GANGGUAN SISTEM 3 PHASA SIMESTRIS

toto_sukisno@uny.ac.id

Sub Bab :

1. Peralihhan dalam rangkaian seri RL
2. Arus hubung singkat dan reaktansi mesin serempak
3. Tegangan Internal mesin berbeban dalam peralihan
4. Matriks impedansi rel dalam perhitungan gangguan
5. Jaringan ekivalen matriks impedansi rel
6. Pemilihan pemutus rangkaian

1. Peralihan dalam rangkaian seri RL

Jika tegangan berada pada nilai saat maksimumnya yang Positif, α adalah π/2.
Maka persamaan diferensialnya adalah :

$$V_{maks}\sin(\omega t+\alpha)=Ri+L\frac{di}{dt}$$

Penyelesaian persamaan ini adalah

$$i=\frac{V_{maks}}{|Z|}\left[\sin(\omega t+\alpha-\theta)-\varepsilon^{-Rt/L}\sin(\alpha-\theta)\right]$$

Dimana | Z | adalah $\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$ dan θ adalah $\tan^{-1}(\omega L/R)$.

2. Arus hubung singkat dan reaktansi mesin serempak

Persamaan pada alternator yang bekerjja tanpa beban
Sebelum terjadinya gangguan 3 phasa pada terminalnya.

$$|Z| = \frac{ob}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d}$$

$$|Z| = \frac{ob}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d}$$

$$|Z| = \frac{oc}{\sqrt{2}} = \frac{|E_g|}{X_d}$$

Dimana :

| I | = arus keadaan tetap
| I' | = arus peralihan
| I" | = arus sub peralihan
Xd = reaktansi serempak poros langsung
X'd = reaktansi peralihan poros langsung
X"d = reaktansi sub peralihhan poros langsung
| Eg | = tegangan rms 1terminal ke netral
oa, ob,oc = perpotongan

Persamaan memberikan metode untuk menentukan arus Gangguan dalam sebuah generator bila reaktansinya diketahui. Jika generator tersebut tidak dibebani pada saat gangguan yang terjadi mesin dapat dilukiskan dengan tegangan tanpa beban ke netral/diseri dengan reaktansi yang sesuai.

Soal 1:

Dua buah generator dihubungkan pararep pada sisi tegangan rendah Trafo Δ - Y 3 fasa. Generator mempunyai rating 50.000 kVA, 13 kV Sedangkan generator 2 rating 25.000 kVA 13.8 kV. Masing masing generator mempunyai reaktansi sub peralihan sebesar 25%. Trafo mempunyai rating 75.000 kVA, 13,8 Δ/ 69Y kV, dengan reaktansi sebesar 10%. Sebelum gangguan terjadi, tegangan pada sisi tegangan tinggi transformator adalah 66 kV. Transformator tersebut tidak dibebani dan tidak ada arus berputar diantara generator. Hitunglah arus sub peralihan pada masing masing generator bila terjadi hubung singkat pada sisi tegangan transformator.

Jawab :

