

Zadatak 29.

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.

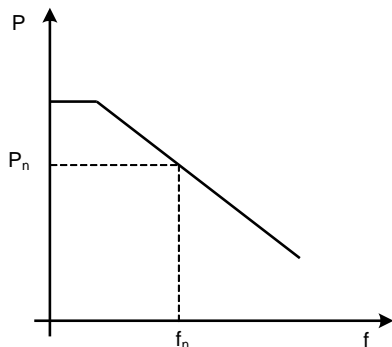
III grupa: TE i HE koje u posmatranom režimu rade sa 80 % svoje pune snage. Ekvivalentna strmina karakteristike regulatora je 25.

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

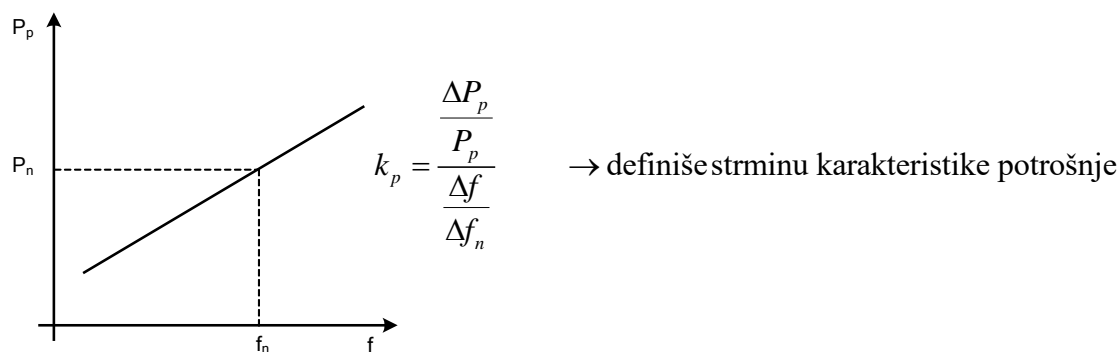
$$s_{aps} = \frac{-\Delta f}{\Delta P_G} \quad \text{apsolutni statizam}$$

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

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



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)

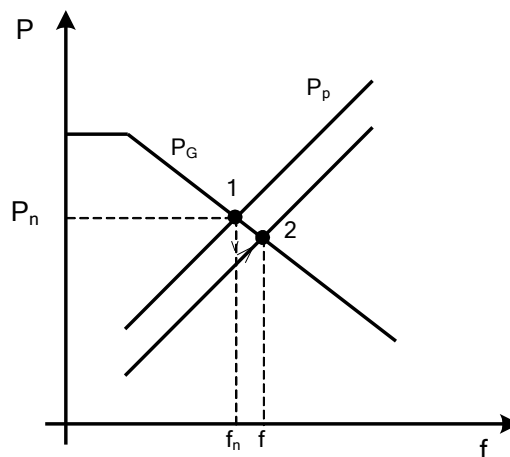
I grupa: $P_{rad_I} = 0.15 P_p = 0.5 P_{nG_I} \rightarrow P_{nG_I} = \frac{0.15}{0.5} P_p = 0.3 P_p \quad k_{G_I} = 20$

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

III grupa: $P_{rad_{III}} = 0.8P_{nG_{III}} = P_p - (0.15 + 0.5)P_p = 0.35P_p \rightarrow P_{nG_{III}} = \frac{0.35}{0.8}P_p = 0.44P_p$ $k_{G_{III}} = 25$
 $k_p = 1.5$

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

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

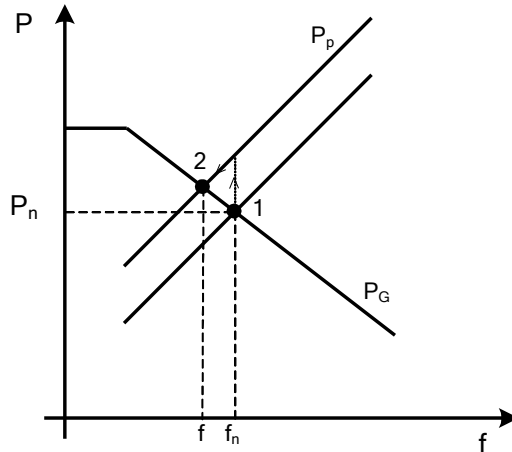
Sada je tražena relativna promjena frekvencije

