

**RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL
KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS
MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

SKRIPSI



Disusun oleh :

CANDRA BASUKI

NIM. 08.12.218

**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

3910

THESE ARE THE RESULTS OF THE
RESEARCH CONDUCTED BY THE
BUREAU OF THE BUREAU OF THE
BUREAU OF THE BUREAU OF THE

THESE ARE THE RESULTS OF THE
RESEARCH CONDUCTED BY THE

THESE ARE THE RESULTS OF THE

THESE ARE THE RESULTS OF THE
RESEARCH CONDUCTED BY THE
BUREAU OF THE BUREAU OF THE

LEMBAR PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh :

CANDRA BASUKI
NIM : 08.12.218

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

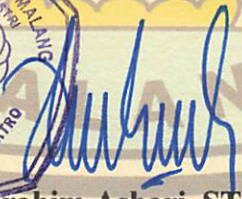
Dosen Pembimbing II


Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. P .1038900209


Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP. Y .1018800188

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1




M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P.1030100358

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2015

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : CANDRA BASUKI
NIM : 08.12.218
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, September 2015

Yang membuat Pernyataan,




Candra Basuki
NIM : 08.12.218

**RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL
KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS
MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

Candra Basuki, NIM : 08.12.218

Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT dan Ir. M. Abdul Hamid, MT
Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Elektronika
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km 2 Malang

Abstrak

Penelitian ini mengobservasi suatu metode pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa sebagai tenaga penggerak dari sistem kelistrikan dan peralatan di industri. Kecepatan motor diatur dengan merubah besarnya tegangan dan frekuensi yang digunakan. Untuk itu dibuat suatu inverter yang dapat menghasilkan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur. Hasil yang diperoleh bahwa Alat dapat berfungsi dengan baik untuk mengatur kecepatan motor induksi maupun motor universal. Untuk mengatur kecepatan motor induksi, akan lebih optimal bila penyetelan tegangan berkisar antara 60 volt sampai dengan 90 volt, sedang yang lebih menentukan kecepatan motor adalah perubahan frekuensi yang diberikan. Semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka semakin cepat pula kecepatan motor yang diperoleh. Untuk mengatur kecepatan motor universal akan lebih optimal apabila menggunakan frekuensi yang paling rendah. Sedangkan yang lebih menentukan kecepatan motor ini adalah besarnya tegangan yang diberikan. Semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka semakin tinggi pula kecepatan motor yang diperoleh.

Kata kunci : Pengatur kecepatan motor

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang dengan segala Kasih dan Anugerah-Nya, telah memberikan kekuatan, kesabaran, bimbingan dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul:

” RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16 ”

Pembuatan skripsi ini disusun guna memenuhi syarat akhir kelulusan pendidikan jenjang Strata I di Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan baik moril maupun materiil, saran dan dorongan semangat dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT. Selaku rektor ITN Malang
2. Bapak Ir. Anang Subardi, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Bapak M. Ibrahim Ashari, ST, MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
4. Bapak Dr. Eng. I Komang somawirata, ST, MT. Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
5. Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing I.
6. Ir. M. Abdul Hamid, MT selaku Dosen Pembimbing II.
7. Dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak yang perlu disempurnakan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata, penulis mohon maaf kepada semua pihak bilamana selama penyusunan skripsi ini penyusun membuat kesalahan secara tidak sengaja dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, September 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan i

Surat Pernyataan Orisinalitas ii

Abstrak..... iii

Kata Pengantar iv

Daftar isi..... v

Daftar Gambar..... vii

Daftar Tabel x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah..... 1

1.3 Tujuan 1

1.4 Batasan Masalah..... 2

1.5 Metodologi Penulisan 2

1.6 Sistematika Penulisan 3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Inverter 5

2.1.1 inverter Setengah Gelombang 7

2.1.2 inverter Gelombang Penuh 8

2.2 Mikrokontroller Atmega 16 9

2.3 ATTiny 2313 14

2.4 LCD 17

2.5 Keypad 19

2.6 Motor Listrik 20

2.6.1 Klasifikasi Motor Induksi..... 21

2.6.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 21

2.6.3 Motor Universal 22

2.7 MOSFET 23

2.8 TRIAC.....	26
2.9 Sensor Hall Effect.....	28
2.10 Sensor Tegangan.....	30
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	
3.1 Pendahuluan	33
3.2 Blok Diagram Sistem.....	33
3.3 Prinsip Kerja Alat	36
3.4 Perancangan Perangkat Keras	37
3.4.1 Perancangan Rangkaian Kontrol	37
3.4.2 Perancangan Rangkaian Regulator dan Penyearah.....	38
3.4.3 Perancangan Rangkaian inverter	42
3.4.4 Perencanaan Sensor Tegangan	43
3.4.5 Perencanaan Sensor Kecepatan Motor.....	45
3.5 Perancangan Perangkat Lunak	46
3.5.1 Diagram Alir Kontrol Utama.....	46
3.5.2 Diagram Alir Kontrol Regulator.....	47
3.5.3 Diagram Alir Kontrol Inverter.....	48
BAB IV PENGUJIAN	
4.1 Pengujian Awal	50
4.2 Pengujian Fungsi Keypad dan LCD	52
4.3 Pengujian Fungsi Regulator	54
4.4 Pengujian Fungsi Inverter	58
4.5 Pengujian Pengukuran Kecepatan Motor.....	60
4.6 Pengujian Alat Secara Keseluruhan.....	63
4.7 Pengujian Alat dengan menggunakan beban motor induksi satu fasa.....	66
4.8 Spesifikasi Alat.....	74
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Prinsip kerja inverter 1 fasa	6
Gambar 2.2 : Bentuk gelombang tegangan.....	6
Gambar 2.3 : Bentuk gelombang tegangan AC dengan frekuensi 1 Hz....	7
Gambar 2.4 : a. Rangkaian Inverter Setengah Gelombang, b. Bentuk Gelombang dari Inverter Setengah Gelombang .	8
Gambar 2.5 : Inverter Gelombang Penuh	9
Gambar 2.6 : Contoh rangkaian Inverter	9
Gambar 2.7 : Atmega 16	11
Gambar 2.8 : Arsitektur Mikrokontroller AVR RISC	14
Gambar 2.9 : ATTiny 2313.....	15
Gambar 2.10 : LCD 16x2.....	17
Gambar 2.11 : Keypad 4X4	19
Gambar 2.12 : Motor Induksi.....	20
Gambar 2.13 : Konstruksi Mosfet Tipe Hampa Kanal-N.....	24
Gambar 2.14 : Konstruksi Mosfet Tipe Berisi Kanal-N Elektron yang Terimbas Membentuk Kanal Maya bila Tegangan Gerbang Positif.....	26
Gambar 2.15 : Triac.....	26
Gambar 2.16 : Karakteristik Triac.....	27
Gambar 2.17 : Sensor hall effect	29
Gambar 2.18 : Rangkaian Pembagi Tegangan.....	30
Gambar 2.19 : Contoh Rangkaian Pembagi Tegangan.....	31
Gambar 3.1 : Diagram Blok Rangkaian Pengatur Kecepatan Motor AC..	34
Gambar 3.2 : Rangkaian Kontrol.....	38
Gambar 3.3 : Rangkaian Kontrol Regulator	39
Gambar 3.4 : Bentuk Sinyal input dan output detektor sinyal sinus	39
Gambar 3.5 : Rangkaian Regulator	40
Gambar 3.6 : Rangkaian TRIAC dengan driver MOC3023 untuk Regulator.....	41
Gambar 3.7 : Bentuk sinyal output regulator	41

Gambar 3.8 : Kontrol Inverter	42
Gambar 3.9 : Rangkaian Inverter	43
Gambar 3.10 : Sensor Tegangan	43
Gambar 3.11 : Rangkaian Pembagi Tegangan sebagai sensor tegangan.....	44
Gambar 3.12 : Penempatan magnet pada motor dan sensor <i>Hall effect</i>	45
Gambar 3.13 : Gambar rangkaian sensor kecepatan	46
Gambar 3.14 : Diagram alir kontrol utama.....	47
Gambar 3.15 : Diagram alir kontrol regulator	48
Gambar 3.16 : Diagram alir kontrol inverter	49
Gambar 4.1 : Rangkaian Kontrol.....	50
Gambar 4.2 : Rangkaian Regulator dan penyearah	51
Gambar 4.3 : Rangkaian Inverter	51
Gambar 4.4 : Rangkaian power supply.....	52
Gambar 4.5 : Integrasi semua bagian	52
Gambar 4.6 : Tampilan pengujian LCD dan Keypad	54
Gambar 4.7 : Probe Oscilloscope dipasang ke output Triac Regulator	55
Gambar 4.8 : Tampilan LCD dengan setelan tegangan 20 V dan Frekuensi 20 Hz	55
Gambar 4.9 : Pengujian dengan menggunakan oscilloscope	55
Gambar 4.10 : Bentuk sinyal dari output regulator saat tegangan 20 Volt..	56
Gambar 4.11 : Bentuk sinyal dari output regulator saat tegangan 50 Volt..	56
Gambar 4.12 : Bentuk sinyal output regulator saat tegangan 100 Volt.....	57
Gambar 4.13 : Bentuk sinyal output penyearah dengan tegangan sebesar 50 Volt	57
Gambar 4.14 : Bentuk sinyal output penyearah dengan tegangan sebesar 75 Volt	58
Gambar 4.15 : Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 20 Hz	58
Gambar 4.16 : Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 30 Hz	59
Gambar 4.17 : Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 40 Hz	59
Gambar 4.18 : Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 50 Hz	60
Gambar 4.19 : Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 60 Hz	60
Gambar 4.20 : Pengujian pengukur kecepatan motor.....	61

Gambar 4.21 : Pengujian pengukur kecepatan menggunakan sinyal Generator.....	61
Gambar 4.22 : Tachometer RM-1000 sebagai pembanding alat ukur Kecepatan.....	62
Gambar 4.23 : Hasil Pembacaan Kecepatan dari LCD.....	62
Gambar 4.24 : Hasil pengukuran kecepatan menggunakan Tacho meter....	62
Gambar 4.25 : Motor induksi satu fasa dan motor universal	64
Gambar 4.26 : Sensor Hall Effect dan magnet yang dipasang pada motor Induksi	64
Gambar 4.27 : Sensor Hall Effect dan magnet yang dipasang pada motor Universal.....	64
Gambar 4.28 : Pengujian keseluruhan	65
Gambar 4.29 : Tampilan LCD Display saat uji coba dengan beban motor Induksi	66
Gambar 4.30 : Hasil pengukuran dengan Volt meter dan Ampere meter....	66
Gambar 4.31 : Grafik respon kecepatan motor induksi terhadap tegangan .	68
Gambar 4.32 : Grafik respon arus motor induksi terhadap tegangan	68
Gambar 4.33 : Grafik respon kecepatan motor induksi terhadap frekuensi	69
Gambar 4.34 : Grafik respon arus motor induksi terhadap frekuensi	70
Gambar 4.35 : Grafik respon kecepatan motor universal terhadap tegangan	71
Gambar 4.36 : Grafik respon arus motor universal terhadap tegangan	72
Gambar 4.37 : Grafik respon kecepatan motor universal versus frekuensi .	73
Gambar 4.38 : Grafik respon arus motor universal versus frekuensi	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Fungsi Khusus Port A	11
Tabel 2.2 : Fungsi Khusus Port B.....	12
Tabel 2.3 : Fungsi Khusus Port C.....	12
Tabel 2.4 : Fungsi Khusus Port D	13
Tabel 2.5 : Fungsi Pin-Pin LCD 2x16	18
Tabel 4.1 : Data tombol Keypad	54
Tabel 4.2 : Hasil Perbandingan Alat Ukur Kecepatan Motor	63
Tabel 4.3 : Hasil pengujian dengan satu frekuensi dan tegangan variabel .	67
Tabel 4.4 : Hasil pengujian dengan satu tegangan dan frekuensi variable .	69
Tabel 4.5 : Hasil pengujian dengan satu frekuensi dan tegangan variable .	70
Tabel 4.6 : Hasil pengujian dengan satu tegangan dan frekuensi variabe ..	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada jaman sekarang teknologi dan ilmu pengetahuan semakin berkembang dengan pesat termasuk ilmu pengetahuan di bidang elektro industri. Salah satu contohnya adalah inverter. Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang mengubah tegangan dari DC menjadi bentuk gelombang AC. Pada dasarnya inverter di industri dipakai untuk mengatur kecepatan dari motor

Dalam suatu bidang industri Penggunaan motor AC untuk tenaga penggerak dari sistem kelistrikan dan peralatan di industri untuk saat ini masih sangat dibutuhkan. Salah satu dari beberapa jenis motor AC yang sering digunakan adalah motor induksi satu fasa. Hal ini disebabkan karena motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana dan perubahan kecepatan saat pembebanan tidak terlalu besar sehingga motor induksi relatif lebih sesuai untuk keperluan suatu sistem dan peralatan di industri. Pada aplikasi tertentu, penggunaan motor induksi pada sistem dan peralatan industri membutuhkan kecepatan tertentu yang konstan. Untuk keperluan ini diperlukan suatu pengaturan kecepatan motor induksi yang otomatis. Pada Tugas Akhir ini dibuat suatu rancang bangun inverter untuk mengontrol kecepatan motor induksi berbasis mikrokontroler atmega 16.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang masalah di atas, maka dapat disusun rumusan masalah. Adapun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengontrol kecepatan motor?
2. Bagaimana cara mengontrol inverter menggunakan mikrokontroler dengan keypad sebagai input?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari Rancang Bangun inverter untuk mengontrol kecepatan motor Induksi Berbasis mikrokontroler Atmega 16 sebagai berikut:

1. Untuk mengatur tegangan keluaran inverter.
2. Mengatur kecepatan motor induksi melalui pengaturan frekuensi dan tegangan.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang ada dijelaskan secara tepat dan terhindar dari pembahasan yang tidak sesuai dengan topik yang dibahas maka dianggap perlu adanya batasan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Mengontrol frekuensi
2. Mengontrol tegangan
3. Mikrokontroler mengatur inverter untuk mengatur frekuensi dan tegangan menggunakan kendali keypad
4. Mikrokontroler yang digunakan adalah Mikrokontroler Atmega 16
5. Tidak membahas motor secara detail

1.5. Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan yang dipakai dalam pembuatan skripsi ini:

- a. Studi literatur
Mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang telah ada, yang berhubungan dengan pembahasan masalah.
- b. Perencanaan dan pembuatan alat
Membuat diagram blok rangkaian yang sesuai dengan rencana kerja, yang kemudian direalisasikan dengan masalah perencanaan dan pembuatan berdasarkan diagram blok rangkaian yang telah disusun.
- c. Studi analisa alat
Dimaksudkan untuk melakukan analisa dan pengujian alat yang telah dirancang apakah sesuai antara fungsi dengan kerja yang diharapkan.
- d. Pengambilan Kesimpulan
Dilakukan setelah mendapatkan hasil dari perancangan dan pengujian alat. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan saat dilakukan perancangan, berarti alat tersebut telah dianggap selesai dan sesuai dengan harapan.

e. Penyusunan buku laporan

Bertujuan untuk menyusun data laporan yang berpedoman pada alat yang telah selesai dibuat beserta kesimpulan dan cara kerja alat.

1.6. Sistematika penulisan

Sistematika dalam pembahasan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran secara garis besar tentang apa yang dikemukakan dalam pokok bahasan. Adapun susunan sistematika laporan ini sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan antara lain tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian dan metodologi penyusunan laporan dalam menyelesaikan tugas akhir.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang landasan teori diantaranya: inverter, mikrokontroler, *LCD*, keypad, dan motor.

BAB III : PERANCANGAN dan PEMBUATAN ALAT

Bab ini berisikan tentang perancangan dan analisa dengan mengumpulkan data dari lab mengenai tegangan dan frekuensi motor induksi di kaitkan dengan inverter yang telah dirancang.

BAB IV : UJI COBA ALAT

Bab ini berisikan tentang hasil uji coba alat inverter yang telah di buat.

BAB V :PENUTUP

Merupakan bab terakhir yang memuat intisari dari hasil pembahasan yang berisikan kesimpulan dan saran yang dapat

digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

Untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan alat ini, maka perlu penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam skripsi ini.

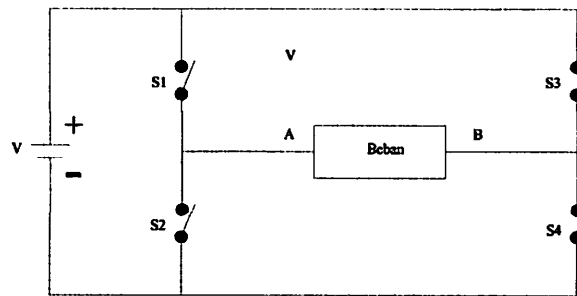
Teori-teori penunjang yang dijelaskan dalam bab ini meliputi :

1. Inverter
2. Mikrokontroller Atmega 16
3. *LCD*
4. Keypad
5. Motor

2.1. Inverter

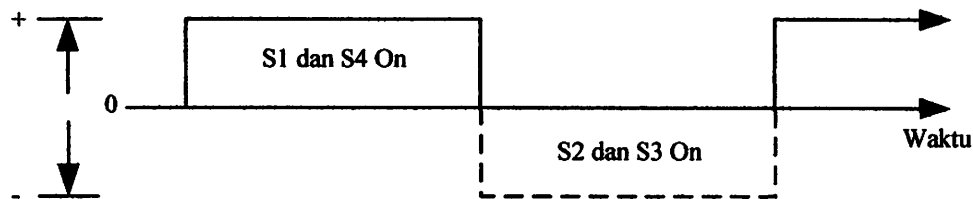
Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter sendiri sebenarnya berisi rangkaian flip flop yang melakukan pensaklaran secara bergantian terhadap listrik DC sehingga menghasilkan listrik AC. Bentuk gelombang yang dihasilkan dengan rangkaian inverter bisa gelombang kotak atau gelombang sinus. Untuk menghasilkan Listrik AC dari Output rangkaian inverter dengan gelombang sinus diperlukan rangkaian PWM (Pulse Width Modulator). Rangkaian ini yang akan memecah listrik DC menjadi listrik AC dengan bentuk gelombang mendekati sinus.

Pembentukan tegangan AC tersebut dilakukan dengan menggunakan dua pasang saklar. Berikut ini merupakan gambar yang akan menerangkan prinsip kerja inverter dalam pembentukan gelombang tegangan persegi.



Gambar 2.1 Prinsip kerja inverter 1 Phasa

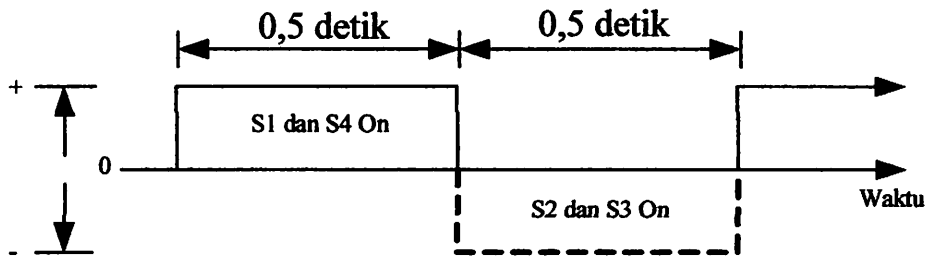
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa untuk menghasilkan arus bolak-balik, maka kerja saklar S1 sampai S4 yang disuplay oleh tegangan dc harus bergantian. Lalu bagaimanakah gelombang tegangan tersebut dapat terbentuk dari keempat buah saklar tersebut? Ketika saklar S1 dan S4 hidup maka arus akan mengalir dari titik A ke titik B sehingga terbentuklah tegangan positif. Setelah itu saklar S2 dan S3 yang hidup dan arus akan mengalir dari titik B ke titik A sehingga terbentuklah tegangan negative. Pembentukan gelombang hasil ON-OFF keempat saklar tersebut dapat terlihat dari gambar berikut:



Gambar 2.2 Bentuk gelombang tegangan

Dengan mengubah arah arus yang mengalir ke beban (pada ½ periode pertama arus mengalir dari titik A ke titik B dan pada ½ periode kedua arus mengalir dari B ke A) maka akan didapatkan bentuk gelombang arus bolak-balik. Lalu bagaimana inverter dapat mengatur frekuensi keluarannya? Inverter mengatur frekuensi keluarannya dengan cara mengatur waktu ON-OFF saklar-saklarnya. Sebagai contoh apabila S1 dan S4 ON selama 0,5 detik begitu juga dengan S2 dan S3 secara berganti-gantian maka akan dihasilkan gelombang bolak-balik dengan

frekuensi 1 Hz. Pada dasarnya saklar S1-S4 dan S2-S3 dihidupkan dengan jangka waktu yang sama. Jadi apabila dalam satu periode $T_0 = 1$ detik, maka S1-S4 ON selama 0,5 detik dan S2-S3 ON selama 0,5 detik dan didapatkan frekuensi sebesar 1 Hz.



Gambar 2.3 Bentuk gelombang tegangan AC dengan frekuensi 1 Hz

Jika dalam satu periode tersebut dinyatakan pada T maka nilai frekuensi yang dihasilkan adalah (F):

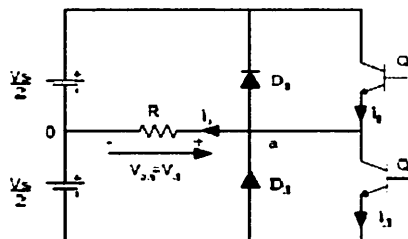
$$F = 1/T$$

Dimana: F = Frekuensi (Hertz)

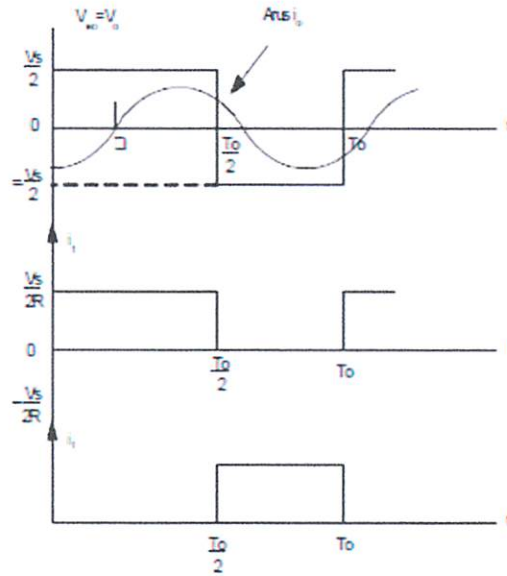
T = Periode (detik)

2.1.1. Inverter Setengah Gelombang

Prinsip kerja dari inverter satu fasa dapat dijelaskan dengan gambar 8- a. Ketika transistor Q1 yang hidup untuk waktu $T_0/2$, tegangan pada beban V_0 sebesar $V_s/2$. Jika transistor Q2 hanya hidup untuk $T_0/2$, $V_s/2$ akan melewati beban. Q1 dan Q2 dirancang untuk bekerja saling bergantian. Pada gambar 8-b menunjukkan bentuk gelombang untuk tegangan keluaran dan arus transistor dengan beban resistif.



a

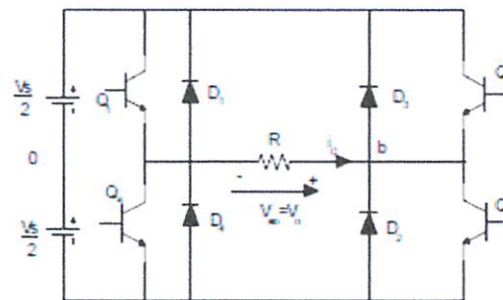


b

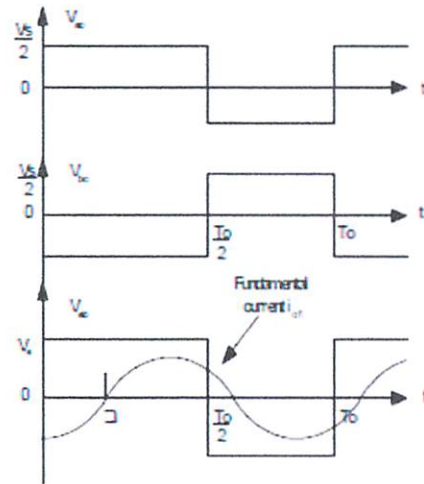
Gambar 2.4. (a) Rangkaian Inverter Setengah Gelombang,
(b) Bentuk Gelombang dari Inverter Setengah Gelombang

2.1.2. Inverter Gelombang Penuh

Inverter gelombang penuh ditunjukkan pada gambar 9-a. Ketika transistor Q1 dan Q2 bekerja (ON), tegangan V_s akan mengalir ke beban tetapi Q3 dan Q4 tidak bekerja (OFF). Selanjutnya, transistor Q3 dan Q4 bekerja (ON) sedangkan Q1 dan Q2 tidak bekerja (OFF), maka pada beban akan timbul tegangan $-V_s$. Bentuk gelombang ditunjukkan pada gambar 9-b.



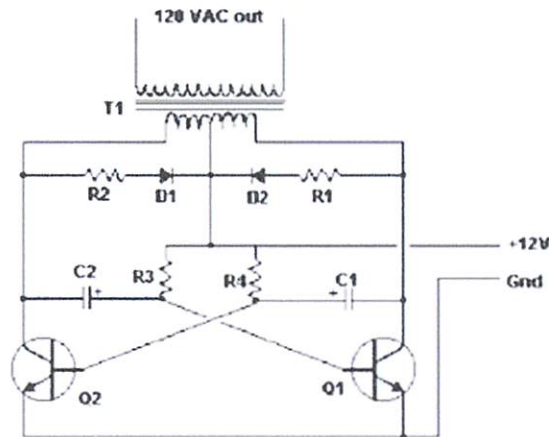
a



b

Gambar 2.5. Inverter Gelombang Penuh

Contoh rangkaian inverter sederhana ditunjukkan seperti Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 2.6. Contoh rangkaian Inverter

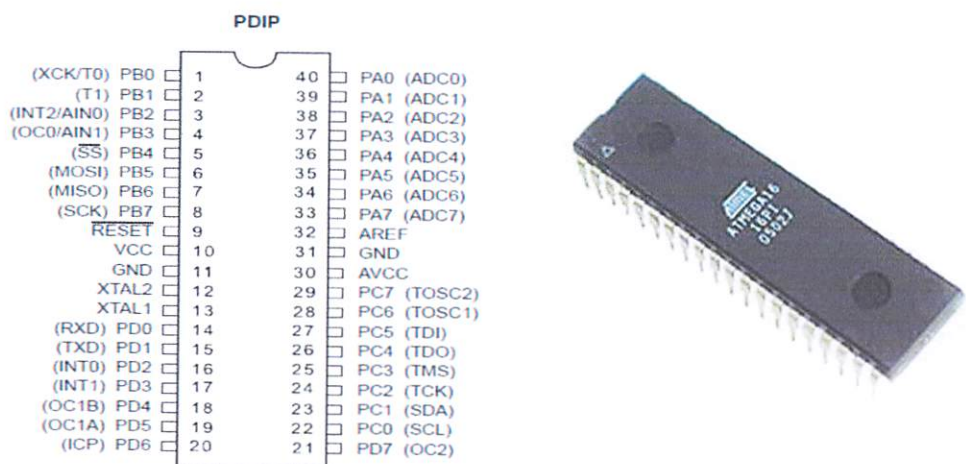
2.2. Mikrokontroller Atmega 16

Mikrokontroler AVR adalah mikrokontroler RISC 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain, keunggulan AVR yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus clock, lebih cepat

dibandingkan MCS51 yang membutuhkan 12 siklus clock untuk mengeksekusi 1 instruksi. Mikrokontroler ATmega16 memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, Timer/Counter, Watchdog Timer, PWM, Port I/O, komunikasi serial, Komparator, I2C, dll).

Berikut ini merupakan beberapa spesifikasi ATmega16:

1. Arsitektur RISC dengan throughput mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 Mhz.
2. Memiliki kapasitas flash memori 16Kbyte, EEPROM 512 Byte, dan SRAM 1Kbyte
3. Saluran Port I/O sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D.
4. CPU yang terdiri atas 32 buah register
5. User interupsi internal dan eksternal
6. Port USART sebagai komunikasi serial
7. Konsumsi daya rendah (DC 5V)
8. Fitur peripheral, yang terdiri dari
 - a. Tiga buah Timer/Counter dengan perbandingan
 - 2 (dua) buah Timer/Counter 8 bit dengan Prescaler terpisah dan Mode Compare
 - 1 (satu) buah Timer/Counter 16 bit dengan Prescaler terpisah, Mode Compare, dan Mode Capture
 - b. Real Time Counter dengan osilator tersendiri
 - c. 4 channel PWM
 - d. 8 channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channel
 - 7 Differential Channel hanya pada kemasan TQFP
 - 2 Differential Channel dengan Programmable Gain 1x, 10x, atau 200x
 - e. Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - f. Antarmuka SPI
 - g. Watchdog Timer dengan osilator internal
 - h. On-chip Analog Comparator



Gambar 2.7. ATmega 16

(Sumber :Datasheet Atmega16)

Konfigurasi pin ATmega16 dengan kemasan 40 pin Dual In-line Package (DIP) dapat dilihat pada gambar 2.9. Dari gambar diatas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing pin ATmega16 sebagai berikut.

1. VCC merupakan pin yang brfungsi sebagai masukan catu daya
2. GND merupakan pin Ground
3. Port A (PA0 – PA7) merupakan pin input/output dua arah (full duplex) dan selain itu merupakan pin masukan ADC
4. Port B (PB0 – PB7) merupakan pin input/output dua arah (full duplex) dan selain itu merupakan pin khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.1. Fungsi Khusus Port A

Port Pin	Alternate Function
PA7	ADC7 (ADC input channel 7)
PA6	ADC6 (ADC input channel 6)
PA5	ADC5 (ADC input channel 5)
PA4	ADC4 (ADC input channel 4)
PA3	ADC3 (ADC input channel 3)
PA2	ADC2 (ADC input channel 2)
PA1	ADC1 (ADC input channel 1)
PA0	ADC0 (ADC input channel 0)

Tabel 2.2. Fungsi Khusus Port B

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PB0	XCK (USART External Clock Input/Output) T0 (Timer/Counter0 External Counter Input)
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PB2	INT2 (External Interrupt 2 Input) AIN0 (Analog Comparator Negative Input)
PB3	OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output) AIN1 (Analog Comparator Negative Input)
PB4	(SPI Slave Select Input)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output /Slave Input)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)

(Sumber : www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/164169/ATMEL/ATMEGA16.html)

5. Port C (PC0 – PC7) merupakan pin input/output dua arah (full duplex) dan selain itu merupakan pin khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut

Tabel 2.3. Fungsi Khusus Port C

<i>Pin</i>	Fungsi Khusus
PC0	SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)
PC1	SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PC2	TCK (Joint Test Action Group Test Clock)
PC3	TMS (JTAG Test Mode Select)
PC4	TDO (JTAG Data Out)
PC5	TDI (JTAG Test Data In)
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator pin 1)
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator pin 2)

(Sumber : www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/164169/ATMEL/ATMEGA16.html)

6. Port D (PD0 – PD7) merupakan pin input/output dua arah (full duplex) dan selain itu merupakan pin khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.4.

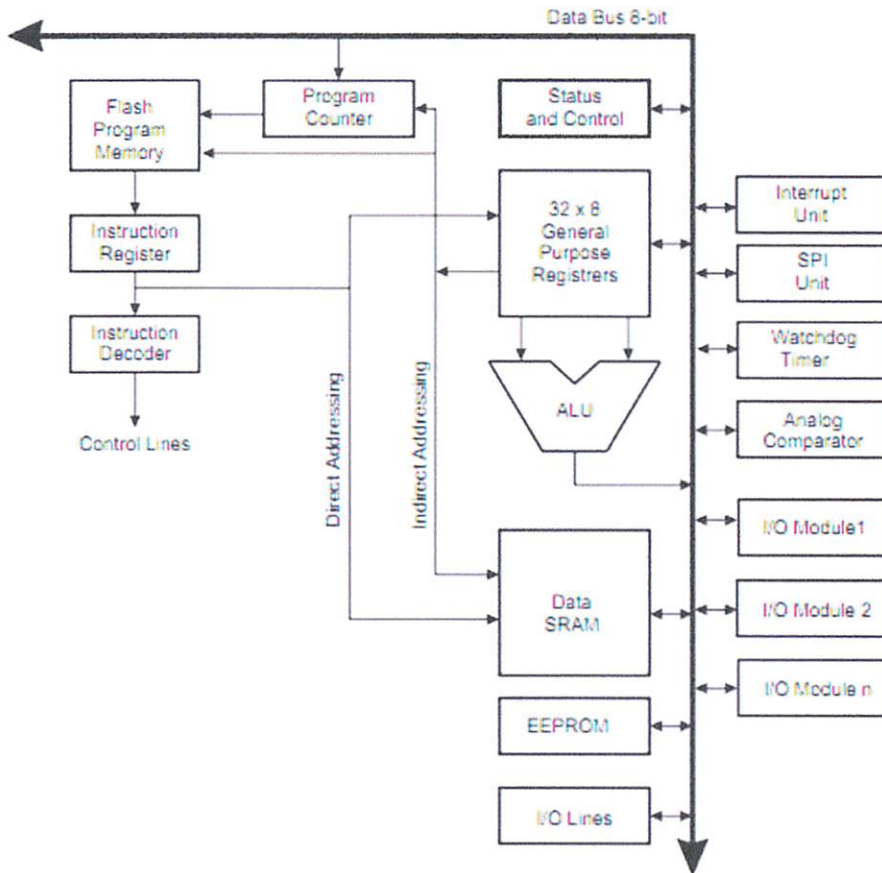
Tabel 2.4. Fungsi Khusus Port D

<i>Pin</i>	<i>Fungsi Khusus</i>
PD0	RXD (USART Input Pin)
PD1	TXD (USART Output Pin)
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input)
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input)
PD4	OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)
PD5	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)
PD6	ICP (Timer/Counter1 Input Capture Pin)
PD7	OC2 (Timer/Counter2 Output Compare Match Output)

(Sumber : www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/164169/ATMEL/ATMEGA16.html)

7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal.
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

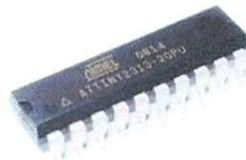
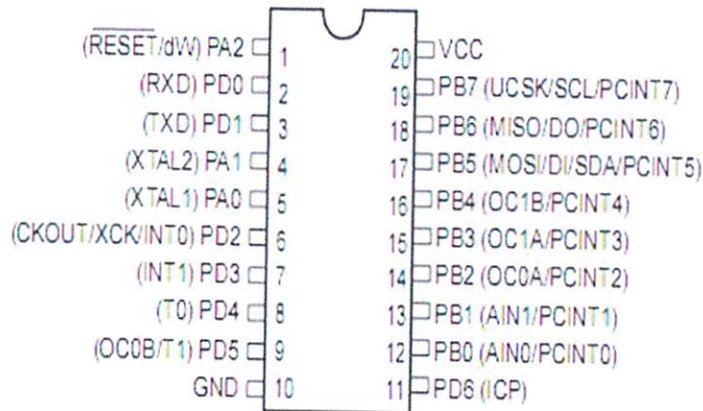
Pada gambar 2.10. di bawah ini dapat kita lihat arsitektur mikrokontroler AVR RISC yang menjelaskan bagian – bagian apa saja yang ada dalam Mikrokontroler itu sendiri.



