



LAPORAN HASIL PENELITIAN

SISTEM PENGATURAN NILAI CATU DAYA TEGANGAN TINGGI DENGAN MODUL MCP4725 BERBASIS ATMEGA328P

Oleh :

**Ir. Mohammad Amin HD, MT
Dr. Wahyu Widji Pamungkas**

PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BOROBUDUR
JAKARTA**

2021



LAPORAN HASIL PENELITIAN

**SISTEM PENGATURAN NILAI CATU DAYA TEGANGAN
TINGGI DENGAN MODUL MCP4725 BERBASIS
ATMEGA328P**

Oleh :

Ir. Mohammad Amin HD, MT

Dr. Wahyu Widji Pamungkas

PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS BOROBUDUR

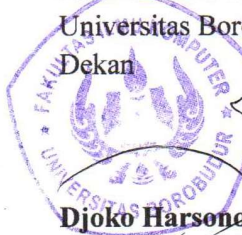
2022

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PENELITIAN**

1	Judul Penelitian	Sistem Pengaturan Nilai Catu Daya Tegangan Tinggi dengan Modul MCP4725 Berbasis ATmega328P
2	Ketua Peneliti :	
	a. Nama	Ir. Mohammad Amin HD, MT
	b. Jenis Kelamin	Laki-Laki
	c. Pangkat/Golongan/NIP	-
	d. Jabatan Fungsional	-
	e. Fakultas/Program Studi	Fakultas Ilmu Komputer/Sistem Komputer
	f. Bidang ilmu yang diteliti	Sistem Komputer
3	Jumlah Tim Peneliti	2 (dua) orang
4	Lokasi Penelitian	Jakarta
5	Jangka Waktu Penelitian	6 (enam) bulan
6	Biaya diperlukan	Rp. 10.000.000,-
7	Sumber Dana	Mandiri

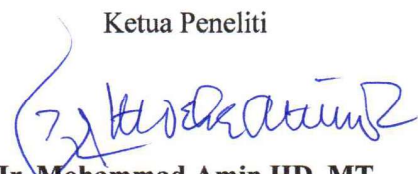
Jakarta, 21 Februari 2022

Mengetahui
Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Borobudur
Dekan



Djoko Harsono, SKom, MM, MKom

Ketua Peneliti



Ir. Mohammad Amin HD, MT

Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat
Universitas Borobudur



Evi Syafrida Nasution, S.Psi, M.Psi

RINGKASAN

Sistem catu daya tegangan tinggi yang digunakan untuk mencatu sensor-sensor yang membutuhkan tegangan tinggi saat ini telah banyak tersedia di pasaran dalam bentuk modul-modul. Meskipun demikian, pengaturan nilai tegangan pada modul catu daya tersebut masih bersifat terbuka. Yaitu, pengaturan nilai tegangan dapat dilakukan dengan cara manual maupun otomatis. Untuk cara manual, seseorang harus memasang komponen potensiometer atau trimmer ke kaki-kaki yang bersesuaian dari modul catu daya tegangan tinggi tersebut, dan kemudian mengubah posisi nilai hambatan potensio atau trimmer dengan menggunakan obeng minus atau plus hingga diperoleh nilai tegangan catu daya yang diinginkan. Cara pengaturan seperti ini hanya bisa dilakukan pada kondisi modul catu daya berada di dekat seorang operator. Manakala posisi catu daya tersebut berada pada lokasi yang tidak memungkinkan seorang operator menjangkaunya, pengaturan secara manual tentu sulit untuk dilakukan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penyelesaian dengan cara pengaturan otomatis menjadi pilihan. Yaitu, modul catu daya tegangan tinggi dengan perantara potensiometer; yang melekat pada sebuah komponen interface; dihubungkan ke sebuah mikrokontroler melalui jalur komunikasi serial yang disebut I2C. Mikrokontroler tersebut kemudian diprogram agar dapat diberi perintah melalui komputer atau telepon genggam yang berada pada jarak yang jauh untuk mengatur dan memonitor nilai tegangan catu daya tegangan tinggi tersebut. Salah satu cara otomatis yang diusulkan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan bantuan modul MCP4725 sebagai komponen interface yang bertugas mengkonversi nilai digital ke nilai analog. Komponen ini dilengkapi sebuah potensiometer yang dapat digunakan untuk mengatur nilai tegangan analog masukan catu daya, dan sebuah jalur komunikasi I2C yang digunakan sebagai jalur komunikasi digital komponen interface tersebut ke mikrokontroler ATmega328P. Mikrokontroler ATmega328P kemudian diprogram agar dapat diberi perintah dari komputer atau telepon genggam yang berada pada jarak jauh untuk mengatur nilai tegangan dari modul catu daya tegangan tinggi tersebut. Modul catu daya tegangan tinggi yang digunakan dalam penelitian ini adalah modul dari produk EMCO dengan model CA12P-5TR. Modul ini memiliki tegangan keluaran positif maksimum sebesar 1250V, dengan tegangan pengaturan sebesar 5V. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah skema dari bentuk rancangan, implementasi dan purwarupa modul MCP4725 untuk mengatur nilai tegangan tinggi dengan menghubungkan ATmega328P dan modul EMCO dari model CA12P-5TR.

Kata Kunci: pengaturan, modul emco, mcp4725, ATmega328p.

PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat, hidayah, dan karuniaNya telah memperkenankan penulis untuk menyelesaikan Penelitian yang berjudul “Sistem Pengaturan Nilai Catu Daya Tegangan Tinggi dengan Modul MCP4725 Berbasis ATmega328P”. Selama melaksanakan penelitian ini, banyak sekali bantuan dan dukungan yang telah diperoleh. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang diantaranya adalah:

1. Bapak Djoko Harsono, SKom, MM, MKom, selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Borobudur Jakarta
2. Ibu Evi Syafrida Nasution, S.Psi, M.Psi, selaku Ketua LPPM Universitas Borobudur Jakarta.
3. Rekan-rekan dosen Prodi Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Borobudur yang telah berbagi ilmu dalam menjalankan penelitian.

Sungguh penelitian ini bukanlah tanpa kelemahan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat.

Jakarta, Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II LANDASAN TEORI.....	3
2.1. Mikrokontroler ATmega328	3
2.2. Modul DAC MCP4725	9
2.2.1. Fitur Modul MCP4725.....	10
2.2.2. Aplikasi Modul MCP4725.....	11
2.2.3. Deskripsi Modul MCP4725	11
2.3. Modul Tegangan Tinggi seri CA merek EMCO	12
2.3.1. Fitur Modul Tegangan Tinggi Seri CA.....	12
2.3.2. Diagram Balok Modul Tegangan Tinggi Seri CA.....	13
2.3.3. Arti Kode Tertera pada Modul.....	13
2.3.4. Aplikasi Modul Tegangan Tinggi Emco	14
2.3.5. Cara Memrogram Modul Tegangan Tinggi Emco	14
2.4. Pengubah Sinyal Analog ke Digital.....	15
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	17
3.1. Tujuan Penelitian	17
3.2. Manfaat Penelitian	17
BAB IV METODE PENELITIAN.....	19
4.1. Gambaran Umum.....	19
4.2. Skema Pengembangan Sistem	20
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	22
5.1. Hasil Rancangan Perangkat Keras	22
5.1.2. Hasil Rancangan Perangkat Lunak	24
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	26
6.1. Kesimpulan	26
6.2. Saran.....	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	
1. Tampilan Sistem Pengatur HV.	28
2. Datasheet ATmega328	30
3. Datasheet MCP4725	344
4. Datasheet Modul HV Emco CA series	44

BAB I

PENDAHULUAN

Sistem catu daya tegangan tinggi yang digunakan untuk mencatu sensor-sensor yang membutuhkan tegangan tinggi saat ini telah banyak tersedia di pasaran dalam bentuk modul-modul. Meskipun demikian, pengaturan nilai tegangan pada modul catu daya tersebut masih bersifat terbuka. Yaitu, pengaturan nilai tegangan dapat dilakukan dengan cara manual maupun otomatis.

Pengaturan dengan cara manual adalah pengaturan dimana seseorang harus memasang komponen potensiometer atau trimmer ke kaki-kaki yang bersesuaian dari modul catu daya tegangan tinggi tersebut, dan kemudian mengubah posisi nilai hambatan potensio atau trimmer dengan menggunakan obeng minus atau plus hingga diperoleh nilai tegangan catu daya yang diinginkan. Cara pengaturan seperti ini hanya bisa dilakukan pada kondisi modul catu daya berada di dekat seorang operator. Manakala posisi catu daya tersebut berada pada lokasi yang tidak memungkinkan seorang operator menjangkaunya, pengaturan secara manual tentu sulit untuk dilakukan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penyelesaian dengan cara pengaturan otomatis menjadi pilihan.

Pengaturan dengan cara otomatis yaitu pengaturan dimana modul catu daya tegangan tinggi dengan perantara potensiometer; yang melekat pada sebuah komponen interface; dihubungkan ke sebuah mikrokontroler melalui jalur komunikasi serial yang disebut I2C. Mikrokontroler tersebut kemudian diprogram agar dapat diberi perintah melalui komputer atau telepon genggam yang berada pada jarak yang jauh untuk mengatur dan memonitor nilai tegangan catu daya tegangan tinggi tersebut.

Salah satu cara otomatis yang diusulkan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan bantuan modul MCP4725 sebagai komponen interface yang bertugas mengkonversi nilai digital ke nilai analog. Komponen ini dilengkapi sebuah potensiometer yang dapat digunakan untuk mengatur nilai tegangan analog masukan dari catu daya, dan sebuah jalur komunikasi I2C yang digunakan sebagai jalur komunikasi digital komponen interface tersebut ke mikrokontroler ATmega328P. Kemudian, mikrokontroler ATmega328P diprogram agar dapat diberi perintah dari komputer atau telepon genggam yang berada pada jarak jauh untuk mengatur nilai tegangan dari modul catu daya tegangan tinggi tersebut.

Modul catu daya tegangan tinggi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah produk merek EMCO dengan model CA12P-5TR. Modul ini memiliki tegangan keluaran positif maksimum sebesar 1250V, sementara

tegangan acuan dan masukan untuk mengatur nilai keluaran adalah maksimum sebesar 5V.

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah skema dari bentuk rancangan, implementasi, dan purwarupa modul MCP4725 untuk mengatur nilai tegangan tinggi dengan menghubungkan ATmega328P dan modul EMCO dari model CA12P-5TR.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Mikrokontroler ATmega328

ATmega328 adalah mikrokontroler buatan Atmel dengan arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*). Arsitektur ini memiliki proses eksekusi yang lebih cepat dari mikrokontroler berarsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*).

Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain:

- 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus *clock*;
- 32 x 8-bit register serbaguna;
- Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16MHz;
- 32 KB *Flash memory* dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB dari flash memori sebagai *bootloader*;
- Memiliki *EEPROM* (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanent karena *EEPROM* tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan;
- Memiliki *SRAM* (*Static Random Access Memory*) sebesar 2KB;
- Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya *PWM* (*Pulse Width Modulation*) output;
- *Master / Slave SPI Serial interface*.

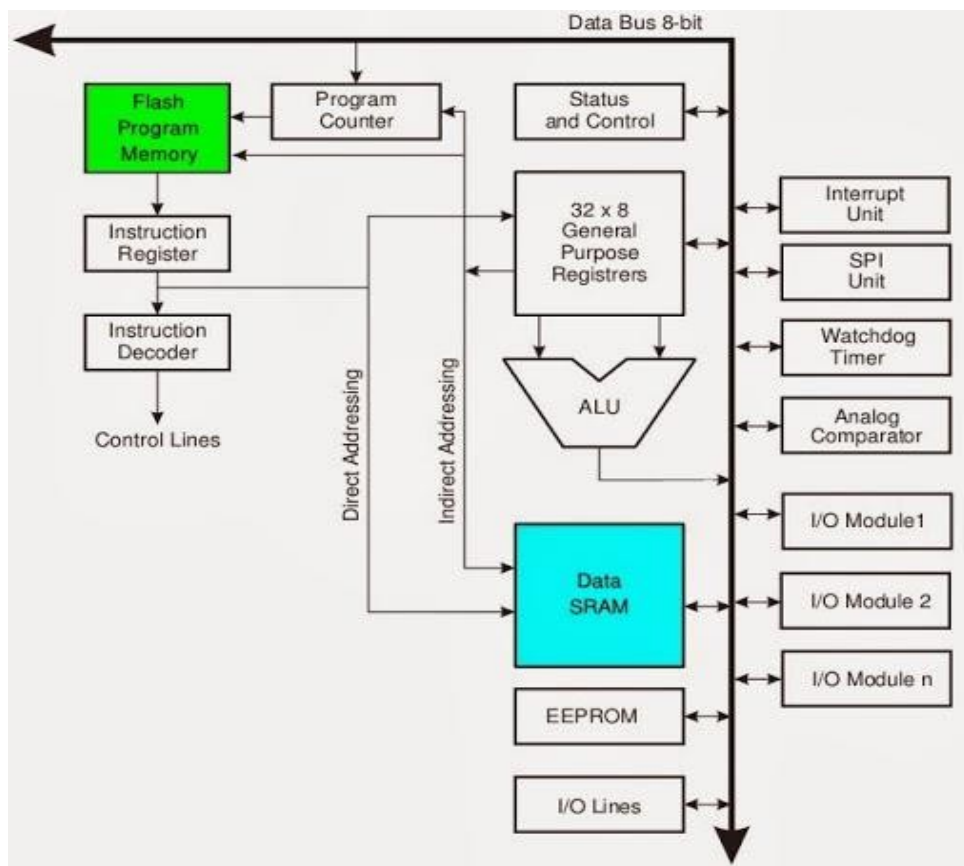
Mikrokontroler ATmega328P memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan *parallelism*. Instruksi – instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program. Konsep inilah yang memungkinkan instruksi – instruksi dapat dieksekusi dalam setiap satu siklus clock.

Register serba guna 32 x 8-bit digunakan untuk mendukung operasi pada ALU (*Arithmetic Logic Unit*) yang dapat dilakukan dalam satu siklus. 6 dari

register serbaguna ini dapat digunakan sebagai 3 buah register pointer 16-bit pada mode pengalamatan tidak langsung untuk mengambil data pada ruang memori data. Ketiga register pointer 16-bit ini disebut dengan register X (gabungan R26 dan R27), register Y (gabungan R28 dan R29), dan register Z (gabungan R30 dan R31).

