

LAPORAN PROYEK AKHIR

PROTOTIPE *HYBRID* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DAN PLN UNTUK *SUPPLY* LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM (LPJU)



Disusun Oleh:

Sephia Dhini Ismaya	NIM	0031656
Taswada	NIM	0031659

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2019

**PROTOTIPE *HYBRID* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
(PLTA) DAN PLN UNTUK *SUPPLY* LAMPU PENERANGAN
JALAN UMUM (LPJU)**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Diploma III Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh:

Sephia Dhini Ismaya NIM 0031656

Taswada NIM 0031659

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2019

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

PROTOTIPE *HYBRID* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DAN PLN UNTUK *SUPPLY* LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM (LPJU)

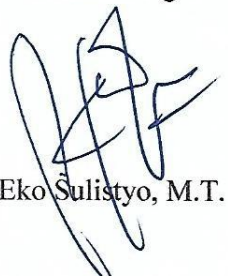
Oleh:

Sephia Dhini Ismaya	NIM	0031656
Taswada	NIM	0031659

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Diploma III Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



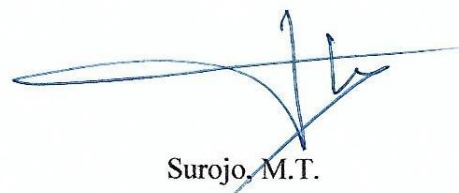
Eko Sulistyono, M.T.

Penguji 1



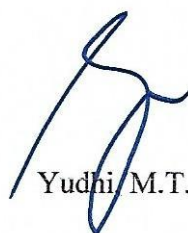
Riki Afriansyah, M.T.

Pembimbing 2



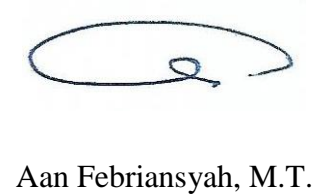
Surojo, M.T.

Penguji 2



Yudhi, M.T.

Penguji 3



Aan Febriansyah, M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa 1 : Sephia Dhini Ismaya NIM : 0031656

Nama Mahasiswa 2 : Taswada NIM : 0031659

Dengan Judul : Prototipe *Hybrid* Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
dan PLN Untuk *Supply* Lampu Penerangan Jalan Umum
(LPJU)

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 28 Agustus 2019

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Sephia Dhini Ismaya



.....

2. Taswada



.....

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat untuk keperluan sehari-hari. Untuk itu, ketersediaan energi listrik harus selalu dipertahankan. Saat ini penggunaan lampu jalan sangat diperlukan oleh pengguna jalan demi keamanan di malam hari. Hanya saja lampu jalan yang dipakai saat ini masih disuplai oleh energi PLN, sehingga biaya yang harus dikeluarkan sangat mahal. Kendalanya adalah untuk daerah yang tidak dialiri arus listrik atau daerah yang pasokan listriknya sedikit. Untuk mengantisipasi hal tersebut dibutuhkan energi alternatif yang sumbernya berasal dari alam (renewable energy) yang digabungkan dengan energi saat ini (PLN) sehingga didapatkan energi yang lebih murah. Perancangan kontrol pada sisi beban untuk lampu penerangan menggunakan sensor LDR sehingga pemakaian beban lampu sesuai dengan kebutuhan. Pada hasil pengujian didapatkan pembangkit PLTA akan bekerja jika tegangan baterai dalam jangkauan $\geq 11,5$ volt dan PLN akan bekerja jika tegangan baterai $\leq 10,5$ volt. Dalam proyek akhir ini, penggunaan sistem hybrid PLTA dan PLN dapat menghemat biaya dan energi sebesar 20%.

Kata kunci : PLTA, lampu jalan, *hybrid*, penghematan listrik.

ABSTRACT

Hydroelectric Power (PLTA) is a generator that relies on the potential and kinetic energy of water to produce electricity. Electrical energy is a very important need for the community for daily use. For this reason, the availability of electrical energy must always be maintained. Currently the use of street lights is needed by road users for safety at night. It's just that the street lights used today are still supplied by PLN energy, so the costs must be very expensive. The constraints are for areas that are not electrified or areas that have little electricity supply. To anticipate this, alternative energy from natural sources (renewable energy) combined with current energy (PLN) is needed to obtain cheaper energy. The design of the control on the load side for lighting using LDR sensors so that the use of lamp loads as needed. In the test results obtained by the hydropower plant will work if the battery voltage is in the range of ≥ 11.5 volts and PLN will work if the battery voltage is ≤ 10.5 volts. In this final project, the use of a hydropower and PLN hybrid system can save costs and energy by 20%.

Keywords: hydropower, street lights, hybrid, electricity savings.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas petunjuk, rahmat, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir ini tanpa ada halangan apapun sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Laporan Proyek Akhir (PA) yang telah penulis susun ini, dibuat dalam rangka sebagai syarat kelulusan dan kewajiban setiap mahasiswa untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma III di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Laporan ini disusun berdasarkan ilmu pengetahuan yang penulis dapatkan selama tiga tahun mendapatkan pendidikan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Selama mengerjakan proyek akhir dan proses penyelesaian laporan, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, sehingga proyek akhir dan laporan proyek akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan kepada penulis dalam segala urusan.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah membantu penulis dalam segi material maupun dalam segi motivasi.
3. Bapak Sugeng Ariyono, M.Eng, Ph.D. selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Eko Sulisty, M.T. selaku pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, pikiran, dan motivasi dalam memberikan pengarahan dalam penulisan laporan proyek akhir ini.
5. Bapak Surojo, M.T. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan saran dan solusi dari masalah-masalah yang penulis hadapi selama proses mengerjakan proyek akhir dan penyelesaian laporan proyek akhir ini.

6. Seluruh staf pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Semua pihak lain yang telah ikut serta memberikan bantuan dan dorongan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna sebagai pembelajaran kedepannya nanti. Semoga laporan ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pada umumnya bagi para pembaca, serta Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Akhir kata, penulis ucapkan terima kasih atas perhatiannya. Juga mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam penyusunan laporan ini terdapat banyak kesalahan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabaraktuh.

Sungailiat, 28 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penulisan	2
BAB II DASAR TEORI	3
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	3
2.2. Jenis-Jenis Turbin Air	3
2.2.1. Turbin Pelton	5
2.3. <i>Generator</i>	7
2.4. <i>Accumulator</i> atau Baterai	8
2.5. <i>Jetpump</i>	11
2.6. <i>Inverter DC to AC</i>	12
2.7. Transmisi Sabuk (<i>V-Belt</i>)	14
2.8. Arduino UNO R3 (CH340G)	17
2.9. <i>Buck Converter</i> (XL4015)	19
2.10. <i>Driver Relay</i>	20
2.11. Sensor Yang Digunakan	20

2.11.1.	Sensor Tegangan DC	21
2.11.2.	Sensor Arus (INA219)	22
2.11.3.	Sensor Cahaya (LDR)	23
2.12.	<i>Display</i> LCD I2C 16X2	24
BAB III METODE PELAKSANAAN		27
3.1.	<i>Survey</i> , Pengumpulan Data, dan Pengolahan Data	28
3.2.	Perancangan <i>Hardware</i> Mekanik PLTA	29
3.3.	Pembuatan <i>Hardware</i> Mekanik PLTA	29
3.4.	<i>Assembling Hardware</i> Mekanik Sistem <i>Hybrid</i> PLTA dan PLN	30
3.5.	Perancangan <i>Hardware</i> Elektrik PLTA.....	30
3.6.	Pembuatan <i>Hardware</i> Elektrik PLTA	30
3.7.	<i>Assembling Hardware</i> Elektrik Sistem <i>Hybrid</i> PLTA dan PLN	30
3.8.	Pengujian <i>Hardware</i> Elektrik Sistem <i>Hybrid</i> PLTA dan PLN.....	30
3.9.	<i>Assembling</i> Keseluruhan <i>Hardware</i> Mekanik dan <i>Hardware</i> Elektrik...31	
3.10.	Pengujian Sistem <i>Hybrid</i> PLTA dan PLN Secara Keseluruhan	31
3.11.	Pembuatan Laporan PA (Proyek Akhir)	31
BAB IV PEMBAHASAN.....		32
4.1.	Deskripsi Alat	32
4.2.	Diagram Blok.....	33
4.3.	Perancangan <i>Hardware</i> Mekanik PLTA	34
4.3.1.	Perancangan <i>Hardware</i> Mekanik PLTA Secara Keseluruhan.....	34
4.3.2.	Perancangan <i>Hardware</i> Mekanik Rangka Utama PLTA.....	36
4.3.3.	Perancangan <i>Hardware</i> Mekanik Turbin Air	37
4.3.4.	Perancangan <i>Hardware</i> Mekanik Penutup Turbin Air	37
4.3.5.	Perancangan <i>Hardware</i> Mekanik Dudukan <i>Generator</i>	38
4.4.	Pembuatan <i>Hardware</i> Mekanik PLTA	38
4.4.1.	Pembuatan <i>Hardware</i> Mekanik Rangka Utama PLTA	38
4.4.2.	Pembuatan <i>Hardware</i> Mekanik Turbin Air.....	39
4.4.3.	Pembuatan <i>Hardware</i> Mekanik Penutup Turbin Air.....	40
4.4.4.	Pembuatan <i>Hardware</i> Mekanik Dudukan <i>Generator</i>	40
4.5.	<i>Assembling Hardware</i> Mekanik PLTA	40

4.6.	Perancangan <i>Hardware</i> Elektrik PLTA.....	41
4.6.1.	Arduino UNO.....	42
4.6.1.1.	Perancangan Arduino UNO	42
4.6.1.2.	Pembuatan Arduino UNO.....	42
4.6.1.3.	Pengujian Arduino UNO.....	42
4.6.2.	<i>Buck Converter</i> (XL4015)	45
4.6.2.1.	Perancangan <i>Buck Converter</i>	45
4.6.2.2.	Pembuatan <i>Buck Converter</i>	46
4.6.2.3.	Pengujian <i>Buck Converter</i>	46
4.6.3.	Sensor Tegangan DC	48
4.6.3.1.	Perancangan Sensor Tegangan DC	48
4.6.3.2.	Pembuatan Sensor Tegangan DC.....	48
4.6.3.3.	Pengujian Sensor Tegangan DC	49
4.6.4.	Sensor Arus (INA219)	51
4.6.4.1.	Perancangan Sensor Arus	51
4.6.4.2.	Pembuatan Sensor Arus	52
4.6.4.3.	Pengujian Sensor Arus	53
4.6.5.	Sensor LDR.....	55
4.6.5.1.	Perancangan Sensor LDR	55
4.6.5.2.	Pembuatan Sensor LDR.....	56
4.6.5.3.	Pengujian Sensor LDR.....	56
4.6.6.	LCD I2C.....	58
4.6.6.1.	Perancangan LCD I2C	58
4.6.6.2.	Pembuatan LCD I2C.....	59
4.6.6.3.	Pengujian LCD I2C.....	60
4.6.7.	<i>Relay 4 Channel</i>	60
4.6.7.1.	Perancangan <i>Relay 4 Channel</i>	60
4.6.7.2.	Pembuatan <i>Relay 4 Channel</i>	61
4.6.7.3.	Pengujian <i>Relay 4 Channel</i>	62
4.7.	<i>Assembling</i> Keseluruhan <i>Hardware</i> Mekanik dan <i>Hardware</i> Elektrik...63	
4.8.	Pengujian Sistem <i>Hybrid</i> PLTA dan PLN Secara Keseluruhan	64

4.8.1.	Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	64
4.8.2.	Pengujian Sistem <i>Hybrid</i> PLTA dan PLN dengan ATS (<i>Automatic Transfer Switch</i>).....	65
4.8.3.	Pengujian Aki.....	67
4.8.3.1.	Pengisian Aki	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		70
5.1.	Kesimpulan	70
5.2.	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Turbin Air dan Kecepatan Spesifiknya [3].....	4
Tabel 2.2. Spesifikasi Generator Yang Digunakan.....	7
Tabel 2.3. Spesifikasi Jetpump Yang Digunakan	11
Tabel 2.4. Dimensi Spesifikasi Sabuk-V [11].....	17
Tabel 2.5. Spesifikasi Arduino UNO R3 (CH340G)	18
Tabel 2.6. Konfigurasi Pin LCD 16X2	25
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Pin Output Arduino UNO.....	44
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Buck Converter.....	47
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Sensor Tegangan DC	50
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Sensor Arus (INA219).....	54
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Sensor LDR	57
Tabel 4.6. Hasil Pengujian Relay	62
Tabel 4.7. Hasil Pengujian PLTA	64
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Sistem Hybrid PLTA dan PLN dengan ATS	66
Tabel 4.9. Perhitungan Daya Pemakaian	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Turbin (a) Pelton, (b) Francis, (c) <i>Propeller</i> [3]	4
Gambar 2.2. Turbin Pelton [5]	6
Gambar 2.3. Generator AC 3 Phase	7
Gambar 2.4. Aki atau Baterai	8
Gambar 2.5. Rangkaian Pengisi Aki Otomatis	8
Gambar 2.6. <i>Jetpump</i>	11
Gambar 2.7. Inverter DC to AC 1200 Watt	12
Gambar 2.8. Inverter 1 Phasa Full Wave	13
Gambar 2.9. Gelombang Inverter Full Wave	13
Gambar 2.10. Ukuran Penampang Sabuk-V [10]	14
Gambar 2.11. Tegangan pada Sabuk dan Puli [10]	15
Gambar 2.12. Modul Arduino UNO R3 (CH340G)	18
Gambar 2.13. Rangkaian Buck Converter	19
Gambar 2.14. Buck Converter (XL4015)	19
Gambar 2.15. Modul Relay 4 Channel	20
Gambar 2.16. Modul Sensor Tegangan DC	21
Gambar 2.17. Rangkaian Sensor Tegangan	21
Gambar 2.18. Koneksi Arduino Dengan Modul Sensor Tegangan DC	22
Gambar 2.19. Modul Sensor Arus INA219	22
Gambar 2.20. Konfigurasi Pin INA219 [16]	23
Gambar 2.21. Modul Sensor LDR	23
Gambar 2.22. Rangkaian Sensor LDR	24
Gambar 2.23. LCD 16X2	25
Gambar 2.24. Rangkaian LCD I2C	25
Gambar 3.1. Flowchart Metode Pelaksanaan Proyek Akhir	28
Gambar 4.1. Diagram Blok Sistem Hybrid PLTA dan PLN	33
Gambar 4.2. (a) Desain Mekanik PLTA 2D (b) Desain Mekanik PLTA 3D	35
Gambar 4.3. Assembling Setiap Bagian Hardware	35

Gambar 4.4. (a) Desain Rangka Utama PLTA 2D (b) Rangka PLTA 3D.....	36
Gambar 4.5. (a) Desain Turbin Air 2D (b) Desain Turbin Air 3D	37
Gambar 4.6. (a) Desain Penutup Turbin Air 2D (b) Penutup Turbin Air 3D	37
Gambar 4.7. (a) Desain Dudukan Generator 2D (b) Dudukan Generator 3D.....	38
Gambar 4.8. Pembuatan Rangka Utama PLTA	39
Gambar 4.9. Turbin Air.....	39
Gambar 4.10. Penutup Turbin Air.....	40
Gambar 4.11. Dudukan Generator	40
Gambar 4.12. Assembling Hardware Mekanik PLTA.....	41
Gambar 4.13. Pembuatan Arduino UNO	42
Gambar 4.14. Skematik Pengujian Arduino UNO.....	43
Gambar 4.15. Blok Pengujian Arduino UNO	43
Gambar 4.16. Hasil Pengujian Arduino UNO	44
Gambar 4.17. Skematik Buck Converter XL4015	45
Gambar 4.18. Skematik Buck Converter LM2596	45
Gambar 4.19. Pembuatan Buck Converter.....	46
Gambar 4.20. Blok Pengujian Buck Converter.....	46
Gambar 4.21. Pengujian <i>Buck Converter</i>	47
Gambar 4.22. Perancangan Sensor Tegangan DC	48
Gambar 4.23. Pembuatan Sensor Tegangan DC	48
Gambar 4.24. Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan DC.....	49
Gambar 4.25. Pengujian 1 Sensor Tegangan DC.....	50
Gambar 4.26. Perancangan Sensor Arus (INA219).....	51
Gambar 4.27. Skematik Sensor Arus (INA219)	52
Gambar 4.28. Pembuatan Sensor Arus	52
Gambar 4.29. Blok Pengujian Sensor Arus (INA219).....	53
Gambar 4.30. Rangkaian Pengujian Sensor Arus (INA219)	53
Gambar 4.31. Hasil Pengujian Sensor Arus (INA219).....	54
Gambar 4.32. Perancangan Sensor LDR	55
Gambar 4.33. Skematik Sensor LDR.....	56
Gambar 4.34. Pembuatan Sensor LDR	56

Gambar 4.35. Blok Pengujian Sensor LDR	57
Gambar 4.36. Pengujian dengan Kondisi Malam Hari	57
Gambar 4.37. Pengujian dengan Kondisi Siang Hari	58
Gambar 4.38. Perancangan LCD I2C	58
Gambar 4.39. Skematik LCD I2C	59
Gambar 4.40. Pembuatan LCD I2C	59
Gambar 4.41. Blok Pengujian LCD I2C	60
Gambar 4.42. Pengujian LCD I2C	60
Gambar 4.43. Perancangan Relay 4 Channel	61
Gambar 4.44. Pembuatan Relay 4 Channel	61
Gambar 4.45. Blok Pengujian Relay 4 Channel	62
Gambar 4.46. Hasil Assembling Hardware Mekanik dan Hardware Elektrik	63
Gambar 4.47. Blok Pengujian Hardware Mekanik PLTA	64
Gambar 4.48. (a) Pengukuran Tegangan PLTA (b) Pengukuran Arus PLTA	65
Gambar 4.49. (a) Pengukuran RPM Generator (b) Pengukuran RPM Turbin	65
Gambar 4.50. Relay Digunakan sebagai ATS	66
Gambar 4.51. Saat Tegangan Aki 12 Volt	67
Gambar 4.52. Saat Tegangan Aki 10 Volt	67

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Daftar Riwayat Hidup
- Lampiran 2 : Rangkaian Elektrik
- Lampiran 3 : Program Keseluruhan
- Lampiran 4 : Pinout Arduino UNO
- Lampiran 5 : Skematik Komponen
- Lampiran 6 : *Datasheet*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini penggunaan lampu jalan sangat diperlukan oleh pengguna jalan demi keamanan di malam hari. Hanya saja lampu jalan yang dipakai saat ini masih disuplai oleh energi PLN. Kendalanya adalah untuk daerah yang tidak dialiri arus listrik atau daerah yang pasokan listriknya sedikit. Untuk mengantisipasi hal tersebut diperlukan energi alternatif yang sumbernya berasal dari alam (*renewable energy*) yang digabungkan dengan energi saat ini (PLN) sehingga didapatkan energi yang lebih murah.

Penggabungan energi dari sumber PLN dengan energi air dengan memanfaatkan turbin air didasarkan pada ketersediaan sumber energi PLN yang bisa disuplai secara terus-menerus akan tetapi dengan harga yang mahal. Hal ini dikarenakan energi PLN sumber pembangkitnya berasal dari energi fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam. Jumlah energi yang berasal dari energi fosil ini semakin lama akan semakin menipis dan harganya akan semakin mahal. [1] Kelemahan dari energi tenaga air adalah pada saat terjadinya kemarau panjang dimana pasokan air akan berkurang dengan jumlah yang sangat besar, sehingga tidak dapat menghasilkan energi listrik. Dari alasan inilah untuk menjaga supaya energi yang disalurkan ke konsumen bisa secara terus-menerus dan dengan harga yang murah, maka perlu dilakukan penggabungan energi antara energi dari sumber PLN dengan energi yang berasal dari tenaga air. Dari penggabungan energi ini diharapkan mampu melakukan penghematan listrik.

Dari penjelasan dan alasan di atas, maka pada proyek akhir ini penulis akan membuat suatu prototipe pembangkit listrik tenaga air dengan PLN untuk penghematan daya lampu penerangan jalan. Pada sistem ini, penghematan akan dilakukan pada dua sisi, yaitu sisi penghematan pada pembangkit dan sisi penghematan pada beban. Pada sisi pembangkit energi listrik utama akan diarahkan ke pembangkit tenaga air. Selama pembangkit listrik tenaga air yang digunakan

masih mencukupi kebutuhan konsumen, maka akan menggunakan pembangkit tenaga air. Apabila energi listrik yang dihasilkan oleh tenaga air tidak cukup untuk mensuplai energi listrik, maka sebagai *backup* energi listrik adalah dari energi listrik dengan sumber PLN. Sedangkan pada sisi pemakaian energi listrik pada beban dilakukan sistem kontrol untuk penyalaan dan pemadaman lampu sesuai dengan kebutuhan. Semua sistem kontrol akan dibuat menggunakan Arduino.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada pembuatan proyek akhir adalah:

1. Bagaimana perancangan dan pembuatan prototipe dari sistem *hybrid* pembangkit listrik tenaga air dengan *backup* dari PLN.
2. Bagaimana perancangan dan pembuatan sistem kontrol untuk penerangan lampu jalan yang hemat energi.

1.3. Batasan Masalah

Berikut ini adalah batasan masalah yang diberikan untuk memperjelas pembahasan dari pembuatan proyek akhir:

1. Besarnya tegangan yang dihasilkan oleh *generator* yang telah dirangkai dengan beban aki adalah sebesar 12,70 volt dengan RPM 410.
2. Kapasitas aki yang digunakan sebesar 12 volt dengan beban lampu AC sebesar 3 watt.

1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari pembuatan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan rancangan sistem *hybrid* pembangkit listrik tenaga air dengan PLN.
2. Mendapatkan rancangan sistem kontrol penerangan lampu jalan yang hemat energi.
3. Sebagai energi alternatif, sehingga bisa menghemat biaya pada penggunaan daya PLN.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Total energi listrik dunia yang dihasilkan oleh tenaga air adalah sebesar 16,6% sedangkan dari seluruh energi terbarukan sebesar 70% pada tahun 2015, [2] dan setiap tahunnya diperkirakan akan naik sebesar 3,1% sampai dengan 25 tahun ke depan.

Dikarenakan biaya listrik yang menggunakan tenaga air sebagai sumber energi utamanya relatif sangat murah, maka menjadikan pembangkit listrik tenaga air sebagai sumber yang unggul untuk energi terbarukan. Pembangkitnya tidak menghabiskan air, tidak seperti pembangkit yang menggunakan batubara atau gas sebagai sumber utamanya. Ketika sebuah pembangkit tenaga air dibangun, maka tidak menghasilkan limbah langsung dan tingkat gas rumah kaca yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

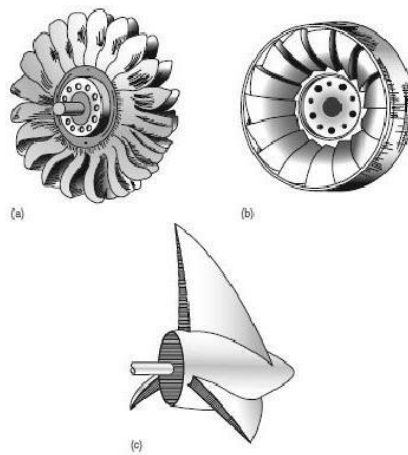
Bentuk utama dari pembangkit listrik tenaga air adalah *generator* yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Namun, secara luas pembangkit listrik tenaga air tidak hanya terbatas pada air dari sebuah waduk atau air terjun, melainkan juga meliputi pembangkit listrik tenaga air dalam bentuk lain seperti tenaga ombak. Namun pada pembuatan proyek akhir ini penulis menggunakan *jetpump* sebagai simulator untuk pengganti air yang mengalir dari bendungan atau penampungan.

2.2. Jenis-Jenis Turbin Air

Turbin air adalah sebuah mesin yang berputar yang mengambil energi dari suatu aliran air. Perputaran dari turbin dimanfaatkan untuk menggerakkan *generator* listrik. Sehingga akan menghasilkan atau memproduksi sumber listrik yang bisa digunakan untuk berbagai keperluan.

Ada 2 tipe turbin air yang sering digunakan, yaitu: [3]

- a) Turbin *Impuls* (Aksi), energi potensial air yang ada akan diubah menjadi energi kinetis sebelum air tersebut menyentuh sudu-sudu *runner* yang akan diubah oleh alat yang biasa disebut dengan *nozzel*. Jenis dari turbin *impuls*, yaitu: Turbin Pelton dan Turbin *Cross-Flow*.
- b) Turbin Reaksi, pada turbin ini semua energi potensial air diubah menjadi energi kinetis ketika air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, sehingga perubahan momentum oleh air akan menyebabkan perputaran *runner*. Jenis dari turbin reaksi yaitu: Turbin Francis, Turbin Kaplan dan Turbin *Propeller*.



Gambar 2.1. Turbin (a) Pelton, (b) Francis, (c) *Propeller* [3]

Pada Tabel 2.1. dapat dilihat bahwa turbin pelton (*impuls*) adalah turbin air dengan kecepatan spesifik terendah dan bekerja pada *head* yang paling tinggi. Sedangkan turbin *propeller* adalah turbin air dengan kecepatan spesifik yang tinggi, sehingga cocok untuk *head* yang rendah namun debit air (Q) yang tinggi.

Tabel 2.1. Jenis Turbin Air dan Kecepatan Spesifiknya [3]

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik n_s (RPM)	Efisiensi n_t (%)	<i>Head</i> /Tinggi Air Jatuh
1	<i>Impuls</i> (Pelton)	2 – 4	85 – 95	6000 - 2000
		4	90	2000
2	Francis	4 – 7	90 – 82	2000 - 4000

		30 – 82	90 – 94	500
		82 – 90	94 – 93	500 – 70
				70 - 45
3	<i>Propeller</i>	100 – 140	94	100 – 15
		140 – 250	94 - 85	15 – 10

Parameter yang biasa digunakan untuk pemilihan jenis turbin yang akan digunakan dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga air adalah berdasarkan kecepatan spesifik (n_s). Kecepatan spesifik merupakan kecepatan turbin yang mana dapat menghasilkan daya 1 *horse power* (hp) untuk setiap *head* (h) = 1 ft. [3] Untuk kecepatan spesifik dapat dilihat dalam Persamaan 2.1.

$$n_s = \frac{n \sqrt{P_t}}{(h_{eff})^{5/4}} \dots\dots\dots (2.1) [3]$$

Dimana:

n_s = Kecepatan spesifik

n = Kecepatan turbin pada efisiensi maksimum (rpm)

P_t = Daya turbin (hp)

h_{eff} = *Head* efektif/ tinggi air jatuh (ft)

Untuk kondisi air tertentu (Q dan h_{eff} tertentu) berdasarkan kecepatan spesifiknya dapat ditentukan jenis turbin yang sebaiknya digunakan supaya diperoleh nilai efisiensi yang maksimum. Tabel 2.1. dapat digunakan sebagai pedoman dalam pemilihan jenis turbin air.

2.2.1. Turbin Pelton

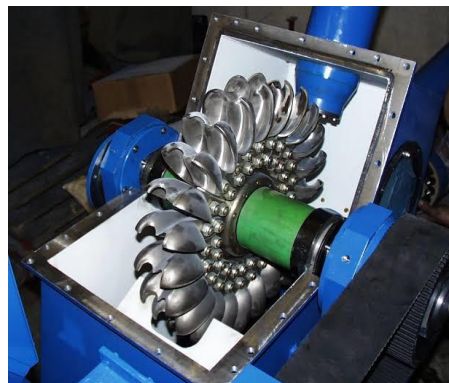
Turbin pelton adalah salah satu turbin air dari jenis turbin *impuls*. Turbin ini ditemukan pada tahun 1872 oleh S.N. Knight dan N.J. Colena pada tahun 1873 dengan memasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Kemudian pada tahun 1880 turbin ini dikembangkan oleh orang Amerika Lester G. Pelton. [4] Untuk mengetahui bentuk turbin pelton dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Turbin pelton bekerja berdasarkan prinsip *impuls*, yang mana semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke mangkok jalan turbin akan diubah

menjadi energi kecepatan. Gaya *tangensial* F didapat dari pancaran air yang akan bekerja pada mangkok jalan. [4] Kelebihan dari turbin pelton antara lain sebagai berikut:

- a) Menghasilkan daya yang besar.
- b) Konstruksi sederhana.
- c) Perawatan yang mudah.
- d) Dapat diterapkan di daerah yang terisolir.

Yang menjadi kelemahan dari turbin pelton karena aliran air berasal dari atas, maka tempat penampungan air atau bendungan air memerlukan biaya yang sangat banyak.



Gambar 2.2. Turbin Pelton [5]

Turbin jenis pelton memiliki beberapa *jet* penyemprot air untuk memutar sudu-sudu. Memiliki ketinggian air (*head*) = 200 s.d. 2000 meter. Dengan debit air = 4 s.d. 15 m³/s. [4] Debit air adalah *volume* air yang mengalir tiap satuan waktu. Disimbolkan dengan Q dan dalam satuan SI adalah m³/s. Debit air dapat dirumuskan seperti pada Persamaan (2.2) sampai dengan Persamaan (2.4).

$$Q = V / t \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$Q = A \times s/t \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q = A \times v \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- Q = Debit air (m³/s)
- A = Luas penampang (m²)
- V = Kecepatan aliran air (m/s)

2.3. Generator

Generator adalah sebuah peralatan elektromekanis yang mengubah energi mekanik (energi gerak) menjadi energi listrik (elektrik). Sumber energi yang menggerakkan *generator* bermacam-macam. Pada pembangkit listrik tenaga angin *generator* bergerak karena adanya kincir yang berputar karena angin. Begitu pula dengan pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan energi gerak dari air.



Gambar 2.3. *Generator AC 3 Phase*

Untuk spesifikasi *generator* yang penulis gunakan untuk pembuatan proyek akhir dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Spesifikasi *Generator* Yang Digunakan

No.	Parameter	Nilai
1	<i>Merk</i>	Mitsubishi Electric
2	Tegangan	129 Volt
3	Arus	2,3 Ampere
4	<i>Daya Output</i>	400 Watt
5	RPM	3000 RPM

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan *generator* dapat dihitung dengan menggunakan rumus daya pada rangkaian listrik umumnya. Selain itu, perhitungan daya juga dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari tegangan maksimum dan arus maksimum keluaran *generator* seperti pada Persamaan (2.5).

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (Amper)

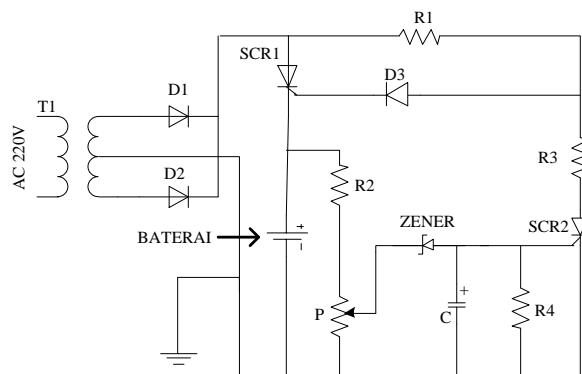
2.4. *Accumulator* atau Baterai

Accumulator (*Accu*) atau yang sering disebut dengan aki atau baterai adalah sebuah komponen yang dapat menyimpan energi (umumnya adalah energi listrik) dalam bentuk energi kimia yang digunakan untuk menyalakan sebuah rangkaian listrik yang sebelumnya tidak ada sumber listrik. Aki pertama kali ditemukan pada tahun 1859 di Perancis oleh ahli fisika yang bernama Gaston Plante. [6]



Gambar 2.4. Aki atau Baterai

Aki merupakan sebuah sumber arus listrik searah yang mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Aki termasuk sel sekunder, karena selain menghasilkan arus listrik, aki juga dapat diisi arus listrik kembali. Untuk rangkaian pengisi aki atau baterai otomatis diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Rangkaian Pengisi Aki Otomatis

Berdasarkan Gambar 2.5. dapat dilihat bahwa rangkaian pengisi aki otomatis terdiri dari penyearah gelombang penuh dioda (D1) dan (D2). Tegangan akan mengalir ke baterai yang dibebankan melalui *thyristor* (SCR1). Saat tegangan baterai atau aki masih rendah, *thyristor* (SCR2) dalam keadaan terputus, yang artinya level tegangan sudah cukup untuk mencapai *gate* (G) *thyristor* (SCR1) dan arus dikendalikan oleh resistor (R1).

Saat tegangan baterai rendah, tegangan pada potensiometer (kode panah) juga rendah. Tegangan masih terlalu kecil untuk menggerakkan dioda zener 11 volt. Sehingga, dioda zener seperti sirkuit terbuka dan (SCR2) tetap dalam keadaan terputus. Ketika pengisian baterai mulai meningkat, tegangan pada potensiometer juga meningkat dan mencapai tegangan yang cukup untuk mendorong dioda zener. Ketika dioda zener bekerja akan memicu *thyristor* (SCR2) yang sekarang sudah terhubung.