Gambar 2.8. Arsitektur Mikrokontroler AVR RISC

2.3. ATTiny 2313

ATTiny 2313 merupakan mikrokontroler 8-bit AVR dengan kapasitas memory maksimum sebesar 2 Kbytes yang tersimpan didalam Memory Flash-nya. ATTiny 2313 merupakan chip IC produksi ATMEL yang termasuk golongan single chip microcontroller, dimana semua rangkaian termasuk memori dan I/O tergabung dalam satu paket IC. Dalam pemrogramannya controller ini dapat dijalankan menggunakan 2 bahasa yaitu bahasa Assembly atau bahasa C. Sehingga memungkinkan pengguna dapat mengoptimalkan kinerja sistem yang dibuat secara fleksibel.



Gambar2.9. ATTiny 2313

Gambar di atas merupakan konfigurasi pin dari ATTiny 2313. Secara keseluruhan memiliki total 20 pin. Berikut adalah penjelasan secara garis besar dari konfigurasi pin-pin tersebut :

a.VCC

Tegangan masukan digital sebesar 5 Volt.

b.GND

Dihubungkan pada Ground. Referensi nol suplai tegangan digital.

c. PORT A (PA0...PA2)

Pada PORT A hanya terdapat tiga(3) buah pin saja atau 3 bit pin I/O. Dimana PORT A ini, ketiga pin nya(seluruh pin PORT A) digunakan untuk keperluan membuat sismin. Yaitu PA.0 dan PA.1 untuk input clock (nama komponen adalah kristal), dan PA.2 untuk input tombol RESET.

d. PORT B (PB0...PB7)

Pada PORT B terdapat delapan(8) buah pin atau 8 bit pin I/O. Dan juga pada PORT B ini terdapat port SPI(Serial Peripheral Interface), yaitu pin

komunikasi untuk men-download program secara serial synchronous dari komputer ke mikrokontroller, pin-pin tersebut adalah MOSI(PORTB.5), MISO(PORTB.6), SCK(PORTB.7)

e. PORT D (PD0...PD6)

Pada PORT D terdapat delapan(7) buah pin atau 7 bit pin I/O.

f. RESET

Reset berfungsi untuk menyusun ulang routing program dari awal. Biasanya RESET bersifat Active Low, yaitu aktif saat logika bernilai nol "0". Sinyal LOW pada pin ini dengan lebar minimum 1,5 mikrodetik akan membawa mikrokontroler ke kondisi Reset, meskipun clock tidak running. Sinyal dengan lebar kurang dari 1,5 mikrodetik tidak menjamin terjadinya kondisi Reset.

g. XTAL 1

XTAL1 adalah masukan ke inverting oscillator amplifier dan input ke internal clock operating circuit.

h. XTAL 2

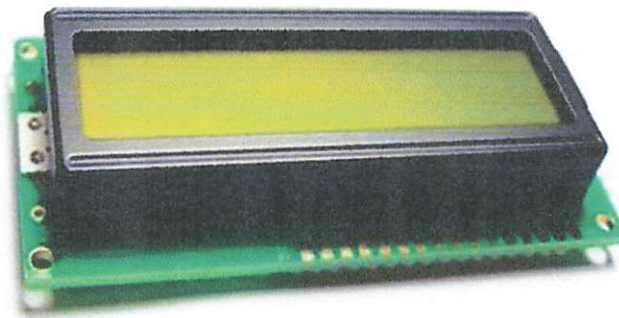
Fitur – fitur yang dimiliki ATTINY2313 adalah sebagai berikut :

1. Pengontrol mikro AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi dengan daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan throughput mencapai 20 MIPS (Millions Of Instruction per Second) pada frekuensi 20 MHz.
3. Memiliki kapasitas flash memori 2 KByte, EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 128 Byte, dan SRAM (Static Random Access Memory) 128 Byte.
4. Saluran I/O sebanyak 18 buah, yaitu Port A, Port B, dan Port D.
5. CPU yang terdiri atas 32 buah register.
6. Unit interupsi internal dan eksternal.
7. Port USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) untuk komunikasi serial.
8. Fitur Peripheral, yaitu :
 - a) Dua buah Timer/Counter dengan kemampuan perbandingan, yaitu :

- o Satu buah Timer/Counter 8 bit dengan prescaler terpisah dan mode compare.
- o Satu buah Timer/Counter 16 bit dengan prescaler terpisah, mode compare, dan mode capture.
- b) Empat kanal PWM.
- c) Antarmuka USI (Universal Serial Interface).
- d) Watchdog Timer dengan oscillator internal.
- e) On-chip Analog Comparator.
- f) Full Duplex USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter).

2.4. LCD

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu display dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan dot matriks. LCD banyak digunakan sebagai display dari alat-alat elektronika seperti kalkulator, multimeter digital, jam digital, dan sebagainya. LCD yang digunakan pada perancangan dan pembuatan alat ini adalah LCD M1632 buatan *Seiko Instrument Inc.*



Gambar 2.10. LCD 16x2

(Sumber : <http://www.emartee.com/product/41764/>)

Gambar di atas adalah konfigurasi dari pin LCD 2x16 yang terdiri dari 16 pin, yang masing-masing pin mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Berikut adalah penjelasan dari konfigurasi pin-pin LCD 2x16

Tabel 2.5. Fungsi Pin-Pin LCD 2x16

Pin	Simbol	Logika	Keterangan
1	Vss	-	Catu Daya 0 Volt (Ground)
2	Vcc	-	Catu Daya +5 Volt
3	Vee	-	Catu daya untuk LCD
4	RS	H/L	H: Masukan Data, L: Masukan Instruksi
5	R/W	H/L	H: Baca (Read), L: Tulis (Write)
6	E	H/L (L)	Enable Signal
7	DB0	H/L	Data Bit 0
8	DB1	H/L	Data Bit 1
9	DB2	H/L	Data Bit 2
10	DB3	H/L	Data Bit 3
11	DB4	H/L	Data Bit 4
12	DB5	H/L	Data Bit 5
13	DB6	H/L	Data Bit 6
14	DB7	H/L	Data Bit 7
15	V+ BL	-	Backlight 4-4,2 Volt ; 50-200 mA
16	V- BL	-	Backlight 0 Volt (ground)

LCD M1632 terdiri dari dua bagian utama. Bagian pertama merupakan panel LCD sebagai media penampil informasi dalam bentuk huruf / angka dua baris, masing-masing baris bisa menampung 16 huruf/angka. Bagian kedua merupakan sebuah sistem yang dibentuk dengan mikrokontroler yang ditempelkan dibalik panel LCD, yang berfungsi mengatur tampilan informasi serta mengatur komunikasi LCD M1632 dengan mikrokontroler. Adapun karakteristik dari LCD M1632 adalah sebagai berikut

- a. 16 karakter, dua baris tampilan kristal cair (LCD) dari matriks titik.
- b. Duty Ratio : 1/16.
- c. Room pembangkit karakter untuk 192 tipe karakter (bentuk karakter 5 x 7 matriks titik).

- d. Mempunyai dua jenis RAM, yaitu RAM pembangkit karakter dan RAM data tampilan.
- e. RAM pembangkit karakter untuk 8 tipe karakter program tulis dengan bentuk 5 x 7 matrik titik.
- f. RAM data tampilan dengan bentuk 80 x 8 matrik titik (maksimum 80 karakter).
- g. Mempunyai pembangkit *clock* internal.
- h. Sumber tegangan tunggal +5 volt.
- i. Rangkaian otomatis reset saat daya dinyalakan.
- j. Jangkauan suhu pengoperasian 0 sampai 50 derajat.

2.5. Keypad

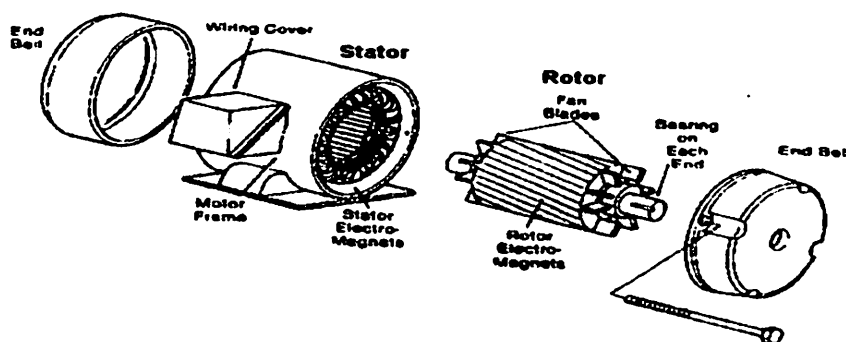
Keypad atau papan kecil adalah penghubung antara pemakaian dengan alat pengendali yang dibuat. Keypad yang dipakai mempunyai 12 tombol yang tersusun dalam bentuk matrik 3 x 4. Tombol-tombol ini dipakai untuk menjalankan berbagai fungsi pengendalian seperti misalnya untuk on/off dan pilihan menu.



Gambar 2.11 Keypad 4X4

2.6. Motor Listrik

Motor listrik arus bolak-balik diklasifikasikan dengan dasar prinsip pengoperasian sebagai motor asinkron (induksi) atau motor sinkron. Motor induksi adalah jenis motor dimana tidak ada tegangan eksternal yang diberikan pada rotornya, tetapi arus pada stator menginduksikan tegangan pada celah udara dan pada lilitan rotor untuk menghasilkan arus rotor dan medan magnet. Medan magnet stator dan rotor kemudian berinteraksi dan menyebabkan rotor motor berputar. Gambar 2.1 menunjukkan gambar dari motor induksi.



Gambar 2.12 Motor Induksi

Motor listrik memiliki 2 komponen listrik utama yaitu:

a. Rotor, motor induksi menggunakan 2 jenis rotor:

1. Rotor sangkar tupai, terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak *slot* paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek
2. Rotor belitan, yang memiliki gulungan 3 fasa, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fasa digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.

b. Stator. Stator dibuat dari sejumlah *stampings* dan *slots* untuk membawa gulungan tiga fasa. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat.

2.6.1. Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi dapat diklsifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

- a. Motor induksi satu fasa. Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, meiliki sebuah motor sangkar tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4HP.
- b. Motor induksi tiga fasa. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat berupa sangkar tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor sangkar tupai), dan penyalan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini. Sebagai contoh pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan *grinder*. Tersedia dalam ukuran 1/3 atau ratusan HP.

Motor induksi tiga fasa membuat medan putar yang dapat menstart motor, motor satu fasa memerlukan alat pembantu starting. Pada saat motor induksi satu fasa berputar, motor membangkitkan medan magnet putar. Motor induksi satu fasa lebih besar ukurannya untuk HP yang sama dibandingkan dengan motor tiga fasa, motor satu fasa mengalami pembatasan pemakaian dimana daya tiga fasa tidak ada. Apabila berputar, torsi yang dihasilkan oleh motor satu fasa adalah berpulsa dan tidak teratur, yang mengakibatkan faktor daya dan efisiensi yang rendah dibandingkan dengan motor banyak fasa.

2.6.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja dari motor induksi adalah sebagai berikut:

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan n .
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul ggl induksi sebesar: $E_x 100\%$ 9. Bila

$n_s = \frac{f}{p} = 4,44 \text{ f}_2 N_2$ (untuk satu fasa) E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, $ggl(E)$ akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Seperti telah dijelaskan pada (3) tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).
8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut *slip* (S) dinyatakan dengan: $S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel.
9. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .
10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga motor tak serempak atau asinkron.

[3] Sumber www.google.com (teori dasar motor AC) diakses 25 Oktober 2012

2.6.3. Motor Universal

Motor universal merupakan suatu motor seri yang mempunyai kemampuan bekerja dengan tegangan masukan ac maupun tegangan masukan dc. Pengaturan starting motor universal dapat dilakukan dengan mengatur tegangan input pada motor universal. Untuk menghasilkan tegangan bolak balik maupun tegangan searah yang bervariasi untuk suplai daya motor universal terdapat beberapa alternatif diantaranya dengan menggunakan rangkaian AC atau DC terkontrol maupun rangkaian AC atau DC tak terkontrol.

2.7. MOSFET

Mosfet (*metal oxide semiconductor field effect transistor*) berbeda dengan Jfet karena terminal gerbang terisolasi dari kanalnya oleh suatu lapisan silikon dioksida. Lapisan ini akan memperbesar impedansi masukan, sampai 10^{10} ohm atau lebih, yang tetap terjaga untuk berbagai harga dan polaritas tegangan gerbang-sumber. Jadi, berbeda dengan Jfet, impedansi masukan mosfet tak tergantung pada panjang mundur pertemuan P-N.

Terdapat 2 jenis mosfet : tipe hampa dan berisi. Pada kedua jenis mosfet ini, masing-masing terdiri dari kanal N dan kanal P, sehingga seluruhnya terdapat 4 jenis mosfet.

a. Mosfet tipe hampa (*Depletion Type*)

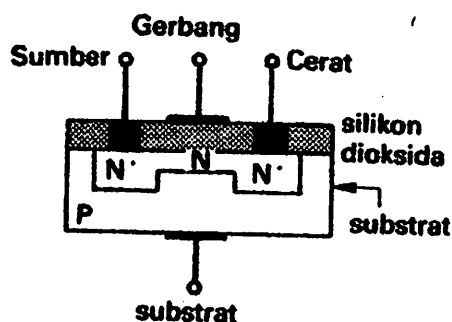
Konstruksi lengkap Mosfet mode hampa kanal-N disajikan pada Gambar 2.19. Dua sisi N^+ injeksi tinggi didifusikan pada substrat tipe-P injeksi rendah dan digabungkan dengan kanal tipe-N injeksi relatif rendah.

Terminal gerbang merupakan lempeng aluminium yang terisolasi dari kanalnya oleh suatu lapisan silikon dioksida. Hubungan juga dibuat antara lempeng aluminium yang lain dengan substratnya sendiri. Pada kebanyakan mosfet, terminal substrat terhubung dengan terminal sumber, tetapi kadangkala juga dibuat hubung-luas. Sustrat harus selalu dijaga pada potensial negatif relatif terhadap cerat untuk menjamin bahwa kanal substrat pertemuan P-N pada konsidi terpanjang mundur.

Keinginan seperti ini dapat dipenuhi dengan cara menghubungkan substrat dengan sumber. Lapisan hampa akan melebar di kanal, sampai beberapa besar, tergantung pada tegangan cerat-sumber. Karena adanya penurunan tegangan pada resistansi kanal oleh arus cerat, maka lapisan hampa diusahakan lebih melebar mendekati sumber. Resistansi kanal tergantung pada kedalaman lapisan hampa menembus kanal. Dengan tegangan nol yang diberikan pada terminal gerbang, ketika tegangan cerat-sumber diperbesar, arus cerat pada awalnya akan membesar, tetapi ketika lapisan hampa meluas mendekati ujung serat kanal, maka arus cerat menjadi lebih kurang konstan dengan diperbesarnya lagi tegangan cerat sumber.

Resistansi kanal, dan juga arus cerat, dari mosfet tipe hampa dapat juga dikontrol oleh tegangan yang diberikan pada gerbang. Tegangan positif pada gerbang akan menarik elektron menuju kanal sisi injeksi N^+ pada salah satu ujungnya. Jumlah elektron bebas cukup untuk menaikkan konduksi di kanal sehingga resistansi kanal akan mengecil. Berkurangnya resistansi kanal tentu saja akan diikuti dengan membesarnya arus cerat saat tegangan tetap diberikan antara terminal cerat dan sumber. Kenaikan tegangan gerbang positif akan memperbesar arus cerat yang mengalir saat tegangan cerat sumber sedemikian besar, mencukupi untuk memperluas lapisan hampa ujung cerat dari kanal. Sebaliknya, jika gerbang dijaga pada potensial negatif relatif terhadap sumber, elektron akan tertolak dari kanal ke sisi N^+ . Pengecilan jumlah elektron bebas akan memperbesar konduksi di kanal, maka resistansi kanal akan membesar. Arus cerat yang mengalir saat lapisan hampa meluas di kanal tergantung pada resistansi kanal.

Dengan demikian arus cerat suatu mosfet tipe hampa dapat dikontrol oleh tegangan yang dikenakan diantara terminal-terminal gerbang dan sumbernya.



Gambar 2.13. Konstruksi Mosfet Tipe Hampa Kanal-N

(Sumber : Green, DC. 1987. *Pedoman Elektronika II*)

b. Mosfet tipe berisi (*Enhancement type*)

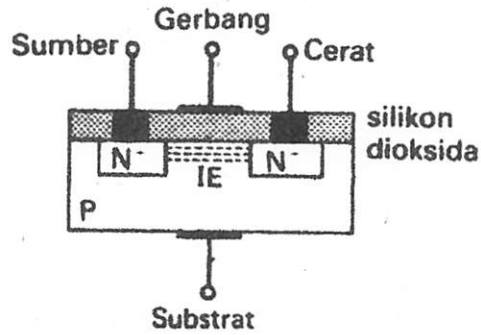
Konstruksi mosfet tipe berisi disajikan pada Gambar 2.20. terminal gerbang diisolasi dari kanalnya oleh suatu lapisan silikon dioksida, dan terminal substrat dihubungkan dengan terminal sumber, untuk mempertahankan kanal substrat pertemuan P-N pada kondisi terpanjar terbalik. Dapat terlihat bahwa kanal tak terjadi diantara sisi sumber N^+ dan cerat, dengan demikian arus cerat

yang mengalir saat tegangan gerbang-sumber sama dengan nol adalah sangat kecil. Tetapi, jika ada suatu tegangan yang dikenakan diantara terminal-terminal gerbang dan sumber, yang membuat terminal gerbang relatif positif terhadap sumber, maka suatu kanal maya akan terbentuk. Tegangan gerbang yang positif akan menarik elektron menuju sisi di bawah gerbang dan menghasilkan kanal tipe N (terlihat pada gambar), yang memungkinkan adanya aliran arus cerat. Tegangan positif yang harus dikenakan pada gerbang untuk menghasilkan kanal maya disebut sebagai tegangan ambang dan umunya sekitar 2 Volt. Setelah kanal maya terbentuk, arus cerat yang mengalir tergantung pada magnituda tegangan-tegangan gerbang-sumber dan cerat-sumber. Kenaikan tegangan gerbang-sumber sampai di atas harga ambangnya akan menarik lebih banyak elektron menuju kanal, dan akibatnya akan memperkecil resistansi kanal. Arus cerat akan menimbulkan penuruna tegangan pada kanal dan seperti pada tipe fet lainnya. Penyumbatan akan terjadi untuk suatu besar tegangan cerat tertentu. Pada suatu harga tegangan gerbang-sumber tertentu, arus cerat akan membesar dengan membesarnya tegangan sumber-cerat di atas batas penyumbatan, dan kemudian akan terjaga kurang lebih konstan.

Arus cerat mosfet dapat dikontrol oleh suatu tegangan yang dikenakan diantara terminal-terminal gerbang dan sumber. Jika arus cerat kemudian dilewatkan pada suatu resistor, penguatan tegangan akan diperoleh.

Susunan dasar penguat mosfet mirip rangkaian Jfet yang disajikan pada Gambar 2.20. dan operasinya juga sama. Parameter-parameter suatu mosfet, sama dengan pada Jfet : konduktansi gandeng g_m , resistansi cerat-sumber r_{ds} dan resistansi masukan R_{IN} . Umumnya g_m sekitar 1 sampai 10 mS, r_{ds} sekitar 5 sampai 50 K ohm, dan R_{IN} adalah 10^{10} ohm atau lebih.

Patut dicatat, bahwa konduktansi gandeng mosfet mendekati konduktansi gandeng Jfet, tetapi resistansi cerat sumber lebih kecil dan resistansi masukannya lebih besar.

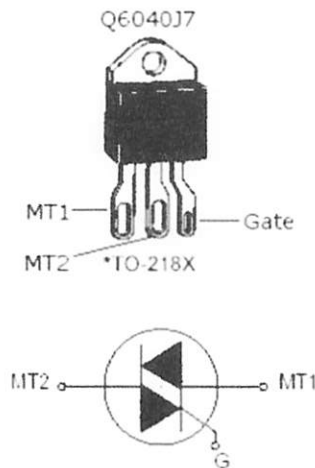


Gambar 2.14. Konstruksi Mosfet Tipe Berisi Kanal-N Elektron yang Terimbas Membentuk Kanal Maya bila Tegangan Gerbang Positif

(Sumber : Green, DC. 1987. Pedoman Elektronika II)

2.8. TRIAC

Triac merupakan komponen semikonduktor yang tersusun atas diode empat lapis berstruktur p-n-p-n dengan tiga p-n junction. Triac memiliki tiga buah elektrode, yaitu : gate, MT1, MT2. Triac biasanya digunakan sebagai pengendali dua arah (bi-directional).



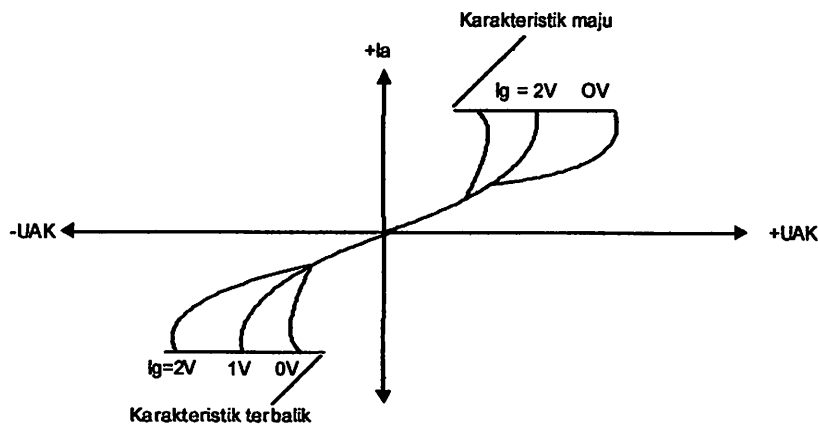
Gambar2.15. triac

Triac akan tersambung (on) ketika berada di quadran I yaitu saat arus positif kecil melewati terminal gate ke MT1, dan polaritas MT2 lebih tinggi dari MT1, saat triac terhubung dan rangkaian gate tidak memegang kendali, maka triac tetap tersambung selama polaritas MT2 tetap lebih tinggi dari MT1 dan arus yang mengalir lebih besar dari arus genggamnya (holding current/ I_h), dan triac juga

akan tersambung saat arus negatif melewati terminal gate ke MT1, dan polaritas MT1 lebih tinggi dari MT2, dan triac akan tetap terhubung walaupun rangkaian gate tidak memegang kendali selama polaritas MT1 lebih tinggi dari MT2. Selain dengan cara memberi pemicuan melalui terminal gate, triac juga dapat dibuat tersambung (on) dengan cara memberikan tegangan yang tinggi sehingga melampaui tegangan breakover-nya terhadap terminal MT1 dan MT2, namun cara ini tidak diizinkan karena dapat menyebabkan triac akan rusak. Pada saat triac tersambung (on) maka tegangan jatuh maju antara terminal MT1 dan MT2 sangatlah kecil yaitu berkisar antara 0.5 volt sampai dengan 2 volt

Karakteristik Triac

Triac dapat dipandang SCR yang simetris . Karena kurva karakteristiknya tidak ada perbedaan antara karakteristik maju dan karakteristik terbalik (lihat gambar 3) .



Gambar.2.16 Karakteristik Triac

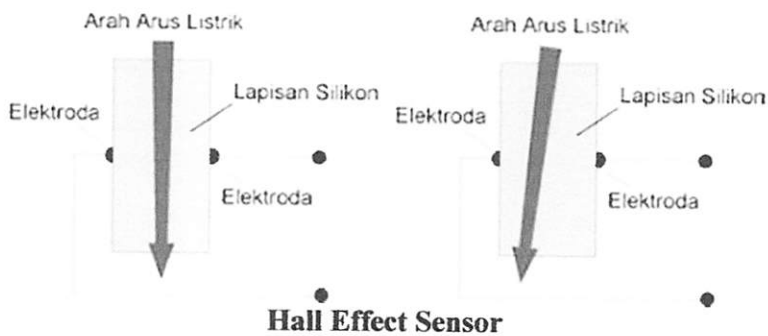
Bila diperhatikan gambar diatas, terlihat bahwa karakteristik maju dan karakteristik terbalik Triac tidak ada perbedaan. Tegangan tembus (break over) dapat diatur dengan mengatur arus gate seperti halnya pada SCR. jadi arus Triac akan mengalir dengan mengatur arus gatenya .

2.9. Sensor Hall Effect

Hall effect sensor merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Hall Effect sensor akan menghasilkan sebuah tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut.

Pendeteksian perubahan kekuatan medan magnet cukup mudah dan tidak memerlukan apapun selain sebuah inductor yang berfungsi sebagai sensornya. Kelemahan dari detektor dengan menggunakan induktor adalah kekuatan medan magnet yang statis (kekuatan medan magnetnya tidak berubah) tidak dapat dideteksi.

Oleh sebab itu diperlukan cara yang lain untuk mendeteksinya yaitu dengan sensor yang dinamakan dengan '*hall effect*' sensor. Sensor ini terdiri dari sebuah lapisan silikon yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik.



Sensor hall effect ini hanya terdiri dari sebuah lapisan silikon dan dua buah elektroda pada masing-masing sisi silikon. Hal ini akan menghasilkan perbedaan tegangan pada outputnya ketika lapisan silikon ini dialiri oleh arus listrik. Tanpa adanya pengaruh dari medan magnet maka arus yang mengalir pada silikon tersebut akan tepat ditengah-tengah silikon dan menghasilkan tegangan yang sama antara elektrode sebelah kiri dan elektrode sebelah kanan sehingga menghasilkan tegangan beda tegangan 0 volt pada outputnya.

Ketika terdapat medan magnet mempengaruhi sensor ini maka arus yang mengalir akan berbelok mendekati/menjauhi sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet. Ketika arus yang melalui lapisan silikon tersebut mendekati sisi silikon sebelah kiri maka terjadi ketidak seimbangan tegangan output dan hal ini akan menghasilkan sebuah beda tegangan di outputnya.

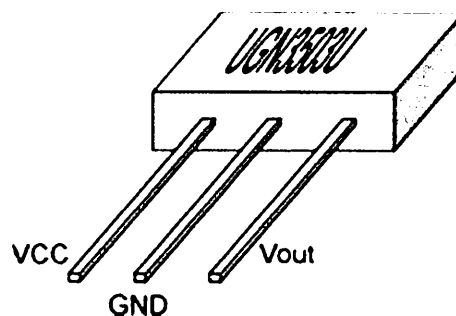
Semakin besar kekuatan medan magnet yang mempengaruhi sensor ini akan menyebabkan pembelokan arus di dalam lapisan silikon ini akan semakin besar dan semakin besar pula ketidakseimbangan tegangan antara kedua sisi lapisan silikon pada sensor. Semakin besar ketidakseimbangan tegangan ini akan menghasilkan beda tegangan yang semakin besar pada output sensor ini.

Arah pembelokan arah arus pada lapisan silikon ini dapat digunakan untuk mengetahui polaritas kutub medan *hall effect* sensor ini. Sensor *hall effect* ini dapat bekerja jika hanya salah satu sisi yang dipengaruhi oleh medan magnet. Jika kedua sisi silikon dipengaruhi oleh medan magnet maka arah arus tidak akan dipengaruhi oleh medan magnet itu. Oleh sebab itu jika kedua sisi silikon dipengaruhi oleh medan magnet yang mempengaruhi magnet maka tegangan outputnya tidak akan berubah.

Pin 1 : VCC, pin tegangan suplai

Pin 2 : GND, pin ground

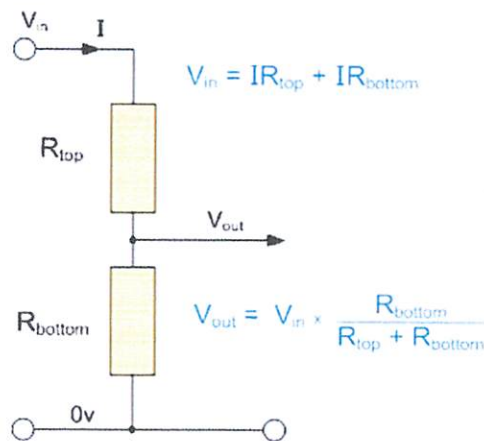
Pin 3 : Vout, pin tegangan output.



Gambar 2.17 Sensor hall effect

2.10. Sensor Tegangan

Pembagi Tegangan (*voltage divider*) Menghubungkan resistor seri seperti ini pada tegangan DC memiliki satu keuntungan, tegangan yang berbeda muncul di setiap resistor menghasilkan sebuah rangkaian yang disebut Rangkaian Pembagi Tegangan. Rangkaian yang ditunjukkan di atas adalah pembagi tegangan sederhana di mana tiga 1V, 2V dan 6V dihasilkan dari satu *supply* tegangan baterai 9V. Hukum tegangan Kirchoff menyatakan bahwa " tegangan dalam rangkaian tertutup sama dengan jumlah semua tegangan (IR) di seluruh rangkaian". Rangkaian dasar Resistor Seri sebagai Pembagi Tegangan dapat dilihat pada Gambar rangkaian dibawah ini;



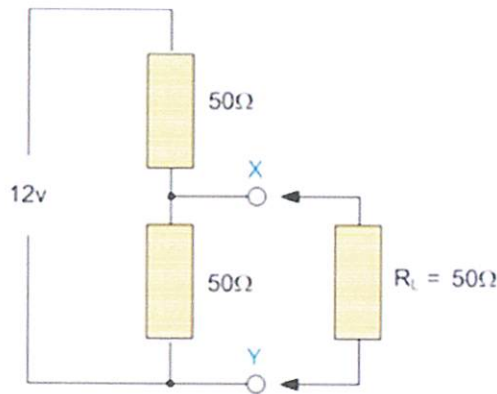
Gambar 2.18. Rangkaian Pembagi Tegangan

(Sumber : <http://electronical-instrument.blogspot.com/2010/06/rangkaian-pembagi-tegangan.html>)

Dalam rangkaian dua resistor yang dihubungkan secara seri melalui V_{in} , yang merupakan tegangan listrik yang terhubung ke resistor, R_{top} , di mana tegangan keluaran V_{out} adalah tegangan resistor R_{bottom} yang diberikan oleh formula. Jika lebih resistor dihubungkan secara seri pada rangkaian maka tegangan yang berbeda akan muncul di setiap resistor berkaitan dengan masing-masing hambatan R ($I \times R$ Hukum Ohm) menyediakan tegangan berbeda dari satu sumber pasokan/catudaya. Namun, harus berhati-hati ketika menggunakan

jaringan jenis ini sebagai impedansi karena dapat mempengaruhi tegangan keluaran. Sebagai contoh;

Misalkan Anda hanya memiliki 12V DC *supply* dan rangkaian Anda yang memiliki impedansi 50Ω memerlukan pasokan 6V. Menghubungkan dua nilai yang sama resistor, misalkan masing-masing 50Ω bersama-sama sebagai sebuah jaringan pembagi potensial di 12V akan mendapatkan hasil yang diharapkan baik sampai anda menambahkan beban rangkaian kedalam jaringan.. Hal ini ditunjukkan seperti rangkaian di bawah ini:



a) Without R_L connected

$$R_{X-Y} = 50\Omega$$

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_{bottom}}{R_{top} + R_{bottom}}$$

$$V_{out} = 12v \times \frac{50}{50 + 50} = 6v$$

b) With R_L connected

$$R_{X-Y} = 25\Omega \text{ (Resistors in Parallel)}$$

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_{bottom}}{R_{top} + R_{bottom}}$$

$$V_{out} = 12v \times \frac{25}{50 + 25} = 4v$$

Gambar 2.19. Contoh Rangkaian Pembagi Tegangan

Seperti yang dapat Anda lihat dari atas, V_{out} tegangan output tanpa resistor beban terhubung memberikan kita yang diperlukan yakni 6V, tapi tegangan output yang sama pada saat beban V_{out} terhubung turun menjadi hanya 4V, (Resistor dalam Paralel). Maka tegangan keluaran V_{out} ditentukan oleh rasio V_{top} untuk V_{bottom} dengan efek mengurangi level tegangan sinyal atau dikenal sebagai *Attenuation* sehingga harus berhati-hati bila menggunakan jaringan pembagi potensial. Semakin tinggi beban impedansi menimbulkan efek pembebanan pada output.

Sebuah resistor variabel, potensiometer atau sering disebut juga Pot, adalah contoh yang baik dari multi-resistor pembagi tegangan. Pengaturan dengan memutar/menggeser tombol pada potensiometer akan menghasilkan Resistansi yang berbeda pada kaki resistor sehingga akan menghasilkan tegangan keluaran yang kita harapkan dengan lebih akurat.

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini dibahas mengenai peralatan yang direncanakan dan akan dibuat sesuai dengan fungsinya. Spesifikasi dan data komponen yang digunakan dalam perencanaan diambil dari data sheet komponen yang bersangkutan. Pemilihan komponen dalam perencanaan disesuaikan dengan komponen yang tersedia di pasaran lokal.

