



PROJEKAT IZ RAZVODNIH POSTROJENJA



Mentor:

Prof. dr Zoran Stojanović

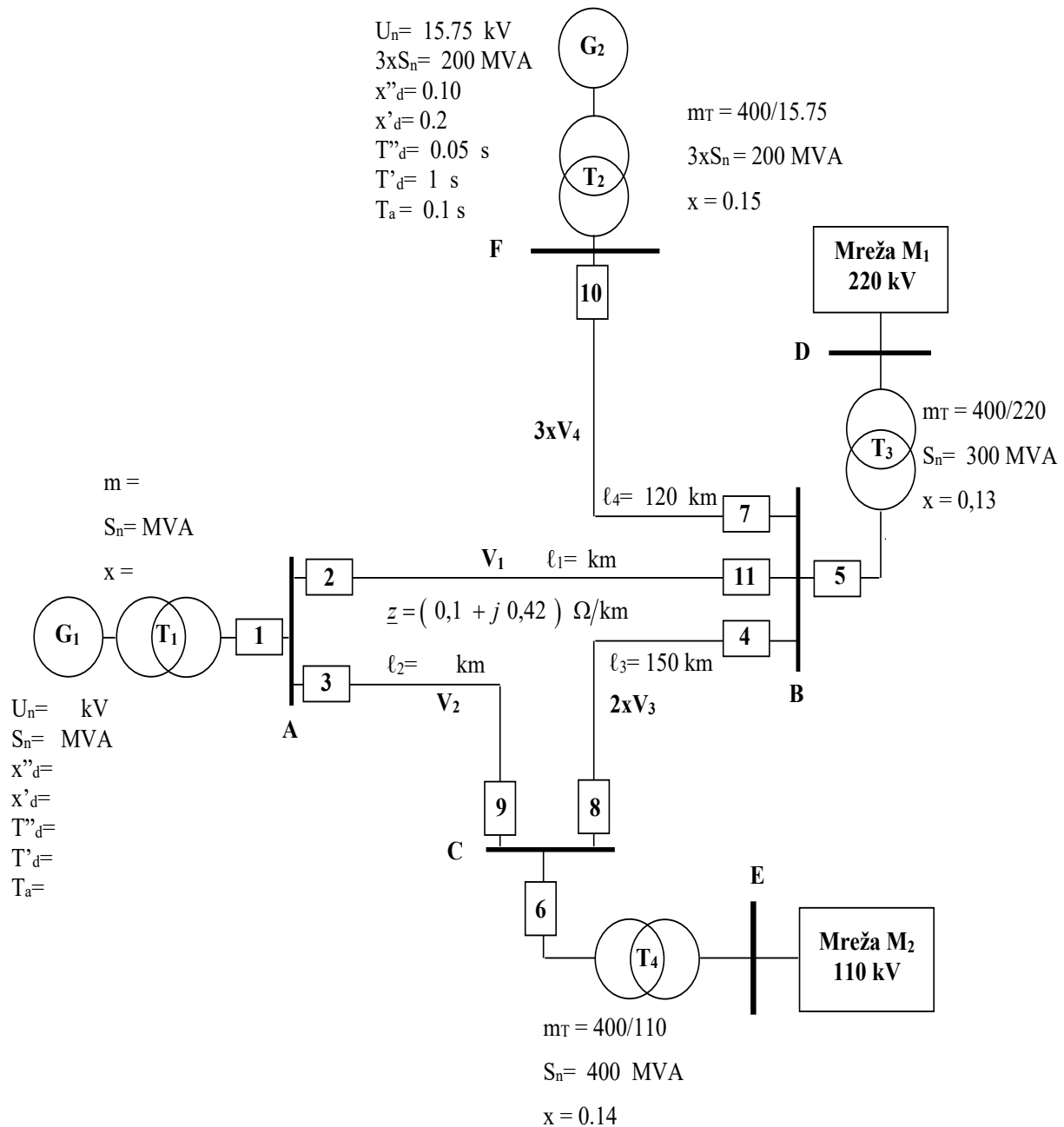
Student:

Nataša Stević 2015/0195

Beograd, maj 2021.

Projektni zadatak br. 13:

Trofazni elektroenergetski sistem dat je jedнопolnom šemom na Slici 1. Prekidači **10,7,4,8,6,5** su zatvoreni.



