

PERFORMANSI MOTOR INDUKSI TIGA PHASA PADA KONDISI OPERASI SATU PHASA DALAM PERSPEKTIF NEURO FUZZY ANALISIS

I Made Sajayasa, I G Suputra Widharma, Kadek Amerta Yasa

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O.Box 1064 Tuban Badung - BALI
Phone:+62-361-701981, Fax: +62-361-701128

Abstrak

Motor induksi tiga phasa, secara umum digunakan pada industri-industri besar sebagai alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan beban. Salah satu jenis gangguan dapat terjadi pada operasi atau kerja motor induksi tiga phasa yaitu terbukanya salah satu phasa penghantar pada rangkaian catu daya motor induksi tiga phasa. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan kenaikan arus pada phasa normal yang dapat menimbulkan dan mengurangi kopel keluaran pada poros motor induksi tiga phasa. Panas yang timbul akibat peningkatan arus phasa yang sehat dapat menyebabkan kenaikan temperatur pada motor induksi tiga phasa.

Pada penelitian ini akan diamati perilaku motor induksi tiga phasa yang dioperasikan dengan dicatu sistem tiga phasa yang salah satu phasanya terganggu, antara lain perilaku arus, tegangan dan beban yang dikopel motor induksi tiga phasa yang disajikan melalui sistem pengendali *Neuro Fuzzy System* sebagai *observer*. Sistem pengemudian motor induksi disimulasikan dengan program komputer MatLab 6.1. Dari hasil simulasi diketahui bahwa sistem yang diusulkan memberikan performansi yang lebih baik daripada sistem kendali PI konvensional.

Kata kunci: motor induksi, Neuro Fuzzy, performansi

Abstract

Three phase induction motor is generally used in big company as a tool to change electric energy become mechanic one to move the load. One of fault in operation of three phase induction motor is being by one phase conductor that opened circuit in power supply of three phase induction motor. Condition like that can increase of current in normally phase that decreases of output couple in three phase induction motor axis. Heating that happened by increament good phase current can make inceament of temperature in three phase induction motor.

This research observes characteristics of three phase induction motor that operate by three phase system that one phase is being disturbance, such as characteristics of current, voltage, and load that coupled by three phase induction motor that presented by speed controller system using Neuro Fuzzy system as an observer. Induction motor drive system simulation is done using Matlab 6.1 program. The simulation results show the proposed system has better performances then conventional PI system.

Keywords: induction motor, Neuro Fuzzy, performance

1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga phasa secara umum digunakan pada industri-industri sebagai alat penggerak. Kesalahan satu jenis gangguan dapat terjadi operasi atau kerja mesin induksi tiga phasa yaitu terbukanya salah satu phasa penghantar pada rangkaian catu daya motor induksi tiga phasa. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan kenaikan arus pada phasa normal yang dapat menimbulkan dan mengurangi kopel keluaran pada poros motor induksi tiga phasa. mencapai 1.73 sampai dua kali dari besar arus pada kondisi normal.

Ditinjau dari lokasi terbukanya salah satu phasa penghantar pada rangkaian catu daya motor induksi

tiga phasa, maka kondisi ini dapat dibedakan menjadi beberapa lokasi yaitu :

- a. Pada sisi motor induksi tiga phasa
- b. Pada sisi primer transformator step down motor induksi tiga phasa.

Bila lokasi terbukanya salah satu phasa pada sisi motor induksi tiga phasa, maka pada dua phasa penghantar yang sehat akan menjadi $\sqrt{3}$ kali dari besarnya arus sebelum gangguan terjadi, dengan beda sudut phasa 180° .

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana perilaku motor induksi tiga phasa yang dioperasikan dengan dicatu system tiga phasa yang salah satu phasanya terganggu. Variabel yang akan

diteliti adalah: arus input, tegangan terminal, kopel (T), dan putaran (N)

Perilaku motor induksi tiga fasa yang beroperasi pada kondisi operasi satu fasa secara analisa theoretis akan dibandingkan dengan analisa hasil penelitian di Laboratorium Mesin–Mesin Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali. Lokasi gangguan diamati terjadi pada sisi primer transformator step down motor tiga fasa.

