

PENGARUH TAHANAN ROTOR PADA KINERJA MOTOR SINKRON

Birowo

Dosen Teknik Elektro, Universitas Gajayana, Malang
E-mail: iksanul@yahoo.com.

ABSTRAK

Perubahan gangguan yang terjadi pada kondisi kinerja tidak normal pada tahanan rotor motor sinkron maka suatu mesin akan memberikan respon gangguan tertentu. Untuk melakukan analisis respon pada kondisi tersebut dibutuhkan suatu model matematis dari system. Dengan menggunakan model matlab dan Simulink motor sinkron pada system mesin dalam koordinat d-q, maka respon dari masing-masing mesin telah dapat disimulasi dengan baik, sehingga pengaruh pd kecepatan, torsi, dan arus rotor serta stator dapat diamati dengan baik, sehingga pencegahan yang diperlukan dapat dilakukan.

Kata kunci: pemodelan, motor sinkron, tahanan rotor.

1. PENDAHULUAN

Pada kinerja langsung motor sinkron tipe salient pole, kecepatan rotor akan tetap, dari keadaan diam, hingga mencapai kecepatan melebihi nominal, bila tiba-tiba switch ditutup sehingga motor mendapatkan tegangan nominal, pada frequency sumber dan pada keadaan beban nol. Pada kebanyakan yang terjadi di dermaga peti kemas atau pada pemakaian kecil, pengaruh tahanan stator dari motor sinkron dalam keadaan normal, diikuti oleh turunnya tegangan dan naiknya arus motor tetap sama dengan arus nominal. Respon yang terjadi dapat dipelajari dari model motor sinkron dalam model d-q. Motor sinkron dalam model d-q merupakan model yang tidak linier, sehingga untuk mendapatkan respon dalam keadaan kinerja normal pada beban tidak stabil sangat sulit sekali. Karena itu akan digunakan model matlab/simulink untuk melihat respon tersebut. Begitu juga untuk mendapatkan kinerja dalam keadaan abnormal akan digunakan model matlab/simulink.

Dalam makalah ini akan dibahas suatu respon dari motor sinkron pada beban krane dengan pengaruh tahanan stator yang menjalani kinerja secara on-line dalam keadaan normal. Keadaan normal ini adalah keadaan dimana switch yang dipakai untuk menghubungkan bus dan motor sinkron menutupnya tidak bersamaan. Kontak dari fasa b mengalami delay sebesar 0.1 detik dibandingkan dengan kontak fasa yang lain. Untuk melihat respon dari kejadian ini digunakan model dengan Matlab/ Simulink.

2. MODEL MOTOR SINKRON DALAM D-Q

Model matematis dari motor sinkron dalam koordinat d-q dengan tegangan suplai yang simetri, dinyatakan dalam persamaan tegangan sebagai berikut:

$$\varphi_{qs} = \omega_b \cdot \lambda_{qs} = X_{qs} \cdot i_{qs} + X_{mq} \cdot i_{qr} \quad [1]$$

$$\varphi_{ds} = \omega_b \cdot \lambda_{ds} = X_{ds} \cdot i_{ds} + X_{md} \cdot i_{dr} + X_{md} \cdot i_{fr} \quad [2]$$

$$\varphi'_{qr} = \omega_b \cdot \lambda'_{qr} = X_{mq} \cdot i_{qs} + X'_{qr} \cdot i'_{qr} \quad [3]$$

$$\varphi'_{dr} = \omega_b \cdot \lambda'_{dr} = X_{md} \cdot i_{ds} + X'_{dr} \cdot i'_{dr} + X_{md} \cdot i'_{fr} \quad [4]$$

$$\varphi'_{fr} = \omega_b \cdot \lambda'_{dr} = X_{md} \cdot i_{ds} + X_{md} \cdot i'_{dr} + X'_{fr} \cdot i'_{fr} \quad [5]$$

Persamaan untuk fluksi adalah

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot (\lambda_{ds} \cdot i_{qs} - \lambda_{qs} \cdot i_{ds}) \quad [6]$$

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\omega_b} \cdot [X_{md} (i'_{fr} + i'_{dr}) i_{qs} - X_{mq} i_{qr} i_{ds} + (X_{ds} - X_{qs}) i_{ds} i_{qs}] \quad [7]$$

$$1) X_{md} \cdot (i_{fr} + i_{dr}) i_{qs} \quad \text{Torsi damper-d + belitan}$$

$$2) X_{mq} \cdot i_{qr} \cdot i_{ds} \quad \text{Torsi damper-q}$$

$$3) (X_{ds} - X_{qs}) i_{ds} \cdot i_{qs} \quad \text{Torsi reluktansi}$$

Torsi Steady State:

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \left[\frac{X_{md}}{\omega_b} \cdot I_f \cdot I_{qs} + \frac{X_{ds} - X_{qs}}{\omega_b} \cdot I_{ds} \cdot I'_{qs} \right] \quad [8]$$

Fluks Stator Linkage:

$$\varphi_{qs} = X_{qs} \cdot i_{qs} \quad [9]$$

$$\varphi_{ds} = X_{ds} \cdot I_{ds} + X_{md} \cdot I_f \quad [10]$$

Komponen Tegangan Stator:

$$V_{qs} = r_s \cdot I_{qs} + \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot (X_{ds} \cdot I_{ds} + X_{md} \cdot I_f) \quad [11]$$

$$V_{ds} = r_s \cdot I_{ds} - \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot X_{qs} \cdot I_{qs} \quad [12]$$

Komponen Tegangan:

$$E = \frac{\omega_e}{\omega_b} \cdot X_{md} \cdot I_f \quad [13]$$

Persamaan Torsi:

$$\frac{X_{ds} - X_{qs}}{\omega_b} \cdot I_{ds} \cdot I_{qs} = \frac{X_{ds} - X_{qs}}{\omega_b} \cdot |I_{qds}|^2 \cdot \text{Cos } \gamma \cdot \text{Sin } \gamma \quad [14]$$

Torsi reluktansi menunjukkan:

$$\frac{X_{md}}{\omega_b} \cdot I_f \cdot I_{qs} = \frac{E}{\omega_e} \cdot |I_{qds}| \cdot \text{Cos } \gamma \quad [15]$$

Rangkaian damper sumbu-q

$$r_{qr}' \cdot i_{qr}' + \frac{P}{\omega_b} \cdot \phi_{qr}' = 0 \quad \phi_{qr}' = X_{mq} \cdot i_{qs}' + X_{qr}' \cdot i_{qr}' \quad [16]$$

Rangkaian damper sumbu-d

$$r_{dr}' \cdot i_{dr}' + \frac{P}{\omega_b} \cdot \phi_{dr}' = 0 \quad \phi_{dr}' = X_{md} \cdot i_{fr}' + X_{dr}' \cdot i_{dr}' \quad [17]$$

Rangkaian Medan:

$$r_{fr}' \cdot i_{fr}' + \frac{P}{\omega_b} \cdot \phi_{fr}' = v_{fr}' \quad \phi_{fr}' = X_{md} \cdot i_{dr}' + X_{fr}' \cdot i_{fr}' \quad [18]$$

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{X_{md}}{\omega_b} \cdot (i_{fr}' + i_{dr}') \cdot i_{qs}' \quad [19]$$

$$i_{dr}' = 0$$

dan

$$i_{fr}' = v_{fr}' / r_{fr}' = I_f \quad [20]$$

$$r_{qr}' \cdot i_{qr}' + \frac{P}{\omega_b} \cdot (X_{qr}' \cdot i_{qr}') = -\frac{P}{\omega_b} \cdot X_{mq} \cdot i_{qs}' \quad [21]$$

$$i_{qr}' = \frac{-L_{mq} \cdot P}{r_{qr}' + L_{qr}' \cdot P} \cdot i_{qs}' \quad [22]$$

$$\Delta i_{qr}'(0) = -\frac{L_{mq}}{L_{qr}'} \cdot \Delta i_{qs}'(0) \quad [23]$$

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot L_{md} \cdot I_f \cdot i_{qs}' \quad [24]$$

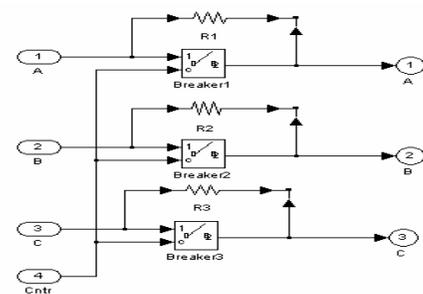
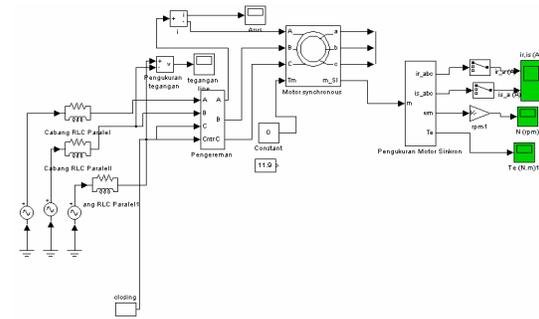
$$i_{dr}' = \frac{-L_{md} \cdot P}{r_{dr}' + L_{dr}' \cdot P} \cdot I_f \quad [25]$$

$$i_{ds}' = I_{ds} \quad [26]$$

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot [L_{md} \cdot (i_{fr}' + i_{dr}') \cdot i_{qs}' - L_{mq} \cdot i_{qr}' \cdot I_{ds}' + (L_{ds}' - L_{qs}') \cdot i_{qs}' \cdot I_{ds}'] \quad [27]$$

