TUGAS AKHIR – TE 145561

PEMBUATAN KONTROL ARUS EKSITASI PADA MODUL *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR* DENGAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

Syahrul Ilham Permana
NRP 2213039016
Roikhana Farista Dewira
NRP 2213039028

Dosen Pembimbing 1
Suwito, ST., MT.

Dosen Pembimbing 2
Onie Meiyanto, S.Pd.

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

FINAL PROJECT – TE 145561

CONTROLLING EXCITATION CURRENT IN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR MODULE USING MICROCONTROLLER

Syahrul Ilham Permana
NRP 2213039016
Roikhana Farista Dewira
NRP 2213039028

Advisor 1
Suwito, ST., MT.

Advisor 2
Onie Meiyanto, S.Pd.

ELECTRICAL ENGINEERING D3 STUDY PROGRAM
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Pembuatan Kontrol Atus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan Menggunakan Mikrokontroler**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2016

Syahrul Ilham P.
NRP 2213039016

Roikhana Farista D.
NRP 2213039028

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PEMBUATAN KONTROL ARUS EKSITASI PADA MODUL *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR* DENGAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
Pada
Bidang Studi Elektro Industri
Program Studi D3 Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
Suwito, ST., MT.	Onie Meiyanto, S.Pd.
NIP. 19810105 200501 1 004	NIP.19850501 201101 1 008

SURABAYA
JUNI, 2016

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PEMBUATAN KONTROL ARUS EKSITASI PADA MODUL *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR* DENGAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

Nama 1 : Syahrul Ilham Permana
Nama 2 : Roikhana Farista Dewira
Pembimbing 1 : Suwito, ST., MT.
Pembimbng 2 : Onie Meiyanto, S.Pd.

ABSTRAK

Modul *Automatic Voltage Regulator* adalah sebuah modul pendukung pembelajaran mesin listrik yang digunakan untuk menstabilkan tegangan keluaran dari modul generator yang ada pada Laboratorium Konversi Energi di S1 Teknik Elektro. Modul *Automatic Voltage Regulator* memanfaatkan pedoman bahwa generator harus diberi arus eksitasi untuk menghasilkan tegangan. Modul ini memberikan arus eksitasi tambahan secara otomatis saat tegangan keluaran dari generator tidak sebesar 220 volt. Arus eksitasi pada modul ini dihasilkan melalui *boost converter*, dimana *boost converter* bertindak menambah arus eksitasi jika *voltage divider* menunjukan indikasi kekurangan tegangan keluaran pada generator melalui mikrokontroler. Hasil dari modul ini adalah dapat mengeluarkan tegangan keluaran dari generator sebesar 220 volt tanpa harus memberi masukan arus eksitasi secara manual sehingga mempermudah para praktikkan untuk melaksanakan praktikum.

Kata Kunci: Modul *Automatic Voltage Regulator*, *Boost Converter*, Arus Eksitasi.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

CONTROLLING EXCITATION CURRENT IN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR MODULE USING MICROCONTROLLER

Name 1 : Syahrul Ilham Permana
Name 2 : Roikhana Farista Dewira
Advisor 1 : Suwito, ST., MT.
Advisor 2 : Onie Meiyanto, S.Pd.

ABSTRACT

Automatic Voltage Regulator Module is a learning modul used to stabilisized output voltage from generator in Laboratorium Konveri Energi, S1 Teknik Elektro. Automatic Voltage Regulator module using a basic rule that generator must be have an excitation current to create voltage. This module give an extra excitation current in automatically if output voltage on generator is much as 220 volt. Excitation current on this module created by boost converter, which the boost converter can create an extra excitation current if sensing voltage have an indication that the voltage is less than 220 volt on output of generator using microcontroller. The result of this module is able to create a constant voltage on output of generator without create an excitation current manuallyso make an easier way to used in.

Keywords**:** *Module Automatic Voltage Regulator, Boost Converter, Excitation Current.*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Diploma-3 pada Bidang Studi Elektro Industri, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industrim, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

PEMBUATAN KONTROL ARUS EKSITASI PADA MODUL *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR* DENGAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

Dalam Tugas Akhir ini dirancang modul *Automatic Voltage Regulator* memanfaatkan *Regulated Power System* yang hasilnya akan di proses melalui mikrokontroler, lalu hasil dari proses tersebut akan di representasikan oleh *Boost Converter DC-DC* sehingga mencapai tegangan yang konstan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu dan Bapak penulis yang memberikan berbagai bentuk doa serta dukungan tulus tiada henti, Bapak Suwito, ST., MT., Bapak Heri Suryoatmojo, Ph.D. dan Bapak Onie Meiyanto, S.Pd.. Atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, **(Juni 2016)**

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN JUDUL i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR v
ABSTRAK ix
ABSTRACT xi
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 1
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Metodologi Penelitian 2
1.6 Sistematika Laporan 2
1.7 Relevansi 3

BAB II TEORI DASAR 5
2.1 Generator Sinkron 5
2.2 *Automatic Voltage Regulator* 6
2.3 Mikrokontroler ATmega16 7
2.4 *Boost Converter* 10
2.5 *Voltage Divider* 11
2.6 Sensor Arus ACS 712 12

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT 13
3.1 Blok Fungsional Sistem 13
3.2 Perancangan Elektronik 15
3.2.1 Perancangan Mikrokontroler 15
3.2.2 Perancangan Boost Converter 17
3.2.3 Perancangan *Driver Boost Converter* 22
3.2.4 Perancangan *Voltage Divider* 23

3.2.5 Perancangan Sensor Arus 24
3.2.6 Perancangan Beban 26
3.3 Perancangan *Box Control* 27
3.4 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*) 28
3.4.1 Program Pembangkitan PWM pada Mikrokontroler 28
3.4.2 Program *Voltage Divider* 30
3.4.3 Program Sensor Arus 31
3.4.4 Program Keseluruhan 32

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT 35
4.1 Pengujian Modul Generator 35
4.2 Pengujian *Boost Converter* 39
4.3 Pengujian *Voltage Divider* 42
4.4 Pengujian Sensor Arus 47
4.5 Pengujian Keseluruhan 49

BAB V PENUTUP 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran... 53

DAFTAR PUSTAKA 55

LAMPIRAN A 57

LAMPIRAN B 61

LAMPIRAN C 65

RIWAYAT HIDUP 103

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2. 1 Gambar Konstruksi Generator Sinkron 5
Gambar 2. 2 Gambar Mikrokontroler ATmega 16.....8
Gambar 2. 3 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega16 9
Gambar 2. 4 Aristektur CPU ATmega16 9
Gambar 2. 5 Prinsip *Boost Converter* 10
Gambar 2. 6 Rangkaian Dasar *Voltage Divider* 11

Gambar 3. 1 Blok Fungsional Modul *Automatic Voltage Regulator* 14
Gambar 3. 2 Gambar Pengaplikasian *Automatic Voltage Regulator* 14
Gambar 3. 3 Skematik Mikrokontroler 17
Gambar 3. 4 *Software Inductor Winding* 21
Gambar 3. 5 Spesifikasi Inti Toroid.....21
Gambar 3. 6 Rangkaian *Boost Converter*.....22
Gambar 3. 7 Konfigurasi PIN TLP 250 22
Gambar 3. 8 Rangkaian Driver *Boost Converter* 23
Gambar 3. 9 Gambar Rangkaian Pembagi Tegangan 24
Gambar 3. 10 Gambar Sensor Arus ACS 712 5A 24
Gambar 3. 11 Gambar Spesifikasi Sensor Arus ACS712-5A 25
Gambar 3. 12 Gambar Beban di Laboratorium Konversi Energi.....26
Gambar 3. 13 Gambar Konstruksi Beban 26
Gambar 3. 14 Gambar Desain *Box Control* 27
Gambar 3. 15 *Flowchart* Pembangkitan PWM 29
Gambar 3. 16 Gambar Program Pembangkit PWM pada Mikrokontroler.....29
Gambar 3. 17 Gambar *Flowchart Voltage Divider* 30
Gambar 3. 18 Program *Voltage Divider* pada Mikrokontroler.....31
Gambar 3. 19 *Flowchart* Sensor Arus ACS712 31
Gambar 3. 20 Program Sensor Arus.....32
Gambar 3. 21 *Flowchart* Keseluruhan Sistem pada Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler. 33
Gambar 3. 22 Gambar Program Keseluruhan 34

Gambar 4 1 Gambar Pengujian Modul Generator.....35

Gambar 4 2 Grafik Pengujian Modul Generator Tanpa Beban 36
Gambar 4 3 Grafik Pengujian Modul Generator Beban Resistif 37
Gambar 4 4 Grafik Pengujian Modul Generator Beban Induktif 38
Gambar 4 5 Grafik Pengujian Modul Generator Berbeban Kapasitif 38
Gambar 4 6 Pengujian *Boost Converter* dengan Beban 65Ω 39
Gambar 4 7 Grafik Perbandingan Tegangan *Output* dengan *Duty Cycle* 40
Gambar 4 8 Rangkaian Pengujian Tegangan dan Arus *Output Boost Converter* 41
Gambar 4 9 Grafik Perbandingan Tegangan *Output* Sebenarnya dan Tegangan *Output* Perhitungan dengan *Duty Cycle* 42
Gambar 4 10 Rangkaian Penguji *Voltage Divider* 42
Gambar 4 11 Grafik Perbandingan Tegangan *Input* dan Tegangan *Output* pada *Voltage Divider* 44
Gambar 4 12 Pengujian *Voltage Divider* Menggunakan Mikrokontroler 44
Gambar 4 13 Rangkaian Pengujian *Voltage Divider* 45
Gambar 4 14 Grafik Perbandingan Tegangan *Input* dengan Resolusi ADC 47
Gambar 4 15 Rangkaian Pengujian Sensor 48
Gambar 4 16 Grafik Pengukuran Sensor Arus 49
Gambar 4 17 Gambar Pengujian Secara Keseluruhan 50
Gambar 4 18 Grafik Perbandingan Tegangan Sistem dengan Tegangan Ouptut Seharusnya 52

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 3 1 Konfigurasi *Port* ATmega16.....16
Tabel 3 2 Tabel Parameter Perhitungan *Boost Converter* 18

Tabel 4 1 Tabel Karakteristik Modul Generator 36
Tabel 4 2 Tabel Pengujian Modul Generator Tanpa Beban 36
Tabel 4 3 Tabel Pengujian Generator Modul Berbeban Resistif.....37
Tabel 4 4 Tabel Pengujian Modul Generator Berbeban Induktif 37
Tabel 4 5 Tabel Pengujian Modul Generator Berbeban Kapasitif 38
Tabel 4 6 Tabel Pengujian *Duty Cycle* Terhadap Tegangan 39
Tabel 4 7 Tabel Pengujian Arus *Output* dan Tegangan *Output Boost Converter* 41
Tabel 4 8 Tabel Pengujian *Voltage Divider* 43
Tabel 4 9 Tabel Pengujian *Voltage Divider* Menggunakan Mikrokontroler.....45
Tabel 4 10 Hasil Pengukuran Sensor Arus.....48
Tabel 4 11 Tabel Pengujian Sistem *Open Loop* 50
Tabel 4 12 Tabel Pengujian Sistem Closed Loop 51

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium Konversi Energi di S1 Teknik Elektro memiliki modul berupa generator yang digerakkan melalui motor 1 fasa, *output* generator tersebut berubah-ubah bergantung pada beban yang diberikan. Generator tanpa beban belum menunjukkan tegangan keluaran sebesar 220 volt dengan ketentuan menjaga kecepatan motor sebesar 1500 rpm. Kejadian tersebut memaksa pengguna untuk menambahkan arus eksitasi pada generator secara manual agar dapat menghasilkan tegangan 220 volt.

Alat yang dapat menjaga kestabilan tegangan seperti tujuan dari paparan di atas adalah *Automatic Voltage Regulator [1]*. *Automatic Voltage Regulator* atau yang biasa disebut dengan AVR ini merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran dari generator. Beragam cara memanfaatkan *Automatic Voltage Regulator* ini, mulai dari menggunakan *boost converter*, menggunakan PID[2], dan lain-lain. *Automatic Voltage Regulator* sendiri memanfaatkan arus eksitasi untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran dari generator. Dimana jika tegangan keluaran belum konstan, maka *Automatic Voltage Regulator* tugasnya memberi masukan arus eksitasi sampai hasilnya sesuai dengan tegangan keluaran yang dibutuhkan.

Alat tersebut belum ada di dalam Laboratorium Konversi Energi di S1 Teknik Elektro sehingga menyulitkan para praktikkan saat melakukan praktikum, dimana para praktikan tidak dapat mempelajari bagaimana cara kerja eksitasi pada generator dengan jelas. Oleh karena itu, modul *Automatic Voltage Regulator* yang memanfaatkan *boost converter* untuk menaikkan tegangan dan arus sebagai arus eksitasi pada generator. Modul ini berguna untuk modul pembantu pembelajaran tanpa mempersulit para praktikkan yang ingin menggunakan.

1.2 Permasalahan

Pada Tugas Akhir ini yang menjadi permasalahan utama adalah tegangan *output* generator pada Laboratorium Konversi Energi tidak dapat mengashilkan tegangan keluaran sebesar 220 volt sebelum diberi arus eksitasi secara manual, pengguna modul tidak dapat mengetahui berapa masukan arus eksitasi tambahan yang diberikan saat melakukan

praktikum dengan ketentuan pada generator yang tidak boleh melebihi 0,9Ampere arus eksitasi.

1.3 Batasan Masalah

Modul ini hanya bisa digunakan pada beban resistif sebesar 300 watt, *prime over* harus *adjustable* sehingga kecepatan pada motor di atur konstan 1500 rpm. Sistem *closed loop* memakai sistem penguatan (*gain*). Hasil dari sistem kami yang terbaca di LCD akan bersifat fluktuatif akibat naik dan turunnya tegangan AC.

1.4 Tujuan

Modul *Automatic Voltage Regulator* bertujuan untuk memberikan arus eksitasi pada modul generator yang diharapkan keluaran tegangan generator dapat konstan. Memanfaatkan *voltage divider* dan *boost converter* yang memanfaatkan arus keluaran dari *boost converter* untuk memberikan eksitasi.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologi, yaitu, studi literatur, pemodelan sistem, perancangan algoritma kontrol, simulasi hasil desain, implementasi dan analisis data, dan yang terakhir adalah penyusunan laporan berupa buku Tugas Akhir.

Pada tahap studi literatur dipelajari mengenai identifikasi fisik mengenai *Automatic Voltage Regulator*, mengenai permasalahan-permasalahan mengenai *Automatic Voltage Regulator*, begitu juga bagaimana cara kerja dari *Automatic Voltage Regulator*. Melakukan studi dan perencanaan mengenai yang berkaitan dengan modul tersebut mulai dari *boost converter*, *voltage divider*, sensor arus.

1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I **Pendahuluan**

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

Bab II **Teori Dasar**

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka, konsep dari *Automatic Voltage Regulator*, mengenai *boost converter*, *voltage divider*, mengenai pembelajaran tentang mikrokontroler Atmega16, dan mengenai generator sinkron.

Bab III **Perancangan Sistem**

Bab ini membahas desain dan perancangan modul *Automatic Voltage Regulator* menggunakan *boost converter* berdasarkan teori dasar pada Bab II.

Bab IV **Simulasi, Implementasi dan Analisis Sistem**

Bab ini memuat hasil simulasi dan implementasi serta analisis dari hasil tersebut.

Bab V **Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

1.7 Relevansi

Manfaat yang didapat dalam pengerjaan tugas akhir ini bagi kami sendiri adalah mengasah kemampuan kami dalam bidang elektro. Dengan membuat modul *Automatic Voltage Regulator* menggunakan mikrokontroler ini, kami dapat mengimplementasikan berbagai ilmu yang kami dapat semasa kuliah. Beberapa diantaranya adalah pengolahan data menggunakan mikrokontroler, dan komunikasi data. Selain itu, sistem yang kami buat ini diharapkan dapat bekerja sebagai sarana untuk kegiatan praktikum di Laboratorium Konversi Energi.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB II
TEORI DASAR

2.1 Generator Sinkron

Generator arus bolak-balik (AC) atau disebut dengan alternator adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik (elektrik) dengan perantara induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena adanya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator). Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan pada generator sinkron terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator.

Gambar 2. 1 Gambar Konstruksi Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron adalah kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan disuplai oleh arus searah sehingga menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu. Kemudian penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya sesuai dengan persamaan:

$$n = \frac{120 \, . \, f}{p} \quad \text{.....(2.1)}$$

dimana: n = Kecepatan putar rotor (rpm)

p = Jumlah kutub rotor
f = frekuensi (Hz)

Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan menginduksikan tegangan tiga fasa pada kumparan jangkar sehingga akan menimbulkan medan putar pada stator. Perputaran tersebut menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

Pengaturan kecepatan generator memiliki dua cara, yaitu menurut *Governor* dan pengaturan arus eksitasi. Pengaturan arus eksitasi adalah dengan mengatur arus eksitasi yang masuk ke generator. Arus eksitasi masuk ke *exciter* untuk menghasilkan tegangan sesuai dengan eksitasinya.

