



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR -TE 141599

**ANALISIS *TOTAL HARMONIC CURRENT DISTORTION*
PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA**

Febriani Husniah
NRP 2213106040

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Mochammad Rameli

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

***ANALYSIS TOTAL HARMONIC CURRENT DISTORTION
OF THREE PHASE INDUCTION MOTOR***

*Febriani Husniah
NRP 2213106040*

*Advisor
Dr. Ir. Mochammad Rameli*

*DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016*

**ANALISIS TOTAL HARMONIC CURRENT DISTORTION
PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Mochammad Rameli
NIP. 195412271981031002



Analisis Total Harmonic Current Distortion Pada Motor Induksi 3 Fasa

Nama : Febriani Husniah
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Mochammad Rameli

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa adalah motor listrik arus bolak-balik yang belitan rotor dihubungkan singkat sehingga mengalir arus listrik pada rotor. Arus listrik yang mengalir dan sudut fasa dari kecepatan yang terjadi menyebabkan adanya harmonisa. Harmonisa merupakan suatu gelombang sinusoidal tegangan atau arus yang berfrekuensi tinggi dimana frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi dasar. Salah satu cara untuk mengatasi terjadinya harmonisa adalah dengan menambahkan *filter* pada rangkaian motor induksi 3 fasa. Adanya *filter* tersebut diharapkan dapat meminimumkan harmonisa dengan mengurangi amplitudo satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Pada frekuensi dasar dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya sistem. Dalam analisa ini diharapkan juga dapat melihat perubahan distorsi harmonisa pada motor induksi 3 fasa yang hasilnya diperoleh dalam waktu dan frekuensi *domain*.

Kata kunci : Motor Induksi Tiga Fasa, *Total Harmonic Distortion*, *Filter*.

Analysis Total Harmonic Current Distortion of Three Phase Induction Motor

Name : ***Febriani Husniah***
Advisor : ***Dr. Ir. Mochammad Rameli***

ABSTRACT

Three phase motor induction was an alternating current electric motor which had a short circuited coil for flowing electrical current. Electric current and angle phase of speed caused harmonics. Harmonics was a sinusoidal wave of voltage or current that have high frequency where its frequency has multiple numbers other than one to fundamental frequency. One of the ways to overcome harmonics was by adding filters into circuit. Filters worked by reducing amplitude in one or more specific frequency of voltage or current. In fundamental frequency, filters could compensate reactive power and reducing system power factor. This analysis also aimed to determine changes in harmonics distortion in circuit three-phase motor induction at time and frequency domain.

Keywords : Three phase induction motor, Total Harmonic Distortion, Filter.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana dan memperoleh gelar sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih terutama kepada

1. Keluarga yang senantiasa mendoakan dan mendukung penulis untuk terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Ir. Mochammad Rameli selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dan mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir.
3. Teman-teman seperjuangan di Lintas Jalur Genap 2013.
4. Kos Perumahan Dosen ITS Blok T-14 Surabaya.
5. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah turut membantu pengerjaan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Saran dan kritik penulis harapkan guna memperbaiki Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu kedepannya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1 Harmonisa	5
2.1.1 Pengertian Harmonisa	5
2.1.2 Teori <i>Fourier</i>	6
2.1.3 Pengaruh Harmonisa	7
2.1.4 <i>Total Harmonic Distortion (THD)</i>	7
2.1.5 Standar Harmonisa	8
2.2 <i>Inverter</i>	9
2.2.1 Klasifikasi <i>Inverter</i>	10
2.3 <i>Filter</i>	11
2.4 Motor Induksi 3 Fasa	13
2.4.1 Konstruksi Motor Induksi	13
2.4.2 Prinsip Kerja Motor Induksi.....	14
BAB III PERANCANGAN SISTEM	17
3.1 Perancangan Sistem	17
3.2 Perancangan Rangkaian <i>Inverter</i> 3 Fasa	18
3.3 Perancangan Beban.....	20

3.3.1	Perancangan Beban 1	21
3.3.2	Perancangan Beban 2	22
3.4	Perancangan Rangkaian <i>Filter</i>	22
3.4.1	Perhitungan <i>Single Tuned Filter</i> Pada Beban 1.....	24
3.4.2	Perhitungan <i>Single Tuned Filter</i> Pada Beban 2.....	24
BAB IV	SIMULASI DAN HASIL	25
4.1	Rangkaian <i>Inverter</i> Tanpa Beban	25
4.2	<i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 1	26
4.3	<i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 1 dan <i>Filter</i>	28
4.4	<i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 2	29
4.5	<i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 2 dan <i>Filter</i>	31
BAB V	PENUTUP	33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	.....	35
LAMPIRAN A	.....	37
A.1	Simulink Sistem	37
A.2	Simulink PWM	38
LAMPIRAN B	.....	39
B.1	Datasheet IGBT	39
LAMPIRAN C	.....	55
C.1	Motor Induksi 3 Fasa Tipe SM IEC SG6324	55
RIWAYAT HIDUP	.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Harmonisa	6
Gambar 2.3	Rangkaian <i>Filter</i> Pasif Dalam Sistem	12
Gambar 2.4	Motor Induksi 3 Fasa	14
Gambar 3.1	Perancangan Sistem	17
Gambar 3.2	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>	18
Gambar 3.3	Rangkaian <i>Inverter</i> 3 Fasa yang Dihubungkan dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa Hubung <i>Wye</i> ..	19
Gambar 3.4	Rangkaian <i>Inverter</i> Menggunakan IGBT.....	19
Gambar 3.5	Simulink dari Pemicu Sinyal pada <i>Gate</i> IGBT	20
Gambar 3.6	Komponen <i>Filter</i> pada Matlab	23
Gambar 4.1	Hasil Simulasi <i>Inverter</i> Tanpa Beban	25
Gambar 4.2	Analisis FFT pada <i>Inverter</i> Tanpa Beban	26
Gambar 4.3	Hasil Simulasi <i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban.....	27
Gambar 4.4	Analisis FFT pada <i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 1	27
Gambar 4.5	Hasil Sinyal dari <i>Single Tuned Filter</i> pada Beban 1	28
Gambar 4.6	Hasil dari Analisis FFT dari <i>Single Tuned Filter</i>	28
Gambar 4.7	Hasil Simulasi <i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 2.....	30
Gambar 4.8	Analisis FFT pada <i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 2.....	30
Gambar 4.9	Hasil simulasi <i>Inverter</i> yang Terhubung dengan Beban 2 dan <i>Filter</i>	31
Gambar 4.10	Analisis FFT dari <i>Filter</i> yang Terhubung dengan Beban 2.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batas Distorsi Arus Harmonisa untuk Sistem Distribusi Umum (120 Volt sampai 69kV)	8
Tabel 2.2	Batas Distorsi Tegangan	9
Tabel 3.1	Parameter Motor Induksi 3 Fasa Beban 1	21
Tabel 3.2	Parameter Motor Induksi 3 Fasa Beban 2	22

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi sebagai penggerak sangat berperan penting dalam dunia industri dan sistem transportasi seperti kendaraan listrik, lokomotif, kapal, elevator, dan lain-lain. Jenis penggerak yang sering dipakai adalah motor AC khususnya motor induksi tiga fasa. Motor ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan motor jenis yang lain; seperti konstruksi sangat sederhana, harga dan perawatan yang murah, tahan terhadap guncangan. Permasalahan pada motor induksi tiga fasa ialah mengenai arus listrik yang mengalir dan sudut fasa dari kecepatan yang terjadi menyebabkan adanya harmonisa. Tegangan harmonisa merupakan suatu gelombang sinusoidal tegangan atau arus yang berfrekuensi tinggi dimana frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi *fundamental*. Tegangan harmonisa atau arus meningkat untuk menambahkan rugi di gulungan stator, rangkaian rotor, dan stator dan laminasi rotor. Besarnya perubahan beban yang terjadi, menyebabkan adanya harmonisa yang dapat mempengaruhi kinerja motor tersebut.

Salah satu cara untuk mengatasi terjadinya harmonisa adalah dengan menambahkan *filter* pada rangkaian motor induksi 3 fasa. Adanya *filter* tersebut diharapkan dapat meminimumkan harmonisa dengan mengurangi amplitudo satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Pada frekuensi *fundamental* dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya sistem.

1.2 Perumusan Masalah

Pada Tugas Akhir ini, masalah yang dibahas mengenai analisis harmonisa pada motor induksi tiga fasa. Pengaruh dari pemberian *filter* untuk mereduksi harmonisa pada motor induksi 3 fasa, serta pengaruh dari sebelum dan sesudah pemberian *filter* pada motor induksi 3 fasa. Salah satu kesulitan dalam analisis harmonisa ini yaitu dalam menentukan besarnya *filter* yang akan digunakan dalam mereduksi harmonisa tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah di atas, beberapa hal yang perlu dibatasi dalam Tugas Akhir ini agar penelitian yang dilakukan dapat tercapai, yaitu:

1. Pemodelan rangkaian *inverter* menggunakan contoh pemodelan dari Paper IEEE yang berjudul *GA-Based Optimization of THCD and Suppression of Chosen Harmonics in Induction Motors* milik A.Sayyah, M.Aflaki, dan A.R.Rezazade.
2. Beban yang digunakan yaitu motor induksi 3 fasa dengan parameter dari motor pada Tugas Akhir milik Adin Teguh dan parameter dari motor tipe SM IEC SG6324
3. *Filter* yang digunakan yaitu *Single Tuned Filters*.

1.4 Tujuan

Pada tugas akhir ini, meminimumkan harmonisa pada motor induksi tiga fasa diharapkan dapat memaksimalkan kinerja dari motor tersebut dan dapat mengurangi rugi-rugi yang dapat ditimbulkan oleh harmonisa tersebut.

1.5 Metodologi

Metodologi dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Hal ini dilakukan dengan mencari beberapa sumber referensi yang berhubungan dengan harmonisa.
2. Perancangan dan Pembuatan Sistem
Perancangan dan pembuatan sistem ini dilakukan dengan cara mendesain dan membuat *plant*.
3. Pengujian Sistem
Pengujian sistem ini dilakukan untuk mengetahui kontroler yang dibuat telah sesuai dengan hasil impementasinya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab.
4. Analisis Data
Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian, dilakukan analisis harmonisa setelah dan sesudah motor induksi tersebut diminimumkan harmonisa.

5. Penulisan Buku Tugas Akhir

Penyusunan buku Tugas Akhir meliputi pendahuluan, teori penunjang, perancangan sistem, simulasi dan hasil serta penutup.

1.6 **Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang disusun pada Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, sistematika penulisan dan relevansi.

BAB II TEORI PENUNJANG

Bab ini berisi tentang dasar – dasar pengetahuan dari tiap komponen yang digunakan pada sistem yang akan dirancang seperti: harmonisa, *inverter*, *filter*, dan motor induksi tiga fasa.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Bab ini berisi tentang perancangan sistem secara garis besar yang terdiri dari diagram blok sistem, perancangan rangkaian *inverter* 3 fasa, perancangan *filter*, perancangan beban nonlinear.

BAB IV SIMULASI DAN HASIL

Bab ini menjelaskan tentang hasil simulasi sistem dan pengujian sistem secara keseluruhan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini dan saran – saran mengenai kemungkinan pengembangan penelitian ini.

1.7 **Relevansi**

Hasil yang dicapai dari Tugas Akhir ini diharapkan menjadi salah satu referensi yang dapat digunakan dalam mengurangi harmonisa pada motor induksi tiga fasa, sehingga dapat membantu dalam melakukan pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa yang umumnya banyak digunakan di industri.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 2

TEORI PENUNJANG

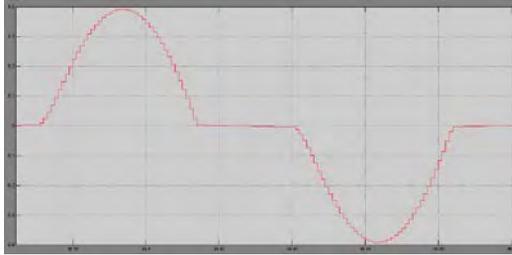
Pada bab ini akan membahas mengenai teori penunjang yang berisi landasan teori pembuatan Tugas Akhir. Landasan teori yang digunakan mencakup

2.1 Harmonisa [1]

2.1.1 Pengertian Harmonisa

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik nonlinear yang merupakan sumber terbentuknya gelombang frekuensi tinggi. Sebuah harmonisa didefinisikan sebagai konten dari sinyal yang memiliki frekuensi kelipatan dari frekuensi sebenarnya.

