

23. U sistemu rade 3 grupe elektrana:

I grupa: Termoelektrane (TE) koje pokrivaju 15 % potrošnje, a rade sa polovinom svoje pune (nominalne) snage. Ekvivalentna strmina karakteristike regulatora (ekvivalentni koeficijent samoregulacije) je 20.

II grupa: Hidroelektrane (HE) pokrivaju 50 % potrošnje, a angažovane su sa 100 % svoje pune snage. Ekvivalentna strmina karakteristike regulatora je 50 za ovu grupu.

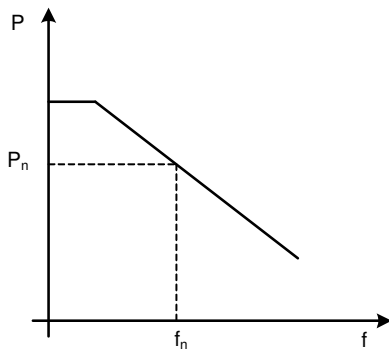
III grupa: TE i HE koje u posmatranom režimu rade sa 80 % svoje pune snage. Ekvivalentna strmina karakteristike regulatora je 25.

Strmina frekventne karakteristike potrošnje iznosi 1.5 .

- Izračunati za koliko procenata će porasti učestanost u sistemu ako se ukupno opterećenje smanji za 10 %.
- Izračunati za koliko procenata će porasti učestanost u sistemu ako ukupno opterećenje poraste 10 %.

Rješenje:

Ako se posmatra zavisnost odate snage generatora od frekvencije



s – statizam krive

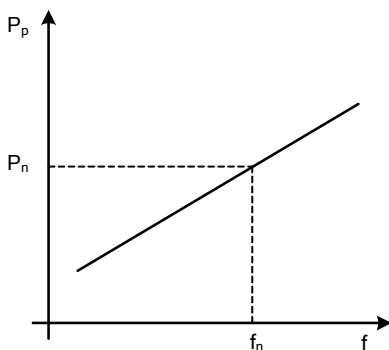
$$s_{aps} = \frac{-\Delta f}{\Delta P_G} \quad \text{apsolutni statizam}$$

$$s_{rel} = -\frac{\frac{\Delta f}{f_n}}{\frac{\Delta P_G}{P_n}} \quad \text{relativni statizam}$$

Za svaki generator definiše se koeficijent samoregulacije (dok je za elektranu to ekvivalentni koeficijent samoregulacije) k_G

$$k_G = \frac{1}{s_{rel}} = -\frac{\frac{\Delta P_G}{P_n}}{\frac{\Delta f}{f_n}} \quad \rightarrow \text{definiše strminu karakteristike regulatora}$$

Potrošač, kao i generator, ima svoju karakteristiku



$$k_p = \frac{\frac{\Delta P_p}{P_p}}{\frac{\Delta f}{f_n}} \quad \rightarrow \text{definiše strminu karakteristike potrošnje}$$

Potrebna veličina za analizu mogućnosti regulacije frekvencije jednog generatora je koeficijent rezerve generatora.

$$r_e = \frac{P_{nG}}{P_{rG}} \quad - \text{gdje je } P_{rG} \text{ angažovana snaga generatora}$$

Kako se u zadatku analizira regulaciona sposobnost grupe generatora (elektrana), potrebno je odrediti ekvivalentni koeficijent samoregulacije (ekvivalentna strmina regulatora) i ekvivalentni koeficijent rezerve

$$k_{Ge} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Gi} P_{Gi}}{\sum_{i=1}^n P_{Gi}} \quad r_e = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Gi}}{P_p}$$

Na osnovu prethodno određenih parametara, određuje se relativna promjena učestanosti

$$\frac{\Delta f}{f_n} = - \frac{\Delta P}{P_p (k_{Ge} r_e + k_p)}$$

Prethodna relacija izvedena je pod pretpostavkom da su svi generatori učestvovali u regulaciji (radna tačka je na strmom dijelu karakteristike), to je ispunjeno ukoliko važi

$$\Delta P_{Gi} = -k_{Gi} P_{nGi} \frac{\Delta f}{f_n} \leq P_{rez_i} = P_{nGi} - P_{rad_i}$$

