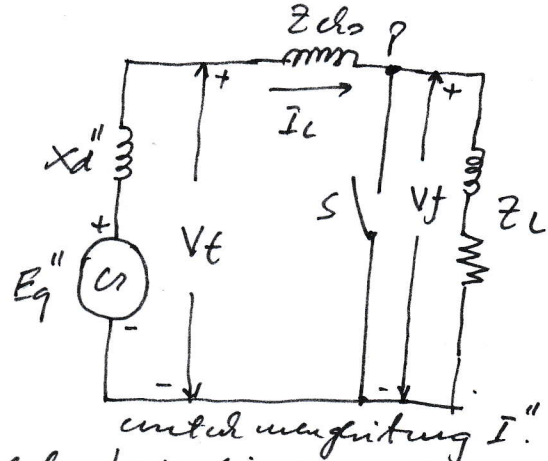
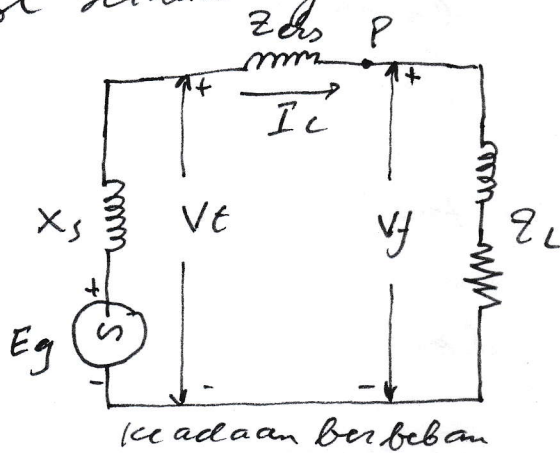


Tegangan internal mesin berbeban dalam keadaan peralihan

Kita tinjau generator yg sedang di bebani pada saat terjadi gangguan:

Rangkaian generator ekuivalen yg mempunyai beban tiga fase simbang dan tth p terjadi gangguan simetris.



I_L = arus yg mengalir sebelum terjadi gangguan.

V_t = tegangan gangguan.

V_t = tegangan terminal generator.

X_s = Reaktansi sumbu d (sinkron).

E_g = tegangan tanpa beban.

P = titik gangguan tiga fase simetris.

X_d'' = Reaktansi sub peralihan generator.

I'' = arus sub peralihan.

X_d' = Reaktansi peralihan generator.

I' = arus peralihan.

E_g'' = tegangan sub peralihan melalui reaktansi sub peralihan X_d'' .

E_g' = tegangan peralihan melalui reaktansi peralihan X_d' .

$E_g'' = V_t + j I_L \cdot X_d'' \rightarrow$ tegangan internal sub peralihan

$$E_g' = V_t + j I_L \cdot X_d'$$

Motor-motor xrempas mempunyai reaktansi yg sejenis dg generator.

Bila motor dihubung singkat, motor tidak lagi menerima daya tenaga listrik dari saluran, tetapi medannya tetap berputar / ber tenaga dan hilembaan (inertia), rotor dan bebannya terhubung. Tegangan internal dari motor xrempas menyebabkan memberikan arus kepada sistem, karena kemudian motor tersebut berlaku sbagai generator.

$$E_m'' = V_t - j I_L X_d'' \rightarrow \text{tegangan internal sub peralihan motor}$$

$$E_m' = V_t - j I_L X_d' \rightarrow \text{tegangan internal peralihan motor}$$

Contoh :

Juatu generator dan motor xrempas mempunyai rating 30.000 kVA; 13,2 kV dan keduanya mempunyai reaktansi sub peralihan (X_d'') 20%.

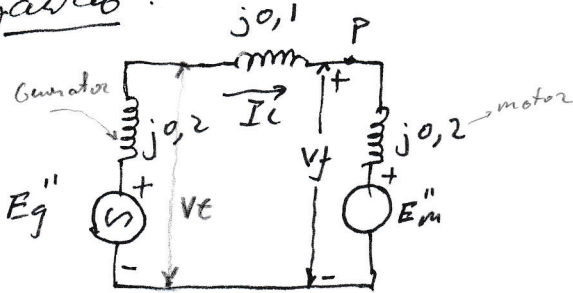
Saluran yg menghubungkan kedua mesin tersebut mempunyai reaktansi 10% atas dasar rating mesin.

