

## **VEŽBE za 24.04.2020. godine**

### **9. FUNKCIJE UPRAVLJANJA U REALNOM VREMENU, NIVOI UPRAVLJANJA, OSNOVNE FUNKCIJE U CENTRIMA UPRAVLJANJA**

Zadatak 5.3.3 str. 326

### **10. REGULACIJA NAPONA I REAKTIVNIH SNAGA**

Zadatak 1.13 str. 44 (u prilogu)

Zadatak 1.17 str. 59 (u prilogu)

**Zadatak 1.13**

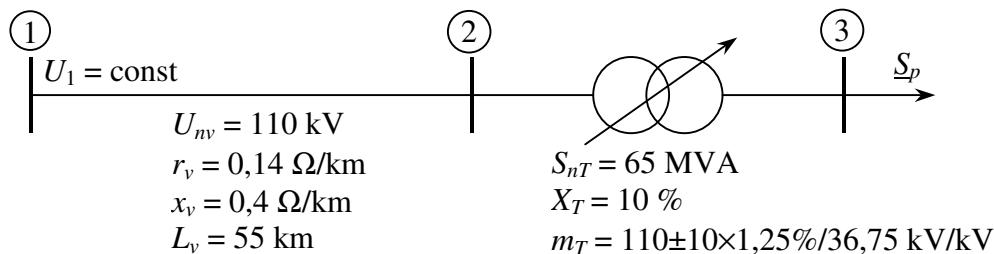
Radijalni sistem, prikazan na sl. 1.13a, napaja potrošačko područje, kod kojeg termički aparati, čiji je statički naponski koeficijent  $k_{PU} = 1,9$  učestvuju u ukupnoj aktivnoj snazi sa 70 %, asinhroni motori, čiji su  $k_{PU} = 0,15$  i  $k_{QU} = 1,7$  učestvuju sa 25 % u ukupnoj aktivnoj snazi i sa 80 % u ukupnoj reaktivnoj snazi, dok ostali heterogeni potrošači imaju prosečne naponske koeficijente osetljivosti  $k_{PU} = 1,2$  i  $k_{QU} = 1$ .

Pri položaju regulacionog prekidača transformatora  $n = +5$ , napon na sabirnicama 3 je  $U_3 = 35$  kV, a snaga potrošačkog područja  $\underline{S}_p = (35+j15)$  MVA.

a) Kolika je snaga potrošnje na sabirnicama 3 pri nominalnom odnosu transformacije transformatora ako se napon na sabirnicama 1 održava na konstantnoj vrednosti.

b) Odrediti snagu otočne kondenzatorske baterije koju je potrebno vezati na sabirnice 3 da bi se pri nepromenjenom naponu na sabirnicama 1 i položaju regulacionog prekidača transformatora  $n = +5$  održavao napon na sabirnicama 3 dobijen iz prethodne tačke.

*Napomena:* U proračunu zanemariti poprečnu komponentu pada napona.



Sl. 1.13a Radijalni sistem prenosa i osnovni podaci iz zadatka 1.13

**Rešenje:**

a) Na osnovu zadatih podataka ukupni statički koeficijenti osetljivosti  $k_{PU}^{uk}$  i  $k_{QU}^{uk}$  mešovitog potrošačkog područja su:

$$k_{PU}^{uk} = 0,7 \cdot 1,9 + 0,25 \cdot 0,15 + 0,05 \cdot 1,2 = 1,4275;$$

$$k_{QU}^{uk} = 0,8 \cdot 1,7 + 0,2 \cdot 1 = 1,56.$$

Impedanse voda i transformatora svedene na naponski nivo 35 kV su:

$$\underline{Z}_T = j \frac{X_T \%}{100} \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = j \frac{10}{100} \frac{36,75^2}{65} = j2,078 \Omega;$$

$$\underline{Z}_v = \underline{z}_v L_v = (0,14 + j0,4) \cdot 55 \cdot \left( \frac{36,75}{110} \right)^2 = (0,859 + j2,455) \Omega.$$

Na osnovu položaja otepa regulacionog transformatora  $n = +5$  dobijaju se sledeće vrednosti za nenominalni prenosni odnos i parametre ekvivalentne  $\pi$ -šeme regulacionog transformatora:

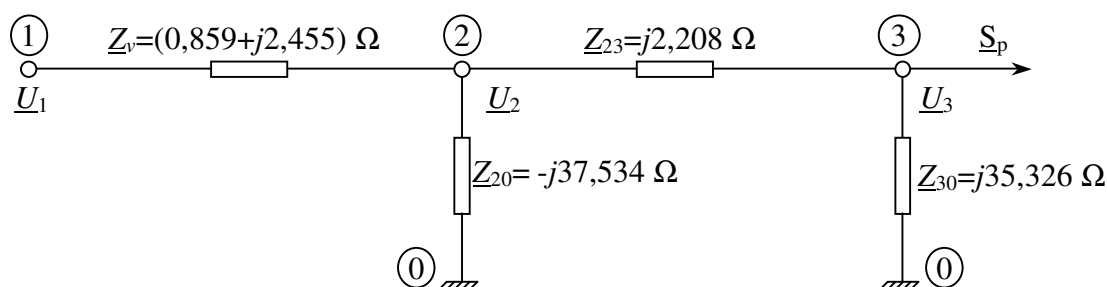
$$t = 1 + n\Delta t = 1 + 5 \cdot 0,0125 = 1,0625;$$

$$\underline{Z}_{20} = \frac{t^2}{1-t} \underline{Z}_T = -j37,534 \Omega;$$

$$\underline{Z}_{23} = t \underline{Z}_T = j2,208 \Omega;$$

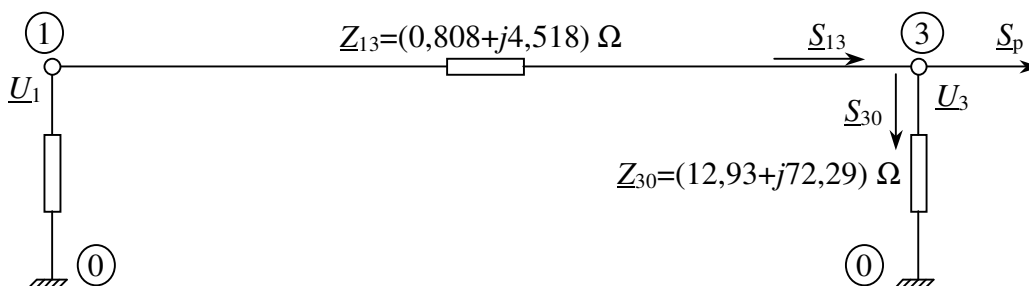
$$\underline{Z}_{30} = \frac{t}{t-1} \underline{Z}_T = j35,326 \Omega.$$

Ekvivalentna šema sistema za dati radni režim prikazana je na sl. 1.13b.



Sl. 1.13b Ekvivalentna šema sistema

Transfiguracijom zvezde koju čine grane između čvorova 1-2, 2-3 i 2-0 u trougao 1-3-0 i ekvivalentovanjem dve paralelne grane 3-0 dobija se ekvivalentna šema na sl. 1.13c.



Sl. 1.13c Transfigurisana ekvivalentna šema sa sl. 1.13b

Bilansom snaga, za dati radni režim, može se odrediti napon na sabirnicama 1 čiji se moduo u datoj mreži održava na konstantnoj vrednosti.

Najpre se određuje snaga  $\underline{S}_{30}$ :

$$\underline{S}_{30} = \frac{U_3^2}{\underline{Z}_{30}^*} = \frac{35^2}{12,93 - j72,29} = (2,94 + j16,42) \text{ MVA},$$

a zatim, iz bilansa snaga u čvoru 3, izračunava se i snaga  $\underline{S}_{13}$ :

$$\underline{S}_{13} = \underline{S}_p + \underline{S}_{30} = 35 + j15 + 2,94 + j16,42 = (37,94 + j31,42) \text{ MVA}.$$

Konačno napon na sabirnicama 1 iznosi:

$$U_1 = U_3 + \frac{P_{13}R_{13} + Q_{13}X_{13}}{U_3} = 35 + \frac{37,94 \cdot 0,808 + 31,42 \cdot 4,518}{35} = 39,93 \text{ kV}.$$

Po uslovu zadatka iz tačke a) ekvivalentna šema sistema za nominalni prenosni odnos transformacije regulacionog transformatora (kada su impedanse otočnih grana u  $\pi$ -ekvivalentu transformatora beskonačne) data je na sl. 1.13d.



