

RAČUNARSKÉ METODE U EES

-Predavanja-

Topološki graf i matrice incidencije

- Karakteristične veličine za graf
 - Broj grana b
 - Broj čvorova c
 - Broj nezavisnih čvorova $n = c - 1$
- Matrice incidencije
 - A - matrica incidencije grana - nezavisni čvor,
 - B - matrica incidencije grana - nezavisna kontura
- Matrice parametara sistema
 - Matrica admitansi grana Y
 - Matrica impedansi grana Z

Topološki graf i matrice incidencije

- Matrica admitansi nezavisnih čvorova $Y_B = A Y A^T$
- Matrica impedansi nezavisnih čvorova Z_B
- Matrica impedansi nezavisnih kontura $Z_L = B Z B^T$

$$\underline{Y}_{ii} = \sum_{j=0}^n \underline{y}_{ij}, j \neq i \quad \underline{Y}_{ij} = -\underline{y}_{ij}$$

- Matrični metodi za proračun UI prilika:

- Metod napona nezavisnih čvorova

$$Y_B V_B = I_B$$

$$I_B = A J$$

$$J = I_g - Y U_g$$

$$U = A^T V_B$$

$$I = Y U - J$$

$$Y_B U_{\Delta} = J - A (I_g - Y U_g)$$

$$A^T (V_B - U_r) = A^T U_{\Delta} = U$$

Topološki graf i matrice incidencije

- Metod struja nezavisnih kontura

$$Z_L I_L = V_L$$

$$V_L = B E$$

$$E = U_g - Z I_g$$

$$I = B^T I_L$$

$$U = Z I - E$$

- Direktni metod

$$\begin{bmatrix} A \\ BZ \end{bmatrix} I = F I = \begin{bmatrix} J \\ V_L \end{bmatrix}$$

$$Z_L I_L = V_L - BZ \begin{bmatrix} A_s^{-1} \\ 0 \end{bmatrix} J$$

$$I = B^T I_L + \begin{bmatrix} A_s^{-1} \\ 0 \end{bmatrix} J$$

Metodi za proračun tokova snaga

- Gauss-Seidelov iterativni postupak – Y_B koncept
 - Određivanje matrice Y_B
 - Usvajanje početnih vrijednosti za napone
 - Proračun iteracija za napone u zavisnosti od tipa čvora

$$\underline{U}_i^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{\underline{U}_i^{*(k)}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} \underline{U}_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} \underline{U}_j^{(k)} \right], \quad j \neq i$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\Im \left\{ \underline{U}_i^{*(k)} \left(\sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} \underline{U}_j^{(k+1)} \right) + \underline{U}_i^{*(k)} \left(\sum_{j=i}^n Y_{ij} \underline{U}_j^{(k)} \right) \right\}$$

- Provjera ograničenja za generatorske čvorove – napon i reaktivna snaga
- Provjera konvergencije $|\underline{U}_i^{(k-1)} - \underline{U}_i^{(k)}| \leq \varepsilon$
- Proračun tokova snaga po granama

$$\underline{S}_{pq}^* = P_{pq} - jQ_{pq} = \underline{U}_p^* (\underline{U}_p - \underline{U}_q) Y_{pq} + \underline{U}_p^* \underline{U}_p Y'_{pq} / 2$$

Metodi za proračun tokova snaga

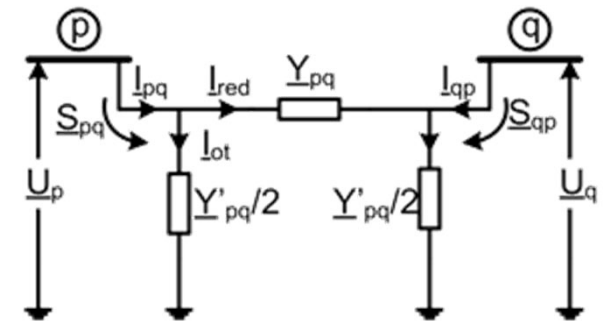
- Gauss-Seidelov iterativni postupak – Z_B koncept
 - Određivanje matrice Y_B radi proračuna Z_B
 - Usvajanje početnih vrijednosti za napone
 - Proračun iteracija za napone u zavisnosti od tipa čvora

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

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

- Provjera ograničenja za generatorske čvorove – napon i reaktivna snaga
- Provjera konvergencije $|U_i^{(k-1)} - U_i^{(k)}| \leq \varepsilon$
- Proračun tokova snaga po granama

$$\underline{S}_{pq}^* = P_{pq} - jQ_{pq} = \underline{U}_p^* (\underline{U}_p - \underline{U}_q) \underline{Y}_{pq} + \underline{U}_p^* \underline{U}_p \underline{Y}'_{pq}/2$$



Metodi za proračun tokova snaga

- Newton-Raphsonov metod

- Određivanje matrice Y_B

- Usvajanje početnih vrijednosti za napone

- Određivanje odstupanja snaga $\Delta P_i^{(k)} = P_{i(\text{zadato})} - P_i^{(k)}$ $\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i(\text{zadato})} - Q_i^{(k)}$

$$P_i^{(k)} = (U_i^{(k)})^2 Y_{ii} \cos u_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_i^{(k)} U_j^{(k)} Y_{ij} \cos(\theta_i^{(k)} - \theta_j^{(k)} - u_{ij})$$

$$Q_i^{(k)} = -(U_i^{(k)})^2 Y_{ii} \sin u_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_i^{(k)} U_j^{(k)} Y_{ij} \sin(\theta_i^{(k)} - \theta_j^{(k)} - u_{ij})$$

- Određivanje matrice Jakobijana

- Rješavanje osnovnog matematičkog modela metoda

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

Metodi za proračun tokova snaga

- Dijagonalni i vandijagonalni elementi submatrica J_1, J_2, J_3 i J_4

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = U_i U_j Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - u_{ij}) \quad i \neq j$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} = -U_i U_j Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - u_{ij}) \quad i \neq j$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} = -\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_i U_j Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - u_{ij})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_i U_j Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - u_{ij})$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_j} = U_i Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - u_{ij}) \quad i \neq j$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = U_i Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - u_{ij}) \quad i \neq j$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_i} = 2U_i Y_{ii} \cos u_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_j Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - u_{ij})$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_i} = -2U_i Y_{ii} \sin u_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_j Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - u_{ij})$$

- Provjera konvergencije $|\Delta P_i| < \varepsilon$ $|\Delta Q_i| < \varepsilon$
- Proračun tokova snaga po granama

$$\underline{S}_{pq}^* = P_{pq} - j Q_{pq} = \underline{U}_p^* (\underline{U}_p - \underline{U}_q) \underline{Y}_{pq} + \underline{U}_p^* \underline{U}_p \underline{Y}'_{pq} / 2$$

