TUGAS AKHIR – TF 145565

RANCANG BANGUN KONVERTER DC TO AC BERBASIS SPWM

Muhammad Fikri Fakhresy
NRP. 2412 031 034

Dosen Pembimbing
Andi Rahmadiansah, ST, MT

PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

FINAL PROJECT – TF 145565

DESIGN OF DC TO AC CONVERTER WITH SPWM

Muhammad Fikri Fakhresy
NRP. 2412 031 034

Supervisor
Andi Rahmadiansah, ST, MT

DIPLOMA OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION ENGINEERING
Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

RANCANG BANGUN KONVERTER DC TO AC BERBASIS SPWM

TUGAS AKHIR

Oleh :

Muhammad Fikri Fakhresy
NRP. 2412 031 034

Surabaya,30 Juni 2016
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing

Andi Rahmadiansah, ST, MT
NIP. 19790517 200312 1 002

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS

Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi

Dr.Ir. Purwadi Agus D, M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001

RANCANG BANGUN KONVERTER DC TO AC BERBASIS SPWM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Muhammad Fikri Fakhresy
NRP. 2413 031 034

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Andi Rahmadiasah, ST, MT. ..... (PembimbingI)
2. Ir. Ya'umar, MT..... (KetuaPenguji)
3. Dr.Ir. Purwadi Agus D, M.Sc ..... (Penguji I)
4. Ir. Harsono Hadi, M.Sc., Ph.D... ..... (Penguji II)
5. Ir. Tutug Dhanardono, MT ..... (Penguji III)
6. Murry Raditya, ST, MT ..... (Penguji IV)

SURABAYA
JULI 2016

RANCANG BANGUN KONVERTER DC TO AC BERBASIS SPWM

Nama Mahasiswa	**: Muhammad Fikri Fakhresy**
NRP	**: 2413 031 034**
Jurusan	**: Teknik Fisika FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Andi Rahmadiansah, ST, MT**

Abstrak

Konverter DC to AC atau yang biasa dikenal sebagai inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya / solar cell menjadi AC. Beberapa tahun belakangan ini perkembangan di dunia elektronika mengalami kemajuan pesat, semua itu di dasari oleh kemajuan pendidikan yang ada selama ini. Pada dasarnya tipe sinyal keluaran konverter dc to ac terdiri dari tiga, yaitu *square sine wave, modified wave,* dan terakhir adalah *pure sine wave*. Pada hasil pengujian menggunakan *oscilloscope* didapati tegangan sebesar 18 volt untuk *driver* IR2110. Dengan frekuensi alat sebesar 31.250 Khz, Vrms 320, arus 6 Ampere, daya 780 watt. Hasil pengujian didapati sinyal sinus sempurna melalui *oscilloscope* dengan nilai tegangan *input* sebesar 12.07 VDC dan nilai tegangan *output* sebesar 12.4 VAC, frekuensi sebesar 50 Hz, daya sebesar 11 watt dan arus sebesar 0.8 A dengan menggunakan beban resistor sebesar 15 ohm. Pengujian menggunakan beban induktif kipas angin dengan tegangan input 12 VDC dan tegangan *output* sebesar 130 VAC, arus sebesar 2 A dan besar daya sebesar 260 watt.

Kata Kunci : Konverter DC to AC, Inverter, Elektronika.

DESIGN OF CONVERTER DC TO AC WITH SPWM

Name	***: Muhammad Fikri Fakhresy***
NRP	***: 2413 031 034***
Department	***: Engineering Physics FTI - ITS***
Supervisor	***: Andi Rahmadiansah, ST, MT.***

Abstract

DC to AC converter or commonly known as an electrical inverter is a device used to convert direct current (DC) into alternating current (AC). Inverters convert DC from devices such as batteries, solar panels / solar cells into AC. In recent years the developments in the world of electronics has made remarkable progress, all of it in the underlying by the educational progress over the years. Basically the type of signal output dc to ac converters consist of three, namely square sine wave, modified wave, and the latter is a pure sine wave. In the test results using the oscilloscope found a voltage of 18 volts for the driver IR2110. With the frequency instrument amounted to 31,250 Khz, 320 Vrms, the current 6 Ampere, 780 watts of power. The test results were found through a perfect sine signal oscilloscope with a value of 12:07 VDC input voltage and output voltage value by 12.4 VAC, frequency of 50 Hz, a power of 11 watts and a current of 0.8 A by using a load of 15 ohm resistor. Tests using a fan with inductive loads 12 VDC input voltage and output voltage of 130 VAC, a current of 2 A and a large power of 260 watts.

Keywords: Converter DC to AC, Inverter, Electronic

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta shalawatnya dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesainya Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul RANCANG BANGUN KONVERTER DC TO BERBASIS SPWM. Penelitian ini mencoba membuat suatu konverter dengan teknik *switching* menggunakan MOSFET.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis, telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, ayah dan ibu yang senantiasa memberikan semangat dan memotivasi sehingga penulis mampu menyelesaikan tygas akhir ini.
2. Bapak Andi Rahmadiansah, ST,. MT selaku dosen pembimbing yang selama ini telah sabar memberikan bimbingan, saran dan kritik.
3. Mas Hidayat selaku pembimbing luar yang telah banyak memberikan bantuan berupa saran, kritik dan bimbingan nya.
4. Teman - teman seangkatan 2013 dan teman - teman admin labkom, terima kasih atas bantuannya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi penelitian selanjutnya dan bagi masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL I
LEMBAR PENGESAHAN III
ABSTRAK V
ABSTRACT VI
KATA PENGANTAR VII
DAFTAR ISI VIII
DAFTAR GAMBAR X
DAFTAR TABEL XI

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Sistematika Laporan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Konverter DC to AC 5
2.2 Buck Konerter 7
2.2.1 *Active Clamp* 9
2.3 Komponen Pendukung Alat 10
2.4 *Software* Pendukung Pengerjaan Tugas Akhir 15
2.4.1 Altium *Designer* 15
2.4.2 Proteus 7 17
2.4.3 *Code Vision* AVR 20
2.4.4 Khazama 20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 23

3.1 Perancangan Sistem 24
3.1.1 Perancangan Sensor Arus 25

3.1.2 Perancangan Rangkaian *Peak Detector* 26
3.1.3 Perancangan Rangkaian *Optocoupler*..... 27
3.2 Pengujian Sistem 29

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....31

4.1 Pengujian 31
4.1.1 *Low Pass Filter*.....31
4.1.2 Koding Program.....34
4.1.3 Pengujian Menggunakan *Oscilloscope*.....36
4.2 Analisa Data 42
4.2.1 Analisa Data Menggunakan *Oscilloscope* ...43

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 45

5.1 Kesimpulan.....45
5.2 Saran.....45

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Macam-Macam Inverter	7
Gambar 2.2 Ragkaian *Buck* Konverter	8
Gambar 2.3 Rangkaian *Active Clamp*	9
Gambar 2.4 Konfigurasi PIN Atmega 16	15
Gambar 2.5 Desain PCB Inverter	16
Gambar 2.6 Tampilan Khazama AVR Program	19
Gambar 3.1 *Flowchart* Tmetodologi Penelitian	21
Gambar 3.2 Rangkaian Skematik Alat	22
Gambar 3.3 Diagram Blok Alat	23
Gambar 3.4 Regulator *Controller*	24
Gambar 3.5 Rangkaian Sensor Arus	25
Gambar 3.6 Sensor Arus ACS	26
Gambar 3.7 Rangkaian *Peak Detector*	26
Gambar 3.8 Rangkaian *Optocoupler*	28
Gambar 3.9 PC817	28
Gambar 3.10 Modul PCB Inverter	29
Gambar 4.1 Rangkaian *Low Pass Filter*	31
Gambar 4.2 Rangkaian Simulasi *Low Pass Filter*	33
Gambar 4.3 Hasil Simulasi *Low Pass Filter*	33
Gambar 4.4 Koding ADC	34
Gambar 4.5 Koding Frekuensi	35
Gambar 4.6 Koding SPWM	35
Gambar 4.7 (a) dan (b) Sinyal SPWM	37
Gambar 4.8 Sinyal *Switching* Pada MOSFET	38
Gambar 4.9 Tegangan *Driver* IR 2110	39
Gambar 4.10 Rangkaian Alat Keseluruhan	40
Gambar 4.11 Sinyal Sinus Sempurna	41
Gambar 4.12 Koding *Soft Start*	42
Gambar 4.13 Grafik Respon	43

DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 3.1	Karakteristik Statik Konverter DC to AC	25
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian 12 V	43
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian 24 V	44
Tabel 4.3	Spesifikasi Kipas Angin	44
Tabel 4.4	Pengujian Beban Induktif	45
Tabel 4.5	Perubahan *Duty Cycle*	45

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya / solar cell menjadi AC. Beberapa tahun belakangan ini perkembangan di dunia elektronika mengalami kemajuan pesat, semua itu di dasari oleh kemajuan pendidikan yang ada selama ini. Seiring dengan keadaan yang semakin maju terutama dalam dunia Elektronika, pasti membutuhkan sumber arus untuk menjalankan alat-alat elektronika tersebut.[1]

Perkembangan barang-barang elektronika sangat pesat, beberapa perangkat pendukung mengalami perkembangan, alat – alat elektronika yang semakin beragam. Salah satu sistem elektronika yang kita kenal adalah inverter yang berfungsi mengubah tegangan DC 12V menjadi tegangan 220 AC 50Hz. Inverter ini sangat berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan baik di kendaraan maupun dirumah, sebagai *emergency power* saat aliran listrik rumah padam. Selain itu di masa mendatang, inverter DC to AC akan memegan peranan penting dalam mengubah energi DC dari sumber energi terbarukan sel surya menjadi energi listrik AC yang kita gunakan sehari-hari.[1]

Dalam aplikasinya, inverter ini dapat digunakan pada perangkat rumah tangga, komputer, peralatan pertukangan, pompa air, kipas angin, sistem suplai energi pada rumah di daerah terpencil dan berbagai barang elektronik lainnya. Alat ini terutama pada perangkat rumah tangga sangat banyak digunakan terutama pada saat listrik padam dan pada sumber energi DC yang dihasilkan oleh sel surya. Kita membutuhkan

sumber AC untuk digunakan pada elektronika seperti televisi, pendingin ruangan, dan alat elektronika lain.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah bagaimana cara merancang sebuah konverter DC to AC berbasis SPWM untuk menghasilkan sinyal sinus yang sempurna dengan chip mikro kontroller Atmega16 untuk membangkitkan sinyal SPWM.

1.3 Batasan Masalah

Pengerjaan tugas akhir ini memerlukan beberapa batasan masalah dengan tujuan agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Adapaun batasan permasalahan dari sistem yang dirancang ini adalah:

1. Induktor yang dipakai dalam rancangan alat inverter adalah jenis induktor isolasi
2. Trafo yang dipakai dalam rancangan alat inverter adalah jenis trafo isolasi
3. *Software* yang digunakan pada perancangan alat inverter adalah *Code Vision AVR.*
4. Pengujian alat menggunakan sumber PLN yang sudah menjadi arus DC untuk test *hybrid.*
5. Metode yang digunakan adalah metode inverter dengan *active clamp.*

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang konverter DC to AC dengan SPWM agar didapatkan sinyal sinus sempurna atau *sine pure wave* dan mengurangi efek elektro magnetik agar konverter yang telah dibuat tidak mengalami lonjakan tegangan secara berlebih akibat EMI efek.

1.5 Sistematika Laporan

Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis dan tersusun dalam lima bab dengan penjelasan sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang teori - teori dasar yang terkait dalam penulisan tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai tentang langkah - langkah pengerjaan tugas akhir dari awal hingga pengujian dan analisa.

BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab ini dilakukan proses pengolahan data dan analisa yang dilakukan pada sistem yang telah dibuat.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Inverter

Inverter adalah sebuah rangkaian yang digunakan untuk merubah suatu arus DC menjadi arus AC. Inverter sebagai rangkaian penyaklaran elektronik dapat mengubah sumber tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik dengan besar tegangan dan frekuensi dapat diatur. Pengaturan tegangan dapat dilakukan di luar inverter atau di dalam inverter. Pengaturan tegangan di dalam inverter dikenal sebagai Modulasi Lebar Pulsa (*Pulse Width Modulation*, PWM) dan selanjutnya disebut inverter PWM. Inverter disebut sebagai inverter catu-tegangan *(voltage-fed inverter*-VFI*)* apabila tegangan masukan selalu dijaga konstan, disebut inverter catu-arus *(current-fed inverter*-CFI*)* apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, dan disebut inverter variabel *(variable dc linked inverter)* apabila tegangan masukan dapat diatur. Selanjutnya, jika ditinjau dari proses konversi, inverter dapat dibedakan dalam tiga. jenis, yaitu inverter: seri, paralel, dan jembatan. Inverter jembatan dapat dibedakan menjadi inverter setengah-jembatan *(half-bridge)* dan jembatan *(bridge)*.[1]

Jenis sinyal yang dihasilkan oleh inverter juga terdiri dari berbagai macam. Ada empat (4) jenis yang biasa dikenal dalam dunia inverter, yaitu:

a. *Square Sine Wave*

   adalah tipe inverter yang menghasilkan Output gelombang (sinus) persegi, jenis inverter ini tidak cocok untuk beban AC tertentu seperti motor induksi atau transformer, selain tidak dapat bekerja square sine wave dapat merusak peralatan tersebut.

b. *Modified Sine Wave*

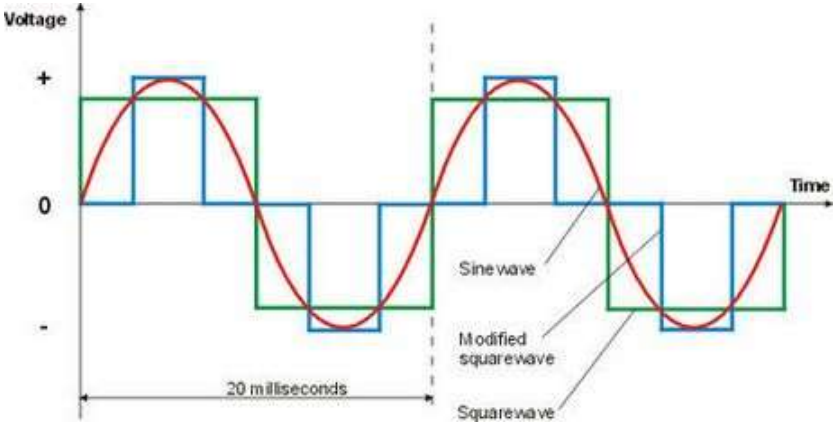
adalah tipe inverter yang menghasilkan Output gelombang persegi yang disempurnakan/persegi kuasi yang merupakan kombinasi antara square wave dan sine wave.. Inverter ini masih dapat menggerakan perangkat yang menggunakan kumparan, hanya saja tidak maksimal serta faktor energy-loss yang besar.. dan tidak cocok dengan perangkat elektronik yang sensitif atau khusus, misalnya laser printer tertentu, peralatan audio, dll.

c. *Pure Sine Wave*

adalah tipe inverter yang menghasilkan Output gelombang sinus murni setara PLN. Inverter jenis ini diperlukan terutama untuk beban-beban yang menggunakan kumparan induksi agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. sehingga dapat dengan aman digunakan untuk peralatan listrik yang menggunakan motor seperti AC, pompa air, kulkas, dsb dimana hal tersebut tidak dapat dilakukan oleh jenis inverter *modified sine wave* dan *square sine wave.*

d. *Grid Tie*

adalah tipe special inverter yang dirancang untuk menyuntikkan arus listrik ke sistem distribusi tenaga listrik yang sudah ada, misalkan PLN/Genset. Inverter tersebut harus disinkronkan dengan frekuensi grid yang sama, biasanya berisi satu atau lebih fitur maksimum power point tracking untuk mengkonversi jumlah maksimum daya yang tersedia, dan juga termasuk fitur proteksi keselamatan.

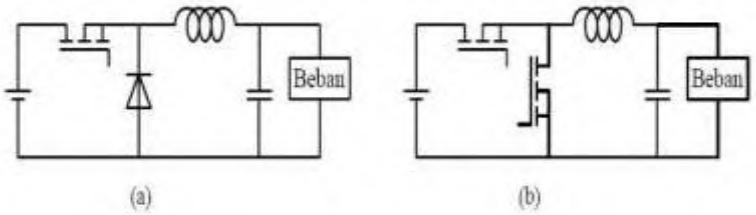


Gambar 2.1 Macam-Macam Inverter

2.2 Buck Konverter

Konverter jenis buck merupakan jenis konverter yang banyak digunakan dalam industri catu-daya. Konverter ini akan mengkonversikan tegangan dc masukan menjadi tegangan dc lain yang lebih rendah (konverter penurun tegangan). Rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET) dan satu saklar pasif (diode). Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif sering diganti dengan saklar aktif sehingga susut daya yang terjadi bisa dikurangi. Kedua saklar ini bekerja bergantian. Setiap saat hanya ada satu saklar yang menutup. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar aktif terhadap periode penyaklarannya (faktor kerja). Nilai faktor kerja bisa diubah dari nol sampai satu. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan keluaran selalu lebih rendah dibanding tegangan masukannya. aran selalu lebih rendah dibanding tegangan masukannya. Beberapa konverter buck bisa disusun paralel untuk menghasilkan arus keluaran yang lebih besar. Jika sinyal ON-OFF masing-masing konverter berbeda sudut satu sama lainnya sebesar

360o/N, yang mana N menyatakan jumlah konverter, maka didapat konverter DC to DC N-fasa. Konverter buck N-fasa inilah yang sekarang banyak digunakan sebagai regulator tegangan mikroprosesor generasi baru. Dengan memperbanyak jumlah fasa, ukuran tapis yang diperlukan bisa menjadi jauh lebih kecil dibanding konverter dc-dc satu-fasa. Selain digunakan sebagai regulator tegangan mikroprosesor, konverter buck multifasa juga banyak dipakai dalam indusri logam yang memerlukan arus dc sangat besar pada tegangan yang rendah. [2]



Gambar 2.2 Rangkaian *Buck* Konverter

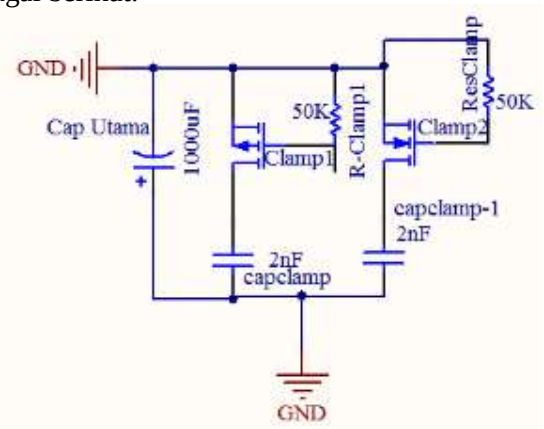
Perlu dicatat bahwa arus masukan konverter buck selalu bersifat tak kontinyu dan mengandung spike yang sangat besar. Akibatnya pada sisi masukan, konverter buck memerlukan tapis kapasitor yang cukup besar untuk mencegah terjadinya gangguan interferensi pada rangkaian di sekitarnya. Konverter dc-dc jenis buck biasanya dioperasikan dengan rasio antara teganan masukan terhadap keluarannya tidak lebih dari 10. Jika dioperasikan pada rasio tegangan yang lebih tinggi, saklar akan bekerja terlalu keras sehingga keandalan dan efisiensinya turun. Untuk rasio yang sangat tinggi, lebih baik kalau kita memilih versi yang dilengkapi trafo.

2.2.1 Active Clamp

Active clamp adalah sebuah rangkaian elektronika yang menggunakan transistor atau MOSFET dengan berbagai keuntungan, yaitu:

a. Loss energi yang keluar dapat dari proses *switching* dapat diatasi.
b. *Switching* dengan tegangan nol dapat mengurangi kerugian.
c. Tidak ada tegangan *spike* pada saat dimatikan.

Masih banyak keuntungan lain dalam pemanfaatan *active clamp* untuk teknik *switching*. Disisi lain dengan menggunakan teknik ini dalam menggunakan MOSFET sebagai aktuator untuk melakukan *switching* cukup aman. Karena MOSFET tidak terlalu panas pada saat uji coba. Untuk rangkaian *active clamp* dalam rancangan alat adalah sebagai berikut.



Gambar 2.3 Rangkaian *Active Clamp*

2.3 Komponen Pendukung Alat

Dalam pembuatan alat tugas akhir yang berupa Rancang Bangun Konverter DC to AC 1300 Watt Dengan *Active Clamp* dibutuhkan komponen pendukung agar alat yang dibuat bisa berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Berikut dijelaskan komponen pendukung dalam pembuatan inverter sebagai berikut.

a. Transformator Isolasi

Transformator atau lebih dikenal dengan nama "*transformer*" atau "*trafo*" sejatinya adalah suatu peralatan listrik yang mengubah daya listrik AC pada satu level tegangan yang satu ke level tegangan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik tanpa merubah frekuensinya. Tranformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan AC). Selain itu, transformator juga dapat digunakan untuk sampling tegangan, sampling arus, dan juga mentransformasi impedansi. Transformator terdiri dari dua atau lebih kumparan yang membungkus inti besi feromagnetik. Kumparan-kumparan tersebut biasanya satu sama lain tidak dihubungkan secara langsung. Kumparan yang satu dihubungkan dengan sumber listrik AC (kumparan primer) dan kumparan yang lain mensuplai listrik ke beban (kumparan sekunder). Bila terdapat lebih dari dua kumparan maka kumparan tersebut akan disebut sebagai kumparan tersier, kuarter, dst.