Generator 1 $$X_d'' = 0.25\frac{75.000}{50.000} = 0.375 persatuan$$

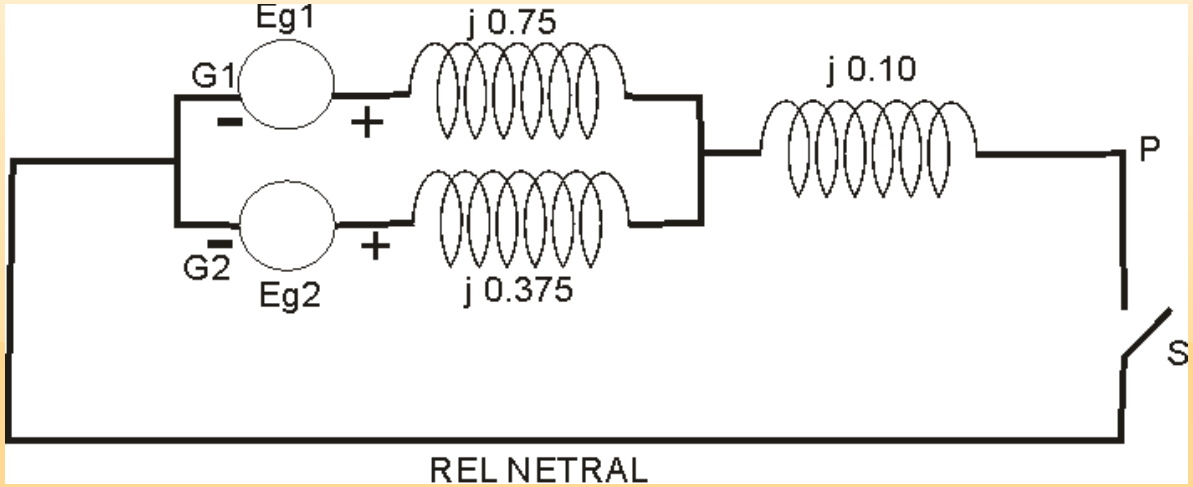
$$E_{g1} = \frac{66}{69} = 0,957 persatuan$$

Generator 2 $$X_d'' = 0.25\frac{75.000}{25.000} = 0.750 persatuan$$

$$E_{g2} = \frac{66}{69} = 0,957 persatuan$$

Transformator $$x = 0,10 persatuan$$

Diagram reaktansi :



Reaktansi sub peralihan pararel ekivalenya adalah :

$$\frac{0,375 \times 0,75}{0,375 + 0,75} = 0,25 \, persatuan$$

Karena itu, sebagai suatu pasor dengan Eg sebagi pedoman , Arus sub peralihan dalam hubung singkat adalah :

$$I''=\frac{0,957}{j0,25+j0,10}=-j2,725 persatuan$$

Tegangan pada sisi delta transformator adalah :

$$(-j2,735)(j00,10)=0,2735 persatuan$$

Teganga pada sisi generator 1 dan 2

$$I_1'' = \frac{0,957-0,274}{j0,375} = -j1,823 persatuan$$

$$I_2'' = \frac{0,957-0,274}{j0,75} = -j0,912 persatuan$$

Untuk mendapatkan arus dalam ampere, nilai per satuan dikalikan dengan arus dasar rangkaian :

$$I_1'' = 1{,}823 \frac{75.000}{\sqrt{3} \times 13{,}8} = 5720A$$

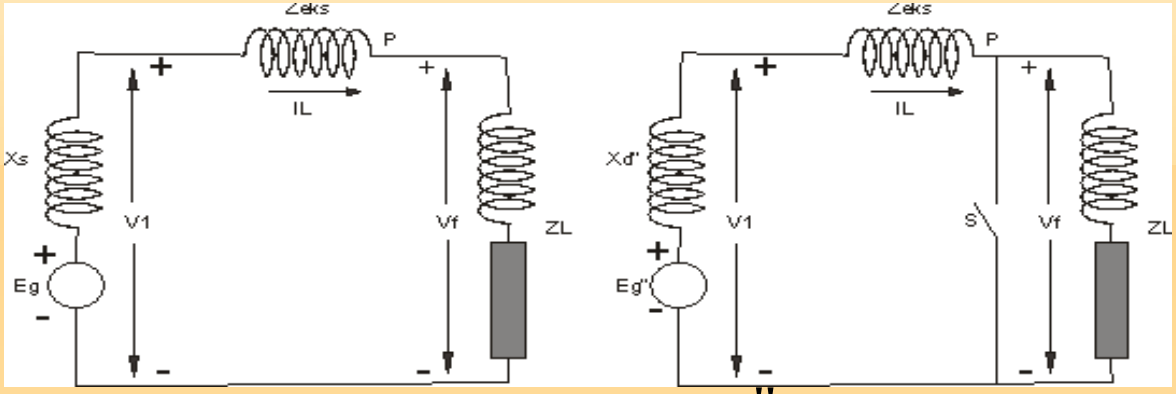
$$I_2'' = 0{,}912 \frac{75.000}{\sqrt{3} \times 13{,}8} = 2860A$$

