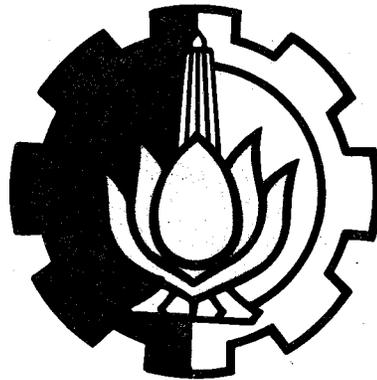
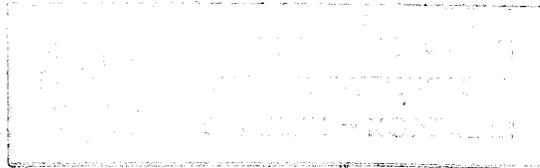


7194 / ITS / H / 96

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	22 NOV 1994
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	4699

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGATUR
KECEPATAN MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN
3 PHASE LOOP TERTUTUP
DENGAN METODE PENGATURAN IMPEDANSI ROTOR
YANG DIOPERASIKAN MELALUI IBM PC



RSE
629. B3
Sha
P-1
1994

Oleh :

Yanu Shalahuddin

NRP : 2882201091

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1994

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGATUR
KECEPATAN MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN
3 PHASE LOOP TERTUTUP
DENGAN METODE PENGATURAN IMPEDANSI ROTOR
YANG DIOPERASIKAN MELALUI IBM PC**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan

Untuk Memperoleh Gelar

Sarjana Teknik Elektro

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga

Jurusan Teknik Elektro

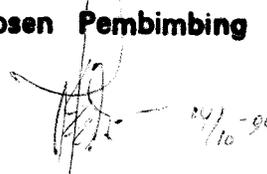
Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing


Ir. Teguh Yuwono

SURABAYA

Oktober, 1994

Kupersembahkan karya ini buat ayahku R Syamsul Azhar, ibuku Nur Kulsum serta adik-adikku: Febi Arief Wibisino, Mey Lina Hima Fauziati dan Dewi Septanti.

ABSTRAK

Pengaturan kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan secara konvensional banyak dilakukan dengan menggunakan kontaktor-kontaktor mekanis dan rele-rele magnetis. Hal ini menimbulkan banyak kesulitan. Diantaranya perawatan yang mahal dan pengaturan kecepatan yang tidak bisa kontinyu. Tetapi dengan berkembangnya *Power Semikonduktor* kesulitan-kesulitan dalam pengaturan kecepatan ini dapat teratasi.

Dalam buku Tugas Akhir ini dibahas penggunaan power semikonduktor yang berupa rangkaian *SCR Pengatur Phase* yang dipasang pada rotor. Selain itu ditambahkan juga kontrol otomatis, dimana setting putaran didapatkan dari sebuah PC. Hal ini dimaksudkan agar dapat mengatur kecepatan lebih dari satu Motor Induksi Rotor Belitan dengan sebuah PC dari suatu ruang kontrol.

Untuk maksud diatas diturunkan rangkaian ekuivalen rotor. Dengan adanya rangkaian ekuivalen dan model matematisnya dibuatkan grafik-grafik perubahan torsi, slip, kecepatan terhadap perubahan tegangan rotor.

Dari grafik-grafik yang didapatkan akhirnya direncanakan dan dibuat dalam bentuk alat.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena hanya berkat limpahan Rahmat dan KaruniaNya penyusunan Tugas Akhir ini dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas Akhir merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang mempunyai bobot 6 sks dari 160 sks yang harus diselesaikan oleh seorang mahasiswa.

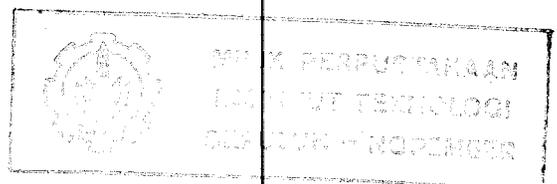
Judul Tugas Akhir yang kami tulis ini adalah *Perencanaan dan Pembuatan Alat Pengatur Kecepatan Motor Induksi Rotor Belit 3 Phase Loop Tertutup dengan Metode Pengaturan Tegangan Rotor.*

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini kami telah berusaha dengan sekuat kemampuan untuk menghadapi segala hambatan dan rintangan. Namun demikian kami menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu segala kritik dan saran untuk perbaikannya kami terima dengan senang hati.

Akhirnya harapan kami semoga buku tugas akhir ini berguna bagi pembaca yang memerlukannya.

Surabaya, September 1994

Penulis



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, penyusunan buku Tugas Akhir ini telah dapat kami selesaikan. Dalam penyusunan buku Tugas Akhir ini hingga selesai, penyusun mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak.

Untuk itu sudah selayaknya penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Yth :

1. Ayah dan Ibu yang telah memberi dorongan moril yang tak ternilai harganya.
2. Ir. Teguh Yuwono selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan bimbingan serta pengarahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Rekan-rekan di Lab. B101 yang telah memberi bantuan moril.

Semoga Allah SWT melimpahkan Rahmat dan KaruniaNya. Amien

DAFTAR ISI

Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Ucapan terima kasih	v
Daftar isi	vi
Daftar Gambar	viii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Permasalahan	3
I.3. Tujuan	4
I.4. Metode	4
I.5. Batasan Masalah	5
BAB II MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN TIGA PHASA	
II.1. Prinsip Kerja Motor Induksi Rotor Belitan	6
II.2. Rangkaian ekuivalen dari Motor Induksi Rotor Belitan	8
II.2.1. Model Transformator dari Motor Induksi	8
II.2.2. Model dari Rangkaian Rotor Motor Induksi	8
II.2.3. Rangkaian Ekuivalen Terakhir	11
II.3. Daya dan Kopel Motor Induksi Rotor Belitan	12
II.3.1. Pembentukan Kopel Induksi	15
Karakteristik Kopel Kecepatan	17
II.4. Persamaan Umum Torsi	17
BAB III SCR SEBAGAI PENGATUR PHASE	
III.1. Karakteristik SCR	21
III.1.1. Penyalaan SCR	22
III.2. Konsep Dasar Pengaturan Motor Induksi Rotor Belitan	25
III.3. SCR Sebagai Pengatur Sudut Phase	32
III.3.1. Beban Resistif	32
III.3.2. Rangkaian Ekuivalen Rotor dengan tiga SCR terhubung Delta	34

BAB IV	PERENCANAAN DAN PEMBUATAN RANGKAIAN PENGATUR TEGANGAN PADA ROTOR MOTOR INDUKSI ROTOR BELIT TIGA PHASE	
IV.1.	Skema Dasar Rangkaian	40
IV.2.	Perencanaan Rangkaian	41
IV.2.1.	Rangkaian Suplai Daya	43
IV.2.2.	Rangkaian Penjumlah	45
IV.2.3.	Rangkaian Interface	48
IV.2.4.	Rangkaian Penyalaan SCR	51
IV.2.5.	Rangkaian DAC (Digital to Analog Converter)	55
BAB V	PENUTUP	
V.1.	Kesimpulan	59
V.2.	Saran	60
	DAFTAR PUSTAKA	61
	LAMPIRAN	
	APENDIK A	
	APENDIK B	

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HAL
2.1. Model Transformator dari Motor Induksi Rotor Belitan	8
2.2. Model Rangkaian Rotor Motor Induksi Rotor Belitan	9
2.3. Model Rangkaian Rotor Motor Induksi Rotor Belitan	10
2.4. Rangkaian ekuivalen terakhir per-phase Motor Induksi	12
2.5. Diagram Aliran Daya Motor Induksi Rotor Belitan Tiga Phase	13
2.6. Diagram Phasor dari Medan Stator dan Rotor	16
2.7. Grafik Torsi Kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan	17
2.8. Karakteristik Kopel Kecepatan	20
3.1. Simbol SCR	21
3.2. pn-Junction	21
3.3. Diagram Rangkaian	22
3.4. Karakteristik V-I	23
3.5. Grafik Torsi-slip dengan Rex sebagai Parameter	26
3.6. Rangkaian Ekuivalen Rotor 1 phase dengan Menambah SCR	27
3.7. Karakteristik Tegangan Rotor (Ero) - slip (s) pada Torsi Konstan	29
3.8. Diagram phasor dari Arus Rotor	31
3.9. Grafik Torsi - Tegangan Rotor pada slip Konstan	32
3.10. SCR Pengatur Phase dengan beban Resistip dan Induktif	33
3.11. Diagram Skematik dari SCR Pengatur Phase dalam Susunan Delta	36
3.12. Rangkaian ekuivalen dari gambar 3.11.	36
3.13. Diagram Bentuk Gelombang Beban Resistip dan Induktif	38
3.14. Bentuk gelombang beban resistip dan Induktif	39
4.1. Skema Dasar SCR Pengatur Phase dalam Hubungan Delta	40
4.2. Blok Diagram Pengatur Kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan	41
4.3. Op-amp	46
4.4. Slot Komputer	49
4.5. Blok Diagram Universal Interface	50
4.6. Susunan Terminal IC TCA 785	51
4.7. Blok Diagram IC TCA 785	52
4.8. Diagram Pulsa	54
4.9. Lebar sudut Penyalaan sebagai fungsi Tegangan	55
4.10. MC 1408	56

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan dapat diatur dengan cara mengatur harga resistansi luar Motor Induksi Rotor Belitan. Resistansi luar Motor Induksi Rotor Belitan adalah resistansi tambahan yang dipasang pada rangkaian rotor melalui cincin slip. Metode konvensional pengaturan resistansi luar adalah secara mekanis dengan menggunakan rele-rele magnetis dan kontaktor-kontaktor mekanis. Pengaturan resistansi luar secara mekanis mempunyai beberapa kelemahan, yaitu.

1. Rele-rele magnetis dan kontaktor-kontaktor mekanis yang dipergunakan banyak memerlukan perawatan.
2. Perubahan resistansi luar tidak kontinyu, yang mengakibatkan pengaturan kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan tidak kontinyu.
3. Sulit dikembangkan untuk menerapkan pengaturan kecepatan secara jerat tertutup (closed loop).

Kemajuan yang pesat dalam bidang elektronika daya dewasa ini, memungkinkan pengaturan harga resistansi luar Motor Induksi secara statis.

Metode atau teknik pengaturan kecepatan Motor Induksi secara statis ada beberapa macam, diantaranya :

- a). Teknik kontrol tegangan rotor.
- b). Teknik kontrol tegangan, arus dan frekuensi stator.
- c). Teknik kontrol tegangan rotor.
- d). Teknik kontrol impedansi rotor.

Pada tugas akhir ini memakai salah satu teknik diatas yaitu teknik kontrol tegangan rotor.

Pengaturan tegangan rotor secara statis dapat mengatasi kelemahan pengaturan secara mekanis karena :

1. Rangkaian tidak memerlukan perawatan.
2. Perubahan harga tegangan rotor dapat diatur kontinyu, sehingga pengaturan kecepatan Motor Induksi kontinyu.
3. Lebih mudah dikembangkan untuk menerapkan pengaturan kecepatan secara jerat tertutup (closed loop).
4. Hanya membutuhkan sebuah resistansi luar untuk setiap phasanya.
5. Untuk pengaturan kecepatan Motor Induksi yang jumlahnya banyak dapat dilakukan dengan menambah rangkaian Interface agar dapat dikontrol dari sebuah PC.

Dikarenakan pengaturan harga resistansi luar secara statis dapat mengatasi kelemahan pengaturan secara mekanis, maka penulis tertarik membahas rangkaian kontrol impedansi rotor untuk mengatur motor induksi rotor belitan, berdasarkan prinsip pengaturan harga resistansi luar.

I.2. Permasalahan

Hampir setiap motor induksi rotor belitan yang dioperasikan membutuhkan kecepatan putar yang bisa diatur menurut kebutuhan. Setelah kecepatan diset pada harga tertentu maka kecepatan putar dipertahankan konstan pada harga tersebut.

Seringkali kecepatan yang konstan akan berubah akibat adanya pembebanan ataupun gangguan. Hal ini tidak boleh terjadi. Selain itu motor induksi rotor belitan yang dioperasikan tentunya membutuhkan kecepatan yang teliti dan akurat. Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut diatas. Diperlukan alat pengatur kecepatan jerat tertutup (closed loop). Dimana setiap putaran yang telah didapatkan akan diumpanbalikkan dan dibandingkan dengan tegangan referensi. Sehingga setiap adanya kesalahan akan selalu terdeteksi dan selanjutnya diadakan pembetulan. Selain itu untuk mendapatkan kecepatan putar yang dapat dikontrol secara otomatis maka tegangan referensi dapat diset dari sebuah PC dengan bantuan rangkaian tambahan (interface) dan sebuah rangkaian DAC (digital to analog converter).

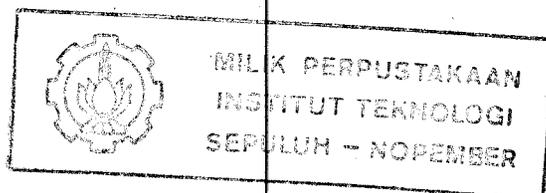
Rangkaian pengatur impedansi rotor yang dipergunakan disini membutuhkan SCR (silicon controlled rectifier) yang dioperasikan sebagai switch (kontak) buka-tutup. Untuk penyalan SCR dibutuhkan sebuah rangkaian penyulut. Rangkaian penyulut (trigger) yang dipakai disini menggunakan IC pentrigger yaitu tipe TCA 785. Jadi untuk setiap phasanya Motor Induksi Rotor Belitan membutuhkan sebuah SCR dan sebuah rangkaian penyulut.

I.3. Tujuan

1. Membuat sistem pengaturan tegangan rotor untuk mengatur kecepatan putar motor induksi rotor belitan yang lebih praktis dan mudah dibanding alat konvensional yang bekerja secara mekanis dengan menggunakan rele-rele magnetis dan kontaktor-kontaktor mekanis.
2. Penambahan kontrol otomatis dari sebuah PC memungkinkan mendapatkan pengaturan kecepatan yang lebih teliti dan akurat.
3. Memungkinkan untuk dipakai sebagai alat pengatur kecepatan lebih dari satu motor induksi rotor belitan yang dapat dikontrol dari sebuah IBM PC.

I.4. Metode

Metode yang dipergunakan adalah studi literatur dan pengujian laboratorium. Informasi-informasi yang diperoleh dari studi literatur akan dipergunakan sebagai dasar untuk menganalisa merancang, dan membuat rangkaian. Sedangkan pengujian laboratorium dilakukan untuk mengamati bentuk gelombang tegangan dan arus



komponen-komponen pembentuk rangkaian. Dengan mengamati bentuk gelombang tegangan dan arus komponen-komponen pembentuk rangkaian dapat diketahui kesalahan-kesalahan/benar tidaknya suatu rangkaian. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan oskiloskop.

I.5. Batasan masalah

1. Rangkaian penyalan yang dibahas dan dimodifikasi adalah rangkaian dengan menggunakan IC pen-trigger yaitu tipe TCA 785.
2. Rangkaian Interface dioperasikan dengan menggunakan bahasa assembly.
3. Pembuatan dan perancangan rangkaian secara keseluruhan disesuaikan dengan komponen-komponen yang terdapat dipasaran dan fasilitas yang tersedia di laboratorium TTL Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Permasalahan harmonisa tidak dibahas.
5. Transfer function dari rangkaian tidak diberikan.
6. Pembuktian matematik rumus-rumus dasar rangkaian tidak dibahas.
7. Permasalahan biaya tidak dibahas.

BAB II

MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN

II.1. Prinsip kerja Motor Induksi Rotor belitan

Motor Induksi Rotor Belitan adalah motor arus bolak-balik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada stator terdapat belitan tiga phase dan pada rangkaian rotornya terdapat belitan tiga phase seperti yang terdapat pada stator. Hal ini yang menyebabkan motor induksi jenis ini disebut Motor Induksi Rotor Belitan.

Bila belitan stator motor induksi diberi tegangan listrik tiga phase seimbang, maka pada belitan stator akan mengalir arus tiga phase seimbang. Selanjutnya akan dihasilkan medan magnet putar yang bergerak mengelilingi inti stator melalui celah udara dengan kecepatan :

$$N_s = \frac{120}{P} f_s \dots\dots\dots (2.1)$$

Arti notasi-notasi persamaan di atas,

N_s = kecepatan sinkron motor induksi

f_s = frekuensi sumber tegangan (Hz)

P = jumlah kutub stator

Medan magnet putar tersebut akan memotong konduktor-konduktor belitan rotor dan mengakibatkan timbulnya tegangan induksi pada belitan rotor. Jika belitan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka pada belitan rotor mengalir arus listrik. Adanya arus listrik dalam medan magnet yang berputar akan menimbulkan gaya pada rotor. Bila torsi awal yang dihasilkan oleh gaya pada rotor lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan magnet putar.