Salah satu penyebab harmonisa adalah beban linier dan beban nonlinear. Suatu beban merupakan beban linier jika bentuk gelombang arus dan tegangan yang ditarik oleh beban tersebut sama bentuknya, bila tidak sama maka beban tersebut merupakan beban nonlinear. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier yang artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Resistor (R) merupakan beban linier tersebut. Sedangkan beban nonlinear umumnya merupakan komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus non sinusoidal yang selanjutnya akan mempengaruhi bentuk tegangan pula. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam peralatan elektronik. Beban nonlinear inilah yang menyebabkan timbulnya harmonisa. Salah satu contoh beban nonlinear yaitu motor induksi 3 fasa. Gambar 2.1 merupakan bentuk tegangan pulsa yang ditarik oleh beban nonlinear.



Gambar 2.1 Harmonisa

Analisis harmonisa merupakan proses perhitungan jarak dan fase sinyal dasar dan harmonisa orde tinggi dari sebuah gelombang periodik. Hasil perhitungan tersebut dikenal sebagai fourier series yang dapat dilihat adanya hubungan antara fungsi *domain* waktu dan fungsi *domain* frekuensi.

2.1.2 Teori *Fourier*

Teori *fourier series* meliputi perluasan fungsi yang berubah-ubah pasti dalam tipe trigonometri kontinu. Ini membuktikan bahwa beberapa fungsi periodik dalam jangka waktu tertentu dapat direpresentasikan dengan penjumlahan komponen harmonisa dan kelanjutan orde yang lebih tinggi pada frekuensinya yang merupakan kelipatan dari komponen dasarnya.

Suatu fungsi $x(t)$ dikatakan fungsi periodik jika memenuhi syarat;

$$x(t + T) = x(t) \text{ untuk semua } t \quad (2.1)$$

Jika k adalah bilangan bulat maka

$$x(t + kT) = x(t) \text{ untuk semua } t \quad (2.2)$$

Fourier series dari fungsi periodik $x(t)$ ditunjukkan

$$x(t) = \alpha_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\alpha_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right) \quad (2.3)$$

Fast fourier transform (FFT) adalah metode analisis sinyal yang biasa digunakan untuk menganalisis sinyal digital.

$$x(t) = \alpha_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)) \quad (2.4)$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt \quad (2.5)$$

$$\alpha_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (2.6)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (2.7)$$

Pada persamaan di atas α_0 merupakan nilai rata-rata dari fungsi $x(t)$, sementara α_n dan b_n merupakan komponen persegi dari harmonisa ke- n . Tahap frekuensi sudut:

$$\alpha_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) d(\omega t) \quad (2.8)$$

$$\alpha_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad (2.9)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (2.10)$$

2.1.3 Pengaruh Harmonisa

Efek utama dari tegangan dan arus harmonisa dalam sistem tenaga antara lain;

- a. Amplifikasi tingkat harmonisa yang dihasilkan dari seri dan paralel resonansi.
- b. Pengurangan efisiensi pembangkit listrik, transmisi, dan pemakaian.
- c. Memperpendek masa pakai umur dari isolasi komponen listrik.
- d. Maloperasi pabrik.

2.1.4 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen dasarnya (komponen dapat berupa tegangan atau arus). Yang didefinisikan sebagai perbandingan nilai rms antara komponen harmonisa dengan komponen dasar yang biasa ditulis dalam persen sehingga THD dapat menggambarkan rugi-rugi energi termal oleh setiap komponen

harmonisa. Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus murni. Untuk memperoleh gelombang sinus murni pada frekuensi dasar, maka THD =0.

Untuk suatu sistem tenaga listrik, ada suatu batasan THD. Batasan tersebut tidak sama untuk setiap Negara, tergantung standar yang dipakai. Dalam hal ini diberikan contoh standar dari IEEE Std.519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan dalam analisis distorsi harmonisa. Pertama adalah limitasi untuk distorsi arus, dan yang kedua adalah limitasi untuk distorsi tegangan.

2.1.5 Standar Harmonisa

Standar harmonisa yang digunakan pada tugas akhir ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (THDi) dan batas harmonisa untuk tegangan (THDv). Batas untuk harmonisa arus ditentukan oleh perbandingan arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan IL adalah arus beban dasar. Untuk batas harmonisa tegangan ditentukan oleh besarnya tegangan sistem yang terpasang atau dipakai. Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan IEEE 519-1992 dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini;

Tabel 2.1 Batas Distorsi Arus Harmonisa untuk Sistem Distribusi Umum (120 Volt sampai 69kV)

Arus Distorsi Harmonisa Maksimal Dalam Persen Arus (ampere) Tiap Orde Harmonisa (Ganjil)						
I_{SC} / I_L	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Harmonisa genap dibatasi hingga 25% dari batas harmonisa ganjil di atas
 Di mana
 I_{SC} = maksimal arus rangkaian pendek pada PCC
 I_L = maksimal permintaan beban saat ini (komponen frekuensi dasar)

Tabel 2.2 Batas Distorsi Tegangan

<i>Bus Voltage at PCC</i>	<i>Individual Voltage Distortion (%)</i>	<i>Total Harmonic Voltage Distortion THD (%)</i>
<i>69 Kv and below</i>	3,0	5,0
<i>69.00001 kV through 161 kV</i>	1,5	2,5
<i>161.001 kV and above</i>	1,0	1,5

%THD_v adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa dan %THD_i adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa. De La Rosa mendefinisikan THD dengan persamaan:

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.12)$$

Di mana h merupakan orde dari harmonisa tersebut.

2.2 *Inverter* [2]

Inverter adalah suatu rangkaian elektronika yang berfungsi untuk merubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan besar *magnitude* dan frekuensi tertentu. *Inverter* banyak digunakan pada berbagai macam produk industri, seperti;

1. Penggerak kecepatan
2. *Power supply* pesawat udara
3. UPS

Dalam kehidupan sehari-hari, *inverter* banyak digunakan pada penggerak kecepatan yaitu misalnya pada kendaraan (mobil karavan). Seperti yang diketahui, karavan ditenagai oleh aki kering. Namun semua alat-alat listrik yang di dalamnya seperti kulkas, TV, laptop, dll semuanya memerlukan listrik AC dalam penggunaannya. Selain di karavan, penggunaan *inverter* juga ada pada *solar cell* atau pembangkit listrik tenaga surya. Sedangkan pada industri *oil&gas*, *inverter* biasa digunakan pada UPS. UPS adalah alat yang digunakan untuk menyimpan listrik sehingga misalnya listrik pada suatu *oil rig* mati, *oil rig* masih punya energi listrik untuk terus melanjutkan. *Inverter* ini

dibutuhkan untuk mengubah arus yang keluar dari UPS (arus DC) agar menjadi arus AC sehingga bisa digunakan pada alat-alat elektronik yang terdapat di *rig*.

Cara kerja *inverter* adalah merubah dari tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang bisa diatur atau diubah-ubah. Pengaturan frekuensi dengan cara teknik *switching* transistor *inverter*. Akibat *switching* ini menyebabkan bentuk gelombang tidak sinusoidal sehingga menghasilkan distorsi pada PF dimana $PF \neq DPF$ sehingga menimbulkan kerugian daya.

2.2.1 **Klasifikasi *Inverter***

Berdasarkan jumlah fasa keluaran *inverter* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. *Inverter* 1 Fasa, yaitu *inverter* dengan keluaran 1 fasa
- b. *Inverter* 2 fasa, yaitu *inverter* dengan keluaran 3 fasa

Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangannya, yaitu :

- a. *Voltage Fed Inverter* (VFI) yaitu *inverter* dengan tegangan *input* yang diatur konstan
- b. *Current Fed Inverter* (CFI) yaitu *inverter* dengan arus *input* yang diatur konstan
- c. *Variabel DC linked inverter*, yaitu *inverter* dengan tegangan *input* yang dapat diatur.

Berdasarkan bentuk gelombang keluarannya, *inverter* dapat dibedakan menjadi :

- a. *Sine wave inverter* yang memiliki tegangan keluaran dengan bentuk gelombang sinus murni. *Inverter* jenis ini dapat memberikan supply tegangan ke beban (induktor) atau motor listrik dengan efisiensi daya yang baik.
- b. *Sine wave modified inverter*, yaitu *inverter* dengan tegangan keluaran berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. *Inverter* jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah apabila digunakan untuk menyuplai beban induktor atau motor listrik.

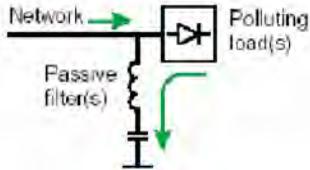
- c. *Square wave inverter* yaitu *inverter* dengan keluaran berbentuk gelombang kotak, *inverter* jenis ini tidak dapat digunakan untuk menyuplai tegangan ke beban induktif atau motor listrik.

2.3 **Filter** [1],[3]

Filter frekuensi dibagi menjadi dua, yaitu *filter* aktif dan *filter* pasif. *Filter* aktif merupakan rangkaian *filter* dengan menggunakan komponen elektronik pasif dan aktif seperti *operational amplifier* (op-amp), transistor, komponen lainnya yang membutuhkan sumber agar dapat bekerja/digunakan. Sedangkan *filter* pasif merupakan rangkaian *filter* yang menggunakan komponen-komponen pasif, dimana komponen pasif itu adalah resistor, kapasitor, dan induktor yang tidak membutuhkan sumber dalam penggunaannya.

Beberapa keuntungan dan kerugian dari *filter* aktif dan pasif ialah pada *filter* aktif dapat mengolah sinyal dengan amplitudo kecil, dapat diatur penguatan keluarannya (diperkuat atau diperlemah), kualitas/respon yang lebih baik dari *filter* pasif, sedangkan kerugiannya adalah pada komponen dihasilkan panas, karena perlu sumber agar dapat bekerja, adanya pembatasan frekuensi dari komponen yang digunakan sehingga pengaplikasian untuk frekuensi tinggi terbatas. Pada *filter* pasif, keuntungannya adalah tidak membutuhkan sumber untuk bekerja, tidak menghasilkan panas, tidak begitu banyak *noise* karena tidak adanya penguatan, dapat digunakan pada frekuensi tinggi.

Filter pasif dapat dirangkai paralel atau seri antara komponen induktor (L) dan kapasitor (C). Kapasitor merupakan bagian standard yang terhubung dalam rangkaian seri dan/atau paralel untuk mencapai kebutuhan dari keseluruhan tegangan dan *rating* KVA. Pemasangan *filter* kapasitor mengakibatkan arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melalui kapasitor karena kapasitor memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi gelombang tinggi. Induktor digunakan pada rangkaian *filter* untuk menangkap frekuensi tinggi, yaitu rugi-rugi *skin effect* dan histerisis yang masuk dalam perhitungan rugi daya. Rangkaian *filter* dapat ditala pada suatu frekuensi tertentu dimana impedansi induktor bernilai sama dengan impedansi kapasitor.



Gambar 2.3 Rangkaian *Filter* Pasif Dalam Sistem

Dari Gambar 2.3 menunjukkan bahwa *filter* pasif dipasang pada sisi sumber yang dipakai untuk melewati arus harmonisa agar tidak menuju ke sumber. *Filter* pasif tersusun dari kapasitor dan induktor dengan satu frekuensi yang diatur pada frekuensi tegangan harmonisa yang akan dihilangkan.

Tujuan utama dari *filter* harmonisa yaitu untuk mengurangi amplitudo satu atau lebih arus frekuensi tetap atau tegangan. Pada kasus konverter statis, arus harmonisa biasanya dicegah dari memasuki seluruh sistem dengan menyediakan jalur *shunt* dari impedansi rendah ke frekuensi harmonisa. Kombinasi *filter* seri dan *shunt* dapat didesain untuk meminimalisasi arus dan tegangan harmonisa dalam sistem AC. Dengan penambahan *filter* harmonisa pada sistem yang mengandung sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu *filter* harmonisa pada frekuensi dasar dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem.

