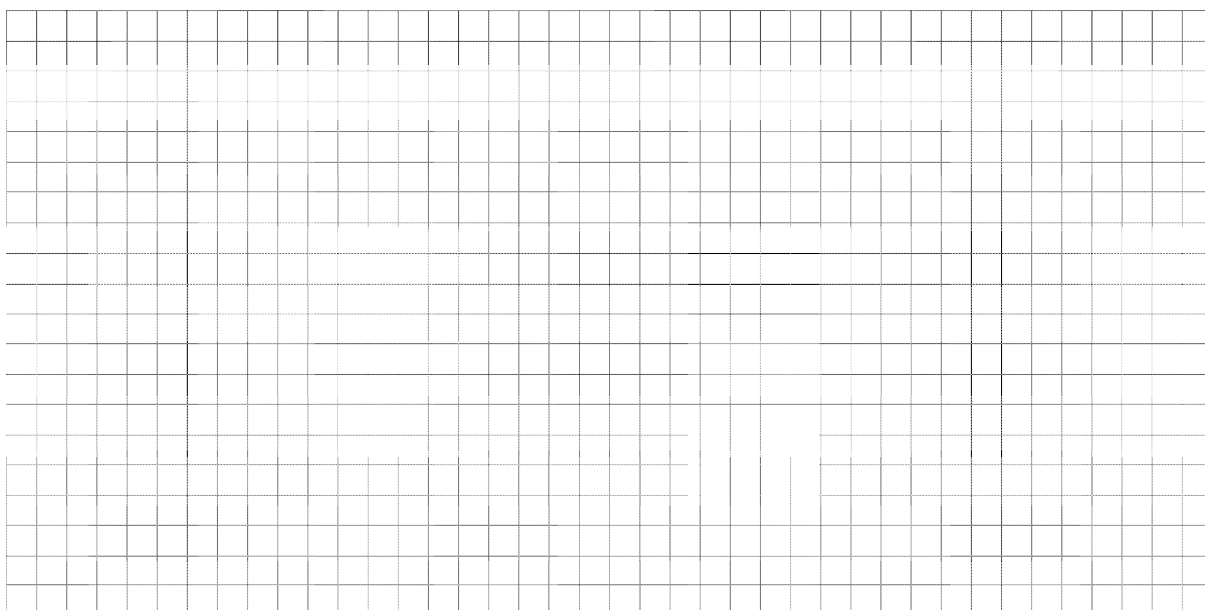
Slika 3.5 Ugao rotora generatora G_1 u funkciji vremena

Da li je sistem stabilan? Zašto?

4) Koristeći Neplan, ispitati tranzijentnu stabilnost u slučaju jednopolnog kratkog spoja jednog od vodova v_{23} i isključenja tog voda nakon 0.05s. Nacrtati grafik snage i ugla rotora u zavisnosti od vremena za analizirani slučaj graničnog vremena isključenja.



Slika 3.6 Aktivna i reaktivna snaga generatora G_1 u funkciji vremena



Slika 3.7 Ugao rotora generatora G_1 u funkciji vremena

Da li je sistem stabilan? Zašto?

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu urađenih zadataka, odgovoriti na sljedeća pitanja.

1. Koja kriva se posmatra pri analizi tranzijentne stabilnosti?

2. Koji metod se najčešće primjenjuje pri analizi tranzijentne stabilnosti? Objasniti.

3. Koji od analiziranih kvarova je najnepovoljniji s aspekta očuvanja tranzijentne stabilnosti?
Zašto?

4. Uticaj vremena isključenja prekidača na tranzijentnu stabilnost?

5. Kakav je uticaj inercione konstante na stabilnost?