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

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

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.

$$\Delta P_{G_1} = -k_{G_1} P_{nG_1} \frac{\Delta f}{f_n} = -20 \cdot 0.3 P_p (-0.0054) = 0.022 P_p$$

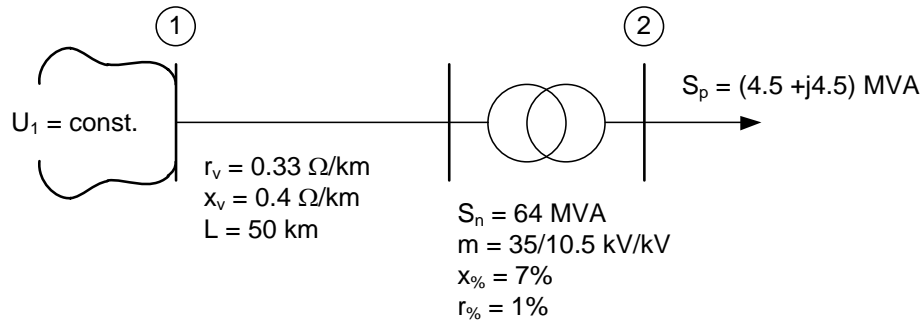
$$P_{G_{1rez}} = P_{nG_1} - P_{rad_1} = 0.3 P_p - 0.15 P_p = 0.15 P_p$$

$$\Delta P_{G_1} < P_{G_{1rez}}$$

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.

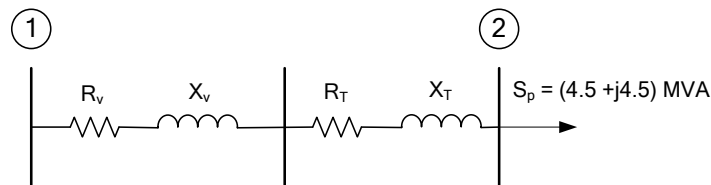
Zadatak 30.

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 otočno (redno) na sabirnice 2 da bi napon bio 10.5 kV. Zanemariti poprečnu komponentu napona.



Rješenje:

a) Zamjenska šema sistema prije priključenja baterije kondenzatora je:



čiji su parametri, svedeni na naponski nivo potrošača:

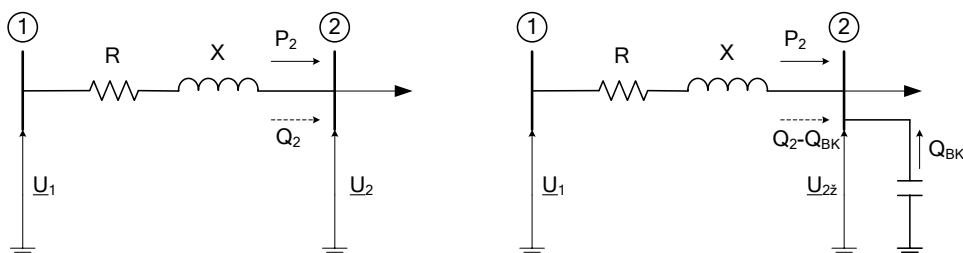
$$R_V = 0.33 \cdot 50 \cdot \left(\frac{10.5}{35}\right)^2 = 1.485 \Omega$$

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

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

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

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



jednačine pada napona između čvorova 1 i 2 su oblika:

$$\underline{U}_1 = U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} + j \frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2}$$

$$\underline{U}_1 = U_{2\dot{z}} + \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{BK})X}{U_{2\dot{z}}} + j \frac{P_2 X - (Q_2 - Q_{BK})R}{U_{2\dot{z}}}$$

Zanemarivanjem poprečnih komponenti padova napona, prethodne jednačine se svode na:

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

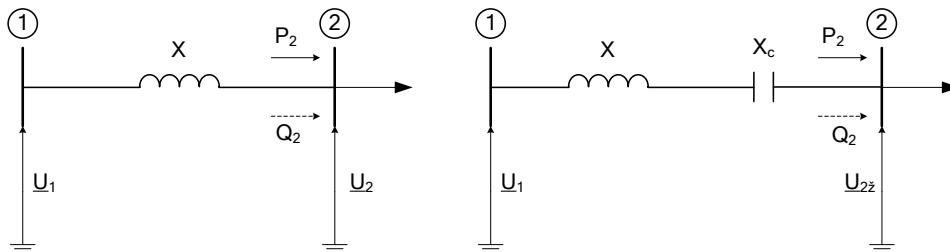
$$U_1 = U_{2\dot{z}} + \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{BK})X}{U_{2\dot{z}}}$$

Pošto su lijeve strane prethodnih izraza jednake, to iz jednakosti desnih strana slijedi jednačina:

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

u kojoj je jedina nepoznata snaga baterije kondenzatora Q_{BK} . Zamjenom brojnih vrijednosti određuje se snaga baterije kondenzatora $Q_{BK} = 4.62 \text{ MVar}$.

b) Ukoliko bi bateriju kondenzatora priključili redno, zamjenske šeme sistema pri zanemarenom aktivnom otporu su:



pa su jednačine pada napona između čvorova 1 i 2 oblika, uz zanemarene poprečne komponente pada napona:

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

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

Pošto su lijeve strane prethodnih izraza jednake, to iz jednakosti desnih strana slijedi jednačina:

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

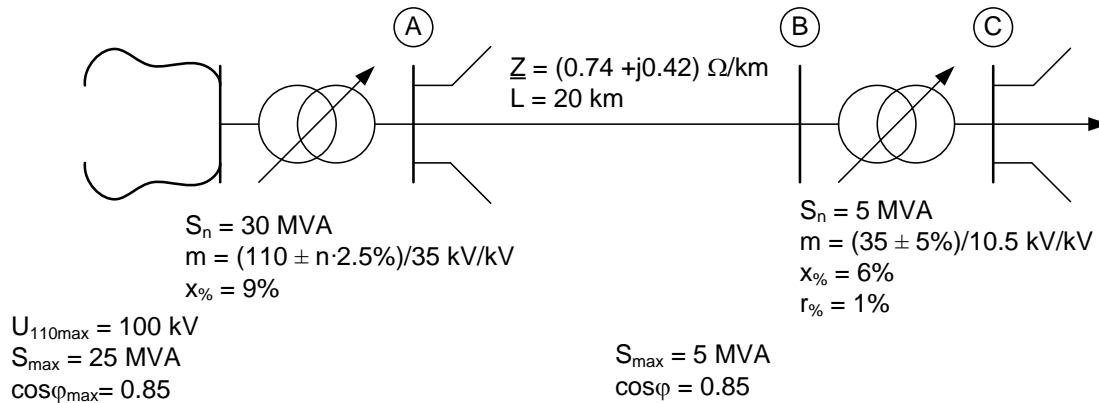
u kojoj je jedina nepoznata reaktansa baterije kondenzatora X_c . Zamjenom brojnih vrijednosti određuje se reaktansa baterije kondenzatora $X_c = 2.13 \Omega$.

Na kraju, snaga redno priključene baterije kondenzatora je:

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

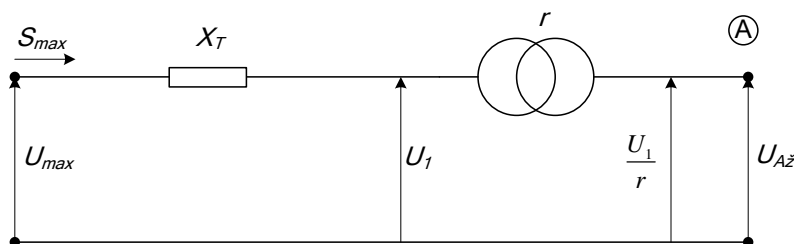
Zadatak 31.

