

**REKABENTUK PENUKAR STATIK UNTUK
PEMACU KELAJUAN MOTOR ARUHAN
TIGA FASA BERASASKAN
MIKROPENGAWAL**

TARMIZI

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2008

**REKABENTUK PENUKAR STATIK UNTUK
PEMACU KELAJUAN MOTOR ARUHAN
TIGA FASA BERASASKAN
MIKROPENGAWAL**

oleh

TARMIZI

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

Julai 2008

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu saya bersyukur kehadirat Allah S.W.T kerana berkat rahmat dan kurniaNya telah memberikan kesihatan dan kekuatan kepada saya untuk dapat menjalankan dan menyiapkan projek ini.

Pada kesempatan ini saya merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan mengucapkan ribuan terima kasih kepada Dr.Ir. Syafrudin Masri, di atas segala bimbingan dan tunjuk ajar serta bantuannya yang tak ternilai, selama saya menuntut ilmu di Universiti Sains Malaysia. Sekalung penghargaan juga saya ucapkan kepada kawan-kawan pelajar ijazah tinggi bidang elektrik kuasa di atas bantuan yang diberikan kepada saya. Penghargaan dan terima kasih juga diberikan kepada Dekan Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik & Elektronik, dan kepada semua kaki tangan di Pusat Pengajian Elektrik & Elektronik yang telah menyediakan segala kelengkapan dan memberi bantuannya kepada saya.

Akhir sekali saya ucapkan terima kasih kepada isteri tercinta, di atas dorongan semangat, kesetiaan dan pengorbanannya menunggu saya selama menuntut ilmu di Kejuruteraan Elektrik & Elektronik USM Malaysia.

Kehadirat Allah saya mohonkan do'a semoga yang saya sebutkan diatas mendapat balasan amal dan limpahan rahmat atas segala keikhlasan. Semoga apa yang diperoleh: dari pada projek ini, dapat dikongsi bersama dan boleh digunakakan untuk kepentingan bersama.

Amiinn ya rabbal alamiinn.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vi
SENARAI RAJAH	vii
SENARAI LAMBANG	viii
SENARAI SINGKATAN	vx
SENARAI MELAYU-ENGLISH	xvii
SENARAI LAMPIRAN	xxiii
SENARAI PENERBITAN&SEMINAR	xxiv
ABSTRAK	xxv
ABSTRACT	xxvi
BAB 1 : PENGENALAN	
1.0 Latar Belakang Bermasalahan	1
1.1 Objektif Penyelidikan	3
1.2 Skop Penyelidikan	4
1.3 Metodologi Penyelidikan	4
1.4 Tinjauan Tesis	6
BAB 2 : KAJIAN ILMIAH	
2.0 Pengenalan	7
2.1 Teknik Penerus dan Penukar Kaedah PFC	7
2.2 Penyongsang PWM Tiga Fasa	10
2.3 Sistem Kawalan pada Pemacu Motor Aruhan Tiga Fasa	16
BAB 3: SISTEM KAWALAN KELAJUAN MOTOR ARUHAN TIGA FASA	
3.0 Pengenalan	19
3.1 Prestasi Keadaan mantap Motor Aruhan Tiga Fasa	20
3.2 Kaedah-Kaedah Kawalan Kelajuan	26
3.2.1 Kawalan Voltan	26
3.2.2 Kawalan Rintangan Rotor	27

3.2.3	Pertukaran Kutub	27
3.2.4	Kawalan Frekuensi	28
3.3	Pemacu Kelajuan Motor Aruhan	30
3.4	Sistem Kawalan Suap Balik	32
3.4.1	Kawalan Berkadaran	34
3.4.2	Pengawal PI	35
3.4.3	Pengawal PID	35
3.5	PWM	36
4.1.1	PWM Tidak Sinus	36
4.1.2	PWM Sinusoid	39
3.6	Penerus Tiga Fasa	42
3.7	Penukar Buck	51
3.8	Penyongsang	58
3.9	PIC Mikropengawal	64
3.10	Bahasa Pengaturcaraan dan Pengatur	66
3.11	Pemacu IR2130	67
3.12	Penapis MF10	71

BAB 4 : REKABENTUK PENUKAR STATIK UNTUK PEMACU KELAJUAN MOTOR ARUHAN TIGA FASA

4.0	Pendahuluan	74
4.1	Penerus dan Penukar Buck	77
4.1.1	Penukar Arus Ulang Alik ke Arus Terus	78
4.1.2	Litar Penderia Arus Voltan	84
4.2	Penyongsang Tiga Fasa	90
4.3	Litar Penjana Isyarat SPWM	92
4.3.1	Penjana Segiempat Sama Gelombang Tiga Fasa	94
4.3.2	Penukar Gelombang Segiempat Sama ke Bentuk Sinus	96
4.3.3	Litar Pemodulat	99
4.4	Penderia Kelajuan dan Perolehan Data	102
4.5	Sistem Kawalan Suap Balik untuk Penukar Statik	105

BAB 5 : KEPUTUSAN DAN PEMBAHASAN

5.0	Pendahuluan	110
5.1	Litar Penjana Isyarat PWM	110

5.2	Penderia Kelajuan	113
5.3	Isyarat PWM dan Penukar Buck	115
5.4	Penyongsang	117
5.5	Kawalan Kelajuan	119
5.6	Pengukuran Penukar Statik	121

BAB 6 : KESIMPULAN

6.1	Kesimpulan	124
6.2	Cadangan	125

SENARAI RUJUKAN	126
------------------------	-----

LAMPIRAN

SENARAI PENERBITAN&SEMINAR

SENARAI JADUAL

	Muka surat
Jadual 3.1 Mode konduksi diod	44
Jadual 5.1 Perbandingan frekuensi potong f_o dan frekuensi clock (f_{clk}) MF 10	111
Jadual 5.2 Data Pengukuran kelajuan motor	120

SENARAI RAJAH

Muka surat

Rajah 1.1	Carta alir metodologi penyelidikan	5
Rajah 2.1	Litar penerus tiga fasa dan penukar buck Multiresonan ZCS	8
Rajah 2.2	Gelombang bekalan	9
Rajah 2.3	Gambarajah kawalan kaedah multiresonan ZCS pada penerus dan penukar buck	9
Rajah 2.4	Gambarajah kawalan motor aruhan	10
Rajah 2.5	Litar kuasa pemacu motor aruhan	11
Rajah 2.6	Litar pemacu penyongsang MOSFET	12
Rajah 2.7	Gambarajah penjanaan isyarat denyut PWM tiga fasa berasaskan mikropengawal	13
Rajah 2.8	Gambarajah kawalan dengan mikropemproses	14
Rajah 2.9	Isyarat PWM keluaran daripada Mikropemproses	14
Rajah 2.10	Litar pengantaramukaan dan pemencilan	14
Rajah 2.11	Isyarat kemasukan dan pengeluaran pengantarmukaan	15
Rajah 2.12	Litar pemacu dan perlindungan	15
Rajah 2.13	Syarat kemasukan dan pengeluaran litar pemacu	16
Rajah 2.14	Sistem kawalan gulung menggunakan pengawal DSP	17
Rajah 2.15	Gambarajah penjanaan PWM dan sistem kawalan motor aruhan tiga fasa	18
Rajah 3.1	Motor Aruhan sangkar tupai	20
Rajah 3.2	Litar setara motor aruhan	22
Rajah 3.3	Litar setara Thevenin motor aruhan	23
Rajah 3.4	Kelajuan, gelincir dan ciri kilas	25
Rajah 3.5	Kelajuan- kilas standard NEMA	25

Rajah 3.6	Ciri tork-kelajuan untuk perubahan voltan bekalan	26
Rajah 3.7	Hubungan laju - R_2 pada motor aruhan	27
Rajah 3.8	Hubungan kelajuan dengan penukaran kutub motor	28
Rajah 3.9	Ciri kelajuan - tork untuk (v/f)	29
Rajah 3.10	Voltan, arus gelincir, dan kilas sebagai fungsi daripada kelajuan	29
Rajah 3.11	Kawalan gulung buka untuk pemacu kelajuan motor aruhan	31
Rajah 3.12	Strategik Kawalan tertutup untuk pemacu kelajuan motor aruhan	32
Rajah 3.13	Gabarajah kawalan suap balik	33
Rajah 3.14	Sambutan pengawal berkadaran	34
Rajah 3.15	Sambutan pengawal PI	35
Rajah 3.16	Sambutan pengawal PID	36
Rajah 3.17	PWM tidak sinus	37
Rajah 3.18	Gambarajah pemodulat PWM tidak sinus	39
Rajah 3.19	PWM bentuk sinus tiga fasa	40
Rajah 3.20	Penyongsang tiga fasa	41
Rajah 3.21	Voltan fasa ke fasa penyongsang SPWM	41
Rajah 3.22	Pemodulat PWM tiga fasa	42
Rajah 3.23	Litar penerus tiga fasa	43
Rajah 3.24	Mode operasi litar penerus tiga fasa	44
Rajah 3.25	Bentuk gelombang pada penerus tiga fasa	45
Rajah 3.26	Litar setara dan arah arus penukartertiban	46
Rajah 3.29	Gelombang masukan terpasang pemuat	51
Rajah 3.30	Litar penukar buck	51
Rajah 3.31	Bentuk gelombang pensuisan penukar buck	52

Rajah 3.32	Bentuk gelombang pada penukar buck	53
Rajah 3.33	Bentuk gelombang arus dan voltan pada pemuat penukar buck	55
Rajah 3.34	Litar Penyongsang	57
Rajah 3.35	Isyarat pensuisan	58
Rajah 3.36	Urutan kerja penyongsang	59
Rajah 3.37	Arus keluaran penyongsang tiga fasa	60
Rajah 3.38	Voltan penyongsang tiga fasa antara fasa ke bumi	61
Rajah 3.39	Voltan penyongsang tiga fasa antara fasa ke neutral	62
Rajah 3.40	Voltan penyongsang tiga fasa antara fasa ke fasa	63
Rajah 3.41	Pin PIC Mikropengawal	65
Rajah 3.42	Tatarajah pengayun hablur pada PIC mikropengawal	66
Rajah 3.43	Proses penterjemahan bahasa aturcara basis pro	67
Rajah 3.44	Pengaturcara PPIC	67
Rajah 3.45	Gambarajah IR2130	68
Rajah 3.46	Pemasaan MGD IR2130	69
Rajah 3.47	Gelombang pemasaan <i>ITRIP</i> , gagal dan keluaran MGD IR2130	70
Rajah 3.48	Sambungan MGD IR2130 masukan dan keluaran	70
Rajah 3.49	Gambarajah MF10	72
Rajah 3.50	Sambungan gambarajah penapis lulus bawah	72
Rajah 3.51	Lengkung LPF	73
Rajah 3.52	Lengkung penguatan keluaran	73
Rajah 4.1	Gambarajah penukar statik untuk pemacu kelajuan motor aruhan tiga fasa	74
Rajah 4.2	Gambarajah penukar statik perinci untuk pemacu kelajuan motor aruhan tiga fasa	75