Motor menant 20.000 kW dg faktor daya 0,8 mendahului dg tegangan terminal sebesar 12,8 kV ketika terjadi gangguan tiga fasa simetris pada terminal motor dan pilihlah sbagai dasar 30.000 kVA dan 13,2 kV.

Ditanya :

Arus sub peralihan dari generator dan motor.

jawab:



Sebelum gangguan

$$V_t = \frac{12,8}{13,2} = 0,97 \angle 0^\circ \text{ pu} \rightarrow \frac{\text{kV}}{\text{kV}_B} \rightarrow \text{kV}_B = 13,2 \text{ kV}$$

$$\text{Arus dasar} = \frac{30.000}{\sqrt{3} \cdot 13,2} = 1312 \text{ Amp} \rightarrow \frac{\text{kVA}_B}{\sqrt{3} \cdot \text{kV}_B} \rightarrow \text{kV}_B = 13,2 \text{ kV}$$

$$I_L = \frac{20.000 \angle 36,9^\circ}{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot 12,8} = 1128 \angle 36,9^\circ \text{ Amp} \rightarrow \frac{\text{kW} \angle \text{ang}}{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot \text{kV}}$$

$$= \frac{1128 \angle 36,9^\circ}{1312} = 0,86 \angle 36,9^\circ \text{ pu} \rightarrow \frac{I}{I_B}$$

$$= 0,86(0,8 + j0,6) = 0,69 + j0,52 \text{ pu}$$

untuk generator:

$$V_t = 0,970 + j0,1(0,69 + j0,52) = 0,918 + j0,069 \text{ pu} \rightarrow V_t + I_L \cdot Z$$

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

$$I_g'' = \frac{0,814 + j0,207}{j0,3 \rightarrow j0,2 + j0,1} = 0,69 - j2,71 \text{ pu} \rightarrow \frac{E_g''}{j0,1 + j0,2}$$

$$= 1312(0,69 - j2,71) = 905 - j3550 \text{ Amp} \rightarrow I_B \cdot I_{\text{pu}}$$

untuk motor:

$$V_t = V_f = 0,97 \angle 0^\circ \text{ pu} \rightarrow V_t = V_f = \frac{12,8}{13,2} = 0,97 \angle 0^\circ \text{ pu} \rightarrow \frac{\text{kV}}{\text{kV}_B}$$

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

$$= 1,074 - j0,138 \text{ pu}$$

$$I_m'' = \frac{1,074 - j0,138}{j0,2} = -0,69 - j5,37 \text{ pu} \rightarrow I_m'' = \frac{E_m''}{j0,2 \rightarrow Z_{\text{motor}}}$$

$$= 1312(-0,69 - j5,37) = -905 - j7050 \text{ Amp} \rightarrow I_B \cdot I_{\text{pu}}$$

pada gangguan tersebut:

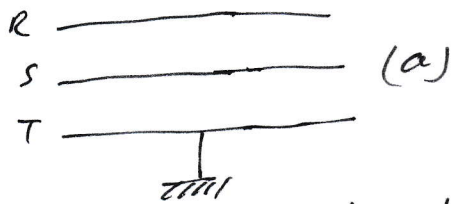
$$I_f'' = I_g'' + I_m'' = 0,69 - j2,71 - 0,69 - j5,37 = -j8,08 \text{ pu}$$

$$= -j8,08 \cdot 1312 = -j10.600 \text{ Amp}$$

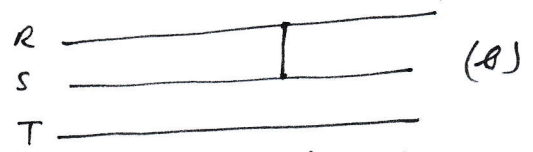
Analisis Gangguan

(40)