Tegangan induksi rotor terjadi karena terpotongnya konduktor belitan rotor oleh medan magnet putar. Jadi agar tegangan terinduksi harus ada perbedaan relatif antara kecepatan sinkron (N_s) dengan kecepatan mekanis poros rotor (N_r). Perbedaan tersebut disebut kecepatan slip (N_{slip}). Kecepatan slip dinyatakan oleh persamaan dibawah ini :

$$N_{slip} = N_s - N_r \dots\dots\dots(2.2)$$

Cara lain menyatakan perbedaan relatif N_s dan N_r adalah slip (s). Secara matematis slip dinyatakan oleh persamaan :

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \dots\dots\dots(2.3)$$

Berdasarkan persamaan (2.3) kecepatan motor dapat dinyatakan sebagai fungsi slip dan kecepatan sinkron, yaitu :

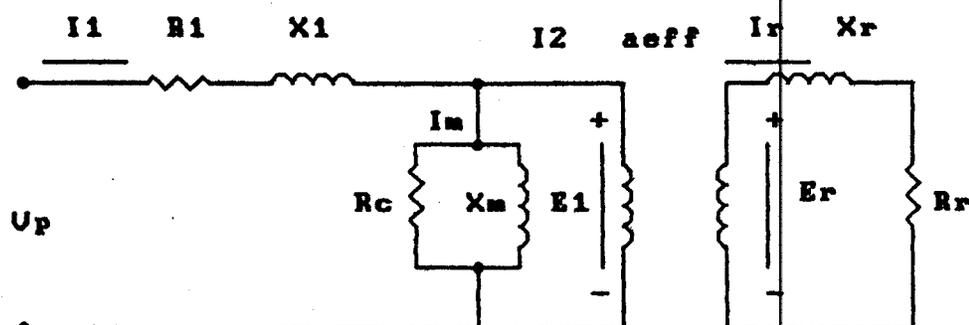
$$N_r = (1 - s) N_s \dots\dots\dots(2.4)$$

II.2. Rangkaian ekuivalen dari Motor Induksi Rotor Belitan

II.2.1. Model transformator dari Motor Induksi Rotor Belitan

Operasi dari motor induksi berdasarkan pada tegangan dan arus dalam rangkaian rotor yang diinduksikan dari rangkaian stator. Karena tegangan dan arus dalam rangkaian rotor dari Motor Induksi Rotor Belitan pada dasarnya adalah operasi transformator, maka rangkaian ekuivalen dari Motor Induksi Rotor Belitan hampir sama dengan rangkaian ekuivalen dari transformator.

Rangkaian ekuivalen per phase yang menyatakan operasi dari motor induksi terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1
Model transformator dari Motor Induksi Rotor Belitan

II.2.2. Model dari rangkaian rotor

Bila tegangan diberikan pada kumparan stator dari Motor Induksi Rotor Belitan, maka tegangan tersebut akan diinduksikan pada kumparan rotor dari mesin. makin besar kecepatan relatip dari rotor terhadap medan putar stator makin

besar tegangan yang diinduksikan. Kecepatan relatif terjadi bila rotor dalam keadaan diam (stasioner). Keadaan itu disebut kondisi dengan 'rotor terkunci'. Bila tegangan yang diinduksikan pada kondisi 'rotor terkunci' adalah E_{ro} , maka tegangan yang dibangkitkan untuk suatu harga slip s tertentu adalah :

$$E_s = E_{ro}$$

Dalam rangkaian rotor terdapat tahanan dan reaktansi. Tahanan rotor R_r adalah konstan tidak tergantung dari slip. Sedangkan reaktansi rotor X_r tergantung pada slip. Bila induktansi rotor L_r , maka :

$$\begin{aligned} X_r &= \omega_r L_r \\ &= 2\pi f_r L_r \end{aligned}$$

Karena,

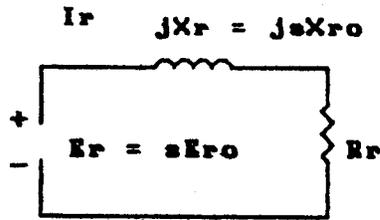
$$\begin{aligned} f_r &= s f_e, \\ X_{rs} &= 2\pi s f_e L_r \\ &= s (2\pi f_e L_r) \\ &= s X_{ro} \end{aligned}$$

dimana : f_r = frekuensi rotor

f_e = frekuensi stator

X_{ro} = reaktansi dari rotor pada kondisi 'rotor terkunci'

Jadi rangkaian ekuivalen dari rotor dapat terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2.
Model rangkaian rotor

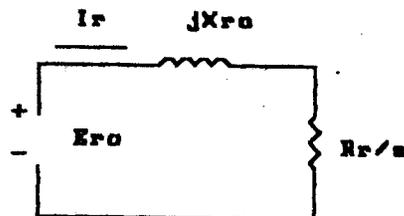
arus yang mengalir dalam rotor adalah :

$$\begin{aligned}
 E_r &= I_r (R_r + jX_r) \\
 I_r &= \frac{E_r}{R_r + jX_r} \\
 I_r &= \frac{sE_{ro}}{R_r + jsX_{ro}} \\
 I_r &= \frac{E_{ro}}{R_r/s + jX_{ro}} \dots\dots\dots(2.5)
 \end{aligned}$$

dari persamaan (2.5) didapat bahwa pengaruh kecepatan pada rotor dapat dianggap sebagai akibat perubahan impedansi dari rotor yang mendapat daya dari sumber tegangan yang konstan E_{ro} . Impedansi ekuivalen dari rotor dalam hal ini adalah :

$$Z_{reg} = R_r/s + jX_{ro} \dots\dots\dots(2.6)$$

dan rangkaian rotor ekuivalen yang menggunakan persamaan ini terlihat pada gambar 2.3. Dalam rangkaian tersebut, tegangan rotor adalah konstan E_{ro} , dan impedansi rotor Z_{req} mengandung semua pengaruh dari perubahan slip rotor.



Gambar 2.3.
Model rangkaian rotor Motor Induksi Rotor Belitan

II.2.3. Rangkaian ekuivalen terakhir

Untuk menghasilkan rangkaian ekuivalen perphase terakhir dari Motor Induksi Rotor Belitan, adalah penting untuk menyatakan bagian rotor dari model pada level tagangan stator. Seperti pada transformator biasa, tegangan, arus dan impedansi pada sisi sekunder dapat dinyatakan dari sisi primer melalui rasio belitan dari trafo.

$$V_p = V's = a V_s$$

$$I_p = I's = I_s/a$$

dan

$$Z's = a^2 Z_s$$

Pada rangkaian rotor motor induksi transformasi yang sama dapat dilakukan. Bila rasio belitan efektif dari motor induksi adalah a_{eff} , maka bentuk transformasi dari tegangan rotor adalah :

$$E_2 = E'_r = a_{eff} E_{ro} \dots \dots \dots (2.7)$$

persamaan arus rotor menjadi

$$I_2 = \frac{I_r}{a_{eff}} \dots \dots \dots (2.8)$$

persamaan impedansi rotor menjadi

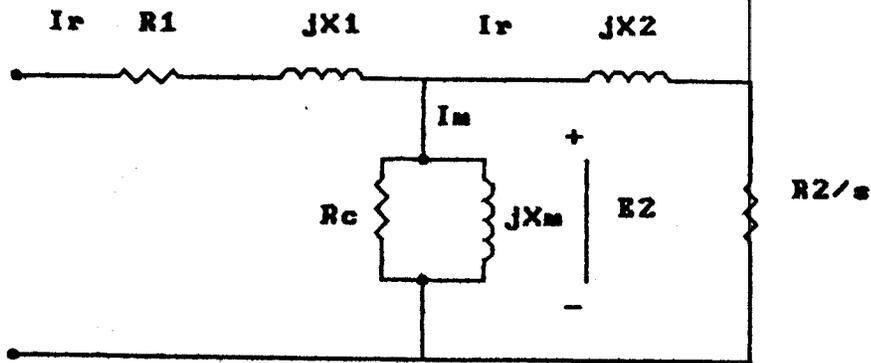
$$Z_2 = a_{eff}^2 (R_r/s + jX_{ro}) \dots \dots \dots (2.9)$$

Bila didefinisikan :

$$R_2 = a_{eff}^2 R_r \dots \dots \dots (2.10)$$

$$X_2 = a_{eff}^2 X_{ro} \dots \dots \dots (2.11)$$

maka rangkaian ekuivalen terakhir dari motor induksi terlihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4.
Rangkaian ekuivalen terakhir per-phase Motor Induksi Rotor Belitan

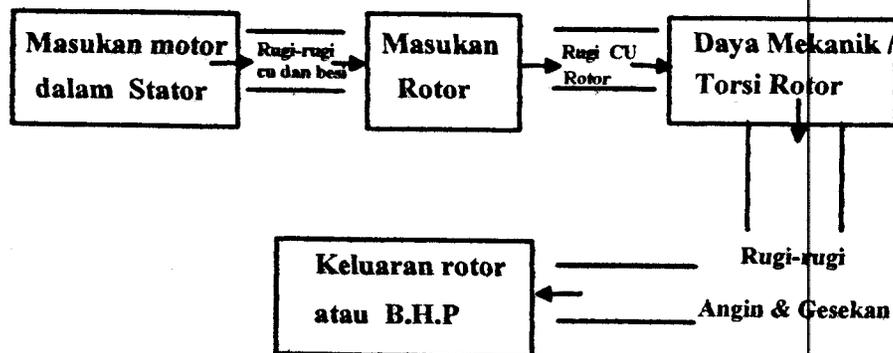
II.3. Daya dan kopel Motor Induksi Rotor Belitan

Pada dasarnya motor induksi dapat dinyatakan sebagai transformator yang berputar. Inputnya merupakan tenaga listrik dengan tegangan dan arus tiga phase. Dalam transformator biasa keluarannya merupakan tenaga listrik dari kumparan sekunder, sedangkan pada motor induksi kumparan sekundernya dihubungkan singkat, sehingga tidak dihasilkan tenaga listrik melainkan tenaga mekanis.

Hubungan tenaga listrik input dan tenaga mekanis yang merupakan keluaran dari motor induksi diperlihatkan dalam diagram aliran daya pada gambar 2.5.

Daya input pada motor induksi P_{in} merupakan daya listrik dengan tegangan dan arus tiga phase. kerugian pertama merupakan kerugian tembaga I_r pada stator (Pcu stator). Kemudian kerugian daya berupa hysteresis dan arus Eddy pada stator (Pfe inti). Daya yang tersisa diberikan kepada rotor melalui celah udara (air

gap power) P_{ag} dari mesin. Setelah daya diberikan kepada rotor sebagian akan hilang berupa kerugian tembaga I^2R pada rotor dan sisanya dirubah menjadi tenaga mekanis P_{kon} . Akhirnya setelah dikurangi dengan kerugian gesekan dan angin akan dihasilkan daya output P_{out} dari motor.



Gambar 2.5.
Diagram aliran daya

Dari gambar 2.4. dapat diturunkan suatu persamaan tentang daya motor. Dalam rangkaian ekuivalen terlihat bahwa elemen yang dapat menyerap daya dari celah udara (air gap) adalah tahanan R_2/s . Jadi daya dalam celah udara adalah :

$$P_{ag} = 3 I_2^2 R_2/s$$

Kerugian tembaga pada rotor adalah

$$P_{cur} = 3 I_r^2 R_r$$

Karena daya tidak berubah bila melalui trafo ideal, maka kerugian tembaga pada rotor dapat dinyatakan dengan :

$$P_{cur} = 3 I_2^2 R_2$$

Setelah kerugian tembaga stator, kerugian inti dan kerugian rotor dikurangkan dari daya input motor, maka daya yang tersisa dirubah dari daya elektrik menjadi daya mekanis atau disebut juga daya konversi (Pkon) adalah.:

$$\begin{aligned}
P_{kon} &= P_{ag} - P_{cur} \\
&= 3 I_2^2 R_2/s - 3 I_2^2 R_2 \\
&= 3 I_2^2 R_2(1/s - 1) \\
P_{kon} &= \frac{3 I_2^2 R_2 (1 - s)}{s} \dots\dots\dots(2.12)
\end{aligned}$$

Kopel yang diinduksikan dalam mesin didefinisikan sebagai kopel yang dibangkitkan oleh konversi daya dari elektrik ke mekanis. Kopel ini berbeda dengan kopel yang sebenarnya terdapat pada terminal dari motor dengan suatu faktor yang sama dengan kopel karena gesekan dan angin.

Jika rugi-rugi gesekan dan angin diabaikan, kopel induksi diberikan oleh persamaan :

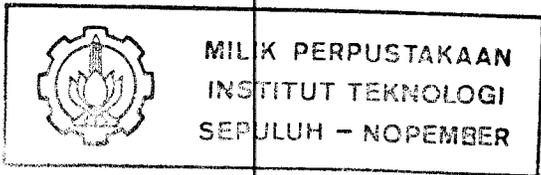
$$T_{ind} = \frac{P_{kon}}{\omega_m} \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana : Tind = kopel induksi
 ω_m = kecepatan rotor

Jika persamaan (2.12) disubstitusikan ke persamaan (2.13) maka :

$$T_{ind} = \frac{3 I_2^2 R_2 (1 - s)}{\omega_m s} \dots\dots\dots(2.14)$$

dan juga persamaan (2.8) dan (2.10) disubstitusikan ke persamaan (2.14) maka :



$$T_{ind} = \frac{3 s E_{ro}^2 R_r}{\omega_s (R_r + jsX_{ro})^2} \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana ω_s = putaran stator

atau

$$T_{ind} = \frac{k s E_{ro}^2 R_r / s}{(R_r / s)^2 + X_{ro}^2} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana

$$k = 3 / \omega_s$$

II.3.1. Pembentukan kopel induksi

Seperti pada umumnya, torsi yang dihasilkan oleh motor listrik dibentuk karena interaksi antara medan dan arus. Dalam motor induksi torsi elektromagnetik terjadi karena interaksi antara medan putar stator dan arus rotor.

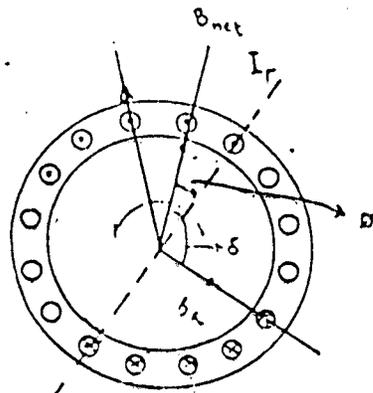
Adapun persamaan umum tentang torsi elektromagnetik motor induksi adalah

$$T = k B_{net} \cdot B_r \sin \delta \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana B_{net} adalah medan putar stator yang dihasilkan karena kumparan stator disuplai sumber tegangan E_s dan B_r adalah medan pada rotor yang dihasilkan karena arus mengalir pada kumparan rotor yang dihubungkan singkat dan $\sin \delta$ adalah sudut antara B_{net} dan B_r . Dari gambar 2.6. terlihat bahwa :

$$\sin \delta = \sin (\phi + 90) = \cos \phi$$

ϕ adalah sudut phase antara tegangan rotor dan arus rotor.



Gambar 2.6.
Diagram phasor dari medan stator dan rotor

B_{net} sebanding dengan tegangan pada kumparan stator, E_s dan B_r sebanding dengan arus rotor I_r hingga persamaan (2.17) dapat ditulis

$$T = k E_s I_r \cos \phi \dots\dots\dots(2.18)$$

sedangkan

$$I_r = \frac{E_r}{R_r + jsX_r}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{R_r + jsX_r}$$

maka persamaan (2.18) menjadi

$$T = \frac{k E_s E_r R}{R_r + jsX_r} \dots\dots\dots(2.19)$$

karena $E_r = sE_s$

$$X_r = sX_{ro}$$

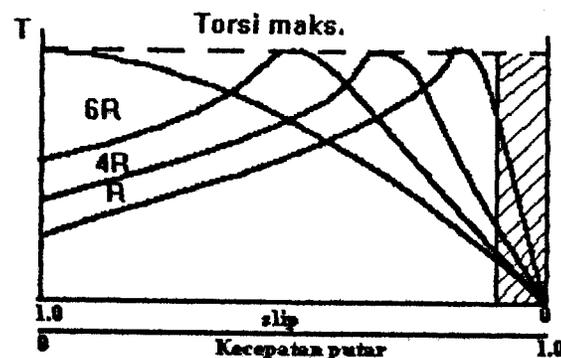
dimana X_{ro} adalah reaktansi rotor pada frekuensi stator, maka torsi motor induksi menjadi :

$$T = \frac{k E_s^2 R}{(R_r + jX_{ro})^2} \dots\dots\dots(2.20)$$

II.3.2. Karakteristik kopel kecepatan

Seberapa banyak kecepatan motor akan berkurang bila beban bertambah ?. Untuk menjawab pertanyaan ini perlu diturunkan suatu grafik kopel T terhadap kecepatan s dari motor induksi. Berdasarkan persamaan (2.16) grafik torsi kecepatan - slip ditunjukkan oleh gambar 2.7.

Dari grafik ini jelaslah bahwa kecepatan akan berkurang (slip akan membesar) bilamana torsi beban bertambah. Tetapi pertambahan torsi beban ini harus dibatasi sampai batas dari torsi yang dihasilkan motor T_{maks} seperti diperlihatkan pada gambar tersebut. Daerah kerja motor ini terlihat pada bagian yang diarsir pada gambar 2.7.