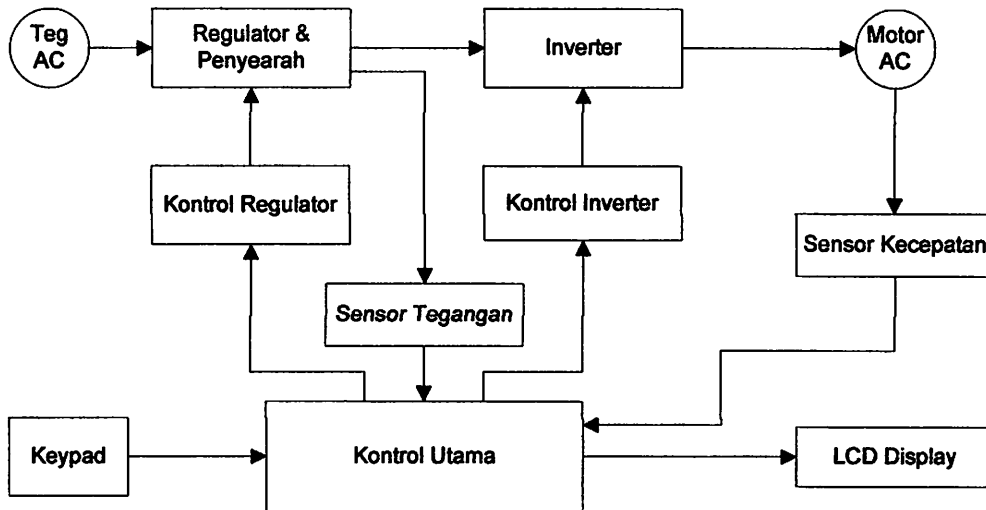
Metode pembuatan inverter untuk mengatur kecepatan putar motor induksi satu fasa dalam penelitian ini dilakukan dengan cara merancang sistem perangkat keras (hardware) atau rangkaian Mikrokontroler yang mampu mengontrol frekuensi dan tegangan dalam mengendalikan kecepatan putaran motor induksi satu fasa . Perangkat keras terdiri dari sensor kecepatan putaran motor, LCD sebagai layar tampilan frekuensi, tegangan dan putaran, dan mikrokontroler ATmega 16 yang diberi keypad sebagai masukan data untuk frekuensi dan tegangan untuk menentukan kecepatan motor, serta mikrokontroler Attiny 2313 untuk mengatur frekuensi pada inverter dan mengatur tegangan pada regulator.

Tahapan terakhir adalah perancangan perangkat lunak (software) untuk mikrokontroler sebagai pengendali sistem hardware, untuk selanjutnya akan dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari seluruh aspek teoritis dari berbagai referensi agar diperoleh suatu inverter yang dapat mengatur kecepatan putar motor induksi satu fasa dengan pengaturan frekuensi dan tegangan.

3.2 Blok Diagram Sistem

Pada perancangan inverter untuk mengatur kecepatan motor induksi digambarkan dalam diagram blok sistem yang ditunjukkan pada gambar 3.1, dimana pengaturan kecepatan akan ditentukan oleh angka atau kode yang dimasukkan melalui Keypad dan ditampilkan pada LCD Display. Sedangkan yang menentukan pengaturan secara keseluruhan berada pada bagian Kontrol Utama,

baik penentuan tegangan melalui bagian regulator maupun penentuan frekuensi pada bagian inverter.



Gambar 3.1. Diagram Blok Rangkaian Pengatur Kecepatan Motor AC.

Fungsi tiap-tiap blok diagram dijelaskan sebagai berikut:

1. Tegangan AC adalah sumber tegangan dari jala-jala listrik PLN yang diperoleh dengan menghubungkan Alat yang dibuat ke sumber tegangan listrik PLN yang ada.
2. Regulator dan Penyearah. Regulator adalah pengatur tegangan dengan komponen utama TRIAC, untuk mengatur besarnya tegangan yang akan masuk ke penyearah, dengan cara mengatur penundaan penyulutan pada gate TRIAC. Sedangkan Penyearah digunakan untuk merubah tegangan AC yang sudah diatur besar tegangannya menjadi tegangan DC.
3. Inverter. Inverter adalah bagian yang berfungsi untuk merubah tegangan DC yang diperoleh dari rangkaian regulator dan penyearah, menjadi tegangan AC dengan sistem pensaklaran pada MOSFET, yang merupakan komponen utama pada Inverter.
4. Motor AC. Motor AC adalah motor induksi satu fasa dengan rotor sangkar tupai dan motor satu fasa dengan rotor belit yang sering disebut sebagai motor universal. Motor AC ini berfungsi untuk menguji apakah alat yang dibuat sudah dapat berfungsi dengan baik atau belum, dalam arti bahwa kedua jenis motor ini dapat diatur kecepatan putarnya sesuai dengan kebutuhan pengguna.

5. Keypad. Keypad adalah sebuah rangkaian tombol yang tersusun yang terdiri dari beberapa simbol baik berupa huruf maupun angka, yang dipergunakan untuk memasukkan kode sebagai input dari beberapa proses berikutnya.
6. Kontrol Utama. Kontrol utama merupakan rangkaian elektronika dengan komponen utama mikro kontroler Atmega 16, yang berfungsi sebagai pengendali dari besarnya frekuensi dan tegangan dari alat yang dibuat dan untuk menentukan kecepatan motor sesuai keinginan pengguna, dengan cara memasukkan kode-kode tertentu melalui keypad.
7. LCD Display merupakan suatu alat yang dapat menampilkan karakter ASCII sehingga dapat menampilkan campuran huruf dan angka sekaligus untuk menampilkan output tegangan, frekuensi dan kecepatan motor yang diperoleh.
8. Kontrol Regulator merupakan suatu rangkaian dengan komponen utama berupa mikro kontroler Attiny 2313, yang berfungsi untuk menentukan penundaan penyulutan TRIAC untuk mengatur besarnya tegangan AC yang dapat melalui TRIAC pada bagian Regulator dan penyearah.
9. Sensor Tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan yang dihubungkan ke output penyearah, untuk mengetahui besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh bagian regulator dan penyearah, dan menyampaikan informasinya ke bagian kontrol utama untuk mengatur tegangan keluarannya sesuai dengan setelan yang sudah diatur oleh pengguna pada bagian kontrol utama.
10. Kontrol Inverter merupakan rangkaian dengan komponen utama attiny 2313 yang berfungsi mengatur waktu penyalaan Mosfet pada bagian Inverter. Sehingga Inverter dapat bekerja pada frekuensi sesuai setelan yang telah diatur oleh pengguna pada bagian Kontrol Utama.
11. Sensor kecepatan adalah rangkaian yang terdiri dari komponen sensor Hall Effect, untuk mengetahui kecepatan putar motor yang dihubungkan dengan output Inverter. Sensor ini berkerja pada saat ada medan magnet yang mendekat kepadanya. Sedangkan magnet yang dideteksi dipasang pada puli yang ada di motor AC.

3.3 Prinsip Kerja Alat.

Pada saat alat dihubungkan dengan jala-jala listrik dari PLN, maka arus listrik mengalir menuju ke rangkaian elektronika pada alat ini. Tegangan yang masuk akan diatur oleh bagian Regulator sesuai setelan yang sudah di set pada bagian kontrol regulator, kemudian diubah menjadi DC oleh rangkaian penyearah. Tegangan DC yang keluar dari penyearah akan dideteksi oleh sensor tegangan yang dihubungkan dengan bagian kontrol utama, untuk dicek besarnya tegangan yang dihasilkan, dan kontrol utama akan mengatur tegangan yang keluar sesuai dengan setelan awal. Bila tegangan yang dihasilkan lebih besar dari setelan, maka kontrol utama akan memberikan instruksi kepada kontrol regulator untuk mengurangi tegangan output bagian regulator dan penyearah, demikian juga sebaliknya, apabila tegangan output yang diperoleh lebih kecil dari setelan awal, maka kontrol utama akan memberikan instruksi agar kontrol regulator menambah tegangan output dari bagian regulator dan penyearah.

Arus DC yang dihasilkan bagian regulator dan penyearah kemudian masuk ke bagian Inverter, dimana terdapat Mosfet yang bekerja sebagai saklar yang bekerja bergantian sehingga diharapkan dapat dirubah menjadi arus AC, atau menyerupai arus AC. Kerja pensaklaran Mosfet pada bagian Inverter ini ditentukan oleh bagian Kontrol Inverter, yang akan menentukan kecepatan pensaklaran setiap Mosfet yang ada bagian Inverter. Sedangkan frekuensi pensaklaran Mosfet di tentukan pada bagian Kontrol Utama.

Arus AC yang dihasilkan oleh bagian Inverter kemudian digunakan untuk menggerakkan Motor Induksi, dan kecepatan motor induksi ini dideteksi dengan menggunakan sensor kecepatan, untuk mengetahui kecepatan yang diperoleh oleh motor induksi tersebut.

Apabila pengguna menginginkan kecepatan yang berbeda-beda, pengguna dapan mengatur ulang setelan alat ini dengan cara merubah setelan melalui bagian keypad, dengan cara memasukkan kode tegangan dan frekuensi yang diinginkan oleh pengguna melalui keypad yang telah disediakan.

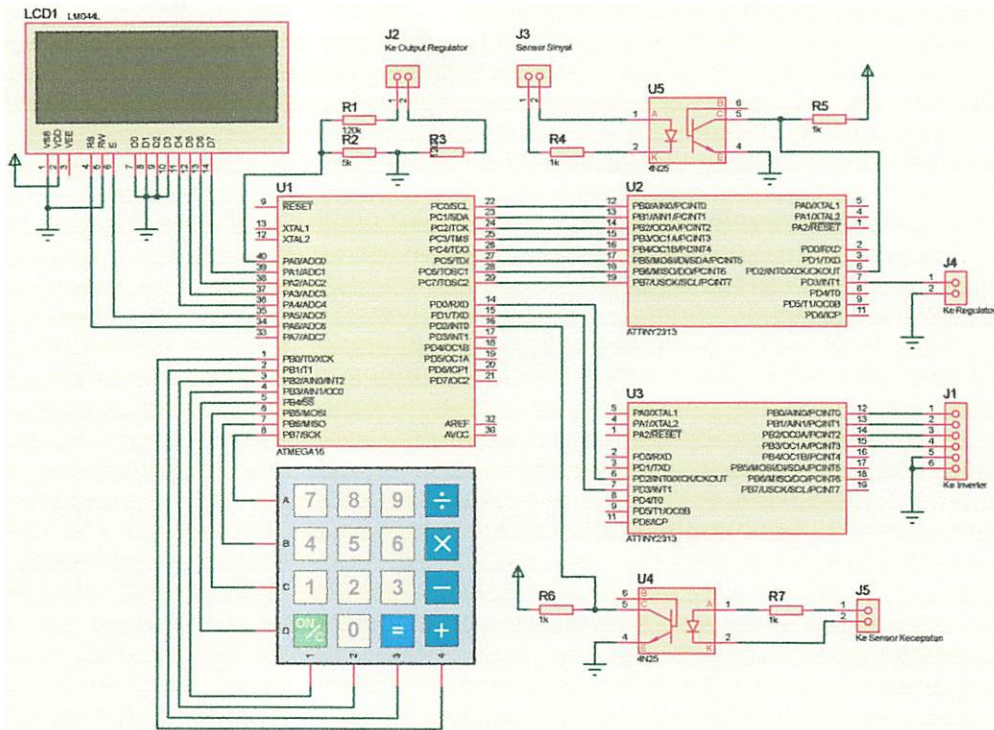
3.4 Perancangan Perangkat Keras.

3.4.1 Perancangan Rangkaian Kontrol.

Rangkaian kontrol terdiri dari kontrol utama, kontrol regulator dan kontrol inverter, dimana kontrol utama menggunakan komponen berupa mikrokontroler Atmega 16, kontrol regulator dan kontrol inverter masing masing menggunakan sebuah mikrokontroler Attiny 2313. Seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.

Mikrokontroler Atmega 16 pada kontrol utama memiliki empat Port, dimana enam pin pada Port A, yaitu pin A1 sampai pin A6 dihubungkan ke LCD dan satu pin yaitu pin A0 untuk fungsi ADC sebagai pendeteksi tegangan yang nantinya akan dihasilkan oleh rangkaian regulator dan penyearah. Port B dihubungkan dengan Keypad untuk memasukkan instruksi-instruksi berupa setelan tegangan dan frekuensi yang diinginkan pengguna. Port C dihubungkan dengan bagian Kontrol Regulator, dalam hal ini melalui Port B Attiny 2313, untuk memberikan instruksi setelan tegangan yang diinginkan untuk output bagian regulator dan penyearah. Sedangkan Port D pin 0 dan 1, dihubungkan dengan bagian Kontrol Inverter, untuk memberikan instruksi besarnya frekuensi yang diinginkan. Dan Port D pin 2 digunakan sebagai input dari sensor kecepatan motor, melalui sebuah optocoupler 4N25.

Pada bagian Kontrol Regulator, Mikrokontroler Attiny 2313, dalam gambar 3.2 disebut sebagai komponen U2, Port B digunakan untuk menerima intruksi dari Kontrol Utama yaitu U1 (Atmega 16) berupa data paralel setelan tegangan yang diinginkan. Port D pin 2 digunakan untuk mendeteksi pulsa yang dihasilkan oleh optocoupler U5 sebagai *zero crossing detector*, untuk menentukan waktu penundaan penyulutan TRIAC pada bagian Regulator, melalui jalur output pada Port D pin 3.

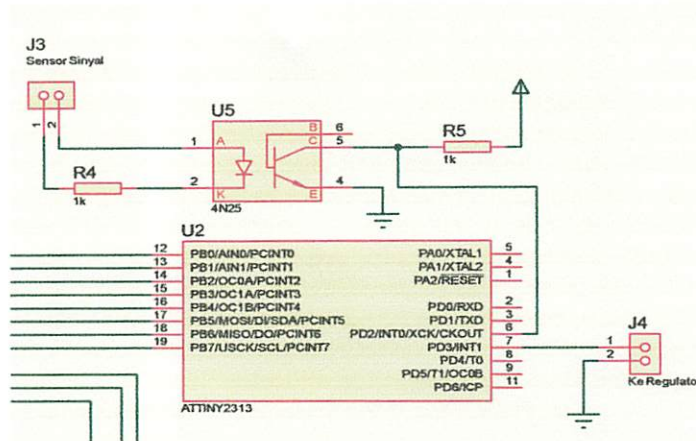


Gambar 3.2 Rangkaian Kontrol

Pada bagian Kontrol Inverter menggunakan mikrokontroler Attiny2313 (U3) dengan menggunakan Port D pin 2 dan 3 sebagai input dari bagian Kontrol Utama, berupa data serial instruksi setelah frekuensi yang diinginkan pengguna. Dan output melalui Port B pin 0 sampai pin 3.

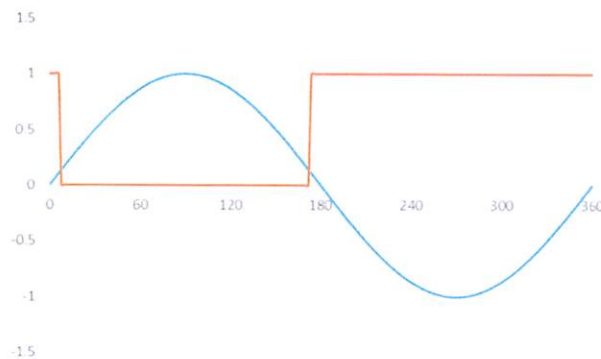
3.4.2 Perancangan Rangkaian Regulator dan Penyearah.

Rangkaian regulator menggunakan komponen utama berupa TRIAC, sedangkan penyearah menggunakan empat buah diode yang dipasang secara hubungan jembatan / bridge.



Gambar 3.3 Rangkaian Kontrol Regulator

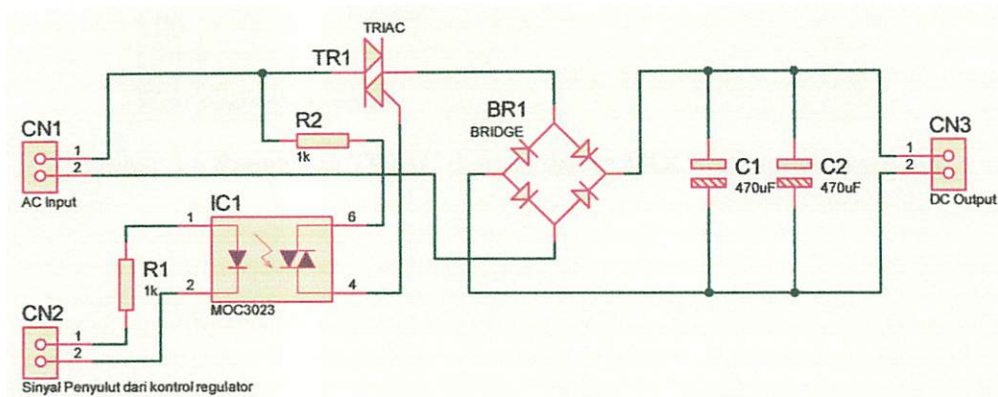
Proses dimulai ketika U5 seperti ditunjukkan pada gambar 3.3 atau 3.2, yang berupa optocoupler 4N25 menerima sinyal sinus sebesar 5 Volt melalui J3, maka LED pada U5 akan menyala, sehingga transistor akan aktif sehingga pada output U5 melalui pin 5 berubah status dari High menjadi Low. Bentuk sinyal dapat ditunjukkan pada gambar 3.4, warna biru menggambarkan input sinyal sinus melalui pin 1 dan 2 dari U5, sedangkan sinyal warna coklat adalah sinyal output pada pin 5 dari U5.



Gambar 3.4 Bentuk sinyal input dan output detektor sinyal sinus

Perubahan status dari High menjadi Low ini menjadi waktu awal penghitungan penundaan penyalaan pada TRIAC di bagian Regulator seperti ditunjukkan pada gambar 3.5. Penghitungan penundaan waktu penyulutan dilakukan pada mikrokontroler Attiny 2313 pada bagian kontrol regulator. Kemudian mikrokontroler ini memberikan output berupa penyulutan dengan

perubahan logika dari Low menjadi High melalui output pada Port D pin 3. Selanjutnya sinyal penyulut diteruskan melalui input rangkaian Regulator yaitu melalui soket CN2 pada gambar 3.5 diteruskan ke optocoupler MOC3023 sebagai driver Triac. Waktu penyulutan yang direncanakan adalah sebesar 300 mikro detik, dengan maksud masih cukup waktu tersisa dari waktu yang tersedia yaitu 10000 mikro detik.

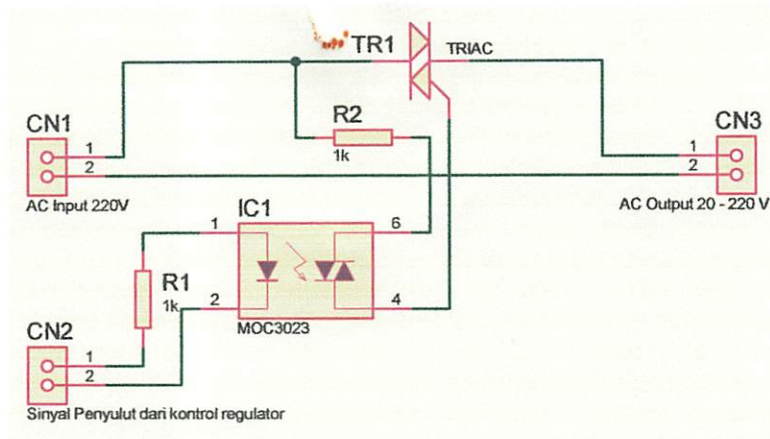


Gambar 3.5 Rangkaian Regulator

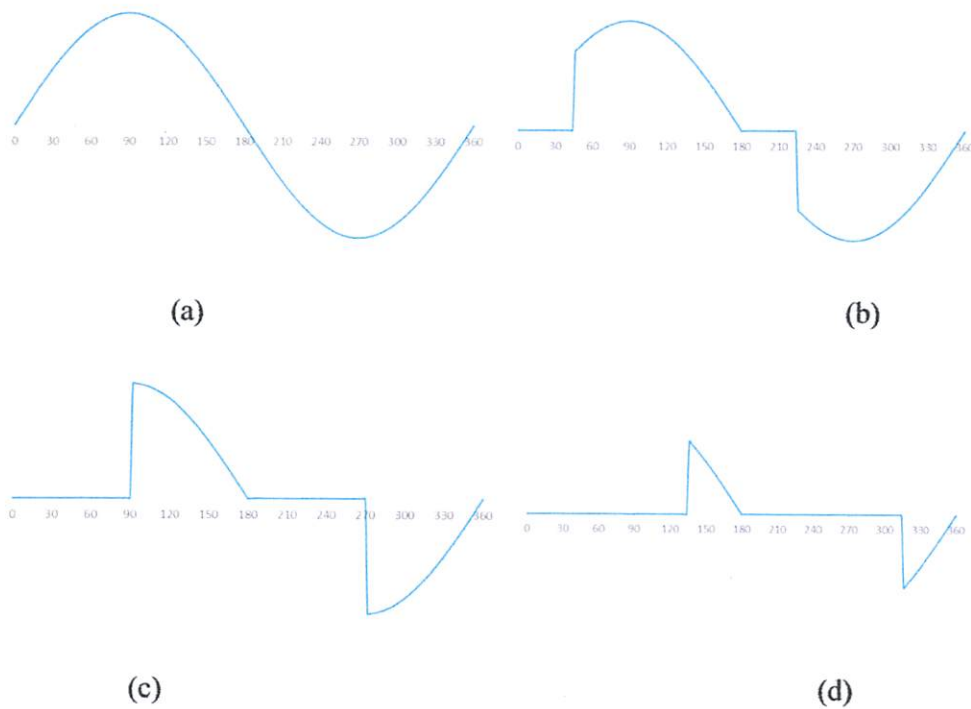
Setelah TRIAC dilakukan penyulutan, maka TRIAC akan aktif, sehingga arus dari sumber PLN melalui soket CN1 akan mengalir menuju dioda Bridge BR1 untuk disearahkan dan difilter oleh kapasitor C1 dan C2. Dan output dari penyearah sudah merupakan arus DC yang akan diteruskan ke bagian Inverter.

Perencanaan penyulutan pada TRIAC adalah sesuai gambar yang ditunjukkan pada gambar 3.6 dimana input berupa Arus AC dengan tegangan sebesar 220 Volt, sedangkan output yang diharapkan adalah mulai dari 20 Volt hingga 220 Volt.





Gambar 3.6 Rangkaian TRIAC dengan driver MOC3023 untuk regulator



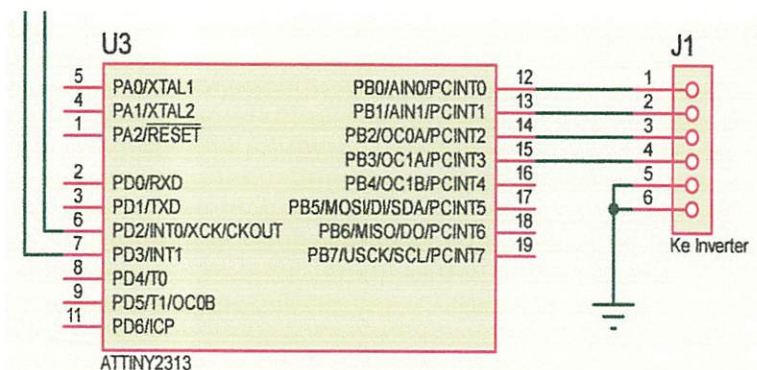
Gambar 3.7 Bentuk sinyal output regulator. (a) Penyulutan tanpa tunda, (b) Penyulutan dengan tunda 45° , (c) Penyulutan dengan tunda 90° , (d) Penyulutan dengan tunda 135°

Penundaan penyulutan yang direncanakan adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7. Pada gambar a adalah bentuk sinyal output TRIAC dengan penyulutan tanpa penundaan. Pada gambar b adalah bentuk sinyal dengan

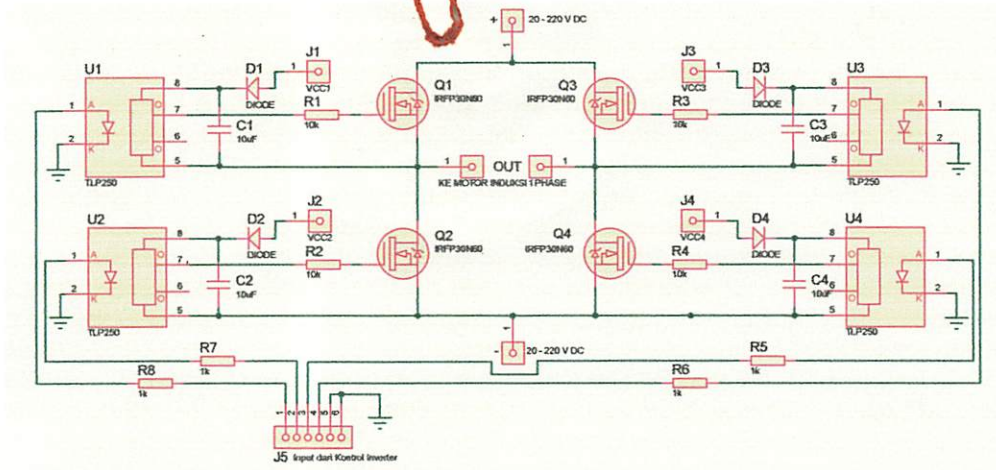
penyulutan penundaan sebesar 45 μ s pada saat ini akan terjadi pengurangan tegangan menjadi kurang dari 220 volt. Demikian juga pada gambar c dan d, adalah bentuk sinyal yang dihasilkan ketika penyulutan di tunda 90⁰ dan 135⁰, sehingga diharapkan tegangan output dapat bervariasi mulai yang terkecil hingga tegangan maksimum yang diinginkan.

3.4.3. Perancangan Rangkaian Inverter.

Rangkaian Kontrol Inverter yang ditunjukkan pada gambar 3.8, menerima instruksi dari IC Kontrol Utama melalui Port D pin 2 dan 3 berupa data serial. Sedangkan output melalui Port B pin 0 sampai pin 3 diteruskan ke bagian inverter pada gambar 3.8 melalui soket J5 menuju U1 sampai dengan U4, dimana U1 sampai dengan U4 ini adalah IC optocoupler TLP250 sebagai driver Mosfet untuk penyulut Mosfet yang bertegangan 220 Volt. Selanjutnya Mosfet bekerja dengan sistem switching, merubah arus DC yang diperoleh dari bagian Regulator dan Penyearah menjadi arus AC, dan output diteruskan ke beban berupa motor induksi.



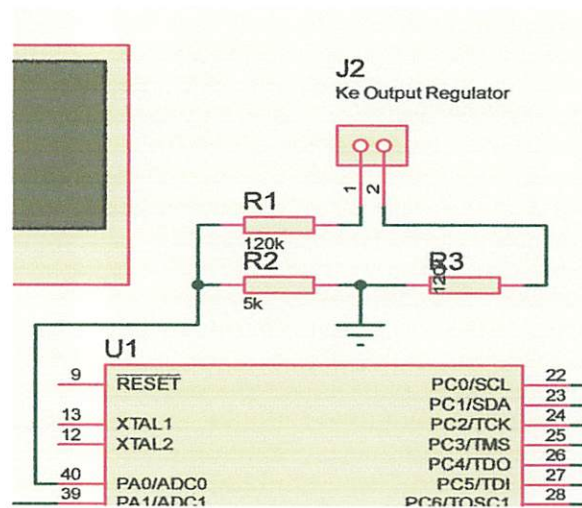
Gambar 3.8 Kontrol Inverter



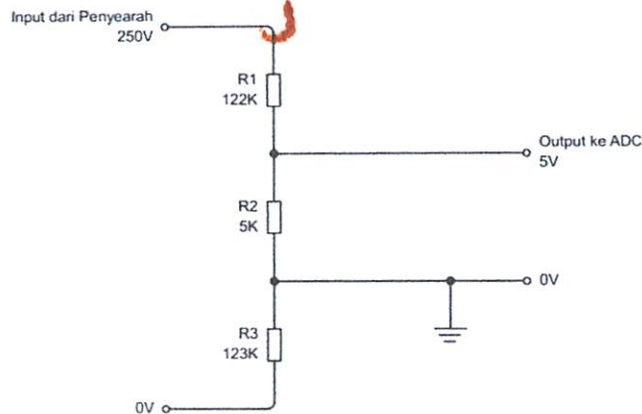
Gambar 3.9 Rangkaian Inverter

3.4.4. Perencanaan Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian Regulator dan Penyearah, agar dapat dideteksi besarnya tegangan, sehingga dapat segera dilakukan penyetelan apabila tegangan output yang diperoleh tidak sesuai dengan keinginan pengguna. Rangkaian sensor tegangan ditunjukkan pada gambar 3.10, dimana output sensor diteruskan ke input ADC dari mikrokontroler Atmega 16 melalui Port A pin 0.



Gambar 3.10 Sensor Tegangan



Gambar 3.11 Rangkaian Pembagi Tegangan sebagai sensor tegangan.

Rancangan sensor tegangan yang direncanakan adalah sesuai dengan gambar 3.10 dimana sebuah rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan dengan peranggapan input adalah tegangan hingga 250 volt, sedangkan output yang diharapkan adalah sekitar 5 volt, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{R2}{R1+R2+R3} \times V_{in}$$

Dimana :

V_{out} = Tegangan output dari resistor (V)

V_{in} = Tegangan sumber (V)

$R1$, $R2$ dan $R3$ = Resistor (Ω)

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{5}{122+5+123} \times 250 \\ &= 0.02 \times 250 \\ &= 5 \text{ V} \end{aligned}$$

Namun kenyataannya resistor dipasaran yang yang didapat tidak sesuai dengan yang diharapkan. Untuk resistor 122 k Ω dan 123 k Ω yang ada adalah 120k Ω , sedangkan resistor dengan nilai 5k Ω , yang tersedia adalah 4,7 k Ω . Sehingga tegangan output yang diperoleh adalah

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{4.7}{120+4.7+120} \times 250 \\ &= 0.0192 \times 250 \\ &= 4.8 \text{ V} \end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan untuk ADC yang tersedia pada mikrokontroler Atmega 16 adalah bahwa ADC mikrokontroler Atmega 16 memiliki kemampuan 10 bit, sehingga dari input 5 volt akan dihasilkan nilai sebesar $2^{10} = 1024$. Maka perhitungan untuk setiap volt pada input ADC adalah $1024/5 = 204.8$, dan untuk setiap volt dari input sensor adalah

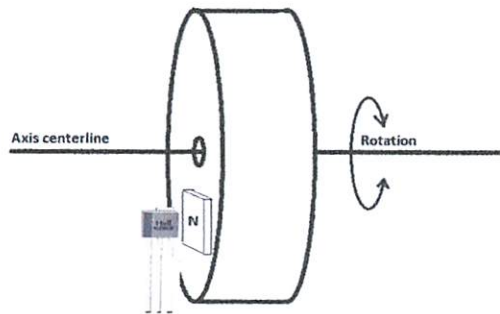
Bila $V_{in} = 250$ maka Nilai ADC = $204.8 * 4.8 = 983.04$,

sehingga setiap volt input sensor, nilai ADCnya adalah $983.04/250 = 3.93$

Nilai sebesar 3.93 ini nantinya akan digunakan sebagai patokan dalam menentukan program untuk menghitung besarnya tegangan output regulator di dalam mikrokontroler Atmega16.

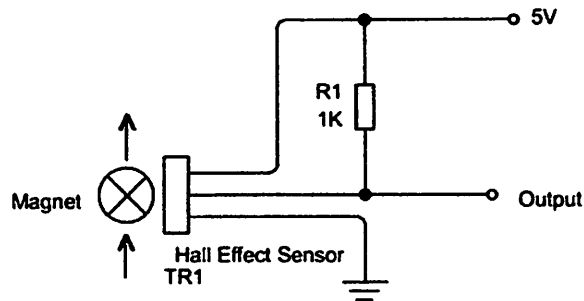
3.4.5. Perencanaan Sensor Kecepatan Motor.

Untuk mengetahui kecepatan motor yang diperoleh dari alat ini, digunakan sensor Hall Effect dengan cara menempelkan sebuah magnet berukuran kecil pada puli motor agar magnet ikut berputar pada saat motor berputar. Dan sensor diletakkan sedekat mungkin dengan magnet, seperti ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Penempatan magnet pada motor dan sensor *Hall effect*

Sedangkan untuk rangkaian sensor Hall Effect adalah seperti ditunjukkan pada gambar 3.12, dimana pada saat magnet mendekati sensor, maka sensor akan aktif, dan output akan berubah dari kondisi *high* menuju kondisi *low*. Perubahan kondisi ini digunakan sebagai sinyal yang akan digunakan oleh mikrokontroler untuk melakukan penghitungan jumlah putaran motor yang terjadi di setiap detik atau menitnya.



Gambar 3.13 Gambar rangkaian sensor kecepatan.

3.5. Perancangan Perangkat Lunak

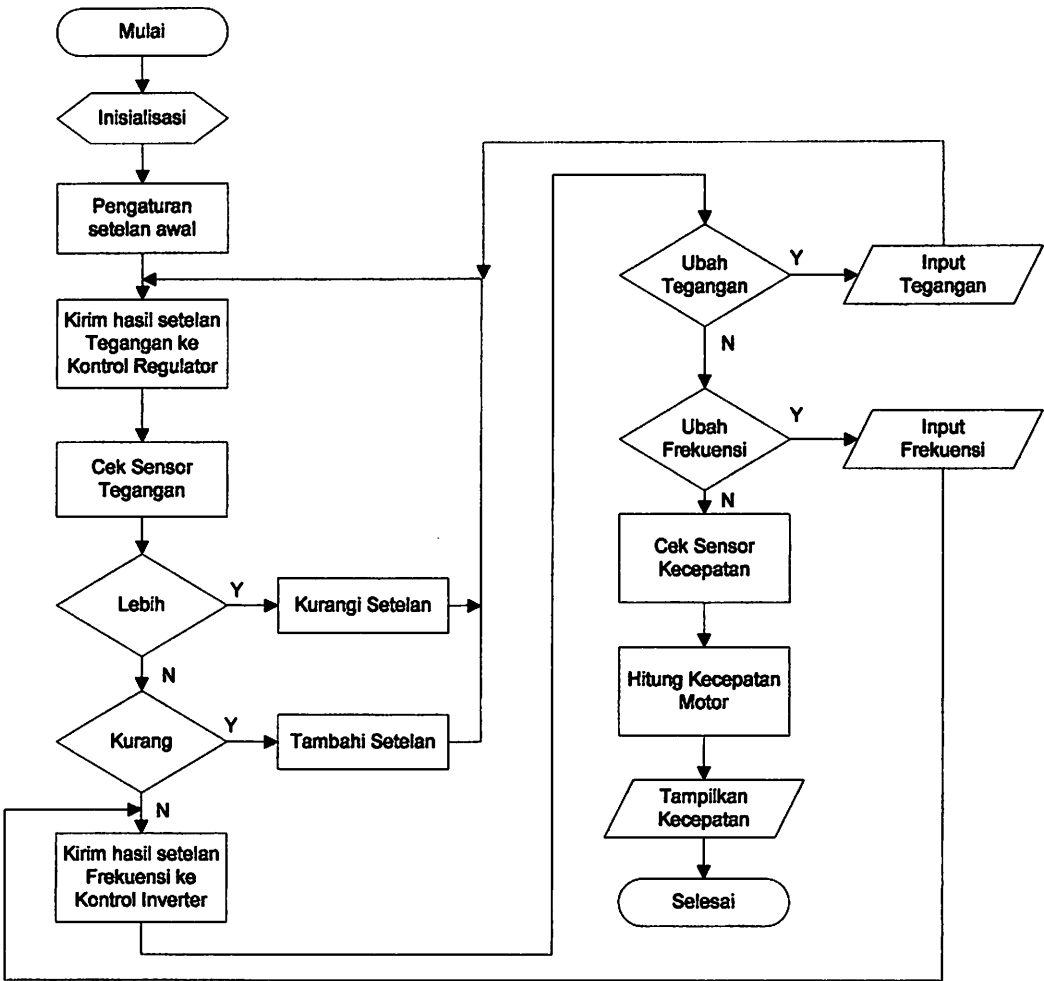
Pada perancangan perangkat lunak digambarkan melalui diagram alir yang meliputi diagram alir untuk kontrol utama, diagram alir untuk kontrol regulator dan diagram alir untuk kontrol inverter.