Pada umumnya, ada beberapa jenis aki yang sering digunakan, diantaranya adalah: [6]

a) Aki Basah

Aki basah paling banyak digunakan pada kendaraan bermotor, berisi cairan asam belerang yang dapat ditambahkan di lubang-lubang kotak aki. Keuntungan dari penggunaan aki basah, yaitu:

- Mudah dalam penggunaannya karena dapat ditambahkan cairan asam sulfat apabila telah berkurang.
- Mudah dalam perawatan.
- Harga yang murah.

Adapun kerugian dari aki basah yakni:

- Lebih cepat habis.
- Harus selalu dipakai supaya aki dapat terisi kembali.

b) Aki Kering

Aki kering juga biasa digunakan untuk kendaraan bermotor, terutama sepeda motor model terbaru yang kerap menggunakan aki kering sebagai sumber utama kelistrikan. Aki kering dipilih karena relatif bebas perawatan, tanpa harus mengisi cairan asam sulfat.

Kerugian:

- Harga yang mahal.
- Tidak tahan dengan yang suhu panas.

Keuntungan:

- Bebas perawatan.
- Kinerja lebih baik.

Setiap aki terdiri dari beberapa sel, dimana tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 volt, sehingga aki 12 volt memiliki 6 sel yang dipasang secara seri (12 volt = 6 x 2 volt). [7] Sedangkan aki 24 volt memiliki 12 sel. Ketika aki habis, akan memiliki massa jenis yang sama dengan air yaitu sebesar 1 kg/dm³ (1 kg per 1000 cm³ atau 1 liter) dan asam sulfat memiliki massa jenis 1,285 kg/dm³ pada suhu 20°C. [8] Kapasitas aki merupakan jumlah *Ampere Hours* (Ah= arus listrik dengan satuan *Ampere* x waktu dalam satuan jam atau *hours*), [8] misalnya kapasitas aki sebesar 12 Ah, artinya aki dapat menyuplai energi listrik 6 *Ampere* dalam 2 jam sesuai dengan hasil perkaliannya. Adapun rumus untuk perhitungan berapa lama pemakaian aki dapat dilihat pada Persamaan (2.6) sampai dengan Persamaan (2.8).

$$P = V \times I \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

$$V = P / I \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$I = P / V \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (Amper)

Sedangkan rumus untuk menghitung lama waktu pengisian aki dapat dilihat pada Persamaan (2.9).

$$Ah = I \times t \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

Ah = *Ampere hours*

I = Arus (Amper)

t = Waktu per jam (*hour*)

2.5. *Jetpump*

Jetpump merupakan mesin air yang digunakan untuk menggerakkan turbin air, yang mana biasanya untuk penggerak turbinnya menggunakan aliran air sungai, air bendungan, dan air terjun. Namun untuk simulatornya penulis menggunakan *jetpump* untuk menggerakkan turbin air. Spesifikasi *jetpump* yang penulis gunakan dapat dilihat pada Tabel 2.3.



Gambar 2.6. *Jetpump*

Tabel 2.3. Spesifikasi *Jetpump* Yang Digunakan

No.	Parameter	Nilai
1	Daya <i>output</i> listrik	375 watt
2	Daya <i>input</i> listrik	750 watt
3	Tegangan	220 volt
4	Frekuensi	50 Hz
5	Daya hisap	40 meter (permukaan air 20 m)
6	Daya dorong	40 meter (max)
7	Total <i>head</i>	80 meter
8	Debit air	85 liter/menit (max)
9	<i>Inlet</i>	1 ¼
10	<i>Outlet</i>	1 inch

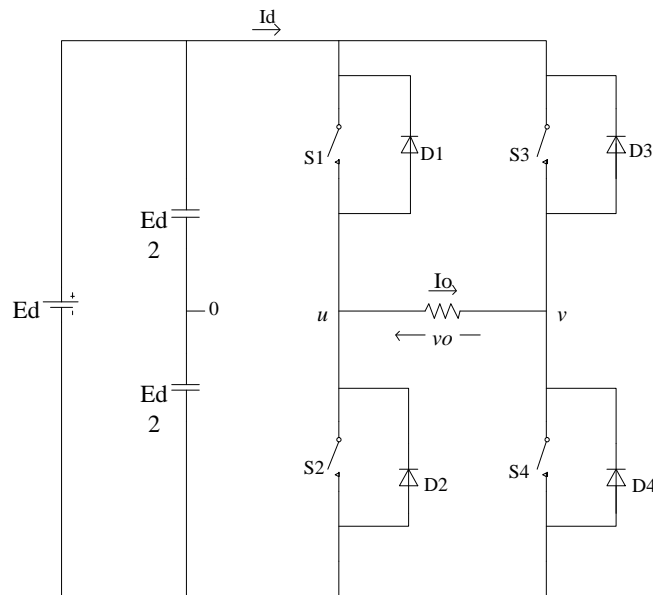
2.6. *Inverter DC to AC*

Inverter merupakan sebuah rangkaian elektronika daya yang berfungsi sebagai pengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Sumber tegangan *inverter* dapat menggunakan aki, baterai, solar *cell* atau sumber tegangan DC lainnya. *Inverter* dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa *step up transformer*.



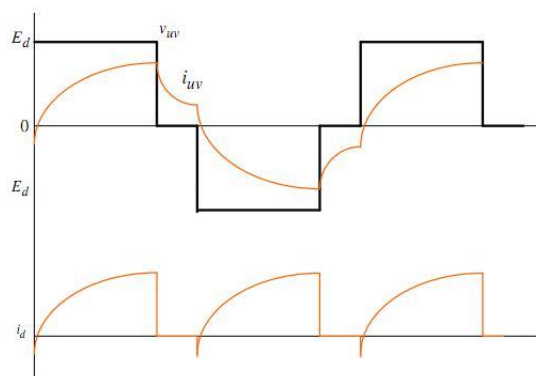
Gambar 2.7. *Inverter DC to AC 1200 Watt*

Komponen yang biasa digunakan dalam rangkaian *inverter*, yaitu induktor, kapasitor, resistor, SCR, transistor, dan MOSFET yang berfungsi sebagai saklar dan pengubah. [9] *Inverter* sendiri dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu *inverter* 1 fasa dan *inverter* 3 fasa. *Inverter* sederhana yang paling banyak digunakan ialah *inverter* DC 12 volt to AC 220 volt. Tegangan *output* yang dihasilkan berkisar antara 120 volt 60 Hz, 220 volt 50 Hz, dan 115 volt 400 Hz. [9]



Gambar 2.8. *Inverter 1 Phasa Full Wave*

Gambar rangkaian *inverter* 1 phasa gelombang penuh ditunjukkan pada Gambar 2.8. Ketika S1 dan S2 bekerja (ON), tegangan Vs akan mengalir ke beban tetapi S3 dan S4 dalam kondisi OFF. Ketika S3 dan S4 ON sedangkan S1 dan S2 OFF, maka pada beban akan timbul tegangan $-Vs$. Hasil gelombang yang dihasilkan oleh *inverter* 1 phasa gelombang penuh ditunjukkan pada Gambar 2.9. Tegangan *output* didapat dari Persamaan (2.10) dan Persamaan (2.11).



Gambar 2.9. Gelombang *Inverter Full Wave*

$$V_o(\text{rms}) = \left[\frac{2}{T} \int_0^{1/2} V \cdot dt \right]^{1/2} = V_s \dots\dots\dots (2.10) [9]$$

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0,90V_s \dots\dots\dots (2.11) [9]$$

Seperti yang digunakan oleh penulis dalam pembuatan proyek akhir ini, apabila menggunakan aki 12 volt dengan *inverter* 1200 watt, maka aki yang digunakan sebaiknya berkapasitas 100 Ah atau 1/10 dari beban *output* maksimal *inverter* yang digunakan. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada Persamaan (2.12).

$$V_{in} \times I_{in} \times \text{efisiensi} = V_{out} \times I_{out} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

V_{in} = Tegangan *input* (volt)

I_{in} = Arus *input* (Amper)

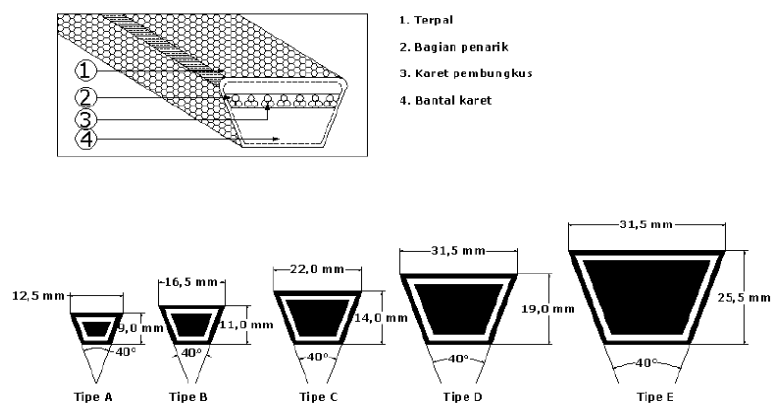
Efisiensi = Nilai efisiensi (%)

V_{out} = Tegangan *output* (volt)

I_{out} = Arus *output* (Amper)

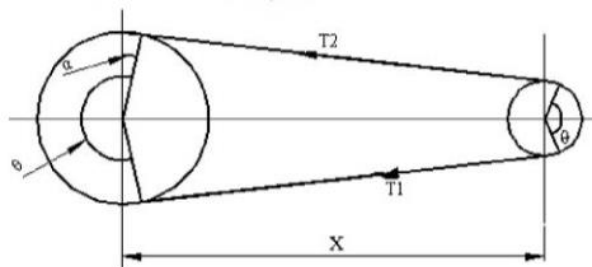
2.7. Transmisi Sabuk (V-Belt)

Transmisi sabuk-V (*V-Belt*) dipengaruhi oleh jarak yang memisahkan antara dua buah poros. Sabuk-V merupakan salah satu jenis transmisi penghubung yang terbuat dari karet dan memiliki penampang yang berbentuk trapesium. Untuk penggunaannya, sabuk-V dibelitkan mengelilingi alur puli yang juga berbentuk V. Ketika bagian sabuk membelit puli, maka akan terjadi lengkungan sehingga lebar pada bagian dalamnya akan bertambah besar. [10] Ukuran penampang sabuk-V dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Ukuran Penampang Sabuk-V [10]

Beberapa alasan mengapa sabuk-V banyak digunakan karena dalam penanganannya sangat mudah dan dengan harga yang murah pula. Selain itu juga sabuk-V dapat menghasilkan transmisi daya yang besar pada tegangan yang relatif rendah. Apabila dibandingkan dengan transmisi lain seperti roda gigi dan rantai, sabuk-V dapat bekerja dengan lebih halus dan tidak bersuara. Selain memiliki banyak keunggulan, sabuk-V juga mempunyai kelemahan yang memungkinkan terjadinya slip.



Gambar 2.11. Tegangan pada Sabuk dan Puli [10]

Pada Gambar 2.11. merupakan tegangan yang terjadi pada sabuk dan puli. Untuk perhitungan sabuk ada beberapa yang perlu dihitung, yaitu sudut kontak sabuk (θ), panjang sabuk (L), luas penampang sabuk yang digunakan (A), kecepatan linear sabuk (v), gaya sentrifugal (T_c), gaya maksimum sabuk (T_{max}), gaya sisi kencang sabuk (T_1), gaya sisi kendur sabuk (T_2).

Dalam memperhitungkan jenis sabuk dan panjang sabuk yang akan digunakan, perlu dilakukan perencanaan sabuk-V. Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam perancangan sabuk-V meliputi:

- a) Sudut kontak untuk sabuk terbuka (θ)

$$\sin \alpha = \frac{r_2 - r_1}{x} \dots\dots\dots(2.13) [10]$$

$$\theta = (180 - 2\alpha) \frac{\pi}{180} \dots\dots\dots(2.14) [10]$$

Dimana:

r_1 = Jari-jari puli besar (mm)

r_2 = Jari-jari puli kecil (mm)

x = Jarak antar poros (mm)

θ = Sudut kontak sabuk dan puli

- b) Menentukan panjang sabuk (L)

$$L = \pi (r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1 - r_2)^2}{x} \dots\dots\dots(2.15) [10]$$

Dimana:

L = Panjang sabuk (mm)

x = Jarak sumbu poros (mm)

r₁ = Jari-jari poros kecil (mm)

r₂ = Jari-jari poros besar mm)

c) Kecepatan linear sabuk (v)

$$v = \frac{\pi \cdot D_p \cdot N}{60} \dots\dots\dots(2.16) [10]$$

Dimana:

v = Kecepatan sabuk (m/s)

D_p = Diameter puli penggerak (mm)

N = Putaran puli penggerak (rpm)

d) Gaya sentrifugal (T_c)

$$T_c = m \times v^2 \dots\dots\dots(2.17) [10]$$

Dimana:

T_c = Gaya sentrifugal (N)

m = Massa (kg)

v = Kecepatan linier sabuk (m/s²)

e) Gaya maksimum sabuk (T_{max})

Untuk gaya maksimum sabuk nilai σ = 1,7 karena untuk menghitung gaya maksimum, maka menggunakan nilai tertinggi dari kekuatan tarik sabuk.

$$T_{max} = \sigma \times A \dots\dots\dots(2.18) [10]$$

Dimana:

T_{max} = Gaya maksimum sabuk (N)

σ = Kekuatan Tarik sabuk (N/mm²)

A = Luas penampang sabuk (mm²)

f) Gaya tarik sisi kancang sabuk (T₁)

$$T_1 = T_{max} - T_c \dots\dots\dots(2.19) [10]$$

Dimana:

T_1 = Gaya sisi kencang sabuk (N)

T_{max} = Gaya maksimum sabuk (N)

T_c = Gaya sentrifugal sabuk (N)

g) Gaya tarik sisi kencang sabuk (T_2)

$$2,3 \cdot \log \frac{T_1}{T_2} \mu \cdot \theta \operatorname{cosec} \beta \dots\dots\dots (2.20) [10]$$

Dimana:

T_1 = Tarikan sisi kencang (N)

T_2 = Tarikan sisi kendur (N)

μ = Koefisien gesek untuk puli dengan sabuk

θ = Sudut kontak (rad)

β = Sudut alur puli (...°)

Untuk mengetahui sudut alur puli (β) dapat melihat pada Tabel 2.4. yang menunjukkan spesifikasi dan dimensi sabuk-V.

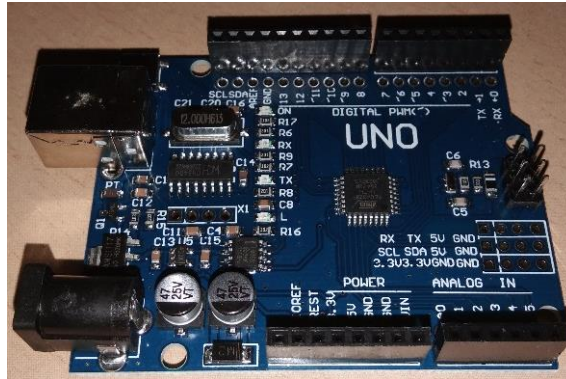
Tabel 2.4. Dimensi Spesifikasi Sabuk-V [11]

<i>Type of belt</i>	<i>Power ranges in kW</i>	<i>Minimum pitch diameter of pulley (D) mm</i>	<i>Top width (b) mm</i>	<i>Thickness (t) mm</i>	<i>Weight per meter length in newton</i>
A	0,7 – 3,5	75	13	8	1,06
B	2 – 15	125	17	11	1,89
C	7,5 – 75	200	22	14	3,43
D	20 – 150	355	32	19	5,96
E	30 – 350	500	38	23	-

2.8. Arduino UNO R3 (CH340G)

Arduino UNO adalah *board* berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 pin *digital input/ output* (dimana 6 pin digunakan sebagai *output PWM*) 6 *input analog*, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi USB, *jack* listrik, ICSP *header* dan tombol *reset*. Pin-pin Arduino UNO memiliki semua yang diperlukan untuk menunjang mikrokontroler, hanya dengan menghubungkan

kabel USB ke komputer atau sumber tegangan lain yang bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya. Bentuk fisik Arduino UNO diperlihatkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Modul Arduino UNO R3 (CH340G)

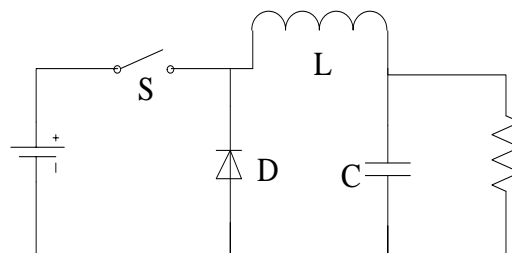
Arduino UNO memiliki beberapa pin dan mempunyai fungsinya masing-masing. Tata letak pin dan fungsi pada Arduino UNO ditunjukkan pada Lampiran 4.

Tabel 2.5. Spesifikasi Arduino UNO R3 (CH340G)

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Mikrokontroler	Atmega328
2	<i>Operating Voltage</i>	5 Volt
3	<i>Input Voltage (recommended)</i>	7 – 12 volt
4	<i>Input Voltage (limits)</i>	6 – 20 volt
5	<i>Digital I/O Pins</i>	14 (6 pin untuk <i>output</i> PWM)
6	<i>Analog Input Pins</i>	6
7	<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 Ma
8	<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 Ma
9	<i>Flash Memory</i>	32 KB
10	SRAM	2 KB
11	EEPROM	1 KB
12	<i>Clock Speed</i>	16 MHz

2.9. Buck Converter (XL4015)

Buck Converter merupakan salah satu *converter* DC to DC yang berfungsi untuk menurunkan nilai tegangan masukan DC ke nilai keluaran DC yang lebih rendah. Berdasarkan Gambar 2.13. komponen yang digunakan pada rangkaian *buck converter*, yaitu saklar aktif (MOSFET), saklar pasif (DIODA), induktor dan kapasitor. [12]



Gambar 2.13. Rangkaian *Buck Converter*

Buck converter bekerja berdasarkan prinsip kendali pensaklaran. Ketika saklar pada posisi tertutup (ON), maka dioda bekerja secara *reversed* sehingga tegangan masukan mengalir ke induktor juga ke beban. Namun saat saklar berganti ke posisi terbuka (OFF), dioda bekerja secara *forward* sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir ke beban. Bentuk fisik dari *Buck Converter* tipe XL4015 dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. *Buck Converter* (XL4015)

Untuk mengetahui nilai *output* tegangan yang dihasilkan oleh *buck converter* dapat dihitung menggunakan rumus seperti pada Persamaan 2.21.

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{t_{ON}}{V} + T \right) \dots \dots \dots (2.21) [13]$$

Dimana:

V_{out} = Tegangan keluaran (volt)
 V_{in} = Tegangan masukan (volt)
 t_{ON} = Waktu tegangan ON (s)
 T = Periode (s)

2.10. *Driver Relay*

Relay merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai saklar (*switch*) yang dapat dioperasikan dengan listrik yang secara mekanis mengendalikan perhubungan rangkaian listrik. *Relay* bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik yang mana mengubah kondisi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik dengan tegangan yang lebih tinggi. [14] *Relay* mempunyai kontak, yaitu NO (*Normally Open*), dengan kondisi awal selalu di posisi terbuka. Serta kontak NC (*Normally Close*), yang mana kondisi awalnya selalu tertutup. Bentuk fisik modul *relay 4 channel* diperlihatkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Modul *Relay 4 Channel*

2.11. *Sensor Yang Digunakan*

Sensor adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mendeteksi sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi listrik, energi kimia, energi mekanik, dan sebagainya.

Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu sensor mekanis, sensor *thermal* (panas), dan sensor optik (cahaya).

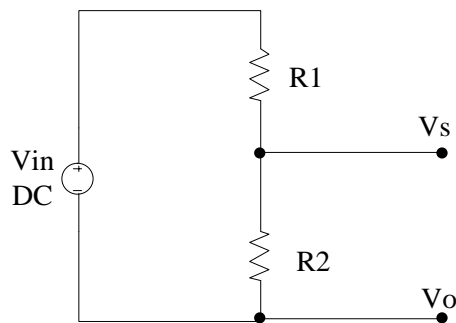
2.11.1. Sensor Tegangan DC

Prinsip kerja sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi dan pembagi tegangan. Modul ini dapat membuat tegangan *input* berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli. [15] Bentuk dari modul sensor tegangan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.16.



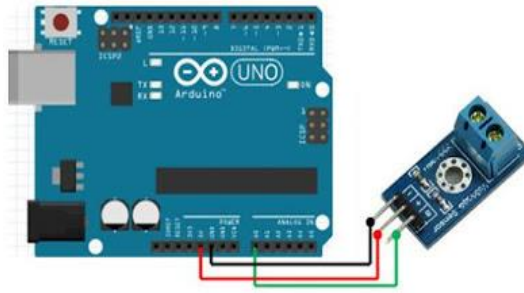
Gambar 2.16. Modul Sensor Tegangan DC

Nilai tegangan masukan pada sensor ini berupa *analog input* dengan nilai maksimum sebesar 5 volt, sehingga modul tegangan dapat diberi masukan tidak melebihi 5 x 5 volt atau sebesar 25 volt. [15] Sensor tegangan akan dipasang secara *parallel* terhadap beban.



Gambar 2.17. Rangkaian Sensor Tegangan

Cara merangkai modul sensor tegangan yang dikoneksi dengan Arduino yaitu kabel merah dihubungkan dengan *ground* (GND) dan kabel hijau dihubungkan dengan *analog read* 0 (A0) pada Arduino. Untuk lebih jelasnya seperti pada Gambar 2.18.



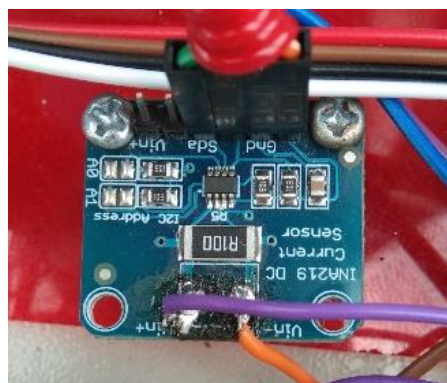
Gambar 2.18. Koneksi Arduino Dengan Modul Sensor Tegangan DC

Dalam pembacaan sensor hanya dapat diubah dalam bentuk bilangan dari 0 sampai 1023. Hal ini dikarenakan *chip* Arduino AVR memiliki 10 bit AD, sehingga resolusi simulasi modul 0,00489 volt yaitu dari (5 volt / 1023), dan tegangan input dari modul harus lebih dari $0,00489 \text{ volt} \times 5 \text{ volt} = 0,02445 \text{ volt}$. [15] Sehingga dapat dirumuskan seperti Persamaan (2.22).

$$\text{Volt} = [(V_{out} \times 0,00489 \text{ V}) \times 5] \dots\dots\dots(2.22) [15]$$

2.11.2. Sensor Arus (INA219)

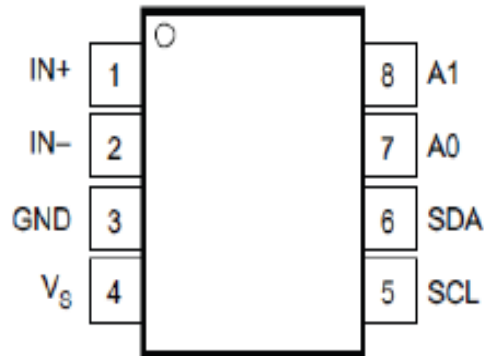
Pada dasarnya sensor INA219 memiliki konsep yang sama dengan sensor DC lainnya. Namun sensor INA219 tidak hanya mengukur arus melainkan dapat mengukur tegangan dan daya sekaligus. Sensor INA219 mempunyai *amplifier input* maksimum sebesar $\pm 320 \text{ mV}$ yang berarti dapat mengukur arus sampai dengan $\pm 3,2 \text{ A}$. [16]



Gambar 2.19. Modul Sensor Arus INA219

Sensor INA219 mempunyai Pin I/O data, *clock*, *analog 0*, *analog 1*, *Vin +*, *Vin -*, *ground (GND)*, dan suplai tegangan. Untuk lebih jelas Pin I/O pada

sensor INA219 dapat dilihat pada Gambar 2.20. Pin IN + dan IN – adalah pin positif dan pin negatif *input* dari tegangan yang mana pin positif dihubungkan ke hambatan (beban) sedangkan pin negatif dihubungkan ke *ground* (GND). Pin SCL dan SDA merupakan pin *serial bus clock line* dan *serial bus data line*. Pin A0 dan A1 merupakan alamat dari pin *analog input*. [16]



Gambar 2.20. Konfigurasi Pin INA219 [16]

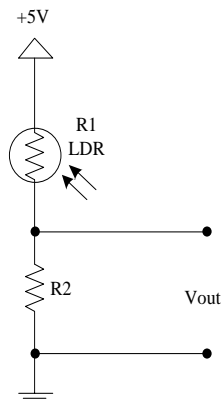
2.11.3. Sensor Cahaya (LDR)

Sensor cahaya adalah sensor yang memanfaatkan intensitas cahaya sebagai inputan sensor. Salah satu komponen elektronika yang memanfaatkan sensor cahaya adalah LDR (*Light Dependent Resistor*). Bentuk fisik dari modul sensor LDR dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21. Modul Sensor LDR

Salah satu contoh rangkaian sensor LDR seperti pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Rangkaian Sensor LDR

LDR dan R1 digunakan sebagai pembagi tegangan. Saat LDR tidak mendapatkan cahaya (gelap) maka hambatan pada LDR semakin besar. Saat LDR mendapatkan cahaya maka hambatannya menjadi kecil. Besarnya nilai hambatan pada LDR tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh LDR itu sendiri. [17] Untuk mengitung tegangan keluaran pada LDR dapat menggunakan Persamaan (2.23).

$$V_o = \frac{\text{LDR}}{\text{LDR} + R_2} V_{cc} \dots\dots\dots(2.23) [18]$$

Dimana:

V_o = Tegangan keluaran (volt)

LDR = Resistansi LDR (ohm)

R_1 = Resistor (ohm)

V_{cc} = Tegangan masuk (volt)

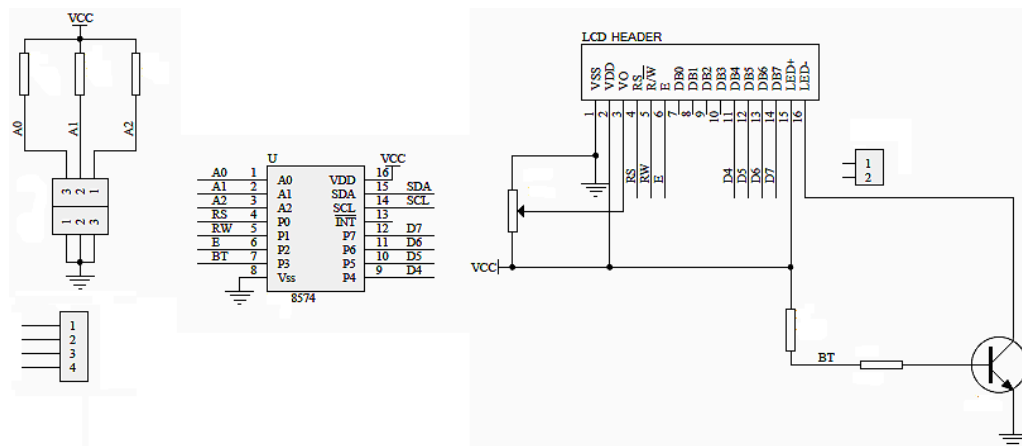
2.12. *Display LCD I2C 16X2*

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. Bentuk dari LCD I2C 16X2 seperti pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23. LCD 16X2

Modul LCD berukuran 16 karakter x 2 baris dengan fasilitas *backlighting* memiliki 16 pin yang terdiri dari 8 jalur data, 3 jalur kontrol dan jalur-jalur catu daya, dengan fasilitas pin yang tersedia maka LCD 16X2 dapat digunakan secara maksimal untuk menampilkan data yang dikeluarkan oleh mikrokontroler, secara ringkas fungsi pin-pin pada LCD dapat dilihat pada Tabel 2.6.



Gambar 2.24. Rangkaian LCD I2C

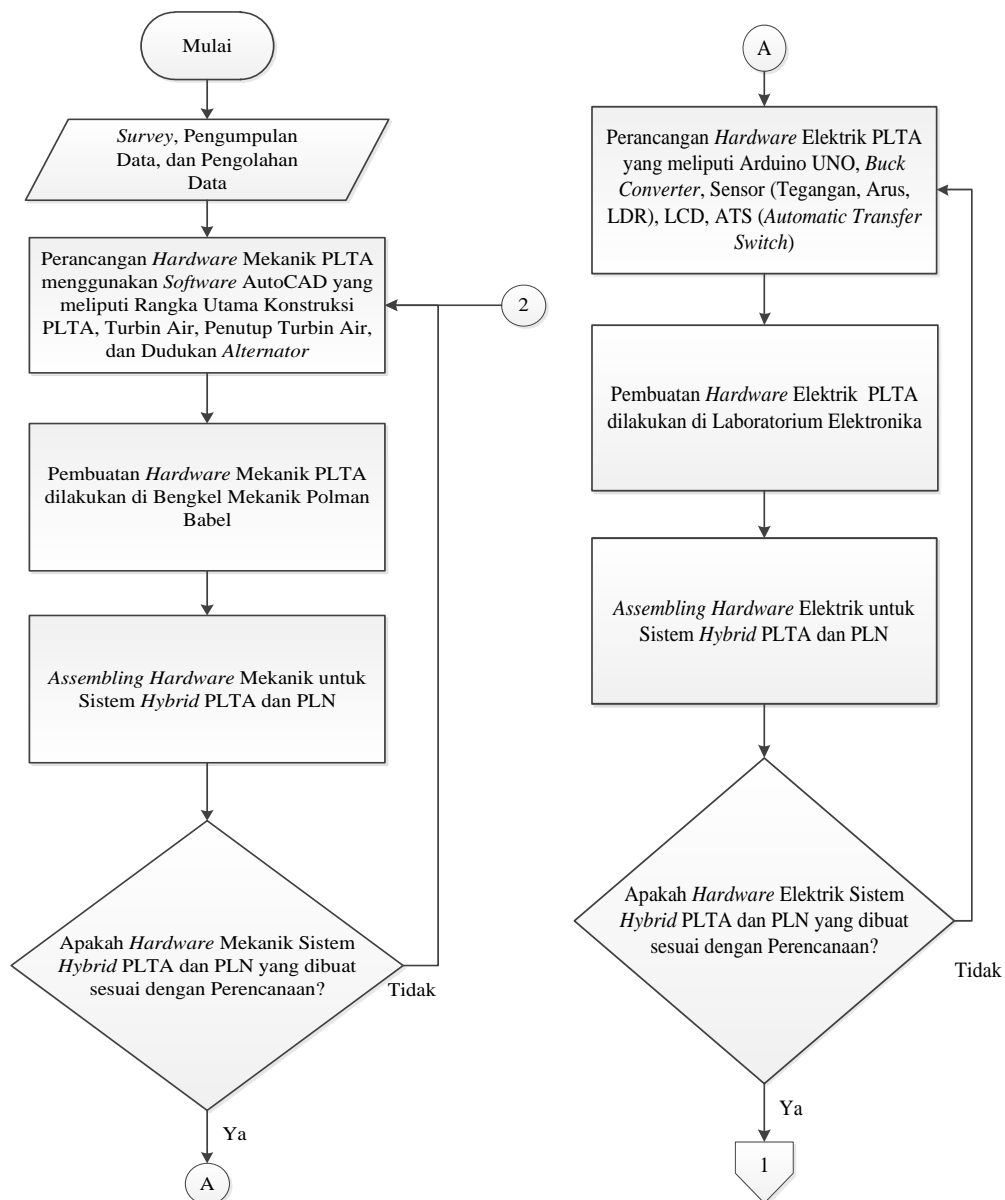
Tabel 2.6. Konfigurasi Pin LCD 16X2

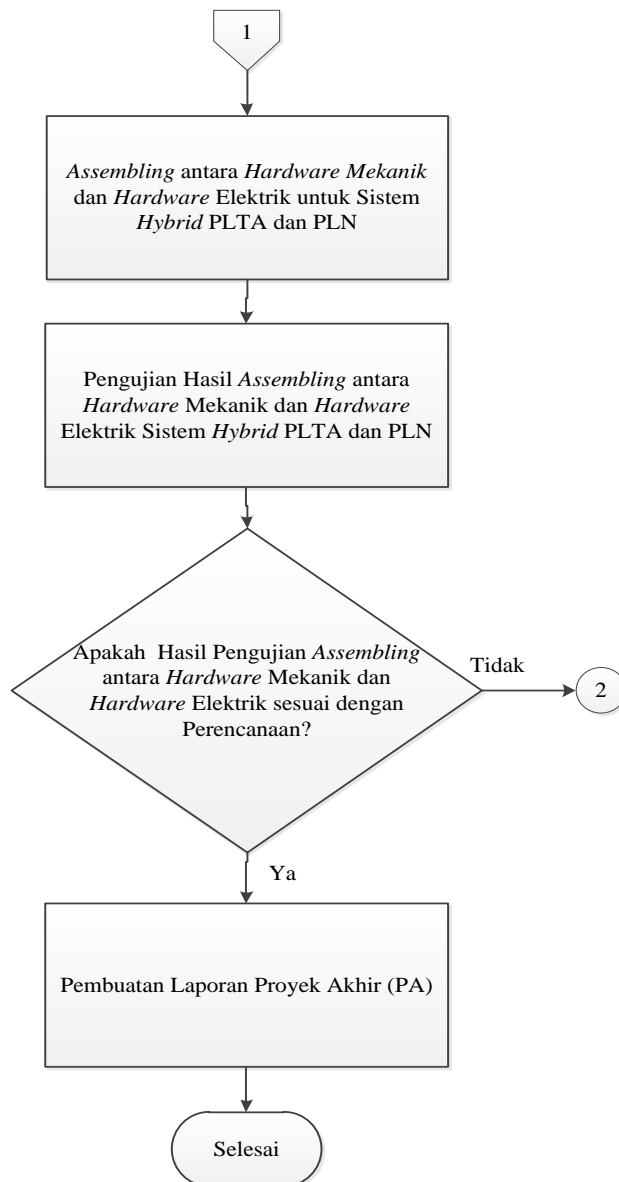
Nomor Pin	Simbol	Fungsi
1	Vss	GND
2	Vcc	+3V OR +5V
3	Vo	<i>Contrast Adjustment</i>
4	Rs	<i>H/L Register Select Signal</i>
5	R/W	<i>H → L Enable Signal</i>
6	E	<i>H/L Data Bus Line</i>
7	DB0	<i>H/L Data Bus Line</i>

8	DB1	H/L Data <i>Bus Line</i>
9	DB2	H/L Data <i>Bus Line</i>
10	DB3	H/L Data <i>Bus Line</i>
11	DB4	H/L Data <i>Bus Line</i>
12	DB5	H/L Data <i>Bus Line</i>
13	DB6	H/L Data <i>Bus Line</i>
14	DB7	H/L Data <i>Bus Line</i>
15	A/vee	+4,2V for LED/ <i>Negative Voltage Out</i>
16	K	<i>Power Supply for B/L (OV)</i>

BAB III METODE PELAKSANAAN

Pada Bab ini menjelaskan mengenai metode pelaksanaan yang penulis lakukan dengan tahapan perencanaan, pelaksanaan, dan penyelesaian proyek akhir serta penyusunan laporan. Adapun tahapan-tahapannya dijelaskan melalui bentuk *Flowchart* seperti pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. *Flowchart* Metode Pelaksanaan Proyek Akhir

3.1. **Survey, Pengumpulan Data, dan Pengolahan Data**

Survey dan pengumpulan data yang dilakukan dalam pembuatan proyek akhir ini dilakukan dengan cara mencari informasi mengenai sumber referensi yang diperlukan untuk mengetahui dan mengatasi permasalahan yang sedang terjadi. Penulis melakukan *survey* ke desa-desa yang penerangan lampu jalannya belum memadai dan di sekitarnya memiliki banyak aliran air, yaitu desa Kusam di Kecamatan Belinyu. Selain melakukan *survey* secara langsung, penulis juga

melakukan pengumpulan data yang diambil dari berbagai sumber referensi, seperti jurnal-jurnal, buku, karya ilmiah, makalah, serta internet tentang permasalahan proyek akhir yang akan penulis buat.