Data-data motor induksi tiga fasa :

Hubungan transformator step-down : Δ - Y

Tegangan : 220/380 V

Frekwensi : 50 Hz

Kapasitas : 4 KW

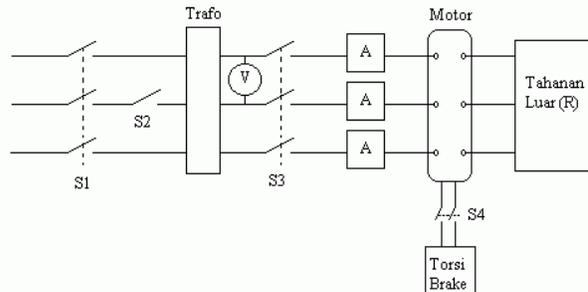
Arus : 17.1/9.9 A

Faktor Kerja : 0.8

Putaran : 1475 rpm

Data yang diamati adalah : arus, tegangan, kopel dan putaran

Dalam melakukan pengamatan dilakukan dengan mengatur tahanan luar motor induksi tiga fasa pada posisi maksimum. Selanjutnya switch S2 dimasukkan diikuti dengan S1, dan kemudian switch S3. Pengamatan dilakukan terhadap arus fasa IA, IB, IC, tegangan VAB, VAC, VBC, T Kopel dan putaran n untuk beban nol. Selanjutnya S2 dilepas lalu dilakukan pengamatan seperti pada langkah sebelumnya untuk beban nol. Kemudian S2 ditutup pada posisi tahanan R maksimum. Tahanan R diatur nilainya sehingga dihasilkan arus input motor induksi sesuai dengan diinginkan. Selanjutnya dilakukan pengamatan untuk keadaan berbeban.



Gambar 1. Rangkaian Pengamatan

Keterangan :

S1, S2, S3, S4 : Switch

V : Volt meter

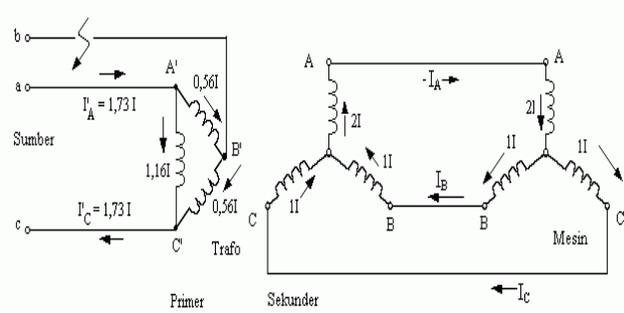
A : Ampere meter

R : Tahanan Variabel

2. METODE PENELITIAN

2.1. Mesin Satu Fasa

Apabila pada salah satu penghantar catu daya terjadi gangguan atau terbuka, rangkaian motor induksi tiga fasa digambarkan seperti Gambar 2 [1].



Gambar 2. Rangkaian Mesin dengan Satu Fasa Terganggu

2.2. Komponen Simetris

Metode komponen simetris adalah metode yang digunakan untuk menguraikan ketiga vector yang tidak seimbang atas tiga komponen urutan simetris, yaitu positif, negatif dan nol [2]

$$E_{c1} = e^{j240} E_{a1} = e E_{a2} \quad (1)$$

Dari gambar 3(a) dengan mengambil vector E_{a2} sebagai acuan maka vector E_{b2} dan E_{c2} dapat dinyatakan vector E_{a2} yaitu

$$E_{c2} = e^{j240} E_{a2} = e^2 E_{a2} \quad (2)$$

Untuk komponen urutan nol didapatkan hubungan $E_{a0} = E_{b0} = E_{c0}$ dengan vector E_{a0} sebagai acuan maka

$$\begin{aligned} E_{a0} &= E_{a0} \\ E_{b0} &= E_{a0} \\ E_{c0} &= E_{a0} \end{aligned} \quad (3)$$

Penggabungan dari ketiga komponen di atas merupakan besaran fasa yaitu besaran tegangan, besaran arus sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} E_a &= E_{a0} + E_{a1} + E_{a2} \\ E_b &= E_{b0} + E_{b1} + E_{b2} \\ E_c &= E_{c0} + E_{c1} + E_{c2} \end{aligned} \quad (4)$$

