

Teknik Tenaga Listrik(FTG2J2)

Bagian 9: Motor Sinkron

Ahmad Qurthobi, MT.

Teknik Fisika
Telkom University

Outline

Pendahuluan

Konstruksi

Kondisi Starting

Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Fasor

Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Fasor

Kondisi Tanpa Beban

Kondisi Berbeban

Daya dan Torsi

Torsi Reluktansi

Kondisi Tanpa Beban

Kondisi Berbeban

Rugi-Rugi dan Efisiensi

Nilai Faktor Daya

Menghentikan Motor Sinkron

Pendahuluan

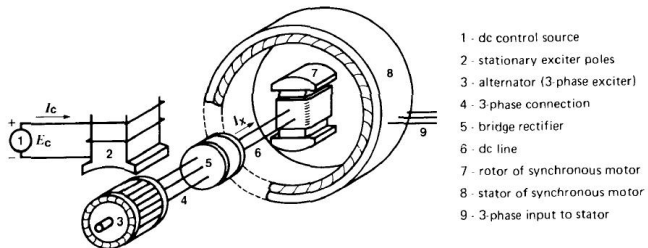
- ▶ Mengubah energi listrik AC menjadi energi gerak rotasi
- ▶ Berputar secara sinkron dengan putaran medan
- ▶ Kecepatan putar terikat dengan frekuensi masukan

Konstruksi

- ▶ Konstruksi motor sinkron (lihat Gambar 1) identik dengan generator sinkron tipe *salient-pole*
 - ▶ stator
 - ▶ Terdapat inti magnetik yang ter-*slot*
 - ▶ Kumbaran identik dengan motor induksi 3 fasa
 - ▶ Rotor
 - ▶ Memiliki kumpulan *salient-pole* yang di eksitasi arus DC
 - ▶ Terdapat kumpulan *squirrel-cage* yang serupa dengan motor induksi 3 fasa
 - ▶ Stator dan rotor memiliki jumlah *pole* yang sama
- ▶ Kecepatan sinkron dari motor

$$n = 120 \frac{f}{p} \quad (1)$$

Konstruksi



Gambar 1 : Contoh diagram skematik motor sinkron

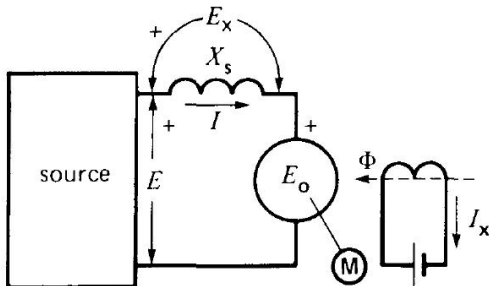
Kondisi *Starting*

- ▶ Motor sinkron tidak dapat *start* sendiri
 - ▶ Rotor umumnya dilengkapi dengan kumparan *squirrel-cage*
- ▶ Tahapan starting
 1. Ketika stator terkoneksi dengan jalur 3 fasa, motor berakselerasi sampai \leq kecepatan sinkron
 2. Eksitasi DC diberikan pada saat periode starting
 3. Fluki rotasi terbentuk pada stator
 4. Karena kumparan rotor memiliki banyak lilitan, muncul tegangan induksi yang besar pada *slip-ring*
 5. Tegangan komparan rotor mengecil pada saat kecepatan mendekati kecepatan sinkron

Rangkaian Ekivalen dan Diagram Fasor

Rangkaian Ekivalen

Gambar 2 merupakan rangkaian ekivalen motor sinkron pada salah satu fasa dari motor yang terkoneksi Y



Gambar 2 : Rangkaian ekivalen motor sinkron

Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Fasor

Kondisi Tanpa Beban

Pada saat motor dalam kondisi tanpa beban dan kecepatan putar sama dengan kecepatan sinkron

