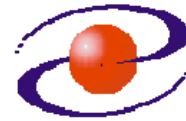




**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**



STUDIJSKI PROGRAM: *ENERGETIKA I AUTOMATIKA*

PREDMET: *ANALIZA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA I*

FOND ČASOVA: *2+2+0.5*

LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 2

NAZIV: *MATEMATIČKO MODELOVANJE VODA I POTROŠAČA*

CILJEVI VJEŽBE:

- Formiranje matematičkog modela voda i potrošača,
- Upoređenje rezultata sa rezultatima koji su dobijeni računskim putem (auditorne vježbe iz Analize elektroenergetskih sistema I),
- Analiza zamjenske Π , T i I šeme voda (egzaktne i približne),
- Analiza modela potrošača predstavljenog konstantnom snagom,
- Analiza modela potrošača predstavljenog konstantnom impedansom i konstantnom strujom.

POTREBAN PRIBOR:

- kalkulator.

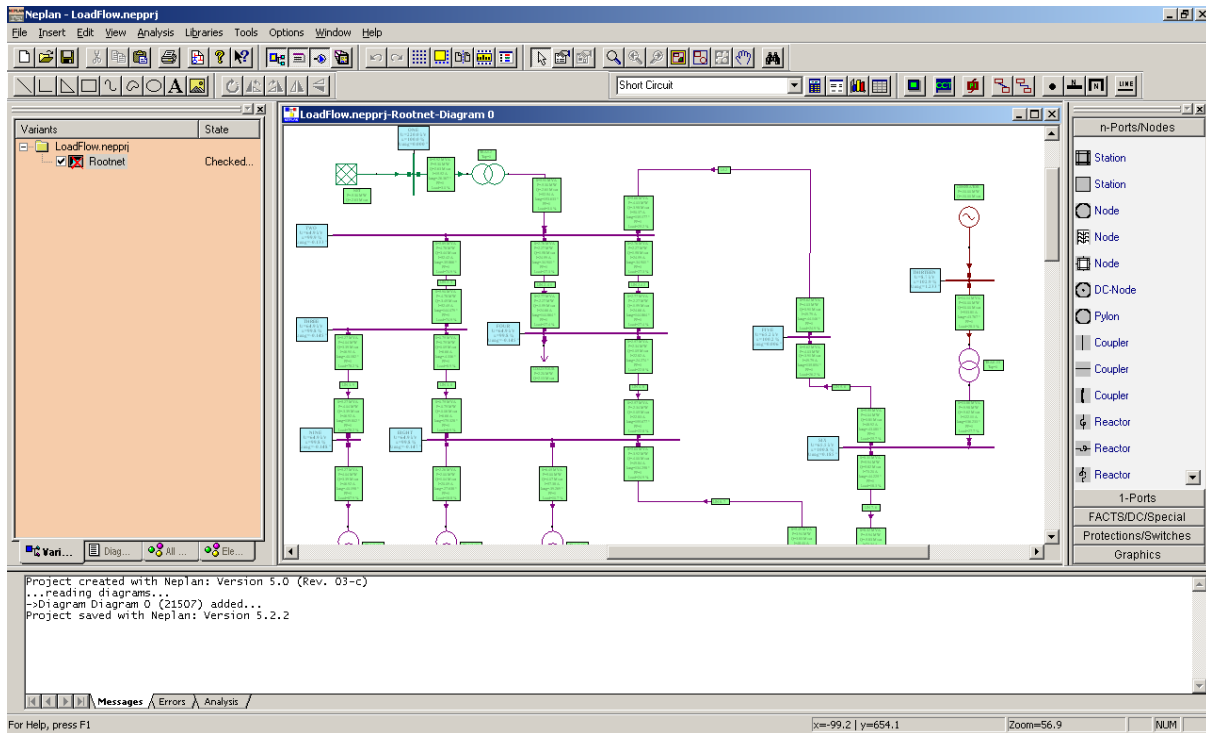
IME I PREZIME: _____.

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 Matematički model voda

Vod se u proračunima stacionarnih režima, zavisno od cilja proračuna i zahtijevane tačnosti, može modelovati korišćenjem raspoređenih ili koncentrisanih parametara. Kod modela sa koncentrisanim parametrima koji se, po pravilu, koristi u inženjerijskim proračunima koriste se ekvivalentne Π i T šeme, pri čemu T šema za svaki vod uvijek uvodi po jedan novi čvor.