Rajah 4.3	Gambarajah Penukar arus ulang-alik ke arus terus dan penderia arus-voltan	78
Rajah 4.4	Topologi penukar arus ulang-alik ke arus terus	78
Rajah 4.5	Gelombang v_{Cr}	80
Rajah 4.6	Gelombang penukar buck PFC	80
Rajah 4.7	Litar penyelakuan penerus dan penukar buck kaedah multiresonan ZCS	81
Rajah 4.8	Gelombang arus dan voltan bekalan	82
Rajah 4.9	Sambutan faktor kuasa	82
Rajah 4.10	Spektrum arus harmonik	83
Rajah 4.11	Gelombang voltan pada pemuat V_r	83
Rajah 4.12	Litar perolehan penderia voltan dan arus	84
Rajah 4.13	Model litar penderia voltan	85
Rajah 4.14	Litar penyelakuan arus dan voltan	87
Rajah 4.15	Hasil penyelakuan analisis <i>DC Sweep</i> VRV dan VS_2	88
Rajah 4.16	Gelombang keluaran hasil penyelakuan penderia voltan	88
Rajah 4.17	Penyelakuan analisis DC Sweep V_{RCS} dan VS_1	89
Rajah 4.18	Hasil penyelakuan penderia arus	90
Rajah 4.19	Gambarajah penyongsang tiga fasa untuk kawalan motor aruhan tiga fasa	90
Rajah 4.20	Litar penyongsang dan litar pemacu	91
Rajah 4.21	Gambarajah penjanaan SPWM	93
Rajah 4.22	Litar penjana gelombang segiempat tiga fasa	94
Rajah 4.23	Litar untuk penyelakuan penjana gelombang segitiga sama tiga fasa	95
Rajah 4.24	Gelombang hasil penyelakuan litar penguat penjumlahan	95
Rajah 4.25	Gelombang masukan dan keluaran penapis lulus bawah	96

Rajah 4.26	Litar LPF MF10	97
Rajah 4.27	Litar penyelakuan penguat penjumlahan untuk gelombang segi empat sama duakutub	98
Rajah 4.28	Gelombang hasil penyelakuan litar penguat penjumlahan	99
Rajah 4.29	Pemodulat SPWM	100
Rajah 4.30	Litar penyelakuan SPWM modulator	101
Rajah 4.31	Hasil penyelakuan litar SPWM modulator	102
Rajah 4.32	Gambarajah penderia kelajuan dan perolehan data	103
Rajah 4.33	Hubungan jarak objek permukaan penderia dan arus collector HOA1405	103
Rajah 4.34	Litar penderia kelajuan dan perolehan data	104
Rajah 4.35	Garis pengekod	104
Rajah 4.36	Aturcara basic pro perolehan data	105
Rajah 4.37	Gambarajah sistem kawalan suap balik untuk pemacu motor aruhan tiga fasa	105
Rajah 4.38	Litar sistem kawalan suap balik	106
Rajah 4.39	Aturcara basic pro untuk menghasilkan gelombang segiempat	107
Rajah 4.40	Sistem kawalan suap balik untuk penyongsang pada PIC16F877	107
Rajah 4.41	Sistem kawalan suap balik untuk penukar buck pada PIC16F628	108
Rajah 4.42	Aturcara basic pro untuk kawalan penyongsang pada PIC 16F877	108
Rajah 4.43	Aturcara basic pro untuk kawalan suap balik untuk penukar buck	119
Rajah 5.1	Gelombang keluaran penjana segiempat sama tiga fasa	110
Rajah 5.2	Gelombang sinus tiga fasa keluaran penapis pemuat tersuis MF10	111
Rajah 5.3	Perbandingan gelombang gigi gergaji, sinus dan dihasilkan gelombang SPWM	112
Rajah 5.4	Gelombang SPWM tiga fasa keluaran pembodulat	113

Rajah 5.5	Gelombang pada penderia kelajuan tanpa langkau	114
Rajah 5.6	Gelombang pada penderia kelajuan	115
Rajah 5.7	Isyarat PWM keluaran PIC16F628	116
Rajah 5.8	Gelombang keluaran penukar buck	116
Rajah 5.9	Gelombang SPWM pada kemasukan IR2120	117
Rajah 5.10	Isyarat SPWM pada Keluaran pemacu rendah IR230	117
Rajah 5.11	Isyarat SPWM pada Keluaran pacuan tinggi daripada IC IR230 pada masukan bahagian atas penyongsang	118
Rajah 5.12	Gelombang keluaran penyongsang pada beban motor sambungan delta	119
Rajah 5.13	Graf frekuensi terhadap kelajuan pada keluaran penyongsang	120
Rajah 5.14	Graf V/f terhadap kelajuan	121
Rajah 5.15	Pengukuran parameter Motor Aruhan	121
Rajah 5.16	Pengukuran litar kawalan menggunakan LeCroy Gelombang Surface 24x	122
Rajah 5.17	Prototaip penukar statik untuk pemacu kelajuan motor aruhan berasaskan mikropengawal	123

SENARAI LAMBANG

		Muka surat
Φ	Fluk	19
e	Daya gerak elektrik	21
N	Jumlah belitan	21
ω	Kecepatan sudut	21
e_a	voltan teraruhan daya gerak elektrik	21
N_a	Jumlah belitan stator per fasa	21
Φ_p	Fluk air-gap per kutub	21
E_a	Tegangan teraruhan i emf per fasa dalam rms	21
f_s	Frekuensi voltan bekalan	21
k_{WI}	Faktor belitan stator	21
n_s	Kecepatan segerak	22
p	Jumlah kutub	22
V_{TH}	Tegangan setara Thevenin	23
Z_{TH}	Galangan (impedance) setara Thevenin	23
I_2'	Arus setara Thevenin	23
R_l	Rintangan stator	23
X_m	Reaktans magnitasi	23
X_l	Reaktans stator	23
R_{TH}	Intangan setaraThevenin	23
X_{TH}	Setara Thevenin	23
T	Kilas motor	24
k_p	Konstantan pengawal berkadaran	34

K_i	Konstantan pengawal kamiran	34
M_a	Indeks modulat amplitude	39
M_f	Indeks modulat frekuensi	39
$v_{m,ref}$	Voltan rujukan maksimum	39
$v_{m,tri}$	Voltan pensuisan maksimum	39
$f_{,ref}$	Frekuensi isyarat rujukan	39
$f_{,tri}$	Frekuensi isyarat pensuisan	39
$\omega_{tri}t$	Frekuensi sudut isyarat pensuisan	41
$\omega_{ref}t$	Frekuensi sudut isyarat rujukan	41
K_{mn}	Koefisien kompleks Fourier	41
$i_{s1}(t)$	Arus fundamental	48
$i_{sh}(t)$	Komponen arus harmonik	48
I_{s1}	Arus rms fudamental	48
I_{sh}	Komponen arus rms harmonik	48
ϕ_1	Sudut fasa antara arus dan voltan	48

SENARAI SINGKATAN

		Muka surat
SPWM	Sinusoidal Pulse Width Modulated	2
ADC	Analog Digital Converter	2
MGD	MOST Gate Drive	3
PWM	Pulse Width Modulated	3
PCB	Printed Circuit Board	4
PFC	Power Factor Correction	7
IGBT	Insulated Get Bipolar Transistor	7
THD	Total Harmonic Distortion	8
ZVS	Zero Voltage Switching	8
ZCS	Zero Current Switching	8
VSI	Voltage Source Inverter	10
ROM	Read Only Memory	12
RAM	Read Access Memory	12
CPU	Central Processing Unit	12
DSP	Digit Signal Processing	16
EPROM	Electronic Programmer Read Only Memory	17
rpm	revolutions per minute	22
IEEE	Institute of Electrical and Electronic s Engineers	22
NEMA	National Electrical Manufactures Association	25
VCO	Voltage oscillator Control	30
P	Proportional	32
PI	Proportional plus Integral	32
PID	Proportional plus Integral plus derivative	32
DPF	Displacement Power Factor	48

CCM	Continuous Conduction Mode	48
CPP	Capture Compare PWM	64
BPB	Basic Pro Compiler	66
IREDD	Infrared Emitting Diode	103

SENARAI ISTILAH MELAYU-ENGLISH

Alir	Flowchart
Arahan	Instruction
Aras	Level
Aras logik	Level logic
Arus balik-alik	Alternating current
Arus terus	Direct current
Aturcara	Program
Bahagian atas	High side
Bahagian bawah	Low side
Bahasa perhimpunan	Assembly language
Balikan	Reverse
Belitan	Winding
Bentangan	Layout
Berayun	Oscillation
Berbilang pekerjaan	Multi tasking
Berkadaran	Proportional
Berkadaran campur kamiran	Propotional plus integral
Berkadaran campur kamiran campur hasil bezaan	Propotional plus integral plusderivative
Berus	Brush
Boleh laras	Adjustable
Bumi	Ground
Cerun	Slope
Daya gerak elektrik	Electromotive force
Denyut	Pulse
Bibuang	Discharging
Diod meroda bebas	Free wheeling diode
Dipincang songsang	Reverse bias
Disuap balik	Feedback
Ditutup	Shudown
Dwikutub	Bipolar
Fungsi langkah unit	Unit step function

Gagal	Fault
Galangan	Impedance
Gangguan	Disturbance
Gelincir	Slip
Gelung-buka	Close-loop
Herotan	Distortion
Hingar	Noise
Jujukan	Sequence
Julat	Range
Jurang pucuk	Shoot trough
Kala	Period
Kawalan gelung tertutup	Feedback control
Kedepan	Forward
Keadaan mantap	Stady state
Kecekapan	Efficiency
Ketepuan	Saturation
Ketepuan	Saturation
Kitar tugas	Duty cycle
Kutub	Pole
Langkau	Bypass
Lelurus	Linear
Litar pintas	Short circuit
Loji	Plant
Malar	Constant
Masa lengah	Time delay
Masa mati	Dead time
Mengasingkan	Isolated
Menyongsang	Inverting
Menyuap	Feeding
Meronda bebas	Free-wheeling
Namaan	Nominal
Over modulation	Modulat lampau
Pam	Pumps
Pantulan	Reflective