Selain itu, transformator juga terdapat yang namanya transformator isolasi dimana trafo jenis ini dirancang untuk memisahkan antara gulungan primer dengan isolasi tambahan berupa ferit untuk memisahkan dengan gulungan sekunder. Cara yang paling sering digunakan dalam metode penggulungan primer dan sekunder adalah dengan penggulungan atas dan bawah. Hal ini dilakukan untuk menghindarkan lonjakan voltase secara tiba-tiba. Kelebihan lain yang dimiliki oleh trafo isolasi adalah mencegah atau mengisolasi arus DC yang masuk melalu trafo. Trafo isolasi juga dapat mengisolasi frekuensi tinggi yang dapat masuk dalam interfensi peralatan. Oleh karena itu, dengan berbagai pertimbangan. Untuk membuat suatu peralatan yang *high voltage* digunakan trafo jenis trafo isolasi karena yang sudah disebutkan diatas.[3]

b. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 lembar plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas, dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutup negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutup positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini "tersimpan" selama

tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan. Prinsip kerja kapasitor pada umunya hampir sama dengan resistor yang juga termasuk ke dalam komponen pasif. Komponen pasif adalah jenis komponen yang bekerja tanpa memerlukan arus panjar. Kapasitor sendiri terdiri dari dua lempeng logam (konduktor) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Penyekat atau isolator banyak disebut sebagai bahan zat dielektrik.[3]

c. Transistor

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya. Transistor merupakan komponen yang sangat penting dalam dunia elektronik modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Rangkaian analog melingkupi pengeras suara, sumber listrik stabil (stabilisator) dan penguat sinyal radio. Dalam rangkaian-rangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai logic gate, memori dan fungsi rangkaian-rangkaian lainnya. Transistor dibuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor yang terpenting adalah Silikon dan Germanium. Silikon lebih banyakdigunakan sebagai bahan semikonduktor dibanding Germanium,karena Silikon

mempunyai sifat-sifat yang lebih disukai disbandingdengan Germanium. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya. Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal, yaitu Basis (B), Emitor (E) dan Kolektot (C). Tegangan yang di satu terminalnya misalnya Emitor dapat dipakai untuk mengatur arus dan tegangan yang akan dikuatkan melalui kolektor.Selain digunakan untuk penguat transistor bisa juga digunakan sebagai saklar. Caranya dengan memberikan arus yang cukup besar pada basis transistor hingga mencapai titik jenuh. Pada kondisi seperti ini kolektor dan emitor bagai kawat yang terhubung atau saklar tertutup, dan sebaliknya jika arus basis teramat kecil maka kolektor dan emitor bagai saklar terbuka.[3]

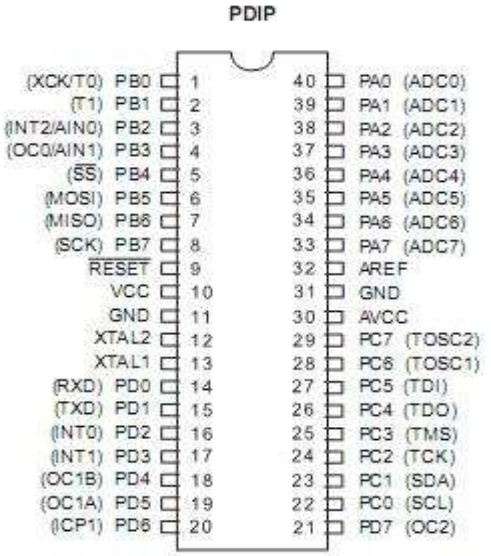
d. Induktor

Induktor adalah sejenis komponen elektronika pasif yang mayoritas bentuknya torus, bisa menjadi media penyimpan energi pd medan magnet yg dimunculkan akibat aliran listrik yang melaluinya. Komponen ini biasanya juga disebut dengan spul. Bahan pembuatannya dari bahan tembaga berupa kawat dengan email yang tipis. Satuan yang digunakan adalah Henry, dengan singkatan H. Dari pengertiannya bisa diambil kesimpulan bahwa fungsinya adalah wadah lahirnya gaya magnet; melipat tegangan; dan membangkitkan getaran. Dari fungsi ini kita bisa menggunakannya untuk memproses sinyal pd rangkaian berupa analog; menghilangkan dengungan (noise);

pencegah intrusi frekuensi radio; komponen terpenting untuk membuat transformator; Alat filter pd rangkaian berupa power supply.[3]

e. Mikrokontroller

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer lengkap dalam satu serpih (*chip*). Mikrokontroler lebih dari sekedar sebuah mikroprosesor karena sudah terdapat atau berisikan ROM (*Read-Only Memory*), RAM (*Read-Write Memory*), beberapa bandar masukan maupun keluaran, dan beberapa *peripheral* seperti pencacah/pewaktu, ADC (*Analog to Digital converter*), DAC (*Digital to Analog converter*) dan serial komunikasi. Seperti mikroprosesor pada umumnya, secara internal mikrokontroler ATMega16 terdiri atas unit-unit fungsionalnya *Arithmetic and Logical Unit* (ALU), himpunan register kerja, register dan dekoder instruksi, dan pewaktu beserta komponen kendali lainnya. Berbeda dengan mikroprosesor, mikrokontroler menyediakan memori dalam serpih yang sama dengen prosesornya (*in chip*). Berikut akan dijelaskan pin dari atmega16 beserta letak pin khusus untuk bagian *analog digital converter* atau yang biasa dikenal sebagai ADC.[4]



Gambar 2.4 Konfigurasi PIN Atmega16

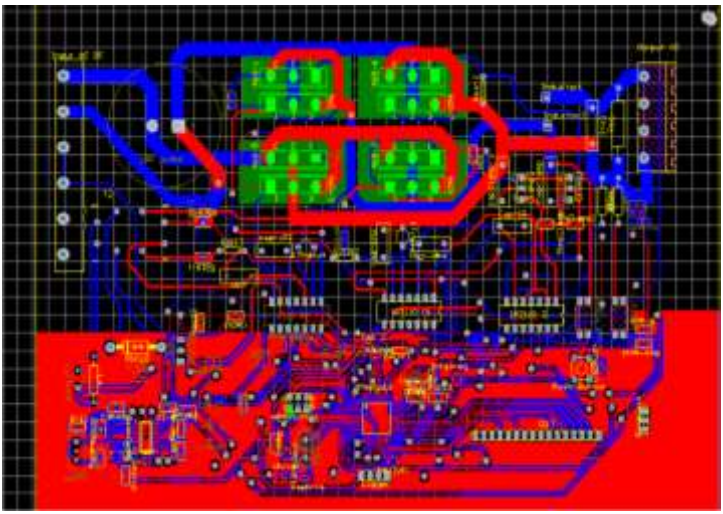
2.4 *Software* Pendukung Pengerjaan Tugas Akhir

Software penunjang dalam penyelesaian dan pengerjaan tugas akhir yang berupa *hybrid inverter* adalah sebagai berikut.

2.4.1 Altium Designer

Altium designer summer adalah software pembuat desain PCB yang dikeluarkan oleh perusahaan Altium. Software ini sebetulnya hampir sama dengan Altium Protel DXP 2004, hanya saja fitur fitur yang ditawarkan lebih banyak sehingga human interface nya tinggi. Selain itu, keunggulan software ini adalah banyaknya librari librari yang memudahkan pengguna dan pengeditan komponen yang mudah. Diharapkan setelah mendapat tutorial ini, pembaca dapat membuat suatu desain PCB sederhana.

Cara penggunaan dari altium dalam pembuatan PCB justru sangat lebih kompleks dan lengkap terlebih menggunakan *software* eagle. Karena pada *software* altium bisa merubah ukuran komponen menyesuakain ukuran asli jika di *library* tidak ada. Pembuatan PCB nya dimulai dari membuat skematik terlebih dahulu baru jika selesai dengan pembuatan skematik, akan langsung diupdate dalam pembuatan PCB. Untuk melakukan pencetakan PCB, seluruh rangakain PCB yang sudah jadi harus dilakukan proses *masking* PCB agar saat pencetakan jalur timah yang sudah dibuat tidak berantakan. Berikut tampilan PCB yang akan dilakukan pencetakan.



Gambar 2.5 Desain PCB *Inverter*

Dalam pembuatan desain, dibutuhkan 2 layer PCB atau dua sisi atas dan bawah. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam mendesain dan menghindari penumpukan jalur timah. Jalur berwarna merah berarti jalur

yang berada pada *top layer* dan jalur yang berwarna biru berada pada *bottom layer*.[5]

2.4.2 Proteus 7

Proteus adalah sebuah software simulasi yang sekaligus untuk mendesain rangkaian dan PCB. Proteus mengkombinasikan program ISIS untuk membuat skematik desain rangkaian dengan program ARES untuk membuat layout PCB dari skematik yang kita buat. Menurut beberapa pandapat di forum-forum, software ini bagus baik untu desain rangkaian mikrokontroller. Proteus juga baik untuk belajar elektronika seperti dasar-dasar elektronika sampai pada aplikasi mikrokontroller. Software ini jika di install menyediakan banyak contoh aplikasi desain yang disertakan sehingga bisa belajar dari contoh-contoh yang sudah ada.Proteus juga memiliki beberapa fitur pendukung agar user dalam penggunaan *software* nya terbantu. Adapun fitur-fitur pendukung itu adalah sebagai berikut.

a. Memiliki kemampuan untuk mensimulasikan hasil rancangan baik digital maupun analog maupun gabungan keduanya.
b. Mendukung simulasi yang menarik dan simulasi secara grafis.
c. Mendukung simulasi berbagai jenis mikrokontroler, seperti AVR dan mikrokontroler lainnya.
d. Memiliki model-model peripheral yang interaktif seperti LED, tampilan LCD, RS232, dan lain sebagainya.
e. Mendukung instrument-instrument virtual, seperti voltmeter, amperemeter, osciloscop, signal generator, dan lain sebagainya.

f. Memiliki kemampuan menampilkan berbagai jenis analisis secara grafis, seperti transien, frekuensi, AC dan DC, dan lain sebagainya.
g. Mendukung berbagai jenis komponen-komponen analog.
h. Mendukung *open* arsitektur sehingga kita bisa memasukkan program seperti C++ untuk keperluan simulasi.
i. Mendukung pembuatan PCB yang diupdate secara langsung dari program ISIS ke program pembuat PCB.

Adapun tutorial singkat untuk penggunaan program Proteus adalah sebagai berikut.

a. Install Proteus dan kemudian jalankan aplikasinya.
b. Lalu akan muncul GUI.
c. Kemudian pilih komponen yang akan digunakan.
d. Pada toolbox sebelah kiri, pilih komponen mode kemudian klik tombol yang berisi huruf P untuk mengaktifkan *pick drive. Pick drive* adalah box dialog untuk memilih komponen yang akan kita gunakan.
e. Akan muncul *box* dialog, isikan komponen yang anda inginkan pada kolom *keywords*. Misalnya diisi dengan atmega 16 kemudian pilih dan klik OK.
f. Kemdian pilih komponen lain dan langkah selanjutnya sambungkan kompenen yang telah diletakkan satu persatu.[6]

2.4.3 Code Vision AVR

Software CodeVision AVR adalah software compailer (software kompilasi) bahasa C. Software ini akan merubah bahasa C ke bahasa Asemmbler kemudian ke Hex. File yang

berbentuk ".hex" ini yang nantinya akan disimpan kedalam chip Mikrokontroler. CodeVisionAVR juga adalah sebuah *compiler* C yang telah dilengkapi dengan fasilitas *Integrated Development Environment* (IDE) dan didesain agar dapat menghasilkan kode program secara otomatis untuk mikrokontroler Atmel AVR. Program ini dapat berjalan dengan menggunakan sistem operasi Windows® XP, Vista, Windows 7, dan Windows 8, 32-bit dan 64-bit. [7]

2.4.4 Khazama

Khazama adalah sebuah *software* yang digunakan untuk men *download* program yang sudah dibuat dalam code vision yang kemudian akan di download ke dalam mikrochip yang sudah terdapat pada alat yang digunakan untuk melakukan *interface.* Pada kasus ini chip yang terdapat pada alat adalah jenis mikrokontroller atmega 16. Lalu kita memilih jenis chip yang digunakan, lalu pilih file yang akan kita *download* dalam mikrokontroller dengan bentuk file .hex lalu tahap terakhir adalah dengan mengklik tombol *Auto Program.*

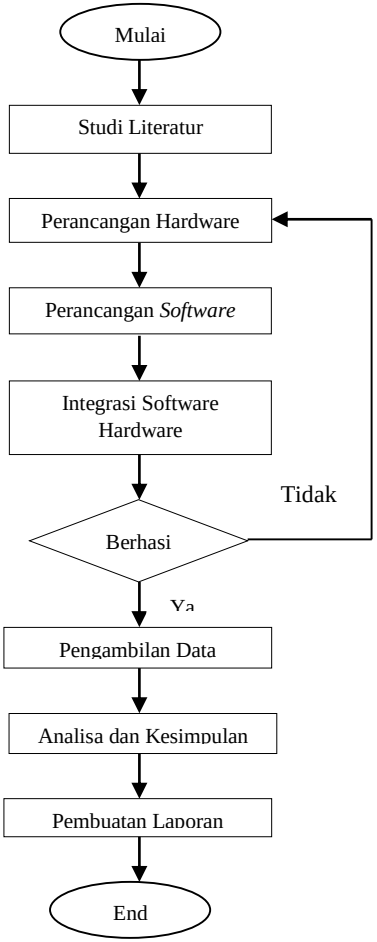
Gambar 2.6 Tampilan Khazama AVR Program

Halaman Sengaja Dikosongkan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, akan menjabarkan tentang langkah-langkah yang dilakukan pada saat pengerjaan tugas akhir berupa konverter DC to AC 1300 watt dengan *Active Clamp*. Berikut *flow chart* dari langkah-langkah pengerjaan.

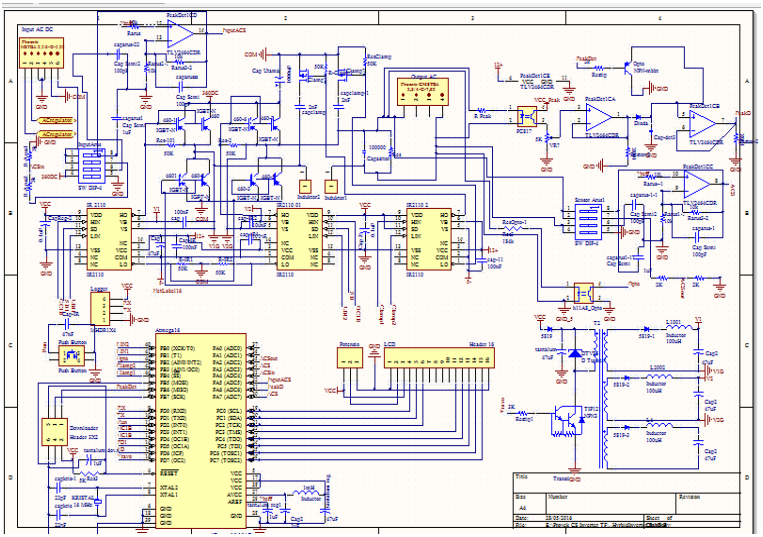


Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

Dari *flowchart* metodologi penelitian selama pengerjaan tugas akhir disebutkan proses pertama adalah memulai studi literatur sampai pembuatan laporan. Terdapat 5 tahapan sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir sampai dengan pembuatan buku laporan, untuk pembuatan buku laporan dibutuhkan waktu yang relatif lama, karna data yang diambil pada bab selanjutnya berpengaruh pada alat yang sudah jadi setelah dilakukan uji coba alat.

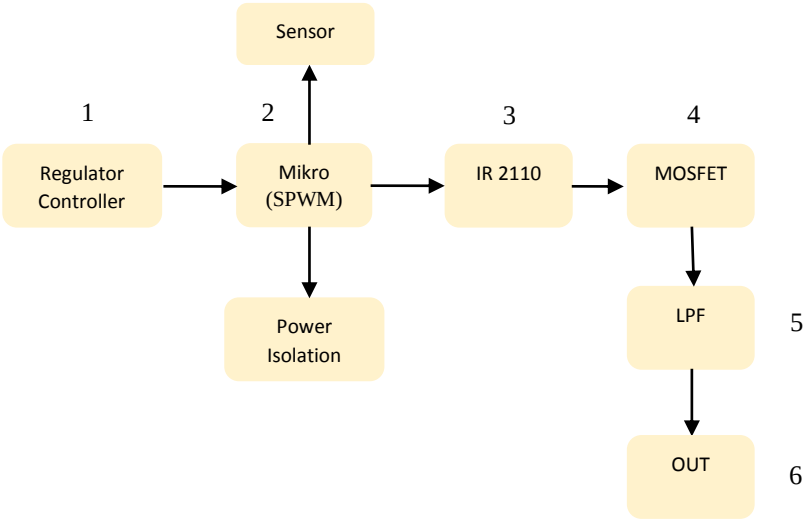
3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dari tugas akhir ini dimulai dari pembuatan skematik alat di *software* Altium, seperti pada gambar dibawah.



Gambar 3.2 Rangkaian Skematik Alat

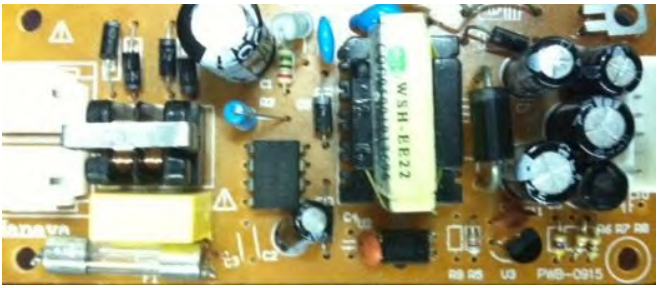
Perancangan alat dimulai dari menentukan komponen apa saja yang dipakai dalam alat, hingga sensor yang akan dipakai. Didalam skematik terlihat kontroller menggunakan atmega 16 yang digunakan untuk *interface* sensor ke dalam LCD 16x2 yang sudah dirancang. Diagram blok proses adalah sebagai berikut.



Gambar 3.3 Diagram Blok Alat

Penjelasan dari diagram blok diatas telah diurutkan berdasarkan urutan kerja, dimulai dari:

(1) regulator *controller* merupakan power *supply* yang digunakan untuk menstabilkan tegangan *output*, dimana tegangan *output* ini akan digunakan untuk menghidupkan sistem pada *hardware*. Dimulai dari menghidupkan chip mikrokontroller hingga mensuplai tegangan ke IR *driver* 2110.



Gambar 3.4 Regulator *Controller*

(2) yaitu mikrokontroller dimana memiliki peran penting untuk menghasilkan sinyal SPWM dengan menggunakan rumus seperti dibawah.

$$\text{Tabel Array} = \text{SIN}\left(\frac{180}{312}:\frac{180}{\Pi}\right)*\text{counter})*512$$

Rumus diatas digunakan untuk membangkitkan sinyal SPWM dengan menggunakan tabel array.

(3) yaitu komponen IR 2110 dimana komponen ini digunakan untuk membalik sinyal SPWM yang telah dihasilkan oleh mikro. Bisa dilihat pada **Gambar 4.9** diamana tegangan yang masuk di IR 2110 harus diantara 11 – 20 volt untuk menjaga komponen IR 2110 bisa melakukan *switching*.

(4) yaitu MOSFET, digunakan untuk melakukan *switching* atau melakukan pensaklaran dengan kecepatan tinggi dan frekuensi tinggi. MOSFET yang diapakai adalah MOSFET tipe IRFP 460.

(5) yaitu LPF atau *Low Pass Filter*, dimana LPF digunakan untuk memangkas frekuensi tinggi yang dikeluarkan oleh MOSFET. Sehingga oleh LPF frekuensi yang dikeluarkan setara dengan listrik AC, yaitu sekitar 50-60 Hz.

(6) yaitu *out* atau beban, yang digunakan untuk melihat sinyal keluaran dari inverter apakah sinyal yang keluar sinyal sinus sempurna atau tidak. Dari beban yang digunakan berupa 10 rangkaian resistor masing-masing 1 Ohm.

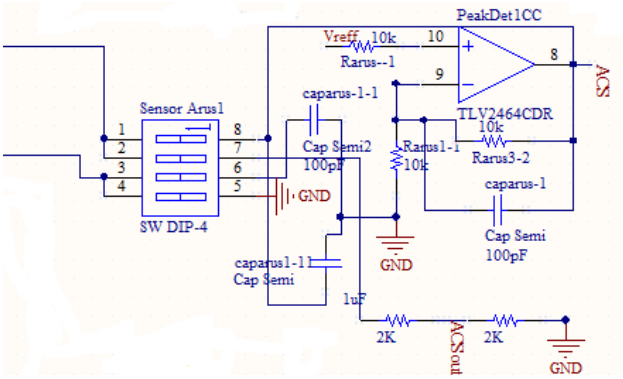
Dalam penelitian tugas akhir ini, didesain konverter DC to AC dengan spesifikasi yang disesuaikan saat sebelum dirancang seperti tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Karakteristik Statik Konverter DC to AC

Tegangan Masukan	5-110 VDC
Tegangan Keluaran	0-220 VAC
Arus Keluaran	1-6 A (Maksimum)
Daya (Watt)	780 Watt
Frekuensi	50 Hz – 60 Hz
Induktor	3 mH
Kapasitor Masukan	450 V - 1000 µF
Sinyal Keluaran	*Pure Sine Wave*

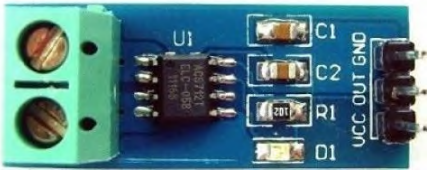
3.1.1 Perancangan Sensor Arus

Sensor arus merupakan sensor yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya



Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Arus

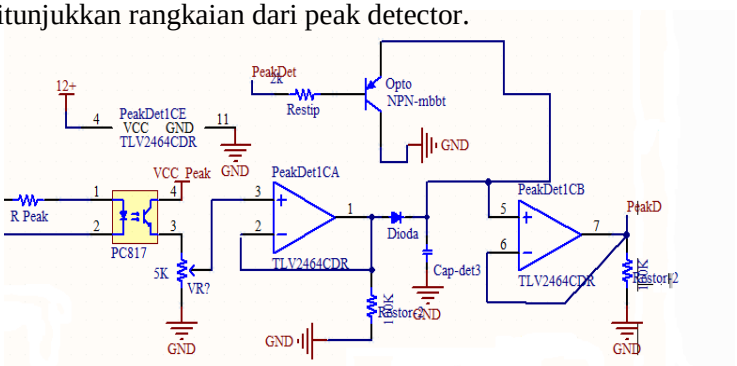
Pada gambar diatas merupakan rangkaian skematik yang ada di dalam PCB inverter, seperti yang dijelaskan di atas bahwa rangkaian sensor arus menggunakan penguat atau yang biasa dikenal sebagai op-amp pada pin 1 sampai 4 berfungsi sebagai input dan pin 5 merupakan grounding dari sensor, pin 6 merupakan filter, pin 7 merupakan vout dan pin 8 berfungsi sebagai vcc. Untuk melakukan pengukuran keluaran arus, dari komponen komparator masuk ke dalam pin *analog digital converter* pada atmega 16 yang diberi label ACS.



Gambar 3.4 Sensor Arus ACS

3.1.2 Perancangan Rangkaian Peak Detector

Peak detector adalah Rangkaian penyetabil arus ini terdiri dari rangkaian penguat instrumentasi yang fungsi utamanya untuk memperkuat tegangan yang langsung berasal dari sensor atau tranduser secara tepat yang terjadi karena adanya perubahan nilai tegangan terhadap besarnya perubahan besaran fisika. Dibawah ini ditunjukkan rangkaian dari peak detector.



Gambar 3.5 Rangkaian Peak Detector

Rangkaian diatas terdapat pada PCB inverter dimana nantinya memiliki fungsi untuk membaca tegangan dari keluaran sensor

yang berupa tegangan AC dari keluaran inverter yang telah dibuat sebelumnya.

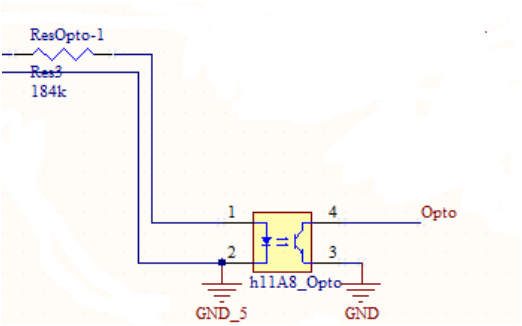
3.1.3 Perancangan Rangkaian Optocoupler

Optocoupler adalah suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu transmitter dan receiver, yaitu antara bagian cahaya dengan bagian deteksi sumber cahaya terpisah. Biasanya optocoupler digunakan sebagai saklar elektrik, yang bekerja secara otomatis.

Pada dasarnya Optocoupler adalah suatu komponen penghubung (coupling) yang bekerja berdasarkan picu cahaya optic. Optocoupler terdiri dari dua bagian yaitu:

a. Pada transmitter dibangun dari sebuah LED infra merah. Jika dibandingkan dengan menggunakan LED biasa, LED infra merah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED infra merah tidak terlihat oleh mata telanjang.
b. Pada bagian receiver dibangun dengan dasar komponen Photodiode. Photodiode merupakan suatu transistor yang peka terhadap tenaga cahaya. Suatu sumber cahaya menghasilkan energi panas, begitu pula dengan spektrum infra merah. Karena spekrum inframerah mempunyai efek panas yang lebih besar dari cahaya tampak, maka Photodiode lebih peka untuk menangkap radiasi dari sinar infra merah.

Berikut akan ditampilkan rangkaian dari optocoupler yang terdapat pada modul PCB yang akan dibuat menggunakan *software* altium designer 10.



Gambar 3.6 Rangkaian Optocoupler

Pada rangkaian tersebut inputnya merupukan output dari inverter, dimana nantinya optocoupler akan digunakan untuk membaca frekuensi keluaran dari sistem. Dimana fungsi dari optocoupler sendiri kita sudah ketahui pada prinsipnya, Optocoupler dengan kombinasi LED-Phototransistor adalah Optocoupler yang terdiri dari sebuah komponen LED (Light Emitting Diode) yang memancarkan cahaya infra merah (IR LED) dan sebuah komponen semikonduktor yang peka terhadap cahaya (Phototransistor) sebagai bagian yang digunakan untuk mendeteksi cahaya infra merah yang dipancarkan oleh IR LED. Jenis optocoupler yang digunakan adalah jenis optocoupler PC817, seperti pada gambar dibawah.