Prenosni trofazni elektroenergetski vod (nadzemni i kablovski) karakterišu četiri osnovna parametra:

- R_1 - otpornost faze po jedinici dužine (Ω/km),
- L_1 - induktivnost faze po jedinici dužine (H/km),
- C_1 - kapacitivnost faze po jedinici dužine (F/km),
- G_1 - odvodnost faze po jedinici dužine (S/km).

Parametri voda obrazuju rednu (uzdužnu) i poprečnu (otočnu) impedansu voda po jedinici dužine:

$$\underline{Z}_1 = (R_1 + j\omega L_1) \quad \underline{Y}_1 = (G_1 + j\omega C_1) \quad (2.1)$$

Fizičkim procesima na vodu, za prostoperiodične napone i struje, odgovara matematički model u obliku sistema parcijalnih diferencijalnih jednačina telegrafičara čije je rješenje:

$$\begin{aligned} \underline{U}_x &= \underline{U}_2 \text{ch } x\sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Y}_1} + \underline{I}_2 \sqrt{\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Y}_1}} \text{sh } x\sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Y}_1} \\ \underline{I}_x &= \underline{U}_2 \sqrt{\frac{\underline{Y}_1}{\underline{Z}_1}} \text{sh } x\sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Y}_1} + \underline{I}_2 \text{ch } x\sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Y}_1} \end{aligned} \quad (2.2)$$

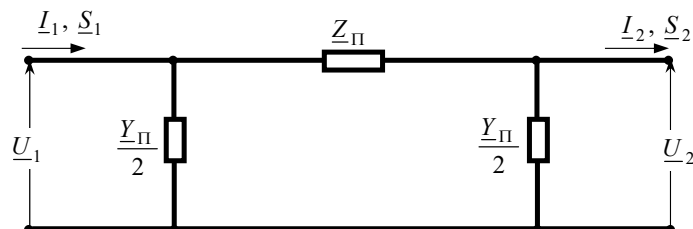
Veličina $\sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Y}_1}$ u gornjim jednačinama naziva se *koeficijent prostiranja* γ , a veličina $\sqrt{\underline{Z}_1 / \underline{Y}_1}$, koja ima prirodu impedanse, naziva se *karakterističnom* ili *prirodnom impedansom* voda \underline{Z}_c , a njena recipročna vrijednost karakterističnom admitansom \underline{Y}_c .

Kao što je već napomenuto, pri analizi EES-a je pogodno sve njegove elemente zamijeniti ekvivalentnim kolima sa koncentrisanim parametrima i izvršiti povezivanje u objedinjenu šemu sistema, pa je to neophodno i u slučaju vodova.

Svaki trofazni vod sa raspodjeljenim parametrima može se zamjeniti ekvivalentnom Π ili T šemom sa koncentrisanim parametrima cijelog voda. Π i T šeme ekvivalentne su samo za režime na krajevima voda i pomoću njih nije moguće analizirati naponske i strujne prilike duž voda. Ekvivalentno Π kolo je pogodnije za većinu praktičnih analiza, pa se u praksi najčešće primjenjuje.

a. Ekvivalentna egzaktna i približna Π šema voda

Ekvivalentna Π šema voda data je na Sliku 2.1.



Slika 2.1 Π šema voda

Parametri egzaktna Π šeme su:

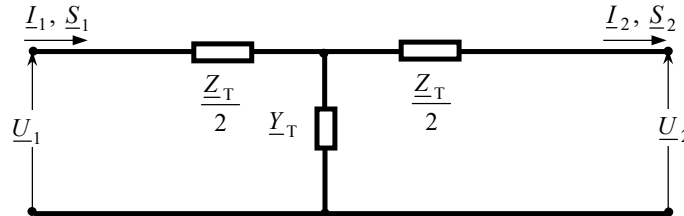
$$\underline{Z}_{\Pi} = \underline{Z}_c \operatorname{sh} \gamma l \quad \frac{\underline{Y}_{\Pi}}{2} = \underline{Y}_c \operatorname{th} \frac{\gamma l}{2} \quad (2.3)$$

Parametri približne Π šeme su:

$$\underline{Z}_{\Pi} = \underline{Z} = 1 \cdot \underline{Z}_1 \quad \frac{\underline{Y}_{\Pi}}{2} = \frac{\underline{Y}}{2} = 1 \cdot \frac{\underline{Y}_1}{2} \quad (2.4)$$

b. Ekvivalentna egzaktna i približna T šema voda

Ekvivalentna Π šema voda data je na Slika 2.2.