Dakle, ukoliko je promjena proizvodnje i-tog generatora ΔP_{nGi} , potrebna da izazove promjenu frekvencije Δf , manja od raspoložive rezerve istog generatora, prethodni proračun frekvencije je ispravan. U suprotnom, potrebno je isključiti iz regulacije posmatrani generator (ponovo proračunati ekvivalentni koeficijent samoregulacije).

a)

$$\text{I grupa: } P_{rad_I} = 0.15P_p = 0.5P_{nG_I} \rightarrow P_{nG_I} = \frac{0.15}{0.5} P_p = 0.3P_p \quad k_{G_I} = 20$$

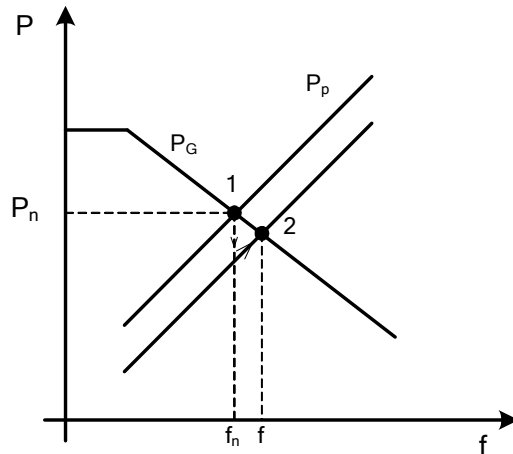
$$\text{II grupa: } P_{rad_{II}} = 0.5P_p = P_{nG_{II}} \rightarrow P_{nG_{II}} = 0.5P_p \quad k_{G_{II}} = 50$$

$$\text{III grupa: } P_{rad_{III}} = 0.8P_{nG_{III}} = P_p - (0.15 + 0.5)P_p = 0.35P_p \rightarrow P_{nG_{III}} = \frac{0.35}{0.8} P_p = 0.44P_p \quad k_{G_{III}} = 25$$

$$k_p = 1.5$$

Kako svi generatori učestvuju u regulaciji (smanjuje se opterećenje), potrebno je proračunati ekvivalentne parametre

$$k_{Ge} = \frac{0.3P_p \cdot 20 + 0.5P_p \cdot 50 + 0.44P_p \cdot 25}{0.3P_p + 0.5P_p + 0.44P_p} \approx 34 \quad r_e = \frac{0.3P_p + 0.5P_p + 0.44P_p}{P_p} = 1.24$$



Zadatkom je dato da je promjena potrošnje

$$\Delta P = -\frac{10}{100} P_p$$

Sada je tražena relativna promjena frekvencije

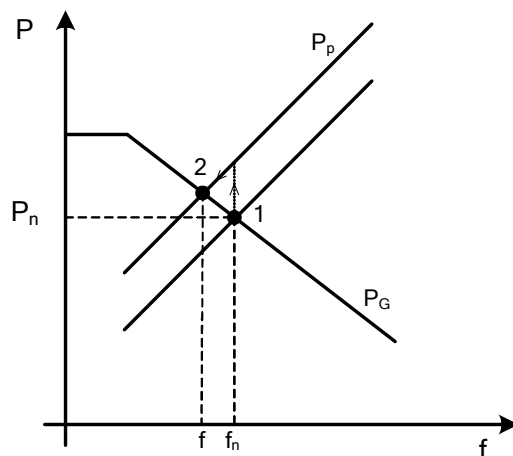
$$\frac{\Delta f}{f_n} = -\frac{\Delta P}{P_p (k_{Ge} r_e + k_p)} = -\frac{-\frac{10}{100} P_p}{P_p (34 \cdot 1.24 + 1.5)} = 0.0023$$

$$\Delta f_{\%} = \frac{\Delta f}{f_n} 100 = 0.23\%$$

Dakle, došlo je do povećanja frekvencije, što je očekivano jer je došlo do smanjenja opterećenja.