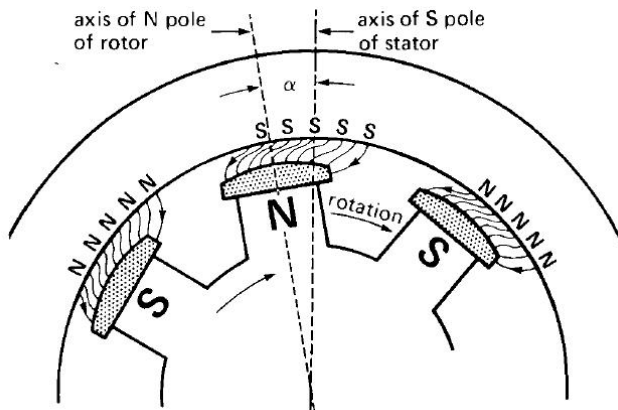
▶ $E_o = E$

▶ $I = 0$



Gambar 3 : Diagram fasor E_o dan E pada kondisi tanpa beban

Kondisi Berbeban



Gambar 4 : Pergeseran posisi pole pada rotor pada saat diberikan beban mekanik

Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Fasor

Kondisi Berbeban

- ▶ Pergeseran mekanik sebesar α pada rotor menimbulkan perbedaan fasa sebesar δ antara E_o dan E
- ▶ Perbedaan fasa pada E_o dan E memunculkan nilai E_x dan X_S

$$E_x = E - E_o \quad (2)$$

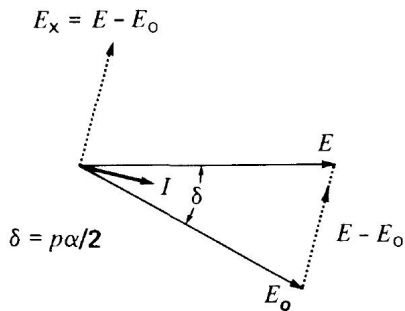
$$E_x = jIX_S \quad (3)$$

$$X_S = \frac{E_x}{jI} \quad (4)$$

- ▶ Hubungan antara sudut mekanik α dan sudut elektrik δ

$$\delta = \frac{p\alpha}{2} \quad (5)$$

Kondisi Berbeban



Gambar 5 : Diagram fasor E_0 dan E pada kondisi berbeban

Daya dan Torsi

- ▶ Pada motor sinkron, rugi-rugi I^2R sepenuhnya di-supply oleh sumber DC
- ▶ Daya yang berhasil ditransmisi melewati celah udara menjadi daya mekanik

$$P = \frac{E_o E}{X_S} \sin \delta \quad (6)$$

$$P_{max} = \frac{E_o E}{X_S} \quad (7)$$

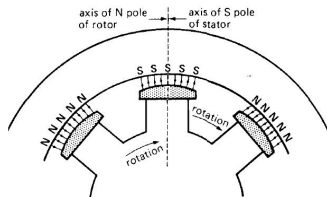
- ▶ Torsi yang dihasilkan

$$T = \frac{60P}{2\pi n} \quad (8)$$

Torsi Reluktansi

Kondisi Tanpa Beban

- ▶ Pada kondisi tanpa beban, motor akan tetap berputar pada kecepatan sinkron meskipun arus eksitasi dikurangi perlahan-lahan sampai nol
- ▶ Fluksi yang dihasilkan oleh stator lebih memilih untuk melewati gap antara *salient-pole* dan stator daripada gap diantara *pole*
- ▶ Dengan kata lain, reluktansi magnetik paling kecil berada pada sudut pole

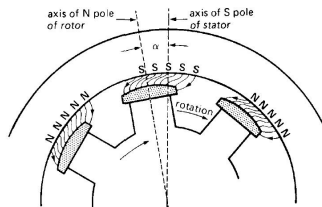


Gambar 6 : Fluksi yang dihasilkan stator mengalir disekitar celah udara melalui *salient-pole*

Torsi Reluktansi

Kondisi Berbeban

- ▶ Ketika beban mekanik diletakkan pada *shaft*, pole pada rotor akan mundur dibelakang kutub stator dan fluksi stator akan berbentuk seperti pada Gambar 7
- ▶ Torsi reluktansi dapat terbentuk tanpa eksitasi DC
- ▶ Torsi reluktansi tersebut akan mendekati nol saat pole pada rotor bergerak mendekati pole pada stator

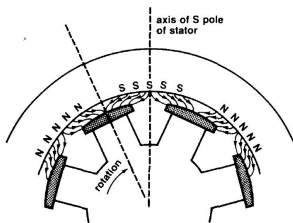


Gambar 7 : Salient-pole tertarik oleh pole pada stator dan menghasilkan torsi reluktansi

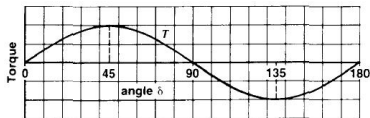
Torsi Reluktansi

Kondisi Berbeban

- ▶ Torsi reluktansi akan bernilai nol pada saat dimana torsi mesin berada pada nilai maksimum atau $\delta = 90^\circ$ (Gambar 8)
- ▶ Torsi reluktansi akan bernilai positif maksimum pada saat $\delta = 45^\circ$ dan negatif maksimum pada saat $\delta = 135^\circ$ (Gambar 9)