Pegang	Hold
Pemacu tolak-tarik	Push-pull Drive
Pemampat	Compressor
Pemancar	Emitor
Pemasa	timer
Pemasaan	Timing
Pembahagi frekuensi	Frequency devide
Pembanding	Comparator
Pembentuk gelombang arus	Current wave shaping
Pembilang	Counter
Pembilang dekad	Decade counter
Pembinaanya kuat	High robustness
Pemencilan	Isolation
Pemuat	Capacitor
Pemulihan sangat pantas	Ultrafast soft recovery
Penapis pemuat tersuis	Switched capaciotor filter
Pendarab	Multiplier
Penderia pantulan	Reflective Sensor
Pengantaramukaan	Rnterfacing
Pengaturacara	Programmer
Pengaturcaraan	Programming
Pengayun hablur	Osilator crystal
Pengecasan	Charging
Pengekod	Encoder
Pengesan ralat	Error detector
Pengganding optik	Opto coupler
Penghimpun	Assemble
Penguat penambahan	Summing amplifier
Penguat peralatan	Instrumentation amplifier
Penguatan satu	Unity gain
Pengubah mulaan	Start-conversion
Pengumpul	Colector
Penukar arus terus ke arus terus	Dc to dc converter
Penukar buck	Buck converter

Penukar statik	Static converter
Penukartertiban	Commutation
Penyegerak	Synchronization
Penyelakuan	Simulation
Penyinaran	Radiation
Penyongsang sumber voltan	Voltage Source Inverter
Peraruh	Inductor
Perkakasan	Hardware
Perlindungan bertindih	Overlap protection circuit
Perolehan	Acquisition
Perolehan	Acquisition
Persilangan	Crossed
Pertindihan	Overlap
Pinggir	Edge
Potong	Cut off
Prestasi	Performance
Pusingan	Cycle
Putaran	Revolution
Putaran per minut	Revolutions per minute
Rangkap pindah	Transfer function
Rintangan	Resistance
Rotor sangkar	Cage rotor
Salunan	Resonance
Sambutan	Response
Sampelan biasa	Regular sampling
Sampokan	Interruption
Sampukan	Interup
Sangkar tupai	Squirrel cage
Sapu	Sweep
Segerak	Sync
Seketika	Instantaneous
Selak	Latch
Selari	Parallel

Selari songsang merentasi	Inverse selari across
Serpih tunggal	Single chips
Set arahan	Instructions set
Set mula	Reset
Sifar	Zero
Sifat	Feature
Suntikan arus	Current injection
Susut	Drop
Takal	Pulley
Talian	Grid
Talian ke talian	Line to line
Tanjakan	Ramp
Tenang	Quiescent
Teragih	Distributed
Terapung	Floating
Terminal	Port
Tolak-tarik	Push-pull
Tolak-tarik	Push-pull
Tork	Torque
Uji kaji	Experiment
Unggul	Ideal
Voltan kurang	Under voltage
Voltan riak	Ripple voltage

SENARAI LAMPIRAN

- A BENTANGAN PCB PENUKAR STATIK
- B LITAR DAN PEMASAAN CD4017B

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

	Muka surat
1.1 Journal Rekayasa Elektrika Volume 3 nomor 2 Tahun 2004	29
1.2 Journal Rekayasa Elektrika Volume 6 nomor 2 Tahun 2007	1

REKABENTUK PENUKAR STATIK UNTUK PEMACU KELAJUAN MOTOR ARUHAN TIGA FASA BERASASKAN MIKROPENGAWAL

ABSTRAK

Dalam kajian ini, sebuah alat pacuan kelajuan motor aruhan tiga fasa yang dinamakan penukar statik direkabentuk. Penukar statik ini terdiri daripada penerus, penukar buck, penyongsang, litar kawalan yang berasaskan mikropengawal, penderia arus-voltan dan penderia kelajuan. Ianya direkabentuk dengan kaedah cuba jaya (*try and error*) menggunakan software PSIM dan Spice. Penderia kelajuan menggunakan HOA1405 yang ditempatkan pada jarak 5.08mm dari takal motor. Isyarat kelajuan ini disuap ke mikropengawal PIC 16F628 untuk perolehan data dan keluarannya dihantar ke mikropengawal PIC16F877 sebagai isyarat ralat pada sistem kawalan suap balik. Ianya juga mengawal frekuensi penyongsang daripada 2.5Hz ke 50Hz dan menyegerak voltan penukar buck dengan frekuensi penyongsang. Penukar buck menggunakan kaedah pensuisan ZCS dan menggunakan pemacu tolak-tarik. Penukar buck ini dipacu dari isyarat PWM, isyarat ini dijana dari mikropengawal PIC16F628. Penyongsang menggunakan 6 semikonduktor kuasa IGBT IRG4PH20KD dan menggunakan pemacu IR2130. Penyongsang ini dipacu dengan isyarat SPWM, isyarat ini dijana dengan kaedah pembeding antara isyarat segitiga dengan isyarat rujukan sinusoid tiga fasa. Isyarat segitiga dijanakan oleh litar penguat kendalian TL084. Isyarat sinusoid dijana dengan kaedah menukar isyarat segi empat satu fasa ke isyarat tiga fasa oleh litar logik. Isyarat tersebut kemudian ditukar ke isyarat sinusoid oleh penapis pemuat tersuis MF10. Penukar statik yang direkabentuk ini, diuji kaji pada sebuah motor aruhan tiga fasa 4 kutub, sambungan delta, 240V, 50Hz, $\frac{1}{4}$ Hp, 0.6A dan 1470rpm. Keputusan menunjukkan kelajuan motor boleh dikawal dalam julat 75rpm ke 1500rpm dan nisbah V/f malar 8 volt/hetz

DESIGN OF A STATIC CONVERTER FOR THREE PHASE INDUCTION MOTOR SPEED DRIVE BASE ON MICROCONTROLLER

ABSTRACT

In this research, a speed drive device of three phase motor called static converter is designed. Static converter is made of rectifier, buck converter, inverter, control circuit based on microcontroller, current-voltage sensor and speed sensor. It is designed with try and error method using Psim and Pspice software. The speed sensor HOA1405 positioned at distance of 5.08mm off motor pulley. Signal from the sensor is feed into microcontroller PIC16F628 for measurement at data and its output is channeled to microcontroller PIC16F877 as signal feed back system. It also controls the inverter's frequency from 2.5Hz to 50Hz and synchronizing buck converter voltage with inverter's frequency. Buck converter uses ZCS method and push pull drive. Buck converter is fed by PWM signal. This signal generated from microcontroller PIC16F628. Inverter uses 6 IGBT power semiconductor IRG4PH20KD and drive IR2130. Inverter is driven with SPWM signal which is generated by method of compare between triangle and The signal is generated with comparative method within triangle signal and referenced tree phase sinusoid signal. Triangle signal is generated by operational amplifier TL084. Sinusoidal signal is generated with the method of converting square single phase signal into tree phase signal by logic circuit. The signal then, is convert to sinusoidal signal by switched capacitor filter MF10. This designed static converter is tested to a three phase 4 pole, delta connection, 240volt, 50Hz, ¼ hp, 0.6A and 1470rpm induction motor. Testing result shows that motor speed can be control at 75rpm to 1500rpm with v/f constant ratio at 8 volt/hetz.

BAB 1

Pengenalan

1.0 Latar Belakang Permasalahan

Penggunaan motor aruhan tiga fasa, khususnya motor aruhan jenis rotor sangkar yang boleh mencacah lebih dari 85% dan banyak digunakan di industri pembuatan, petrokimia serta pengangkutan [Gobbi,R.,et al. 2003], [Negm, M.M.M., et.al., 2006], [Bodson,M.,et.al.,1995]. Kebaikan motor jenis ini ialah pembinaanya kuat, kebolehharian tinggi, harga murah dan berkecekapan tinggi. Kelemahan motor aruhan tiga fasa ialah pengawal kelajuan dan tork hanya dapat dilakukan dengan mengawal frekuensi dan magnitud voltan masukan. Ia sukar dikawal kerana frekuensi dan voltan yang sedia ada adalah malar (Bekalan voltan TNB 240V/415V dan frekuensi 50Hz malar). Namun dengan perkembangan teknologi elektronik kuasa dan sistem kawalan yang modern seperti sekarang ini, maka voltan dan frekuensi bekalan kuasa untuk motor aruhan boleh dikawal sesuai dengan keperluan kelajuan dan tork yang dikehendaki.

Kawalan pada motor aruhan tiga fasa mencakupi kawalan kelajuan, kuasa, dan tork. Kawalan-kawalan tersebut dilakukan dengan mengubah frekuensi dan voltan bekalan kuasa masukan motor. Kawalan voltan dan frekuensi tersebut boleh dilakukan dengan menggunakan satu penukar statik. Penukar statik ini pada umumnya terdiri daripada penerus dan penyongsang sumber voltan [Peng, F.Z, et.al., 2005].

Penyongsang adalah suatu peralatan pensuisan yang mengubah voltan arus terus kepada voltan arus ulang-alik. Voltan keluaran penyongsang yang berbentuk gelombang sinus dapat diperolehi bila pensuisan penyongsang dikawal dengan menggunakan kaedah SPWM.

Voltan masukan penyongsang adalah berupa voltan arus terus yang diperolehi daripada sumber talian ulang alik yang diubah dengan menggunakan penerus titi penuh.

Sistem kawalan yang sering digunakan pada penyongsang bekalan voltan untuk pemacu motor aruhan tiga fasa adalah sistem kawalan gelung-buka [Colli, V.D., et.al., 2005]. Kekurangan pada sistem gelung-buka ialah tidak dapat dibetulkan gangguan jika terjadi perubahan pada beban, karena kawalan hanya dibuat oleh masukan. Kekurangan didalam sistem kawalan ini boleh diatasi menggunakan sistem kawalan gelung [Nise, N.S.,1995].

Dalam sistem kawalan gelung, perubahan pada keluaran diukur oleh penderia dan menghantarnya ke masukan melalui pengesan ralat untuk pembetulan gangguan. Isyarat keluaran daripada penderia mestilah boleh dikesan secara langsung oleh mikropengawal tanpa menggunakan ADC. Hal ini dimaksudkan agar litar sistem kawalan yang berasaskan mikropengawal boleh direkabentuk dengan ringkas.