Gambar 2.7.¹⁾
Grafik torsi kecepatan MIRB

II.4. Persamaan umum torsi

Dalam keadaan umum ada beberapa torsi yang bekerja pada poros motor yaitu torsi elektro magnetik T_a , torsi statis T_s yang membuat motor berputar dengan

¹⁾ M.H. Rashid, Power Electronics, Prentice-hall International Inc., New Jersey, 1988, hal.350

kecepatan dengan kecepatan konstan dan torsi dinamik T_j yang timbul pada saat transien karena momen inersia J dari motor.

Torsi statis ini ditentukan oleh beban motor dan selalu melawan torsi yang dihasilkan oleh motor dan juga termasuk di dalamnya torsi beban nol yaitu torsi akibat gesekan dan yang lainnya. Pada dasarnya torsi statis dapat dianggap sebagai jumlah dua jenis torsi, yaitu torsi beban nol T_o dan torsi T_l yang disebabkan karena beban luar atau beban yang dipasang pada motor.

$$T_s = T_o + T_l \dots\dots\dots(2.21)$$

Seringkali yang digunakan dalam perhitungan adalah torsi beban T_l atau disebut juga torsi berguna sedangkan torsi beban nol sangat kecil jika dibandingkan torsi beban sehingga dapat diabaikan. Torsi dinamik juga diperlihatkan untuk keadaan transien

$$T_j = \frac{dJ}{dt}$$

tetapi seringkali yang penting adalah untuk J berharga konstan, maka

$$T_j = J \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots(2.22)$$

Hubungan antara torsi yang dihasilkan motor dan torsi perubahan yaitu $T_s + T_j$ harus selalu dalam keadaan seimbang tetapi berlawanan arah

$$T_a = -(T_s + T_j) \dots\dots\dots(2.23)^{21}$$

²¹ Susilo M., DR. Ir., diktat kuliah teknik tenaga listrik I, hal. 45.

Tanda negatif ini menunjukkan arah yang berlawanan. Karena yang dipentingkan hanyalah besarnya saja maka tanda negatif bisa dihilangkan. Persamaan (2.23) menjadi :

$$T_a = T_s + T_j \dots \dots \dots (2.24)$$

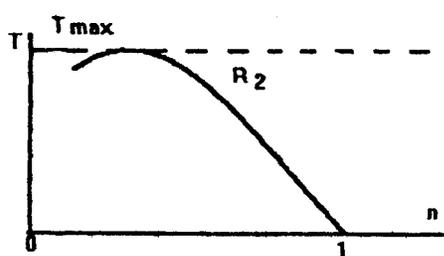
untuk keadaan steady state, T_j harus sama dengan nol karena tak ada perubahan kecepatan terhadap waktu sehingga $dw/dt = 0$, dan persamaan (2.23) untuk keadaan konstan.

$$T_a = T_s \dots \dots \dots (2.25)$$

Kesimpulan yang kita peroleh berdasarkan persamaan (2.25) adalah bahwa torsi elektro- magnetik yang dihasilkan motor selalu mengikuti torsi beban dalam pengertian jika torsi beban turun, maka torsi motorpun akan turun. Demikian juga bila torsi beban naik. Dan pada kondisi steady state harga keduanya harus sama. Pada motor induksi gejala ini tak dapat diikuti terus untuk beban yang terus naik.

Berdasarkan terjadinya torsi pada motor induksi yang tergantung dari besarnya arus rotor dan faktor daya rotor, pada suatu harga torsi beban tertentu, arus rotor naik tetapi harga faktor daya cenderung turun sehingga resultannya menyebabkan torsi elektromagnetik turun.³⁾ kopel-kecepatan dari motor induksi seperti terlihat pada gambar 2.8.

³⁾ Subagio, DR. Ir., diktat kuliah mesin AC, hal 19.



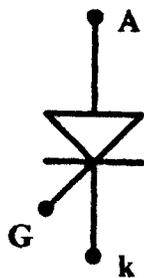
Gambar 2.8
Karakteristik kopel-kecepatan

BAB III

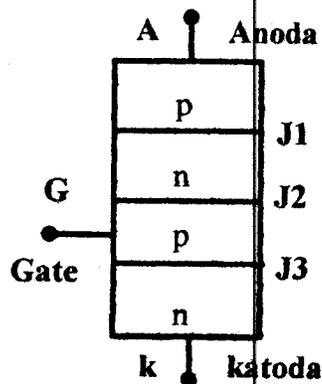
SCR SEBAGAI PENGATUR PHASE

III.1. Karakteristik SCR

Sebuah SCR adalah komponen yang terdiri dari 4 lapisan semikonduktor pnpn dengan tiga junction pn. SCR mempunyai tiga terminal yaitu : anoda, katoda dan gate. Gambar 3.2. menunjukkan 3 bagian pn junction serta gambar 3.1. menunjukkan simbol dari SCR.



Gambar 3.1
Simbol SCR

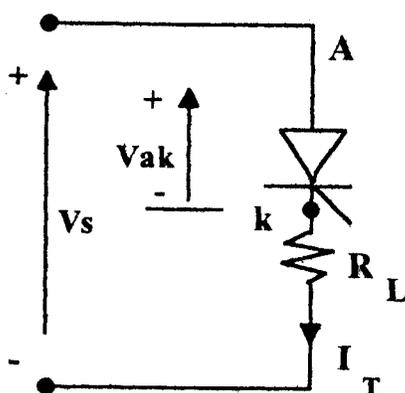


Gambar 3.2
pn-junction

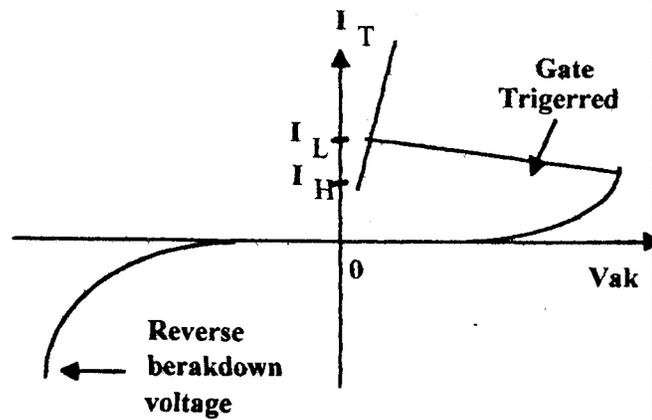
Pada saat tegangan anoda positif terhadap katoda, junction J1 dan J3 adalah forward bias. Junction J2 reverse bias, dan hanya aliran arus bocor yang mengalir dari anoda ke katoda. Dengan demikian SCR mengalami forward blocking atau kondisi off-state dan arus bocor yang mengalir disebut sebagai arus off-state (I_p). Jika

tegangan anoda ke katoda (V_{ak}) dinaikkan sampai harga yang cukup besar, junction reverse bias J_2 akan putus, keadaan ini disebut sebagai avalanche breakdown dan tegangannya disebut tegangan forward breakdown (V). Karena junction J_1 dan J_3 sudah forward bias maka J_1 dan J_3 akan bergerak bebas melintas ke semua junction yang menghasilkan arus anoda forward yang besar. Dengan demikian SCR akan on/konduksi. Tegangan drop pada 4 lapisan junction sebesar 1 V.

Pada keadaan on arus anoda dibatasi oleh impedansi atau resistansi luar (R_L) seperti gambar 3.3. Arus anoda besarnya harus lebih besar, yang disebut arus latching (I_L), untuk mempertahankan I_L dibutuhkan kuantitas aliran pembawa melewati junction. Apabila I_L tidak dipertahankan pada harga tertentu atau turun maka SCR akan kembali dalam kondisi blocking. Karakteristik v-i dari SCR ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.3
Diagram rangkaian



Gambar 3.4⁵⁾
Karakteristik V-I

Pada saat SCR konduksi, SCR akan bersifat seperti konduktivitas diode, dan SCR tidak dapat dikontrol lagi. SCR akan terus-menerus konduksi karena tanpa adanya penipisan lapisan pada junction J2 disebabkan aliran pembawa yang bebas bergerak. Jika arus anoda forward dikurangi 1 level disebut Holding current (I_h). Daerah penipisan akan meluas sekitar J2 untuk menurunkan jumlah dari pembawa dan SCR akan mengalami kondisi blocking. Besaran I_h dalam skala mA dan lebih kecil daripada I_L .

Jika katoda positif terhadap anoda, maka junction J2 forward bias dan junction J1 dan J3 reverse bias. kondisi ini sama dengan 2 dioda yang terhubung seri dengan tegangan reverse dari dioda. SCR akan mengalami blocking reverse dan arus bocor reverse disebut arus reverse (I_r), yang akan mengalir melalui SCR.

⁵⁾ M.H. Rashid, Power Electronics, Prentice hall Inc., New Jersey, 1989, Hal. 468

Meskipun SCR dapat dinyalakan dengan menaikkan tegangan forward melebihi V_{BO} , tetapi dengan cara ini dapat merusak SCR. Dalam praktek tegangan forward dijaga dibawah V_{BO} dan penyalaan SCR dapat dilakukan dengan memberikan tegangan positif antara gate dan katoda, ini ditunjukkan pada gambar 3.4. Saat SCR dinyalakan dengan diberi sinyal gate dan arus anodanya lebih besar daripada I_h , ini menyebabkan SCR terus-menerus konduk meskipun sinyal gate dilepas.

III.1.1. Penyalaan SCR

SCR dapat dinyalakan dengan memperbesar arus anoda. Penyalaan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai cara Sebagai berikut :

1. Menaikkan suhu

Jika suhu SCR tinggi, dimana akan menambah jumlah pasangan elektron-hole, yang akan memperbesar arus bocor. Kenaikan arus ini menyebabkan a_1 dan a_2 bertambah.

2. Penyinaran

Jika penyinaran dilakukan pada junction SCR, maka jumlah pasangan elektron-hole akan bertambah. Sehingga SCR akan konduk.

3. Penambahan tegangan

Jika tegangan forward anoda-katoda lebih besar daripada tegangan V_{BO} , arus bocor akan mencapai harga tertentu sehingga SCR konduk. Penyalaan dengan cara ini dapat mengakibatkan SCR rusak.

4. Pemberian arus gate (triger)

Jika anoda SCR forward bias, pemberian arus gate dimana tegangan positif diberikan pada terminal gate dan tegangan negatif pada katoda akan menyebabkan SCR konduk. Apabila arus gate diperbesar, tegangan forward blocking akan menurun seperti ditunjukkan pada gambar 3.4.

Dari keempat cara penyalan diatas penulis akan menggunakan cara keempat yaitu penyalan dengan memberikan arus pada gate SCR (triger). Pemilihan cara ini berdasarkan beberapa pertimbangan yaitu :

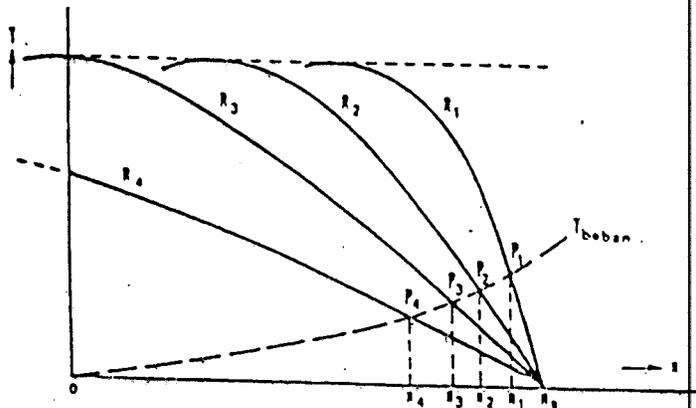
1. Tidak merusak komponen (SCR), karena tegangan forward bias dibatasi.
2. Untuk penggunaannya sebagai pengontrol phase pengaturannya paling mudah.

III.2. Konsep dasar pengaturan motor induksi rotor belitan tiga-phase

Ada berbagai cara yang dapat dilakukan untuk mengatur kecepatan motor induksi rotor belitan, seperti yang telah disebutkan dalam bab I. Salah satu caranya dilakukan dengan mengatur tegangan rotor melalui resistansi luar yang dipasang pada slip rings rotor motor induksi rotor belitan.

Dari persamaan tentang torsi motor induksi seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2 persamaan (2.16) jika harga tahanan luar R_{ex} dirubah-ubah akan diperoleh grafik torsi-kecepatan dengan R_{ex} sebagai parameter seperti pada gambar 3.5. Grafik tersebut menerangkan bahwa merubah hambatan rotor akan mempengaruhi lengkung kopel-kecepatan dimana terlihat empat kurva untuk empat nilai hambatan rotor yang berbeda R_{ex1} , R_{ex2} , R_{ex3} , dan R_{ex4} dimana $R_{ex1} < R_{ex2} < R_{ex3} < R_{ex4}$. Dari

grafik itu juga jika pada suatu harga slip atau kecepatan tertentu ditarik garis tegak lurus sumbu slip dan memotong keempat kurva.



Gambar 3.5.⁶¹
Grafik torsi-slip dengan R_{ex} sebagai parameter

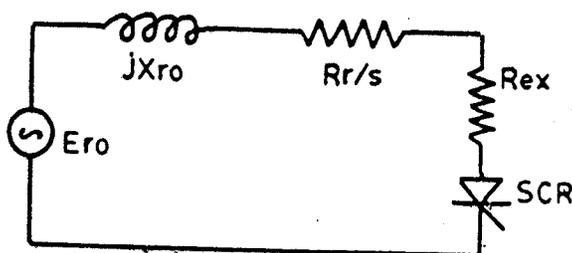
Dari gambar tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa jika terjadi perubahan torsi beban, maka kecepatan akan berubah. Agar kecepatan rotor tidak berubah dapat dilakukan dengan mengatur harga resistansi luar R_{ex} . Jadi jika torsi pada kedudukan 1 pada n_2 diturunkan hingga titik 2, maka R_{ex1} harus diganti menjadi R_{ex2} agar kecepatan n_2 tetap terjaga.

Dari keadaan ini dapat disimpulkan bahwa untuk mempertahankan kecepatan motor pada harga torsi yang mengalami penurunan maka harga resistansi luar (R_{ex}) harus dinaikkan sampai harga tertentu. Hal ini berarti jika torsi motor mengalami penurunan akibat adanya pembebanan maka untuk mempertahankan kecepatan putar, arus yang mengalir pada kumparan rotor harus diturunkan juga.

⁶¹ P.C. SEN, Principles of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1989, Hal. 282.

Untuk keperluan diatas diperlukan rangkaian tambahan yang berfungsi sebagai pengatur phase. Ini dapat dilakukan dengan menambahkan komponen SCR (Silicon Controlled Rectifier), dimana untuk mengatur harga resistansi luar Motor Induksi RotorBelitan tiga-phase dibutuhkan 3 buah SCR yang terhubung Delta.

Bertolak dari pemikiran tentang penurunan rangkaian ekuivalen rotor seperti pada bab 2 gambar 2.3 yang menganggap bahwa tegangan E_r konstan sedangkan impedansi rotor Z_{eq} mengandung semua perubahan dari slip rotor, dan jika gambar tersebut ditulis kembali dengan menambahkan resistansi luar (R_{ex}) dan SCR maka akan didapatkan gambar 3.6.



Gambar 3.6
Rangkaian ekuivalen rotor 1 ϕ dengan menambah SCR

Bila ditinjau kembali persamaan torsi motor induksi rotor belitan dibawah ini

$$T = \frac{k E_s E_r R}{R^2 + (s X_{ro})^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana E_s adalah tegangan stator yang merupakan panghasil medan putar stator yang besarnya konstan dan E_r adalah tegangan pada rotor. Sedangkan

$$E_r = s E_s \dots \dots \dots (3.2)$$

Agar nantinya dapat lebih mudah dipahami perlu didefinisikan kembali tentang notasi

Es pada stator tetap Es,

maka persamaan (3.2) menjadi:

$$E_r = s E_{ro} \dots \dots \dots (3.3)$$

dan persamaan torsi motor induksi rotor belitan berubah menjadi:

$$T = \frac{k E_s E_{ro} R/s}{(R/s)^2 + X_{ro}^2} \dots \dots \dots (3.4)$$

pada persamaan torsi motor induksi rotor belitan diatas antara Es dan Ero besarnya sama.

Pada gambar 3.6 jika SCR dinyalakan dengan sudut penyalakan α° , dimana α lebih besar daripada nol, maka besar tegangan yang melalui resistansi luar (R_{ex}) akan berkurang. Hal ini dapat dikatakan juga bahwa tegangan Ero yang berkurang, misalkan sebesar V_0 dan arus yang mengalir pada reistansi luar (R_{ex}) akan berkurang juga.