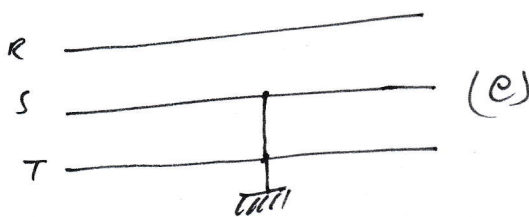
Salah satu terjadi gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik yg terdiri dari :



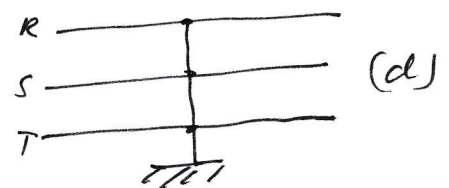
gangguan satu fase ke tanah



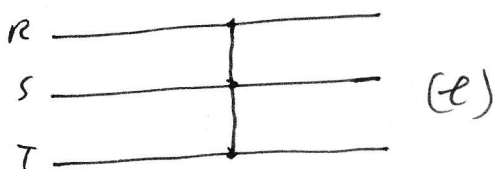
gangguan antar fase



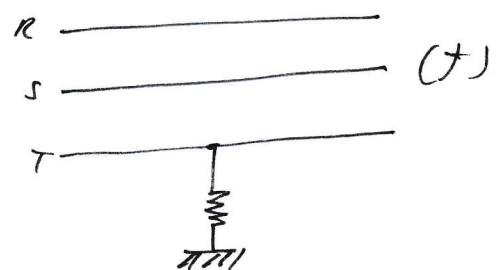
gangguan dua fase ke tanah



gangguan tiga fase ke tanah



gangguan tiga fase
(Gangguan Simetris)



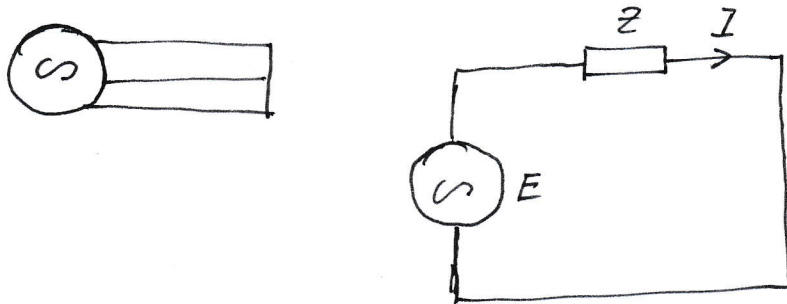
gangguan satu fase ke tanah melalui Resistansi

Tujuan utama analisis gangguan antara sbb :

- untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat tiga fase.
- untuk menentukan arus gangguan fase simetris bagi gangguan satu dan dua fase ke tanah, gangguan antar fase.
- Pengelidikan operasi Reli - Reli proteksi.
- untuk menentukan kapasitas pemutus CB.
- untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama terjadi gangguan.

Gangguan tiga fase simetris :

Jika terjadi gangguan dalam jaringan daya, arus yg mengalir akan di tentukan oleh emf dalam (internal emf) mesin pada jaringan impedansinya dan impedansi jaringan dg titik tempat terjadi gangguan.
Arus mengalir dalam mesin sempurna setelah terjadinya gangguan, mengalir beberapa periode, dan terus berlanjut.



E = Tegangan per fasa yg dibangkitkan.

I_{se} = Arus hubung singkat ($\frac{E}{Z}$)

Z = Impedansi transien atau subtransien.
(peralihan x_d' , sub peralihan x_d'' , hingga x_d)

$$Z(pu) = \frac{I_{FL} Z(\Omega)}{E}$$

$$\text{jadi } Z(\Omega) = \frac{E \cdot Z(pu)}{I_{FL}}$$

I_{FL} = arus beban penuh atau arus rated

$$\begin{aligned} I_{se} &= \frac{E}{Z(\Omega)} \\ &= \frac{E \cdot I_{FL}}{E \cdot Z(pu)} = \frac{I_{FL}}{Z(pu)} \end{aligned}$$