3. Tegangan Internal mesin berbeban dalam peralihan

Tegangan Eg yang terhubung seri dengan Xd mencatu arus keadaan Tetap IL, bila sakelar S terbuka, dan mencatu arus pada hubung singkat itu melalui Xd dan Zeks bila saklar ditutup. Jika kita dapat menentukan Eg, arus yang melalui Xd ini adalah I". Dengan saklar S terbuka kita lihat bahwa :

$$E_g'' = V_1 + jI_L X_d''$$

Sebaliknya Eg yang terhubung seri dengan reaktansi serempak Xs adalah rangkaian ekivalen mesin pada keadaan tetap untuk semua beban.



$$E_g'' = V_1 + jI_L X_d''$$

$$E_m'' = V_1 - jI_{L1} X_d''$$

$$E_m' = V_1 - jI_L X_d'$$

Soal 2

Suatu generator dan motor serempak mempunyai rating 30.000 kVA, 13.2 kV, dan keduanya mempunyai reaktansi sub peralihan sebesar 20%. Saluran yag menghubungkan kedua mesin tersebut mempunyai reaktansi sebesar 10% atas dasar rating mesin. Motor menarik 20.000 kW dengan faktor daya 0,8 mendahului dengan tegangan terminal sebesar 12,8 kV. Ketika terjadi gangguan tga fasa simetris adda terminal motor.

Hitunglah arus sub peralihan dalam generator, motor, dan gangguan dengan menggunakan internal mesin itu.

Jawab :

Pilihlah sebagai dasar 30.000 kVA, 13.2kV.

Kita menggunakan tegangan pada gangguan Vf sebagai fasor pedoman, maka :

$$V_1 = \frac{12,8}{13,2} = 0,97\angle 0^0 \; persatuan$$

$$Idasar = \frac{30.000}{\sqrt{3}\times 13,2} = 1312A$$

$$IL = \frac{20.000}{0,8\times\sqrt{3}\times 12,8} = 1128\angle 36,9^0 \; A$$

$$= \frac{1128\angle 36,9^0}{1312} = 0,86\angle 36,9^0 \; persatuan$$

$$= 0,86(0,8 + j0,6) = 0,69 + j0,52 persatuan$$

Untuk generator

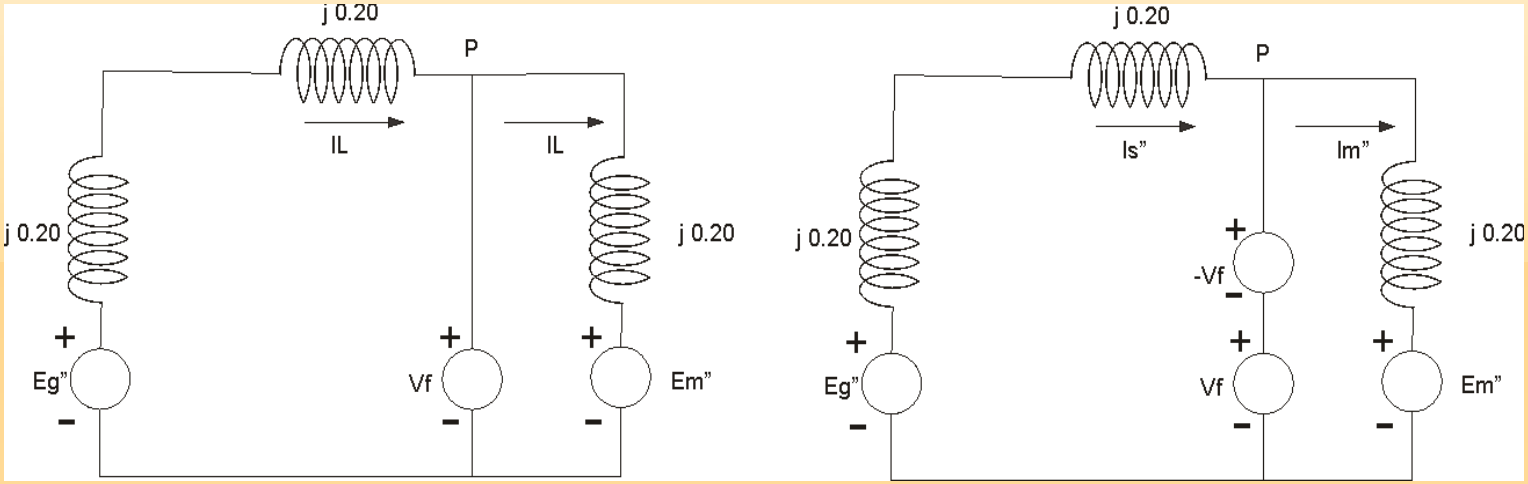
$$V_1'' = 0{,}970 + j0{,}1(0{,}69 + j0{,}52) = 0{,}918 + j0{,}069 \, persatuan$$