**Sl. 1.13d** Ekvivalentna šema sistema za nominalni prenosni odnos transformacije regulacionog transformatora

Zbog promene prenosnog odnosa regulacionog transformatora menja se i napon na sabirnicama 3, a takođe i snage potrošačkog područja. Zavisnosti aktivne i reaktivne snage potrošačkog područja od napona date su sledećim jednačinama:

$$P'_3 = P_{3o} + P_{3o} k_{PU}^{uk} \frac{\Delta U}{U_{3o}} = 35 + 35 \cdot 1,4275 \frac{U'_3 - 35}{35} = 1,4275 \cdot U'_3 - 14,9625; \quad (1)$$

$$Q'_3 = Q_{3o} + Q_{3o} k_{QU}^{uk} \frac{\Delta U}{U_{3o}} = 15 + 15 \cdot 1,56 \frac{U'_3 - 35}{35} = 0,668 \cdot U'_3 - 8,4, \quad (2)$$

gde je  $U'_3$  napon na sabirnicama 3, za čiji se fazor pretpostavlja da se poklapa sa realnom osom.

Ako se prethodni izrazi uvrste u jednačinu za izračunavanje napona  $U_1$  preko napona  $U'_3$  i pada napona između tačaka 1 i 3, dobija se kvadratna jednačina u kojoj je jedina nepoznata veličina napon na sabirnicama 3  $U'_3$ :

$$U_1 = U'_3 + \frac{P'_3 R_{13} + Q'_3 X_{13}}{U'_3}, \quad (3)$$

odakle se dalje dobija jednačina

$$39,93 = U'_3 + \frac{(1,4275U'_3 - 14,9625) \cdot 0,859 + (0,668U'_3 - 8,4) \cdot 4,533}{U'_3},$$

koja posle preuređenja postaje:

$$U_3'^2 - 35,6754U_3' - 50,915 = 0.$$

Fizički ostvarljivo rešenje gornje jednačine je:

$$U_3' = 37,05 \text{ kV}.$$

Uvrštavanjem dobijene vrednosti za napon u izraze (1) i (2) dobijaju se tražene vrednosti za aktivnu i reaktivnu snagu potrošačkog područja:

$$P'_3 = 1,4275U'_3 - 14,9625 = 37,93 \text{ MW}$$

$$Q'_3 = 0,668U'_3 - 8,4 = 16,35 \text{ MVAr}$$

b) Ekvivalentna šema za režim definisan u tački b) je ista kao ekvivalentna šema koja je služila za određivanje napona na sabirnicama 1 (sl. 1.13c), s tom razlikom što se na sabirnicama 3 ima otopno vezana baterija kondenzatora. Vrednost snage  $\underline{S}_{30}$  za ovaj radni režim je:

$$\underline{S}_{30} = \frac{U_3'^2}{\underline{Z}_{30}^*} = \frac{37,05^2}{12,93 - j72,29} = (3,29 + j18,4) \text{ MVA} .$$

Kompleksna snaga koja teče po grani 1-3 je onda:

$$\underline{S}_{13} = \underline{S}_p + \underline{S}_{30} - jQ_{BK} = 41,22 + j(34,75 - Q_{BK}) \text{ MVA} ,$$

odakle je:

$$P'_3 = 41,22 \text{ MW} ; \quad Q'_3 = (34,75 - Q_{BK}) \text{ MVAr} .$$

Uvrštavanjem gornjih izraza u jednačinu za pad napona (3) dobija se izraz u kome je jedina nepoznata veličina snaga baterije kondenzatora u izrazu za  $Q'_3$ . Zamena poznatih numeričkih vrednosti u jednačinu (3) daje linearnu jednačinu po  $Q_c$ :

$$39,93 = 37,05 + \frac{41,22 \cdot 0,808 + (34,75 - Q_{BK}) \cdot 4,518}{37,05} .$$