Metodi za proračun tokova snaga

- DC metod za proračun tokova snaga

- Formiranje matrice susceptansi B

$$B_{ii} = \sum_{j \in \alpha_i}^n B_{ij}^g \quad B_{ij} = - B_{ij}^g$$

- Formiranje vektora injeokiranja P

- Rješavanje osnovne relacije matematičkog modela $P_r = - B_r' \Theta_r$

- Proračun tokova snaga po svim granama

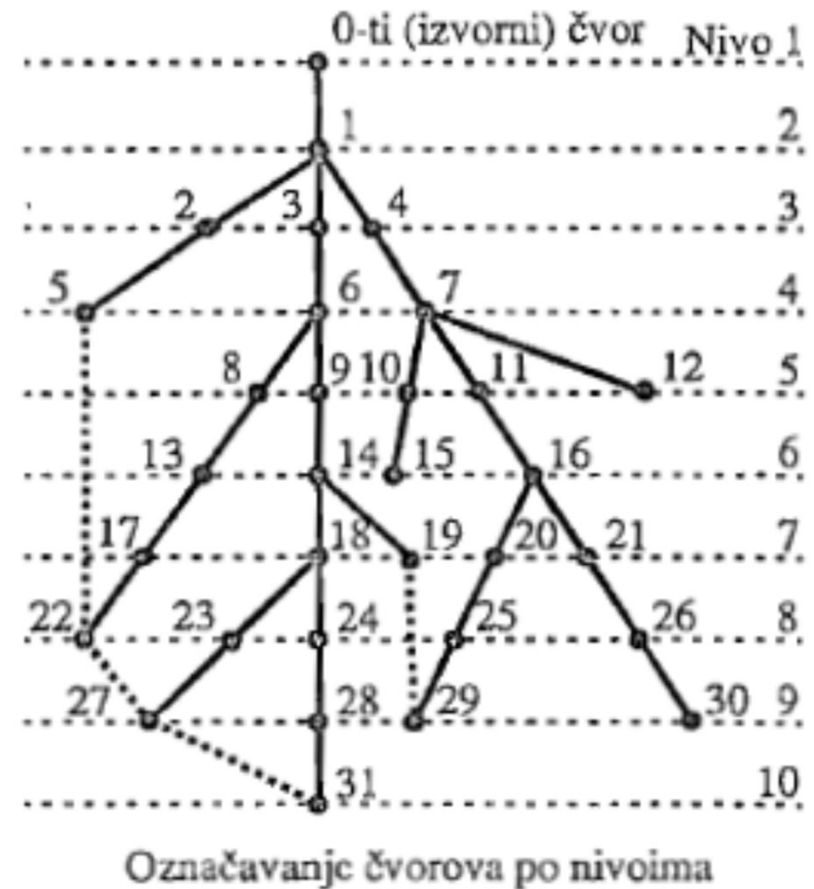
$$P_{ij} = -B_{ij}^g (\theta_i - \theta_j) = \frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}^g} \quad i=1,2,\dots,n; i \neq j$$

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Problemi metoda za proračun tokova snaga
 - Dimenzionalnost mreže – broj čvorova i elemenata mreže
 - Nepovoljna struktura mrežnih matrica
 - Numerička stabilnost postupka – problem divergencije
- Distributivna mreža
 - Velika dimenzionalnost u odnosu na prenosne mreže
 - Radijalna ili slabo upetljena konfiguracija
- Metode
 - Uravnotežene mreže
 - Neuravnotežene mreže

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Shirmohammadijev metod
 - Radijalne mreže
 - Slabo povezane mreže
 - Mreže sa distribuiranom proizvodnjom
- Tipovi čvorova
 - 0-ti čvor je balansni sa poznatim \underline{V}
 - Ostali čvorovi su PQ čvorovi
- Označavanje čvorova
 - i – tekući čvor
 - l – grana (l -ta grana završava u i -tom čvoru)
- Zamjena unazad/unaprijed



Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Postupak Shirmohammadijev-og metoda

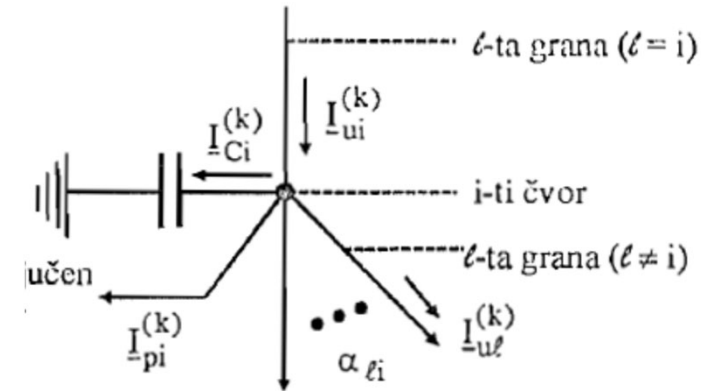
1. Zadavanje inicijalnih napona u čvorovima

$$V_i^{(0)} = V_n \quad \theta_i^{(0)} = 0^\circ \quad i = 0, 1, 2, \dots, N$$

2. Iterativni postupak proračuna struja unazad

$$I_{-ui}^{(k)} = I_{-pi}^{(k)} + I_{-Ci}^{(k)} + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{\alpha_{li}} I_{-ul}^{(k)} \quad i = N, N-1, \dots, 0 \quad k = 1, 2, \dots$$

- Fazor struje koja ulazi u i -ti čvor po l -toj grani ($l=i$) za k -tu iteraciju
- Fazor struje potrošača u i -tom čvoru za k -tu iteraciju
- Fazor struje otopno priključene baterije kondenzatora u i -tom čvoru za k -tu iteraciju
- Fazor struje na ulazu u l -tu granu incidentnu posmatranom čvoru i za k -tu iteraciju



Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Postupak Shirmohammadijev-og metoda

- Modelovanje struje potrošača odnosno baterije kondenzatora u zavisnosti od usvojenog modela potrošača

$$I_{pi}^{(k)} = \begin{cases} \frac{P_{pi}^{sp} - jQ_{pi}^{sp}}{\sqrt{3}U_i^{*(k-1)}}; & P_{pi}^{sp} = \text{Const}; Q_{pi}^{sp} = \text{Const}; \\ \frac{P_{pi}^{(k-1)} - jQ_{pi}^{(k-1)}}{\sqrt{3}U_i^{*(k-1)}} = I_{pi}^{sp} / \theta_i^{(k-1)} - \varphi_i^{(k-1)}; & I_{pi}^{sp} = \frac{\sqrt{(P_{pi}^{sp})^2 + (Q_{pi}^{sp})^2}}{\sqrt{3}U_{in}} = \text{Const}; \\ \frac{V_i^{*(k-1)}}{Z_{pi}^{(k-1)}} = V_i^{*(k-1)} Y_{pi}^{sp} / -\beta_i^{(k-1)}; & Y_{pi}^{sp} = \frac{|P_{pi}^{sp} + jQ_{pi}^{sp}|}{U_{in}^2} = \text{Const}. \end{cases}$$

$$I_{Ci}^{(k)} = \begin{cases} \frac{jQ_{Ci}^{sp}}{\sqrt{3}U_i^{*(k-1)}}; & P_{Ci}^{sp} = 0; Q_{Ci}^{sp} = \text{Const}; \\ \frac{jQ_{Ci}^{(k-1)}}{\sqrt{3}U_i^{*(k-1)}} = I_{Ci}^{sp} / \theta_i^{(k-1)} + 90^\circ; & I_{Ci}^{sp} = \frac{Q_{Ci}^{sp}}{\sqrt{3}U_{in}} = \text{Const}; \\ \frac{V_i^{*(k-1)}}{Z_{Ci}^{(k-1)}} = V_i^{*(k-1)} Y_{Ci}^{sp} / -\beta_{Ci}^{(k-1)}; & Y_{Ci}^{sp} = \frac{-jQ_{Ci}^{sp}}{U_{in}^2} = \text{Const}. \end{cases}$$

- Motori – model konstantne snage
- Termički potrošači – model konstantne impedanse
- Mješoviti potrošački konzum – model konstantne struje

