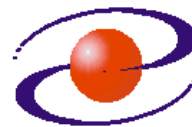




**UNIVERZITET CRNE GORE  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**



**STUDIJSKI PROGRAM:** *ENERGETIKA I AUTOMATIKA*

**PREDMET:** *ANALIZA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA I*

**FOND ČASOVA:** *2+2+0.5*

## **LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 1**

**NAZIV:**

***MATEMATIČKO MODELOVANJE GENERATORA I  
TRANSFORMATORA***

### **CILJEVI VJEŽBE:**

- Formiranje matematičkog modela generatora i transformatora,
- Upoređenje rezultata sa rezultatima koji su dobijeni računskim putem (auditorne vježbe iz Analize elektroenergetskih sistema I),
- Analiza matematičkog modela dvonamotajnog trofaznog transformatora,
- Analiza matematičkog modela tronamotajnog trofaznog transformatora.

### **POTREBAN PRIBOR:**

- kalkulator.

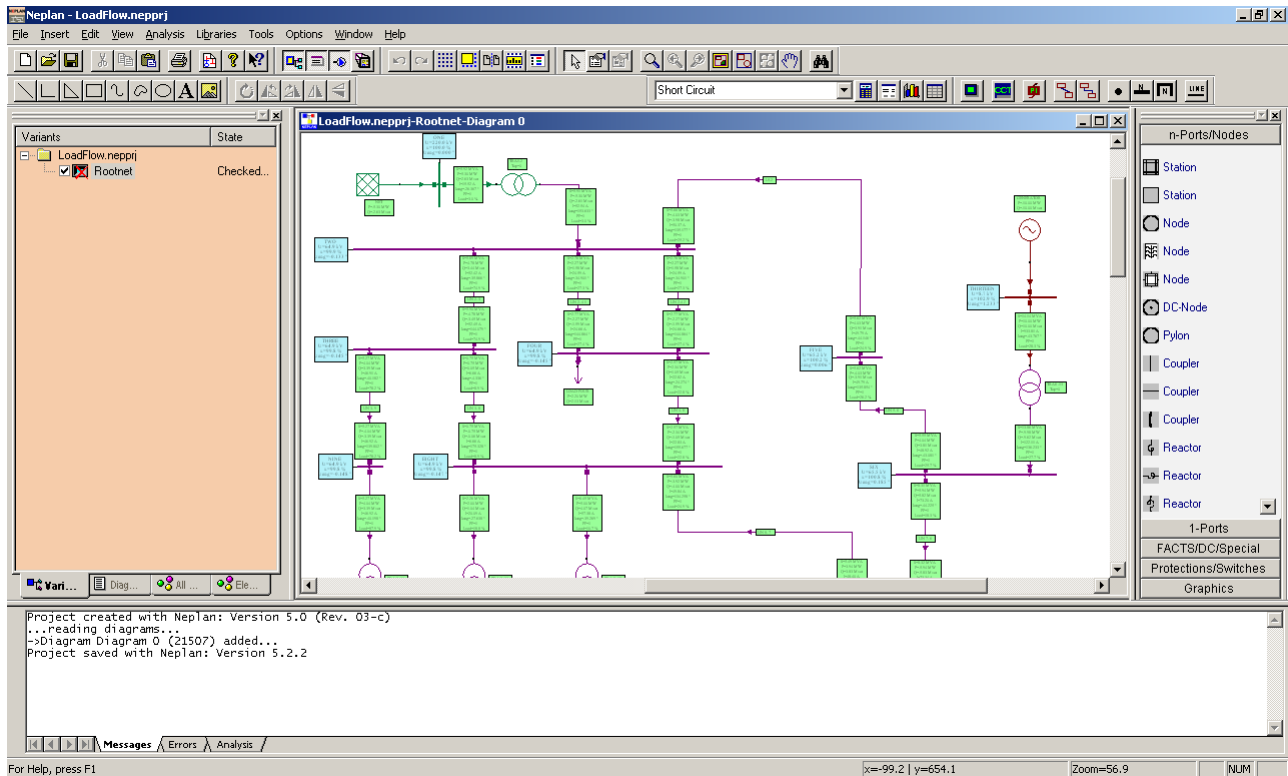
**IME I PREZIME:** \_\_\_\_\_.