Slika 2.2 T šema voda

Parametre egzaktna T šeme su:

$$\underline{Y}_T = \underline{Y}_c \operatorname{sh} \gamma l \quad \frac{\underline{Z}_T}{2} = \underline{Z}_c \operatorname{th} \frac{\gamma l}{2} \quad (2.5)$$

Parametri približne T šeme su:

$$\frac{\underline{Z}_T}{2} = \frac{\underline{Z}}{2} = 1 \cdot \frac{\underline{Z}_1}{2} \quad \underline{Y}_T = \underline{Y} = 1 \cdot \underline{Y}_1 \quad (2.6)$$

Za kratke vodove dužine l do 80 km (kakvi su, po pravilu, vodovi do uključivo 35 kV) mogu se uvesti dalja uprošćenja ekvivalentnih šema zanemarivanjem parametara otočnih grana. Tako, ako se u približnim Π i T šemama usvoji da je $\underline{Y}_1 = 0$, te šeme se svode na prostu granu sa impedansom $\underline{Z} = (R_1 + j X_1) l = R + j X$.

2.2 Matematički model potrošača

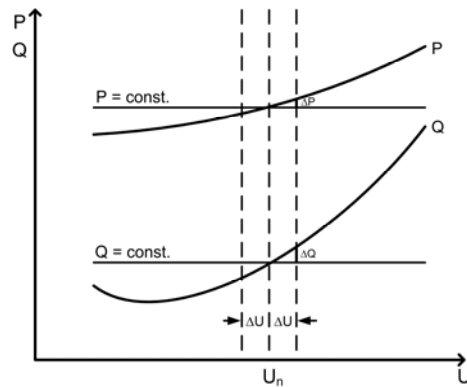
Potrošači se ekvivalentiraju pasivnim i aktivnim kolima u zavisnosti da li su u pitanju pasivni ili aktivni potrošači. U pasivne potrošče ubrajaju se termički aparati, sijalice, induktivni kalemovi, kondenzatori, elektronski aparati i sl. U grupu aktivnih potrošača spadaju sve vrste električnih motora. Pri proračunima ustaljenih režima za dati trenutak vremena potrošači se karakterišu *statičkim karakteristikama* koje izražavaju promjene aktivnih i reaktivnih snaga od napona i učestanosti. One se mogu, zavisno od karakteristika potrošača, aproksimirati na tri načina:

1. Modelom *konstantne snage*
2. Modelom *konstantne struje* i
3. Modelom *konstantne impedanse*.

Statičke karakteristike se dobijaju eksperimentalno za različite kategorije potrošača. Ovdje su prvenstveno interesantne tzv. naponske statičke karakteristike (Slika 2.3) koje se, najčešće aproksimiraju eksponencijalnim funkcijama oblika

$$P = C_{PU} U^{k_{PU}} \quad Q = C_{QU} U^{k_{QU}} \quad (2.7)$$

gdje su C_{PU} , C_{QU} , k_{PU} , k_{QU} konstante koje zavise od karaktera opterećenja.



Slika 2.3 Tipične statičke naponske karakteristike

Model konstantne struje polazi od relacije $\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$, pa pri konstantnoj struji \underline{I} slijedi da su koeficijenti k_{PU} i k_{QU} jednaki 1.

Pri proračunima režima za koje su karakteristične značajnije promjene napona kod potrošača, pogodno je potrošače predstaviti paralelno ili redno vezanim konstantnim aktivnim i reaktivnim otpornostima.

Veličina ovih otpornosti bira se na taj način da snaga koja odgovara ovim otpornostima pri nominalnom naponu bude jednaka zadatoj snazi potrošača.

Parametri paralelne veze su jednostavno

$$R = \frac{U^2}{P} \quad X = \frac{U^2}{Q}. \quad (2.8)$$

Parametri redne veze određuju se polazeći od izraza $\underline{S} = U^2 / \underline{Z}^*$, odakle se nakon smjene $P = S \cos \phi$ i $Q = S \sin \phi$ dobija

$$\underline{Z} = R + jX = \frac{U^2}{P} \cos^2 \phi + j \frac{U^2}{Q} \sin^2 \phi. \quad (2.9)$$

Takođe je u primjeni i polinomijalni model oblika

$$P = a_1 U^2 + b_1 U + c_1 \quad Q = a_2 U^2 + b_2 U + c_2 \quad (2.10)$$

Ovakav model se skraćeno naziva ZIP model, pošto prvi sabirak odgovara modelovanju dijela potrošnje konstantnom impedansom (Z), drugi konstantnom strujom (I), a treći konstantnom snagom (P).