Kawalan Nisbah frekuensi dan voltan (v/f) yang malar pada keluaran penyongsang boleh di diperolehi apabila voltan masukan dikawal bersama-sama dengan frekuensi rujukan SPWM. Kawalan segerak voltan pada penukar buck dan frekuensi pada penyongsang menjadi mudah untuk dikawal apabila kawalan tersebut berasaskan mikropengawal.

Untuk pemacu penyongsang tiga fasa SPWM, nilai frekuensi keluaran mestilah mengikuti nilai perubahan frekuensi rujukan dengan tetap menjaga perbezaan sudut fasa 120 darjah. Bila frekuensi rujukan dikesan dari talian tiga fasa, maka diperolehi beza fasa 120 darjah, namun nilai frekuensi tidak boleh diubah. Jika frekuensi rujukan dibina dari litar analog, maka diperolehi suatu isyarat frekuensi rujukan yang boleh ubah namun perbezaan sudut fasa akan berayun yang tidak boleh

dikawal. Masalah ini boleh diatasi dengan menggunakan litar logik dan tapis pemuat tersuis. Litar logik berguna untuk mengubah gelombang segiempat sama satu fasa ke segiempat sama tiga fasa dan dapat diperoleh beza fasa 120 darjah. Tapis pemuat tersuis berguna untuk mengubah gelombang segiempat sama ke gelombang sinus.

Daripada permasalahan-permasalahan di atas, untuk mengawal kelajuan motor aruhan tiga fasa dengan v/f malar maka direkabentuk penukar statik berasaskan mikropengawal.

1.1 Objektif Penyelidikan

Objektif utama penyelidikan ini adalah untuk merekabentuk penukar statik tiga fasa sebagai pengawal kelajuan motor aruhan tiga fasa. Objektif lain dalam penyelidikan ini adalah :

- a. Untuk merekabentuk litar penjana gelombang SPWM tiga fasa frekuensi boleh ubah dan beza sudut fasa malar 120 darjah.
- b. Untuk merekabentuk bentuk litar pemacu penyongsang tiga fasa dengan menggunakan IC-MGD IR2130.
- c. Untuk merekabentuk litar pemacu jenis tolak-tarik untuk penukar buck.
- d. Untuk merekabentuk litar penderia arus dan voltan yang bersesuaian dengan pembacaan masukan mikropengawal (tiada menggunakan ADC).
- f. Untuk merekabentuk penderia kelajuan motor dengan menggunakan penderian pantulan HOA1405.
- g. Mengaplikasikan mikropengawal PIC 16F877 dan PIC 16F628 untuk penjanaan gelombang PWM, gelombang segi empat sama, perolehan dan sistem kawalan gelung untuk kawalan kelajuan motor aruhan tiga fasa.

1.2 Skop Penyelidikan

Skop pelaksanaan rekabentuk penukar statik iaitu merekabentuk litar penerus diod titi penuh, litar penukar buck, litar penyongsang bekalan voltan enam suis, litar pemacu penukar buck, litar pemacu penyongsang berasaskan MGD IR2130, litar penjanaan SPWM, litar penerima voltan arus terus keluaran PWM, litar penerima arus terus keluaran PWM, litar penerima kelajuan kaedah pantulan dan sistem kawalan berasaskan mikropengawal PIC 16F877/16F286.

Kelajuan motor boleh dikawal dari kelajuan rendah ke kelajuan namaan motor. Motor aruhan yang digunakan ialah : jenis tiga fasa, 4 kutub, sambungan delta, 240 V, 50Hz, ¼ Hp, 0.6A, 1480 rpm.

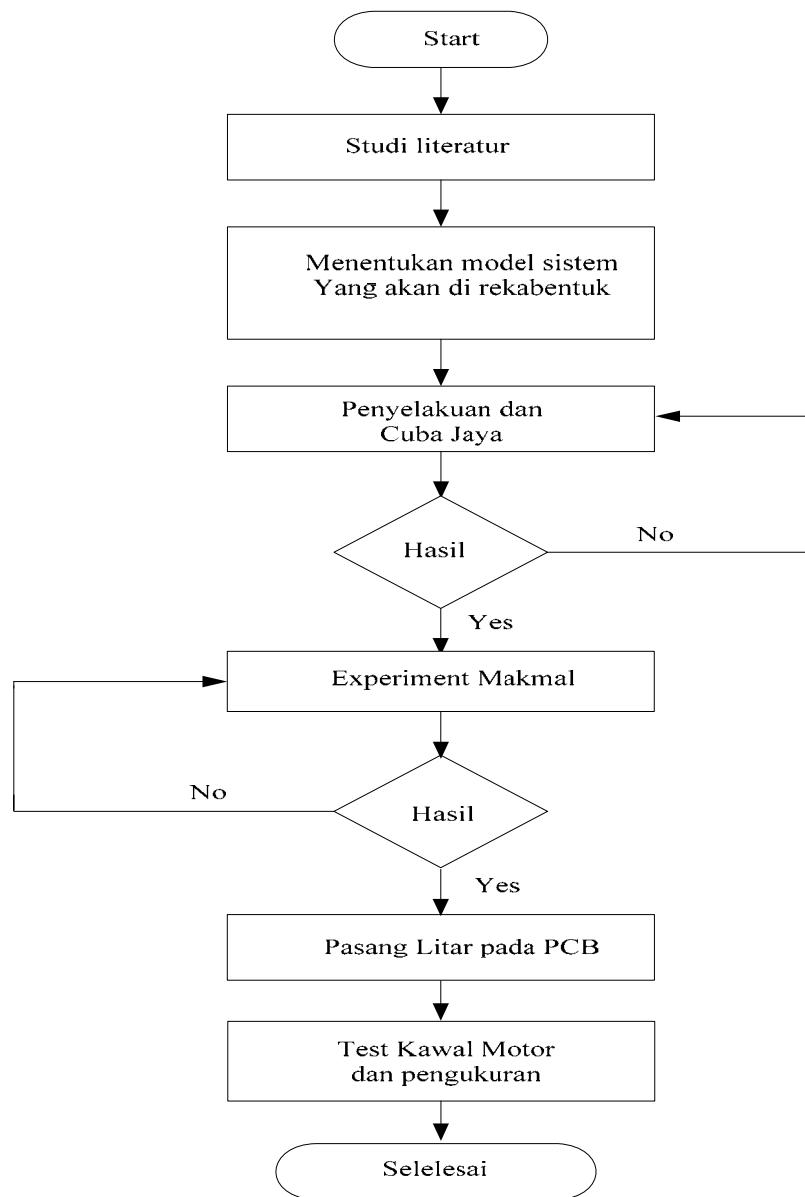
1.3 Metodologi penyelidikan

Metodologi yang digunakan dalam penyelidikan rekabentuk penukar statik untuk pemacu motor aruhan tiga fasa dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Menelaah pelajaran daripada jurnal, prosiding, buku dan talian internet. Daripada menelaah pelajaran tersebut boleh difahami penukar statik untuk pemacu motor aruhan tiga fasa.
- b. Daripada menelaah pelajaran dapat diambil suatu kaedah tentang penukar statik untuk pemacu motor aruhan tiga fasa yang akan direkabentuk.
- c. Membuat penyelakuan litar yang akan direkabentuk dengan kaedah cuba jaya menggunakan software Psim dan Pspice
- d. Melakukan eksperimen pada *protoboard*, pengukuran menggunakan alat ukur seperti osiloscope Lecroy dan Power quality Fluxe 34B.
- e. Bila pada ekperimen telah diperoleh nilai sama seperti pada penyelakuan, maka dibuat layout PCB dan memasang komponen pada PCB tersebut.

- f. Mengukur prestasi dari penukar statik dan litar kawalan.
- g. Ujian kawalan kelajuan, tork dan kuasa motor aruhan tiga fasa dengan menggunakan penukar statik.
- h. Menganalisis data eksperimen dan membuat kesimpulan.

Dalam bentuk carta alir metodologi penyelidikan rekabentuk penukar statik untuk pemacu motor aruhan tiga fasa ditunjukkan dalam Rajah 1.1



Rajah 1.1: Carta alir metodologi penyelidikan

1.4 Tinjauan Tesis

Keseluruhan tesis ini dibahagikan kepada enam Bab yang merangkumi penerangan umum, teori, rekabentuk perkakasan , hasil ujian serta perbincangan dan saranan.

Bab 1 memberikan penerangan secara umum yang berkaitan dengan tajuk tesis ini, Objektif penyelidikan, Skop projek dan Metodologi .

Bab 2 dalam bab ini akan dibincangkan ulasan kajian ilmiah tentang penerus, penyongsang dan kawalan untuk pemacu motor aruhan tiga fasa.

Bab 3 tesis ini akan membincangkan tentang motor aruhan, ciri dan kaedah-kaedah kawalan kelajuan, kuasa dan tork.Selain itu juga dibincangkan masalah elektronik kuasa yang dipergunakan pada merekabentuk penukar statik untuk pemacu motor aruhan tiga fasa.

Bab 4 membincangkan rekabentuk pekar statik dan bahagian-bagiannya yang meliputi penerus, penukar buck , penjana SPWM, penyongsang, penderia arus, penderia voltan, penderia kelajuan dan pengawalan berasaskan mikropengawal.

Bab 5 membincangkan keputusan hasil uji kaji dan perbincangan hasil uji kaji dari penukar statik dan bahagian-bagiannya.

Bab 6 memberikan kesimpulan yang diperoleh daripada proses rekabentuk sehingga menghasilkan suatu rekabentuk yang memenuhi tujuannya. Beberapa cadangan berkaitan penyelidikan yang telah dijalankan bagi membolehkan kesinambungan penyelidikan ini dapat dilakukan .

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.0 Pengenalan

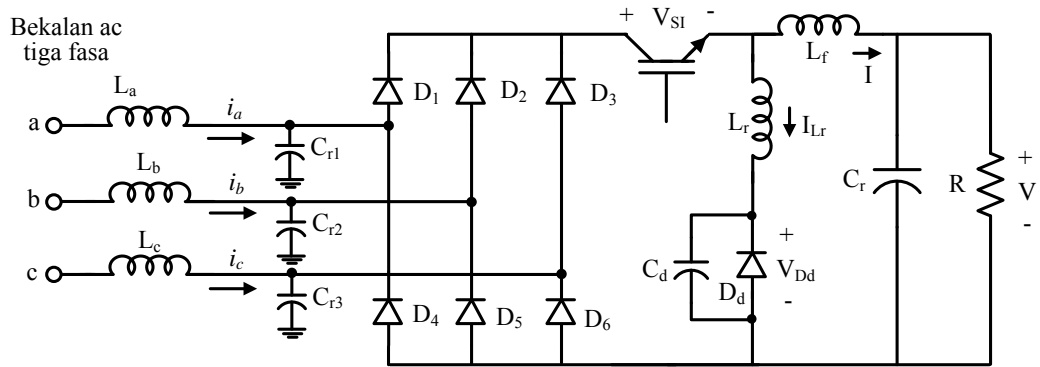
Banyak kajian yang telah dilaksanakan oleh pengkaji terdahulu untuk pacuan kelajuan motor aruhan tiga fasa yang menggunakan penukar statik. Penukar statik mengawal frekuensi dan voltan bekalan motor. Kelajuan motor aruhan bergantung kepada tinggi atau rendahnya frekuensi dari penukar statik tersebut. Semakin tinggi frekuensi maka laju putaran motor semakin tinggi dan bila frekuensi rendah laju putaran motor juga makin rendah.