Volt Ampere hubung singkat tiga fase :

$$\begin{aligned} &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{se} = \frac{\sqrt{3} \cdot V I_{FL}}{Z(pu)} \\ &= \frac{\text{Base Volt Ampere}}{Z(pu)} \end{aligned}$$

Contoh:

Sebuah busbar 11,8 kV disuplay dari tiga generator.
Sinkron yg mempunyai Rating sbb:

$$G_1 \rightarrow 20 \text{ MVA}; X' = 0,08 \text{ pu}$$

$$G_2 \rightarrow 60 \text{ MVA}; X' = 0,1 \text{ pu}$$

$$G_3 \rightarrow 20 \text{ MVA}; X' = 0,09 \text{ pu}$$

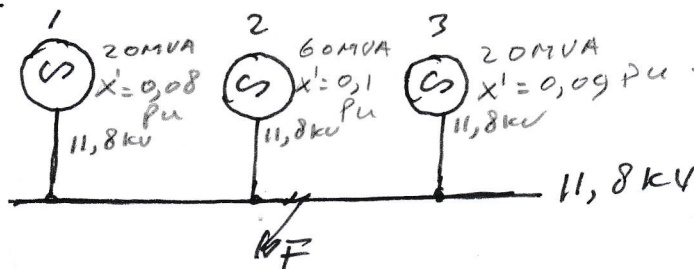
Dipilih tegangan dasar 11,8 kV dan MVA dasar 60 MVA
dan Resistansi diabaikan.
Jika terjadi gangguan hubung singkat simetris tiga fase
pada busbar.

Hitung:

a) Arus hubung singkat.

b) MVA hubung singkat.

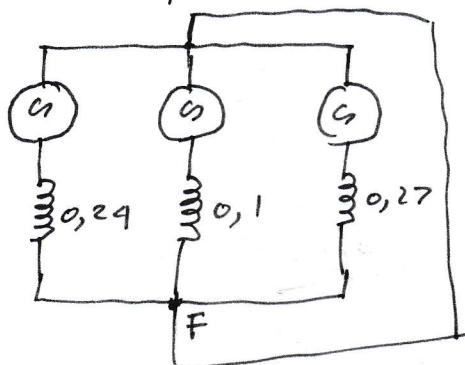
Jawab:

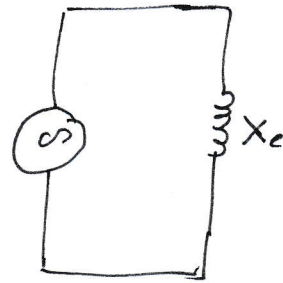
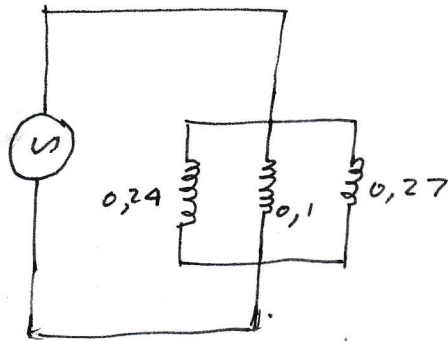


$$G_1 \rightarrow X' = \frac{\text{MVA}_B}{\text{MVA}} \cdot Z(\text{pu}) = \frac{60}{20} \cdot 0,08 = 0,24 \text{ pu}$$

$$G_2 \rightarrow X' = \frac{\text{MVA}_B}{\text{MVA}} \cdot Z(\text{pu}) = \frac{60}{60} \cdot 0,1 = 0,1 \text{ pu}$$

$$G_3 \rightarrow X' = \frac{\text{MVA}_B}{\text{MVA}} \cdot Z(\text{pu}) = \frac{60}{20} \cdot 0,09 = 0,27 \text{ pu}$$





$$X_e = X_{\text{ekivalen}}$$

$$\frac{1}{X_e} = \frac{1}{0,24} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,27} \rightarrow X_e = \frac{1}{\frac{1}{0,24} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,27}}$$