Apabila semua data yang diperlukan telah terkumpul, langkah berikutnya adalah mengolah data tersebut menjadi acuan dan referensi dalam pembuatan proyek akhir. Dari hasil pengolahan data yang dilakukan akan dirancang sebuah alat pembangkit listrik tenaga air yang digabungkan (*hybrid*) dengan PLN sehingga dapat mengatasi permasalahan yang ada.

3.2. Perancangan *Hardware* Mekanik PLTA

Perancangan *hardware* mekanik adalah suatu proses perancangan *hardware* atau perangkat keras pada bagian mekanik yang diperlukan untuk membuat PLTA. Pada proses perancangan *hardware* mekanik yang pertama dilakukan adalah membuat *desain* pembangkit listrik tenaga air serta konstruksi pembangkit listrik tenaga air. Perancangan *hardware* mekanik dilakukan dengan membuat *desain hardware* pada *software* SolidWork.

3.3. Pembuatan *Hardware* Mekanik PLTA

Dalam proses pembuatan *hardware* mekanik PLTA yang akan dilakukan yaitu membuat konstruksi dari pembangkit listrik tenaga air seperti pemilihan bahan, penentuan ukuran, serta pembuatan bagian-bagian mekanik dari pembangkit listrik tenaga air. Adapun pembuatan *hardware* mekanik tersebut antara lain:

- a) Rangka utama konstruksi PLTA.
- b) Turbin air.
- c) Penutup turbin air.
- d) Dudukan *generator*.

3.4. *Assembling Hardware Mekanik Sistem Hybrid PLTA dan PLN*

Assembling hardware adalah proses penggabungan atau perakitan *hardware* mekanik yang sebelumnya telah selesai dibuat. Semua *hardware* yang sebelumnya telah dibuat secara terpisah akan dirakit menjadi satu.

3.5. *Perancangan Hardware Elektrik PLTA*

Perancangan *hardware* elektrik merupakan proses perancangan komponen elektronika yang digunakan sebagai kontrol dari sistem *hybrid* PLTA dan PLN. Perancangan *hardware* elektrik meliputi pembuatan rangkaian kontrol serta penentuan komponen elektrik apa saja yang dibutuhkan. Untuk perancangan *hardware* elektrik dibuat menggunakan *software* Fritzing.

3.6. *Pembuatan Hardware Elektrik PLTA*

Untuk proses pembuatan *hardware* elektrik penulis tidak melakukan pembuatan *hardware* melainkan membeli secara *online* komponen yang telah jadi dan siap pakai.

3.7. *Assembling Hardware Elektrik Sistem Hybrid PLTA dan PLN*

Assembling hardware elektrik merupakan proses perakitan komponen-komponen elektronika yang sebelumnya telah penulis lakukan perancangan menggunakan *software*. Setelah proses *assembling hardware* selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya melakukan pengujian.

3.8. *Pengujian Hardware Elektrik Sistem Hybrid PLTA dan PLN*

Tujuan dilakukan pengujian pada *hardware* elektrik yaitu untuk mengetahui apakah komponen elektrik yang dipakai bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan atau tidak. Adapun pengujian *hardware* elektrik diantaranya pengujian Arduino UNO, pengujian *buck converter* (XL4015), pengujian sensor tegangan DC, sensor arus (INA219), dan sensor LDR, serta pengujian tampilan *output* tegangan pada layar LCD.

3.9. Assembling Keseluruhan *Hardware* Mekanik dan *Hardware* Elektrik

Proses *assembling* secara keseluruhan ini merupakan proses perakitan antara *hardware* mekanik dan *hardware* elektrik yang telah selesai dibuat dan telah selesai diuji masing-masing *hardware*.

3.10. Pengujian Sistem *Hybrid* PLTA dan PLN Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan berfungsi untuk menguji apakah alat yang sudah dibuat sesuai dengan fungsinya atau tidak. Pengujian dilakukan mulai dari pengujian *hardware* bagian mekanik dan *hardware* bagian elektrik, serta pengujian program pada sistem kontrol *hybrid* PLTA dan PLN.

3.11. Pembuatan Laporan PA (Proyek Akhir)

Pada tahap ini, semua kegiatan yang telah dilakukan dalam pembuatan proyek akhir disimpulkan dan dilaporkan dalam bentuk laporan proyek akhir. Laporan yang dibuat ini sesuai dengan format yang telah ditentukan. Yang berisikan mulai dari latar belakang, konsep perancangan alat berupa mekanik dan elektrik, pembuatan alat, pengujian alat, serta hasil pengujian alat secara keseluruhan.

BAB IV

PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan dan membahas mengenai perancangan dan hasil dari implementasi alat yang digunakan dalam sistem *hybrid* PLTA dan PLN. Sebelum dilakukan perancangan dan pembuatan sistem *hybrid* PLN dan PLN, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu melakukan perancangan *hardware* mekanik dan elektrik, pembuatan *hardware* mekanik dan elektrik, *assembling hardware* mekanik dan elektrik, pengujian *hardware* mekanik dan elektrik. Kemudian barulah melakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem PLTA. Tahap terakhir dilakukan pengujian alat secara keseluruhan serta pembuatan laporan proyek akhir.

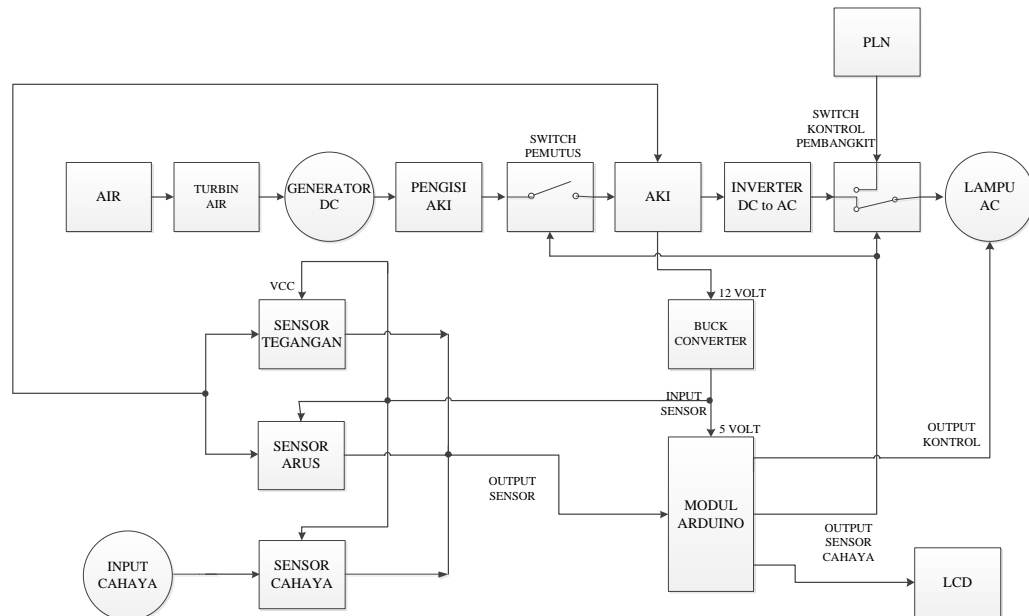
4.1. Deskripsi Alat

Sistem *hybrid* Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan PLN untuk *supply* lampu penerangan jalan umum merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit listrik yang tepat untuk diaplikasikan di Indonesia. *Hybrid* sendiri memanfaatkan energi kinetik air yang digunakan sebagai sumber energi utama yang digabungkan dengan PLN sebagai sumber energi cadangan. Energi kinetik air akan menggerakkan turbin, gerakan dari turbin akan menggerakkan *generator*, sehingga *generator* akan bergerak dan menghasilkan tegangan DC dan akan disimpan di aki. Sistem *hybrid* akan menggunakan ATS (*Automatic Transfer Switch*) dengan menggunakan modul *relay* yang dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan indikator yang diberikan oleh sensor tegangan DC dan sensor arus pada aki yang berfungsi untuk memindahkan dari sumber energi utama (PLTA) ke sumber energi cadangan (PLN) ataupun sebaliknya.

Sistem *hybrid* ini juga dilengkapi dengan sistem kontrol lampu yang menggunakan sensor LDR (*Light Dependent Resistor*). Beban yang digunakan yaitu 1 buah lampu AC 3 watt yang digunakan untuk aplikasi beban dari sensor LDR.

4.2. Diagram Blok

Diagram blok dari sistem *Hybrid* PLTA dan PLN dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram Blok Sistem *Hybrid* PLTA dan PLN

Dari Gambar 4.1. dapat disimpulkan bahwa pembangkit listrik tenaga air (PLTA) digunakan sebagai sumber energi utama yang berfungsi untuk menghidupkan lampu jalan. Sumber utama yang digunakan adalah air. Air akan mengalir dibantu oleh *jetpump* yang akan menggerakkan turbin yang berfungsi untuk mengambil energi kinetik dari arus air. Gerakan dari turbin akan menggerakkan *generator*, sehingga *generator* akan bergerak dan menghasilkan tegangan DC. Tegangan DC yang dihasilkan akan melakukan pengisian daya pada aki. Saat aki sudah bertegangan 12 volt, maka *switch* pemutus akan terbuka. Ketika tegangan aki 11,5 volt *switch* pemutus akan tertutup kembali. Apabila turbin tidak berputar dikarenakan aliran air yang tersendat, maka daya aki tidak terisi, akan tetapi daya aki akan terus terpakai. Saat tegangan aki sudah mencapai 10,5 volt, maka *switch* kontrol pembangkit akan berganti dari sumber energi PLTA menjadi sumber energi PLN. Fungsi PLN sendiri sebagai energi cadangan apabila tegangan aki rendah. Fungsi sensor tegangan dan sensor arus adalah untuk

pendeteksi ketika daya pada aki penuh atau rendah. Sedangkan sensor cahaya berfungsi sebagai pendeteksi adanya cahaya (matahari atau bulan).

4.3. Perancangan *Hardware* Mekanik PLTA

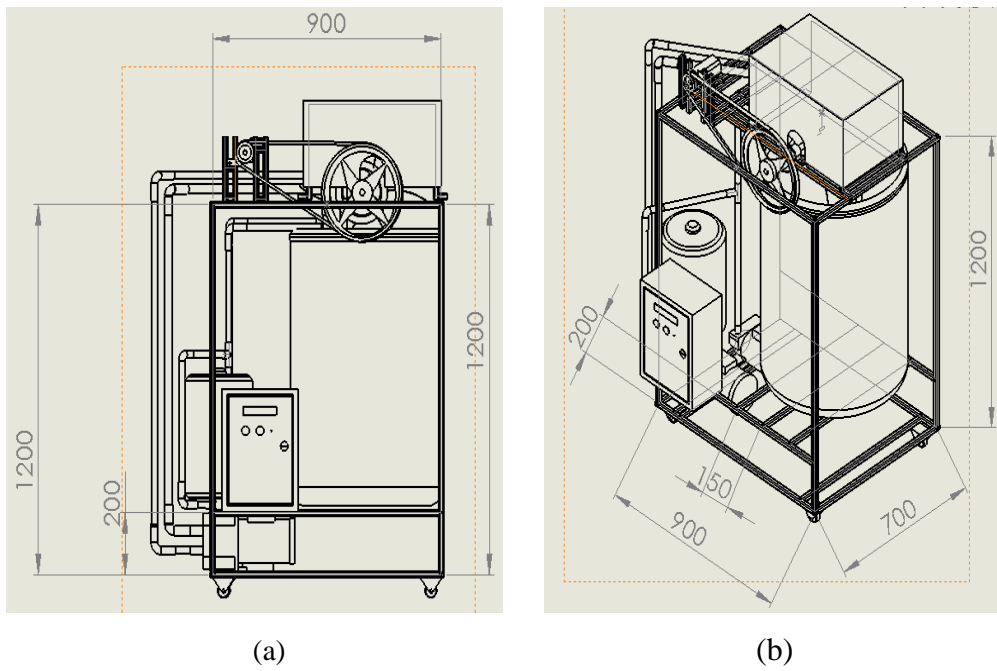
Tujuan dilakukan perancangan *hardware* mekanik PLTA adalah untuk menentukan deskripsi kerja dari alat yang akan digunakan, seperti membuat perancangan *hardware* mekanik berupa konstruksi pada bagian keseluruhan sistem PLTA, menentukan bahan yang diperlukan, serta penentuan ukuran yang akan dijadikan sebagai pedoman dalam pembuatan alat. Sehingga dapat meminimalisir kesalahan dalam proses pembuatan alat sehingga alat yang dihasilkan akan sesuai dengan apa yang telah direncanakan.

4.3.1. Perancangan *Hardware* Mekanik PLTA Secara Keseluruhan

Perancangan *hardware* mekanik PLTA merupakan sebuah proses perancangan bagaimana membuat konstruksi PLTA yang akan dibuat. Perancangan *hardware* mekanik dibuat menggunakan *software* SolidWork.

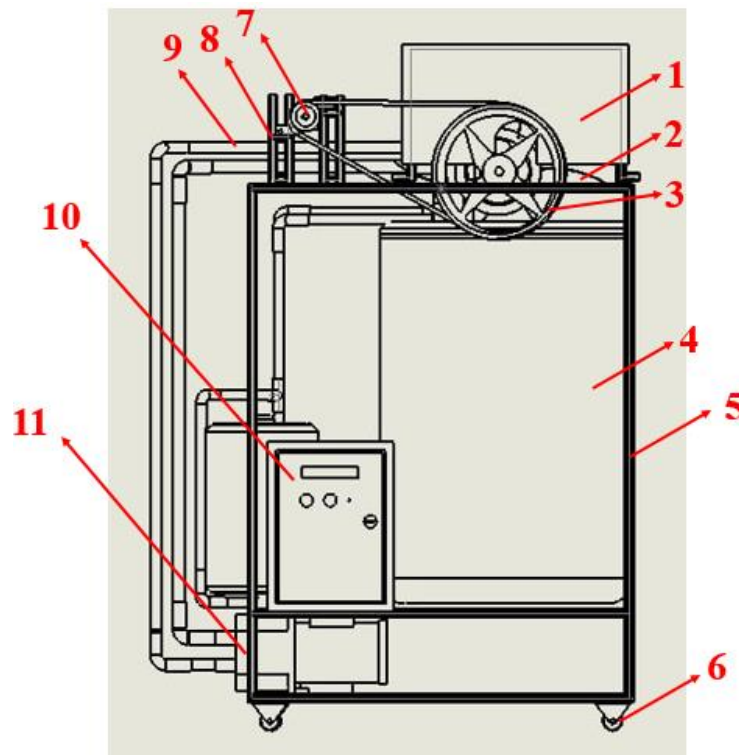
Perancangan *hardware* mekanik PLTA dirancang dengan menentukan ukuran dan bahan yang akan digunakan. Ukuran dari konstruksi PLTA yang akan dibuat adalah dengan ukuran 1200x900x700 mm. Dalam perancangan bahan yang akan dipakai adalah plat *hollow*, plat *aluminium*, dan *hast stainless*. Plat *hollow* digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan rangka utama konstruksi PLTA. Plat *aluminium* digunakan untuk bahan penutup turbin air. Sedangkan *hast stainless* untuk poros dari turbin air.

Dalam proses perancangan *hardware* mekanik PLTA dilakukan secara terpisah karena memiliki empat bagian utama. Adapun keempat bagian utama tersebut yaitu, rangka utama konstruksi PLTA, turbin air, penutup turbin air, serta dudukan *generator*. Setelah masing-masing dari keempat bagian utama selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah *assembling* atau perakitan dari setiap bagian *hardware* mekanik PLTA menjadi satu kesatuan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. (a) *Desain Mekanik PLTA 2D* (b) *Desain Mekanik PLTA 3D*

Adapun keterangan dari setiap bagian perancangan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



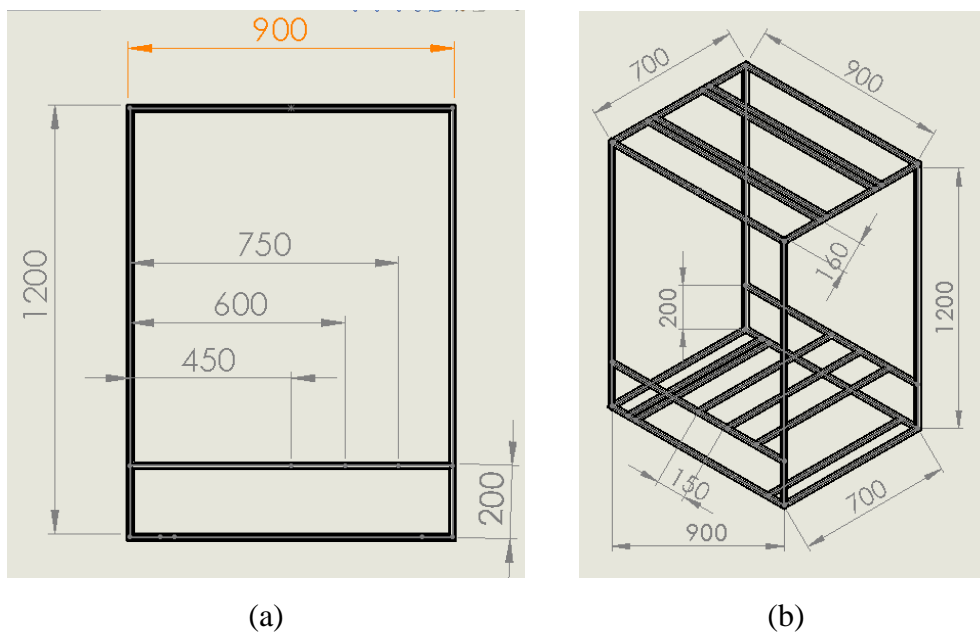
Gambar 4.3. *Assembling Setiap Bagian Hardware*

Keterangan:

1. Penutup turbin air
2. Turbin air
3. Puli dan *belt*
4. Drum plastik
5. Rangka utama PLTA
6. Roda
7. *Generator*
8. Dudukan *generator*
9. Pipa
10. *Box* panel
11. *Jetpump*

4.3.2. Perancangan *Hardware* Mekanik Rangka Utama PLTA

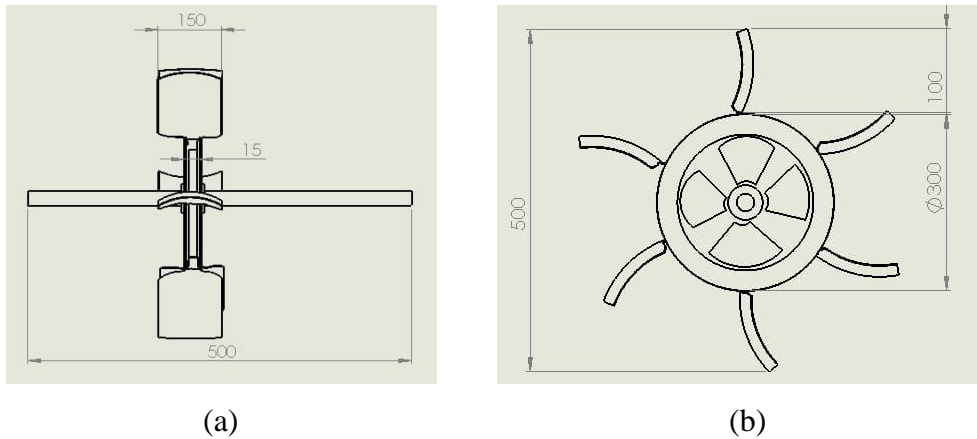
Dalam proses perancangan rangka utama PLTA, bahan yang akan dipakai adalah plat *hollow* dengan ukuran tinggi 1.200 mm, panjang 900 mm, dan lebar 700 mm. Hasil rancangan untuk rangka utama PLTA dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. (a) *Desain* Rangka Utama PLTA 2D (b) Rangka PLTA 3D

4.3.3. Perancangan *Hardware* Mekanik Turbin Air

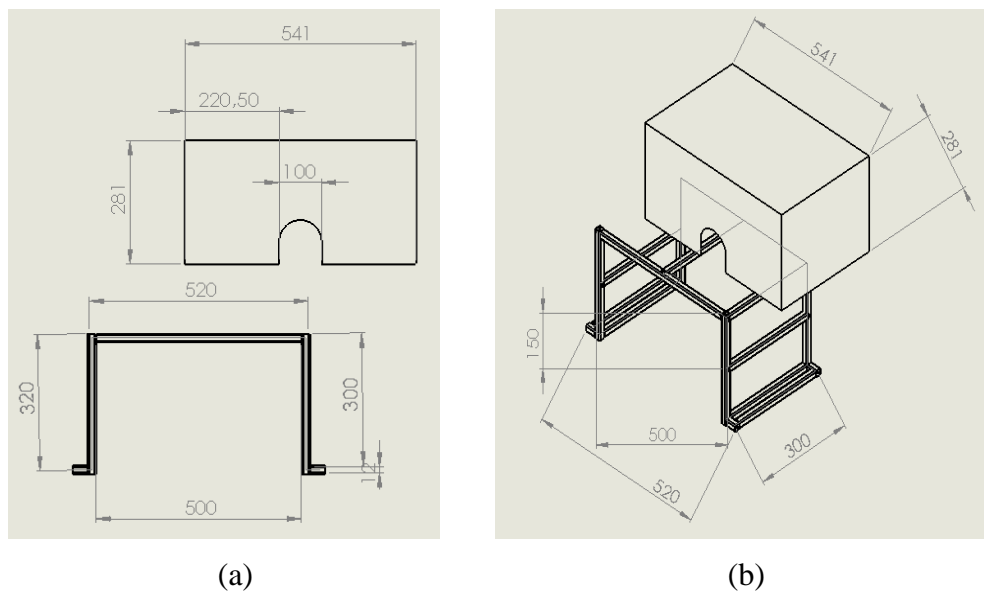
Dalam proses perancangan turbin air, plat besi dan *hast stainless* yang akan digunakan sebagai bahan utama dari turbin air dengan ukuran lebar turbin air sebesar 500 mm.



Gambar 4.5. (a) *Desain* Turbin Air 2D (b) *Desain* Turbin Air 3D

4.3.4. Perancangan *Hardware* Mekanik Penutup Turbin Air

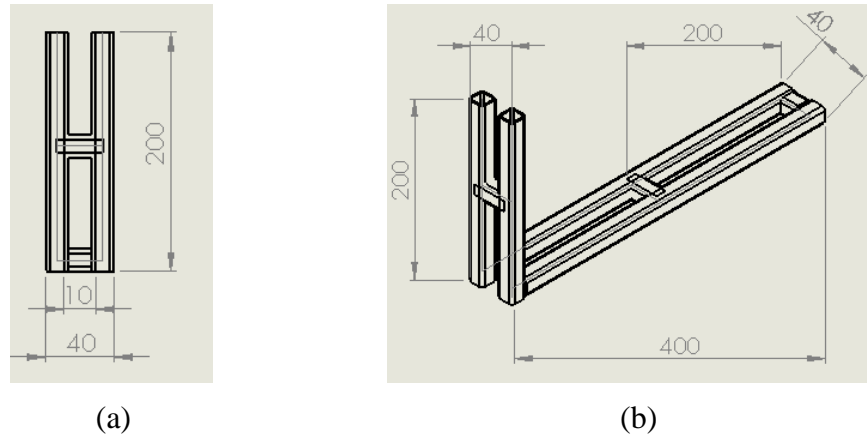
Penutup turbin air akan dibuat menggunakan bahan plat *aluminium* yang memiliki ketebalan 1 mm dengan ukuran panjang 500 mm, lebar 320 mm, dan tinggi 300 mm.



Gambar 4.6. (a) *Desain* Penutup Turbin Air 2D (b) Penutup Turbin Air 3D

4.3.5. Perancangan *Hardware* Mekanik Dudukan *Generator*

Dudukan *generator* akan dibuat dengan menggunakan bahan yang terbuat dari plat *hollow*. Hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. (a) *Desain Dudukan Generator* 2D (b) *Dudukan Generator* 3D

4.4. Pembuatan *Hardware* Mekanik PLTA

Dalam proses pembuatan *hardware* mekanik PLTA yang perlu diperhatikan adalah pemilihan bahan yang akan digunakan serta penentuan ukuran. Adapun pembuatan *hardware* mekanik PLTA meliputi beberapa tahap antara lain:

4.4.1. Pembuatan *Hardware* Mekanik Rangka Utama PLTA

Rangka utama berfungsi untuk menempatkan komponen yang akan dipakai pada bagian *hardware* mekanik. Dalam pembuatan rangka utama PLTA akan dibuat dengan bahan yang kuat supaya dapat menahan beban yang berat. Adapun bahan yang dipilih untuk pembuatan rangka utama adalah plat *hollow* 1,5x1,5 cm yang berbentuk persegi dengan ukuran tinggi 1.200 mm, panjang 900 mm, dan lebar 700 mm. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.8. yang merupakan hasil pembuatan dari rangka utama PLTA.



Gambar 4.8. Pembuatan Rangka Utama PLTA

4.4.2. Pembuatan *Hardware* Mekanik Turbin Air

Turbin air pada sistem mekanik ini berfungsi sebagai penggerak *generator* yang dihubungkan dengan *pulley* dan *belt*. Turbin air terbuat dari bahan plat besi dengan ketebalan 2 mm, dan *hast stainless* dengan panjang 700 mm. Turbin air yang selesai dibuat mempunyai ukuran lebar sebesar 500 mm. Untuk hasil pembuatan turbin air dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Turbin Air

4.4.3. Pembuatan *Hardware* Mekanik Penutup Turbin Air

Penutup turbin air berfungsi sebagai penutup (*cover*) agar ketika turbin berputar sisa-sisa air pada turbin tidak akan mengenai komponen lain yang terdapat aliran listrik. Penutup turbin air dibuat dari bahan plat *aluminium* dengan ketebalan 1 mm dan plat *hollow* berukuran 1,5x1,5 cm seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Penutup Turbin Air

4.4.4. Pembuatan *Hardware* Mekanik Dudukan *Generator*

Dudukan *generator* berfungsi untuk tempat peletakan dari *generator*. Dudukan *generator* dibuat menggunakan bahan plat *hollow* 1,5x1,5 cm. Dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Dudukan *Generator*

4.5. *Assembling Hardware Mekanik PLTA*

Setelah pembuatan *hardware* mekanik PLTA selesai dibuat, tahap selanjutnya akan dilakukan *assembling*. Tahap *assembling* ini dilakukan dengan merakit atau memasang seluruh bagian dari masing-masing *hardware* mekanik

mulai dari rangka utama, turbin air, penutup turbin, serta dudukan *generator* sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh. Hasil *assembling hardware* mekanik secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. *Assembling Hardware* Mekanik PLTA

4.6. Perancangan *Hardware* Elektrik PLTA

Tahap perancangan dilakukan untuk mengetahui komponen apa saja yang dibutuhkan untuk sistem elektrik pada alat yang akan dibuat. Adapun komponen yang diperlukan yaitu Arduino UNO, *buck converter*, sensor tegangan DC, sensor arus (INA219), sensor cahaya (LDR), LCD I2C, serta *driver relay*.

Komponen yang akan digunakan pada pembuatan sistem elektrik ini telah diuji kondisinya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah komponen tersebut dalam kondisi baik atau tidak dan apakah sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan dalam pembuatan PLTA atau tidak.

Adapun tahapan-tahapan dalam perancangan *hardware* elektrik meliputi:

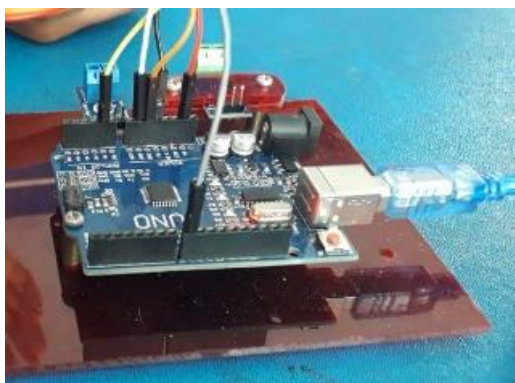
4.6.1. Arduino UNO

4.6.1.1. Perancangan Arduino UNO

Perancangan Arduino UNO bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja dari Arduino UNO itu sendiri, serta memudahkan penulis dalam melakukan *assembling* komponen-komponen elektrik. Perancangan Arduino UNO digunakan sebagai mikrokontroler dari sistem pemrograman yang akan digunakan pada proyek akhir. Arduino UNO digunakan untuk membuat suatu sistem sebagai kontrol dari berbagai komponen elektronika sehingga memudahkan dalam melakukan pemrograman mikrokontroler. Untuk mengetahui skematik Arduino UNO dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.6.1.2. Pembuatan Arduino UNO

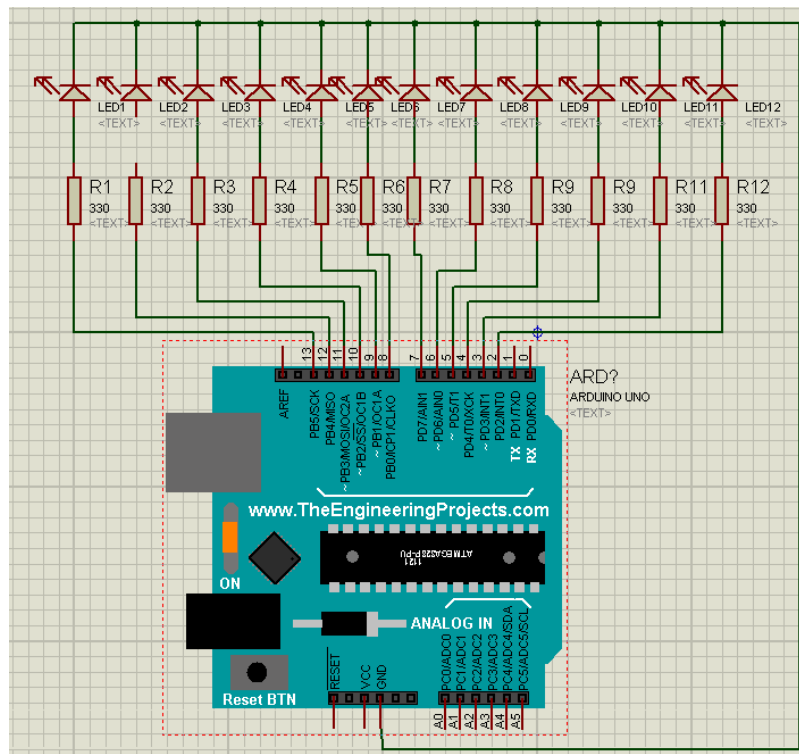
Proses pembuatan Arduino UNO dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul Arduino UNO yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi pembuatan Arduino UNO dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yaitu di ruangan UKM Ostatik. Hasil pembuatan Arduino UNO dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Pembuatan Arduino UNO

4.6.1.3. Pengujian Arduino UNO

Tujuan dilakukan pengujian pada Arduino UNO ialah untuk mengetahui kondisi modul Arduino UNO tersebut apakah dalam kondisi baik atau tidak.