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

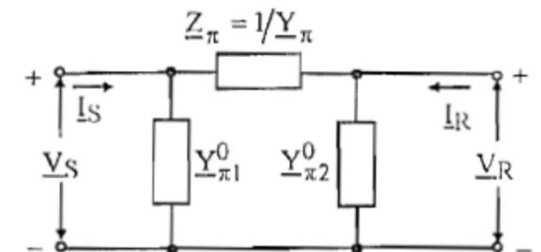
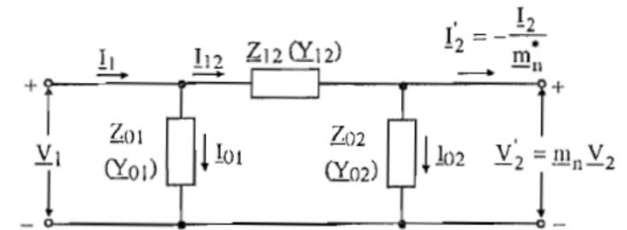
- Postupak Shirmohammadijev-og metoda

- Proračun struje grane $I_{u'}^{(k)}$ zavisi da li se radi o transformatoru ili vodu
 - Transformator se modeluje nesimetričnom Π šemom

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{I}_2}{\underline{m}_n} + \underline{V}_2 \underline{m}_n \frac{a-1}{a\underline{Z}_T} + \underline{V}_1 \frac{1-a}{a^2 \underline{Z}_T}; \quad \underline{V}_1 = \underline{V}_2 \underline{m}_n + a\underline{Z}_T \left[\frac{\underline{I}_2}{\underline{m}_n} + \underline{V}_2 \underline{m}_n \frac{a-1}{a\underline{Z}_T} \right];$$

- \underline{m}_n nominalni kompleksni odnos transformacije
- a je nenominalni odnos transformacije kod regulacionog transformatora
- Vod se modeluje simetričnom Π šemom

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{V}_2 \frac{\underline{Y}_v^0}{2} + \frac{\underline{Y}_v^0}{2} \left[\underline{V}_2 + \underline{Z}_v \left(\underline{I}_2 + \frac{\underline{Y}_v^0}{2} \underline{V}_2 \right) \right]$$



Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Postupak Shirmohammadijev-og metoda
 - Zamjena unaprijed – određivanje napona na bazi proračunatih struja
 - Počinje se od početnog čvora
 - Dva pristupa u zavisnosti od tipa grane:
 - Grana je se modeluje nesimetričnom Π šemom

$$\underline{V}_2 \underline{m}_n = \frac{\underline{V}_1}{a} - \underline{Z}_T \frac{\underline{I}_2}{\underline{m}_n}$$

- Vod se modeluje simetričnom Π šemom

$$\underline{V}_2 = \frac{\underline{V}_1 - \underline{Z}_v \underline{I}_2}{1 + \frac{\underline{Z}_v \underline{Y}_v^0}{2}}$$

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Postupak Shirmohammadijev-og metoda

- Provjera konvergencije

$$\left| V_i^{(k)} - V_i^{(k-1)} \right| \leq \varepsilon_V, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots$$

- Tretiranje čvorova sa regulacijom napona

- Distribuirani izvori energije
- Mijenja se postupak zamjene unaprijed (proračun napona u čvorovima)
 - Ako se dobije vrijednost različita od zadate, onda se koristi nova relacija za V i Q (uz provjeru granica)

$$\underline{V}_i^{\text{ново},(k)} = \underline{V}_i^{(k)} \frac{V_i^{\text{sp}}}{|\underline{V}_i^{(k)}|}, \quad Q_i^{\text{c}(k)} = \frac{Q_i^{(k)} - Q_i^{(k-1)}}{V_i^{(k)} - V_i^{(k-1)}} \left(V_i^{\text{sp}} - V_i^{(k)} \right) + Q_i^{(k)}; \quad k = 1, 2, \dots$$

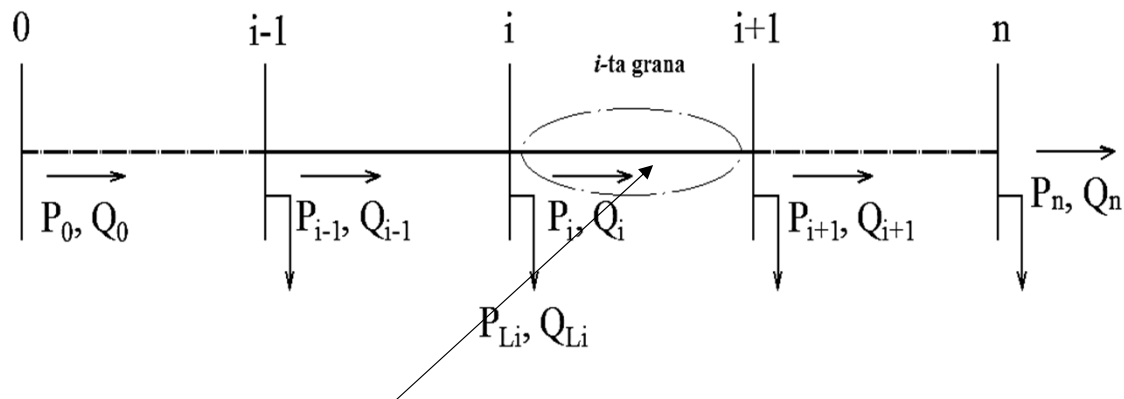
- Regulacija napona pomoću transformatora sa regulacijom pod opterećenjem je rijetka u distr. mrežama

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Primjena Shirmohammadijev-og metoda na slabo povezanim mrežama
 - Nijesu radijalne – nije moguća primjena
 - Vrši se raskidanje prepoznatih malobrojnih petlji
 - Unose se fiktivna strujna injektiranja (nakon raskida grane) $J_i - J$
 - Dodate fiktivne vrijednosti struja su nepoznate veličine – potrebno ih je proračunati
 - Primjena kompenzacionog metoda za proračun struja injektiranja
 - Izbor tačkaka prekida je važan za dobru konvergenciju metoda
 - Sa rastom dimenzionalnosti problema ovaj metod ima sve lošije osobine konvergencije pa ima slabu primjenu u povezanim mrežama (prenosne)

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- DistFlow metod
 - Radijalne mreže
 - Jednačina za pad napona na kratkom vođu



- Impedansa dionice $\underline{Z}_i = R_i + jX_i$
- Potrošači su modelovani konstantnom snagom $\underline{S}_L = P_L + jQ_L$

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- DistFlow metod

- Zamjena unaprijed - poznat napon, aktivna i reaktivna snaga u napojnom čvoru mreže (čvor 0)
- Proračun fazora i modula napona

$$\underline{V}_{i+1} = V_i - \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{V_i} - j \frac{P_i X_i - Q_i R_i}{V_i}$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (R_i^2 + X_i^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}$$

- Proračun snaga na napojnom kraju ($i+1$) grane

$$P_{i+1} = P_i - R_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{L_{i+1}}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - X_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{L_{i+1}}$$

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- DistFlow metod
 - Razgranate mreže – dopuna relacija
 - Zamjena unazad – poznati uslovi na prijemnom kraju grana

$$V_i^2 = V_{i+1}^2 + 2(P'_{i+1}R_i + Q'_{i+1}X_i) + (R_i^2 + X_i^2) \frac{P'_{i+1}{}^2 + Q'_{i+1}{}^2}{V_{i+1}^2}$$

$$P_i = P_{i+1} + R_i \frac{P'_{i+1}{}^2 + Q'_{i+1}{}^2}{V_{i+1}^2} + P_{L_{i+1}}$$

$$Q_i = Q_{i+1} + X_i \frac{P'_{i+1}{}^2 + Q'_{i+1}{}^2}{V_{i+1}^2} + Q_{L_{i+1}}$$

$$P'_{i+1} = P_{i+1} + P_{L_{i+1}}$$

$$Q'_{i+1} = Q_{i+1} + Q_{L_{i+1}}$$

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- DistFlow metod

- Uslov konvergencije $|V_0^{(k)} - V_0^{(k-1)}| < \varepsilon$

- Simplified DistFlow

- Cilj je ubrzanje proračuna za potrebe optimizacionih tehnika koje zahtijevaju veliki broj proračuna tokova snaga u distributivnim mrežama
 - Optimalna rekonfiguracija mreže
 - Sposobnost prihvata distribuirane proizvodnje
- Aproksimacija – eliminisanje članova sa kvadratnim vrijednostima snaga
- Gubici snage su niski u odnosu na snage potrošača i tokove snaga po granama
- Greška koju unosi aproksimacija zavisi od karakteristika mreže – odnos R/X