Penukar statik terdiri daripada penerus, penukar buck dan penyongsang. Penerus banyak menggunakan diod jenis titi, penukar buck satu suis dan penyongsang enam suis menggunakan MOSFET atau IGBT. Daripada maklumat-maklumat yang diperoleh dari pengkaji terdahulu terdapat beberapa teknik penerus, penukar buck, teknik penyongsang dan teknik sistem kawalan yang digunakan untuk pemacu motor aruhan tiga fasa. Teknik-teknik tersebut akan dibincangkan berikut ini.

2.1 Teknik Penerus dan Penukar Buck Kaedah PFC

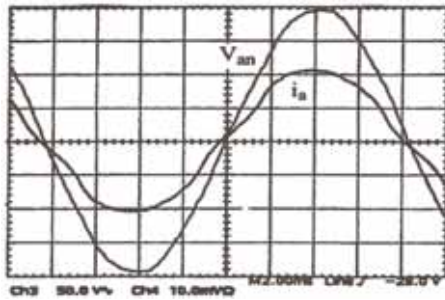
Sebuah penukar arus ulang-alik ke arus terus yang juga dikenal sebagai penerus. Pada penerus ini dipasang pemuat untuk pengurangan voltan riak, namun pemasangan pemuat tersebut dapat meningkatkan harmonik pada bahagian bekalan arus ulang-alik. Harmonik juga terjadi kerana ciri-ciri penerus adalah tak lurus yang mengakibatkan bentuk gelombang arus yang diserap daripada bekalan sistem menjadi herotan atau tak sinus (Masri, S., 2006). Banyak teknik penerus yang dihasilkan daripada berbagai kajian yang dapat mengurangkan harmonik dan pembetulan faktor kuasa (PFC) seperti topologi penukar buck, topologi boost dan topologi suntikan arus.

Penurus tiga fasa dan penukar buck satu suis yang menggunakan kaedah *multiresonan current switching* dapat mengurangkan harmonik sehingga THD kurang 5 % dan kecekapan mencapai 94% , topologi litar seperti ditunjukkan pada Rajah 2.1 [Jang, Y., et.al.,1998].

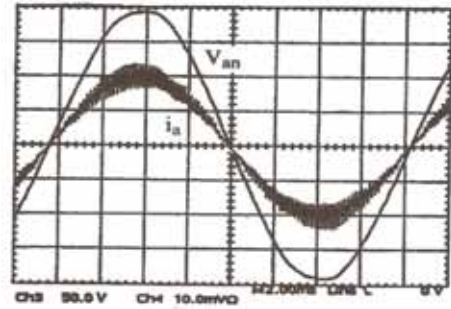


Rajah 2.1: Litar penerus tiga fasa dan penukar buck Multiresonan ZCS

Dari pada litar Rajah 2.1 di atas, diod D_1 - D_6 berkerja pada keadaan ZVS dan IGBT V_{SI} pada keadaan ZCS . Voltan keluaran diperoleh 147 V pada bekalan penerus 240 V_{rms} (L-L). Nilai pearuh L_a, L_b dan L_c 0.5 mH , nilai peraruh L_f 2 mH dan peraruh resonan L_r 17 uH. Pemuat resonan $C_{r1} - C_{r3}$ 270nF disambungkan Y (*star*), nilai $2/3 \times C_r$ atau 180 nF. Diperolehi hasil pada kuasa beban maksimum 6 kW dan frekuensi pensuisan 89.3 kHz dapat mengurangkan harmonik sampai THD 5%. Pada kuasa beban 3 kW dan frekuensi pensuisan 68 kHz dapat mengurangi THD 3.5%. Pada kuasa beban 600 watt dan frekuensi pensuisan 19.2kHz dapat mengurangi hingga THD 2%, bentuk gelombang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



(a)

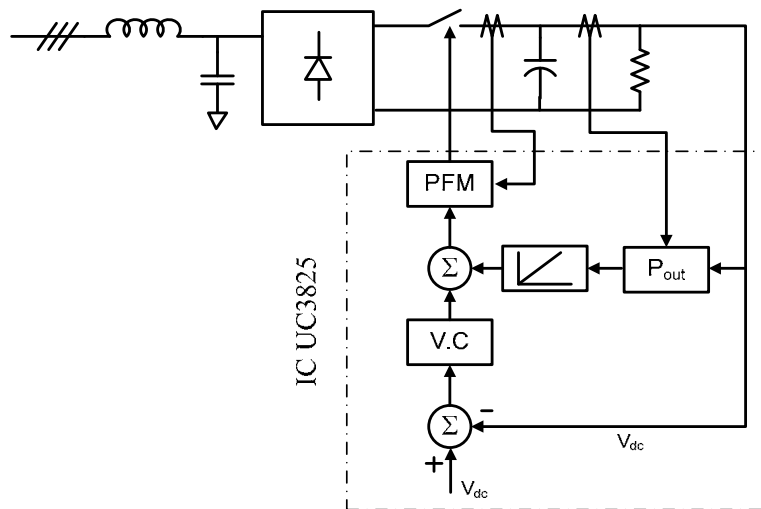


(b)

Rajah 2.2: Gelombang bekalan (a) Pada kuasa beban 6 kW

(b) Pada kuasa beban 600W

Skema kawalan untuk penerus tiga fasa dan penukar buck kaedah multiresonan ZCS dapat di laksanakan dengan menggunakan IC UC3825 [Song, J.H. ,et.al.,1998]., gambarajah kawalan seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.3.



Rajah 2.3: Gambarajah kawalan kaedah multiresonan ZCS pada penukar buck

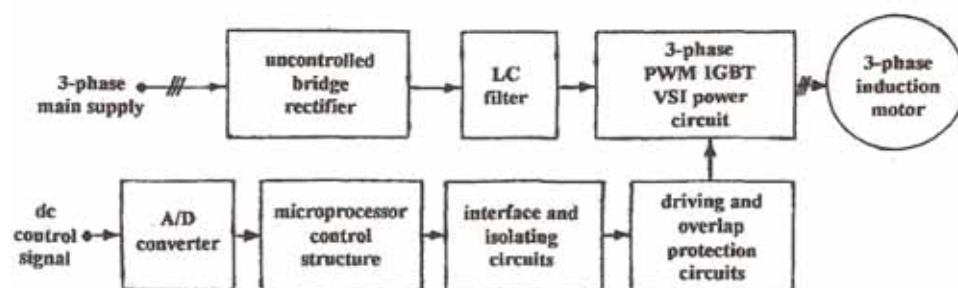
Litar kawalan dengan menggunakan IC UC3825 diatas ialah kaedah analog, kaedah ini bila digunakan pada sistem kawalan pada pemacu motor aruhan sukar untuk disegerakan voltan keluaran dengan kawalan frekuensi pada penyongsang.

Dalam kajian ini, topologi litar penerus dan penukar buck menggunakan topologi Multiresonan ZCS seperti pada rajah 2.2, namun demikian nilai komponen yang digunakan berbeza dan ditentukan dengan metode try and error menggunakan PSIM. Sistem kawalan penukar buck yang digunakan berasaskan mikropengawal, dengan demikian mudah untuk disegerakan voltan keluaran dengan kawalan frekuensi pada penyongsang.

2.2 Penyongsang PWM Tiga Fasa

Penyongsang tiga fasa terdiri daripada litar kuasa 6 suis, litar pemacu dan litar penjanaan isyarat pemacu. Untuk menghasilkan keluaran gelombang sinus, isyarat pemacu haruslah menggunakan gelombang SPWM. Perkembangan penyelidikan teknologi penyongsang untuk berbagai aplikasi terletak pada kaedah litar pemacu dan penjanaan gelombang SPWM.

Gambarajah sistem pacuan motor aruhan tiga fasa yang menggunakan penyongsang SPWM berasaskan mikropemproses, di tunjukkan dalam Rajah 2.4. [Maamoun A. et.al.,1995].

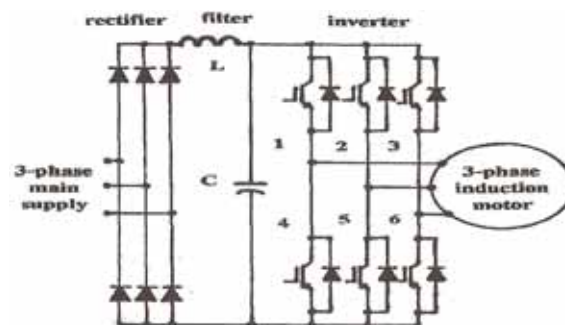


Rajah 2.4: Gambarajah kawalan motor aruhan

Bekalan utama tiga fasa ditukar dari arus ulang-alik ke arus terus oleh penerus diod. Voltan keluaran yang masih mengadungi riak daripada penerus ditapis oleh tapis LC. Voltan arus terus akan ditukar oleh penyongsang PWM tiga fasa oleh

VSI-penyongsang dengan herotan harmonik rendah dan menyuap motor aruhan tiga fasa. Voltan dan frekuensi keluaran penyongsang ini boleh laras serta boleh menjaga fluk yang malar. Dengan sebab itu, pemacu tersebut boleh digunakan untuk mengawal kelajuan motor aruhan dari kelajuan rendah kepada kelajuan namaan pada tork yang tetap. Isyarat kawalan arus terus di tukar kepada isyarat digit oleh penukar A/D, di mana menggambarkan keinginan frekuensi keluaran daripada penyongsang. Mikropemproses digunakan untuk menjana isyarat PWM [Maamoun A. et.al.,1995].