Gambar 3.7 PC817

3.2 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan setelah selesainya proses desain PCB dengan menggunakan *software* altium dan sudah melalui proses penyolderan komponen pada PCB. Pengujian seluruh sensor, chip, dan IC yang terdapat pada modul PCB inverter dilakukan secara bersamaan. Sebelum melakukan pengujian, semua komponen harus dipastikan terlebih dahulu apakah komponen sudah terhubung dengan benar pada kaki-kaki komponen sesuai dengan datasheet, memastikan seluruh komponen sudah terhubung dengan baik dan rata, hal ini dimaksudkan agar tidak terjadinya *troubleshot* pada saat ingin melakukan pengujian alat. Tampilan PCB dari inverter bisa dilihat pada gambar berikut.

Gambar 3.8 Modul PCB Inverter

Pada gambar diatas, seluruh komponen sudah terpasang dengan baik ditempat yang telah dirancang pada saat didesain. Sebelum

dilakukan pengambilan data, komponen akan diuji coba terlebih dahulu dengan multimeter dan mengetahui sinyal keluaran nya juga, hal ini dilakukan jika terdapat komponen yang rusak langsung bisa diganti dengan komponen yang lain. Kemudian akan dilakukan *packing* agar modul tersebut akan terlihat lebih rapi, untuk selanjutnya akan digunakan untuk pengujian sidang tugas akhir yang akan dilaksanakan pada akhir bulan Juni 2016.

BAB IV
PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

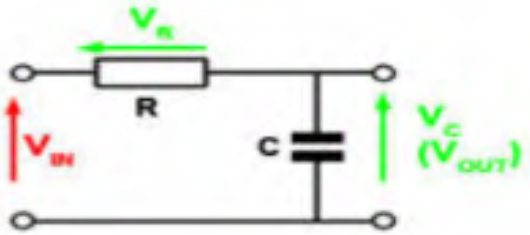
Bab ini membahas tentang analisa data dan pembahasan tentang sistem secara keseluruhan yang telah dirancang. Analisa data dan pembahasan ini dilakukan dengan diperolehnya data pengkuran pada alat sehingga diperolah data secara *real* untuk ditulis di dalam laporan tugas akhir.

4.1 Pengujian

Pengujian merupakan serangkaian dari tahapan simulasi sampai dengan tahapan pengujian alat secara langsung. Sebelum melakukan pengujian alat secara langsung, dibutuhkan perhitungan terhadap komponen yang digunakan agar alat bisa berjalan dengan baik.

4.1.1 Low Pass Filter

Low pass filter adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk memfilter frekuensi dibawah frekuensi transisinya dan melemahkan sinyal-sinyal frekuensi diatas frekuensi transisinya. Gain dari *low pass filter* bernilai 0.707.



Gambar 4.1 Rangkaian *Low Pass Filter*

Rangkaian ini berfungsi untuk memperhalus sinyal keluaran DC yang berupa sinyal kotak menjadi sinyal AC yang berupa sinyal sinus. Dari hasil pengujian dengan perhitungan rumus untuk mencari nilai

induktansi dan nilai kapasitor yang sesuai untuk mendapatkan sinyal yang sesuai dengan kebutuhan.

$$Xc = R$$
$$\frac{1}{2\pi fC} = R$$
$$fc = \frac{1}{2\pi RC}$$

Dimana :

f = Frekuensi
Л = 3,14
R = Resistansi
C = Capasitor

Dari persamaan diatas merupakan persamaan *low pass filter* terhadap RC yang berarti untuk mencari nilai dari kapastior, dari perhitungan yang sudah di lakukan didapati nilai kapasitor sebesar 8 µF dan selanjutnya adalah mencari nilai induktansi.

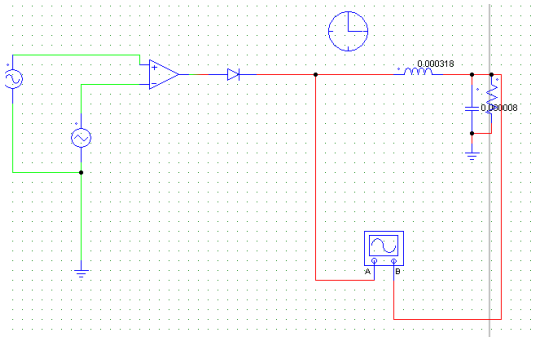
$$F_L = R$$
$$2\ \Pi\ F\ L = R$$
$$fc = \frac{R}{2\pi L}$$

Dimana :

f = Frekuensi
Л = 3,14
R = Resistansi
L = Induktansi

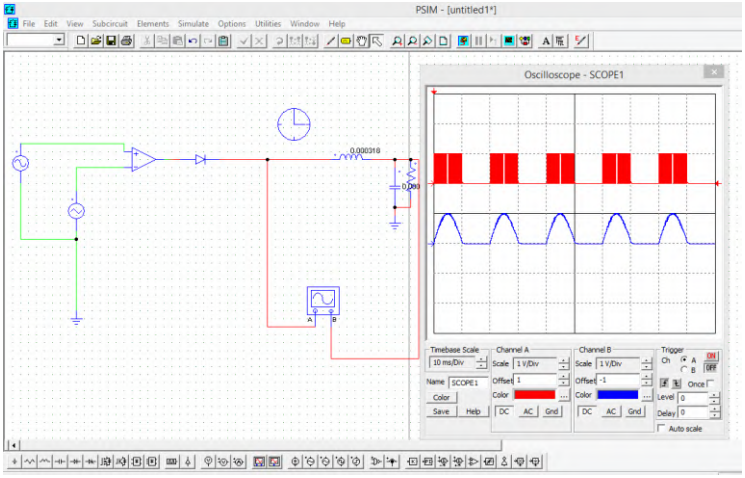
Dari persamaan diatas merupakan *low pass filter* LR yang berarti persamaan diatas digunakan untuk mencari nilai induktansi yang sesuai pada alat, dari perhitungan didapati nilai induktansi sebesar

3mH. Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan simulasi dengan rangkaian.



Gambar 4.2 Rangkaian Simulasi *Low Pass Filter*

Dari gambar rangkaian diatas, *output* menggunakan osciloscope pada *software* Power Simulator.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi *Low Pass Filter*

Terlihat dari channel 1 yang berwarna merah sinyal pertama berupa kotak-kotak dan setelah difilter dengan memasukkan nilai induktansi sebesar 3mH dan kapasitor sebesar 8µF hasil yang didapati seperti pada channel 2 yang berwarna biru. Sinyal sinus yang rapi dan ini mengindikasi arus AC keluaran dari inverter sudah baik.

4.1.2 Koding ATMega16

Proses pengkodingan dilakukan untuk melakukan beberapa proses yang diperlukan dalam alat. Proses pengkodingan dimulai dari mendisplaykan ke lcd dari pin adc yang terdapat pada atmega hingga menampilkan sinyal SPWM. Berikut akan dijelaskan beberapa kodingan inti demi menunjang kinerja alat.

```
{
adc1=read_adc(1); // input arus
adc2=read_adc(4); //output arus
adc3=read_adc(6); // peakdetector
sprintf(tampil1,"Ain: %3d", adc1);  //display LCD
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(tampil1);
sprintf(tampil2,"Aout:%3d", adc2);
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_puts(tampil2);

if (disp==1)
{
disp=0;  //Tampilan LCD
}
```

Gambar 4.4 Koding ADC

Dijelaskan dalam gambar diatas bahwa untuk menampilkan hasil dari *input* dan *output* dari sensor arus terdapat pada pin adc ke 1 dan 4 sedangkan untuk keluaran *peak detector* terdapat pada pin adc ke 6.

```
interrupt [TIM2_OVF] void timer2_ovf_isr(void)
{
milsec++; if (milsec>=31250)
{disp=1; milsec=0; frekwensi=frek*2; frek=0;}   //   Koding frekuensi
```

Gambar 4.5 Koding Frekuensi

Dari gambar kodingan di atas, dijelaskan kodingan tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi sesuai alat dengan menggunakan komponen PC817. Kodingan tersebut tidak dimasukkan ke dalam *while(1)* tetapi diletakkan pada settingan *interrupt timer 2* yang sebelumnya telah diaktifkan saat sebelum melakukan koding secara utuh pada *code vision*.

Selanjutnya adalah kodingan untuk mendapatkan sinyal SPWM dari alat, berikut kodingan SWPM dengan menggunakan *software code vision.*

```
for(i=0;i<=312;i++)
    {
    value=floor(sin((312/180)*i));
    if(value>=256)
    {tH[i]=1;
    tL[i]=value-256;
    }
    else{
    tH[i]=0;
    tL[i]=value; }
    }
```

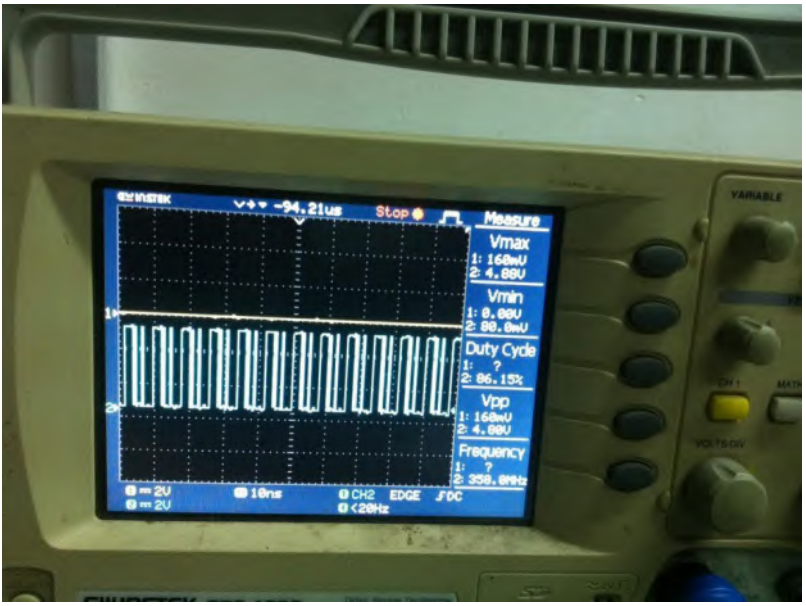
Gambar 4.6 Koding SPWM

Pada gambar kodingan di atas, penulis menggunakan *library* matematika untuk mendapatkan sinyal SPWM, karena terdapat perhitungan menggunakan sin.

4.1.3 Pengujian Menggunakan Oscilloscope

Dalam pengujian menggunkan oscilloscope merupakan terusan dari pengkodingan program yang harus di masukkan ke dalam alat nya. Dari hasil pengujian ini dapat diketahui apakah kodingan yang telah dibuat menggunakan program *code vision AVR* telah sesuai atau tidak dengan keluaran sinyal aslinya. Dalam *interface* menggunakan alat oscilloscope dibutuhkan sebuah perangkat tambahan dan *software* tambahan lagi agar program yang telah dikoding bisa berjalan dengan baik. Alat tambahan yang digunakan adalah sebuah *downloader*. Dalam kasus ini penulis menggunakan *downloader* tipe atmega 8. *Downloader* tipe atmega 8 masih kompatibel dengan atmgea 16 yang digunakan dalam alat. Untuk *software* tambahan, penulis menggunakan *software* khazama programmer. *Software* ini digunakan untuk mengupload seluruh kodingan masuk kedalam atmega 16 yang ada pada alat. Pada kesempatan ini telah dilakukan pengujian oscilloscope dengan pengujian sinyal SPWM dan melihat fungsi *switching* yang dilakukan oleh MOSFET sudah berjalan baik atau tidak.

(a)

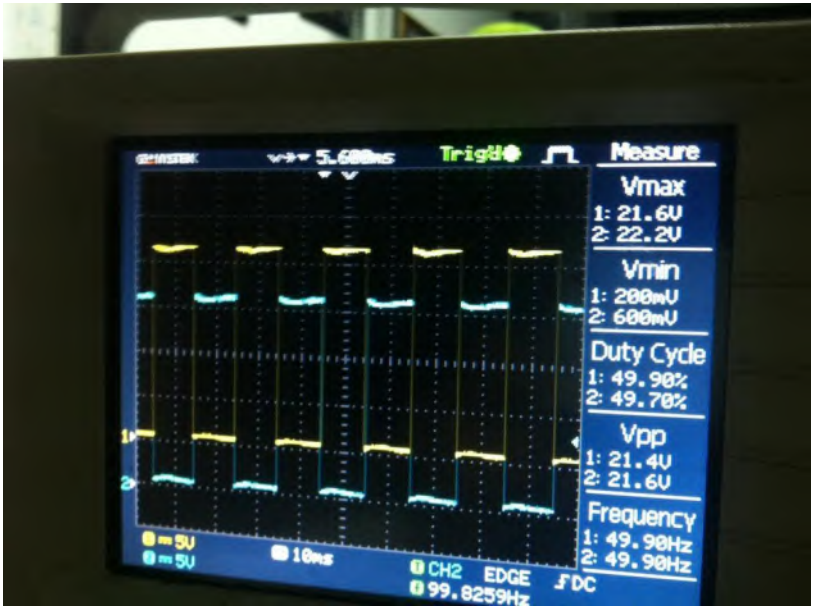


(b)

Gambar 4.7 (a) dan (b) Sinyal Keluaran SPWM Pada Oscilloscope

Sinyal keluaran SPWM seperti pada gambar diatas sudah memenuhi dari yang diharapkan, karena laju sinyal yang ada menjadi sinyal kotak dengan *duty cycle* yang awalnya merapat terus merenggang. Sebagaimana kita ketahui bahwa prinsip kerja inverter SPWM adalah mengatur lebar pulsa mengikuti pola gelombang sinusoida. Keuntungan operasi inverter SPWM sebagai teknik konversi dibanding dengan jenis-jenis inverter lainnya adalah rendahnya distorsi harmonik pada tegangan keluaran dibanding dengan jenis inverter lainnya. Pada gambar diatas yang menunjukkan sinyal SPWM sudah sesuai dengan teori yang telah disebutkan. Untuk selanjutnya adalah sinyal *switching* yang terjadi pada MOSFET inverter adalah

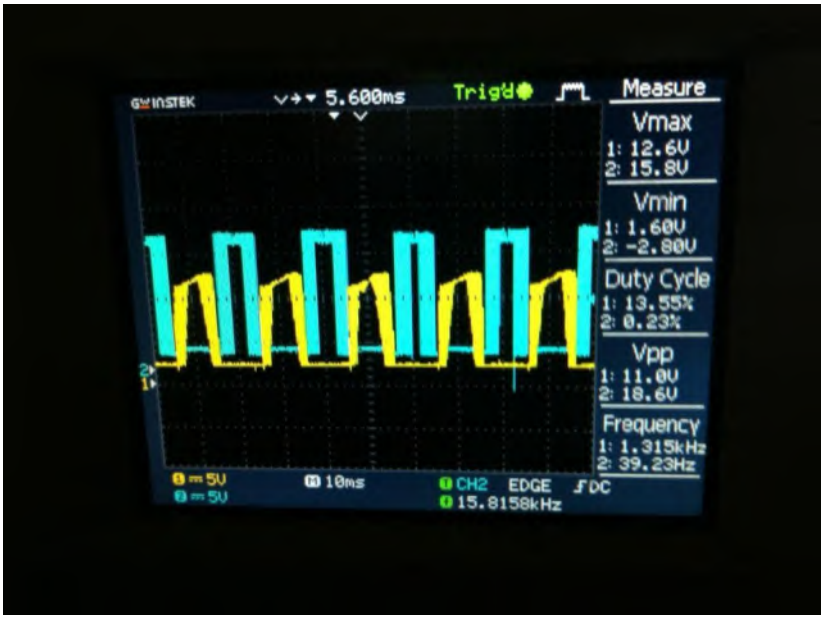
dengan keluarnya sinyal kotak atas dan bawah dengan waktu yang sama. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4.8 Sinyal *Switching* Yang Terjadi Pada MOSFET

Sinyal *switching* yang terjadi pada MOSFET yang diterapkan pada alat sudah sesuai dengan perhitungan dan pengkodingan dengan memanfaatkan *overflow* pada *interrupt*. Hal ini menunjukkan desain MOSFET H Bridge pada alat berjalan dengan baik.

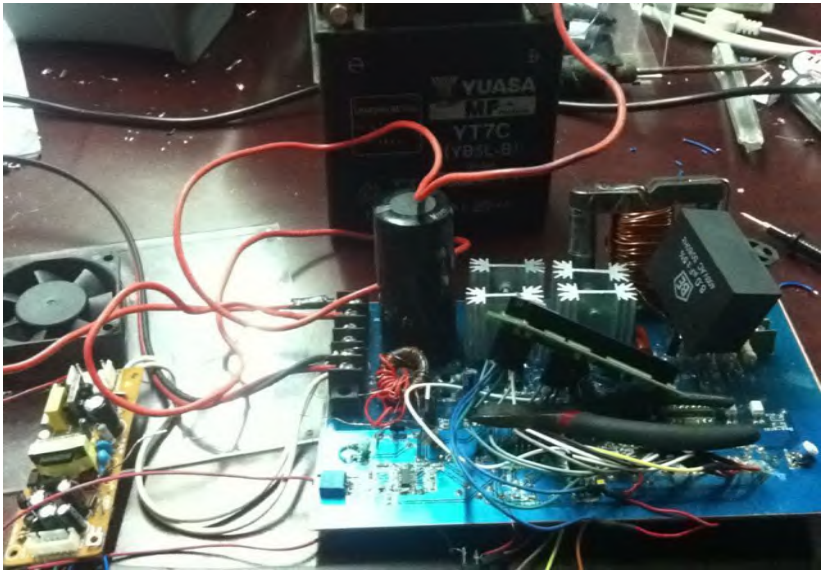
Tegangan pada *driver* IR 2110 juga harus bisa sesuai agar *driver* IR 2110 tersebut bisa melakukan *switch* pada MOSFET IRFP 460. Berikut tampilan tegangan IR 2110 yang sudah diukur menggunakan *oscilloscope.*



Gambar 4.9 Tegangan *Driver* IR 2110

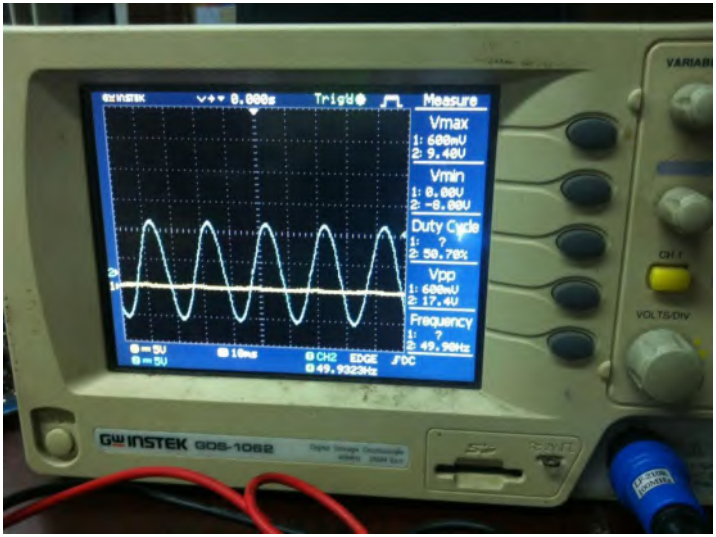
Pada gambar diatas didapati hasil pengukuran sebesar 12.6 volt untuk IR yang pertama dan 15.6 volt untuk IR yang kedua, tegangan sebesar ini sudah bisa melakukan *switching* terhadap MOSFET IRFP 460.

Setelah selesai melakukan pengecekan tegangan pada *driver* IR 2110, nilai tegangan pada VCC, dan sinyal SPWM sudah sesuai dengan referensi pada jurnal. Tahap berikutnya adalah langsung uji coba menggunakan baterai yuasa 12 VDC. Uji tegangan kecil sengaja dilakukan terlebih dahulu agar dengan melihat beberapa respon sinyal yang didapati. Setelah tegangan kecil berhasil sebesar 12 VDC tahap selanjutnya akan mencoba menggunakan tegangan 24 VDC dan kemudian tegangan akan terus bertambah sehingga nantinya akan mencapai tegangan sebesar 320 VDC. Berikut adalah rangkaian keseluruhan pada saat melakukan uji coba tegangan rendah sebesar 12 VDC.



Gambar 4.10 Rangkaian Alat Keseluruhan

Pada saat melakukan terjadi beberapa *trouble* sehingga tidak bisa berjalan dengan baik dan terjadinya drop tegangan secara terus menurus. Hingga membutuhkan waktu lebih dari 3 hari untuk melakukan fiksasi *trouble* secara keseluruhan. Dikarenakan *trouble* pertama adalah terjadinya drop tegangan pada IR 2110 yang pertama yang menyebabkan tegangan VCC dan tegangan untuk melakukan *switching* terhadap MOSFET gagal. Kemudian terjadi pada *driver* IR 2110 yang kedua terjadi drop tegangan sama seperti *driver* yang pertama, dan masih banyak *trouble* lain nya yang sering menghambat pada saat penyelesain alat. Pada saat drop tegangan pada *driver* IR 2110 sinyal sinus yang terbentuk menjadi setengah sinus.



Gambar 4.11 Sinyal Sinus Sempurna

Pada **Gambar 4.11** merupakan *output* sinyal sinus yang sempurna yang terjadi pada alat. Tegangan AC yang dikeluarkan adalah sebesar 9.6 volt dengan beban 10 buah resistor dengan 10 ohm.

Setelah banyak mengalami *trouble* yang lumayan sering terjadi, untuk menyelesaikan masalah dalam *trouble* tersebut adalah dengan memainkan kontroller pada chip Atmega 16 yang terdapat pada alat yaitu dengan menambahkan *soft start*. Sehingga tidak adanya tegangan kejut yang langsung masuk pada alat.

```
304    SD1=0;
305    SD=1;
306    PORTD.4=0;
307    PORTB.3=0;
308    PORTB.4=0;
309    PORTB.0=0;
310    PORTB.1=0;
311    TCCR2=0x61;
312    delay_ms(2000);
313    TCCR0=0x01;
314    TCCR1A=0x22;
315    TCCR1B=0x09;
316
```

Gambar 4.13 Kodingan *Soft Start*

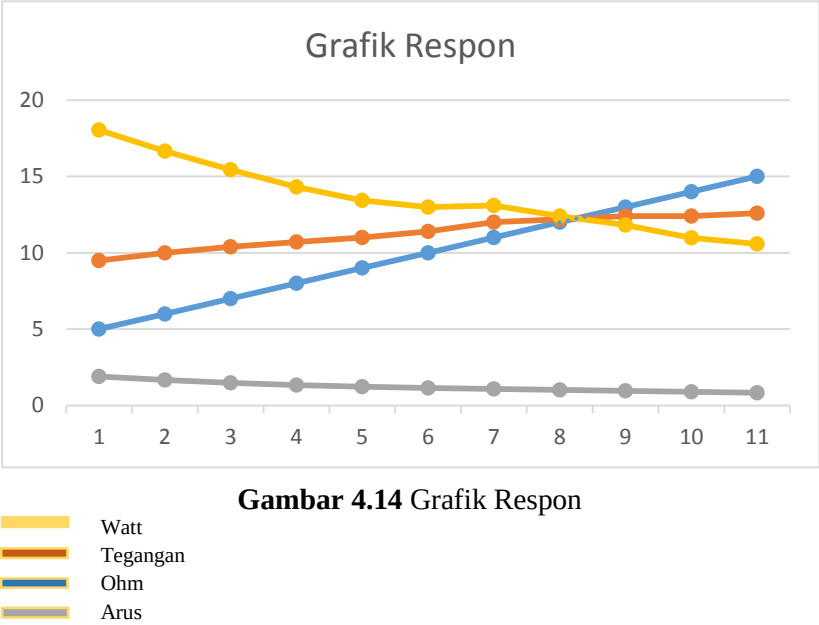
Kodingan tersebut dimasukkan dengan cara mengatur *timer* sehingga membutuhkan waktu *delay* sebesar 2 detik untuk memberikan kesempatan alat mengisi tegangan terlebih dahulu pada kapasitor. Setelah 2 detik baru bisa diajalankan.