Huruf “a” digunakan untuk menandakan operator yang menyatakan perbedaan putaran 120° dengan arah berlawanan dengan jarum jam [3]. Sifat dari operator “a” adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= e^{j120} = 1 \angle 120^\circ = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ \\ &= 0.5 + j 0.866 \end{aligned} \quad (5)$$

2.3. Pemecahan Tiga Vektor ke dalam Komponen Simetris

Dengan menjumlahkan persamaan (4), di atas didapatkan :

$$E_{a0} = 1/3 (E_a + E_b + E_c) \quad (6)$$

E_{a0} merupakan urutan nol

$$E_{a1} = 1/3(E_a + a E_b + a^2 E_c) \quad (7)$$

$$E_{a2} = 1/3(E_a + a^2 E_b + a E_c) \quad (8)$$

E_{a2} adalah urutan negatif

Persamaan (6), (7) dan (8) disusun dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} Ea1 \\ Ea2 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 & Eb \\ 1 & a^2 & a & Ec \end{bmatrix} \quad (9)$$

Metode komponen simetris digunakan secara luas untuk analisa jaringan statis tidak setimbang dan dapat digunakan pada kondisi operasi tidak setimbang [3].

Daya input semu motor induksi tiga fase adalah:
 $S_{in} = \sqrt{3} V I$ (10)

Dengan
 S_{in} : Daya semu motor pada operasi normal
 V : Tegangan line
 I : Arus pada kondisi normal

Sedangkan untuk memperoleh daya input pada kondisi satu fasa

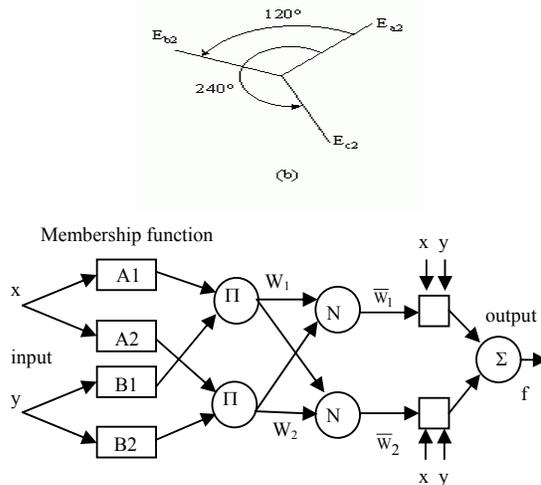
$$S_{in1\phi} = V_{1\phi} I_{1\phi}$$

$$S_{in1\phi} = S_{in}$$

2.4. Neuro Fuzzy System

Struktur jaringan neuro fuzzy ini terbagi menjadi lima lapis, yaitu: Pada lapis pertama terjadi proses fuzzifikasi, lapis kedua terjadi operasi perkalian sebagai implikasi fuzzy, lapis ketiga terjadi proses normalisasi, keempat dilakukan pembobotan atas hasil dari lapis sebelumnya, lapis kelima dilakukan proses defuzzifikasi nilai yang telah diproses pada lapis sebelumnya

Jaringan neuro fuzzy secara sederhana yang diberikan oleh Sugeno ditunjukkan pada Gambar 3[3].

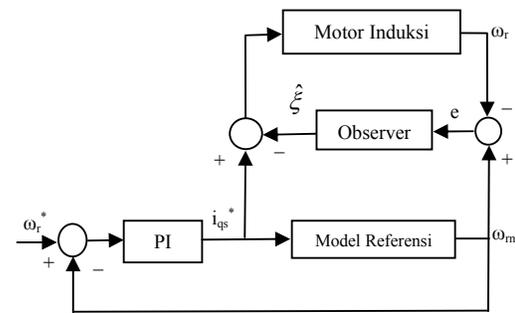


Gambar 3. Jaringan neuro fuzzy sugeno dua masukan satu keluaran

Gambar 4 menunjukkan blok diagram sistem kendali kecepatan motor induksi. Terdiri dari empat komponen yaitu pengendali putaran, model referensi, motor induksi dengan field-oriented control, dan observer.