Metode za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama

- Simplified DistFlow
 - Matematički model

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i)$$

$$P_{i+1} = P_i - P_{L_{i+1}} = \sum_{k=i+2}^n P_{L_k}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{L_{i+1}} = \sum_{k=i+2}^n Q_{L_k}$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Neophodna informaciona osnova
 - Parametri sistema – topološke karakteristike, impedanse
 - Parametri režima – dnevni izezonski dijagrami opterećenja
 - Vrste metoda
 - Determinističke
 - Probabilističke
- $$\Delta W = \int_0^T \Delta P(t, e) dt$$
- Problem prikupljanja podataka
 - Složenost mreže
 - Geografska distribucija
 - Nerazvijenost sistema mjerenja i evidencije mrežnih podataka (SN, NN)

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Značajno složeniji postupak nego za prenosne mreže
 - Složenost mreža – broj elemenata
 - Nepouzdanost informacija – konfiguracija, parametri, režim
- Veliki broj metoda
- Tehnički gubici
 - Konfiguracija ED mreže po naponskim nivoima
 - Parametri vodova i transformatora
 - Broj stepena transformacije
 - Karakteristike potrošnje
 - Režim rada

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Karakteristične veličine
 - vršna snaga P_{\max}
 - ekvivalentno vrijeme trajanja vršne snage
 - faktor opterećenja
- Izbor metode proračuna – raspoloživa informaciona osnova
- Proračun stalnih gubitaka
 - gubici praznog hoda transformatora snage i mjernih transformatora
 - dielektrični gubici u kablovima i kondenzatorima,
 - gubici odvodnosti nadzemnih vodova,
 - gubici usljed korone i
 - gubici praznog hoda u naponskim namotajima brojila, releja, mjernih instrumenata

$$\Delta W_{(0)} = \sum_{i=1}^n m_i \Delta W_{i(0)}$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Proračun promjenljivih gubitaka
 - Determinističke metode
 - Metoda vršnih opterećenja („tau metoda“),
 - Metoda srednjih opterećenja,
 - Metoda srednjekvadratnih opterećenja,
 - Metoda ekvivalentne otpornosti,
 - Metoda zasnovana na tehnici klasterovanja i
 - Metode za brzu procjenu gubitaka u NN mrežama
- Metoda vršnih opterećenja

$$\Delta W = \Delta P_v \tau = 3 R I_v^2 \tau \approx c P_v^2 \tau$$

$$\tau = 2T_v - 8760 + \frac{8760 - T_v}{1 + \frac{T_v}{8760} - 2\frac{P_m}{P_v}} \left(1 - \frac{P_m}{P_v}\right)$$

$$\tau = \frac{T_v}{6} \left(\frac{5T_v}{8760} + 1\right)$$

$$\tau = (0,124 + T_v \cdot 10^{-4}) 8760, \quad T_v \geq 3000 h$$

$$\tau = 0,17T_v + 0,83 \frac{T_v^2}{8760}$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Metoda srednjih opterećenja

$$\Delta W = 3 R k_i^2 I_{sr}^2 T = \frac{R}{U^2} (k_p^2 P_{sr}^2 + k_q^2 Q_{sr}^2)$$

$$k_p^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{8 \frac{P_{\min}}{P_v}} \left(1 + \frac{P_{\min}}{P_v}\right) \quad \text{i} \quad k_q^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{8 \frac{Q_{\min}}{Q_v}} \left(1 + \frac{Q_{\min}}{Q_v}\right)$$

- Metoda srednjekvadratnih opterećenja

$$\Delta W = 3 R \int_0^T I^2(t) dt = 3 R I_{sk}^2 T$$

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}$$

$$I_{sk}^2 = M_I^2 + D_I, \quad S_{sk}^2 = M_S^2 + D_S$$

$$M_S = \sqrt{M_P^2 + M_Q^2}, \quad D_S = D_P + D_Q$$

$$M_P = P_{sr} = \frac{W_a}{T}, \quad M_Q = Q_{sr} = \frac{W_r}{T} \quad \text{i} \quad M_I = I_{sr} = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}{\sqrt{3} U_{sr} T}$$

$$\Delta W = \frac{R}{U_{sr}^2 T} [W_a^2 + W_r^2 + (D_P + D_Q) T^2]$$

$$D_P = \frac{(P_v - P_{sr})(P_{sr} - P_{\min})^2}{P_v + P_{sr} - 2P_{\min}} \quad \text{za } \lambda_p \geq 1 \quad \text{i} \quad D_P = \frac{(P_v - P_{sr})^2 (P_{sr} - P_{\min})}{2P_v - P_{sr} - P_{\min}} \quad \text{za } \lambda_p < 1$$

$$\lambda_p = \frac{P_{sr} - P_{\min}}{P_v - P_{sr}}$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Metoda ekvivalentne otpornosti

- realna mreža mijenja se jednim elementom koji ima jednake gubitke kao i cjelokupna mreža

$$R_e = \frac{\Delta P}{3 I_g^2} \quad R_e^V = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^V}{3 I_g^2}, \quad R_e^T = \frac{\sum_{j=1}^m \Delta P_j^T}{3 I_g^2} \quad R_e^V = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^V S_{ni}^2}{S_\Sigma^2}, \quad R_e^T = \frac{\sum_{j=1}^m R_j^T S_{nj}^2}{S_\Sigma^2} \quad R_i^V = r_i l_{vi}, \quad R_j^T = \frac{U_{nT}^2}{S_{nTj}^2} \Delta P_{Cuj}$$

- Metode brze procjene gubitaka u NN mrežama

- Nedovoljna informaciona osnova ulaznih podataka
- Kućni priključci (jednofazni, dvofazni), brojnost, razgranatost, nesimetrija
- Mjerenje po izvodima, trafo reonima

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Metode brze procjene gubitaka u NN mrežama

- $K_{P/U}$ metoda

$$\Delta P = K_{P/U} \Delta U \quad \Delta U (\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} 100$$

$$K_{P/U} = \left(1 + \frac{F_f}{2F_N} k_N\right) k_{nes} k_s$$

$$K_{P/U} = \frac{1}{1,5 \cos^2 \phi_{sr} \left(1 + \frac{X_V}{R_V} \operatorname{tg} \phi_{sr}\right)}$$

- Metoda ekvivalentne struje

$$\Delta P = k_{nes} k_{fi} R_i I_{eki}^2 \quad I_{eki}^2 = \frac{1}{3} I_{pi}^2 + I_{pi} I_{ci} + I_{ci}^2$$

- Metoda ekvivalentne otpornosti

$$\Delta W (kWh) = W^2 R_{ek} \frac{1}{\cos^2 \phi} \frac{10^{-3}}{U^2 T} K_d k_{nes}$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Statističke metode
 - Metoda β – raspodjele

$$f(x, \gamma, \eta) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\gamma + \eta)}{\Gamma(\gamma)\Gamma(\eta)} x^{\gamma-1} (1-x)^{\eta-1} \\ 0 \leq x \leq 1, \gamma > 0, \eta > 0 \end{cases}$$

$$x = \frac{P - P_{\min}}{P_v - P_{\min}}$$

$$0 \leq x \leq 1, \gamma > 0, \eta > 0$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$$

$$\Delta W = cT [P_{\min}^2 + (P_v^2 - P_{\min}^2) \delta(\gamma, \eta)]$$

$$m(x) = \frac{m(P) - P_{\min}}{P_v - P_{\min}}$$

$$m(P) = P_{sr} = \frac{\gamma P_v + \eta P_m}{\gamma + \eta}$$

$$\sigma^2(P) = \frac{\gamma (P_v - P_m)^2}{(\gamma + \eta)^2 (\gamma + \eta + 1)}$$

$$\Delta W_{ij} = c_{ij} T \left(m^2 [P_{ij}] + \sigma^2 [P_{ij}] \right)$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Regresione metode