b)

Ukoliko dođe do povećanja potrošnje, grafik je



Kako dolazi do povećanja potrošnje, mora se obratiti pažnja na to koji generatori mogu učestvovati u regulaciji. Iz definicije zadatka vidi se da je druga grupa elektrana angažovana sa 100% svoje snage, tako da se zaključuje da oni neće učestvovati u regulaciji (radna tačka je na ravnom djelu karakteristike). Ostali mogu učestvovati u regulaciji, pa su ekvivalentni parametri

$$k_{Ge} = \frac{0.3P_p \cdot 20 + 0.5P_p \cdot 0 + 0.44P_p \cdot 25}{0.3P_p + 0.5P_p + 0.44P_p} = 13.7$$

promjena potrošnje je

$$\Delta P = \frac{10}{100} P_p$$

pa je promjena frekvencije

$$\frac{\Delta f}{f_n} = -\frac{\Delta P}{P_p (k_{Ge} r_e + k_p)} = -\frac{\frac{10}{100} P_p}{P_p (13.7 \cdot 1.24 + 1.5)} = -0.0054$$

$$\Delta f_{\%} = \frac{\Delta f}{f_n} 100 = -0.54\%$$

Kako bi se potvrdila dobijena promjena frekvencije potrebno je provjeriti da li su I i III grupa elektrana učestvovala u regulaciji. Provjera se vrši tako što se uporedi promjena snage koja bi bila potrebna za proračunatu frekvenciju sa rezervom sa kojom raspolaže generator.

$$\Delta P_{G_{III}} = -k_{G_{III}} P_{nG_{III}} \frac{\Delta f}{f_n} = -25 \cdot 0.44 P_p (-0.0054) = 0.06 P_p$$

$$P_{G_{III, rez}} = P_{nG_{III}} - P_{rad_{III}} = 0.44 P_p - 0.35 P_p = 0.09 P_p$$

$$\Delta P_{G_{III}} < P_{G_{III, rez}}$$

Dakle, III grupa je imala dovoljno rezerve da učestvuje u regulaciji čitavo vrijeme.

$$\Delta P_{G_I} = -k_{G_I} P_{nG_I} \frac{\Delta f}{f_n} = -20 \cdot 0.3 P_p (-0.0054) = 0.022 P_p$$

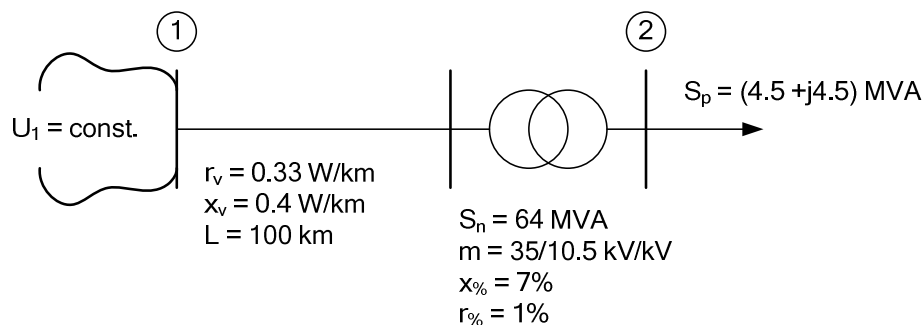
$$P_{G_I, rez} = P_{nG_I} - P_{rad_I} = 0.3 P_p - 0.15 P_p = 0.15 P_p$$

$$\Delta P_{G_I} < P_{G_I, rez}$$

Dakle i I grupa generatora je imala dovoljno rezerve da učestvuje u regulaciji čitavo vrijeme.

Na kraju, zaključuje se da je dobijena promjena frekvencije konačan rezultat.