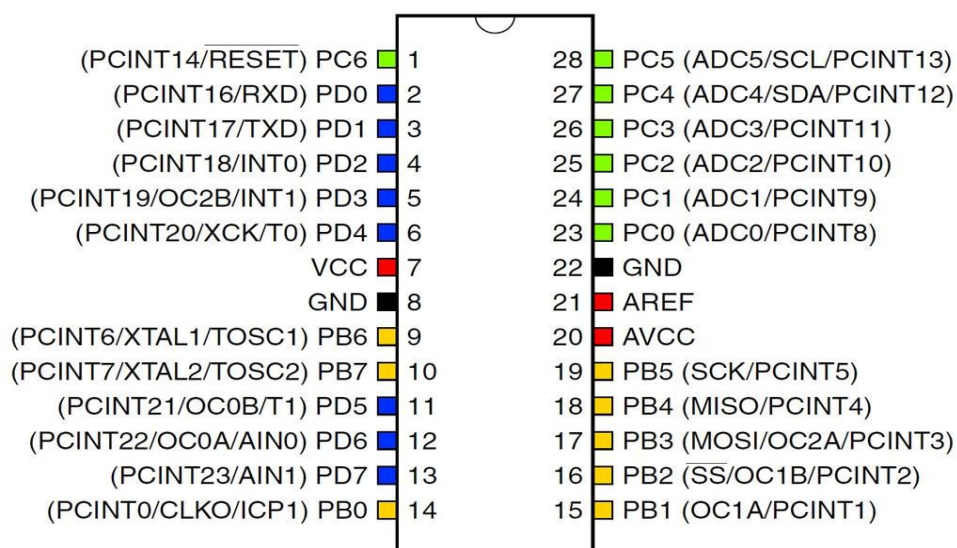
Hampir semua instruksi AVR memiliki format 16-bit. Setiap alamat memori program terdiri dari instruksi 16-bit atau 32-bit. Selain register serba guna di atas, terdapat register lain yang terpetakan dengan teknik *memory mapped I/O* selebar 64 byte. Beberapa register ini digunakan untuk fungsi khusus antara lain sebagai register control Timer/ Counter, Interupsi, ADC, USART, SPI, EEPROM, dan fungsi I/O lainnya. Register – register ini menempati memori pada alamat 0x20h – 0x5Fh.[1]

Berikut ini adalah tampilan arsitektur ATmega328P (Gambar 2.1):



Gambar 2.1 Arsitektur ATmega328P[1]

Konfigurasi PIN ATmega328 diperlihatkan dalam Gambar 2.2



Gambar 2.2 Konfigurasi Pin ATmega328[2]

Tabel 2.1 Konfigurasi PortB [1]

Port Pin	Alternate Functions
PB7	XTAL2 (Chip Clock Oscillator pin 2) TOSC2 (Timer Oscillator pin 2) PCINT7 (Pin Change Interrupt 7)
PB6	XTAL1 (Chip Clock Oscillator pin 1 or External clock input) TOSC1 (Timer Oscillator pin 1) PCINT6 (Pin Change Interrupt 6)
PB5	SCK (SPI Bus Master clock Input) PCINT5 (Pin Change Interrupt 5)
PB4	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output) PCINT4 (Pin Change Interrupt 4)
PB3	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input) OC2A (Timer/Counter2 Output Compare Match A Output) PCINT3 (Pin Change Interrupt 3)
PB2	\overline{SS} (SPI Bus Master Slave select) OC1B (Timer/Counter1 Output Compare Match B Output) PCINT2 (Pin Change Interrupt 2)
PB1	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare Match A Output) PCINT1 (Pin Change Interrupt 1)
PB0	ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Input) CLKO (Divided System Clock Output) PCINT0 (Pin Change Interrupt 0)

Tabel 2.2 Konfigurasi PortC [2]

Port Pin	Alternate Function
PC6	RESET (Reset pin) PCINT14 (Pin Change Interrupt 14)
PC5	ADC5 (ADC Input Channel 5) SCL (2-wire Serial Bus Clock Line) PCINT13 (Pin Change Interrupt 13)
PC4	ADC4 (ADC Input Channel 4) SDA (2-wire Serial Bus Data Input/Output Line) PCINT12 (Pin Change Interrupt 12)
PC3	ADC3 (ADC Input Channel 3) PCINT11 (Pin Change Interrupt 11)
PC2	ADC2 (ADC Input Channel 2) PCINT10 (Pin Change Interrupt 10)
PC1	ADC1 (ADC Input Channel 1) PCINT9 (Pin Change Interrupt 9)
PC0	ADC0 (ADC Input Channel 0) PCINT8 (Pin Change Interrupt 8)

Tabel 2.3 Konfigurasi PortD [1]

Port Pin	Alternate Function
PD7	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) PCINT23 (Pin Change Interrupt 23)
PD6	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) OC0A (Timer/Counter0 Output Compare Match A Output) PCINT22 (Pin Change Interrupt 22)
PD5	T1 (Timer/Counter 1 External Counter Input) OC0B (Timer/Counter0 Output Compare Match B Output) PCINT21 (Pin Change Interrupt 21)
PD4	XCK (USART External Clock Input/Output) T0 (Timer/Counter 0 External Counter Input) PCINT20 (Pin Change Interrupt 20)
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input) OC2B (Timer/Counter2 Output Compare Match B Output) PCINT19 (Pin Change Interrupt 19)
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input) PCINT18 (Pin Change Interrupt 18)
PD1	TXD (USART Output Pin) PCINT17 (Pin Change Interrupt 17)
PD0	RXD (USART Input Pin) PCINT16 (Pin Change Interrupt 16)

Dengan arsitektur yang sesuai maka digunakanlah Arduino UNO R3 sebagai *board mikrokontroller* yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, *crystal osilator* 16 MHz, koneksiUSB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *men-support* mikrokontroller; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB.

Berikut ini adalah konfigurasi dari Arduino uno :

- Mikronkontroler ATmega328P;
- Beroperasi pada tegangan 5V;
- Tegangan input (rekomendasi) 7 - 12V;
- Batas tegangan input 6 - 20V;
- Pin digital input/output 14 (6 mendukung output PWM);
- Pin analog input 6;
- Arus pin per input/output 40mA;
- Arus untuk pin 3.3V adalah 50mA;
- Flash Memory 32 KB (ATmega328) yang mana 2 KB digunakan oleh *bootloader*;
- SRAM 2 KB (ATmega328);
- EEPROM 1KB (ATmega328);
- Kecepatan clock 16MHz.[1]
- Power

Arduino dapat diberikan power melalui koneksi USB atau *power supply*. Powernya diseleksi secara otomatis. *Power supply* dapat menggunakan adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dikoneksikan dengan mencolok jack adaptor pada koneksi port input *supply*. *Board* arduino dapat dioperasikan menggunakan *supply* dari luar sebesar 6 - 20 volt. Jika *supply* kurang dari 7V, kadangkala pin 5V akan menyuplai kurang dari 5 Volt dan *board* bisa menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 V, tegangan di regulator bisa menjadi sangat panas dan menyebabkan kerusakan pada board. Rekomendasi tegangan ada pada 7 sampai 12 volt.[1]

Penjelasan pada pin power adalah sebagai berikut:

- Vin

Tegangan masuk ke *board* arduino ketika menggunakan tegangan dari luar (seperti yang disebutkan 5 volt dari koneksi USB atau tegangan yang diregulasikan). Pengguna dapat memberikan tegangan melalui pin ini, atau jika tegangan suplai menggunakan *power jack*, aksesnya menggunakan pin ini.

- 5 V
Regulasi power *supply* digunakan untuk power mikrokontroler dan komponen lainnya pada *board*. 5V dapat melalui Vin menggunakan regulator pada *board*, atau supply oleh USB atau *supply* regulasi 5Vlainnya.
- 3,3 V
Suplai 3.3 Volt didapat oleh FTDI chip yang ada di board. Arus maximumnya adalah 50mA.
- Pin Ground
berfungsi sebagai jalur ground pada arduino.
- Memori
ATmega328 memiliki 32 KB flash memori untuk menyimpan kode, juga 2 KB yang digunakan untuk *bootloader*. ATmega328 memiliki 2 KB untuk SRAM dan 1 KB untuk EEPROM.[2]
- Input dan Output
Setiap 14 pin digital pada arduino dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Input/output dioperasikan pada 5 volt. Setiap pin dapat menghasilkan atau menerima maximum 40 mA dan memiliki internal pull-up resistor (disconnected oleh default) 20-50 KOhms. Beberapa pin memiliki fungsi sebagai berikut:
 - Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) TTL data serial. Pin ini terhubung pada pin yang koresponding dari USB FTDI ke TTL chip serial.
 - Interupt eksternal: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk trigger sebuah interupsi pada low value, rising atau falling edge, atau perubahan nilai.
 - PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Mendukung 8-bit output PWM dengan SPI : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mensupport komunikasi SPI, yang mana masih mendukung hardware, yang tidak termasuk pada bahasa arduino .fungsi `analog Write()`.
 - LED: 13. Ini adalah dibuat untuk koneksi LED ke digital pin 13. Ketika pin bernilai HIGH, LED hidup, ketika pin LOW, LED mati.[1]

2.2. Modul DAC MCP4725

Modul MCP4725[2] adalah modul berdaya rendah, memiliki akurasi tinggi, jalur tunggal, DAC tegangan keluaran yang dibuffer 12bit dengan memori non-volatil (EEPROM). Penguat keluaran presisi on-board memungkinkannya mencapai ayunan keluaran analog rel-ke-rel.

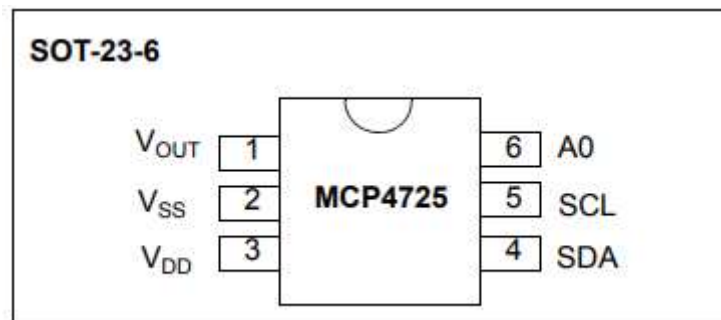
Input DAC dan data konfigurasi dapat diprogram ke dalam memori non-volatile (EEPROM) dengan perintah yang melalui antarmuka I2C. Fitur memori non-volatil memungkinkan perangkat DAC untuk menyimpan kode input DAC selama waktu mati, dan output DAC tersedia segera setelah power-up. Fitur ini sangat berguna ketika perangkat DAC digunakan sebagai perangkat pendukung perangkat lain dalam jaringan.

Perangkat ini mencakup rangkaian Power-On-Reset (POR) untuk memastikan power-up yang andal dan pompa pengisian on-board untuk tegangan pemrograman EEPROM. Referensi DAC didorong dari VDD secara langsung. Dalam mode powerdown, penguat keluaran dapat dikonfigurasi untuk menyajikan beban keluaran resistansi rendah, sedang, atau tinggi yang diketahui.

MCP4725 memiliki pin pemilihan bit alamat A0 eksternal. Pin A0 ini dapat diikat ke VDD atau VSS dari papan aplikasi pengguna. MCP4725 memiliki antarmuka serial dua kabel yang kompatibel dengan I2C™ untuk mode standar (100 kHz), cepat (400 kHz), atau kecepatan tinggi (3,4 MHz).

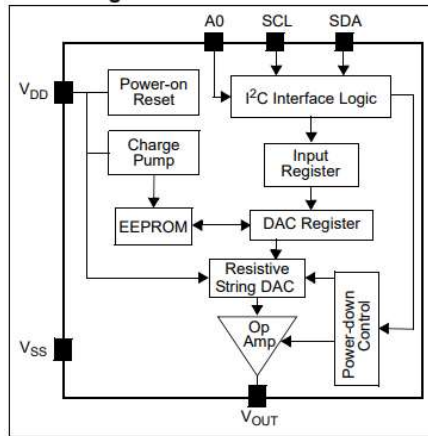
MCP4725 adalah perangkat DAC yang ideal di mana desainnya sederhana, tapaknya berukuran kecil, dan untuk aplikasi yang membutuhkan pengaturan perangkat DAC untuk disimpan selama waktu mati.

Perangkat ini tersedia dalam paket kecil 6-pin SOT-23 (Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Modul DAC MCP4725[2]

Deskripsi bagian dalam dari modul DAC MCP4725 tersebut diperlihatkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.4. Deskripsi internal MCP4725

Sementara itu, fungsi dari kaki-kaki dari modul MCP4725 diperlihatkan dalam Gambar 2.5 berikut.

Pin No. SOT-23	Name	Function
1	V_{OUT}	Analog Output Voltage
2	V_{SS}	Ground Reference
3	V_{DD}	Supply Voltage
4	SDA	I ² C Serial Data
5	SCL	I ² C Serial Clock Input
6	A0	Device Address Selection pin. This pin can be tied to V_{SS} or V_{DD} , or can be actively driven by the digital logic levels. The logic state of this pin determines what the A0 bit of the I ² C address bits should be.

Gambar 2.5. Fungsi kaki-kaki MCP4725

2.2.1. Fitur Modul MCP4725

Fitur yang disediakan oleh MCP4725 antara lain adalah:

- Resolusi 12-Bit
- Memori Non-Volatile On-Board (EEPROM)
- $\pm 0,2$ LSB DNL (umum)
- Pin Alamat A0 Eksternal
- Mode Normal atau Power-Down
- Waktu Penyetelan Cepat: 6 s (biasa)
- Referensi Tegangan Eksternal (V_{DD})
- Keluaran Rel-ke-Rel

- Konsumsi Daya Rendah
- Operasi Pasokan Tunggal: 2,7V hingga 5,5V
- Antarmuka I2C:
- Delapan Alamat yang Tersedia
- Standar (100 kbps), Cepat (400 kbps), dan
- Mode Kecepatan Tinggi (3,4 Mbps)
 - Paket SOT-23 6 sadapan kecil
 - Rentang Suhu yang Diperpanjang: -40 °C hingga +125°C

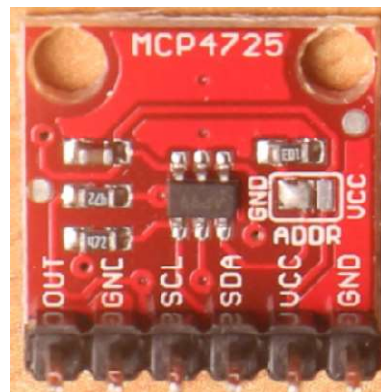
2.2.2. Aplikasi Modul MCP4725

MCP4725 banyak dimanfaatkan tetapi tidak terbatas pada hal-hal berikut:

- Pemangkasan Titik Setel atau Offset
- Kalibrasi Sensor
- Kontrol Servo Loop Tertutup
- Instrumentasi Portabel Daya Rendah
- Periferal PC
- Sistem Akuisisi Data

2.2.3. Deskripsi Modul MCP4725

Deskripsi modul MCP4725 yang sering dijumpai di pasaran dipelihatkan oleh Gambar 2.6. Dari deskripsi modul dalam bentuk papan rangkaian yang telah dicetak tersebut diketahui bahwa pengaturan alamat I2C (A0) telah terpatri. Oleh sebab itu posisi koneksi patrian A0 harus diperhatikan apakah terhubung ke Gnd atau keVcc. Jika posisi patrian terhubung keVcc alamat I2C maka nilai alamat I2C adalah 0x61, atau 0x63. Sementara jika terhubung ke Gnd, nilai alamat I2C adalah 0x60, atau 0x62.