- Statistička veza gubitaka električne energije sa generalisanim parametrima električne mreže i dijagramima opterećenja

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

$$y = b_0 \prod_{i=1}^n x_i^{b_i}$$

- ukupna isporučena aktivna energija,
- ukupna instalisana snaga TR priključenih na ispitivani distributivni izvod,
- ukupni broj TR priključenih na ispitivani distributivni izvod
- dužina distributivnog izvoda računata kao rastojanje od napojne do najudaljenije potrošačke transformatorske stanice,
- ukupna dužina ogranaka priključenih na posmatrani izvod,
- ukupan broj dionica na posmatranom izvodu.

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

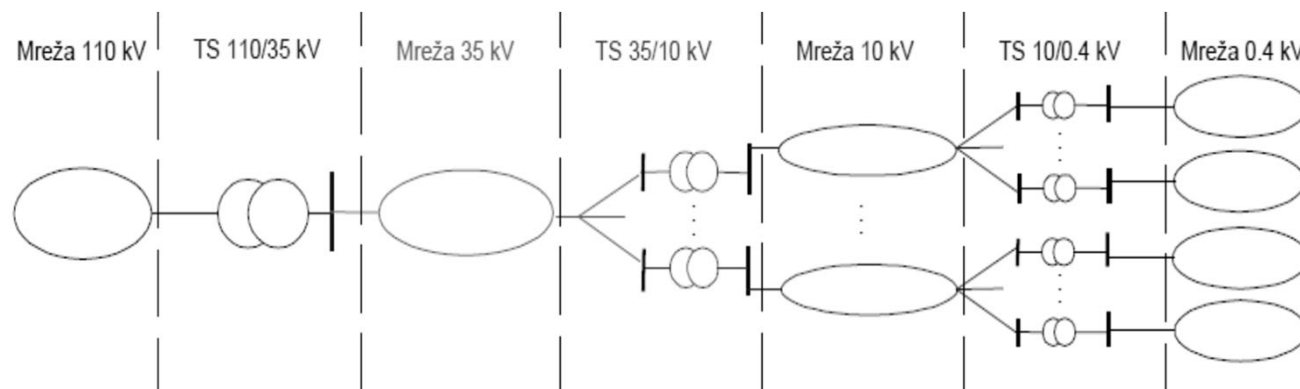
- Top-Down metode

- Počinje se od transformatorskih stanica (TS) pa do krajnjih potrošača
- Ograničen set podataka
 - kriva opterećenja TS, podaci o SN mreži (tip vodova, topologija), transformatori (broj i snaga) i prosječni podaci o NN mreži (tip vodova i dužina)
- Generalizovana procjena gubitaka

$$LsF = \frac{e}{L_{\max} T} \quad LsF = \frac{\sum_{i=1}^T [D(i)]^2}{(D_{\max})^2 T} \quad LsF = (LF)k + (LF)^2(1 - k)$$

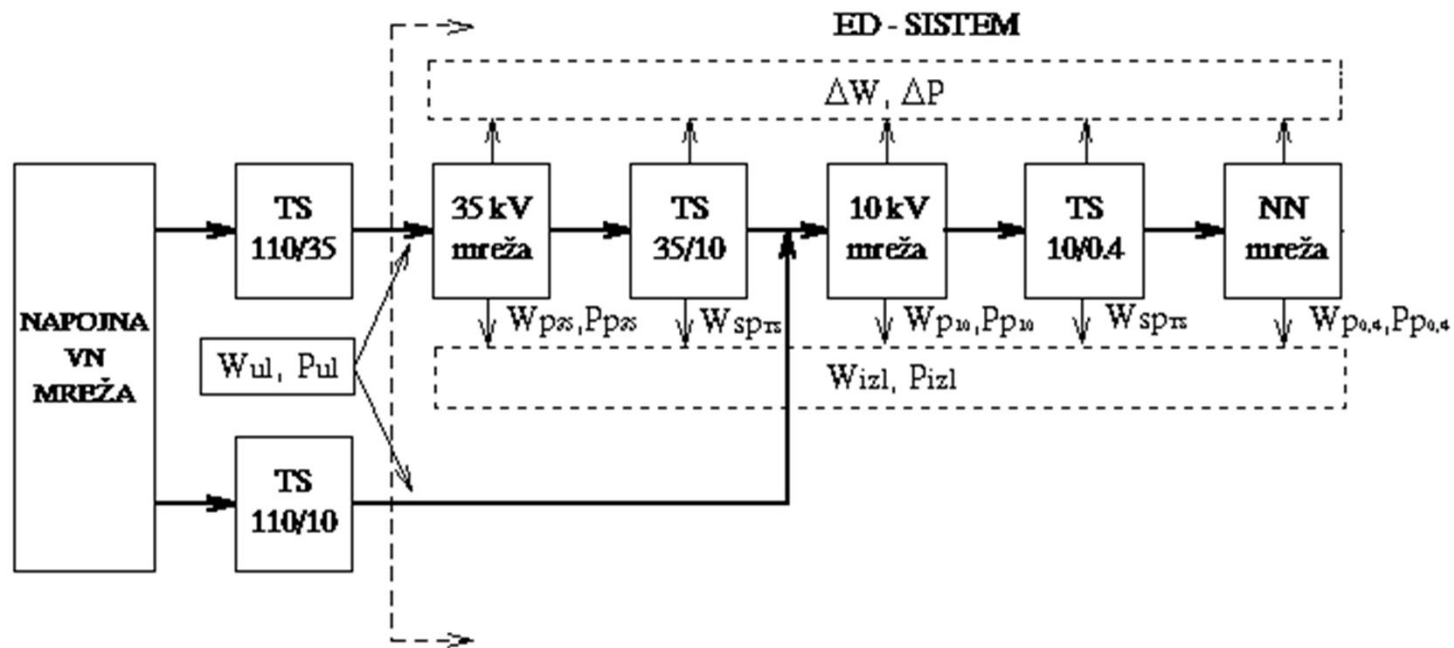
Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Metoda globalnih pokazatelja
 - podaci o nabavljenoj i realizovanoj (izmjerenoj i obračunatoj) električnoj energiji,
 - podaci o opterećenju značajnijih izvoda (eventualno),
 - jednopolne sheme mreža 10 kV i 35 kV i pripadnih TS,
 - broj faza, presjeci i dužine NN i SN nadzemnih i kablovskih vodova



Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Kreiranje ekvivalentnog voda
 - svođenje različitih materijala vodova
 - svođenje jednofaznih i dvofaznih vodova na trofazne



Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Kreiranje ekvivalentnog transformatora za određeni naponski nivo
- Uvažavanje faktora opterećenja i faktora jednovremenosti
- Stalni gubici

$$\Delta W_{(0)} = \sum_{i=1}^n m_i \Delta W_{i(0)}$$

- Promjenljivi gubici

$$\Delta W_{(p)M} = \frac{P_m^2}{U^2 \cdot N} \cdot (1 + tg^2 \varphi) \cdot R'_1 \cdot l'_1 \cdot \tau \cdot \varepsilon_{(n)} \cdot k_{ns}$$

$$\Delta W_{(p)TR} = X^2 \cdot \tau \cdot \sum P_{Cu,i}$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Ekvivalentni presjek vodova

$$l_{Al/Fe} = \frac{l_{Cu}}{1,594} \quad l_{trof} = 6 \cdot l_{monof} \quad l_{trof} = 2,25 \cdot l_{dvof} \quad q' = \frac{\sum l_i}{\sum \frac{l_{i,1}}{q_i}} \quad R'_i = \frac{34,8}{q'}$$