Pengendali PI dan model referensi dirancang untuk kondisi yang diinginkan, tanpa gangguan

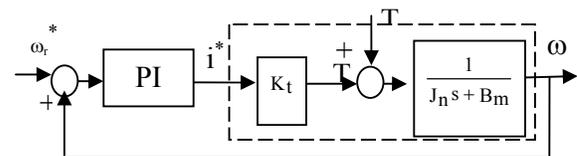
beban luar. Bila terjadi gangguan beban luar, atau terjadi perubahan beban, maka arus torsi command i_{qs}^* haruslah diperbaharui untuk menjaga agar performansi sistem tetap seperti semula. Arus torsi referensi diperbaharui dengan $(i_{qs}^* - \hat{\xi})$.



Gambar 4. Sistem kendali putaran motor induksi.

a. Model Referensi

Gambar 5 menunjukkan blok diagram sistem kendali putaran field-oriented motor induksi yang disederhanakan [3].



Gambar 5. Sistem kendali motor induksi

Torsi elektromagnetik yang dibangkitkan adalah:

$$T_e = K_t \cdot i_{qs}^*$$

$$K_t = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \frac{L_m^2}{L_r} \cdot i_{ds}^* \quad (11)$$

dimana:

- K_t = konstanta torsi
- i_{qs}^* = arus torsi referensi
- i_{ds}^* = arus fluksi referensi
- J_n = momen inersia
- B_m = koefisien redaman
- s = operator Laplace
- T_L = torsi gangguan beban luar

Dari Gambar 5 dengan parameter-parameter sistem dalam kondisi nominal dan tanpa gangguan beban luar atau $T_L = 0$, diperoleh persamaan berikut:

$$\dot{\omega}_r = -\frac{B_m}{J_n} \omega_r + \frac{K_t}{J_n} i_{qs}^* \quad (12)$$

Persamaan (12) dipilih sebagai model referensi bagi sistem kendali pada Gambar 4, dan dinyatakan dengan persamaan matematis:

$$\dot{\omega}_{rm} = -\frac{B_m}{J_n} \omega_{rm} + \frac{K_t}{J_n} i_{qs}^* \quad (13)$$

dalam bentuk state-space dinyatakan dengan:

$$\dot{X}_m = A_r X_m + B_r U_m \quad (14)$$

dengan:

$$X_m = \omega_{rm}, \quad A_r = -\frac{B_m}{J_n}, \quad B_r = \frac{K_t}{J_n}, \quad U_m = i_{qs}^*$$

b. Sistem Kendali Motor Induksi

Untuk sistem pengemudian motor induksi yang sesungguhnya, dengan adanya perubahan beban, yang disimulasikan dengan perubahan parameter J_n dan B_m , serta gangguan beban luar T_L , maka dari persamaan (16) diperoleh persamaan:

$$\dot{X}_p = (A_r + \Delta A) X_p + (B_r + \Delta B) U_p + C T_L \quad (15)$$

dengan:

- $X_p = \omega_r$
- $C = -1/J$
- $J =$ momen inersia
- $\Delta A, \Delta B =$ parameter tidak pasti
- $U_p =$ sinyal kontrol ke sistem pengemudian motor induksi

Persamaan (17) dapat dinyatakan dengan:

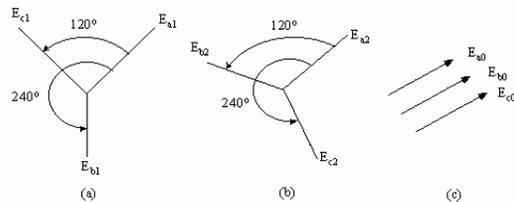
$$\dot{X}_p = A_r X_p + B_r (U_p + \xi) \quad (16)$$

dimana ξ didefinisikan dengan:

$$\xi \triangleq B_r^{-1} (\Delta A X_p + \Delta B U_p + C T_L) \quad (17)$$

2.5. Analisa Operasi Satu Fasa

Untuk menganalisa kondisi operasi satu fasa dengan lokasi gangguan pada sisi primer transformator step-down motor induksi tiga fasa seperti Gambar 6.