$$E_g'' = 0{,}918 + j0{,}069 + j0{,}2(0{,}69 + j0{,}52) = 0{,}814 + j0{,}207 \, persatuan$$

$$I_g'' = \frac{0{,}814 + j0{,}207}{j0{,}3} = 0{,}69 - j2{,}71 \, persatuan$$

$$I_g'' = 1312(0{,}69 - j2{,}71) = 905 - j3550 A$$

Gambar persamaan rangkaian ekivalenya adalah



Sebelum gangguan

Selama gangguan

Untuk motornya adalah

$$V_t = V_f = 0{,}97\angle 0^0 \; persatuan$$

$$E_m'' = 0{,}97 + j0 - j0{,}2(0{,}69 + j0{,}52) = 0{,}97 - j0{,}138 + 0{,}104$$

$$E_m'' = 1{,}074 - j0{,}138 persatuan$$

$$I_m'' = \frac{1{,}074 + j0{,}138}{j0{,}2} = -0{,}69 - j5{,}37 persatuan$$

$$I_m'' = 1312(-0{,}69 - j5{,}37) = -905 - j7050A$$

Pada gangguan

$$I_f'' = I_g'' + I_m'' = 0{,}69 - j2{,}71 - 0{,}69 - j5{,}37 = -j8{,}08 persatuan$$

$$I_f'' = -j8{,}08 \times 1312 = -j10.600A$$

Dengan teorema thevenin

$$Z_{th} = \frac{j0{,}3 \times j0{,}2}{j0{,}3 \times j0{,}2} = j0{,}12 persatuan$$