Secara umum *filter* harmonisa dapat dibedakan dalam tiga jenis:

- a. *Filter* dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*)
Merupakan *filter* harmonisa yang terdiri dari komponen kapasitor (C) yang dihubung seri dengan induktor (L). *Filter* ini digunakan untuk mengurangi satu orde harmonisa diantara orde harmonisa yang ada dengan mengacu orde harmonisa tertinggi pada harmonisa tersebut.
- b. *Filter* dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*)
Merupakan *filter* harmonisa yang terdiri dari dua buah *single tuned filter* yang digunakan untuk mengurangi harmonisa 2 buah orde harmonisa diantara orde harmonisa yang ada. Di dalam perhitungan penentuan nilai L dan C mengacu pada 2 buah orde harmonisa tersebut.

c. *Filter* dengan penalaan otomatis (*Automate Tuned Filter*)

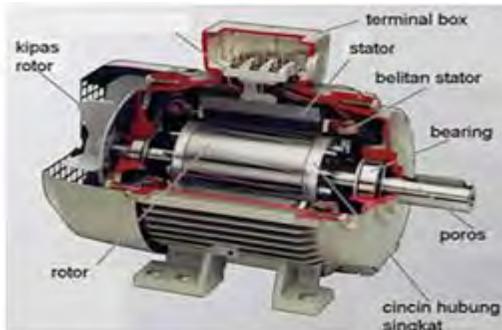
Merupakan *filter* harmonisa yang digunakan untuk mengurangi deviasi frekuensi maksimum yang dapat dicapai dengan membuat *filter* yang dapat diatur oleh saklar otomatis kapasitansi atau dengan memvariasi induktansi. *Filter* ini memberikan keuntungan antara lain penilaian kapasitor rendah, kapasitor dapat dikombinasikan pada koefisien suhu tinggi kapasitansi dan daya reaktif tinggi per unit volume dan unit biaya, dan kerugian daya kecil karena tingginya daya reaktif.

2.4 Motor Induksi 3 Fasa [4]

Motor induksi 3 fasa merupakan motor *asynchronous*, beropersi di bawah kecepatan sinkron ketika berputar dan di atas kecepatan sinkron ketika dibangkitkan. Motor ini relatif lebih murah pada ukuran setaranya dan memiliki berbagai ukuran dari beberapa *watt* hingga 10.000 HP (*Horse Power*). Motor menggunakan arus *starting* yang besar biasanya sekitar enam sampai delapan kali dari nilai beban penuh, dan beroperasi dengan *lagging power factor* kecil ketika beban kecil.

2.4.1 Konstruksi Motor Induksi

Pada sebuah motor induksi terdiri dari banyak bagian, subsistem dasar dari mesin tersebut yaitu stator dan rotor. Rangkaian stator terdiri dari tiga pasang kumparan yang dihubungkan secara bintang atau segitiga. Pada susunan yang paling sederhana, kumparan-kumparan tersebut saling terpisah 120 derajat satu dengan yang lain dan dieksitasi oleh suplai tiga fasa.



Gambar 2.4 Motor Induksi Tiga Fasa

Pada bagian stator memiliki inti magnetik silinder yang dipasang dalam kerangka logam yang di dalamnya terpasang *bed-plates*, *end shield* dan *terminal box*. Bagian terakhir dari *end shield* terdapat *bearings* yang digunakan sebagai bantalan dari poros rotor (*shaft*). Inti magnetik stator dibentuk dari tumpukan logam tipis yang terlaminasi dengan ruang yang sama di dalamnya untuk membagi tiga gulungan stator. Gulungan stator dibentuk dengan menghubungkan kumparan konduktor tembaga atau aluminium yang terisolasi dari *slot* yang sama untuk membagi gulungan rotor.

Terdapat dua jenis rotor yaitu rotor *wound* dan rotor sangkar tupai (*squirrel-cage*). Rotor jenis *wound*, mempunyai gulungan rotor seperti gulungan stator yang digulung pada silinder inti yang dilaminasi dengan ruang *slot* yang sama. Terminal dari gulungan tersebut dapat dibawa keluar melalui *slip* dan *brushes*. Untuk rotor jenis *squirrel-cage* terdiri dari inti besi yang pada ujung-ujungnya dihubungkan singkat seperti pada Gambar 2.4.

2.4.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja pada motor induksi tiga fasa berhubungan erat dengan gaya Lorentz dan juga hukum Faraday. Hukum Faraday menjelaskan mengenai suatu konduktor yang memotong garis gaya (fluks) dari suatu medan magnet yang konstan, maka pada konduktor tersebut akan menimbulkan tegangan induksi. Pada Gaya Lorentz menjelaskan bahwa apabila suatu konduktor dialiri arus listrik yang berada pada medan magnet maka konduktor tersebut akan menimbulkan

suatu gaya. Gaya yang timbul disebut dengan torsi elektromagnetik yang menggerakkan motor.

Secara singkat prinsip kerja dari motor induksi tiga fasa adalah sebagai berikut :

1. Ketika sumber tegangan tiga fasa mensuplai kumparan stator maka akan timbul medan magnet. Karena tegangan sinusoidal membuat medan magnet berubah dan menimbulkan medan putar dengan kecepatan sinkron (N_s). Besarnya kecepatan sinkron dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$N_s = \frac{60f}{p} \quad (2.13)$$

Di mana,

N_s = kecepatan sinkron (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah pasang kutub / *poles*

2. Medan putar pada stator kemudian memotong konduktor pada rotor sehingga akan menimbulkan tegangan induksi.
3. Tegangan induksi yang timbul pada kumparan rotor akan menghasilkan arus. Hal ini karena pada rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup.
4. Arus pada stator dan juga arus pada rotor akan menimbulkan torsi elektromagnetik (T_e) pada motor. Jika torsi mula yang dihasilkan cukup besar, rotor akan berputar searah dengan medan putar pada stator.
5. Tegangan terinduksi terjadi jika ada perbedaan antara kecepatan angular dari medan putar stator (N_s) dengan kecepatan putar rotor (N_r). Perbedaan antara N_s dan N_r disebut dengan *slip* (S), dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \frac{0}{0} \quad (2.14)$$

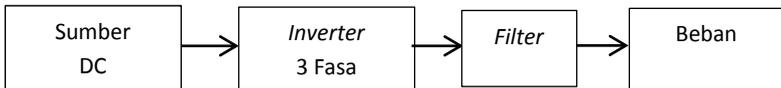
Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan membahas mengenai perancangan simulasi sistem mulai dari perancangan sistem pada sistem perancangan rangkaian *inverter* 3 fasa, perancangan *filter*, serta perancangan beban nonlinear.

3.1 Perancangan Sistem

Gambar 3.1 menunjukkan diagram blok sistem keseluruhan dari analisis harmonisa pada motor induksi 3 fasa.



Gambar 3.1 Perancangan Sistem

Pada Gambar 3.1 di atas menunjukkan bahwa sistem ini merupakan sistem yang terdiri dari beberapa bagian. Bagian pertama yaitu sumber 3 fasa merupakan bagian yang digunakan untuk memasukkan besar daya yang akan digunakan untuk mengaktifkan motor induksi 3 fasa, serta didalamnya terdapat pengaturan frekuensi yang akan digunakan pada motor induksi 3 fasa.

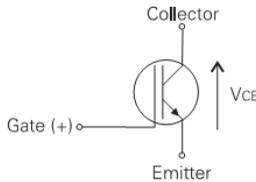
Bagian kedua yaitu *inverter* 3 fasa berisi rangkaian *inverter* yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan besar *magnitude* dan frekuensi tertentu. Untuk mengubah arus DC menjadi arus AC, dapat menggunakan baterai dengan suplai sebesar 380 Volt. Bagian ketiga, yaitu merupakan blok *filter* yang berisi rangkaian *LC filter* dengan nilai yang besarnya ditentukan oleh besarnya frekuensi dan semakin banyak harmonisa maka akan semakin banyak pula *filter* yang akan digunakan.

Bagian blok terakhir yaitu blok beban suatu *inverter* berupa motor induksi 3 fasa berfungsi sebagai obyek yang akan digunakan untuk analisis harmonisa 3 fasa ini sesuai dengan acuan paper [5]. Pada motor induksi 3 fasa, berfungsi juga sebagai beban yang nantinya akan berpengaruh terhadap nilai standar harmonisa yang digunakan.

3.2 Perancangan Rangkaian *Inverter* 3 Fasa

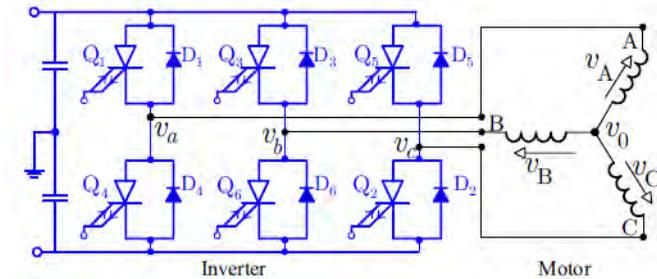
Dalam merancang rangkaian *inverter* 3 fasa sesuai dengan acuan paper [5] maka diperoleh rangkaian *inverter* dengan komponen GTO, namun dalam simulasi ini menggunakan komponen IGBT karena komponen IGBT memiliki kelebihan antara lain memiliki impedansi tinggi yang hanya membutuhkan sejumlah daya kecil untuk berpindah perangkat. Seperti BJT, IGBT memiliki tegangan rendah pada suatu keadaan bahkan dalam perangkat dengan tingkat tegangan pemblokiran tinggi (misalnya $V_{on} = 2-3$ Volt pada perangkat 1kV).

IGBT memiliki kemampuan penyaklaran yang sangat tinggi hingga ribuan kali per detik di mana dapat aktif kurang dari 400 nano detik dan mati dalam waktu 500 nano detik. IGBT dibangun oleh sebuah *gate*, kolektor, dan *emitter*. Saat *gate* diberikan tegangan positif, maka arus akan mengalir melalui kolektor dan *emitter*. IGBT akan mati saat tegangan positif dihilangkan dari *gate*. Selama kondisi mati, tegangan *gate* IGBT akan ditahan pada nilai tegangan negatif kecil untuk mencegah agar tidak hidup dengan sendirinya. Di bawah ini Gambar 3.2 yang merupakan gambar IGBT.



Gambar 3.2 *Insulated gate bipolar Transistor* (IGBT) [2]

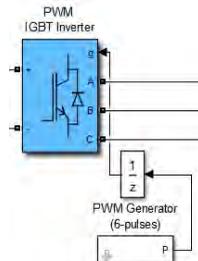
Di bawah ini merupakan gambar *inverter* 3 fasa yang dihubungkan dengan beban motor sesuai paper acuan [5].



Gambar 3.3 Rangkaian *Inverter* 3 Fasa yang Dihubungkan dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa Hubung Wye. [5]

Sesuai dengan Gambar 3.3, gambar tersebut menjelaskan bahwa rangkaian *inverter* tersebut dirancang dengan 6 pulsa, di mana *inverter* tersebut dirancang menggunakan komponen transistor yang dapat digunakan sebagai *inverter* dengan masukan berupa sinyal PWM. Sinyal PWM tersebut kemudian dialirkan ke dalam *gate* transistor yang selanjutnya mengalir ke *emitter* yang selanjutnya dihubungkan ke beban dengan hubung wye.

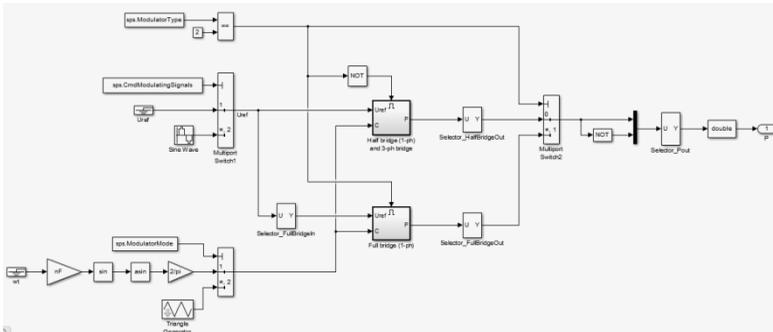
Perancangan rangkaian *inverter* dalam matlab disimulasikan menggunakan Simulink Simpower, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini;



Gambar 3.4 Rangkaian *Inverter* Menggunakan IGBT

Dalam melakukan perancangan *inverter* dalam matlab, menggunakan komponen Simpower pada Simulink Matlab. Sesuai dengan Gambar 3.4, pada sisi *gate* komponen IGBT diberikan masukan pulsa berupa PWM yang selanjutnya akan diolah menjadi pemicu pada

tiap fasa motor induksi 3 fasa tersebut. Sinyal PWM tersebut diatur sebesar frekuensi yang nantinya akan dihubungkan dengan beban. Nilai PWM ini disebut juga nilai PWM yang fix, karena nilai ini tidak ada perubahan kecuali dari rangkaian sistem ini yang diubah frekuensi pada bebannya. Di bawah ini merupakan Gambar 3.5 simulink dari pemicu sinyal pada *gate* IGBT.