Gambar 4.14. Skematik Pengujian Arduino UNO

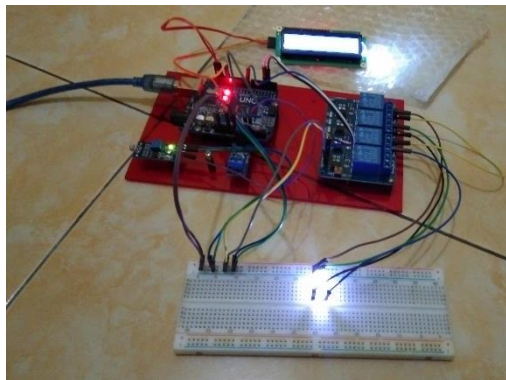
Modul Arduino UNO diuji dengan cara membuat program menggunakan *software* Arduino IDE. Pengujian ini dilakukan menggunakan PORT Arduino UNO yang dihubungkan ke PC. Untuk pengecekan pin Arduino yang akan digunakan dapat dilihat pada *output* yang dihasilkan, dengan cara memberi *input* yang dihubungkan ke LED. Untuk hasil pengujian Arduino UNO dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.15. Blok Pengujian Arduino UNO

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Pin *Output* Arduino UNO

No	Input	Pin Output Yang Diuji	Kondisi Lampu		Output	Error (%)
			Nyala	Mati		
1		Pin 2	✓			0
2		Pin 3	✓			0
3		Pin 4	✓			0
4		Pin 5	✓			0
5		Pin 6	✓			0
6	5 volt	Pin 7	✓		5 volt	0
7		Pin 8	✓			0
8		Pin 9	✓			0
9		Pin 10	✓			0
10		Pin 11	✓			0
11		Pin 12	✓			0
12		Pin 13	✓			0



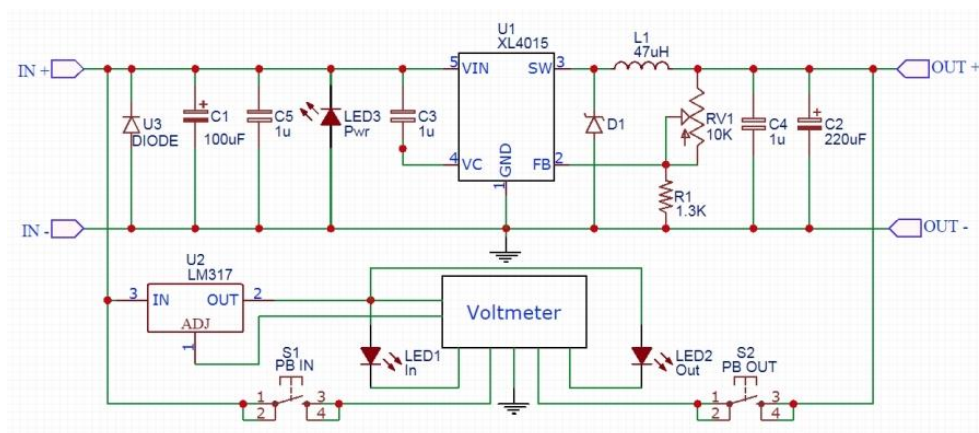
Gambar 4.16. Hasil Pengujian Arduino UNO

Berdasarkan Tabel 4.1. dapat diketahui LED menyala apabila mendapatkan tegangan 5 volt, sehingga dapat disimpulkan bahwa modul Arduino UNO yang dipakai dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk pembuatan proyek akhir.

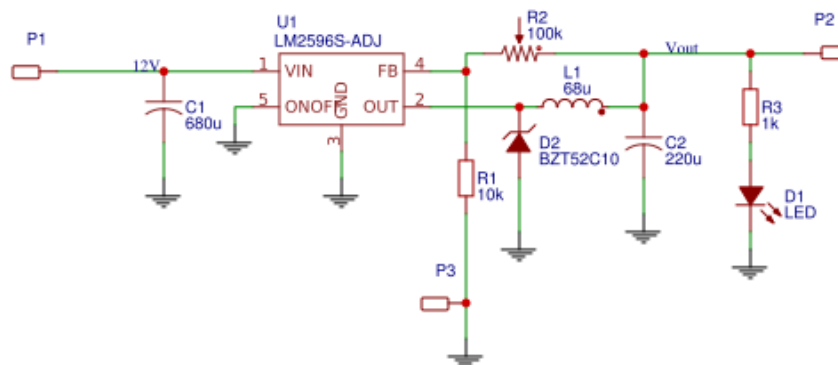
4.6.2. Buck Converter (XL4015)

4.6.2.1. Perancangan Buck Converter

Tujuan dilakukan perancangan pada *buck converter* adalah untuk mengetahui *buck converter* yang digunakan apakah sesuai dengan fungsi dan prinsip kerjanya. Sehingga dapat membuktikan apakah komponen tersebut dapat digunakan atau tidak pada alat yang akan dibuat. Adapun tipe *buck converter* yang digunakan yaitu tipe XL4015 dan LM2596. Skematik dari kedua komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan 4.18.



Gambar 4.17. Skematik *Buck Converter* XL4015



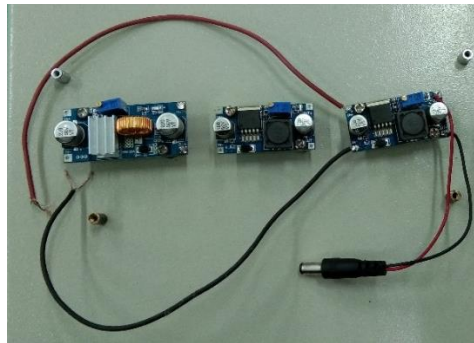
Gambar 4.18. Skematik *Buck Converter* LM2596

Buck converter digunakan sebagai penurun tegangan dari *generator* yang mempunyai tegangan sebesar 22,72 volt menjadi 13,5 volt. Kemudian *buck converter* juga digunakan untuk menurunkan tegangan baterai/ aki yang sebesar

12 volt menjadi 5,5 volt untuk *supply* Arduino. Dari aki juga diturunkan untuk *inverter* menjadi 11 volt.

4.6.2.2. Pembuatan *Buck Converter*

Proses pembuatan *buck converter* dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul *buck converter* yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi pembuatan *buck converter* dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yaitu di ruangan UKM ostatik. Hasil pembuatan dari *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19. Pembuatan *Buck Converter*

4.6.2.3. Pengujian *Buck Converter*

Pengujian *buck converter* dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari modul *buck converter* tipe XL4015 menggunakan multimeter. Tentunya hal ini bertujuan untuk mengetahui hasil tegangan dari *buck converter* apakah sesuai dengan perencanaan atau tidak. Hasil pengujian *buck converter* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

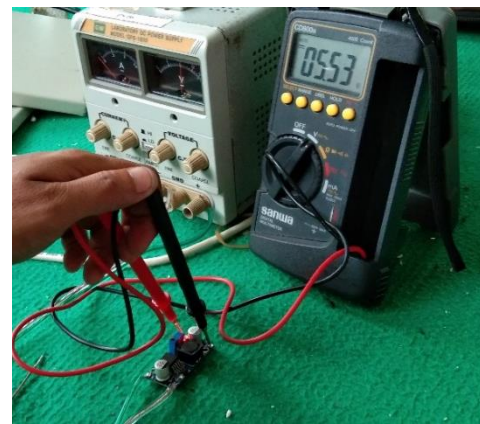


Gambar 4.20. Blok Pengujian *Buck Converter*

Adapun hasil pengujian *buck converter* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian *Buck Converter*

No	Tegangan <i>Input</i> (Volt)	Tegangan Direncanakan (Volt)	Pengukuran (Volt)	Presentase <i>Error</i> (%)
1	22,72	13,50	13,51	0,07
2	11	5,5	5,53	0,54
3	11,57	11	10,88	1,09
Rata-rata <i>error</i> (%)				0,56



Gambar 4.21. Pengujian *Buck Converter*

Adapun rumus dari pengujian sensor tegangan DC adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Perhitungan} - \text{Pengukuran}}{\text{Perhitungan}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan presentase *error* dari *buck converter* adalah sebagai berikut:

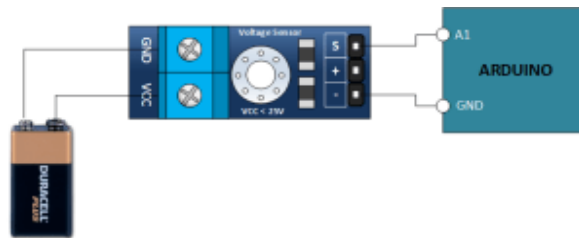
- Presentase *Error* = $\frac{13,50 - 13,51}{13,50} \times 100\% = 0,07\%$
- Presentase *Error* = $\frac{5,5 - 5,53}{5,5} \times 100\% = 0,54\%$
- Presentase *Error* = $\frac{11 - 10,58}{11} \times 100\% = 1,09\%$

Berdasarkan hasil pengujian *buck converter* pada Tabel 4.2. dapat diketahui bahwa modul *buck converter* yang dipakai dalam kondisi yang baik sehingga dapat digunakan untuk pembuatan proyek akhir.

4.6.3. Sensor Tegangan DC

4.6.3.1. Perancangan Sensor Tegangan DC

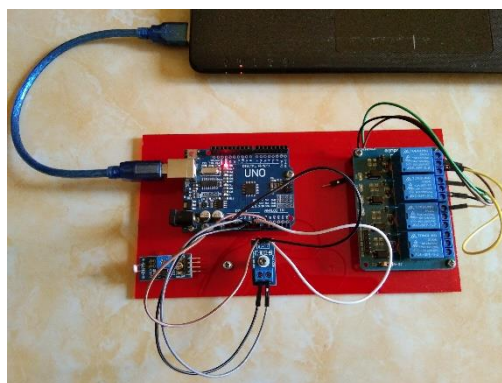
Tujuan perancangan sensor tegangan DC ialah untuk mendapatkan nilai tegangan yang sesuai dengan pengukuran menggunakan multimeter. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.22. yang merupakan perancangan dari sensor tegangan DC.



Gambar 4.22. Perancangan Sensor Tegangan DC

4.6.3.2. Pembuatan Sensor Tegangan DC

Proses pembuatan sensor tegangan DC dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul sensor tegangan DC yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi pembuatan sensor tegangan DC dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yaitu di ruangan UKM Ostatik. Hasil pembuatan sensor tegangan DC dapat dilihat pada Gambar 4.23.

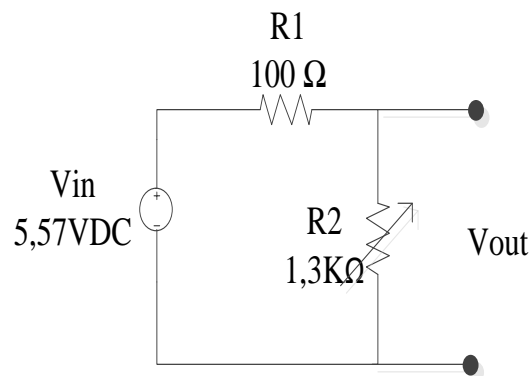


Gambar 4.23. Pembuatan Sensor Tegangan DC

4.6.3.3. Pengujian Sensor Tegangan DC

Tujuan dilakukan pengujian sensor tegangan DC adalah untuk memonitoring hasil tegangan. Sehingga hasil tegangan tersebut akan diolah oleh mikrokontroler dan hasilnya akan ditampilkan melalui LCD. Serta bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian dari modul sensor tegangan DC terhadap alat ukur multimeter dan melihat apakah sensor tegangan DC apakah berfungsi dengan baik atau tidak.

Pengujian sensor tegangan DC dilakukan dengan menghubungkan VCC ke positif *power supply* dengan tegangan *input* 5 Volt, GND dihubungkan ke negatif *power supply*, S dihubungkan ke *input analog* dari Arduino UNO pin A1, “+” dihubungkan ke 5 V Arduino UNO dan “-” dihubungkan ke GND dari Arduino UNO. Rangkaian pengujian dari sensor tegangan DC dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24. Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan DC

Pada Tabel 4.3. merupakan hasil pengujian perbandingan nilai pembacaan sensor tegangan DC terhadap alat ukur multimeter. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.25.

Adapun program Arduino IDE untuk pengujian sensor tegangan DC sebagai berikut:

```

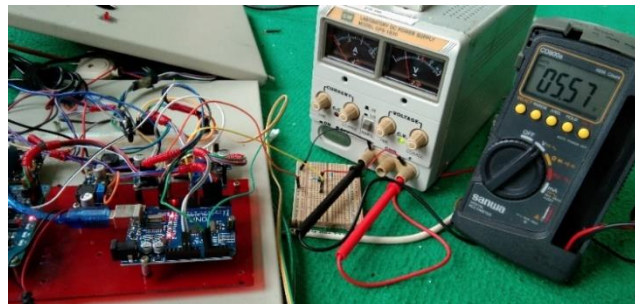
void loop()
{
    Volt1=analogRead(A0);
    Volt=((Volt1*0.00489)*5);
    Serial.print(Volt);
    Serial.println("Volt");
    delay(1000);
}

```

Menampilkan nilai tegangan pada serial monitor dan pembacaan nilai tegangan pada pin A0

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Sensor Tegangan DC

No	R1 (Ω)	R2 (Ω)	Vin (Volt)	Vout (Volt)			Presentase <i>Error</i> (%)
				Pengukuran		Perhitungan	
				Sensor	Multimeter		
1	100	1300	5,57	5,56	5,57	5,57 volt	0,17
2	100	10000	5,57	5,81	5,57	5,51 volt	5,44
3	100	5500	5,57	5,62	5,57	5,47 volt	2,74
Rata-rata <i>Error</i> (%)							2,78



Gambar 4.25. Pengujian 1 Sensor Tegangan DC

Adapun rumus dari pengujian sensor tegangan DC adalah sebagai berikut:

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

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Perhitungan} - \text{Pengukuran}}{\text{Perhitungan}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan V_{out} dan presentase *error* dari sensor tegangan DC adalah sebagai berikut:

- $V_{out} = \frac{1300\Omega}{100\Omega+1200\Omega} \times 5,57 \text{ volt} = 5,57 \text{ volt}$

$$\text{Presentase } error = \left| \frac{5,57 - 5,56}{5,57} \right| \times 100\% = 0,17\%$$

- $V_{out} = \frac{10000\Omega}{100\Omega+10000\Omega} \times 5,57 \text{ volt} = 5,51 \text{ volt}$

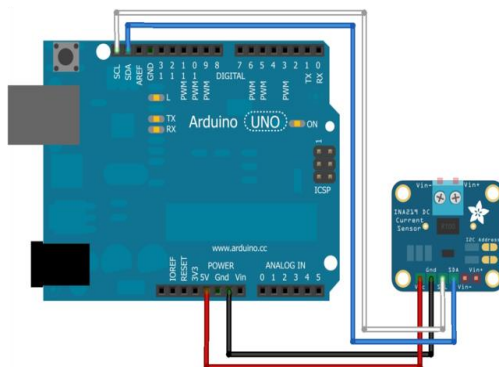
$$\text{Presentase } error = \left| \frac{5,51 - 5,81}{5,51} \right| \times 100\% = 5,44\%$$

Adanya presentase *error* diakibatkan karena resolusi pembacaan antara sensor tegangan DC dengan alat ukur yang berbeda, dan dapat juga disebabkan ketidakstabilan tegangan saat proses pengukuran sehingga terdapat selisih pembacaan yang masih dalam tahap wajar.

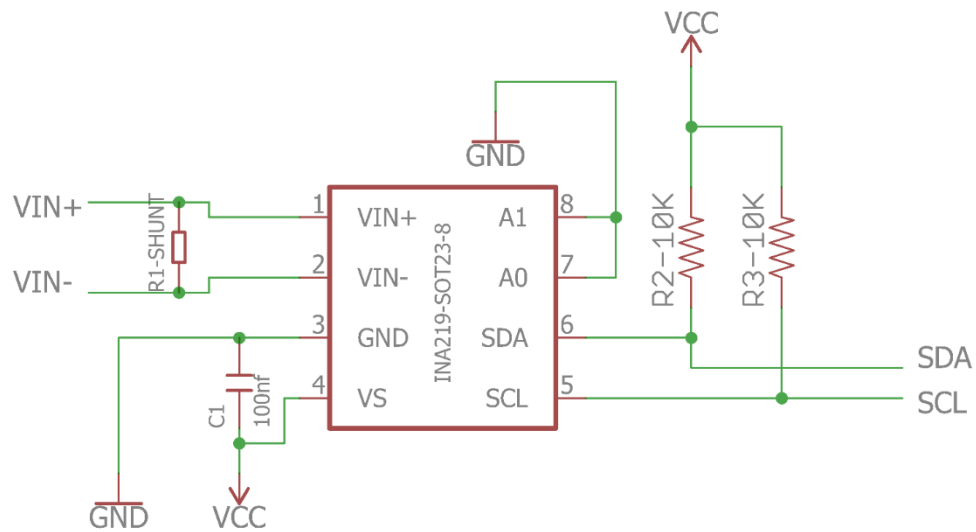
4.6.4. Sensor Arus (INA219)

4.6.4.1. Perancangan Sensor Arus

Perancangan sensor arus bertujuan untuk melakukan pembacaan nilai arus yang dihasilkan dari alat yang akan dibuat serta untuk mengetahui keakurasian dan cara kerja dari sensor arus tipe INA219. Perancangan dari sensor arus dapat dilihat pada Gambar 4.26.



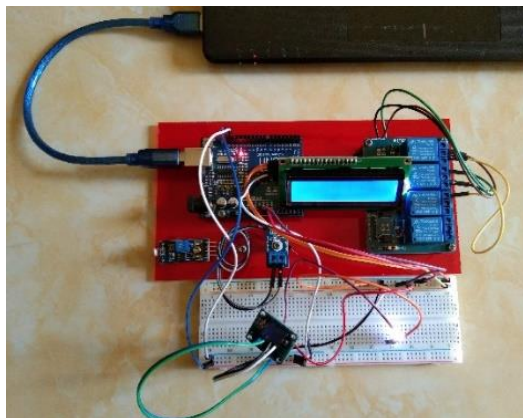
Gambar 4.26. Perancangan Sensor Arus (INA219)



Gambar 4.27. Skematik Sensor Arus (INA219)

4.6.4.2. Pembuatan Sensor Arus

Proses pembuatan sensor arus dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul sensor arus yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi pembuatan sensor arus dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yaitu di ruangan UKM Ostatik. Hasil pembuatan sensor arus dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28. Pembuatan Sensor Arus

4.6.4.3. Pengujian Sensor Arus

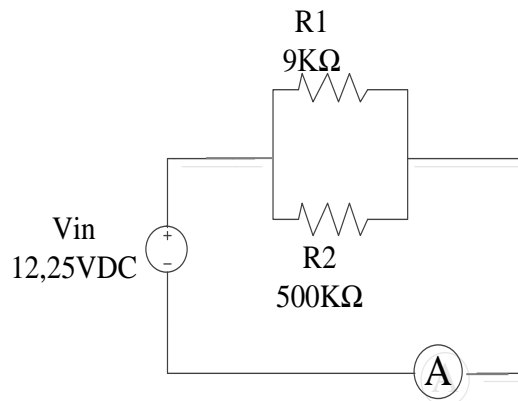
Tujuan dilakukan pengujian sensor arus ialah untuk mengetahui nilai arus dihasilkan. Hasil arus akan diolah oleh mikrokontroler dan hasilnya akan ditampilkan di LCD.

Pengujian sensor arus dilakukan dengan menghubungkan *port* SCL dan SDA dari modul Arduino UNO ke SCL dan SDA modul sensor arus (INA219). 5V Arduino UNO dihubungkan ke VCC sensor arus (INA219). GND dari Arduino UNO dihubungkan ke GND di modul sensor arus (INA219). Blok pengujian sesor arus dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29. Blok Pengujian Sensor Arus (INA219)

Rangkaian pengujian dari sensor arus (INA219) dapat dilihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30. Rangkaian Pengujian Sensor Arus (INA219)

Pada Tabel 4.4. merupakan hasil pengujian perbandingan nilai pembacaan sensor arus (INA219) terhadap alat ukur multimeter. Hasil pengujian sensor arus dapat dilihat pada Gambar 4.31.

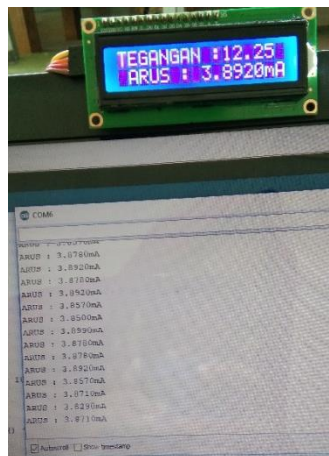
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Sensor Arus (INA219)

No	R1 (Ω)	R2 (Ω)	Vin (Volt)	Iout (mA)			Presentase <i>Error (%)</i>
				Pengukuran		Perhitungan	
				Sensor	Multimeter		
1	9000	5000	12,25	3,89	3,91	3,81	2,09
2	1000	5000	12,25	14,69	14,66	14,7	0,06
3	5000	5000	12,25	5,01	5,03	4,9	2,24
Rata-rata <i>Error (%)</i>							4,39

Program Arduino IDE dari sensor arus (INA219) adalah sebagai berikut:

```
void loop() {
  Serial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  delay(10000);
}
Serial.print("shunt current: ");
Serial.print(monitor.shuntCurrent() * 1000, 4);
Serial.println(" mA");
}
```

} Pembacaan
nilai arus
INA219



Gambar 4.31. Hasil Pengujian Sensor Arus (INA219)

Adapun rumus dari pengujian sensor arus adalah sebagai berikut:

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

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Perhitungan} - \text{Pengukuran}}{\text{Perhitungan}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan I_{out} dan presentase *error* dari sensor arus (INA219) adalah sebagai berikut:

- $I_{out} = \frac{12,25}{9000\Omega} + \frac{12,25}{5000\Omega} = 3,81 \text{ mA}$

$$\text{Presentase error} = \left| \frac{3,81 - 3,89}{3,81} \right| \times 100\% = 2,09\%$$

- $I_{out} = \frac{12,25}{1000\Omega} + \frac{12,25}{5000\Omega} = 14,7 \text{ mA}$

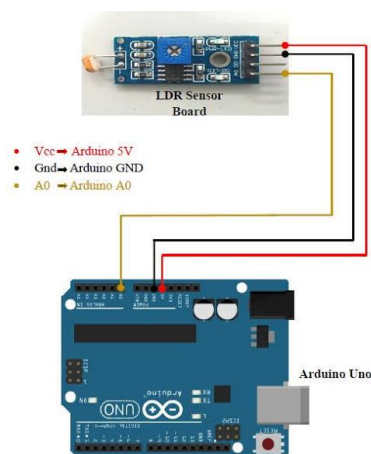
$$\text{Presentase error} = \left| \frac{14,7 - 14,69}{14,7} \right| \times 100\% = 0,06\%$$

Berdasarkan hasil pengujian sensor arus pada Tabel 4.4. dapat diketahui bahwa modul sensor arus yang dipakai dalam kondisi yang baik sehingga dapat digunakan untuk pembuatan proyek akhir.

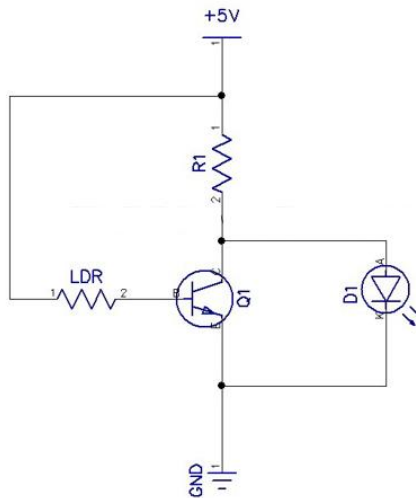
4.6.5. Sensor LDR

4.6.5.1. Perancangan Sensor LDR

Perancangan sensor LDR bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari LDR itu sendiri. Untuk mengetahui lebih jelas perancangan dari sensor LDR dapat dilihat pada Gambar 4.30.



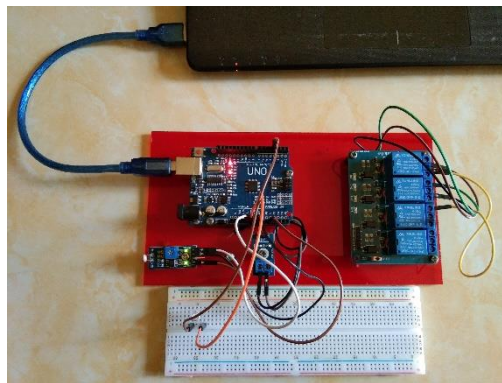
Gambar 4.32. Perancangan Sensor LDR



Gambar 4.33. Skematik Sensor LDR

4.6.5.2. Pembuatan Sensor LDR

Proses pembuatan sensor arus dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul sensor arus yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi pembuatan sensor arus dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yaitu di ruangan UKM Ostatik. Hasil pembuatan dari sensor LDR dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34. Pembuatan Sensor LDR

4.6.5.3. Pengujian Sensor LDR

Pengujian sensor LDR bertujuan untuk melakukan pendeteksian terhadap cahaya yang ditangkap oleh sensor LDR dengan cara memberikan

cahaya secara langsung ke komponen LDR. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan pin VCC di modul sensor LDR ke *port 5V* Arduino UNO. Sedangkan pin GND pada modul sensor LDR dihubungkan ke *port GND* di Arduino UNO. Selanjutnya pin A0 di modul sensor LDR dihubungkan ke *port A0* di modul Arduino UNO. Blok pengujian sensor LDR dapat dilihat pada Gambar 4.35.

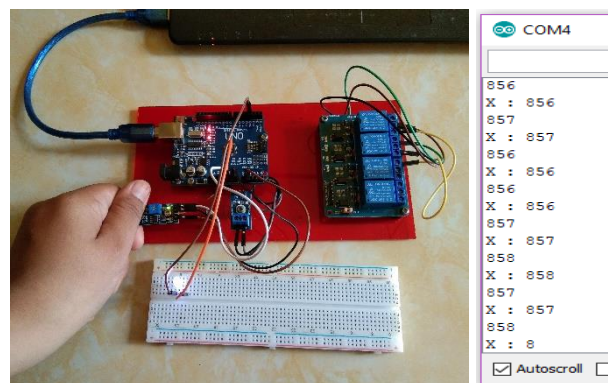


Gambar 4.35. Blok Pengujian Sensor LDR

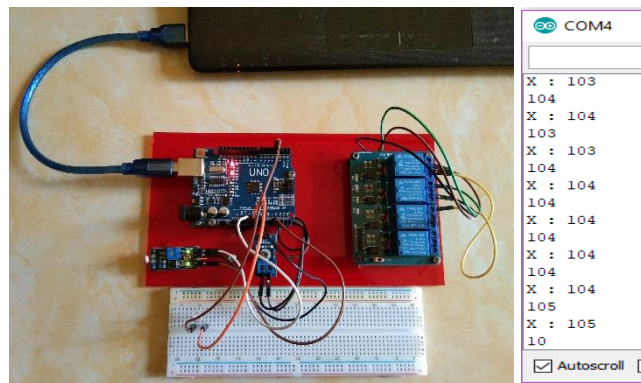
Untuk hasil pengujian sensor LDR dapat dilihat pada Tabel 4.5. Dan pengujian sensor LDR dapat dilihat pada Gambar 4.36. dan Gambar 4.37.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Sensor LDR

No	Waktu	Nilai Resistansi (Ohm)	Kondisi Lampu	
			Nyala	Mati
1	Pagi (06.00) – (10.00)	145 - 55		✓
2	Siang (10.00) – (15.00)	55 - 178		✓
3	Sore (15.00) – (18.00)	178 - 210		✓
4	Malam (18.00) – (06.00)	210 - 1023	✓	



Gambar 4.36. Pengujian dengan Kondisi Malam Hari



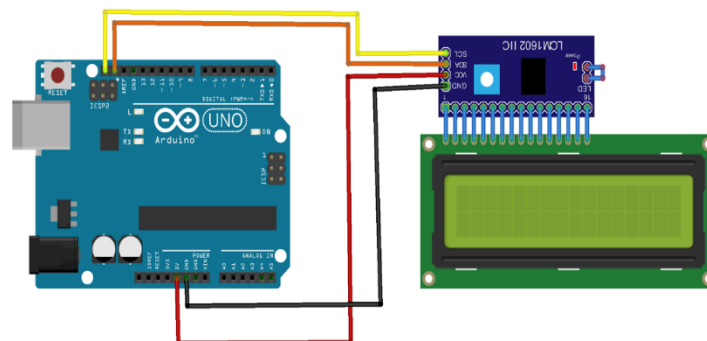
Gambar 4.37. Pengujian dengan Kondisi Siang Hari

Berdasarkan hasil pengujian sensor LDR pada Tabel 4.5. dapat diketahui bahwa modul LDR yang dipakai dalam kondisi yang baik sehingga dapat digunakan untuk pembuatan proyek akhir.

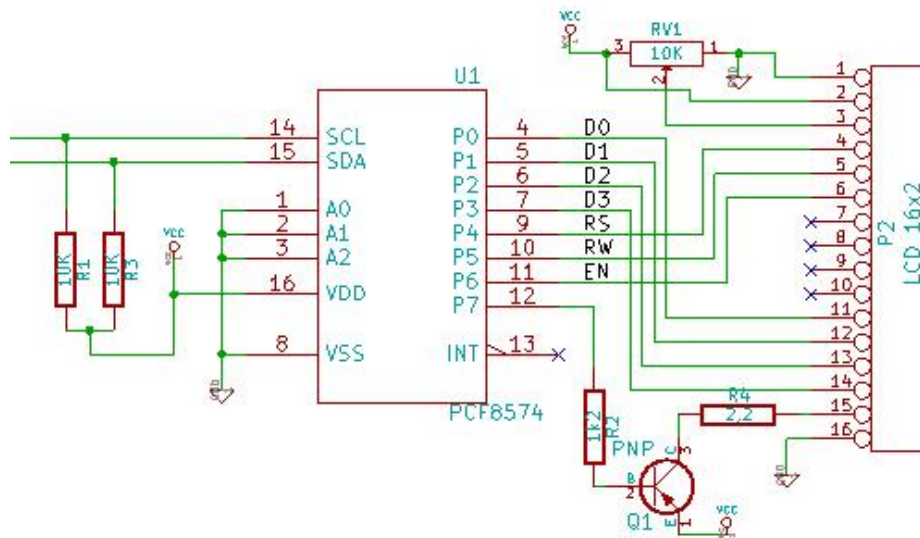
4.6.6. LCD I2C

4.6.6.1. Perancangan LCD I2C

Tujuan dilakukan perancangan pada LCD I2C adalah untuk mempermudah dalam melakukan proses *assembling* komponen. Untuk perancangan LCD I2C dapat dilihat pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38. Perancangan LCD I2C



Gambar 4.39. Skematik LCD I2C

4.6.6.2. Pembuatan LCD I2C

Proses pembuatan LDC I2C dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul LCD I2C yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi pembuatan sensor arus dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yaitu di ruangan UKM Ostatik. Hasil pembuatan LCD I2C dapat dilihat pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40. Pembuatan LCD I2C

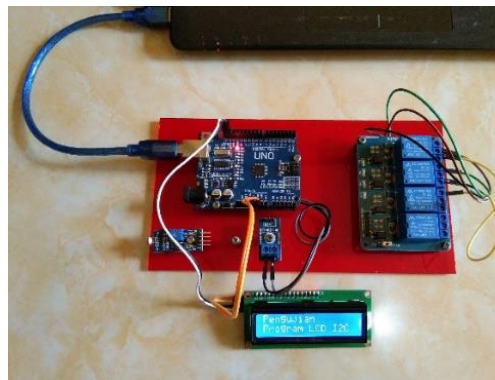
4.6.6.3. Pengujian LCD I2C

Pengujian LCD I2C bertujuan untuk mengetahui hasil yang ditampilkan pada layar LCD apakah sesuai dengan pemrograman atau tidak. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan pin VCC pada LCD I2C ke pin 5V Arduino UNO. Pin GND pada LCD I2C ke pin GND Arduino UNO. Selanjutnya pin SCL pada LCD I2C ke pin SCL Arduino UNO. Kemudian pin SDA pada LCD I2C ke pin SDA Arduino UNO. Blok pengujian LCD I2C dapat dilihat pada Gambar 4.41.