Gambar 2.6. Deskripsi Modul MCP4725[3]

2.3. Modul Tegangan Tinggi seri CA merek EMCO

Seri CA EMCO (Gambar 2.7) adalah konverter tegangan tinggi dengan performa tinggi, teregulasi presisi, dengan stabilitas tinggi dan riak rendah, bersama dengan output monitor tegangan internal dan referensi tegangan presisi terpasang.



Gambar 2.7. Contoh Emco seri CA[4]

Setiap model diprogram dari 0 hingga 100% output terukur melalui input pemrograman impedansi tinggi yang kompatibel dengan DAC. Referensi tegangan dapat digunakan untuk menggerakkan output tegangan tinggi pada 100% atau untuk menyesuaikan output dengan potensiometer eksternal atau pembagi tegangan.

Monitor tegangan keluaran disangga secara internal untuk memberikan sinyal impedansi rendah (hingga 1 mA) ke sirkuit eksternal. Osilator gelombang sinus semu, pelindung transformator internal, dan casing baja terisolasi mengurangi radiasi EMI/RFI ke tingkat yang sangat rendah.

Dengan memiliki proses enkapsulasi dan kustom 94V-0 terdaftar, formula kinerja tinggi digunakan untuk mencapai tegangan tinggi dan sifat termal yang sangat baik.

2.3.1. Fitur Modul Tegangan Tinggi Seri CA

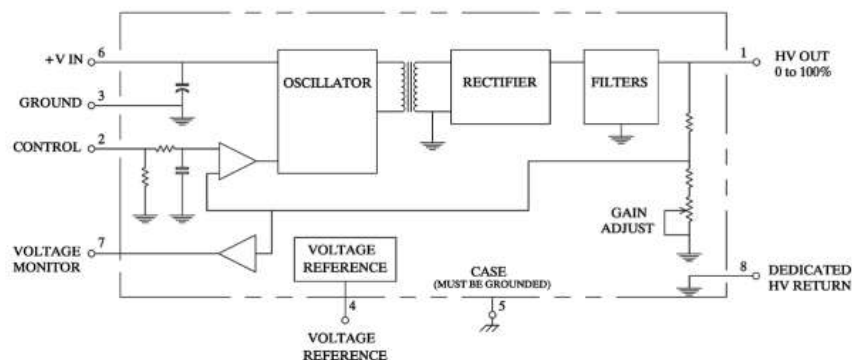
Berikut ini merupakan list dari fitur modul tegangan tinggi Emco seri CA:

- Riak Sangat Rendah, serendah 5PPM!
- Presisi Diatur
- Kotak Terlindung Miniatur, 1 inci kubik
- Keluaran yang dapat diprogram dari 0 hingga 100%
- Monitor Tegangan/ Pembacaan Ulang

- Stabilitas Tinggi, biasanya $<25\text{ppm}/^\circ\text{C}$
- Rentang Tegangan Input Lebar
- Busur, Perlindungan Sirkuit Pendek 12 Vin; tidak terbatas 5 Vin; durasi pendek, hingga 1 menit
- EMI/RFI Sangat Rendah
- Referensi Onboard Presisi
- Pemrograman Tegangan atau Potensiometer Eksternal
- Penyesuaian Kalibrasi yang Dapat Diakses
- Disegel Untuk Menahan Proses Pembersihan Perendaman
- Dirancang untuk memenuhi persyaratan UL1950
- Keandalan Terbukti, MTBF: $>2,10$ juta jam per Bellcore TR-332
- Sesuai RoHS
- UL Diakui

2.3.2. Diagram Balok Modul Tegangan Tinggi Seri CA

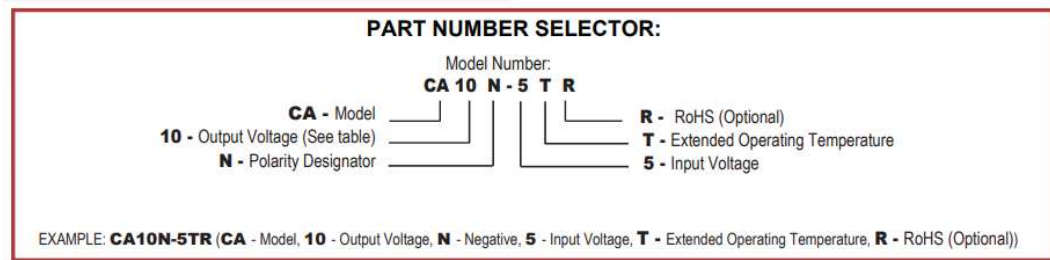
Diagram balok bentuk bagian dalam dari modul tegangan tinggi Emco seri CA diperlihatkan oleh Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8. Diagram balok rangkaian Emco seri CA[4]

2.3.3. Arti Kode pada Modul

Untuk menentukan jenis modul tegangan tinggi yang akan dipesan dan digunakan di dalam suatu aplikasi, maka perusahaan Emco meletakkan kode pada setiap produk modul tegangan tingginya. Adapun kode-kode yang tertera pada setiap modul memiliki arti seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Arti kode pada suatu modul Emco[4]

2.3.4. Aplikasi Modul Tegangan Tinggi Emco

Aplikasi dari modul tegangan tinggi Emco banyak dijumpai pada peralatan-peralatan berikut:

- Photomultiplier Tubes
- Avalanche Photodiodes
- Solid State Detectors
- Electrophoresis
- EO Lenses
- Piezo Devices
- Capacitor Charging

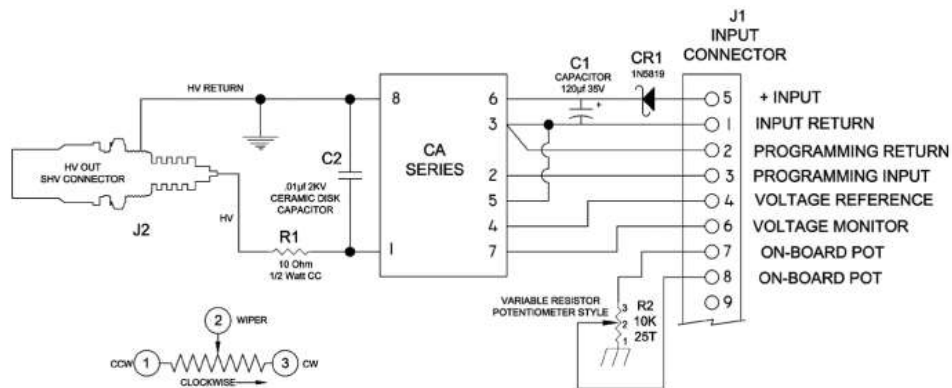
2.3.5. Cara Memrogram Modul Tegangan Tinggi Emco

Untuk memrogram modul tegangan tinggi seri CA dari Emco, kita perlu memerhatikan dan mengikuti posisi tata letak kaki-kaki pada Gambar 2.10. Selanjutnya, kaki 3 dari potensiometer yang ada pada papan rangkaian disambungkan ke kaki no 7 dari kaki konektor. Kaki 7 konektor tersebut kemudian dihubungkan dengan kabbel ke kaki konektor nomor 4. Untuk kaki wiper no 2 dari potensiometer dihubungkan ke kaki konektor nomor 8. Kaki konektor no 8 selanjutnya dihubungkan menggunakan kabel ke kaki konektor nomor 3. Untuk kaki nomor 1 dari potensiometer dihubungkan ke GND untuk dibumikan.

Untuk memeriksa kondisi modul tegangan tinggi bekerja dengan baik, wiper potensiometer diputar agar diperoleh perubahan pada keluaran tegangan tinggi dari modul tegangan tinggi Emco tersebut.

Untuk pengaturan menggunakan mikrokontroler, dalam penelitian ini potensiometer diganti dengan modul MCP4725. Meskipun terbuka juga kemungkinan untuk menggunakan sinyal analog lain dari mikrokontroler.

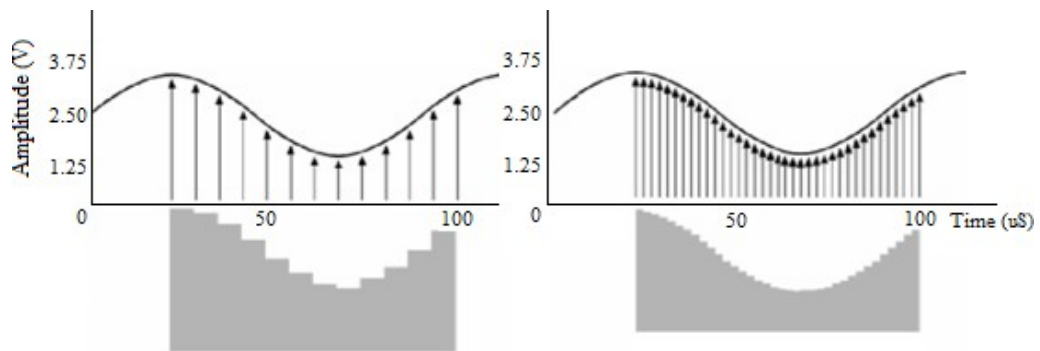
Untuk mendapatkan status nilai tegangan tinggi dari modul, kaki koneksi nomor 2 disambungkan ke kaki analog ADC yang ada pada mikrokontroler.



Gambar 2.10. Posisi Tiap Kaki Pada Modul Tegangan Tinggi

2.4. Pengubah Sinyal Analog ke Digital

Pengubah sinyal analog ke digital atau disebut juga *Analog To Digital Converter* (ADC) adalah pengubah input analog menjadi sandi digital. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor analog dengan sistem komputer yang bersifat digital, seperti sensor suhu, cahaya, tekanan, aliran dan sebagainya. Dalam penelitian ini, ADC yang menjadi bagian dari mikrokontroler digunakan untuk membaca umpan balik nilai tegangan yang berasal dari modul tegangan tinggi. ADC memiliki 2 parameter utama, yaitu kecepatan sampling dan resolusi. Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa cepat periode konversi suatu bentuk sinyal analog ke bentuk sinyal digital. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam *sample per second* (SPS) (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Kecepatan Sampling ADC[6]

Resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC. Sebagai contoh: ADC-8bit akan memiliki output 8bit data digital. Ini berarti sinyal masukan dapat dinyatakan dalam 255 ($2^8 - 1$) nilai diskrit. ADC-12bit memiliki 12 bit keluaran data digital. ini berarti sinyal masukan dapat dinyatakan dalam 4095 ($2^{12} - 1$) nilai diskrit. Dari contoh diatas ADC-12bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih teliti daripada ADC-8 bit.

Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal masukan dan tegangan referensi. Sebagai contoh perhitungan (Gambar 2.11), bila tegangan referensi 5 Volt dan tegangan masukan 3 Volt, maka rasio masukan terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC-8bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar $60\% \times 255 = 153$ (bentuk decimal) atau 10011001 (bentuk biner).[5]

$$\begin{aligned}
 \text{signal} &= (\text{sample}/\text{max_value}) * \text{reference_voltage} \\
 &= (153/255) * 5 = 3 \text{ Volts}
 \end{aligned}$$

Gambar 2.12 Contoh perhitungan konversi pada ADC[5]

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

1.1. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Merancang modul otomatis untuk mengatur tegangan tinggi secara otomatis suatu modul HV seri CA buatan EMCO.
2. Membuat skenario rancangan dengan menggabungkan cara koneksi perangkat keras dan cara kerja perangkat lunak.
3. Merancang perangkat keras dengan menggunakan dua komponen utama, yaitu sebuah mikrokontroler ATmega328P dan sebuah modul DAC MCP4725.
4. Merancang perangkat lunak dengan membuat flowchart proses pengaturan tegangan secara otomatis dari sebuah modul tegangan tinggi EMCO melalui sinkronisasi kerja mikrokontroler dan modul DAC MCP4725.
5. Membuat purwarupa hasil rancangan untuk diterapkan pada sistem monitor radiasi lingkungan.

1.2. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Menyediakan sebuah rancangan pengaturan tegangan tinggi berbasis mikrokontroler ATmega328P dengan perantara modul MCP4725.
2. Pengaturan tegangan tinggi berbasis ATmega328P dengan modul interface MCP328P dikendalikan secara otomatis. Pengaturan seperti ini menghasilkan keluaran tegangan tinggi dengan tingkat kestabilan yang selalu terjaga.
3. Pengaturan tegangan berbasis mikrokontroler dapat dikendalikan dan dimonitor dari jarak jauh.
4. Rancangan ini diaplikasikan untuk penyediaan tegangan tinggi pada detektor Geiger Muller dan detektor NaI(Tl) yang memerlukan kestabilan tegangan

dan pengaturan ulang tegangan secara bertahap pada saat sistem kehilangan daya sesaat atau saat melakukan start up awal.

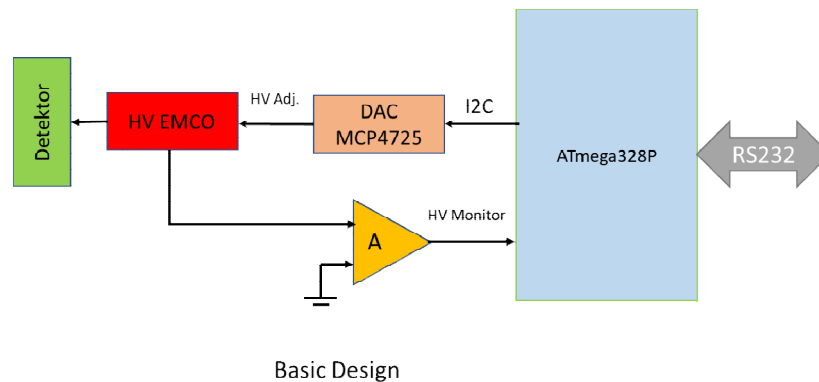
5. Pengaturan tegangan tinggi berbasis ATmega328P dapat diterapkan untuk tujuan aplikasi yang lain.
6. Tersedianya purwarupa yang dapat diproduksi secara massal, yang berhubungan dengan pengaturan tegangan tinggi secara otomatis untuk modul detektor radiasi nuklir Geiger Muller dan detektor radiasi nuklir NaI(Tl).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Gambaran Umum

Konsep pengaturan tegangan dari modul tegangan tinggi (modul HV Emco) berbasis mikrokontroler ATmega328P (Gambar 4.1) yaitu mikrokontroler melakukan pengaturan tegangan dengan mengirimkan perintah ke modul DAC MCP4725 melalui jalur komunikasi I2C yang ada pada kaki mikrokontroler dan modul DAC tersebut.