24. U dijelu distributivnog sistema prikazanog na slici, napon na sabirnicama 1 održava se na konstantnoj vrijednosti nezavisno od promjene potrošnje. U tim uslovima napon na sabirnicama 2 iznosi 9.5 kV. Odrediti snagu baterije kondenzatora koju je potrebno priključiti očno (redno) na sabirnice 2 da bi napon bio 10.5 kV. Zanemariti poprečnu komponentu napona.



Rješenje:

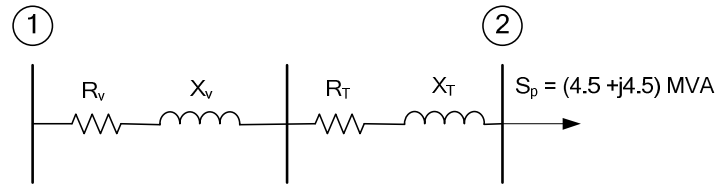
Parametri zamjenske šeme su:

$$R_v = 0.33 \cdot 50 \left(\frac{10.5}{35} \right)^2 = 1.485 \, \Omega$$

$$R_T = \frac{1}{100} \frac{10.5^2}{64} = 0.0172 \, \Omega$$

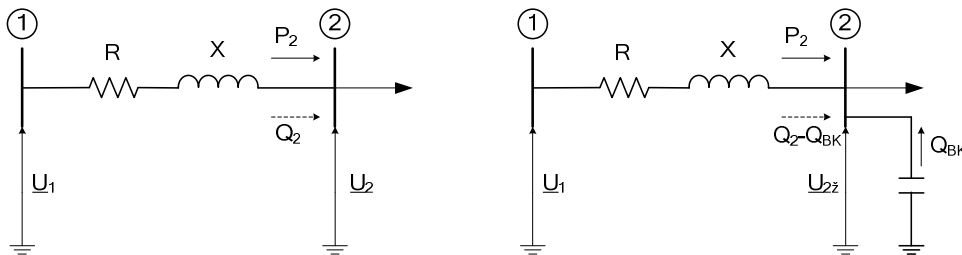
$$X_v = 0.4 \cdot 50 \left(\frac{10.5}{35} \right)^2 = 1.8 \, \Omega$$

$$X_T = \frac{7}{100} \frac{10.5^2}{64} = 0.1206 \, \Omega$$



Svi parametri su svedeni na naponski nivo potrošača.

Zadatkom se traži da se instalacijom baterije kondenzatora otočno na sabirnice 2 postigne napon od 10.5 kV. Ako se posmatraju istovremeno šema prije i šema poslije instalacije baterije kondenzatora:



Kako je zadatkom dato da se napon na sabirnicama 1 održava na konstantnoj vrijednosti, relacija za napon U_1 prema šemama je:

$$U_1 = U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} + j \frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2}$$

$$U_1 = U_{2z} + \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{BK}) X}{U_{2z}} + j \frac{P_2 X - (Q_2 - Q_{BK}) R}{U_{2z}}$$

Pošto su lijeve strane prethodnih izraza jednake, dobija se

$$U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} + j \frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2} = U_{2z} + \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{BK}) X}{U_{2z}} + j \frac{P_2 X - (Q_2 - Q_{BK}) R}{U_{2z}}$$

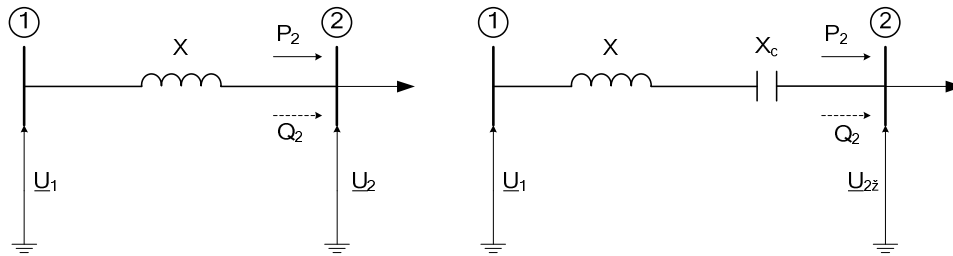
a uz zanemarivanje poprečne komponente

$$U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} = U_{2z} + \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{BK}) X}{U_{2z}}$$