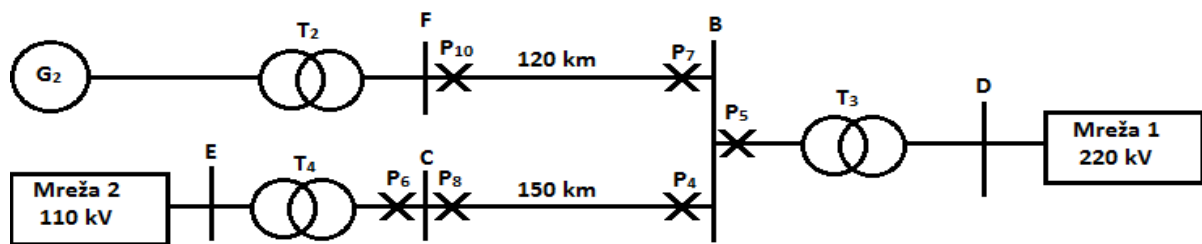
Udeo mreže 220 kV pri trofaznom kratkom spoju na sabirnicama D iznosi 5500 MVA u subtranzijentnom periodu, odnosno 4500 MVA u tranzijentnom periodu, a udeo mreže 110 kV pri kratkom spoju na sabirnicama E iznosi 3100 MVA u subtranzijentnom periodu,

odnosno 2500 MVA u tranzijentnom periodu. Vremenska konstanta jednosmerne komponente obe mreže je $T_{am}=0.05$ s. Kvarovi na strani 400 kV isključuju se za 0.2 s.

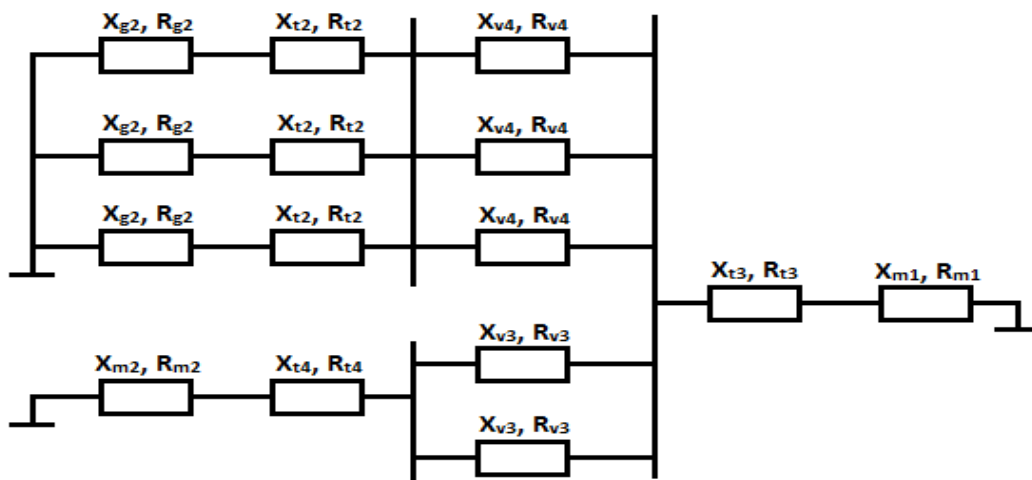
I Izračunati:

- ❖ Udarnu struju i toplotni impuls struje trolejnog kratkog spoja za kvar na sabirnicama B;
- ❖ Udarnu struju i toplotni impuls za kvar u dalekovodnom polju br. 1 (vod V₄) na sabirnicama B;
- ❖ Struju i snagu isključenja prekidača br. 4.

Najpre je data jednopolna šema za dato uklopno stanje (Slika 2), a zatim na Slici 3 i zamenska šema.



Slika 2: Jednopolna šema za dato uklopno stanje



Slika 3: Zamenska šema za dato uklopno stanje

❖ Proračun parametara elemenata

Generator 2:

$$X''_{g2} = 0.1 * \frac{15.75^2}{200} * \left(\frac{400}{15.75}\right)^2 = 80 \Omega$$

$$X'_{g2} = 0.2 * \frac{15.75^2}{200} * \left(\frac{400}{15.75}\right)^2 = 160 \Omega$$

$$R_{g2} = \frac{1}{\omega} * \frac{X''_{g2}}{T_a} = \frac{1}{314} * \frac{80}{0.1} = 2.55 \Omega$$