Gambar 3.5 Simulink dari Pemicu Sinyal pada *Gate* IGBT

Jenis IGBT yang digunakan dalam *inverter* ini, menggunakan jenis IGBT 7MBP75NA060-01 yang biasa digunakan sebagai komponen dalam *inverter*. Nilai pada matlab ini, diperoleh dari datasheet yang ada di Lampiran (B).

3.3 Perancangan Beban

Dalam perancangan beban non linier yang akan digunakan yaitu sesuai dengan paper acuan [5] berupa motor induksi 3 fasa. Dalam merancang beban ini, menggunakan dua buah jenis motor induksi 3 fasa, yaitu dengan menggunakan beban motor dengan frekuensi senilai 60 Hz sebagai beban 1 dan beban motor dengan frekuensi senilai 50 Hz sebagai beban 2. Untuk beban 1 dengan frekuensi 60 Hz, motor induksi yang digunakan yaitu menggunakan motor induksi 3 fasa dengan parameter yang diperoleh dari tugas akhir sebelumnya yang berjudul “Perancangan kontroler PID dan Adaptif *fuzzy* fluks estimator untuk *Direct torque control* motor induksi 3 fasa” milik Adin Teguh. Dan untuk parameter pada beban 2 yang digunakan yaitu dengan motor induksi 3 fasa tipe SM IEC *frame* SGA6324, di mana motor ini menggunakan frekuensi sebesar 50 Hz. Tujuan dari penggunaan beban 1

dan 2 tersebut yaitu untuk menghitung besar pengaruh terhadap rangkaian *inverter* dengan mempertimbangkan nilai harmonisa yang terjadi di rangkaian *inverter* tersebut.

3.3.1 Perancangan Beban 1

Dalam perancangan beban pada sistem ini menggunakan parameter dari motor induksi 3 fasa, sesuai dengan parameter motor induksi 3 fasa yang digunakan pada tugas akhir milik Adin Teguh yang berjudul “Perancangan kontroler PID dan Adaptif *fuzzy fluks* estimator untuk *Direct torque control* motor induksi 3 fasa.” Berikut parameter motor induksi 3 fasa yang ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Parameter Motor Induksi 3 Fasa Beban 1

No	Nama	Nilai
1.	Daya Motor	2400 Watt
1	Tegangan Motor (<i>Line to Line</i>)	460 Volt
2	Frekuensi Motor	60 Hz
3	Jumlah Pasang Kutub	4 buah
4	Tahanan Stator	1,7700 Ohm
5	Tahanan Rotor	1,3400 Ohm
6	Induktansi Stator	0,3826 mH
7	Induktansi Rotor	0,3808 mH
8	Induktansi Mutual	0,3687 mH
9	Momen Inersia	0,0250 Kg.m ²

Dari parameter Tabel 3.1 , komponen yang digunakan untuk merancang beban pada simulasi yaitu komponen induktor pada stator senilai 0,3826 mH dan tahanan stator senilai 1,7700 Ohm. Hal tersebut karena sesuai dengan paper acuan [5] yang merancang rangkaian beban yang terhubung *wye*. Perancangan beban didalam Matlab menggunakan komponen “*Three Phase Mutual Inductance*” karena pada komponen tersebut, beban sudah terhubung *wye* seperti pada paper acuan [5].

3.3.2 Perancangan Beban 2

Dalam perancangan beban yang kedua, yaitu menggunakan motor induksi 3 fasa tipe SM IEC *frame* SGA6324 dengan frekuensi sebesar 50 Hz. Berikut ini parameter motor induksi 3 fasa tipe SM IEC *frame* SGA6324 yang ditunjukkan oleh Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Motor Induksi 3 Fasa Beban 2

No	Nama	Nilai
1.	Daya motor	0,4 HP
2.	Tegangan motor (<i>Line to Line</i>)	380 Volt
3.	Frekuensi motor	50 Hz
4.	Jumlah pasang kutub	3 buah
5.	Kecepatan	1400 rpm
6.	Berat	8 kg
7.	Tahanan R	342,69 Ohm
8.	Tahanan S	318,9 Ohm
9.	Tahanan T	266,15 Ohm
10.	Induktansi R	348,36 mH
11.	Induktansi S	341,91 mH
12.	Induktansi T	299,18 mH
13.	Kapasitor RS	0,87 nF
14.	Kapasitor RT	0,81 nF
15.	Kapasitor ST	0,81 nF

Dari parameter Tabel 3.2, komponen yang digunakan untuk merancang beban pada simulasi yaitu komponen induktor pada stator senilai 348,36 mH dan tahanan stator senilai 342,69 Ohm. Hal tersebut karena sesuai dengan paper acuan [5] yang merancang rangkaian beban yang terhubung *wye*. Perancangan beban didalam matlab menggunakan komponen *three phase mutual inductance* karena pada komponen tersebut, beban sudah terhubung *Wye* seperti pada paper acuan [5].

3.4 Perancangan Rangkaian *Filter*

Filter single tuned merupakan *filter* penalaan tunggal yang berfungsi untuk mereduksi harmonisa dengan nilai harmonisa setiap orde. *Filter* ini terdiri atas komponen kapasitor dan induktor yang nilainya untuk setiap komponen tersebut tergantung dari besarnya harmonisa yang timbul, serta dari faktor daya tersebut. *Filter* ini diatur menjadi frekuensi yang memiliki induktif dan kapasitor reaktansi yang

sama. Penyetelan *filter* ini yaitu rangkaian LC filter (yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 pada bab sebelumnya).

Untuk menghitung nilai komponen *filter* yang akan digunakan, dapat menggunakan Persamaan 3.1 di bawah ini;

$$Z1 = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (3.1)$$

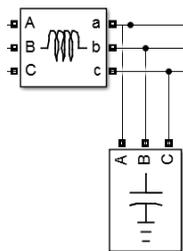
Di mana dalam menentukan pemilihan R, L, C yaitu berdasarkan Daya reaktif Q, yang merupakan selisih daya semu yang masih ada pada penghantar dengan nilai daya aktif dan berdasarkan tegangan yang tersedia sebesar V. Untuk menghitung nilai kapasitor, dapat menggunakan Persamaan 3.2 di bawah ini;

$$C = \frac{kQ}{V^2 * 2\pi * f} \quad (3.2)$$

Di mana nilai Q diubah kedalam besaran kVar, yang selanjutnya hasil tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai induktor, dengan menggunakan Persamaan 3.3 di bawah ini;

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * f * n)^2 * C} \quad (3.3)$$

Di mana nilai n merupakan orde yang ingin dihilangkan pada harmonisa tersebut. Untuk semua nilai frekuensi yang digunakan dalam sistem ini yaitu sebesar 50 Hz yang sesuai dengan standar frekuensi yang biasa digunakan di Indonesia. Di bawah ini Gambar 3.6 yang merupakan komponen *filter* pada matlab.



Gambar 3.6 Komponen *Filter* pada Matlab

3.4.1 Perhitungan *Single Tuned Filter* pada Beban 1

$$\cos \Theta = \frac{P}{S} = \frac{380}{379,6} = 1$$

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \Theta = \sqrt{3} * 380 * 4,2 * 1 = 2764,353 \text{ Watt}$$

$$S = \sqrt{3} * V * I = \sqrt{3} * 379,75 * 4,2 = 2762,534 \text{ kVa}$$

$$Q = \text{selisih akar kuadrat dari P dan S} = 100,266$$

$$C = \frac{kQ}{V^2 * 2\pi * f} = \frac{100,266 * 10^{-3}}{380^2 * 2\pi * 60} = 2,6 * 10^{-9} \text{ F}$$

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * f * n)^2 * C} = \frac{1}{(2 * \pi * 60 * 5)^2 * 2,6 * 10^{-9}} = 155,87 \text{ H}$$

Nilai yang ada pada satu buah rangkaian LC *Filter*, yaitu

$$L = 155,87 \text{ H dan } C = 2,6 \text{ nF.}$$

3.4.2 Perhitungan *Single Tuned Filter* pada Beban 2

$$\cos \Theta = 0,85$$

$$S = \sqrt{3} * V * I = \sqrt{3} * 379,9 * 4,2 = 2763,625 \text{ Va}$$

$$Q = S * \sin \Theta = 1455,488 \text{ Var}$$

$$C = \frac{kQ}{V^2 * 2\pi * f} = \frac{1455,488 * 10^{-3}}{380^2 * 2\pi * 50} = 3,208 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * f * n)^2 * C} = \frac{1}{(2 * \pi * 50 * 9)^2 * 3,208 * 10^{-8}} = 3,899 \text{ H}$$

Nilai yang ada pada satu buah rangkaian LC *filter*, yaitu

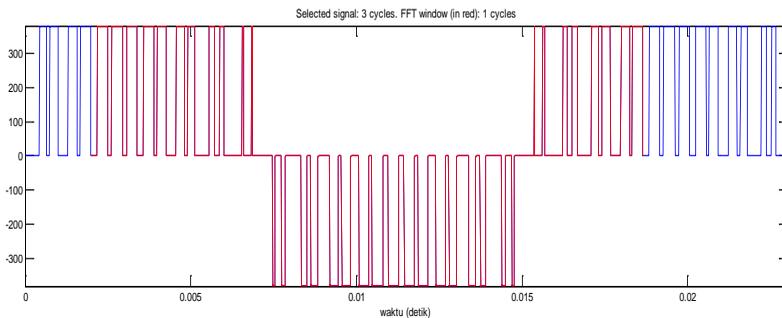
$$L = 3,899 \text{ H dan } C = 0,3208 \text{ nF.}$$

BAB 4 SIMULASI DAN HASIL

Bab 4 membahas tentang hasil dari simulasi sistem rangkaian *inverter* tanpa dihubungkan dengan beban, terhubung dengan beban, dan terhubung dengan *filter* sesuai dengan perancangan sistem yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

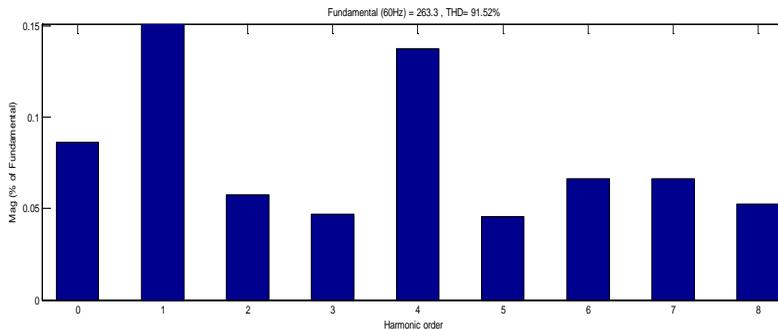
4.1 Rangkaian *Inverter* Tanpa Beban

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui nilai harmonisa pada *inverter* IGBT sebelum dihubungkan dengan beban. Simulasi ini diatur dengan nilai R_{on} atau nilai R_{DS} yang merupakan nilai hambatan dari *drain* ke *source* IGBT sebesar 0,27 Ohm sesuai dengan *datasheet* yang ada pada IGBT tersebut. Hasil dari simulasi *inverter* IGBT tanpa dihubungkan dengan beban dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini;



Gambar 4.1 Hasil Simulasi *Inverter* Tanpa Beban

Dari Gambar 4.1 di atas, dapat diperoleh nilai tegangan yang diserap sebesar 379 Volt, nilai % *magnitude* dari frekuensi dasar yaitu sebesar 379, sehingga diperoleh nilai THD yaitu sebesar 91,52 % yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 di bawah ini;