- Određivanje broja i prosječne dužine ekvivalentnih vodova

$$l'_i = \frac{\sum l_i}{N_i}$$

- Određivanje faktora raspodjele maksimalnih gubitaka

$$\varepsilon = \frac{\sum I_x^2 \cdot l_x}{I^2 \cdot l} \quad n = \frac{n_i}{N_i} \quad \varepsilon_{(n)} = \frac{\sum n^2}{n^3} = \frac{1}{6n^2} \cdot (n+1) \cdot (2n+1)$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- Faktor jednovremenosti

$$f_{i_n} = \frac{P'_{v\infty}}{P'_v} \quad f_{i_\infty} = \frac{f_{i_n} \cdot \sqrt{n_D} - 1}{\sqrt{n_D} - 1} \quad f_{i(n_{Di})} = f_{i_\infty} + \frac{1 - f_{i_\infty}}{\sqrt{n_{Di}}}$$

- potrošači na 35 kV – 0,92
- potrošači na 10 kV – 0,68
- ostala potrošnja na NN – 0,75
- ostala potrošnja na nivou TS 35/10 – 0,55
- ostala potrošnja na pragu prenosa – 0,5.

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- NN mreža

$$\Delta W'_{(p)1} = \frac{P'_{m,1}{}^2}{U_1^2 \cdot N_1} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot R'_1 \cdot l'_1 \cdot \tau'_1 \cdot \varepsilon_{1(n_1)} \cdot k_{ns}$$

$$P'_{m,1} = P_{m,M1}^D + P_{m,M1}^{OP} + P_{m,M1}^{JR}$$

- TS 10/0,4 kV

$$\Delta W'_{(p)T1} = X_{T1}^2 \cdot \tau_{T1} \cdot \sum P_{Cu,T1}$$

$$X_{T1} = \frac{P'_{m,T1}}{\sum P_{T1}} \quad i \quad P'_{m,T1} = P_{m,T1}^D + P_{m,T1}^{OP} + P_{m,T1}^{JR}$$

- 10 kV mreža

$$\Delta W'_{(p)2} = \frac{P'_{m,2}{}^2}{U_2^2 \cdot N_2} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot R'_2 \cdot l'_2 \cdot \tau'_2 \cdot \varepsilon_{2(n_2)}$$

$$P'_{m,2} = P_{m,M2}^D + P_{m,M2}^{OP} + P_{m,M2}^{JR} + P_{m,M2}^{10}$$

Proračun gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama

- TS 35/10 kV

$$\Delta W'_{(p)T2} = X'_2{}^2 \cdot \tau_{T2} \cdot \sum P_{Cu,2} \quad X_{T2} = \frac{P'_{m,T2}}{\sum P_{T2}} \quad i \quad P'_{m,T2} = P_{m,T2}^D + P_{m,T2}^{OP} + P_{m,T2}^{JR} + P_{m,T2}^{10}$$

- 35 kV mreža

$$\Delta W'_{(p)3} = \frac{P'_{m,3}{}^2}{U_3^2 \cdot N_3} (1 + tg^2 \varphi) \cdot R_3 \cdot l'_3 \cdot \tau'_3 \cdot \varepsilon_{3(n_3)} \quad P'_{m,2} = P_{m,M2}^D + P_{m,M2}^{OP} + P_{m,M2}^{JR} + P_{m,M2}^{10}$$

- Ukupni gubici

$$\Delta W'_{(p)T1-M3} = \Delta W'_{(p)T1} + \Delta W'_{(p)2} + \Delta W'_{(p)T2} + \Delta W'_{(p)3} \quad \Delta W'_{T1-M3} = \Delta W_{(0)} + \Delta W'_{(p)T1-M3}$$

Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

- Neophodna informaciona osnova
 - Konfiguracija mreže – mrežne matrice
 - Parametri sistema – impedanse/admitanse mrežnih elemenata za 3 simetrična komponentna sistema
 - Parametri režima – obično se pretpostavlja prazan hod, tj. nazivni napon na mjestu kvara
- Metode:
 - Matrična metoda zasnovana na matrici \mathbf{Z}_{KS}
 - Opšti matrični postupak zasnovan na matrici \mathbf{Z}_B
 - Razlika je u prihvatljivom nivou aproksimacija
 - Matrici \mathbf{Z}_B odgovara ekvivalentna grabljasta šema

Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

- Matrična metoda zasnovana na matrici \mathbf{Z}_{KS}
 - Pretpostavke
 - Uravnotežene fazne impedanse svih komponenti od generatora do potrošača
 - Uravnotežen sistem faznih ems generatora
 - Generatorske impedanse su dio mreže (zajedno sa impedansama ostalih elemenata sistema)
 - Pretpostavka praznog hoda – isključuju se impedanse potrošača
 - Moguće je posmatrati samo reaktivne komponente impedansi
 - Određivanje \mathbf{Z}_{KS}
 - Koristeći matricu impedansi nezavisnih kontura \mathbf{Z}_L
 - Koristeći matricu impedansi čvorova – vodi se računa o pomenutim aproksimacijama

$$\mathbf{Z}_{KS} = \mathbf{Z}_1 - \mathbf{Z}_2 \mathbf{Z}_4^{-1} \mathbf{Z}_3$$

$$\mathbf{Z}_{KS} = \mathbf{Y}_B^{-1}$$

Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

- Matrična metoda zasnovana na matrici \mathbf{Z}_{KS}
 - Nakon kreiranja matrica za sve komponentne sisteme jednostavan postupak
 - Kreira se lista čvorova od interesa za koje se vrši proračun
 - Definišu se mjesta kvara (čvorovi od interesa) i tip kratkog spoja
 - Definiše se lista čvorova koji nijesu mjesto kvara ali su pogođeni kvarom (proračun naponskih prilika tokom trajanja kvara)
 - Definišu se grane mreže od interesa za raspodjelu struja tokom kvara (proračun strujnih prilika tokom trajanja kvara)
 - Proračun
 - U zavisnosti od tipa kvara vrši se sprezanje simetričnih komponentnih sistema
 - Posmatra se kvar u 1 čvoru – Teveninovi ekvivalenti za taj čvor
 - Koriste se odgovarajuće ekvivalentne impedanse iz matrice \mathbf{Z}_{KS}

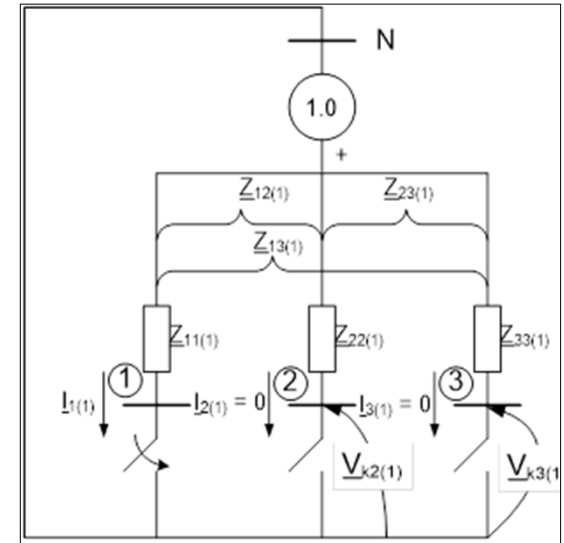
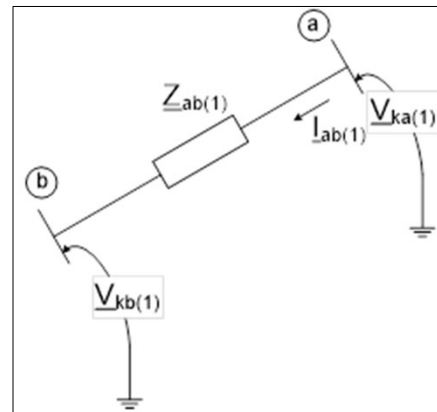
Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