Transformator 2:

$$X_{t2} = 0.15 * \frac{400^2}{200} = 120 \Omega$$

$$R_{t2} = 0.1 * X_{t2} = 12 \Omega$$

Transformator 3:

$$X_{t3} = 0.13 * \frac{400^2}{300} = 69.33 \Omega$$

$$R_{t3} = 0.1 * X_{t3} = 6.93 \Omega$$

Transformator 4:

$$X_{t4} = 0.14 * \frac{400^2}{400} = 56 \Omega$$

$$R_{t4} = 0.1 * X_{t4} = 5.6 \Omega$$

Mreža 1:

$$X''_{m1} = 1.1 * \frac{220^2}{5500} * \left(\frac{400}{220}\right)^2 = 32 \Omega$$

$$X'_{m1} = 1.1 * \frac{220^2}{4500} * \left(\frac{400}{220}\right)^2 = 39.11 \Omega$$

$$R_{m1} = \frac{1}{\omega} * \frac{X''_{m1}}{T_{am}} = \frac{1}{314} * \frac{32}{0.05} = 2.04 \Omega$$

Mreža 2:

$$X''_{m2} = 1.1 * \frac{110^2}{3100} * \left(\frac{400}{110}\right)^2 = 56.77 \Omega$$

$$X'_{m2} = 1.1 * \frac{110^2}{2500} * \left(\frac{400}{110}\right)^2 = 70.4 \Omega$$

$$R_{m2} = \frac{1}{\omega} * \frac{X''_{m2}}{T_{am}} = \frac{1}{314} * \frac{56.77}{0.05} = 3.62 \Omega$$

Vod 3:

$$X_{v3} = 0.42 * 150 = 63 \Omega$$

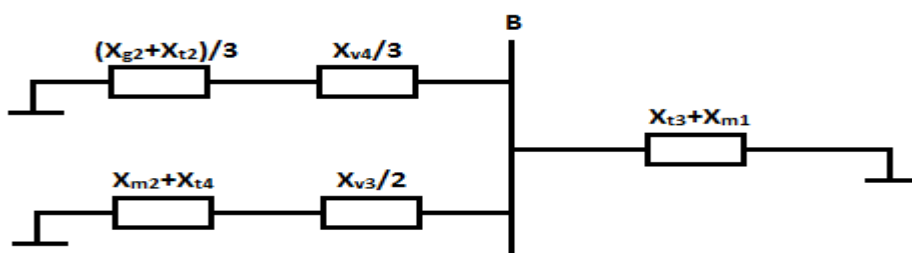
$$R_{v3} = 0.1 * 150 = 15 \Omega$$

Vod 4:

$$X_{v4} = 0.42 * 120 = 50.4 \Omega$$

$$R_{v4} = 0.1 * 120 = 12 \Omega$$

Na Slici 4 prikazana je uprošćena zamenska šema za proračun subtranzijentne i tranzijentne struje kvara na sabirnicama B.



Slika 4: Uprošćena zamenska šema za proračun subtranzijentne i tranzijentne struje kvara na sabirnicama B

$$X''_e = \left[\frac{1}{3} * (X''_{g2} + X_{t2}) + \frac{1}{3} * X_{v4} \right] \parallel \left[X''_{m2} + X_{t4} + \frac{1}{2} * X_{v3} \right] \parallel [X_{t3} + X''_{m1}]$$

$$X''_e = 34.75 \Omega$$

$$X'_e = \left[\frac{1}{3} * (X'_{g2} + X_{t2}) + \frac{1}{3} * X_{v4} \right] \parallel \left[X'_{m2} + X_{t4} + \frac{1}{2} * X_{v3} \right] \parallel [X_{t3} + X'_{m1}]$$

$$X'_e = 40.59 \Omega$$

$$R_e = \left[\frac{1}{3} * (R_{g2} + R_{t2}) + \frac{1}{3} * R_{v4} \right] \parallel \left[R_{m2} + R_{t4} + \frac{1}{2} * R_{v3} \right] \parallel [R_{t3} + R_{m1}]$$

$$R_e = 3.52 \Omega$$

$$I'' = \frac{U_m}{\sqrt{3} * X_e''} = \frac{420}{\sqrt{3} * 34.75} = 6.99 \text{ kA}$$

$$I' = \frac{U_m}{\sqrt{3} * X_e'} = \frac{420}{\sqrt{3} * 40.59} = 5.98 \text{ kA}$$

$$T_{ae} = \frac{1}{\omega} * \frac{X_e''}{R_e} = \frac{1}{314} * \frac{34.75}{3.52} = 0.031 \text{ s}$$

Uzima se U_m umesto $c * U_n$ jer je $c * U_n > U_m$.

