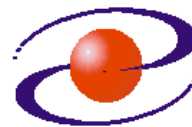




**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**



STUDIJSKI PROGRAM: *ENERGETIKA I AUTOMATIKA*

PREDMET: *ANALIZA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA I*

FOND ČASOVA: *2+2+0.5*

LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 3

NAZIV:

PRORAČUN TOKOVA SNAGA

CILJEVI VJEŽBE:

- Formiranje modela mreže za proračun tokova snaga,
- Upoređenje rezultata sa rezultatima koji su dobijeni računskim putem (auditorne vježbe iz Analize elektroenergetskih sistema I),
- Analiza uloge balansnog generatora, generatorskog i potrošačkog čvora,
- Analiza različitih metoda proračuna tokova snaga,
- Analiza odnosa $P-\delta$ i $Q-V$ kod proračuna tokova snaga.

POTREBAN PRIBOR:

- kalkulator.

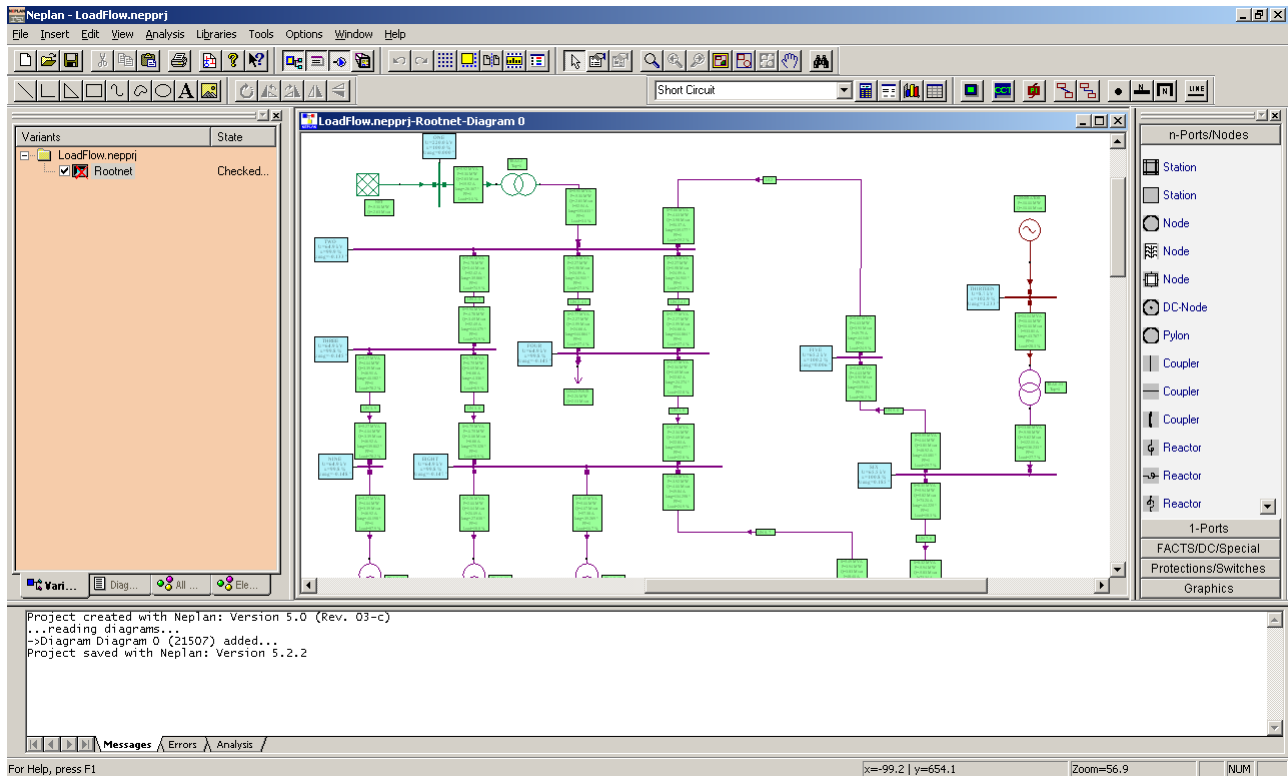
IME I PREZIME: _____.