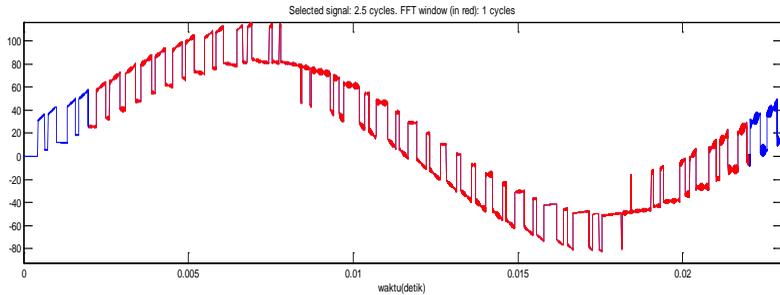


Gambar 4.2 Analisis FFT pada *Inverter* Tanpa Beban

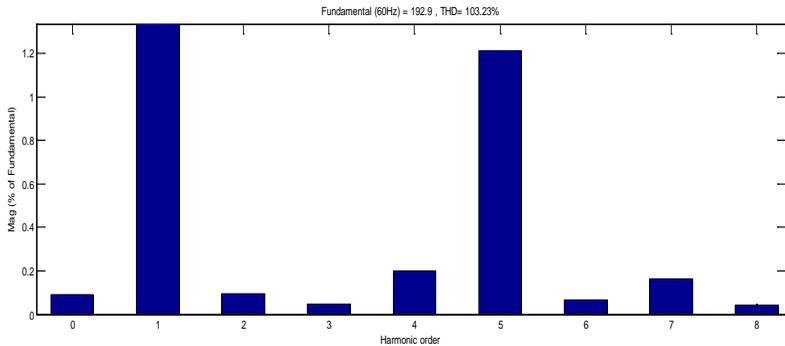
Dari Gambar 4.2 di atas, dapat dilihat bahwa rangkaian tersebut memiliki nilai *magnitude* pada orde 1 yaitu lebih dari 0,15% dari sinyal dasarnya yang disebabkan oleh pemicu pada *gate* IGBT yaitu berupa PWM dengan nilai frekuensi sebesar 60 Hz. Nilai dasar dari harmonisa tersebut yaitu lebih dari 5 kali lipat dari nilai frekuensi dasar, yaitu bernilai 262,7 Hz. Sedangkan nilai THD yang diperoleh yaitu sebesar 91,52%. Orde harmonisa yang paling kelihatan yaitu hampir di semua orde terutama orde ke-1, dan 4, dengan nilai lebih dari 0,45% dari frekuensi dasarnya. Dengan nilai THD sebesar itu, akan menyebabkan kondisi fisik pada *inverter* menjadi rusak. Untuk pengoperasian di sistem akan menjadi maloperasi sehingga menyebabkan umur pada *inverter* ini semakin berkurang.

4.2 *Inverter* yang Terhubung dengan Beban 1

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui hasil sinyal dari *inverter* yang dihubungkan dengan beban motor induksi 3 fasa yang dihubung *wye* dengan nilai resistansi pada stator sebesar 1,77 Ohm, dan nilai induktansi pada stator 0,3826 mH.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi *Inverter* yang Terhubung dengan Beban 1



Gambar 4.4 Analisis FFT pada *inverter* yang Terhubung dengan Beban 1

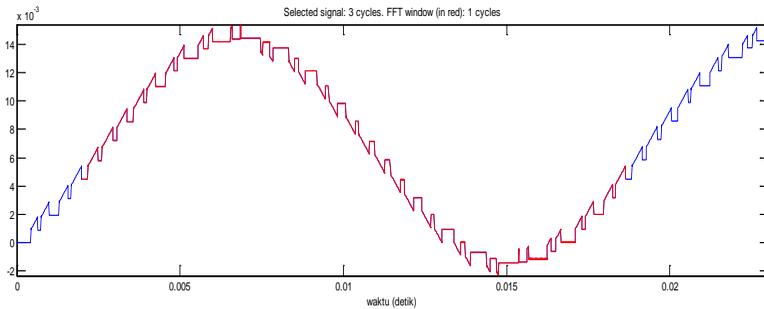
Dari Gambar 4.3 di atas, dapat diperoleh nilai dasar dari harmonisa tersebut yaitu sebesar 379 Volt, dan nilai frekuensi dasar yang diperoleh sebesar 64 Hz. Pada Gambar 4.4, dapat terlihat bahwa orde harmonisa tertinggi setelah orde dasar, yaitu pada orde ke 5, sebesar 1,2 % dari nilai *fundamental*. Nilai THD yang diperoleh yaitu sebesar 103,23 %. Nilai THD tersebut menunjukkan bahwa ketika *inverter* dihubungkan dengan beban 1, maka nilai THD akan menjadi lebih besar 11,71% dari nilai THD sebelum diberikan beban.

Nilai tersebut membuktikan bahwa ketika *inverter* dihubungkan dengan beban, maka nilai harmonisa tersebut akan bertambah. Untuk itulah dibutuhkan suatu rangkaian *filter* untuk meminimumkan nilai harmonisa yang terbentuk.

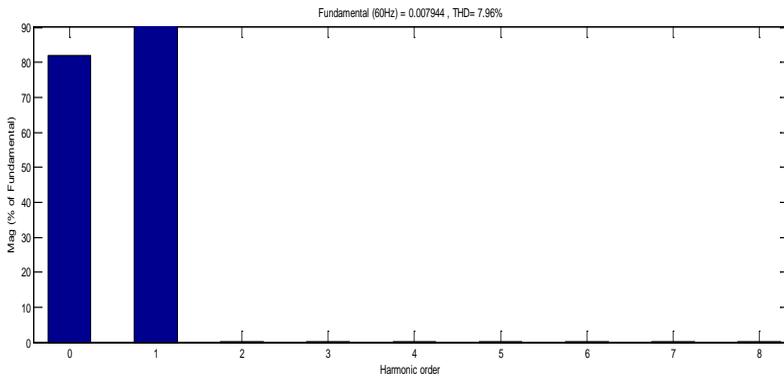
4.3. *Inverter yang Terhubung dengan Beban 1 dan Filter*

Simulasi ini bertujuan untuk meminimumkan harmonisa yang terjadi saat dihubungkan dengan beban. *Filter* yang digunakan yaitu *single tuned filter*, yang dapat berfungsi untuk menghilangkan harmonisa pada orde tertentu. Pada sistem ini orde tertinggi setelah orde dasar, yaitu orde 5. Sehingga dalam merancang filter menggunakan orde harmonisa sebesar 5, agar harmonisa pada orde diatas 5 dapat dihilangkan.

Nilai *filter* yang digunakan pada komponen induktor yaitu sebesar 155,87 H, dan komponen kapasitor yang digunakan yaitu sebesar 2,6 nF. Hasil dari simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 di bawah ini;



Gambar 4.5 Hasil Sinyal dari *Single Tuned Filter* pada Beban 1



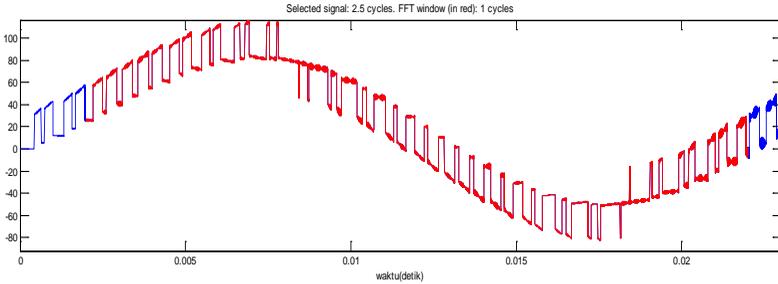
Gambar 4.6 Hasil dari Analisis FFT dari *Single Tuned Filter*

Dari Gambar 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa gelombang yang terbentuk semakin mendekati bentuk gelombang sinus dimana masih terdapat distorsi yang disebabkan oleh sumber harmonisa berupa PWM dan IGBT yang tidak dapat diredam secara sempurna oleh *filter* yang di rancang ini. Dari Gambar 4.6 diperoleh nilai dasar dari harmonisa tersebut yaitu lebih dari 1 kali lipat dari nilai frekuensi dasar, yaitu bernilai 1,917 Hz. Sedangkan nilai THD yang diperoleh yaitu sebesar 7,96%. Hal ini menunjukkan bahwa *filter single tuned* ini mampu mereduksi pada sistem ini hingga 95,27 %. Dengan menggunakan *filter* tersebut, untuk orde diatas diatas 5 dapat dihilangkan juga, bahkan untuk beberapa orde sebelumnya juga dapat dihilangkan. Orde harmonisa yang masih tersisa yaitu orde ke-0 yang menunjukkan nilai harmonisa pada DC, dan orde pertama yang menunjukkan nilai *fundamental*.

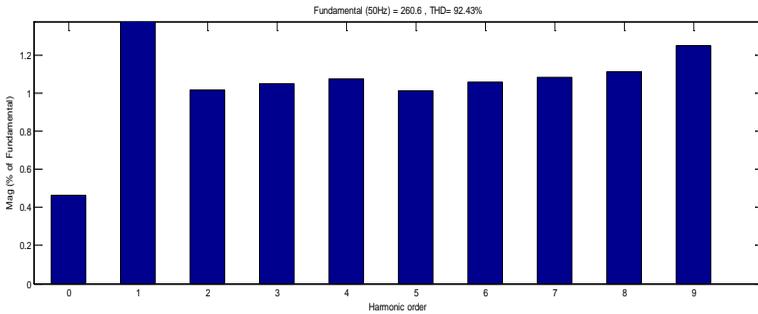
Dengan nilai THD menjadi sebesar 7,96%, maka kondisi pada sistem ini menjadi lebih baik akibat adanya tambahan *filter single tuned*. Namun, karena harmonisa yang diperoleh masih di bawah standar yaitu sebesar kurang dari 5%, maka rangkaian ini masih mengalami sedikit maloperasi sistem sehingga sistem ini menjadi panas karena adanya gesekan saat terjadi penyalaan. Untuk memaksimalkan performansi sistem, maka membutuhkan adanya perhitungan *filter* selanjutnya. Semakin rendah nilai harmonisa, akan menyebabkan kondisi *inverter* dan beban tersebut tahan lama dan tidak mengalami pemanasan akibat adanya gesekan saat *inverter* tersebut dinyalakan.

4.4 Inverter yang Terhubung dengan Beban 2

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui hasil sinyal dari *inverter* yang dihubungkan dengan beban motor induksi 3 fasa tipe SM IEC *frame* SGA6324 yang dihubung *wye* dengan nilai resistansi pada stator sebesar 342,69 Ohm, dan nilai induktansi pada stator 348,36 mH.



Gambar 4.7 Hasil Simulasi *Inverter* yang Terhubung dengan Beban 2



Gambar 4.8 Analisis FFT pada *Inverter* yang Terhubung dengan Beban 2

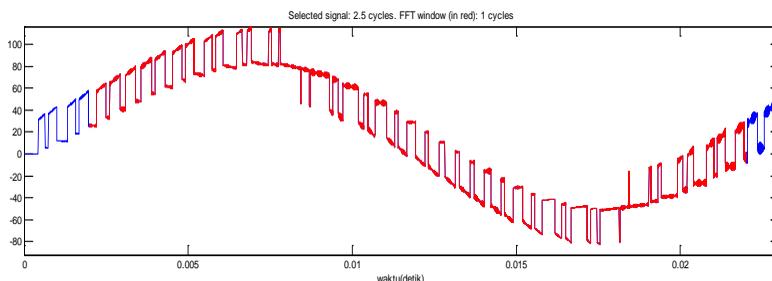
Dari Gambar 4.7 di atas, dapat diperoleh nilai dasar dari harmonisa tersebut yaitu sebesar 379 Volt, dan nilai frekuensi dasar yang diperoleh sebesar 55 Hz. Pada Gambar 4.8, dapat terlihat bahwa orde harmonisa tertinggi setelah orde dasar, yaitu pada orde ke 9, sebesar 1,2 % dari dasar. Nilai THD yang diperoleh yaitu sebesar 92,43 %. Nilai THD tersebut menunjukkan bahwa ketika *inverter* dihubungkan dengan beban 2, maka nilai THD akan menjadi lebih besar 0,85% dari nilai THD sebelum diberikan beban.

Nilai tersebut membuktikan bahwa ketika *inverter* dihubungkan dengan beban, maka nilai harmonisa tersebut akan bertambah. Untuk itulah dibutuhkan suatu rangkaian *filter* untuk meminimumkan nilai harmonisa yang terbentuk.