❖ **Udarne struja i toplotni impuls struje trofaznog kratkog spoja za kvar na sabirnicama B:**

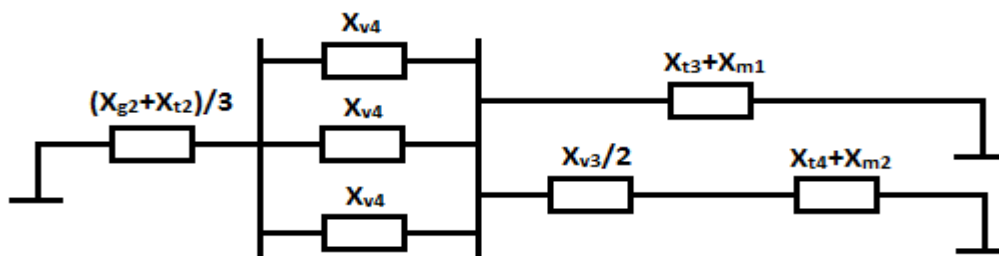
$$i_{ud} = \sqrt{2} * \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{ae}}}\right) * I'' = \sqrt{2} * \left(1 + e^{\frac{-0.01}{0.031}}\right) * 6.99 = 16.99 \text{ kA}$$

$$\frac{3}{2} * T_{ae} = 0.0465 < 0.2$$

$$\rightarrow A = I''^2 * T_{ae} + I'^2 * t_i = 6.99^2 * 0.031 + 5.98^2 * 0.2 = 8.67 \text{ (kA)}^2 \text{ s}$$

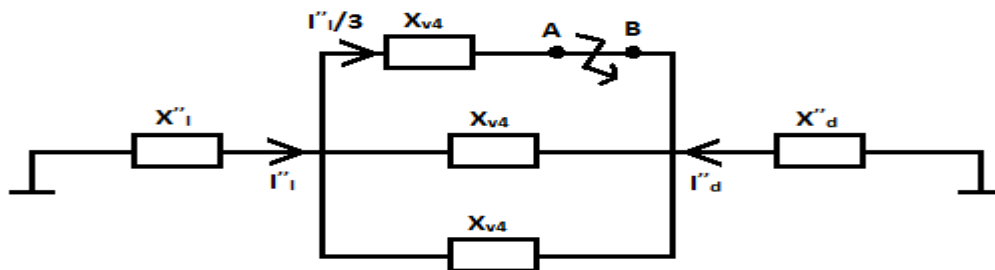
❖ **Udarne struja i toplotni impuls za kvar u dalekovodnom polju br. 1 (vod V₄) na sabirnicama B:**

Na Slici 5 prikazana je uprošćena zamenska šema za proračun subtranzijentne i tranzijentne struje kvara u dalekovodnom polju 1.



Slika 5: Uprošćena zamenska šema za proračun subtranzijentne i tranzijentne struje kvara u dalekovodnom polju 1

U zavisnosti od položaja kvara, kroz prekidač mogu teći različite struje. U nastavku je dat proračun struja u slučaju kada je do kvara došlo na poziciji A, odnosno B, respektivno. Šema je prikazana na Slici 6.



Slika 6: Raspodela struja pri kvaru u dalekovodnom polju 1

$$X_l'' = \frac{1}{3} * (X_{g2}'' + X_{t2}) = \frac{1}{3} * (80 + 120) = 66.67 \Omega$$

$$X_l' = \frac{1}{3} * (X_{g2}' + X_{t2}) = \frac{1}{3} * (160 + 120) = 93.33 \Omega$$

$$X_d'' = (X_{t3} + X_{m1}'') \parallel \left(\frac{1}{2} * X_{v3} + X_{m2}'' + X_{t4} \right) = 59.52 \Omega$$

$$X_d' = (X_{t3} + X_{m1}') \parallel \left(\frac{1}{2} * X_{v3} + X_{m2}' + X_{t4} \right) = 64.29 \Omega$$

$$I_l'' = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} * (X_l'' + \frac{1}{3} * X_{v4})} = \frac{420}{\sqrt{3} * (66.67 + \frac{50.4}{3})} = 2.91 \text{ kA}$$

$$I_l' = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} * (X_l' + \frac{1}{3} * X_{v4})} = \frac{420}{\sqrt{3} * (93.33 + \frac{50.4}{3})} = 2.20 \text{ kA}$$

$$I_d'' = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} * X_d''} = \frac{420}{\sqrt{3} * 59.52} = 4.08 \text{ kA}$$

$$I_d' = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} * X_d'} = \frac{420}{\sqrt{3} * 64.29} = 3.78 \text{ kA}$$