3. MODEL MOTOR SINKRON DALAM MATLAB//SIMULINK

Model untuk motor sinkron dengan sumber tegangan sinusoidal yang simetri dalam Matlab//Simulink terlihat pada Gambar 1. Dalam model tersebut motor sinkron dihubungkan ke sumber melalui suatu breaker, dimana waktu penyalan untuk masing-masing kontak fasa dapat diatur. Bila waktu penyalan untuk masing-masing kontak fasa dibuat sama, maka diperoleh kondisi kinerja yang normal. Namun bila waktu kontak dari salah satu fasa diperlambat, maka diperoleh kondisi kinerja yang tidak normal.



Gambar 1. Rangkaian Pengereman Motor Sinkron Tanpa Controller

4. DATA MESIN

Untuk melaksanakan simulasi terhadap respon dari motor-motor sinkron bila terjadi perubahan tahanan rotor sesaat pada bus, digunakan motor-motor dengan data yang tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Motor Sinkron

Data Motor Sinkron	
H.P	380
Volt	220
R _s (Ohm)	0,02
X _{ls} (H)	0,0355
X _m (H)	2,225
R _r (Ohm)	0,0455
X _{rs} (H)	0,061
H (kg.m ²)	0,722

5. HASIL SIMULASI

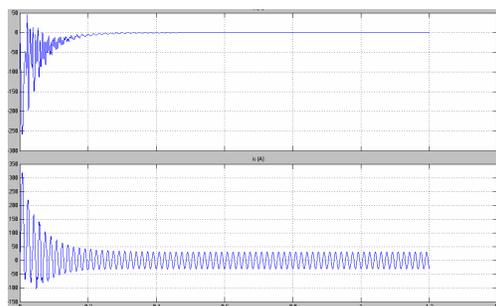
Hasil simulasi dari kinerja motor sinkron pada saat kerja dapat dibagi dalam dua hal:

- Untuk kondisi normal (semua kontak dari breaker on dalam waktu yang bersamaan). Hasil simulasi untuk torsi, kecepatan, dan tegangan line sebagai fungsi waktu terlihat pada Gambar 2. Hasil simulasi untuk arus stator dan rotor dari motor sinkron untuk keadaan normal terlihat pada Gambar 3.
- Untuk kondisi normal (kontak dari breaker fasa b terlambat on dalam waktu 0,1 detik dibandingkan dengan fasa yang lain). Hasil simulasi untuk torsi, kecepatan, dan tegangan line sebagai fungsi waktu terlihat pada Gambar 4. Hasil simulasi untuk arus stator dari motor sinkron untuk keadaan normal terlihat pada Gambar 2 s/d 4. Untuk arus stator dan rotor hanya digambarkan salah satu fasa saja karena kondisinya simetri.

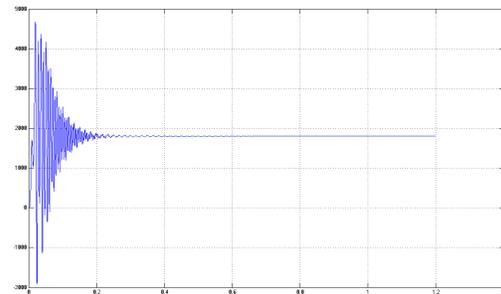
6. ANALISIS

Dari hasil simulasi dapat dilakukan analisis sebagai berikut:

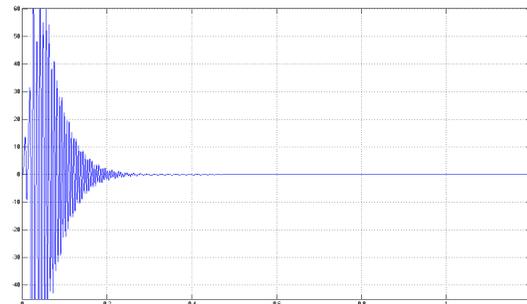
- Seperi diuraikan diatas, dapat dianggap bahwa motor sinkron mengalami perubahan tahanan stator tidak simetri selama 0,1 detik. Perubahan tidak simetri ini merupakan gangguan berupa terbukanya fasa b. Dalam hal ini motor sinkron bekerja sebagai motor dc, sehingga medan yang terjadi merupakan medan yang berpulsasi. Dalam kondisi ini torsi tidak bias terbentuk selama perubahan pada stator.
- Pada saat terjadi perubahan tahanan stator yang normal, maka arus mula stator menjadi berubah kurang lebih 3 cycle dan arus rotor pada motor sinkron pada keadaan normal berlangsung tetap, sedangkan pada keadaan abnormal bisa terjadi selama kurang lebih sepuluh cycle.
- Kondisi arus stator ini tentunya akan dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan pada rotor, dan dapat merusak motor. Karena bila terjadi kondisi ini, diperlakukan suatu pengamanan yang memadai.