Kedalam persamaan torsi perubahan ini dapat dituliskan menjadi :

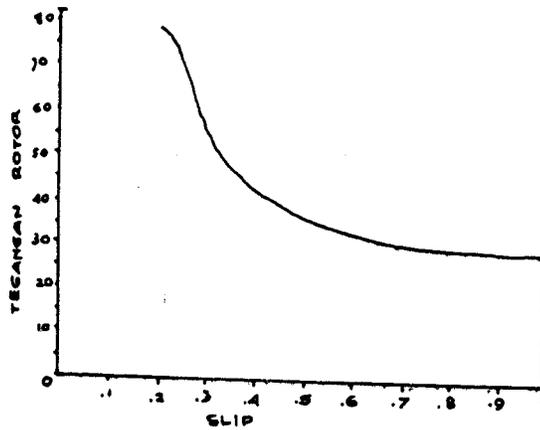
$$T = \frac{k E_s V_0 R/s}{(R/s)^2 + X_{ro}^2} \dots \dots \dots (3.5)$$

Jika torsi beban konstan maka berlaku persamaan

$$\frac{k_1 V_{01} R/s_1}{(R/s)^2 + X_{ro}^2} = \frac{k_2 V_{02} R/s_2}{(R/s)^2 + X_{ro}^2} \dots \dots \dots (3.6)$$

Jika dibuat grafik antara tegangan rotor E_{ro} dengan kecepatan motor atau slip diperoleh gambar 3.7. kurva dari gambar ini diperoleh dengan menerapkan harga R lebih besar dari 1 ohm.

Pada kurva gambar 3.7. , jika ditarik garis tegak lurus sumbu torsi (torsi konstan) bertambahnya harga resistansi rotor menyebabkan membesarnya slip. Keadaan ini identik dengan gambar 3.7. bahwa pada torsi konstan, jika tegangan rotor diturunkan menyebabkan slip akan membesar.



Gambar 3.7.
Karakteristik tegangan rotor (E_{ro}) - slip (S) pada torsi konstan

Sekarang akan dilihat bagaimana pengaruh penurunan tegangan rotor pada torsi konstan terhadap arus dan faktor daya dari rotor. Untuk menjawab pertanyaan ini marilah dilihat kembali pada terjadinya torsi elektromagnetik motor, seperti diperlihatkan dalam persamaan (3.4.) dimana arus rotor

$$I_r = \frac{E_{ro}}{\sqrt{(R/s)^2 + X_{ro}^2}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\cos \phi = \frac{R/s}{\sqrt{(R/s)^2 + X_{ro}^2}} \dots\dots\dots(3.8)$$

dari grafik gambar 3.7. jika tegangan E_{ro} turun menjadi V_o maka slip akan turun menjadi S_1 . Jika kedua besaran ini digantikan pada persamaan 3.7. dan 3.8. maka :

$$I_{r1} = \frac{V_o}{\sqrt{(R/s)^2 + X_{ro}^2}}$$

$$\cos \phi = \frac{R/s_1}{\sqrt{(R/s_1)^2 + X_{ro}^2}}$$

Jika dihitung harga I_{r1} lebih besar dibandingkan dengan I_r dan $\cos \phi_1$ lebih kecil daripada $\cos \phi$.

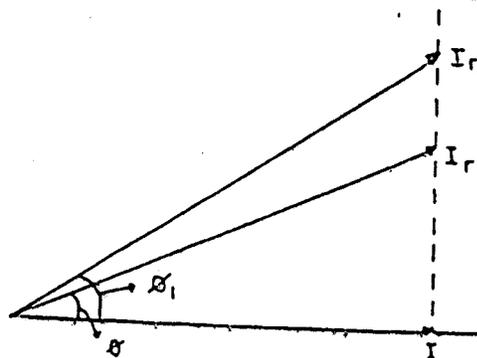
Untuk selanjutnya dapat dilihat pada tabel 1

PERHITUNGAN ARUS DAN SUDUT PHASA

S	V_o	I_r	ϕ
0,2	80	3,922	11,31
0,3	55,81	4,009	16,70
0,4	44,54	4,135	21,82
0,5	38,42	4,293	26,57
0,6	34,82	4,479	30,96
0,7	32,39	4,643	34,99
0,8	31,48	4,921	38,66
0,9	30,89	5,174	41,99
1	30,72	5,436	45

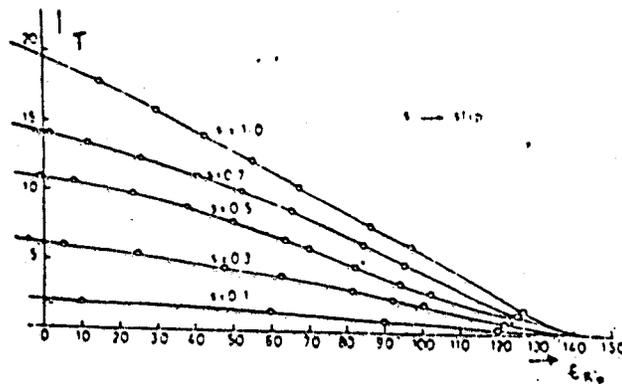
Tabel diatas diperoleh dengan menerapkan harga tahanan rotor $R = 4 \text{ ohm}$, $X_{ro} = 4 \text{ ohm}$ dan tegangan stator $E_{ro} = 80 \text{ volt}$ dan pada torsi beban sekitar 3 Nm motor berputar dengan slip sebesar 0,2.

Jika kedua keadaan ini digambarkan ke dalam bentuk diagram fasor akan diperoleh gambar 3.8. dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa harga arus yang dibutuhkan tetap, sebesar I ($I = I_r \cos \phi$) meskipun tegangan rotor berubah. Jadi dengan merubah tegangan rotor disamping menyebabkan berubahnya harga arus rotor juga menyebabkan berubahnya sudut phase rotor. Jelaslah bahwa penempatan SCR pada sisi rotor ini berfungsi sebagai pengatur phase tegangan dari rotor.



Gambar 3.8.
Diagram fasor dari arus rotor

Dari uraian diatas, jika kecepatan dipertahankan pada harga konstan, maka penurunan tegangan rotor akan mengakibatkan turunnya torsi elektromagnetik yang dihasilkan motor. Grafik perubahan torsi sebagai fungsi tegangan rotor dengan slip konstan ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9⁷¹
Grafik torsi (T) - tegangan rotor (E_r) pada slip konstan

III.3. SCR Sebagai Pengatur Sudut Phase

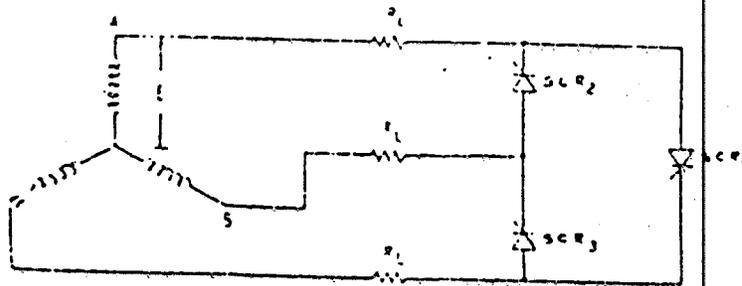
Pada bab ini akan dibahas pengatur sudut 3 phase dengan tiga buah SCR terhubung delta yang dipasang pada tirik netral dari kumparan tiga phase terhubung bintang. Agar diperoleh gambaran yang lebih jelas, yang pertama akan dibahas tentang beban resistip sedang yang kedua yang merupakan permasalahan dari tugas akhir ini yaitu tentang beban resistip dan induktip yang merupakan rangkaian ekuivalen dari rotor.

III.3.1. Beban Resistip

Gambaran tentang beban tiga phase terhubung bintang sedangkan pada titik bintangnya ditempatkan tiga buah SCR dalam susunan delta diperlihatkan pada gambar 3.10. Rangkaian ini dapat dipakai karena hambatan dalam SCR sangat kecil, sehingga

⁷¹ M. Ramamoorthy and M. Arunachalam, Dynamic Performance of a Closed-Loop Induction Motor Speed Control System with Phase-Controlled SCR's in the Rotor, IEEE Trans. on Industry Application, vol. IA-15, No. 5, September/Oktober 1979

secara praktis rangkaian SCR dalam hubungan delta ini mendekati suatu "titik bintang".



Gambar 3.10
SCR pengatur phase 3 ϕ dengan beban resistip

Dalam gambar 3.10 ini phase A dapat mengirim arus ke phase yang lainnya jika SCR_1 dalam keadaan menghantar dan begitu juga untuk phase-phase lainnya. Ada hal yang sangat penting sehubungan dengan waktu penyalakan dari ketiga SCR tersebut yaitu ketiga SCR dinyalakan dengan berbeda sudut sebesar 120° . Jadi jika SCR_1 dinyalakan pada sudut α maka SCR_2 dinyalakan pada sudut $120^\circ + \alpha$ dan SCR_3 dinyalakan pada sudut $240^\circ + \alpha$.

Untuk melihat gejala yang terjadi atau bentuk gelombang yang terjadi perlu dibuat diagram gelombang seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11. Pada gambar ini bentuk gelombang dari tegangan beban pada phase A dinyalakan dan phase A lebih positif dari phase B dan C. SCR_2 tidak dalam keadaan menghantar, tetapi SCR_3 dalam keadaan menghantar karenanya arus mengalir dari phase A ke phase C. Karena semua phase menghantar, tegangan pada beban resistip sama dengan tegangan phase dari

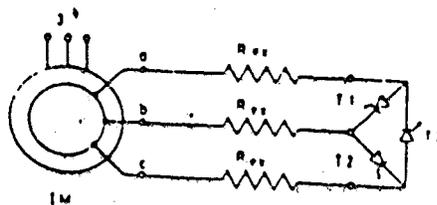
sumber. Keadaan ini berlangsung hingga saat SCR_3 berhenti menghantar. Padamnya SCR_3 ini karena ada dua arus yang besarnya sama tetapi berlawanan arah yang melewati SCR_3 , yaitu arus dari phase A ke B dan dari phase B ke C. Kejadian ini terjadi pada sudut 120° . Padamnya SCR_3 ini mengakibatkan arus hanya mengalir dari phase A ke B, maka tegangan pada beban adalah $E_{A-C} / 2$ yaitu tegangan "line to line" yang terbagi dua karena ada dua beban yang besarnya sama. Hal ini berlangsung hingga SCR_2 dinyalakan pada sudut 180° . Sekarang arus mengalir dari phase B ke A dan C lewat SCR_1 dan SCR_2 dan terus berlangsung hingga SCR_1 berhenti menyala. Selama periode itu semua phase menghantar dan tegangan beban sama dengan tegangan phase dari sumber. Ketika SCR_1 berhenti menghantar (sudut 240°), hanya SCR_2 yang menghantar dan tegangan beban menjadi $E_{B-A} / 2$ sampai dengan SCR_3 dinyalakan. Padamnya SCR_1 karena mengalirnya arus B-C dan arus C-B yang besarnya sama tetapi berlawanan arah. Pada saat SCR_3 dinyalakan yaitu pada sudut 300° , semua phase dalam keadaan menghantar (karena SCR_2 masih menghantar) dan tegangan beban bentuknya mengikuti tegangan sumber sampai saat padamnya SCR_2 . Padamnya SCR_2 terjadi pada sudut 360° . Pada saat ini lengkap sudah satu periode bentuk gelombang tegangan beban phase A dan periode berikutnya mulai terjadi jika SCR_1 dinyalakan kembali yaitu pada sudut 420° .

III.3.2. Rangkaian ekuivalen rotor dengan tiga SCR terhubung delta

Pada bab III.2 telah diterangkan dengan jelas bagaimana proses pengaturan kecepatan dari motor induksi dengan SCR. pada pembahasan kali ini motor induksi

yang digunakan adalah kenis rotor belit 3 phase. Jadi jumlah SCR yang dipakai harus memenuhi kriteria pengaturan tegangan tiga phase. Dalam hal ini jumlah SCR yang digunakan berjumlah tiga buah dalam susunan delta dan dipasang pada titik bintang dari rotor. Susunan dalam bentuk delta mempunyai keuntungan yang relatif lebih murah biayanya jika dibandingkan dengan yang menggunakan enam buah SCR.

Gambaran dari sistem pengaturan yang dibahas ini diperlihatkan dalam gambar 3.11.



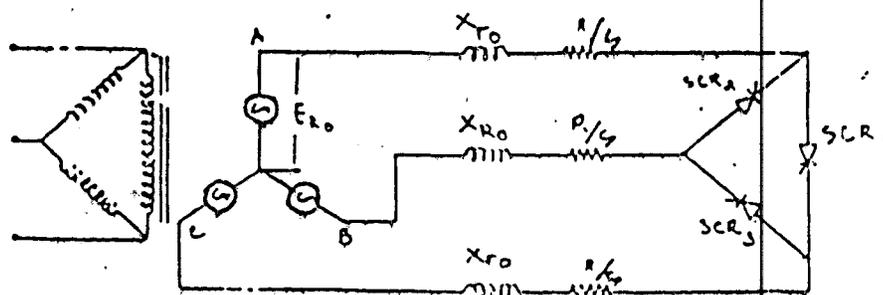
Gambar 3.11⁸¹

Diagram skematik dari SCR pengatur phase dalam susunan delta

Rex dalam gambar 3.11. ini adalah hambatan luar yang dipasang antara SCR dengan belitan rotor melalui cincin slip (slip ring). Fungsi dari hambatan luar Rex ini adalah untuk mengatasi torsi start dari motor induksi dan untuk menentukan daerah kerja motor. Berdasarkan gambar 2.3, rangkaian ekuivalen dari gambar 3.11. ditunjukkan

⁸¹ M. Ramamoorthy and M. Arunachalam, Dynamic Performance of a Closed-Loop Induction Motor Speed Control System with Phase-Controlled SCR's in the Rotor, IEEE Trans. on Industry Application, vol. IA-15, No. 5, September/Oktober 1979

dalam gambar 3.12. Dalam gambar 3.12 itu, E_{R0} adalah tegangan rotor per phase dan dianggap sebagai sumber tegangan dan $X_r + R/s$ sebagai beban.



Gambar 3.12
Rangkain ekuivalen dari gambar 3.11

Bentuk gelombang yang terjadi pada beban jika SCR dinyalakan dengan sudut $\alpha = n/3$ diperlihatkan dalam gambar 3.13 dan bentuk gelombang untuk phase A diperlihatkan dalam gambar 3.13 (e). Pada sudut ini SCR_1 dinyalakan, SCR_2 dalam keadaan padam sedangkan SCR_3 masih menghantar. Pada saat ini karena ada dua SCR yang aktif dan semua phase dalam keadaan menghantar (lihat gambar 3.13 d), maka tegangan beban mengikuti bentuk tegangan sumbernya. Hal ini berlangsung hingga titik 2 yaitu saat SCR_3 mengalami pemadaman karena mengalirnya dua arus yang besarnya sama dan berlawanan arah yaitu arus A-B dan arus B-C (gambar 3.13 d). Peristiwa ini terjadi pada sudut $120^\circ + \phi$, dimana ϕ adalah beda phase antara arus dan

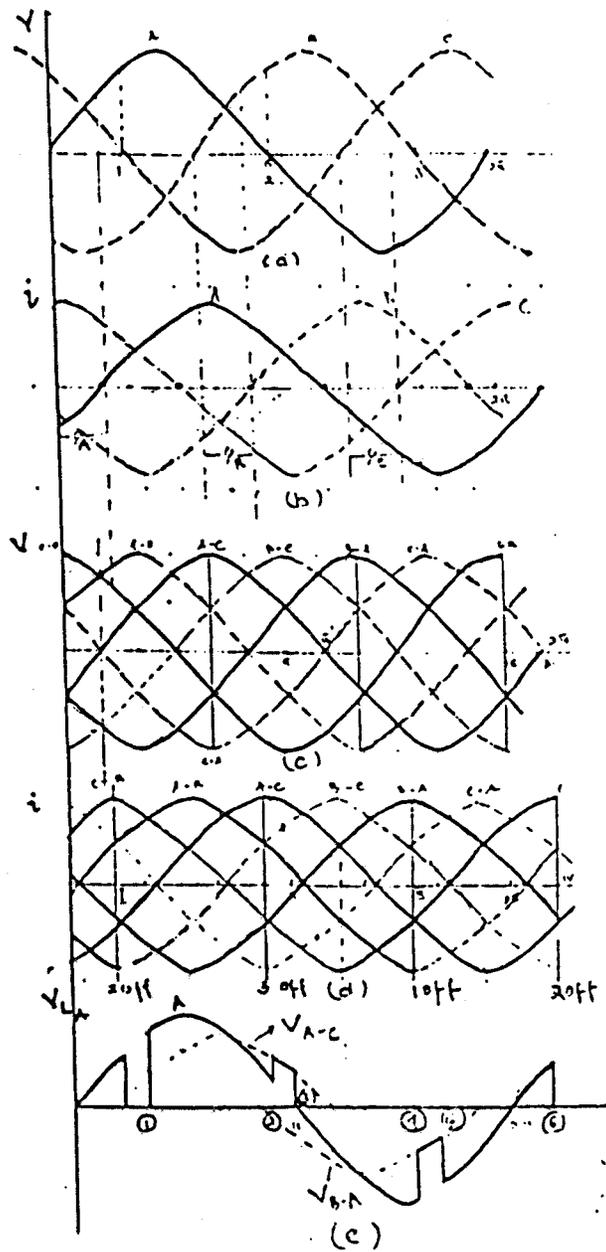
tegangan (gambar 3.13 b) atas kejadian ini hanya ada arus dari phase A ke B sedangkan phase C nol, sehingga tegangan beban adalah $E_{AC} / 2$. Hal ini berlangsung sampai pada titik 3 SCR₂ dinyalakan. Akibatnya semua phase menghantarkan atau menerima arus sehingga tegangan beban mengikuti tegangan sumbernya. Pada titik 4, kembali hanya dua phase yang bekerja yaitu phase A dan B dan arus mengalir dari phase B ke C. hal ini terjadi karena SCR₁ padam akibat dua arus yang harganya sama tetapi berlawanan arah mengalir padanya. Hal ini terjadi pada sudut $240^\circ + \phi$ dan tegangan beban adalah $E_{BA} / 2$. Hal ini berlangsung hingga titik 5 yaitu saat SCR₃ dinyalakan pada sudut 300° , pada saat ini kembali semua phase aktif karena ada dua SCR yang bisa dilewati arus yaitu SCR₃ dan SCR₂, sehingga tegangan beban bentuknya mengikuti tegangan sumber. Hal ini berlangsung terus hingga mencapai titik 6 yaitu saat SCR₂ padam sehingga phase A tidak dialiri arus. Sampai dengan titik 6 ini lengkaplah sudah satu periode dari bentuk gelombang tegangan beban untuk phase A dan akan diulang lagi pada periode berikutnya.