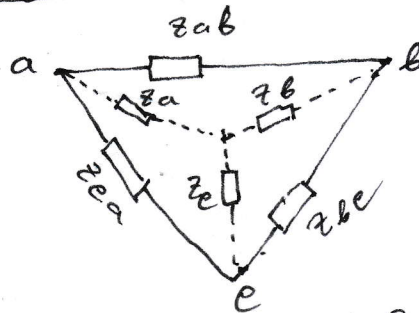
$$X_e = \frac{1}{\frac{1}{0,24} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,27}} = 0,054 \text{ Pu}$$

$$\text{MVA busbus ringrat} = \frac{60}{0,054} = 1111 \text{ MVA} \rightarrow \frac{\text{MVA}_B}{Z(\text{Pu})}$$

$$\text{Arus busbus ringrat: } \frac{1111 \cdot 10^6 \cdot (\text{VA})}{\sqrt{3} \cdot 11,8 \cdot 1000} = 59.300 \text{ Amp}$$

$$I_{sc} = \frac{1111 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 11,800} = 59.300 \text{ Amp} \rightarrow I_{sc} = \frac{\text{MVA busbus ringrat}}{\sqrt{3} \cdot \text{kV}}$$

Rumus Sambungan Transformator Δ -Y dan Y- Δ



$$\text{Dari } \Delta \text{ ke Y} \rightarrow Z_a = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

$$Z_b = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

$$Z_c = \frac{Z_{bc} \cdot Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}}$$

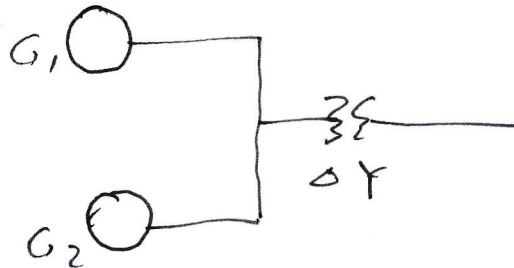
$$\text{Dari Y ke } \Delta \rightarrow Z_{ab} = Z_a + Z_c + \frac{Z_a \cdot Z_c}{Z_b}$$

$$Z_{bc} = Z_b + Z_c + \frac{Z_b \cdot Z_c}{Z_a}$$

$$Z_{ca} = Z_c + Z_a + \frac{Z_c \cdot Z_a}{Z_b}$$

Contoh:

Dua buah generator dihubungkan paralel pada sisi tegangan rendah trafo $\Delta-Y$, tiga fase.



$G_1 \rightarrow 50.000 \text{ kVA}, 13,8 \text{ kV}, X_d'' = 25\%$ (Real subperalihan)

$G_2 \rightarrow 25.000 \text{ kVA}, 13,8 \text{ kV}, \text{Real subperalihan } X_d'' = 25\%$

Transf $\rightarrow 75.000 \text{ kVA}, 13,8 \Delta / 69 \text{ Y kV}, X = 10\%$

Sebelum terjadi gangguan, tegangan pada sisi tegangan tinggi trafo adalah 66 kV , trafo tidak di bebani dan tidak ada arus berputar diantara generator. jika terjadi gangguan hubung singkat tiga fase simetris pada sisi tegangan tinggi trafo, dan dipilih tegangan dasar 69 kV pada sisi tegangan tinggi, kVA dasar 75.000 kVA dan tegangan dasar pada sisi tegangan rendah $13,8 \text{ kV}$.

Hitung:

Arus subperalihan (I'') dari masing-masing generator.

Jawab:

Generator 1:

$$X_d'' = 0,25 \frac{75.000}{50.000} = 0,375 \text{ pu} \rightarrow X\% \cdot \frac{\text{kVA}_B}{\text{kVA}_{\text{Gen}}}$$

$$E_{g1} = \frac{66}{69} = 0,957 \text{ pu} \rightarrow \frac{\text{kV}}{\text{kV}_B}$$