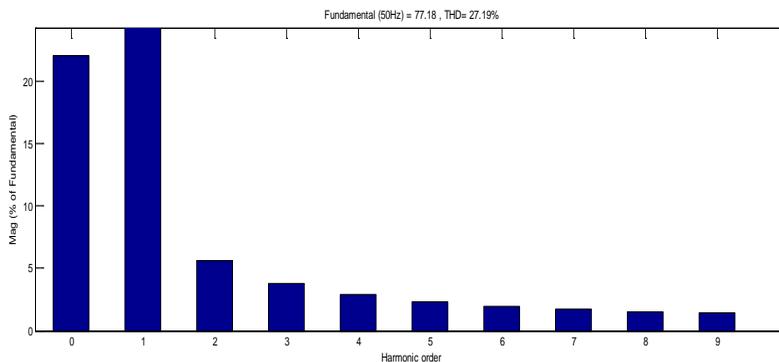
4.5. *Inverter yang Terhubung dengan Beban 2 dan Filter*

Simulasi ini bertujuan untuk meminimumkan harmonisa yang terjadi saat dihubungkan dengan beban 2. *Filter* yang digunakan yaitu *single tuned filter*, yang dapat berfungsi untuk menghilangkan harmonisa pada orde tertentu. Pada sistem ini orde tertinggi setelah orde dasar, yaitu orde 9. Sehingga dalam merancang filter menggunakan orde harmonisa sebesar 9, agar harmonisa pada orde diatas 9 dapat dihilangkan.

Nilai *filter* yang digunakan pada komponen induktor yaitu sebesar 3,899 H, dan komponen kapasitor yang digunakan yaitu sebesar 0,3208 nF. Hasil dari simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 di bawah ini;



Gambar 4.9 Hasil Simulasi *Inverter* yang Terhubung dengan Beban 2 dan *Filter*



Gambar 4.10 Analisis FFT dari *Filter* yang Terhubung dengan Beban 2

Dari Gambar 4.9 di atas, dapat dilihat bahwa gelombang yang terbentuk semakin mendekati bentuk gelombang sinus dimana masih terdapat distorsi yang disebabkan oleh sumber harmonisa berupa PWM dan IGBT yang tidak dapat diredam secara sempurna oleh *filter* yang di rancang ini. Dari Gambar 4.10 diperoleh nilai *magnitude* pada orde ke 9 telah berkurang menjadi sekitar 2% dari nilai dasarnya. Sedangkan nilai THD yang diperoleh yaitu sebesar 27,19%. Hal ini menunjukkan bahwa *filter single tuned* ini hanya mampu mereduksi pada sistem ini hingga 65,24 %. Sisa dari orde yang paling terlihat pada hasil simulasi pada Gambar 4.10 yaitu orde dua dengan nilai *magnitude* $\pm 5\%$ dari nilai dasarnya.

Dengan nilai THD sebesar itu, maka kondisi pada sistem ini menjadi lebih baik akibat adanya tambahan *filter single tuned*. Namun, karena harmonisa yang diperoleh belum memenuhi standar yaitu kurang dari 5%, maka dalam rangkaian ini lebih baik menggunakan *double tuned filter* atau *automated filter* untuk mereduksi harmonisa tersebut. Semakin rendah nilai harmonisa, akan menyebabkan kondisi *inverter* dan beban tersebut tahan lama dan tidak mengalami pemanasan akibat adanya gesekan saat *inverter* tersebut dinyalakan. Sesuai dengan nilai THD yang diperoleh tersebut, apabila diaplikasikan pada industri, maka akan mengalami maloperasi sistem sehingga menyebabkan umur pada sistem ini semakin berkurang.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis sistem, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Komponen IGBT dapat digunakan sebagai inverter 3 fasa yang dihubungkan dengan beban berupa motor induksi 3 fasa.
2. Nilai harmonisa pada inverter sebelum dihubungkan dengan beban yaitu sebesar 91,52%, sedangkan nilai setelah dihubungkan dengan beban 1 yaitu sebesar 103,23 % dengan orde terbesar berada pada orde 5, dan untuk beban 2 yaitu sebesar 92,37 % dengan orde terbesar berada pada orde 9.
3. Untuk meminimumkan nilai harmonisa yang terhubung dengan beban motor induksi 3 fasa, maka dapat menggunakan rangkaian filter pasif *single tuned*, di mana orde yang digunakan untuk mencari nilai kapasitor dan induktor yang digunakan yaitu sesuai dengan orde tertinggi.
4. Nilai harmonisa setelah dihubungkan dengan filter menjadi berkurang menjadi sebesar 28,13% untuk beban 1 dan sebesar 45,58% untuk beban 2.
5. Semakin rendah nilai harmonisa, maka semakin baik pula performansi dari sistem ini dan menyebabkan bertambahnya umur pada tiap komponen, karena inverter tidak mengalami pemanasan yang berlebihan.

5.2. Saran

Untuk pengembangan penelitian, penulis menyarankan untuk menggunakan sebagai *automated tuned filter* untuk meminimumkan harmonisa agar performansi dari sistem menjadi lebih baik dan kondisi umur pada sistem lebih lama.

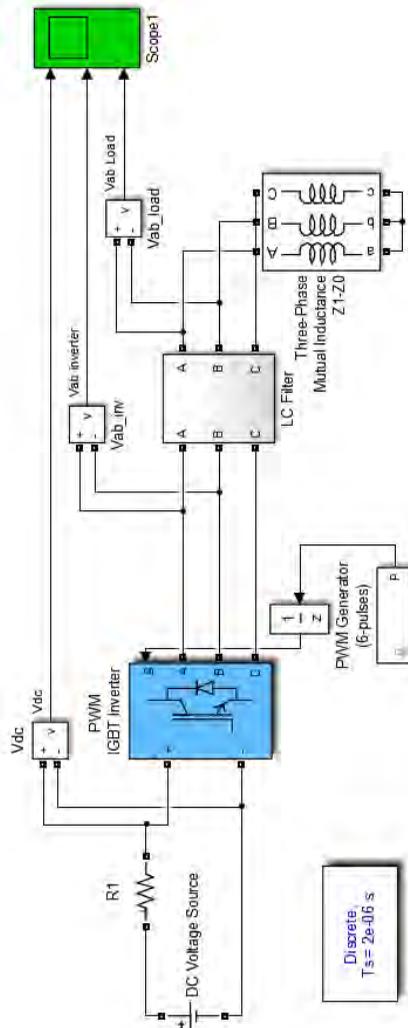
DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.Arrilaga, D.A.,Bradley and P.S. Bodger, “*Power System Harmonics*”, John Wiley&Sons.inc, Norwich, 1985
- [2] M.H.Rashid, ”*Power electronics: Circuits, Devices and Applications*”, Prentice-Hall, 2004
- [3]“*Filter Frekuensi*”, <http://Comp-eng.binus.ac.id/files/2014/05/Filter-Frekuensi.pdf>, diakses pada tanggal 18 Januari 2016.
- [4] Adin Teguh, “Perancangan Kontroler PID dan Adaptif Fuzzy Fluks Estimator untuk DTC Motor Induksi 3 Fasa”, Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, *Tugas Akhir*, 2015
- [5] A.Sayyah, M.Aflaki, and A.R.Rezazade., “GA-Based Optimization of Total Harmonic Current Distortion and Suppression of Chosen Harmonics in Induction Motors”, *IEEE International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2006
- [6] Erwin Kreyzig, Herbert Kreyzig, and Edward J. Norminton, “*Advanced Engineering Mathematics*”, John Wiley&Sons.inc, USA, 2003
- [7] Mohd Azri Bin Zunaidak, “Reduction of Losses Due To Harmonic in Distribution Transformer”. Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia, *Thesis*, 2012
- [8] Bravel Henri Almawijaya, “Rancang Filter Harmonik RCL untuk Proteksi Kapasitor Bank di CCAI Surabaya Plant”, Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, *Tugas Akhir*, 2015
- [9] Mohan, “*Power Electronics Converters, Application, and Design*”, John Wiley&Sons.inc, 1995
- [10]“*Harmonisa*”, <http://id.wikipedia.org/wiki/Harmonisa>, diakses pada tanggal 14 Oktober 2015.
- [11]“*Pulse Width Modulated Inverter Model*”, <http://ewh.ieee.org/soc/es/Nov1998/08/PWMINV.HTM>, diakses pada tanggal 14 Januari 2015.

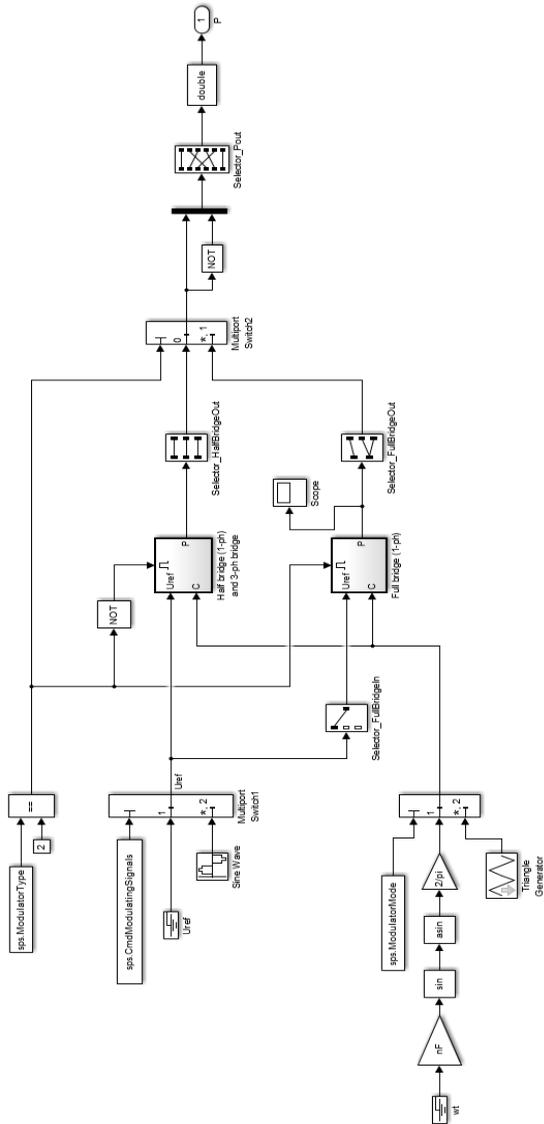
Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN A

A.1. SIMULINK SYSTEM



A.2 SIMULINK PWM



LAMPIRAN B

B.1 Datasheet IGBT

SPECIFICATION

Device Name : IGBT-IPM

Type Name : 7MBP75NA060-01

Spec. No. : MS6M0279

This manual and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced, copied, nor disseminated in any form without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Fuji Electric Co.,Ltd.
Matsumoto Factory

	DATE	NAME	APPROVED	Fuji Electric Co.,Ltd.	
DRAWN	Feb. 27 '96	H. Kawakami		MS6M0279	1/16
CHECKED	- 4 -	N. Takasawa			
			T. HOSOKAWA		

H04-004-07

Revised Records

Date	Classification	Ind.	Content	Applied date	Drawn	Checked	Approved
Mar.-27-'96	enactment	—	_____	Issued date	_____	N. Terasawa	J. HOSEKI

This material and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. It is loaned to you for your use only. It is not to be distributed, copied, or otherwise used without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Fuji Electric Co., Ltd.

DWG. NO.

MS6M0279

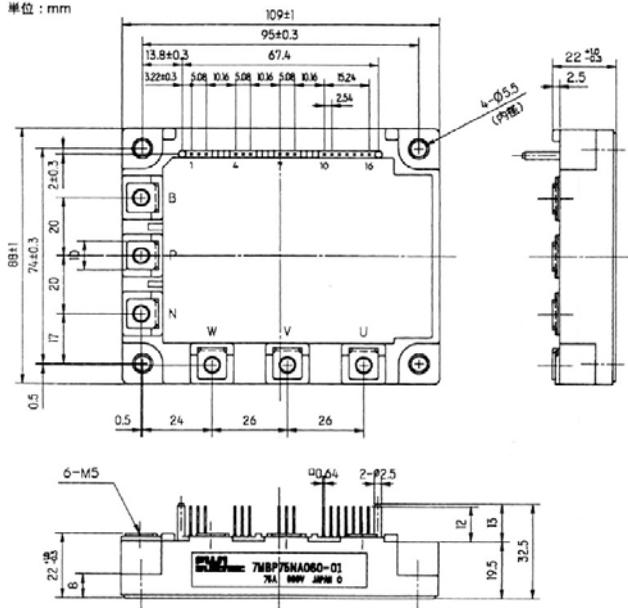
2/16

H04-004-06

1 Outline Drawing

外形図

Unit : mm
単位 : mm



This material and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced nor used in any form without the prior written consent of Fuji Electric Co., Ltd. This part is not tested for manufacturing purposes without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Fuji Electric Co., Ltd.

DRWG. NO.