Karena beban yang di pakai untuk generator adalah beban sefasa atau bisa disebut dengan beban resistif, maka persamaan tegangan adalah sebagai berikut:

$$Ea = V + Ia.Zs \tag{2.2}$$

2.2 *Automatic Voltage Regulator*

Eksitasi atau biasa disebut sistem penguatan adalah suatu perangkat yang memberikan arus penguat (If) kepada kumparan medan generator arus bolak-balik (*alternating current*) yang dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnetnya dengan bantuan arus searah. Arus eksitasi adalah pemberian arus listrik pada kutub magnetik. Dengan mengatur besar kecilnya arus listrik tersebut kita dapat mengatur besar tegangan output generator atau dapat juga mengatur besar daya reaktif yang diinginkan pada generator yang sedang paralel dengan sistem jaringan besar (i*nfinite bus*). Sistem eksitasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat dan sistem eksitasi tanpa sikat. Eksitasi adalah sebuah dasar yang menjadikan kepentingan AVR pada generator.

Prinsip kerja dari AVR[1] adalah mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Apabila tegangan *output* generator di bawah tegangan nominal tegangan generator, maka AVR memperbesar arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Dan juga sebaliknya apabila tegangan ou generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (*excitacy*) pada *exciter*. Dengan demikian

apabila terjadi perubahan tegangan *output* gnerator dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maximum yang bekerja secara otomatis.

Sistem eksitasi merupakan sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator atau sebagai pembangkit medan magnet sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi.

2.3 Mikrokontroler ATmega16

Dasar Mikrokontroler ATMega16[4] dibahas menjadi 3 yaitu Arsitektur AVR ATMega16, Pin-Pin ATMega16 dan Deskripsi Mikrokontroler ATMega16.

Atmel AVR adalah jenis mikrokontroler yang paling sering dipakai dalam bidang elektronika dan instrumentasi. Mikrokontroler AVR ini memiliki arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) delapan bit, di mana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16 *bits word*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus clock.

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 bit, di mana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits wor) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus clock. AVR berteknologi RICS (*Reduced Instruction Set Computer)*, sedangkan seri MCS51 berteknologi CICS (*Complex Instruction Set Computer)*. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan mnjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATMega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memory, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama. Dalam hal ini ATMEGA16 dapat beroperasi pada kecepatan maksimal 16MHz serta memiliki 6 pilihan mode sleep untuk menghemat penggunaan daya listrik.

Gambar 2. 2 Gambar Mikrokontroler ATmega 16

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
2. Tiga buah Timer/Counter dengan kemampuan pembandingan. CPU yang terdiri atas 32 buah register.
3. *Watchdog Timer* dengan osilator internal. SRAM sebesar 512 byte.
4. Memori Flash sebesar 8 kb dengan kemampuan *Read While Write*. Unit interupsi internal dan eksternal.
5. Port antarmuka SPI.
6. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi. Antarmuka komparator analog.
7. Port USART untuk komunikasi serial.Fitur ATMega16.

Mikontroler ATMega16 memiliki ruang pengalamatan memori data dan memori program yang terpisah. Sebagai tambahan, ATMega16 memiliki *fitur* suatu Memori *EEPROM* untuk penyimpanan data. Sehingga ATMega16 memiliki tiga jenis memori yaitu memori program, memori data, dan memori *EEPROM* dan ketiganya memiliki ruang sendiri dan terpisah.

Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATMega16 dengan kemasan 40-pin DIP (*dual in-line package*) dapat dilihat pada Gambar 2.2:

Gambar 2. 3 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega16

Untuk memaksimalkan performa, AVR menggunakan arsitektur *Harvard* (dengan memori dan bus terpisah untuk program dan data). Arsitektur CPU dari AVR ditunjukkan oleh Gambar 2.2 Instruksi pada memori program dieksekusi dengan *pipelining single level*. Selagi sebuah instruksi sedang dikerjakan, instruksi berikutnya diambil dari memori program.

Gambar 2. 4 Aristektur CPU ATmega16

Mikrokontroler ATMega16 terdiri dari 40 pin dan 4 buah *Port* , yaitu *Port* A, *Port* B, *Port* C dan *Port* DLCD

2.4 *Boost Converter*

Boost converter [6] (converter step-up) adalah konverter daya DC-to-DC dengan tegangan *output* yang lebih besar dari tegangan *input*. Ini adalah termasuk switching-mode power supply (SMPS) yang mengandung setidaknya dua semikonduktor (dioda dan transistor) dan setidaknya satu elemen penyimpanan energi, kapasitor, induktor, atau dua dalam kombinasi. Filter yang terbuat dari kapasitor (terkadang dikombinasikan dengan induktor) biasanya ditambahkan ke *output* dari konverter untuk mengurangi riak keluaran tegangan.

Prinsip utama dari *boost converter* adalah kecenderungan induktor untuk melawan perubahan arus dengan menciptakan dan menghancurkan medan magnet. Dalam *boost converter*, tegangan *output* selalu lebih tinggi dari tegangan *input*. Skema tahap meningkatkan daya ditunjukkan pada Gambar 2.4

Gambar 2. 5 Prinsip *Boost Converter*

- Ketika saklar ditutup, arus mengalir melalui induktor searah jarum jam dan induktor menyimpan beberapa energi dengan menghasilkan medan magnet. Polaritas sisi kiri induktor positif.
- Ketika saklar dibuka, arus berkurang dan impedansi lebih tinggi. Medan magnet yang diciptakan sebelumnya dihancurkan untuk mempertahankan aliran arus menuju beban. Dengan demikian polaritas dapat terbalik (berarti sisi kiri induktor negatif). Akibatnya dua sumber di seri menyebabkan tegangan yang lebih tinggi untuk mengisi kapasitor melalui dioda D.

Jika siklus saklar cukup cepat, induktor tidak sepenuhnya discharge antara tahap pengisian, dan beban akan melihat tegangan yang lebih besar daripada tegangan *input* itu sendiri ketika switch terbuka. Dan ketika saklar terbuka, kapasitor yang disusun paralel dengan beban

akan dibebankan pada tegangan gabungan ini. Kemudian ketika saklar tertutup dan sisi kanan short dengan sisi kiri, kapasitor memberikan tegangan dan energi ke beban. Dalam waktu ini, dioda blocking mencegah kapasitor discharging melalui saklar. Saklar harus dibuka dengan cepat untuk mencegah kapasitor discharging.

Ketika *boost converter* beroperasi secara kontinyu, arus yang melalui induktor (I_L) tidak pernah nol. Gambar 2.8 menunjukkan bentuk gelombang arus dan tegangan dalam konverter yang beroperasi di mode ini. Tegangan *output* dapat dihitung sebagai berikut, dalam kasus converter ideal (yaitu menggunakan komponen dengan karakter ideal) yang beroperasi dalam kondisi stabil.

2.5 *Voltage Divider*

Rangkaian *voltage divider* biasanya digunakan untuk membuat suatu tegangan referensi dari sumber tegangan yang lebih besar, titik tegangan referensi pada sensor, untuk memberikan bias pada rangkaian penguat atau untuk memberi bisa pada komponen aktif. Rangkaian pembagi tegangan pada dasarnya dapat dibuat dengan 2 buah resistor, contoh rangkaian dasar pembagi tegangan dengan *output* VO dari tegangan sumber VI menggunakan resistor pembagi tegangan R1 dan R2 seperti pada Gambar 2.5

Gambar 2. 6 Rangkaian Dasar *Voltage Divider*

Dari rangkaian pembagi tegangan diatas dapat dirumuskan tegangan *output* VO. Arus (I) mengalir pada R1 dan R2 sehingga nilai tegangan sumber VI adalah penjumlahan VS dan VO sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut. Nampak bahwa tegangan masukan terbagi menjadi dua bagian masing-masing sebading dengan harga resistor yang

dikenai tegangan tersebut. Sehingga besarnya VO dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Vo = Vi \,.\, (\frac{R2}{R1 + R2}) \qquad (2.3)$$

2.6 Sensor Arus ACS 712

Pengukuran arus biasanya membutuhkan sebuah resistor shunt yaitu resistor yang dihubungkan secara seripada beban dan mengubah aliran arus menjadi tegangan. Tegangan tersebut biasanya diumpan ke *current transformater* terlebih dahulu sebelum masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal. Hal tersebut di implementasikan ke dalam sensor arus ACS712.

Sensor arus dari keluarga ACS-712[8] adalah solusi untuk pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, *switched-mode power supplies* dan proteksi beban berlebih. Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian *low-offset* linear Hall dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan *hall transducer* secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah menstabilkan *Bi CMOS Hall IC* yang didalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian *yang* tinggi oleh pabrik.

Dimana titik tengah *output* sensor sebesar (>VCC/2) saat peningkatan arus pada penghantar arus yang digunakan untuk pendeteksian. Hambatan dalam penghantar sensor sebesar 1,5mΩ dengan daya yang rendah. Ketebalan penghantar arus didalam sensor sebesar 3x kondisi *overcurrent*.

BAB III
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini dibahas mengenai modul *Automatic Voltage Regulator* dengan cara mengatur arus eksitasi pada tegangan keluaran generator. Menggunakan Mikrokontroler Atmega16, baik perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan dan pembuatan perangkat lunak (*software*). Untuk perangkat keras meliputi:

1. Perancangan rangkaian *boost converter* dengan spesifikasi daya keluaran yang sudah disesuaikan dengan spesifikasi generator yang ada pada Laboratorium Konversi Energi
2. Perancangan rangkaian sistem minimum ATmega16
3. Perancangan *voltage divider*.
4. Perancangan *driver* untuk *boost converter*.

Sedangkan untuk perancangan perangkat lunak (*software*) yang digunakan yaitu dengan menggunakan program Codevision AVR yang akan di-download-kan ke mikrokontroler yang digunakan untuk menerima data dari *voltage divider*, dimana dari data tersebut akan di proses oleh mikrokontroler dan hasilnya dikeluarkan berupa PWM yang akan di proses untuk *boost converter*.

3.1 Blok Fungsional Sistem

Blok fungsional sistem berfungsi untuk meringkas sistem kerja modul *Automatic Voltage Regulator*. Pada bab blok fungsional sistem dibahas tentang keseluruhan pembuatan kontrol arus eksitasi pada modul *Automatic Voltage Regulator* dalam bentuk alur diagram. Blok fungsional sistem berfungsi untuk meringkas sistem kerja alat.

Gambar 3.1 adalah blok fungsional dari modul *Automatic Voltage Regulator*.

Dari blok fungsional pada Gambar 3.1 pada pengaplikasian modul *Automatic Voltage Regulator* kami akan diperjelas melalui Gambar 3.2:

Gambar 3. 1 Blok Fungsional Modul *Automatic Voltage Regulator*

Gambar 3. 2 Gambar Pengaplikasian *Automatic Voltage Regulator*

Prinsip kerja motor AC adalah mengubah energi listrik menjadi energi kinetik. Motor AC diberi masukkan dari sebuah *prime over* berlandaskan dari teori *Governor*. Motor AC menghasilkan putaran

untuk masukkan generator. Putaran dari motor AC dijaga sesuai ketentuan motor AC sebesar 1500 rpm. Generator mengubah energi kinetik menjadi energi listrik, dari konsep tersebut generator menghasilkan keluaran berupa tegangan. Generator menghasilkan tegangan keluaran AC. Tegangan keluaran dari generator diperuntukkan untuk beban resistif. Jenis generator dari modul *Automatic Voltage Regulator* adalah generator sinkron.

Generator membutuhkan arus eksitasi untuk pembangkitan tegangan keluaran. Arus eksitasi diperoleh dari keluaran *boost converter*. Penguatan *boost converter* diolah mikrokontroler, mikrokontroler berfungsi sebagai pemberi PWM ke *driver boost converter.*

Modul *Automatic Voltage Regulator* memakai sistem *closed loop.* Sistem closed loop *Automatic Voltage Regulator* menggunakan *voltage divider*, mikrokontroler, dan *boost converter*. Tegangan keluaran generator di proses melalui *voltage divider* dalam bentuk ADC.

Hasil dari inisialisasi ADC *voltage divider* digunakan untuk pengolahan data tegangan keluaran generator melalui mikrokontroler. Mikrokontroler memproses hasil inisialisasi ADC untuk memberikan PWM *driver boost converter.*

Sensor arus pada *boost converter* digunakan untuk pemantau arus keluaran *boost converter*, sekaligus arus eksitasi untuk generator. *Boost converter* memiliki masukkan berupa tegangan yang diperoleh dari *power supply.*

Hasil dari sistem kerja *boost converter*, mikrokontroler, *voltage divider*, dan sensor arus sebagai pemantau arus menghasilkan modul *Automatic Voltage Regulator* yang diperuntukkan pada praktikum mesin listrik di Laboratorium Konversi Energi

3.2 Perancangan Elektronik

Pada bab perancangan elektronik dibahas tentang rangkaian elektronik beserta komponen-komponen pendukungnya sehingga Modul *Automatic Voltage Regulator* dapat berfungsi dengan benar. Pembahasan bab ini meliputi mikrokonteroler, *boost converter*, beban resistif yang digunakan pada modul, *voltage divider*, dan sensor arus.

3.2.1 Perancangan Mikrokontroler

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai mikrokontroler yang digunakan pada tugas akhir dengan judul Kontrol Arus Eksitasi pada

Modul *Automatic Voltage Regulator*. Mikrokontroler digunakan sebagai pusat kontrol dari pyoyek ini, semua perintah dan pekerjaan yang dilakukan dirancang pada perancangan perangkat lunak melalui mikrokontroler.ada beberapa jenis mikrokontroler yang dapat digunakan, ada yang berupa sebuah modul, ada pula yang berupa sebuah IC atau chip yang dirangkai bersama beberapa rangkaian elektrik. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega16. ATmega mempunyai 32 pin digital *input*/*output*, 8 saluran ADC 10 bit, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICPS header dan sebuah tombol reset. ATmega16 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Mikrokontroler	ATmega16
Tegangan Pengoperasian	5 Volt
Tegangan *input* yang disarankan	4.5 – 5.5 Volt
Batas tegangan *Input*	2.75 – 5.5 Volt
Jumlah pin I/O *digital*	32 (8 *channel* untuk ADC)
Jumlah Pin *Input Analog*	8
Memori *Flash*	16 KB (ATmega16)
SRAM	1 KB (ATmega16)
EEPROM	512 Byte (ATmega16)
Clock Speed	16 MHz

Konfigurasi mikrokontroler untuk sistem *closed loop* pada Tabel 3.1:

Tabel 3 1 Konfigurasi *Port* ATmega16

No.	Pin ATmega16	Keterangan
1.	Port A3 (ADC3)	Inialisasi Sensor Tegangan
2.	Port A4 (ADC4)	Inialisasi Sensor Arus
3.	Port D7 (OC2)	Pembangkit PWM
4.	Port B (0-7), dan Port D(0-2)	LCD

Skematik mikrokontroler modul Automatic Voltage Regulator pada Gambar 3.3

Gambar 3. 3 Skematik Mikrokontroler

3.2.2 Perancangan Boost Converter

Boost converter merupakan salah satu tipe dari DC-DC Konveretr yang berfungsi untuk menurunkan tegangan melalui sudut penyalaan mosfet dengtan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM atau *Pulse Width Modulation* dapat dibangkitkan melalui rangkaian pembangkit PWM Analog atau melalui mikrokontroler. Pada alat Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* PWM dibangkitkan melalui ATmega16 dengan menggunakan pemrograman pada *CodeVision*.

Penggunaan *boost converter* pada modul *Automatic Voltage Regulator* digunakan untuk menstabilkan tegangan *output* yang dihasilkan dari generator. Tegangan yang dihasilkan oleh generator rata-rata 160 volt, dimana tegangan tersebut masih jauh dari keinginan untuk mencapai tegangan keluaran konstan sebesar 220 volt. Tujuan *boost converter* adalah memberikan arus eksitasi pada generator

Tujuan lain menggunakan *boost converter* adalah tegangan *input* dari *boost converter* ini sebesar 24 volt, sedangkan tegangan yang dibutuhkan generator maksimum adalah 40 volt untuk mencapai tegangan keluaran sebesar 220 volt, oleh karena spesifikasi dari generator inilah pemakaian *boost converter* lebih sesuai.

Dalam perancangan *boost converter* di jelaskan mengenai perhitungan *boost converter*, simulasi *boost converter*, dan pembuatan induktor. Pada sub bab ini akan dijelaskan pembuatan *boost converter* mulai dari penrhitungan *boost converter*, dan simulasi *boost converter*, pembuatan induktor, dan perangkaian *boost converter*.