4.2 Pengujian Alat Menggunakan Beban

Alat yang sudah berhasil dilakukan pengujian dan berhasil mengeluarkan sinyal sinus sempurna, tahap selanjutnya adalah dengan mengambil data dengan pengujian beban. Beban yang dipakai sebuah resistor dengan nilai 5 ohm sampai 15 ohm. Berikut data hasil pengujian.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian 12 V

No	Nilai Beban	Tegangan Input	Arus (A)	Tegangan Output	Daya (watt)
1	5 ohm	12 V	1.9	9.5 V	18
2	6 ohm	12 V	1.7	10.0 V	17
3	7 ohm	12 V	1.5	10.4 V	15
4	8 ohm	12 V	1.3	10.7 V	14
5	9 ohm	12 V	1.2	11.0 V	13
6	10 ohm	12 V	1.1	11.4 V	13
7	11 ohm	12 V	1.1	12.0 V	13
8	12 ohm	12 V	1	12.2 V	12
9	13 ohm	12 V	1	12.4 V	12
10	14 ohm	12 V	0.9	12.4 V	11
11	15 ohm	12 V	0.8	12.6 V	11



Gambar 4.14 Grafik Respon

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan beban resistor sebesar 5 Ohm sampai 15 Ohm didapati hasil seperti pada **Tabel 4.1** dengan grafik respon seperti pada **Gambar 4.14** rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan adalah.

$$I = \frac{V}{R} \text{ dan } P = I^2 \text{ x } R$$

Dengan I adalah rumus untuk mendapatkan arus (A) dan P untuk mendapatkan nilai daya (watt).

Pengujian selanjutnya adalah dengan menggunakan tegangan *input* sebesar 24 V dengan beban menggunakan lampu pijar 12 volt 35 watt dengan dirangkai seri sebanyak dua buah.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian 24 V

Tegangan *Input*	24 VDC
Tegangan *Output*	24.4 VAC
Daya (watt)	70 watt
Arus *Output*	2.9 Amphere

Pengujian tahap selanjutnya adalah dengan menggunakan beban berbeda, yaitu dengan menggunakan beban induktif dimana beban induktif yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti coil, transformator, dan solenoida. Beban ini dapat menghalangi perubahan nilai arus,mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan - pergeseran fasa (*phase shift*) pada beban induktif ini biasa disebut *lagging*, hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif.

Tabel 4.2 Penguian Beban Induktif

Tegangan Input	110 VDC
Arus	2 Amphere
Frekuensi	50 Hz
Induktansi	3 mH
Tegangan Output	130 VAC
Daya (watt)	260 Watt

Perhitungan beban induktif dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$X_L = 2\Pi fL$$

Dimana :

XL = Reaktansi Induktif
f = Frekuensi (Hz)
L = Induktansi (Henry)

4.2.1 Pengujian Perubahan *Duty Cycle*

Duty Cycle adalah perbandingan waktu ketika sinyal mencapai kondisi ON dan ketika mencapai kondisi OFF dalam satu periode sinyal. Dengan kata lain, Siklus Kerja atau Duty Cycle adalah perbandingan lama kondisi ON dan kondisi OFF suatu sinyal pada setiap periode**.** Pengujian perubahan *duty cycle* dilakukan untuk mengetahui perbuahan nilai tegangan *input* dan *output*. Pengujian dilakukan mulai dari perubahan *duty cycle* sebesar 50 – 70 %.

Tabel 4.3 Perubahan *Duty Cycle*

Perubahan *Duty Cycle*	Tegangan *Input*	Tegangan *Output*
50%	12 V	5.6 V
60%	12 V	6.9 V
70%	12 V	8.1 V

LAMPIRAN

Koding program pada chip atmega 16 yang terdapat pada alat adalah sebagai berikut.

```
char tH [313]= {
0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,
0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,
0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,
0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,  1,
};

char tL [313]= {
0,      5,      10,     15,     21,     26,     31,     36,
41,     46,     51,     57,     62,     67,     72,     77,
51,     56,     60,     64,     68,     72,     76,     80,
113,117,120,124,127,130,134,137,140,144,147,150,153,156,1
59,162,
165,168,171,174,177,179,182,185,187,190,192,195,197,200,2
02,204,
```

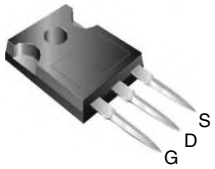
```
206,209,211,213,215,217,219,221,223,224,226,228,230,231,2
33,234,
236,237,238,240,241,242,243,245,246,247,248,248,249,250,2
51,252,
252,253,253,254,254,255,255,255,255,255,255,255,255,255,2
55,255, 1;}
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
{count++;
if(count>=313)
{count=0;
 SD1=1;
 SD=~SD;
 SD1=~SD;
 PORTB.1=SD;
 PORTB.0=~SD;
}
else if (count==312)
 {PORTB.1=0;
 PORTB.0=0;
  }
OCR1BL=tL[count];
OCR1BH=tH[count];
SD1=0;
SD=1;
PORTD.4=0;
PORTB.3=0;
PORTB.4=0;
PORTB.0=0;
PORTB.1=0;
TCCR2=0x61;
delay_ms(2000);
TCCR0=0x01;
```

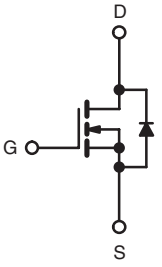
```
TCCR1A=0x22;
TCCR1B=0x09;
while (1)
      {
      adc1=read_adc(1); // input arus
      adc2=read_adc(4);        //output
      arus resetpeak=1;
      delay_ms(2);
      resetpeak=0;
      delay_ms(30);
      adc3=read_adc(6); //
      peakdetector if (disp==1)
         {
      disp=0;  //Tampilan LCD
      sprintf(tampil1,"Ain:  %3d  fr=  %2dHz",adc1,frekwensi);
//display LCD
      lcd_gotoxy(0,0);
      lcd_puts(tampil1);
      sprintf(tampil2,"Aout:%3d V= %3dV",
      adc2,adc3); lcd_gotoxy(0,1);
      lcd_puts(tampil2);
}
```

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V_{DS} (V)	500	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	V_{GS} = 10 V	0.27
Q_g (Max.) (nC)	210	
Q_{gs} (nC)	29	
Q_{gd} (nC)	110	
Configuration	Single	

TO-247





N-Channel MOSFET

FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead (Pb)-free Available

Available
RoHS* COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-247
Lead (Pb)-free	IRFP460PbF
	SiHFP460-E3
SnPb	IRFP460
	SiHFP460

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS T_C = 25 °C, unless otherwise noted

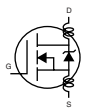
PARAMETER			SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage			V_{DS}	500	V
Gate-Source Voltage			V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	T_C = 25 °C	I_D	20	A
		T_C = 100 °C		13	
Pulsed Drain Current[a]			I_{DM}	80	
Linear Derating Factor				2.2	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy[b]			E_{AS}	960	mJ
Repetitive Avalanche Current[a]			I_{AR}	20	A
Repetitive Avalanche Energy[a]			E_{AR}	28	mJ
Maximum Power Dissipation	T_C = 25 °C		P_D	280	W
Peak Diode Recovery dV/dt[c]			dV/dt	3.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range			T_J, T_{stg}	- 55 to + 150	°C
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s			300[d]	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw			10	lbf · in
				1.1	N · m

Notes

a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. V_{DD} = 50 V, starting T_J = 25 °C, L = 4.3 mH, R_G = 25 Ω, I_{AS} = 20 A (see fig. 12).
c. I_{SD} ≤ 20 A, dI/dt ≤ 160 A/µs, V_{DD} ≤ V_{DS}, T_J ≤ 150 °C.
d. 1.6 mm from case.

* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	**SYMBOL**	**TYP.**	**MAX.**	**UNIT**
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	40	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.24	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	0.45	

SPECIFICATIONS T_J = 25 °C, unless otherwise noted							
PARAMETER	**SYMBOL**	**TEST CONDITIONS**		**MIN.**	**TYP.**	**MAX.**	**UNIT**
Static							
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	V_{GS} = 0 V, I_D = 250 µA		500	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to 25 °C, I_D = 1 mA		-	0.63	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250 µA		2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	V_{GS} = ± 20 V		-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	V_{DS} = 500 V, V_{GS} = 0 V		-	-	25	µA
		V_{DS} = 400 V, V_{GS} = 0 V, T_J = 125 °C		-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	V_{GS} = 10 V	I_D = 12 A[b]	-	-	0.27	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	V_{DS} = 50 V, I_D = 12 A[b]		13	-	-	S
Dynamic							
Input Capacitance	C_{iss}	V_{GS} = 0 V, V_{DS} = 25 V, f = 1.0 MHz, see fig. 5		-	4200	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}			-	870	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}			-	350	-	
Total Gate Charge	Q_g	V_{GS} = 10 V	I_D = 20 A, V_{DS} = 400 V see fig. 6 and 13[b]	-	-	210	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}			-	-	29	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}			-	-	110	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	V_{DD} = 250 V, I_D = 20 A , R_G = 4.3 Ω, R_D = 13 Ω, see fig. 10[b]		-	18	-	ns
Rise Time	t_r			-	59	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$			-	110	-	
Fall Time	t_f			-	58	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 		-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S			-	13	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics							
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode		-	-	20	A
Pulsed Diode Forward Current[a]	I_{SM}			-	-	80	
Body Diode Voltage	V_{SD}	T_J = 25 °C, I_S = 20 A, V_{GS} = 0 V[b]		-	-	1.8	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	T_J = 25 °C, I_F = 20A, dI/dt = 100 A/µs[b]		-	570	860	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}			-	5.7	8.6	µC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)					

Notes

a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).

b. Pulse width ≤ 300 µs; duty cycle ≤ 2 %.

TYPICAL CHARACTERISTICS 25 °C, unless otherwise noted

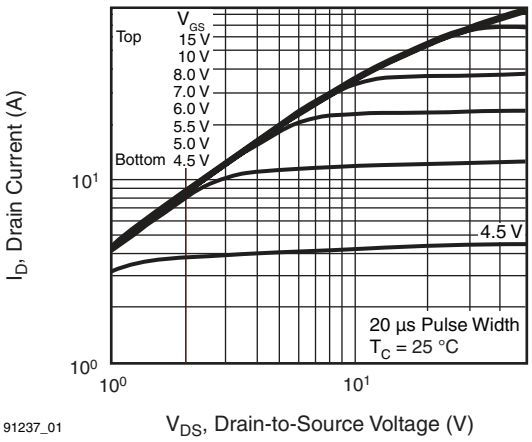


Fig. 1 - Typical Output Characteristics, T_C = 25 °C

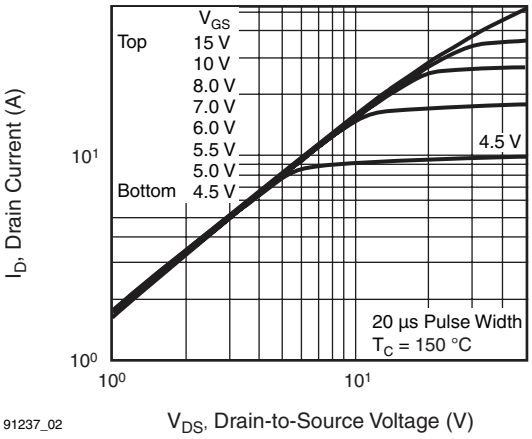


Fig. 2 - Typical Output Characteristics, T_C = 150 °C

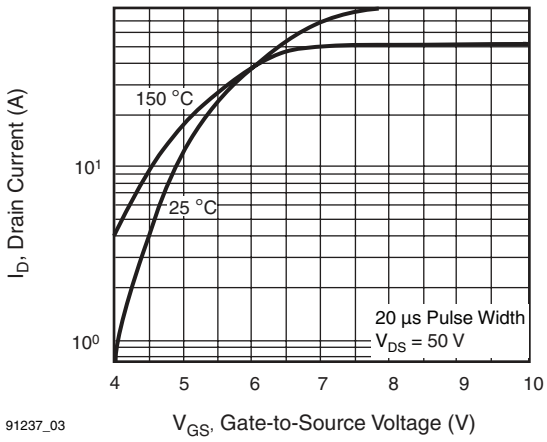


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

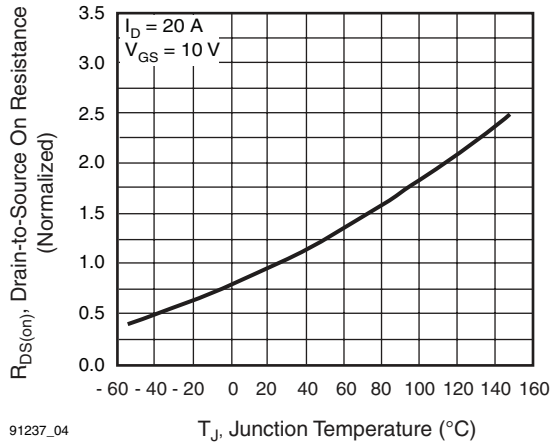


Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

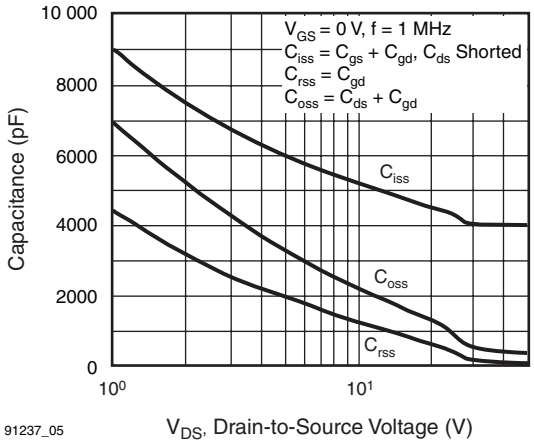


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

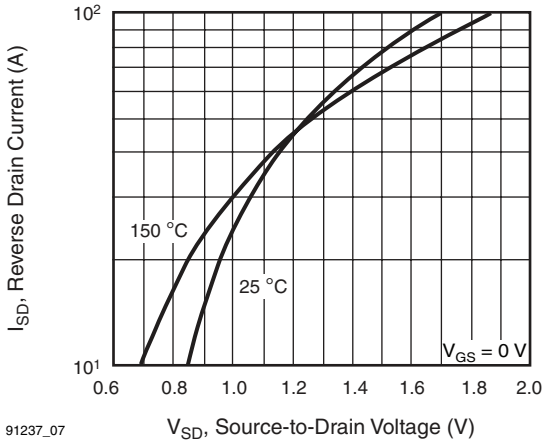


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

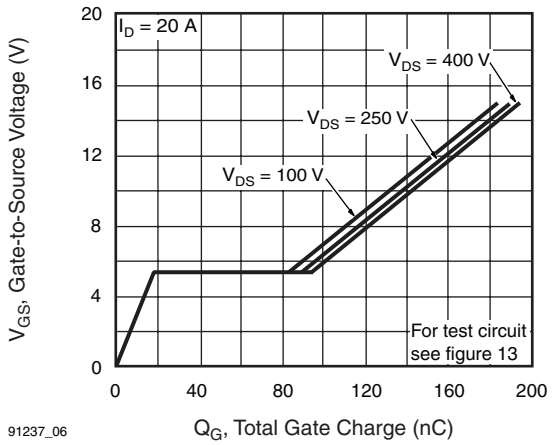


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

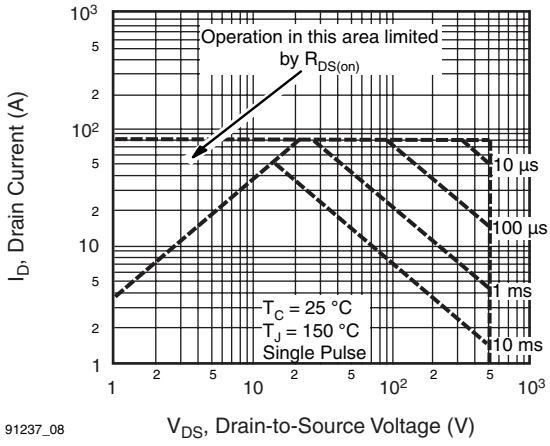


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

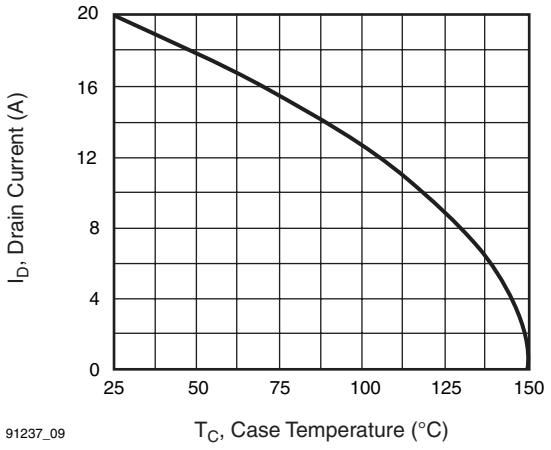


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

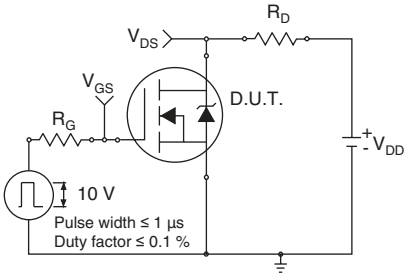


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

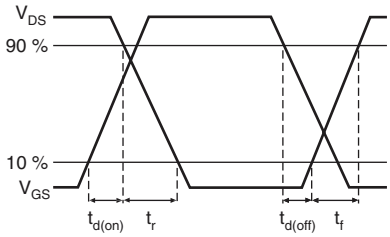


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

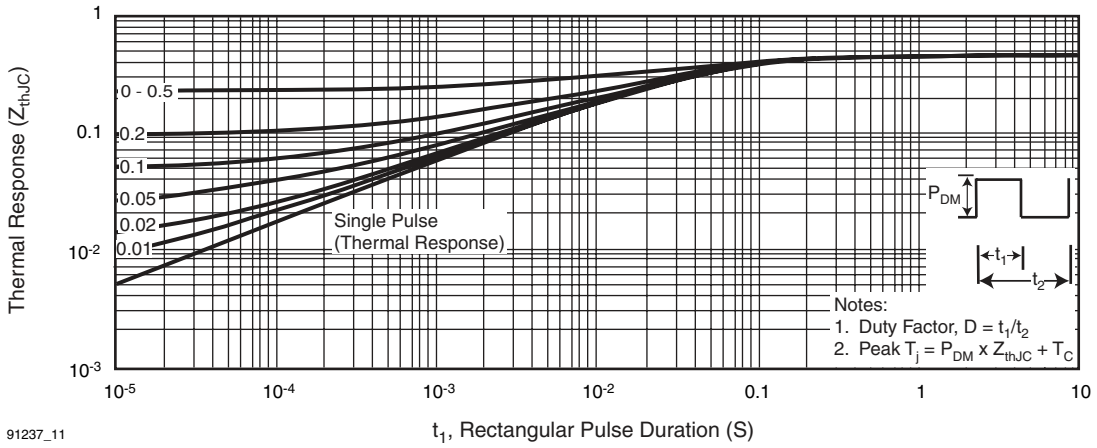


Fig. 11a - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

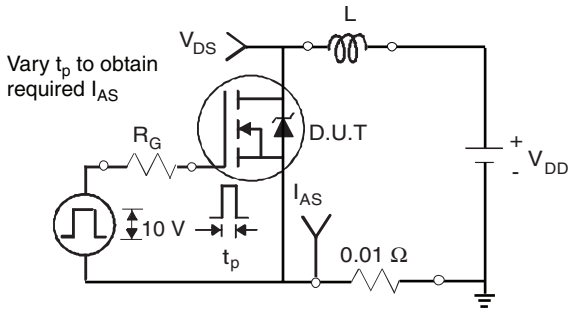


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

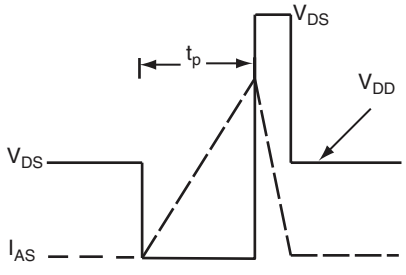


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

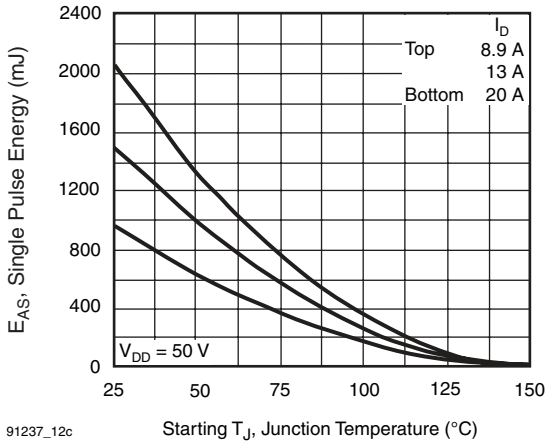


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

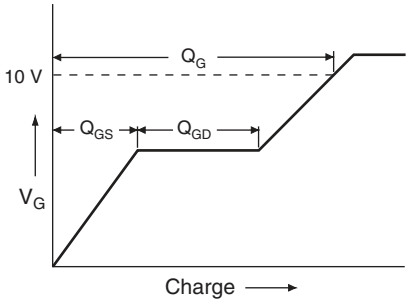


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

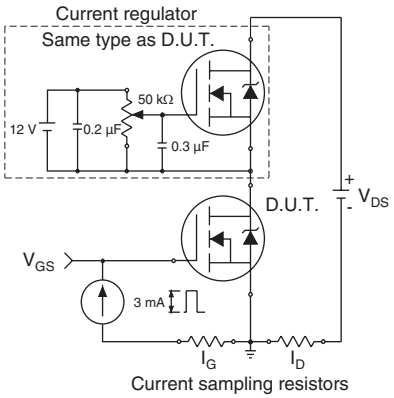
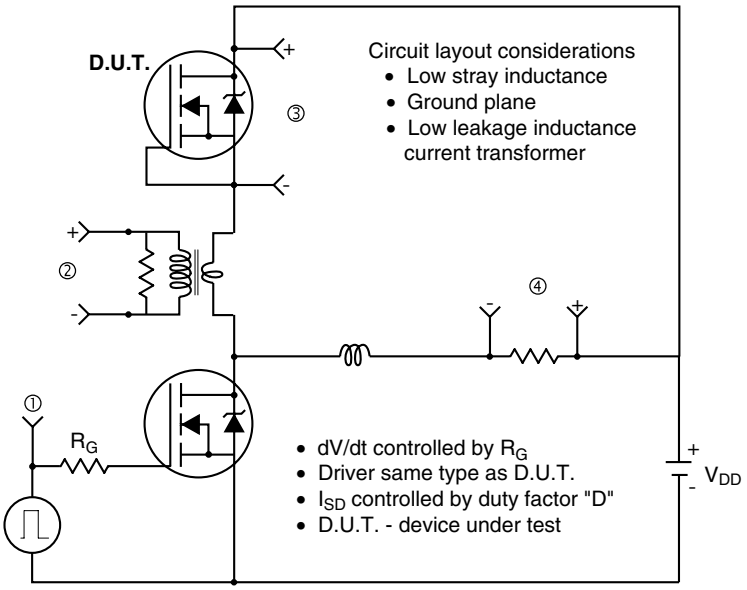
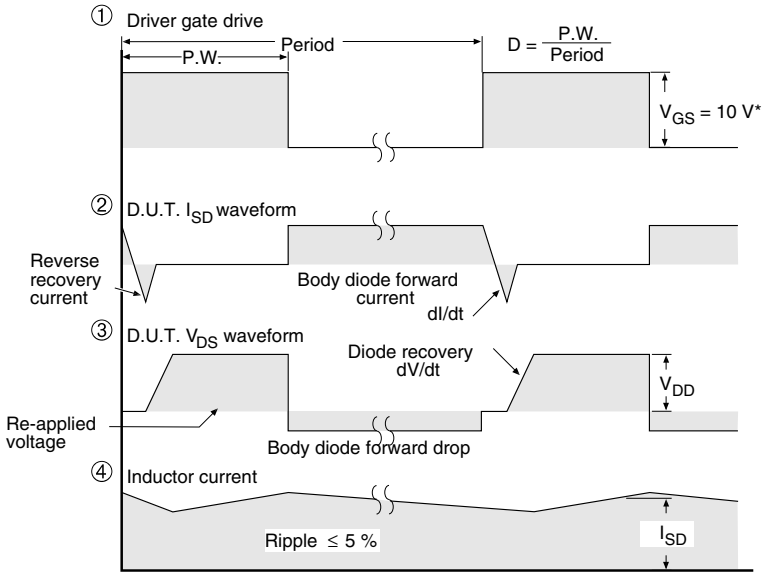