Tegangan beban rata-rata phase A untuk 1/2 cycle positif adalah :

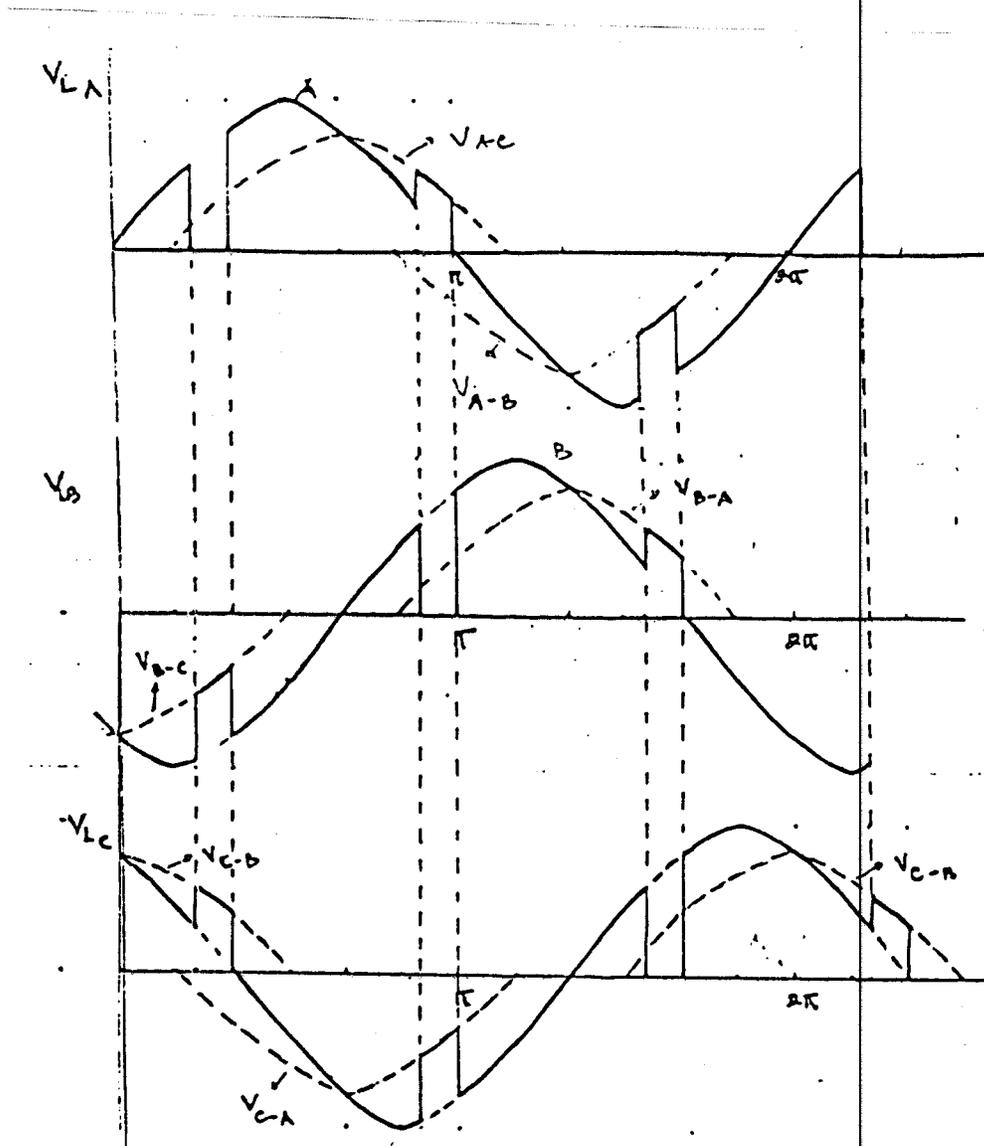
$$V_{av} = \frac{\sqrt{2E}}{\pi} \left[\int_0^\phi \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_\alpha^{180+\phi-\alpha} \sin(\omega t) d(\omega t) + \sqrt{3/2} \int_{180+\phi-\alpha}^\pi \sin(\omega t - \pi/6) d(\omega t) \right]$$

dan untuk 1/2 cycle negatif adalah:

$$V_{av} = \frac{\sqrt{2E}}{\pi} \left[\int_\pi^{300+\phi-\alpha} \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_{360}^{360} \sin(\omega t) d(\omega t) + \sqrt{3/2} \int_{300+\phi-\alpha}^{300} \sin(\omega t + \pi/6) d(\omega t) \right]$$



Gambar 3.13
Diagram bentuk gelombang beban resistip dan induktip



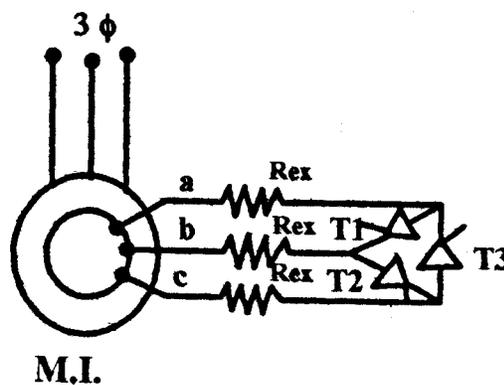
Gambar 3.14
 Bentuk gelombang beban resistip dan induktip

BAB IV

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN RANGKAIAN PENGATURAN TEGANGAN PADA ROTOR MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN 3 PHASE

IV.1. Skema dasar rangkaian

Gambaran skematik dari rangkaian pengatur kecepatan motor induksi rotor belitan dengan memasang tiga buah SCR pengatur phase dalam hubungan delta pada bagian rotor, diperlihatkan dalam gambar 4.1



Gambar 4.1

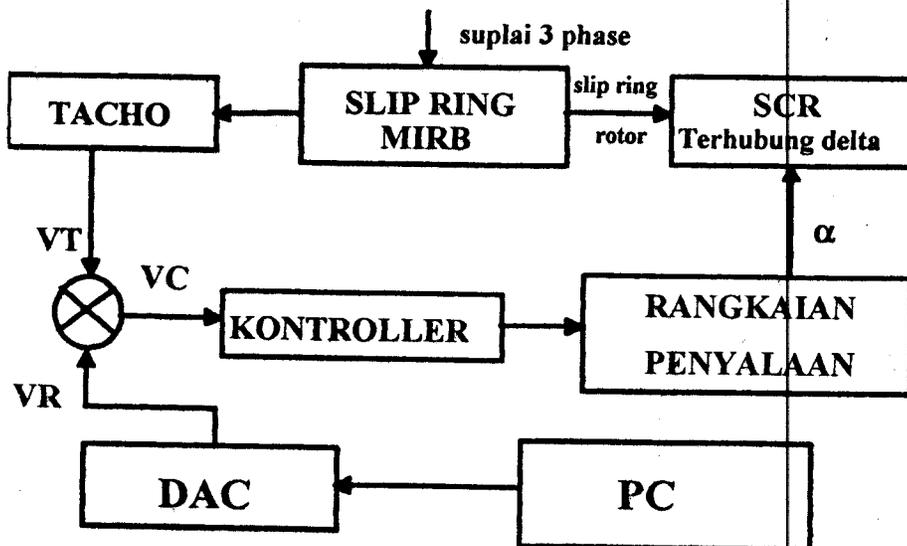
Skema dasar SCR pengatur phase dalam hubungan delta

Pada slip-ring motor induksi rotor belitan 3-phase dihubungkan dengan suatu resistansi luar Rex. Selanjutnya resistansi luar Rex dihubungkan dengan tiga buah SCR yang terhubung delta seperti terlihat dalam gambar 4.1. Sedangkan pengaturan

sudut penyalannya dilakukan oleh suatu rangkaian tersendiri yang dinamakan rangkaian penyalan (trigger).

IV.2. Perencanaan dan Pembuatan rangkaian

Untuk mempermudah pengertian prinsip kerja rangkaian pengatur kecepatan motor induksi rotor belitan secara keseluruhan maka dibawah ini diberikan blok diagram rangkaian :



Gambar 4.2⁹¹

Blok diagram pengatur kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan

⁹¹ M. Ramamoorthy and M. Arunachalam, Dynamic Performance of a Closed-Loop Induction Motor Speed Control System With Phase-Controlled SCR's in the Rotor, IEEE Trans. on Industry Application, Vol. IA-15, No.5, September/October 1979.

Prinsip kerja blok diagram pada gambar 4.2. adalah sebagai berikut:

Pada slip-rings motor induksi rotor belitan tiga-phase ditambahkan tiga buah resistansi luar. Selanjutnya resistansi luar dihubungkan dengan tiga buah SCR yang terhubung delta. Dimana kaki Anoda dan Katoda SCR terhubung pada resistansi luar sedangkan kaki Gate-nya dihubungkan pada rangkaian penyalan (trigger). Pada poros rotor motor dipasang sebuah tachogenerator (pada sistem kontrol otomatis hal ini biasa disebut dengan sistem kontrol secara closed loop), dimana setiap motor berputar dengan kecepatan yang tertentu, tachogenerator akan selalu mencatat seberapa besar kecepatan motor. Disamping itu tachogenerator akan mengkonversikan kecepatan putar motor menjadi tegangan DC (VT) yang besarnya berbanding lurus dengan kecepatan putar motor. Selanjutnya keluaran dari tachogenerator VT dibandingkan dengan tegangan DC (VR) yang telah ditetapkan melalui suatu rangkaian sumer (penjumlah). Dalam Tugas Akhir ini VR diberikan dari sebuah rangkaian DAC (digital to analog konverter). Besarnya VR dapat ditentukan dari sebuah PC dengan bantuan rangkaian Universal Interface.

Rangkaian Penjumlah akan mendeteksi perbedaan tegangan antara VT dan VR. Hasil penjumlahan adalah tegangan VC. Selanjutnya VC akan diumpankan pada rangkian kontroller untuk mendapatkan besaran tegangan dan ketelitian yang cukup. Pada rangkaian penyalan VC ini akan dijadikan referensi seberapa besar sudut penyalan akan diberikan, jadi bila VC yang diterima berubah maka sudut penyalan

akan berubah juga. Sudut penyalan yang didapat diumpankan pada gate SCR. Dengan demikian SCR akan konduk atau on dengan sudut phase yang besarnya sama dengan sudut penyalan . Dengan menggunakan IC TCA 785 sudut penyalan dapat diatur mulai dari 0° sampai 180° .

Untuk sudut penyalan 0° kecepatan motor induksi rotor belitan maksimum sedangkan pada sudut penyalan 180° kecepatan motor minimum.

Rangkaian yang digunakan dalam pengaturan kecepatan motor induksi rotor belitan 3-phase meliputi rangkaian suplai daya, rangkaian OP-AMS, rangkaian Trigger (penyalan), rangkaian DAC (Digital to Analog Converter) dan rangkaian Universal Interface.

IV.2.1. Rangkaian suplai daya (regulator)

Suplai daya digunakan untuk menyuplai tegangan DC yang dibutuhkan rangkaian penyalan (+15V), rangkaian penjumlah dan kontroller yang membutuhkan suplai tegangan (+12V,-12V), dan rangkaian DAC yang membutuhkan suplai tegangan (+12V, -12V, +5V). Sedangkan rangkaian Universal Interface diambilkan suplai tegangan dari PC.

Rangkaian suplai daya yang dirancang harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu :

1. Ripple yang terjadi sekecil mungkin.
2. Keluaran tegangan DC harus mendekati harga yang sebenarnya.

Suplai DC yang dirancang menggunakan IC seri LM 78xx untuk memberikan tegangan keluaran positif dan LM 79xx digunakan untuk memberikan tegangan keluaran negatif. Seri LM 78xx dan 79xx merupakan IC regulator dengan tiga terminal.

Pemilihan pada IC seri 78xx (dalam kemasan plastik) karena mempunyai sifat-sifat^{10]}

1. Arus keluaran melebihi 0.5 A.
2. Pengaman intern terhadap pembebanan lebih termik.
3. Tidak memerlukan tambahan komponen ekstern (rangkaiannya lebih sederhana).
4. Pengamanan daerah aman bagi transistor keluaran.
5. Pembatas arus hubung singkat intern.

Pemilihan pada IC seri 79xx (dalam kemasan plastik) karena mempunyai sifat-sifat :

1. Arus keluaran melebihi 0.5 A.
2. Pengamanan terhadap termik, hubung singkat, dan daerah aman.
3. Penindasan kerut yang tinggi.

Gambar dari rangkaian suplai daya diberikan pada Apendiks B

Kumparan primer Trafo T (tipe CT) dihubungkan dengan tegangan AC 220V satu-phase, output kumparan sekunder dipilih yang 12V. Tegangan 12V output Trafo yang masih berupa tegangan AC disearahkan dengan diode bridge menjadi tegangan

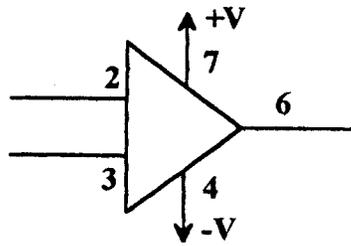
^{10]} Wasito S., Kumpulan Data Penting Komponen Elektronika, P.T. Multimedia, Jakarta, 1985

DC. Tegangan DC hasil penyearahan mempunyai ripple yang besar. Untuk mengurangi ripple yang timbul dipakai kapasitor jenis Elco (elektrolit condensator). Untuk menghasilkan tegangan keluaran +12V, kaki Elco positif dihubungkan dengan masukan IC LM 7812, sedangkan kaki negatif dihubungkan dengan ground. Keluaran dari LM 7812 diberi kondensator untuk memperkecil ripple yang terjadi. Untuk menghasilkan keluaran negatif -12V, kaki Elco negatif dihubungkan dengan input LM 7912 dan kaki positif dihubungkan dengan ground. Hal ini merupakan kebalikan dari LM 7812. Sedangkan untuk menghasilkan keluaran positif +5V LM 7805 tidak perlu mengambil tegangan dari keluaran trafo 5V tetapi langsung dari keluaran LM 7812.

Untuk suplai +15V dibuatkan rangkaian tersendiri dengan trafo bukan CT. Rangkaian ini menggunakan IC LM 7815.

IV.2.2. Rangkaian Penjumlah

Rangkaian penjumlah dirancang untuk menjumlahkan tegangan keluaran tachogenerator VT dan tegangan referensi yang diset dari personal komputer (PC). Agar didapatkan hasil yang mendekati penjumlahan sebenarnya dipakai rangkaian Op-Amp sebagai berikut :



Gambar 4.3
Op-amp

Keterangan pin-pin op-amps :

- Pin 2 : Masukan pembalik
- Pin 3 : Masukan tak membalik
- Pin 4 : Tegangan suplai (-V)
- Pin 7 : Tegangan suplai (+V)
- Pin 6 : Keluaran

Banyak tipe op-amp yang terdapat di pasaran, tetapi yang dipilih adalah LM 741, yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Bila diseriakan umpan balik, efek arus offset pada tegangan keluaran sangat kecil kurang lebih 30 mV sehingga tidak diperlukan offset.
2. Ketelitian cukup tinggi.
3. Harga relatif murah dan mudah didapat dipasaran.

Rangkaian penjumlahan diperlihatkan pada Apendiks B.

V_{ref} (keluaran DAC) diumpankan pada masukan tak membalik IC1.