Struje kvara u tački A:

$$I''_A = \frac{2}{3} * I''_l + I''_d = \frac{2}{3} * 2.91 + 4.08 = 6.02 \text{ kA}$$

$$I'_A = \frac{2}{3} * I'_l + I'_d = \frac{2}{3} * 2.20 + 3.78 = 5.25 \text{ kA}$$

Struje kvara u tački B:

$$I''_B = \frac{1}{3} * I''_l = \frac{1}{3} * 2.91 = 0.97 \text{ kA}$$

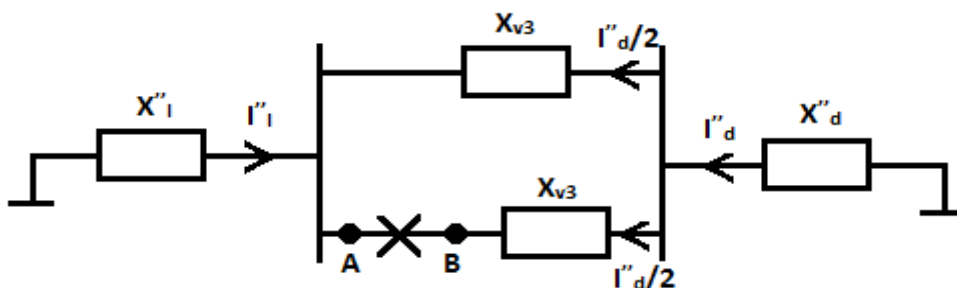
$$I'_B = \frac{1}{3} * I'_l = \frac{1}{3} * 2.20 = 0.73 \text{ kA}$$

$$i_{ud} = \sqrt{2} * \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{ae}}}\right) * I'' = \sqrt{2} * \left(1 + e^{\frac{-0.01}{0.031}}\right) * 6.02 = 14.64 \text{ kA}$$

$$A = I''^2 * T_{ae} + I'^2 * t_i = 6.02^2 * 0.031 + 5.25^2 * 0.2 = 6.64 \text{ (kA)}^2\text{s}$$

❖ Struja i snaga isključenja prekidača br. 4:

U nastavku (Slika 7) data je uprošćena zamenska šema za proračun struje i snage isključenja prekidača broj 4.



Slika 7: Uprošćena zamenska šema za proračun struje i snage isključenja prekidača broj 4

$$X_d'' = X_{t4} + X_{m2}'' = 56 + 56.77 = 112.77 \Omega$$

$$X_l'' = (X_{t3} + X_{m1}'') \parallel \left(\frac{1}{3} * (X_{g2}'' + X_{t2}) + \frac{1}{3} * X_{v4} \right) = 45.77 \Omega$$

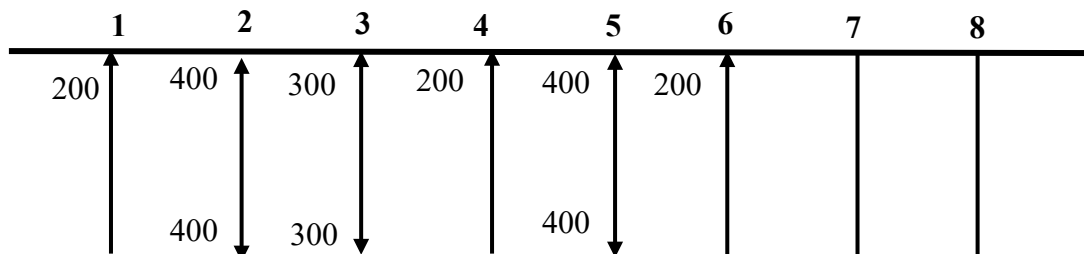
$$I_d'' = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} * (X_d'' + \frac{1}{2} * X_{v3})} = \frac{420}{\sqrt{3} * (112.77 + \frac{63}{2})} = 1.68 \text{ kA}$$

$$I_l'' = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} * X_l''} = \frac{420}{\sqrt{3} * 45.77} = 5.30 \text{ kA}$$

$$I_{iskp} = I_l'' + \frac{1}{2} * I_d'' = 5.30 + \frac{1.68}{2} = 6.14 \text{ kA}$$

$$S_{iskp} = \sqrt{3} * U_n * I_{iskp} = \sqrt{3} * 400 * 6.14 = 4253.92 \text{ MVA}$$

Razmatrano postrojenje nalazi se u mreži sa efikasno uzemljenim zvezdištem. Raspored polja razmatranog postrojenja, sa njihovim maksimalnim snagama opterećenja i smerovima, dat je na Slici 8. Snage su u MVA.