Iz gornje jednačine za snagu baterije kondenzatora dobija se vrednost:

$$Q_{BK} = 18,5 \text{ MVAr} .$$

□

**Zadatak 1.17**

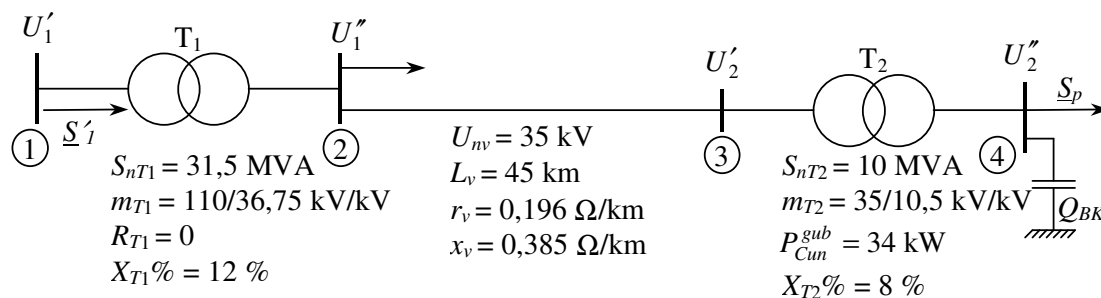
Na sl. 1.17a je dat deo radijalnog distributivnog sistema koji napaja potrošačko područje snage  $\underline{S}_p = (4+j7)$  MVA vezano na sabirnice 4.

a) Naći snagu otočne kondenzatorske baterije priključene na sabirnicama potrošača 4, ako je napon na primaru transformatora  $T_1$   $U'_1 = 111,1$  kV = const, transformator opterećen snagom od  $\underline{S}'_1 = (20 + j15)$  MVA, a zahteva se da se na sabirnicama 4 obezbedi napon  $U''_2 = 10,5$  kV.

b) Naći napone  $U''_1, U'_2$  za definisane pogonske režime pre i posle kompenzacije.

c) Naći gubitke aktivne snage na vodu i transformatoru  $T_2$  pre i posle kompenzacije i snage koje teku vodom, merene na njegovom početku.

Sve parametre sistema svesti na napon voda. Računati samo sa podužnim padovima napona.



**Sl. 1.17a** Šema i osnovni podaci za radijalni distributivni sistem iz zadatka 1.17

**Rešenje:**

a) Vrednosti impedansi pojedinih elemenata sistema svedene na naponski nivo voda su:

$$X_{T1} = \frac{X_{T1}\% U_{nT1}^2}{100 S_{nT1}} = \frac{12}{100} \frac{36,75^2}{31,5} = 5,145 \Omega ; \quad R_{T1} = 0 \Omega ;$$

$$R_v = r_v L_v = 0,196 \cdot 45 = 8,82 \Omega ;$$

$$X_v = x_v L_v = 0,385 \cdot 45 = 17,325 \Omega ;$$

$$R_{T2} = P_{Cun}^{gub} \frac{U_{nT2}^2}{S_{nT2}^2} = 0,034 \frac{35^2}{10^2} = 0,42 \Omega ;$$

$$X_{T2} = \frac{X_{T2}\% U_{nT2}^2}{100 S_{nT2}} = \frac{8}{100} \frac{35^2}{10} = 9,8 \Omega .$$

Svedena vrednost napona primara transformatora  $T_1$  je:

$$U'_{1sv} = U'_1 \frac{1}{m_{T1}} = 111,1 \frac{36,75}{110} = 37,12 \text{ kV} .$$

Na osnovu datih podataka može se odrediti napon  $U''_1$  preko formule:

$$U_1'' = U_1' - \frac{P_1' R_{T1} + Q_1' X_{T1}}{U_1'} = 37,12 - \frac{20 \cdot 0 + 15 \cdot 5,145}{37,12} = 35,04 \text{ kV}.$$