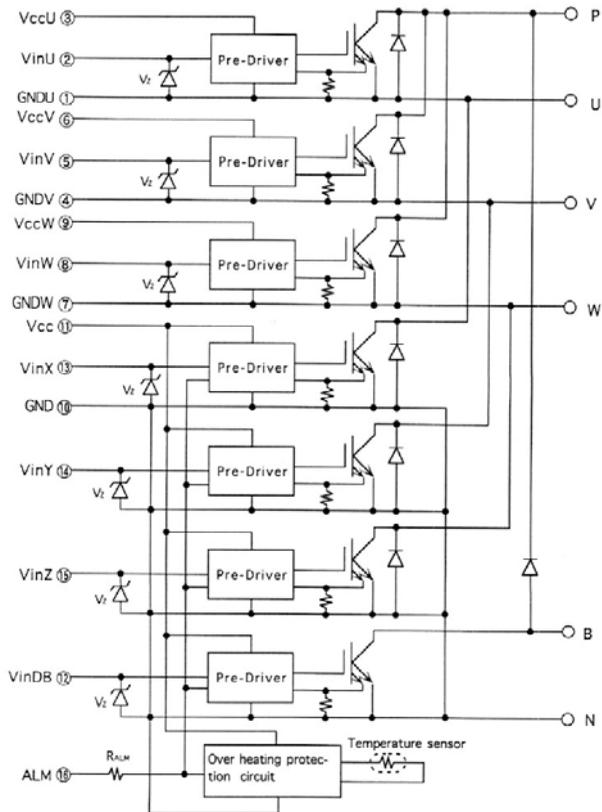
MS6M0279

3/16

H04-004-03

2 Block Diagram

ブロック図



This electrical and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. and is confidential. It is not to be disclosed in any way whatsoever for the use of any other party, for sales or for manufacturing purposes without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Pre-Drivers include following functions

- ① Short Circuit Protection Circuit
- ② Amplifier for Driver
- ③ Under Voltage Lockout Circuit
- ④ Over current Protection Circuit

Fuji Electric Co., Ltd.

DEV. NO.

MS6M0279

4 / 16

H04-004-03

This manual and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced, copied, nor distributed in any form without the prior written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

3. Absolute Maximum Ratings (at Tc=25°C unless otherwise specified)

Items	Symbols	Ratings		Units
		Min.	Max.	
DC Bus Voltage	Vbc	0	450	V
DC Bus Voltage (surge)	Vbc(SURGE)	0	500	V
DC Bus Voltage (short operating)	Vsc	200	400	V
Collector-Emitter Voltage	Vces	0	600	V
I N V Collector Current	DC	Ic	—	75 A
	1mS	Icp	—	150 A
	Duty=61.7%	-Ic	—	75 A
Collector Power Dissipation	One Transistor	Pc	—	320 W
D Collector Current	DC	Ic	—	50 A
	1mS	Icp	—	100 A
B Forward Current of Diode	If	—	50	A
Collector Power Dissipation	One Transistor	Pc	—	198 W
Junction Temperature	Tj	—	150	°C
Input Voltage of Power Supply for Pre-Driver	Vcc ※1	0	20	V
Input Signal Voltage	Vin ※2	0	Vz	V
Input Signal Current	Iin	—	1	mA
Alarm Signal Voltage	VAlM ※3	0	Vcc	V
Alarm Signal Current	IAlM ※4	—	15	mA
Storage Temperature	Tstg	-40	125	°C
Operating Case Temperature (Fig.1)	TOP	-20	100	°C
Isolation Voltage (Case-Terminal)	Viso ※5	—	AC2.5	kV

- Note
- ※1 Vcc shall be applied to the input Voltage between terminal No. 3 and 1, 6 and 4, 9 and 7, 11 and 10.
 - ※2 Vin shall be applied to the input Voltage between terminal No. 2 and 1, 5 and 4, 8 and 7, 12 13 14 15 and 10.
 - ※3 VALM shall be applied to the Voltage between terminal No. 16 and 10.
 - ※4 IALM shall be applied to the input current to terminal No. 16.
 - ※5 50Hz/60Hz sine wave 1 minute.

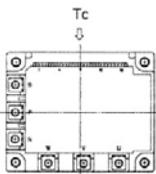


Fig.1 Measurement of case temperature

Fuji Electric Co.,Ltd.

MS6M0279

5/16

H04-004-03

This manual and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. and is intended for use only for the specific product or product family identified herein. It is not to be distributed, copied, or reproduced in any way whatsoever for the sake of any other product or product family without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

4. Electrical Characteristics

4.1 Electrical Characteristics of Power Circuit (at $T_c=T_j=25^\circ\text{C}$, $V_{cc}=15\text{V}$)

	Items	Symbols	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
I N V	Collector Current at off Signal Input	I_{ces}	$V_{CE}=600\text{V}$	—	—	1.0	mA
	Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{ce(sat)}$	$I_c=75\text{A}$	—	—	2.9	V
	Forward Voltage of FWD	V_f	$-I_c=75\text{A}$	—	—	3.0	V
D B	Collector Current at off Signal Input	I_{ces}	$V_{CE}=600\text{V}$	—	—	1.0	mA
	Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{ce(sat)}$	$I_c=50\text{A}$	—	—	2.9	V
	Forward Voltage of Diode	V_f	$-I_c=50\text{A}$	—	—	3.3	V

4.2 Electrical Characteristics of Control Circuit (at $T_c=T_j=25^\circ\text{C}$, $V_{cc}=15\text{V}$)

	Items	Symbols	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power Supply Current of P-Line Side Pre-Driver (One Unit)		I_{CCP}	$f_{sw}=15\text{kHz}$ ※6 Duty=50%	—	7	17	mA
	Power Supply Current of N-Line Side Three Pre-Drivers and Protection Circuits	I_{CCN}	$f_{sw}=15\text{kHz}$ Duty=50%	—	25	65	mA
Input signal Threshold Voltage		$V_{in(ON)}$	ON	1.00	1.35	1.70	V
		$V_{in(OFF)}$	OFF	1.25	1.60	1.95	V
Zener Voltage		V_z		6.9	—	7.7	V
Over Heating Protection(OH) Level		T_{OH}	$V_{DC}=0\text{V}$, $I_c=0\text{A}$ Case Temperature	100	—	125	$^\circ\text{C}$
OH Hysteresis		T_H		—	20	—	$^\circ\text{C}$
Over Current Protection(OC) Level	INV	I_{oc}	$T_j=125^\circ\text{C}$ Collector Current	98	—	—	A
Over Current Protection(OC) Level	DB	I_{oc}	$T_j=125^\circ\text{C}$ Collector Current	60	—	—	A
OC Delay Time (Fig.2)		t_{DOC}	$T_j=25^\circ\text{C}$	—	8	—	μS
Under Voltage Protection(UV) Level		V_{UVT}		11.0	12.0	12.5	V
UV Hysteresis		V_H		0.2	—	—	V
Alarm Signal Hold Time		t_{ALM}		0.8	2	—	mS
Delay Time of Short Circuit Protection (Fig.3)		t_{SC}		12	—	—	μS
Limiting Resistor for Alarm		R_{ALM}		1425	1500	1575	Ω

※6 Switching frequency of IPM

Fuji Electric Co., Ltd.

DRAWING

MS6M0279

6/16

H04-004-03

4.3 Dynamic Characteristics (at $T_c=T_j=125^{\circ}\text{C}$, $V_{cc}=15\text{V}$)

Items	Symbols	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Switching Time	t_{on}	$I_c=75\text{A}$	0.3	—	—	μS
Fig.4	t_{off}	$V_{bc}=300\text{V}$	—	—	3.6	μS
Switching Time (FWD)	t_{rr}	$I_F=75\text{A}, V_{oc}=300\text{V}$	—	—	400	nS

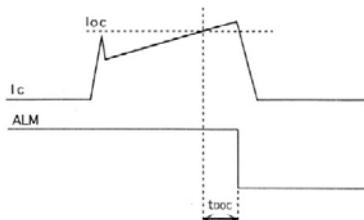


Fig.2 : Definition of OC Delay Time

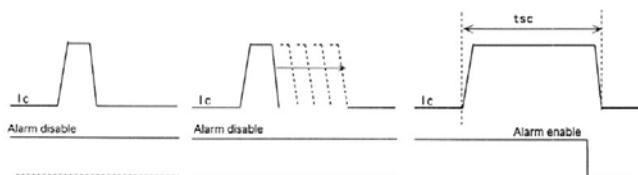


Fig.3 : Definition of t_{sc}

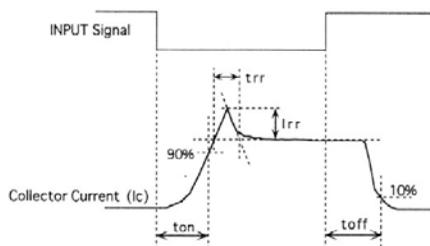


Fig.4 : Definition of switching time

This manual and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. It may not be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Fuji Electric Co., Ltd.

ORIGINAL

MS6M0279

7 / 16

H04-004-03

This material and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be their registered design and shall not be used for any other purpose without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

5. Thermal Characteristics (Tc=25℃)

Items		Symbols	Min.	Typ.	Max.	Units
Junction to Case Thermal Resistance	INV	Rth(j-c)	—	—	0.39	℃/W
	FWD	Rth(j-c)	—	—	0.90	℃/W
Junction to Case Thermal Resistance	DB	Rth(j-c)	—	—	0.63	℃/W
Case to Fin Thermal Resistance with Compound		Rth(c-f)	—	0.05	—	℃/W

6. Mechanical Characteristics

Items		Min.	Typ.	Max.	Units
Screw Torque	Mounting (M5)	—	—	3.5	N·m
	Terminal (M5)	—	—	3.5	N·m
Weight		—	550	—	g

7. Recommendable Value

Items		Symbols	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
DC Bus Voltage		Vbc		200	—	400	V
Operating Power Supply Voltage Range of Pre-Driver		Vcc		13.5	15	16.5	V
Switching frequency of IPM		f _{sw}		1	—	20	kHz
Screw Torque	Mounting (M5)	—		2.5	—	3.5	N·m
	Terminal (M5)	—		2.5	—	3.5	N·m

 Fuji Electric Co., Ltd.

DWG. NO.

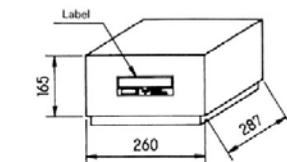
MS6M0279

8 / 16

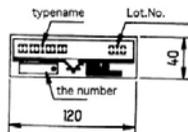
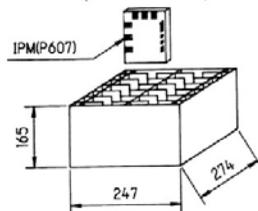
H04-004-03

8. Packing and labeling

梱包箱と表示



material card board
weight 5.5 kg (Max.)
products 10pcs (Max.)



9. Storage and transportation notes (保管、運搬上の注意事項)

- ・ The IGBT-IPM should be stored at a standard temperature of 5 to 35 °C and humidity of 45 to 75%.
- ・ 常温保存が望ましい。(5~35°C、45~75%)
- ・ Store modules in a place with few temperature changes in order to avoid condensation on the module surface.
- ・ 急激な温度変化の無きこと。(モジュール表面が結露しないこと)
- ・ Avoid exposure to corrosive gases and dust.
- ・ 腐食性ガスの発生場所、塵埃の多い場所は避けること。
- ・ Avoid excessive external force on the module.
- ・ 製品に荷重がかからないように十分に注意すること。
- ・ Store modules with unprocessed terminals.
- ・ モジュールの端子は未加工の状態での保管すること。
- ・ Do not drop or otherwise shock the modules when transporting.
- ・ 製品の運搬時に衝撃を与えたり、落下させたりしないこと。

10. Applicable category (適用範囲)

This specification is applied to IGBT-IPM named 7MBP75NA060-01.
本納入仕様書は、IGBT-IPM 7MBP75NA060-01に適用する。

This standard and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced nor used, in whole or in part, without the prior written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Fuji Electric Co.,Ltd.

DWG NO.