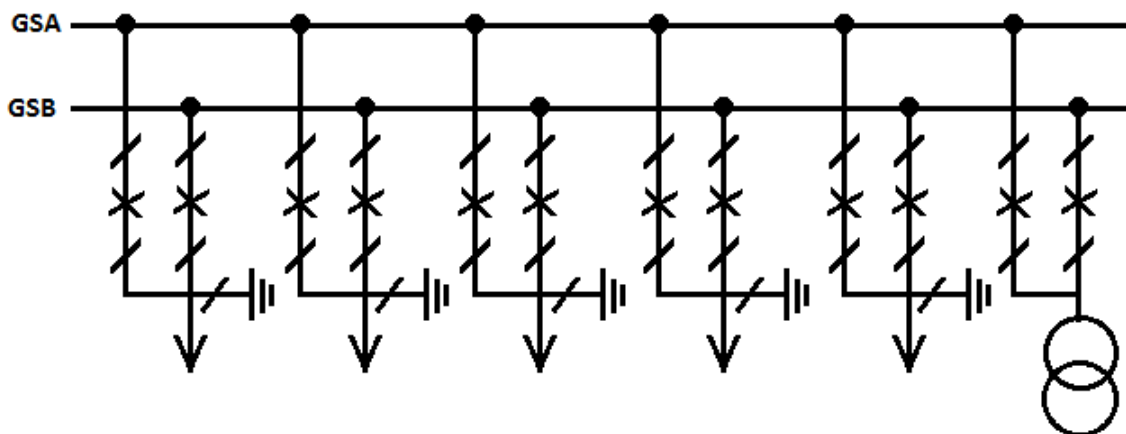
Slika 8: Raspored polja razmatranog postrojenja, sa njihovim maksimalnim snagama opterećenja i smerovima

II Potrebno je:

- ❖ Nacrtati jednopolnu šemu postrojenja usvajajući sistem dvostrukih glavnih sabirnica – američka varijanta, sa naznakom komutacione opreme i mernih transformatora;
- ❖ Dimenzionisati sabirnice B;
- ❖ Odabrati komutacionu aparaturu i merne transformatore za dalekovodno polje 1 dato na Slici 8 (vod V₄).

❖ Jednopolna šema postrojenja:

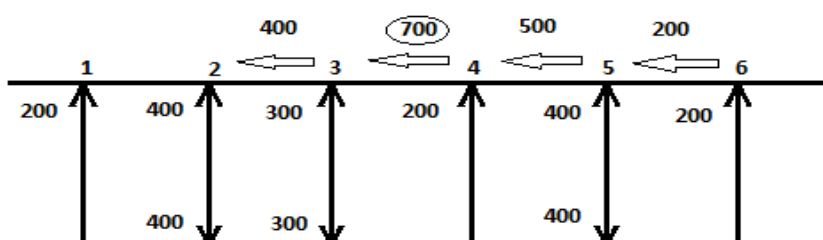
Na Slici 9 prikazana je jednopolna šema postrojenja.



Slika 9: Jednopolna šema postrojenja (usvojen je sistem dvostrukih glavnih sabirnica – američka varijanta)

❖ Dimenzionisanje sabirnica B:

U nastavku je prikazan najkritičniji slučaj tokova snaga koji služi za dimenzionisanje sabirnica (Slika 10).



Slika 10: Najkritičniji slučaj tokova snaga, merodavan za dimenzionisanje sabirnica

$$S_{max,r} = 700 \text{ MVA}$$

$$I_{max,r} = \frac{700}{\sqrt{3} * 400} = 1.01 \text{ kA}$$

$$I_{tdT} \geq \frac{1}{k_1 * k_2 * k_3} * I_{max,r}$$

$$k_1 = k_2 = k_3 = 1$$

Usvaja se Al-Č uže sa 2 provodnika u snopu:

$$I_{tdT} = 520 \text{ A}, d = 18.9 \text{ mm}, q = 170 \text{ mm}^2$$

$$q_{min} = \beta * \sqrt{k_s * A} = 12 * \sqrt{1 * 8.67} = 35.33 \text{ mm}^2 < q$$

$$d_{min} = \frac{U_n}{9} = \frac{400}{9} = 44.4 \text{ mm}$$

$$d_{12} = 200 \text{ mm}$$

$$d_e = 2 * \sqrt{\frac{18.9}{2} * d_{12}} = 2 * \sqrt{\frac{18.9}{2} * 200} = 86.95 \text{ mm} > d_{min}$$