U sistemu čija je jednopolna šema prikazana na slici se pri maksimalnom opterećenju na sabirnicama jake mreže obezbjeđuje napon od 100 kV. Regulacijom obezbijediti željenu vrijednost napona od 105% nominalnog napona na sabirnicama svih potrošača u distributivnom sistemu.



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 regulacionog otcjepa regulacionog transformatora, posmatra se zamjenska šema:



Dakle, transformator se mijenja idealnim transformatorom sa prenosnim odnosom:

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

pri čemu se reaktansa transformatora, svedena na 110 kV stranu, određuje kao:

$$X_T = \frac{9}{100} \frac{110^2}{30} = 36.3 \Omega$$

Maksimalna snaga u 110 kV napojnoj tački određuje se kao:

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

$$Q_{max} = S_{max} \sin \varphi_{max} = 13.1 \text{ MVar}$$

Sada se prema gornjoj šemi napon čvora 1 može odrediti kao:

$$\underline{U}_1 = U_{max} - \frac{Q_{max}X_T}{U_{max}} - j \frac{P_{max}X_T}{U_{max}} = 100 - \frac{13.1 \cdot 36.3}{100} - j \frac{21.25 \cdot 36.3}{100} = 95.56 \angle -4.63^\circ \text{ kV}$$

Kako je zadatkom zadata željena vrijednost napona

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

tada važi:

$$\frac{U_1}{r} = U_{Až}$$

odakle slijedi jednačina:

$$\frac{95.56}{110 + n \frac{2.5}{100} 110} = \frac{36.75}{35}$$

čije je rješenje:

$$n = -6.9 \approx -7$$

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 cjelobrojnu vrijednost. Dakle, sada je stvarna vrijednost napona nakon regulacije:

$$U_{AmaxST} = \frac{U_1}{r} = \frac{95.56}{110 - 7 \frac{2.5}{100} 110} 35 = 36.8 \text{ kV}$$

što je približno željenom naponu. Sada je potrebno ponoviti analognu proceduru za čvor C.

Impedanse voda i transformatora, svedene na 35 kV stranu, određuju se kao:

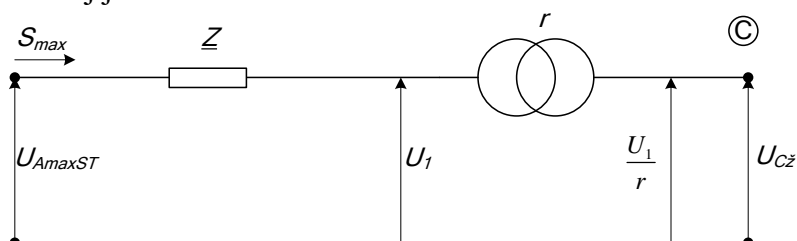
$$\underline{Z}_V = (0.74 + j0.42) \cdot 20 = (14.8 + j8.4) \Omega$$

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

pa je ekvivalentna impedansa:

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

Šema analogna prethodnoj je:



gdje je maksimalna snaga:

$$\begin{aligned}P_{max} &= S_{max} \cos \varphi_{max} = 4.25 \text{ MW} \\Q_{max} &= S_{max} \sin \varphi_{max} = 2.63 \text{ MVar}\end{aligned}$$

Sada je napon U_1 :

$$\underline{U}_1 = U_{Amax_{ST}} - \frac{P_{max}R + Q_{max}X}{U_{Amax_{ST}}} - j \frac{P_{max}X - Q_{max}R}{U_{Amax_{ST}}} = 33.19[-2.47^\circ \text{ kV}]$$

Zadatkom je zadata željena vrijednost napona kao:

$$U_{c\check{z}} = 1.05U_n = 1.05 \cdot 10 = 10.5 \text{ kV}$$

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

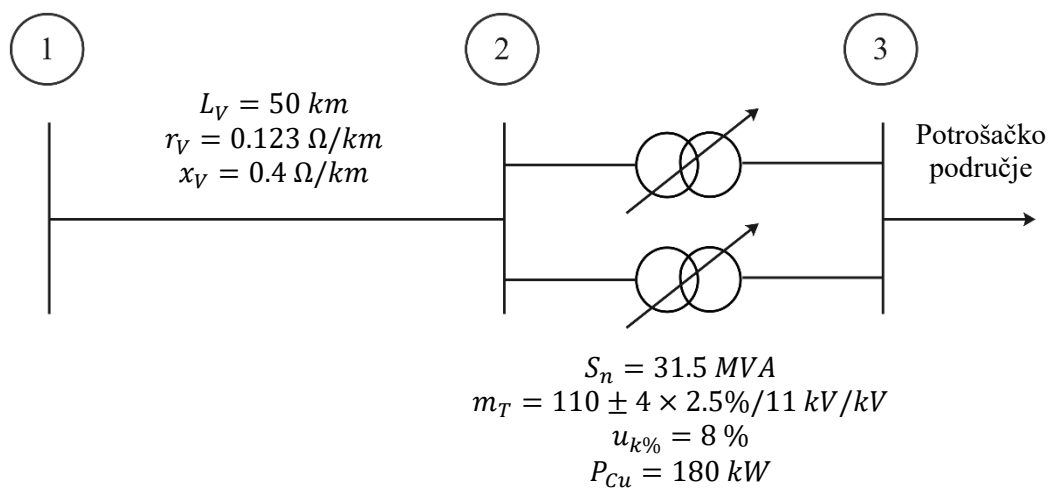
$$U_{c_{ST}} = \frac{U_1}{\frac{35 - \frac{5}{100} 35}{10.5}} = 10.48 \text{ kV} \approx 10.5 \text{ kV}$$

Zadatak 32.

Transformatorska stanica u kojoj se nalaze dva regulaciona transformatora napaja se preko jednog 110 kV dalekovoda. Regulacioni transformatori u transformatorskoj stanici su identičnih karakteristika. Moduo napona na sabirnicama 1 se održava konstantnim i iznosi 110 kV. Početna snaga potrošačkog područja vezanog na sabirnice 3 je $P_{p0} = 30 \text{ MW}$ i $Q_{p0} = 15 \text{ MVar}$, a raste sa godišnjom stopom od 7%. Odrediti u kojoj godini je neophodno izvršiti otočnu kompenzaciju na sabirnicama 3 vodeći računa da:

- Napon na sabirnicama 3 ne smije biti manji od 10 kV.
- Ne smije se dozvoliti preopterećenje transformatorske stanice.

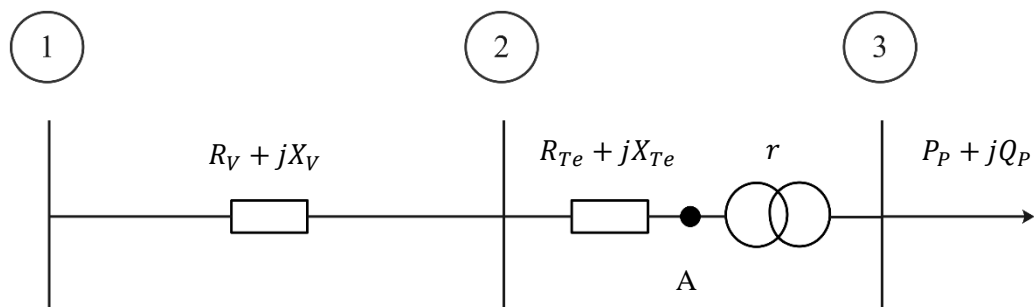
Prilikom proračuna zanemariti poprečnu komponentu pada napona.



Rješenje:

Porastom snage potrošačkog područja povećavaju se i padovi napona po svim elementima sistema. Ove padove napona kompenzuju regulacioni transformatori promjenom položaja regulacionog otcjepa. Ipak, povećane padove napona je moguće kompenzovati samo do određene mjere koja je definisana graničnim položajem regulacionog otcjepa ($n = -4$). Drugim riječima, prilikom određivanja snage potrošačkog područja pri kojoj dolazi do pojave nedozvoljeno niskih napona će se posmatrati regulacioni transformatori kod kojih se regulacioni otcjepi nalaze u graničnom položaju.