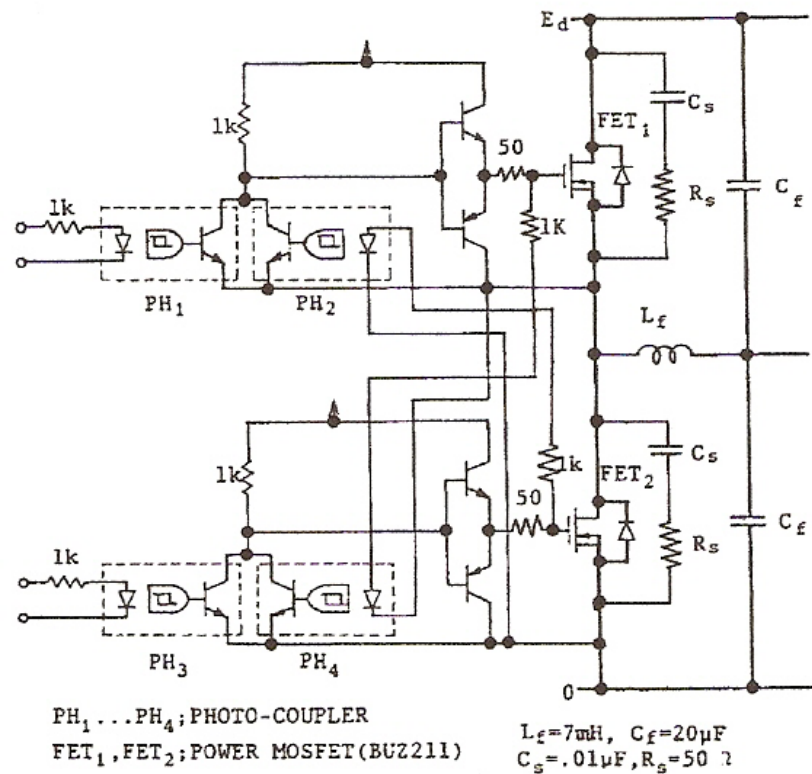
Litar kuasa pemacu motor aruhan tiga fasa ditunjukkan dalam Rajah 2.5. Penerus tiga fasa menggunakan penerus diod titi, penapis pada arus terus link terdiri daripada peraruh L dan pemuat. Penyongsang 6 suis menggunakan IGBT. Diod selari songsang merentasi IGBT sebagai diod meroda bebas [Maamoun A. et.al.,1995].



Rajah 2.5: Litar kuasa pemacu motor aruhan

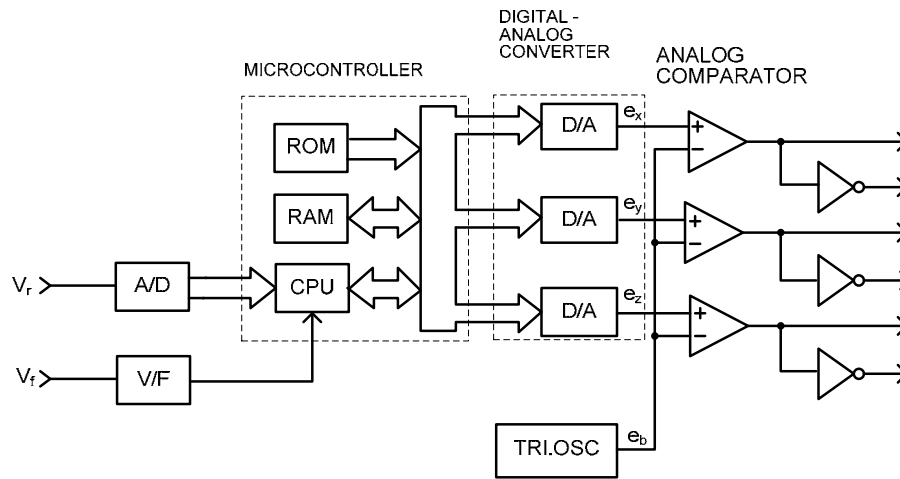
Rajah 2.6 menunjukkan litar pemacu untuk satu fasa daripada penyongsang MOSFET 3 fasa. Dalam operasi hidup-mati, bahagian atas dan bahagian bawah MOSFET tidak menyebabkan litar pintas dan juga tempoh dimana pasangan peranti mati serentak hanya boleh berlaku dalam masa yang singkat. Litar yang ditunjukkan dalam Rajah 2.7 boleh menghalang daripada berlakunya lintar pintas yang disebabkan oleh pasangan MOSFET yang dihidupkan serentak. MOSFET bahagian atas dan bahagian bawah dihidupkan secara bergilir setelah masa lengah daripada

sebuah pengganding optik. Waktu tunda ini sangat singkat jika dibandingkan dengan frekuensi pembawa 20 kHz [Taniguchi, K.,et.al.,1988].



Rajah 2.6: Litar pemacu penyongsang MOSFET

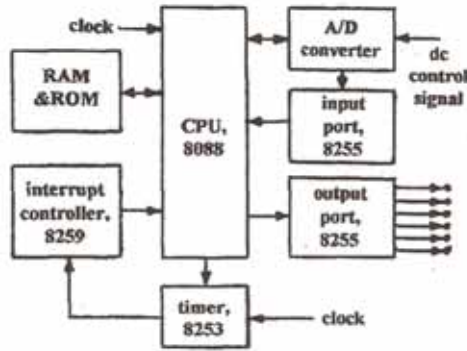
Penjanaan gelombang PWM menggunakan mikropemproses seperti dalam Rajah 2.7. dapat menghasilkan isyarat modulat tiga fasa, amplitud dan frekuensi boleh dikawal. Data modulat disimpan dalam ROM jadual dan isyarat modulat ditulis kembali pada jadual RAM dengan amplitud dikawal oleh V_V . Frekuensi mengikuti isyarat V_f iaitu dengan mengawal isyarat sampukan pada CPU. D/A mengubah isyarat digit ke isyarat analog bentuk gelombang sinus. Isyarat bentuk sinus ini yang merupakan isyarat referensi tiga fasa (e_x , e_y , e_z). Pembanding membandingkan isyarat referensi sinusoid dengan isyarat pensuisan gelombang segitiga, pembandingan ini menghasilkan isyarat SPWM [Taniguch, K.,et.al.,1988].



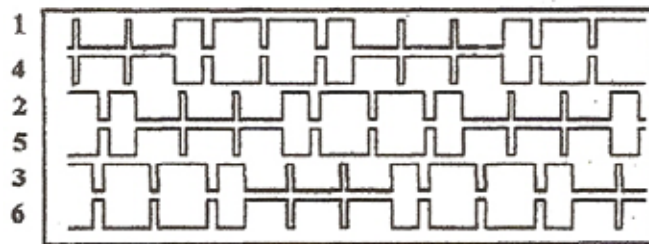
Rajah 2.7: Gambarajah penjana isyarat denyut PWM tiga fasa berasaskan mikropengawal.

Pada pensuisan sebuah penyongsang biasanya terdengar hingar, hal ini dapat diatasi bila frekuensi pensuisan di atas 20 kHz. Sebagai peranti suis peralatan frekuensi tinggi boleh menggunakan MOSFET kuasa, kaedah ini mempunyai kebaikan untuk penyongsang PWM [Taniguch, K.,et.al.,1988].

Mikropemproses 8088 digunakan untuk menjana isyarat kawalan PWM dengan menggunakan PIO (*Programmable Input/Output Port*) 8255, PIT (*Programmable Interval Timer*) 8255, PIC (*Programmable Interrupt Controller*) 8259 dan penukar A/D (Analog to Digit), gambarajah ditunjukkan dalam Rajah 2.8. Isyarat kawalan arus terus yang melambangkan frekuensi keluaran, di ubah ke dalam bentuk digit oleh A/D. Isyarat keluaran PWM daripada Mikropemproses 8088 ditunjukkan dalam Rajah 2.9, frekuensi isyarat rujukan $f_m=47\text{Hz}$, frekuensi nisbah $FR=6$ dan indeks modulat $M 0.94$ [Maamoun A. et.al.,1995]

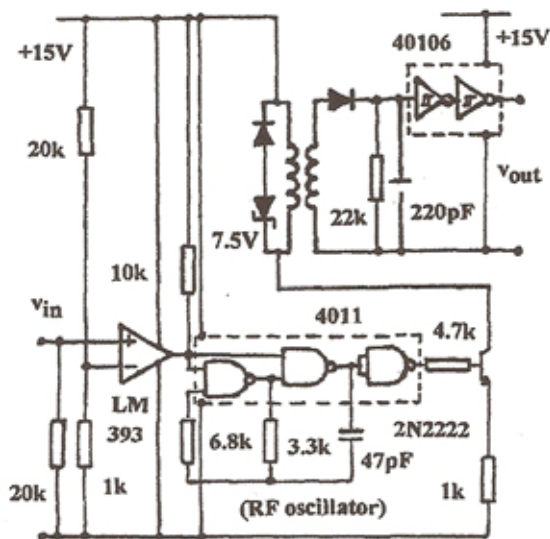


Rajah 2.8: Gambarajah kawalan dengan mikropemproses



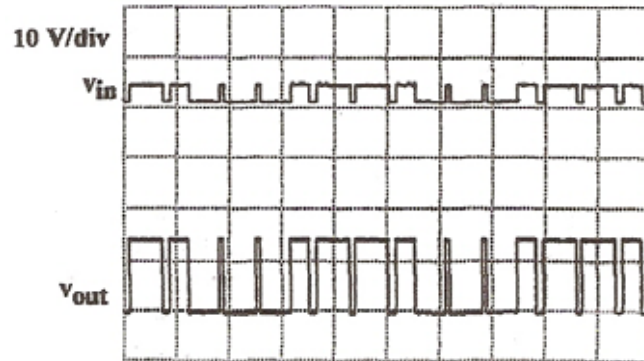
Rajah 2.9: Isyarat PWM keluaran daripada mikropemproses

Litar pengantaramukaan dan pemencilan antara mikropemproses dengan litar pemacu ditunjukkan dalam Rajah 2.10. Pembanding LM393 digunakan sebagai pengantaramukaan antara terminal I/O 8255 dengan logik 4011 [Maamoun A. et.al.,1995]



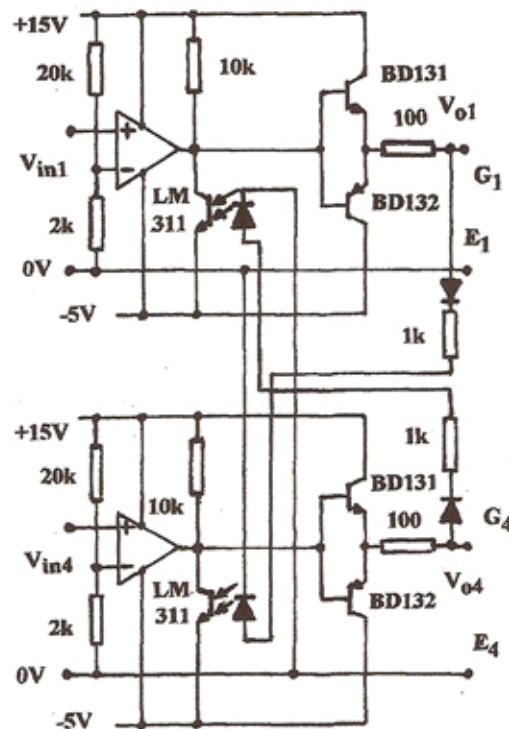
Rajah 2.10: Litar pengantaramukaan dan pemencilan

Isyarat PWM masukan dan keluaran daripada litar Rajah 2.10 ditunjukkan dalam Rajah 2.11, frekuensi rujukan $f_m=47\text{Hz}$, frekuensi nisbah $FR=6$ dan indeks modulat $M 0.94$.