❖ **Odabir komutacione aparature i mernih transformatora za dalekovodno polje 1 dato na Slici 8 (vod V₄):**

$$I'' = 6.02 \text{ kA}$$

$$I' = 5.25 \text{ kA}$$

$$i_{ud} = 14.64 \text{ kA}$$

$$A = 6.64 \text{ (kA)}^2\text{s}$$

$$I_{max,r} = \frac{S_{max,r}}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{200}{\sqrt{3} * 400} = 0.28902 \text{ kA} = 289.02 \text{ A}$$

$$S_{isk,p} = \sqrt{3} * 400 * 6.02 = 4170.78 \text{ MVA}$$

- **Karakteristike prekidača**

$$U_n = 400 \text{ kV}$$

$$I_n > 289.02 \text{ A}$$

$$S_{isn} > 4170.78 \text{ MVA}$$

$$I_{isn} > 6.02 \text{ kA}$$

$$I_t > \sqrt{\frac{A}{0.2}} > \sqrt{\frac{6.64}{0.2}} = 5.76 \text{ kA}$$

$$i_{un} > 14.64 \text{ kA}$$

- **Karakteristike rastavljača**

$$U_n = 400 \text{ kV}$$

$$I_n > 289.02 \text{ A}$$

$$I_t > 5.76 \text{ kA}$$

$$i_{un} > 14.64 \text{ kA}$$

- **Karakteristike strujnog transformatora**

$$U_n = 400 \text{ kV}$$

$$1.2 * I_{1n} > I_{max,r} \rightarrow I_{1n} > \frac{I_{max,r}}{1.2} = \frac{289.02}{1.2} = 240.85 \text{ A}$$

$$I_{1n} = 250 \text{ A}$$

$$I_{2n} = 1 \text{ A}$$

$$m_{st} = 250/1/1 \text{ A/A/A}$$

I jezgro: $k = 0.5, F_s = 5$

$$\Sigma S_{ured} = S_w + S_{var} + S_{wh} + S_{var} = 0.6 \text{ VA}$$

$$S_{releja} = 0.15 \text{ VA}$$

$$S_{pv} = \rho * \frac{l}{q} * I_{2n}^2 = 0.01786 * \frac{100}{2.5} * 1^2 = 0.71 \text{ VA}$$

I jezgro: $S = 0.71 + 0.6 = 1.31 \text{ VA}$

II jezgro: $S = 0.71 + 0.15 = 0.86 \text{ VA}$

$$S_{n1} = S_{n2} = 2.5 \text{ VA}$$

$$F_t > \frac{k_{ud} * I''}{I_{1n}} = \frac{1.72 * 6020}{250} = 41.42$$

$$F_t = F_{tn} * \frac{S_n}{S} > 41.42$$

$$F_{tn} > \frac{41.42 * S}{S_n} = \frac{41.42 * 0.86}{2.5} = 14.25$$

$$F_{tn} = 15$$

II jezgro: **5P15**

$$I_{1u} > i_{ud} = 14.64 \text{ kA}$$

$$I_t > 5.76 \text{ kA}$$

- **Karakteristike naponskog transformatora**

$$U_{1n} = 400 \text{ kV}$$

$$U_{2n} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

$$m_{nt} = \frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} \text{ kV/kV/kV}$$

I namotaj: $k = 0.5$

II namotaj: 3P

$$S = \Sigma S_{ured} = S_w + S_{var} + S_{wh} + S_{var} = 0.6 \text{ VA}$$

$$S_n = 10 \text{ VA}$$

Uslov po snazi: $0.25 * S_n \leq S \leq S_n \rightarrow 2.5 \leq S \leq 10$

$S = 0.6 < 2.5 \rightarrow$ U kolo se mora vezati paralelno otpornik, tako da se ima snaga bar 2.5 VA.

$$R = \frac{U^2}{S} = \frac{\left(\frac{100}{\sqrt{3}}\right)^2}{2.5} = 1333.33 \Omega$$

$$V_f = 1.5$$

III Predložiti skicu zaštitnog uzemljenja postrojenja.