3.5.1 Diagram Alir Kontrol Utama

Pada pembuatan software untuk mikrokontroler kontrol utama, yang ditunjukkan dengan gambar 3.14, diawali dengan inisialisasi, yaitu penyetelan port sebagai input maupun output dan parameter yang lainnya kemudian langkah pengaturan setelan awal, yaitu memasukkan nilai-nilai awal untuk variabel yang ada, misalnya nilai awal frekuensi adalah 50 Hz dan tegangan adalah 50 volt. Nilai awal ini, untuk nilai tegangan dikirimkan ke kontrol regulator, dan nilai frekuensi dikirimkan ke kontrol inverter. Setelah nilai awal dikirimkan, kemudian dilakukan pengecekan terhadap nilai ADC yang digunakan untuk sensor tegangan, apabila terlalu tinggi, maka mengirimkan kembali setelan yang lebih rendah, dan apabila terlalu rendah akan dikirimkan kembali setelan yang lebih tinggi.

Setelah nilai yang diperoleh dari sensor tegangan sesuai dengan setelan, maka sistem akan menunggu pengguna, apakah akan ada perubahan setelan tegangan, atau akan ada perubahan frekuensi. Apabila ada maka sistem akan meminta input nilai tegangan atau frekuensi yang diinginkan oleh pengguna, kemudian akan dilakukan pengecekan kembali ke nilai ADC untuk mengecek apakah nilai sudah sesuai atau belum. Bila nilai masih lebih rendah daripada setelan yang dimasukkan, maka akan dikirimkan kembali setelan yang lebih

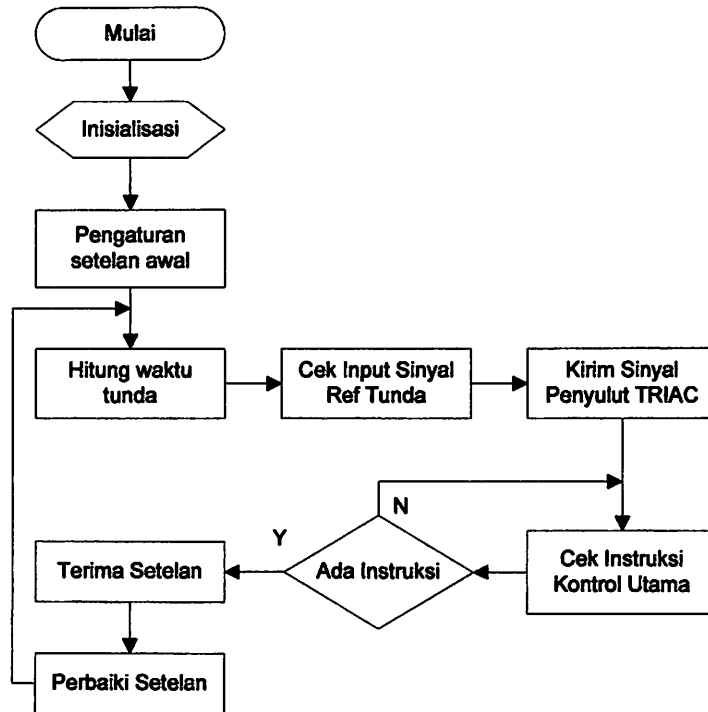
tinggi, demikian juga sebaliknya apabila nilai ADC yang diperoleh hasilnya lebih tinggi, maka akan dikirim kembali setelan dengan nilai yang lebih rendah. Apabila pada beban dipasang motor, maka akan ada informasi mengenai kecepatan motor yang akan ditampilkan ke layar display.



Gambar 3.14 Diagram alir kontrol utama

3.5.2 Diagram Alir Kontrol Regulator

Pada bagian kontrol regulator juga terdapat mikrokontroler Attiny 2313 yang digunakan untuk mengontrol regulator. Adapun rancangan software untuk mikrokontroler ini dapat dijelaskan melalui gambar 3.15.

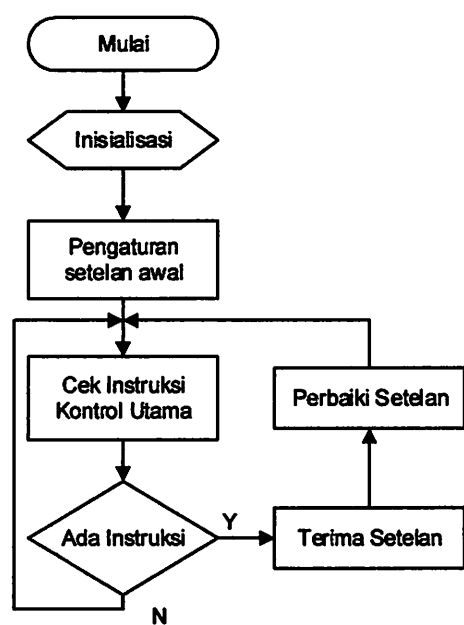


Gambar 3.15 Diagram alir kontrol regulator

Pada awal langkah dimulai dengan inisialisasi dan pengaturan setelan awal, dalam setelan awal tegangan yang dimasukkan adalah 50 volt, maka akan dihitung waktu tunda kurang lebih waktu yang sudah diplot yaitu 10000 mikro detik dikurangi seperlimanya yaitu sekitar 8000 mikrodetik, kemudian akan dicek sinyal sulut dari *interrupt* dan ditambah 8000 mikro detik kemudian pada waktu tersebut akan dikirimkan sinyal sulut kepada output untuk menyulut TRIAC. Sesaat sambil terus mengirimkan sinyal sulut kepada Triac setiap 10000 mikro detik, sistem juga menunggu instruksi selanjutnya dari kontrol utama, apabila ada, dengan segera sistem akan membuat menghitung kembali waktu tunda dan mengirimkannya kembali sinyal sulut ke output menuju Triac.

3.5.3 Diagram Alir Kontrol Inverter

Bagian kontrol inverter juga menggunakan mikrokontroler Attiny 2313 untuk mengendalikan inverter. Perancangan perangkat lunak untuk mikrokontroler ini ditunjukkan pada gambar 3.16 yaitu diagram alir untuk kontrol inverter.



Gambar 3.16 Diagram alir kontrol inverter.

Pada langkah awal selalu diawali dengan inisialisasi dan pengaturan awal. Kemudian sistem menunggu instruksi dari kontrol utama. Bila ada instruksi dari kontrol utama maka instruksi tersebut diterima dan digunakan untuk memperbaiki setelan . Hasil setelan tersebut kemudian digunakan untuk mengatur output ke bagian inverter.

BAB IV

PENGUJIAN ALAT DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang pengukuran dan pengujian alat yang dirancang, dimana meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Untuk mengetahui sistem yang dirancang sesuai dengan fungsi yang diharapkan, dilakukan pengujian terhadap sistem aplikasi tersebut baik secara keseluruhan atau subsistem. Selain itu pengujian juga dilakukan agar dapat menemukan beberapa permasalahan yang mungkin timbul pada saat alat ini beroperasi untuk kemudian diperbaiki sampai pada tingkat kesalahan sekecil mungkin sehingga didapatkan hasil yang baik. Berikut penjelasan mengenai prosedur pengukuran dan data hasil pengujian.

4.1 Pengujian Awal.

Pada awal pembuatan alat dilakukan pengujian-pengujian terhadap fungsi semua peralatan yang akan digunakan, baik berupa sensor, mikrokontroler, Mosfet, Triac dan LCD Display. Kemudian dilakukan pembuatan PCB dan pemasangan komponen. Setelah komponen terpasang, maka dilakukan lagi pengujian-pengujian terhadap rangkaian perbagian sampai terintegrasi semua bagian.



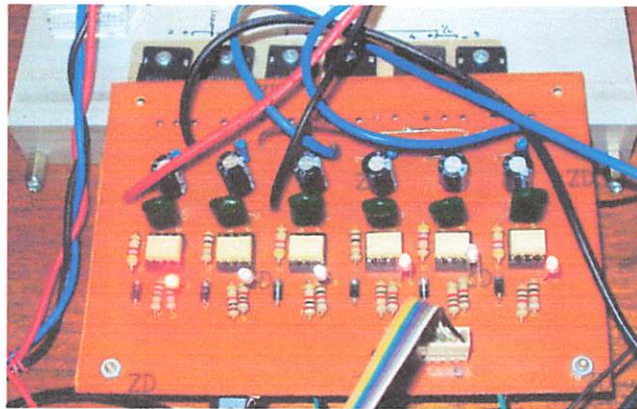
Gambar 4.1 Rangkaian Kontrol

Pada gambar 4.1 ditunjukkan pengujian terhadap rangkaian kontrol dihubungkan dengan fungsi keypad dan LCD display, dan alat telah dapat bekerja

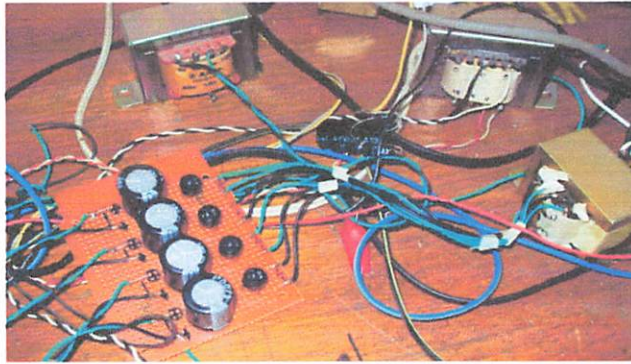
dengan baik. Kemudian juga dilakukan pengujian terhadap rangkaian regulator dan penyearah seperti ditunjukkan pada gambar 4.2, dan juga rangkaian inverter yang ditunjukkan pada gambar 4.3, sedangkan untuk mensuply rangkaian inverter menggunakan rangkaian power supply seperti ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.2 Rangkaian Regulator dan penyearah

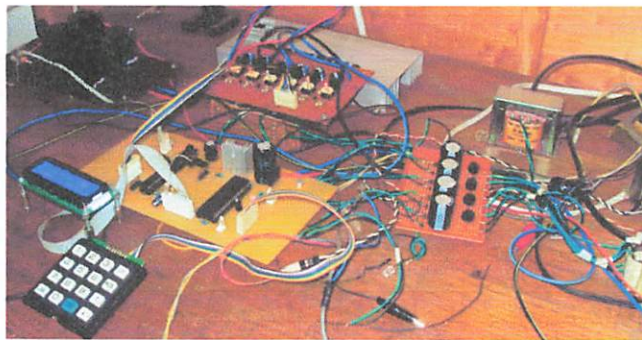


Gambar 4.3 Rangkaian Inverter



Gambar 4.4 Rangkaian power supply

Pengujian terintegrasi untuk semua bagian juga dilakukan untuk mengecek interkoneksi antar bagian. Setelah semua dapat berfungsi dengan baik, kemudian dilakukan pemrograman mikrokontroler dengan menggunakan bahasa Basic Compiler.



Gambar 4.5 Integrasi semua bagian.

4.2 Pengujian Fungsi Keypad dan LCD

Pengujian fungsi Keypad dan LCD dilakukan dengan memasukkan program menggunakan bahasa pemrograman Basic Compiler sebagai berikut :

```
$regfile = "m16def.dat"
$crystal = 8000000

Config Lcd = 20x4
Config Lcdpin = Pin , Rs = Porta.6 , E = Porta.5 , Db4 = Porta.4 , Db5 =
Porta.3 , Db6 = Porta.2 , Db7 = Porta.1
Cursor Off Noblink
Config Kbd = Portb

Declare Sub Angka
Dim B As Byte
Dim X As String * 20
```

```

Dim Hkb As String * 3
Dim Aa As Integer

Aa = 1

Do

    If Aa >= 20 Then
        Aa = 1
        Cls
    End If

    Call Angka

    If B < 16 Then X = X + Hkb + " "

    Locate 1 , 1
    Lcd "  UJI LCD & KEYPAD  "
    Locate 2 , 1
    Lcd "Tombol: " ; B ; "      "

    Locate 3 , 1
    Lcd "Hasil: " ; Hkb ; "      "
    Locate 4 , 1
    Lcd X

    Waitms 250

    Aa = Aa + 1
Loop

Sub Angka
B = Getkbd()
    If B < 16 Then
        If B = 0 Then Hkb = "1"
        If B = 1 Then Hkb = "4"
        If B = 2 Then Hkb = "7"
        If B = 4 Then Hkb = "2"
        If B = 5 Then Hkb = "5"
        If B = 6 Then Hkb = "8"
        If B = 7 Then Hkb = "0"
        If B = 8 Then Hkb = "3"
        If B = 9 Then Hkb = "6"
        If B = 10 Then Hkb = "9"
        If B = 3 Then Hkb = "Can"
        If B = 11 Then Hkb = "Ent"
        If B = 12 Then Hkb = "Cor"
        If B = 13 Then Hkb = "Men"
        If B = 14 Then Hkb = "Ups"
        If B = 15 Then Hkb = "Dwn"
    End If
End Sub

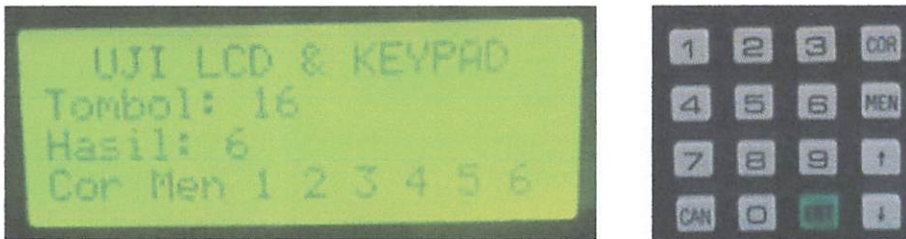
```

Bila tombol keypad tidak ditekan maka data Keypad yang masuk adalah 16, Selain itu data akan diproses sesuai keinginan. Apabila tombol pada keypad ditekan angka 1 data keypad yang masuk adalah angka 0 sesuai dengan tabel 4.1 sebagai berikut berikut :

Tabel 4.1 Data tombol Keypad

TOMBOL	Data Terkirim
1	0
2	4
3	8
4	1
5	5
6	9
7	2
8	6
9	10
0	7
CAN	3
ENT	11
COR	12
MEN	13
UP	14
DWN	15

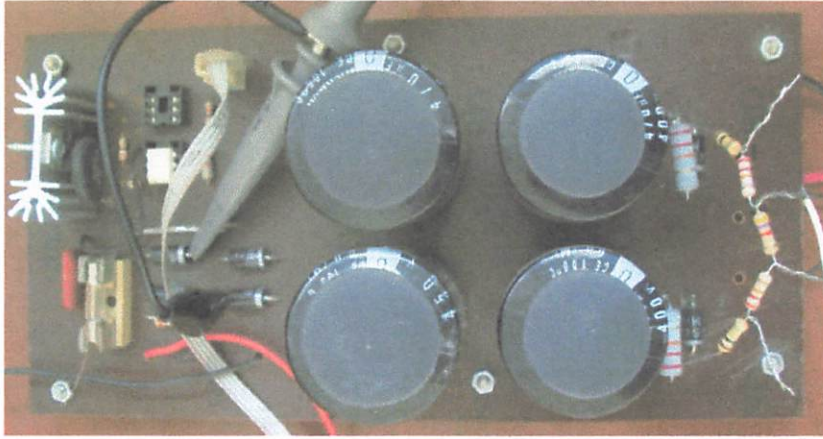
Hasil yang diperoleh sebagai tampilan pada layar LCD adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Tampilan pengujian LCD dan Keypad

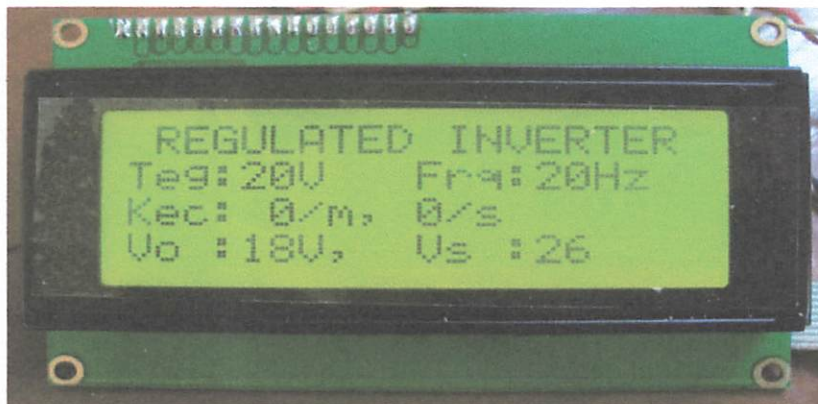
4.3 Pengujian Fungsi Regulator

Regulator digunakan untuk mengatur besarnya tegangan yang akan digunakan oleh motor induksi. Pengujian regulator ini dilakukan dengan menghubungkan secara lengkap semua bagian sesuai dengan fungsinya masing masing. Kemudian dengan menggunakan oscilloscope, probe oscilloscope dihubungkan dengan output Triac yang ada pada bagian regulator. Pemasangan probe oscilloscope dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Probe Oscilloscope dipasang ke output Triac Regulator

Kemudian melalui keypad diatur pada tegangan 20 Volt dan Frekuensi 20 Hz. Maka pada layar LCD akan ditampilkan setelan tegangan sebesar 20 Volt dan Frekuensi sebesar 20 Hz, seperti ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Tampilan LCD dengan setelan tegangan 20 V dan Frekuensi 20 Hz



Gambar 4.9 Pengujian dengan menggunakan oscilloscope

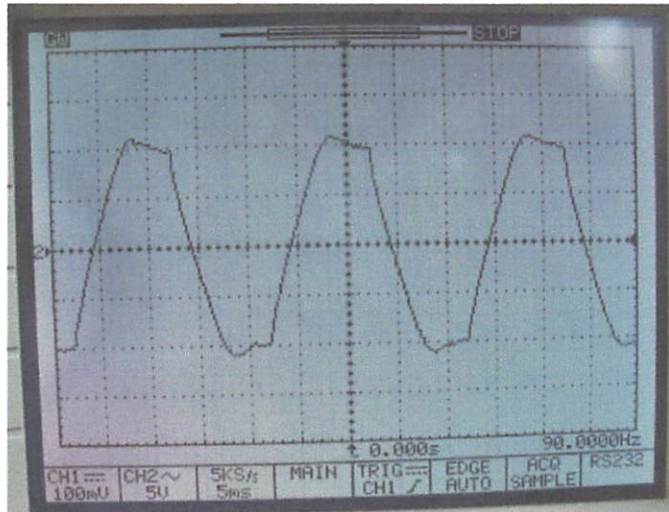
Langkah selanjutnya adalah mengecek bentuk sinyal output regulator dengan menggunakan oscilloscope seperti ditunjukkan pada gambar 4.9. Dan sebagai contoh bentuk sinyal dapat dilihat pada gambar 4.10 yang menunjukkan pengukuran pada saat regulator disetel 20 volt. Pada gambar 4.11 ditunjukkan pengukuran yang dilakukan pada saat regulator disetel 50 volt. Dan pada gambar 4.12 ditunjukkan pengukuran yang dilakukan pada saat regulator disetel 100 volt.



Gambar 4.10 Bentuk sinyal dari output regulator saat tegangan 20 Volt

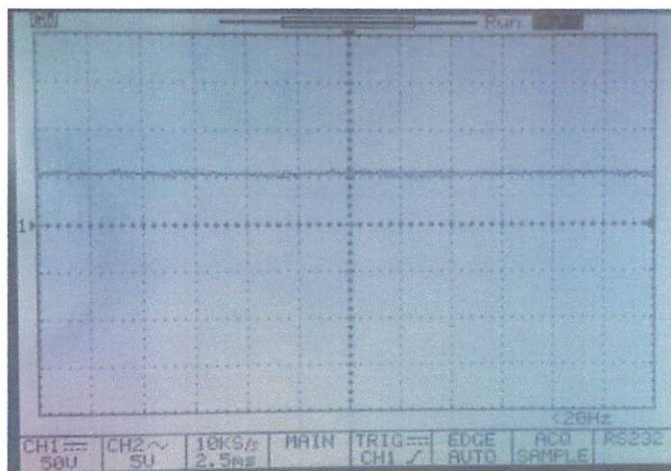


Gambar 4.11 Bentuk sinyal dari output regulator saat tegangan 50 Volt

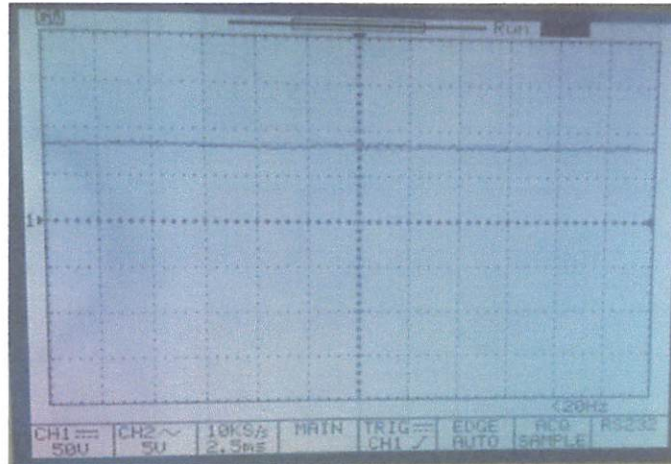


Gambar 4.12 Bentuk sinyal output regulator saat tegangan 100 Volt

Setelah diproses melalui penyearah maka bentuk sinyal output adalah seperti ditunjukkan pada gambar 4.13 dan gambar 4.14.



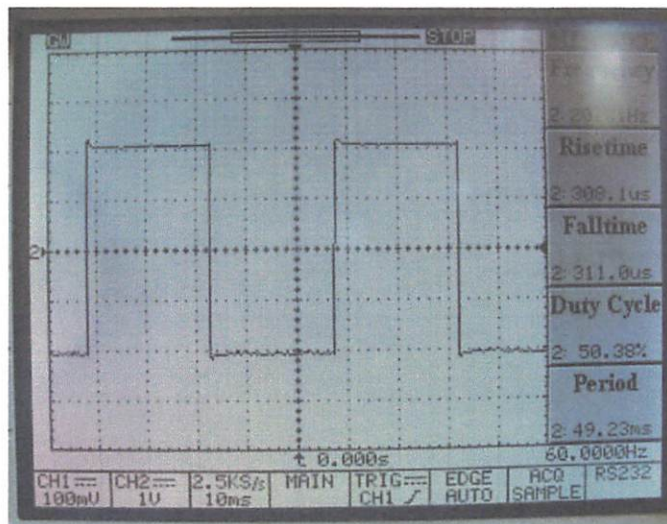
Gambar 4. 13 Bentuk sinyal output penyearah dengan tegangan sebesar 50 Volt



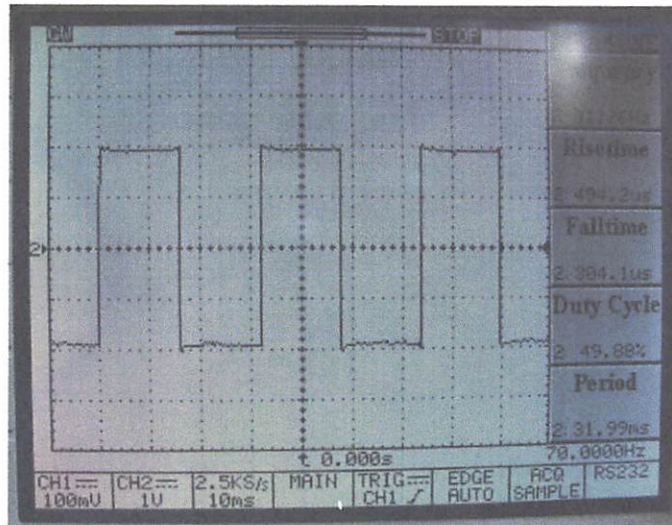
Gambar 4.14 Bentuk sinyal output penyearah dengan tegangan sebesar 75 Volt

4.4 Pengujian Fungsi Inverter

Inverter digunakan untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Tegangan DC yang dihasilkan oleh rangkaian regulator dan penyearah, oleh inverter dirubah menjadi AC dengan proses switching pada bagian akhir inverter yaitu komponen Mosfet. Sedangkan frekuensi yang dihasilkan, diperoleh dengan menyetel inverter melalui input keypad sesuai keinginan pengguna. Frekuensi yang dihasilkan adalah antara 20 Hz sampai 60 Hz.

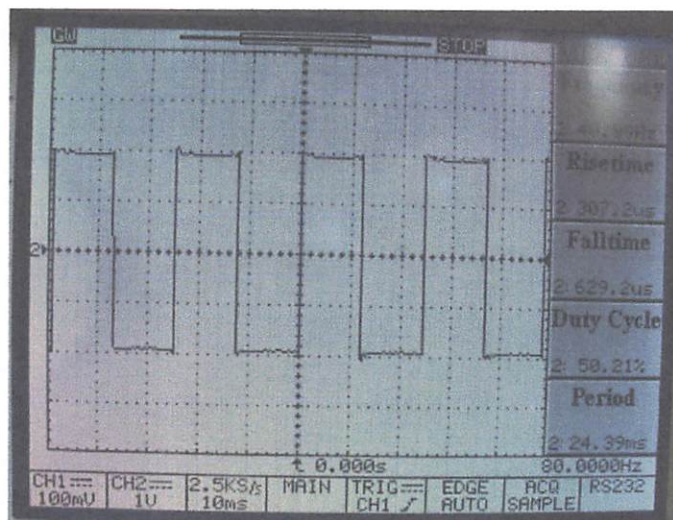


Gambar 4.15 Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 20 Hz

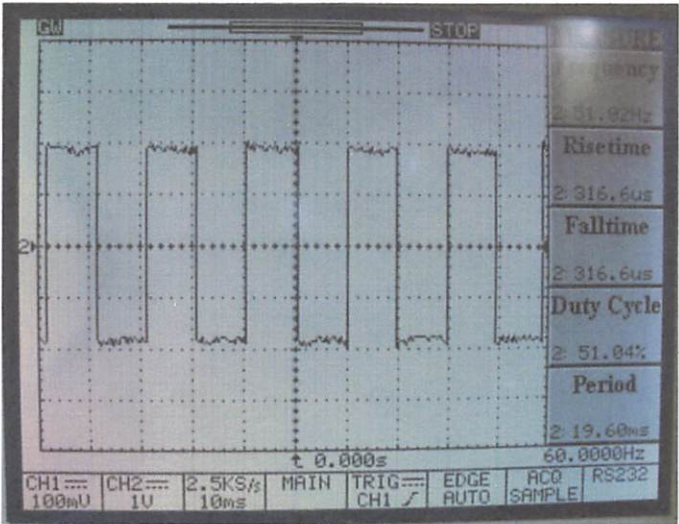


Gambar 4.16 Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 30 Hz

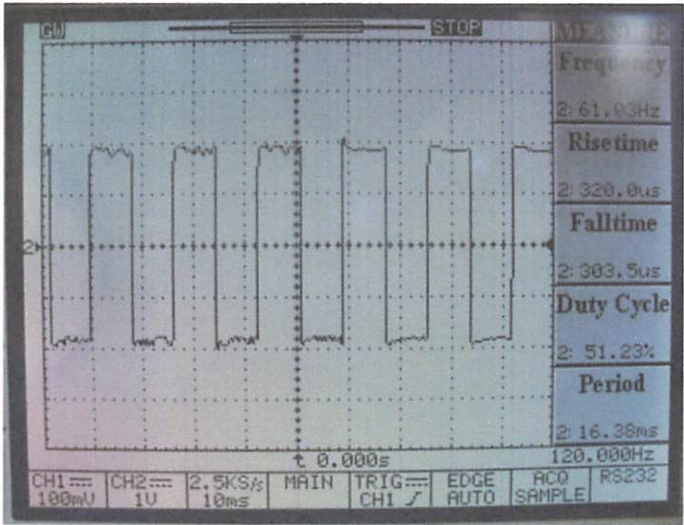
Pada gambar 4.15 ditunjukkan pengukuran pada saat inverter disetel 20 Hz. Hasil pengukuran terlihat pada sudut kanan atas, ditunjukkan bahwa frekuensi yang dihasilkan adalah 20 Hz, demikian juga untuk frekuensi 30 Hz yang ditunjukkan pada gambar 4.16 Untuk frekuensi 40 Hz ditunjukkan pada gambar 4.17, frekuensi 50 Hz ditunjukkan pada gambar 4.18, dan frekuensi 60 Hz ditunjukkan pada gambar 4.19.



Gambar 4.17 Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 40 Hz



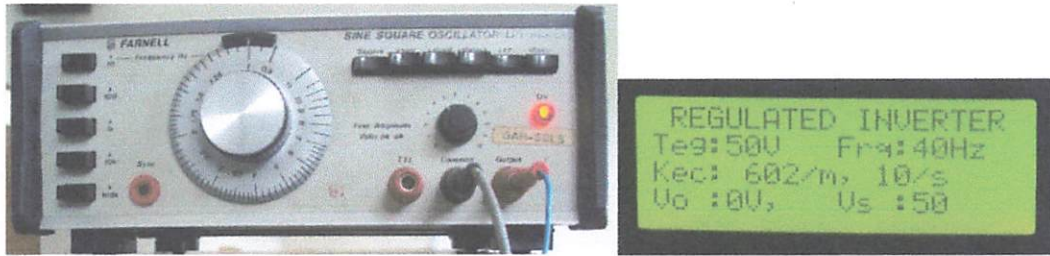
Gambar 4.18 Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 50 Hz



Gambar 4.19 Bentuk sinyal output inverter dengan frekuensi 60 Hz

4.5 Pengujian pengukur kecepatan motor

Pengukuran kecepatan motor dilaksanakan oleh mikrokontroler Atmega 16 menggunakan software yang sudah dimasukkan ke dalamnya, dan ditampilkan ke LCD display. Pengujian pengukur kecepatan motor ini dilaksanakan dengan menggunakan sinyal generator.

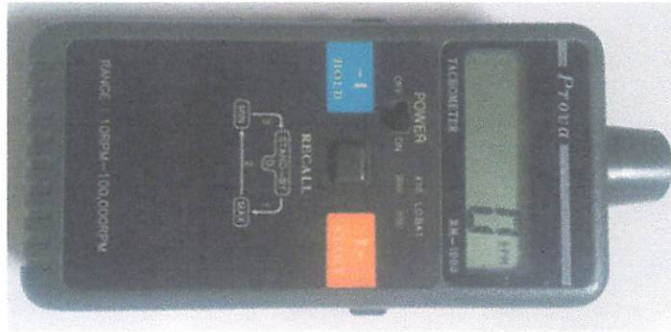


Gambar 4.20 Pengujian pengukur kecepatan motor

Pada gambar 4.20 ditunjukkan Output sinyal generator di setel menggunakan sinyal kotak sebesar 5 volt dengan frekuensi 10 Hz. Hasil pengukuran yang diperoleh kemudian ditampilkan melalui LCD display sebesar 10 putaran per detik atau 602 putaran permenit. Demikian juga yang ditunjukkan pada gambar 4.21, sinyal generator disetel pada frekuensi 50 Hz dengan tegangan sebesar 5 volt, dan pada LCD display ditampilkan hasil pengukuran sebesar 50 putaran perdetik atau 3015 putaran permenit.

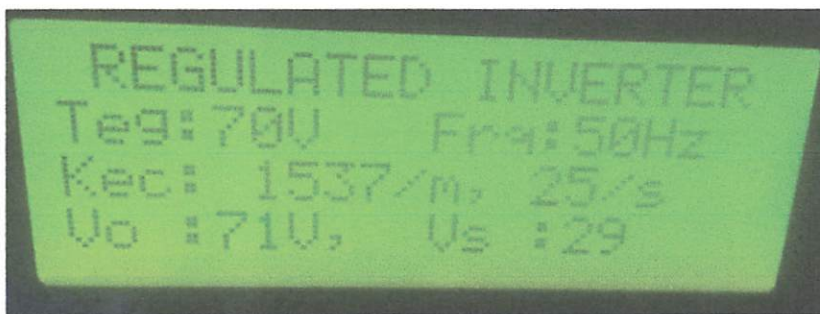


Gambar 4.21 Pengujian pengukur kecepatan menggunakan sinyal generator



Gambar 4.22 Tachometer RM-1000 sebagai pembanding alat ukur kecepatan

Perbandingan pengukuran kecepatan dilaksanakan dengan menggunakan Tacho Meter RM-1000 seperti ditunjukkan pada gambar 4.22. Hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh LCD dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan Tacho Meter RM-1000 seperti ditunjukkan dengan gambar 4.23 dan 4.23



Gambar 4.23 Hasil Pembacaan Kecepatan dari LCD



Gambar 4.24 Hasil pengukuran kecepatan menggunakan Tacho meter

Hasil perbandingan pembacaan antara LCD dengan Tacho Meter dapat ditunjukkan dengan tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Perbandingan Alat Ukur Kecepatan Motor

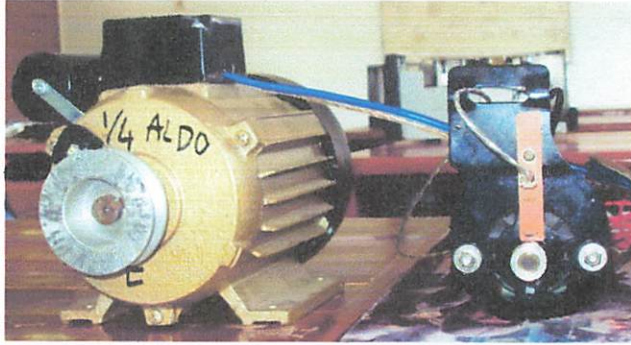
Motor Induksi		Motor Universal	
LCD	TachoMeter	LCD	TachoMeter
929	929.7	5513	5520.0
1052	1053.6	6771	6778.9
1211	1212.5	8280	8289.6
1331	1332.5	9576	9587.3
1537	1538.8	10775	10788.1
1658	1659.9	11655	11669.4
1809	1810.9	12613	12628.1

Dari hasil perbandingan alat ukur kecepatan diperoleh nilai error sebesar 0,117 % dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Nilai Error} &= \frac{\text{Hasil Ukur Tachometer} - \text{Hasil Ukur LCD}}{\text{Hasil Ukur Tachometer}} \times 100\% \\ &= \frac{1538,8 - 1537}{1538,8} \times 100\% \\ &= 0,117\% \end{aligned}$$

4.6 Pengujian Alat secara keseluruhan.

Setelah pengujian perbagian selesai dan telah yakin alat dapat berfungsi dengan baik, maka dilanjutkan dengan pengujian semua bagian secara utuh menjadi satu alat. Dalam pengujian ini digunakan beban berupa dua buah motor yang terdiri dari sebuah motor induksi satu fasa dan sebuah motor universal seperti ditunjukkan pada gambar 4.25. Langkah awal pengujian adalah dengan memasang terlebih dahulu sensor Hall Effect dan magnet kecil pada kedua jenis motor tersebut. Dan kemudian menghubungkan sensor tersebut dengan alat yang sudah dibuat. Pemasangan sensor dan magnet dapat ditunjukkan pada gambar 4.26 dan 4.27.