**BROJ INDEKSA:** \_\_\_\_\_.

<b>BROJ POENA:</b>	
<b>OVJERAVA:</b>	
<b>DATUM:</b>	

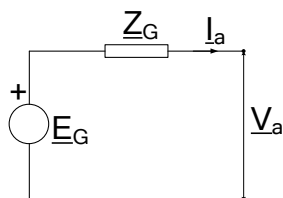
## 1. APARATURA

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





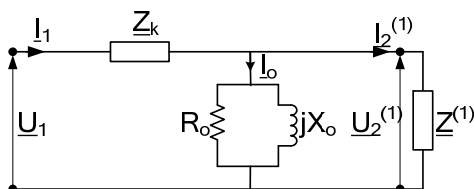
**Slika 2.2** Ekvivalentna monofazna šema trofaznog sinhronog generatora sa cilindričnim rotorom u ustaljenom režimu

## 2.2 Matematički model transformatora

Energetski transformatori se u pogledu broja faza grade kao monofazne i trofazne jedinice, a u pogledu broja namotaja kao:

- dvonamotajni
- tronamotajni i
- autotransformatori.

Matematički model transformatora koji je najčešće u upotrebi je predstavljen približnom ekvivalentnom obrnutom  $\Gamma$  šemom transformatora (Slika 2.3)



**Slika 2.3** Približna ekvivalentna obrnuta  $\Gamma$  šema transformatora

Redna impedansa  $\underline{Z}_T = \underline{Z}_k$  dobija se iz oglada kratkog spoja:

$$\underline{Z}_k = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2^{(1)}. \quad (2.5)$$

Za potrebe određivanja  $\underline{Z}_k$  uvodi se veličina napon kratkog spoja  $u_k$ :

$$u_k = \frac{U_{cc}}{U_{n1}} 100 (\%) \quad (2.6)$$

tada važi,

$$Z_k = \frac{u_k U_{n1}^2}{100 S_n}. \quad (2.7)$$

Otpornost u impedansi kratkog spoja određuje se iz gubitaka u bakru  $P_{Cu}$

$$P_{Cu} = \frac{P_{Cu}}{S_n} 100 (\%) \quad (2.8)$$

slijedi

$$R_k = \frac{P_{Cu} U_{n1}^2}{100 S_n} \quad (2.9)$$

Reaktansa kratkog spoja se sada dobija prema

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (2.10)$$

Otočna impedansa  $\underline{Z}_{12}^{(1)}$ , odnosno njene paralelne komponente  $R_o$  i  $jX_o$ , dobija se iz oglada praznog hoda transformatora i određuje se iz vrijednosti struje praznog hoda:

$$j_o = \frac{I_o}{I_n} 100 \quad (\%) \quad (2.11)$$

slijedi

$$Z_o = \frac{100 U_1^2}{j_o S_n} \quad (2.12)$$

Otpornost  $R_o$  dobija se na osnovu gubitaka praznog hoda

$$p_o = \frac{P_o}{S_n} 100 \quad (\%) \quad (2.13)$$

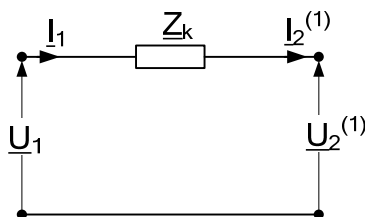
pa se za  $R_o$  dobija

$$R_o = \frac{100 U_1^2}{p_o S_n} \quad (2.14)$$

slijedi da je

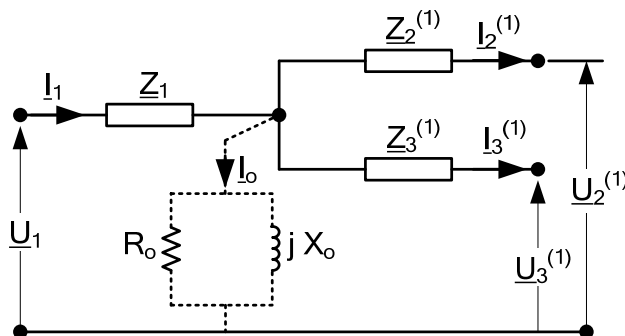
$$X_o = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{Z_o}\right)^2 - \left(\frac{1}{R_o}\right)^2}} \quad (2.15)$$

Često se u praksi ekvivalentna šema jednofaznog transformatora prema Slika 2.3 dodatno uprošćava tako što se sa velikom tačnošću može usvojiti da  $Z_o \rightarrow \infty$ . Tada se dobija tzv. I šema dvonamotajnog transformatora kao na Slika 2.4 koja se često koristi u raznim približnim analizama EES, kada se, čak, zanemaruje i realni dio imedanse  $Z_k$ .



Slika 2.4 Uprošćena ekvivalentna I šema jednofaznog transformatora

Pored dvonamotajnog transformatora, u prenosnoj mreži se često pojavljuje i tronamotajni transformator (Slika 2.5). Parametri ekvivalentne šeme proračunavaju se prema relacijama (2.79) – (2.82) koje su izvedene u okviru predavanja.