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 Proračun tokova snaga

Problem tokova snaga sastoji se u određivanju modula i faznih stavova napona čvorova i tokova aktivnih i reaktivnih snaga u vodovima pri specificiranim uslovima o snagama potrošača, aktivnim snagama i modulima napona generatora. Kao što će se pokazati, opšta priroda problema, uslovljena karakterom veza između snaga i napona, dovodi do sistema simultanih nelinearnih algebarskih jednačina za čije rješavanje su neophodni iterativni numerički postupci. Postoji više matematičkih modela koji odražavaju problem tokova snaga, pa u skladu sa tim i više različitih iterativnih postupaka. Poslije 1956., kada su startovali proračuni tokova snaga na ondašnjim računarima, razvijen je veliki broj numeričkih algoritama. Međutim, u najvećoj primjeni su naprijed izloženi Gauss-Seidelov i Newton-Raphsonov iterativni algoritam.

Ovdje se, normalno, podrazumijevaju uravnoteženi simetrični trofazni sistemi, pa se u proračunima primjenjuju monofazna interpretacija i sistem jediničnih vrijednosti.

S obzirom na četiri osnovne veličine koje se pridružuju svakom čvoru:

- moduo napona U
- fazni stav napona θ
- aktivna snaga P
- reaktivna snaga Q

čvorovi mreže se klasifikuju u tri osnovne kategorije: balansni, generatorski i potrošački.

Balansni čvor odgovara sabirnicama onog generatora koji prvi reaguje na promjene opterećenja u sistemu. Balansni generator mora biti opremljen osjetljivim i brzim regulatorima snage zbog čega je on prvi agregat koji podiže ili spušta snagu kako to situacija zahtijeva.

Dakle, preko ovog čvora obezbjeđuje se i dodatna aktivna i reaktivna snaga za balansiranje (pokrivanje) prenosnih gubitaka koji unaprijed, odnosno do kraja proračuna nijesu poznati. Zbog toga se kod balansnog generatora ne specificiraju aktivna i reaktivna snaga da bi se ova jedinica mogla prilagođavati promjenama režima u sistemu, ali se specificiraju preostale dvije veličine: napon U i fazni stav θ . U sistemu jediničnih vrijednosti obično je $U = 1.0 \text{ |}0^\circ$.

Generatorski čvor (ili naponski kontrolisani čvor) odgovara sabirnicama ostalih generatora (bez ili sa priključenim potrošačima) kod kojih je specificirana aktivna snaga P_G i moduo napona U . Ovo zbog toga što sve generatorske jedinice imaju automatsku amplitudnu regulaciju napona, pa reaktivna snaga generatora Q_G nije direktno specificirana, pa se ovaj čvor naziva i PV čvor. Reaktivna snaga generatora se određuje proračunom, pri čemu se postavlja i dodatni uslov da ta snaga ostane u intervalu realnih minimalnih i maksimalnih granica

$$Q_{Gm} \leq Q_G \leq Q_{GM} \quad (2.1)$$

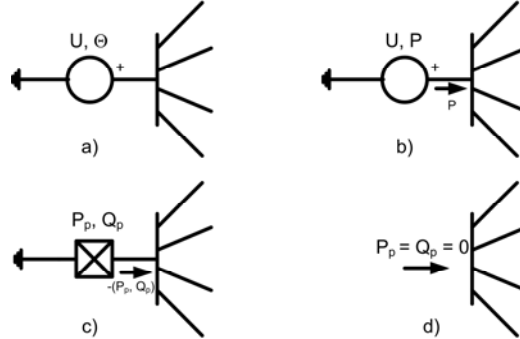
Potrošački čvor je sabirnica sistema u kojoj je priključen samo potrošač (bez generatora) sa specificiranim aktivnom P_P i reaktivnom snagom Q_P , pa se zato naziva i PQ čvor. Napon čvora po modulu U i faznom stavu θ određuju se proračunom. Ako u nekom čvoru nema ni generatora ni potrošača, onda se takav čvor može tretirati kao potrošački kod koga su $P_P = Q_P = 0$.

Na Slika 2.1 su prikazani različiti tipovi čvorova, sa specifikacijom zadatih veličina, uz konvenciju da je pozitivan smjer injektirane generatorske snage ka čvoru, a snage potrošača – od čvora.