- Matrična metoda zasnovana na matrici \mathbf{Z}_{KS}
 - Proračun je jednostavan i sprovodi se iterativno za svaki čvor od interesa
 - Korišćenje Theveninovih ekvivalenata za pogođeni čvor svodi problem na najjednostavniji slučaj
 - Proračun struje na mjestu kvara zavisi od tipa kvara

$$\underline{I}_{g(1)} = \frac{1.0}{\underline{Z}_{gg(1)}}$$

$$\underline{V}_{km(1)} = 1.0 - \frac{\underline{Z}_{qm(1)}}{\underline{Z}_{gg(1)}}$$

$$\underline{I}_{ab(1)} = \frac{\underline{Z}_{bg(1)} - \underline{Z}_{ag(1)}}{\underline{Z}_{gg(1)} \underline{Z}_{ab(1)}}$$



Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

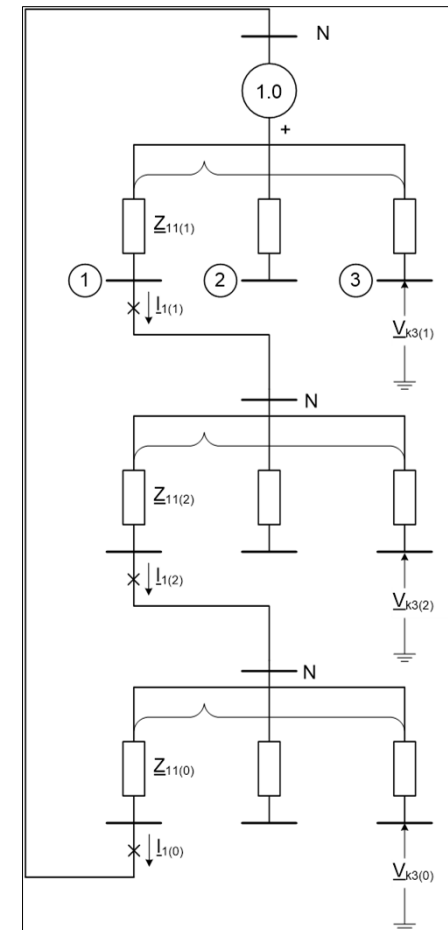
- Matrična metoda zasnovana na matrici \mathbf{Z}_{KS}
 - Nesimetrični kvarovi – 1KS
 - Potrebno je proračunati sve 3 komponente struje na mjestu kvara
 - Potrebno je proračunati sve 3 komponente napona u čvoru koji nije pogođen kvarom

$$\underline{I}_{qR} = \frac{3.0}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(0)}}$$

$$\underline{V}_{kmR} = 1.0 - \frac{\underline{Z}_{qm(1)} + \underline{Z}_{qm(2)} + \underline{Z}_{qm(0)}}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(0)}}$$

$$\underline{V}_{kmS} = 1.0 \angle -120^\circ - \frac{\underline{Z}_{qm(1)} \angle -120^\circ + \underline{Z}_{qm(2)} \angle 120^\circ + \underline{Z}_{qm(0)}}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(0)}}$$

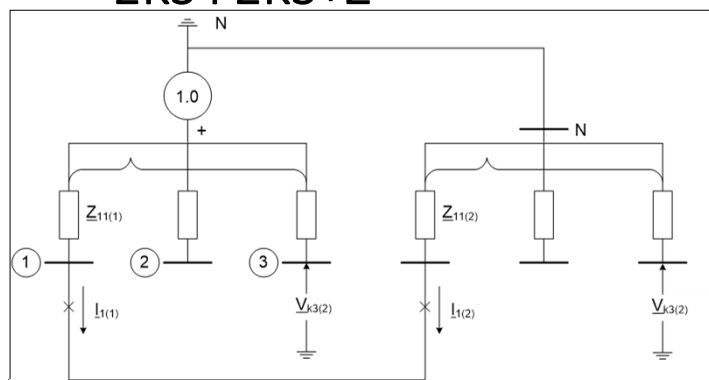
$$\underline{V}_{kmT} = 1.0 \angle 120^\circ - \frac{\underline{Z}_{qm(1)} \angle 120^\circ + \underline{Z}_{qm(2)} \angle -120^\circ + \underline{Z}_{qm(0)}}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(0)}}$$



Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

- Matrična metoda zasnovana na matrici \underline{Z}_{KS}

- 2KS i 2KS+Z

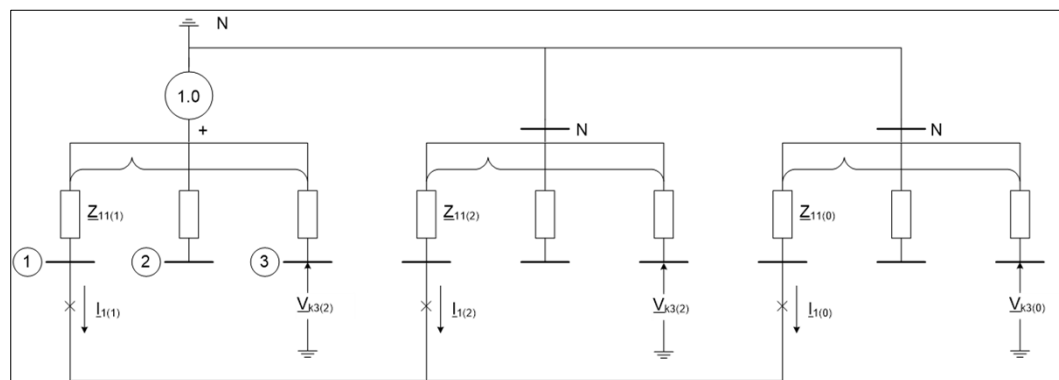


$$\underline{I}_{qR} = 0 \quad \underline{I}_{qS} = \frac{a^2 - a}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)}} \quad \underline{I}_{qT} = -\frac{a^2 - a}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)}}$$

$$\underline{V}_{kmR} = 1.0 - \frac{\underline{Z}_{qm(1)} - \underline{Z}_{qm(2)}}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)}}$$

$$\underline{V}_{kmS} = 1.0 \angle -120^\circ - \frac{\underline{Z}_{qm(1)} \angle -120^\circ - \underline{Z}_{qm(2)} \angle 120^\circ}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)}}$$

$$\underline{V}_{kmT} = 1.0 \angle 120^\circ - \frac{\underline{Z}_{qm(1)} \angle 120^\circ + \underline{Z}_{qm(2)} \angle -120^\circ}{\underline{Z}_{qq(1)} + \underline{Z}_{qq(2)}}$$



$$\underline{I}_{q(1)} = \frac{\underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(0)}}{\underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(0)} + \underline{Z}_{qq(2)}\underline{Z}_{qq(0)}} \quad \underline{V}_{kq(1)} = \frac{\underline{Z}_{qq(2)}\underline{Z}_{qq(0)}}{\underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(0)} + \underline{Z}_{qq(2)}\underline{Z}_{qq(0)}}$$