$$V_f = 0{,}97\angle 0^0 \; persatuan$$

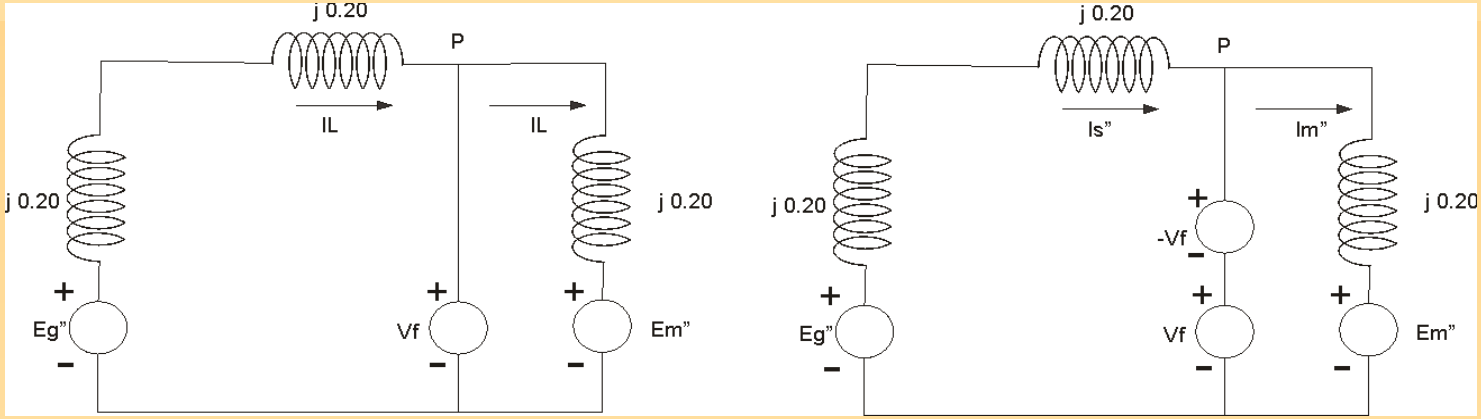
Pada gangguan

$$I_f'' = \frac{0{,}97 + j0}{j0{,}12} = -j8{,}08 persatuan$$

Arus gangguan dari generator $= -j8{,}08 \times \dfrac{j0{,}2}{j0{,}5} = -j3{,}23 persatuan$

Arus gangguan dari motor $= -j8{,}08 \times \dfrac{j0{,}3}{j0{,}5} = -j4{,}85 persatuan$

Gambar rangkaian setiap cabang sistem



Pada arus harus ditambahkan arus pra gangguan IL untuk mendapatkan arus sub peralihan total dalam mesin.

$$I_g'' = 0{,}69 + j0{,}52 - j3{,}23 = 0{,}69 - j2{,}71 persatuan$$

$$I_m'' = -0{,}69 - j0{,}52 - j4{,}85 = -0{,}69 - j5{,}37 persatuan$$

Arus gangguan dari generator = 3,23 x 1312 = 4240 A

Arus gangguan pada motor = 4,85 x 1312 = 6360 A

Arus pada ggangguan = 8,08 x 1312 = 10.600 A

Arus pada gangguan tetap sama baik bila arus beban diperhitungkan maupun tidak, tetapi sambungan dari masing masing saluran akan berbeda. Bila arus beban diikutsertakan maka :

Arus gangguan dari generator = |905 - j3550| = 3660 A

Arus gangguan dari motor = |-905 – j7050| = 7200 A

Jumlah aritmatik arus generator dan motor tidak sama dengan arus gangguan karena arus dari generator dan motor tidak sefasa.

4. Matriks impedansi rel dalam perhitungan gangguan

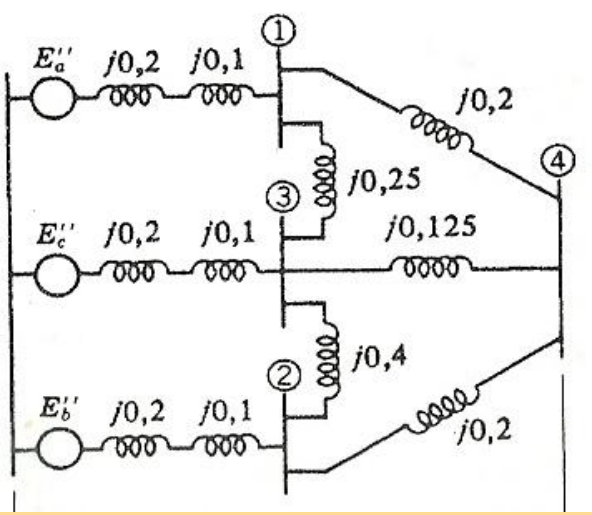
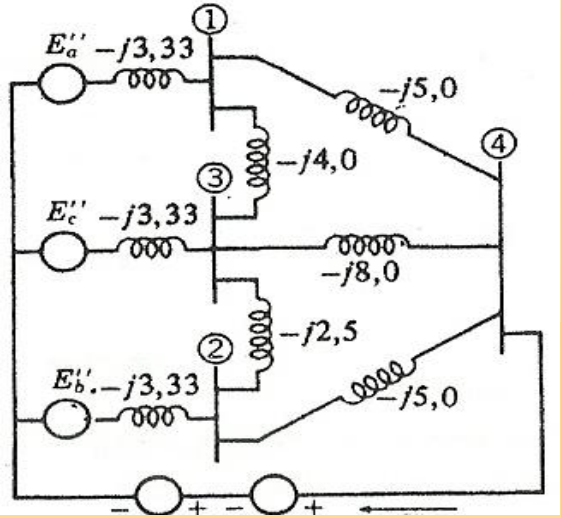