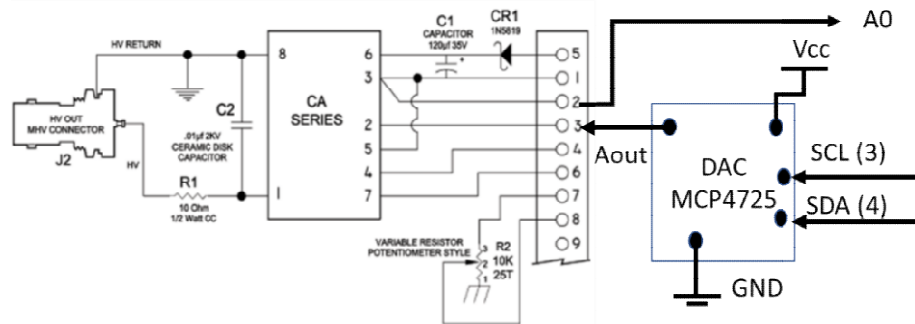


Gambar 4.1. Sistem monitor Lingkungan

Fungsi kaki-kaki mikrokontroler ATmega328P yang digunakan untuk berkomunikasi dengan modul DAC MCP4725 lewat I2C dalam menulis perintah pengaturan tegangan modul tegangan tinggi EMCO terdiri dari fungsi pembangkitan sinyal clock (pin SCL: A5) dan fungsi penyaluran data perintah (pin SDA: A4). Di sisi lain, fungsi kaki yang digunakan untuk mendapatkan umpan balik nilai tegangan dari hasil pengaturan modul tegangan tinggi Emco adalah fungsi pengubah sinyal analog ke digital (pin A0).

Pada modul antarmuka, yakni DAC MCP4725, saluran komunikasi I2C pembangkit sinyal clock yang berasal dari ATmega328P dimasukkan ke kaki modul DAC yang bertanda SCL (pin 3). Demikian juga jalur data SDA yang berasal dari ATmega328P dihubungkan ke modul DAC melalui kaki masukan yang bertanda SDA (pin 4).

Modul tegangan tinggi, yakni modul HV Emco, mendapatkan sinyal analog perintah pengaturan dari modul DAC MCP4725 (Aout). Sementara informasi hasil pengaturan nilai tegangan pada modu HV Emco dikirim secara langsung ke mikrokontroler melalui kaki analog ATmega328P (pin A0). Diagram hubungan antar kaki DAC MCP4725, modul HV Emco dan ATmega 328P diperlihatkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Koneksi DAC dari ATmega dan ke Modul HV Emco

Deskripsi hubungan pin-pin diantara modul ATmega328P, modul DAC MCP4725, dan modul HV Emco disajikan dalam bentuk tabulasi, seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.3 berikut.

INTERKONEKSI ANTARA MODUL UNTUK HV				
Nama Modul	pin ATmega328P	pin MCP4725	pin modul HV Emco	Keterangan
Pengatur HV	A0		pin konektor 2	koneksi ATmega328P-modul HV
	pin A4\SDA output	pin 4/SDA input		koneksi pin I2C -SDA
	pin A5\SCL out	pin3/SCL input		koneksi pin I2C- SCL
		pin 1/Analog Out	pin konektor 3	koneksi DAC-modul HV

Gambar 4.2. Deskripsi koneksi antar kaki-kaki modul

4.2. Skema Pengembangan Sistem

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan skema penggabungan/sintensis antara perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Skema perancangan perangkat keras yaitu dengan melakukan perangkaian antara mikrokontroler ATmega328P, modul DAC MCP4725, dan modul HV Emco. Selanjutnya, untuk skema perancangan perangkat lunak yaitu dengan terlebih

dahulu membuat flowchart yang berhubungan dengan proses logika pemberian perintah terhadap sistem pengaturan tegangan tinggi secara otomatis pada modul HV Emco berdasarkan perbandingan pada nilai tegangan yang diminta atau yang telah ditentukan (set point) dan nilai tegangan hasil pembacaan yang sebenarnya (real point).

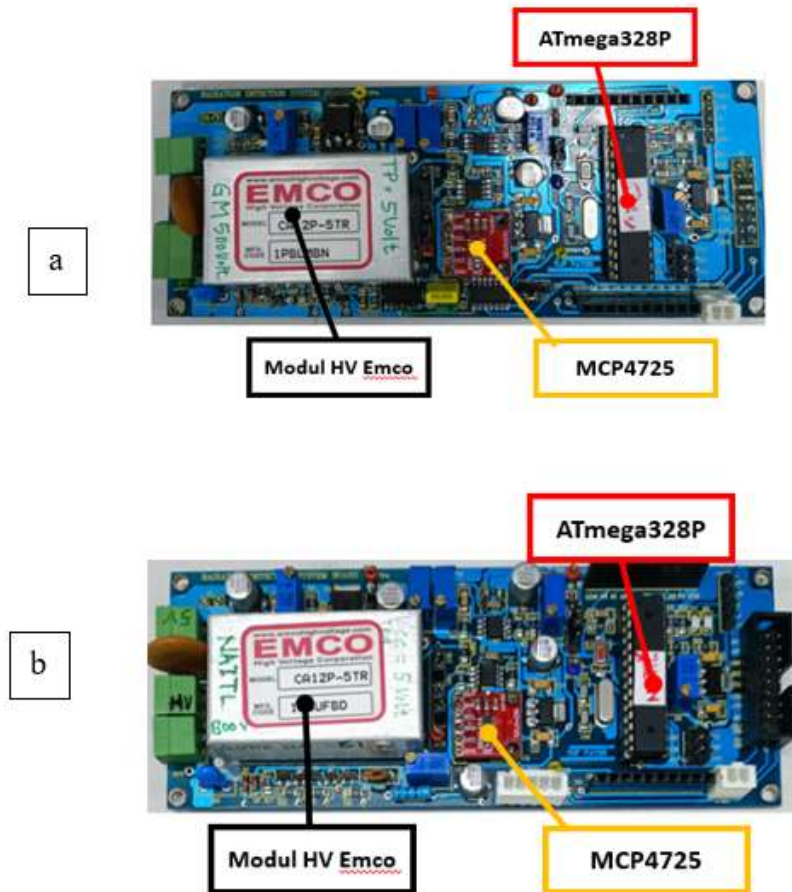
Rancangan perangkat keras dan lunak tersebut kemudian diintegrasikan untuk dijadikan purwarupa sistem pengaturan tegangan berbasis ATmega328P.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Rancangan Perangkat Keras

Hasil perancangan perangkat keras merupakan rangkaian dari tiga komponen utama yang dirangkai menjadi satu kesatuan, yaitu, mikrokontroler ATmega328P, modul DAC MCP4725, dan modul HV Emco seri CA (Gambar 5.1 a dan b)

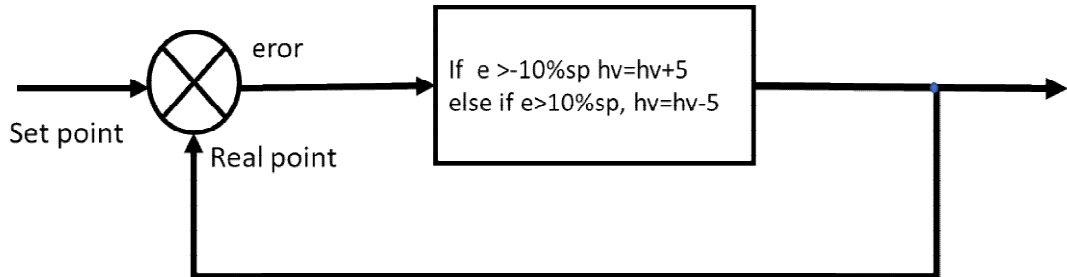


Gambar 5.1. Sistem pengaturan tegangan tinggi berbasis ATmega328P
a. Pengaturan Tegangan dengan set point 500V
b. Pengaturan Tegangan dengan set point 800V

Mikrokontroler ATmega328P berfungsi sebagai pengendali dalam mengatur nilai tegangan tinggi modul Emco seri CA. Alur logika pengaturan tegangan yang dilakukan oleh ATmega328P dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Asumsi awal dari sistem (terdiri dari tiga modul utama) pengatur tegangan tinggi yang dirancang ini adalah dalam keadaan off. Dan, Ketika sistem dinyalakan, maka ATmega328P kemudian mulai melakukan pengaturan terhadap modul DAC MCP4725.
2. Modul DAC MCP4725 diatur sedemikian rupa sehingga nilai tegangan awal dari modu Hv Emco dipastikan berada pada nilai 0.
3. Selanjutnya, mikrokontroler ATmega328P memeriksa nilai set point tegangan yang diberikan oleh operator atau yang telah ditentukan secara default pada saat ATmega328P deprogram.
4. Mikrokontroler kemudian mengirim perintah pengaturan tegangan secara bertahap melalui modul DAC MCP4725 hingga mencapai set point.
5. Perubahan tegangan secara bertahap tersebut dimonitor oleh ATmega328P dengan membaca data hasil kiriman modul HV melalui pin ADC A0 ATmega328P.
6. Bilamana pada saat pengaturan secara bertahap sedang dilakukan tetapi nilai tegangan feed back dari modul HV tidak menunjukkan perubahan, mikrokontroler aRmega328P akan mengeluarkan sinyal pemberitahuan.
7. Selanjutnya, jika kondisi berjalan normal, maka pengaturan secara bertahap tersebut akan bergerak hingga mencapai tegangan set point yang ditentukan.
8. Ketika pengaturan telah mencapai nilai set point, pengaturan secara bertahap meamsuki tahap monitoring.
9. Pada tahap monitoring, nilai tegangan yang diperoleh dari informasi sinyal feed back dibandingkan dengan tegangan set point. Bila nilai yang difeedback berada 10% di bawah set point, maka ATmega328P akan menaikkan nilai HV. Sebaliknya, jika hasil monitoring memperlihatkan nilai berada 10% diatas nilai set point, maka ATmega328P akan menurunkan nilai tegangan HV.
10. Pengaturan ini dilakukan terus menerus secara periodik hingga sistem dimatikan atau kehilangan power.

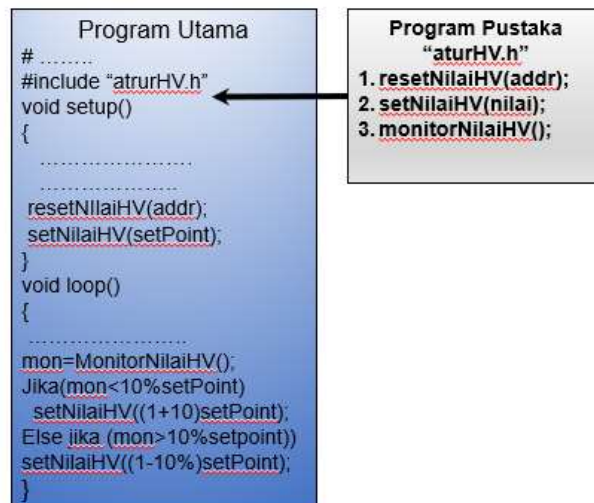
Diagram dalam Gambar 5.2 berikut memperlihatkan cara kerja pengaturan HV yang dilakukan oleh sistem berbasis ATmega328P tersebut.



Gambar 5.2. Skema pengaturan HV berbasis ATmega328P

5.1.2. Hasil Rancangan Perangkat Lunak

Rancangan perangkat lunak sistem pengaturan tegangan tinggi modul HV Emco dipecah ke dalam dua program, yaitu program utama dan program pustaka pengatur tegangan tinggi. Skema rancangan dasar perangkat lunak pengatur tegangan tinggi diperlihatkan dalam Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3. Skema rancangan dasar perangkat lunak pengatur HV

Gambar 5.3 memperlihatkan bahwa pengaturan tegangan tinggi modul HV berbasis ATmega328P dilakukan dengan pertama-tama membuat pustaka yang bertugas menangani pengaturan tegangan. Pustaka tersebut berisi tiga fungsi

utama, yakni melakukan reset tegangan, melakukan set tegangan, dan melakukan monitor tegangan. Reset tegangan dimaksudkan untuk menolkan tegangan HV saat pertama kali sistem pengatur HV dihidupkan. Adapun tujuan dalam melakukan reset tegangan HV adalah untuk menghindari kerusakan pada sistem deteksi akibat pemberian tegangan tinggi secara mendadak. Terutama Ketika sistem catu daya secara mendadak mati lalu hidup lagi. Selanjutnya, setelah dipastikan tegangan awal nol, sistem kemudian mulai melakukan perubahan tegangan secara positif setahap demi setahap hingga mencapai tegangan set point. Ketika tegangan telah mencapai nilai setpoint dengan toleransi sekitar 10%, maka pengsturan tegangan berhenti dan berpindah ke status monitoring. Pada status monitoring ini, mikrokontrol akan memerintahkan MCP4725 untuk menaikkan atau menurunkan tegangan modul HV bila tegangan modul berada diluar batas toleransi tegangan set point yang ditentukan.

5.3 Uji purwarupa Sistem Pengatur Tegangan

Hasil rancangan kemudian dikonstruksi untuk dijadikan purwarupa sistem pengatur tegangan tinggi untuk diaplikasikan sebagai pencatu tegangan tinggi pada sistem monitor radiasi lingkungan. Ada dua hasil purwarupa yang dibuat untuk mengetahui unjuk kerja rancangan (Gambar 5.1 a dan b). Purwarupa pertama adalah untuk mensuplai tegangan tinggi pada detector Geiger Muller. Yang kedua adalah purwarupa untuk mensuplai tegangan tinggi pada detektor NaI(Tl). Setpoint tegangan untuk purwarupa sistem tegangan tinggi detektor GM adalah 500V, sementara purwarupa sistem tegangan tinggi detektor NaI(Tl) adalah sebesar 750V. Dari hasil pengujian kedua purwarupa tersebut diperoleh hasil real point atau feed back nilai HV secara stabil seperti diperlihatkan pada hasil tabulasi pengujian dalam Gambar 5.4.

No	Purwarupa	Set point(V)	Real point (V)
1.	Sistem HV GM	500	510
2.	Sistem HV NaI (Tl)	750	735

Gambar 5.4. Hasil Pengukuran Tegangan Tinggi Purwarupa HV

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Telah dilakukan perancangan sistem pengaturan tegangan tinggi berbasis berbasis mikrokontroler ATmega328P, modul DAC MCP4725 dan modul HV buatan Emco dengan hasil rancangan berupa rancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Rancangan tersebut kemudian diintegrasikan dan diwujudkan dalam bentuk purwarupa sistem pengaturan tegangan tinggi.

Hasil rancangan yang berwujud purwarupa sistem pengaturan tegangan tinggi tersebut telah diuji. Hasil pengujian menunjukkan pengaturan tegangan tinggi berada pada tegangan yang stabil dengan nilai yang mendekati set point.

6.2. Saran

Sistem pengaturan tegangan tinggi berbasis ATmega328P masih berkonsentrasi dalam penyediaan sistem pengaturan tegangan tinggi pada sistem monitoring radiasi lingkungan. Oleh karena itu, kegiatan penelitian lanjutan masih terbuka. Terutama yang berhubungan dengan ketersediaan sistem pengaturan tegangan tinggi yang bersifat umum dan untuk wilayah penelitian lainnya.