zamjenivši sve poznate veličine, dobija se tražena snaga baterije kondenzatora,

$$Q_{BK} = 1.97 \text{ MVar}$$

Ukoliko bi bateriju kondenzatora priključili redno (zanemaruje se aktivni otpor), šema je



$$U_1 \approx U_2 + \frac{Q_2 X}{U_2}$$

$$U_1 \approx U_{2z} + \frac{Q_2 (X - X_c)}{U_{2z}}$$

izjednačujući desnu stranu prethodnih relacija

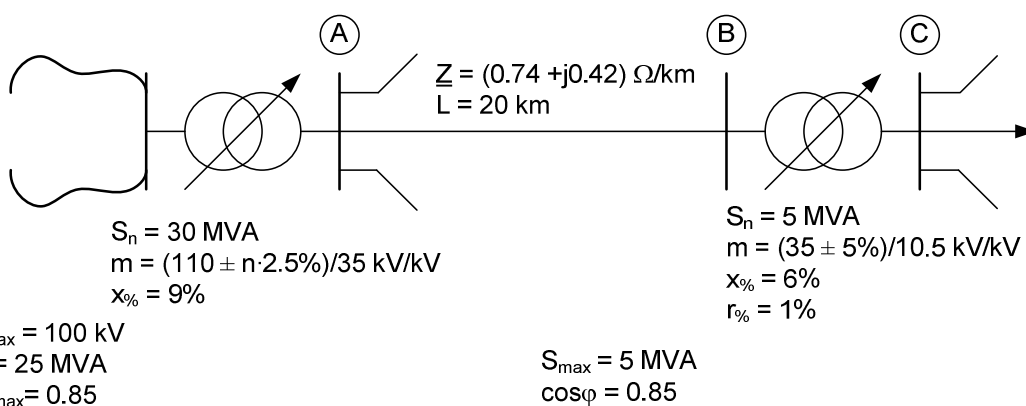
$$U_2 + \frac{Q_2 X}{U_2} = U_{2z} + \frac{Q_2 (X - X_c)}{U_{2z}}$$

dobija se $X_c = 2.017 \Omega$

Na kraju, snaga redno priključene baterije kondenzatora

$$Q_{BK} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{2z}^2} X_c = 0.74 \text{ MVar}$$

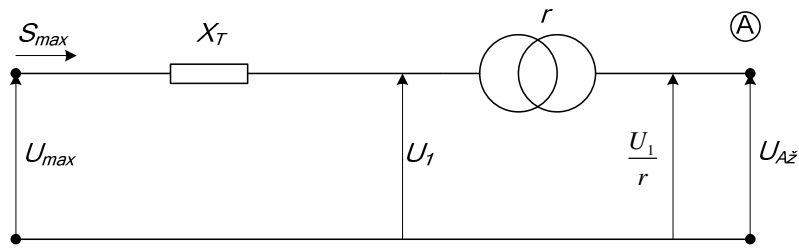
25. Pri maksimalnom opterećenju se u mreži, zadatih parametara i opterećenja, obezbeđuje na 110 kV sabirnicama napon od 100 kV. Regulacijom obezbediti željenu vrijednost napona na sabirnicama za potrošače distributivnog sistema od $1.05U_n$.



Rješenje:

U posmatranom sistemu postoje dva regulaciona transformatora koja regulišu napon za distributivne potrošače. Prilikom regulacije napona pomoću transformatora, posmatra se slučaj maksimalnog opterećenja.

