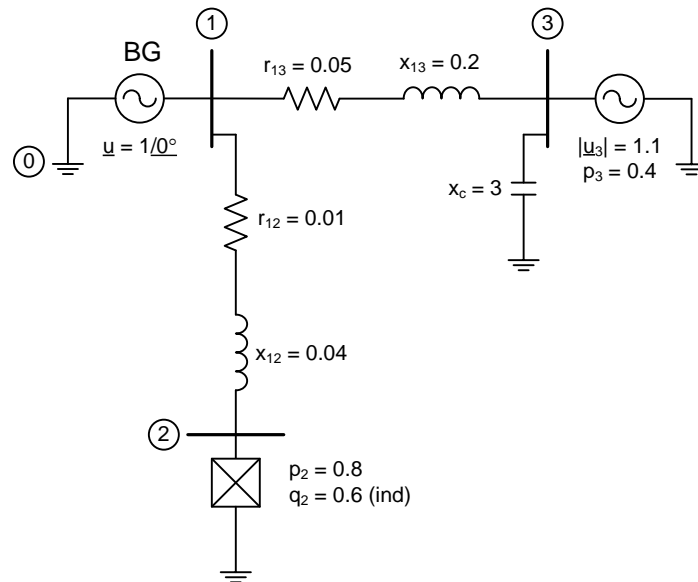


Zadatak 23.

Na slici je prikazan jednostavan EES, sa parametrima datim u jediničnim vrijednostima. Odrediti vrijednost modula i faznog stava napona u čvoru 2 i faznog stava napona u čvoru 3 u prvoj iteraciji Gauss-Seidelovog metoda za proračun tokova snaga u Y_B konceptu. Prilikom proračuna izvršiti jednu korekciju napona.



Rješenje:

Matematički model Gauss-Seidelovog metoda za proračun tokova snaga podrazumijeva iterativnu primjenu relacija:

$$\underline{U}_i^{(k+1)} = \frac{1}{\underline{Y}_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{\underline{U}_i^{(k)*}} - \sum_{j=1}^{i-1} \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k)} \right]$$
$$Q_i^{(k+1)} = -\text{Im} \left\{ \underline{U}_i^{(k)*} \left(\sum_{j=1}^{i-1} \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k+1)} + \sum_{j=i}^n \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j^{(k)} \right) \right\}$$

Prije primjene Gauss-Seidelovog metoda za proračun tokova snaga neophodno je izvršiti formiranje matrice admitansi čvorova:

$$Y_B = \begin{bmatrix} \underline{y}_{12} + \underline{y}_{13} & -\underline{y}_{12} & -\underline{y}_{13} \\ -\underline{y}_{12} & \underline{y}_{12} & 0 \\ -\underline{y}_{13} & 0 & \underline{y}_{13} + \underline{y}_{30} \end{bmatrix}$$

Zamjenom brojnih vrijednosti, matrica admitansi čvorova dobija oblik:

$$Y_B = \begin{bmatrix} 7.059 - j28.235 & -5.882 + j23.529 & -1.176 + j4.706 \\ -5.882 + j23.529 & 5.882 - j23.529 & 0 \\ -1.176 + j4.706 & 0 & 1.176 - j4.373 \end{bmatrix}$$

Nakon formiranja matrice admitansi čvorova, usvajaju se početne vrijednosti napona u čvorovima sistema:

$$\underline{U}_1^{(0)} = 1 + j0 = 1\angle 0^\circ \quad \underline{U}_2^{(0)} = 1 + j0 = 1\angle 0^\circ \quad \underline{U}_3^{(0)} = 1.1 + j0 = 1.1\angle 0^\circ$$

U drugom koraku, se ažuriraju vrijednosti napona u svim čvorovima sistema koristeći početne vrijednosti napona:

Čvor 1:

U pitanju je balansni čvor, pa nije potrebno posebno računati moduo i fazni stav napona u svakoj iteraciji, jer su oni unaprijed poznati.