$$\underline{I}_{q(2)} = -\frac{\underline{Z}_{qq(0)}}{\underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(0)} + \underline{Z}_{qq(2)}\underline{Z}_{qq(0)}}$$

$$\underline{I}_{q(0)} = -\frac{\underline{Z}_{qq(2)}}{\underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(2)} + \underline{Z}_{qq(1)}\underline{Z}_{qq(0)} + \underline{Z}_{qq(2)}\underline{Z}_{qq(0)}}$$

$$\underline{I}_{qS} = \underline{I}_{q(1)} \angle -120^\circ + \underline{I}_{q(2)} \angle 120^\circ + \underline{I}_{q(0)}$$

$$\underline{I}_{qS} = \underline{I}_{q(1)} \angle 120^\circ + \underline{I}_{q(2)} \angle -120^\circ + \underline{I}_{q(0)}$$

$$\underline{V}_{km(1)} = 1.0 - \underline{I}_{q(1)} \underline{Z}_{qm(1)}$$

$$\underline{V}_{km(2)} = -\underline{I}_{q(2)} \underline{Z}_{qm(2)}$$

$$\underline{V}_{km(0)} = -\underline{I}_{q(0)} \underline{Z}_{qm(0)}$$

$$\underline{V}_{kmR} = \underline{V}_{km(1)} + \underline{V}_{km(2)} + \underline{V}_{km(0)}$$

$$\underline{V}_{kmS} = \underline{V}_{km(1)} \angle -120^\circ + \underline{V}_{km(2)} \angle 120^\circ + \underline{V}_{km(0)}$$

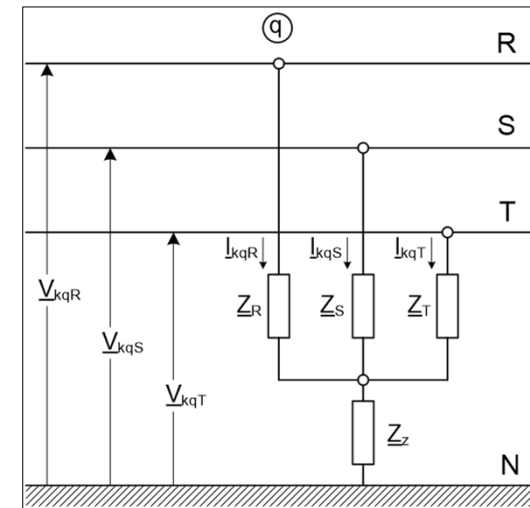
$$\underline{V}_{kmT} = \underline{V}_{km(1)} \angle 120^\circ + \underline{V}_{km(2)} \angle -120^\circ + \underline{V}_{km(0)}$$

Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

- Opšti matični postupak zasnovan na matrici \mathbf{Z}_B
 - Nedovoljno prihvatljive aproksimacije postupka zasnovanog na \mathbf{Z}_{KS}
 - Potpuno određena vrsta kvara – matična pretsava kvara \mathbf{Z}_K
 - 3KS – $\underline{Z}_R = \underline{Z}_S = \underline{Z}_T = 0$ $\underline{Z}_z = \infty$
 - 2KS – $\underline{Z}_S = \underline{Z}_T = 0$ $\underline{Z}_R = \underline{Z}_z = \infty$
 - 2KS+Z – $\underline{Z}_R = \infty$ $\underline{Z}_S = \underline{Z}_T = \underline{Z}_z = 0$
 - 1KS – $\underline{Z}_S = \underline{Z}_T = \infty$ $\underline{Z}_R = \underline{Z}_z = 0$
- Matematički model metoda:

$$\mathbf{V}_{kqf} = \mathbf{Z}_{Kf} \mathbf{I}_{kqf} \quad \mathbf{V}_{kqs} = \mathbf{Z}_{Ks} \mathbf{I}_{kqs}$$

$$\mathbf{Z}_K = \begin{bmatrix} \underline{Z}_R + \underline{Z}_z & \underline{Z}_z & \underline{Z}_z \\ \underline{Z}_z & \underline{Z}_S + \underline{Z}_z & \underline{Z}_z \\ \underline{Z}_z & \underline{Z}_z & \underline{Z}_T + \underline{Z}_z \end{bmatrix} \quad \mathbf{Z}_{Ks} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_R + \underline{Z}_S + \underline{Z}_T & \underline{Z}_R + \underline{a}^2 \underline{Z}_S + \underline{a} \underline{Z}_T & \underline{Z}_R + \underline{a} \underline{Z}_S + \underline{a}^2 \underline{Z}_T \\ \underline{Z}_R + \underline{a} \underline{Z}_S + \underline{a}^2 \underline{Z}_T & \underline{Z}_R + \underline{Z}_S + \underline{Z}_T & \underline{Z}_R + \underline{a}^2 \underline{Z}_S + \underline{a} \underline{Z}_T \\ \underline{Z}_R + \underline{a}^2 \underline{Z}_S + \underline{a} \underline{Z}_T & \underline{Z}_R + \underline{a} \underline{Z}_S + \underline{a}^2 \underline{Z}_T & \underline{Z}_R + \underline{Z}_S + \underline{Z}_T + 9 \underline{Z}_z \end{bmatrix}$$



Proračun kratkih spojeva u složenim mrežama

- Opšti matrični postupak zasnovan na matrici \mathbf{Z}_B

- Matematički model metoda:

$$\mathbf{V}_{Bs} = \mathbf{Z}_{Bs} \mathbf{I}_{Bs}$$

$$\mathbf{V}_{ks} = \mathbf{V}_{rs} + \Delta \mathbf{V}_{ks}$$

$$\Delta \mathbf{V}_{ks} = \mathbf{Z}_{Bs} \mathbf{I}_{ks}$$

$$\mathbf{V}_{kjs} = \underline{V}_{rj(1)} - \mathbf{Z}_{jqs} \left\{ \mathbf{Z}_{Ks} + \mathbf{Z}_{qqs} \right\}^{-1} \underline{V}_{rq(1)}$$

$$\mathbf{V}_{kqs} = \mathbf{Z}_{Ks} \left\{ \mathbf{Z}_{Ks} + \mathbf{Z}_{qqs} \right\}^{-1} \underline{V}_{rq(1)}$$

$$\mathbf{V}_{rs} = \begin{bmatrix} \underline{V}_{1r(1)} \\ 0 \\ 0 \\ \underline{V}_{2r(1)} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \underline{V}_{nr(1)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}_{ks} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -\underline{I}_{kq(1),(2),(0)} \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}_{kqs} = \left\{ \mathbf{Z}_{Ks} + \mathbf{Z}_{qqs} \right\}^{-1} \underline{V}_{rq(1)}$$

- Raspodjela struja po granama računa se na analogan način kao kod matričnog metoda zasnovanog na \mathbf{Z}_{Ks}

Seminarski rad

- Ulazni podaci – IEEE 14 bus sistem – tipska mreža
- Zadaci – kreiranje programa za karakteristične mrežne proračune
 1. Određivanje matrica A i Y_B za proizvoljnu mrežu
 2. Proračun UI prilika za proizvoljnu mrežu koristeći matrični metod napona nezavisnih čvorova za sve tipove potrošača
 3. Proračun tokova snaga u proizvoljnoj radijalnoj mreži na bazi DistFlow postupka
 4. Proračun tokova snaga u proizvoljnoj mreži na bazi Newton-Raphson postupka (polarne koordinate, osnovni matematički model)
 5. Kreiranje stabla grafa za proizvoljnu mrežu
- Pripremiti izvršne programske kodove sa primjerom primjene
- Opisati realizaciju programskog koda uz skiciranje pripadajućeg algoritma
- Rok – kraj decembra