Pengujian sistem pengaturan tegangan ini juga masih bersifat sebagian. Yaitu hanya berkonsentrasi pada pengujian nilai tegangan saja. Sehingga masih diperlukan pengujian terhadap parameter lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

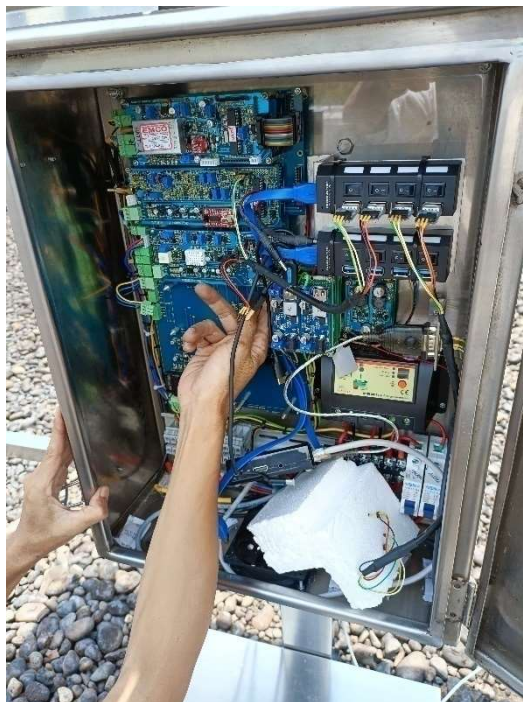
- [1] Rizky, Achmad.2013. Skripsi: “Pengenda Robot Pengintai Melalui Android Dengan Bluetooth Berbasis ArduinoUno”.
- [2] Microchip, “MCP4725, 12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory”, © 2007-2022 Microchip Technology Inc. and its subsidiaries
- [3] T.K. HAREENDRAN. “*Arduino DAC Guide*”. <https://www.electroschematics.com/arduino-dac-guide/>
- [4] CA SERIES, “*Precision Regulated, Low Ripple High Voltage DC To DC Converters*”.<https://www.zeuthen.desy.de/~sulanke/Projects/ICECUBE/mDOM/mainboard/datasheets/>
- [5] Harianto, Didik. Bahan Ajar: “*Analog to Digital Conversion*”.

LAMPIRAN

1. Tampilan Sistem Pengatur HV.



Gambar Sistem pengatur HV untuk GM dan NaI(tl)



Gambar Panel Tempat integrasi pemasangan sistem pengatur HV



Pemeriksaan hasil instalasi sebelum sistem diuji

2. Datasheet ATmega328

Features

- High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:
 - Active Mode: 0.2 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



8-bit **AVR**[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash

ATmega48PA
ATmega88PA
ATmega168PA
ATmega328P

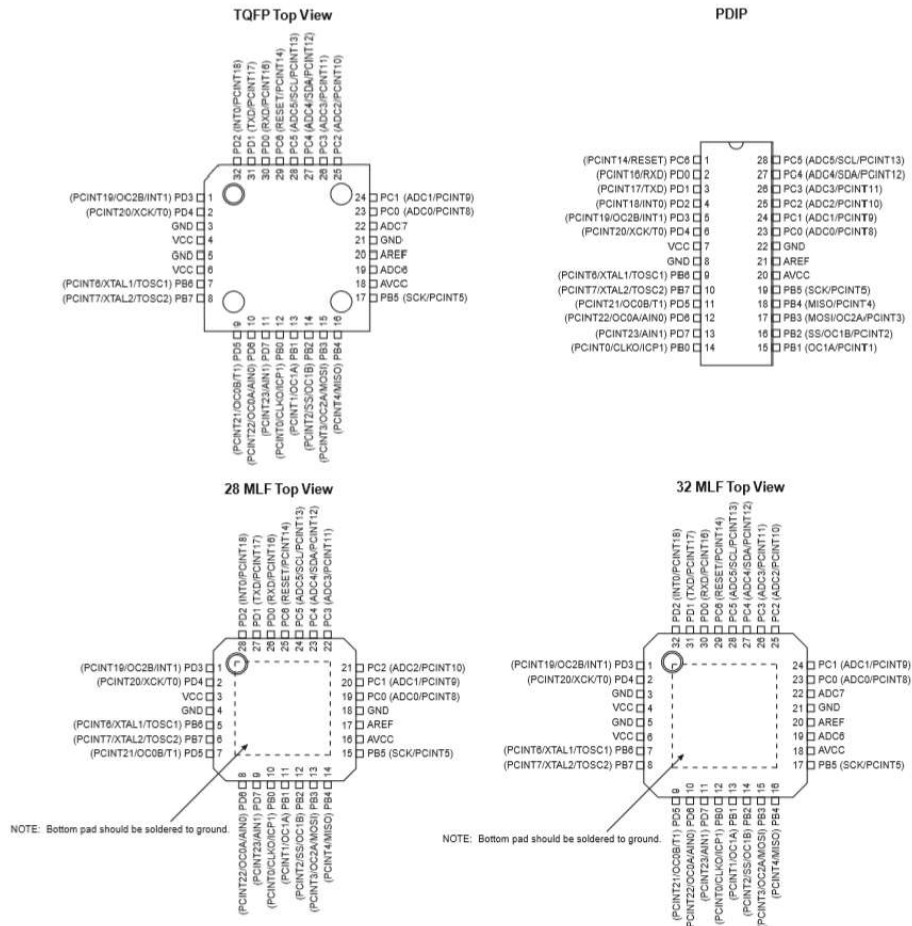
Rev. 8161D-AVR-10/09



ATmega48PA/88PA/168PA/328P

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48PA/88PA/168PA/328P



ATmega48PA/88PA/168PA/328P

1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

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.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 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, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in ["Alternate Functions of Port B" on page 82](#) and ["System Clock and Clock Options" on page 26](#).

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5..0 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.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 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 [Table 28-3 on page 318](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in ["Alternate Functions of Port C" on page 85](#).

1.1.6 Port D (PD7:0)

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.

(Lanjutan)

ATmega48PA/88PA/168PA/328P

The various special features of Port D are elaborated in "[Alternate Functions of Port D](#)" on page 88.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6..4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

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

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

3. Datasheet MCP4725



MCP4725

12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory

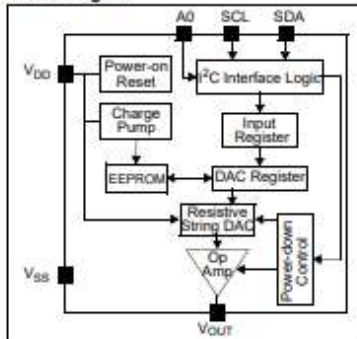
Features

- 12-Bit Resolution
- On-Board Nonvolatile Memory (EEPROM)
- ± 0.2 LSB DNL (typical)
- External A0 Address Pin
- Normal or Power-Down Mode
- Fast Settling Time: 6 μ s (typical)
- External Voltage Reference (V_{DD})
- Rail-to-Rail Output
- Low Power Consumption
- Single-Supply Operation: 2.7V to 5.5V
- I²C Interface:
 - Eight Available Addresses
 - Standard (100 kbps), Fast (400 kbps), and High-Speed (3.4 Mbps) Modes
- Small 6-Lead SOT-23 and DFN Package Options
- Extended Temperature Range: -40°C to +125°C

Applications

- Set Point or Offset Trimming
- Sensor Calibration
- Closed-Loop Servo Control
- Low Power Portable Instrumentation
- PC Peripherals
- Data Acquisition Systems

Block Diagram



General Description

The MCP4725 is a low-power, high accuracy, single channel, 12-bit buffered voltage output Digital-to-Analog Converter (DAC) with nonvolatile memory (EEPROM). Its on-board precision output amplifier allows it to achieve rail-to-rail analog output swing.

The DAC input and configuration data can be programmed to the nonvolatile memory (EEPROM) by the user using I²C interface command. The nonvolatile memory feature enables the DAC device to hold the DAC input code during power-off time, and the DAC output is available immediately after power-up. This feature is very useful when the DAC device is used as a supporting device for other devices in the network.

The device includes a Power-on-Reset (POR) circuit to ensure reliable power-up and an on-board charge pump for the EEPROM programming voltage. The DAC reference is driven from V_{DD} directly. In power-down mode, the output amplifier can be configured to present a known low, medium, or high resistance output load.

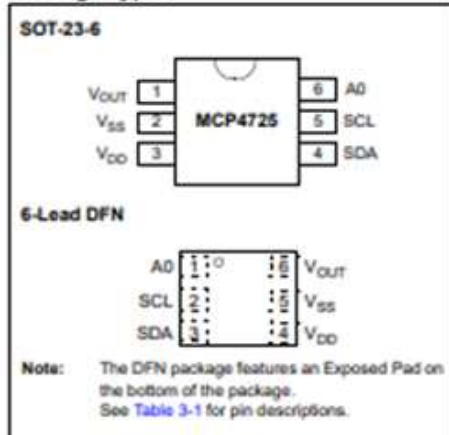
The MCP4725 has an external A0 address bit selection pin. This A0 pin can be tied to V_{DD} or V_{SS} of the user's application board.

The MCP4725 has a two-wire I²C compatible serial interface for standard (100 kHz), fast (400 kHz), or high speed (3.4 MHz) mode.

The MCP4725 is an ideal DAC device where design simplicity and small footprint is desired, and for applications requiring the DAC device settings to be saved during power-off time.

The device is available in a small 6-pin SOT-23 and DFN package.

Package Types



1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

V _{DD}	5.5V
All inputs and outputs w.r.t V _{SS}	-0.3V to V _{DD} +0.3V
Current at Input Pins.....	±2 mA
Current at Supply Pins.....	±50 mA
Current at Output Pins.....	±25 mA
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Ambient Temp. with Power Applied.....	-55°C to +125°C
ESD protection on all pins.....	≥ 8 kV HBM, ≥ 400V MM
Maximum Junction Temperature (T _J).....	+150°C

† Notice: Stresses above those listed under "Absolute Maximum ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all parameters apply at V_{DD} = + 2.7V to 5.5V, V_{SS} = 0V, R_L = 5 kΩ from V_{OUT} to V_{SS}, C_L = 100 pF, T_A = -40°C to +125°C. Typical values are at +25°C.

Parameter	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Power Requirements						
Operating Voltage	V _{DD}	2.7	—	5.5	V	
Supply Current	I _{DD}	—	210	400	μA	Digital input pins are grounded, Output pin (V _{OUT}) is not connected (unloaded), Code = 000h
Power-Down Current	I _{DDP}	—	0.06	2.0	μA	V _{DD} = 5.5V
Power-On-Reset Threshold Voltage	V _{POR}	—	2	—	V	
DC Accuracy						
Resolution	n	12	—	—	Bits	Code Range = 000h to FFFh
INL Error	INL	—	±2	±14.5	LSB	Note 1
DNL	DNL	-0.75	±0.2	±0.75	LSB	Note 1
Offset Error	V _{OS}	—	0.02	0.75	% of FSR	Code = 000h
Offset Error Drift	ΔV _{OS} /°C	—	±1	—	ppm/°C	-45°C to +25°C
		—	±2	—	ppm/°C	+25°C to +85°C
Gain Error	G _E	-2	-0.1	2	% of FSR	Code = FFFh, Offset error is not included.
Gain Error Drift	ΔG _E /°C	—	-3	—	ppm/°C	
Output Amplifier						
Phase Margin	PM	—	66	—	Degree(°)	C _L = 400 pF, R _L = ∞
Capacitive Load Stability	C _L	—	—	1000	pF	R _L = 5 kΩ, Note 2
Slew Rate	SR	—	0.55	—	V/μs	
Short Circuit Current	I _{SC}	—	15	24	mA	V _{DD} = 5V, V _{OUT} = Grounded
Output Voltage Settling Time	T _S	—	6	—	μs	Note 3

Note 1: Test Code Range: 100 to 4000.

2: This parameter is ensured by design and not 100% tested.

3: Within 1/2 LSB of the final value when code changes from 1/4 to 3/4 (400h to C00h) of full scale range.

4: Logic state of external address selection pin (A0 pin).

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note: The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore, outside the warranted range.

Note: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +5.0\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$ to V_{SS} , $C_L = 100\text{ pF}$.

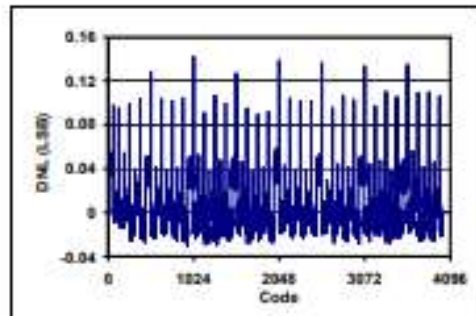


FIGURE 2-1: DNL vs. Code ($V_{DD} = 5.5\text{V}$).

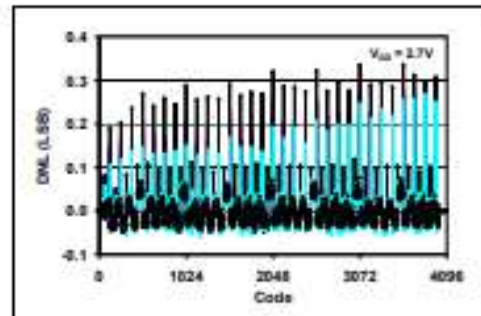


FIGURE 2-4: DNL vs. Code and Temperature ($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$).

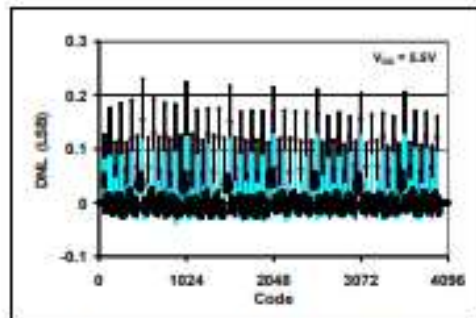


FIGURE 2-2: DNL vs. Code and Temperature ($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$).

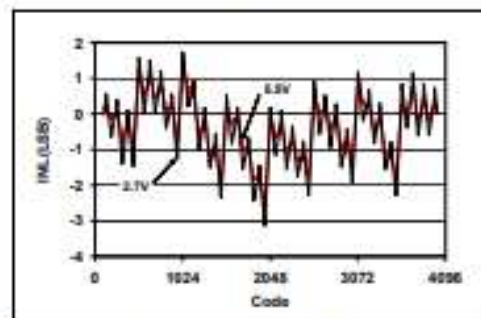


FIGURE 2-5: INL vs. Code.

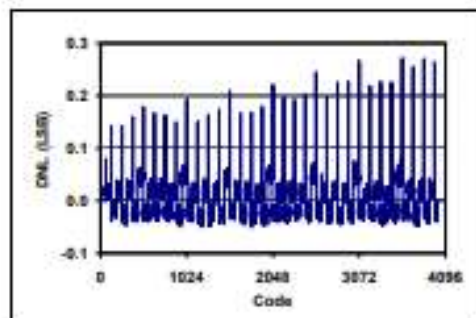


FIGURE 2-3: DNL vs. Code ($V_{DD} = 2.7\text{V}$).