A. Algoritma *Boost converter*

Tabel 3 2 Tabel Parameter Perhitungan *Boost Converter*

Vin dari *power supply*	24
Vout (tegangan eksitasi yang dibutuhkan untuk generator)	40
Ripple Tegangan *Output*	5%
Ripple Arus Induktor	10%
Iout (arus eksitasi yang dibutuhkan untuk masuk ke generator)	0.9A
Rbeban	65Ω

Tabel 3.2 parameter untuk pembuatan rangkaian *boost converter* Digunakan sebagai acuan untuk membuat *boost converter* yang baik agar dapat menentukan nilai komponen yang tepat sehingga *output* tegangan yang dihasilkan baik, penggunaan komponen yang kurang tepat menghasilkan tegangan yang kurang baik. Maka dari itu diperlukan parameter yang digunakan sebagai acuan untuk menghitung nilai komponen komponen seperti nilai kapasitor, nilai induktor, dan lain lain seperti perhitungan dibawah ini:

Perhitungan dari *boost converter* adalah:

1) Menetukan *Duty cycle* :

$$\frac{Vo}{Vi} = \frac{1}{1-D} \quad \text{.....(3.1)}$$

Persamaan tersebut ditujukan untuk menentukan berapa besar *duty cycle* dari sebuah *boost converter*. Dengan persamaan tersebut, dapat menentukan *duty cycle* yang diinginkan dengan ketentuan Vo=40 dan Vi=24.

$$\frac{40}{24} = \frac{1}{1-D}$$

$$40(1-D) = 24$$

$$40 - 40D = 24$$

$$40 - 24 = 40D$$

$$16 = 40D$$

$D = 0.4$

Menentukan Toff dari *duty cycle* yang telah diketahui menurut persamaan (3.1)

$$\frac{1}{1-D} = \frac{Ts}{T_{OFF}} \quad \text{..... (3.2)}$$

Persamaan (3.2) merupakan rumus untuk mencari Toff dari *duty cyle* yang telah diketahui dari persamaan (3.1).

$$\frac{1}{1-0.4} = \frac{2.667x10^{-5}}{T_{OFF}}$$

$$T_{OFF} = 1.6\ x\ 10^{-5}$$

$$\frac{I_o}{I_I} = 1 - D \quad \text{.....(3.3)}$$

Persamaan (3.3) digunakan untuk mencari arus *input* yang sesuai dengan ketentuan *duty cycle* yang telah dicari. Dengan arus *output* sebesar 0.9 A maka cara mencari arus *input* adalah sebagai berikut:

$$\frac{0.9}{I_I} = 0.4$$

$$I_I = 2.25\ A$$

2) Frekuensi = 15 KHZ

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{SW}} \quad \text{.....(3.4)}$$

Sesuai persamaan (3.4) maka digunakan untuk mencari Ton dengan *duty cycle* sebesar 0.4.

$$T_{ON} = D\ x\ T_{SW}$$

$$= 0.4\ x\ \frac{1}{15000} Hz$$

$$T_{ON} = 2.667\ x\ 10^{-5}$$

3) Menentukan Induktansi

$$L = \frac{R\ x\ D\ x\ (1 - D)^2}{2\ x\ Fs} \quad \text{.....(3.5)}$$

Berdasarkan persamaan (3.5) maka akan ditentukan besaran induktansi yang sesuai dengan hambatan maupun *duty cycle* ketentuan.

$$= \frac{55\ x\ 0.4\ x\ (1 - 0.4)^2}{30\ x\ 10^3}$$

$$L = 264\ \mu H$$

4) Menentukan Kapasitansi

$$C \geq \frac{Vo\ x\ D}{Fs\ x\ \Delta Vo\ x\ R} \quad \text{.....(3.6)}$$

Berdasarkan persamaan (3.4) maka akan ditentukan besaran kapasitansi yang sesuai dengan hambatan maupun *duty cycle* ketentuan.

$$C \geq \frac{40\ x\ 0.4}{15\ x\ 10^3\ x2x55}$$

$$C \geq 9.7\mu F$$

Dari perhitungan *boost converter* didapatkan nilai nilai komponen yaitu nilai *duty cycle* 0.4 nilai induktor 264 mikroHenry dan kapasitor 9.7 mikroFarad.

B. Perancangan Induktor

Pada perancangan *boost converter*, induktor berfungsi untuk menyimpan arus. Aliran arus ini disalurkan kebeban. Tegangan pada beban adalah hasil dari tegangan masukan ditambah dengan energi yang tersimpan pada induktor, sehingga tegangan keluaran *boost converter* menjadi lebih besar dari pada tegangan masukannya. Agar nilai induktor sesuai dengan perhitungan, maka induktor dapat dibuat sendiri dengan melilitkan kawat pada inti toroid. Untuk menentukan jumlah lilitan, dapat menggunakan *software* Induktor winding.

Gambar 3. 4 *Software Inductor Winding*

Gambar 3.4 adalah gambar *software* induktor winding yang memudahkan untuk membuat induktor yang diinginkan. Yang perlu diketahiu adalah spesifikasi inti toroid dan berapa henry yang dibutuhkan. Seperti pada tugas akhir ini digunakan inti toroid dengan spesifikasi seperti pada Gambar 3.5:

Pada Gambar 3.6 adalah gambar keseluruhan rangkaian *boost converter* dengan data:

Sumber Tegangan (*Power Supply*) = 24 Volt
Induktor (L) = 264 µH
Capasitor (C) = 9.7 µFarad
Mosfet yang digunakan adalah TLP 250
R BEBAN = 55 Ω (dari modul generator)

Kool Mµ Permeability (µ)	A_L (nH/T^2)	Core Marking			Coating Color
		Lot Number	Part Number	Inductance Grade	
60	135 ± 8%	XXXXXX	77439A7	N/A	Black

Dimensions	Uncoated		Coated Limits			Packaging
	(mm)	(in)	(mm)	(in)		
OD (A)	46.70	1.840	47.63	1.875	max	Cardboard cut-outs Box Qty= 105 pcs
ID (B)	24.1	0.950	23.3	0.918	min	
HT (C)	18.0	0.710	19.0	0.745	max	

Gambar 3. 5 Spesifikasi Inti Toroid

C. Perancangan Keseluruhan *Boost Converter*

Gambar 3. 6 Rangkaian *Boost Converter*

3.2.3 Perancangan *Driver Boost Converter*

Driver boost converter adalah rangkaian yang berfungsi untuk membatasi arduino dan *gate* mosfet pada *boost converter* dan mikrokontroler secara langsung. Rangkaian ini dibuat untuk melindungi mikrokontroler. Apabila terjadi kesalahan pada *boost converter*, mikrokontroler tidak berpengaruh.

Driver boost converter yang digunakan pada proyek Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* adalah komponen TLP 250. Dengan spesifikasi:

- *Input threshold current*: IF=5mA (max.)
- *Supply current* (ICC): 11mA (max.)
- *Supply voltage* (VCC): 10−35V
- *Output current* (IO): ±1.5A (max.)
- *Switching time* (tpLH/tpHL): 1.5µs (max.)
- *Isolation voltage*: 2500Vrms (min.)

Gambar 3. 7 Konfigurasi PIN TLP 250

Gambar 3. 8 Rangkaian Driver *Boost Converter*

Gambar 3.7 adalah gambar konfigurasi pin pada komponen TLP250. Pin-pin tersebut dirangkaian menjadi rangkaian *driver boost converter* seperti pada Gambar 3.8. Pin 2 disambungkan dengan mikrokontroler untuk dibangkitkan sinyal PWM, pin 3 disambungkan pada ground mikrokontroler, pin 6 disambungkan pada gate mosfet *boost converter*, dan pin 8 disambungkan pada Vcc 12 volt.

3.2.4 Perancangan *Voltage Divider*

Pada rangkaian pembagi tegangan terdapat dua buah resistor yang berbeda nilainya, kedua resistor ini digunakan untuk membandingkan tegangan yang mengalir dikedua buah resistor. Pada rangkaian pembagi tegangan digunakan rumus:

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \, x \, V_{in} \qquad \text{.....(3.7)}$$

Rangkaian pembagi tegangan berfungsi sebagai konversi tegangan. Tegangan *output* dari sistem *boost converter* adalah 0 sampai 40 Volt, sedangkan tegangan yang di*input*kan pada mikrokontroler adalah hanya 0 sampai 5 Volt. Oleh karena itu dibutuhkan rangkaian pembagi tegangan agar tegangan yang masuk ke mikrokontroler sesuai dengan kriteria pada komponen mikrokontroler.

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \, x \, V_{in}$$

Misalkan $R_2 = 10$ kΩ

Vout = 5 Volt (V mikrokontroler)

Vin = 40 Volt (V *output* dari *boost converter*)

$$5 = \frac{10}{R1 + 10} \; x \; 40$$
$$400 = 5R1 + 50$$
$$350 = 5R1$$
$$R1 = 70K$$

Jadi dalam rangkaian *voltage devider* digunakan dua resistor yaitu resistor 1 10 kΩ dan resistor 2 adalah 70 kΩ., rangkaiannya ditunjukan pada gambar seperti Gambar 3.9:

Gambar 3. 9 Gambar Rangkaian Pembagi Tegangan

3.2.5 Perancangan Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan berupa sensor arus ACS 712 5 A. Sensor ini berfungsi sebagai pendeteksi arus.

Gambar 3. 10 Gambar Sensor Arus ACS 712 5A

Aliran arus listrik yang mengakibatkan medan magnet yang menginduksi bagian *dynamic offset cancellation* dari ACS712 ELC-5A. Bagian ini dikuatkan oleh amplifier dan melalui *filter* sebelum

dikeluarkan melalui kaki 6 dan 7, modul tersebut membantu penggunaan untuk mempermudah instalasi arus ini ke dalam sistem.

Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP–	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

Gambar 3. 11 Gambar Spesifikasi Sensor Arus ACS712-5A

Output/keluaran dari sensor ini sebesar (>VIOUT(Q)) saat peningkatan arus pada penghantar arus (dari pin 1 dan pin 2 ke pin 3 dan 4), yang digunakan untuk pendeteksian atau perasa arus. Hambatan dalam penghantar sensor sebesar 1.2 mΩ dengan daya yang rendah. Jalur terminal konduktif secara kelistrikan diisolasi dari sensor leads/mengarah (pin 5 sampai pin 8). Ketebalan penghantar arus didalam sensor sebesar tiga kali kondisi *overcurrent*.

Spesifikasi dari sensor arus ACS712 sebagai berikut:

- Jalur sinyal analog yang rendah *noise*
- *Bandwidth* perangkat diatur melalui pin FILTER yang baru
- Waktu naik keluaran 5 mikrodetik dalam menanggapi langkah masukan aktif
- Bandwith 50 kHz
- Total error keluaran 1,5% pada TA = 25°, dan 4% pada -40° C sampai 85° C
- Bentuk yang kecil, paket SOIC8 yang kompak.
- Resistansi internal 1.2 mΩ.
- 2.1 kVRMS tegangan isolasi minimum dari pin 1-4 ke pin 5-8
- Operasi catu daya tunggal 5.0 V
- Sensitivitas keluaran 66-185 mV/A
- Tegangan keluaran sebanding dengan arus AC atau DC
- Akurasi sudah diatur oleh pabrik
- Tegangan offset yang sangat stabil

- Histeresis magnetic hampir mendekati nol
- Keluaran ratiometric diambil dari sumber daya

3.2.6 Perancangan Beban

Pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan Menggunakan Mikrokontroler ini beban memakai beban resistif yang berupa modul pada Laboratorium Konversi Energi di S1 Teknik Elektro. Dengan ketentuan sebagai berikut:

- 5% 50 watt
- 10% 100 watt
- 20% 200 watt
- 25% 250 watt

Gambar 3.12 adalah gambar dari beban yang ada pada modul di Laboratorium Konversi Energi.

Gambar 3. 12 Gambar Beban di Laboratorium Konversi Energi

Gambar 3. 13 Gambar Konstruksi Beban

3.3 Perancangan *Box Control*

Dalam perancangan mekanik, dibahas mengenai perancangan mekanik dari Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan Menggunakan Mikrokontroler. Perancangan mekanik berupa perancangan perangkat keras yang mendukung seluruh perancangan dan pembuatan alat. Perancangan mekanik yang dibahas adalah *box control* yang digunakan sebagai *box* tempat rangkaian kontrol arus eksitasi yang berupa *Automatic Voltage Regulator* menggunakan mikrokontroler dan LCD tersebut.

Box control berisi rangkaian elektronik meliputi rangkaian *boost converter*, rangkaian *voltage divider*, rangkaian sensor arus, rangkaian *driver boost converter*, *power supply* 24 volt, *minimum system* mikrokontroler ATmega16, dan LCD. Pada perancangan box *control* bagian atas terdapat LCD dan konektor *pug and play* untuk memudahkan pengguna dalam menyambungkan modul kami dengan modul yang ada di Laboratorium Konversi Energi. Gambar 3.14 ini adalah gambar desain dari *box control*:

Gambar 3. 14 Gambar Desain *Box Control*

Box control terbuat dari *acrylic* dengan tebal 5mm dan disusun kubus dengan ukuran 33cm x 22cm x 16cm.

Terdapat empat *pug and play*, dimana di antaranya ada dua untuk eksitasi dan dua lainnya untuk *sensing voltage* atau dalam tugas akhir kami dibahas dengan nama *voltage divider*.

Pada *box control* juga dipasang LCD berukuran 2x16 yang berfungsi untuk informasi tentang *duty cycle* yang terproses pada

mikrokontroler agar kita mengetahui jumlah *duty cycle* yang masuk, dan dapat memantau arus eksitasi yang masuk ke generator juga.

3.4 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada bab perancangan perangkat lunak dijelaskan mengenai *software* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir dengan judul Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler. Pada pengerjaan tugas akhir ini digunakan *software* CodeVision sesuai dengan komponen yang kami gunakan adalah ATmega16 dengan menggunakan bahasa C. Pada *software* CodeVision, ada beberapa variable yang digunakan. Membahas program untuk membangkitan PWM, program pada *voltage devider*, dan program kalibrasi sensor arus.

3.4.1 Program Pembangkitan PWM pada Mikrokontroler

Pada Tugas Akhir dengan judul Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler, digunakan pembangkitan PWM dengan metode digital atau dengan menggunakan mikrokontroler. *Flowchart* untuk program pembangkitan PWM pada CodeVision adalah seperti pada Gambar 3.15

Pada Gambar 3.15 merupakan sebuah algoritma berupa *flowchart* untuk pembangkitan PWM *driver boost converter*. Urutan kerja *flowchart* Gambar 3.15:

1. Inisialisasi PORT PWM yaitu Port D7 berupa OCR 2 (Timer 2), menginisialisasi angka PWM berubah menjadi bilangan persen.
2. Mikrokontroler mendeteksi keluaran dari sensor tegangan
3. Pemberian nilai PWM diberi batas maksimum sebesar 145 bit atau setara dengan 63%
4. Mikrokontroler memberikan penambahan PWM jika nilai tegangan kurang dari 220 volt, dan pengurangan PWM jika nilai tegangan lebih dari 220 volt.
5. Pengurangan PWM dibatasi hingga 0 bit, sebagai pencegahan PWM kembali menambahkan 255 bit.

Gambar 3. 15 *Flowchart* Pembangkitan PWM

```
| i=0; offset=0;y=0;
for (i=0;i<2000;i++)
    {
    y = read_adc(5);
     offset=offset+y;
     delay_ms(1);
    };
    offset=offset/2000;
    offset=512-offset;


  arus=0.0;
while (1)
        {
      y =512-( read_adc(5)+offset);
      arus=((float)y*5.0/1023.0);
      arus=(arus/0.066*1000);

        if (arus<0) {arus=0;
        };
```

Gambar 3. 16 Gambar Program Pembangkit PWM pada Mikrokontroler

3.4.2 Program *Voltage Divider*

Voltage divider pada Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler digunakan rangkaian *voltage devider*.

Gambar 3.17 merupakan algoritma berupa *flowchart* untuk *voltage divider*. Urutan kerja *flowchart* Gambar 3.17:

1. Inisialisasi PORT *voltage divider* pada PORTA3 berupa PORT ADC.
2. Mikrokontroler membaca tegangan yang masuk dari *voltage divider*.
3. Pembacaan tegangan mikrokontroler adalah 0-5 volt.
4. Mikrokontroler mengkonversi hasil data tegangan
5. Mikrokontroler memperoleh data digital dari *voltage divider*.

Gambar 3. 17 Gambar *Flowchart Voltage Divider*

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <alcd.h>

int tegangan, pwm,i,y,z;

float arus;
long offset;

 tegangan = (read_adc(3)*0.262554865188394) + 10.283131755809;
```

Gambar 3. 18 Program *Voltage Divider* pada Mikrokontroler

3.4.3 Program Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan pada tugas akhir dengan judul Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler aedalah Sensor ACS712. Sensor Arus ACS712 digunakan mengkalibrasi dengan menggunkan program. *Flowchart* untuk mengkalibrasi sensor arus adalah Gambar 3.19:

Gambar 3. 19 *Flowchart* Sensor Arus ACS712

Gambar 3.19 merupakan algoritma berupa *flowchart* untuk sensor arus ACS712. Urutan kerja *flowchart* Gambar 3.19:

1. Inisialisasi PORT sensor arus di PORT A4(PORT ADC)
2. Pembacaan arus pada mikrokontroler berupa tegangan, ketentuan untuk sensor ACS712 30A setiap 66mV itu menandakan 1 A.
3. Konversi dari pembacaan sensor arus yang di proses mikrokontroler
4. Data ADC diperoleh, dan diubah ke analog kembali untuk di tampilkan di LCD.

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <alcd.h>

int tegangan, pwm,i,y,z;

float arus;
long offset;

i=0; offset=0;y=0;
for (i=0;i<2000;i++)
    {
    y = read_adc(5);
     offset=offset+y;
     delay_ms(1);
    };
    offset=offset/2000;
    offset=512-offset;
    y =512-( read_adc(5)+offset);
     arus=((float)y*5.0/1023.0);
     arus=(arus/0.066*1000);
```

Gambar 3. 20 Program Sensor Arus

3.4.4 Program Keseluruhan

Pada Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler digunakan program untuk keseluruhan sistem. Program keseluruhan merupakan penggabungan dari semua komponen yang digunakan mulai dari pengukuran *voltage divider*, penggunaan *boost converter*, hingga pencapaian modul untuk menjadi *Automatic Voltage Regulator*.