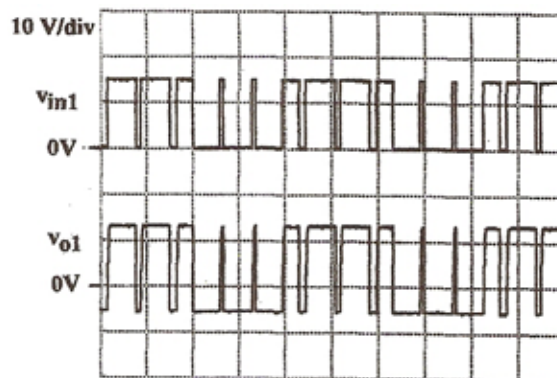
Rajah 2.11: Syarat masukan dan pengeluaran pengantamukaan

Get daripada IGBT dikawal oleh voltan, tetapi konduksi dalam masa yang singkat diberikan oleh arus isyarat pamacu get. Litar pemacu dan perlindungan bertindih IGBT ditunjukkan dalam Rajah 2.12.



Rajah 2.12: Litar pemacu dan perlindungan

Isyarat PWM masukan dan keluaran litar pemacu ditunjukkan dalam Rajah 2.13, frekuensi rujukan $f_m=47\text{Hz}$, frekuensi nisbah $FR=6$ dan indeks modulat $M 0.94$.



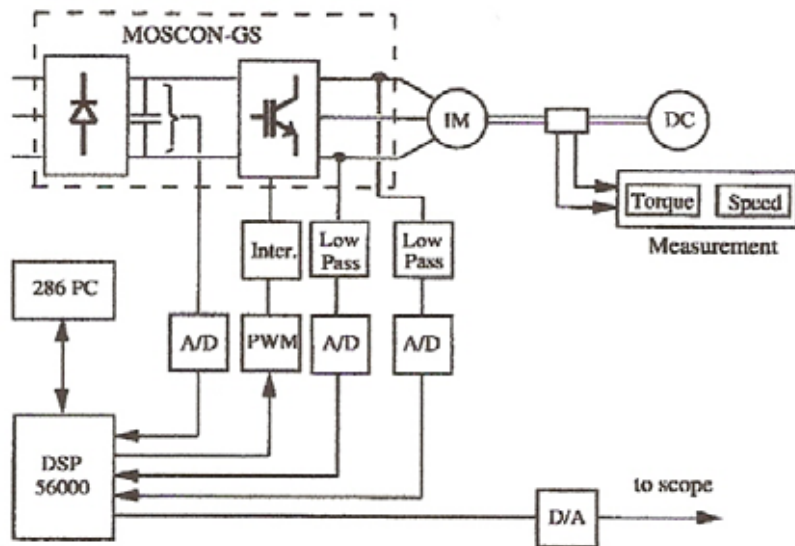
Rajah 2.13: Isyarat masukan dan pengeluaran litar pemacu

Litar pemacu penyongsang yang telah dibincangkan diatas, menggunakan transistor bipolar dan penguat peralatan serta sistem kawalan menggunakan Mikropemproses. Penyongsang tersebut sukar untuk direkabentuk dan saiz litarnya sangat besar.

Dalam kajian ini, topologi litar penyongsang juga 6 suis dengan menggunakan IGBT seperti pada Rajah 2.5, namun untuk pemacunya menggunakan IC-MGD IR2130. Ianya punya kelebihan yaitu litarnya sangat ringkas, mudah di rekabentuk dan boleh melindungi litar penyongsang daripada bertukar jujukan pensuisan.

2.3 Sistem Kawalan pada Pemacu Motor Aruhan Tiga Fasa

Sistem kawalan gelung pada pemacu motor aruhan yang berasaskan DSP seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.18. Penerus tiga fasa menggunakan diod titi dan pemuat arus terus link. Litar PWM penyongsang enam suis menggunakan IGBT. Arus keluaran penyongsang disuap balik kepada kawalan DSP 56000 sebagai isyarat ralat pengawalan. Teknik ini menggunakan perkiraan arus rotor untuk mengawal kestabilan kelajuan putaran [Munoz-Garcia, A., et.al.,1998].

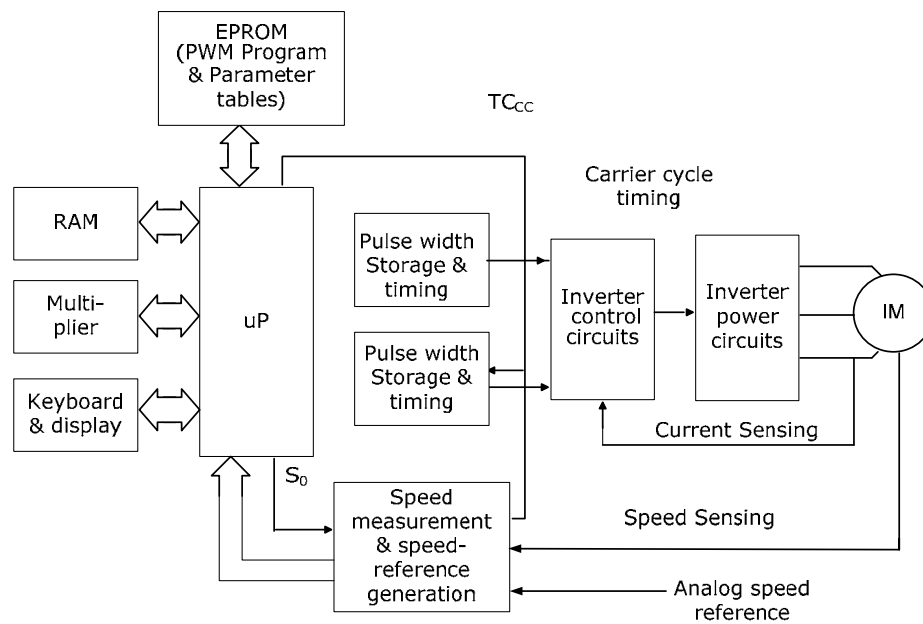


Rajah 2.14: Sistem kawalan gelung menggunakan pengawal DSP

Pada sistem kawalan kelajuan motor aruhan komponen kawalan yang penting adalah penderia. Daripada Rajah 2.18 Voltan arus terus (masukan penyongsang) diukur pada peringkat arus terus link dengan menggunakan penderia voltan. Arus keluaran daripada penyongsang diukur pada talian (talian a dan talian c) dengan menggunakan penderia arus. Keluaran penderia-penderia tersebut diatas ini disambungkan ke A/D. A/D (*analog to digit converter*) ialah untuk menukar isyarat analog ke isyarat digit sehingga dapat disambung ke pengawal DSP 56000.

Penggunaan mikrokomputer Intel SDK-85 untuk menjanakan PWM sampel biasa dan sistem kawalan pada pemacu motor aruhan tiga fasa seperti ditunjukkan dalam Gambarajah Rajah 2.15 [Richardson, J., 1991].

Sebuah sistem mikropemproses haruslah mempunyai EPROM, RAM, papan kekunci dan pendarab 8 bit. Pemasa yang dapat diaturcara pada 8155 P10 dan RAM digunakan sebagai pembawa pemasaan setengah gelombang. Dalam uji kaji yang telah dilakukan, pada arus motor $I_m = 0.29$ A, frekuensi pembawa $f = 80.3$ Hz dan indeks modulat frekuensi $M = 0.9$ [Julian Richardson, 1991].



Rajah 2.15: Gambarajah penjanaan PWM dan sistem kawalan motor aruhan tiga fasa

Dalam kajian ini, sistem kawalan berasaskan mikropengawal. Sistem kawalan ini mempunyai kelebihan yaitu tidak perlunya ADC sehingga litarnya lebih ringkas. Disamping itu ianya juga mudah dalam penggunaan bahasa pengaturcaraan, misalnya ia boleh menggunakan bahasa aturcara Basic-Pro.

BAB 3

SISTEM KAWALAN KELAJUAN MOTOR ARUHAN TIGA FASA

3.0 Pengenalan

Motor aruhan terdiri dari pada belitan stator dan rotor. Voltan pada belitan stator motor aruhan tiga fasa dibekalkan dari sumber bekalan tiga fasa, sedangkan voltan pada rotor ialah teraruh dari belitan stator. Motor aruhan banyak digunakan di industri untuk aplikasi pada beban kelajuan tetap mahupun pada kelajuan yang dapat dikawal. Kawalan kelajuan motor aruhan dapat dibahagi dalam beberapa kaedah iaitu kawalan frekuensi bekalan v/f , kawalan voltan bekalan, kawalan rintangan rotor dan menukar jumlah kutub.

Prestasi yang terbaik kawalan kelajuan motor aruhan sangkar tupai adalah kaedah kawalan v/f . Kaedah ini adalah mengawal frekuensi voltan bekalan motor dengan menggunakan penyongsang dan menjaga suatu nilai fluk (Φ) pada celah udara rotor-stator yang malar. Nilai fluk yang malar dikawal dengan mengawal voltan bekalan bergantung kepada perubahan frekuensi (v/f malar).