Čvor 2:

U pitanju je potrošački čvor, pa je moguće direktno primijeniti relaciju:

$$\begin{aligned} \underline{U}_2^{(1)} &= \frac{1}{\underline{Y}_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{\underline{U}_2^{(0)*}} - \underline{Y}_{21}\underline{U}_1^{(0)} - \underline{Y}_{23}\underline{U}_3^{(0)} \right] = \\ &= \frac{1}{5.882 - j23.529} \left[\frac{-0.8 + j0.6}{1 - j0} - (-5.882 + j23.529)(1 + j0) \right] = \\ &= 0.968 - j0.026 \end{aligned}$$

Nakon proračuna nove vrijednosti napona, moguće je izvršiti korekciju kao:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{2k}^{(1)} &= \frac{1}{\underline{Y}_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{\underline{U}_2^{(1)*}} - \underline{Y}_{21}\underline{U}_1^{(0)} - \underline{Y}_{23}\underline{U}_3^{(0)} \right] = \\ &= \frac{1}{5.882 - j23.529} \left[\frac{-0.8 + j0.6}{0.968 - j0.026} - (-5.882 + j23.529)(1 + j0) \right] = \\ &= 0.966 - j0.026 \end{aligned}$$

U prethodnim relacijama je važno obratiti pažnju na smjer injektiranja aktivne i reaktivne snage koji je određen u skladu sa aktivnom konvencijom.

Čvor 3:

U pitanju je generatorski čvor, pa je prije primjene relacije za ažuriranje napona neophodno sprovesti procjenu injektiranja reaktivne snage primjenom relacije:

$$\begin{aligned} Q_3^{(1)} &= -\text{Im} \left\{ \underline{U}_3^{(0)*} \left(\underline{Y}_{31}\underline{U}_1^{(0)} + \underline{Y}_{32}\underline{U}_{2k}^{(1)} + \underline{Y}_{33}\underline{U}_3^{(0)} \right) \right\} = \\ &= -\text{Im} \left\{ (1.1 - j0) \left((-1.176 + j4.706)(1 + j0) + (1.176 - j4.373)(1.1 + j0) \right) \right\} = \\ &= 0.52 \end{aligned}$$

Uz pretpostavku da izračunata vrijednost reaktivne snage ne narušava regulacioni opseg generatora, dostupni su svi podaci potrebni za ažuriranje vrijednosti napona:

$$\begin{aligned}
\underline{U}_3^{(1)} &= \frac{1}{\underline{Y}_{33}} \left[\frac{P_3 - jQ_3^{(1)}}{\underline{U}_3^{(0)*}} - \underline{Y}_{31}\underline{U}_1^{(0)} - \underline{Y}_{32}\underline{U}_{2k}^{(1)} \right] \\
&= \frac{1}{1.176 - j4.373} \left[\frac{0.4 - j0.52}{1.1 - j0} - (-1.176 + j4.706)(1 + j0) \right] = \\
&= 1.194 + j0.031 = 1.194 \angle 1.49^\circ
\end{aligned}$$

Kako je pretpostavljeno da izračunata vrijednost reaktivne snage ne narušava regulacioni opseg generatora, to se nova vrijednost napona koristi samo za ažuriranje faznog stava, odnosno usvaja se:

$$\underline{U}_3^{(1)} = 1.1 \angle 1.49^\circ = 1.0996 + j0.0286$$

Nakon ažuriranja faznog stava napona, moguće je sprovesti korekciju injektiranja reaktivne snage primjenom relacije:

$$\begin{aligned}
Q_{3k}^{(1)} &= -\text{Im} \left\{ \underline{U}_3^{(1)*} \left(\underline{Y}_{31}\underline{U}_1^{(0)} + \underline{Y}_{32}\underline{U}_{2k}^{(1)} + \underline{Y}_{33}\underline{U}_3^{(1)} \right) \right\} = \\
&= -\text{Im} \left\{ (1.0996 + j0.0286) \left((-1.176 + j4.706)(1 + j0) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + (1.176 - j4.373)(1.0996 - j0.0286) \right) \right\} = 0.0746
\end{aligned}$$

pa se korigovana vrijednost napona određuje kao:

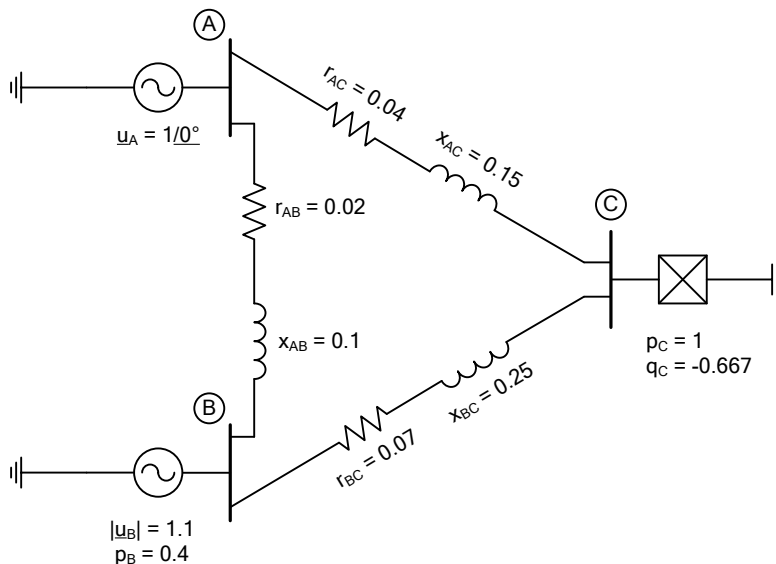
$$\begin{aligned}
\underline{U}_{3k}^{(1)} &= \frac{1}{\underline{Y}_{33}} \left[\frac{P_3 - jQ_{3k}^{(1)}}{\underline{U}_3^{(1)*}} - \underline{Y}_{31}\underline{U}_1^{(0)} - \underline{Y}_{32}\underline{U}_{2k}^{(1)} \right] = \\
&= \frac{1}{1.176 - j4.373} \left[\frac{0.4 - j0.0746}{1.0996 + j0.0286} - (-1.176 + j4.706)(1 + j0) \right] = \\
&= 1.106 + j0.055 = 1.107 \angle 2.85^\circ
\end{aligned}$$

pa se usvaja:

$$\underline{U}_{3k}^{(1)} = 1.1 \angle 2.85^\circ$$

Zadatak 24.

Na slici je prikazan jednostavan EES, sa parametrima datim u jediničnim vrijednostima. Odrediti vrijednosti modula i faznih stavova napona u prvoj iteraciji primjenom Gauss-Seidelovog metoda za proračun tokova snaga u Z_B konceptu.



Rješenje:

Matematički model Gauss-Seidelovog metoda za proračun tokova snaga podrazumijeva iterativnu primjenu relacija:

$$\underline{U}_i^{(k+1)} = \underline{U}_R + \sum_{j=1}^{i-1} \underline{Z}_{ij} \left(\frac{P_j - jQ_j}{\underline{U}_j^{(k+1)*}} - \underline{y}_j \underline{U}_j^{(k+1)} \right) + \sum_{j=i}^n \underline{Z}_{ij} \left(\frac{P_j - jQ_j}{\underline{U}_j^{(k)*}} - \underline{y}_j \underline{U}_j^{(k)} \right)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -Im \left\{ \frac{\underline{U}_i^{(k)*}}{\underline{Z}_{ii}} \left[\underline{U}_i^{(k)} (1 + \underline{Z}_{ii} \underline{y}_i) - \underline{U}_R - \sum_{j=1, j \neq i}^n \underline{Z}_{ij} \left(\frac{P_j - jQ_j}{\underline{U}_j^{(k)*}} - \underline{y}_j \underline{U}_j^{(k)} \right) \right] \right\}$$

Prije primjene Gauss-Seidelovog metoda za proračun tokova snaga neophodno je izvršiti formiranje matrice admitansi čvorova, vodeći računa da je za referentni čvor usvojen balansni čvor:

$$\underline{Y}_B = \begin{bmatrix} \underline{y}_{AB} + \underline{y}_{BC} & -\underline{y}_{BC} \\ -\underline{y}_{BC} & \underline{y}_{AC} + \underline{y}_{BC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.962 - j13.325 & -1.039 + j3.709 \\ -1.039 + j3.709 & 2.698 - j9.933 \end{bmatrix}$$

pa je matrica impedansi nezavisnih čvorova:

$$\underline{Z}_B = \underline{Y}_B^{-1} = \begin{bmatrix} 0.017 + j0.08 & 0.006 + j0.03 \\ 0.006 + j0.03 & 0.028 + j0.105 \end{bmatrix}$$

čime je izvršen prelazak na ekvivalentnu grabljastu šemu.