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dV/dt Test Circuit



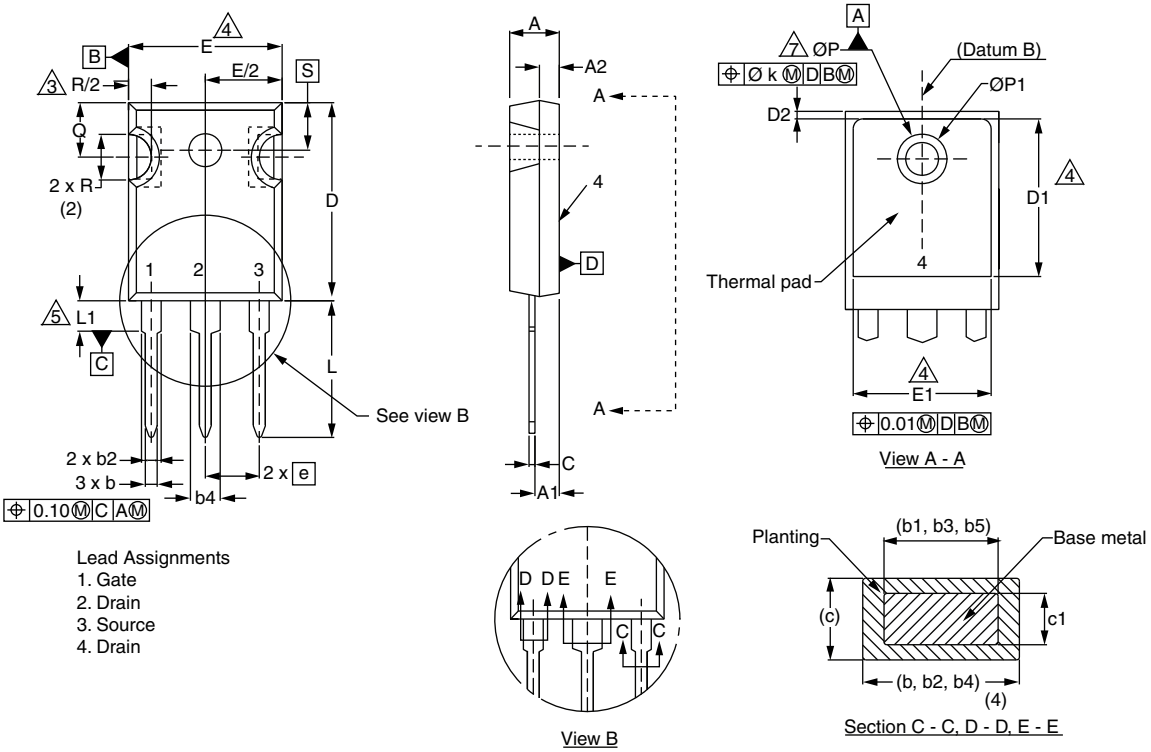


* V_{GS} = 5 V for logic level devices

Fig. 14 - For N-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see http://www.vishay.com/ppg?91237.

TO-247AC (High Voltage)



Lead Assignments
1. Gate
2. Drain
3. Source
4. Drain

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.58	5.31	0.180	0.209
A1	2.21	2.59	0.087	0.102
A2	1.17	2.49	0.046	0.098
b	0.99	1.40	0.039	0.055
b1	0.99	1.35	0.039	0.053
b2	1.53	2.39	0.060	0.094
b3	1.65	2.37	0.065	0.093
b4	2.42	3.43	0.095	0.135
b5	2.59	3.38	0.102	0.133
c	0.38	0.86	0.015	0.034
c1	0.38	0.76	0.015	0.030
D	19.71	20.82	0.776	0.820
D1	13.08	-	0.515	-

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
D2	0.51	1.30	0.020	0.051
E	15.29	15.87	0.602	0.625
E1	13.72	-	0.540	-
e	5.46 BSC		0.215 BSC	
Ø k	0.254		0.010	
L	14.20	16.25	0.559	0.640
L1	3.71	4.29	0.146	0.169
N	7.62 BSC		0.300 BSC	
Ø P	3.51	3.66	0.138	0.144
Ø P1	-	7.39	-	0.291
Q	5.31	5.69	0.209	0.224
R	4.52	5.49	0.178	0.216
S	5.51 BSC		0.217 BSC	

ECN: X13-0103-Rev. D, 01-Jul-13
DWG: 5971

Notes

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
2. Contour of slot optional.
3. Dimension D and E do not include mold flash. Mold flash shall not exceed 0.127 mm (0.005") per side. These dimensions are measured at the outermost extremes of the plastic body.
4. Thermal pad contour optional with dimensions D1 and E1.
5. Lead finish uncontrolled in L1.
6. Ø P to have a maximum draft angle of 1.5 to the top of the part with a maximum hole diameter of 3.91 mm (0.154").
7. Outline conforms to JEDEC outline TO-247 with exception of dimension c.
8. Xian and Mingxin actually photo.

For technical questions, contact: hvm@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, “Vishay”), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay’s knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer’s responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer’s technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay’s terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Features

- High-performance, Low-power 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
- Nonvolatile Program and Data Memories
  - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
    Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    In-System Programming by On-chip Boot Program
    True Read-While-Write Operation
  - 512 Bytes EEPROM
    Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 1K Byte Internal SRAM
  - 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
- I/O and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
  - 4.5 - 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

Preliminary

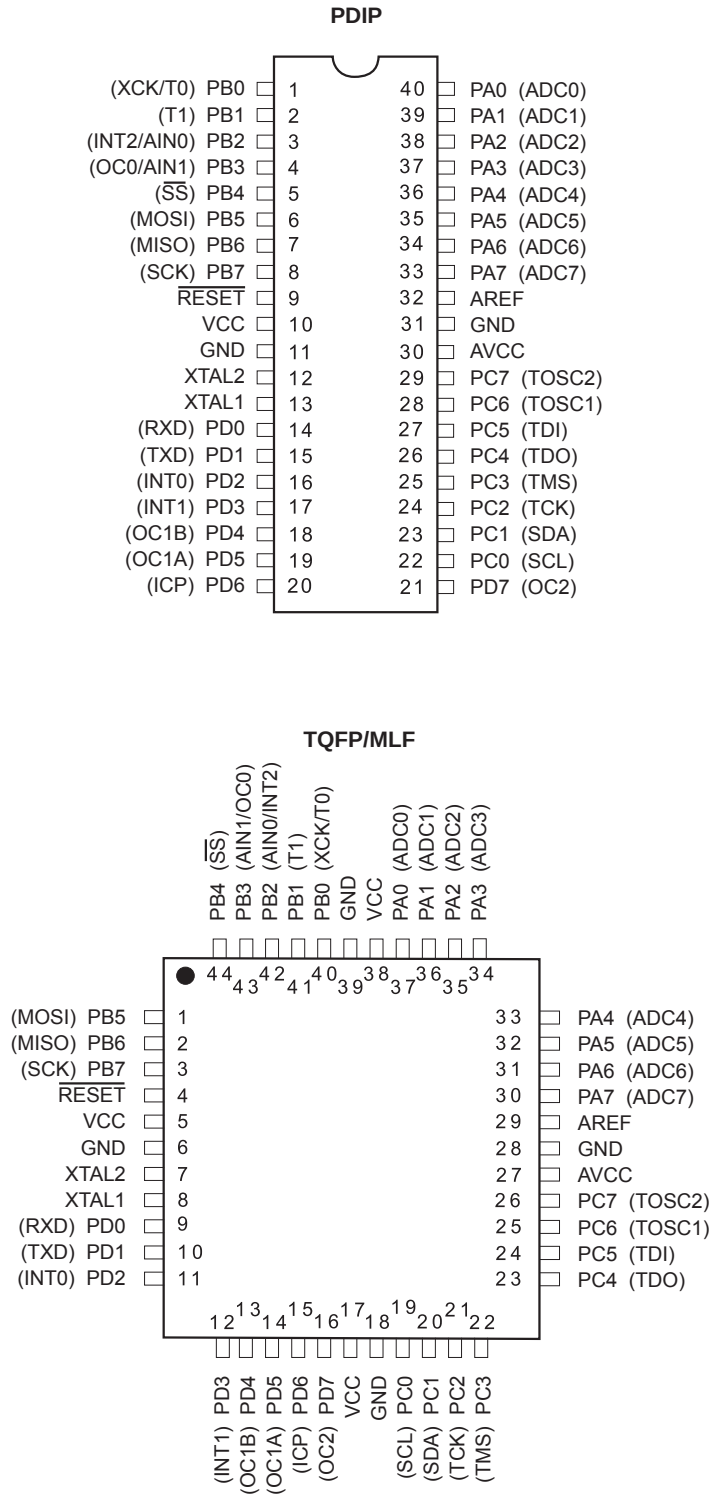
Summary

Rev. 2466FS–AVR–02/03

Note: This is a summary document. A complete document is available on our web site at *www.atmel.com*.

Pin Configurations

Figure 1. Pinouts ATmega16



Disclaimer

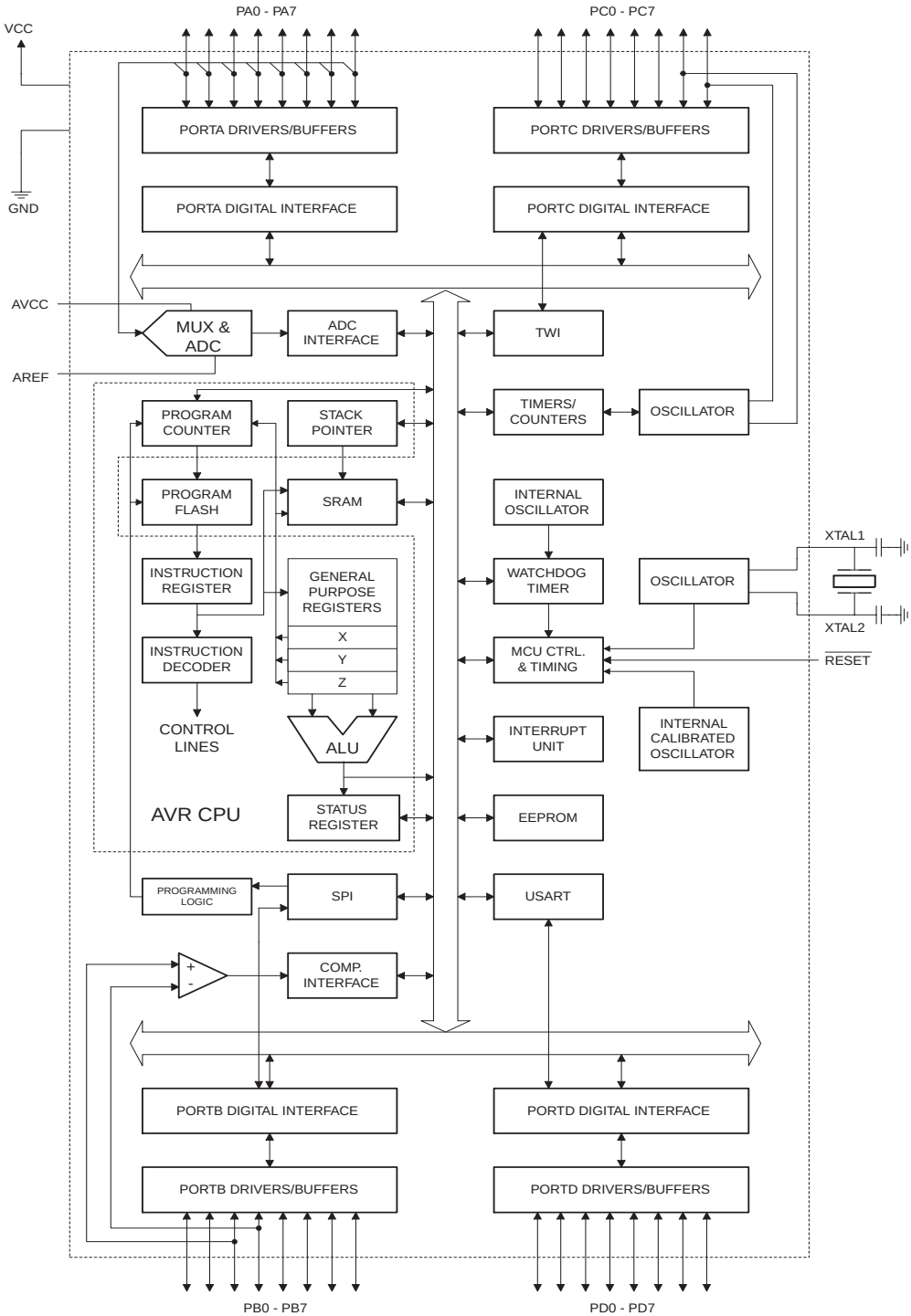
Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

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: 16K bytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 1K byte 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.

Pin Descriptions

VCC

Digital supply voltage.

GND

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 56.

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 59.

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 61.

$\overline{\text{RESET}}$

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 36. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

XTAL1

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

XTAL2

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.

About Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C Compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C Compiler documentation for more details.

Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
$3F ($5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	7
$3E ($5E)	SPH	–	–	–	–	–	SP10	SP9	SP8	10
$3D ($5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	10
$3C ($5C)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register								82
$3B ($5B)	GICR	INT1	INT0	INT2	–	–	–	IVSEL	IVCE	46, 66
$3A ($5A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	–	–	–	–	–	67
$39 ($59)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	82, 113, 131
$38 ($58)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	83, 114, 132
$37 ($57)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	–	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	250
$36 ($56)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	179
$35 ($55)	MCUCR	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	30, 65
$34 ($54)	MCUCSR	JTD	ISC2	–	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	39, 66, 230
$33 ($53)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	80
$32 ($52)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)								82
$31[1] ($51)[1]	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								28
	OCDR	On-Chip Debug Register								226
$30 ($50)	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	–	ACME	PUD	PSR2	PSR10	55,85,133,200,220
$2F ($4F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	108
$2E ($4E)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	111
$2D ($4D)	TCNT1H	Timer/Counter1 – Counter Register High Byte								112
$2C ($4C)	TCNT1L	Timer/Counter1 – Counter Register Low Byte								112
$2B ($4B)	OCR1AH	Timer/Counter1 – Output Compare Register A High Byte								112
$2A ($4A)	OCR1AL	Timer/Counter1 – Output Compare Register A Low Byte								112
$29 ($49)	OCR1BH	Timer/Counter1 – Output Compare Register B High Byte								112
$28 ($48)	OCR1BL	Timer/Counter1 – Output Compare Register B Low Byte								112
$27 ($47)	ICR1H	Timer/Counter1 – Input Capture Register High Byte								113
$26 ($46)	ICR1L	Timer/Counter1 – Input Capture Register Low Byte								113
$25 ($45)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	126
$24 ($44)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)								128
$23 ($43)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register								128
$22 ($42)	ASSR	–	–	–	–	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	129
$21 ($41)	WDTCR	–	–	–	WDTOE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	41
$20[2] ($40)[2]	UBRRH	URSEL	–	–	–	UBRR[11:8]				166
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	164
$1F ($3F)	EEARH	–	–	–	–	–	–	–	EEAR8	17
$1E ($3E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								17
$1D ($3D)	EEDR	EEPROM Data Register								17
$1C ($3C)	EECR	–	–	–	–	EERIE	EEMWE	EEWE	EERE	17
$1B ($3B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	63
$1A ($3A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	63
$19 ($39)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	63
$18 ($38)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	63
$17 ($37)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	63
$16 ($36)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	64
$15 ($35)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	64
$14 ($34)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	64
$13 ($33)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	64
$12 ($32)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	64
$11 ($31)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	64
$10 ($30)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	64
$0F ($2F)	SPDR	SPI Data Register								140
$0E ($2E)	SPSR	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	SPI2X	140
$0D ($2D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	138
$0C ($2C)	UDR	USART I/O Data Register								161
$0B ($2B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	162
$0A ($2A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	163
$09 ($29)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte								166
$08 ($28)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	200
$07 ($27)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	216
$06 ($26)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	218
$05 ($25)	ADCH	ADC Data Register High Byte								219
$04 ($24)	ADCL	ADC Data Register Low Byte								219
$03 ($23)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register								181
$02 ($22)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	181

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
$01 ($21)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0	180
$00 ($20)	TWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register								179

Notes:
1. When the OCDEN Fuse is unprogrammed, the OSCCAL Register is always accessed on this address. Refer to the debugger specific documentation for details on how to use the OCDR Register.
2. Refer to the USART description for details on how to access UBRRH and UCSRC.
3. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
4. Some of the status flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers $00 to $1F only.

Instruction Set Summary

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS					
ADD	Rd, Rr	Add two Registers	Rd ← Rd + Rr	Z,C,N,V,H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	Rd ← Rd + Rr + C	Z,C,N,V,H	1
ADIW	Rdl,K	Add Immediate to Word	Rdh:Rdl ← Rdh:Rdl + K	Z,C,N,V,S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	Rd ← Rd - Rr	Z,C,N,V,H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	Rd ← Rd - K	Z,C,N,V,H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	Rd ← Rd - Rr - C	Z,C,N,V,H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	Rd ← Rd - K - C	Z,C,N,V,H	1
SBIW	Rdl,K	Subtract Immediate from Word	Rdh:Rdl ← Rdh:Rdl - K	Z,C,N,V,S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	Rd ← Rd • Rr	Z,N,V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	Rd ← Rd • K	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	Rd ← Rd v Rr	Z,N,V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	Rd ← Rd v K	Z,N,V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	Rd ← Rd ⊕ Rr	Z,N,V	1
COM	Rd	One's Complement	Rd ← $FF – Rd	Z,C,N,V	1
NEG	Rd	Two's Complement	Rd ← $00 – Rd	Z,C,N,V,H	1
SBR	Rd,K	Set Bit(s) in Register	Rd ← Rd v K	Z,N,V	1
CBR	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	Rd ← Rd • ($FF - K)	Z,N,V	1
INC	Rd	Increment	Rd ← Rd + 1	Z,N,V	1
DEC	Rd	Decrement	Rd ← Rd – 1	Z,N,V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	Rd ← Rd • Rd	Z,N,V	1
CLR	Rd	Clear Register	Rd ← Rd ⊕ Rd	Z,N,V	1
SER	Rd	Set Register	Rd ← $FF	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
BRANCH INSTRUCTIONS					
RJMP	k	Relative Jump	PC ← PC + k + 1	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	PC ← Z	None	2
JMP	k	Direct Jump	PC ← k	None	3
RCALL	k	Relative Subroutine Call	PC ← PC + k + 1	None	3
ICALL		Indirect Call to (Z)	PC ← Z	None	3
CALL	k	Direct Subroutine Call	PC ← k	None	4
RET		Subroutine Return	PC ← STACK	None	4
RETI		Interrupt Return	PC ← STACK	I	4
CPSE	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	if (Rd = Rr) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
CP	Rd,Rr	Compare	Rd – Rr	Z, N,V,C,H	1
CPC	Rd,Rr	Compare with Carry	Rd – Rr – C	Z, N,V,C,H	1
CPI	Rd,K	Compare Register with Immediate	Rd – K	Z, N,V,C,H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if (Rr(b)=0) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if (Rr(b)=1) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if (P(b)=0) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if (P(b)=1) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if (SREG(s) = 1) then PC←PC+k + 1	None	1 / 2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if (SREG(s) = 0) then PC←PC+k + 1	None	1 / 2
BREQ	k	Branch if Equal	if (Z = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if (Z = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if (C = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if (C = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	if (C = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRLO	k	Branch if Lower	if (C = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRMI	k	Branch if Minus	if (N = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRPL	k	Branch if Plus	if (N = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if (N ⊕ V= 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if (N ⊕ V= 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if (H = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if (H = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if (T = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if (T = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if (V = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if (V = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	if (I = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	if (I = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
DATA TRANSFER INSTRUCTIONS					
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	Rd ← Rr	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr	None	1
LDI	Rd, K	Load Immediate	Rd ← K	None	1
LD	Rd, X	Load Indirect	Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (X), X ← X + 1	None	2
LD	Rd, - X	Load Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, Y	Load Indirect	Rd ← (Y)	None	2
LD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Y), Y ← Y + 1	None	2
LD	Rd, - Y	Load Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, Rd ← (Y)	None	2
LDD	Rd,Y+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Y + q)	None	2
LD	Rd, Z	Load Indirect	Rd ← (Z)	None	2
LD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	2
LD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, Rd ← (Z)	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Z + q)	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	Rd ← (k)	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	(X) ← Rr	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(X) ← Rr, X ← X + 1	None	2
ST	- X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, (X) ← Rr	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	(Y) ← Rr	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Y) ← Rr, Y ← Y + 1	None	2
ST	- Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, (Y) ← Rr	None	2
STD	Y+q,Rr	Store Indirect with Displacement	(Y + q) ← Rr	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	(Z) ← Rr	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Z) ← Rr, Z ← Z + 1	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, (Z) ← Rr	None	2
STD	Z+q,Rr	Store Indirect with Displacement	(Z + q) ← Rr	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	(k) ← Rr	None	2
LPM		Load Program Memory	R0 ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	Rd ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	3
SPM		Store Program Memory	(Z) ← R1:R0	None	-
IN	Rd, P	In Port	Rd ← P	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	P ← Rr	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	STACK ← Rr	None	2
POP	Rd	Pop Register from Stack	Rd ← STACK	None	2
BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS					
SBI	P,b	Set Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 1	None	2
CBI	P,b	Clear Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 0	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	Rd(n+1) ← Rd(n), Rd(0) ← 0	Z,C,N,V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), Rd(7) ← 0	Z,C,N,V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	Rd(0)←C,Rd(n+1)← Rd(n),C←Rd(7)	Z,C,N,V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	Rd(7)←C,Rd(n)← Rd(n+1),C←Rd(0)	Z,C,N,V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), n=0..6	Z,C,N,V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	Rd(3..0)←Rd(7..4),Rd(7..4)←Rd(3..0)	None	1
BSET	s	Flag Set	SREG(s) ← 1	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	SREG(s) ← 0	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	T ← Rr(b)	T	1
BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	Rd(b) ← T	None	1
SEC		Set Carry	C ← 1	C	1
CLC		Clear Carry	C ← 0	C	1
SEN		Set Negative Flag	N ← 1	N	1
CLN		Clear Negative Flag	N ← 0	N	1
SEZ		Set Zero Flag	Z ← 1	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	Z ← 0	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	I ← 1	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	I ← 0	I	1
SES		Set Signed Test Flag	S ← 1	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	S ← 0	S	1
SEV		Set Twos Complement Overflow.	V ← 1	V	1
CLV		Clear Twos Complement Overflow	V ← 0	V	1
SET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
CLT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEH		Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	H ← 0	H	1
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1
SLEEP		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1
BREAK		Break	For On-Chip Debug Only	None	N/A