Sedangkan keluaran diumpanbalikkan pada masukan pembalik. Pada keadaan ini IC1 difungsikan sebagai buffer dari Vref.

$$V_{O_1} = V_{ref}$$

Vtacho (VT) diumpankan pada masukan pembalik IC2 melalui Ri = 10k. Sedangkan masukan tak membalik di ground. keluaran IC2 diumpanbalikkan pada masukan pembalik melalui Rf = 10k. Sehingga dalam hal ini IC2 berfungsi sebagai pembalik tegangan dengan penguat 1x. Keluaran yang didapat sebesar :

$$\begin{aligned} V_{O_2} &= -(R_f/R_i) \times V_T = -(10/10) \times V_T \\ &= -V_T \end{aligned}$$

Selanjutnya V_{O1} dan V_{O2} diumpankan pada masukan pembalik IC3 melalui Ri1 dan Ri2 sebesar 10k. Masukan pembalik IC3 di ground. Sedangkan keluaran IC3 diumpanbalikkan pada masukan pembalik melalui Rf. Keluaran yang didapat memenuhi persamaan :

$$I_1 = \left(\frac{V_{O_1}}{R_{i1}} \right), I_2 = \left(\frac{V_{O_2}}{R_{i2}} \right)$$

Karena masukan pembalik (-) mengalir arus yang dapat diabaikan, maka I1 dan I2 semua mengalir melalui Rf. Drop tegangan pada Rf = V0

$$V_0 = -(I_1 + I_2)R_f$$

$$V_0 = -\left(\frac{V_{O_1}}{R_{i1}} + \frac{V_{O_2}}{R_{i2}} \right) R_f, \quad \text{karena } R_{i1} = R_{i2} = R_f, \text{ maka:}$$

$$\begin{aligned} V_0 &= -(V_{O_1} + V_{O_2}) \\ &= -(V_R - V_T) \end{aligned}$$

$$= (VT - VR)$$

IV.2.3. Rangkaian Interface

Rangkaian interface adalah rangkaian yang menghubungkan isyarat dari satu peralatan ke peralatan yang lain. Suatu peralatan eksternal (diluar komputer) agar dapat menerima isyarat masukan dari komputer harus diinterfacekan terlebih dahulu. Bila peralatan eksternal yang dipakai menggunakan sistem analog, maka agar isyarat keluaran dari rangkaian interface dapat diterima harus dibuatkan terlebih dahulu rangkaian pengubah isyarat analog menjadi digital, yang biasa disebut rangkaian DAC (digital to Analog Converter).

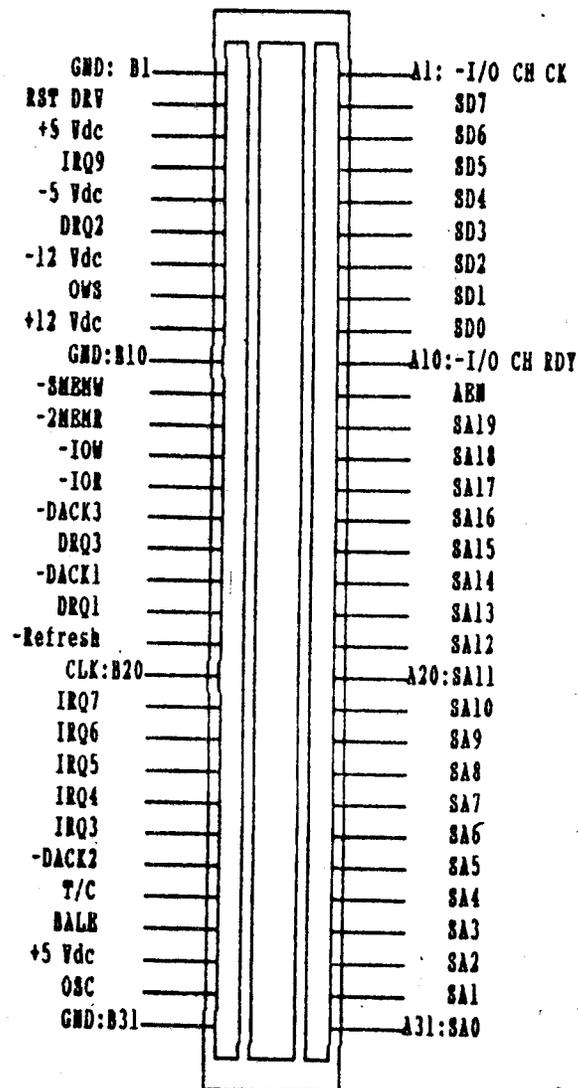
Rangkaian interface akan dikenal komputer jika di memberi tahu komputer alamat dari rangkaian tersebut. Untuk I/O channel, komputer menyediakan alamat dari 000h sampai 3ffh. Pada prinsipnya di bebas menentukan alamat yang di inginkan. Akan tetapi komputer sudah memberikan standard alamat-alamat yang sudah digunakan dan alamat-alamat yang bisa digunakan sebagai prototype card. Jadi harus dipastikan bahwa tidak ada peralatan lain yang mempunyai alamat sama. Untuk PPI Progamable Pheripheral Interface alamat yang standard dipakai adalah 300h sampai 303h.

Dalam Tugas Akhir ini dibutuhkan peralatan yang dapat menyalurkan isyarat keluaran analog berupa tegangan referensi yang nantinya akan dibandingkan dengan tegangan keluaran tacho. Jadi rangkaian interface yang dibuat berfungsi untuk



menyalurkan data digital 8-bit. Selanjutnya rangkaian ini diletakkan pada slot komputer.

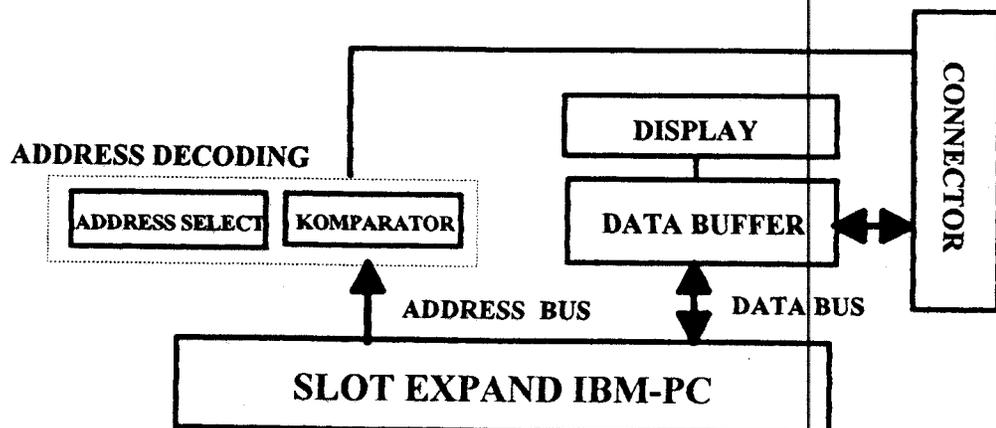
Pin-pin pada slot komputer diperlihatkan dalam gambar 4.4



Gambar 4.4
Slot komputer

Apabila diberikan data 8-bit pada komputer maka data tersebut akan mengisi data bus. Sinyal -IOW memberi instruksi pada perangkat I/O untuk membaca data pada data bus. Sinyal ini aktive low dan bersama-sama dengan 'board select' akan memebentuk sinyal yang memberi tahu rangkaian output bahwa data pada data bus sudah boleh dibaca. Sinyal ini disebut 'board write strobe'. Prinsipnya di hanya memberikan perintah OUT, semua timing diatur oleh komputer.

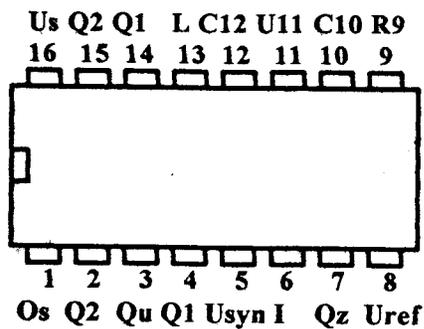
Karena data bus dipakai bersama-sama dengan peralatan laian secara paralel, maka pengiriman data ke alamat tertentu harus segera dibaca oleh alat tersebut. Untuk ini diperlukan alat penyimpan sementara (latches) agar data bisa digunakan. Dalam hal ini yang dipakai sebagai latch adalah PPI 8255. PPI dapat mengeluarkan data 16 bit berupa data 8bit A1-A8 dan 8bit B1-B8.



Gambar 4.5
Blok diagram universal interface

IV.2.4. Rangkaian penyalan SCR

Rangkaian penyalan SCR berfungsi untuk membuka gerbang gate SCR. Untuk membangkitkan sinyal ramp digunakan IC TCA 785. Gambar 4.6 menunjukkan susunan pasak-pasak dari IC TCA 785.



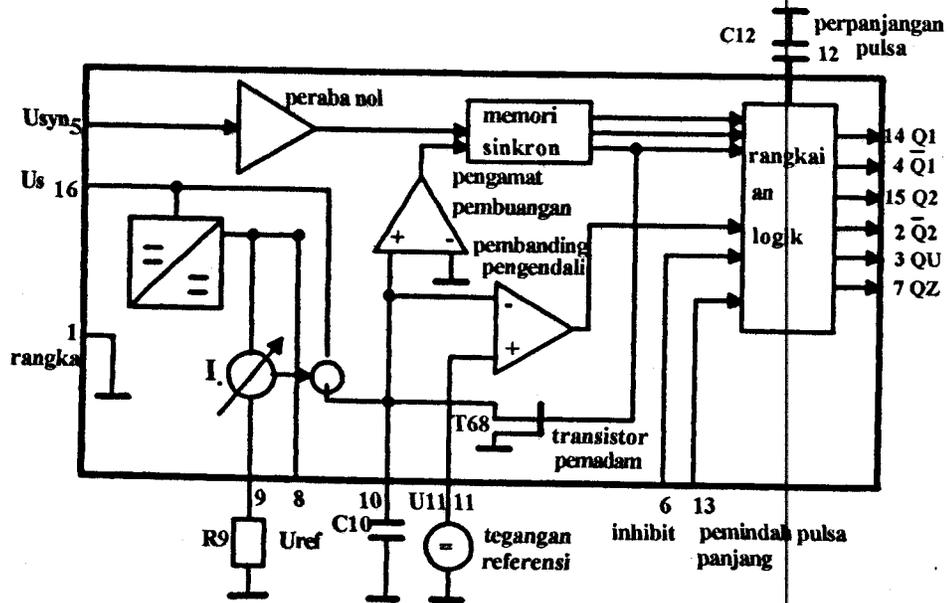
Gambar 4.6
Susunan terminal IC TCA 785

Keterangan sambungan terminal:

Nomor pasak	Simbol	Fungsi
1.	Qs	Rangka/tanah
2.	Q2-	Keluaran 2 terbalik
3.	QU	Keluaran U
4.	Q1-	Keluaran 1 terbalik
5.	Usin	Tegangan sinkron
6.	I	Inhibit
7.	QZ	Keluaran Z
8.	Uref	Tegangan referensi

- 9. Rg Tahanan ramp
- 10. C10 Kapasitansi pendakian
- 11. U11 Tegangan referensi
- 12. C12 Perpanjangan pulsa
- 13. L impuls panjang
- 14. Q1 Keluaran 1
- 15. Q2 Keluaran 2
- 16. Us Tegangan sumber

Diagram blok rangkaian dalam IC TCA 785 diperlihatkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7.
Blok diagram TCA 785

Cara kerja/fungsi IC TCA 785 :

Sinyal sinkronisasi dari tegangan jala-jala disalurkan melalui tahanan yang berhambat tinggi (tegangan U_s). Peraba nol akan menetapkan letak titik nol dan dimasukkan kedalam memori sinkron. Peraba ini akan mengendalikan sebuah generator tangga. Kapasitor C10 dari generator ini akan dimuati dengan arus konstan (tergantung pada r_9). Bila tegangan ramp U10 melebihi harga U11 (sudut penyalaan 0), maka sinyalnya akan diteruskan ke rangkaian logik. Sudut penyalaan dapat diatur antara 0 sampai 180 derajat, tergantung pada besarnya tegangan pengendali U11.

Pada terminal keluaran Q1 dan Q2 akan keluar tegangan pulsa positif selama 30 mikro detik setiap setengan gelombang. Panjang pulsa ini dapat diperpanjang 180 derajat dengan mengubah kapasitor C12. Bola terminal 12 ditanahkan maka akan timbul pulsa-pulsa yang panjangnya antara sampai 180 derajat.

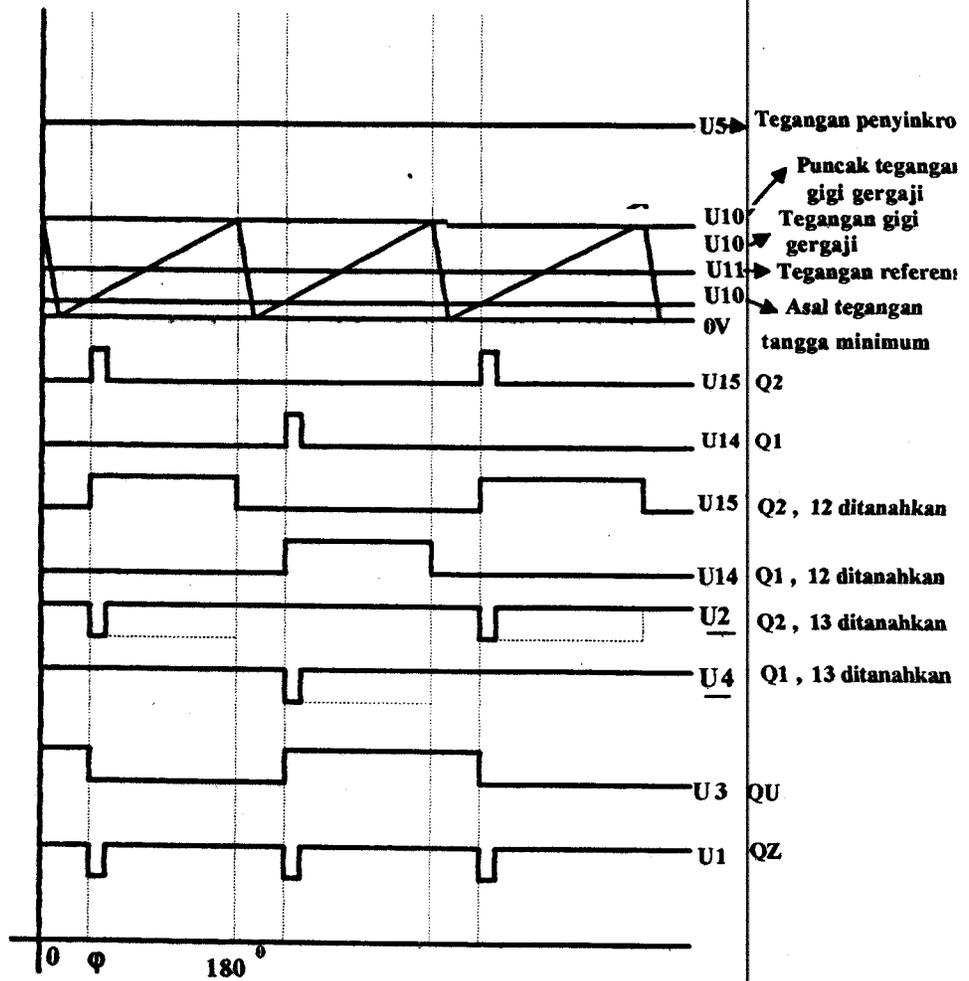
Pada terminal keluaran Q1- dan Q2- akan keluar sinyal kebalikan dari sinyal Q1 dan Q2. Pada terminal 3 akan tersedia sinyal sebesar + 180 derajat, yang dapat dipakai untuk mengendalikan suatu rangkaian logik diluar IC.

Pada terminal keluaran QZ (pasak7) terdapat suatu sinyal yang sesuai dengan hubungan NOR pada Q1 dan Q2.

Dengan bantuan terminal masukan inhibit terminal keluaran Q1, Q2, dan Q1-, Q2-, QU dapat diblokir.

Dengan bantuan terminal 13, pulsa keluaran Q1 dan Q2 dapat diperpanjang menjadi $(180-\alpha)$.

Bentuk gelombang dari masing-masing pasak TCA 785 diperlihatkan pada gambar 4.8



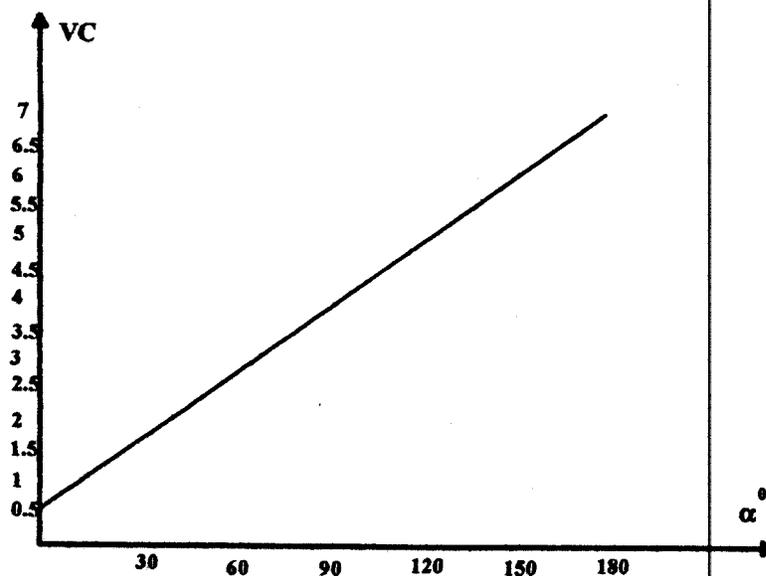
Gambar 4.8
Diagram pulsa

Gambar 4.9 . menunjukkan rangkaian pemotong phase dengan SCR. Sudut phase dapat diatur mulai dari 0° sampai 180° , melalui pasak 11 IC TCA 785 dengan

memberikan tegangan referensi masukan (VC). Tegangan VC didapatkan dari keluaran rangkaian op-ams.

Dengan menerapkan TCA 785 kedalam rangkaian penyalan didapatkan gambar rangkaian diperlihatkan pada Apendiks B.