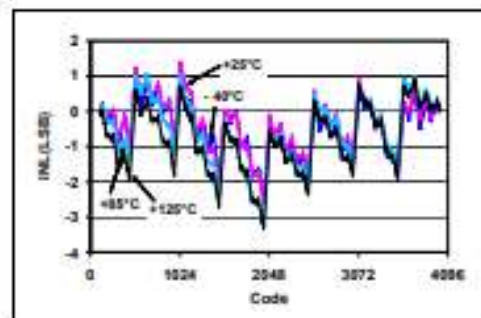


FIGURE 2-6: INL vs. Code and Temperature ($V_{DD} = 5.5\text{V}$).

3.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed in Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE

MCP4725		Name	Description
SOT-23	DFN		
1	6	V _{OUT}	Analog Output Voltage
2	5	V _{SS}	Ground Reference
3	4	V _{DD}	Supply Voltage
4	3	SDA	I ² C Serial Data
5	2	SCL	I ² C Serial Clock Input
6	1	A0	I ² C Address Bit Selection pin (A0 bit). This pin can be tied to V _{SS} or V _{DD} , or can be actively driven by the digital logic levels. The logic state of this pin determines what the A0 bit of the I ² C address bits should be.
—	7	EP	Exposed Pad (Note 1)

Note 1: The DFN package has a contact on the bottom of the package. This contact is conductively connected to the die substrate, and therefore should be unconnected or connected to the same ground as the device's V_{SS} pin.

3.1 Analog Output Voltage (V_{OUT})

V_{OUT} is an analog output voltage from the DAC device. The DAC output amplifier drives this pin with a range of V_{SS} to V_{DD}.

3.2 Supply Voltage (V_{DD} or V_{SS})

V_{DD} is the power supply pin for the device. The voltage at the V_{DD} pin is used as the supply input as well as the DAC reference input. The power supply at the V_{DD} pin should be as clean as possible for good DAC performance.

This pin requires an appropriate bypass capacitor of about 0.1 μF (ceramic) to ground. An additional 10 μF capacitor (tantalum) in parallel is also recommended to further attenuate high frequency noise present in application boards. The supply voltage (V_{DD}) must be maintained in the 2.7V to 5.5V range for specified operation.

V_{SS} is the ground pin and the current return path of the device. The V_{SS} pin must be connected to a ground plane through a low impedance connection. If an analog ground path is available in the application PCB (printed circuit board), it is highly recommended that the V_{SS} pin be tied to the analog ground path or isolated within an analog ground plane of the circuit board.

3.3 Serial Data Pin (SDA)

SDA is the serial data pin of the I²C interface. The SDA pin is used to write or read the DAC register and EEPROM data. The SDA pin is an open-drain N-channel driver. Therefore, it needs a pull-up resistor from the V_{DD} line to the SDA pin. Except for START and STOP conditions, the data on the SDA pin must be stable

during the high period of the clock. The high or low state of the SDA pin can only change when the clock signal on the SCL pin is low. Refer to Section 7.0 "I²C Serial Interface Communication" for more details of I²C Serial interface communication.

3.4 Serial Clock Pin (SCL)

SCL is the serial clock pin of the I²C interface. The MCP4725 acts only as a slave and the SCL pin accepts only external serial clocks. The input data from the Master device is shifted into the SDA pin on the rising edges of the SCL clock and output from the MCP4725 occurs at the falling edges of the SCL clock. The SCL pin is an open-drain N-channel driver. Therefore, it needs a pull-up resistor from the V_{DD} line to the SCL pin. Refer to Section 7.0 "I²C Serial Interface Communication" for more details of I²C Serial interface communication.

3.5 Device Address Selection Pin (A0)

This pin is used to select the A0 address bit by the user. The user can tie this pin to V_{SS} (logic '0'), or V_{DD} (logic '1'), or can be actively driven by the digital logic levels, such as the I²C Master Output. See Section 7.2 "Device Addressing" for more details of the address bits.

4.0 TERMINOLOGY

4.1 Resolution

The resolution is the number of DAC output states that divide the full scale range. For the 12-bit DAC, the resolution is 2^{12} or the DAC code ranges from 0 to 4095.

4.2 LSB

The least significant bit or the ideal voltage difference between two successive codes.

EQUATION 4-1:

$$LSB_{Ideal} = \frac{V_{REF} - (V_{Full\ Scale} - V_{Zero\ State})}{2^n - 1}$$

Where:

- V_{REF} = The reference voltage = V_{DD} in the MCP4725. This V_{REF} is the ideal full scale voltage range
- n = The number of digital input bits, ($n = 12$ for MCP4725)

4.3 Integral Nonlinearity (INL) or Relative Accuracy

INL error is the maximum deviation between an actual code transition point and its corresponding ideal transition point (straight line). Figure 2-5 shows the INL curve of the MCP4725. The end-point method is used for the calculation. The INL error at a given input DAC code is calculated as:

EQUATION 4-2:

$$INL = \frac{(V_{OUT} - V_{Ideal})}{LSB}$$

Where:

- V_{Ideal} = Code * LSB
- V_{OUT} = The output voltage measured at the given input code

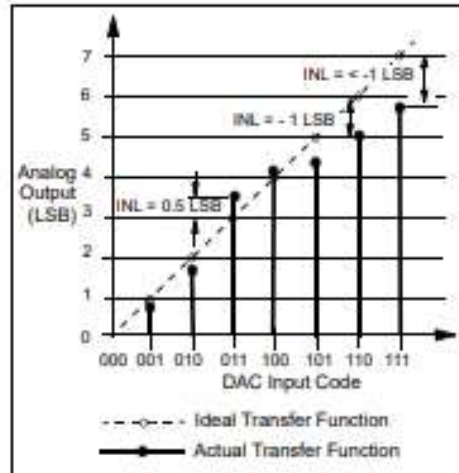


FIGURE 4-1: INL Accuracy.

4.4 Differential Nonlinearity (DNL)

Differential nonlinearity error (Figure 4-2) is the measure of step size between codes in actual transfer function. The ideal step size between codes is 1 LSB. A DNL error of zero would imply that every code is exactly 1 LSB wide. If the DNL error is less than 1 LSB, the DAC guarantees monotonic output and no missing codes. The DNL error between any two adjacent codes is calculated as follows:

EQUATION 4-3:

$$DNL = \frac{\Delta V_{OUT} - LSB}{LSB}$$

Where:

- ΔV_{OUT} = The measured DAC output voltage difference between two adjacent input codes.

5.0 GENERAL DESCRIPTION

The MCP4725 is a single channel buffered voltage output 12-bit DAC with nonvolatile memory (EEPROM). The user can store configuration register bits (2 bits) and DAC input data (12 bits) in nonvolatile EEPROM (14 bits) memory.

When the device is powered on first, it loads the DAC code from the EEPROM and outputs the analog output accordingly with the programmed settings. The user can reprogram the EEPROM or DAC register any time.

The device uses a resistor string architecture. DAC's output is buffered with a low power precision amplifier. This output amplifier provides low offset voltage and low noise, as well as rail-to-rail output. The amplifier can also provide high source currents (V_{OUT} pin to V_{SS}).

The DAC can be configured to normal or power saving power-down mode by setting the configuration register bits.

The device uses a two-wire I²C compatible serial interface and operates from a single power supply ranging from 2.7V to 5.5V.

5.1 Output Voltage

The input coding to the MCP4725 device is unsigned binary. The output voltage range is from 0V to V_{DD} . The output voltage is given in Equation 5-1:

EQUATION 5-1:

$V_{OUT} = \frac{(V_{REF} \times D_n)}{4096}$
Where:
V_{REF} = V_{DD}
D_n = Input code

5.1.1 OUTPUT AMPLIFIER

The DAC output is buffered with a low-power, precision CMOS amplifier. This amplifier provides low offset voltage and low noise. The output stage enables the device to operate with output voltages close to the power supply rails. Refer to Section 1.0 "Electrical Characteristics" for range and load conditions.

The output amplifier can drive the resistive and high capacitive loads without oscillation. The amplifier can provide maximum load current as high as 25 mA which is enough for most of a programmable voltage reference applications.

5.1.2 DRIVING RESISTIVE AND CAPACITIVE LOADS

The MCP4725 output stage is capable of driving loads up to 1000 pF in parallel with 5 k Ω load resistance. Figure 2-15 shows the V_{OUT} vs. Resistive Load. V_{OUT} drops slowly as the load resistance decreases after about 3.5 k Ω .

5.2 LSB SIZE

One LSB is defined as the ideal voltage difference between two successive codes. (see Equation 4-1). Table 5-1 shows an example of the LSB size over full scale range (V_{DD}).

TABLE 5-1: LSB SIZES FOR MCP4725 (EXAMPLE)

Full Scale Range (V_{DD})	LSB Size	Condition
3.0V	0.73 mV	3V / 4096
5.0V	1.22 mV	5V / 4096

5.3 Voltage Reference

The MCP4725 device uses the V_{DD} as its voltage reference. Any variation or noises on the V_{DD} line can affect directly on the DAC output. The V_{DD} needs to be as clean as possible for accurate DAC performance.

5.4 Reset Conditions

In the Reset conditions, the device uploads the EEPROM data into the DAC register. The device can be reset by two independent events: (a) by POR or (b) by I²C General Call Reset Command.

The factory default settings for the EEPROM prior to shipment are shown in Table 5-3 (set for a middle scale output). The user can rewrite or read the DAC register or EEPROM anytime after the Power-On-Reset event.

5.4.1 POWER-ON-RESET

The device's internal Power-On-Reset (POR) circuit ensures that the device powers up in a defined state.

If the power supply voltage is less than the POR threshold ($V_{POR} = 2V$, typical), all circuits are disabled and there will be no DAC output. When the V_{DD} increases above the V_{POR} , the device takes a reset state. During the reset period, the device uploads all configuration and DAC input codes from EEPROM. The DAC output will be the same as for the value last stored in the EEPROM. This enables the device returns to the same state that it was at the last write to the EEPROM before it was powered off.

6.0 THEORY OF OPERATION

When the device is connected to the I²C bus line, the device is working as a slave device. The Master (MCU) can write/read the DAC input register or EEPROM using the I²C interface command. The MCP4725 device address contains four fixed bits (1100 = device code) and three address bits (A2, A1, A0). The A2 and A1 bits are hard-wired during manufacturing, and A0 bit is determined by the logic state of A0 pin. The A0 pin can be connected to V_{DD} or V_{SS}, or actively driven by digital logic levels.

The following sections describe the communication protocol to send or read the data code and write/read the EEPROM using the I²C interface. See Section 7.0 “I²C Serial Interface Communication”.

6.1 Write Commands

The write commands are used to load the configuration bits and DAC input code to the DAC register, or to write to the EEPROM of the device. The write command types are defined by using three write command type bits (C2, C1, C0). Table 6-2 shows the write command types and their functions. There are three command types for the MCP4725. The four “reserved” commands in Table 6-2 are for future use. The MCP4725 ignores the “reserved” commands. Write command protocol examples are shown in Figure 6-1 and Figure 6-2.

The input data code is coded as shown in Table 6-1. The MSB of the data is always transmitted first and the format is unipolar binary.

TABLE 6-1: INPUT DATA CODING

Input Code	Nominal Output Voltage (V)
111111111111 (FFFh)	V _{DD} - 1 LSB
111111111110 (FFEh)	V _{DD} - 2 LSB
000000000010 (002h)	2 LSB
000000000001 (001h)	1 LSB
000000000000 (000h)	0

6.1.1 WRITE COMMAND FOR FAST MODE (C2 = 0, C1 = 0, C0 = X, X = DON'T CARE)

The fast write command is used to update the DAC register. The data in the EEPROM of the device is not affected by this command. This command updates Power-Down mode selection bits (PD1 and PD0) and 12 bits of the DAC input code in the DAC register. Figure 6-1 shows an example of the fast write command for the MCP4725 device.

6.1.2 WRITE COMMAND FOR DAC INPUT REGISTER (C2 = 0, C1 = 1, C0 = 0)

In MCP4725, this command performs the same function as the Fast Mode command in Section 6.1.1 “Write Command for Fast mode (C2 = 0, C1 = 0, C0 = X, X = Don't Care)”. Figure 6-2 shows the write command protocol for the MCP4725.

As shown in Figure 6-2, the D11 - D0 bits in the third and fourth bytes are DAC input data. The last 4 bits (X, X, X, X) in the fourth byte are don't care bits.

The device executes the Master's write command after receiving the last byte (4th byte). The Master can send a STOP bit to terminate the current sequence, or send a Repeated START bit followed by an address byte. If the device receives three data bytes continuously after the 4th byte, it updates from the 2nd to the 4th data bytes with the last three input data bytes.

The contents of the register are updated at the end of the 4th byte. The device ignores any partially received data bytes if the I²C communication with the Master ends before completing the 4th byte.

6.1.3 WRITE COMMAND FOR DAC INPUT REGISTER AND EEPROM (C2 = 0, C1 = 1, C0 = 1)

When the device receives this command, it (a) loads the configuration and data bits to the DAC register, and (b) also writes the EEPROM. When the device is writing the EEPROM, the RDY/BSY bit goes low and stays low until the EEPROM write operation is completed. The state of the RDY/BSY bit can be monitored by a read command. Figure 6-2 shows the details of this write command protocol and Figure 6-3 shows the details of the read command.

TABLE 6-2: WRITE COMMAND TYPE

C2	C1	C0	Command Name	Function
0	0	X	Fast Mode	This command is used to change the DAC register. EEPROM is not affected
0	0	X	-	-
0	1	0	Write DAC Register	Load configuration bits and data code to the DAC Register
0	1	1	Write DAC Register and EEPROM	(a) Load configuration bits and data code to the DAC Register and (b) also write the EEPROM
1	0	0	Reserved	Reserved for future use
1	0	1	Reserved	Reserved for future use
1	1	0	Reserved	Reserved for future use
1	1	1	Reserved	Reserved for future use

Note 1: X = Don't Care. Fast Mode does not use C0 bit.

Note 2: The MCP4725 ignores the "Reserved" commands.