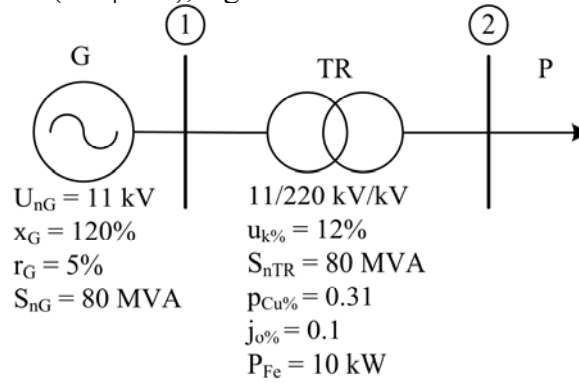
Slika 2.5 Ekvivalentna šema tronamotajnog transformatora

### 3. ZADATAK LABORATORIJSKE VJEŽBE

1) Odrediti snagu na sabirnicama generatora i napon na sabirnicama potrošača sa šeme (Slika 3.1) za sljedeće slučajeve:

- Transformator modelovati obrnutom  $\Gamma$  šemom.
- Zanemariti aktivnu otpornost generatora.
- Transformator modelovati I šemom i zanemariti aktivnu otpornost generatora.

Potrošač uzima snagu 60 MW ( $\cos\varphi = 1$ ), a generator radi sa nominalnim naponom na sabirnicama.



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 za sva tri slučaja. Koliki je gubitak snage u transformatoru?

**Tabela 3-I** Rezultati simulacije I

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

Snaga na sabirnicama generatora:

\_\_\_\_\_.

Gubici u transformatoru:

\_\_\_\_\_.

3) Ponoviti proračun iz prethodnog zadatka tako što se na potrošačke sabirnice doda još jedan potrošač sa snagom  $Q = 60$  MVar, a isključi prvobitno postavljeni potrošač. Koristeći softver proračunati tokove snaga i fazore napona u čvorovima. U Tabela 3-II upisati dobijene rezultate.

**Tabela 3-II** Rezultati simulacije II

	Prvi čvor	Drugi čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona $\delta$ [°]		

Snaga na sabirnicama generatora:

\_\_\_\_\_.

Gubici u transformatoru:

\_\_\_\_\_.

4) Za postojeću šemu aktivirati oba potrošača i proračunati fazore napona i snagu na sabirnicama generatora. Rezultate upisati u Tabela 3-III.

**Tabela 3-III** Rezultati simulacije III

	Prvi čvor	Drugi čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona $\delta$ [°]		

Snaga na sabirnicama generatora:

\_\_\_\_\_.

Gubici u transformatoru:

\_\_\_\_\_.



5.) Na osnovnom modelu (zadatak pod 1.) zamjeniti dvonamotajni transformator sa tronamotajnim transformatorom sa istim karakteristikama primara i sekundara, dok je snaga tercijera upola manja, nominalni napon 6 kV, a  $u_{k\%} = 8\%$ . Proračunati tokove snaga i fazore napona i rezultate upisati u Tabela 3-IV.

**Tabela 3-IV** Rezultati simulacije IV

	Prvi čvor	Drugi čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona $\delta$ [°]		

Snaga na sabirnicama generatora:

\_\_\_\_\_.

Gubici u transformatoru:

\_\_\_\_\_.

6.) Na tercijeru tronamotajnog transformatora iz prethodnog zadatka priključiti generator snage 30 MVA i podesiti da mreži predaje 25 MW aktivne snage i održava napon na svojim sabirnicama na vrijednosti 5 % iznad nominalne. Proračunati tokove snaga i fazore napona u čvorovima. Rezultate upisati u Tabela 3-V.

**Tabela 3-V** Rezultati simulacije V

	Prvi čvor	Drugi čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]		
Fazni stav napona $\delta$ [°]		

Snage na sabirnicama generatora:

\_\_\_\_\_.

Gubici u transformatoru:

\_\_\_\_\_.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu urađenih zadataka, odgovoriti na sljedeća pitanja.

1. Kako zanemarivanje aktivnog otpora u modelu generatora utiče na proračun naponskih prilika?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
2. Koliki i kakav je uticaj otočne grane transformatora na tokove snaga između generatora i potrošača?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
3. Koliki je uticaj korišćenja zamjenske I šeme transformatora na naponske prilike.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
4. Iskomentarisati uticaj prirode potrošača (snage potrošnje) na napon u potrošačkom čvoru.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
5. Navesti i objasniti prirodu gubitaka u transformatoru.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
6. Prokomentarisati ulogu tronamotajnog transformatora i njegove osnovne razlike u odnosu na dvonamotajni transformator.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.