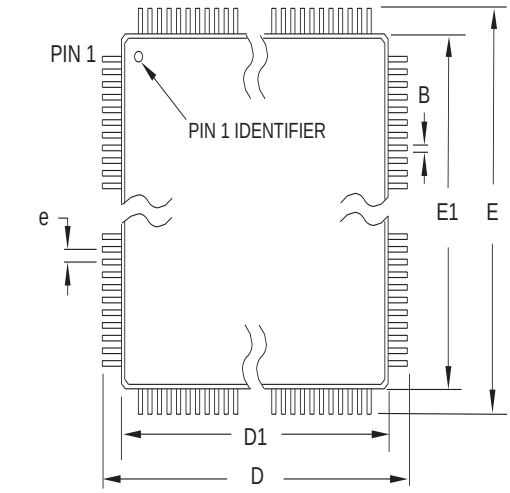
Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
8	2.7 - 5.5V	ATmega16L-8AC ATmega16L-8PC ATmega16L-8MC	44A 40P6 44M1	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega16L-8AI ATmega16L-8PI ATmega16L-8MI	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)
16	4.5 - 5.5V	ATmega16-16AC ATmega16-16PC ATmega16-16MI	44A 40P6 44M1	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega16-16AI ATmega16-16PI ATmega16-16MC	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)

Package Type	
44A	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
40P6	40-pin, 0.600” Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44M1	44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm body, lead pitch 0.50 mm, Micro Lead Frame Package (MLF)

Packaging Information

44A



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

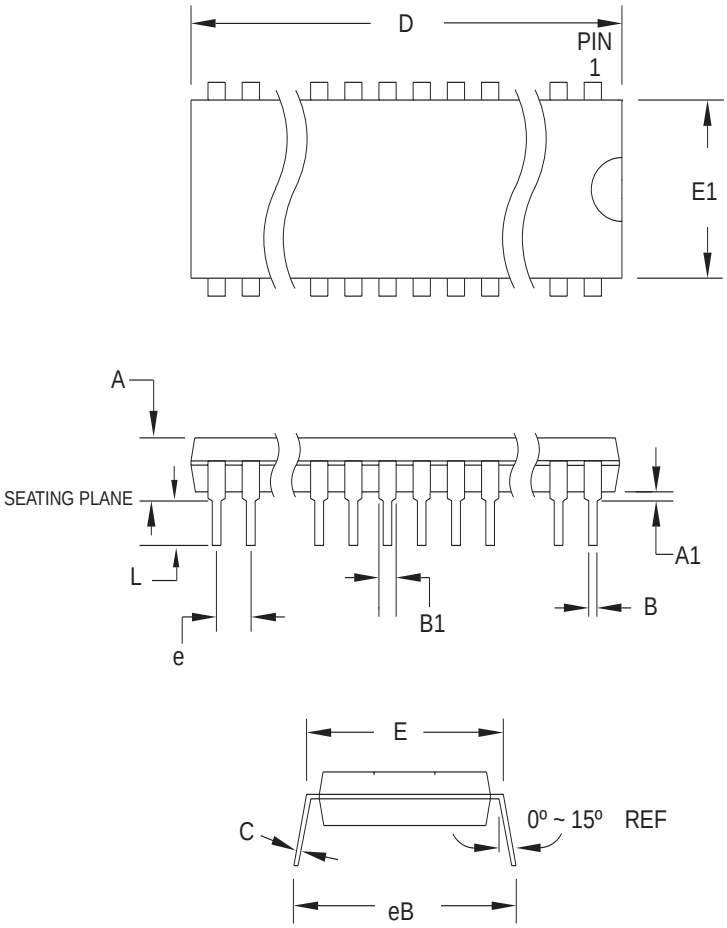
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	–	–	1.20	
A1	0.05	–	0.15	
A2	0.95	1.00	1.05	
D	11.75	12.00	12.25	
D1	9.90	10.00	10.10	Note 2
E	11.75	12.00	12.25	
E1	9.90	10.00	10.10	Note 2
B	0.30	–	0.45	
C	0.09	–	0.20	
L	0.45	–	0.75	
e	0.80 TYP			

Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-026, Variation ACB.
2. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is 0.25 mm per side. Dimensions D1 and E1 are maximum plastic body size dimensions including mold mismatch.
3. Lead coplanarity is 0.10 mm maximum.

10/5/2001

	TITLE	DRAWING NO.	REV.
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	**44A,** 44-lead, 10 x 10 mm Body Size, 1.0 mm Body Thickness, 0.8 mm Lead Pitch, Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP)	44A	B

40P6



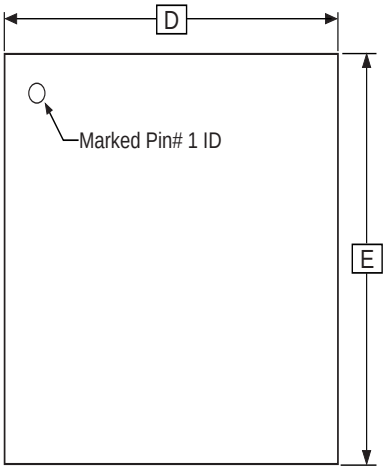
COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	–	–	4.826	
A1	0.381	–	–	
D	52.070	–	52.578	Note 2
E	15.240	–	15.875	
E1	13.462	–	13.970	Note 2
B	0.356	–	0.559	
B1	1.041	–	1.651	
L	3.048	–	3.556	
C	0.203	–	0.381	
eB	15.494	–	17.526	
e	2.540 TYP			

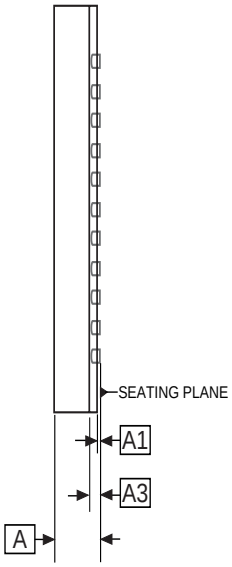
Notes: 1. This package conforms to JEDEC reference MS-011, Variation AC.
2. Dimensions D and E1 do not include mold Flash or Protrusion. Mold Flash or Protrusion shall not exceed 0.25 mm (0.010").

09/28/01

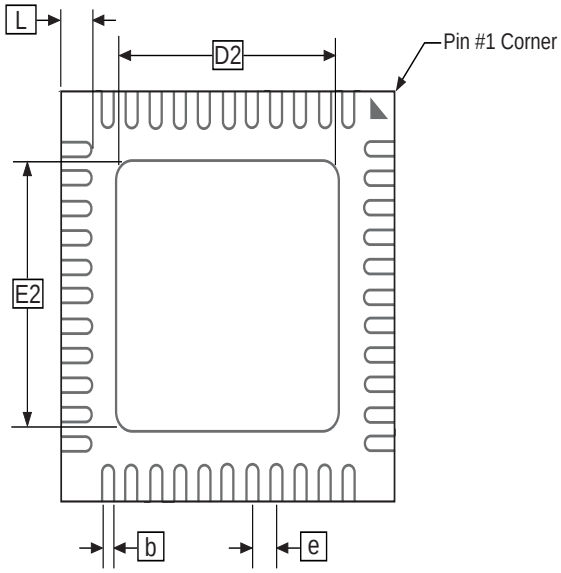
	TITLE	DRAWING NO.	REV.
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	**40P6**, 40-lead (0.600"/15.24 mm Wide) Plastic Dual Inline Package (PDIP)	40P6	B



TOP VIEW



SIDE VIEW



BOTTOM VIEW

COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	0.80	0.90	1.00	
A1	–	0.02	0.05	
A3		0.25 REF		
b	0.18	0.23	0.30	
D		7.00 BSC		
D2	5.00	5.20	5.40	
E		7.00 BSC		
E2	5.00	5.20	5.40	
e		0.50 BSC		
L	0.35	0.55	0.75	

Note: JEDEC Standard MO-220, Fig. 1 (SAW Singulation) VKKD-1.

01/15/03

	TITLE	DRAWING NO.	REV.
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	**44M1**, 44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm Body, Lead Pitch 0.50 mm Micro Lead Frame Package (MLF)	44M1	C

Erratas

The revision letter in this section refers to the revision of the ATmega16 device.

ATmega16(L) Rev. G.

There are no errata for this revision of ATmega16.

ATmega16(L) Rev. H.

There are no errata for this revision of ATmega16.

Data Sheet Change Log for ATmega16

This section contains a log on the changes made to the data sheet for ATmega16.

Changes from Rev. 2466B-09/01 to Rev. 2466C-03/02

All page numbers refer to this document.

1. **Updated typical EEPROM programming time, Table 1 on page 18.**

2. **Updated typical start-up time in the following tables:**

   Table 3 on page 23, Table 5 on page 25, Table 6 on page 26, Table 8 on page 27, Table 9 on page 27, and Table 10 on page 28.

3. **Updated Table 17 on page 41 with typical WDT Time-out.**

4. **Added Some Preliminary Test Limits and Characterization Data.**

   Removed some of the TBD's in the following tables and pages:

   Table 15 on page 36, Table 16 on page 40, Table 116 on page 272 (table removed in document review #D), “Electrical Characteristics” on page 290, Table 119 on page 292, Table 121 on page 294, and Table 122 on page 296.

5. **Updated TWI Chapter.**

   Added the note at the end of the “Bit Rate Generator Unit” on page 177.

6. **Corrected description of ADSC bit in “ADC Control and Status Register A – ADCSRA” on page 218.**

7. **Improved description on how to do a polarity check of the ADC diff results in “ADC Conversion Result” on page 215.**

8. **Added JTAG version number for rev. H in Table 87 on page 228.**

9. **Added not regarding OCDEN Fuse below Table 105 on page 260.**

10. **Updated Programming Figures:**

    Figure 127 on page 262 and Figure 136 on page 273 are updated to also reflect that AVCC must be connected during Programming mode. Figure 131 on page 269 added to illustrate how to program the fuses.

11. **Added a note regarding usage of the “PROG_PAGELOAD ($6)” on page 279 and “PROG_PAGEREAD ($7)” on page 279.**

12. **Removed alternative algortihm for leaving JTAG Programming mode.**

    See “Leaving Programming Mode” on page 287.

13. **Added Calibrated RC Oscillator characterization curves in section “ATmega16 Typical Characteristics – Preliminary Data” on page 298.**

14. **Corrected ordering code for MLF package (16MHz) in “Ordering Information” on page 11.**

15. **Corrected Table 90, “Scan Signals for the Oscillators$^{(1)(2)(3)}$,” on page 234.**

Changes from Rev. 2466C-03/02 to Rev. 2466D-09/02

All page numbers refer to this document.

1. **Changed all Flash write/erase cycles from 1,000 to 10,000.**
2. **Updated the following tables: Table 4 on page 24, Table 15 on page 36, Table 42 on page 82, Table 45 on page 109, Table 46 on page 109, Table 59 on page 141, Table 67 on page 166, Table 90 on page 234, Table 102 on page 258, "DC Characteristics" on page 290, Table 119 on page 292, Table 121 on page 294, and Table 122 on page 296.**
3. **Updated "Erratas" on page 15.**

Changes from Rev. 2466D-09/02 to Rev. 2466E-10/02

All page numbers refer to this document.

1. **Updated "DC Characteristics" on page 290.**

Changes from Rev. 2466E-10/02 to Rev. 2466F-02/03

All page numbers refer to this document.

1. **Added note about masking out unused bits when reading the Program Counter in "Stack Pointer" on page 10.**
2. **Added Chip Erase as a first step in "Programming the Flash" on page 287 and "Programming the EEPROM" on page 288.**
3. **Added the section "Unconnected pins" on page 53.**
4. **Added tips on how to disable the OCD system in "On-chip Debug System" on page 34.**
5. **Removed reference to the "Multi-purpose Oscillator" application note and "32 kHz Crystal Oscillator" application note, which do not exist.**
6. **Added information about PWM symmetry for Timer0 and Timer2.**
7. **Added note in "Filling the Temporary Buffer (Page Loading)" on page 253 about writing to the EEPROM during an SPM Page Load.**
8. **Removed ADHSM completely.**
9. **Added Table 73, "TWI Bit Rate Prescaler," on page 181 to describe the TWPS bits in the "TWI Status Register – TWSR" on page 180.**
10. **Added section "Default Clock Source" on page 23.**
11. **Added note about frequency variation when using an external clock. Note added in "External Clock" on page 29. An extra row and a note added in Table 118 on page 292.**
12. **Various minor TWI corrections.**
13. **Added "Power Consumption" data in "Features" on page 1.**
14. **Added section "EEPROM Write During Power-down Sleep Mode" on page 20 .**

15. **Added note about Differential Mode with Auto Triggering in “Prescaling and Conversion Timing” on page 206.**

16. **Added updated “Packaging Information” on page 12.**

Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 487-2600

Europe
Atmel Sarl
Route des Arsenaux 41
Case Postale 80
CH-1705 Fribourg
Switzerland
TEL (41) 26-426-5555
FAX (41) 26-426-5500

Asia
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Memory
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

Microcontrollers
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3, France
TEL (33) 2-40-18-18-18
FAX (33) 2-40-18-19-60

ASIC/ASSP/Smart Cards
Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex, France
TEL (33) 4-42-53-60-00
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park
Maxwell Building
East Kilbride G75 0QR, Scotland
TEL (44) 1355-803-000
FAX (44) 1355-242-743

RF/Automotive
Theresienstrasse 2
Postfach 3535
74025 Heilbronn, Germany
TEL (49) 71-31-67-0
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Biometrics/Imaging/Hi-Rel MPU/
High Speed Converters/RF Datacom
Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex, France
TEL (33) 4-76-58-30-00
FAX (33) 4-76-58-34-80

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
http://www.atmel.com

© Atmel Corporation 2003.
Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

ATMEL®, AVR®, and AVR Studio® are the registered trademarks of Atmel.

Other terms and product names may be the trademarks of others.

Printed on recycled paper.

2466FS–AVR–02/03 0M

Data Sheet No. PD60147 Rev.T

International
IOR Rectifier

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

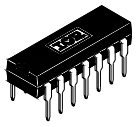
Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
  Fully operational to +500V or +600V
  Tolerant to negative transient voltage
  dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
  Separate logic supply range from 3.3V to 20V
  Logic and power ground ±5V offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs
- Also available LEAD-FREE

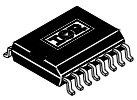
Product Summary

V_{OFFSET}	(IR2110)	500V max.
	(IR2113)	600V max.
I_O+/-		2A / 2A
V_{OUT}		10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)		120 & 94 ns
Delay Matching	(IR2110)	10 ns max.
	(IR2113)	20ns max.

Packages



14-Lead PDIP
IR2110/IR2113

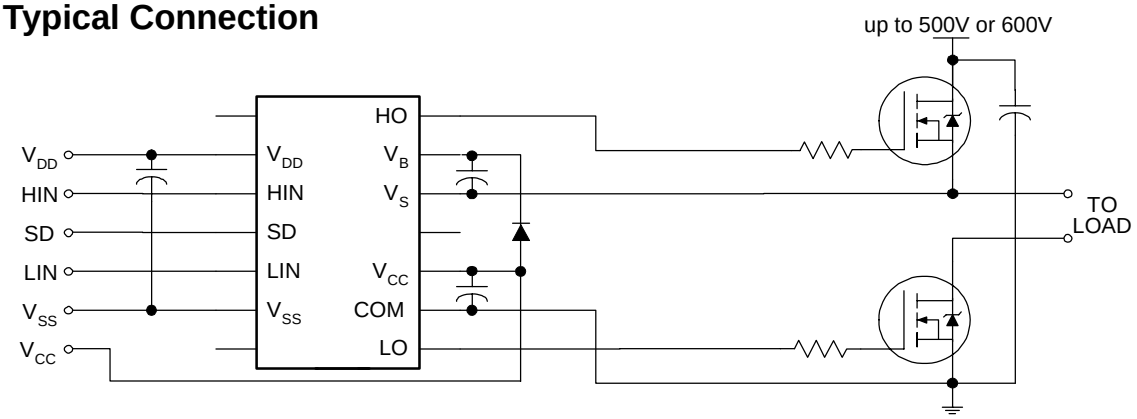


16-Lead SOIC
IR2110S/IR2113S

Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V
	(IR2113)	-0.3	625	
V_S	High side floating supply offset voltage	V_B - 25	V_B + 0.3	
V_{HO}	High side floating output voltage	V_S - 0.3	V_B + 0.3	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25	
V_{LO}	Low side output voltage	-0.3	V_{CC} + 0.3	
V_{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V_{SS} + 25	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	V_{CC} - 25	V_{CC} + 0.3	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V_{SS} - 0.3	V_{DD} + 0.3	
dV_S/dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns
P_D	Package power dissipation @ $T_A \leq +25°C$ (14 lead DIP)	—	1.6	W
	(16 lead SOIC)	—	1.25	
R_{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient (14 lead DIP)	—	75	°C/W
	(16 lead SOIC)	—	100	
T_J	Junction temperature	—	150	°C
T_S	Storage temperature	-55	150	
T_L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300	

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply absolute voltage	V_S + 10	V_S + 20	V
V_S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V_{HO}	High side floating output voltage	V_S	V_B	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V_{LO}	Low side output voltage	0	Vcc	
V_{DD}	Logic supply voltage	V_{SS} + 3	V_{SS} + 20	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V_{SS}	V_{DD}	
T_A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to $-V_{BS}$. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).
Note 2: When $V_{DD} < 5V$, the minimum V_{SS} offset is limited to $-V_{DD}$.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS}, V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

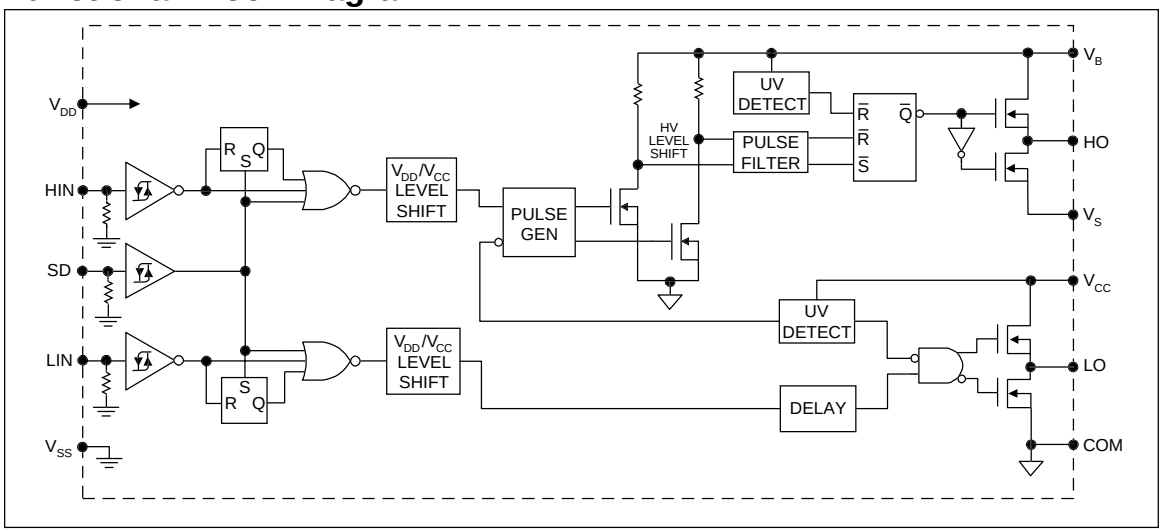
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	V_S = 0V
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		V_S = 500V/600V
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		V_S = 500V/600V
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS (IR2110)	—	—	—	10		
	turn-on/off (IR2113)	—	—	—	20		

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC}, V_{BS}, V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN}, V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic “1” input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic “0” input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, V_{BIAS} - V_O	14	—	—	1.2		I_O = 0A
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		I_O = 0A
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	µA	V_B=V_S = 500V/600V
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		V_{IN} = 0V or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		V_{IN} = 0V or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		V_{IN} = 0V or V_{DD}
I_{IN+}	Logic “1” input bias current	20	—	20	40		V_{IN} = V_{DD}
I_{IN-}	Logic “0” input bias current	21	—	—	1.0		V_{IN} = 0V
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	V_O = 0V, V_{IN} = V_{DD} PW ≤ 10 µs
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		V_O = 15V, V_{IN} = 0V PW ≤ 10 µs

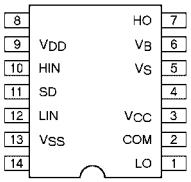
Functional Block Diagram



Lead Definitions

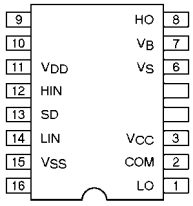
Symbol	Description
V_{DD}	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V_{SS}	Logic ground
V_B	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V_S	High side floating supply return
V_{CC}	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments



14 Lead PDIP

IR2110/IR2113



16 Lead SOIC (Wide Body)

IR2110S/IR2113S

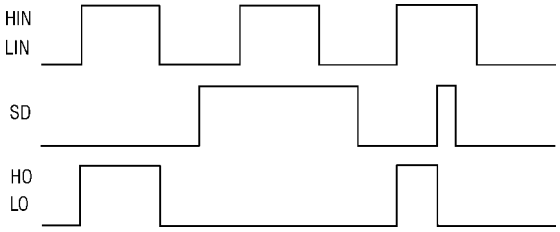


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

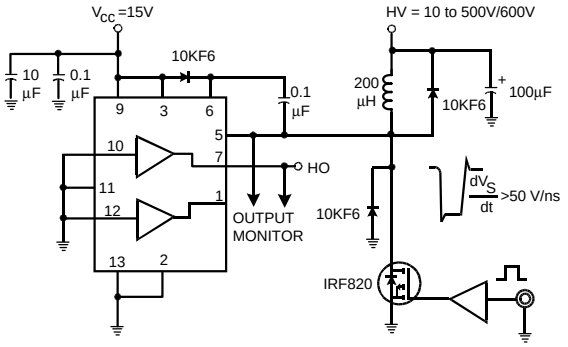


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

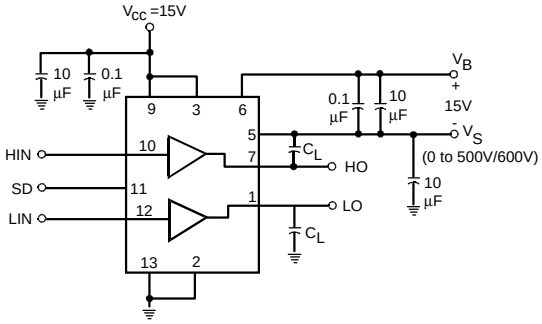


Figure 3. Switching Time Test Circuit

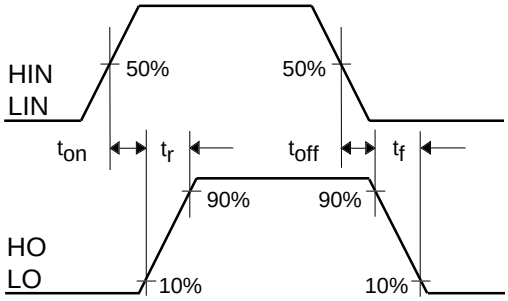


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

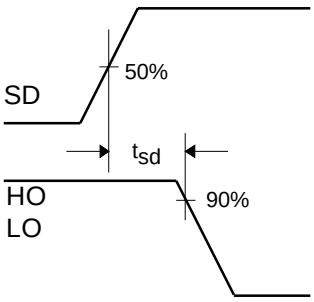


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

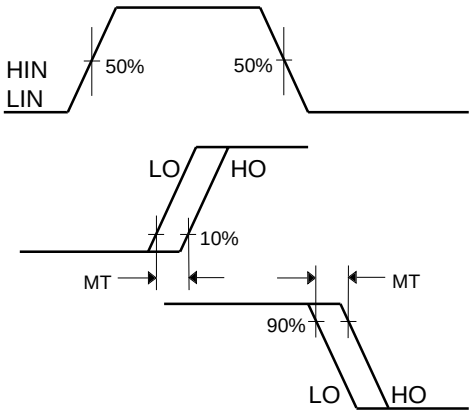


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

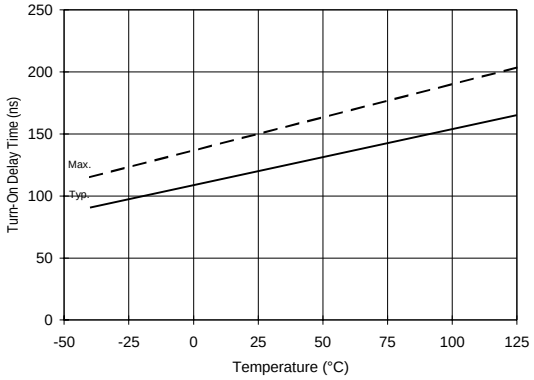


Figure 7A. Turn-On Time vs. Temperature

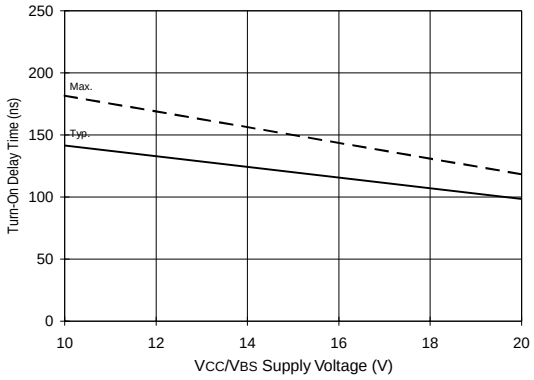


Figure 7B. Turn-On Time vs. VCC/VBS Supply Voltage

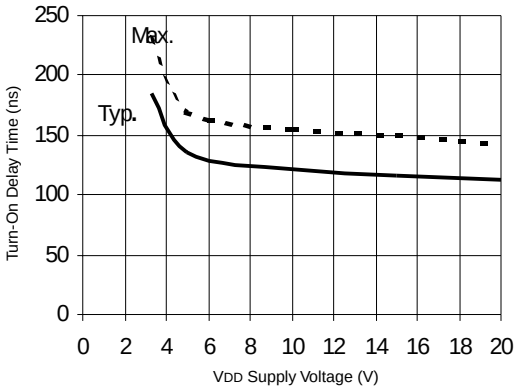


Figure 7C. Turn-On Time vs. VDD Supply Voltage

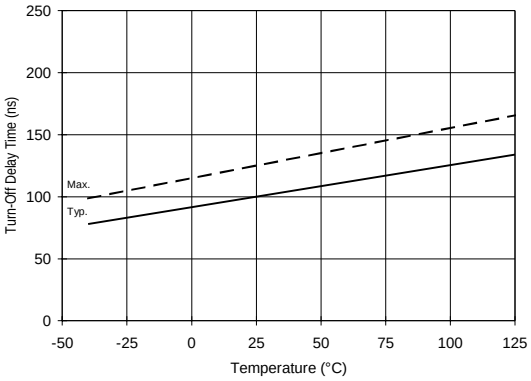


Figure 8A. Turn-Off Time vs. Temperature

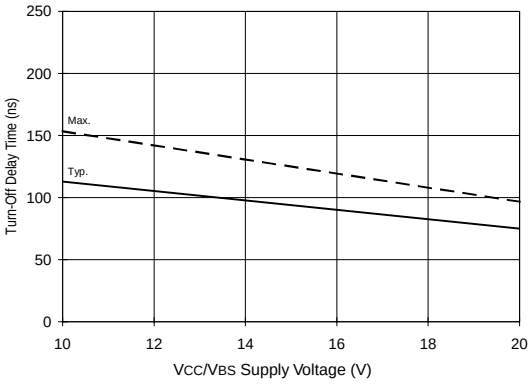


Figure 8B. Turn-Off Time vs. VCC/VBS Supply Voltage

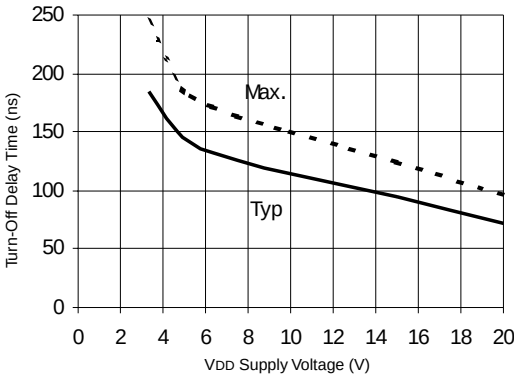


Figure 8C. Turn-Off Time vs. VDD Supply Voltage

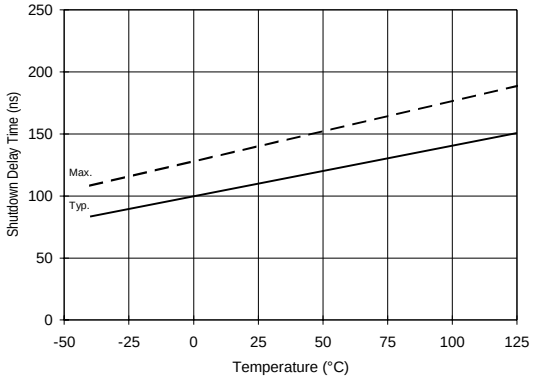


Figure 9A. Shutdown Time vs. Temperature

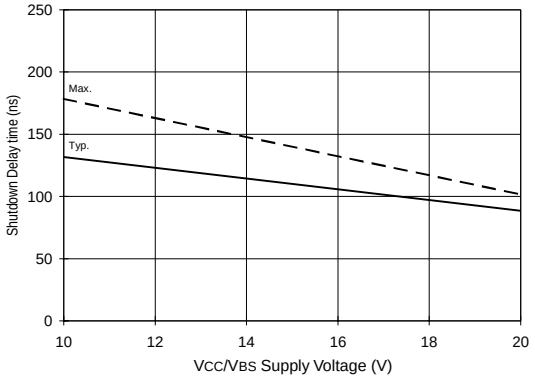


Figure 9B. Shutdown Time vs. VCC/VBS Supply Voltage

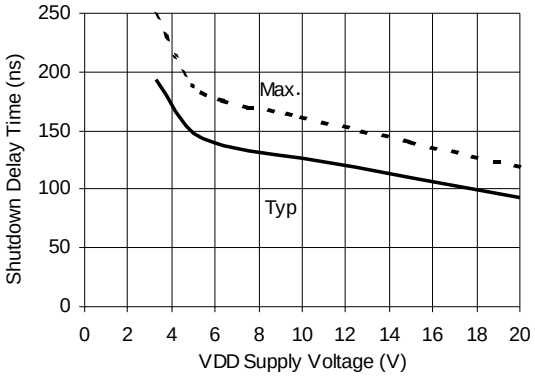


Figure 9C. Shutdown Time vs. VDD Supply Voltage

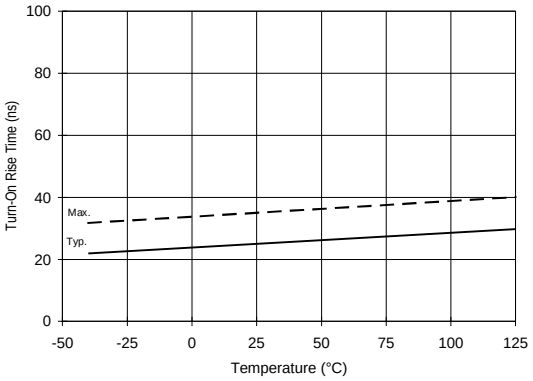


Figure 10A. Turn-On Rise Time vs. Temperature

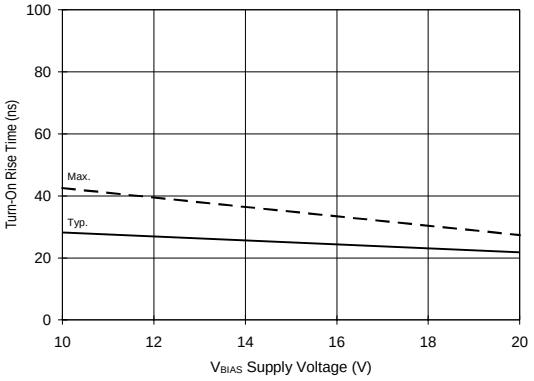


Figure 10B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

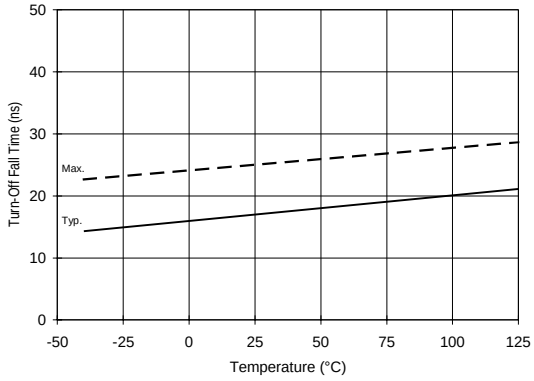


Figure 11A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature

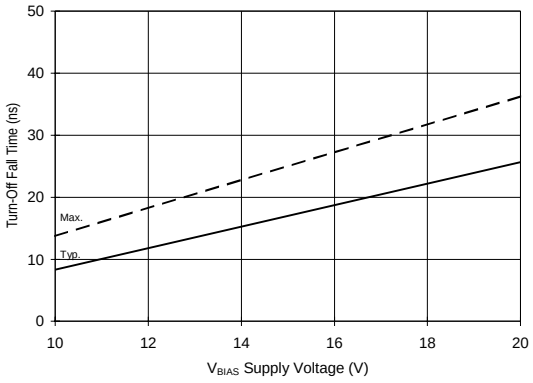


Figure 11B. Turn-Off Fall Time vs. Voltage

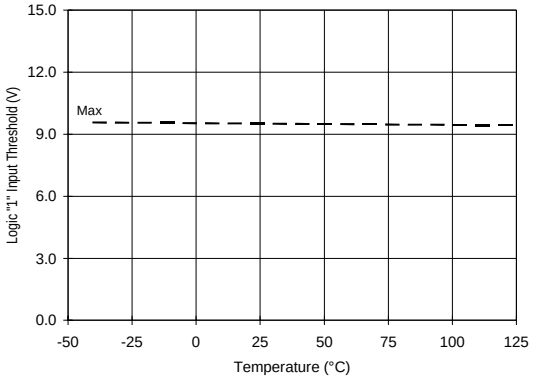


Figure 12A. Logic "1" Input Threshold vs. Temperature

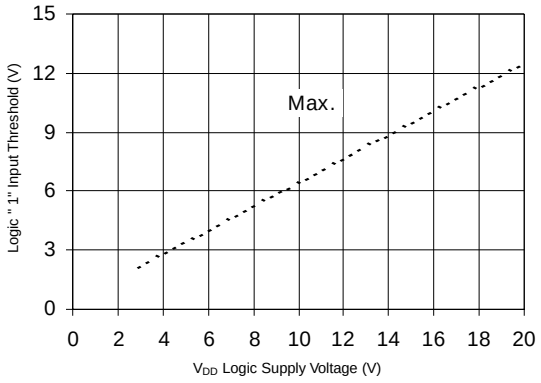


Figure 12B. Logic "1" Input Threshold vs. Voltage

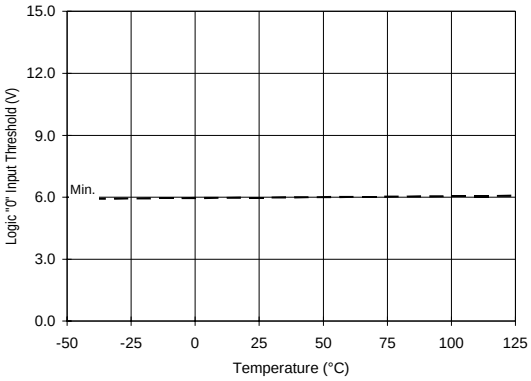


Figure 13A. Logic "0" Input Threshold vs. Temperature

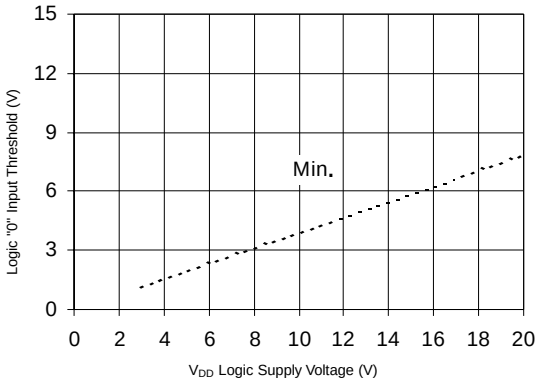


Figure 13B. Logic "0" Input Threshold vs. Voltage

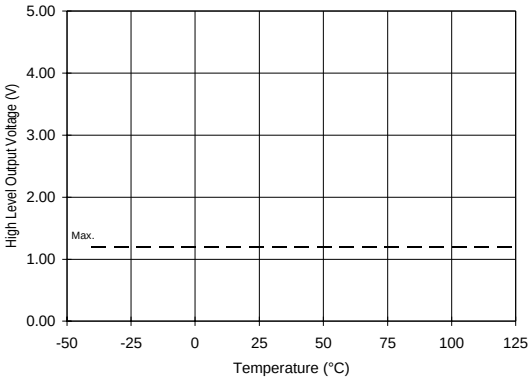


Figure 14A. High Level Output vs. Temperature

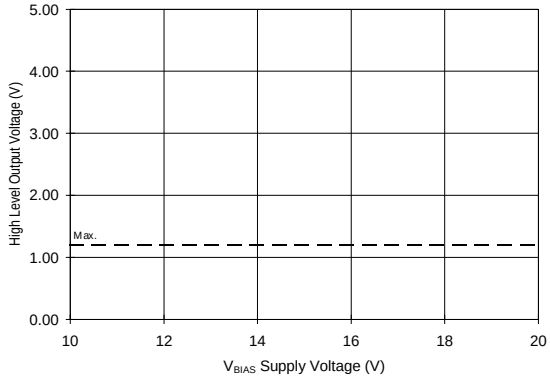


Figure 14B. High Level Output vs. Voltage

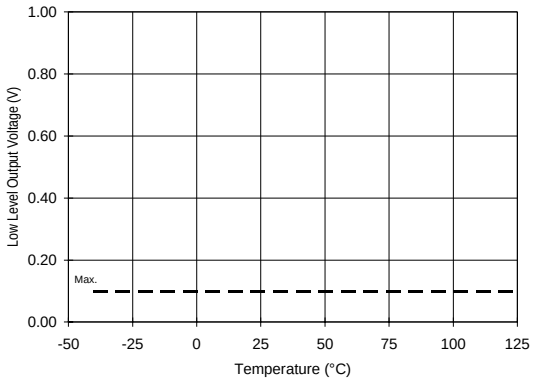


Figure 15A. Low Level Output vs. Temperature

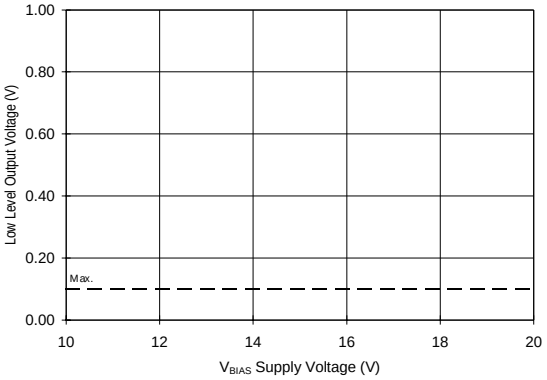


Figure 15B. Low Level Output vs. Voltage

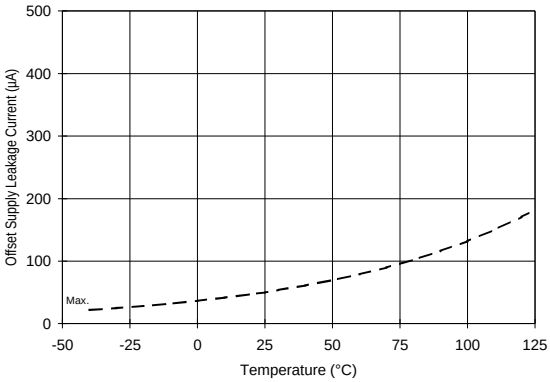


Figure 16A. Offset Supply Current vs. Temperature

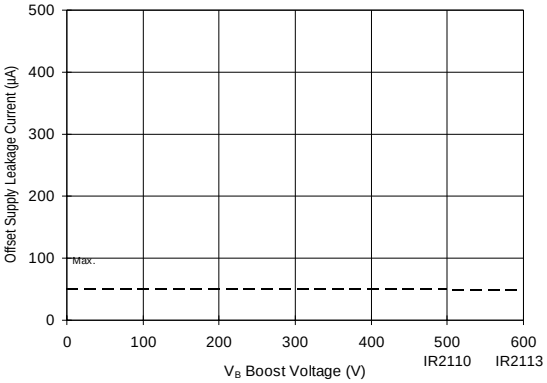


Figure 16B. Offset Supply Current vs. Voltage

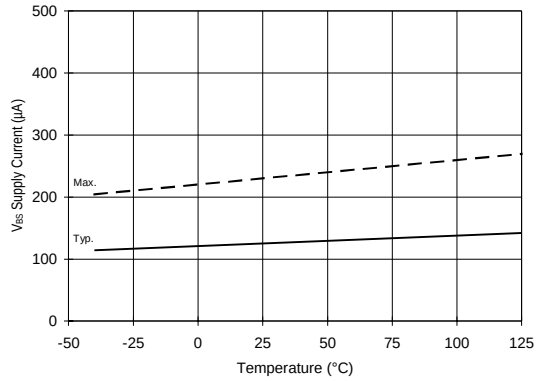


Figure 17A. V_{BS} Supply Current vs. Temperature

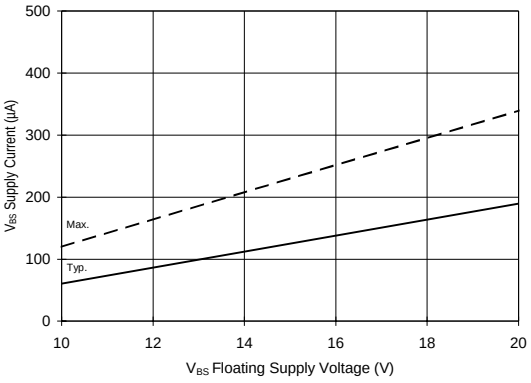


Figure 17B. V_{BS} Supply Current vs. Voltage

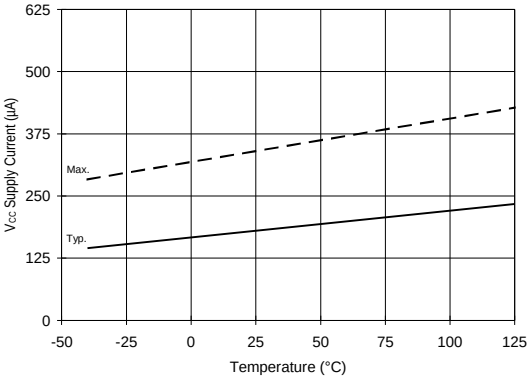


Figure 18A. V_{CC} Supply Current vs. Temperature

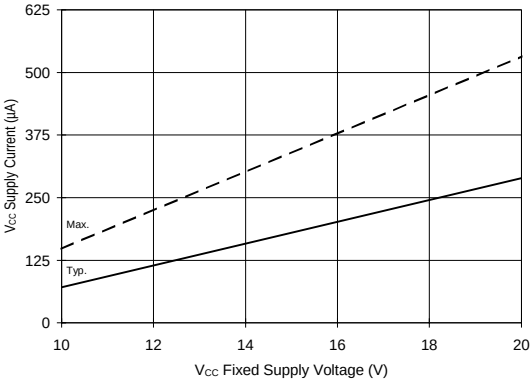


Figure 18B. V_{CC} Supply Current vs. Voltage

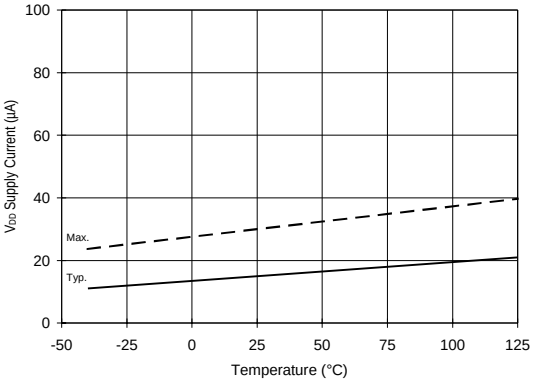


Figure 19A. V_{DD} Supply Current vs. Temperature

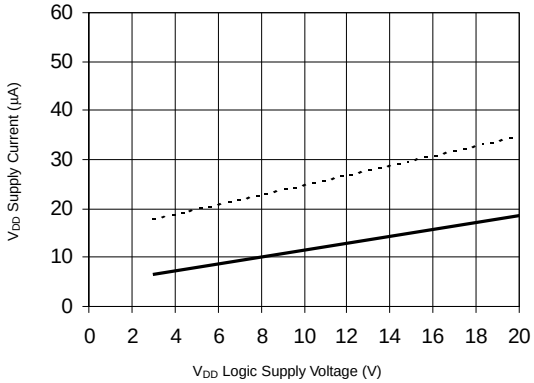


Figure 19B. V_{DD} Supply Current vs. V_{DD} Voltage

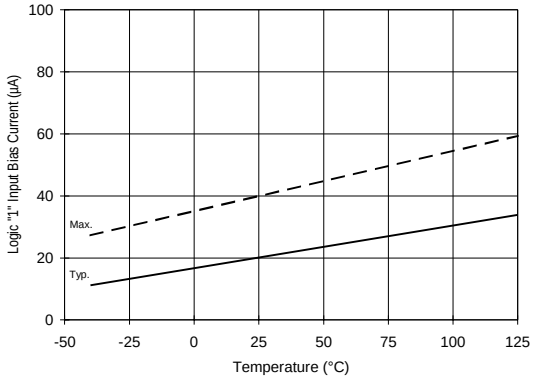


Figure 20A. Logic "1" Input Current vs. Temperature

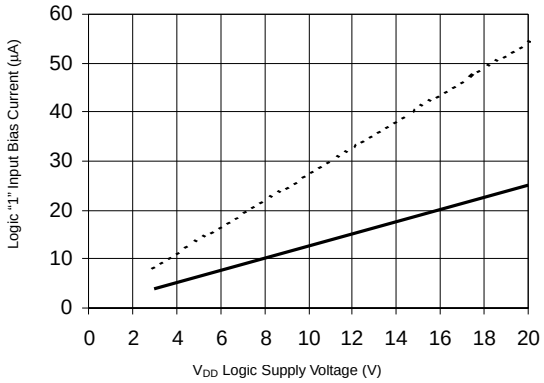


Figure 20B. Logic "1" Input Current vs. V_{DD} Voltage

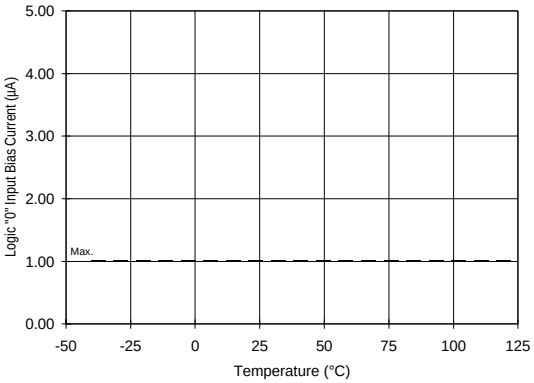


Figure 21A. Logic "0" Input Current vs. Temperature

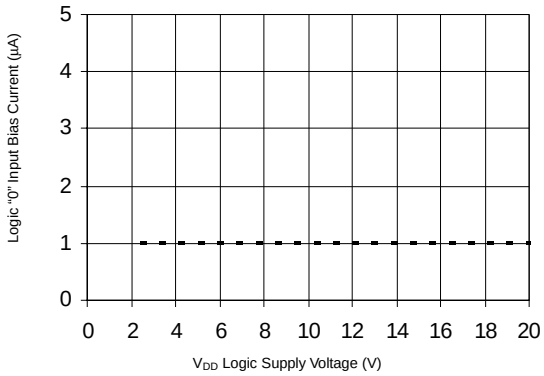


Figure 21B. Logic "0" Input Current vs. V_{DD} Voltage

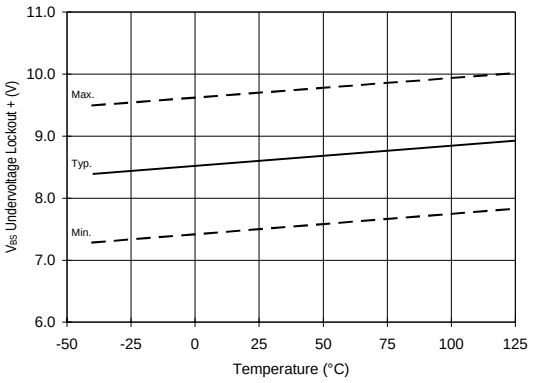


Figure 22. V_{BS} Undervoltage (+) vs. Temperature

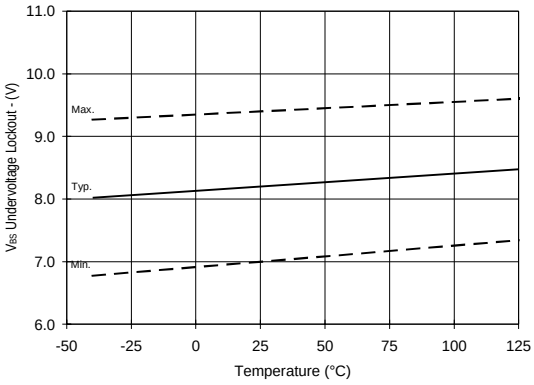


Figure 23. V_{BS} Undervoltage (-) vs. Temperature

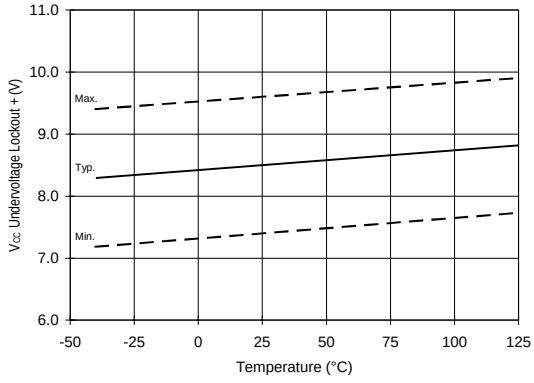


Figure 24. V_{CC} Undervoltage (+) vs. Temperature

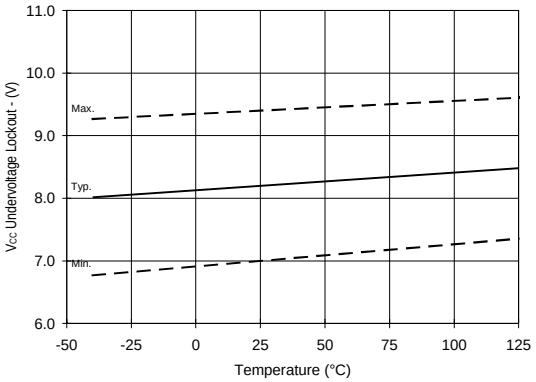


Figure 25. V_{CC} Undervoltage (-) vs. Temperature

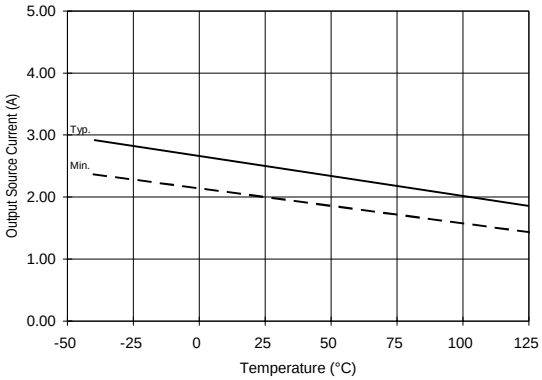


Figure 26A. Output Source Current vs. Temperature

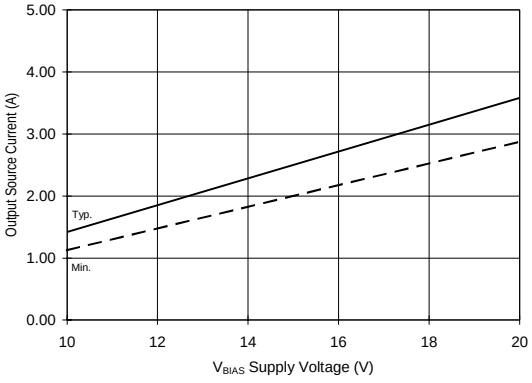


Figure 26B. Output Source Current vs. Voltage

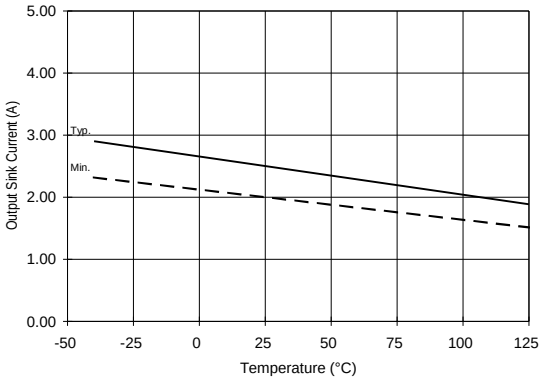


Figure 27A. Output Sink Current vs. Temperature

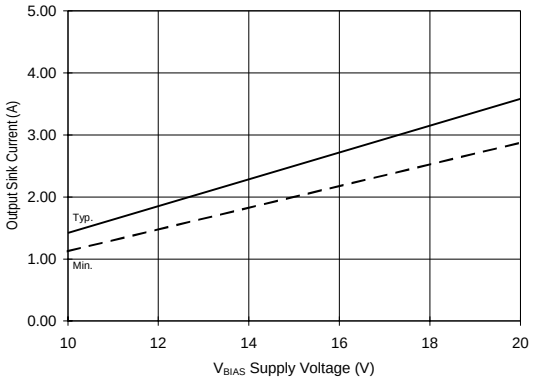


Figure 27B. Output Sink Current vs. Voltage

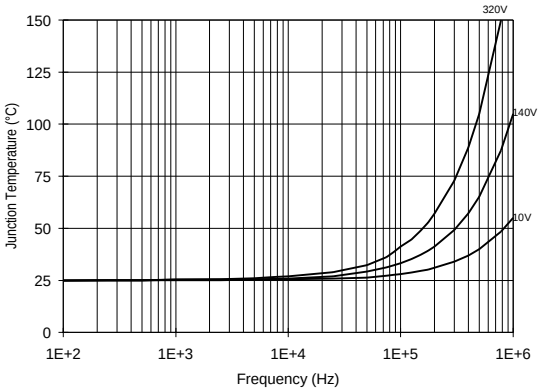


Figure 28. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC20) R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

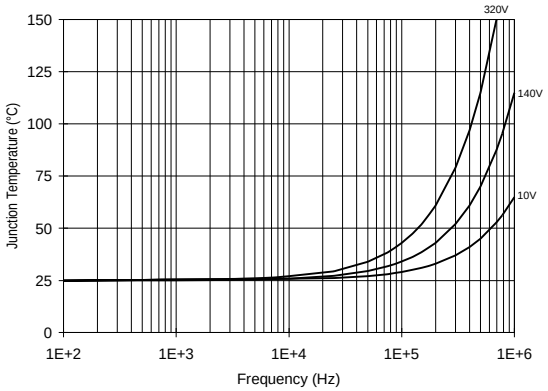


Figure 29. IR2110/IT2113 T_J vs. Frequency (IRFBC30) R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

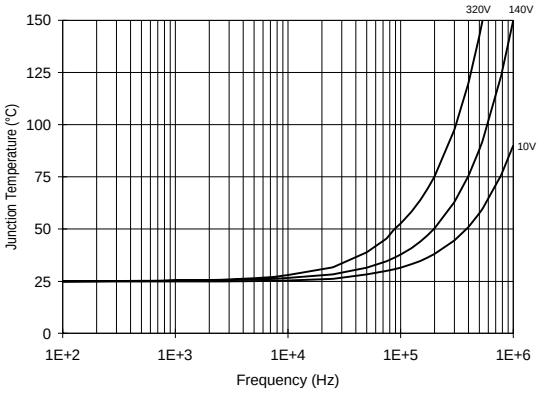


Figure 30. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC40) R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

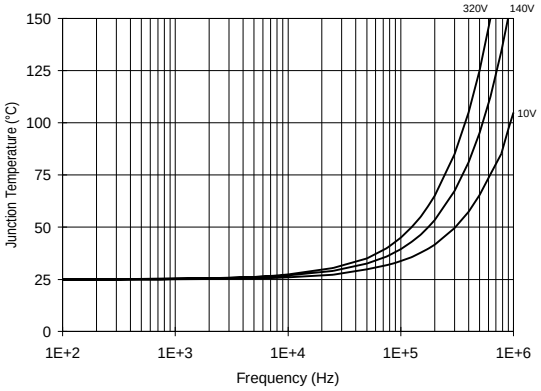


Figure 31. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFPE50) R_{GATE} = 10Ω, V_{CC} = 15V

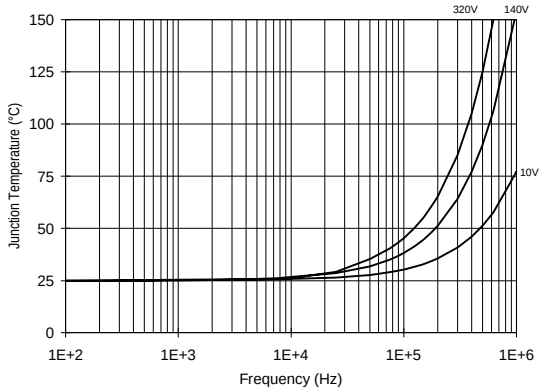


Figure 32. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC20) R_{GATE} = 33Ω, V_{CC} = 15V

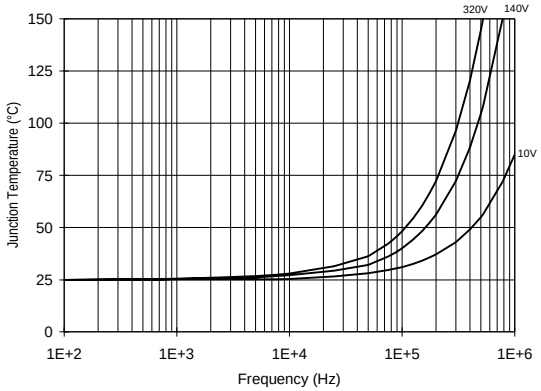


Figure 33. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC30) R_{GATE} = 22Ω, V_{CC} = 15V

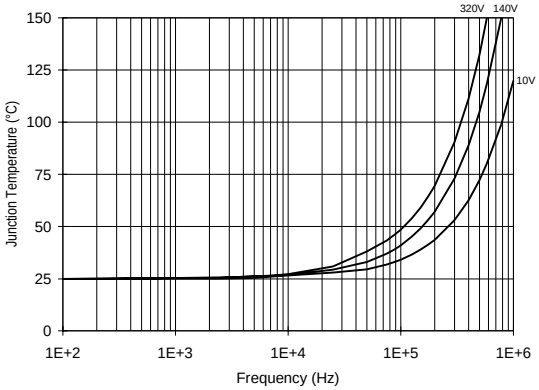


Figure 34. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC40) R_{GATE} = 15Ω, V_{CC} = 15V

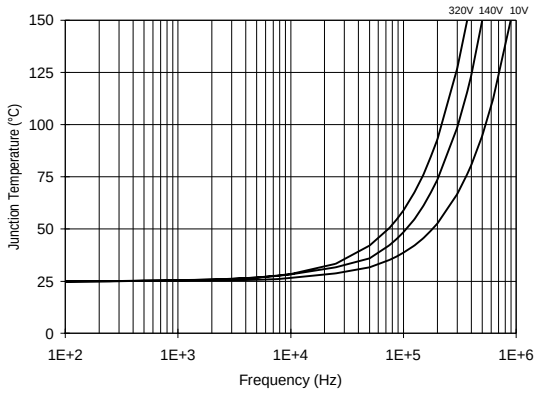


Figure 35. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFPE50) R_{GATE} = 10Ω, V_{CC} = 15V

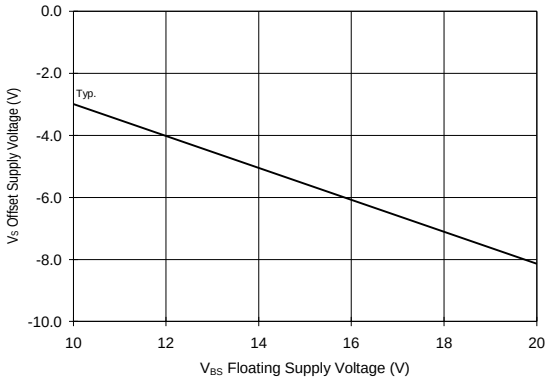


Figure 36. Maximum V_S Negative Offset vs. V_{BS} Supply Voltage

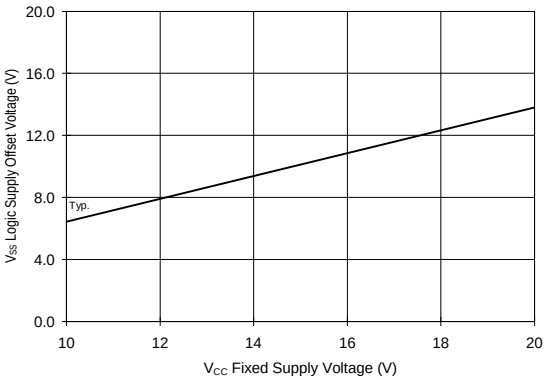