Gambar 4.25 Motor induksi satu fasa dan motor universal



Gambar 4.26 Sensor Hall Effect dan magnet yang dipasang pada motor induksi



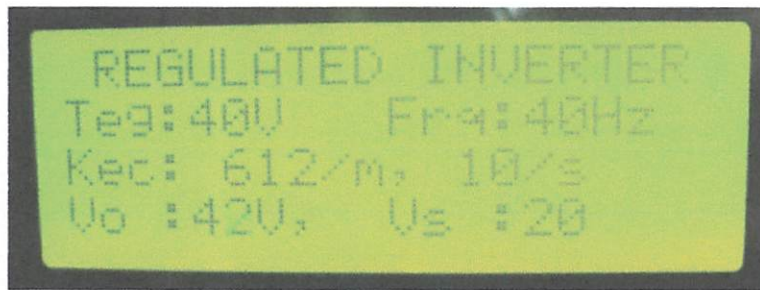
Gambar 4.27 Sensor Hall Effect dan magnet yang dipasang pada motor universal

Langkah selanjutnya adalah memasang DC Volt meter pada output rangkaian penyearah, dan AC Volt meter pada output rangkaian inverter. Sedangkan untuk mengukur arus beban, maka motor dihubungkan seri dengan Ampere meter. Pengukuran ini ditunjukkan pada gambar 4.28, kemudian mencatat hasil pengukuran yang diperoleh.



Gambar 4.28 Pengujian keseluruhan.

Sebagai contoh, alat disetel pada frekuensi 40 Hz dan tegangan 40 Volt, dan beban yang digunakan adalah motor induksi satu fasa, maka hasil pengukuran yang didapat seperti ditunjukkan pada gambar 4.29 dan 4.30, Kecepatan motor adalah 612 putaran permenit atau 10 putaran perdetik, tegangan output regulator dan penyearah adalah sebesar 39.4 volt dan tegangan output inverter adalah sebesar 42.9 volt, sedangkan arus untuk beban motor adalah sebesar 0.357 Ampere.



Gambar 4.29 Tampilan LCD Display saat uji coba dengan beban motor induksi



Gambar 4.30 Hasil pengukuran dengan Volt meter dan Ampere meter.

4.7 Pengujian Alat dengan menggunakan beban motor induksi satu fasa.

Pengujian alat dengan menggunakan beban motor induksi satu fasa dilakukan menggunakan dua cara, yang pertama adalah dengan menyetel frekuensi pada satu frekuensi saja dan mengubah-ubah tegangan. Maka diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian dengan satu frekuensi dan tegangan variabel

NO	V SET	F SET	V DC	V AC	I L	KEC
1	40	50	41	44	0.4	1451
2	50	50	52	57	0.37	1509
3	60	50	61	68	0.41	1524
4	70	50	74	80	0.45	1537
5	80	50	82	90	0.54	1540
6	90	50	94	101	0.63	1548
7	100	50	103	115	0.7	1548
8	120	50	123	139	0.89	1551
9	150	50	155	171	1.16	1551
10	200	50	207	225	1.75	1553
11	220	50	228	250	2.02	1553

Keterangan tabel:

V SET = Tegangan setelan (Volt)

F SET = Frekuensi Setelan (Hz)

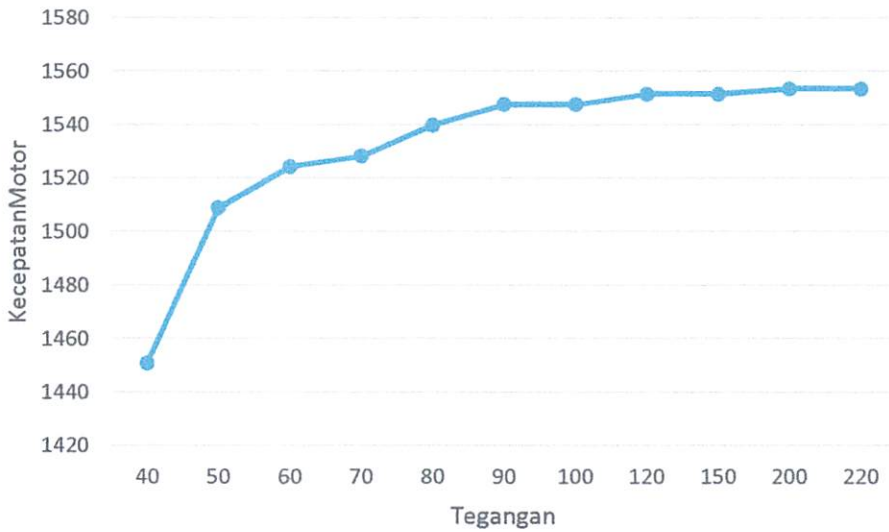
V DC = Tegangan DC yang dihasilkan oleh regulator dan penyearah (Volt)

V AC = Tegangan AC yang dihasilkan oleh Inverter (Volt)

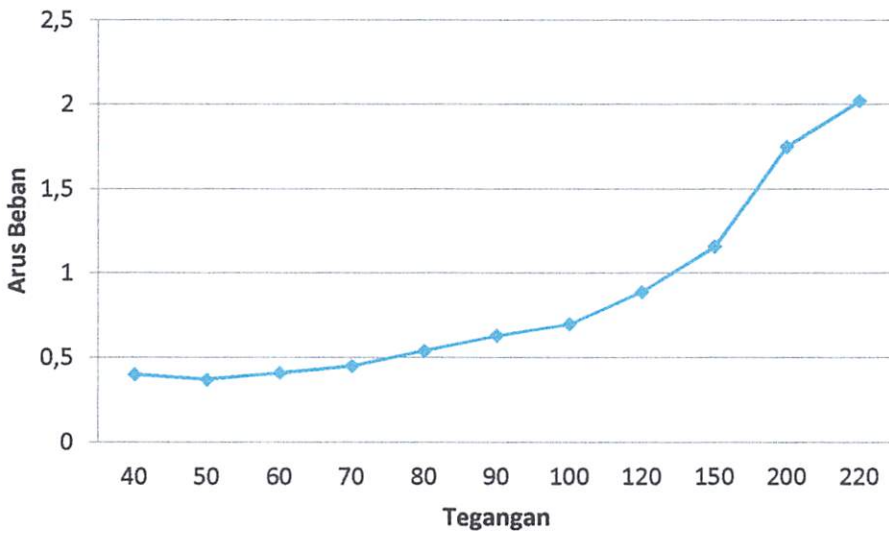
I L = Arus beban motor (Ampere)

KEC = Kecepatan putar motor permenit (rpm)

Dari tabel 4.3 hasil pengujian dapat dibuat gambar grafik seperti ditunjukkan pada gambar 4.31 dan 4.32. Pada gambar 4.32 menjelaskan perbandingan antara tegangan dan kecepatan motor, dimana penambahan tegangan tidak terlalu banyak pengaruhnya terhadap kecepatan motor induksi, sedangkan pada gambar 4.32 menjelaskan bahwa dengan bertambahnya tegangan, maka arus yang digunakan oleh motor juga akan semakin besar. Dari dua gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan yang paling optimal digunakan untuk menggerakkan motor induksi ini adalah antara 60 sampai dengan 90 volt. Dan direntang tegangan tersebut hanya memerlukan arus yang cukup kecil berkisar antara 0,4 sampai 0,6 Ampere saja.



Gambar 4.31 Grafik respon kecepatan motor induksi terhadap tegangan



Gambar 4.32 Grafik respon arus motor induksi terhadap tegangan

Pengujian yang kedua adalah dengan menyetel tegangan pada satu level saja dan mengubah-ubah setelan frekuensinya. Dari pengujian ini didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada tabel 4.4, dimana ada tujuh contoh data yang diambil.

Tabel 4.4 Hasil pengujian dengan satu tegangan dan frekuensi variabel

NO	V SET	F SET	V DC	V AC	IL	KEC
1	70	30	74	80	1.8	929
2	70	35	74	80	0.7	1052
3	70	40	74	80	0.57	1211
4	70	45	74	80	0.53	1331
5	70	50	74	80	0.47	1538
6	70	55	74	80	0.43	1658
7	70	60	74	80	0.4	1809

Keterangan tabel:

V SET = Tegangan setelan (Volt)

F SET = Frekuensi Setelan (Hz)

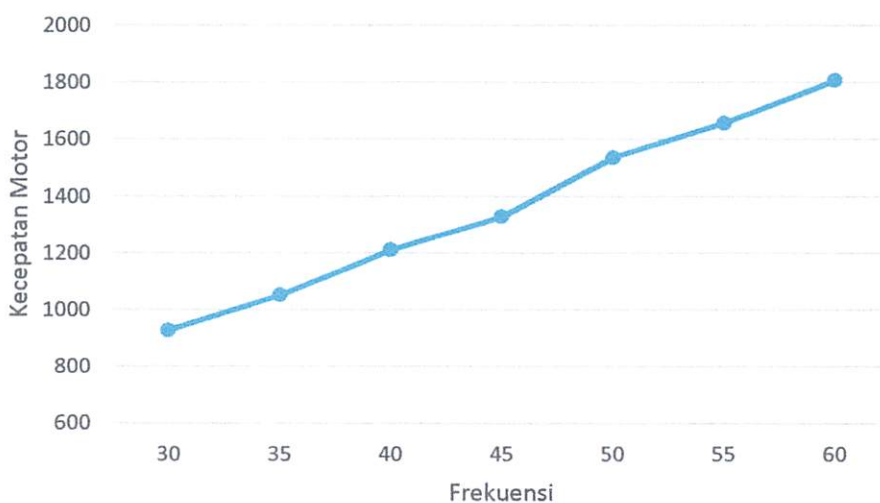
V DC = Tegangan DC yang dihasilkan oleh regulator dan penyearah (Volt)

V AC = Tegangan AC yang dihasilkan oleh Inverter (Volt)

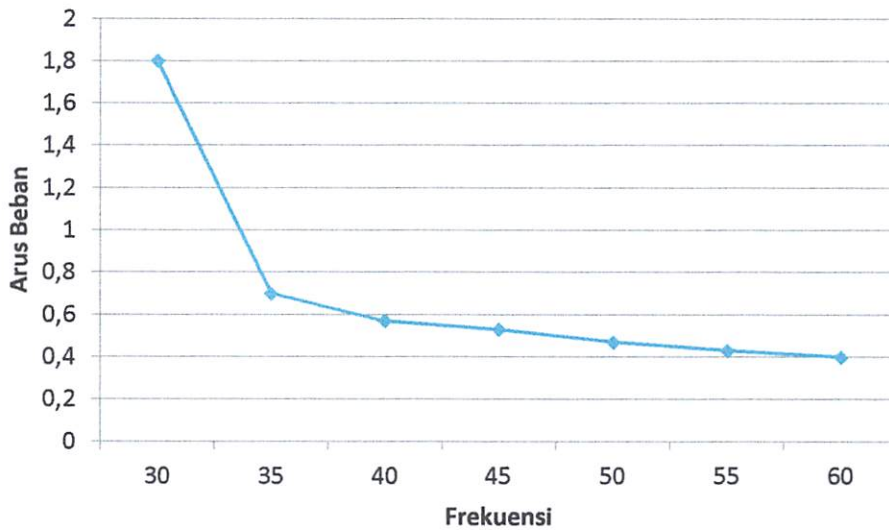
IL = Arus beban motor (Ampere)

KEC = Kecepatan putar motor permenit (rpm)

Dari data pengujian tersebut pada tabel 4.4 dapat dibuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 4.33 dan 4.34. Pada gambar 4.33 dapat diambil kesimpulan bahwa dengan bertambahnya setelan frekuensi, maka semakin bertambah pula kecepatan yang dihasilkan oleh motor induksi. Dan dari gambar 4.34 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi, maka semakin kecil arus yang dibutuhkan oleh motor induksi. Jadi motor induksi ini akan bekerja secara optimal pada frekuensi 40 Hz sampai dengan 60 Hz.



Gambar 4.33 Grafik respon kecepatan motor induksi terhadap frekuensi



Gambar 4.34 Grafik respon arus motor induksi terhadap frekuensi

Setelah dilakukan pengujian alat yang dibuat dengan menggunakan motor induksi satu fasa, maka yang kedua adalah melakukan pengujian dengan menggunakan motor universal. Langkah-langkah pengujiannya sama dengan pengujian dengan menggunakan motor induksi satu fasa. Yang pertama adalah dengan memberikan setelan satu frekuensi dan tegangan yang bervariasi. Dari hasil pengujian ini kemudian dicatat dalam sebuah tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil pengujian dengan satu frekuensi dan tegangan variabel

NO	V SET	F SET	V DC	V AC	IL	KEC
1	40	20	41	44	0.27	5513
2	50	20	52	57	0.27	6771
3	60	20	61	68	0.28	8280
4	70	20	74	80	0.29	9576
5	80	20	82	90	0.31	10775
6	90	20	94	101	0.32	11655
7	100	20	103	115	0.34	12613
8	120	20	123	139	0.36	14470
9	150	20	155	171	0.4	16579
10	200	20	207	225	0.45	19805
11	220	20	228	250	0.48	20216

Keterangan tabel:

V SET = Tegangan setelan (Volt)

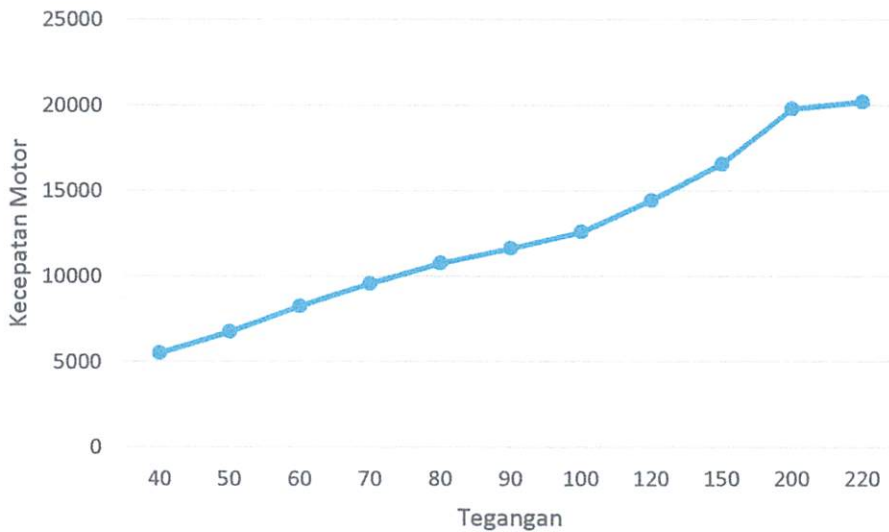
F SET = Frekuensi Setelan (Hz)

V DC = Tegangan DC yang dihasilkan oleh regulator dan penyearah (Volt)

V AC = Tegangan AC yang dihasilkan oleh Inverter (Volt)

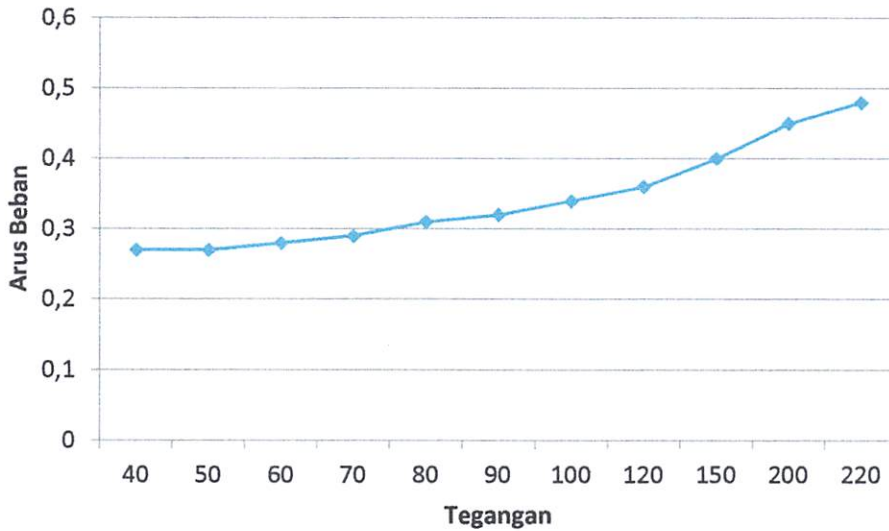
IL = Arus beban motor (Ampere)

KEC = Kecepatan putar motor permenit (rpm)



Gambar 4.35 Grafik respon kecepatan motor universal terhadap tegangan

Dari tabel 4.5 dapat dibuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 4.35 dan 4.36. Pada gambar 4.35 menjelaskan bahwa dengan bertambahnya tegangan, maka akan semakin cepat pula putaran motor universal yang dihasilkan. Dan pada gambar 4.36 penggunaan arus juga meningkat seiring dengan bertambahnya tegangan yang diberikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan motor universal ini akan bertambah seiring dengan bertambahnya tegangan yang diberikan, demikian juga arus yang dibutuhkan oleh motor juga seiring dengan tegangan yang diberikan ke motor universal ini.



Gambar 4.36 Grafik respon arus motor universal terhadap tegangan

Pengujian yang kedua dari penggunaan motor universal ini adalah dengan memberikan tegangan yang tetap yaitu 70 volt tetapi frekuensi yang digunakan berubah-ubah.

Tabel 4.6 Hasil pengujian dengan satu tegangan dan frekuensi variabel

NO	V SET	F SET	V DC	V AC	IL	KEC
1	70	20	74	80	0.33	8609
2	70	25	74	80	0.33	8173
3	70	30	74	80	0.33	8028
4	70	35	74	80	0.32	7767
5	70	40	74	80	0.32	7717
6	70	45	74	80	0.32	7351
7	70	50	74	80	0.32	7312
8	70	55	74	80	0.32	7022
9	70	60	74	80	0.31	6558

Keterangan tabel:

V SET = Tegangan setelan (Volt)

F SET = Frekuensi Setelan (Hz)

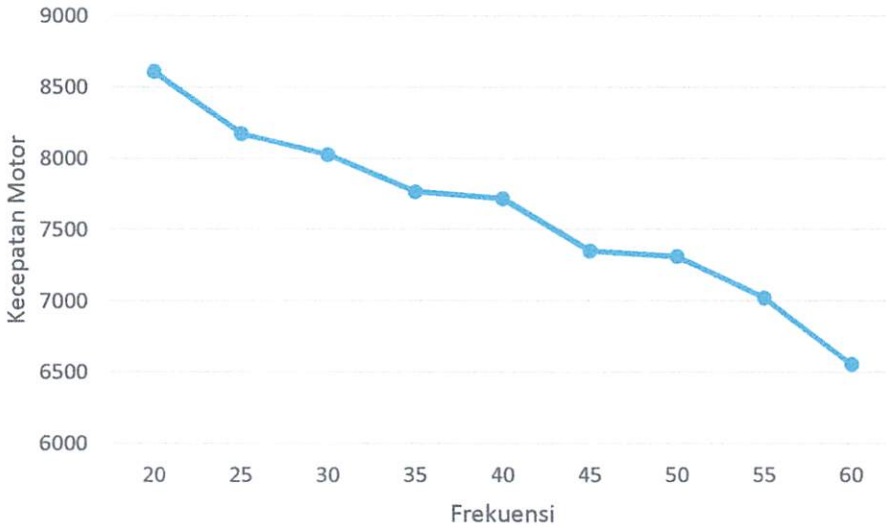
V DC = Tegangan DC yang dihasilkan oleh regulator dan penyearah (Volt)

V AC = Tegangan AC yang dihasilkan oleh Inverter (Volt)

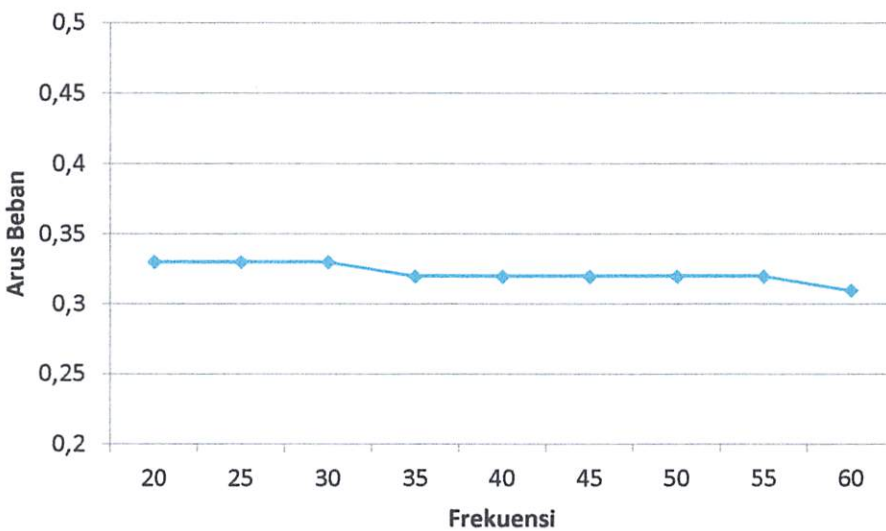
IL = Arus beban motor (Ampere)

KEC = Kecepatan putar motor permenit (rpm)

Dari hasil pengujian didapatkan hasil dan dicatat pada tabel 4.6, dan dari tabel tersebut dibuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 4.37 dan gambar 4.38, dimana pada gambar 4.37 menjelaskan bahwa dengan semakin bertambahnya frekuensi yang diberikan maka kecepatan akan semakin menurun. Sedangkan arus yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.38 adalah hampir sama.



Gambar 4.37 Grafik respon kecepatan motor universal versus frekuensi



Gambar 4.38 Grafik respon arus motor universal versus frekuensi

Dari beberapa pengujian di atas dapat dibuat kesimpulan bahwa, alat sudah dapat bekerja dengan baik, dan dapat digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor, baik motor induksi maupun motor universal.

Penggunaan untuk motor induksi, pengaturan yang optimal adalah dengan mengatur tegangan sekitar 60 volt sampai dengan 90 volt saja, sedangkan pengaturan kecepatan ditentukan oleh besarnya frekuensi yang diberikan, dengan frekuensi optimal mulai dari 40 Hz sampai dengan 60 Hz.

Penggunaan alat untuk motor universal, pengaturan yang optimal adalah dengan frekuensi yang paling rendah yaitu sekitar 20 Hz, sedangkan untuk penentu kecepatan motor ini adalah menggunakan besarnya tegangan yang diberikan. Semakin besar tegangan yang diberikan maka semakin tinggi juga putaran motor yang dihasilkan.

4.8 Spesifikasi Alat

Berdasarkan pemilihan komponen dan uji coba alat yang telah dibuat maka dapat ditentukan spesifikasi alat yaitu :

- a. Input.
 - Tegangan 100 sampai 250 Volt AC
 - Frekuensi 50 Hz
 - Daya 50 sampai 2000 Watt (Tergantung Beban)
- b. Output.
 - Tegangan 30 sampai 220 Volt AC
 - Frekuensi 20 sampai 60 Hz
 - Arus maksimum 10 Ampere
 - Daya maksimum 2000 Watt

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah perencanaan dan pembuatan sistem kemudian pengujian dan analisa, penulis akan menyampaikan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Alat dapat berfungsi dengan baik, tegangan dan frekuensi keluaran dapat diatur untuk menentukan kecepatan motor induksi maupun motor universal.
2. Untuk mengatur kecepatan motor induksi, akan lebih optimal bila penyetelan tegangan berkisar antara 60 volt sampai dengan 90 volt, sedang yang lebih menentukan kecepatan motor adalah perubahan frekuensi yang diberikan. Semakin tinggi frekuensi yang diberikan, maka semakin cepat pula kecepatan motor yang diperoleh.
3. Untuk mengatur kecepatan motor universal akan lebih optimal apabila menggunakan frekuensi yang paling rendah. Sedangkan yang lebih menentukan kecepatan motor ini adalah besarnya tegangan yang diberikan. Semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka semakin tinggi pula kecepatan motor yang diperoleh.

5.2 Saran

Dari mulai pembuatan sampai penyelesaian penelitian ini ada beberapa hal penulis yang ingin sampaikan untuk pengembangan alat ini. Meskipun alat ini sudah dapat bekerja masih ada hal-hal yang perlu di optimalkan, baik dari segi *hardware* maupun *software*. Beberapa saran yang penulis berikan:

1. Sinyal yang dihasilkan masih berupa gelombang persegi atau gelombang kotak, sehingga hasil yang diperoleh akan lebih baik bila sinyal yang dihasilkan dibuat mendekati sinyal sinus.
2. Perlu dikembangkan dengan menggunakan PWM supaya hasil output lebih optimal.
3. Penggunaan mikrokontroler jenis lain yang mempunyai kemampuan lebih baik dari mikrokontroler yang telah digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadi, Mokh sholihul. *Mengenal mikrokontroler atmega16*, Malang: 2008
- [2] Andrianto Heri. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA 16*, Penerbit Informatika Bandung, Bandung 2008.
- [3] Nalwan, Andi.P. *Panduan Praktis penggunaan dan Antarmuka Modul LCD M1632*, Penerbit PT Elex Media Komputindo, Jakarta 2004
- [4] Green, DC. 1987. *Pedoman Elektronika II*. Jakarta: Gramedia
- [5] <http://www.panelsurya.com/index.php/inverter>
- [6] <http://muhal.wordpress.com/2011/03/15/pengaturan-motor-induksi-dengan-inverter-variable-speedmdrive/>
- [7] <http://ujangaja.wordpress.com/2008/04/16/motor-induksi/>
- [8] <http://electronical-instrument.blogspot.com/2010/06/rangkaian-pembagi-tegangan.html> diakses pada tanggal 19 juli 2012.

LAMPIRAN



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : **Candra Basuki**
Nim : **08.12.218**
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Elektronika**
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2014-2015**
Judul : **RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK
MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Program Strata Satu (S-1)

Pada Hari : Rabu
Tanggal : 19 Agustus 2015
Dengan Nilai : 78,3 (B+)

Panitia Ujian Skripsi:

Ketua Majelis Penguji

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT
NIP. Y. 1030100361

Anggota Penguji :

Dosen Penguji I

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358

Dosen Penguji II

Ir. Eko Nurcahyo, MT
NIP. Y. 1028700172



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

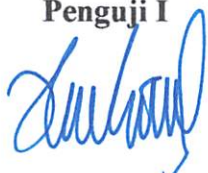
Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama : Candra Basuki
Nim : 08.12.218
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika
Masa Bimbingan : Semester Genap 2014-2015
Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK
MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16**

No	Penguji	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	Penguji I	19 Agustus 2015	1. Input Inverter di Foto 2. Daftar Pustaka ditambah 3. Kesimpulan ditambah 4. Pengujian Keypad	
2	Penguji II	19 Agustus 2015	1. Kesimpulan ditambah 2. Kalibrasi Alat Sensor Kecepatan dan Hitung Errornya 3. Spesifikasi Alat	

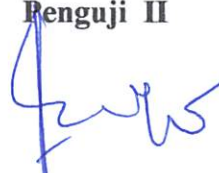
Disetujui:

Penguji I



M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358

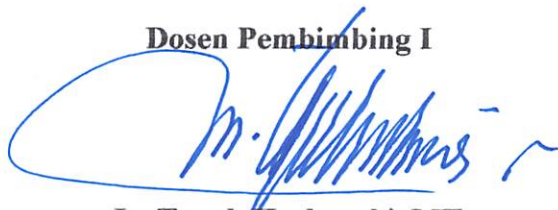
Penguji II



Ir. Eko Nurcahyo, MT
NIP. Y. 1028700172

Mengetahui:

Dosen Pembimbing I



Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. P. 1038900209

Dosen Pembimbing II



Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP. Y. 1018800188



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

(PERSERO) MALANG
K NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-213/EL-FTI/2015
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Tanggal, 28 Mei 2015

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Teguh Herbasuki, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **CANDRA BASUKI**
Nim : **0812218**
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Elektronika**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

“Semester Genap Tahun Akademik Genap 2014 - 2015”

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P. 1030100358



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

(PERSERO) MALANG
K NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-213/EL-FTI/2015
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Tanggal, 28 Mei 2015

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. M. Abdul Hamid, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **CANDRA BASUKI**
Nim : **0812218**
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Elektronika**

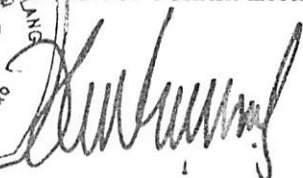
Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

“ Semester Genap Tahun Akademik Genap 2014 - 2015 “

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui
Kepada Program Studi Teknik Elektro S-1


M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P. 1030100358



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Tlpn. (0341) 417636 Malang

Formulir Bimbingan Skripsi

Nama : Candra Basuki
Nim : 0812218
Masa Bimbingan : Semester Genap 2014 – 2015
Judul : **RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL
KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER
ATMEGA 16**

Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
30-5-2015	Konsultasi Latar belakang dan tujuan	
3-6-2015	Konsultasi BAB II	
10-6-2015	Konsultasi BAB III	
17-6-2015	Konsultasi Hasil pengujian	
24-6-2015	Konsultasi BAB IV	
1-7-2015	Konsultasi Kesimpulan	
8-7-2015	ACC Seminar Hasil	

Malang, 2015
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.P. 1038900209



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Tlpm. (0341) 417636 Malang

Formulir Bimbingan Skripsi

Nama : **Candra Basuki**
Nim : **0812218**
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2014 – 2015**
Judul : **RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL
KECEPATAN MOTOR INDUKSIBERBASIS MIKROKONTROLER
ATMEGA 16**

Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
30-5-2015	Konsultasi Latar belakang dan tujuan	
4-6-2015	Konsultasi bab II	
11-6-2015	Konsultasi bab III	
18-6-2015	Konsultasi Hasil pengujian	
30-6-2015	Konsultasi bab IV	
6-7-2015	Konsultasi kesimpulan	
8-7-2015	ACC Seminar hasil	

Malang, 2015
Dosen Pembimbing

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y. 1018800188



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : CANDRA BASUKI.....
NIM : 0812218.....
Semester : VIII.....
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : **TEKNIK ELEKTRONIKA**
TEKNIK ENERGI LISTRIK
TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA
TEKNIK KOMPUTER
TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Alamat :

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah ≥ 134 sks dengan IPK ≥ 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro

(.....)
Handayani

Malang, ...201

Pemohon

(.....)
CANDRA BASUKI.....

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

(.....)
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y.1018800189

Mengetahui
Dosen Wali

(.....)
M. Ibrahim Ashari, ST MT



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : CANDRA BASUKI
Nim : 0812218
Semester : VIII (Delapan)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika

Dengan ini menyatakan bersedia/tidak bersedia*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

" RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16"

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Hormat Kami

Ir. Teguh Herbasuki, MT

NIP.Y. 1038900209

*) Coret yang tidak perlu



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : CANDRA BASUKI

Nim : 0812218

Semester VIII (Delapan)

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Elektronika

Dengan ini menyatakan bersedia/tidak bersedia*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

" RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16"

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Hormat Kami

Ir. M. Abdul Hamid, MT

NIP.Y. 1018800188

Catatan :

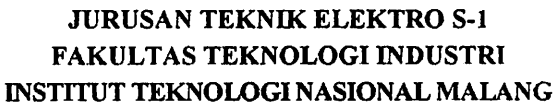
Setelah disetujui agar formulir ini Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut

*) Coret yang tidak perlu



BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika

1.	Nim	: 0812218		
2.	Nama	: CANDRA BASUKI		
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Elektronika		
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat	
	28 April 2012	09.00	III.1.1	
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16		
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	Catatan :	~ LCD untuk ditambah dg. kecep. motor !		
8.	Catatan :			
	Persetujuan judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III	
	(.....)	(.....)	(.....)	
	Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs	
	 Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT NIP. Y. 1018800189	Pembimbing I	Pembimbing II	
		(.....)	(.....)	



BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1

KONSENTRASI		Elektronika	
1.	Nama Mahasiswa	CANDRA BASUKI	NIM 0812218
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu
	Pelaksanaan		
3.	Judul Skripsi	RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16	
4.	Perubahan Judul		
5.	Catatan : ~ Chek teg. pd. output regulator - chek teg. pd. output inverter. ~ Chek freg. pd. output inverter.		
6.	Mengetahui, Ketua Jurusan.	Disetujui, Dosen Pembimbing	
		Pembimbing I	Pembimbing II
			
	M. Ibrahim Ashari, ST, MT	Ir. Teguh Herbasuki, MT	Ir. M. Abdul Hamid, MT



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
Jl. Raya Karangre, Km. 2 MALANG

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam Pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T.Energi Listrik,/
T. Elektronika, /T. Komputer, / T.Telekomunikasi, Maka Perlu Adanya Perbaikan Skripsi Untuk Mahasiswa:

Nama : Candra Basuni
NIM : 0812218
Perbaikan Meliputi :

Untuk pengujian inverter di foto merupakan gambar.
Daftar pustaka ditambah dengan buku sumber.
Buku II.
Kesimpulan disimpulkan
pengujian awal.

Malang, 15 Agustus 2018


(.....M. Ibrahim Aslagi.....)STMT



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
Jl. Raya Karangas, Km. 2 MALANG

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam Pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T.Energi Listrik, /
T. Elektronika, /T. Komputer, / T.Telekomunikasi, Maka Perlu Adanya Perbaikan Skripsi Untuk Mahasiswa:

Nama : CANDRA BASUKI
NIM : 0812218
Perbaikan Meliputi :

- Tambahan pada kesimpulan antara pengantar ke az teg & frek
- Kalibrasikan alat sensor kecapatannya dan hitung errornya.
- Spesifikasi Alat

Malang, 19 - 08 - 2015

(.....)