Gambar 3.20 merupakan algoritma berupa *flowchart* program keseluruhan Modul *Automatic Voltage Regulator*. Urutan kerja *flowchart* Gambar 3.20:

1. Mikrokontroler menerima inisialisasi dari sensor tegangan, dan sensor arus berupa ADC.

2. Mikrokontroler akan memproses data *voltage divider*
3. Mikrokontroler akan menambah maupun mengurangi tegangan jika tegangan tidak konstan sebesar 220 volt
4. Mikrokontroler memberikan penambahan atau pengurangan PWM yang masuk ke *driver boost converter* sebagai *exciter*.
5. Mikrokontroler akan berhenti bekerja setelah *voltage divider* memberikan indikasi masukan sebesar 220 volt

Gambar 3. 21 *Flowchart* Keseluruhan Sistem pada Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler.

Program mikrokontroler keseluruhan ini memakai rumus y=mx+c. Saat tegangan kurang dari 220, maka mikrokontroler memberikan PWM ke *driver boost converter*. Jika tegangan lebih dari 220, maka mikrokontroler mengirimkan perintah untuk mengurangi PWM pada *boost converter*.

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <alcd.h>

int tegangan, pwm,i,y,z;

float arus;
long offset;


char lcd_char[16];
void lcd() {
 lcd_clear();
 itoa(arus,lcd_char);
      lcd_gotoxy(0,0);
      lcd_putsf("ARUS:");
      lcd_puts(lcd_char);
      lcd_putsf("mA");

      itoa(pwm,lcd_char);
      lcd_gotoxy(0,1);
      lcd_putsf("Duty Cycle:");
      lcd_puts(lcd_char);
      lcd_putsf("%");
      //delay_ms(100);

lcd_init(16);
OCR1A=0;
    i=0; offset=0;y=0;
for (i=0;i<2000;i++)
    {
    y = read_adc(5);
     offset=offset+y;
     delay_ms(1);
    };
    offset=offset/2000;
    offset=512-offset;


arus=0.0;
while (1)
      {
      y =512-( read_adc(5)+offset);
      arus=((float)y*5.0/1023.0);
      arus=(arus/0.066*1000);

        if (arus<0) {arus=0;
        };
        if (OCR1A>124)
        OCR1A=124;
        };

        if (OCR1A<=0)
        {
        OCR1A=0;
        };

        tegangan = (read_adc(3)*0.262554865188394) + 10.283131755809;
        if(tegangan<220)
        {
         OCR1A=OCR1A+1;
        }
        if(tegangan>220)
        {
         if (OCR1A==0){OCR1A=0;}
         else{
         OCR1A=OCR1A-1;
        };
        }

        pwm=((OCR1A*100)/255);
        z=z+1;
        if (z==1000) {lcd();z=0;
        };
         delay_us(200);
        }
}
```

Gambar 3. 22 Gambar Program Keseluruhan

BAB IV
PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisa data pengujian dari hasil Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler yang telah dibuat. Pengujian modul *Automatic Voltage Regulator* ditujukan untuk memastikan agar peralatan yang dibuat dapat berfungsi dengan baik.

Pengujian dan pengukuran pada alat Kontrol Arus Eksitasi pada Modul *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan Mikrokontroler meliputi: pengujian modul generator pada Laboratorium Konversi Energi, pengujian *boost converter* yang telah dirancang, pengujian *voltage divider*, pengujian sensor arus, dan pengujian modul *Automatic Voltage Regulator* itu sendiri. Setelah melakukan beberapa pengujian alat, data yang diperoleh dianalisa untuk mengetahui proses kerja dari seluruh sistem alat yang dibuat.

4.1 Pengujian Modul Generator

Modul generator digunakan untuk menghasilkan keluaran listrik yang berbeda-beda sesuai dengan keadaan beban yang sudah ada pada Laboratorium Konversi Energi. Modul generator ini memiliki kharakteristik berbeda-beda, dimana pengambilan data ini adalah untuk menyesuaikan pembuatan modul *Automatic Voltage Regulator*.

Tujuan pengujian modul generator adalah untuk mengetahui karakteristik dari generator sehingga dapat merancang *boost converter* sesuai dengan karakteristik pengujian.

Pengujian dari generator ini dilakukan sesuai dengan gambar 4.1:

Gambar 4 1 Gambar Pengujian Modul Generator

Dimana karakteristik dari modul generator itu sendiri pada Tabel 4.1:

Tabel 4 1 Tabel Karakteristik Modul Generator

Tegangan Eksitasi Maksimum(V)	Arus Eksitasi Maksimum(A)
40	0.9

Pada pengujian modul generator diuji dengan menggunakan dan tanpa menggunakan beban, dimana pengujian ini agar mengetahui tegangan dan arus eksitasi pada modul generator. Berikut hasil pengujian yang telah diambil:

1. Pengujian Modul Generator Tanpa Beban

Tabel 4 2 Tabel Pengujian Modul Generator Tanpa Beban

V line to netral (V)	Ieksitasi (A)	Veksitasi (V)	Kecepatan (RPM)	Beban (%)	Jenis Beban
220	021	30	1500	-	-
220	0.7	31	1433	-	-
220	0.75	34	1417	-	-

Berdasarkan tabel diatas, dapat dibuat grafik perubahan tegangan eksitasi generator dan arus eksitasi generator seperti Gambar 4.2:

Gambar 4 2 Grafik Pengujian Modul Generator Tanpa Beban

2. Pengujian Modul Generator Beban Resistif

Tabel 4 3 Tabel Pengujian Generator Modul Berbeban Resistif

V line to netral (V)	Ieksitasi (A)	Veksitasi (V)	Kecepatan (RPM)	Beban (%)	Jenis Beban
190	0.21	30	1284	10	Resistif
200	0.7	31	1320	5	Resistif
220	0.93	43	1216	10	Resistif

Berdasarkan tabel diatas, dapat dibuat grafik perubahan tegangan eksitasi generator dan arus eksitasi generator seperti Gambar 4.3:

Gambar 4 3 Grafik Pengujian Modul Generator Beban Resistif

3. Pengujian Modul Generator Beban Induktif

Tabel 4 4 Tabel Pengujian Modul Generator Berbeban Induktif

V line to netral (V)	Ieksitasi (A)	Veksitasi (V)	Kecepatan (RPM)	Beban (%)	Jenis Beban
205	0.75	34	1410	5	Induktif
205	0.86	40	1372	10	Induktif
220	0.86	40	1384	5	Induktif
220	0.98	46	1344	10	Induktif

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat dibuat grafik perubahan tegangan eksitasi generator dan arus eksitasi generator seperti Gambar 4.4:

Gambar 4 4 Grafik Pengujian Modul Generator Beban Induktif

5. Pengujian Modul Generator Beban Kapasitif

Tabel 4 5 Tabel Pengujian Modul Generator Berbeban Kapasitif

V line to netral (V)	Ieksitasi (A)	Veksitasi (V)	Kecepatan (RPM)	Beban (%)	Jenis Beban
221	0.74	34	1406	5	Kapasitif
225	0.74	34	1397	10	Kapasitif

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat dibuat grafik perubahan tegangan eksitasi generator dan arus eksitasi generator seperti Gambar4.5:

Gambar 4 5 Grafik Pengujian Modul Generator Berbeban Kapasitif

Dari hasil pengujian Gambar 4.5, disimpulkan bahwa arus eksitasi maksimum memang tidak boleh lebih dari 1 ampere, dan tegangan eksitasi maksimum tidak boleh lebih dari 40 volt, dengan syarat kecepatan motor harus 1500 rpm. Dari hasil pengujian tersebut perancangan *Automatic Voltage Regulator* disesuaikan.

4.2 Pengujian *Boost Converter*

Boost converter ditujukan untuk menambah arus eksitasi pada generator. Pengujian *boost converter* agar megetahui fungsi kerja dari *boost converter* yang telah dibuat.

Gambar 4 6 Pengujian *Boost Converter* dengan Beban 65Ω

Pengujian *boost converter* yang kami uji berupa besaran nilai tegangan *output* terhadap besaran *duty cycle* dan menguji tegangan *output* pada beban resistor lontong dengan besaran 65Ω

Tahap pertama adalah pengujian pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap nilai tegangan *output* pada *boost converter*. Pada tahap ini, rangkaian *boost converter* yang terhubung dengan mikrokontroler diatur *duty cycle* secara acak dan dihubungkan ke *voltmeter* untuk dilihat berapa tegangan keluarannya, besaran *duty cycle* dilihat melalui LCD. Pada pengujian ini diberikan V*input* sesuai dengan perencanaan kami yaitu 24 Volt dan frekuensi sesuai dengan perencanaan algoritma kami yaitu sebesar 15 kHz. Pengujian ini menggunakan beban sebesar 65Ω

Tabel 4 6 Tabel Pengujian *Duty Cycle* Terhadap Tegangan

Vin(V)	Vout(V)	*Duty Cycle (%)*
24	22.6	0
24	27.18	10

Vin(V)	Vout(V)	*Duty Cycle (%)*
24	31.64	20
24	36.75	30
24	43.4	40
24	52.2	50
24	61.0	58

Dari Tabel 4.6 pengujian pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap tagangan *output boost converter* dapat dibuat grafik perbandingan antara perubahan *duty cycle* dan tegangan *output boost converter*.

Pada Gambar 4.7 perubahan tegangan *output* terhadap *duty cycle* terlihat bahwa besarnya nilai *duty cycle* yang di*input*kan pada *boost converter* berpengaruh pada besarnya tegangan *output* yang dihasilkan *boost converter*.

Tahap kedua pengujian *boost converter* adalah pengujian tegangan *output*. Pada algoritma *boost converter*, tegangan *output* yang seharusnya dihasilkan *boost converter* adalah 40 Volt dengan tegangan *input* berasal dari *power supply* yang besarannya sebesar 24 volt dengan *duty cylcle* sebesar 40%. Gambar 4.8 adalah rangkaian pengambilan data tegangan *output boost converter*.

Gambar 4 7 Grafik Perbandingan Tegangan *Output* dengan *Duty Cycle*

Gambar 4 8 Rangkaian Pengujian Tegangan dan Arus *Output Boost Converter*

Dari pengujian yang dilakukan sesuai dengan rangkaian pada Gambar 4.8 dapat diambil data sesuai dengan tabel. Tabel data pengujian tegangan *output* yang dihasilkan *boost converter* adalah:

Tabel 4 7 Tabel Pengujian Arus *Output* dan Tegangan *Output Boost Converter*

Vin(V)	D (%)	Iout *boost converter* (A)	Vout *boost converter* (V)	Vout seharusnya (V)	*Error* (%)
24	0	0.34	22.6	24	5.83
24	10	0.41	27.18	26.67	1.925
24	30	0.56	36.75	34.28	7.1875
24	50	0.8	52.2	48	8.75
24	58	0.94	61.0	57.14	8.675

Pada Tabel 4.7, terdapat *error* atau kesalahan dalam sistem sebesar 1.925% sampai 8.675%. *Error* ini didapatkan dari persen tegangan *output boost converter* dikurang tegangan *output* seharusnya. Dari data yang diambil seperti yang terlihat pada tabel, dapat dibuat grafik perbandingan antara tegangan yang dihasilkan oleh *boost converter* dan tegangan yang seharusnya sesuai dengan algoritma.

Gambar 4 9 Grafik Perbandingan Tegangan *Output* Sebenarnya dan Tegangan *Output* Perhitungan dengan *Duty Cycle*

4.3 Pengujian *Voltage Divider*

Pengujian rangkaian pembagi tegangan adalah dengan menyambungkan *input* pada rangkaian pembagi tegangan dengan trafo yang dihubungkan dengan tegangan keluaran dari modul generator yang ada pada Laboratorium Konversi Energi. Pengujian *voltage divider* tegangan *output* yang terukur dibaca menggunakan voltemeter.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kepresisian besaran tegangan yang terbaca melalui sensor tegangan yang telah dibuat.

Gambar 4 10 Rangkaian Penguji *Voltage Divider*

Pengujian pada *voltage divider* ini menggunakan pengukuran dari *input* generator yang masuk ke trafo lalu diuji tegangan keluaran dari

voltage divider tersebut. Tabel 4.8 adalah hasil pengujian *voltage divider* menggunakan voltmeter:

Tabel 4 8 Tabel Pengujian *Voltage Divider*

No.	Vin(V)	Vout(V)		No.	Vin(V)	Vout(V)
1.	1	0		24.	115	2.45
2.	5	0.002		25.	120	2.56
3.	10	0.09		26.	125	2.68
4.	15	0.16		27.	130	2.8
5.	20	0.28		28.	135	2.91
6.	25	0.39		29.	140	3.03
7.	30	0.5		30.	145	3.15
8.	35	0.6		31.	150	3.26
9.	40	0.72		32.	155	3.38
10.	45	0.83		33.	160	3.5
11.	50	0.95		34.	165	3.62
12.	55	1.06		35.	170	3.74
13.	60	1.18		36.	175	3.83
14.	65	1.29		37.	180	3.98
15.	70	1.41		38.	185	4.09
16.	75	1.51		39.	190	4.2
17.	80	1.63		40.	195	4.32
18.	85	1.75		41.	200	4.43
19.	90	1.87		42.	205	4.55
20.	95	1.98		43.	210	4.66
21.	100	2.1		44.	215	4.79
22.	105	2.22		45.	220	4.92
23.	110	2.33				

Berdasarkan Tabel 4.8 data hasil pengukuran *voltage divider* yang telah di data dapat dibuat grafik berupa perbandingan tegangan *output* dengan tegangan *input*.

Gambar 4 11 Grafik Perbandingan Tegangan *Input* dan Tegangan *Output* pada *Voltage Divider*

Pengujian *voltage divider* dilakukan menggunakan dua tahap, tahap pertama seperti yang sudah dijelaskan dalam penjelasan di atas.

Tahap kedua adalah melakukan pengujian *voltage divider* tersebut melalui mikrokontroler dan dikeluarkan melalui LCD. Dimana memanfaatkan bagian ADC pada mikrokontroler itu sendiri.

Gambar 4 12 Pengujian *Voltage Divider* Menggunakan Mikrokontroler

Pengujian ini bertujuan untuk mengambil nilai linierisasi untuk keperluan sistem *closed loop*. Sistem closed loop memerlukan linierisasi hasil dari pengujian ini, dengan melihat nilai ADC dari tegangan keluaran *voltage divider*.

Gambar 4 13 Rangkaian Pengujian *Voltage Divider*

Pengujian pada voltage divider menggunakan fasilitas ADC pada mikrokontroler, tegangan *output* pada rangkaian pembagi tegangan ditampilkan pada LCD. Hasil yang ditampilkan pada LCD, berupa resolusi ADC. Hasil dari resolusi ADC dibuat pada Tabel 4.9.

Tabel 4 9 Tabel Pengujian *Voltage Divider* Menggunakan Mikrokontroler

No.	Vin(V)	Resolusi ADC		No.	Vin(V)	Resolusi ADC
1.	1	0		24.	115	390
2.	5	0		25.	120	401
3.	10	0		26.	125	421
4.	15	26		27.	130	450
5.	20	44		28.	135	479
6.	25	62		29.	140	491
7.	30	80		30.	145	510
8.	35	98		31.	150	536

No.	Vin(V)	Resolusi ADC		No.	Vin(V)	Resolusi ADC
9.	40	116		32.	155	551
10.	45	130		33.	160	571
11.	50	149		34.	165	590
12.	55	165		35.	170	615
13.	60	183		36.	175	630
14.	65	200		37.	180	649
15.	70	220		38.	185	668
16.	75	244		39.	190	690
17.	80	261		40.	195	704
18.	85	274		41.	200	729
19.	90	296		42.	205	746
20.	95	310		43.	210	763
21.	100	326		44.	215	781
22.	105	350		45.	220	796
23.	110	377		46.	225	814
47.	230	837		50.	245	904
48.	235	859		51.	250	927
49.	240	874				

Berdasarkan Tabel 4.9 data hasil pengukuran *voltage divider* yang telah di data dapat dibuat grafik berupa perbandingan tegangan *output* dengan resolusi ADC.

Gambar 4 14 Grafik Perbandingan Tegangan *Input* dengan Resolusi ADC

Berdasarkan Gambar 4.15 *voltage divider* modul *Automatic Voltage Regulator* disimpulkan tidak terlalu linier, atau bisa disebut memiliki error sebesar 0,0984%

4.4 Pengujian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan pada modul *Automatic Voltage Regulator* berfungsi sebagai pendeteksi arus eksitasi yang masuk ke modul generator sinkron.

Pada pengujian sensor arus, sensor arus yang diuji diberikan beban dan dihubungkan pada mikrokontroler sebagai pengendali sensor. Rangkaian untuk pengujian sensor arus seperti Gambar 4.17:

Gambar 4 15 Rangkaian Pengujian Sensor

Pada pengujian sensor arus digunakan beban berupa resistor lontong sebesar 65Ω (disesuaikan dengan keadaan beban sebenarnya pada Laboratorium Konversi Energi). Sumber tegangan pada pengujian sensor arus yaitu *power supply*. Untuk menguji besarnya arus yang dapat diukur oleh sensor arus, beban dialirkan tegangan *input* sebesar 24 volt. Dari pengujian yang dilakukan dapat diambil data seperti Tabel 4.10

Tabel 4 10 Hasil Pengukuran Sensor Arus

NO	Arus pada Amperemeter	Arus pada LCD
1	0.04	0.02
2	0.1	0.07
3	0.15	0.13
4	0.17	0.18
5	0.53	0.54
6	0.6	0.59
7	0.63	0.65
8	0.73	0.8
9	0.76	0.85
10	1.1	1.63

Dari data yang diambil pada saat pengukuran sensor arus, dapat dibuat grafik garis perbandingan antara hasil arus yang terukur pada sensor arus dan arus yang sebenarnya,

Pada Gambar 4.18 pengukuran sensor arus, didapatkan nilai arus yang terukur dan nilai arus yang sebenarnya hampir sama atau mendekati. Jadi dapat dikatakan bahwa sensor arus telah berhasil.

Gambar 4 16 Grafik Pengukuran Sensor Arus

4.5 Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan adalah pengujian dari keseluruhan sistem. Dimulai dari keluaran generator di proses melalui *voltage divider*, lalu masuk ke mikrokontroler. Data ADC yang diperoleh dari *voltage divider* diproses kembali oleh mikrokontroler dimana keluaran dari proses tersebut digunakan untuk mem-*boost* driver *boost converter*. *Boost converter* tersebut digunakan sebagai pemberi arus eksitasi ke dalam modul generator sehingga diharapkan menghasilkan tegangan *output* konstan sebesar 220 volt.

Pengujian modul *Automatic Voltage Regulator* seperti pada Gambar 4.19.

Pembebanan yang digunakan adalah beban resistif, dimana beban tersebut sudah ada di Laboratorium Konversi Energi.

Pengujian secara keseluruhan ini kami lakukan dengan dua tahap, tahap pertama yaitu pengujian secara *open loop* pengujian ini bertujuan untuk meyakinkan *boost converter* sudah berjalan dengan baik dan dapat menghasilkan tegangan sebesar 220 volt sebagaimana ketentuan *Automatic Voltage Regulator* sendiri. Tahap pertama pengujian ini

masih menggunakan penambahan *duty cycle* secara manual menggunakan *variable* resistor yang ada pada mikrokontroler. Tahap kedua adalah pengujian secara keseluruhan secara otomatis.

Gambar 4 17 Gambar Pengujian Secara Keseluruhan

Berikut adalah hasil pengujian tahap pertama menggunakan *variable* resistor:

Tabel 4 11 Tabel Pengujian Sistem *Open Loop*

Vout(V)	Iout(A)	Veks(V)	Ieks(A)	Kecepatan (RPM)	Duty Cycle (%)	Beban (%)
190	-	24	0.55	1500	0	0
190	-	24	0.58	1500	0	5
180	-	24	0.6	1500	0	10
180	-	24	0.6	1500	0	15
170	-	24	0.5	1500	0	20
155	-	24	0.55	1500	0	25
220	-	24	0.7	1500	18.4	0
220	0.24	30.57	0.78	1500	23.7	5

Vout(V)	Iout(A)	Veks(V)	Ieks(A)	Kecepatan (RPM)	Duty Cycle (%)	Beban (%)
220	0.29	32	0.8	1500	25	10
220	0.3	33.24	0.8	1500	27.8	15
220	0.39	41.3	0.98	1500	41.9	25

Pada pengujian sistem *open loop* pada Tabel 4.11 Vout (V) adalah tegangan keluaran dari generator dimana tegangan eksitasi dan arus eksitasi itu sendiri di dapat dari hasil keluaran *boost converter*. Dari hasil pengujian tersebut mengindikasikan bahwa sistem *open loop* telah berhasil dan bisa dikembangkan pada sistem *closed loop.*

Hasil pengujian sistem closed loop akan diperlihatkan melalui Tabel 4.12. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui keberhasilan seluruh sistem pada modul *Automatic Voltage Regulator*.

Tabel 4 12 Tabel Pengujian Sistem Closed Loop

Beban (%)	Veks(V)	Ieks(A)	Vout(V)	Pout(Watt)
0	-	-	6	0
0	32	0.75	237	0
5	33.2	0.79	236	140
10	34	0.8	235	299
15	35	0.82	234	425
20	36	0.85	231	560
25	37.2	0.86	226	700
30	38	0.91	222	850

Pengujian akhir dari sistem *closed loop* modul *Automatic Voltage Regulator* telah berhasil mengeluarkan tegangan output tidak kurang dari 220 volt.

Gambar 4.20 akan memperlihatkan hasil tegangan *output* dari pengujian sistem *closed loop*, dan tegangan output seharusnya sesuai dengan beban yang di pakai.

Gambar 4 18 Grafik Perbandingan Tegangan Sistem dengan Tegangan Ouptut Seharusnya

Pengujian sistem ini menunjukkan bahwa sistem ini belum dapat mempertahankan tegangan output generator secara konstan atau masih ada error sebesar 0.01%-1.07%.

BAB V
PENUTUP

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan alat serta pengujian dan analisa, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran dari kegiatan yang telah dilakukan untuk pengembangan Tugas Akhir ini**.**

5.1 Kesimpulan

Dari seluruh tahapan yang sudah dilaksanakan pada penyusunan Tugas Akhir ini, mulai dari studi *literature*, perancangan dan pembuatan sampai pada pengujiannya maka dapat disimpulkan bahwa:

- *Boost Converter* yang telah dibuat dan diuji coba mengalami *error* sebesar 1.925% sampai 8.675%.
- Sensor tegangan yang berupa voltage divider mempunyai *error* sebesar 0.0984%.
- Modul ini mengeluarkan arus eksitasi semakin besar setiap pertambahan beban sekitar 0.75-0.91
- Sistem *closed loop* yang telah dibuat dan diuji coba memiliki *error* sebesar 0.01%-1.07% dari tegangan konstan 220 volt yang diinginkan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menggunakan sistem *closed loop* memakai PID agar mendapatkan sistem kontrol yang lebih konstan. Menggunakan sensor tegangan berupa modul yang telah jadi, agar hasil yang terbaca oleh mikrokontroler lebih linier.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

[1] Purba H.AS , "Rancang Bangun AVR(*Auto Voltage Regulator)* Menggunakan *Chopper* Tipe *Boost Converter* pada Generator Satu Fasa 3kVA", *Tugas Akhir*, Universitas Riau KM 12.6 Panam, Pekanbaru, 2013.

[2] Setiawan, D. I. , "Simulasi dan Analisis Performansi *Automatic Voltaga Regulator*(AVR) Digital pada Generator", *Tugas Akhir,* Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2005.

[3] Andrianto. H. , "Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C(CodeVision AVR)", *Informatika*, Bandung, 2013.

[4] Winoto, A. , "Mikrokontroler ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C", *Informatika,*, Bandung, 2008.

[5] Adiyaksa, B. , "Sistem Mudah Belajar Elektronika", *Andi Yogyakarta*, Yogyakarta, 2010.

[6] Suwitno , "Bahan Ajar Elektronika Daya Lanjut", Teknik Elektro Universitas Riau., Pekanbaru, 2012.

[7] Kundur, P. , "*Power System Stability and Control*", McGraw-Hill, Inc, USA, 1993.

[8] Anderson, P. M., Fouad A. A. , "*Power System and Control Stability*", Iowa State University Press, USA, 1982.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN A

Gambar Alat Tampak Atas

Gambar Alat Bagian Dalam Box

Gambar Boost Converter

Gambar *Voltage Divider*

Gambar Sensor Arus

Gambar Pengujian Alat

Gambar Pengujian Alat di Laboratorium Elektronika Dasar

Gambar Pengujian Alat di Laboratorium Konversi Energi

LAMPIRAN B

Program Keseluruhan