Postrojenje obuhvata površinu od 120x90 m². Specifična otpornost tla iznosi 90 Ωm, a struja jednopolnog kratkog spoja od 5 kA isključuje se za 0.2 s.

❖ Modelovanje uzemljivača

$$S = 120 * 90 \text{ m}^2$$

$$\rho = 90 \text{ } \Omega\text{m}$$

$$I = 5 \text{ kA}$$

$$t_i = 0.2 \text{ s}$$

$$U_d = \frac{E_d}{S_d}$$

$$S_d = 1 + 1.5 * 10^{-3} * \rho = 1 + 1.5 * 10^{-3} * 90 = 1.135$$

$$U_k = \frac{E_k}{S_k}$$

$$S_k = 1 + 6 * 10^{-3} * \rho = 1 + 6 * 10^{-3} * 90 = 1.54$$

$$U_{doz} = \frac{75}{t_i} = \frac{75}{0.2} = 375 \text{ V}$$

$$E_{d,doz} = S_d * U_{doz} = 1.135 * 375 = \mathbf{425.625 \text{ V}}$$

$$E_{k,doz} = S_k * U_{doz} = 1.54 * 375 = \mathbf{577.5 \text{ V}}$$

Nakon dovoljnog broja iteracija, usvajaju se sledeće vrednosti: $n_x = 12, n_y = 16$

$$n = \sqrt{n_x * n_y} = 13.856$$

$$D = \sqrt{\frac{S}{N}} = \sqrt{\frac{120 * 90}{(n_x - 1) * (n_y - 1)}} = 8.090 \text{ m}$$

Usvaja se: $S_{Cu} = 70 \text{ mm}^2, h = 0.8 \text{ m}$

$$d = \sqrt{\frac{4 * S_{Cu}}{\pi}} = 0.0094 \text{ m} = 9.4 \text{ mm}$$

$$k_h = \sqrt{1+h} = \sqrt{1+0.8} = 1.34$$

$$k_{ii} = \frac{1}{(2*n)^{\frac{2}{n}}} = 0.619$$

$$K_m = \frac{1}{2*\pi} * \left[\ln \left(\frac{D^2}{16*h*d} + \frac{(D+2*h)^2}{8*D*d} - \frac{h}{4*d} \right) + \frac{k_{ii}}{k_h} * \ln \left(\frac{8}{\pi*(2*n-1)} \right) \right] = 0.864$$

$$K_{im} = 0.656 + 0.172 * n = 3.039$$

$$L = 120 * n_x + 90 * n_y = 2880 \text{ m}$$

$$I_u = 5 \text{ kA}$$

$$E_d = \rho * K_m * K_{im} * \frac{I_u}{L} = 410.424 < 425.625 \text{ V}$$

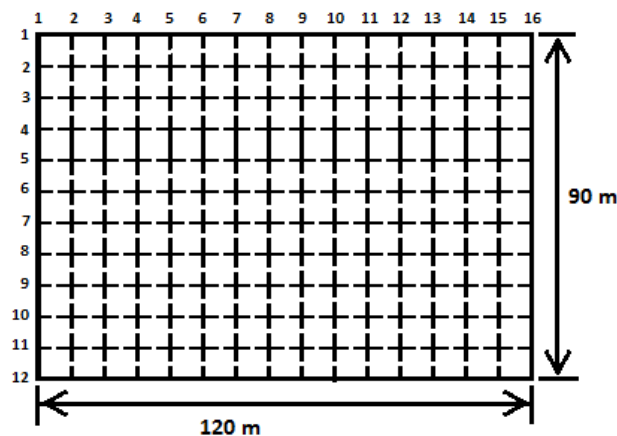
$$W = 0.5 + 0.9 * \ln \left(\frac{n-1}{2} \right) = 2.175$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} * \left(\frac{1}{2*h} + \frac{1}{D+h} + \frac{W}{D} \right) = 0.320$$

$$K_{is} = 0.94 + 0.047 * n = 1.591$$

$$E_k = \rho * K_s * K_{is} * \frac{I_u}{L} = 79.679 < 577.5 \text{ V}$$

$$R_{uh} = 0.13 * \frac{\rho}{\sqrt{S}} * \log_{10} \left(\frac{2400 * \sqrt{S}}{N} \right) = 0.358$$



Slika 11: Model mrežastog uzemljivača