Model konstantne snage se uobičajeno koristi u proračunima tokova snaga, modeli konstantne struje i konstantne impedanse se koriste kod proračuna strujno – naponskih prilika u električnim mrežama.

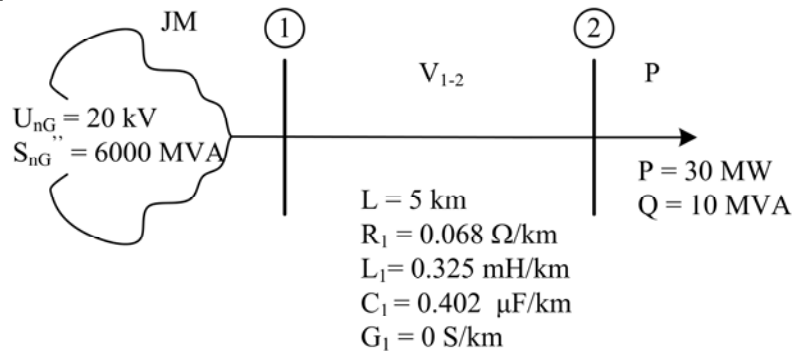
Najvažniji aktivni potrošači su asinhroni i sinhroni motori. Asinhroni motori se, osim u specijalnim analizama, predstavljaju kao pasivni potrošači u modelu konstantne impedanse. Matematički model i ekvivalentna šema sinhronog motora je ista kao i kod sinhronog generatora, s tom razlikom što se fazora struje \underline{I}_a stavlja fazor sa promijenjenim znakom $-\underline{I}_a$.

3. ZADATAK LABORATORIJSKE VJEŽBE

1) Odrediti snagu na sabirnicama 1 i napon na sabirnicama 2 za dio EES prema šemi (Slika 3.1) za sljedeće slučajeve:

- Vod modelovati egzaktnom Π šemom.
- Vod modelovati egzaktnom T šemom.
- Vod modelovati približnom I šemom a potrošač konstantnom impedansom sa parametrima $P_p = 27.8$ MW, $Q_p = 9.3$ MVA_r i $U_p = 19.3$ kV.

Radni napon na sabirnicama 1 je 20 kV.



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 vrijednosti napona za sva tri slučaja. Koliki je gubitak snage u vodu?

Tabela 3-I Rezultati simulacije

	Prvi čvor	Drugi čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona δ [°]		
Odstupanje od proračuna [%] – a)		
Odstupanje od proračuna [%] – b)		
Odstupanje od proračuna [%] – c)		

Snaga na sabirnicama generatora:

_____.

Gubici u vodu:

_____.

3) Ponoviti simulaciju iz prethodnog zadatka tako što se potrošač modeluje konstantnom strujom. 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
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona δ [°]		

Snaga na sabirnicama generatora:

_____.

Gubici u vodu:

_____.

4) Ponoviti simulaciju iz prethodnog zadatka tako što se potrošač modeluje konstantnom impedansom. 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
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona δ [°]		

Snaga na sabirnicama generatora:

_____.

Gubici u vodu:

_____.

5) U osnovnom modelu dodati još jedan vod između čvorova 1 i 2 sa istim karakteristikama. Potrošač modelovati konstantnom snagom. 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
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona δ [°]		

Snaga na sabirnicama generatora:

_____.

Gubici u vodovima:

_____.

6.) U okviru modela iz prethodnog zadatka, kod vodova zanemariti sve parametre osim reaktanse i izvršiti proračun tokova snaga i fazora napona u čvorovima. Rezultate upisati u Tabela 3-V.

Tabela 3-V Rezultati simulacije

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

Snaga na sabirnicama generatora:

_____.

Gubici u vodovima:

_____.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu urađenih zadataka, odgovoriti na sljedeća pitanja.

1. Koji od analiziranih matematičkih modela voda daju najpreciznije rezultate?

2. U zavisnosti od čega se vrši podjela matematičkih modela potrošača?

3. Kakav uticaj na tokove snaga ima dodavanje još jednog voda između čvorova 1 i 2?

4. Koja je osnovna razlika nadzemnih i kablovskih vodova s aspekta impedanse?

5. Kakva je priroda gubitaka u vodovima?