Matematička formulacija problema tokova snaga može biti u konceptu čvorova ili u konceptu kontura, bilo u admitantnoj ili u impedantnoj formi. Raniji pristup koristio je koncept nezavisnih kontura u admitantnoj formi, ali je ovaj pristup napušten zbog naporne pripreme podataka oko specifikacije mrežnih kontura. Kasniji pristupi se oslanjaju na koncept nezavisnih čvorova i korišćenje \mathbf{Y}_B ili \mathbf{Z}_B matrica.

U poglavlju 3 je naglašeno da se matrica \mathbf{Y}_B može dobiti direktnim uvidom u analiziranu mrežu, kao i da je ova matrica slabo popunjena, tj. blizu 80 – 85 % su nulti vandijagonalni elementi. Zbog toga se danas u konceptu \mathbf{Y}_B za veće sisteme koristi tehnika rijetkih ("sparsity") matrica.

Koncept sa \mathbf{Z}_B nema problem slabe popunjenosti. \mathbf{Z}_B kao inverzna matrica matrice \mathbf{Y}_B je puna matrica, pa tehnika rijetkih matrica ovdje ne može biti primijenjena. U cilju ubrzanja proračuna i racionalnog korišćenja memorije u konceptu matrice \mathbf{Z}_B se za velike sisteme koristi *Metoda dijakoptike*.



Slika 2.1 Osnovni tipovi čvorova: (a) – balansni, (b) generatorski, (c) potrošački, (d) potrošački za $P_p = Q_p = 0$.

2.2 Gauss-Seidelov postupak za proračun tokova snaga

Gauss-Seidelov \mathbf{Y}_B postupak predstavljen je relacijama:

$$\begin{aligned} \underline{U}_i^{(k+1)} &= \frac{1}{\underline{Y}_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{\underline{U}_i^{*(k)}} - \sum_{j=1}^{i-1} \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k)} \right], \\ Q_i^{(k+1)} &= -\Im m \left\{ \underline{U}_i^{*(k)} \left(\sum_{j=1}^{i-1} \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k+1)} \right) + \underline{U}_i^{*(k)} \left(\sum_{j=i+1}^n \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k)} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Gauss-Seidelov \mathbf{Z}_B postupak predstavljen je relacijama:

$$\begin{aligned} \underline{U}_i^{(k+1)} &= \underline{U}_R + \sum_{j=1}^{i-1} \underline{Z}_{ij} \left(\frac{P_j - jQ_j}{\underline{U}_j^{*(k+1)}} - \underline{y}_j \underline{U}_j^{(k+1)} \right) + \sum_{j=i+1}^n \underline{Z}_{ij} \left(\frac{P_j - jQ_j}{\underline{U}_j^{*(k)}} - \underline{y}_j \underline{U}_j^{(k)} \right) \\ Q_i &= -\Im m \left\{ \frac{\underline{U}_i^*}{\underline{Z}_{ii}} \left[\underline{U}_i - \underline{U}_R - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \underline{Z}_{ij} \frac{P_j - jQ_j}{\underline{U}_j^*} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Relacije za reaktivnu snagu koriste se samo kod PV čvorova. Izračunate vrijednosti generatorskih reaktivnih snaga moraju ostati u granicama definisanim relacijom (2.1). Ako izračunato $Q_i^{(k+1)}$ pada unutar specificiranih granica, izračunava se nova vrijednost napona $\underline{U}_i^{(k+1)}$. Moduo ove nove vrijednosti $U_i^{(k+1)}$ se u svakoj iteraciji, shodno karakteru PV čvora, izjednačava sa specificiranim modulom napona PV čvora, da bi se zatim odredila vrijednost faznog stava $\theta_i^{(k+1)}$.

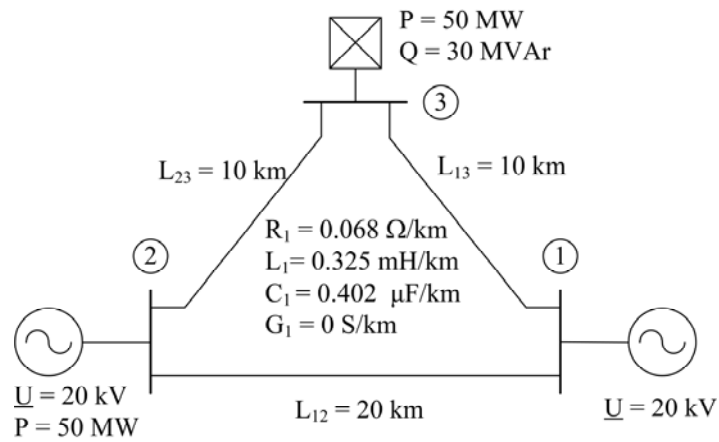
U slučaju da izračunata reaktivna snaga $Q_i^{(k+1)}$ izlazi iz opsega, onda se postupa na sljedeći način:

$$\begin{aligned} Q_i^{(k+1)} > Q_{iM} &\Rightarrow Q_i^{(k+1)} = Q_{iM} \\ Q_i^{(k+1)} < Q_{im} &\Rightarrow Q_i^{(k+1)} = Q_{im} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Pri nametnutim uslovima (2.4) PV čvor se, zapravo, tretira kao PQ čvor sa specificiranim aktivnim i reaktivnim snagama.

3. ZADACI LABORATORIJSKE VJEŽBE

1) Koristeći Gauss-Seidelov Y_B postupak, za dio EES-a sa Slika 3.1 proračunati tokove snaga i naponske prilike ako je balansni generator u čvoru 1. Vodove ekvivalentirati sa I šemom.



Slika 3.1 Dio EES-a

Izrada:

Izrada:

2) Koristeći softver Neplan 5.2 za simulaciju EES, formirati model iz prethodnog zadatka proračunati tokove snaga i fazore napone u čvorovima. Dobijene rezultate napisati u Tabela 3-I. Uporediti rezultate sa proračunom iz prethodnog zadatka. Poračunati procentualnu grešku u određivanju amplitude napona. Koliki je gubitak snage u vodovima?

Tabela 3-I Rezultati simulacije

	Prvi čvor	Drugi čvor	Treći čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]			
Fazni stav napona δ [°]			
Odstupanje od proračuna [%]			

Snaga na sabirnicama generatora u oba čvora:

_____.

Gubici u vodovima:

_____.

3) Ponoviti simulaciju iz prethodnog zadatka tako što se uzmu u obzir i otočni parametri voda. Koristeći softver proračunati tokove snaga i fazore napona u čvorovima. U Tabela 3-II upisati dobijene rezultate.

Tabela 3-II Rezultati simulacije

	Prvi čvor	Drugi čvor	Treći čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]			
Fazni stav napona δ [°]			

Snaga na sabirnicama generatora u oba čvora:

_____.

Gubici u vodovima:

_____.

4) Ponoviti simulaciju iz prethodnog zadatka tako što se vod 2-3 isključi na oba kraja. Koristeći softver proračunati tokove snaga i fazore napona u čvorovima. U Tabela 3-III upisati dobijene rezultate.

Tabela 3-III Rezultati simulacije

	Prvi čvor	Drugi čvor	Treći čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]			
Fazni stav napona δ [°]			

Snaga na sabirnicama generatora u oba čvora:

_____.

Gubici u vodovima:

_____.

5) U osnovnom modelu isključiti vod koji povezuje generatore samo kod čvora 1. Koristeći softver proračunati tokove snaga i fazore napona u čvorovima. U Tabela 3-IV upisati dobijene rezultate.

Tabela 3-IV Rezultati simulacije

	Prvi čvor	Drugi čvor	Treći čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]			
Fazni stav napona δ [°]			

Snaga na sabirnicama generatora u oba čvora:

_____.

Gubici u vodovima:

_____.

6.) U okviru osnovnog modela, dodati potrošač snage $P = 30$ MW u čvor 2. Izvršiti proračun tokova snaga i fazora napona u čvorovima. Rezultate upisati u Tabela 3-V.

Tabela 3-V Rezultati simulacije

	Prvi čvor	Drugi čvor	Treći čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]			
Fazni stav napona δ [°]			

Snaga na sabirnicama generatora u oba čvora:

_____.

Gubici u vodovima:

_____.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu urađenih zadataka, odgovoriti na sljedeća pitanja.

1. Koja je uloga balansnog generatora?

2. Nabrojati metode za proračun tokova snaga i navesti njihove prednosti.

3. Kakav uticaj na naponske prilike u potrošačkom čvoru ima isključivanje voda 2-3?

4. Kako se ponaša vod koji je otvoren na jednom kraju?

5. Kakve je prirode čvor u kome su priključeni generator i potrošač?