Nakon prelaska na ekvivalentnu grabljastu šemu, usvajaju se početne vrijednosti napona u čvorovima sistema, uz prelazak sa oznaka (A, B, C) na (0, 1, 2):

$$\underline{U}_0^{(0)} = 1 + j0 = 1|0^\circ \quad \underline{U}_1^{(0)} = 1.1 + j0 = 1.1|0^\circ \quad \underline{U}_2^{(0)} = 1 + j0 = 1|0^\circ$$

U drugom koraku, se ažuriraju vrijednosti napona u svim čvorovima sistema koristeći početne vrijednosti napona:

Čvor 1:

U pitanju je generatorski čvor, pa je prije primjene relacije za ažuriranje napona neophodno sprovesti procjenu injektiranja reaktivne snage primjenom relacije:

$$\begin{aligned} Q_1^{(1)} &= -Im \left\{ \frac{\underline{U}_1^{(0)*}}{\underline{Z}_{11}} \left[\underline{U}_1^{(0)} (1 + \underline{Z}_{11} \underline{y}_1) - \underline{U}_0 - \underline{Z}_{12} \left(\frac{P_2 - jQ_2}{\underline{U}_2^{(0)*}} - \underline{y}_2 \underline{U}_2^{(0)} \right) \right] \right\} = \\ &= -Im \left\{ \frac{1.1}{0.017 + j0.08} \left[1 \cdot (1 + (0.017 + j0.08) \cdot 0) - 1 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - (0.006 + j0.03) \left(\frac{-1 - j0.667}{1} - 0 \cdot 1 \right) \right] \right\} = 1.036 \end{aligned}$$

Uz pretpostavku da izračunata vrijednost reaktivne snage ne narušava regulacioni opseg generatora, dostupni su svi podaci potrebni za ažuriranje vrijednosti napona:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1^{(1)} &= \underline{U}_0 + \underline{Z}_{11} \left(\frac{P_1 - jQ_1^{(1)}}{\underline{U}_1^{(0)*}} - \underline{y}_1 \underline{U}_1^{(0)} \right) + \underline{Z}_{12} \left(\frac{P_2 - jQ_2}{\underline{U}_2^{(0)*}} - \underline{y}_2 \underline{U}_2^{(0)} \right) = \\ &= 1 + (0.017 + j0.08) \left(\frac{0.4 - j1.036}{1.1} - 0 \cdot 1.1 \right) \\ &\quad + (0.006 + j0.03) \left(\frac{-1 - j0.667}{1} - 0 \cdot 1 \right) = 1.096 - j0.021 = 1.096|-1.09^\circ \end{aligned}$$

Kako se radi o generatorskom čvoru, usvaja se:

$$\underline{U}_1^{(1)} = 1.1|-1.09^\circ = 1.0998 - j0.0209$$

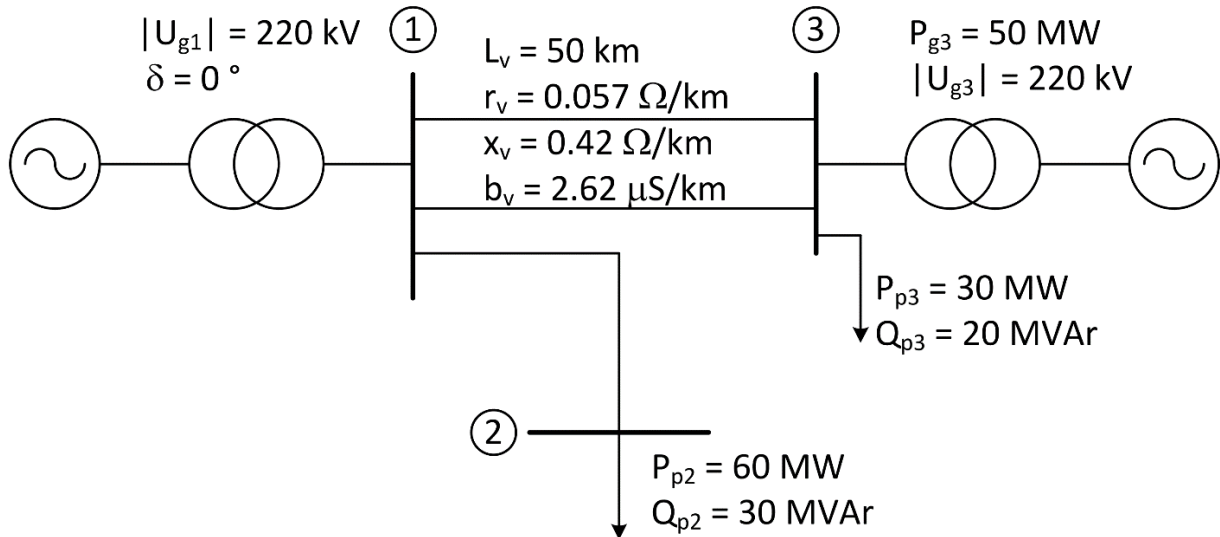
Čvor 2:

U pitanju je potrošački čvor, pa je moguće direktno primijeniti relaciju:

$$\begin{aligned} \underline{U}_2^{(1)} &= \underline{U}_0 + \underline{Z}_{21} \left(\frac{P_1 - jQ_1^{(1)}}{\underline{U}_1^{(1)*}} - \underline{y}_1 \underline{U}_1^{(1)} \right) + \underline{Z}_{22} \left(\frac{P_2 - jQ_2}{\underline{U}_2^{(0)*}} - \underline{y}_2 \underline{U}_2^{(0)} \right) \\ &= 1 + (0.006 + j0.03) \left(\frac{0.4 - j1.036}{1.0998 + j0.0209} \right) + (0.028 + j0.105) \left(\frac{-1 - j0.667}{1} \right) \\ &= 1.073 - j0.119 = 1.08|-6.33^\circ \end{aligned}$$

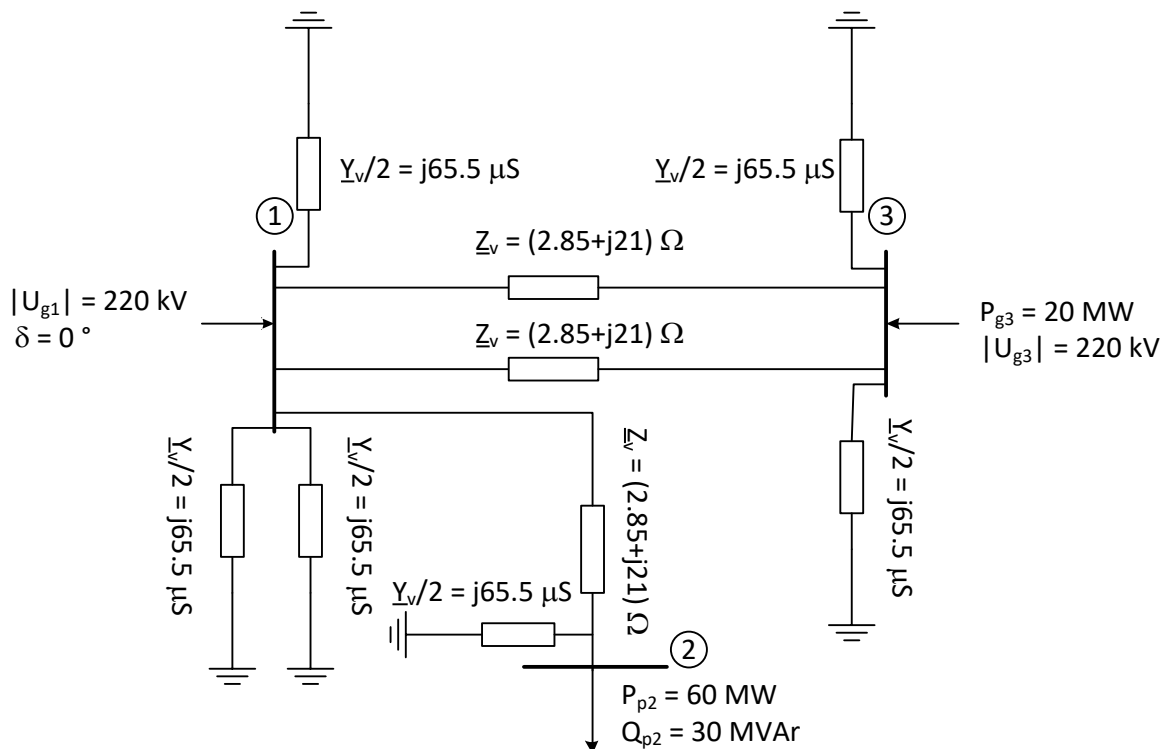
Zadatak 25.