Hubungan tegangan input referensi pin 11 dengan sudut penyalan α adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9

Lebar sudut penyalan α sebagai fungsi tegangan referensi (pin 11)

Pada rangkaian ini arus penyalan sampai 50 mA. Lebar pulsa penyalan kira-kira 100 μ detik.

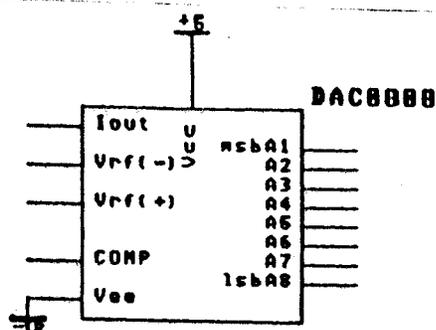
IV.2.5. Rangkaian DAC (digital to analog converter)

Rangkaian DAC berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan digital yang didapatkan dari rangkaian universal interface menjadi tegangan analog yang nantinya

akan dibandingkan dengan tegangan keluaran tachogenerator melalui rangkaian pembanding. Sebagai pengubah tegangan digital ke analog digunakan IC MC 1408.

Karakteristik umum :

1. Memiliki resolusi sebesar $1/256$.
2. Akurasi relatif : kira-kira 0.19% error maksimum.
3. Setting time typical sebesar 300ns.
4. Masukan non-inverting, juga kompatibel dengan MTTL dan CMOS.
5. Tegangan output minimum -5.0V, maksimum +0.4V.
6. Kecepatan cukup tinggi dengan slew rate = 5.0 mA/s.
7. Power supply : +5.0V dan -5.0V sampai -15V.



Gambar 4.10
MC 1408

MC 1408 merupakan DAC 8 bit. Gambar 4.10 menunjukkan pemakain standard untuk IC MC 1408.

Keterangan tiap pasak (pin) MC 1408

pasak 13 : VCC (suplai positif), yaitu 5.0 V

- pasak 3 : VEE (suplai negatif), yang dipakai -12V.
- pasak 2 : GND (ground)
- pasak 5-12 : Masukan data biner (digital) yang akan diubah ke analog.
- pasak 4 : keluaran. keluaran dari MC 1408 ini berupa arus yang dapat diatur levelnya dengan Iref.
- pasak 14,15 : Vref(+) dan Vref(-) sebagai pengontrol besarnya arus keluaran (Io).
 Besarnya Vref(+) menentukan Iref, dan dapat diatur dengan mengubah Rref. Sedangkan Iref mengatur besarnya arus keluaran (Io). Rt yang dihubungkan ke ground berfungsi sebagai kompensasi arus bias untuk temperatur drift. Jika ingin memakai tegangan referensi negatif, maka Vref(+) dihubungkan dengan Rt ke ground, dan Vref(-) yang diberi tegangan referensi tersebut.
- pasak 1 : Range kontrol.
 Untuk mengatur range dari tegangan keluaran. jika pasak ini dihubungkan ke ground maka range keluaran -0.55V s/d +0.4V. Range ini dapat diubah sampai maksimum -5,0V dengan melepas hubungan pasak 1(tetapi suplai negatif hrsrus lebih negatif dari -10V).
- Pasak 16 : Compensation. Pasak ini harus dihubungkan dengan kapasitor ke Vee.
 Jika Iref menjadi 1/2 kali, maka nilai kapasitor harus menjadi 2 kali untuk kompensasi phase. Untuk Vref = +2.0 V dan Rref = 1.0K, maka C untuk kompensasi ini minimum sebesar 15 pF.

Arus keluaran I_0 dapat dicari dengan rumus :

$$I_0 = K \left[\frac{A1}{2} + \frac{A2}{4} + \frac{A3}{8} + \frac{A4}{16} + \frac{A5}{32} + \frac{A6}{64} + \frac{A7}{128} + \frac{A8}{256} \right]$$

Dimana $K = V_{ref}/R_{14}$

$A_n = '1'$ jika high

$A_n = '0'$ jika low

Jika keluaran MC 1408 dihubungkan dengan op-ams, maka keluaran op-ams dapat dicari dengan rumus :

$$V_0 = I_0 \cdot R_0$$

(kedua input op-ams dapat dianggap memiliki beda potensial 0 volt).

Keluaran dari rangkaian Universal interface yang berupa data bus D_n ($n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) diberikan pada masukan data PPI 8255. PPI 8255 berfungsi sebagai buffer. Apabila dimasukkan data biner 8 bit dari PC, maka CS0 dan CS1 (chip select) yang berfungsi sebagai clock akan 'high'. Pada saat itu PPI 8255 diaktifkan untuk menerima data dari data bus yang berupa data biner 8 bit. Untuk selanjutnya data D_n ($n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) akan tetap tersimpan dalam buffer. Setelah data masuk, CS0 dan CS1 akan 'low' kembali. CS0 dan CS1 akan 'high' lagi bila dari PC dimasukkan data lain yang berbeda. Ketika CS0 dan CS1 'high' data yang telah tersimpan pada buffer di reset dan data baru disimpan.

Keluaran data dari buffer Q_n ($n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) diberikan pada masukan data A_n ($n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) MC1408. Gambar rangkaian DAC diperlihatkan pada Apendiks B.



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Pengaturan sudut phase tegangan rotor Motor Induksi Rotor Belit 3 phase mempunyai pengaruh yang sama dengan pengaturan resistansi luar rotor dalam hal pengaturan kecepatan.

Pada torsi konstan membesarnya tegangan beban (Rex) rotor menyebabkan turunnya kecepatan rotor, dan turunnya tagangan beban (Rex) menyebabkan naiknya kecepatan rotor.

Dengan demikian pengaturan kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan 3 phase dengan metode pengaturan tegangan rotor, dapat dipakai untuk menggantikan metode konvensional yang menggunakan rele-rele magnetis dan kontaktor-kontaktor mekanis.

TCA 785 sebagai IC pentrigger yang digunakan secara luas karena mempunyai banyak kelebihan tidak cocok untuk digunakan dalam pengaturan sudut phase tagangan rotor. Hal ini disebabkan frekuensi rotor sangat rendah dibawah ambang batas frekuensi kerja minimum TCA 785 (10 HZ).

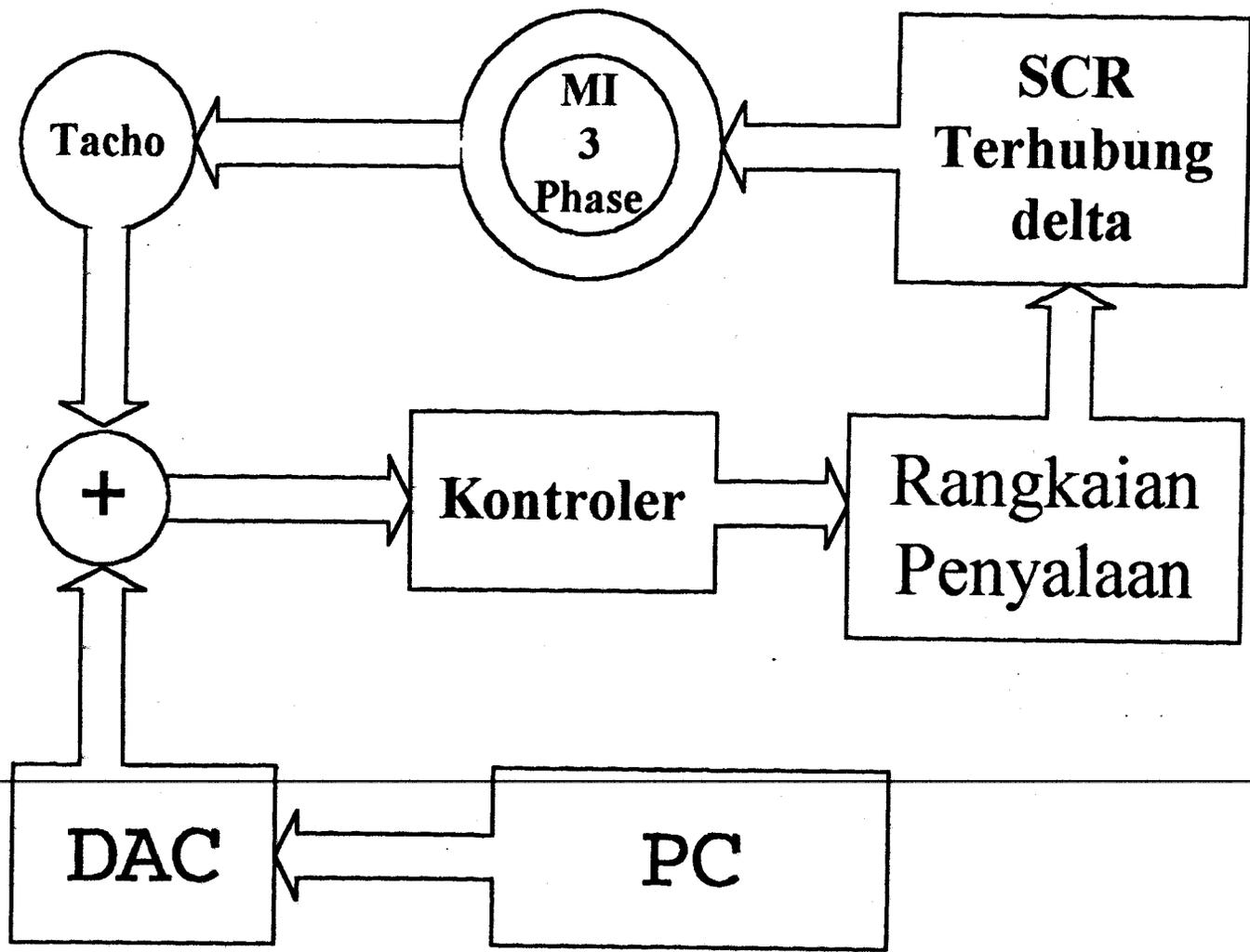
V.2. Saran

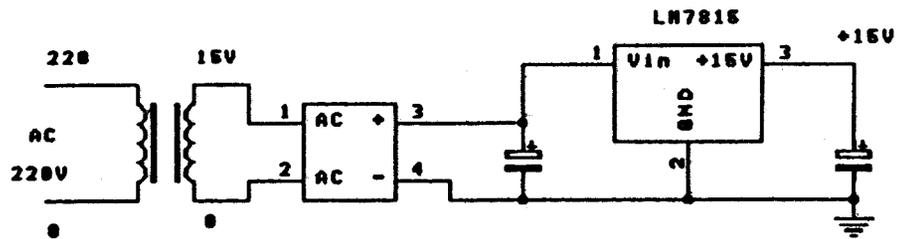
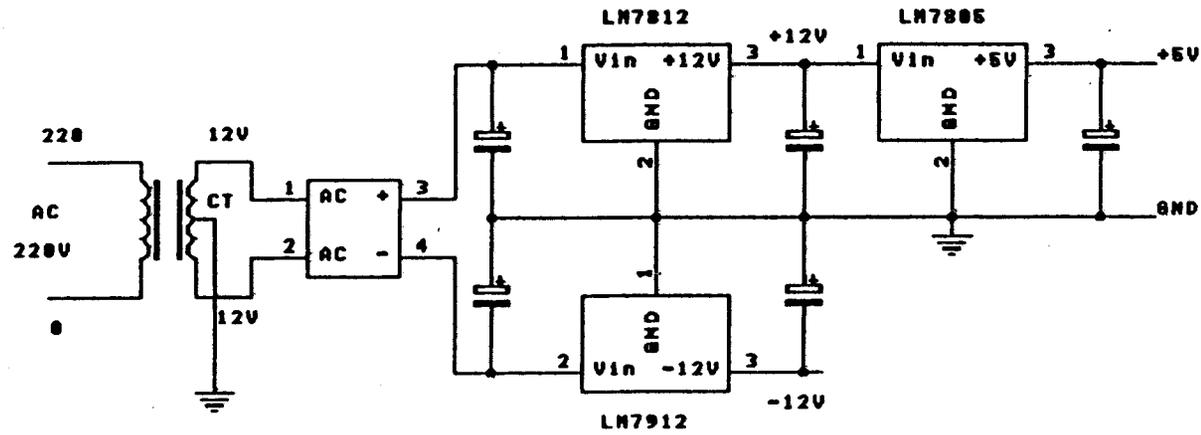
Untuk mendapatkan unjuk kerja yang optimal pada pengaturan sudut phase tagangan rotor dibutuhkan rangkaian penjumlah (summing) antara tegangan VT dari Tacho dan tegangan VR yang diset dari PC yang betul-betul presisi. Selain itu umpan baliknya dibuatkan sebuah rangkaian ADC. Hal ini dimaksudkan agar pengaturan dilakukan dari sebuah PC melalui sebuah softwar.

DAFTAR PUSTAKA

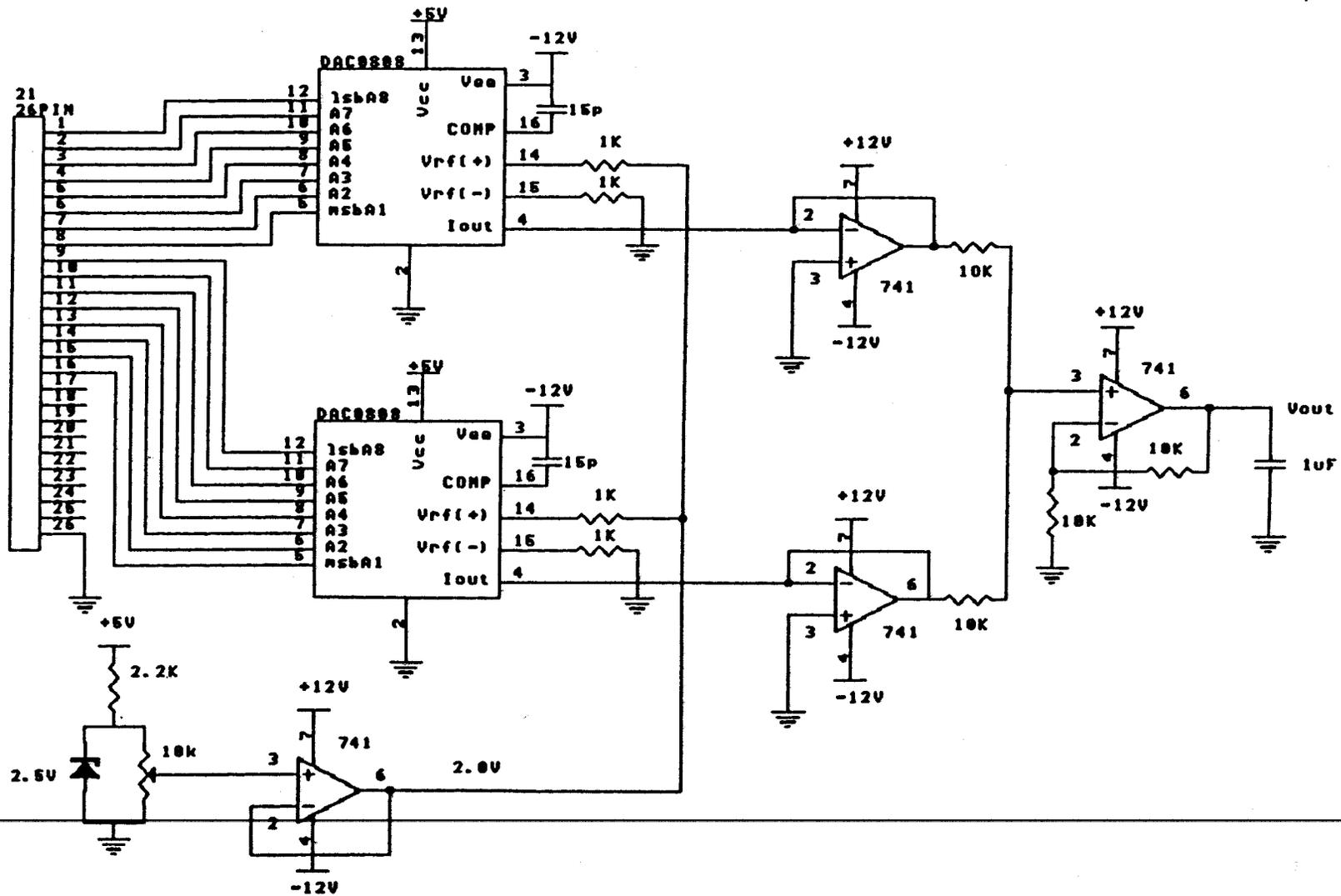
1. M.H. Rashid, "Power Electronics: Circuits, Devices and Application", Prentice Hall International, Inc., New Jersey, 1988.
2. M. Ramamoorthy dan M. Arunachalam, "Dynamics Performance of a Closed Loop Induction Motor Speed Control with Phase Controlled SCR's in the Rotor", IEEE Trans. on Industry Application System, Vol. IA-15, September/Oktober, 1979.
3. M. Ramamoorthy and N.S. Wani, "Chopper Controlled Slip-ring Induction Motor with Closed Loop Control", IEEE Trans. on Industry Electronics Control Instrument Vol. IECI -24, No, 2, PP. 153-161, May 1977.
4. P.C. Sen, "Principle of Electric Machines and Power Electronics", John Willey & Sons, Inc., New York, 1984.
5. Robert F. Coughlin dan Frederick F. Driscoll, "Operational Amplifier and Linear Integrated Circuit", 2nd Edition, Prentice Hall, Inc., 1982.
6. R.P. Basu, "Variable Speed Induction Motor Using Thyristors in the Secondary", IEEE Trans. Power Application System Vol. PAS-90 PP. 509-514 Mart/April, 1971.
7. Wasito S., "Kumpulan Data Penting Elektronika", P.T. Multimedia, Jakarta, 1985.