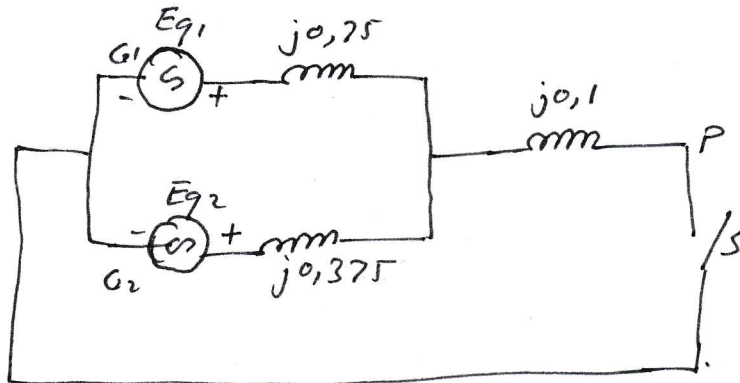
Generator 2:

$$X_d'' = 0,25 \cdot \frac{75000}{25000} = 0,750 \text{ pu} \rightarrow X\% \cdot \frac{\text{KVAE}}{\text{KVA Generator}}$$

$$E_{g2} = \frac{66}{69} = 0,957 \text{ pu} \rightarrow \frac{\text{KV}}{\text{KV}_6}$$

Transformator:

$$X = 0,10 \text{ pu}$$



Reaktansi sub peralihan ~~Paralel~~ divalungya:

$$X_c = \frac{0,375 \cdot 0,75}{0,375 + 0,75} = 0,25 \text{ pu}$$

Arus hubung singkat sub peralihan (I'')

$$I'' = \frac{0,957}{j0,25 + j0,10} = -j2,735 \text{ pu}$$

Tegangan pada sisi Δ pada transformator:

$$(-j2,735)(j0,10) = 0,2735 \text{ pu}$$

Arus sub peralihan hubung singkat dari G1 dan G2:

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

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

Dalam Ampere: $I_1'' = 1,823 \cdot \frac{75.000}{\sqrt{3} \cdot 13,8} = 5720 \text{ Amp}$

$$I_2'' = 0,912 \cdot \frac{75.000}{\sqrt{3} \cdot 13,8} = 2860 \text{ Amp}$$

Mempelajari pengoperasian pada sistem tenaga yang paling utama adalah :

1. Studi ^{aliran} Beban ~~Arus~~, yang menghasilkan beban didalam tenaga aktif yaitu P, Tenaga reaktif yaitu Q, tegangan dengan fase pergeseran (dengan mengacu pada tegangan ^{bus} ~~saya bus~~), dan arus pada masing-masing saluran, penghubung-antar, dan pada busbar busbar di dalam sistemnya.
2. Studi ^{hubung singkat} ~~sirkuit aliran listrik terputus~~ adalah membantu dalam mencari arus-arus yang ada pada bagian-bagian sistem dibawah sirkuit-pendek yang berbeda dan dibawah kondisi-kondisi yang salah. Studi-studi ^{hubung singkat} arus pendek juga menolong dalam mendesain kapasitas-kapasitas ^{peralatan} ~~sirkuit pemecah~~ dan ~~na~~ relay susunan-susunan untuk pengoperasian saluran-saluran dan peralatan-peralatannya di dalam sistem(jaringan)nya.
3. Studi stabilitas sistem tenaga, membantu menentukan stabilitas pada sistem yaitu beban maksimum, dimana dapat mengambil dengan aman dan efek-efek dari operasi pada pengubahan saluran yaitu beban dan kesalahan-kesalahan pada saluran.
4. Studi sistem proteksi menunjukkan satu tipe dari proteksi yang digunakan pada sistem untuk mengoperasikan secara aman dan tidak ada penghalangnya.

Studi ini membantu didalam perencanaan sistem tenaga, operasi sistem yang ekonomis, pengoptimalan beban dan kondisi-kondisi kerja, perluasan dan desain sistem untuk menyesuaikan dengan peralatan-peralatan yang tersedia.

Kita akan mempelajari prinsip-prinsip yang rumit pada studi ^{aliran} beban ~~arus~~, sirkuit aliran listrik ^{hubung singkat} ~~terputus~~, dan stabilitas sistem sebagaimana semuanya diperlukan untuk pertimbangan desain sistem tenaga.