Program Kontrol Utama

\$regfile = "m16def.dat"
\$crystal = 8000000

Config Lcd = 20x4
Config Lcdpin = Pin , Rs = Porta.6 , E = Porta.5 , Db4 = Porta.4 , Db5 = Porta.3 , Db6 = Porta.2 , Db7
= Porta.1
Cursor Off Noblink
Config Kbd = Portb
Declare Sub Angka
Declare Sub Fsend(yyy As Byte)
Declare Sub Vsend(xxx As Byte)
Config Adc = Single , Prescaler = Auto
Start Adc
Dim W As Word
Dim Vout As Word
Dim Vsel As Integer
Dim Vsem As Byte

Dim Hkb As Byte
Dim Ss As String * 1
Dim Hsl As String * 5
Dim Hsla As String * 5
Dim Hslb As Integer

Dim Freq As Byte
Dim Volt As Byte
Dim E As Byte
Dim Fr As Byte

Dim A As Integer

Dim I As Byte
Dim lx As Byte
Dim lxs As String * 8
Dim lxa As String * 2

Dim ly As Byte
Dim lys As String * 8
Dim lya As String * 2

Dim B As Byte

Dim Ce As Byte

Dim Cf As String * 1

Dim Nilai As Byte
'buat timer
Dim Hit As Word
Hit = 0
Dim Frq As Single
Frq = 0

Dim Rpm As Word
Rpm = 0

'buat freq
Config Portd.0 = Output
Config Portd.1 = Output
'buat teg
Config Portc = Output

' buat data
' buat interrupt
' buat data

Config Adc = Single , Prescaler = Auto
Start Adc

A = 0

Locate 1 , 1
Lcd " REGULATED INVERTER "
Locate 2 , 1
Lcd " ===== "

Locate 3 , 1
Lcd " By Candra Basuki "
Locate 4 , 1
Lcd " ITN Malang "

Wait 3

'=====LCD=====|
' REGULATED INVERTER
' V:220 V F:50 Hz
' Kec: 3000 RPM
' ENT:Menu
'=====|

Hsla = ""
Hsl = ""

Freq = 40
Volt = 50
Vsem = 50
Call Fsend(freq)
Call Vsend(volt)
Call Fsend(freq)
Call Vsend(volt)

Do

Call Angka

' buat RPM
'=====

Pulsein Hit , Pind , 2 , 1

Frq = Hit * 20

```
Frq = 1000000 / Frq
Rpm = Frq * 60
'----- rpm ---
```

```
'Cek teg
'=====
'1v=4,096
```

```
W = Getadc(0)
Vout = W / 3.9
```

```
If W > 35 Then
' selisih positif
If Volt > Vout Then
Vsel = Volt - Vout
If Vsel > 20 Then
Vsem = Vsem + 5
Call Vsend(vsem)
Elseif Vsel > 10 Then
Vsem = Vsem + 2
Call Vsend(vsem)
Elseif Vsel > 4 Then
Vsem = Vsem + 1
Call Vsend(vsem)
End If
```

```
' selisih negatif
Elseif Volt < Vout Then
Vsel = Vout - Volt
If Vsel > 20 Then
Vsem = Vsem - 5
Call Vsend(vsem)
Elseif Vsel > 10 Then
Vsem = Vsem - 2
Call Vsend(vsem)
Elseif Vsel > 4 Then
Vsem = Vsem - 1
Call Vsend(vsem)
End If
End If
Else
Vsem = 50
Call Vsend(vsem)
End If
```

```
'----- teg ---
```

```
If Hkb < 10 Then

If Len(hsl) < 4 Then Hsl = Hsl + Str(hkb)
```

```

Hslb = Val(hsl)
If Ss = "f" Then
    Hkb = 12
Elseif Ss = "v" Then
    Hkb = 13
Else
    Hkb = 17
End If

```

```

Waitms 50
End If

```

```

'12 COR
If Hkb = 12 Then
    Ss = "f"

```

```

    Locate 1, 1
    Lcd "Input Freq : "; Hslb; " "
    Locate 2, 1
    Lcd " "
    Locate 3, 1
    Lcd "Masukkan Frekuensi "
    Locate 4, 1
    Lcd "Kemudian tekan ENT "

```

```

' Locate 4, 1
' Lcd "Tombol : "; B; ":"; Hkb; " "

```

```

Waitms 50

```

```

'13 MEN
Elseif Hkb = 13 Then
    Ss = "v"

```

```

    Locate 1, 1
    Lcd "Input Volt : "; Hslb; " "
    Locate 2, 1
    Lcd " "
    Locate 3, 1
    Lcd "Masukkan Tegangan "
    Locate 4, 1
    Lcd "Kemudian tekan ENT "

```

```

' Locate 4, 1
' Lcd "Tombol : "; B; ":"; Hkb; " "

```

```

Waitms 50

```

```

'14 UPS
Elseif Hkb = 14 Then
    If Ss = "f" Then
        ' Hsla = "COR"
        Freq = Freq + 1
        Hkb = 12
        Hslb = Freq

```

```

Elseif Ss = "v" Then
'   Hsla = "MEN"
   Volt = Volt + 1
   Hkb = 13
   Hslb = Volt
Else
   Locate 1 , 1
   Lcd " REGULATED INVERTER "

   Locate 2 , 1
   Lcd " By Candra Basuki "

   Locate 3 , 1
   Lcd " Tekan COR utk Freq "

   Locate 4 , 1
   Lcd " Tekan MEN utk Teg "
   Wait 2
   Hkb = 11

```

```

End If
Waitms 50

```

```

'15 DWN
Elseif Hkb = 15 Then
   If Ss = "f" Then
'   Hsla = "COR"
      Freq = Freq - 1
      Hkb = 12
      Hslb = Freq
   Elseif Ss = "v" Then
'   Hsla = "MEN"
      Volt = Volt - 1
      Hkb = 13
      Hslb = Volt
   Else
      Locate 1 , 1
      Lcd " REGULATED INVERTER "

      Locate 2 , 1
      Lcd " By Candra Basuki "

      Locate 3 , 1
      Lcd " Tekan COR utk Freq "

      Locate 4 , 1
      Lcd " Tekan MEN utk Teg "
      Wait 2
      Hkb = 11

```

```

End If
Waitms 50

```

```

'10 CAN

```

Elseif Hkb = 10 Then

Hsl = ""

If Ss = "f" Then

Hkb = 12

Hslb = Freq

Elseif Ss = "v" Then

Hkb = 13

Hslb = Volt

Else

Hslb = 0

Hkb = 17

End If

Waitms 50

'11 ENT

Elseif Hkb = 11 Then

If Ss = "f" Then

Freq = Hslb

Ss = "a"

Hslb = 0

If Freq < 20 Then Freq = 20

If Freq > 60 Then Freq = 60

'-----

Call Fsend(freq)

Elseif Ss = "v" Then

Volt = Hslb

Ss = "a"

Hslb = 0

If Volt < 30 Then Volt = 30

If Volt > 222 Then Volt = 222

Else

Ss = "a"

Hslb = 0

Locate 1 , 1

Lcd " "

Locate 2 , 1

Lcd " "

Locate 3 , 1

Lcd " "

Locate 4 , 1

Lcd " "

End If

Hsl = ""

Hkb = 17

Waitms 50

Else

```

If A < 1 Then
  Locate 1 , 1
  Lcd "      "
  Locate 2 , 1
  Lcd "      "
  Locate 3 , 1
  Lcd "      "
  Locate 4 , 1
  Lcd "      "
End If

```

```

Locate 1 , 1
Lcd " REGULATED INVERTER "

```

```

Locate 2 , 1
Lcd "Teg:" ; Volt ; "V "

```

```

Locate 2 , 11
Lcd "Frq:" ; Freq ; "Hz "

```

```

Fr = Frq
Locate 3 , 1
Lcd "Kec: " ; Rpm ; "/m, " ; Fr ; "/s "

```

```

Locate 4 , 1
Lcd "Vo : " ; Vout ; "V,"

```

```

Locate 4 , 11
Lcd "Vs : " ; Vsem ; " "

```

```

A = A + 1
If A > 100 Then A = 0
Waitms 50
End If

```

```

Iys = Bin(volt)
Ixs = Bin(freq)
'I2cstop
Waitms 50

```

```

Loop
End

```

```

Sub Angka
B = Getkbd()

```

```

If B < 16 Then

  If B = 0 Then Hkb = 1
  If B = 1 Then Hkb = 4
  If B = 2 Then Hkb = 7
  If B = 4 Then Hkb = 2

```

```

    If B = 5 Then Hkb = 5
    If B = 6 Then Hkb = 8
    If B = 7 Then Hkb = 0
    If B = 8 Then Hkb = 3
    If B = 9 Then Hkb = 6
    If B = 10 Then Hkb = 9
    If B = 3 Then Hkb = 10
    If B = 11 Then Hkb = 11
    If B = 12 Then Hkb = 12
    If B = 13 Then Hkb = 13
    If B = 14 Then Hkb = 14
    If B = 15 Then Hkb = 15
'-----
' 1 2 3 COR
' 4 5 6 MEN
' 7 8 9 UPS
' CAN 0 ENT DWN
'-----
End If

End Sub

Sub Vsend(xxx As Byte)

    If Xxx > 210 Then
        Xxx = 210
    ElseIf Xxx < 8 Then
        Xxx = 8
    End If

    Portc = Xxx

End Sub

Sub Fsend(yyy As Byte)
    lxs = Bin(yyy)

    Reset Portd.0
    Waitms 10
    Set Portd.0

    For lx = 0 To 7

        lxa = Mid(lxs , lx , 1)
        If lxa = "1" Then
            Set Portd.1
        Else
            Reset Portd.1
        End If
        Waitms 25

    Next lx
End Sub

```

```

'Hsla = "CAN" = VALUE
'Hsla = "ENT" = ENTER
'Hsla = "COR" = FREQ
'Hsla = "MEN" = VOLT
'Hsla = "UPS" = NAIK
'Hsla = "DWN" = TURUN

```

Program Kontrol Inverter

\$regfile = "ATtiny2313.dat"

\$crystal = 8000000

Config Portb = Output

Portb = 0

Config Portd.4 = Input

'Config Portd.2 = Input // sdh d ganti int0

Dim A As Byte

Dim Ax As Byte

Dim B As Byte

Dim T As Dword

Dim Dt As String * 10

Dim Dtx As String * 1

Dim Cek As Byte

Dim I As Byte

Dim J As Byte

Dim Nilai As Byte

Enable Interrupts

Enable Int0

Config Int0 = Falling

On Int0 Ok Nosave

Waitms 10

T = 1000

J = 0

I = 0

B = 0

Dt = ""

Dtx = ""

Nilai = 20

Waktu:

If Nilai < 20 Then Nilai = 20

If Nilai > 60 Then Nilai = 60

Ax = Nilai * 2

T = 1000000 / Nilai

T = T / 2

'utk beri spasi

T = T - 500

Cek = 1

Do

'urutan pulsa

'- 05 03 05 - 14 12 14

'543210

'_____

'000000 = 0

'001001 = 9

'000000 = 0

'000110 = 6

'000000 = 0

Portb = 0
Waitus 500

Portb = 9
Waitus T

Portb = 0
Waitus 500

Portb = 6
Waitus T

'ambil nilai input
If Cek >= Ax Then Goto Waktu

Cek = Cek + 1

Loop

'End

'=====

Ok:

Portb = 0

Dt = ""

Waitms 5

For I = 1 To 10

If Pind.4 = 1 Then

Dtx = "1"

Else

Dtx = "0"

End If

Dt = Dt + "" + Dtx

Waitms 25

Next I

```
If Len(dt) > 7 Then
    A = Binval(dt)
    Dt = ""
End If
```

```
Nilai = A
```

```
Return
```

Program Kontrol Regulator

```
$regfile = "ATtiny2313.dat"
```

```
$crystal = 8000000
```

```
Config Portb = Output
'salah pcb
Config Portd.6 = Input
```

```
Config Portd.4 = Input
'Config Portd.2 = Input // sdh d ganti int0
```

```
Dim A As Byte
Dim Dt As String * 10
Dim Dtx As String * 1
```

```
Dim I As Byte
```

```
Enable Interrupts
Enable Int0
Config Int0 = Falling
On Int0 Ok Nosave
```

```
Waitms 10
```

```
Dt = ""
Dtx = ""
```

```
Do
```

```
    nop
```

```
Loop
```

```
End
```

```
'=====
```

```
Ok:
```

```
Dt = ""
Waitms 10
```

For I = 1 To 10

If Pind.4 = 1 Then

Dtx = "1"

Else

Dtx = "0"

End If

Dt = Dt + "" + Dtx

Waitms 25

Next I

If Len(dt) > 7 Then

A = Binval(dt)

Dt = ""

End If

Portb = A

Return

Features

High-performance, Low-power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller
Advanced RISC Architecture

- 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
- 32 x 8 General Purpose Working Registers
- Fully Static Operation
- Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
- On-chip 2-cycle Multiplier

High Endurance Non-volatile Memory segments

- 16 Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
- 512 Bytes EEPROM
- 1 Kbyte Internal SRAM
- Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
- Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by On-chip Boot Program
- True Read-While-Write Operation

- Programming Lock for Software Security

JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface

- Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
- Extensive On-chip Debug Support
- Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface

Peripheral Features

- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Four PWM Channels
- 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x

- Byte-oriented Two-wire Serial Interface

- Programmable Serial USART

- Master/Slave SPI Serial Interface

- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator

- On-chip Analog Comparator

Special Microcontroller Features

- Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
- Internal Calibrated RC Oscillator
- External and Internal Interrupt Sources
- Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby

Pins and Packages

- 32 Programmable I/O Lines
- 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF

Operating Voltages

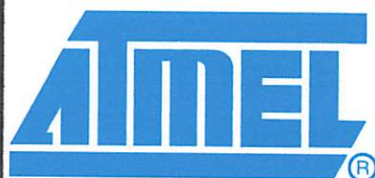
- 2.7V - 5.5V for ATmega16L
- 4.5V - 5.5V for ATmega16

Speed Grades

- 0 - 8 MHz for ATmega16L
- 0 - 16 MHz for ATmega16

Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L

- Active: 1.1 mA
- Idle Mode: 0.35 mA
- Power-down Mode: < 1 µA



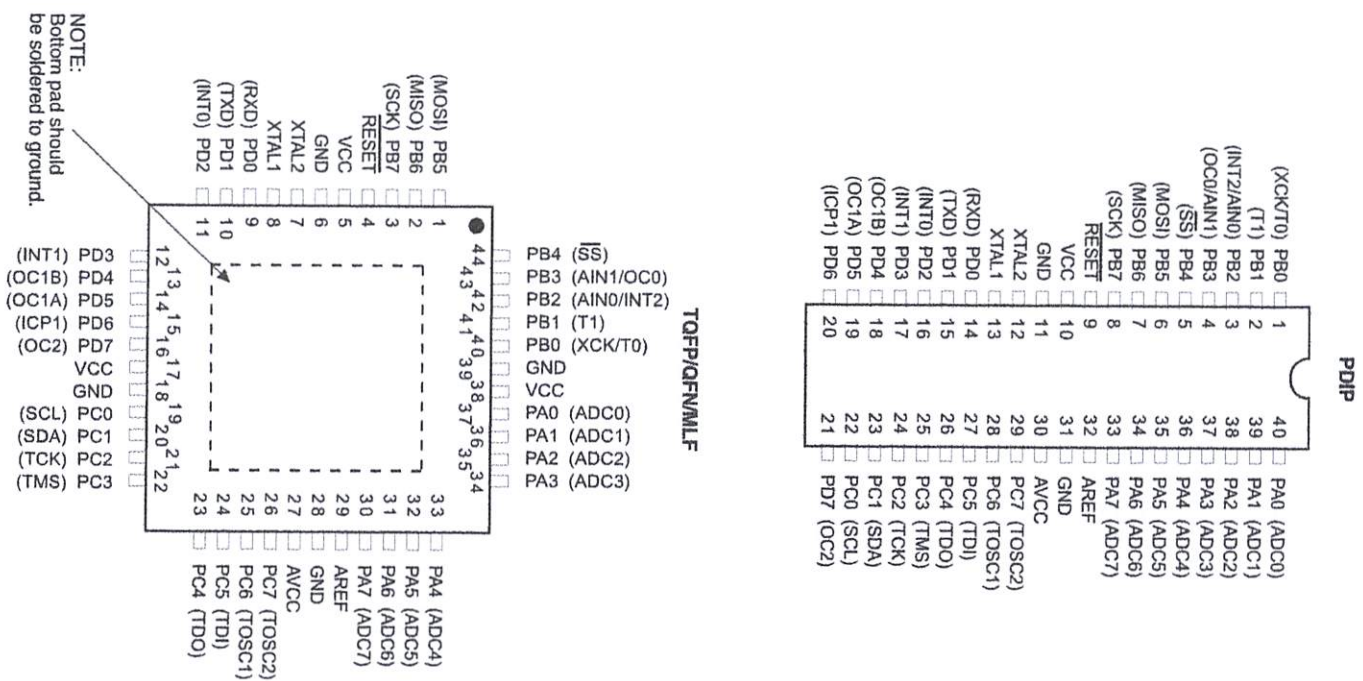
8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 16K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega16
ATmega16L

Rev. 2466T-AVR-07/10



Figure 1. Pinout ATmega16



Disclaimer

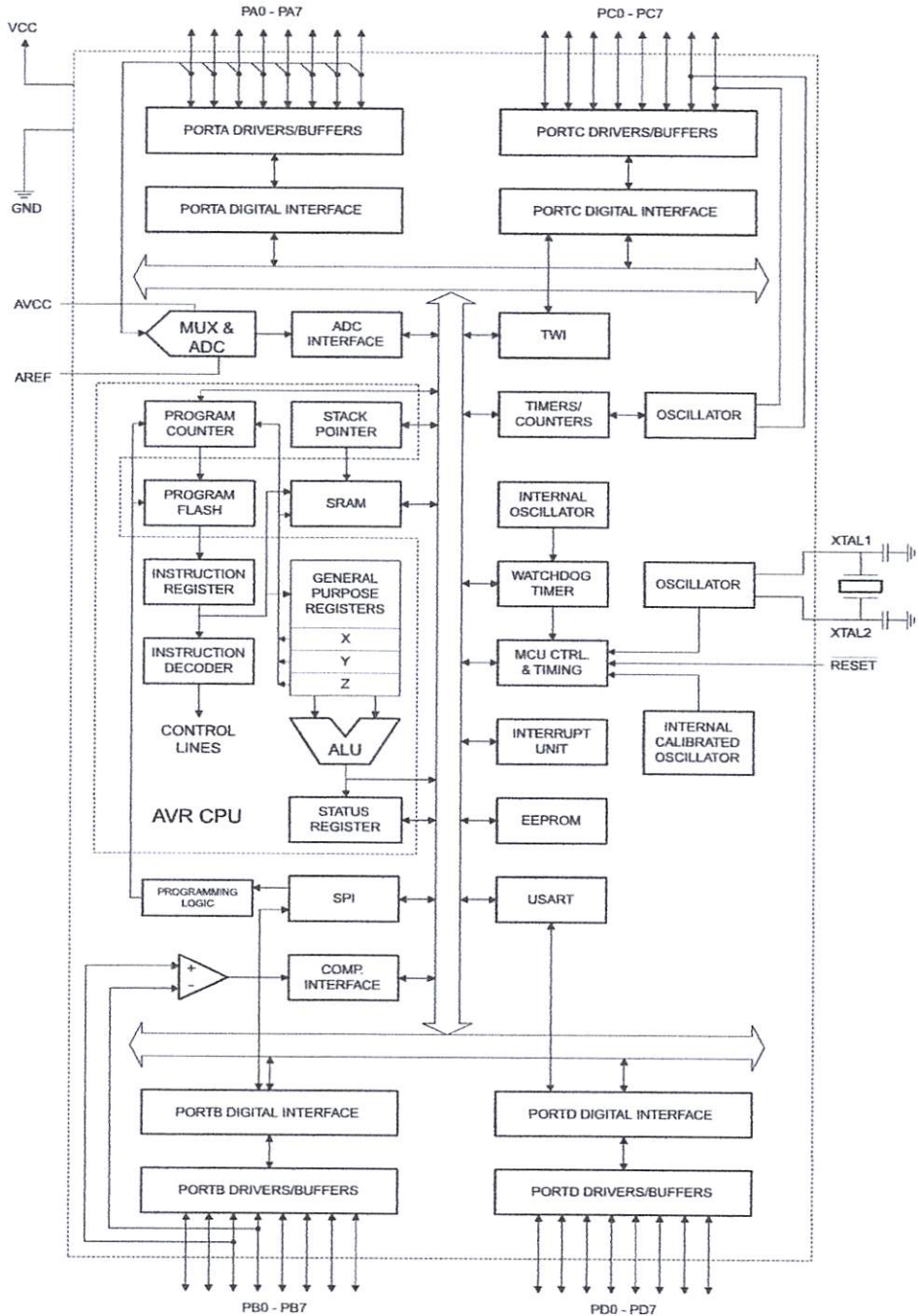
Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

Overview

The ATmega16 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega16 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega16 provides the following features: 16 Kbytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 1 Kbyte SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a JTAG interface for Boundary-scan, On-chip Debugging support and programming, three flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External Interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain (TQFP package only), a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the USART, Two-wire interface, A/D Converter, SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next External Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the Asynchronous Timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega16 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The ATmega16 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

Descriptions

Digital supply voltage.

Ground.

Port A (PA7..PA0)

Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.

Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.



Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on [page 58](#).

Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, *even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PC5(TDI), PC3(TMS) and PC2(TCK) will be activated even if a reset occurs.*

Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega16 as listed on [page 61](#).

Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, *even if the clock is not running.*

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on [page 63](#).

RESET

Reset Input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [Table 15 on page 38](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

AL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

AL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

AVCC

AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.

AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.



Features

Utilizes the AVR[®] RISC Architecture

AVR – High-performance and Low-power RISC Architecture

- 120 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
- 32 x 8 General Purpose Working Registers
- Fully Static Operation
- Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz

Data and Non-volatile Program and Data Memories

- 2K Bytes of In-System Self Programmable Flash
Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
- 128 Bytes In-System Programmable EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 128 Bytes Internal SRAM
- Programming Lock for Flash Program and EEPROM Data Security

Peripheral Features

- One 8-bit Timer/Counter with Separate Prescaler and Compare Mode
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Modes
- Four PWM Channels
- On-chip Analog Comparator
- Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
- USI – Universal Serial Interface
- Full Duplex USART

Special Microcontroller Features

- debugWIRE On-chip Debugging
- In-System Programmable via SPI Port
- External and Internal Interrupt Sources
- Low-power Idle, Power-down, and Standby Modes
- Enhanced Power-on Reset Circuit
- Programmable Brown-out Detection Circuit
- Internal Calibrated Oscillator

Pins and Packages

- 18 Programmable I/O Lines
- 20-pin PDIP, 20-pin SOIC, 20-pad QFN/MLF

Operating Voltages

- 1.8 – 5.5V (ATtiny2313V)
- 2.7 – 5.5V (ATtiny2313)

Speed Grades

- ATtiny2313V: 0 – 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 – 10 MHz @ 2.7 – 5.5V
- ATtiny2313: 0 – 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 – 20 MHz @ 4.5 – 5.5V

Typical Power Consumption

- Active Mode
 - 1 MHz, 1.8V: 230 μ A
 - 32 kHz, 1.8V: 20 μ A (including oscillator)
- Power-down Mode
 - < 0.1 μ A at 1.8V



8-bit AVR[®] Microcontroller with 2K Bytes In-System Programmable Flash

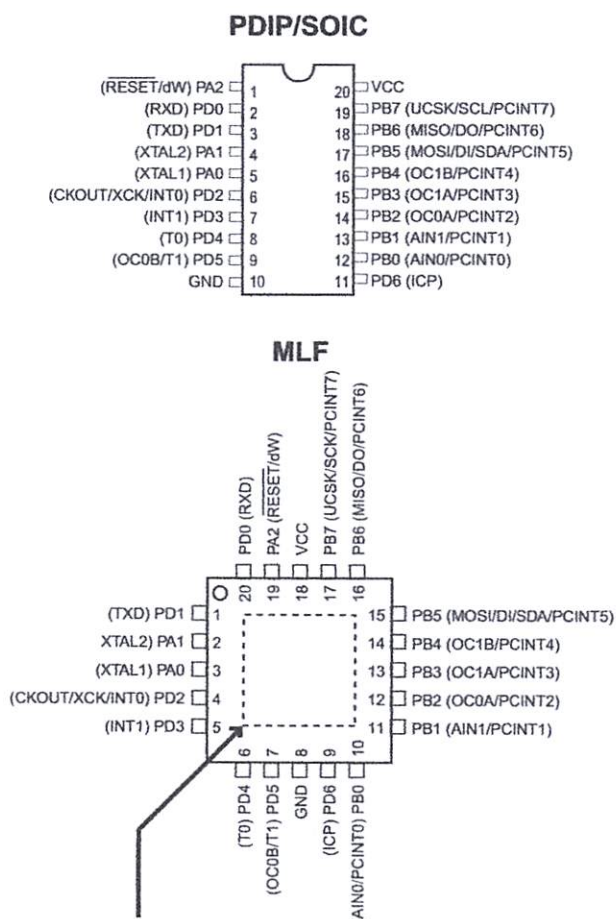
ATtiny2313/V

Preliminary





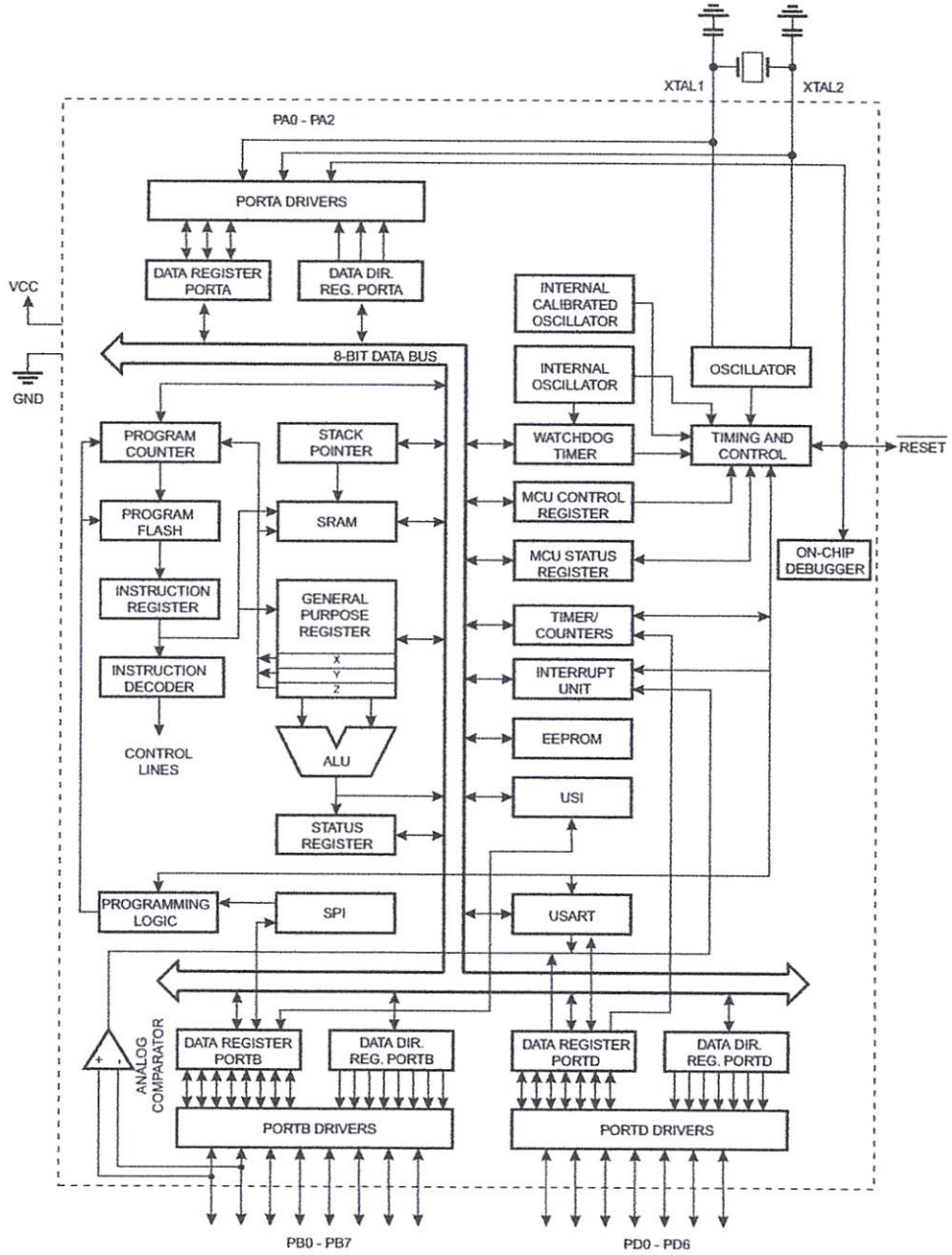
Figure 1. Pinout ATtiny2313



The ATtiny2313 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATtiny2313 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

Block Diagram

Figure 2. Block Diagram





The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATtiny2313 provides the following features: 2K bytes of In-System Programmable Flash, 128 bytes EEPROM, 128 bytes SRAM, 18 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a single-wire Interface for On-chip Debugging, two flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, Universal Serial Interface with Start Condition Detector, a programmable Watchdog Timer with internal Oscillator, and three software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, or by a conventional non-volatile memory programmer. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATtiny2313 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATtiny2313 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

Pin Descriptions

V _{CC}	Digital supply voltage.
GND	Ground.
Port A (PA2..PA0)	Port A is a 3-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port A pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. Port A also serves the functions of various special features of the ATTiny2313 as listed on page 53.
Port B (PB7..PB0)	Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. Port B also serves the functions of various special features of the ATTiny2313 as listed on page 53.
Port D (PD6..PD0)	Port D is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. Port D also serves the functions of various special features of the ATTiny2313 as listed on page 56.
RST	Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 34 . Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset. The Reset Input is an alternate function for PA2 and dW.
XTAL1	Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit. XTAL1 is an alternate function for PA0.
XTAL2	Output from the inverting Oscillator amplifier. XTAL2 is an alternate function for PA1.



BTA24, BTB24, BTA25 BTA26, BTB26, T25

25 A standard and Snubberless™ triacs

Features

- High current triac
- Low thermal resistance with clip bonding
- High commutation (4 quadrant) or very high commutation (3 quadrant) capability
- BTA series UL1557 certified (File ref: 81734)
- Packages are RoHS (2002/95/EC) compliant

Applications

Applications include the ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits, etc., or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers, and similar.

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T25 series) are especially recommended for use on inductive loads, due to their high commutation performances. The BTA series provides an insulated tab (rated at 2500 V_{RMS}).

Description

Available either in through-hole or surface-mount packages, the **BTA24**, **BTB24**, **BTA25**, **BTA26**, **BTB26** and **T25** triac series is suitable for general purpose mains power AC switching.

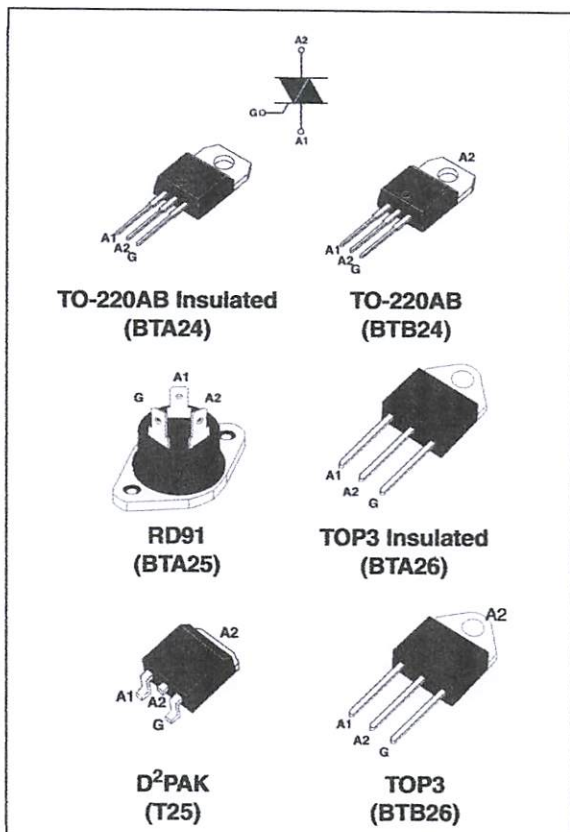


Table 1. Device summary

Symbol	Parameter	BTA24 ⁽¹⁾	BTB24	BTA25 ⁽¹⁾	BTA26 ⁽¹⁾	BTB26	T25	Unit
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	25	25	25	25	25	25	A
V_{DRM}/V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltage	600 / 800	600 / 800	600 / 800	600 ⁽²⁾ / 800	600	600 / 800	V
I_{GT} (Snubberless)	Triggering gate current	35 / 50	35 / 50	50	35 / 50	-	35	mA
I_{GT} (Standard)	Triggering gate current	-	50	50	50	50	-	mA

1. Insulated packages

2. 600 V version available only with $I_{GT} = 50$ mA (Snubberless and Standard)

TM: Snubberless is a trademark of STMicroelectronics

1 Characteristics

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter			Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	TOP3	$T_c = 105^\circ \text{C}$	25	A
		D ² PAK / TO-220AB	$T_c = 100^\circ \text{C}$		
		RD91 Ins/ TOP3 Ins.	$T_c = 100^\circ \text{C}$		
		TO-220AB Ins.	$T_c = 75^\circ \text{C}$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	F = 50 Hz	t = 20 ms	250	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	260	
I^2t	I^2t Value for fusing	$t_p = 10 \text{ ms}$		340	A ² s
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100 \text{ ns}$	F = 120 Hz	$T_j = 125^\circ \text{C}$	50	A/ μs
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	$t_p = 10 \text{ ms}$	$T_j = 25^\circ \text{C}$	$V_{DRM}/V_{RRM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	$t_p = 20 \mu\text{s}$	$T_j = 125^\circ \text{C}$	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ \text{C}$		1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range				- 40 to + 150 - 40 to + 125 °C

Table 3. Electrical characteristics ($T_j = 25^\circ \text{C}$, unless otherwise specified), Snubberless and logic level (3 quadrants) T25, BTA/BTB24...W, BTA25...W, BTA26...W

Symbol	Test Conditions	Quadrant		T25	BTA/BTB		Unit
				T2535	CW	BW	
$I_{GT}^{(1)}$	$V_D = 12 \text{ V}$ $R_L = 33 \Omega$	I - II - III	MAX.	35	35	50	mA
V_{GT}		I - II - III	MAX.	1.3			V
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3 \text{ k}\Omega$ $T_j = 125^\circ \text{C}$	I - II - III	MIN.	0.2			V
$I_H^{(2)}$	$I_T = 500 \text{ mA}$		MAX.	50	50	75	mA
I_L	$I_G = 1.2 I_{GT}$	I - III	MAX.	70	70	80	mA
		II		80	80	100	
dV/dt ⁽²⁾	$V_D = 67 \% V_{DRM}$ gate open	$T_j = 125^\circ \text{C}$	MIN.	500	500	1000	V/ μs
(dI/dt) _c ⁽²⁾	Without snubber	$T_j = 125^\circ \text{C}$	MIN.	13	13	22	A/ms

1. minimum I_{GT} is guaranteed at 5% of I_{GT} max.
2. for both polarities of A2 referenced to A1.