Gambar 4.41. Blok Pengujian LCD I2C

Hasil pengujian LCD I2C dapat dilihat pada Gambar 4.42.



Gambar 4.42. Pengujian LCD I2C

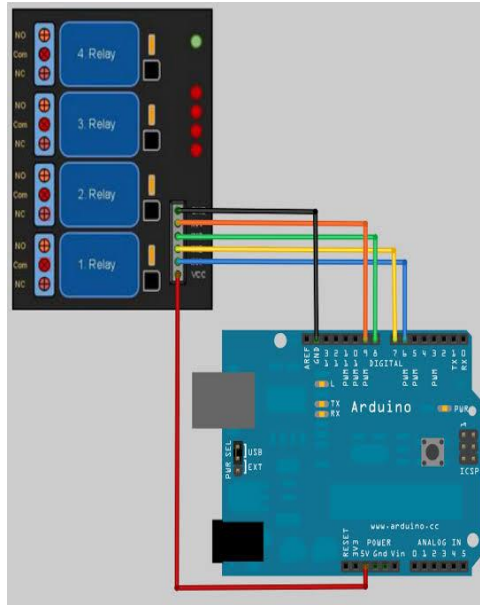
Berdasarkan hasil pengujian LCD I2C pada Gambar 4.42. dapat dikatakan bahwa LCD I2C dalam kondisi yang baik sehingga dapat digunakan untuk menampilkan nilai *output* tegangan dan *output* arus pada layar LCD sesuai dengan tuntutan dalam proyek akhir.

4.6.7. Relay 4 Channel

4.6.7.1. Perancangan Relay 4 Channel

Perancangan modul *relay 4 channel* ini bertujuan untuk mengetahui cara kerja dari *relay* tersebut, sehingga saat melakukan proses *assembling* komponen

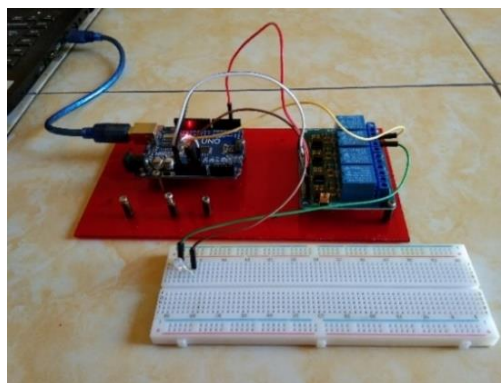
dapat dilakukan dengan mudah. Untuk perancangan *relay 4 channel* dapat dilihat pada Gambar 4.43. Skematik dari *relay 4 channel* dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 4.43. Perancangan *Relay 4 Channel*

4.6.7.2. Pembuatan *Relay 4 Channel*

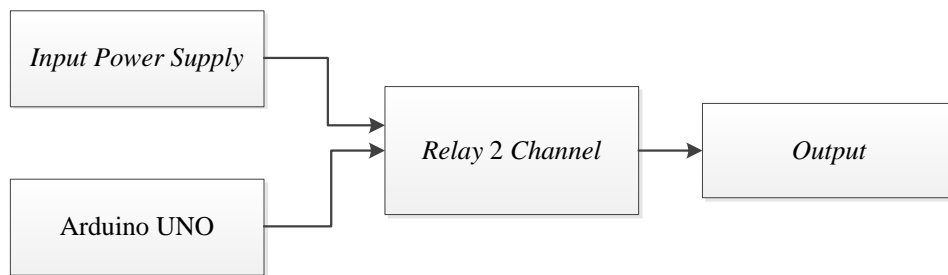
Proses pembuatan *relay 4 channel* dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul *relay 4 channel* yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi pembuatan sensor arus dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yaitu di ruangan UKM Ostatik. Hasil pembuatan *relay 4 channel* dapat lihat pada Gambar 4.44.



Gambar 4.44. Pembuatan *Relay 4 Channel*

4.6.7.3. Pengujian *Relay 4 Channel*

Pengujian *relay 4 channel* bertujuan untuk mengetahui kondisi *relay* apakah dalam kondisi baik atau rusak. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan pin VCC pada modul *relay* ke 5V Arduino UNO. Pin IN1 pada modul *relay* dihubungkan ke Pin 6 Arduino UNO. Pin IN2 pada modul *relay* dihubungkan ke Pin 7 Arduino UNO. Pin IN3 dihubungkan ke Pin 8 Arduino UNO. Sedangkan Pin IN4 dihubungkan ke Pin 9 pada Arduino UNO. Pin GND modul *relay* ke GND di Arduino UNO. Blok pengujian *relay* diperlihatkan pada Gambar 4.45.



Gambar 4.45. Blok Pengujian *Relay 4 Channel*

Program Arduino IDE untuk pengujian *relay 4 channel* sebagai berikut:

```

void loop() {
  digitalWrite(relay, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(relay, LOW);
  delay(2000);
  Serial.print(relay);
}
  
```

} Input sinyal *relay*
dari Arduino ke
modul *relay*

Tabel 4.6. Hasil Pengujian *Relay*

No	Input	Channel Relay	Hasil Pengujian	Keterangan
1	LOW	1	Phase PLN ON	Sumber PLN
2	LOW	2	Netral PLN ON	
3	LOW	3	Lampu ON	Lampu menyala
4	LOW	4	Charger aki ON	Pengisian aki
5	LOW	6	Lampu indikator PLTA ON	Lampu menyala
6	HIGH	1	Phase PLTA ON	Sumber PLTA

7	HIGH	2	<i>Netral</i> PLTA ON	
8	HIGH	5	Lampu indikator PLN ON	Lampu menyala

Berdasarkan hasil pengujian *relay* pada Tabel 4.6. dapat disimpulkan bahwa modul *relay* yang digunakan dalam kondisi yang baik dan sesuai dengan kebutuhan yang direncanakan, sehingga dapat difungsikan sebagai ATS (*Automatic Transfer Switch*) dalam pembuatan proyek akhir.

4.7. *Assembling Keseluruhan Hardware Mekanik dan Hardware Elektrik*

Proses *assembling* secara keseluruhan ini merupakan proses perakitan antara *hardware* mekanik dan *hardware* elektrik yang telah selesai dibuat dan telah selesai diuji masing-masing *hardware*.



Gambar 4.46. Hasil *Assembling Hardware Mekanik dan Hardware Elektrik*

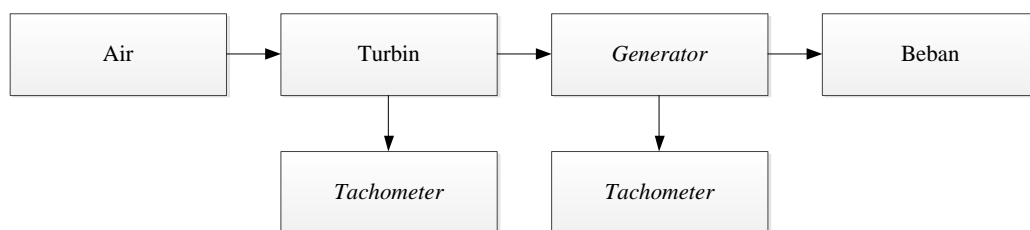
4.8. Pengujian Sistem *Hybrid* PLTA dan PLN Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan berfungsi untuk menguji apakah alat yang sudah dibuat sesuai dengan fungsinya atau tidak. Pengujian dilakukan mulai dari pengujian *hardware* bagian mekanik dan *hardware* bagian elektrik, serta pengujian program pada sistem kontrol *hybrid* PLTA dan PLN.

4.8.1. Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pengujian *hardware* mekanik PLTA bertujuan untuk mengetahui keluaran *generator* dengan beban resistansi yang bervariasi. Adapun tegangan yang dihasilkan sebesar 12,70 volt dan arus sebesar 0,32 Ampere. Sehingga daya yang dihasilkan sebesar 4,06 watt. Sedangkan untuk pengujian mekanik yang diukur adalah kecepatan RPM dari *generator* dan turbin. Pengujiannya dilakukan dengan mengamati perputaran *generator* dan mengukur putaran dari turbin menggunakan *tachometer*. Hasil dari pengukuran ditampilkan pada Tabel 4.7.

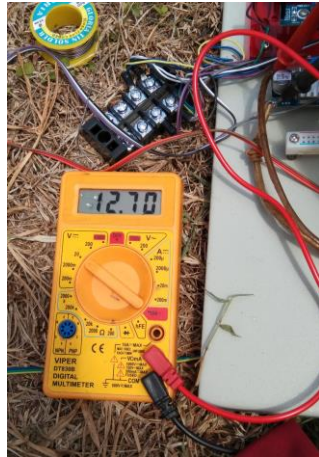
Pengujian *hardware* mekanik PLTA dilakukan dengan melakukan pengujian melalui air yang disimulasikan dengan *jetpump* yang memiliki daya keluaran sebesar 375 watt. Air dari *jetpump* disemprotkan ke baling-baling turbin. Putaran baling-baling turbin akan menggerakkan *generator*. Pergerakan *generator* ini di *couple* dengan V-belt. Blok pengujian *hardware* mekanik PLTA dapat dilihat pada Gambar 4.47.



Gambar 4.47. Blok Pengujian *Hardware* Mekanik PLTA

Tabel 4.7. Hasil Pengujian PLTA

No	RPM		Tegangan (Volt)	Arus (mA)
	Poros Turbin	Poros <i>Generator</i>		
1	160	410	12,70	320



(a)



(b)

Gambar 4.48. (a) Pengukuran Tegangan PLTA (b) Pengukuran Arus PLTA



(a)



(b)

Gambar 4.49. (a) Pengukuran RPM *Generator* (b) Pengukuran RPM Turbin

4.8.2. Pengujian Sistem *Hybrid PLTA dan PLN dengan ATS (Automatic Transfer Switch)*

Pengujian *ATS (Automatic Transfer Switch)* dilakukan menggunakan *power supply* dengan spesifikasi 12 volt 10A yang akan dikoneksikan dengan sensor tegangan DC dan sensor arus (INA219) sehingga indikator tegangan menjadi patokan untuk perpindahan *ATS* dari *PLTA* ke *PLN* ataupun sebaliknya. Ketika tegangan berkisar antara 12 volt sampai dengan 10,5 volt berada pada *supply PLTA*, sedangkan ketika tegangan di bawah 10,5 volt berada pada *supply PLN*. *Power supply* di *adjust* dari posisi 12 volt ke 10,5 volt dalam kondisi lampu

tetap menyala. Namun saat tegangan mencapai 10,4 volt yang artinya sudah berada dibawah 10,5 volt, maka ATS (*Automatic Transfer Switch*) secara otomatis langsung berpindah dari *supply* PLTA ke *supply* PLN. Perpindahan ini membutuhkan waktu ± 1 detik, dengan kondisi lampu yang tetap menyala. Begitu juga sebaliknya. Ketika PLN yang digunakan sebagai sumber energi listrik, tegangan *power supply* akan dinaikkan kembali ke 12 volt, maka ATS (*Automatic Transfer Switch*) secara otomatis langsung berpindah ke *supply* PLTA. Dengan kondisi lampu yang tetap menyala.



Gambar 4.50. Relay Digunakan sebagai ATS

Sistem *hybrid* akan menggunakan ATS (*Automatic Transfer Switch*) dengan menggunakan modul *relay* yang dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan indikator yang diberikan oleh sensor tegangan DC dan sensor arus pada aki yang berfungsi untuk memindahkan dari sumber energi utama (PLTA) ke sumber energi cadangan (PLN) ataupun sebaliknya.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Sistem *Hybrid* PLTA dan PLN dengan ATS

No	Tegangan Aki (Volt)	Arus Aki (mA)	<i>Supply</i>	Kondisi Lampu
1	12	910	PLTA	Menyala
2	11,5	950	PLTA	Menyala
3	11	950	PLTA	Menyala
4	10,5	980	PLN	Menyala
5	10	1020	PLN	Menyala

Hasil pengujian Sistem *Hybrid* PLTA dan PLN dengan (ATS) *Automatic Transfer Switch* dapat dilihat pada Gambar 4.51 dan 4.52.



Gambar 4.51. Saat Tegangan Aki 12 Volt



Gambar 4.52. Saat Tegangan Aki 10 Volt

4.8.3. Pengujian Aki

Pada pengujian aki, yang diuji adalah lamanya pemakaian aki untuk men-*supply* beban yang digunakan. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

4.8.3.1. Pengisian Aki

Kapasitas aki dinyatakan pada persamaan berikut ini:

$$Ah = I \times t \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana:

- Ah = Ampere hours
- I = Arus (amper)
- t = Waktu per jam (*hour*)

Tabel 4.9. Perhitungan Daya Pemakaian

No	Posisi Lampu	Daya	Waktu Pemakaian	Total Beban
1	Luar ruangan	3 watt	12 jam	36 Watt <i>hour</i>
Total Keseluruhan Beban				36 Watt <i>hour</i>

Perhitungan pemakaian beban:

Rumus dasar untuk menghitung daya:

$$P = V \times I$$

$$I = P / V$$

$$V = P / I$$

Dimana:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Kuat arus (Ampere)

- Beban Keseluruhan = 36 Wh.

- Aki yang digunakan 12 V/7,2 Ah.

Maka didapat:

$$I = \frac{36 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 3 \text{ Ah}$$

$$\text{Waktu pemakaian} = \frac{7,2 \text{ Ah}}{3 \text{ A}} = 2,4 \text{ jam}$$

Kesimpulan:

Lamanya pemakaian aki ditentukan oleh besarnya kapasitas arus aki dan besarnya daya beban yang digunakan.

Pengisian aki:

Kapasitas aki = 7,2 Ah

Arus pengisian = 0,32 A

$$\text{Lama pengisian aki} = \frac{7,2 \text{ Ah}}{0,32 \text{ A}} = 22,5 \text{ jam}$$

Pemakaian Daya Menggunakan PLN

- Beban seluruh = 3 watt
- *Supply* PLN = 12 jam

- Beban keseluruhan = 36 Wh
- Harga PLN = $\frac{36}{1000} \times \text{Rp } 1.467,28 = \text{Rp } 52,822$ per hari
- Biaya selama 30 hari = $\text{Rp } 52,822/\text{hari} \times 30 = \text{Rp } 1.584,66$ per bulan

Pemakaian Daya Menggunakan Aki

- Beban seluruh = 3 watt
- Lama penggunaan aki = 2,4 jam
- Beban keseluruhan = 7,2 Wh
- Harga aki = $\frac{7,2}{1000} \times \text{Rp } 1.467,28 = \text{Rp } 10,564$ per hari
- Biaya selama 30 hari = $\text{Rp } 10,564/\text{hari} \times 30 = \text{Rp } 316,92$ per bulan

Efisiensi Pemakaian PLTA

- Golongan tarif listrik rumah non subsidi R1 – 900 VA = $\text{Rp } 1.467,28/\text{kWh}$ [19]
- Efisiensi pemakaian = $\frac{7,2}{36} \times 100\% = 20\%$

Dengan menggunakan sistem *hybrid*, maka tarif listrik yang harus dikeluarkan selama satu bulan sebesar:

$$\text{Rp } 1.584,66 - \text{Rp } 316,92 = \text{Rp } 1.267,74.$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan dari alat yang telah selesai dibuat serta fungsi alat yang berjudul “PROTOTIPE HYBRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DAN PLN UNTUK SUPPLY LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM” dapat dapat disimpulkan bahwa:

- Dengan menggunakan sistem *hybrid* ini, maka efisiensi biaya dari pemakaian energi listrik adalah sebesar 20% dengan penghematan sebesar Rp 1.267,74 dalam waktu satu bulan untuk beban yang dipakai sebesar 3 watt.
- Pengujian sistem *hybrid* PLTA dan PLN untuk penerangan lampu jalan sesuai dengan yang kebutuhan yang diinginkan. Pembangkit PLTA akan bekerja apabila tegangan baterai $\geq 11,5$ volt dan PLN akan bekerja jika tegangan $\leq 10,5$ volt.
- Pengujian kontrol penerangan telah dilakukan dan sensor LDR dapat bekerja sesuai dengan ketentuan. Dapat dilihat pada Tabel 4.5.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan apabila alat ini akan dikembangkan lebih lanjut, yaitu:

1. Dilakukan penambahan jumlah baling-baling pada turbin air, sehingga putaran RPM turbin dapat lebih kencang dan dapat menghasilkan tegangan lebih besar.
2. Apabila menginginkan skala yang lebih besar, yang perlu dilakukan adalah memperbesar kapasitas aki yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. T. Harjanto, "Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional," no. 1, p. 43, 2008.
- [2] REN21, Renewables 2011 Global Status Report, Paris: REN21 Secretariat, 2011.
- [3] A. Muis, "Turbin Air Pada PLTA Larona," *JIMT*, vol. 7, no. 1, pp. 62-63, 2010.
- [4] M. S. Simamora, "Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton," *Jurnal Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton*, vol. 1, no. 1, pp. 2-3.
- [5] "Turbinist.ru," 1 Oktober 2007. [Online]. Available: <http://www.turbinist.ru/49568-kovshovye-turbiny.html>. [Accessed 5 Maret 2019].
- [6] I. Setiono, "Akumulator, Pemakaian dan Perawatannya," *Metana*, vol. 11, no. 1, pp. 32-33, 2015.
- [7] A. P. Adityawan and dkk, "Sistem Pengisian Batteray Lead Acid Secara Adaptive," Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- [8] M. Latif, R. Nazir and H. Reza, "Analisa Proses Charging Akumulator Pada Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Di Pantai Purus Padang," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, p. 4, 2013.
- [9] Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, Teknik Dasar Rectifier dan Inverter, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2003.
- [10] Sularso, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [11] R. Khurmi and J.K.Gupta, A Textbook of Machine Desain, USA: S. Chand Publishing, 2005.

- [12] L. W. Cahyadi, T. Andromeda and M. Facta, "Kinerja Konverter Arus Searah Tipe Buck Converter Dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis TL494," *Transient*, vol. 6, no. 1, p. 2, 2017.
- [13] S. Sb, "Sandi Elektronik," Sandi Elektronik, 14 Januari 2016. [Online]. Available: <https://www.sandielektronik.com/2016/01/buck-converter.html>. [Accessed 12 Juli 2019].
- [14] A. D. B. Sadewo, E. R. Widasari and A. Muttaqin, "Perancangan Pengendali Rumah Menggunakan Smartphone Android dengan Konektivitas Bluetooth," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 5, p. 419, 2017.
- [15] M. R. Fachri, I. D. Sara and Y. Away, "Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino Secara Real Time," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 11, no. 4, pp. 123-128, 2015.
- [16] M. G. A. Prakoso, Rancang Bangun Kontrol PID Pada Speed Observer Generator DC Berbasis Arduino UNO R3, Jawa Timur: Universitas Jember, 2016.
- [17] S. Supatmi, "Pengaruh Sensor LDR Terhadap Pengontrolan Lampu," *Jurnal Majalah Ilmiah UNIKOM*, vol. 8, no. 2, pp. 175-178, 2011.
- [18] E. Kurniawan, C. Suhery and D. Triyanto, "Sistem Penerangan Rumah Otomatis Dengan Sensor Cahaya Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Coding Sistem Komputer Universitas Tangjungpura*, vol. 1, no. 2, p. 2, 2013.
- [19] "Wikipedia," [Online]. Available: https://id.m.wikipedia.org/wiki/Tarif_dasar_listrik. [Accessed 6 Agustus 2019].

LAMPIRAN 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama : Sephia Dhini Ismaya
Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 15 September 1998
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Jl. Jendral Acmad Yani, Belinyu
Hp : 082281864735
Email : sephiadhini@gmail.com
Status : Mahasiswi



2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 3 Belinyu	2004 – 2010
SMP Negeri 1 Belinyu	2010 – 2013
SMK YPN Belinyu	2013 – 2016
D-III POLMAN NEGERI BABEL	2016 – 2019

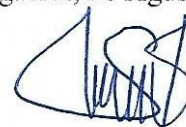
3. Pengalaman Kerja

PKL di PT. Yamaha Music Manufacturing Asia, Cikarang Barat

4. Pengetahuan Bahasa : Bahasa Indonesia

5. Hobi : Masak

Sungailiat, 28 Agustus 2019



Sephia Dhini Ismaya

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama : Taswada
Tempat, Tanggal Lahir : Pangkal Niur, 26 Oktober 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Desa Simpang Yul
Hp : 081274362764
Email : taswadawada@gmail.com
Status : Mahasiswa

2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 17 Tempilang	2004 – 2010
SMP Negeri Tempilang	2010 – 2013
SMA Negeri 1 Kelapa	2013 – 2016
D-III POLMAN NEGERI BABEL	2016 – 2019

3. Pengalaman Kerja

PT. Selamat Sempurna, Tengerang

4. Pengetahuan Bahasa : Bahasa Indonesia

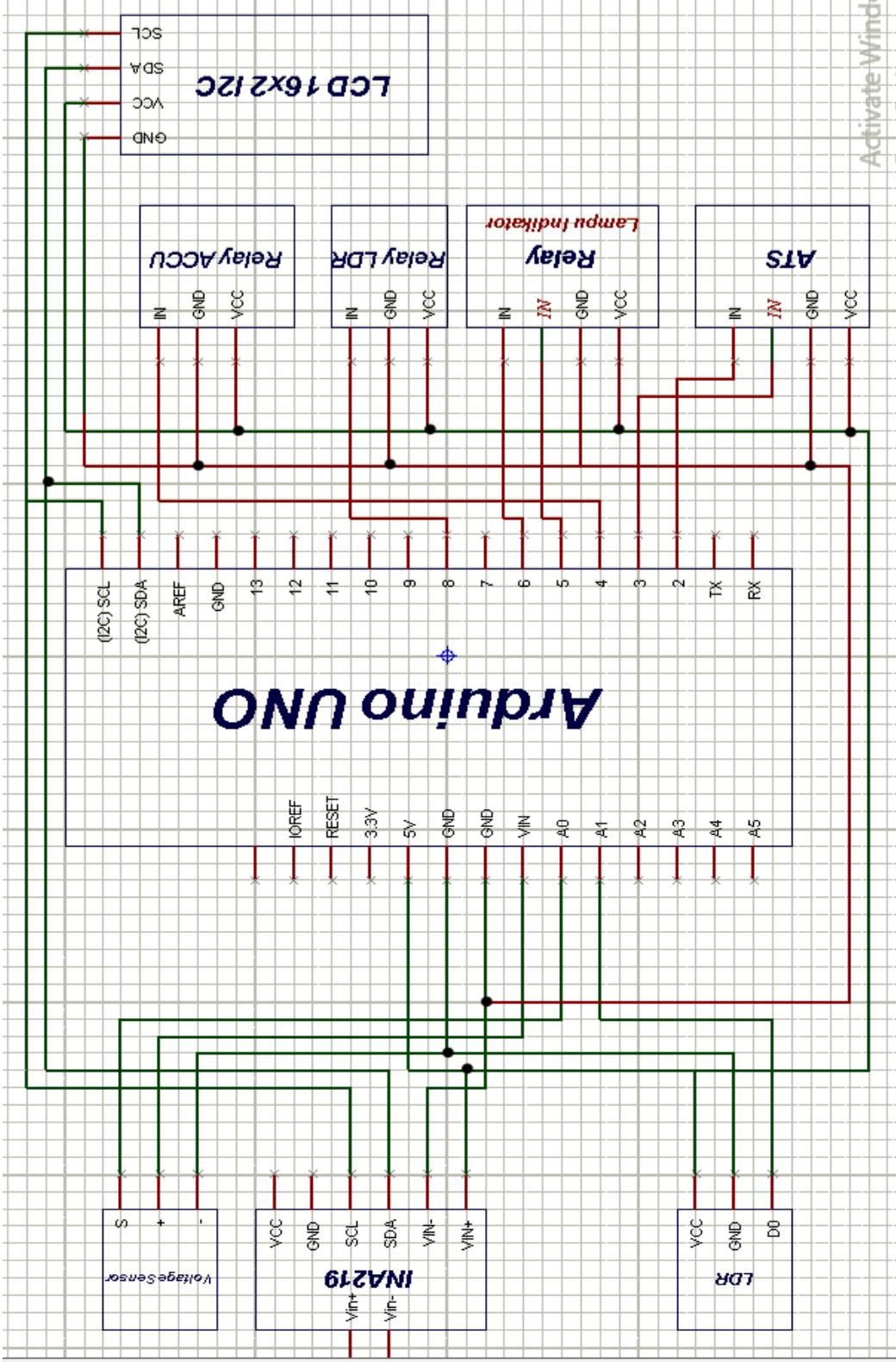
5. Hobi : Musik dan Berkebun

Sungailiat, 28 Agustuss 2019



Taswada

LAMPIRAN 2
RANGKAIAN ELEKTRIK



LAMPIRAN 3
PROGRAM KESELURUHAN

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <INA219.h>
INA219 monitor;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // set the LCD
address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
int analogInput = A0;
int sensorValue;
int pinRelay = 7 ;
int x;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
int value = 0;
const int relay = 3;
const int relay1 = 2;
const int relay2 = 4;
const int relay3 = 5;
const int relay4 = 6;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  monitor.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  pinMode(analogInput, INPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  pinMode(relay2, OUTPUT);
  pinMode(relay3, OUTPUT);
  pinMode(relay4, OUTPUT);
  pinMode(pinRelay, OUTPUT);
  digitalWrite(relay4, HIGH);
  digitalWrite(relay3, HIGH);
  digitalWrite(relay2, HIGH);
  digitalWrite(relay1, HIGH);
  digitalWrite(relay, HIGH);
}
void loop()
{
  value = analogRead(analogInput);
  sensorValue = analogRead(A1); // read analog
input pin 0
  vout = (value * 0.00410 )*5 ; // see text
  vin = vout;
  x = sensorValue;
  Serial.print("X :");
  Serial.println(x);
}

```



```

if(vin <=11)
{digitalWrite(relay2, LOW);
}
if(vin >=11.50)
{ digitalWrite(relay2, HIGH);
}
if( vin <= 10)
{
digitalWrite(relay, HIGH);
}
if( vin >= 11.50 )
{
digitalWrite(relay, LOW);
}
if( vin <= 10)
{
digitalWrite(relay1, HIGH);
}
if( vin >= 11.50)
{
digitalWrite(relay1, LOW);
}
if( vin <= 10)
{
digitalWrite(relay3, HIGH);
}
if( vin >= 11.50)
{
digitalWrite(relay3, LOW);
}
if( vin <= 10)
{
digitalWrite(relay4, HIGH);
}
if( vin >= 11.50)
{
digitalWrite(relay4, LOW);
}
if(x<600)
{
digitalWrite (pinRelay,HIGH);
}
if(x>600)
{
digitalWrite (pinRelay,LOW);
}
lcd.setCursor(0,0);