Za režim kompenzacije napon na sekundaru transformatora  $T_2$  jednak je 10,5 kV, odnosno njegova svedena vrednost je:

$$U_{2sv}'' = U_2'' m_{T2} = 10,5 \frac{35}{10,5} = 35 \text{ kV}.$$

Zamenjivanjem poznatih vrednosti napona u jednačinu pada napona na vodu i transformatoru  $T_2$  posle kompenzacije, dobija se jednačina u kojoj je jedina nepoznata veličina snaga baterije kondenzatora:

$$U_1'' = U_{2sv}'' + \frac{P_p (R_v + R_{T2}) + (Q_p - Q_{BK}) (X_v + X_{T2})}{U_{2sv}''},$$

odnosno, posle zamene raspoloživih numeričkih podataka, ona postaje:

$$35,04 = 35 + \frac{4 \cdot (8,82 + 0,42) + (7 - Q_{BK}) (17,325 + 9,8)}{35}.$$

Iz poslednje jednačine dobija se zahtevana snaga otočne kondenzatorske baterije:

$$Q_{BK} = 8,31 \text{ MVAr}.$$

b) Što se tiče vrednosti napona  $U_1''$  njegova vrednost je ista i za režim pre i posle kompenzacije jer je vrednost tog napona diktirana radnim režimom transformatora  $T_1$ .

U cilju određivanja napona  $U_2''$  za režim pre kompenzacije potrebno je najpre odrediti napon  $U_{2sv}''$ . Njegova vrednost će se odrediti iz jednačine napona na početku voda kada je poznato stanje na sabirnicama sekundara transformatora  $T_2$ :

$$U_1'' = U_{2sv}'' + \frac{P_p (R_v + R_{T2}) + Q_p (X_v + X_{T2})}{U_{2sv}''}.$$

Zamenom odgovarajućih numeričkih vrednosti u gornju jednačinu i sređivanjem te jednačine dobija se kvadratna jednačina po nepoznatom naponu  $U_{2sv}''$ :

$$35,04 = U_{2sv}'' + \frac{4 \cdot (8,82 + 0,42) + 7 \cdot (17,325 + 9,8)}{U_{2sv}''},$$

odakle je njena konačna forma:

$$U_{2sv}''^2 - 35,04 U_{2sv}'' + 226,835 = 0.$$

Fizički prihvatljivo rešenje gornje kvadratne jednačine je:

$$U''_{2sv} = 26,47 \text{ kV} .$$

Napon  $U'_2$  sada se dobija preko formule za pad napona na transformatoru  $T_2$ :

$$U'_2 = U''_{2sv} + \frac{P_p R_{T2} + Q_p X_{T2}}{U''_{2sv}} = 26,47 + \frac{4 \cdot 0,42 + 7 \cdot 9,8}{26,47} = 29,125 \text{ kV} .$$

Napon  $U'_2$  posle kompenzacije može se odrediti i znatno jednostavnije, pošto je poznat napon  $U''_{2sv}$  za režim kompenzacije ( $U''_{2sv} = 35 \text{ kV}$ ). Preko formule za pad napona na transformatoru  $T_2$  dobija se tražena vrednost napona:

$$U'_2 = U''_{2sv} + \frac{P_p R_{T2} + (Q_p - Q_{BK}) X_{T2}}{U''_{2sv}} = 35 + \frac{4 \cdot 0,42 + (7 - 8,31) \cdot 9,8}{35} = 34,68 \text{ kV} .$$

c) Gubici snage na vodu i transformatoru  $T_2$  pre kompenzacije su:

$$\begin{aligned} \underline{S}^{gub} &= [R_v + R_{T2} + j(X_v + X_{T2})] \frac{P_p^2 + Q_p^2}{U''_{2sv}{}^2} \\ &= [8,82 + 0,42 + j(17,325 + 9,8)] \frac{4^2 + 7^2}{26,47^2} = (0,857 + j2,516) \text{ MVA} . \end{aligned}$$

Snaga na početku voda pre kompenzacije je:

$$\underline{S}_v = \underline{S}_p + \underline{S}^{gub} = (4,857 + j9,516) \text{ MVA} .$$

Gubici na vodu i transformatoru  $T_2$  posle kompenzacije su:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{BK}^{gub} &= [R_v + R_{T2} + j(X_v + X_{T2})] \frac{P_p^2 + (Q_p - Q_{BK})^2}{U''_{2sv}{}^2} \\ &= [8,82 + 0,42 + j(17,325 + 9,8)] \frac{4^2 + (7 - 8,31)^2}{35^2} = (0,134 + j0,392) \text{ MVA} . \end{aligned}$$

Snaga na početku voda za radni režim posle kompenzacije je:

$$\underline{S}_{vBK} = \underline{S}_p - jQ_{BK} + \underline{S}_{BK}^{gub} = (4,134 - j0,918) \text{ MVA} .$$

□