Sistem kawalan kelajuan penting bagi mendapatkan prestasi yang terbaik pada pemacu. Sistem kawalan gelung terbuka yang diterapkan pada pemacu motor aruhan tiga fasa sangat ringkas, tetapi tidak boleh membetulkan gangguan. Manakala sistem kawalan gelung tertutup dapat membetulkan gangguan, tetapi sistem ini kompleks dan mahal. Penggunaan sistem kawalan digit berasaskan mikropengawal dapat memberikan kawalan yang terbaik dan ringkas untuk pemacu motor aruhan tiga fasa.

statik ialah yang menggunakan suis statik, suis statik ini menggunakan peranti elektronik kuasa seperti diod, MOSFET, IGBT dan lain-lain. Penukar statik yang digunakan untuk pemacu motor aruhan tiga fasa terdiri daripada penerus, buck

dan penyongsang SPWM. Gelombang keluaran daripada penyongsang untuk disuap kepada motor aruhan haruslah berbentuk isyarat bentuk sinusoid, untuk itu penyongsang haruslah di pacu dengan isyarat SPWM.

3.1 Prestasi Keadaan Mantap Motor Aruhan Tiga Fasa

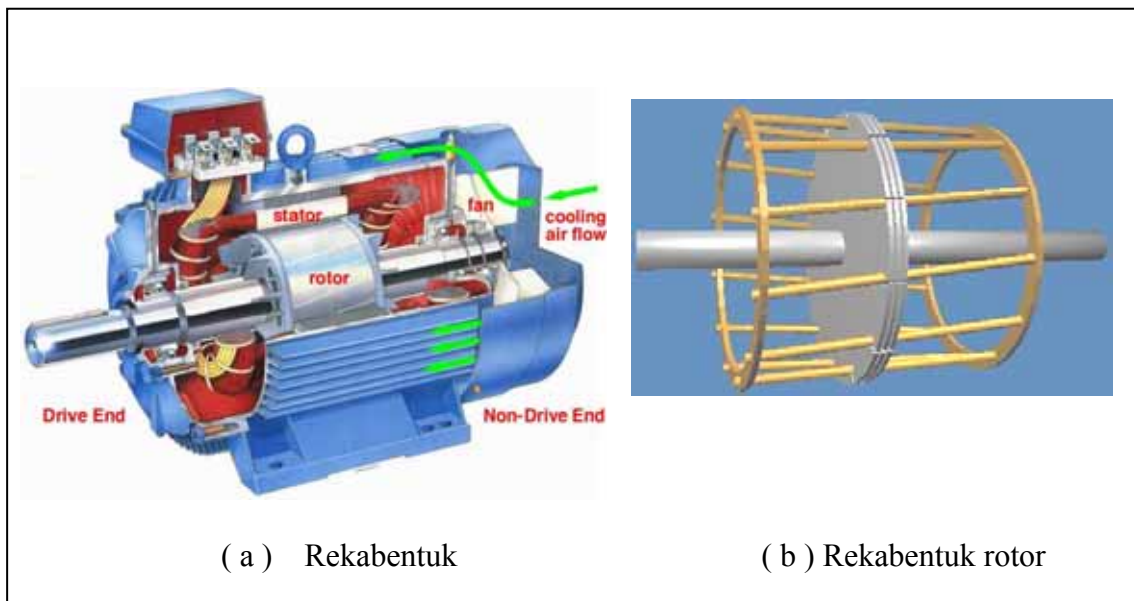
Konstruksi motor aruhan tiga fasa jenis rotor sangkar tupai adalah seperti ditunjukkan dalam Rajah 3.1(a). Stator yang merupakan bagian yang tidak bergerak terdiri daripada belitan tiga fasa yang teragih pada slot stator dengan jarak setiap fasa 120° , iaitu :

$$\theta_{ed} = p \times \theta_{md} \quad (3.1)$$

Disini, θ_{ed} = darjah elektrik

θ_{md} = darjah mekanik

p = jumlah kutub



Rajah 3.1: Motor Aruhan sangkar tupai

Kutub Motor ialah jumlah pasangan daripada gelungan belitan stator, kutub terdiri daripada pasangan seperti 2, 4, dan 8. Rotor adalah bahagian yang berputar yang terdiri daripada besi berbentuk sangkar tupai seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2(b), ini secara litar setara elektrik dinyatakan sebagai belitan litar tertutup.

Voltan pada rotor adalah hasil aruhan daripada voltan stator, daripada hukum Faraday :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (3.2)$$

maka nilai voltan daya gerak elektrik yang teraruh pada belitan stator satu fasa, dinyatakan oleh :

$$\begin{aligned} e_a &= -N_a \frac{d\Phi_{p(t)}}{dt} \\ &= -N_a k_w \frac{d}{dt} (\Phi_p \cos \omega t) \\ &= N_a \omega \Phi_p \sin \omega t \end{aligned} \quad (3.3)$$

Di sini : e_a = voltan aruhan kuasa gerak elektrik per fasa

N_a = jumlah belitan stator per fasa

Φ_p = fluks pada sela udara perkutub

ω = kelajuan sudut $2\pi f$

Manakala aruhan kuasa gerak elektrik dalam bentuk v_{rms} dibekali oleh,

$$E_a = \frac{e_a}{\sqrt{2}} = \frac{N_a \omega \Phi_p}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f \Phi_p}{\sqrt{2}} = 4.44 N_a \Phi_p f_s \quad (3.4)$$

Di sini, f_s = frekuensi voltan bekalan

Belitan stator sebenarnya teragih pada sejumlah slot dan aruhan kuasa gerak elektrik bervariasi setiap belitan pada slot. Untuk mengurangkan perbezaan maka pengurangan faktor belitan k_w , faktor belitan biasanya antara 0.85 hingga 0.95 dengan demikian voltan aruhan kuasa gerak elektrik lebih rendah, maka persamaan 3.4 menjadi:

$$E_a = 4.44 N_a \Phi_p f_s k_{w1} \quad (3.5)$$

Di sini, k_{w1} = faktor belitan stator

Pada mesin p-kutub, satu kitaran daripada kelajuan arus membuat gelombang kuasa gerak elektrik berputar $2/p$ putaran. Jadi kelajuan segerak n_s dalam putaran per minut pada p-kutub yang di bekalkan dengan frekuensi f_s dalam putaran perminut adalah :

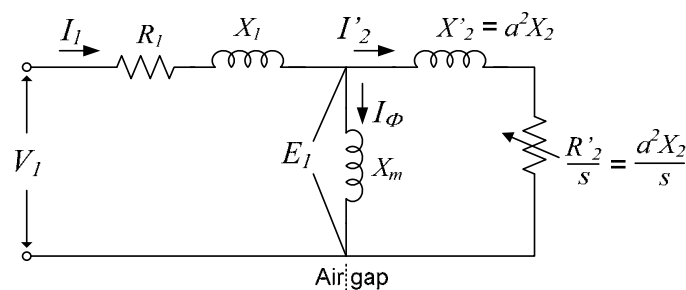
$$n_s = \frac{2}{p} f 60 = \frac{120 f_s}{p} \quad (\text{rpm}) \quad (3.6)$$

Di sini, n_s = kelajuan segerak

p = jumlah kutub

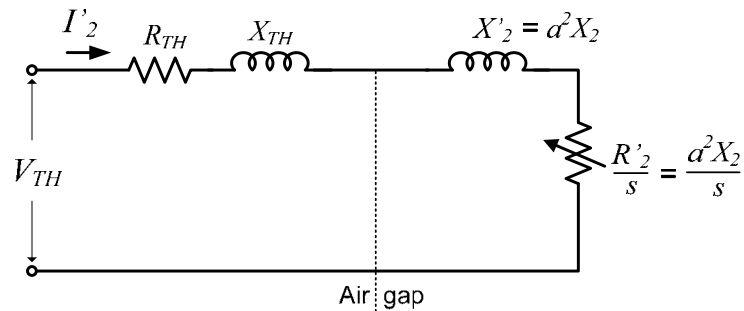
f_s = frekuensi bekalan

Litar setara motor aruhan dicadangkan IEEE ditunjukkan dalam Rajah 3.2 [Sen P.C, 1997].



Rajah 3.2: Litar setara motor aruhan

Litar setara dalam Rajah 3.2 dapat diringkaskan dalam bentuk litar setara Thevenin seperti Rajah 3.3 [Sen P.C, 1997].



Rajah 3.3: Litar setara Thevenin motor aruhan

$$V_{TH} = V_1 \left[\frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \right] = V_1 \left[\frac{X_m}{[R_1^2 + (X_1 + X_m)^2]^{1/2}} \right] \quad (3.7)$$

$$Z_{TH} = \frac{jX_m (R_1 + jX_1)}{jX_m + (R_1 + jX_1)} = R_{TH} + jX_{TH} \quad (3.8)$$

$$I_2'^2 = \frac{V_{TH}^2}{(R_{TH} + R_2'/s)^2 + (X_{TH} + X_2')^2} \quad (3.9)$$

Di sini, V_{TH} = Voltan setara Thevenin

Z_{TH} = Galangan setara Thevenin

$I_2'^2$ = arus setara Thevenin

R_1 = rintangan stator

X_m = reaktans pemagnetan

X_1 = reaktans stator

R_{TH} = rintangan setara Thevenin

X_{TH} = reaktan Thevenin

Kuasa pada rotor P_2 dibekali oleh:

$$P_2 = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (3.10)$$

Manakala kuasa mekanik P_m adalah:

$$P_m = P_2(1-s) = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s} (1-s) \quad (3.11)$$

Tork yang dihasilkan motor adalah :

$$T = \frac{P_m}{\omega_s} = \frac{3I_2'^2 \left(\frac{R_2'}{s}\right)}{\omega_s} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{TH}^2 \left(\frac{R_2'}{s}\right)}{\left(R_{TH} + R_2'/s\right)^2 + \left(X_{TH} + X_2'\right)^2} \quad (3.12)$$

Di sini, T = Tork motor

ω_s = kelajuan sudut

Pada motor dijalankan permulaan, gelincir adalah sifar maka tork permulaan adalah:

$$T_{start} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{TH}^2 R_2'}{\left(R_{TH} + R_2'\right)^2 + \left(X_{TH} + X_2'\right)^2} \quad (3.13)$$

Tork maksimum bila $I_2' \left(R_2'/s\right)$ adalah maksimum, hal ini dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{R_2'}{s_{max,T}} = \sqrt{R_{TH}^2 + \left(X_{TH} + X_2'\right)^2}$$

$$s_{max,T} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_{TH}^2 + \left(X_{TH} + X_2'\right)^2}} \quad (3.14)$$

Daripada persamaan 3.12 dan 3.15, tork maksimum adalah :

$$T_{max} = \frac{3}{\omega_s} \frac{0.5V_{TH}^2}{R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + \left(X_{TH} + X_2'\right)^2}} \quad (3.15)$$

Hubungan laju, gelincir dan tork motor aruhan ditunjukkan dalam Rajah 3.4. Pada permulaan dijalankan, gelincir adalah satu dan kelajuan adalah sifar .