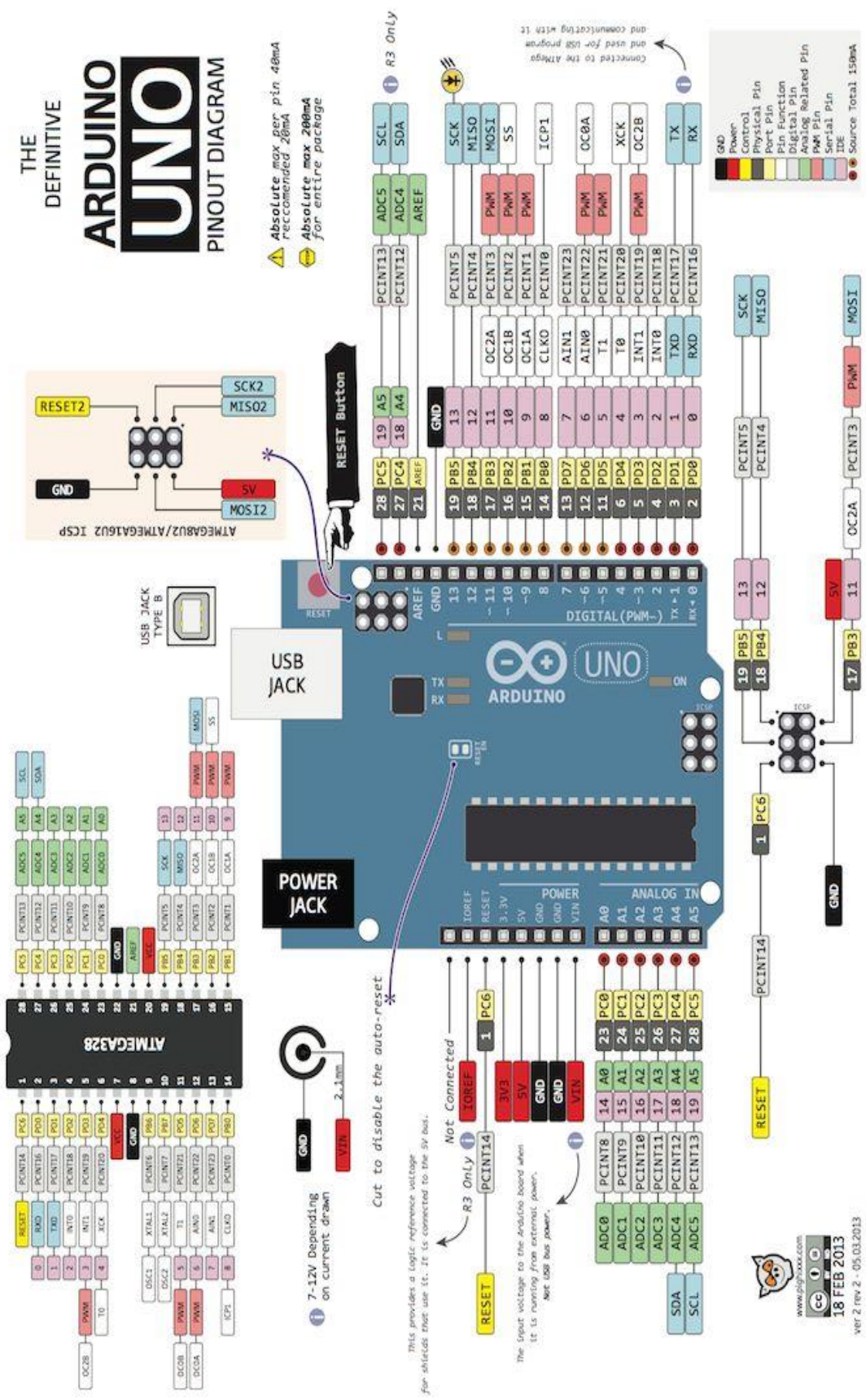
```

```
lcd.print("TEGANGAN :");  
lcd.print(vin);  
lcd.println (" V");  
lcd.print(vin,2);  
lcd.setCursor(1,1);  
lcd.print("ARUS : ");  
lcd.print(monitor.shuntCurrent() * 100, 4);  
lcd.println(" A ");  
}
```

LAMPIRAN 4
PINOUT ARDUINO UNO

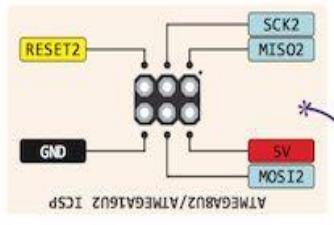
THE DEFINITIVE ARDUINO UNO PINOUT DIAGRAM

⚠ Absolute max per pin 48mA
 recommended 20mA
 ⚡ Absolute max 200mA
 for entire package



Legend:

- Black: GND
- Red: Power
- Yellow: Control
- Green: Physical Pin
- Blue: Port Pin
- Orange: Pin Function
- Pink: Digital Pin
- Light Blue: Analog Related Pin
- Light Green: PWM Pin
- Light Purple: I/O Pin
- Light Yellow: Serial Pin
- Light Blue: Source Total 150mA



1 7-12V depending on current drain

* Cut to disable the auto-reset

This provides a logic reference voltage. Few boards that use it. It is connected to the 5V bus.

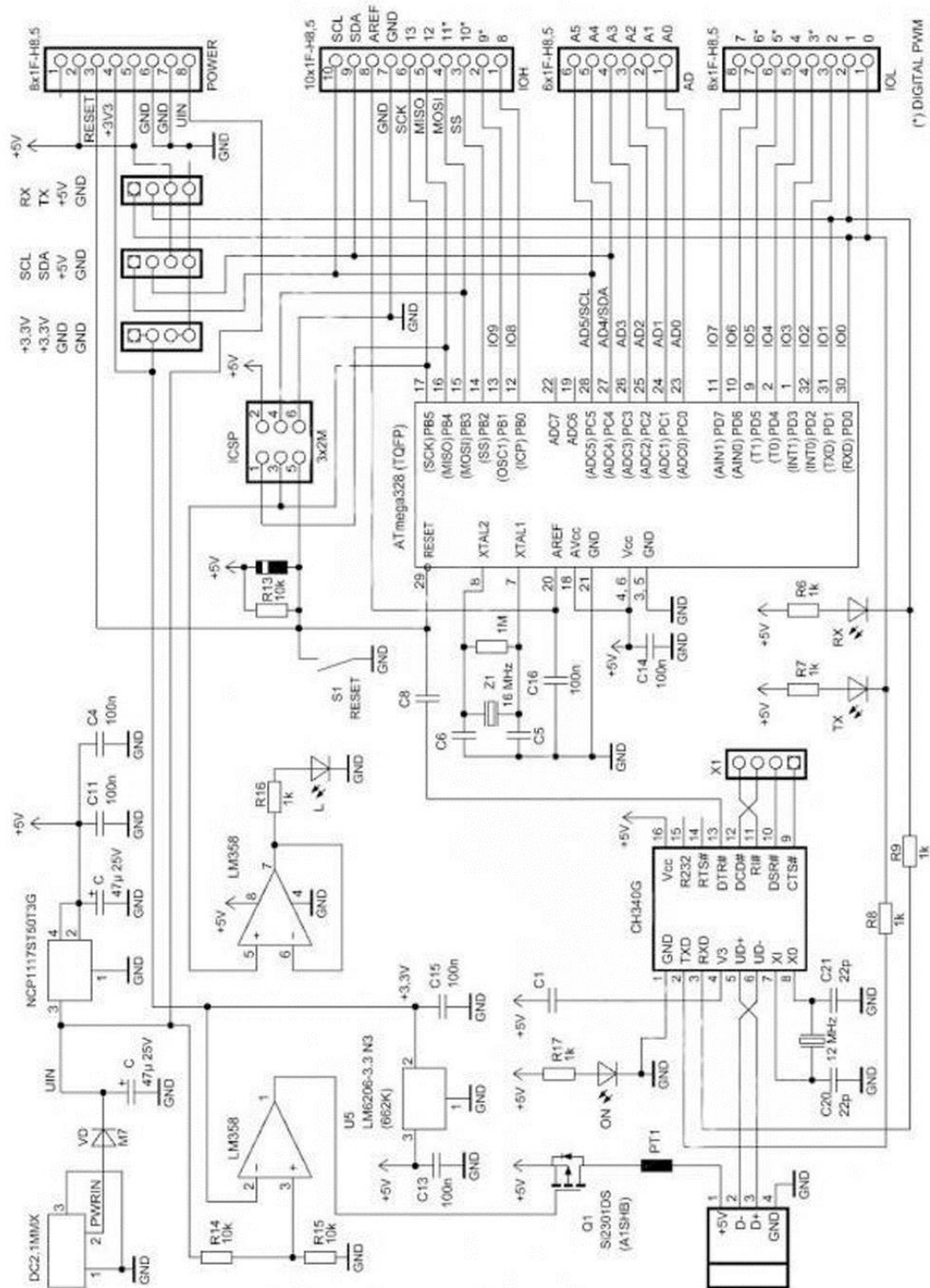


The input voltage to the Arduino board when it is running from external power. Not USB bus power.

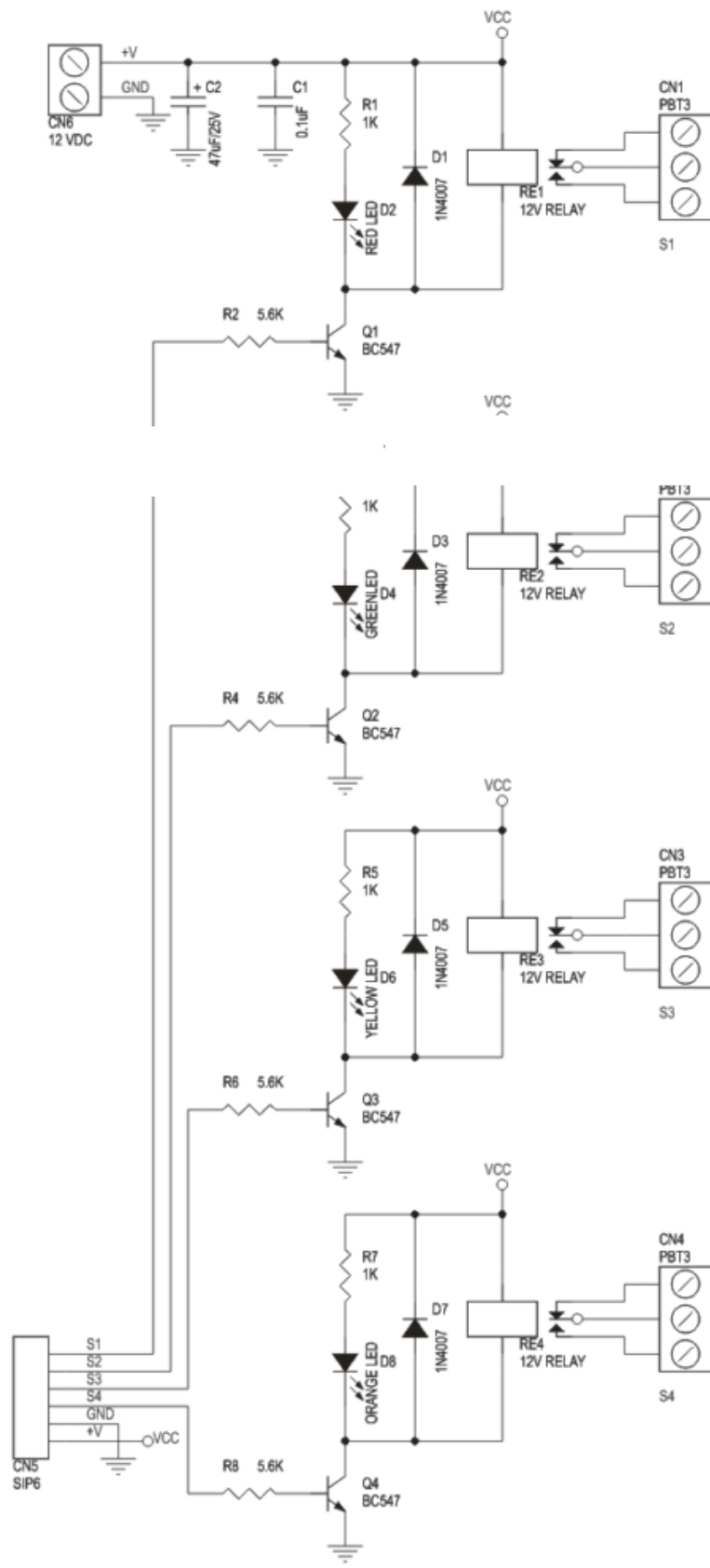


ver 2 rev 2 - 05.03.2013

LAMPIRAN 5
SKEMATIK KOMPONEN

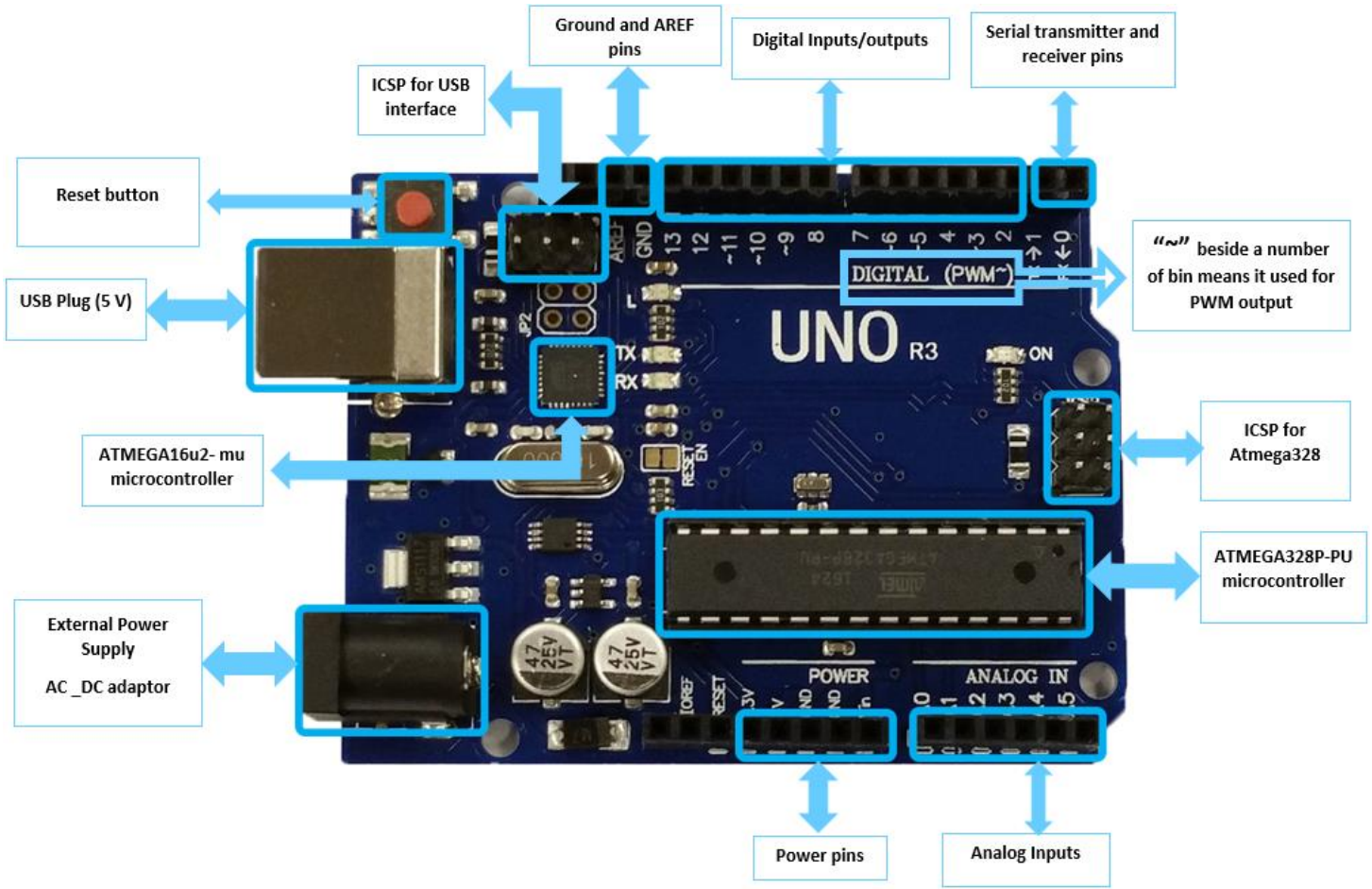


(*) DIGITAL PWM



LAMPIRAN 6
DATASHEET

Arduino Uno R3



INTRODUCTION

Arduino is used for building different types of electronic circuits easily using of both a physical programmable circuit board usually microcontroller and piece of code running on computer with USB connection between the computer and Arduino.

Programming language used in Arduino is just a simplified version of C++ that can easily replace thousands of wires with words.

ARDUINO UNO-R3 PHYSICAL COMPONENTS

ATMEGA328P-PU microcontroller

The most important element in Arduino Uno R3 is ATMEGA328P-PU is an 8-bit Microcontroller with flash memory reach to 32k bytes. It's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
 - Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - 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
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C
 - 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 I2 C 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

• **Temperature Range:**

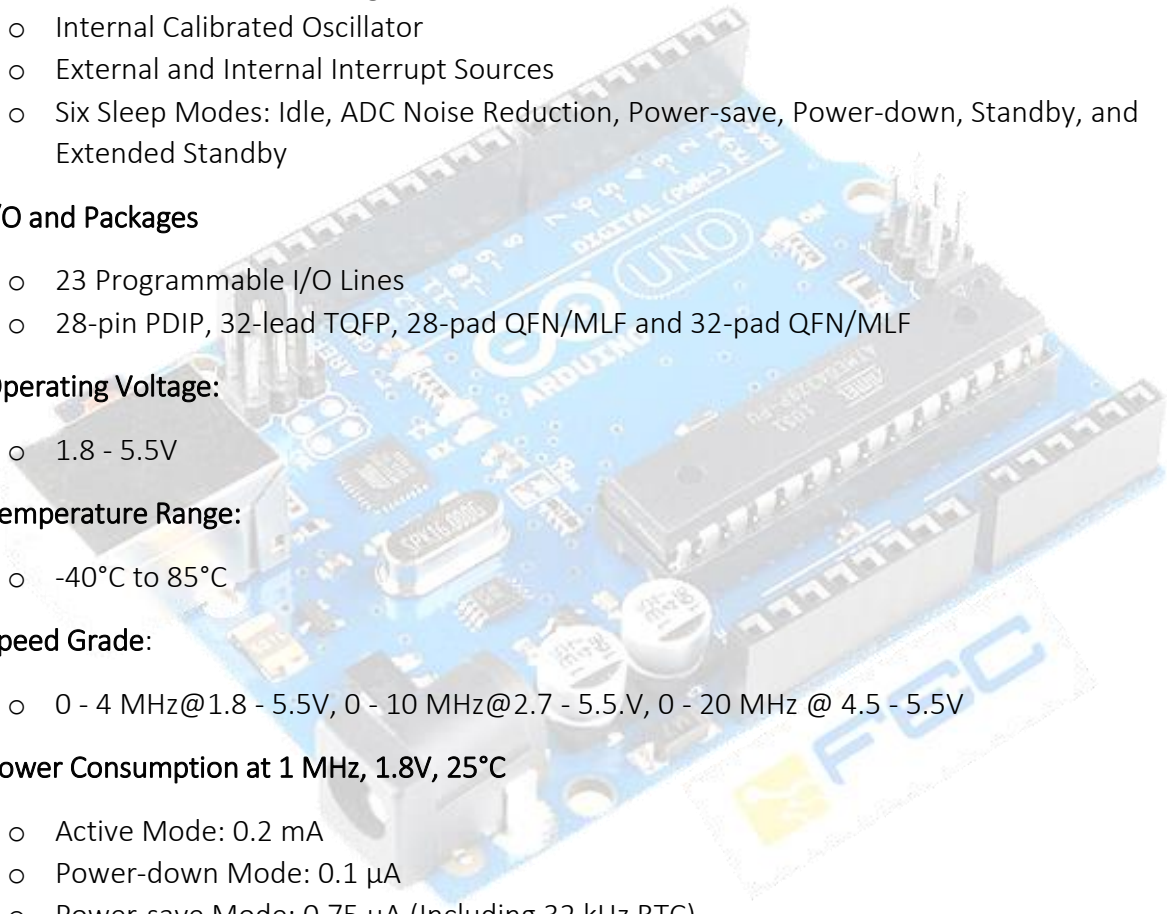
- -40°C to 85°C

• **Speed Grade:**

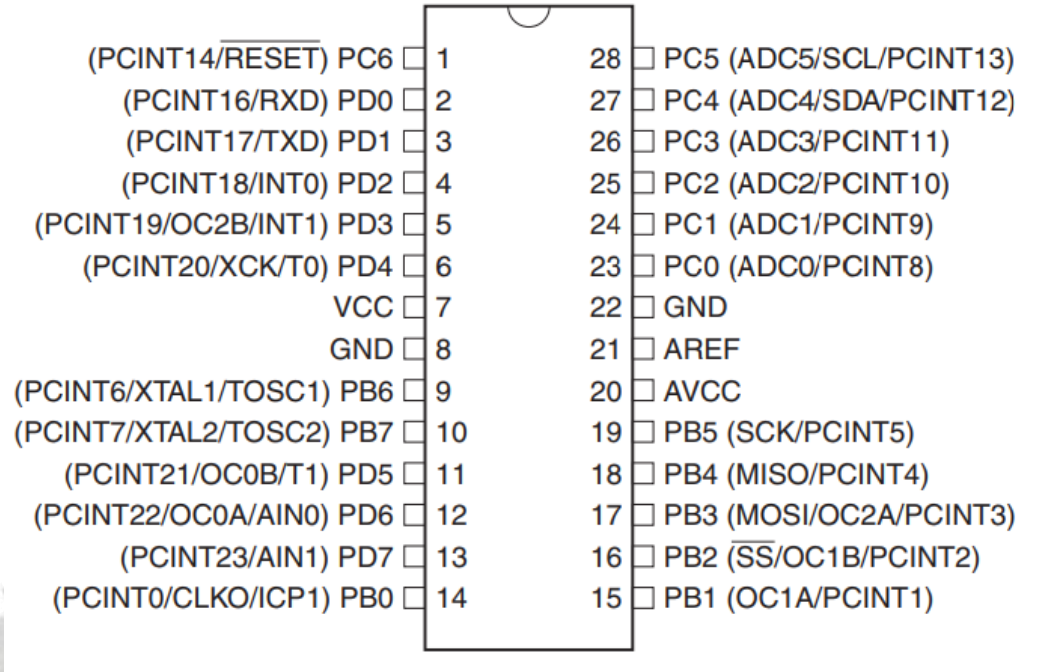
- 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V

• **Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C**

- Active Mode: 0.2 mA
- Power-down Mode: 0.1 μ A
- Power-save Mode: 0.75 μ A (Including 32 kHz RTC)



- Pin configuration



ATMEGA16u2- mu microcontroller

Is a 8-bit microcontroller used as USB driver in Arduino uno R3 it's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
- Advanced RISC Architecture
 - 125 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
- Non-volatile Program and Data Memories
 - 8K/16K/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 512/512/1024 EEPROM
 - 512/512/1024 Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/ 100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C



- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
- In-System Programming by on-chip Boot Program hardware-activated after reset
- Programming Lock for Software Security

- **USB 2.0 Full-speed Device Module with Interrupt on Transfer Completion**

- Complies fully with Universal Serial Bus Specification REV 2.0
- 48 MHz PLL for Full-speed Bus Operation: data transfer rates at 12 Mbit/s
- Fully independent 176 bytes USB DPRAM for endpoint memory allocation
- Endpoint 0 for Control Transfers: from 8 up to 64-bytes
- 4 Programmable Endpoints:
 - IN or Out Directions
 - Bulk, Interrupt and Isochronous Transfers
 - Programmable maximum packet size from 8 to 64 bytes
 - Programmable single or double buffer
- Suspend/Resume Interrupts
- Microcontroller reset on USB Bus Reset without detach
- USB Bus Disconnection on Microcontroller Request

- **Peripheral Features**

- One 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode (two 8-bit PWM channels)
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Mode (three 8-bit PWM channels)
- USART with SPI master only mode and hardware flow control (RTS/CTS)
- Master/Slave SPI Serial Interface
- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator
- Interrupt and Wake-up on Pin Change

- **On Chip Debug Interface (debug WIRE)**

- **Special Microcontroller Features**

- Power-On Reset and Programmable Brown-out Detection
- Internal Calibrated Oscillator
- External and Internal Interrupt Sources
- Five Sleep Modes: Idle, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby

- **I/O and Packages**

- 22 Programmable I/O Lines
- QFN32 (5x5mm) / TQFP32 packages

- Operating Voltages

- 2.7 - 5.5V

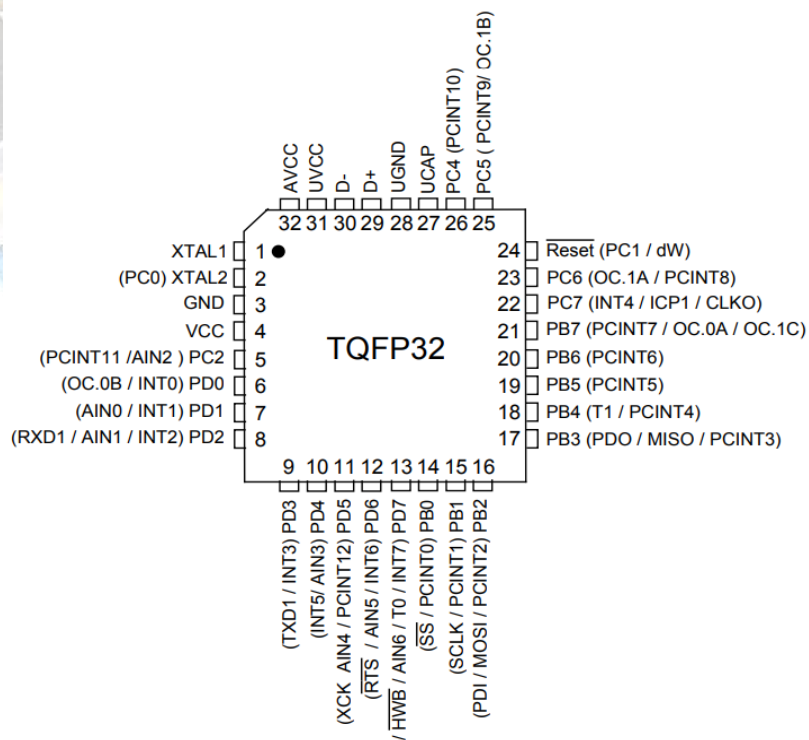
- Operating temperature

- Industrial (-40°C to +85°C)

- Maximum Frequency

- 8 MHz at 2.7V - Industrial range
- 16 MHz at 4.5V - Industrial range

- Pin configuration



OTHER ARDUINO UNO R3 PARTS

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 k Ohms. In addition, some pins have specialized functions:

- Serial: 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- External Interrupts: 2 and 3. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). These pins support SPI communication using the SPI library.
- LED: 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

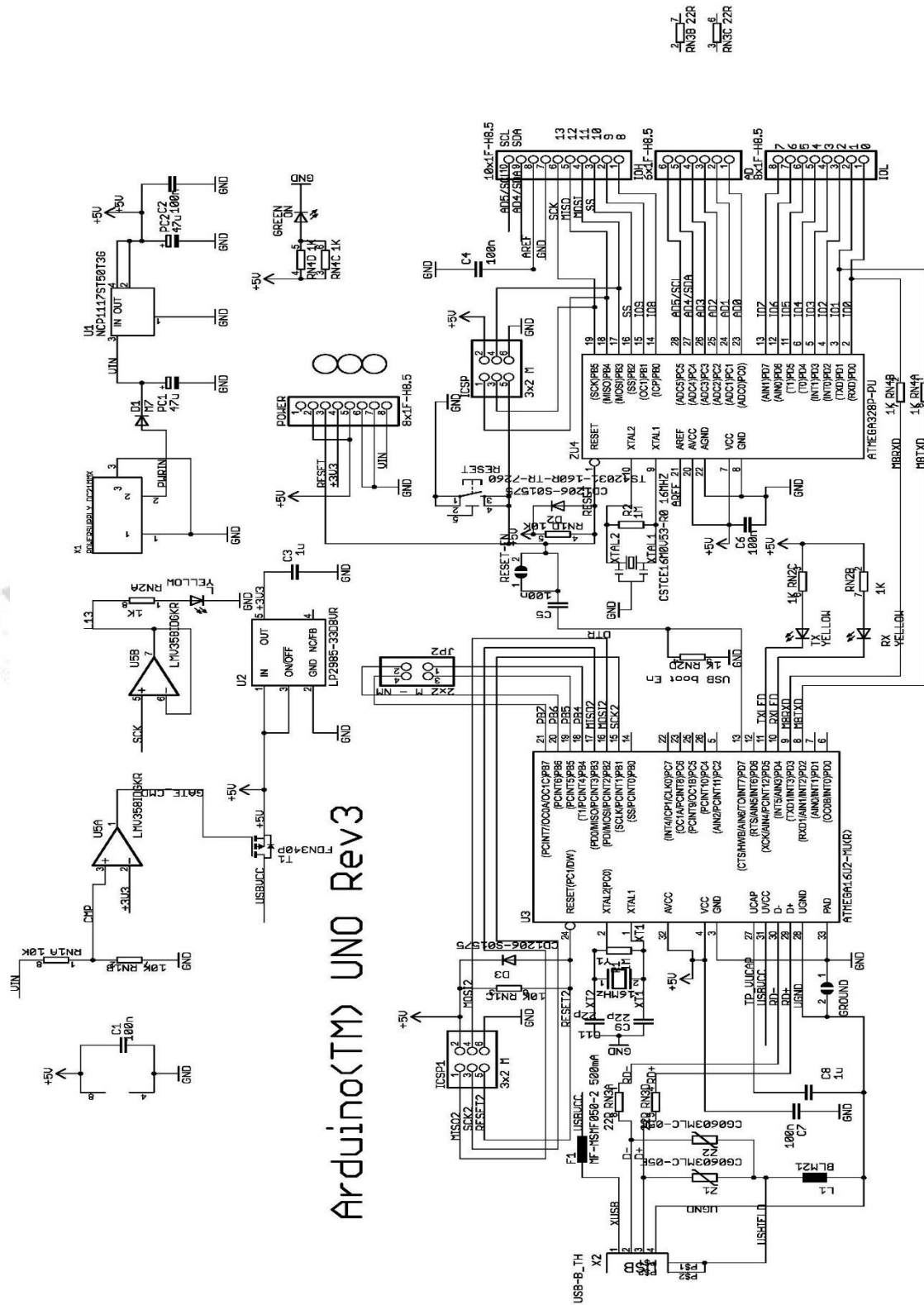
The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the `analogReference()` function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin. Support TWI communication using the Wire library.

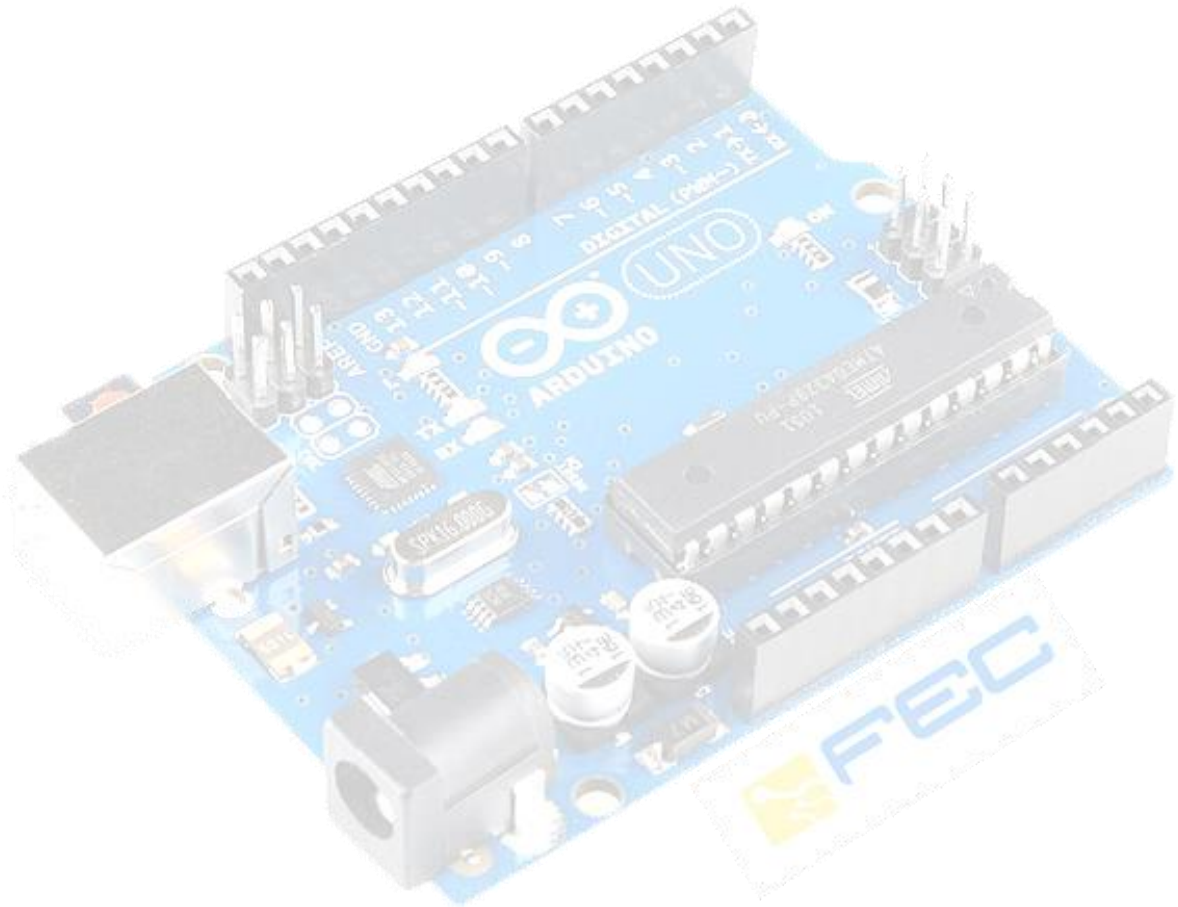
There are a couple of other pins on the board:

- AREF: Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.
- Reset: Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

ARDUINO UNO R3 SCHEMATIC DIAGRAM



Arduino™ UNO Rev3





International Components Distributor
A MOBICON COMPANY

I2C interface for LCD



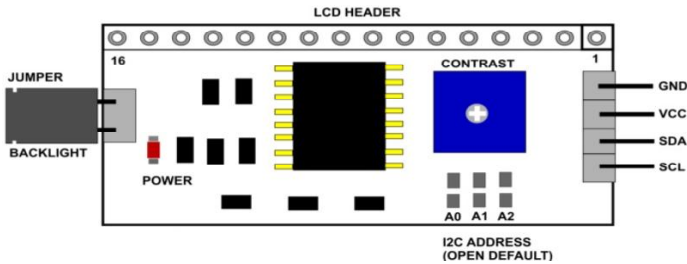
Discription:

This LCD2004 is a great I2C interface for 2x16 and 4x20 LCD displays. With the limited pin resources, your project may be out of resources using normal LCD shield. With this I2C interface LCD module, you only need 2 lines (I2C) to display the information. If you already has I2C devices in your project, this LCD module actually cost no more resources at all. Fantastic for Arduino based projects.

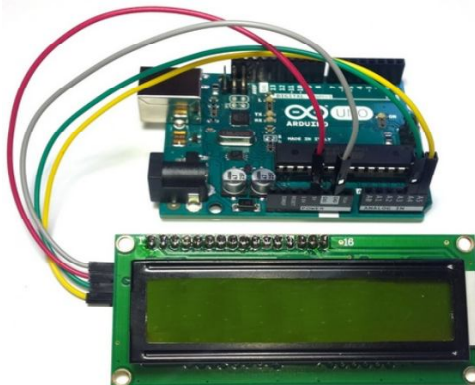
Specification:

Compatible with 16x2 and 20x4 LCD's
Default I2C Address = 0X27
Address selectable - Range 0x20 to 0x27

Board Layout:



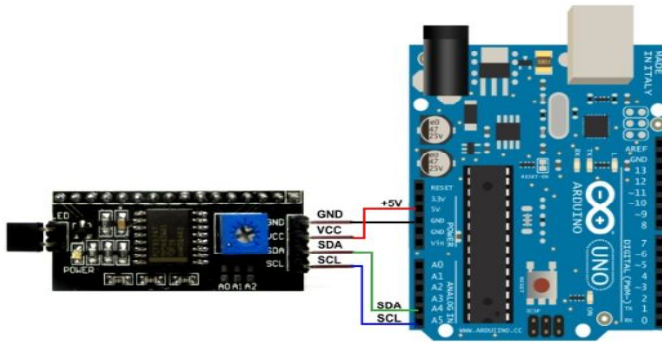
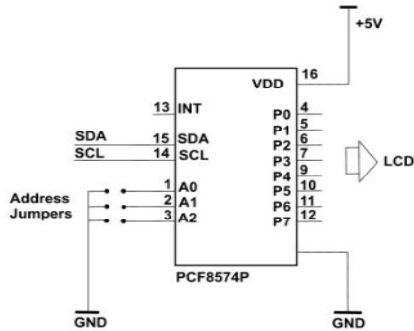
I2C Address Setup:



The LCD2004 board utilized the PCF8574 I/O expander. This nifty little chip provides eight bits of parallel I/O addressable by a I2C bus address – 0x00 to 0x27. SainSmart tied all address leads to Vcc, so the LCD2004 board's I2C address is permanently fixed at hex 27. This is rather limiting since no additional LCD2004s can be added to the bus. Anyway, you simply address the board and write an eight bit value which is then presented on the output pins of the PCF8574, which, in this case, are connected to the HD44780 based LCD screen.

INPUTS			I2C SLAVE ADDRESS
A2	A1	A0	
L	L	L	0x20
L	L	H	0x21
L	H	L	0x22
L	H	H	0x23
H	L	L	0x24
H	L	H	0x25
H	H	L	0x26
H	H	H	0x27

H = Open Jumper L = Close Jumper



```
//Arduino Code
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

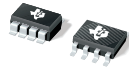
```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); // Initialize LCD Display at address 0x27
// unmodified backpack
```

```
void setup() {
  // activate LCD module
  lcd.begin (16,2); // for 16 x 2 LCD module
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
}

void loop() {
  lcd.home (); // set cursor to 0,0
  lcd.print(" Hello, world!");
  lcd.setCursor(0,1); // go to start of 2nd line
  lcd.print(millis());
  delay(1000);
  lcd.setBacklight(LOW); // Backlight off
  delay(500);
  lcd.setBacklight(HIGH); // Backlight on

  delay(1000);
} // END
```

Check for more info at
<https://arduino-info.wikispaces.com/LCD-Blue-I2C>



Zero-Drift, Bi-Directional CURRENT/POWER MONITOR with I²C™ Interface

FEATURES

- SENSES BUS VOLTAGES FROM 0V TO +26V
- REPORTS CURRENT, VOLTAGE, AND POWER
- 16 PROGRAMMABLE ADDRESSES
- HIGH ACCURACY: 1% (Max) OVER TEMPERATURE
- FILTERING OPTIONS
- CALIBRATION REGISTERS
- SOT23-8 AND SO-8 PACKAGES

APPLICATIONS

- SERVERS
- TELECOM EQUIPMENT
- NOTEBOOK COMPUTERS
- POWER MANAGEMENT
- BATTERY CHARGERS
- WELDING EQUIPMENT
- POWER SUPPLIES
- TEST EQUIPMENT

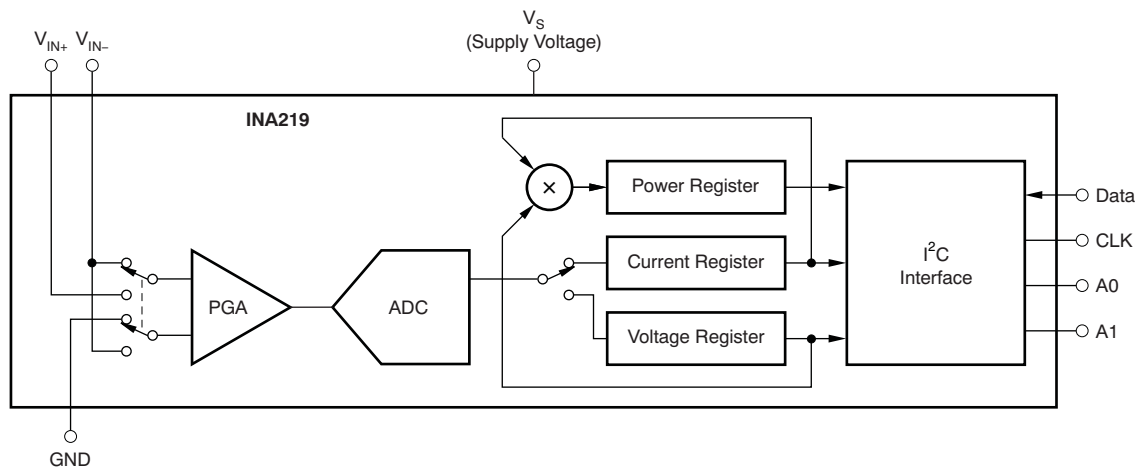
DESCRIPTION

The INA219 is a high-side current shunt and power monitor with an I²C interface. The INA219 monitors both shunt drop and supply voltage, with programmable conversion times and filtering. A programmable calibration value, combined with an internal multiplier, enables direct readouts in amperes. An additional multiplying register calculates power in watts. The I²C interface features 16 programmable addresses.