Table 4. Electrical characteristics (T_j = 25° C, unless otherwise specified), standard (4 quadrants), BTB24...B, BTA25...B, BTA26...B, BTB26...B

Symbol	Test Conditions	Quadrant		Value	Unit
I _{GT} ⁽¹⁾	V _D = 12 V R _L = 33 Ω	I - II - III	MAX.	50	mA
		IV		100	
V _{GT}		ALL	MAX.	1.3	V
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ T _j = 125° C	ALL	MIN.	0.2	V
I _H ⁽²⁾	I _T = 500 mA		MAX.	80	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}	I - III - IV	MAX.	70	mA
		II		160	
dV/dt ⁽²⁾	V _D = 67 %V _{DRM} gate open	T _j = 125° C	MIN.	500	V/μs
(dV/dt) _c ⁽²⁾	(dI/dt) _c = 13.3 A/ms	T _j = 125° C	MIN.	10	V/μs

1. minimum I_{GT} is guaranted at 5% of I_{GT} max.
2. for both polarities of A2 referenced to A1.

Table 5. Static characteristics

Symbol	Test Conditions			Value	Unit
V _{TM} ⁽¹⁾	I _{TM} = 35 A t _p = 380 μs	T _j = 25° C	MAX.	1.55	V
V _{th} ⁽¹⁾	Threshold voltage	T _j = 125° C	MAX.	0.85	V
R _d ⁽¹⁾	Dynamic resistance	T _j = 125° C	MAX.	16	mΩ
I _{DRM} I _{RRM}	V _{DRM} = V _{RRM}	T _j = 25° C	MAX.	5	μA
		T _j = 125° C		3	mA

1. for both polarities of A2 referenced to A1.

Table 6. Thermal resistance

Symbol	Parameter		Value	Unit
R _{th(j-c)}	Junction to case (AC)	TOP 3	0.6	° C/W
		D ² PAK / TO-220AB	0.8	
		RD91 Insulated / TOP3 Insulated	0.9	
		TO-220AB Insulated	1.7	
R _{th(j-a)}	Junction to ambient	⁽¹⁾ S = 1 cm ² D ² PAK	45	° C/W
		TOP3 / TOP3 Insulated	50	
		TO-220AB / TO-220AB Insulated	60	

1. S = Copper surface under tab.

Figure 1. Maximum power dissipation versus RMS on-state current (full cycle)

Figure 2. RMS on-state current versus case temperature (full cycle)

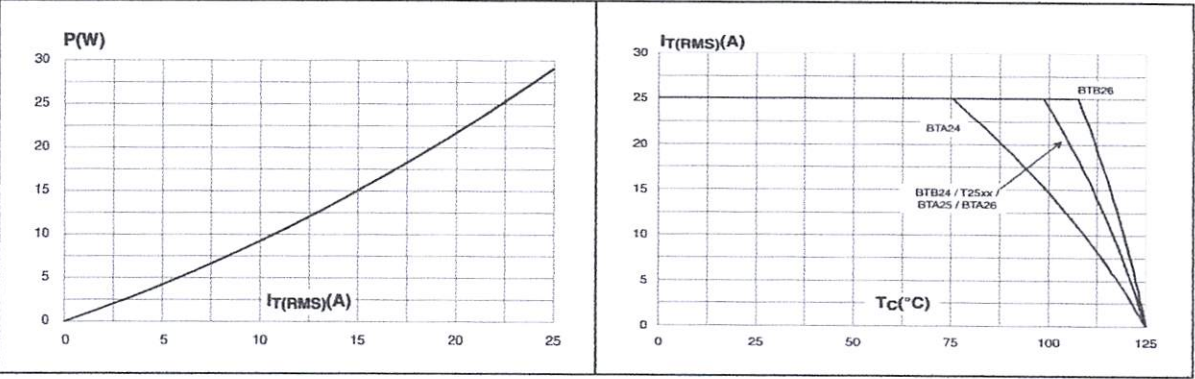


Figure 3. D²PAK RMS on-state current versus ambient temperature (printed circuit board FR4, copper thickness: 35μm) (full cycle)

Figure 4. Relative variation of thermal impedance versus pulse duration

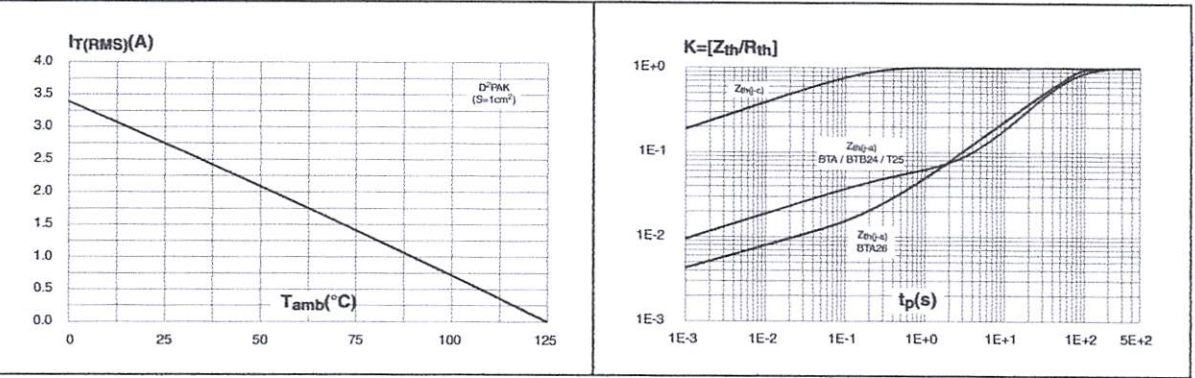


Figure 5. On-state characteristics (maximum values)

Figure 6. Surge peak on-state current versus number of cycles

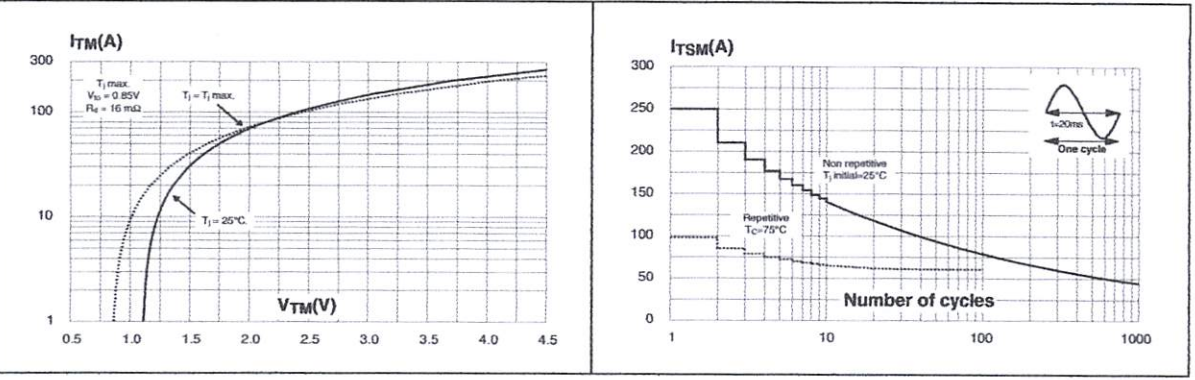


Figure 7. Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width $t_p < 10\text{ ms}$ and corresponding value of I^2t

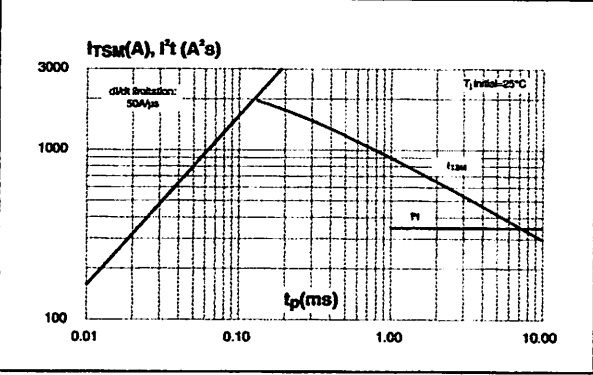


Figure 8. Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature (typical values)

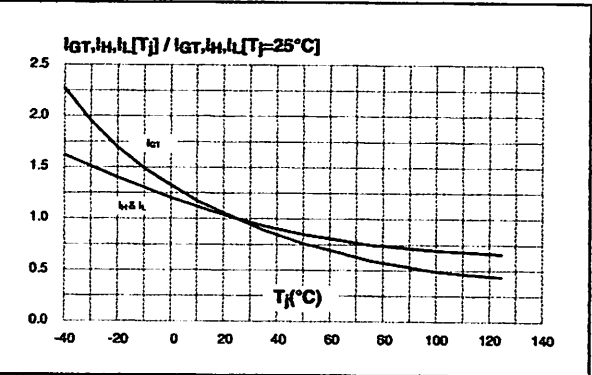


Figure 9. Relative variation of critical rate of decrease of main current versus $(dV/dt)_c$ (typical values)

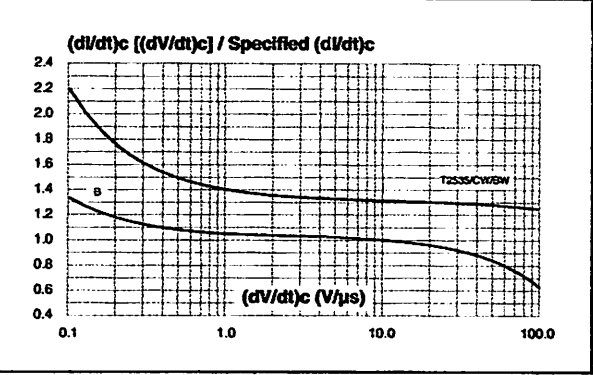


Figure 10. Relative variation of critical rate of decrease of main current versus T_J

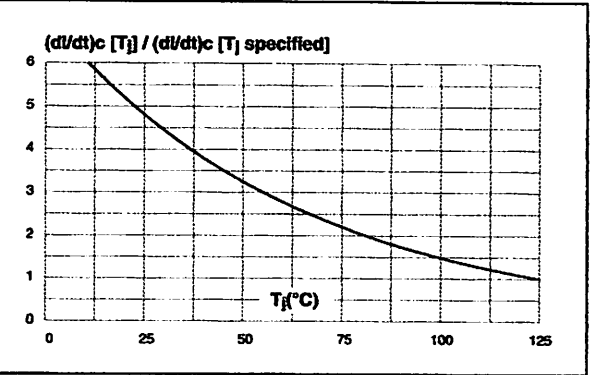
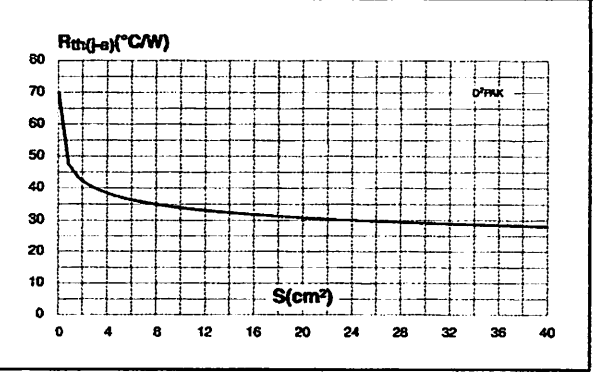


Figure 11. D²PAK thermal resistance junction to ambient versus copper surface under tab (printed circuit board FR4, copper thickness: 35 μm)



2 **Ordering information scheme**

Figure 12. BTA and BTB series

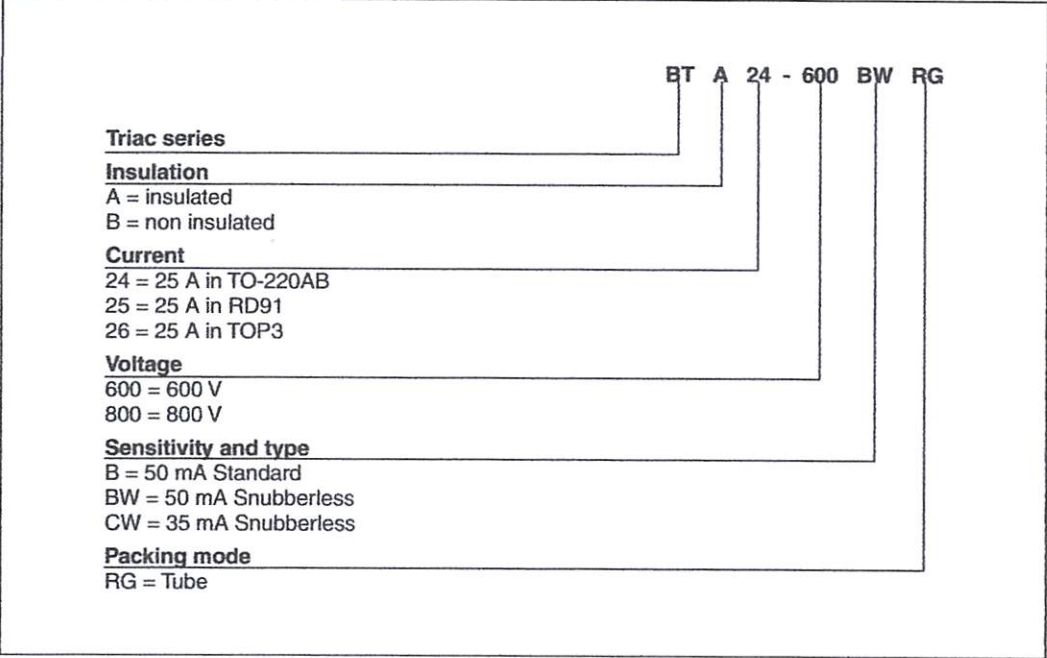
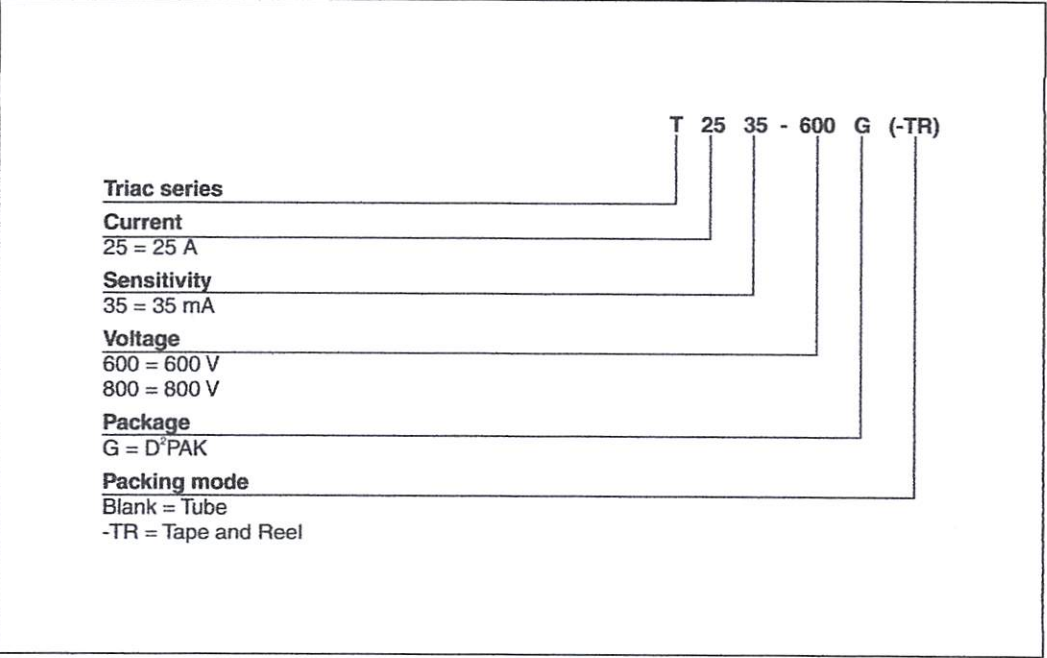


Figure 13. T25 series



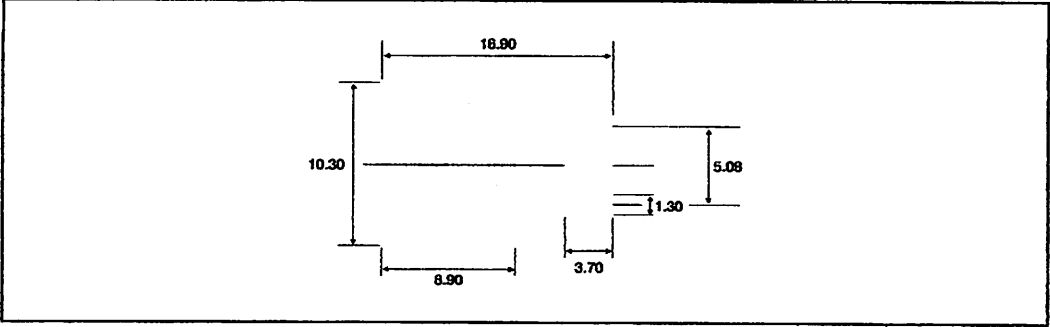
3 Package information

- Epoxy meets UL94,V0
- Cooling method: C
- Recommended torque value: 0.4 - 0.5 Nm (TO-220AB), 0.9 - 1.2 Nm (TOP3 and RD91)
- Maximum torque value for BTB24 is 0.5 Nm

Table 7. D²PAK dimensions

REF.	DIMENSIONS					
	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A	4.30		4.60	0.169		0.181
A1	2.49		2.69	0.098		0.106
A2	0.03		0.23	0.001		0.009
B	0.70		0.93	0.027		0.037
B2	1.25	1.40		0.048	0.055	
C	0.45		0.60	0.017		0.024
C2	1.21		1.36	0.047		0.054
D	8.95		9.35	0.352		0.368
E	10.00		10.28	0.393		0.405
G	4.88		5.28	0.192		0.208
L	15.00		15.85	0.590		0.624
L2	1.27		1.40	0.050		0.055
L3	1.40		1.75	0.055		0.069
R		0.40			0.016	
V2	0°		8°	0°		8°

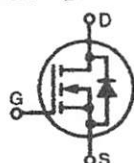
Figure 14. D²PAK footprint dimensions (in millimeters)



PolarHV™ HiPerFET Power MOSFET

N-Channel Enhancement Mode
Fast Recovery Diode
Avalanche Rated

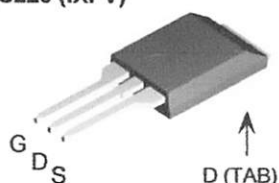
IXFH 30N60P
IXFT 30N60P
IXFV 30N60P
IXFV 30N60PS



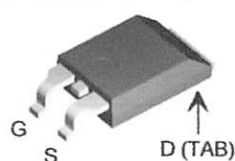
$$\begin{aligned} V_{DSS} &= 600 \text{ V} \\ I_{D25} &= 30 \text{ A} \\ R_{DS(on)} &\leq 240 \text{ m}\Omega \\ t_{rr} &\leq 200 \text{ ns} \end{aligned}$$

Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	
V_{DSS}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	600	V
V_{DGR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C ; $R_{GS} = 1 \text{ M}\Omega$	600	V
V_{GSS}	Continuous	± 30	V
V_{GSM}	Transient	± 40	V
I_{D25}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	30	A
I_{DM}	$T_C = 25^\circ\text{C}$, pulse width limited by T_{JM}	80	A
I_{AR}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	30	A
E_{AR}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	50	mJ
E_{AS}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	1.5	J
dv/dt	$I_S \leq I_{DM}$, $di/dt \leq 100 \text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DSS}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$, $R_G = 4 \Omega$	20	V/ns
P_D	$T_C = 25^\circ\text{C}$	500	W
T_J		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
T_{JM}		150	$^\circ\text{C}$
T_{stg}		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
T_L	1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s	300	$^\circ\text{C}$
T_{SOLD}	Plastic body for 10 s	260	$^\circ\text{C}$
M_d	Mounting torque (TO-247)	1.13/10	Nm/lb.in.
F_C	Mounting force (PLUS220)	11..65/2.5..15	N/lb.
Weight	TO-247	6	g
	TO-268	5	g
	PLUS220	4	g

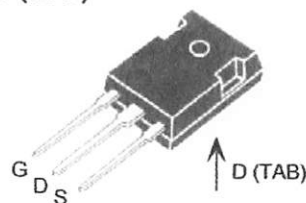
PLUS220 (IXFV)



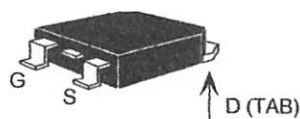
PLUS220 SMD (IXFV...S)



TO-247 (IXFH)



TO-268 (IXFT)



G = Gate
S = Source

D = Drain
TAB = Drain

Symbol	Test Conditions ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)	Characteristic Values		
		Min.	Typ.	Max.
BV_{DSS}	$V_{GS} = 0 \text{ V}$, $I_D = 250 \mu\text{A}$	600		V
$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 4 \text{ mA}$	2.5		5.0 V
I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 30 \text{ V}$, $V_{DS} = 0$			$\pm 100 \text{ nA}$
I_{DSS}	$V_{DS} = V_{DSS}$, $V_{GS} = 0 \text{ V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$			25 μA 250 μA
$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10 \text{ V}$, $I_D = 0.5 I_{D25}$ Pulse test, $t \leq 300 \mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$			240 $\text{m}\Omega$

Features

- Fast Recovery diode
- Unclamped Inductive Switching (UIS) rated
- International standard packages
- Low package inductance
- easy to drive and to protect

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values (T _j = 25° C unless otherwise specified)		
		Min.	Typ.	Max.
g_{fs}	V _{DS} = 20 V; I _D = 0.5 I _{D25} , pulse test	15	27	S
C_{iss}	V _{GS} = 0 V, V _{DS} = 25 V, f = 1 MHz	4000	430	pF
C_{oss}				pF
C_{rss}				pF
t_{d(on)}	V _{GS} = 10 V, V _{DS} = 0.5 I _{D25} R _G = 4 Ω (External)	29	20	ns
t_r				ns
t_{d(off)}				ns
t_f				ns
Q_{g(on)}	V _{GS} = 10 V, V _{DS} = 0.5 V _{DSS} , I _D = 0.5 I _{D25}	82	28	nC
Q_{gs}				nC
Q_{gd}				nC
R_{thJC}	TO-247, PLUS220	0.21	0.25 °C/W	
R_{thCS}				°C/W

Source-Drain Diode

Characteristic Values

($T_g = 25^\circ \text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.
I_s	$V_{GS} = 0\text{ V}$			30 A
I_{3M}	Repetitive			80 A
V_{SD}	$I_F = I_s$, $V_{GS} = 0\text{ V}$, Pulse test, $t \leq 300\text{ }\mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$			1.5 V
t_{π}	$I_F = 25\text{ A}$, $-di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_R = 100\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$		0.8	200 ns
Q_{RM}				μC

reserves the right to change limits, test conditions, and dimensions.

IOSFETs and IGBTs are covered by more of the following U.S. patents:	4,835,592	4,931,844	5,049,981	5,237,481	6,162,665	6,404,065 B1	6,683,344	6,727,585
	4,850,072	5,017,508	5,063,307	5,381,025	6,259,123 B1	6,534,343	6,710,405B2	6,759,692
	4,881,106	5,034,796	5,187,117	5,486,715	6,306,728 B1	6,583,505	6,870,483	6,771,478 B2

Fig. 1. Output Characteristics
@ 25°C

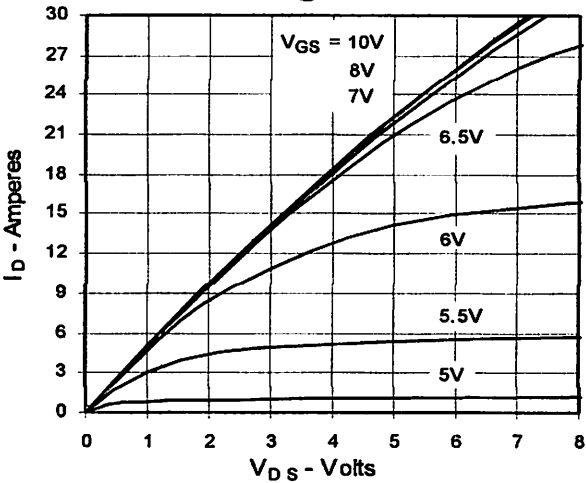


Fig. 2. Extended Output Characteristics
@ 25°C

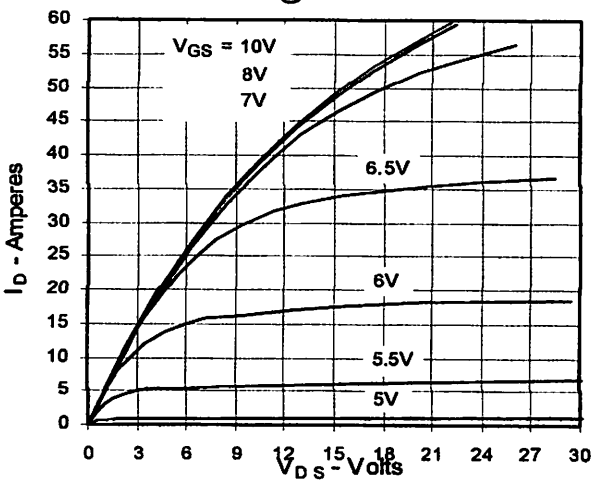


Fig. 3. Output Characteristics
@ 125°C

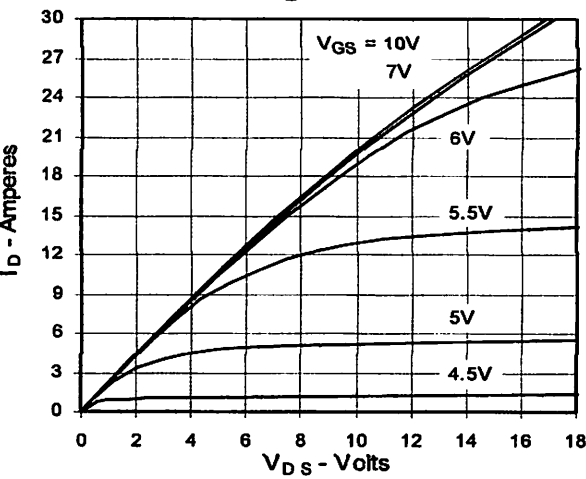


Fig. 4. $R_{DS(on)}$ Normalized to $I_D = 15A$
Value vs. Junction Temperature

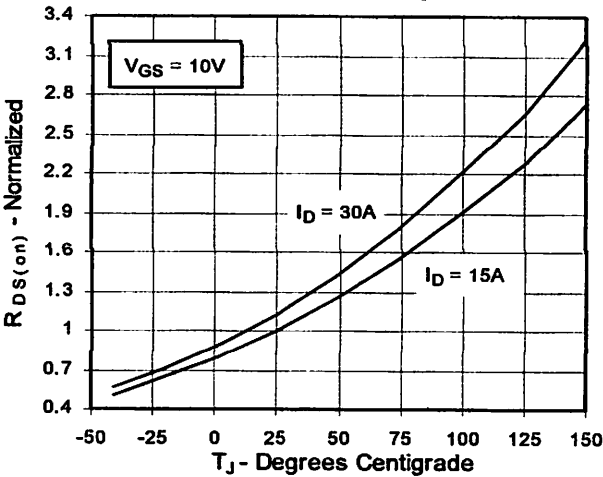


Fig. 5. $R_{DS(on)}$ Normalized to
 $I_D = 15A$ Value vs. Drain Current

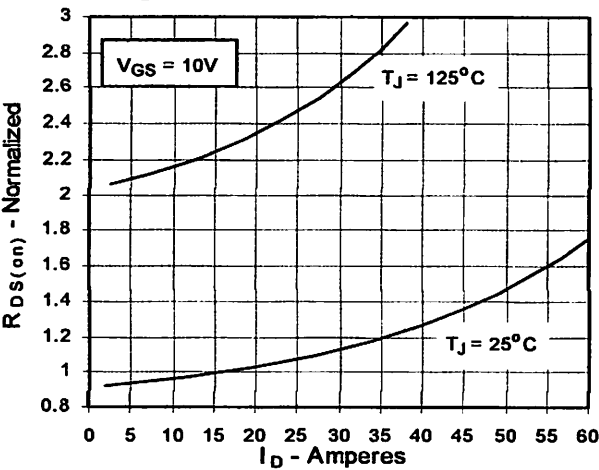


Fig. 6. Drain Current vs. Case
Temperature

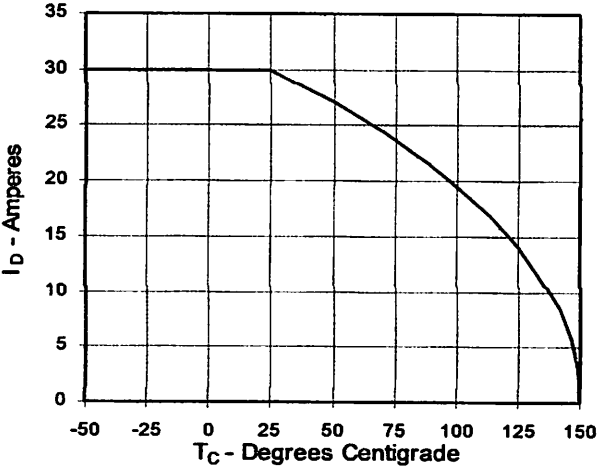


Fig. 7. Input Admittance

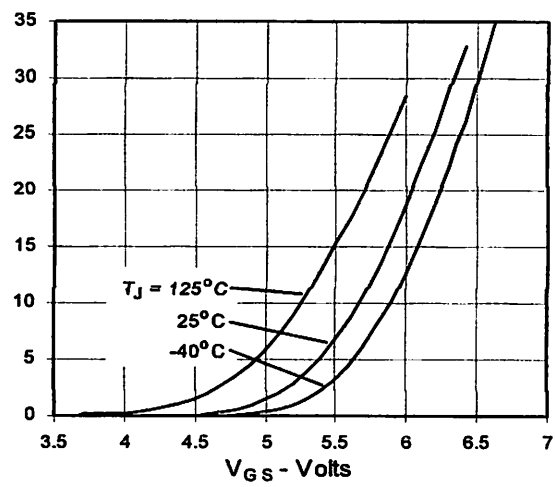


Fig. 8. Transconductance

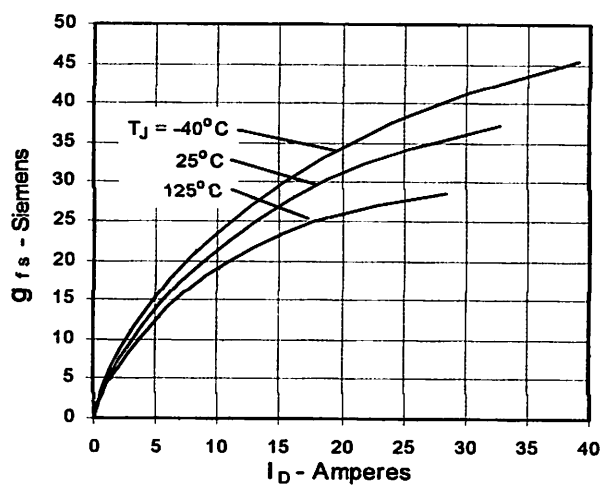


Fig. 9. Source Current vs. Source-To-Drain Voltage

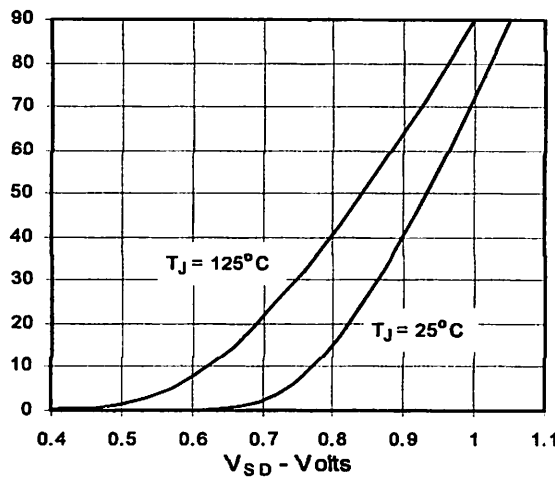


Fig. 10. Gate Charge

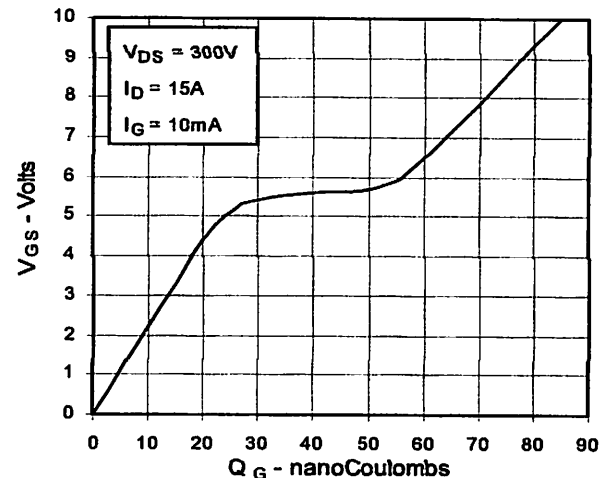


Fig. 11. Capacitance

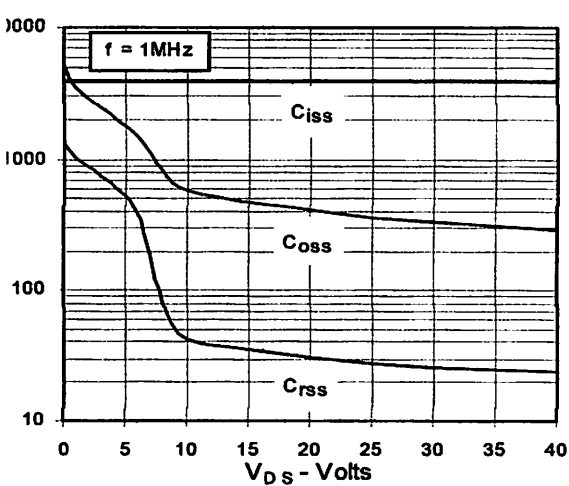
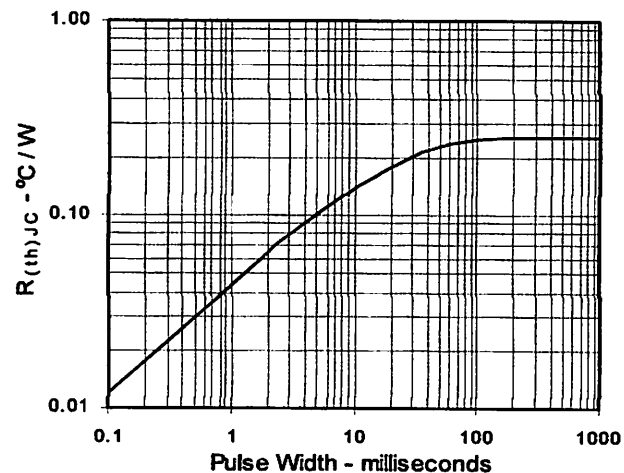
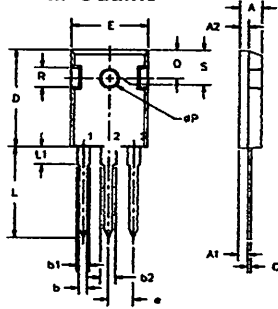