Gambar 6. Gangguan sisi primer transformator step-down motor. (a). Kondisi yang dibahas, (b). Vektor arus pada sisi primer., (c). Vektor arus pada sisi sekunder

Dari persamaan (17), maka arus urutan pada kondisi yang dibahas

$$I_{A1} = 1/3 (I_A + a I_B + a^2 I_C) \quad (18)$$

Demikian pula dengan ,

$$I_{A2} = 1/3 (I_A + a^2 I_B + a I_C) \quad (19)$$

Dan diperoleh persamaan ,

$$I_{A0} = 1/3 (I_A + I_B + I_C) \quad (20)$$

Dari ketiga persamaan di atas didapatkan hubungan :

$$I_{A1} = I_{A2} = I \quad (21)$$

dengan I adalah besarnya arus sebelum terjadi gangguan. Analisa dibatasi hanya pada sisi motor

induksi tiga fasa. Selain terjadi perubahan besaran dan arah arus juga terjadi perubahan tegangan akibat dari operasi satu fasa.

Sesuai dengan analisa komponen simetris maka didapatkan.

$$V_{A1} = 1/3 (V_A + a V_B + a^2 V_C) \quad (22)$$

$$V_{A2} = 1/3 (V_A + a^2 V_B + a V_C) \quad (23)$$

$$V_{A0} = 1/3 (V_A + V_B + V_C) \quad (24)$$

Terlihat bahwa hubungan

$$V_{A1} = V_{A2} = 0.5 V_{p-n} \quad (25)$$

dengan V_{p-n} adalah besarnya tegangan fasa-netral besarnya sama dengan tegangan fasa-netral pada kondisi operasi normal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian dilaboratorium didapatkan data-data seperti tabel 1 dan tabel 2. Dari data hasil pengamatan, yang terlihat bahwa kondisi operasi satu fasa yang dialami motor induksi tiga fasa menunjukkan hasil yang sesuai dengan teori yang telah diuraikan. Sedangkan model respon pengendaliannya ditunjukkan pada gambar 7 dan gambar 8.

Data-data pengamatan tegangan terminal motor induksi tiga fasa terlihat terjadi penurunan pada saat operasi satu fasa dibandingkan operasi normalnya, demikian juga yang terjadi pada kopel dan putaran motor induksi tiga fasa, penurunan terlihat relatif kecil. Selain terjadi keadaan-keadaan diatas, kondisi operasi satu fasa juga menghasilkan getaran dan putaran motor tidak stabil seperti pada kondisi normal.

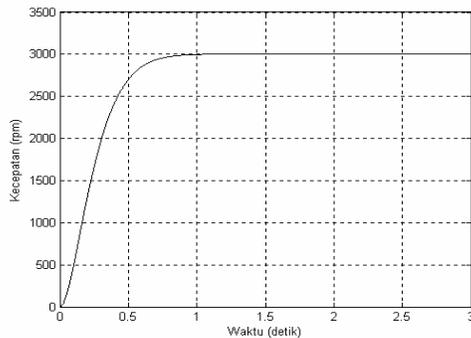
Tabel 1. Data Kondisi Operasi Normal

V _{AB} (Volt)	V _{AC} (Volt)	V _{BC} (Volt)	I _A (Amp)	I _B (Amp)	I _C (Amp)	T (N-m)	N (rpm)
380	380	380	4.1	4.1	4.1	0	1475
380	380	380	4.3	4.3	4.3	0.18	1460
380	380	380	5	5	5	0.85	1450
380	380	380	5.5	5.5	5.5	1.16	1440
380	380	380	6	6	6	1.39	1435
380	380	380	6.5	6.5	6.5	1.66	1430
380	380	380	7.	7	7	1.89	1420