The INA219 senses across shunts on buses that can vary from 0V to 26V. The device uses a single +3V to +5.5V supply, drawing a maximum of 1mA of supply current. The INA219 operates from –40°C to +125°C.

RELATED PRODUCTS

DESCRIPTION	DEVICE
Current/Power Monitor with Watchdog, Peak-Hold, and Fast Comparator Functions	INA209
Zero-Drift, Low-Cost, Analog Current Shunt Monitor Series in Small Package	INA210 - INA214



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

I²C is a trademark of NXP Semiconductors.

All other trademarks are the property of their respective owners.



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

ORDERING INFORMATION⁽¹⁾

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	PACKAGE MARKING
INA219	SO-8	D	I219A
	SOT23-8	DCN	A219

(1) For the most current package and ordering information see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Over operating free-air temperature range (unless otherwise noted).

		INA219	UNIT
Supply Voltage, V_S		6	V
Analog Inputs, V_{IN+} , V_{IN-}	Differential ($V_{IN+} - V_{IN-}$) ⁽²⁾	-26 to +26	V
	Common-Mode	-0.3 to +26	V
SDA		GND – 0.3 to +6	V
SCL		GND – 0.3 to $V_S + 0.3$	V
Input Current Into Any Pin		5	mA
Open-Drain Digital Output Current		10	mA
Operating Temperature		-40 to +125	°C
Storage Temperature		-40 to +150	°C
Junction Temperature		+150	°C
ESD Ratings	Human Body Model	4000	V
	Charged-Device Model	750	V
	Machine Model (MM)	200	V

- (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not implied.
- (2) V_{IN+} and V_{IN-} may have a differential voltage of -26V to +26V; however, the voltage at these pins must not exceed the range -0.3V to +26V.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = +3.3V$
Boldface limits apply over the specified temperature range, $T_A = -25^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$.

 At $T_A = +25^{\circ}C$, $V_{IN+} = 12V$, $V_{SENSE} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32mV$, $PGA = \div 1$, and $BRNG^{(1)} = 1$, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA219			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
INPUT					
Full-Scale Current Sense (Input) Voltage Range	$PGA = \div 1$	0		± 40	mV
	$PGA = \div 2$	0		± 80	mV
	$PGA = \div 4$	0		± 160	mV
	$PGA = \div 8$	0		± 320	mV
Bus Voltage (Input Voltage) Range ⁽²⁾	$BRNG = 1$	0		32	V
	$BRNG = 0$	0		16	V
Common-Mode Rejection	CMRR	$V_{IN+} = 0V$ to 26V	100	120	dB
Offset Voltage, $RTI^{(3)}$	V_{OS}	$PGA = \div 1$		± 10	μV
		$PGA = \div 2$		± 20	μV
		$PGA = \div 4$		± 30	μV
		$PGA = \div 8$		± 40	μV
vs Temperature			0.1		$\mu V/^{\circ}C$
vs Power Supply	PSRR	$V_S = 3V$ to 5.5V		10	$\mu V/V$
Current Sense Gain Error				± 40	m%
vs Temperature				10	ppm/$^{\circ}C$
Input Impedance		Active Mode			
V_{IN+} Pin				20	μA
V_{IN-} Pin				20 320	μA $k\Omega$
Input Leakage ⁽⁴⁾		Power-Down Mode			
V_{IN+} Pin				0.1	μA
V_{IN-} Pin				0.1	μA
DC ACCURACY					
ADC Basic Resolution				12	Bits
1 LSB Step Size					
Shunt Voltage				10	μV
Bus Voltage				4	mV
Current Measurement Error				± 0.2	%
over Temperature				± 1	%
Bus Voltage Measurement Error				± 0.2	%
over Temperature				± 1	%
Differential Nonlinearity				± 0.1	LSB
ADC TIMING					
ADC Conversion Time		12-Bit		532	μs
		11-Bit		276	μs
		10-Bit		148	μs
		9-Bit		84	μs
Minimum Convert Input Low Time				4	μs

 (1) BRNG is bit 13 of the [Configuration Register](#).

(2) This parameter only expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than 26V be applied to this device.

(3) Referred-to-input (RTI).

(4) Input leakage is positive (current flowing into the pin) for the conditions shown at the top of the table. Negative leakage currents can occur under different input conditions.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = +3.3V$ (continued)**Boldface** limits apply over the specified temperature range, $T_A = -25^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$.At $T_A = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{IN+} = 12V$, $V_{SENSE} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32\text{mV}$, $PGA = \div 1$, and $BRNG = 1$, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	INA219			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
SMBus SMBus Timeout ⁽⁵⁾			28	35	ms
DIGITAL INPUTS (SDA as Input, SCL, A0, A1)					
Input Capacitance	$0 \leq V_{IN} \leq V_S$		3		pF
Leakage Input Current			0.1	1	μA
Input Logic Levels:				6	V
V_{IH}		0.7 (V_S)			V
V_{IL}		-0.3		0.3 (V_S)	V
Hysteresis			500		mV
OPEN-DRAIN DIGITAL OUTPUTS (SDA)					
Logic '0' Output Level	$I_{SINK} = 3\text{mA}$		0.15	0.4	V
High-Level Output Leakage Current	$V_{OUT} = V_S$		0.1	1	μA
POWER SUPPLY					
Operating Supply Range		+3		+5.5	V
Quiescent Current			0.7	1	mA
Quiescent Current, Power-Down Mode			6	15	μA
Power-On Reset Threshold			2		V
TEMPERATURE RANGE					
Specified Temperature Range		-25		+85	$^{\circ}\text{C}$
Operating Temperature Range		-40		+125	$^{\circ}\text{C}$
Thermal Resistance ⁽⁶⁾	θ_{JA}				
SOT23-8			142		$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
SO-8			120		$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

(5) SMBus timeout in the INA219 resets the interface any time SCL or SDA is low for over 28ms.

(6) θ_{JA} value is based on JEDEC low-K board.

PIN CONFIGURATIONS



PIN DESCRIPTIONS: SOT23-8

SOT23-8 (DCN)		DESCRIPTION
PIN NO	NAME	
1	V_{IN+}	Positive differential shunt voltage. Connect to positive side of shunt resistor.
2	V_{IN-}	Negative differential shunt voltage. Connect to negative side of shunt resistor. Bus voltage is measured from this pin to ground.
3	GND	Ground.
4	V_S	Power supply, 3V to 5.5V.
5	SCL	Serial bus clock line.
6	SDA	Serial bus data line.
7	A0	Address pin. Table 1 shows pin settings and corresponding addresses.
8	A1	Address pin. Table 1 shows pin settings and corresponding addresses.

PIN DESCRIPTIONS: SO-8

SO-8 (D)		DESCRIPTION
PIN NO	NAME	
1	A1	Address pin. Table 1 shows pin settings and corresponding addresses.
2	A0	Address pin. Table 1 shows pin settings and corresponding addresses.
3	SDA	Serial bus data line.
4	SCL	Serial bus clock line.
5	V_S	Power supply, 3V to 5.5V.
6	GND	Ground.
7	V_{IN-}	Negative differential shunt voltage. Connect to negative side of shunt resistor. Bus voltage is measured from this pin to ground.
8	V_{IN+}	Positive differential shunt voltage. Connect to positive side of shunt resistor.

TYPICAL CHARACTERISTICS

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{IN+} = 12\text{V}$, $V_{SENSE} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32\text{mV}$, $\text{PGA} = \div 1$, and $\text{BRNG} = 1$, unless otherwise noted.

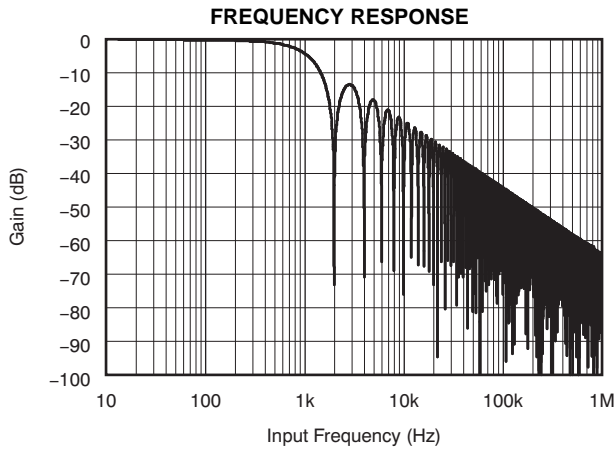


Figure 1.

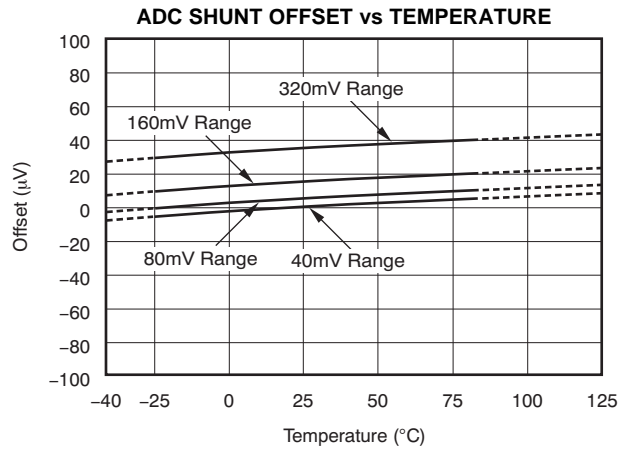


Figure 2.

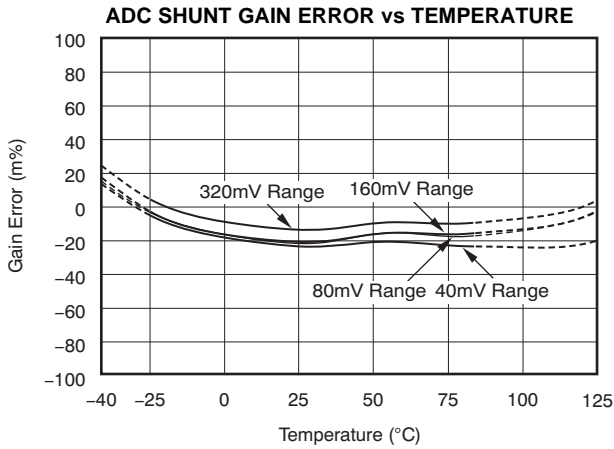


Figure 3.

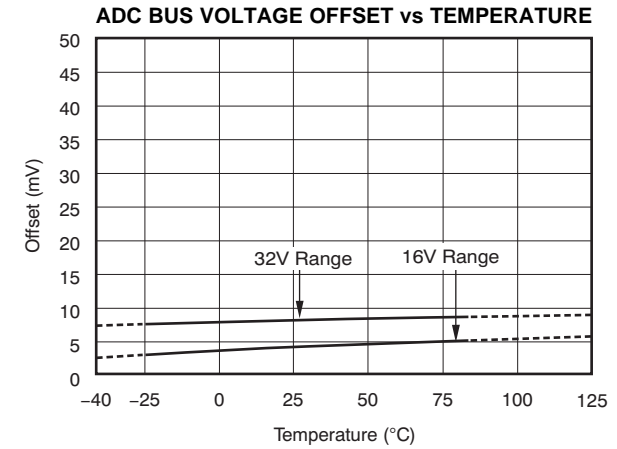


Figure 4.

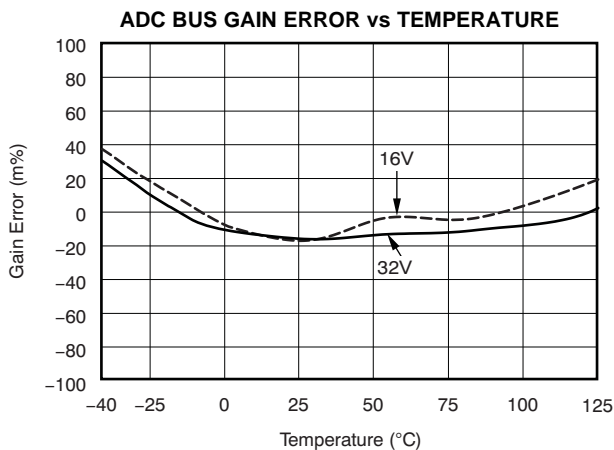


Figure 5.

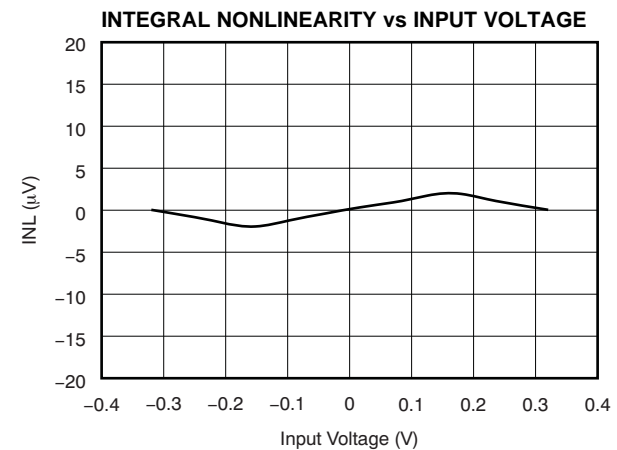


Figure 6.

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{IN+} = 12\text{V}$, $V_{SENSE} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 32\text{mV}$, $\text{PGA} = \div 1$, and $\text{BRNG} = 1$, unless otherwise noted.

INPUT CURRENTS WITH LARGE DIFFERENTIAL VOLTAGES
(V_{IN+} at 12V, Sweep of V_{IN-})

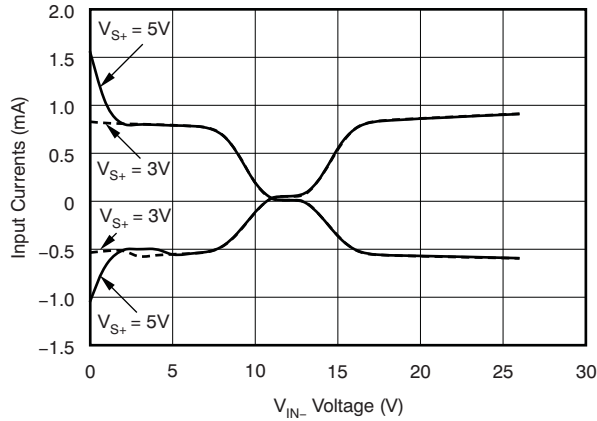


Figure 7.

ACTIVE I_Q vs TEMPERATURE

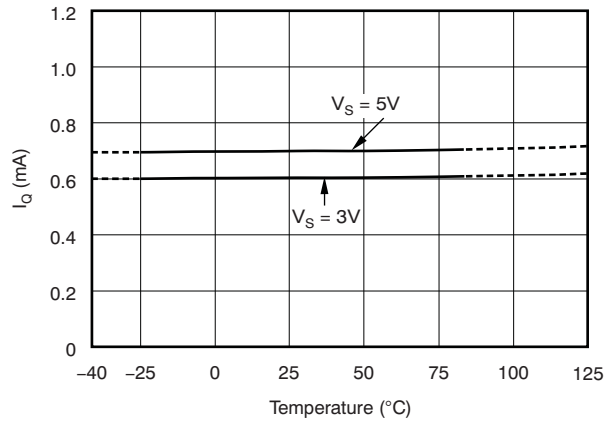


Figure 8.

SHUTDOWN I_Q vs TEMPERATURE

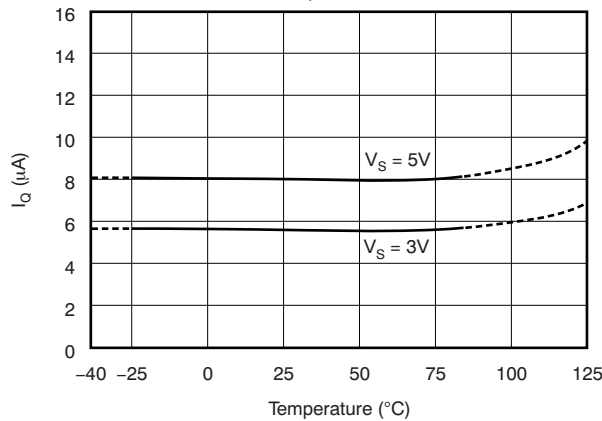


Figure 9.

ACTIVE I_Q vs I²C CLOCK FREQUENCY

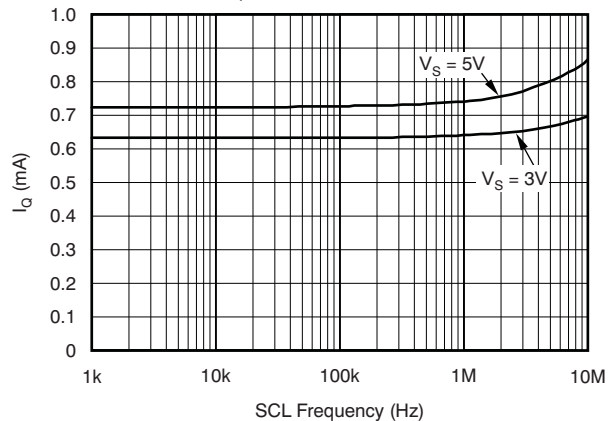


Figure 10.

SHUTDOWN I_Q vs I²C CLOCK FREQUENCY

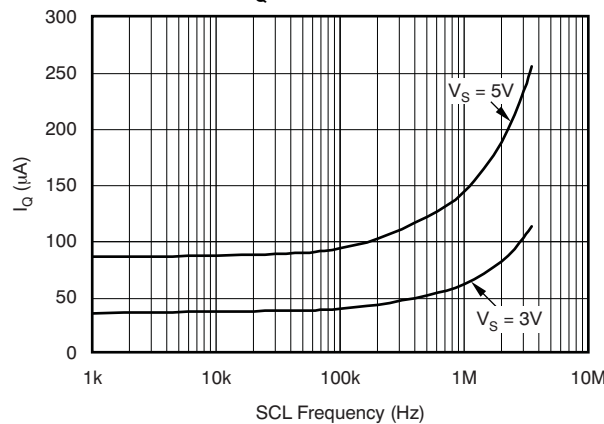


Figure 11.

REGISTER BLOCK DIAGRAM

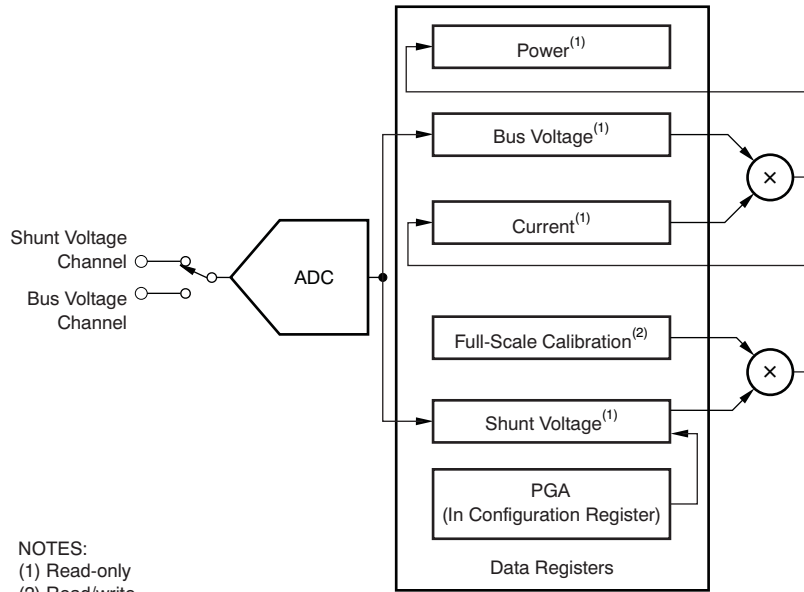


Figure 12. INA219 Register Block Diagram

APPLICATION INFORMATION

The INA219 is a digital current-shunt monitor with an I²C and SMBus-compatible interface. It provides digital current, voltage, and power readings necessary for accurate decision-making in precisely-controlled systems. Programmable registers allow flexible configuration for measurement resolution, and continuous-versus-triggered operation. Detailed register information appears at the end of this data sheet, beginning with [Table 2](#). See the [Register Block Diagram](#) for a block diagram of the INA219.

INA219 TYPICAL APPLICATION

[Figure 13](#) shows a typical application circuit for the INA219. Use a 0.1μF ceramic capacitor for power-supply bypassing, placed as closely as possible to the supply and ground pins.

The input filter circuit consisting of R_{F1}, R_{F2}, and C_F is not necessary in most applications. If the need for filtering is unknown, reserve board space for the components and install 0Ω resistors unless a filter is needed. See the [Filtering and Input Considerations](#) section.

The pull-up resistors shown on the SDA and SCL lines are not needed if there are pull-up resistors on these same lines elsewhere in the system. Resistor values shown are typical: consult either the I²C or SMBus specification to determine the acceptable minimum or maximum values.

BUS OVERVIEW

The INA219 offers compatibility with both I²C and SMBus interfaces. The I²C and SMBus protocols are essentially compatible with one another.

The I²C interface is used throughout this data sheet as the primary example, with SMBus protocol specified only when a difference between the two systems is being addressed. Two bidirectional lines, SCL and SDA, connect the INA219 to the bus. Both SCL and SDA are open-drain connections.

The device that initiates the transfer is called a *master*, and the devices controlled by the master are *slaves*. The bus must be controlled by a master device that generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates START and STOP conditions.

To address a specific device, the master initiates a START condition by pulling the data signal line (SDA) from a HIGH to a LOW logic level while SCL is HIGH. All slaves on the bus shift in the slave address byte on the rising edge of SCL, with the last bit indicating whether a read or write operation is intended. During the ninth clock pulse, the slave being addressed responds to the master by generating an Acknowledge and pulling SDA LOW.

Data transfer is then initiated and eight bits of data are sent, followed by an *Acknowledge* bit. During data transfer, SDA must remain stable while SCL is HIGH. Any change in SDA while SCL is HIGH is interpreted as a START or STOP condition.

Once all data have been transferred, the master generates a STOP condition, indicated by pulling SDA from LOW to HIGH while SCL is HIGH. The INA219 includes a 28ms timeout on its interface to prevent locking up an SMBus.

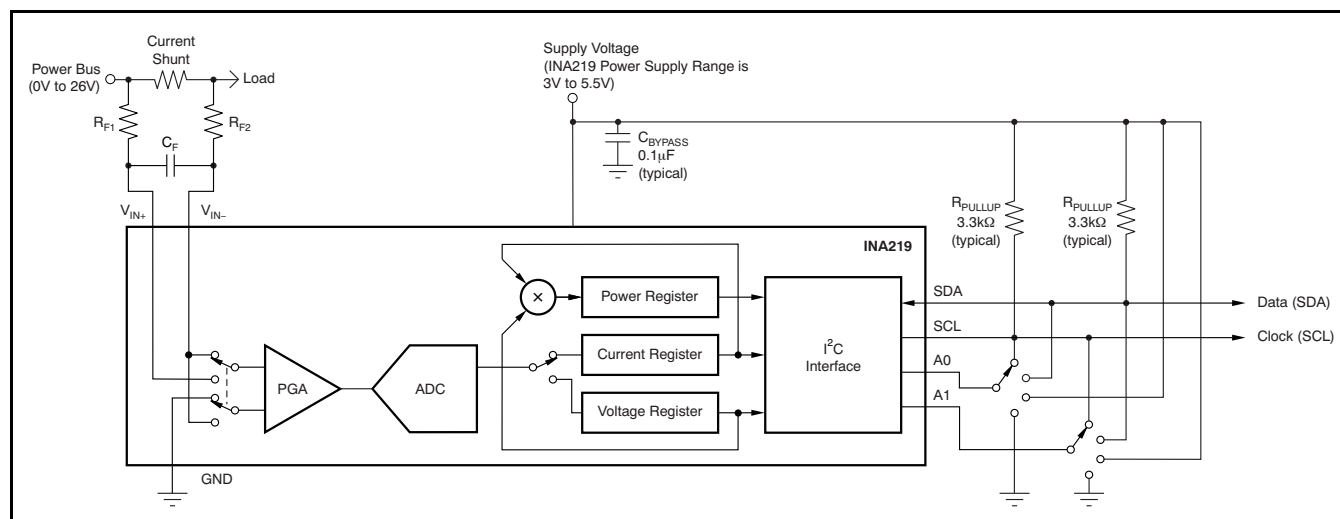


Figure 13. Typical Application Circuit

Serial Bus Address

To communicate with the INA219, the master must first address slave devices via a slave address byte. The slave address byte consists of seven address bits, and a direction bit indicating the intent of executing a read or write operation.

The INA219 has two address pins, A0 and A1. [Table 1](#) describes the pin logic levels for each of the 16 possible addresses. The state of pins A0 and A1 is sampled on every bus communication and should be set before any activity on the interface occurs. The address pins are read at the start of each communication event.

Table 1. INA219 Address Pins and Slave Addresses

A1	A0	SLAVE ADDRESS
GND	GND	1000000
GND	V _{S+}	1000001
GND	SDA	1000010
GND	SCL	1000011
V _{S+}	GND	1000100
V _{S+}	V _{S+}	1000101
V _{S+}	SDA	1000110
V _{S+}	SCL	1000111
SDA	GND	1001000
SDA	V _{S+}	1001001
SDA	SDA	1001010
SDA	SCL	1001011
SCL	GND	1001100
SCL	V _{S+}	1001101
SCL	SDA	1001110
SCL	SCL	1001111

Serial Interface

The INA219 operates only as a slave device on the I²C bus and SMBus. Connections to the bus are made via the open-drain I/O lines SDA and SCL. The SDA and SCL pins feature integrated spike suppression filters and Schmitt triggers to minimize the effects of input spikes and bus noise. The INA219 supports the transmission protocol for fast (1kHz to 400kHz) and high-speed (1kHz to 3.4MHz) modes. All data bytes are transmitted most significant byte first.

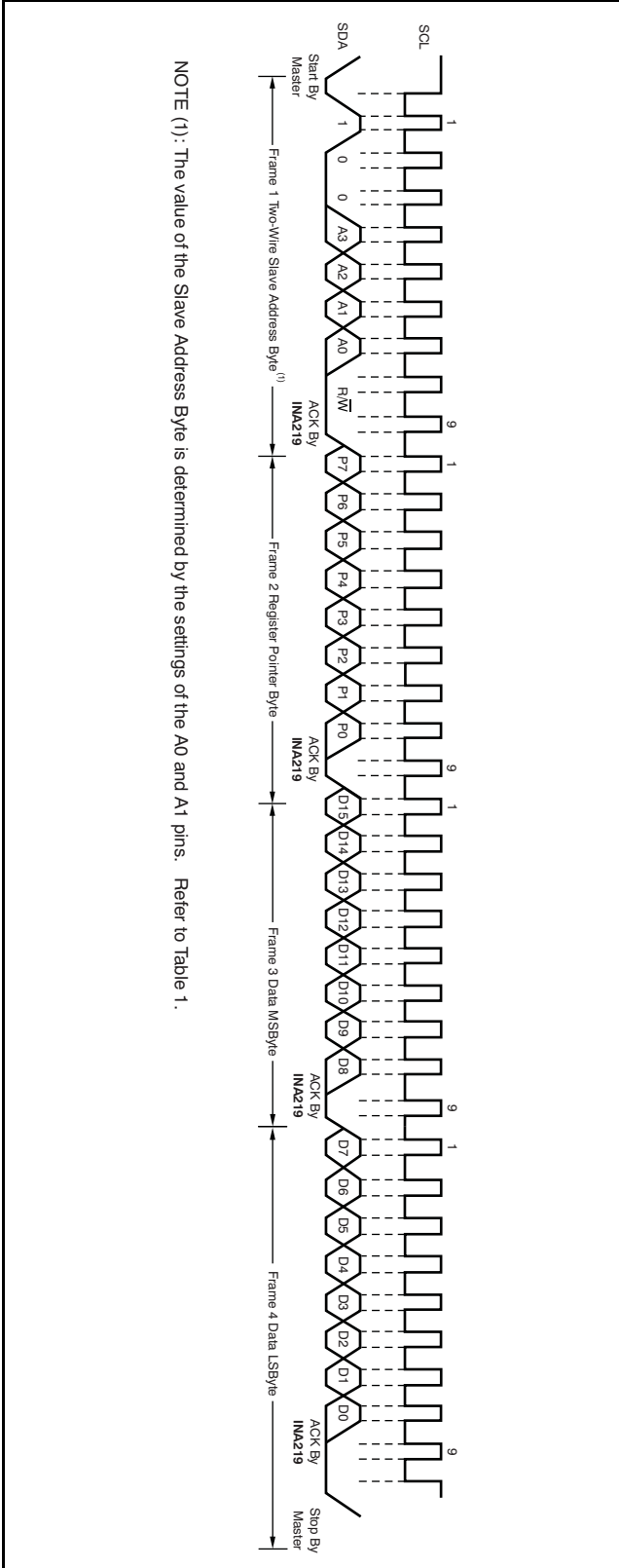
WRITING TO/READING FROM THE INA219

Accessing a particular register on the INA219 is accomplished by writing the appropriate value to the register pointer. Refer to [Table 2](#) for a complete list of registers and corresponding addresses. The value for the register pointer as shown in [Figure 17](#) is the first byte transferred after the slave address byte with the R/W bit LOW. Every write operation to the INA219 requires a value for the register pointer.

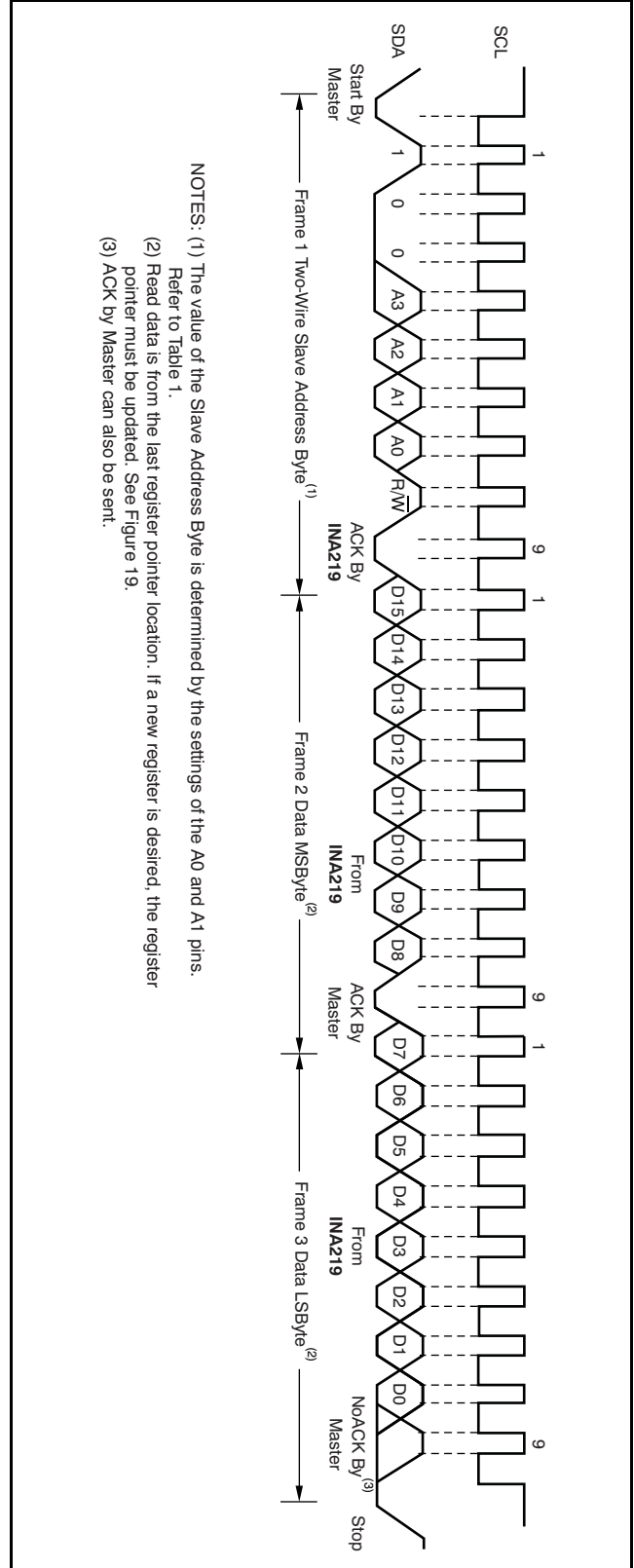
Writing to a register begins with the first byte transmitted by the master. This byte is the slave address, with the R/W bit LOW. The INA219 then acknowledges receipt of a valid address. The next byte transmitted by the master is the address of the register to which data will be written. This register address value updates the register pointer to the desired register. The next two bytes are written to the register addressed by the register pointer. The INA219 acknowledges receipt of each data byte. The master may terminate data transfer by generating a START or STOP condition.