```
/*******************************************************
This program was created by the
CodeWizardAVR V3.12 Advanced
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2014 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com

Project :
Version :
Date    : 5/18/2016
Author  :
Company :
Comments:


Chip type               : ATmega16
Program type            : Application
AVR Core Clock frequency: 16.000000 MHz
Memory model            : Small
External RAM size       : 0
Data Stack size         : 256
*******************************************************/

#include <mega16.h>

#include <delay.h>

#include <stdlib.h>

#include <alcd.h>

int ADCtegangan,tegangan,pwm,i,y,z;
float arus;
long offset;

char lcd_char[16];

// Declare your global variables here

// Voltage Reference: AVCC pin
#define ADC_VREF_TYPE ((0<<REFS1) | (1<<REFS0) | (0<<ADLAR))

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | ADC_VREF_TYPE;
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=(1<<ADSC);
// Wait for the AD conversion to complete
```

```
while ((ADCSRA & (1<<ADIF))==0);
ADCSRA|=(1<<ADIF);
return ADCW;
}
 void lcd() {
 lcd_clear();
  /*
  ADCtegangan = read_adc(3);
      itoa(ADCtegangan,lcd_char);
      lcd_clear();
      lcd_gotoxy(0,10);
      lcd_putsf("T:");
      lcd_puts(lcd_char);
     // delay_ms(100);
    */
 itoa(arus,lcd_char);
      lcd_gotoxy(0,0);
      lcd_putsf("I:");
      lcd_puts(lcd_char);
      lcd_putsf("mA");

 itoa(tegangan,lcd_char);
    lcd_gotoxy(10,0);
    lcd_putsf("V:");
    lcd_puts(lcd_char);
    lcd_putsf("V");

 itoa(pwm,lcd_char);
      lcd_gotoxy(0,1);
      lcd_putsf("DuC:");
      lcd_puts(lcd_char);
      lcd_putsf("%");
      //delay_ms(100);

}

void main(void)
{
// Declare your local variables here

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRA=(0<<DDA7) | (0<<DDA6) | (0<<DDA5) | (0<<DDA4) | (0<<DDA3) | (0<<DDA2) | (0<<DDA1) | (0<<DDA0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTA=(0<<PORTA7) | (0<<PORTA6) | (0<<PORTA5) | (0<<PORTA4) | (0<<PORTA3) | (0<<PORTA2) | (0<<PORTA1) | (0<<PORTA0);

// Port B initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRB=(0<<DDB7) | (0<<DDB6) | (0<<DDB5) | (0<<DDB4) | (0<<DDB3) | (0<<DDB2) | (0<<DDB1) | (0<<DDB0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) | (0<<PORTB4) | (0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) | (0<<PORTB0);

// Port C initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRC=(0<<DDC7) | (0<<DDC6) | (0<<DDC5) | (0<<DDC4) | (0<<DDC3) | (0<<DDC2) | (0<<DDC1) | (0<<DDC0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTC=(0<<PORTC7) | (0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) | (0<<PORTC4) | (0<<PORTC3) | (0<<PORTC2) | (0<<PORTC1) | (0<<PORTC0);

// Port D initialization
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=Out Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In Bit0=In
DDRD=(0<<DDD7) | (0<<DDD6) | (1<<DDD5) | (0<<DDD4) | (0<<DDD3) | (0<<DDD2) | (0<<DDD1) | (0<<DDD0);
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=0 Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) | (0<<PORTD4) | (0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) | (0<<PORTD1) | (0<<PORTD0);

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=(0<<WGM00) | (0<<COM01) | (0<<COM00) | (0<<WGM01) | (0<<CS02) | (0<<CS01) | (0<<CS00);
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 12000.000 kHz
// Mode: Ph. correct PWM top=0x00FF
// OC1A output: Non-Inverted PWM
// OC1B output: Disconnected
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer Period: 0.0425 ms
// Output Pulse(s):
// OC1A Period: 0.0425 ms Width: 0 us
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=(1<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (0<<COM1B1) | (0<<COM1B0) | (0<<WGM11) | (1<<WGM10);
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) | (0<<WGM12) | (0<<CS12) | (0<<CS11) | (1<<CS10);
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
```

```
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0<<AS2;
TCCR2=(0<<PWM2) | (0<<COM21) | (0<<COM20) | (0<<CTC2) | (0<<CS22) | (0<<CS21) | (0<<CS20);
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=(0<<OCIE2) | (0<<TOIE2) | (0<<TICIE1) | (0<<OCIE1A) | (0<<OCIE1B) | (0<<TOIE1) | (0<<OCIE0) | (0<<TOIE0);

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=(0<<ISC11) | (0<<ISC10) | (0<<ISC01) | (0<<ISC00);
MCUCSR=(0<<ISC2);

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=(0<<RXCIE) | (0<<TXCIE) | (0<<UDRIE) | (0<<RXEN) | (0<<TXEN) | (0<<UCSZ2) | (0<<RXB8) | (0<<TXB8);

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// The Analog Comparator's positive input is
// connected to the AIN0 pin
// The Analog Comparator's negative input is
// connected to the AIN1 pin
ACSR=(1<<ACD) | (0<<ACBG) | (0<<ACO) | (0<<ACI) | (0<<ACIE) | (0<<ACIC) | (0<<ACIS1) | (0<<ACIS0);

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 750.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// ADC Auto Trigger Source: ADC Stopped
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=(1<<ADEN) | (0<<ADSC) | (0<<ADATE) | (0<<ADIF) | (0<<ADIE) | (1<<ADPS2) | (0<<ADPS1) | (0<<ADPS0);
SFIOR=(0<<ADTS2) | (0<<ADTS1) | (0<<ADTS0);

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=(0<<SPIE) | (0<<SPE) | (0<<DORD) | (0<<MSTR) | (0<<CPOL) | (0<<CPHA) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=(0<<TWEA) | (0<<TWSTA) | (0<<TWSTO) | (0<<TWEN) | (0<<TWIE);

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
```

```
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);
OCR1A=0;
     i=0; offset=0;y=0;
for (i=0;i<2000;i++)
    {
    y = read_adc(5);
     offset=offset+y;
     delay_ms(1);
    };
    offset=offset/2000;

    offset=512-offset;

    arus=0.0;
while (1)
      {
      y =512-( read_adc(5)+offset);
      arus=((float)y*5.0/1023.0);
      arus=(arus/0.185*1000);
      if (arus<0)
    {
      arus=0;
    };
     if (OCR1A<=0)
      {
      OCR1A=0;
      };
    if (OCR1A>124)
      {
      OCR1A=124;
      };


      tegangan = (read_adc(3)*0.233275604)-7.360451315;
      if(tegangan<0)
      {
        tegangan=0;
      };

      if(tegangan<210)
      {
        OCR1A=OCR1A+1;
      }
      if(tegangan>220)
      {
        if (OCR1A==0){
        OCR1A=0;}
        else{
        OCR1A=OCR1A-1;};
      }


      pwm=((OCR1A*100)/255);
//      sprintf(lcd_char,"%.2f",arus);
      z=z+1;
      if (z==1000) {lcd();z=0;