Diagram reaktansi serempak dengan reaktansi sub peralihan dan tegangan yang dibangkitkan tanpa beban



Rangkaian reaktansi serempak dengan reaktansi sub peralihan dan tegangan yang dibangkitkan tanpa beban secara seri

Persamaan simpul dalam bentuk matriks untuk jaringan sebagai –Vf sebagai satu satunya sumber adalah

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -I_f'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -12{,}33 & 4{,}0 & 4{,}0 & 5{,}0 \\ 0{,}0 & -10{,}83 & 2{,}5 & 5{,}0 \\ 4{,}0 & 2{,}5 & -17{,}83 & 8{,}0 \\ 5{,}0 & 5{,}0 & 8{,}0 & 18{,}0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^{\Delta} \\ V_2^{\Delta} \\ V_3^{\Delta} \\ -V_f \end{bmatrix}$$

Bila tanda supercript/ Δ menunjukan bahwa tegangan itu hanya disebabkan oleh –Vf. Tanda Δ dipilih untuk menunjukan perubahan tegangan ang disebabkan oleh –Vf.

Jaringan yang mengalami gangguan dimisalkan tidak berbeban sebelum gangguan. Dalam hal itu tidak ada arus yang mengalir sebelum gangguan, dan semua terganggu diselurh jaringan yang sama yaitu Vf. Pengandaian ini banyak menyederhanakan pekerjaan, ddan prinsip superposisi didapat :

$$V_1 = V_f + V_1^{\Delta} = V_f - I_f'' Z_{14}$$

$$V_2 = V_f + V_2^{\Delta} = V_f - I_f'' Z_{24}$$

$$V_3 = V_f + V_3^{\Delta} = V_f - I_f'' Z_{34}$$

$$V_1 = V_f - V_f = 0$$

Dengan menggunakan nilai nilai dalam bilangan pada persamaan sebelumnya, kita balikan matriks bujursangkar Yre1 pada persamaan itu. Diperoleh nilai :

$$Z_{re1} = j\begin{bmatrix} 0{,}1488 & 0{,}0651 & 0{,}0864 & 0{,}0978 \\ 0{,}0651 & 0{,}1554 & 0{,}0799 & 0{,}0967 \\ 0{,}0865 & 0{,}0798 & 0{,}1341 & 0{,}1058 \\ 0{,}0978 & 0{,}0967 & 0{,}1058 & 0{,}1566 \end{bmatrix}$$

Biasanya V_f dimisalkan sama, dengan $1{,}0\angle 0^0$ per satuan dan dengan pengandaian ini untuk jaringan yang mengalami gangguan tersebut maka :

$$I_f'' = \frac{1}{j0{,}1566} = -j6{,}368 \text{ persatuan}$$

$$V_1 = \frac{1-0{,}0978}{j0{,}1566} = 0{,}3755 \text{ persatuan}$$

$$V_2 = \frac{1-0{,}0967}{j0{,}1566} = 0{,}3825 \text{ persatuan}$$

$$V_3 = \frac{1-0{,}1058}{j0{,}1566} = 0{,}3244 \text{ persatuan}$$

Arus dibagian manapun jaringan itu dapat diperoleh dari tegangan dan impedansi.
Misalnya , arus gangguan dalam cabang yang menunjukan simpul 1 dan 3 yang mengalir ke arah simpul 3 adalah :

$$I''_{13} = \frac{V_1 - V_2}{j0,25} = \frac{0,3755 - 0,3244}{j0,25} = -j0,2044 \text{ persatuan}$$