Fig. 12. Maximum Transient Thermal Resistance



Package Outline Drawings

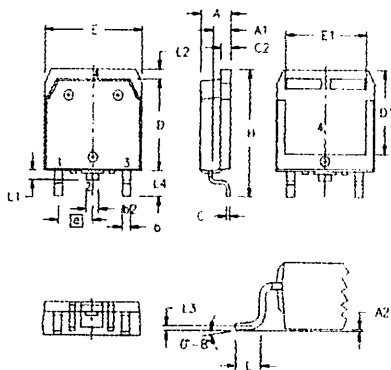
TO-247 AD Outline



Terminals: 1 - Gate 2 - Drain
3 - Source Tab - Drain

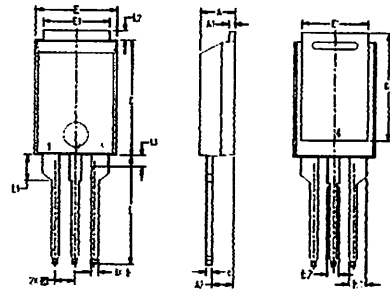
Dim.	Millimeter		Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.7	5.3	.185	.209
A ₁	2.2	2.54	.087	.102
A ₂	2.2	2.6	.059	.098
b	1.0	1.4	.040	.055
b ₁	1.65	2.13	.065	.084
b ₂	2.87	3.12	.113	.123
C	.4	.8	.016	.031
D	20.80	21.46	.819	.845
E	15.75	16.26	.610	.640
e	5.20	5.72	0.205	0.225
L	19.81	20.32	.780	.800
L ₁		4.50		.177
ØP	3.55	3.65	.140	.144
Q	5.89	6.40	0.232	0.252
R	4.32	5.49	.170	.216
S	6.15	BSC	.242	BSC

TO-268 (IXTT) Outline



SYM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	.193	.201	4.90	5.10
A ₁	.105	.114	2.70	2.90
A ₂	.001	.010	0.02	0.25
b	.045	.057	1.15	1.45
b ₂	.075	.083	1.90	2.10
C	.016	.026	0.40	0.65
C ₂	.057	.063	1.45	1.60
D	.543	.551	13.80	14.00
D ₁	.488	.500	12.40	12.70
E	.624	.632	15.85	16.05
E ₁	.524	.535	13.30	13.60
e	.215 BSC		5.45 BSC	
H	.736	.752	18.70	19.10
L	.094	.106	2.40	2.70
L ₁	.047	.055	1.20	1.40
L ₂	.039	.045	1.00	1.15
L ₃	.010 BSC		0.25 BSC	
L ₄	.150	.161	3.80	4.10

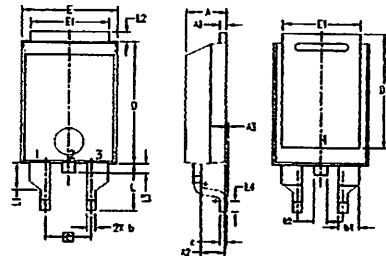
PLUS220 (IXFV) Outline



1. GATE
2. DRAIN (COLLECTOR)
3. SOURCE (EMITTER)
4. DRAIN (COLLECTOR)

SYM	INCHES		MILLIMETER	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	.169	.183	4.30	4.70
A ₁	.028	.035	0.70	0.90
A ₂	.098	.118	2.50	3.00
b	.035	.047	0.90	1.20
b ₁	.080	.095	2.03	2.41
b ₂	.054	.064	1.37	1.63
c	.028	.035	0.70	0.90
D	.551	.591	14.00	15.00
D ₁	.512	.539	13.00	13.70
E	.394	.433	10.00	11.00
E ₁	.331	.346	8.40	8.80
e	.100 BSC		2.54 BSC	
L	.512	.551	13.00	14.00
L ₁	.118	.138	3.00	3.50
L ₂	.035	.051	0.90	1.30
L ₃	.047	.059	1.20	1.50

PLUS220SMD (IXFV_S) Outline



1. GATE
2. DRAIN (COLLECTOR)
3. SOURCE (EMITTER)
4. DRAIN (COLLECTOR)

SYM	INCHES		MILLIMETER	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	.169	.185	4.30	4.70
A ₁	.028	.035	0.70	0.90
A ₂	.098	.118	2.50	3.00
A ₃	.000	.010	0.00	0.25
b	.035	.047	0.90	1.20
b ₁	.080	.095	2.03	2.41
b ₂	.054	.064	1.37	1.63
c	.028	.035	0.70	0.90
D	.551	.591	14.00	15.00
D ₁	.512	.539	13.00	13.70
E	.394	.433	10.00	11.00
E ₁	.331	.346	8.40	8.80
e	.200 BSC		5.08 BSC	
L	.209	.228	5.30	5.80
L ₁	.118	.138	3.00	3.50
L ₂	.035	.051	0.90	1.30
L ₃	.047	.059	1.20	1.50
L ₄	.039	.059	1.00	1.50

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

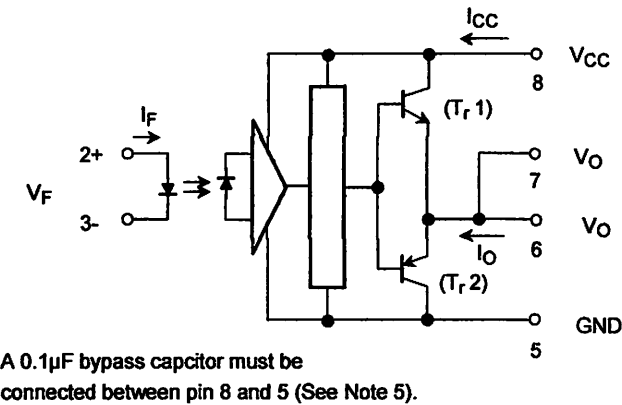
Transistor Inverter
Inverter For Air Conditionor
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8-lead DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
 - VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
 - Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
 - Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

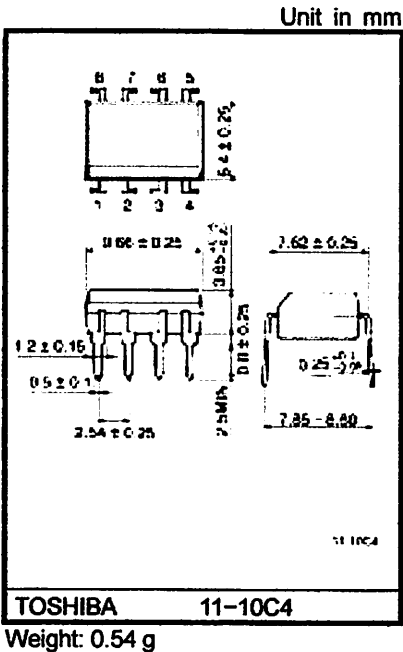
- (Note) When a VDE0884 approved type is needed,
please designate the "option (D4)"
- Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$
Clearance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

Schematic

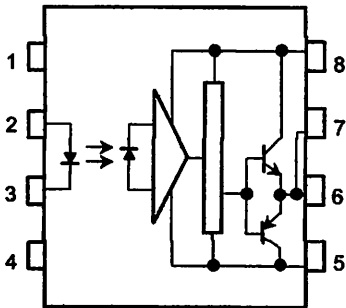


Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On



Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic			Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current		I _F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		ΔI _F / ΔTa	−0.36	mA / °C
	Peak transient forward curent (Note 1)		I _{FPT}	1	A
	Reverse voltage		V _R	5	V
	Junction temperature		T _J	125	°C
Detector	"H"peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)		I _{OPH}	−1.5	A
	"L"peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)		I _{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V _O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V _{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		ΔV _O / ΔTa	−0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		ΔV _{CC} / ΔTa	−0.73	V / °C
	Junction temperature		T _J	125	°C
Operating frequency (Note 3)			f	25	kHz
Operating temperature range			T _{opr}	−20~85	°C
Storage temperature range			T _{stg}	−55~125	°C
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)			T _{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H.≤ 60%) (Note 5)			BV _S	2500	V _{rms}

- Note 1: Pulse width PW ≤ 1μs, 300pps
- Note 2: Exporenential waveform
- Note 3: Exporenential waveform, IOPH ≤ −1.0A(≤ 2.5μs), IOLP ≤ +1.0A(≤ 2.5μs)
- Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.
- Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.
- Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.		Unit
Input current, on (Note 7)	IF(ON)	7	8	10		mA
Input voltage, off	VF(OFF)	0	—	0.8		V
Supply voltage	VCC	15	—	30	20	V
Peak output current	IOPH/IOLP	—	—	±0.5		A
Operating temperature	Topr	−20	25	70	85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition		Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		VF	—	IF = 10 mA , Ta = 25°C			1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔVF / ΔTa	—	IF = 10 mA		—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		IR	—	VR = 5V, Ta = 25°C			—	10	μA
Input capacitance		CT	—	V = 0 , f = 1MHz , Ta = 25°C		—	45	250	pF
Output current	"H" level	IOPH	3	VCC = 30V (*1)	IF = 10 mA V8-6 = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	IOPL	2		IF = 0 V6-5 = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	VOH	4	VCC1 = +15V, VEE1 = -15V RL = 200Ω, IF = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	VOL	5	VCC1 = +15V, VEE1 = -15V RL = 200Ω, VF = 0.8V		—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	ICCH	—	VCC = 30V, IF = 10mA Ta = 25°C		—	7	—	mA
				VCC = 30V, IF = 10mA		—	—	11	
	"L" level	ICCL	—	VCC = 30V, IF = 0mA Ta = 25°C		—	7.5	—	
				VCC = 30V, IF = 0mA		—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	IFLH	—	VGG1 = +15V, VEE1 = -15V RL = 200Ω, VO > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	IFHL	—	VCC1 = +15V, VEE1 = -15V RL = 200Ω, VO < 0V		0.8	—	—	V
Supply voltage		VCC	—			10	—	35	V
Capacitance (input-output)		CS	—	VS = 0 , f = 1MHz Ta = 25°C		—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		RS	—	VS = 500V , Ta = 25°C R.H.≤ 60%		1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of IO time ≤ 50μs

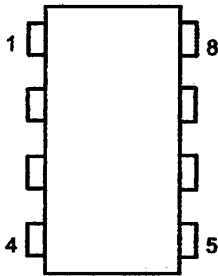
Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t _{pLH}	6	I _F = 8mA (Note 7) V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t _{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t _r			—	—	—	
Output fall time		t _f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C _{MH}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 8mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C _{ML}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 0mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

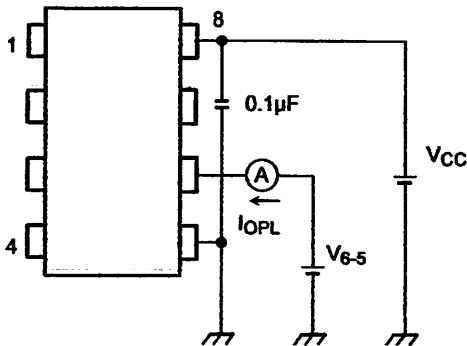
* All typical values are at Ta = 25°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

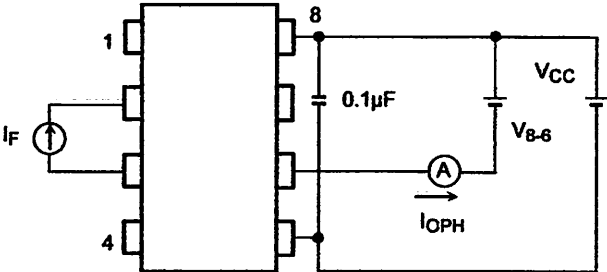
Test Circuit 1 :



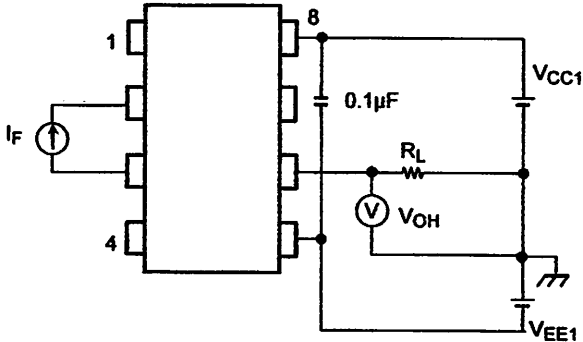
Test Circuit 2 : IOPL



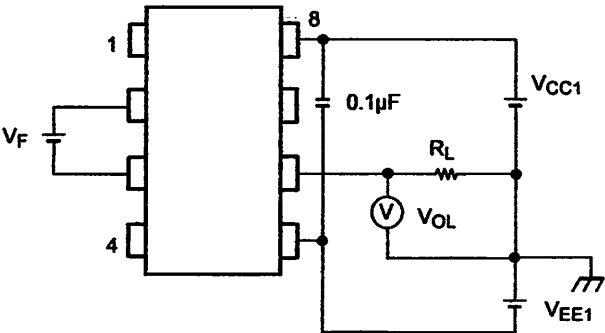
Test Circuit 3 : IOPH



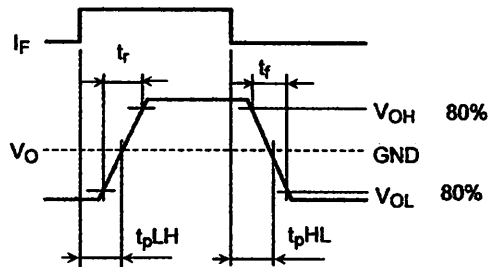
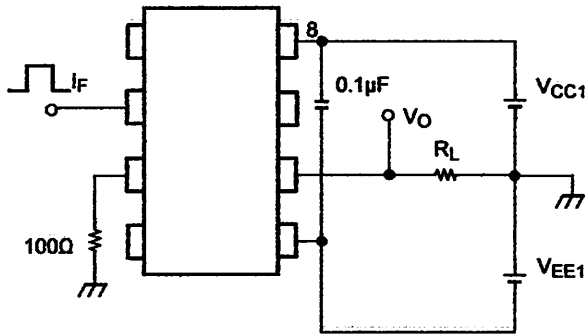
Test Circuit 4 : VOH



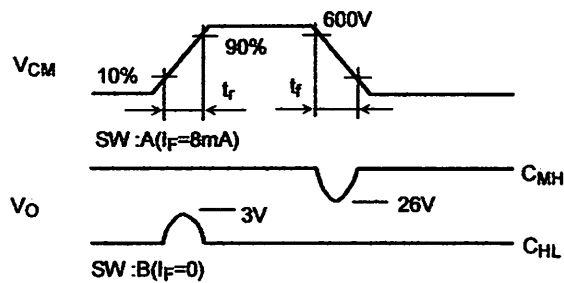
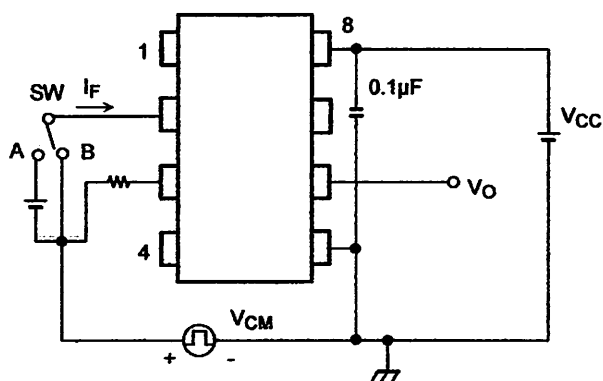
Test Circuit 5 : VOL



Test Circuit 6: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f



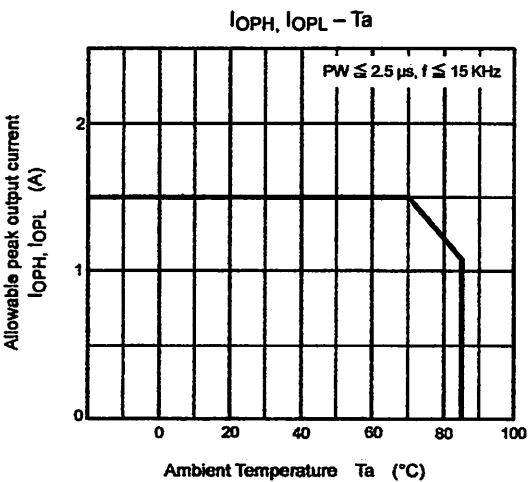
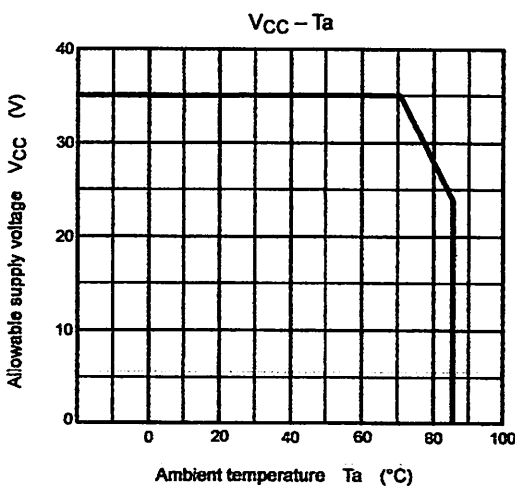
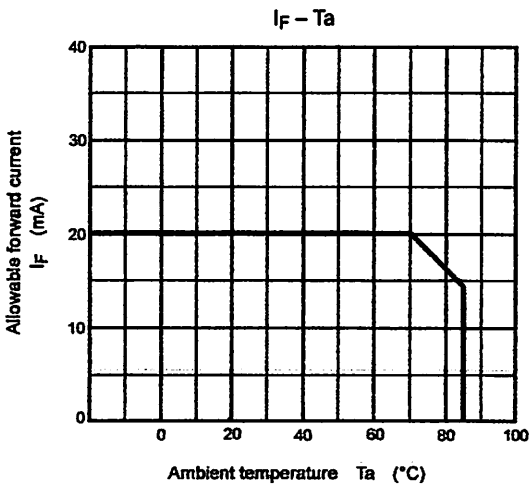
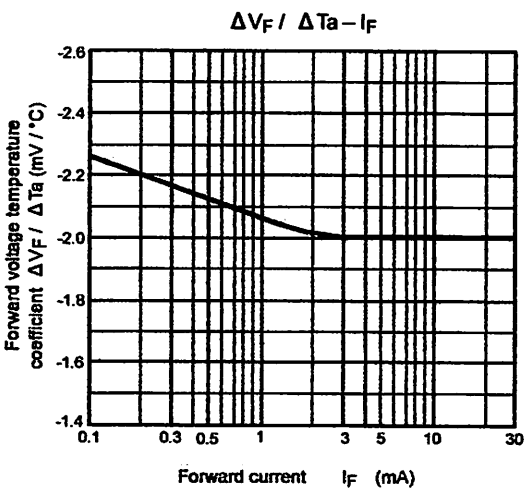
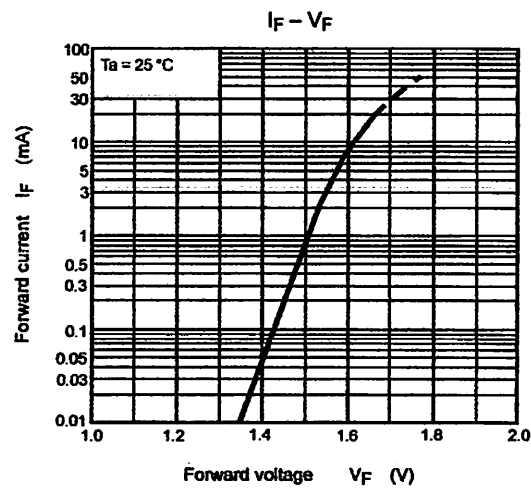
Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML}



$$C_{ML} = \frac{480(V)}{t_f(\mu s)}$$

$$C_{MH} = \frac{480(V)}{t_r(\mu s)}$$

$C_{ML}(C_{MH})$ is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.





6-Pin DIP Random-Phase
Optoisolators Triac Driver Output
(400 Volts Peak)

The MOC3020 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option. They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V _R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I _F	60	mA
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P _D	100 1.33	mW mW/°C

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I _{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	300 4	mW mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V _{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	330 4.4	mW mW/°C
Junction Temperature Range	T _J	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T _A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T _{stg}	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T _L	260	°C

- Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
- Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value. GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

MOC3021
[IFT = 15 mA Max]
MOC3022
[IFT = 10 mA Max]
MOC3023*
[IFT = 5 mA Max]

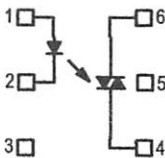
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL



MOC3021 MOC3022 MOC3023

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (TA = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED					
Reverse Leakage Current (V _R = 3 V)	I _R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage (I _F = 10 mA)	V _F	—	1.15	1.5	Volts
OUTPUT DETECTOR (I _F = 0 unless otherwise noted)					
Peak Blocking Current, Either Direction (Rated V _{DRM} ⁽¹⁾)	I _{DRM}	—	10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction (I _{TM} = 100 mA Peak)	V _{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage (Figure 7, Note 2)	dv/dt	—	10	—	V/μs
COUPLED					
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V ⁽³⁾)	I _{FT}	—	8	15	mA
MOC3021	—	—	—	10	
MOC3022	—	—	—	5	
MOC3023	—	—	—	—	
Holding Current, Either Direction	I _H	—	100	—	μA

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. This is static dv/dt. See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an IF value less than or equal to max IFT. Therefore, recommended operating IF lies between max IFT (15 mA for MOC3021, 10 mA for MOC3022, 5 mA for MOC3023) and absolute max IF (60 mA).

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

TA = 25°C

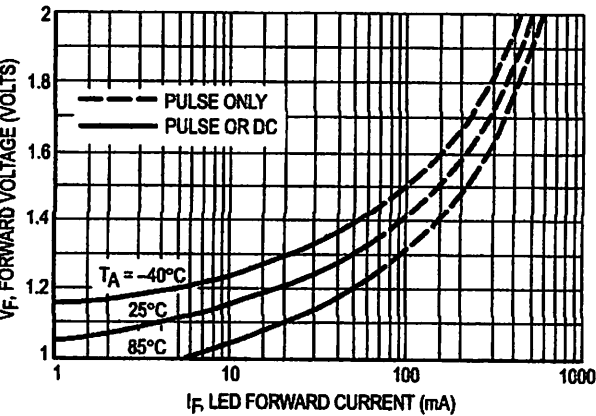


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

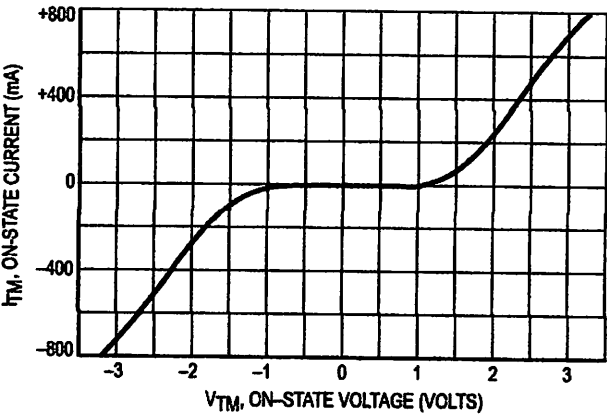


Figure 2. On-State Characteristics

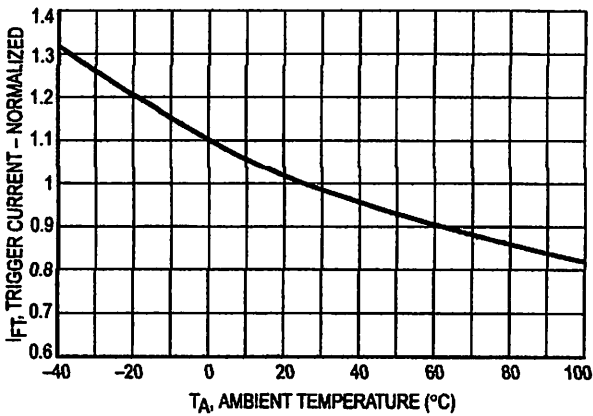


Figure 3. Trigger Current versus Temperature

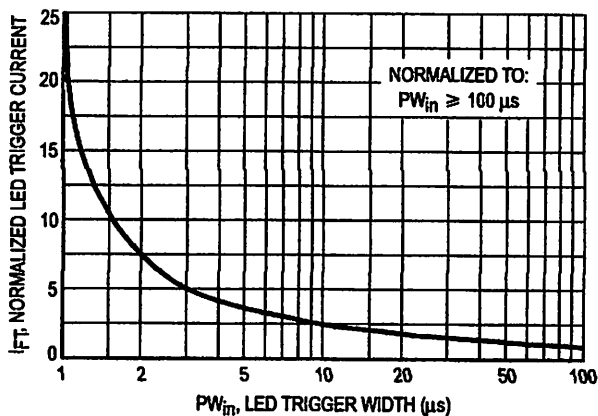


Figure 4. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

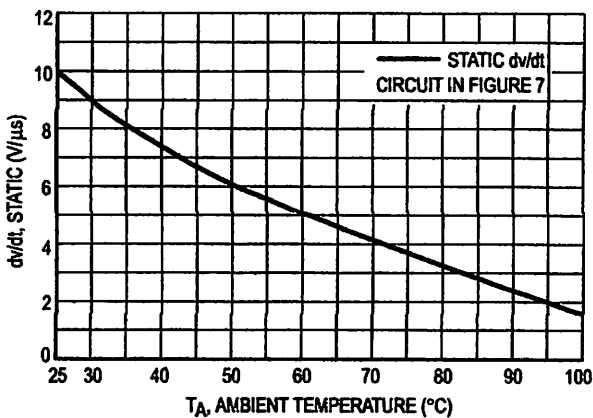


Figure 5. dv/dt versus Temperature

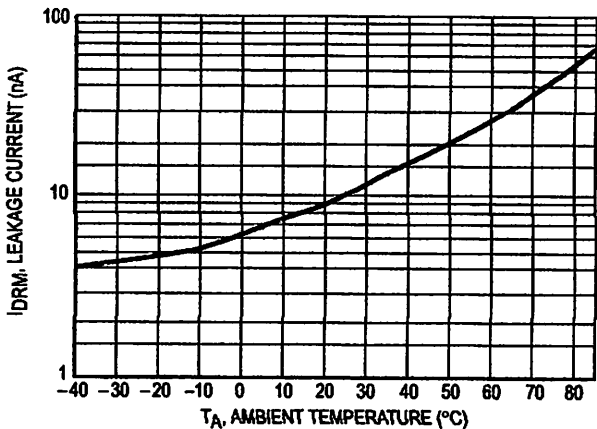


Figure 6. Leakage Current, IDRM versus Temperature

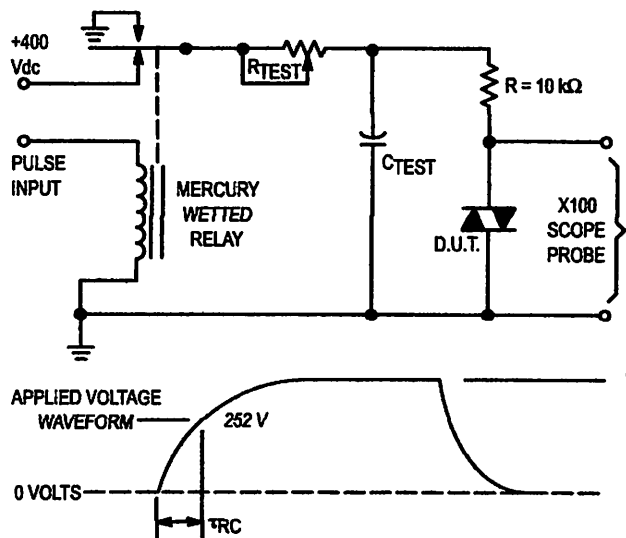
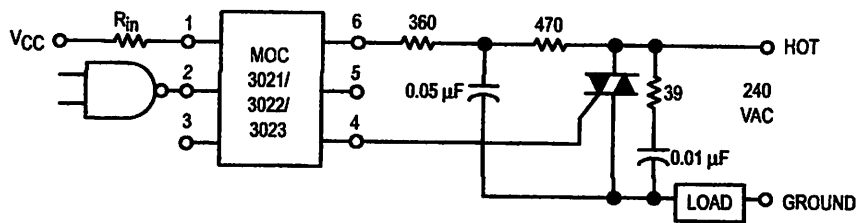


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

MOC3021 MOC3022 MOC3023



* This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Additional information on the use of optically coupled triac drivers is available in Application Note AN-780A.

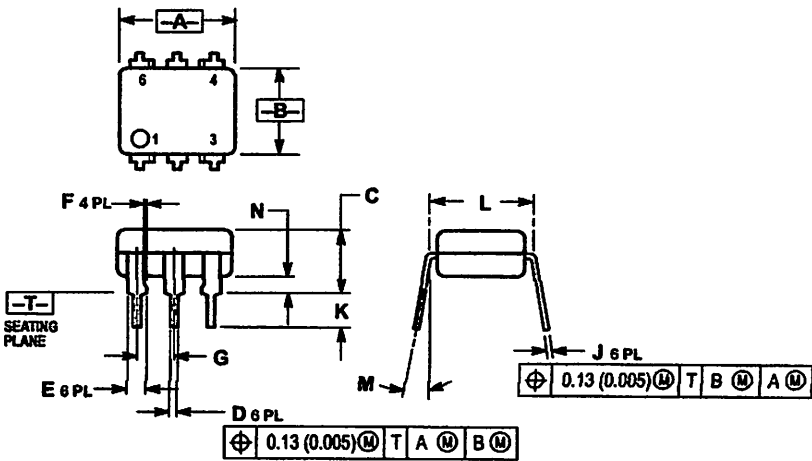
In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

The 39 ohm resistor and 0.01 μF capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05 μF capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Typical Application Circuit

MOC3021 MOC3022 MOC3023

PACKAGE DIMENSIONS

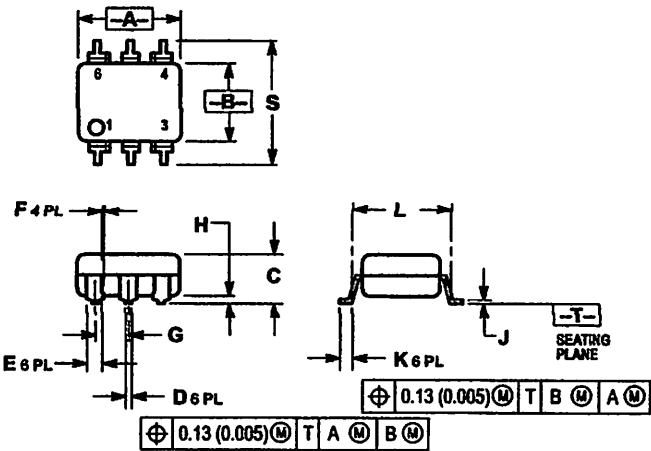


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.015	0.100	0.38	2.54

- STYLE 8:
- PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
6. MAIN TERMINAL

CASE 730A-04
ISSUE G



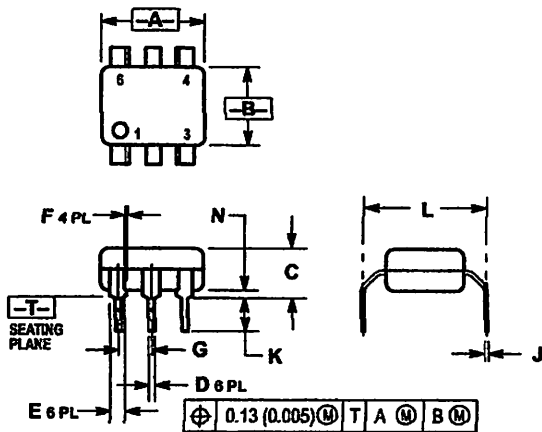
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.020	0.025	0.51	0.63
J	0.008	0.012	0.20	0.30
K	0.008	0.035	0.16	0.88
L	0.320 BSC		8.13 BSC	
S	0.332	0.390	8.43	9.90

*Consult factory for leadform
option availability

CASE 730C-04
ISSUE D

MOC3021 MOC3022 MOC3023



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.008	0.012	0.21	0.30
I	0.100	0.150	2.54	3.81
J	0.400	0.425	10.16	10.80
K	0.015	0.040	0.38	1.02

*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D-05
ISSUE D

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447
MFAX: RMFA00@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315
HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOC3020/D



BIOGRAFI PENULIS



CANDRA BASUKI Lahir di Malang pada tanggal 16 Pebruari 1987, Alamat Jl. Kahuripan Desa Girimoyo Kecamatan Karangploso MALANG, Merupakan anak keempat dari empat bersaudara putra & putri bapak Dahlan dan Ibu Liayah. Penulis memulai pendidikan di SD Girimoyo III dan lulus taun 2002. Di lanjutkan pendidikan di SMP PGRI 01 Karangploso (Malang) lulus taun 2005. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 02 Batu dan lulus tahun 2008, akhirnya melanjutkan pendidikan kembali dan menyelesaikan studi Teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Elektronika dan di wisuda Periode 54 pada tanggal 26 September 2015, menyelesaikan skripsi dengan judul : **“RANCANG BANGUN INVERTER UNTUK MENGONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSIBERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 16”**.