    };
            delay_us(200);
      }

      }
```

LAMPIRAN C

1. *Datasheet* ATmega16

Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions - Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 1 MIPS throughput per MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- Data and Non-Volatile Program Memory
  - 16/32/64K Bytes Flash of In-System Programmable Program Memory
  - 512B/1K/2K Bytes of In-System Programmable EEPROM
  - 1/2/4K Bytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/ 100,000 EEPROM
  - Data Retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C[1]
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Flash Program and EEPROM Data Security
- On Chip Debug Interface (debugWIRE)
- CAN 2.0A/B with 6 Message Objects - ISO 16845 Certified
- LIN 2.1 and 1.3 Controller or 8-Bit UART
- One 12-bit High Speed PSC (Power Stage Controller)
  - Non Overlapping Inverted PWM Output Pins With Flexible Dead-Time
  - Variable PWM duty Cycle and Frequency
  - Synchronous Update of all PWM Registers
  - Auto Stop Function for Emergency Event
- Peripheral Features
  - One 8-bit General purpose Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode
  - One 16-bit General purpose Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode
  - One Master/Slave SPI Serial Interface
  - 10-bit ADC
    - Up To 11 Single Ended Channels and 3 Fully Differential ADC Channel Pairs
    - Programmable Gain (5x, 10x, 20x, 40x) on Differential Channels
    - Internal Reference Voltage
    - Direct Power Supply Voltage Measurement
  - 10-bit DAC for Variable Voltage Reference (Comparators, ADC)
  - Four Analog Comparators with Variable Threshold Detection
  - 100µA ±2% Current Source (LIN Node Identification)
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-Chip Oscillator
  - On-chipTemperature Sensor
- Special Microcontroller Features
  - Low Power Idle, Noise Reduction, and Power Down Modes
  - Power On Reset and Programmable Brown Out Detection
  - In-System Programmable via SPI Port
  - High Precision Crystal Oscillator for CAN Operations (16MHz)
  - Internal Calibrated RC Oscillator (8MHz)
  - On-chip PLL for fast PWM (32MHz, 64MHz) and CPU (16MHz)
- Operating Voltage: 2.7V - 5.5V
- Extended Operating Temperature:
  - -40°C to +85°C
- Core Speed Grade:
  - 0 - 8MHz @ 2.7 - 4.5V
  - 0 - 16MHz @ 4.5 - 5.5V

8-bit AVR® Microcontroller with 16/32/64K Bytes In-System Programmable Flash

ATmega16M1
ATmega32M1
ATmega64M1

Preliminary Summary

8209C8-AVR-11/10

1. Pin Configurations

Figure 1-1. ATmega16M1/32M1/64M1 TQFP32/QFN32 (7 x 7 mm) Package.

1.1 Pin Descriptions

Table 1-1. Pinout description

QFN32 Pin Number	Mnemonic	Type	Name, Function & Alternate Function
5	GND	Power	Ground: 0V reference
20	AGND	Power	Analog Ground: 0V reference for analog part
4	VCC	Power	Power Supply
19	AVCC	Power	Analog Power Supply: This is the power supply voltage for analog part For a normal use this pin must be connected
21	APEF	Power	Analog Reference: reference for analog converter. This is the reference voltage of the A/D converter. As output, can be used by external analog ISRC (Current Source Output)
8	PB0	I/O	MISO (SPI Master In Slave Out) PSCOUT2A[1] (PSC Module 2 Output A) PCINT0 (Pin Change Interrupt 0)
9	PB1	I/O	MOSI (SPI Master Out Slave In) PSCOUT2B[1] (PSC Module 2 Output B) PCINT1 (Pin Change Interrupt 1)
16	PB2	I/O	ADC5 (Analog Input Channel 5) INT1 (External Interrupt 1 Input) ACMPN0 (Analog Comparator 0 Negative Input) PCINT2 (Pin Change Interrupt 2)
23	PB3	I/O	AMP0- (Analog Differential Amplifier 0 Negative Input) PCINT3 (Pin Change Interrupt 3)
24	PB4	I/O	AMP0+ (Analog Differential Amplifier 0 Positive Input) PCINT4 (Pin Change Interrupt 4)
26	PB5	I/O	ADC6 (Analog Input Channel 6) INT2 (External Interrupt 2 Input) ACMPN1 (Analog Comparator 1 Negative Input) AMP2- (Analog Differential Amplifier 2 Negative Input) PCINT5 (Pin Change Interrupt 5)
27	PB6	I/O	ADC7 (Analog Input Channel 7) PSCOUT1B[1] (PSC Module 1 Output A) PCINT6 (Pin Change Interrupt 6)
28	PB7	I/O	ADC4 (Analog Input Channel 4) PSCOUT0B[1] (PSC Module 0 Output B) SCK (SPI Clock) PCINT7 (Pin Change Interrupt 7)
30	PC0	I/O	PSCOUT1A[1] (PSC Module 1 Output A) INT3 (External Interrupt 3 Input) PCINT8 (Pin Change Interrupt 8)

Table 1-1. Pinout description (Continued)

QFN32 Pin Number	Mnemonic	Type	Name, Function & Alternate Function
3	PC1	I/O	PSCIN1 (PSC Digital Input 1) OC1B (Timer 1 Output Compare B) SS_A (Alternate SPI Slave Select) PCINT9 (Pin Change Interrupt 9)
6	PC2	I/O	T0 (Timer 0 clock input) TXCAN (CAN Transmit Output) PCINT10 (Pin Change Interrupt 10)
7	PC3	I/O	T1 (Timer 1 clock input) RXCAN (CAN Receive Input) ICP1B (Timer 1 input capture alternate B input) PCINT11 (Pin Change Interrupt 11)
17	PC4	I/O	ADC8 (Analog Input Channel 8) AMP1- (Analog Differential Amplifier 1 Negative Input) ACMPN3 (Analog Comparator 3 Negative Input) PCINT12 (Pin Change Interrupt 12)
18	PC5	I/O	ADC9 (Analog Input Channel 9) AMP1+ (Analog Differential Amplifier 1 Positive Input) ACMP3 (Analog Comparator 3 Positive Input) PCINT13 (Pin Change Interrupt 13)
22	PC6	I/O	ADC10 (Analog Input Channel 10) ACMP1 (Analog Comparator 1 Positive Input) PCINT14 (Pin Change Interrupt 14)
25	PC7	I/O	D0A (DAC output) AMP2+ (Analog Differential Amplifier 2 Positive Input) PCINT15 (Pin Change Interrupt 15)
29	PD0	I/O	PSCOUT0A[1] (PSC Module 0 Output A) PCINT16 (Pin Change Interrupt 16)
32	PD1	I/O	PSCIN0 (PSC Digital Input 0) CLKO (System Clock Output) PCINT17 (Pin Change Interrupt 17)
1	PD2	I/O	OC1A (Timer 1 Output Compare A) PSCIN2 (PSC Digital Input 2) MISO_A (Programming & alternate SPI Master In Slave Out) PCINT18 (Pin Change Interrupt 18)
2	PD3	I/O	TXD (UART Tx data) TXLIN (LIN Transmit Output) OC0A (Timer 0 Output Compare A) SS (SPI Slave Select) MOSI_A (Programming & alternate Master Out SPI Slave In) PCINT19 (Pin Change Interrupt 19)

Table 1-1. Pinout description (Continued)

QFN32 Pin Number	Mnemonic	Type	Name, Function & Alternate Function
12	PD4	I/O	ADC1 (Analog Input Channel 1) RXD (UART Rx data) RXLIN (LIN Receive Input) ICP1A (Timer 1 Input capture alternate A input) SCK_A (Programming & alternate SPI Clock) PCINT20 (Pin Change Interrupt 20)
13	PD5	I/O	ADC2 (Analog Input Channel 2) ACMP2 (Analog Comparator 2 Positive Input) PCINT21 (Pin Change Interrupt 21)
14	PD6	I/O	ADC3 (Analog Input Channel 3) ACMPN2 (Analog Comparator 2 Negative Input) INT0 (External Interrupt 0 Input) PCINT22 (Pin Change Interrupt 22)
15	PD7	I/O	ACMP0 (Analog Comparator 0 Positive Input) PCINT23 (Pin Change Interrupt 23)
31	PG3	I/O or I	RESET (Reset Input) OCD (On Chip Debug I/O) PCINT24 (Pin Change Interrupt 24)
10	PE1	I/O	XTAL1 (XTAL Input) OC0B (Timer 0 Output Compare B) PCINT25 (Pin Change Interrupt 25)
11	PE2	I/O	XTAL2 (XTAL Output) ADC0 (Analog Input Channel 0) PCINT26 (Pin Change Interrupt 26)

Note: 1. Only for Atmega32M1/64M1
2. On the engineering samples, the ACMPN3 alternate function is not located on PC4. It is located on PE2

2. Overview

The ATmega16M1/32M1/64M1 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 ATmega16M1/32M1/64M1 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. 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 ATmega16M1/32M1/64M1 provides the following features: 16/32/64K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 512B/1K/2K bytes EEPROM, 1/2/4K bytes SRAM, 27 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, one Motor Power Stage Controller, two flexible Timer/Counters with compare modes and PWM, one UART with HW LIN, an 11-channel 10-bit ADC with two differential input stages with programmable gain, a 10-bit DAC, a programmable Watchdog Timer with Internal Individual Oscillator, an SPI serial port, an On-chip Debug system and four software selectable power saving modes.

The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI ports, CAN, LIN/UART and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or Hardware Reset. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except 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.

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 ATmega16M1/32M1/64M1 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega16M1/32M1/64M1 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.

2.2 Pin Descriptions

2.2.1 VCC

Digital supply voltage.

2.2.2 GND

Ground.

2.2.3 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 ATmega16M1/32M1/64M1 as listed on page 70.

2.2.4 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.

Port C also serves the functions of special features of the ATmega16M1/32M1/64M1 as listed on page 74.

2.2.5 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 ATmega16M1/32M1/64M1 as listed on page 78.

2.2.6 Port E (PE2..0) RESET/ XTAL1/XTAL2

Port E is an 3-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port E output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port E pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port E pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PE0 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PE0 differ from those of the other pins of Port E.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PE0 is used as a 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 "System and Reset Characteristics" on page 311. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

Depending on the clock selection fuse settings, PE1 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PE2 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

The various special features of Port E are elaborated in "Alternate Functions of Port E" on page 81 and "Clock Systems and their Distribution" on page 27.

2.2.7 AVCC

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

2.2.8 AREF

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

3. Resources

A comprehensive set of development tools, application notes and datasheets are available for download on http://www.atmel.com/avr.

4. About Code Examples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. 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.

These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. For I/O registers located in extended I/O map, "IN", "OUT", "SBIS", "SBIC", "CBI", and "SBI" instructions must be replaced with instructions that allow access to extended I/O. Typically "LDS" and "STS" combined with "SBRS", "SBRC", "SBR", and "CBR".

5. Data Retention

Reliability Qualification results show that the projected data retention failure rate is much less than 1 PPM over 20 years at 85°C or 100 years at 25°C.

6. Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0xFF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFD)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFC)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFB)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xFA)	CANMOB	MOB 7	MOB 6	MOB 5	MOB 4	MOB 3	MOB 2	MOB 1	MOB 0	196
(0xF9)	CANTIMH	TIMTM15	TIMTM14	TIMTM13	TIMTM12	TIMTM11	TIMTM10	TIMTM9	TIMTM8	196
(0xF8)	CANTIML	TIMTM7	TIMTM6	TIMTM5	TIMTM4	TIMTM3	TIMTM2	TIMTM1	TIMTM0	196
(0xF7)	CANIDM4	IDMSK28	IDMSK27	IDMSK26	IDMSK25	IDMSK24	IDMSK23	IDMSK22	IDMSK21	196
(0xF6)	CANIDM3	IDMSK20	IDMSK19	IDMSK18	IDMSK17	IDMSK16	IDMSK15	IDMSK14	IDMSK13	196
(0xF5)	CANIDM2	IDMSK12	IDMSK11	IDMSK10	IDMSK9	IDMSK8	IDMSK7	IDMSK6	IDMSK5	196
(0xF4)	CANIDM1	IDMSK4	IDMSK3	IDMSK2	IDMSK1	IDMSK0	RTRMSK	-	IDEMSK	196
(0xF3)	CANIDT4	IDT28	IDT27	IDT26	IDT25	IDT24	IDT23	IDT22	IDT21	192
(0xF2)	CANIDT3	IDT20	IDT19	IDT18	IDT17	IDT16	IDT15	IDT14	IDT13	192
(0xF1)	CANIDT2	IDT12	IDT11	IDT10	IDT9	IDT8	IDT7	IDT6	IDT5	192
(0xF0)	CANIDT1	IDT4	IDT3	IDT2	IDT1	IDT0	RTRTAG	RB1TAG	RB0TAG	192
(0xEF)	CANCDMOB	CONMOB1	CONMOB0	RPLV	IDE	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0	191
(0xEE)	CANSTMOB	DLCW	TXOK	RXOK	BERR	SERR	CERR	FERR	AERR	193
(0xED)	CANPAGE	MOBNB3	MOBNB2	MOBNB1	MOBNB0	AINC	INDX2	INDX1	INDX0	190
(0xEC)	CANHPMOB	HPMOB3	HPMOB2	HPMOB1	HPMOB0	CGP3	CGP2	CGP1	CGP0	189
(0xEB)	CANREC	REC7	REC6	REC5	REC4	REC3	REC2	REC1	REC0	189
(0xEA)	CANTEC	TEC7	TEC6	TEC5	TEC4	TEC3	TEC2	TEC1	TEC0	189
(0xE9)	CANTTCH	TMTTC15	TMTTC14	TMTTC13	TMTTC12	TMTTC11	TMTTC10	TMTTC9	TMTTC8	189
(0xE8)	CANTTCL	TMTTC7	TMTTC6	TMTTC5	TMTTC4	TMTTC3	TMTTC2	TMTTC1	TMTTC0	189
(0xE7)	CANTWH	CANTWF8	CANTWF4	CANTWF3	CANTWF2	CANTWF1	CANTWF0	CANTWR	CANTWR	189
(0xE6)	CANTWL	CANTWT	CANTWE	CANTWS	CANTWN	CANTWB	CANTWU	CANTWT	CANTWO	189
(0xE5)	CANTCON	TPRSC7	TPRSC6	TPRSC5	TPRSC4	TPRSC3	TPRSC2	TPRSC1	TPRSC0	188
(0xE4)	CANBT3	-	PHS2	PHS21	PHS20	PHS13	PHS12	PHS11	PHS10	188
(0xE3)	CANBT2	-	SJW1	SJW0	-	PRS2	PRS1	PRS0	-	187
(0xE2)	CANBT1	-	BRP6	BRP5	BRP4	BRP3	BRP2	BRP1	BRP0	186
(0xE1)	CANSIT1	-	-	-	-	-	-	-	-	186
(0xE0)	CANEIT	-	-	-	IT5	IT4	IT3	IT2	IT1	186
(0xDF)	CANIE1	-	-	-	-	-	-	-	-	186
(0xDE)	CANIE2	-	-	IEMOB5	IEMOB4	IEMOB3	IEMOB2	IEMOB1	IEMOB0	186
(0xDD)	CANEN1	-	-	-	-	-	-	-	-	186
(0xDC)	CANEN2	-	-	ENMOB5	ENMOB4	ENMOB3	ENMOB2	ENMOB1	ENMOB0	186
(0xDB)	CANGIE	ENIT	ENBOFF	ENRX	ENTX	ENERR	ENBX	ENERG	ENOVRT	184
(0xDA)	CANGIT	CAIT	BOFFIT	OVRTIM	BXOK	BERR	CERR	FERR	AERR	183
(0xD9)	CANBDT3	-	DWG	-	TSEY	PSWBY	SYNFG	SOFF	SYNFF	182
(0xD8)	CANGCON	ABRQ	OVRQ	TTC	SYNTTC	LISTEN	TEST	ENASTB	SWRES	181
(0xD7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD6)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD5)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD4)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xD2)	LINDAT	LDATA7	LDATA6	LDATA5	LDATA4	LDATA3	LDATA2	LDATA1	LDATA0	220
(0xD1)	LINSEL	-	-	-	-	AINC	LINDX2	LINDX1	LINDX0	220
(0xD0)	LINBRR	LP1	LP0	LDIV11/LDL1	LDIV10/LDL0	LDIV9	LDIV8	LDIV7	LDIV6	221
(0xCF)	LINDLR	LTXDL3	LTXDL2	LTXDL1	LTXDL0	LRXDL3	LRXDL2	LRXDL1	LRXDL0	221
(0xCE)	LINBRRH	-	-	-	-	LDIV11	LDIV10	LDIV9	LDIV8	220
(0xCD)	LINBRRL	LDIV7	LDIV6	LDIV5	LDIV4	LDIV3	LDIV2	LDIV1	LDIV0	220
(0xCC)	LINBTR	LDISR	-	LBT5	LBT4	LBT3	LBT2	LBT1	LBT0	220
(0xCB)	LINERR	LABORT	LTOERR	LOVERR	LFERR	LSERR	LPERR	LCERR	LBERR	219
(0xCA)	LINENIR	-	-	-	-	LENERR	LENCOK	LENTXOK	LENRXOK	219
(0xC9)	LINSIR	LDISTO	LIDST1	LIDST0	LSMPY	LERR	LIDOK	LTXOK	LRXOK	217
(0xC8)	LINCR	LENRQS	LSES	LCONF1	LCONF0	LENA	LCMD3	LCMD2	LCMD0	216
(0xC7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC6)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC5)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC4)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC2)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC1)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xC0)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0xBF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0x8E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x8D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x8C)[2]	PEFE	-	-	-	-	PEIE3	PEIE1	PEIE0	PEOPE	152
(0x8B)[2]	PEI	-	-	-	-	PEVE3	PEVE1	PEVE0	PEOPE	151
(0x8A)[2]	PMCI	PDVEN3	PMEN3	PELEN3	PFLTE3	PMCC3	PRFM3	PRFM31	PRFM30	153
(0x89)[2]	PMCI	PDVEN1	PMEN1	PELEN1	PFLTE1	PMCC1	PRFM1	PRFM11	PRFM10	153
(0x88)[2]	PMC0	PDVEN0	PMEN0	PELEN0	PFLTE0	PMCC0	PRFM0	PRFM00	PRFM00	153
(0x87)[2]	PCTL	PPRE1	PPRE0	PCLKSEL	-	-	-	PCCKC	PRUN	150
(0x86)[2]	PCC	-	-	PDEN39	PDEN38	PDEN37	PDEN36	PDEN35	PDEN34	149
(0x85)[2]	PCNF	-	-	PALDCK	PMODE	PDPS	PDPA	-	-	149
(0x84)[2]	PREVNC	-	-	PREVNC31	PREVNC30	PREVNC11	PREVNC10	PREVNC01	PREVNC00	147
(0x83)[2]	PCCR_RBH	-	-	-	-	PCCR_RB11	PCCR_RB10	PCCR_RB9	PCCR_RB8	149
(0x82)[2]	PCCR_RBL	PCCR_RB7	PCCR_RB6	PCCR_RB5	PCCR_RB4	PCCR_RB3	PCCR_RB2	PCCR_RB1	PCCR_RB0	149
(0x81)[2]	PCCR0BH	-	-	-	-	PCCR0B11	PCCR0B10	PCCR0B9	PCCR0B8	149
(0x80)[2]	PCCR0BL	PCCR0B7	PCCR0B6	PCCR0B5	PCCR0B4	PCCR0B3	PCCR0B2	PCCR0B1	PCCR0B0	149
(0x7F)[2]	PCCR0AH	-	-	-	-	PCCR0A11	PCCR0A10	PCCR0A9	PCCR0A8	149
(0x7E)[2]	PCCR0AL	PCCR0A7	PCCR0A6	PCCR0A5	PCCR0A4	PCCR0A3	PCCR0A2	PCCR0A1	PCCR0A0	149
(0x7D)[2]	PCCR0BAH	-	-	-	-	PCCR0BA11	PCCR0BA10	PCCR0BA9	PCCR0BA8	149
(0x7C)[2]	PCCR0BAL	PCCR0BA7	PCCR0BA6	PCCR0BA5	PCCR0BA4	PCCR0BA3	PCCR0BA2	PCCR0BA1	PCCR0BA0	149
(0x7B)[2]	PCCR0BBH	-	-	-	-	PCCR0BB11	PCCR0BB10	PCCR0BB9	PCCR0BB8	149
(0x7A)[2]	PCCR0BBL	PCCR0BB7	PCCR0BB6	PCCR0BB5	PCCR0BB4	PCCR0BB3	PCCR0BB2	PCCR0BB1	PCCR0BB0	149
(0x79)[2]	PCCR1AH	-	-	-	-	PCCR1A11	PCCR1A10	PCCR1A9	PCCR1A8	149
(0x78)[2]	PCCR1AL	PCCR1A7	PCCR1A6	PCCR1A5	PCCR1A4	PCCR1A3	PCCR1A2	PCCR1A1	PCCR1A0	149
(0x77)[2]	PCCR1BAH	-	-	-	-	PCCR1BA11	PCCR1BA10	PCCR1BA9	PCCR1BA8	149
(0x76)[2]	PCCR1BAL	PCCR1BA7	PCCR1BA6	PCCR1BA5	PCCR1BA4	PCCR1BA3	PCCR1BA2	PCCR1BA1	PCCR1BA0	149