3 PHASE





Title		POWER SUPPLY	
Size A4	Number TST/2882201091	Revision	
Date: 27-SEP 1994		Sheet of	
File: DCSUP1A1/1		Drawn Puc	



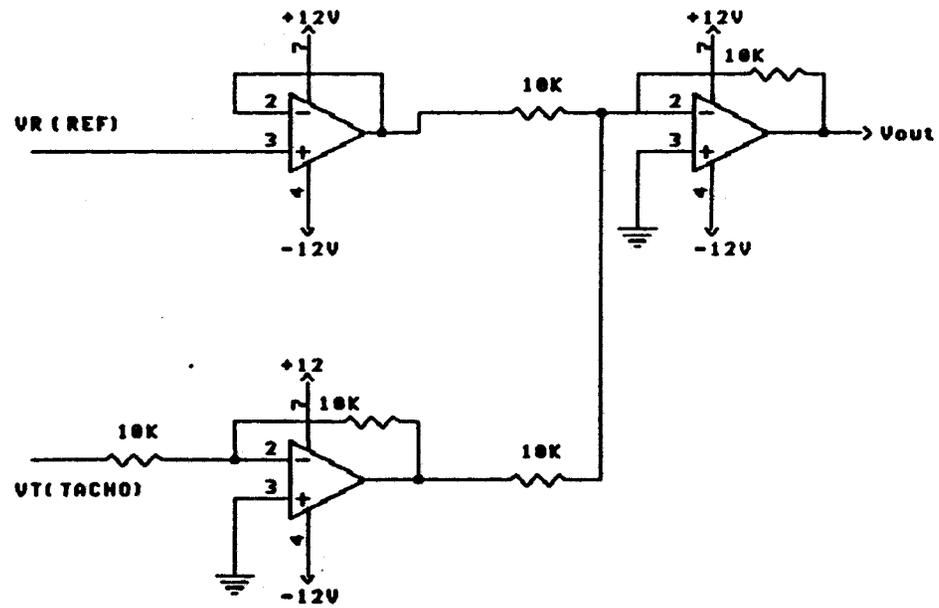
Title		
DIGITAL TO ANALOG CONVERTER		
Size	Number	Revision
A4	2882201091	
Date: 27-SEP 1994	Sheet of	
File: DAC0808/1	Drawn By:	

1

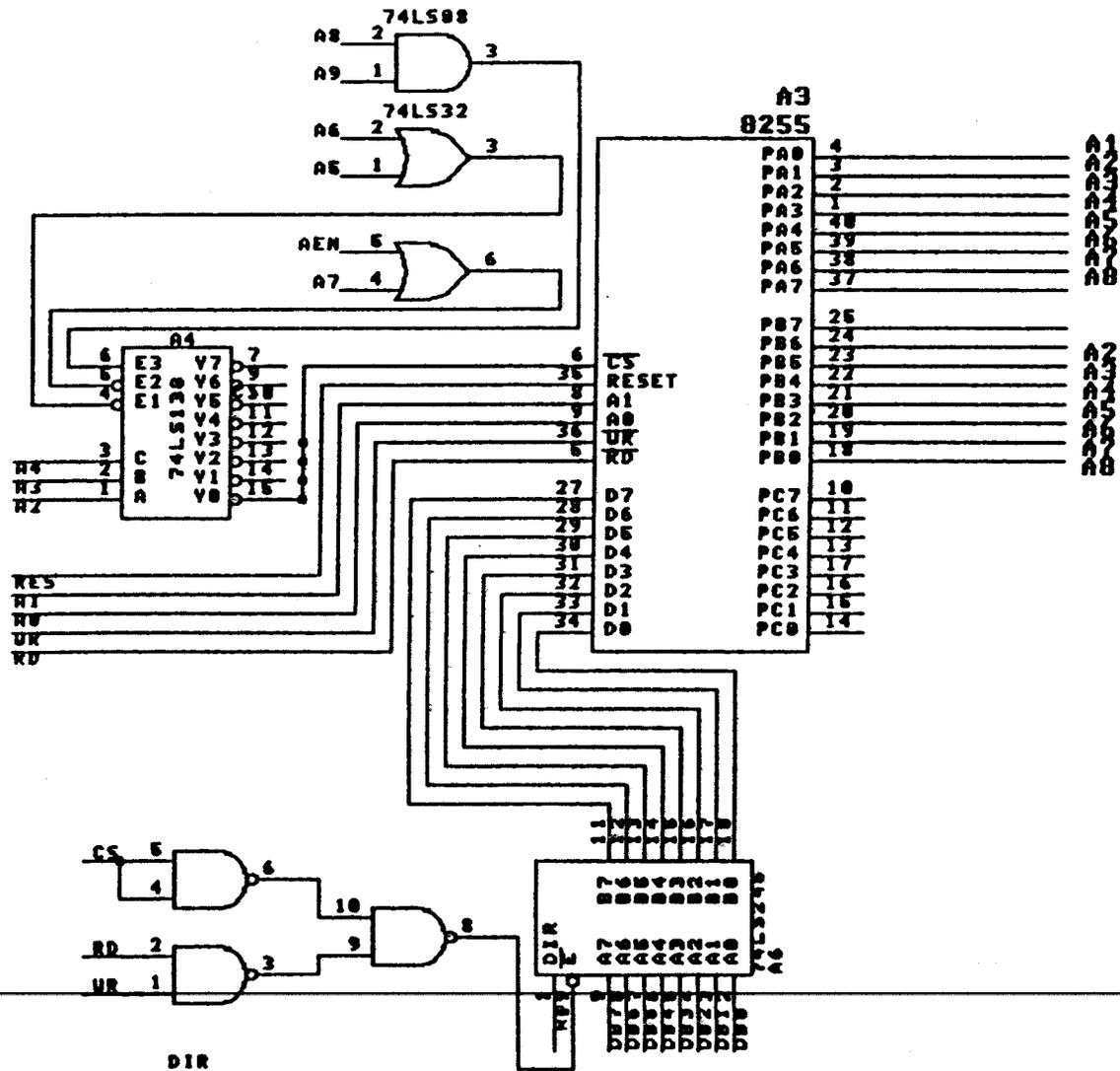
2

3

4



Title		
RANGKAIAN KONTROL		
Size	Number	Revision
A4	2882201091	
Date: 27-SEP 1994	Sheet of	
File: OP-ANPS/1	Drawn By:	



Title			INTERFACE		
Size	Number	Revision			
A4	T8T/2082201091				
Date:	27-SEP 1994	Sheet	of		
File:	8255/1	Drawn	By:		

1

2

3

4

A

A

B

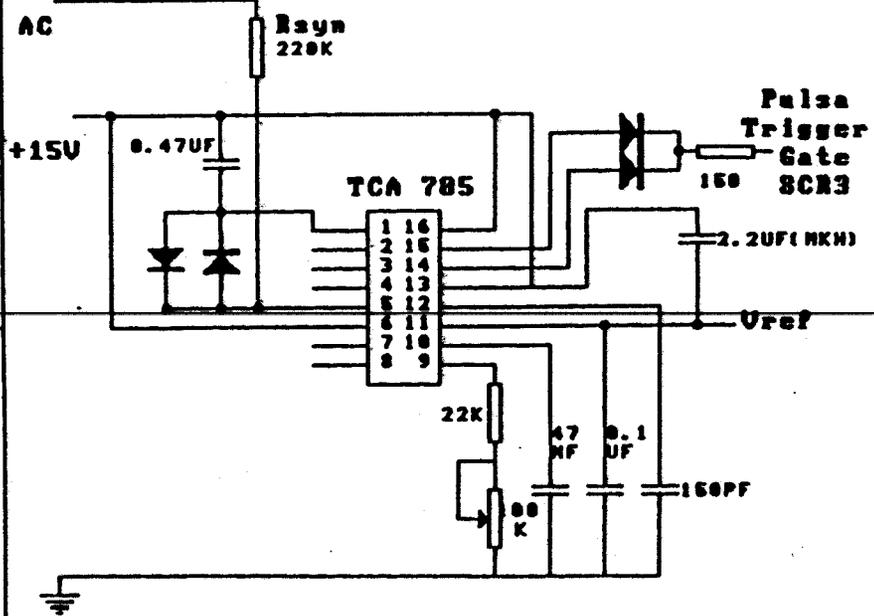
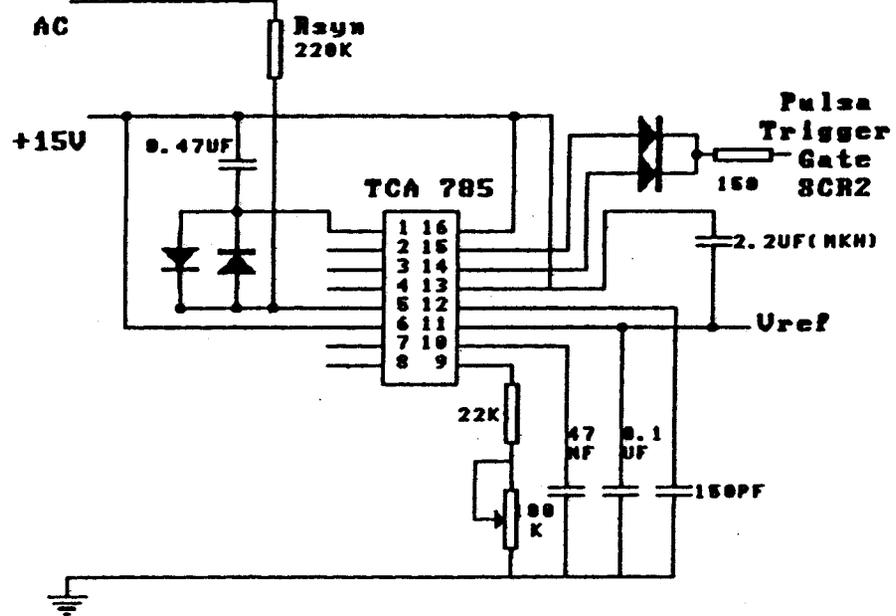
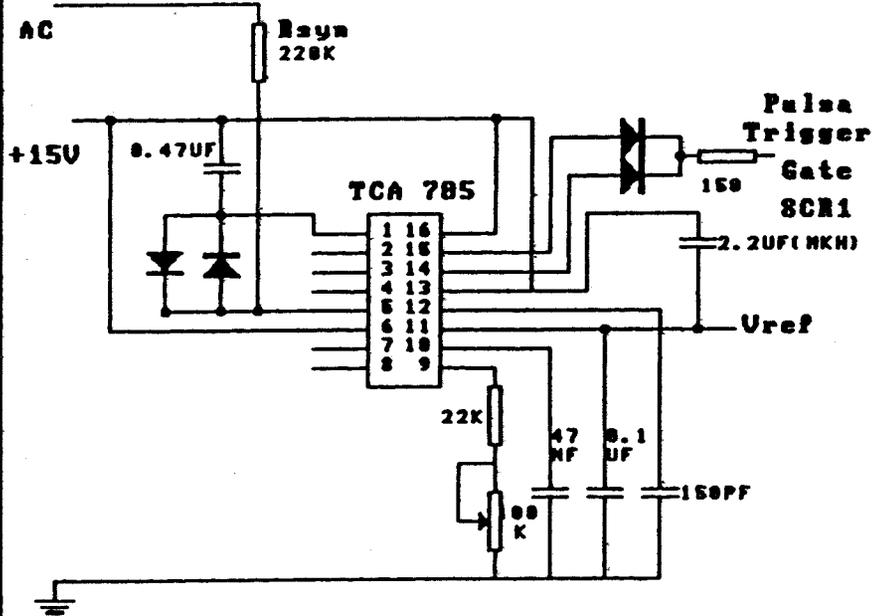
B

C

C

D

D



Title		
Rangkaian Trigger		
Size	Number	Revision
A4	TST/2002201091	
Date: 27-SEP 1994	Sheet	of
File: TRIGGER/1	Drawn	By:

1

2

3

4

Nama Mahasiswa : Yanu Shalahuddin
Nomor Pokok : 2882201091
Bidang Studi : Teknik Sistem Tenaga
Tugas Diberikan :
Tugas Diselesaikan :
Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Yuwono
Judul Tugas Akhir :

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGATUR KECEPATAN MOTOR
INDUKSI ROTOR BELITAN 3 PHASA DENGAN METODE PENGATURAN
IMPEDANSI ROTOR YANG DIOPERASIKAN MELALUI SEBUAH IBM PC

Uraian Tugas Akhir :

Hampir setiap motor yang dioperasikan pada Industri membutuhkan kecepatan yang konstan. Padahal seringkali kecepatan Motor akan berubah baik akibat gangguan maupun adanya pembebanan. Untuk mengatasi hal ini setiap Motor harus dilengkapi alat pengatur kecepatan.

Pada Tugas Akhir ini dibahas mengenai alat pengatur kecepatan Motor Induksi 3 phasa dengan metode *Pengaturan Tahanan Luar Slip-ring Rotor Motor Induksi rangkaian tertutup*. Metode pengaturan ini relatif sederhana dan ekonomis untuk aplikasi daya rendah dan medium, dibanding dengan metode pengaturan yang lain.

Output dari Motor berupa putaran dihubungkan dengan sebuah Tachometer. Tachometer akan merubah putaran menjadi Tegangan. Tegangan output Tacho dibandingkan dengan Tegangan Referensi yang di set melalui sebuah IBM PC. Rangkaian pembanding tersebut berupa sebuah OP-AMP. Selisih Tegangan yang didapat diumpankan pada rangkaian Trigger yang akan menyulut SCR sesuai dengan sudut α yang didapat sebagai output dari rangkaian Trigger. SCR dirangkai Delta dan dihubungkan dengan tahanan luar Slip-ring Motor Induksi Rotor Belitan.

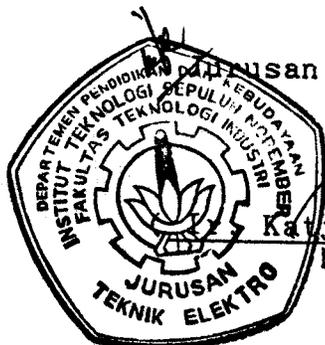
Surabaya, 26 September 1993

Mengetahui ;
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Koordinator

Dosen Pembimbing

(Ir. Sidarjanto)
NIP. 130532003

(Ir. Teguh Yuwono)
NIP. 130604244



Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro ITS
Ketua

(Katjuk Astrowulan MSEE)
NIP. 130687438

USULAN TUGAS AKHIR

- a. Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI ROTOR BELITAN 3 PHASA DENGAN METODE PENGATURAN IMPEDANSI ROTOR YANG DIOPERASIKAN MELALUI IBM PC
- b. Ruang lingkup :
- Teknik Tenaga Listrik
- Elektronika Sistem Tenaga
- c. Latar Belakang : Metode pengaturan kecepatan Motor Induksi 3 phasa banyak macamnya. Diantaranya Teknik pengaturan Tegangan Stator, Tegangan/Arus dan Frekuensi Stator, Daya Rotor dan Impedansi Rotor. Dari semua sistem pengaturan diatas, metode pengaturan Impedansi Rotor yang paling mudah dan relatif ekonomis untuk daya rendah dan sedang. Tugas Akhir ini akan membahas metode pengaturan Impedansi Rotor. Pada alat pengatur kecepatan yang biasa tegangan referensi akan diberikan melalui set referensi secara manual. Tetapi Pada Tugas Akhir ini set referensi diberikan secara otomatis dari sebuah IBM PC melalui Interface.
- d. Penelaahan masalah :
-Mempelajari sisten pengaturan kecepatan Motor Induksi 3 phasa.
-Mempelajari Perencanaan dan pembuatan alat pengatur kecepatan.
-Mempelajari Kontrol otomatis dari sebuah IBM PC.
- e. Tujuan : Mencari metode pengaturan kecepatan Motor Induksi Rotor Belitan 3 phasa yang paling mudah dan relatif ekonomis dengan kemampuan yang maksimal.
- f. Metodologi :
1. Studi literatur
2. Perancangan peralatan
3. Pembuatan peralatan
4. Pengujian dan seting peralatan
5. Penulisan buku

g. Relevansi

: Dengan didapatkannya metode pengaturan yang lebih mudah dan relatif ekonomis dengan kemampuan yang maksimal akan meningkatkan keefektifan kerja Motor Induksi Rotor Belitan dalam Industri.

h. Jadwal Kegiatan

Kegiatan	Bulan					
	I	II	III	IV	V	VI
1. Studi Literatur	███					
2. Perancangan alat	███	███	███			
3. Pembuatan alat	███	███	███	███		
4. Pengujian dan seting alat	███	███	███	███	███	███
5. Penulisan buku				███	███	███