Gambar 2. Arus stator dan rotor pada motor sinkron



Gambar 3. Kecepatan Motor Sinkron



Gambar 4. Torka Motor Sinkron

7. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi, maka model yang dikembangkan untuk motor sinkron dalam Matlab//Simulink dapat dipakai untuk mengetahui respon yang baik. Karena itu dengan studi semacam ini kemungkinan yang jelek dapat dicegah dengan memasang pengamanan yang sesuai.

VARIABEL YANG DIGUNAKAN

- v_{qs} : Komp. tegangan kump. stator pada sumbu q.
- v_{ds} : Komp. tegangan kump. stator pada sumbu d.
- v'_{qr} : Komp. tegangan kump. rotor pada sumbu q dinyatakan dalam sisi stator.
- v'_{dr} : Komp. tegangan kump. rotor pada sumbu d dinyatakan dalam sisi stator.
- i_{qs} : Komp. arus kump. stator pada sumbu q.
- i_{ds} : Komp. arus kump. stator pada sumbu d.
- i'_{qr} : Komp. arus kump. rotor pada sumbu q dinyatakan dalam sisi stator.
- i'_{dr} : Komp. arus kump. rotor pada sumbu d dinyatakan dalam sisi stator.
- r_s : tahanan kump. stator.
- r'_r : tahanan kump. rotor dinyatakan dalam sisi stator.
- λ_{qs} : Komp. fluksi yang dicakup kump. stator pada sumbu q.
- λ_{ds} : Komp. fluksi yang dicakup kump. stator pada sumbu d.
- λ'_{qr} : Komp. fluksi yang dicakup kump. rotor pada sumbu q dinyatakan dalam sisi stator.
- λ'_{dr} : Komp. fluksi yang dicakup kump. rotor pada sumbu d dinyatakan dalam sisi stator.
- L_s : Sinkron kump. stator.

- L'_r : Sinkron kump. rotor dinyatakan dalam sisi stator.
 L_m : Sinkron mutual antara kump. stator dan rotor.
 L_{ℓ_s} : Sinkron bocor pada kump. stator.
 L'_{ℓ_r} : Sinkron bocor pada kump. rotor dinyatakan dalam sisi stator.
 ω_e : kecepatan sinkron dari sumbu dqn.
 ω_r : kecepatan rotor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. H. Park, *Two Reaction Theory of Synchronous Machines – Generalized Method of Analysis – Part I*, IEEE Trans., Vol. 48, July 1929, pp. 751-755.
- [2] H. C. Stanley, *An Analysis of the Induction Motor*, IEEE Trans., Vol. 57 (Supplement), 1938, pp. 751-755.
- [3] G. Kron, *Rquivalent Circuits of Electrical Machinery*, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y. 1951.
- [4] D. S. Brereton, D. G. Lewis, and C. G. Young, *Representation of Induction Motor Loads during Power System Stability Studies*, IEEE Trans., Vol. 76, August 1957, pp. 451-461.
- [5] P. C. Krouse and C. G. Thomas, *Simulation of Symmetrical Induction Machinery*, IEEE Trans Power Apparatus and Systems, Vol. 84, November 1965, pp. 1038-1053.
- [6] Bose B. K., *Adjustable Speed AC Drive*, IEEE Press, 1981.
- [7] Lipo T. A., *Dynamics And Control of AC Drives*, Class Notes, University of Wisconsin, 1984.
- [8] Krause P. C., Nozari F., and Skvarenina T.L., *The Theory of Neglecting Stator Transients*, IEEE Transaction on Power Apparatus and System, vol. PAS-98, No. 1 Jan/Feb. 1979.
- [9] Paul C. Krause, *Analysis of Electric Machinery*, Mc. Graw Hill Inc., New York, 1987.
- [10] Novotny D.W., *AC Machines*, Class Notes University of Wisconsin-Madison, 1979.
- [11] Soebagio, *Simulasi Mesin induksi dengan Sumbu D-Q*, Laporan Penelitian, ITS, 1989.