(0x75)[2]	PCCR1BBH	-	-	-	-	PCCR1BB11	PCCR1BB10	PCCR1BB9	PCCR1BB8	149
(0x74)[2]	PCCR1BBL	PCCR1BB7	PCCR1BB6	PCCR1BB5	PCCR1BB4	PCCR1BB3	PCCR1BB2	PCCR1BB1	PCCR1BB0	149
(0x73)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x72)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x71)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x70)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x6F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x6E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x6D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x6C)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x6B)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x6A)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x69)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x68)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x67)	ACSCON	ACSEN	ACSIE	ACSIS1	ACSIS0	-	ACSMD	ACSHS	ACSMO	266
(0x66)	ACSCON	ACSEN	ACSIE	ACSIS1	ACSIS0	-	ACSMD	ACSHS	ACSMO	266
(0x65)	ACSCON	ACSEN	ACSIE	ACSIS1	ACSIS0	ACSICE	ACSMD	ACSHS	ACSMO	267
(0x64)	ACSCON	ACSEN	ACSIE	ACSIS1	ACSIS0	ACSICE	ACSMD	ACSHS	ACSMO	268
(0x63)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x62)	DACK	x/DACK	x/DACK	x/DACT	x/DACK	x/DACK	x/DACK	DACK1/DACT	DACK1/DACT	268
(0x61)	DACL	DACT1/DACT	DACK/DACK	DACK1/x	DACK/x	DACK1/x	DACT/x	DACT1/x	DACK/	268
(0x60)	DACON	DAATE	DATE0	DATE1	DATS0	-	DALA	DAOE	DAEN	268
(0x5F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x5E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x5D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x5C)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x5B)	OCR1BH	OCR1B15	OCR1B14	OCR1B13	OCR1B12	OCR1B11	OCR1B10	OCR1B9	OCR1B8	127
(0x5A)	OCR1BL	OCR1B7	OCR1B6	OCR1B5	OCR1B4	OCR1B3	OCR1B2	OCR1B1	OCR1B0	127
(0x59)	OCR1AH	OCR1A15	OCR1A14	OCR1A13	OCR1A12	OCR1A11	OCR1A10	OCR1A9	OCR1A8	127
(0x58)	OCR1AL	OCR1A7	OCR1A6	OCR1A5	OCR1A4	OCR1A3	OCR1A2	OCR1A1	OCR1A0	127
(0x57)	ICR1H	ICR1B	ICR1A	ICR1S	ICR1A	ICR1S	ICR1B	ICR1B	ICR1A	126
(0x56)	ICR1L	ICR1	ICR1	ICR1S	ICR1S	ICR1S	ICR1	ICR1	ICR1S	126
(0x55)	TCNT1H	TCNT1H6	TCNT1H4	TCNT1H3	TCNT1H2	TCNT1H1	TCNT1H0	TCNT1H	TCNT1H	127
(0x54)	TCNT1L	TCNT1F	TCNT1E	TCNT1D	TCNT1C	TCNT1B	TCNT1A	TCNT1	TCNT1S	127
(0x53)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x52)	TCCR1C	FOC1A	FOC1B	-	-	-	-	-	-	126
(0x51)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	126
(0x50)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	-	-	WGM11	WGM10	123
(0x7F)	ADRH	-	AMPOPD	ADHPSD	AMPSPD	AMPEND	ADC100	ADCSD	ADCSD	246
(0x7E)	ADRH	ADC10	ADC9	ADC8	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADC9	246
(0x7D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0x7C)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	-	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	242
(0x7B)	ADCSRB	ACME	-	ADTS3	ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADTS2	ADTS0	244
(0x7A)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	243
(0x79)	ADCH	x1 / ADC9	x1 / ADC8	x1 / ADC7	x1 / ADC6	x1 / ADC5	x1 / ADC4	ADC3 / ADC3	ADC2 / ADC2	246
(0x78)	ADCL	ADC1 / ADC1	ADC0 / ADC0	ADC3 / x	ADC2 / x	ADC1 / x	ADC0 / x	ADC1 / x	ADC0 /	246
(0x77)	AMPCSR	AMPEN	AMPCM	AMPG2	AMPG1	AMPG0	AMPCMP3	AMPTS2	AMPTS1	AMPTS0	248
(0x76)	AMP1CSR	AMP1EN	AMP1IS	AMP1G2	AMP1G1	AMP1G0	AMPCMP1	AMP1TS2	AMP1TS1	AMP1TS0	248
(0x75)	AMP0CSR	AMP0EN	AMP0IS	AMP0G2	AMP0G1	AMP0G0	AMPCMP0	AMP0TS2	AMP0TS1	AMP0TS0	247
(0x74)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x73)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x72)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x71)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x70)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x6F)	TIMSK1	-	-	ICIE1	-	-	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	139
(0x6E)	TIMSK0	-	-	-	-	-	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0	109
(0x6D)	PCMSK3	-	-	-	-	-	PCINT26	PCINT25	PCINT24	63
(0x6C)	PCMSK2	PCINT23	PCINT22	PCINT21	PCINT20	PCINT19	PCINT18	PCINT17	PCINT16	63
(0x6B)	PCMSK1	PCINT15	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	63
(0x6A)	PCMSK0	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	63
(0x69)	EICRA	ISC21	ISC20	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	ISC20	ISC20	65
(0x68)	PCICR	-	-	-	-	PCIE3	PCIE2	PCIE1	PCIE0	61
(0x67)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x66)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x65)	OSCCAL	-	CAL6	CAL5	CAL4	CAL3	CAL2	CAL1	CAL0	34
(0x64)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x63)	PRR	-	PRCAN	PRPSC	PRTIM1	PRTIM0	PRSPI	PRUSART	PRADC	41
(0x62)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x61)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
(0x60)	CLKPR	CLKPCE	-	-	-	CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	36
(0x5F)	WDTCSR	WDIF	WDIE	WDP3	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	63
0x3F (0x5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	11
0x3E (0x5E)	SPH	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	14
0x3D (0x5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	14
0x3C (0x5C)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x3B (0x5B)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x3A (0x5A)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x39 (0x59)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x38 (0x58)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x37 (0x57)	SPMCSR	SPMIE	RWWSB	-	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	276
0x36 (0x56)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x35 (0x55)	MCUCR	BPPB	-	-	PUD	-	-	IVSEL	IVCE	37 & 63
0x34 (0x54)	MCUSR	-	-	-	-	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	53
0x33 (0x53)	SMCR	-	-	-	SM2	SM1	SM0	SE		37
0x32 (0x52)	MSMCR	Monitor Flow Main Control Register								reserved
0x31 (0x51)	MCMCR	Monitor Data Register								reserved
0x30 (0x50)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	248
0x2F (0x2F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x2E (0x2E)	SPDR	SPD7	SPD6	SPD5	SPD4	SPD3	SPD2	SPD1	SPD0	150
0x2D (0x2D)	SPSR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X	151
0x2C (0x2C)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	149
0x2B (0x2B)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x2A (0x2A)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x29 (0x29)	PLLCSR	-	-	-	-	-	PLLF	PLLE	PLOCK	38
0x28 (0x28)	OCR0B	OCR0B7	OCR0B6	OCR0B5	OCR0B4	OCR0B3	OCR0B2	OCR0B1	OCR0B0	109
0x27 (0x27)	OCR0A	OCR0A7	OCR0A6	OCR0A5	OCR0A4	OCR0A3	OCR0A2	OCR0A1	OCR0A0	109
0x26 (0x26)	TCNT0	TCNT07	TCNT06	TCNT05	TCNT04	TCNT03	TCNT02	TCNT01	TCNT00	109
0x25 (0x25)	TCCR0B	FOC0A	FOC0B	-	-	WGM02	CS02	CS01	CS00	108
0x24 (0x24)	TCCR0A	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	-	-	WGM01	WGM00	96
0x23 (0x23)	GTCCR	TSM	PSRSYNC	-	-	-	-	-	PSRSYNC	130
0x22 (0x22)	EEARH	-	-	-	-	-	-	EEAR9	EEAR8	22
0x21 (0x21)	EEARL	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0	22
0x20 (0x20)	EEDR	EEDR7	EEDR6	EEDR5	EEDR4	EEDR3	EEDR2	EEDR1	EEDR0	22
0x1F (0x1F)	EECR	-	-	-	-	EEPM1	EEPM0	EEPIE	EERE	22
0x1E (0x3E)	GPIOR0	GPIOR07	GPIOR06	GPIOR05	GPIOR04	GPIOR03	GPIOR02	GPIOR01	GPIOR00	24
0x1D (0x3D)	EIMSK	-	-	-	-	INT3	INT2	INT1	INT0	62
0x1C (0x3C)	EIFR	-	-	-	-	INTF3	INTF2	INTF1	INTF0	61

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x19 (0x39)	PCIFR	-	-	-	-	PCIF3	PCIF2	PCIF1	PCIF0	62
0x18 (0x38)	EIFR2	GPIOR27	GPIOR26	GPIOR25	GPIOR24	GPIOR23	GPIOR22	GPIOR21	GPIOR20	26
0x18 (0x38)	EIFR1	GPIOR17	GPIOR16	GPIOR15	GPIOR14	GPIOR13	GPIOR12	GPIOR11	GPIOR10	26
0x16 (0x36)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x17 (0x37)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x16 (0x36)	TIFR1	-	-	ICF1	-	-	OCF1B	OCF1A	TOV1	129
0x15 (0x35)	TIFR0	-	-	-	-	-	OCF0B	OCF0A	TOV0	100
0x14 (0x34)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x13 (0x33)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x12 (0x32)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x11 (0x31)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0x10 (0x30)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0xFF (0x2F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0xFE (0x2E)	PORTE	-	-	-	-	-	PORTE2	PORTE1	PORTE0	64
0xFD (0x2D)	DDRE	-	-	-	-	-	DDE2	DDE1	DDE0	64
0xFC (0x2C)	PINE	-	-	-	-	-	PINE2	PINE1	PINE0	64
0xFB (0x2B)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	64
0xFA (0x2A)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	64
0xF9 (0x29)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	64
0xF8 (0x28)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	63
0xF7 (0x27)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	63
0xF6 (0x26)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	63
0xF5 (0x25)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	63
0xF4 (0x24)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	63
0xF3 (0x23)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	63
0xF2 (0x22)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0xF1 (0x21)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	
0xF0 (0x20)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-	

Note:
1. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written
2. I/O Registers within the address range 0x00 - 0x1F are directly bit-accessable using the SBI and CBI instructions. In these registers, the value of single bits can be checked by using the SBIS and SBIC instructions
3. Some of the status flags are cleared by writing a logical one to them. Note that, unlike most other AVRs, the CBI and SBI instructions will only operate on the specified bit, and can therefore be used on registers containing such status flags. The CBI and SBI instructions work with registers 0x00 to 0x1F only
4. When using the I/O specific commands IN and OUT, the I/O addresses 0x00 - 0x3F must be used. When addressing I/O Registers as data space using LD and ST instructions, 0x20 must be added to these addresses. The ATmega16M1/32M1/64M1 is a complex microcontroller with more peripheral units than can be supported within the 64 location reserved in Opcode for the IN and OUT instructions. For the Extended I/O space from 0x60 - 0xFF in SRAM, only the ST/STS/STD and LD/LDS/LDD instructions can be used
5. These registers are only available on ATmega32/64M1. For other products described in this datasheet, these locations are reserved

7. Errata

7.1 Errata ATmega16M1

The revision letter in this section refers to revisions of the ATmega16M1 device.

7.1.1 Rev. A

Not sampled.

7.2 Errata ATmega32M1

The revision letter in this section refers to revisions of the ATmega32M1 device.

7.2.1 Rev. A

Not sampled.

7.3 Errata ATmega64M1

The revision letter in this section refers to revisions of the ATmega64M1 device.

7.3.1 Rev. A

Not sampled.

8. Ordering Information

8.1 ATmega16M1

Speed	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
16MHz	2.7V - 5.5V	ATmega16M1 - AU	32A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega16M1 - MU	PV	

Note: All packages are Pb free, fully LHF

Package Type	
32A	32-lead, Thin (1.0mm) Plastic Quad Flat Package (TQFP)
PV	PV, 32-Lead, 7.0mm × 7.0mm Body, 0.65mm Pitch Quad Flat No Lead Package (QFN)

8.2 ATmega32M1

Speed	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
16MHz	2.7V - 5.5V	ATmega32M1 - AU	32A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega32M1 - MU	PV	

Note: All packages are Pb free, fully LHF

Package Type	
32A	32-lead, Thin (1.0mm) Plastic Quad Flat Package (TQFP)
PV	PV, 32-Lead, 7.0mm × 7.0mm Body, 0.65mm Pitch Quad Flat No Lead Package (QFN)

8.3 ATmega64M1

Speed	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
16MHz	2.7V - 5.5V	ATmega64M1 - AU	32A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega64M1 - MU	PV	

Note: All packages are Pb free, fully LHF

Package Type	
32A	32-lead, Thin (1.0mm) Plastic Quad Flat Package (TQFP)
PV	PV, 32-Lead, 7.0mm x 7.0mm Body, 0.65mm Pitch Quad Flat No Lead Package (QFN)

9. Packaging Information

9.1 32A

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	8.75	9.00	9.25	
D1	6.90	7.00	7.10	Note 2
E	8.75	9.00	9.25	
E1	6.90	7.00	7.10	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 ABA.
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.

2010-10-20

	TITLE	DRAWING NO.	REV.
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	32A, 32-lead, 7 x 7 mm Body Size, 1.0 mm Body Thickness, 0.8 mm Lead Pitch, Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP)	32A	C

9.2 PV

COMMON DIMENSIONS IN MM

SYMBOL	MIN.	NOM.	MAX.	NOTES
A	0.80	0.90	1.00	
J	0.00	0.02	0.05	
D/E	7.00 BSC			
D2/E2	4.40	4.50	4.60	
N	32			
e	0.65 BSC			
L	0.50	0.60	0.70	
b	0.25	0.30	0.37	

10. Datasheet Revision History

Please note that the referring page numbers in this section are referred to this document. The referring revision in this section are referring to the document revision.

10.1 8209D – 11/10

1. Updated footnote 1in "Features" on page 1.
2. Removed the chapter "Disclaimer" from the datasheet.
3. Updated the table Table 27-18 on page 305 with a correct reference for Read Fuse bits.
4. Updated "SPI Serial Programming Characteristics" on page 306 with correct link.
5. Added typical values for for R_{in} and C_{in} (both "single ended input" and "differential inputs") in Table 28-7 on page 314.
6. Added "PCICR" in "Register Summary" on page 320.
7. Editing updates
8. Updated the last page according to Atmel new Brand Style Guide.

10.2 8209C – 05/10

1. Replaced 32M1-A package information drawing with PV drawing on page 334.
2. Updated ordering information with correct info on PV package.

10.3 8209B – 10/09

1. Updated "Temperature Measurement" on page 236.
2. Updated "Manufacturing Calibration" on page 237.

10.4 8209A – 06/09

1. Initial revision.

Table of Contents

Features *1*

1 Pin Configurations *2*

1.1 Pin Descriptions 3

2 Overview *5*

2.1 Block Diagram 6

2.2 Pin Descriptions 7

3 Resources *9*

4 About Code Examples *9*

5 Data Retention *9*

6 Register Summary *10*

7 Errata *14*

7.1 Errata ATmega16M1 14

7.2 Errata ATmega32M1 14

7.3 Errata ATmega64M1 14

8 Ordering Information *15*

8.1 ATmega16M1 15

8.2 ATmega32M1 16

8.3 ATmega64M1 17

9 Packaging Information *18*

9.1 32A 18

9.2 PV 19

10 Datasheet Revision History *20*

10.1 8209D – 11/10 20

10.2 8209C – 05/10 20

10.3 8209B – 10/09 20

10.4 8209A – 08/09 20

Table of Contents ..... *i*

Atmel Corporation
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
USA
Tel: (+1)(408) 441-0311
Fax: (+1)(408) 487-2600
www.atmel.com

Atmel Asia Limited
Unit 1-5 & 16, 19/F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
HONG KONG
Tel: (+852) 2245-6100
Fax: (+852) 2722-1369

Atmel Munich GmbH
Business Campus
Parkring 4
D-85748 Garching b. Munich
GERMANY
Tel: (+49) 89-31970-0
Fax: (+49) 89-3194621

Atmel 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

© 2003 Atmel Corporation. All rights reserved. / Rev. CORP072610

Atmel®, logo and combinations thereof, and others are registered trademarks or trademarks of Atmel Corporation or its subsidiaries. Other terms and product names may be trademarks of others.

Disclaimer: The information in this document is provided in connection with Atmel products. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property right is granted by this document or in connection with the sale of Atmel products. EXCEPT AS SET FORTH IN THE ATMEL TERMS AND CONDITIONS OF SALES LOCATED ON THE ATMEL WEBSITE, ATMEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER AND DISCLAIMS ANY EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY WARRANTY RELATING TO ITS PRODUCTS INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL ATMEL BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE, SPECIAL OR INCIDENTAL DAMAGES (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES FOR LOSS AND PROFITS, BUSINESS INTERRUPTION, OR LOSS OF INFORMATION) ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THIS DOCUMENT, EVEN IF ATMEL HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. Atmel makes no representations or warranties with respect to the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Atmel does not make any commitment to update the information contained herein. Unless specifically provided otherwise, Atmel products are not suitable for, and shall not be used in, automotive applications. Atmel products are not intended, authorized, or warranted for use as components in applications intended to support or sustain life.