Dari generator yang dihubungkan ke simpul I arusnya adalah :

$$I''_a = \frac{E''_a - V_1}{j0,3} = \frac{1 - 0,3755}{j0,3} = -j2,0817 \text{ persatuan}$$

$$\text{MVA hubungsingkat} = \sqrt{3} \times (\text{kV nominal}) \times I_x \times 10^{-3}$$

$$X_{th} = \frac{(\text{kV})\,\text{nominal}/\sqrt{3} \times 1000}{I_x}\ \text{ohm}$$

$$X_{th} = \frac{(\text{nominal kV})^2}{\text{MVA hubungsingkat}}\ \text{ohm}$$

$$X_{th} = \frac{\text{MVA hubungsingkat}}{\text{MVA hubungsingkat}}\ \text{persatuan}$$

5. Jaringan ekivalen matriks impedansi rel

Jika sakelar S dalam rangkaian terbuka, semua simpul akan bertegangn sebesar - V_f. Jika E''_a, E''_b, E''_c sama dengan V_f. Jika saklar S ditutup, dengan memeriksa rangkaian akan terlihat bahwa tegangan pada keempat simpul itu seluruhnya terhadap simpul pedoman O akan sama dengan nilai yang ditetapkan oleh persamaan :

$$V_1 = V_f + V_1^{\Delta} = V_f - I''_f Z_{14} \qquad V_2 = V_f + V_2^{\Delta} = V_f - I''_f Z_{24}$$

$$V_3 = V_f + V_3^{\Delta} = V_f - I''_f Z_{34} \qquad V_1 = V_f - V_f = 0$$

6. Pemilihan pemutus rangkaian

Arus yang harus diputuskan oleh pemutus rangkaian biasanya tidak simetrris karena di dalam arus itu masih ada sedikit komponen DC yang sedang terus menyusut.

Sistem rating yang banyak dipakai untuk pemutus arus minyak ac bertegangan tinggi ialah dengan menetaapkan rating arus pemutusnya berdasarkan komponen arus tidak simetris, tetapi simetris terhad ap sumbu nol.

Pemutus rangkaian ini ditandai dengan kelas tegangan nominal, misalnya 69 kV.

Diantara faktor lainya yang ditetapkan adalah

- rating terus menerus,
- rating tegangan maksimum
- rating tegangan daerah K
- rating arus hubung singkat

Pada 69 kV arus hubung singkat nominalnya adalah :

$$\frac{72.5}{69} \times 19.000 = 20.000A$$

SOAL

Sebuah generator 25.000 kVA 13.8 kV dengan X''_d 15% dihubungkan melalui transformator pada rel yang mencatu empat buah motor yang identik, seperti ditunjukan di gambar. Reaktansi subperalihan X''_d dari masing-masing motor adalah 20% dengan suatu dasar dari 5000 kVA, 6,9 kV. Rating 3 phasa transformator adalah 25.000 kVA, 13,8/6,9 kV dengan kebocoran reaktansi sebesar 10%. Tegangan rel pada motor adalah 6,9 kV ketika terjadi gangguan pada titik P. Untuk gangguan yang diberikan, tentukanlah :

a. Arus subperalihan pada gangguan?