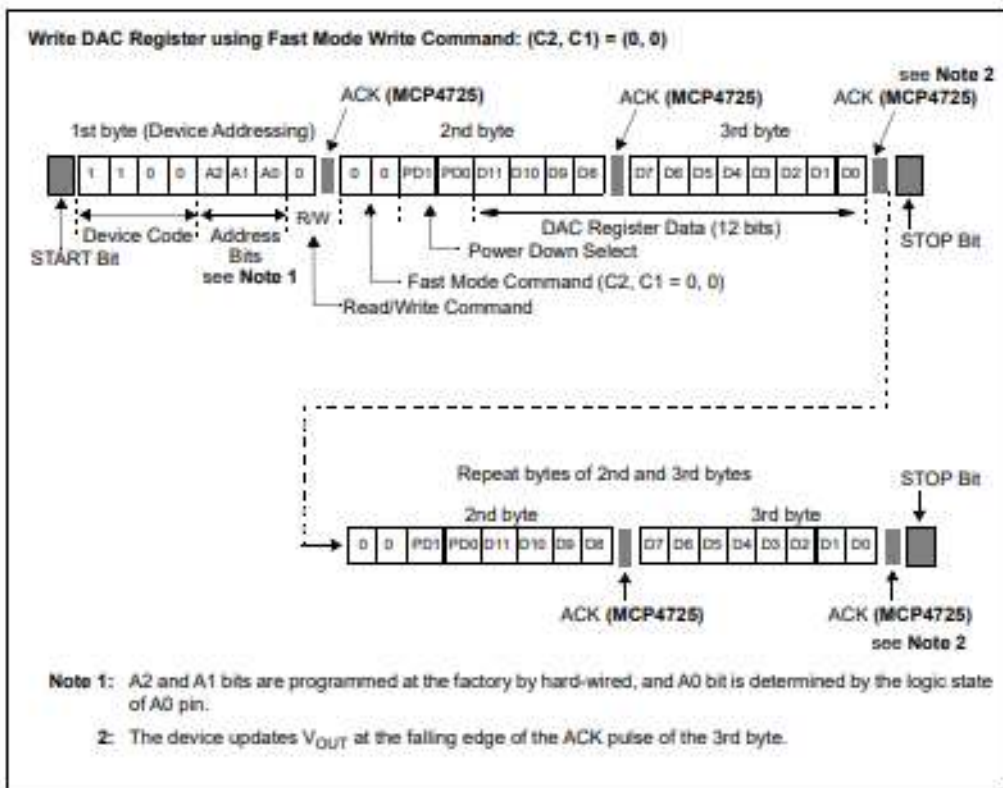


FIGURE 6-1: Fast Mode Write Command.

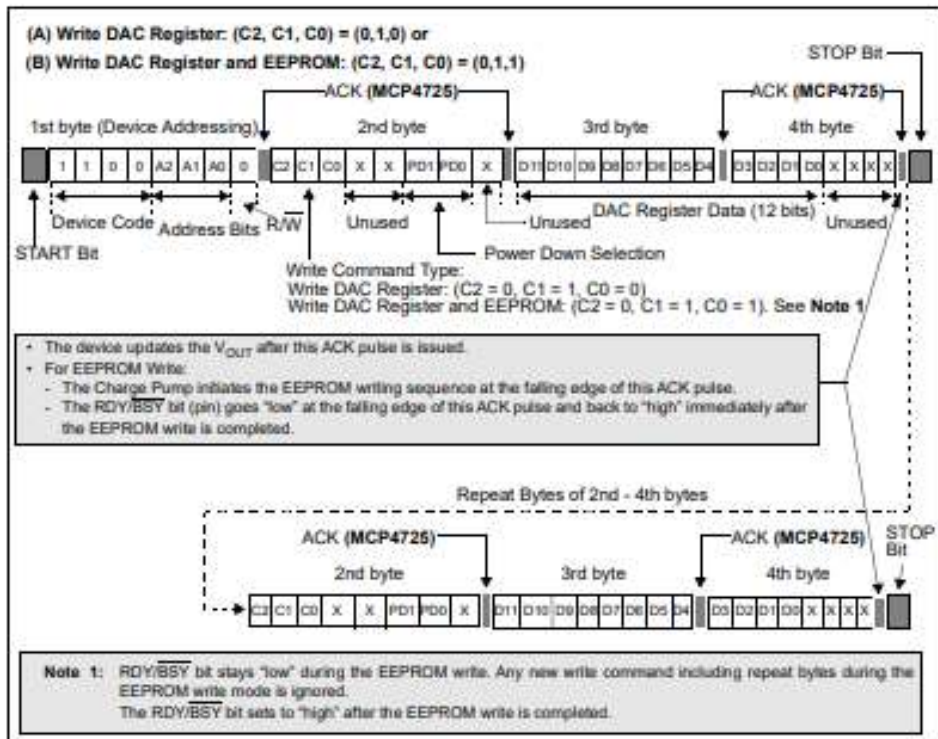


FIGURE 6-2: Write Commands for DAC Input Register and EEPROM.

6.2 READ COMMAND

If the R/W bit is set to a logic "high", then the device outputs on SDA pin, the DAC register and EEPROM data. Figure 6-3 shows an example of reading the register and EEPROM data. The 2nd byte in Figure 6-3 indicates the current condition of the device operation. The RDY/BSY bit indicates EEPROM writing status. The RDY/BSY bit stays low during EEPROM writing and high when the writing is completed.

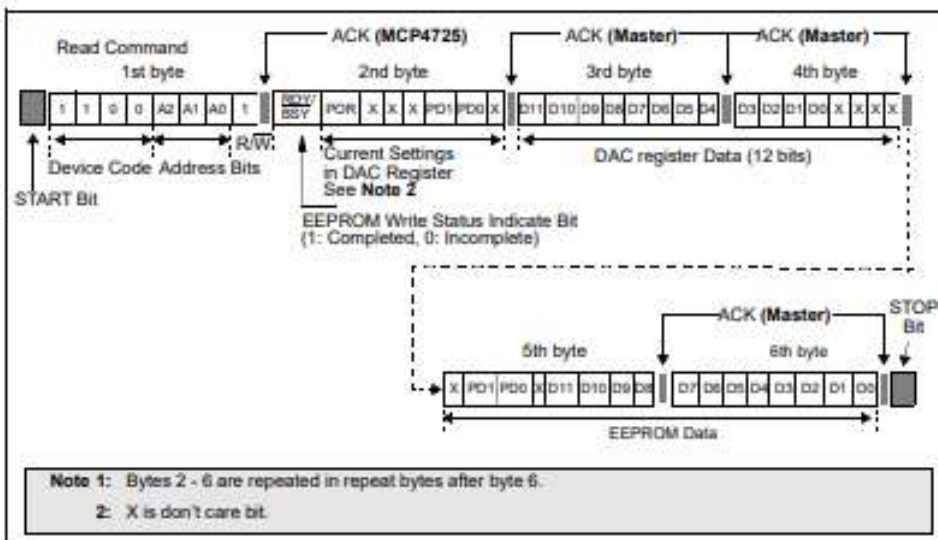


FIGURE 6-3: Read Command and Output Data Format.

7.0 I²C SERIAL INTERFACE COMMUNICATION

7.1 OVERVIEW

The MCP4725 device uses a two-wire I²C serial interface that can operate on a standard, fast or high speed mode. A device that sends data onto the bus is defined as transmitter, and a device receiving data as receiver. The bus has to be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access and generates the START and STOP conditions. The MCP4725 device works as slave. Both master and slave can operate as transmitter or receiver, but the master device determines which mode is activated. An example of hardware connection diagram is shown in Figure 8-1. Communication is initiated by the master (microcontroller) which sends the START bit, followed by the slave address byte. The first byte transmitted is always the slave address byte, which contains the device code, the address bits, and the R/W bit. The device code for the MCP4725 device is 1100.

When the device receives a read command (R/W = 1), it transmits the contents of the DAC input register and EEPROM. A non-acknowledge (NAK) or repeated START bit can be transmitted at any time. See Figure 6-3 for the read operation example. If writing to the device (R/W = 0), the device will expect write command type bits in the following byte. See Figure 6-1 and Figure 6-2 for the write operation examples.

The MCP4725 supports all three I²C operating modes:

- Standard Mode: bit rates up to 100 kbit/s
- Fast Mode: bit rates up to 400 kbit/s
- High Speed Mode (HS mode): bit rates up to 3.4 Mbit/s

Refer to the NXP I²C document, located here <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf> for more details of the I²C specifications.

7.2 Device Addressing

The address byte is the first byte received following the START condition from the master device. The first part of the address byte consists of a 4-bit device code which is set to 1100 for the MCP4725. The device code is followed by three address bits (A2, A1, A0) which are programmed as follows:

- The choice of A2 and A1 bits are provided by the customer as part of the ordering process. These bits are then programmed (hard-wired) during manufacturing
- The A2 and A1 are programmed to '00' (default), if not requested by customer
- A0 bit is determined by the logic state of A0 pin. The A0 pin can be tied to V_{DD} or V_{SS}, or can be actively driven by digital logic levels. The advantage of using the A0 pin is that the users can control the A0 bit on their application PCB circuit and also two identical MCP4725 devices can be used on the same bus line.

When the device receives an address byte, it compares the logic state of the A0 pin with the A0 address bit received before responding with the acknowledge bit. The logic state of the A0 pin needs to be set prior to the interface communication.

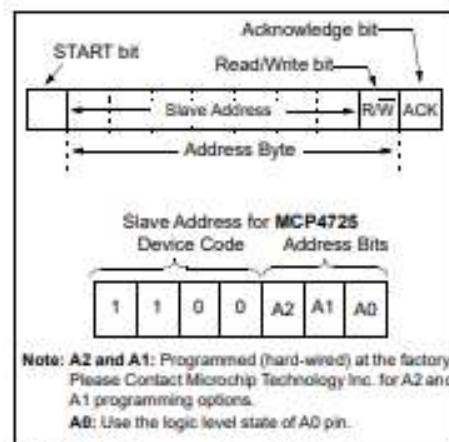


FIGURE 7-1: Device Addressing.

4. Datasheet Modul HV Emco CA series


**Proven
Reliability**

CA SERIES

PRECISION REGULATED, LOW RIPPLE HIGH VOLTAGE DC TO DC CONVERTERS

200V to 2000V @ 1 Watt

NOW
UL RECOGNIZED



PRODUCT SELECTION TABLE

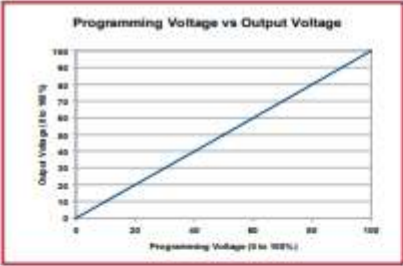
MODEL	OUTPUT VOLTAGE <small>(PROGRAMMABLE)</small>	MAXIMUM OUTPUT CURRENT ¹
CA02	0 to 200V	0 to 5 mA
CA05	0 to 500V	0 to 2 mA
CA10	0 to 1,000V	0 to 1mA
CA12	0 to 1,250V	0 to 0.8 mA
CA20	0 to 2,000V	0 to 0.5 mA

Complete List of Models on page 2

PRODUCT DESCRIPTION

Precision regulated, very low noise, high performance high voltage power supplies are fully programmable (0 to 100%) and feature high voltage monitor readback, on-board precision reference, wide input voltage range and protection against arcs and short circuits all in a miniature, shielded case. Please refer to our CA-T series data sheet for extended temperature.

Programming Voltage vs Output Voltage



APPLICATIONS


- Photomultiplier Tubes
- Avalanche Photodiodes
- Solid State Detectors
- Electrophones
- EO Lenses
- Piezo Devices
- Capacitor Charging

FEATURES

- Very Low Ripple, as low as 5PPM
- Precision Regulated
- Miniature Shielded Case, 1 cubic inch
- 0 to 100% Programmable output
- Voltage Monitor/ Readback
- High Stability, typically <math><25\text{ppm}/^\circ\text{C}</math>
- Wide Input Voltage Range
- Arc, Short Circuit Protected
- 12 Vin; indefinite
- 5 Vin; short duration, up to 1 minute
- Very Low EMI/RFI
- Precision On board Reference
- External Voltage or Potentiometer Programming
- Accessible Calibration Adjustment
- Sealed To Withstand Immersion Cleaning Processes
- Designed to meet the requirements of UL1950
- Proven Reliability, MTBF: >2.10 million hrs per Bellcore TR-332
- UL94V-0 Listed Proprietary Encapsulant

OPTIONS

- Available with a 5VDC input voltage
- Low Out-gassing Epoxy (NASA approved per ASTM E-595-93)
- RoHS versions available (R suffix)



OUTPUT VOLTAGE	MODEL	MAXIMUM OUTPUT CURRENT ¹⁾	RIPPLE P-P FULL-LOAD ²⁾	REGULATION		FREQUENCY ³⁾
				LOAD 0 TO 100% ⁴⁾	LINE 11.5 TO 15.5V ⁵⁾	
12 VDC INPUT MODELS						
0 to +200V	CA02P	0 to 5 mA	<0.01 %	<0.05 %	<0.01 %	80 - 180 kHz
0 to -200V	CA02N	0 to 5 mA	<0.01 %	<0.05%	<0.01%	80 - 230 kHz
0 to +500V	CA05P	0 to 2 mA	<0.01 %	<0.01 %	<0.01%	200 - 400 kHz
0 to -500V	CA05N	0 to 2 mA	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	100 - 250 kHz
0 to +1,000V	CA10P	0 to 1 mA	<0.001 %	<0.005 %	<0.001 %	80 - 250 kHz
0 to -1,000V	CA10N	0 to 1mA	<0.001 %	<0.005 %	<0.001 %	100 - 250 kHz
0 to +1,250V	CA12P	0 to 0.8 mA	<0.0005 %	<0.005 %	<0.001 %	80 - 250 kHz
0 to -1,250V	CA12N	0 to 0.8 mA	<0.0005 %	<0.005 %	<0.001 %	80 - 250 kHz
0 to +2,000V	CA20P	0 to 0.5 mA	<0.001 %	<0.01 %	<0.01 %	80 - 250 kHz
0 to -2,000V	CA20N	0 to 0.5 mA	<0.001 %	<0.01 %	<0.01 %	100 - 250 kHz
5 VDC INPUT MODELS						
0 to +200V	CA02P-5	0 to 5 mA	<0.01 %	<0.01 %	<0.01 %	100 - 250 kHz
0 to -200V	CA02N-5	0 to 5 mA	<0.01 %	<0.005 %	<0.003 %	100 - 250 kHz
0 to +500V	CA05P-5	0 to 2 mA	<0.005 %	<0.003 %	<0.002 %	100 - 250 kHz
0 to -500V	CA05N-5	0 to 2 mA	<0.005 %	<0.005 %	<0.002 %	87 - 350 kHz
0 to +1,000V	CA10P-5	0 to 1 mA	<0.001 %	<0.005 %	<0.001 %	100 - 250 kHz
0 to -1,000V	CA10N-5	0 to 1 mA	<0.001 %	<0.005 %	<0.001 %	100 - 250 kHz
0 to +1,250V	CA12P-5	0 to 0.8 mA	<0.001 %	<0.005 %	<0.001 %	150 - 300 kHz
0 to -1,250V	CA12N-5	0 to 0.8 mA	<0.001 %	<0.005 %	<0.001 %	150 - 300 kHz
0 to +2,000V	CA20P-5	0 to 0.5 mA	<0.001 %	<0.005 %	<0.003 %	45 - 250 kHz
0 to -2,000V	CA20N-5	0 to 0.5 mA	<0.001 %	<0.001 %	<0.001 %	100 - 250 kHz

INPUT CURRENT				
VIN	CA02-CA12		CA20	
	NO-LOAD	FULL-LOAD	NO-LOAD	FULL-LOAD
5 VDC	< 65mA	<420mA	<155 mA	<350 mA
12 VDC	<80 mA	<220 mA	<190 mA	<220 mA

ELECTRICAL SPECIFICATIONS¹ CA02 - CA20 (200V to 2000V)

PARAMETER	VALUE
INPUT VOLTAGE	INPUT MODELS: +11.5 TO +15.5V (STANDARD) 5V INPUT MODELS: +4.75 TO +5.25V
STANDBY POWER	<25mW ²
INPUT CAPACITANCE	440 μ F
PROGRAMMING VOLTAGE	12V INPUT MODELS: 0 TO +5V, <150 μ A 5V INPUT MODELS: 0 TO +2.048V <150 μ A
SET POINT ACCURACY ³	1%
GAIN ADJUST ²	1%
LINEARITY ²	<0.5% (15% TO 100% VOUT)
STABILITY	<0.005%/HR ¹
VOLTAGE MONITOR ⁴	12V INPUT MODELS: 0 TO +5V = 0 TO 100% VOUT 5V INPUT MODELS: 0 TO +2.048V = 0 TO 100% VOUT
REFERENCE OUTPUT	12V INPUT MODELS: +5V +/- 1% , UP TO 1 mA 5V INPUT MODELS: +2.048V +/- 1% , UP TO 1 mA
TEMPCO	<25PPM/ ^o C ⁵
THERMAL SHOCK LIMIT	1 ^o C/10 SEC.
STANDARD TEMPERATURE RANGES	OPERATING: -10 ^o TO +50 ^o C ⁶ (CASE) STORAGE: -25 ^o TO +95 ^o C

APPLICATION NOTES

Sequencing

As is the case for all active electronics, the user should apply power prior to control inputs. For the CA Series, it is recommended to wait at least 100msec after input power is applied before sending a voltage programming command.