8280KS–AVR–11/10

2. *Datasheet* IRP 460

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

IRFP460

Data Sheet **January 2002**

20A, 500V, 0.270 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17465.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP460	TO-247	IRFP460

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Features

- 20A, 500V
- $r_{DS(ON)}$ = 0.270Ω
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol

Packaging

JEDEC STYLE TO-247

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

		IRFP460	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	500	V
Drain to Gate Voltage (R_{GS} = 20kΩ) (Note 1)	V_{DGR}	500	V
Continuous Drain Current	I_D	20	A
$T_C = 100^oC$	I_D	12	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	80	A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	±20	V
Maximum Power Dissipation	P_D	250	W
Linear Derating Factor		2.0	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	960	mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 150	°C
Maximum Temperature for Soldering			
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300	°C
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260	°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. $T_J = 25^oC$ to $T_J = 125^oC$.

Electrical Specifications $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	I_D = 250μA, V_{GS} = 0V (Figure 10)	500	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, I_D = 250μA	2	-	4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	V_{DS} = Rated BV_{DSS}, V_{GS} = 0V	-	-	25	μA
		V_{DS} = 0.8 x Rated BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, $T_J = 125^oC$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, V_{GS} = 10V	20	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	V_{GS} = ±20V	-	-	±100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	I_D = 11A, V_{GS} = 10V (Figures 8, 9)	-	0.24	0.27	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} \geq 50V$, $I_{DS} > 11A$ (Figure 12)	13	19	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	V_{DD} = 250V, I_D = 21A, R_{GS} = 4.3Ω, R_D = 12Ω, V_{GS} = 10V MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	23	35	ns
Rise Time	t_r		-	81	120	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	85	130	ns
Fall Time	t_f		-	65	98	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate-Drain)	$Q_{g(TOT)}$	V_{GS} = 10V, I_D = 21A, V_{DS} = 0.8 x Rated BV_{DSS}, $I_{G(REF)}$ = 1.5mA (Figure 14). Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	120	190	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}		-	18	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	62	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V, f = 1MHz (Figure 10)	-	4100	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	480	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	84	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die; Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Device Inductances	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad;	-	13	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	0.50	°C/W
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	30	°C/W

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier	-	-	20	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	80	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^oC$, $I_{SD} = 21A$, $V_{GS} = 0V$ (Figure 13)	-	-	1.8	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^oC$, $I_{SD} = 21A$, $di_{SD}/dt = 100A/\mu s$	280	580	1200	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^oC$, $I_{SD} = 21A$, $di_{SD}/dt = 100A/\mu s$	3.8	8.1	18	μC

NOTES:

2. Pulse test: pulse width ≤ 300μs, duty cycle ≤ 2%.
3. Repetitive rating: pulse width limited by Max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 50V$, starting $T_J = 25^oC$, L = 4.3mH, $R_{GS} = 25\Omega$, Peak $I_{AS} = 20A$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Test Circuits and Waveforms

FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

3. *Datasheet* TLP250

TOSHIBA TLP250

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

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

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

- Input threshold current: IF=5mA(max.)
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): 10-35V
- Output current (IO): ±1.5A (max.)
- Switching time (tpLH/tpHL): 1.5μs(max.)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(min.)
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type

  VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
  Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
  Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

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

  Clearance: 6.4mm(min.)

Unit in mm

Weight: 0.54 g

Schmatic

A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Pin Configuration (top view)

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

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

	Characteristic		Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current		I_F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta I_F / \Delta Ta$	−0.36	mA / °C
	Peak transient forward curent	(Note 1)	I_{FPT}	1	A
	Reverse voltage		V_R	5	V
	Junction temperature		Tj	125	°C
Detector	"H"peak output current (P_W ≤ 2.5μs/ ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPH}	−1.5	A
	"L"peak output current (P_W ≤ 2.5μs/ ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta ≥ 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta ≥ 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Junction temperature		Tj	125	°C
Operating frequency		(Note 3)	f	25	kHz
Operating temperature range			T_{opr}	−20~85	°C
Storage temperature range			T_{stg}	−55~125	°C
Lead soldering temperature (10 s)			T_{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H.≤ 60%)		(Note 4)	BV_S	2500	Vrms

(Note 1) Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

(Note 2) Exponenential waveform

(Note 3) Exponenential waveform, I_{OPH} ≤ −1.0A(≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A(≤ 2.5μs)

(Note 4) Device considerd a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.		Unit
Input current, on	$I_{F(ON)}$	7	8	10		mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8		V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30	20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5		A
Operating temperature	T_{opr}	−20	25	70	85	°C

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

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition		Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V_F	—	I_F = 10 mA , Ta = 25°C			1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		$\Delta V_F / \Delta Ta$	—	I_F = 10 mA		—	–2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I_R	—	V_R = 5V, Ta = 25°C			—	10	μA
Input capacitance		C_T	—	V = 0 , f = 1MHz , Ta = 25°C		—	45	250	pF
Output current	"H" level	I_{OPH}	3	V_{CC} = 30V (*1)	I_F = 10 mA V_{B-G} = 4V	–0.5	–1.5	—	A
	"L" level	I_{OPL}	2		I_F = 0 V_{B-G} = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V_{OH}	4	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, I_F = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	V_{OL}	5	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, V_F = 0.8V		—	–14.2	–12.5	
Supply current	"H" level	I_{CCH}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 10mA Ta = 25°C		—	7	—	mA
				V_{CC} = 30V, I_F = 10mA		—	—	11	
	"L" level	I_{CCL}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 0mA Ta = 25°C		—	7.5	—	
				V_{CC} = 30V, I_F = 0mA		—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I_{FLH}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, V_O > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I_{FHL}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω, V_O < 0V		0.8	—	—	V
Supply voltage		V_{CC}	—			10	—	35	V
Capacitance (input–output)		C_S	—	V_S = 0 , f = 1MHz Ta = 25°C		—	1.0	2.0	pF
Resistance(input–output)		R_S	—	V_S = 500V , Ta = 25°C R.H.≤ 60%		1×10^{12}	10^{14}	—	Ω

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

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

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	6	I_F = 8mA V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t_r			—	—	—	
Output fall time		t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C_{MH}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 8mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	−5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C_{ML}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 0mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at Ta = 25°C

Test Circuit 1 :

Test Circuit 2 : IOPL

Test Circuit 3 : IOPH

Test Circuit 4 : VOH

Test Circuit 5 : V_{OL}

$I_F - V_F$

$\Delta V_F / \Delta Ta - I_F$

$I_F - Ta$

$V_{CC} - Ta$

$I_{OPH}, I_{OPL} - Ta$

4. *Datasheet* Sensor ACS712

DT-Sense Current Sensor

DT-Sense Current Sensor merupakan suatu modul sensor arus yang mengunakan IC sensor arus linier berbasis Hall-Effect ACS712 produksi Allegro. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Untuk modul DT-SENSE dengan tipe with OpAmp, telah ditambahkan rangkaian OpAmp sehingga sensitivitas pengukuran arus dapat lebih ditingkatkan dan dapat mengukur perubahan arus yang lebih kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk switch-mode power supply, sensor proteksi terhadap overcurrent, dan lain sebagainya.

Spesifikasi

1. Berbasis ACS712 dengan fitur:
   - *Rise time output* = 5 µs.
   - *Bandwidth* sampai dengan 80 kHz.
   - Total kesalahan output 1,5% pada suhu kerja T_A = 25°C.
   - Tahanan konduktor internal 1,2 mΩ.
   - Tegangan isolasi minimum 2,1 kV_{RMS} antara pin 1-4 dan pin 5-8.
   - Sensitivitas output 185 mV/A.
   - Mampu mengukur arus AC atau DC hingga 5 A.
   - Tegangan output proporsional terhadap input arus AC atau DC.
2. Tegangan kerja 5 VDC.
3. Dilengkapi dengan OpAmp untuk menambah sensitivitas output (untuk tipe With OpAmp).

Tata Letak

Alokasi Pin INTERFACE (J2)			
Pin	Nama	Fungsi	
1	VCC	Input	Tegangan 5 VDC
2	Out	Output	Output dari sensor
3	Out_Amp	Output	Output dari OpAmp
4	Ground	-	Titik referensi ground

Tegangan output ACS712 terhubung ke pin Out dan tegangan output rangkaian OpAmp terhubung ke Out_Amp.

Pada tipe Without OpAmp, pin Out_Amp dapat diabaikan.

Rumus tegangan pada pin Out = 2,5 ± (0,185 x I) Volt
Dimana I = arus yang terdeteksi dalam satuan Ampere.

Pada tipe With OpAmp, modul sudah dilengkapi dengan rangkaian OpAmp yang dapat digunakan untuk meningkatkan sensitivitas dan mengubah offset pada tegangan output OpAmp (pin Out_Amp).

Sensitivitas atau Gain diatur melalui VR1 sedangkan offset diatur melalui VR2.

Pada tipe With OpAmp telah dilengkapi pula dengan filter untuk mengurangi noise dengan efek samping bandwith output menjadi lebih kecil.

Bandwidth output dapat dibuat kembali maksimal (menghilangkan filter) dengan melepas jumper F_SLCT (J1).

Isi CD/DVD

1. Manual DT-Sense Current Sensor.
2. Datasheet.
3. Website Offline Innovative Electronics.

Prosedur Pengujian

Pengujian sederhana dapat dilakukan dengan langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Hubungkan VCC (pin 1) pada modul DT-SENSE dengan sumber tegangan 5 Volt dan pin 4 dengan ground.
2. Ukur tegangan Out (pin 2) pada modul DT-SENSE dengan voltmeter.
3. Jika tidak ada arus yang lewat melalui input, maka Out akan bernilai sekitar 2,5 Volt.
4. Jika modul DT-SENSE CURRENT SENSOR dilengkapi dengan OpAmp, maka atur Offset (VR2) sehingga nilai Out_Amp menjadi sekitar 2,5 Volt.
5. Lewatkan arus listrik melalui jalur input. Semakin besar arus yang melewati input, semakin besar pula perubahan tegangan pada pin Out dan pin Out_Amp.
6. Karena sifat dari rangkaian OpAmp yang digunakan, jika tegangan Out lebih kecil dari 2,5 Volt, maka tegangan Out_Amp akan lebih besar dari pada 2,5 Volt.
7. Sebaliknya, jika tegangan Out lebih besar dari 2,5 Volt, maka tegangan Out_Amp akan lebih kecil dari pada 2,5 Volt.

✦ *Terima Kasih atas kepercayaan Anda menggunakan produk kami, bila ada kesulitan, pertanyaan, atau saran mengenai produk ini silahkan menghubungi technical support kami:*
support@innovativeelectronics.com

Copyright © 2012 Innovative Electronics
VCC
C1
0.1UF
AGND
U1
IP+
IP+
IP-
IP-
ACS712
VCC
VIOUT
FILTER
GND
J3
INPUT
OUT
R1
1K
VR1
100K
VR2
100K
C2
0.1UF
C3
0.1UF
R2
47K
J1
F_SLCT
U2A
TLC2272ACD
OUT AMP
C4
0.1UF
C5
1000PF/50V
J2
INTERFACE
OUT
OUT AMP

5. *Datasheet* MBR30100

SECOS
Elektronische Bauelemente

MBR30100

Voltage 100 V
30.0 Amp Schottky Barrier Rectifiers

RoHS Compliant Product
A suffix of "-C" specifies halogen free

FEATURES

- Low forward voltage drop
- High current capability
- High reliability
- High surge current capability
- Epitaxial construction

TO-220J

REF.	Millimeter Min.	Millimeter Max.	REF.	Millimeter Min.	Millimeter Max.
A	15.210	15.350	I	4.980	5.180
B	3.731	3.931	J	3.960	3.960
C	2.980	2.980	K	4.470	4.670
D	13.960	14.460	L	1.202	1.400
E	1.170	1.370	M	8.500	8.800
F	0.710	0.910	N	2.520	2.820
G	13.460	13.860	Q	0.330	0.650
H	2.540 TYP.				

MAINTENANCE RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Rating 25℃ ambient temperature unless otherwise specified. Single phase half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, de-rate current by 20%.)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage		V_{RRM}	100	V
Working Peak Reverse Voltage		V_{RWM}	100	V
Maximum DC Blocking Voltage		V_{DC}	100	V
Maximum Average Forward Rectified Current	(Per Leg)	I_F	15	A
	(Per Device)		30	
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave		I_{FSM}	350	A
Power dissipation		P_D	2	W
Typical Thermal Resistance		$R_{\theta JC}$	2	℃/W
Operating and Storage Temperature Range		T_J,T_{STG}	150, -55~150	℃

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Parameter	Symbol	MIN.	Typ.	Max.	Unit	Test Condition
Reverse voltage	V_{BR}	100	-	-	V	
Maximum Instantaneous Forward Voltage	V_F	-	0.81	0.86	V	I_F=15A, T_J =25℃
		-	0.72	-		I_F=15A, T_J =100℃
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage [2]	I_R	-	-	0.1	mA	V_R=100V, T_J =25℃
		-	-	10		V_R=100V, T_J =100℃
Typical Junction Capacitance [1]	C_J	-	90	-	pF	

NOTES:
1. Measured at 1MHz and applied reverse voltage of 5.0V D.C.
2. Pulse Test : Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

http://www.SECOSinfo.com/ Any changes of specification will not be informed individually.
26-Sep-2014 Rev. A Page 1 of 2

6.

Elektronische Bauelemente

MBR30100

Voltage 100 V
30.0 Amp Schottky Barrier Rectifiers

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES

RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : **Syahrul Ilham Permana**
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat, Tanggal Lahir: Lamongan, 12 Mei 1995
Agama : Islam
Kebangsaan : Indonesia
Tinggi/ Berat Badan : 170 cm/ 65 kg
Kesehatan : Baik
Alamat Asal : Made Kidul II No.02, Lamongan
Mobile Phone : 085 648 587 860
E-mail : syhrlprmn@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

- 2001 – 2007 SDN SIDOHARJO I, Lamonan
- 2007 – 2010 SMP Negeri 1 Lamongan
- 2010 – 2013 SMA Negeri 1 Lamongan
- 2013 – 2016 D3 Teknik Elektro Industri – ITS, Surabaya

Pengalaman Kerja :

- Kerja Praktek di PT. Essentra Surabaya

Pengalaman Organisasi :

- Koor Sie Kesenian dan Kebudayaan OSIS SMA Negeri 1 Lamongan
- Anggota Departemen PSDM HimaD3tektro
- Kepala Biro PSDM HimaD3tektro

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : **Roikhana Farista Dewira**
Jenis Kelamin : Perempuan
Tempat, Tanggal Lahir: Surabaya, 22 April 1995
Agama : Islam
Kebangsaan : Indonesia
Tinggi/ Berat Badan : 160 cm/ 68 kg
Kesehatan : Baik
Alamat Asal : Rungkut Asri Tengah I/12
Mobile Phone : 082336179049
E-mail : roikhanafarista@yahoo.com

Riwayat Pendidikan:

- 2001 – 2006 SD Muhammadiyah 4 Surabaya
- 2006 – 2009 SMP Negeri 12 Surabaya
- 2009 – 2012 SMA Negeri 17 Surabaya
- 2012 – 2015 D3 Teknik Elektro Industri – ITS, Surabaya

Pengalaman Kerja :

- Kerja Praktek di PT. SIER (Persero), Surabaya
- Kerja Praktek PT. Coca-Cola Amatil Indonesia, Pandaan.

Pengalaman Organisasi :

- Anggota Departemen HUBLU Himad3tektro
- Kepala Biro Departemen HUBLU Himan3tektro

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----