Gambar 8 : Posisi pole pada saat torsi reluktansi bernilai nol



Gambar 9 : Hubungan torsi reluktansi terhadap sudut torsi

Rugi-Rugi dan Efisiensi

Tabel 1 : Karakteristik 2 buah motor sinkron

Nameplate Rating	Unit	Motor A	Motor B
power	hp	2000	200
power	kW	1492	149
line voltage	V	4000	440
line current	A	220	208
speed	rpm	1800	900
frequency	Hz	60	60
phases		3	3
LOAD CHARACTERISTIC			
power factor		1.0	1.0
pull-out torque	pu	1.4	2.2
torque angle at full-load	deg	36.7	27
connection		wye	wye
dc exciter power	kW	4.2	2.1
dc exciter voltage	V	125	125
air gap	mm	10	6

Rugi-Rugi dan Efisiensi

Tabel 2 : Karakteristik 2 buah motor sinkron (lanjutan)

Nameplate Rating	Unit	Motor A	Motor B
LOSSES			
windage and friction	kW	8.5	1
stator core loss	kW	11	2
stray losses	kW	4	1
stator I^2R	kW	10.3	3.5
rotor I^2R	kW	4.2	2
total losses	kW	38	9.5
efficiency	%	97.5	94.0
IMPEDANCES AND VOLTAGES (line-to-neutral values)			
stator X_S	Ω	7.77	0.62
stator resistance R_S	Ω	0.0638	0.0262
ratio X_S/R_S		122	23
phase voltage E	V	2309	254
phase voltage E_o	V	2873	285

Rugi-Rugi dan Efisiensi

- ▶ Tabel 1 dan 2 menunjukkan karakteristik dari 2 buah motor sinkron dimana Motor A (2000 hp) memiliki daya 10 kali Motor B (200 hp)
- ▶ Beberapa hal yang perlu diperhatikan
 1. Sudut torsi pada beban penuh berada diantara 27° dan 37°
 2. Daya eksitasi yang diperlukan Motor A (4.2 kW) hanya dua kali yang diperlukan Motor B (2.1 kW)
 3. Rugi-rugi total pada Motor A (38 kW) hanya empat kali Motor B (9.5 kW)
 4. Reaktansi sinkron per fasa X_S jauh lebih besar dari resistansi pada kumparan stator

Nilai Faktor Daya

- ▶ Gambar 10 adalah diagram skematik dari motor dengan faktor daya unity yang beroperasi pada beban penuh
- ▶ E_{ab} adalah tegangan fasa-netral dan I_p adalah arus saluran
- ▶ Daya aktif yang diserap per fasa

$$P = E_{ab}I_p \quad (9)$$

- ▶ Daya aktif yang diserap sama dengan daya mekanik pada motor



Gambar 10 : Motor sinkron dengan faktor daya unity dan diagram fasor pada beban penuh

Nilai Faktor Daya

- ▶ Gambar 11 menunjukkan motor dengan faktor daya 0.8 yang beroperasi pada beban penuh
- ▶ Arus saluran I_s mendahului E_{ab} sebesar $\arccos 0.8 = 36.7^\circ$
- ▶ Arus terbagi menjadi dua komponen

$$I_p = 0.8I_s \quad (10)$$

$$I_q = 0.6I_s \quad (11)$$

- ▶ Daya aktif P dan reaktif Q yang diberikan motor adalah

$$P = E_{ab}I_p = 0.8E_{ab}I_s \quad (12)$$

$$Q = E_{ab}I_q = 0.6E_{ab}I_s \quad (13)$$

Nilai Faktor Daya



Gambar 11 : Motor sinkron dengan faktor daya 0.8 dan diagram fasor pada beban penuh

Menghentikan Motor Sinkron

- ▶ Motor sinkron berukuran besar memerlukan waktu beberapa jam untuk berhenti setelah diputus dari saluran
- ▶ Waktu yang lama tersebut terjadi sebagai pengaruh inersia dan beban
- ▶ Untuk mempersingkat waktu berhenti, dilakukan beberapa metode
 1. Mempertahankan eksitasi DC pada kondisi penuh dengan menghubungkan singkat armature
 2. Mempertahankan eksitasi DC pada kondisi penuh dengan mengoneksikan armature pada tiga buah resistor eksternal
 3. Menerapkan pengereman mekanik