Kako bi se odredio položaj regulatora regulacionog transformatora, posmatra se zamjenska šema



Dakle, transformator se mijenja sa idealnim transformatorom sa prenosnim odnosom:

$$r = \frac{110 + n \frac{2.5}{100} 110}{35}$$

pri čemu je impedansa transformatora data zadatkom

$$Z_T = jX_T = j \frac{9}{100} \frac{110^2}{30} = j36.3 \Omega$$

a maksimalna snaga na 110 kV napojnoj tački data je zadatkom prema:

$$P_{\max} = S_{\max} \cos \varphi_{\max} = 21.25 \text{ MW}$$

$$Q_{\max} = S_{\max} \sin \varphi_{\max} = S_{\max} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\max}} = 13.1 \text{ MVar}$$

Sada se prema gornjoj šemi može odrediti napon U_1

$$U_1 = 100 - \frac{P_{\max} R_T + Q_{\max} X_T}{100} - j \frac{P_{\max} X_T - Q_{\max} R_T}{100} = 95.2447 - j7.71375 = 95.56 / -4.63^\circ$$

Kako je zadatkom zadata željena vrijednost napona

$$U_{A\max} = 1.05 \cdot U_n = 1.05 \cdot 35 = 36.75 \text{ kV}$$

tada važi

$$\frac{U_1}{r} = U_{Až}$$

$$\frac{95.56}{110 + n \frac{2.5}{100} 110} = 36.75 \rightarrow \frac{95.56}{1.05} = 110 + n \frac{2.5}{100} 110 \rightarrow n = (91 - 110) \frac{100}{2.5} \frac{1}{110} = -6.9 \approx -7$$

Negativan rezultat ukazuje na to da je pretpostavka o povećanju prenosnog odnosa (pozitivan znak ispred n u relaciji za r) pogrešna. Takođe, uvijek je potrebno kao rješenje odabrati prvu susjednu cijelobrojnu vrijednost. Dakle, sada je stvarna vrijednost napona nakon regulacije:

$$U_{A\max_{ST}} = \frac{U_1}{r} = \frac{95.56}{110 - 7 \frac{2.5}{100} 110} 35 = 36.8 \text{ kV} \approx 36.75 \text{ kV}$$

Sada je potrebno ponoviti analognu proceduru za distributivni čvor C.

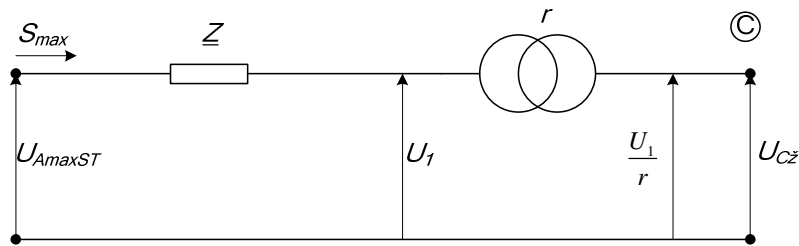
Impedanse voda i transformatora su

$$\underline{Z}_v = (0.74 + j0.42) 20 = (14.8 + j8.4) \Omega$$

$$\underline{Z}_T = \frac{r_T\% + jx_T\%}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{1 + j6}{100} \frac{35^2}{5} = (2.45 + j14.7) \Omega$$

$$\underline{Z} = \underline{Z}_v + \underline{Z}_T = (17.25 + j23.1) \Omega$$

Šema analogna prethodnoj je



maksimalna snaga data zadatkom je

$$P_{max} = S_{max} \cos \varphi_{max} = 4.25 \text{ MW}$$

$$Q_{max} = S_{max} \sin \varphi_{max} = 2.63 \text{ MVar}$$

Sada je napon U_1

$$U_1 = 36.8 - \frac{P_{max} R + Q_{max} X}{U_{AmaxST}} - j \frac{P_{max} X - Q_{max} R}{U_{AmaxST}} = 33.16 - j1.43 = 33.19 / -2.47^\circ$$

Zadatkom je zadata željena vrijednost napona

$$U_{Cz} = 1.05 U_n = 10.5 \text{ kV}$$

Kako posmatrani regulacioni transformator ima samo 2 stepena regulacije (jedan za povećanje i jedan za smanjenje prenosnog odnosa), lako je procjeniti da je potrebno smanjiti prenosni odnos.

$$U_{CST} = \frac{U_1}{35 - \frac{5}{100} 35} = 10.48 \text{ kV} \approx 10.5 \text{ kV}$$