MS6M0279

9/16

H04-004-03

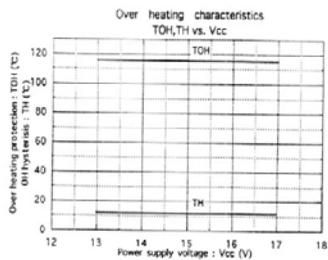
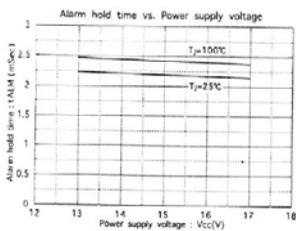
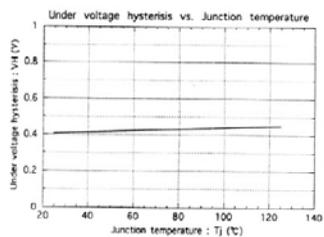
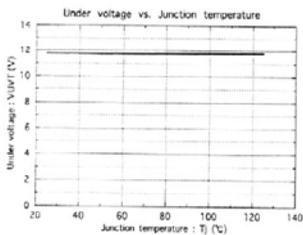
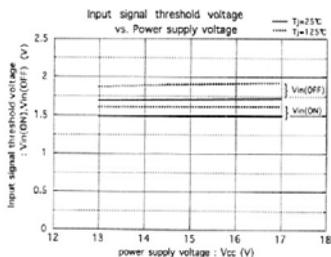
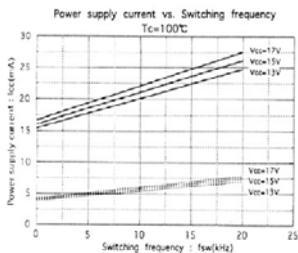
This material and its information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced nor used, in whole or in part, for any other purpose without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

11. Characteristic (Representative)

特性カーブ (代表例)

11-1. Control Circuit

制御部



Fuji Electric Co., Ltd.

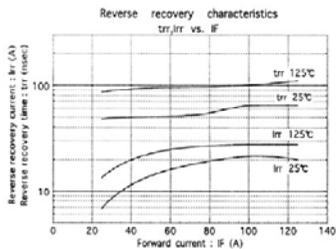
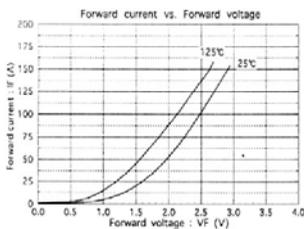
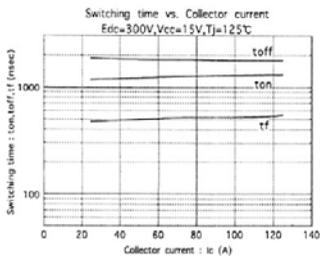
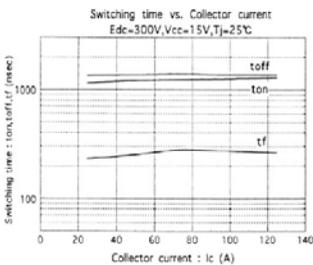
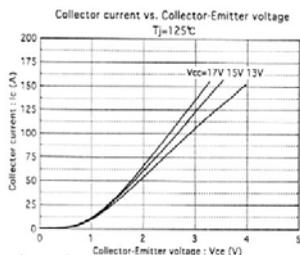
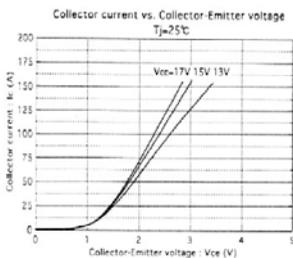
DWG. NO.

MS6M0279

10/16

H04-004-03

11-2. Inverter
インバータ部



This product is the intellectual property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced, copied, nor distributed in any way whatsoever in this case or any other case without the written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Fuji Electric Co., Ltd.

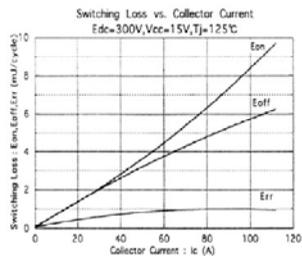
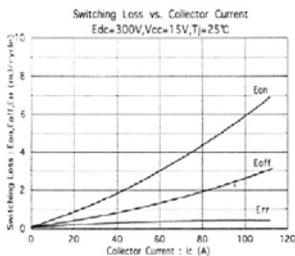
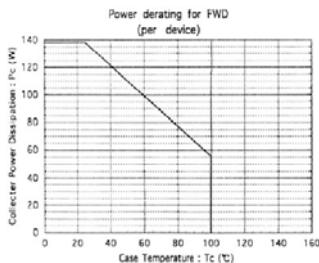
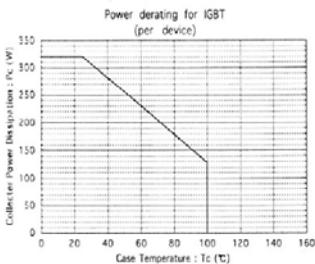
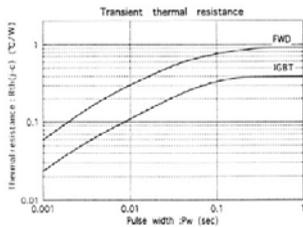
DWG. NO.

MS6M0279

11/16

H04-004-03

This information and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced nor used in any form without the prior written permission of Fuji Electric Co., Ltd. It is expressly understood that this information is for reference only.



Fuji Electric Co., Ltd.

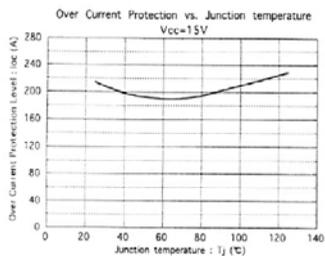
EWGJND

MS6M0279

12/16

H04-004-03

This material and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced, copied, nor distributed without the prior written consent of Fuji Electric Co., Ltd. It is hereby our intent for the manufacturing purposes without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.



Fuji Electric Co.,Ltd.

DRAWING NO.

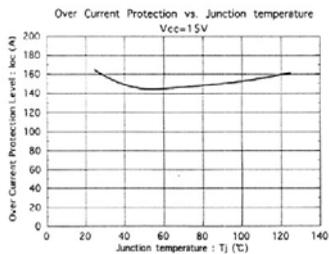
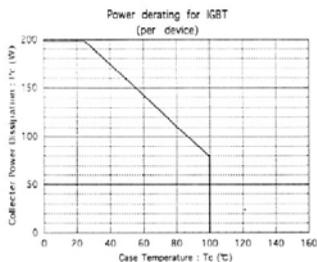
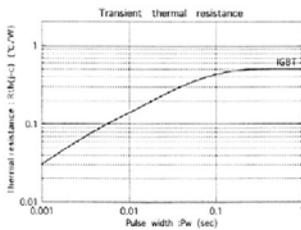
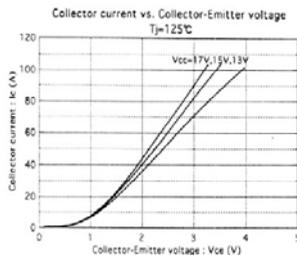
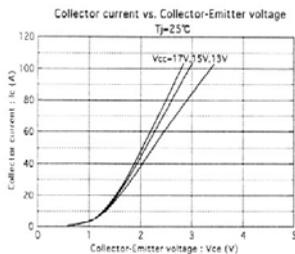
MS6M0279

13/16

H04-004-03

11-3.DB

ブレーキ部



This manual, and the information therein, is the property of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be never reproduced, copied, or transmitted in any form or by any means without their prior written consent for the manufacturing purposes without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

Fuji Electric Co.,Ltd.

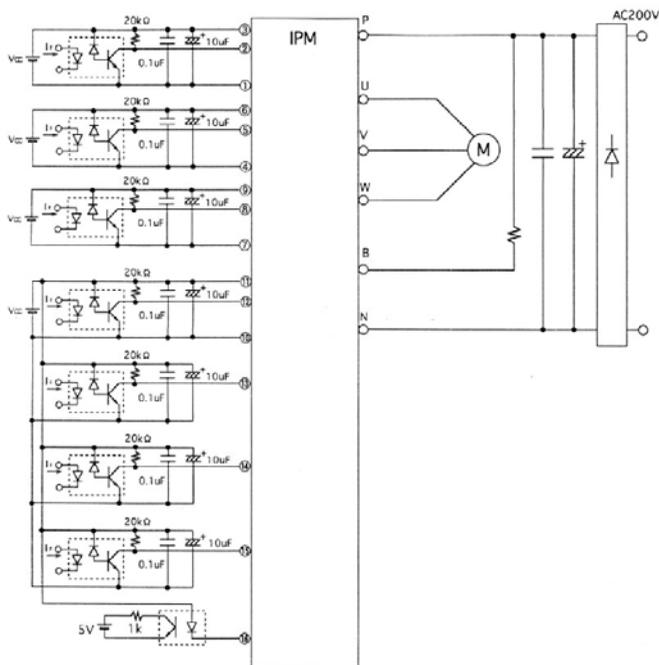
DWG.NO.

MS6M0279

14/16

H04-004-03

12.Example of applied circuit (応用回路例)



This product is sold by independent agents in the territory of Fuji Electric Co., Ltd. They shall be neither reproduced nor used, or disclosed in any way whatsoever for the sake of any person or organization without the express written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

- ・ The wiring between opto-coupler and input terminal of IPM should be shorter as much as possible. The stray-capacitance between primary and secondary side of opto-coupler should not be increased by pattern lay-out.
 ホトカブラとIPMの入力端子間配線は、できるだけ短くしホトカブラの1次・2次間の浮遊容量を増加させないパターンレイアウトとして下さい。
- ・ Capacitor should be installed to VCC-GND terminal of high-speed opto-coupler closely as much as possible.
 高速ホトカブラのVcc-GND間には、コンデンサをできるだけ近接して取り付けして下さい。
- ・ Use high-speed opto-coupler : $t_{PLH}, t_{PHL} \leq 0.8\mu s$, high CMR type. (Example : HCPL-4504)
 高速ホトカブラ : $t_{PLH}, t_{PHL} \leq 0.8\mu s$, 高CMRタイプをご使用下さい。(例 HCPL-4504)
- ・ Low-speed opto-coupler : $CTR \geq 100\%$
 低速ホトカブラ : $CTR \geq 100\%$

Fuji Electric Co.,Ltd.

DWG.NO.

MS6M0279

15/16

H04-004-03

This material and the information herein is the property of Fuji Electric Co., Ltd. It is to be used for the specific application only. It is not to be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written consent of Fuji Electric Co., Ltd.

- Each power supply for drive circuit should not have transient voltage fluctuation. Four power supplies which are isolated should be supplied individually.
各制御電源は瞬時電圧変動の少ない、絶縁したものを4個独立にして供給して下さい。
- The DC bus line to the P-N terminal should have lower inductance as much as possible, such as connecting capacitor to P-N terminal, in order to reduce surge voltage.
P-N間の直流母線はできるだけ低インダクタンス化し、P-N端子間にコンデンサを接続するなどしてサージ電圧を低減して下さい。
- In order to avoid noise from AC line, connect capacitor (about 4.7 μ F) between three-phase line and earth.
ACラインからのノイズ侵入を防ぐため、三相各線-大地間に4.7nF程度のコンデンサを接続して下さい。
- Do not connect N-terminal of main circuit to ground (GND) of input circuit.
入力回路のグラウンド (GND) と主回路 N 端子を IPM の外側で接続しないで下さい。
- In case of using connector for connection to control terminal, it must be Au-plated electrode and 2.54mm of pitch.
制御端子との接続にコネクタを用いる場合は、金メッキ電極・2.54mm ピッチのものをご使用下さい。
- When capacitor is connected between input and GND terminal, pay attention to longer delay time after signal inputted to primary side of opto-coupler.
入力端子-GND間にコンデンサを接続するとホトコプラ1次側入力信号に対する応答時間が長くなりますのでご注意ください。

Fuji Electric Co.,Ltd.

DWG. NO.

MS6M0279

16/16

H04-004-03

LAMPIRAN C

C.1 Motor Induksi 3 Fasa Tipe SM IEC SG6324



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Febriani Husniah, lahir di Bantul pada tanggal 24 Februari 1992. Anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Sukidjo dan Sri Ardiati. Bersekolah di SDN Jageran (1998-2004) kemudian di SMP Muhammadiyah 2 Yogyakarta (2004-2007) selanjutnya di SMAN 5 Yogyakarta (2007-2010) kemudian melanjutkan kuliah di D3 Elektronika Instrumentasi UGM (2010-2013). Pada bulan Januari 2014 melanjutkan program sarjana ke Teknik Elektro ITS Surabaya dengan mengambil

Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan.

Email: febrianihusniah@gmail.com