Tabel 2. Data Kondisi Satu Fasa

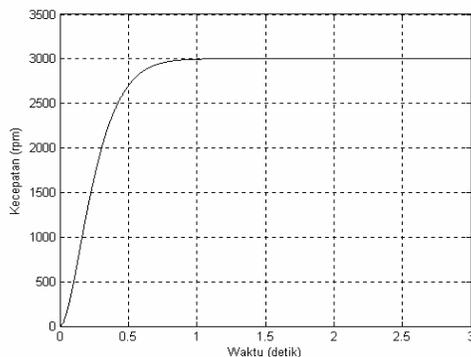
V _{AB} (Volt)	V _{AC} (Volt)	V _{BC} (Volt)	I _A (Amp)	I _B (Amp)	I _C (Amp)	T (N-m)	N (rpm)
329	329	0	8.2	4.1	4.1	0	1470
329	329	0	8.6	4.3	4.3	0.17	1450
329	329	0	10	5	5	0.84	1440
329	329	0	11	5.5	5.5	1.16	1430
329	329	0	12	6	6	1.39	1425
329	329	0	13	6.5	6.5	1.65	1420
329	329	0	14	7	7	2.12	1410

Gambar 7 memperlihatkan respons dari model sistem pengemudian motor induksi dalam kondisi tanpa beban, dan tanpa gangguan beban luar dengan menggunakan fasilitas Simulink Matlab 6.1 dan dikendalikan secara konvensional baik dengan observer (Gambar 8) maupun tanpa observer (Gambar 9).



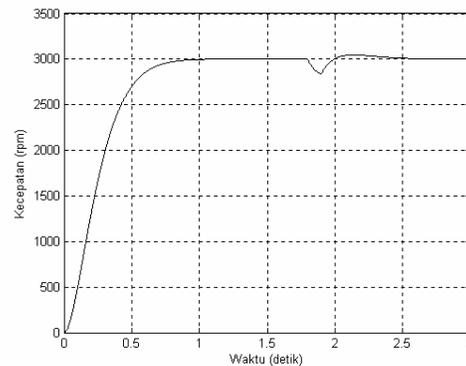
Performansi Drive
 Rise Time = 0.42 detik
 Settling Time = 0.72 detik
 Overshoot = 0.025 %
 Error = 1.6e-005 rpm
 Prosentase Error = 5.25e-007 %

Gambar 7. Respons kecepatan tanpa beban tanpa gangguan



Performansi Drive
 Rise Time = 0.42 detik
 Settling Time = 0.72 detik
 Overshoot = 0.022 %
 Error = 0.013 rpm
 Prosentase Error = 0.00044 %

Gambar 8. Respons dengan pengendali PI dengan observer dalam kondisi tanpa beban dan tanpa gangguan



Performansi Drive
 Rise Time = 0.42 detik
 Settling Time = 0.72 detik
 Overshoot 1 = 0.022 %
 Overshoot 2 = 1.52 %
 Error = -0.235 rpm
 Prosentase Error = 0.0079 %

Gambar 9. Respons dengan pengendali PI tanpa observer

4. KESIMPULAN

Dari tinjauan pustaka secara teoritis dan secara praktis maka dapat disimpulkan

- Hasil yang didapat dari pengamatan praktis dilaboratorium arus operasi satu fasa dua kali arus operasi normal.
- Kondisi operasi satu fasa mempunyai efek buruk terhadap umur pakai isolasi belitan motor induksi tiga fasa akibat timbulnya gangguan dalam prosesnya
- Sistem pengendali kerja motor yang dilengkapi dengan observer dapat memberi respons yang lebih baik daripada sistem pengendali PI tanpa observer, baik dalam keadaan berbeban maupun saat terjadi gangguan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhag S. Guru, Husein R. Hiziroglu, "Electric Machinery and Transformer", *AIEE Transaction*, 1995.
- [2] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr, Stephen D Umarns, "Mesin-Mesin Listrik", Penerbit Erlangga, 1997.
- [3] Faa-Jeng Lin, Rong-Jong Wai, Chih-Hong Lin, dan Da-Chung Liu, "Decoupled Stator-Flux-Oriented Induction Motor Drive with Fuzzy Neural Network Uncertainty Observer", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vo. 47, No. 2, April 2000.
- [4] C.F. Wagner, R.D. Evans, "Symmetrical Components", Mc Grow Hill Book Company, Inc, New York, 1983.
- [5] Nagrath, I J, D P Kothari, "Electric Machine", Mc Graw Hill Book Publishing Company Ltd., New Delh, 1985.