Koristeći Gauss-Seidelov metod za proračun tokova snaga proračunata je vrijednost napona potrošača nakon druge iteracije koja iznosi $216.534[-1.422^\circ \text{ kV}]$, dok je fazni stav napona generatora u čvoru 3 jednak nuli. Odrediti vrijednosti napona čvorova u trećoj iteraciji. Kakav treba da bude uslov konvergencije da bi treća iteracija bila posljednja? Ukoliko je taj uslov zadovoljen, odrediti radnu snagu balansnog generatora. Svi vodovi na šemi sa slike su jednakih karakteristika.



Rješenje:

S obzirom da se vodovi predstavljaju Π šemom uz parametre sa prethodne slike, zamjenska šema sistema je oblika:



Matrica admitansi čvorova je tada:

$$Y_B = \begin{bmatrix} 3\frac{Y_V}{2} + \frac{3}{\underline{Z}_V} & -\frac{1}{\underline{Z}_V} & -\frac{2}{\underline{Z}_V} \\ -\frac{2}{\underline{Z}_V} & \frac{Y_V}{2} + \frac{1}{\underline{Z}_V} & 0 \\ -\frac{2}{\underline{Z}_V} & 0 & 2\frac{Y_V}{2} + \frac{2}{\underline{Z}_V} \end{bmatrix}$$

odnosno, nakon zamjene brojnih vrijednosti:

$$Y_B = \begin{bmatrix} 19.037 - j140.077 & -6.346 + j46.758 & -12.691 + j93.516 \\ -6.346 + j46.758 & 6.346 - j46.692 & 0 \\ -12.691 + j93.516 & 0 & 12.691 - j93.385 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3}$$

S obzirom da su poznati rezultati iz druge iteracije:

$$\underline{U}_2^{(2)} = 216.534 \angle -1.42^\circ = (216.467 - j5.374) \text{ kV}$$

$$\underline{U}_3^{(2)} = 220 \angle 0^\circ = 220 \text{ kV}$$

napon u čvoru 2 u trećoj iteraciji se određuje kao:

$$\begin{aligned} \underline{U}_2^{(3)} &= \frac{1}{\underline{Y}_{22}} \left(\frac{P_2 - jQ_2}{\underline{U}_2^{(2)*}} - \underline{Y}_{21}\underline{U}_1^{(0)} - \underline{Y}_{23}\underline{U}_3^{(2)} \right) \\ &= \frac{1}{(6.346 - j46.692) \cdot 10^{-3}} \left[\frac{-60 + j30}{216.467 + j5.374} - (-6.346 + j46.758) \cdot 10^{-3} \right. \\ &\quad \left. \cdot (220 + j0) \right] = 216.464 - j5.378 = 216.531 \angle -1.423^\circ \text{ kV} \end{aligned}$$