b. Arus subperalihan pada pemutus rangkaian A

Jawab :

a. Untuk suatau dasar dari 25.000 kVA, 13,8 kV pada rangkaian generator, dasar untuk motor tersebut dalah 25.000 kVA dan 6,9 kV. Reaktansi sub peralihan dari masing masing motor adalah :

$$X_d'' = 0{,}20 \frac{25.000}{5000} = 1{,}0\, persatuan$$

Diagram segaris untuk soal adalah

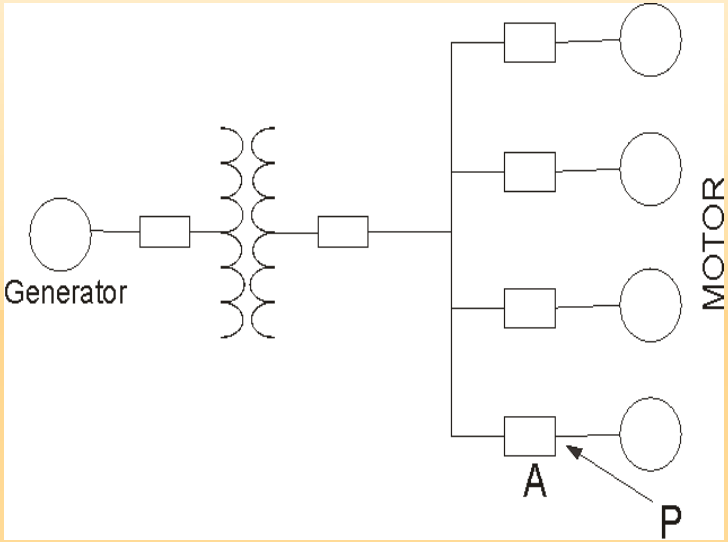


Diagram reaktansinya adalah

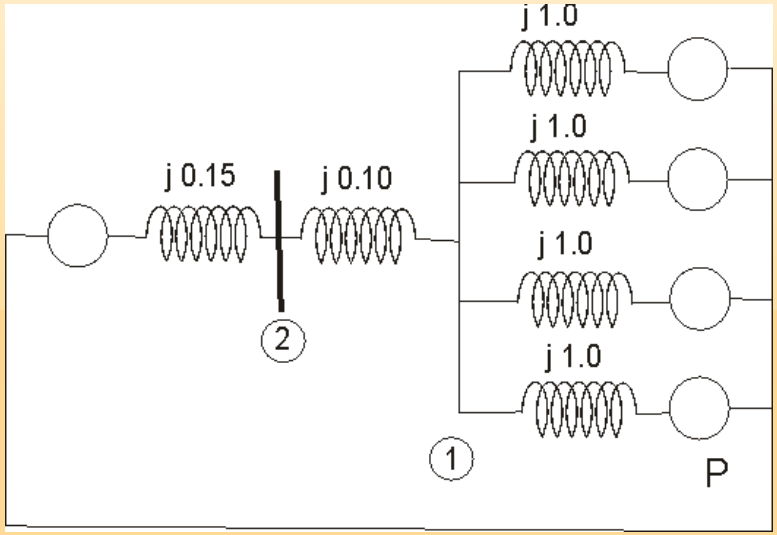


Diagram dengan nilai sub peralihan untuk reaktansi yang diperlihatkan. Untuk gangguan pada P.

$$V_f = 1{,}0 \text{ per satuan}$$

$$Z_{th} = j0{,}125 \text{ per satuan}$$

$$I_f'' = \frac{1{,}0}{j0{,}125} = -j8{,}0 \text{ per satuan}$$

Arus dasar pada rangkaian 6,9 kV adalah:

$$\frac{25.000}{\sqrt{3} \times 6{,}9} = 2090A$$

$$I_f'' = 8 \times 2090 = 16.720A$$

b. Sambungan dari generator dan dari tiga dari keempat motor itu datang melalui pemutus rangkaian A.

Generator menyumbangkan arus sebesar :

$$-j8{,}0\times\frac{0{,}25}{0{,}50}=-j4{,}0\,persatuan$$

Masing masing motor menyumbangkan 25% dari arus gangguan Yang tersisa atau –j1,0 A per satuan.

$$I''=-j4{,}0+3(-j1{,}0)=-j7{,}0\,persatuan=7\times2090=14.630A$$

SEKIAN
&
TERIMA KASIH !

Presented by iphin.03