Dynamic Response

In cases where the output voltage rises above the voltage programming command then settles. To mitigate this effect, ramp the voltage programming input at a slower rate until satisfactory results are achieved.

DETAILED PRODUCT DESCRIPTION

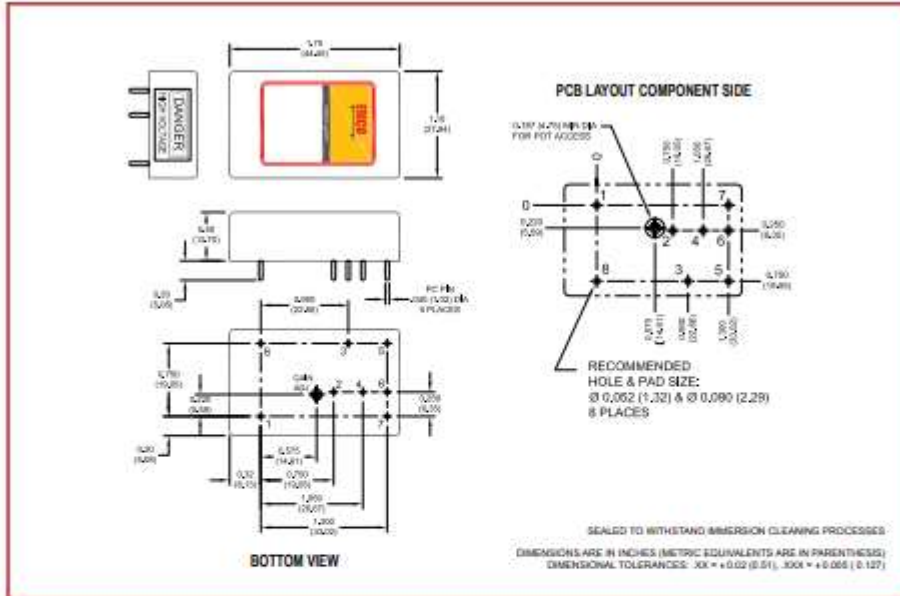
The CA Series of high performance, precision regulated, high voltage power supplies offers improved performance and added features. Improvements in stability and ripple, along with an on board precision reference, a voltage monitor and increased protection, enable these modules to replace much larger, more expensive power supplies in many applications. Each model is programmed from 0 to 100% of rated output via a DAC compatible high impedance programming input. A voltage monitor is provided and is internally buffered to provide a low impedance (up to 1 mA) signal to external circuitry. The precision, on board reference can be used in conjunction with an external potentiometer or voltage divider to program the high voltage output. Each unit has an accessible potentiometer allowing for individual calibration after installation. A quasi-sinewave oscillator, internal transformer shielding, and an isolated steel case reduce EMI/RFI radiation to extremely low

levels. Suitable for photomultiplier tubes, avalanche photodiodes, precision EO lenses, piezo devices and other applications requiring precision, low noise, high voltage in a miniature, pc or chassis mount, cost effective package. A proprietary encapsulation process and custom 94V-0 listed, high performance formula are used to achieve excellent high voltage and thermal properties.

Also available with the CA Series are the CM Series adapter kits. For more details, refer to pages 7 and 8.

Small quantities available from stock from our factory or our stocking distributor in Switzerland, Condatas AG. For large quantity requests please consult our factory or our stocking distributor in Switzerland, Condatas AG.

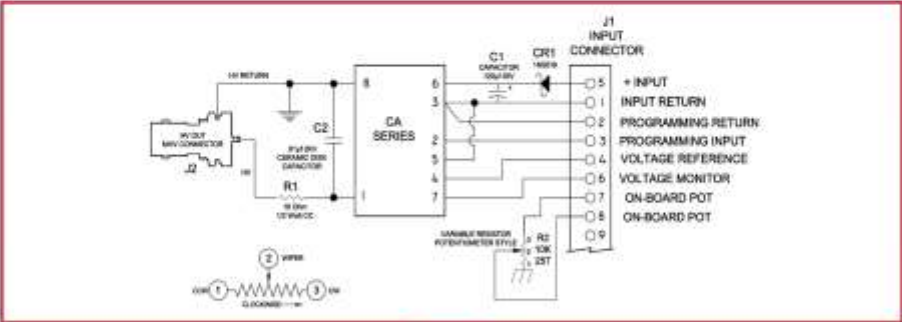
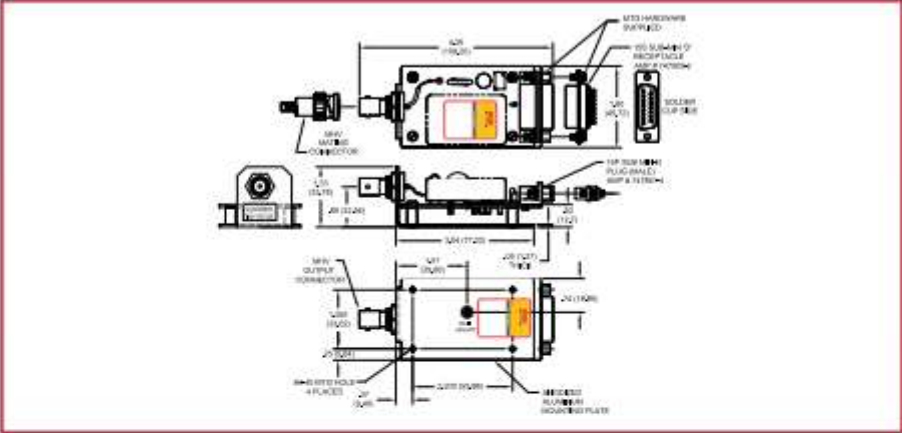
MECHANICAL SPECIFICATIONS



PARAMETER	VALUE
WEIGHT	1.4 OZ. (39.5 GRAMS)
VOLUME	0.96 CUBIC INCHES (15.77cm ³)
DIMENSIONS	1.75L (44.45) x 1.18W (27.94) x 0.50H (12.70)
CASE MATERIAL	ZINC PLATED STEEL

PIN #	FUNCTION
1	OUTPUT VOLTAGE
2	PROGRAMMING: 0 to +5V <i>SV Input models: 0 to +0.048V</i>
3	GROUND ^{1,2}
4	VOLTAGE REFERENCE: +5V <i>SV Input models: +0.048V</i>
5	CASE GROUND ^{1,2}
6	INPUT: +11.5V to 15.5V <i>SV Input models: +4.75 to +5.25V</i>
7	VOLTAGE MONITOR: 0 to +5V <i>SV Input models: 0 to +0.048V</i>
8	OUTPUT RETURN ^{1,2}

CM1 (MHV): ALL CA MODELS



PRODUCT DESCRIPTION

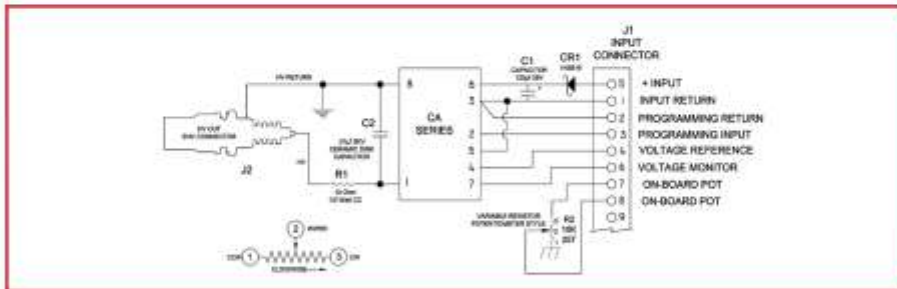
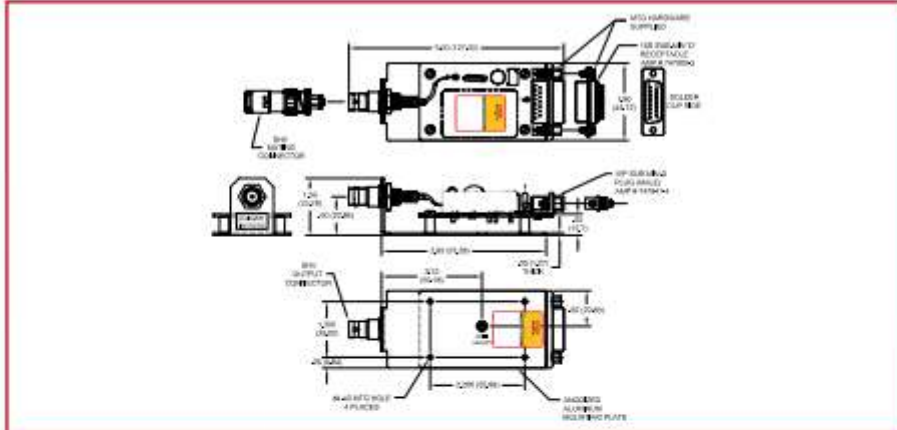
These adapters provide convenient proto-typing and evaluation during system development and integration, and allow these modules to be mounted to a chassis instead of designed in to a pc board. Extra filtering on the input and output improves performance. A schottky diode on the input provides reverse polarity protection. Input connector is via a 15P SUB MIN-D plug (mate supplied) and output is via an MHV style coaxial connector (mate supplied).

ORDERING INFORMATION:
Please note when ordering a CM1 the CA Series is not included and must be ordered separately.

PROGRAMMING OPTIONS / INSTRUCTIONS

1. Onboard Potentiometer: connect pins 7 to 4 and 8 to 3, turn potentiometer to adjust high voltage.
2. Remote Potentiometer: connect wiper arm to pin 3, other sides to pins 4 and 2.
3. Remote Analog Signal: apply programming voltage to pin 3, return to pin 2.

CM2 (SHV): ALL CA MODELS



PRODUCT DESCRIPTION

These adapters provide convenient proto-typing and evaluation during system development and integration, and allow these modules to be mounted to a chassis instead of designed in to a pc board.

Extra filtering on the input and output improves performance. A schottky diode on the input provides reverse polarity protection. Input connector is via a 15P SUB MIN-D plug (mate supplied) and output is via an SHV style coaxial connector (mate supplied).

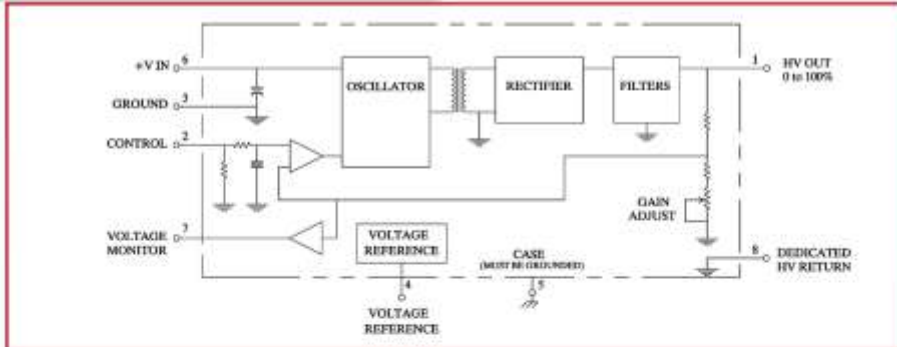
ORDERING INFORMATION:
Please note when ordering a CM2 the CA Series is not included and must be ordered separately.

PROGRAMMING OPTIONS / INSTRUCTIONS

1. Onboard Potentiometer: connect pins 7 to 4 and 8 to 3, turn potentiometer to adjust high voltage.
2. Remote Potentiometer: connect wiper arm to pin 3, other sides to pins 4 and 2.
3. Remote Analog Signal: apply programming voltage to pin 3, return to pin 2.

We reserve the right to make changes without notification.

BLOCK DIAGRAM



OPTIONS

OPTION	ORDER CODE	
POLARITY DESIGNATOR	POSITIVE OUTPUT	P
	NEGATIVE OUTPUT	N
INPUT VOLTAGE	5 VDC	S
	12 VDC (STANDARD)	BLANK
TEMPERATURE	STANDARD OPERATING TEMP -10° TO +50°C ¹ (CASE TEMP.)	BLANK
RoHS	VERSION	R

HOW TO ORDER

PART NUMBER SELECTOR:

Model Number:
CA 10 N - 5 R

CA - Model
 10 - Output Voltage (See table)
 N - Polarity Designator

R - RoHS (Optional)
 S - Input Voltage

EXAMPLE: **CA10N-5R** (CA - Model, 10 - Output Voltage, N - Negative, 5 - Input Voltage, R - RoHS (Optional))

¹Notes:
 1. Maximum rated output current is typically available from 100% max output voltage to 80% max output voltage, and is derated below 50% max output voltage.
 2. Specifications after 1 hour warm-up, full load, at 25°C unless other wise indicated.
 3. Typical Performance.
 4. All grounds internally connected, except case. These should not be more than 50 millivolts between the case ground (pin 5) and the circuit ground (pins 2 and 3). Isolated case avoids low noise design effects. Case pin must be connected to ground for proper operation.

5. On negative output models, voltage monitor output is a buffered representation of the programming voltage.
 6. Proper thermal management techniques are required to maintain safe case temperature at maximum power output.
 7. SET POINT ACCURACY refers to the ability of the unit to accurately deliver the voltage intended by the applied programming. The resultant output voltage will be within ±1% of that programmed.
 GAIN ADJUSTMENT refers to the ability to allow the gain of the circuit to bring the resultant output voltage to the programmed setpoint. This is intended to allow compensation for set-point accuracy error.
 LINEARITY refers to how much the transfer function can deviate from a straight line in the absence of any set-point error.

EMCO reserves the right to make changes on products and literature, including specifications, without notice. EMCO standard product models are not recommended for "copy-right" applications or any other application requiring product changes. "Copy-right" options are available. Please contact an EMCO sales representative for more details.