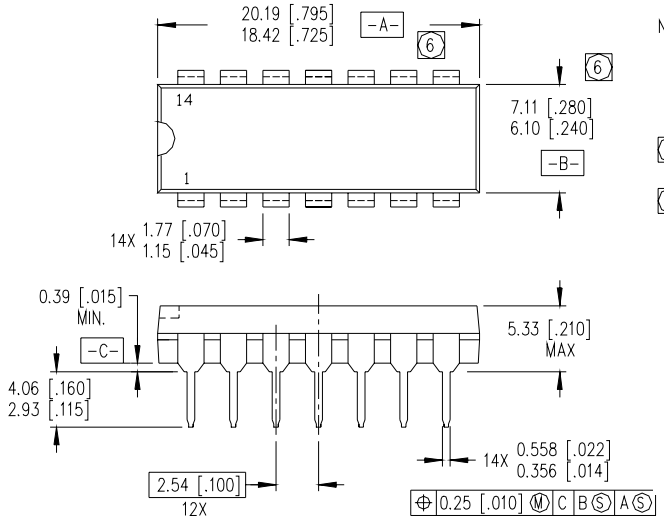
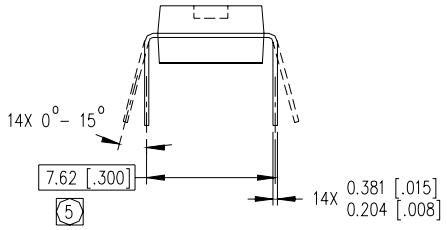


Figure 37. Maximum V_{SS} Positive Offset vs. V_{CC} Supply Voltage

Case Outlines

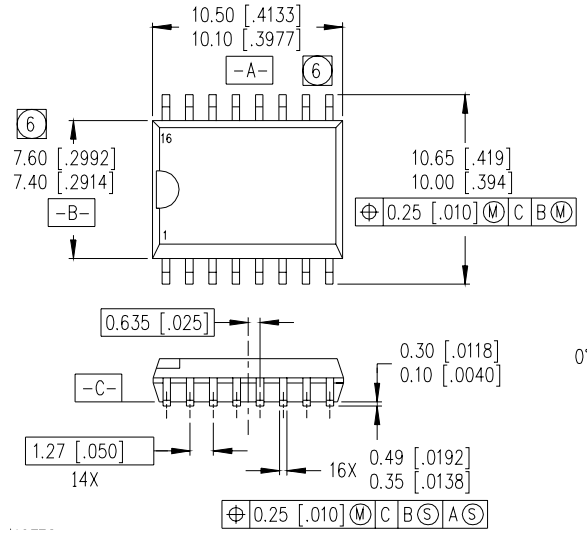


NOTES:
1. DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M–1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES].
4. OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE MS–001AC.
5. MEASURED WITH THE LEADS CONSTRAINED TO BE PERPENDICULAR TO DATUM PLANE C.
6. DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD PROTUSIONS. MOLD PROTUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.25 [.010].

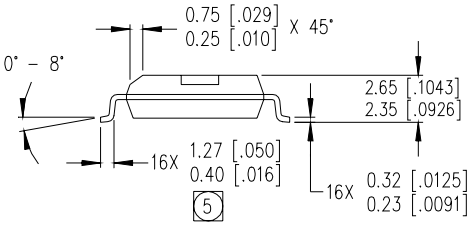


14-Lead PDIP

01-6010
01-3002 03 (MS-001AC)



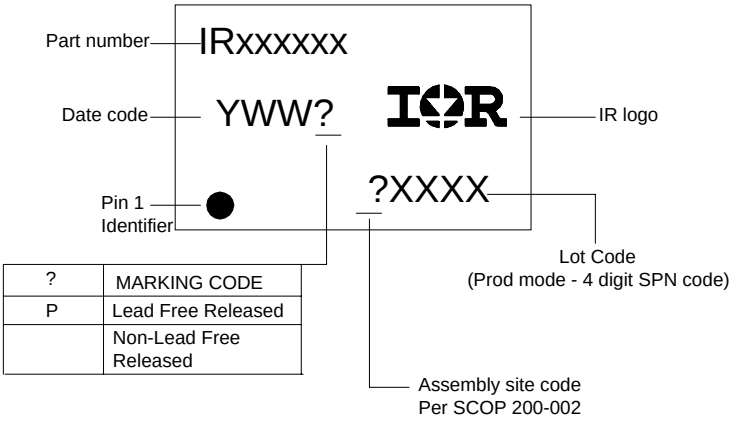
NOTES:
1. DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M–1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES].
4. OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE MS–013AA.
5. DIMENSION IS THE LENGTH OF LEAD FOR SOLDERING TO A SUBSTRATE.
6. DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD PROTUSIONS. MOLD PROTUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.15 [.006].



16-Lead SOIC (wide body)

01 6015
01-3014 03 (MS-013AA)

LEADFREE PART MARKING INFORMATION



?	MARKING CODE
P	Lead Free Released
	Non-Lead Free Released

ORDER INFORMATION

Basic Part (Non-Lead Free)
14-Lead IR2110 order IR2110
14-Lead IR2113 order IR2113
16-Lead IR2110S order IR2110S
16-Lead IR2113S order IR2113S

Leadfree Part
14-Lead IR2110 order IR2110PbF
14-Lead IR2113 order IR2113PbF
16-Lead IR2110S order IR2110SPbF
16-Lead IR2113S order IR2113SPbF

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245 Tel: (310) 252-7105
Data and specifications subject to change without notice. 3/23/2004

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian pada tugas akhir yang merancangan bangun konverter DC to AC berbasis SPWM maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis sinyal keluaran yang diperoleh dari alat berupa *pure sine wave* atau sinyal sinus sempurna. Terdapat pada **Gambar 4.11.**
2. Dalam pengujian beban menggunakan resistor dengan nilai 5 ohm sampai 15 ohm diperoleh hasil seperti pada **Tabel 4.1** dimana tegangan *input* sebesar 12 Volt dan tegangan *output* terbesar terdapat pada pengujian beban resistor 15 ohm sebesar 12.6 Volt.
3. Pengujian beban induktif dengan tegangan *input* sebesar 12 Volt dan *load* berupa *fan* (kipas angin) bertegangan 110 VAC dan 220 VAC. Didapati hasil bahwa tegangan *out* sebesar 130 VAC sehingga kipas angin dengan 110 VAC bisa berjalan dengan lancar dengan keluaran arus sebesar 1.3 amphere.

5.2 Saran

Penilitian ini masih jauh dari sempurna, masih membutuh-kan pengembangan - pengembangan kedepan agar mendapatkan hasil yang lebih baik. Saran untuk pengembangan penelitian ini sebagai berikut:

1. *Board* PCB yang digunakan pada alat masih ada kendala sebagian karena kurang ketelitian dalam mendesain PCB pada *software* Altium.
2. Kotak atau *packing* alat masih belum terlihat baik jika ingin alat bisa disebarluaskan atau mungkin untuk dipasarkan.
3. Dibutuhkan regulator terhadap *driver* IR 2110 agar

tidak terjadi drop nya tegangan atau bahkan terbakar pada saat melakukan uji coba alat.

4. Dianjurkan menggunakan teknik kontrol menggunakan *soft start* terlebih dahulu, hal ini bertujuan untuk menghindari lonjakan tegangan secara berlebihan. Sehingga dengan menggunakan teknik *soft start* kapasitor bisa mengisi tegangan kemudia alat bisa berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Inverter "Materi Elektronika Daya", http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Materi%20Elektronika %20Daya%20(Inverter)_0.pdf, Yogyakarta, 2010.
2. Gunawan, Rancang Bangun Buck Konverter Dengan PID Diskrit, http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20248981-R030958.pdf, Depok, 2009.
3. Raharjo, Dkk. Mengenal Komponen-komponen Elektronika, http://www.smknperkapalan.net/pustakamaya/pro duktif/pt/modul/Mengenal%20Komponen%20Komponen%20 Elektronika.pdf, Departemen Pendidikan Nasional, 2005.
4. Hadi, Solihul. "Mengenal Mikrokontroller Atmega 16", http://ilmukomputer.org/wpcontent/uploads/2008/08/sholihul- atmega16.pdf, Jombang, 2008.
5. *Creating and Modifying a Project With Altium*, http://mil.ufl.edu/4924/docs/Altium%20Tutorial%20August% 202013.pdf, Florida, 2013.
6. Baskara, Zana. Modul Proteus 8, https://www.scribd.com/doc/281125429/MODUL-PROTEUS-8-PROFESSIONAL-DAN-ELEKTRONIKA-DASAR-pdf, Yogyakarta, 2015.
7. Ali Muhammad, Dkk. Modul Pelatihan CV AVR, http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pengabdian/muhamma_d-ali-st-mt/modul-pelatihan-praktikum-mikrokontroler-dengan-software-proteus.pdf, Yohyakarta, 2013.

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 19 September 1995, erupakan anak ke dua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh jenjang studi mulai dari TK Harapan Bunda Palembang, SDN 114 Palembang, SMP Negeri 53 Palembang, SMA Negeri 18 Palembang, dan menempuh kuliah Ahli Madya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan program studi D3 Metrologi & Instrumentasi Surabaya. Semasa kuliah, penulis aktif dalam organisasi dengan mengikuti Staff Jaringan dan Rumah Tangga di JMMI (Jamaah Mesjid Manarul Ilmi) ITS dan LDJ (Lembaga Dakwah Jurusan) Fusi Ulul Albab di tahun 2014. Selain itu, penulis juga aktif dalam UKM Badminton ITS sebagai atlet dan pengurus. Penulis juga menghabiskan waktu kuliah dengan bergabung tim MOLINA ITS selama lebih dari satu tahun dalam riset *charging station*. Penulis berharap laporan tugas akhir dengan judul Rancang Bangun Konverter DC to AC Berbasis SPWM yang telah dibuat sekiranya dapat bermanfaat bagi para pembacanya. Jika ada kritik, saran, dan masukan bisa langsung mengirim menghubungi ke mffakhrezy@gmail.com.