Zamjenska šema sistema je:



čiji su parametri, svedeni na 110 kV stranu:

$$\begin{aligned}
R_V &= 0.123 \cdot 50 = 6.15 \, \Omega \\
X_V &= 0.4 \cdot 50 = 20 \, \Omega \\
Z_T &= \frac{8 \cdot 110^2}{100 \cdot 31.5} = 30.73 \, \Omega \\
R_T &= 180 \cdot 10^3 \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{(31.5 \cdot 10^6)^2} = 2.195 \, \Omega \\
X_T &= \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 30.65 \, \Omega \\
R_{Te} &= \frac{R_T}{2} = 1.0975 \, \Omega \\
X_{Te} &= \frac{X_T}{2} = 15.325 \, \Omega
\end{aligned}$$

Aktivna i reaktivna snaga potrošačkog područja se u n – toj godini određuju kao:

$$\begin{aligned}
P_P &= P_{P0} \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = K_n P_{P0} \\
Q_P &= Q_{P0} \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = K_n Q_{P0}
\end{aligned}$$

dok je prenosni odnos regulacionog transformatora sa regulacionim otcjepom u graničnom položaju:

$$r = \frac{110 - 4 \frac{2.5}{100} 110}{11} = 9$$

Napon u čvoru 3 u kritičnom scenariju iznosi 10 kV, pa je napon u čvoru A:

$$U_A = rU_3 = 9 \cdot 10 = 90 \, \text{kV}$$

Jednačina pada napona između čvorova 1 i A je tada:

$$\underline{U}_1 = U_A + \frac{P_P R_e + Q_P X_e}{U_A} + j \frac{P_P X_e - Q_P R_e}{U_A}$$

Zanemarivanjem poprečne komponente pada napona, prethodna relacija se svodi na:

$$U_1 = U_A + K_n \frac{P_{P0} R_e + Q_{P0} X_e}{U_A}$$

odakle slijedi:

$$K_n = \frac{U_1 U_A - U_A^2}{P_{P0} R_e + Q_{P0} X_e} = 2.4087$$

Godina u kojoj dolazi do nedozvoljenog pada napona u čvoru 3 se tada određuje polazeći od relacije:

$$K_n = \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n$$

Logaritmovanjem prethodne relacije slijedi:

$$\ln K_n = \ln \left(1 + \frac{p}{100} \right)^n$$

odnosno:

$$\ln K_n = n \ln \left(1 + \frac{p}{100} \right)$$

odakle slijedi:

$$n = \frac{\ln K_n}{\ln \left(1 + \frac{p}{100} \right)} = 13$$

Aktivna i reaktivnu snaga konzuma za $n = 13$ se tada određuju kao:

$$\begin{aligned} P_P &= K_n P_{P0} = 2.4087 \cdot 30 = 72.3 \text{ MW} \\ Q_P &= K_n Q_{P0} = 2.4087 \cdot 15 = 36.1 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Kada su određene aktivna i reaktivna snaga konzuma koje dovode do pojave nedozvoljeno niskih napona, potrebno je provjeriti da li u ovom slučaju dolazi do preopterećenja transformatorske stanice. Prividna snaga potrošačkog područja za $n = 13$ je:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = 80.8 \text{ MVA}$$

i očigledno je veća od naznačene snage transformatorske stanice. Drugim riječima, do preopterećenja transformatorske stanice dolazi pri nižem opterećenju nego što je to slučaj sa pojavom nedozvoljeno niskih napona.

Godinu u kojoj dolazi do preopterećenja transformatorske stanice se može odrediti polazeći od relacije:

$$S_P = S_{P0} \left(1 + \frac{p}{100} \right)^n$$

gdje je S_{P0} prividna snaga konzuma u početnoj godini koja se određuje kao:

$$S_{P0} = \sqrt{P_{P0}^2 + Q_{P0}^2} = 33.5 \text{ MVA}$$

Godina u kojoj dolazi do preopterećenja transformatorske stanice je tada:

$$n = \frac{\ln \frac{S_P}{S_{P0}}}{\ln \left(1 + \frac{p}{100} \right)} = 9$$

Prema tome, otopnu kompenzaciju reaktivne snage je potrebno izvršiti u devetoj godini kako bi se spriječilo preopterećenje transformatorske stanice.