Za proračunavanje napona generatorskog čvora, potrebno je prvo procijeniti injektiranje reaktivne snage:

$$\begin{aligned} Q_3^{(2)} &= -\text{Im} \left\{ \underline{U}_3^{(2)*} \left(\underline{Y}_{31}\underline{U}_1^{(0)} + \underline{Y}_{32}\underline{U}_2^{(2)} + \underline{Y}_{33}\underline{U}_3^{(2)} \right) \right\} = \\ &= -\text{Im} \{ 220 \cdot [(-12.691 + j93.516) \cdot 10^{-3} \cdot 220 + (12.691 - j93.385) \cdot 220] \} \\ &= -6.34 \text{ MVar} \end{aligned}$$

pa je napon generatorskog čvora:

$$\underline{U}_3^{(3)} = \frac{1}{\underline{Y}_{33}} \left(\frac{P_3 - jQ_3^{(2)}}{\underline{U}_3^{(2)*}} - \underline{Y}_{31}\underline{U}_1^{(0)} - \underline{Y}_{32}\underline{U}_2^{(2)} \right) = 220.13 + j0.956 = 220.132 \angle 0.249^\circ \text{ kV}$$

pa se usvaja:

$$\underline{U}_3^{(3)} = 220 \angle 0.249^\circ \text{ kV}$$

Sada su odstupanja napona u trećoj iteraciji od njihovih vrijednosti iz druge iteracije:

$$\begin{aligned} \left| \underline{U}_2^{(3)} - \underline{U}_2^{(2)} \right| &= 0.004 \text{ kV} \\ \left| \underline{U}_3^{(3)} - \underline{U}_3^{(2)} \right| &= 0.956 \text{ kV} \end{aligned}$$

Zaključuje se da najveće odstupanje napona u trećoj iteraciji iznosi 0.956 kV, pa je potrebno usvojiti tačnost $\varepsilon = 0.956 \text{ kV}$ kako bi proračun konvergirao nakon treće iteracije.

Kako bi se odredila snaga koju balansni generator isporučuje mreži, potrebno je poznavati ulogu balansnog generatora. Naime, balansni generator održava ravnotežu između proizvodnje i potrošnje u sistemu, tj. on pokriva sve gubitke u mreži i ako je potrebno, dio potrošnje. U slučaju iz ovog zadatka gubici postoje samo u prenosu, a usljed nedovoljne proizvodnje balansni generator će pokriti i dio potrošnje. Aktivna i reaktivna snaga balansnog generatora se određuju na osnovu jednačina bilansa snaga:

$$\begin{aligned} P_{BG} + P_{g3} &= P_{p2} + P_{p3} + P_{gub} \\ Q_{BG} + Q_{g3} &= Q_{p2} + Q_{p3} + Q_{gub} \end{aligned}$$

Reaktivna snaga na kraju impedanse voda 1 – 2 je:

$$Q'_2 = Q_2 - \frac{B_V}{2} U_2^2 = 30 - 3.071 = 26.929 \text{ MVar}$$

Reaktivna snaga na kraju vodova 1 – 3 je:

$$Q'_3 = Q_3 + 2 \frac{B_V}{2} U_3^2 = -6.34 + 6.34 = 0 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici aktivne i reaktivne snage u sistemu su tada:

$$P_{gub} = \frac{R_V}{2} \frac{P_3^2 + Q_3'^2}{U_3^2} + R_V \frac{P_2^2 + Q_2'^2}{U_2^2} = \frac{2.85}{2} \frac{20^2 + 0^2}{220^2} + 2.85 \frac{60^2 + 26.929^2}{216.531^2} = 0.275 \text{ MW}$$

$$\begin{aligned} Q_{gub} &= \frac{1}{2} X_V \frac{P_3^2 + Q_3'^2}{U_3^2} + X_V \frac{P_2^2 + Q_2'^2}{U_2^2} - 3 \frac{B_V}{2} U_1^2 - \frac{B_V}{2} U_2^2 - 2 \frac{B_V}{2} U_3^2 = \\ &= 0.087 + 1.937 - 9.511 - 3.071 - 6.34 = -16.898 \text{ MVar} \end{aligned}$$

Pa su aktivna i reaktivna snaga balansnog generatora:

$$\begin{aligned} P_{BG} &= P_{p2} + P_{p3} + P_{gub} - P_{g3} = 60 + 30 + 0.275 - 50 = 40.275 \text{ MW} \\ Q_{BG} &= Q_{p2} + Q_{p3} + Q_{gub} - Q_{g3} = Q_{p2} + Q_{p3} + Q_{gub} - (Q_{p3} + Q_3) \\ &= 30 + 20 - 16.898 - (20 - 6.34) = 19.442 \text{ MVar} \end{aligned}$$