When reading from the INA219, the last value stored in the register pointer by a write operation determines which register is read during a read operation. To change the register pointer for a read operation, a new value must be written to the register pointer. This write is accomplished by issuing a slave address byte with the R/W bit LOW, followed by the register pointer byte. No additional data are required. The master then generates a START condition and sends the slave address byte with the R/W bit HIGH to initiate the read command. The next byte is transmitted by the slave and is the most significant byte of the register indicated by the register pointer. This byte is followed by an *Acknowledge* from the master; then the slave transmits the least significant byte. The master acknowledges receipt of the data byte. The master may terminate data transfer by generating a *Not-Acknowledge* after receiving any data byte, or generating a START or STOP condition. If repeated reads from the same register are desired, it is not necessary to continually send the register pointer bytes; the INA219 retains the register pointer value until it is changed by the next write operation.

[Figure 14](#) and [Figure 15](#) show read and write operation timing diagrams, respectively. Note that register bytes are sent most-significant byte first, followed by the least significant byte. [Figure 16](#) shows the timing diagram for the SMBus Alert response operation. [Figure 17](#) illustrates a typical register pointer configuration.



NOTE (1): The value of the Slave Address Byte is determined by the settings of the A0 and A1 pins. Refer to Table 1.



NOTES: (1) The value of the Slave Address Byte is determined by the settings of the A0 and A1 pins. Refer to Table 1.
 (2) Read data is from the last register pointer location. If a new register is desired, the register pointer must be updated. See Figure 19.
 (3) ACK by Master can also be sent.

Figure 14. Timing Diagram for Write Word Format

Figure 15. Timing Diagram for Read Word Format

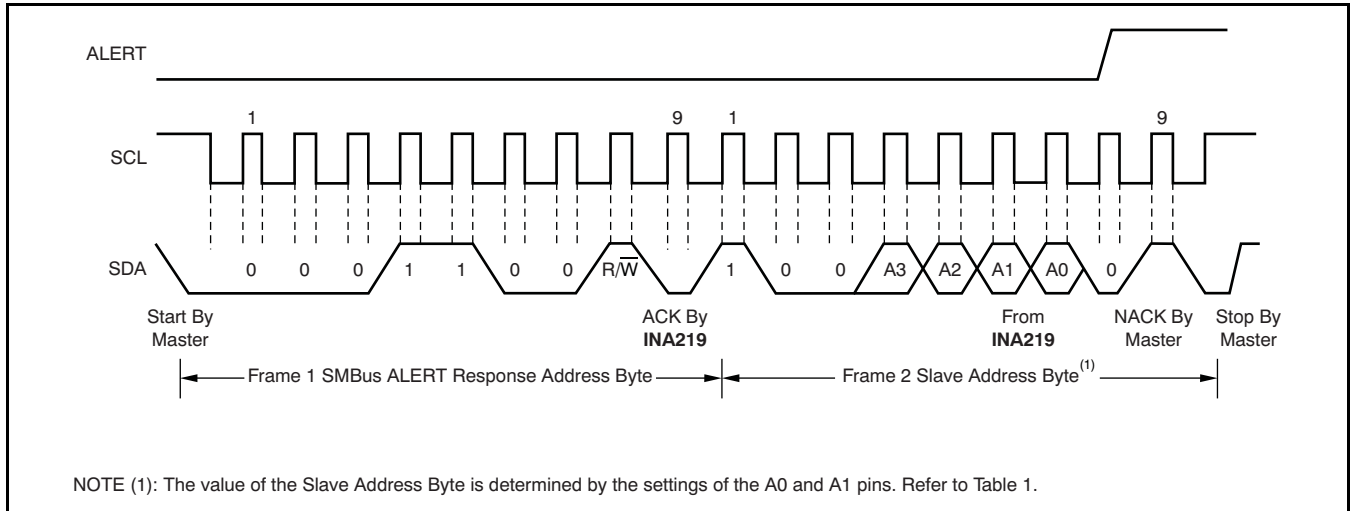


Figure 16. Timing Diagram for SMBus ALERT

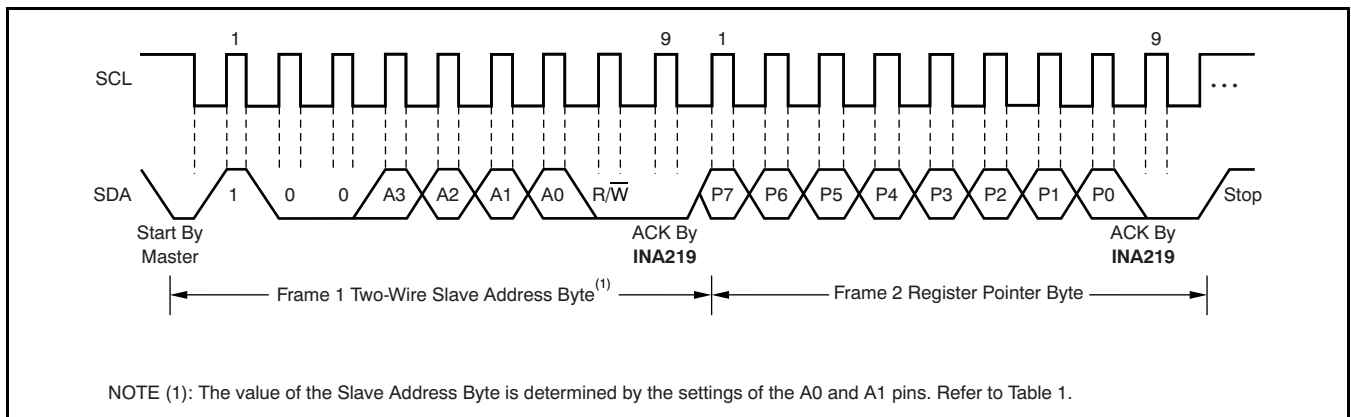


Figure 17. Typical Register Pointer Set

High-Speed I²C Mode

When the bus is idle, both the SDA and SCL lines are pulled high by the pull-up devices. The master generates a start condition followed by a valid serial byte containing High-Speed (HS) master code 00001XXX. This transmission is made in fast (400kbps) or standard (100kbps) (F/S) mode at no more than 400kbps. The INA219 does not acknowledge the HS master code, but does recognize it and switches its internal filters to support 3.4Mbps operation.

The master then generates a repeated start condition (a repeated start condition has the same timing as the start condition). After this repeated start condition, the protocol is the same as F/S mode, except that transmission speeds up to 3.4Mbps are allowed. Instead of using a stop condition, repeated start conditions should be used to secure the bus in HS-mode. A stop condition ends the HS-mode and switches all the internal filters of the INA219 to support the F/S mode.

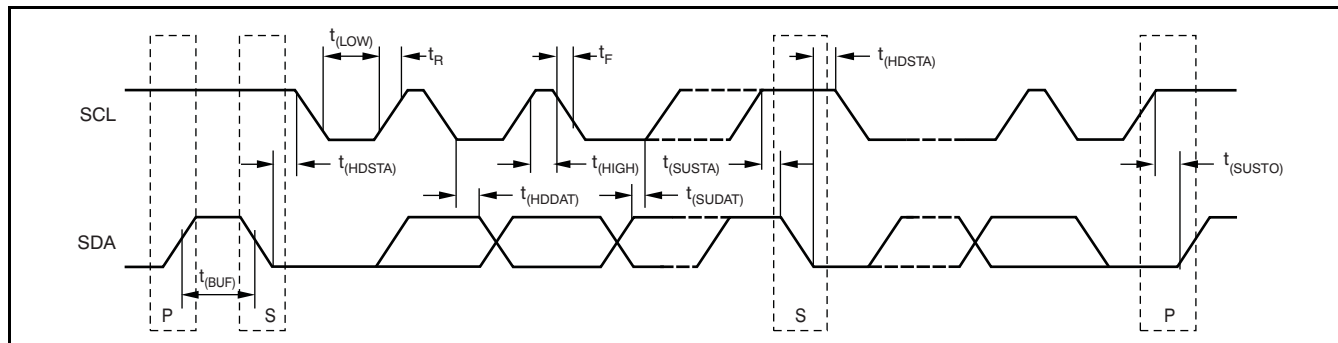


Figure 18. Bus Timing Diagram

Bus Timing Diagram Definitions

PARAMETER		FAST MODE		HIGH-SPEED MODE		UNITS
		MIN	MAX	MIN	MAX	
SCL Operating Frequency	$f_{(SCL)}$	0.001	0.4	0.001	3.4	MHz
Bus Free Time Between STOP and START Condition	$t_{(BUF)}$	600		160		ns
Hold time after repeated START condition. After this period, the first clock is generated.	$t_{(HDSTA)}$	100		100		ns
Repeated START Condition Setup Time	$t_{(SUSTA)}$	100		100		ns
STOP Condition Setup Time	$t_{(SUSTO)}$	100		100		ns
Data Hold Time	$t_{(HDDAT)}$	0		0		ns
Data Setup Time	$t_{(SUDAT)}$	100		10		ns
SCL Clock LOW Period	$t_{(LOW)}$	1300		160		ns
SCL Clock HIGH Period	$t_{(HIGH)}$	600		60		ns
Clock/Data Fall Time	t_F		300		160	ns
Clock/Data Rise Time	t_R		300		160	ns
Clock/Data Rise Time for SCLK \leq 100kHz	t_R		1000			ns

Power-Up Conditions

Power-up conditions apply to a software reset via the RST bit (bit 15) in the Configuration Register, or the I²C bus General Call Reset.

BASIC ADC FUNCTIONS

The two analog inputs to the INA219, V_{IN+} and V_{IN-}, connect to a shunt resistor in the bus of interest. The INA219 is typically powered by a separate supply from +3V to +5.5V. The bus being sensed can vary from 0V to 26V. There are no special considerations for power-supply sequencing (for example, a bus voltage can be present with the supply voltage off, and vice-versa). The INA219 senses the small drop across the shunt for shunt voltage, and senses the voltage with respect to ground from V_{IN-} for the bus voltage. [Figure 19](#) illustrates this operation.

When the INA219 is in the normal operating mode (that is, MODE bits of the Configuration Register are set to '111'), it continuously converts the shunt voltage up to the number set in the shunt voltage averaging function (Configuration Register, SADC bits). The device then converts the bus voltage up to the number set in the bus voltage averaging (Configuration Register, BADC bits). The Mode control in the Configuration Register also permits selecting modes to convert only voltage or current, either continuously or in response to an event (triggered).

All current and power calculations are performed in the background and do not contribute to conversion time; conversion times shown in the [Electrical Characteristics](#) table can be used to determine the actual conversion time.

Power-Down mode reduces the quiescent current and turns off current into the INA219 inputs, avoiding any supply drain. Full recovery from Power-Down requires 40µs. ADC Off mode (set by the Configuration Register, MODE bits) stops all conversions.

In triggered mode, the external Convert line becomes active. Convert commands are initiated by taking the Convert line low for a minimum of 4µs. The Convert line may be connected high when unused. Any re-trigger of the Convert line during a conversion is ignored, and the Convert line state is disregarded until the conversion ends. There are several available triggered modes; however, all conversions are performed repeatedly up to the number set in the Averaging function (Configuration Register, BADC and SADC bits).

If the Convert line is held low, writing any of the triggered convert modes into the Configuration Register (even if the desired mode is already programmed into the register) triggers a single-shot conversion.

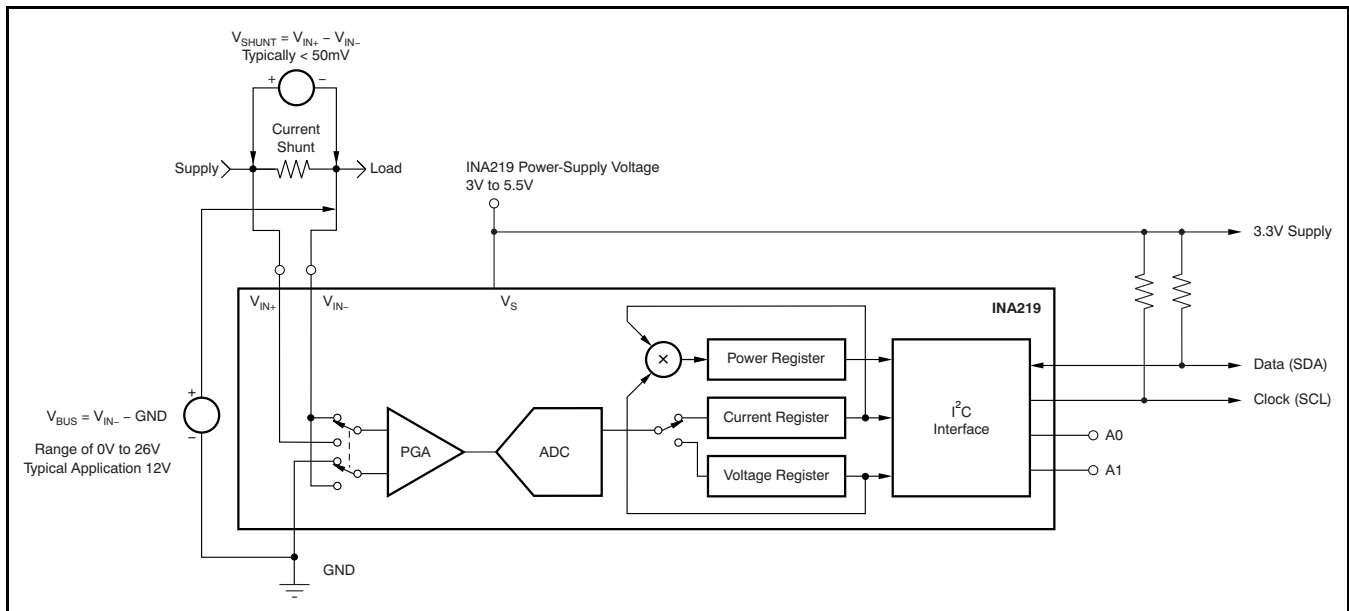


Figure 19. INA219 Configured for Shunt and Bus Voltage Measurement

Although the INA219 can be read at any time, and the data from the last conversion remain available, the Conversion Ready bit (Status Register, CNVR bit) is provided to help co-ordinate one-shot or triggered conversions. The Conversion Ready bit is set after all conversions, averaging, and multiplication operations are complete.

The Conversion Ready bit clears under these conditions:

1. Writing to the Configuration Register, except when configuring the MODE bits for Power Down or ADC off (Disable) modes;
2. Reading the Status Register; or
3. Triggering a single-shot conversion with the Convert pin.

Power Measurement

Current and bus voltage are converted at different points in time, depending on the resolution and averaging mode settings. For instance, when configured for 12-bit and 128 sample averaging, up to 68ms in time between sampling these two values is possible. Again, these calculations are performed in the background and do not add to the overall conversion time.

PGA Function

If larger full-scale shunt voltages are desired, the INA219 provides a PGA function that increases the full-scale range up to 2, 4, or 8 times (320mV). Additionally, the bus voltage measurement has two full-scale ranges: 16V or 32V.

Compatibility with TI Hot Swap Controllers

The INA219 is designed for compatibility with hot swap controllers such as the TI [TPS2490](#). The TPS2490 uses a high-side shunt with a limit at 50mV; the INA219 full-scale range of 40mV enables the use of the same shunt for current sensing below this limit. When sensing is required at (or through) the 50mV sense point of the TPS2490, the PGA of the INA219 can be set to $\times 2$ to provide an 80mV full-scale range.

Filtering and Input Considerations

Measuring current is often noisy, and such noise can be difficult to define. The INA219 offers several options for filtering by choosing resolution and averaging in the Configuration Register. These filtering options can be set independently for either voltage or current measurement.

The internal ADC is based on a delta-sigma ($\Delta\Sigma$) front-end with a 500kHz ($\pm 30\%$) typical sampling rate. This architecture has good inherent noise rejection; however, transients that occur at or very close to the sampling rate harmonics can cause problems. Because these signals are at 1MHz and higher, they can be dealt with by incorporating filtering at the input of the INA219. The high frequency enables the use of low-value series resistors on the filter for negligible effects on measurement accuracy. In general, filtering the INA219 input is only necessary if there are transients at exact harmonics of the 500kHz ($\pm 30\%$) sampling rate ($>1\text{MHz}$). Filter using the lowest possible series resistance and ceramic capacitor. Recommended values are 0.1 μF to 1.0 μF . [Figure 20](#) shows the INA219 with an additional filter added at the input.

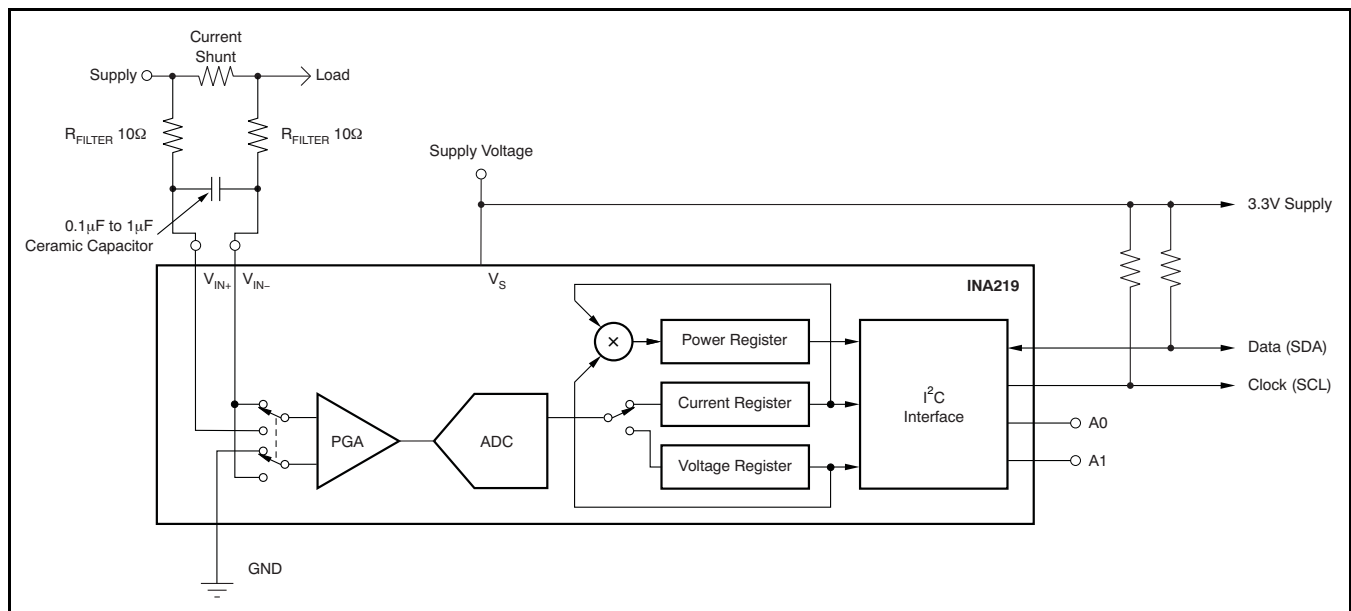


Figure 20. INA219 with Input Filtering

Overload conditions are another consideration for the INA219 inputs. The INA219 inputs are specified to tolerate 26V across the inputs. A large differential scenario might be a short to ground on the load side of the shunt. This type of event can result in full power-supply voltage across the shunt (as long the power supply or energy storage capacitors support it). It must be remembered that removing a short to ground can result in inductive kickbacks that could exceed the 26V differential and common-mode rating of the INA219. Inductive kickback voltages are best dealt with by zener-type transient-absorbing devices (commonly called *transzorbs*) combined with sufficient energy storage capacitance.

In applications that do not have large energy storage electrolytics on one or both sides of the shunt, an input overstress condition may result from an excessive dV/dt of the voltage applied to the input. A hard physical short is the most likely cause of this event, particularly in applications with no large electrolytics present. This problem occurs because an excessive dV/dt can activate the ESD protection in the INA219 in systems where large currents are available. Testing has demonstrated that the addition of 10 Ω resistors in series with each input of the INA219 sufficiently protects the inputs against dV/dt failure up to the 26V rating of the INA219. These resistors have no significant effect on accuracy.

Simple Current Shunt Monitor Usage (No Programming Necessary)

The INA219 can be used without any programming if it is only necessary to read a shunt voltage drop and bus voltage with the default 12-bit resolution, 320mV shunt full-scale range (PGA= \pm 8), 32V bus full-scale range, and continuous conversion of shunt and bus voltage.

Without programming, current is measured by reading the shunt voltage. The Current Register and Power Register are only available if the Calibration Register contains a programmed value.

Programming the INA219

The default power-up states of the registers are shown in the [INA219 register descriptions](#) section of this data sheet. These registers are volatile, and if programmed to other than default values, must be re-programmed at every device power-up. Detailed information on programming the Calibration Register specifically is given in the section, [Programming the INA219 Power Measurement Engine](#).

PROGRAMMING THE INA219 POWER MEASUREMENT ENGINE

Calibration Register and Scaling

The Calibration Register makes it possible to set the scaling of the Current and Power Registers to whatever values are most useful for a given application. One strategy may be to set the Calibration Register such that the largest possible number is generated in the Current Register or Power Register at the expected full-scale point; this approach yields the highest resolution. The Calibration Register can also be selected to provide values in the Current and Power Registers that either provide direct decimal equivalents of the values being measured, or yield a round LSB number. After these choices have been made, the Calibration Register also offers possibilities for end user system-level calibration, where the value is adjusted slightly to cancel total system error.

Below are two examples for configuring the INA219 calibration. Both examples are written so the information directly relates to the calibration setup found in the INA219EVM software.

Calibration Example 1: Calibrating the INA219 with no possibility for overflow. (Note that the numbers used in this example are the same used with the INA219EVM software as shown in [Figure 21](#).)

1. Establish the following parameters:

$$V_{\text{BUS_MAX}} = 32$$

$$V_{\text{SHUNT_MAX}} = 0.32$$

$$R_{\text{SHUNT}} = 0.5$$

2. Using [Equation 1](#), determine the maximum possible current .

$$\text{MaxPossible_I} = \frac{V_{\text{SHUNT_MAX}}}{R_{\text{SHUNT}}}$$

$$\text{MaxPossible_I} = 0.64$$

(1)

3. Choose the desired maximum current value. This value is selected based on system expectations.

$$\text{Max_Expected_I} = 0.6$$

4. Calculate the possible range of current LSBs. To calculate this range, first compute a range of LSBs that is appropriate for the design. Next, select an LSB within this range. Note that the results will have the most resolution when the minimum LSB is selected. Typically, an LSB is selected to be the nearest round number to the minimum LSB value.

$$\text{Minimum_LSB} = \frac{\text{Max_Expected_I}}{32767}$$

$$\text{Minimum_LSB} = 18.311 \times 10^{-6}$$

(2)

$$\text{Maximum_LSB} = \frac{\text{Max_Expected_I}}{4096}$$

$$\text{Maximum_LSB} = 146.520 \times 10^{-6}$$

(3)

Choose an LSB in the range: Minimum_LSB < Selected_LSB < Maximum_LSB

$$\text{Current_LSB} = 20 \times 10^{-6}$$

Note:

This value was selected to be a round number near the Minimum_LSB. This selection allows for good resolution with a rounded LSB.

5. Compute the Calibration Register value using [Equation 4](#):

$$\text{Cal} = \text{trunc} \left(\frac{0.04096}{\text{Current_LSB} \times R_{\text{SHUNT}}} \right)$$

$$\text{Cal} = 4096$$

(4)

6. Calculate the Power LSB, using [Equation 5](#). [Equation 5](#) shows a general formula; because the bus voltage measurement LSB is always 4mV, the power formula reduces to the calculated result.

$$\text{Power_LSB} = 20 \text{ Current_LSB}$$

$$\text{Power_LSB} = 400 \times 10^{-6} \tag{5}$$

7. Compute the maximum current and shunt voltage values (before overflow), as shown by [Equation 6](#) and [Equation 7](#). Note that both [Equation 6](#) and [Equation 7](#) involve an *If - then* condition:

$$\text{Max_Current} = \text{Current_LSB} \times 32767$$

$$\text{Max_Current} = 0.65534 \tag{6}$$

If $\text{Max_Current} \geq \text{Max Possible_I}$ then

$$\text{Max_Current_Before_Overflow} = \text{MaxPossible_I}$$

Else

$$\text{Max_Current_Before_Overflow} = \text{Max_Current}$$

End If

(Note that Max_Current is greater than MaxPossible_I in this example.)

$$\text{Max_Current_Before_Overflow} = 0.64 \text{ (Note: This result is displayed by software as seen in [Figure 21](#).)}$$

$$\text{Max_ShuntVoltage} = \text{Max_Current_Before_Overflow} \times R_{\text{SHUNT}}$$

$$\text{Max_ShuntVoltage} = 0.32 \tag{7}$$

If $\text{Max_ShuntVoltage} \geq V_{\text{SHUNT_MAX}}$

$$\text{Max_ShuntVoltage_Before_Overflow} = V_{\text{SHUNT_MAX}}$$

Else

$$\text{Max_ShuntVoltage_Before_Overflow} = \text{Max_ShuntVoltage}$$

End If

(Note that Max_ShuntVoltage is greater than $V_{\text{SHUNT_MAX}}$ in this example.)

$$\text{Max_ShuntVoltage_Before_Overflow} = 0.32 \text{ (Note: This result is displayed by software as seen in [Figure 21](#).)}$$

8. Compute the maximum power with [Equation 8](#).

$$\text{MaximumPower} = \text{Max_Current_Before_Overflow} \times V_{\text{BUS_MAX}}$$

$$\text{MaximumPower} = 20.48 \tag{8}$$

9. (Optional second Calibration step.) Compute corrected full-scale calibration value based on measured current.

$$\text{INA219_Current} = 0.63484$$

$$\text{MeasShuntCurrent} = 0.55$$

$$\text{Corrected_Full_Scale_Cal} = \text{trunc} \left(\frac{\text{Cal} \times \text{MeasShuntCurrent}}{\text{INA219_Current}} \right)$$

$$\text{Corrected_Full_Scale_Cal} = 3548 \tag{9}$$

[Figure 21](#) illustrates how to perform the same procedure discussed in this example using the automated INA219EVM software. Note that the same numbers used in the nine-step example are used in the software example in [Figure 21](#). Also note that [Figure 21](#) illustrates which results correspond to which step (for example, the information entered in Step 1 is enclosed in a box in [Figure 21](#) and labeled).

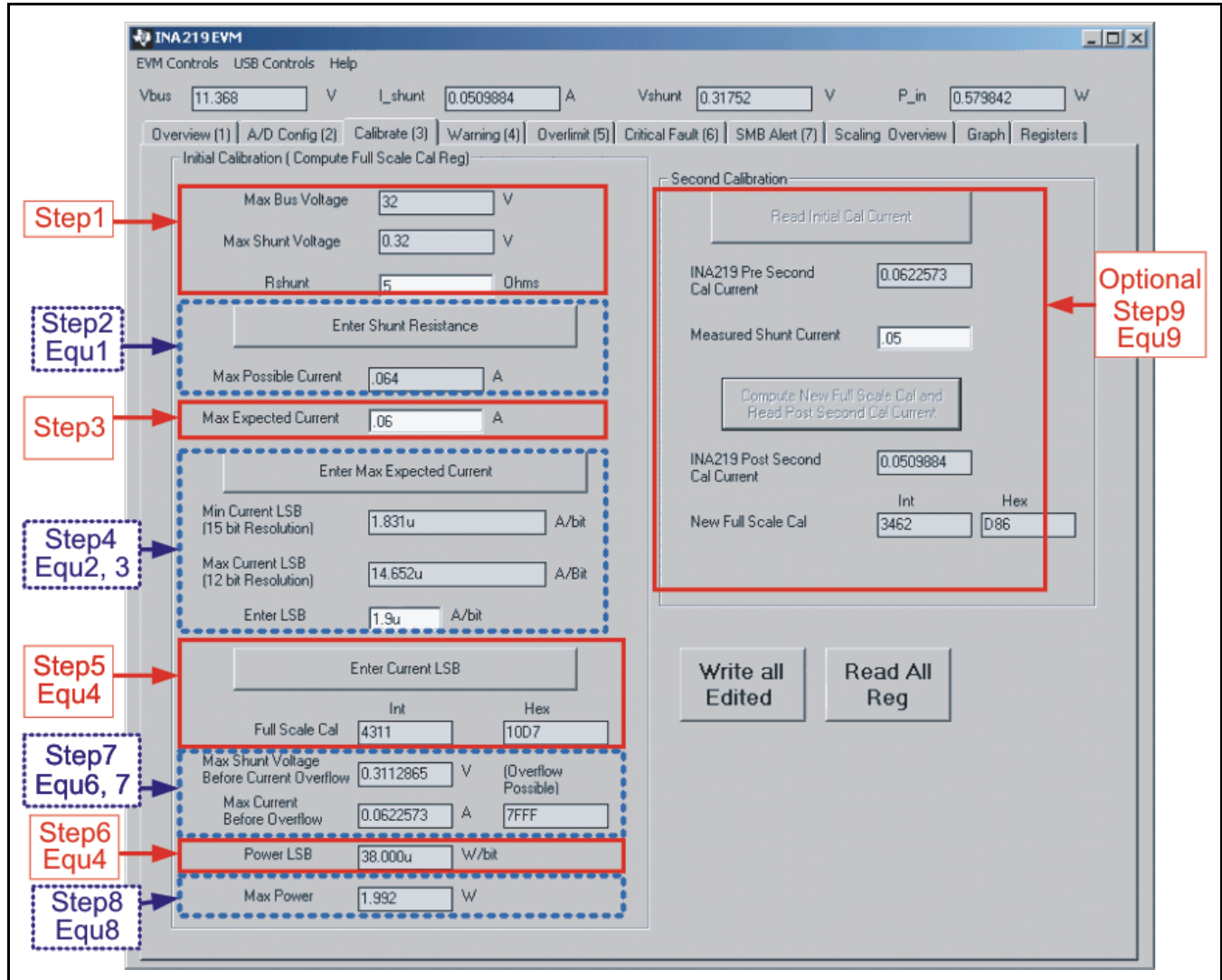


Figure 21. INA219 Calibration Software Automatically Computes Calibration Steps 1-9

Calibration Example 2 (Overflow Possible)

This design example uses the nine-step procedure for calibrating the INA219 where overflow is possible. [Figure 22](#) illustrates how the same procedure is performed using the automated INA219EVM software. Note that the same numbers used in the nine-step example are used in the software example in [Figure 22](#). Also note that [Figure 22](#) illustrates which results correspond to which step (for example, the information entered in Step 1 is circled in [Figure 22](#) and labeled).

1. Establish the following parameters:

$$V_{\text{BUS_MAX}} = 32$$

$$V_{\text{SHUNT_MAX}} = 0.32$$

$$R_{\text{SHUNT}} = 5$$

2. Determine the maximum possible current using [Equation 10](#):

$$\text{MaxPossible_I} = \frac{V_{\text{SHUNT_MAX}}}{R_{\text{SHUNT}}}$$

$$\text{MaxPossible_I} = 0.064 \quad (10)$$

3. Choose the desired maximum current value: $\text{Max_Expected_I}, \leq \text{MaxPossible_I}$. This value is selected based on system expectations.

$$\text{Max_Expected_I} = 0.06$$

4. Calculate the possible range of current LSBs. This calculation is done by first computing a range of LSB's that is appropriate for the design. Next, select an LSB within this range. Note that the results will have the most resolution when the minimum LSB is selected. Typically, an LSB is selected to be the nearest round number to the minimum LSB.

$$\text{Minimum_LSB} = \frac{\text{Max_Expected_I}}{32767}$$

$$\text{Minimum_LSB} = 1.831 \times 10^{-6} \quad (11)$$

$$\text{Maximum_LSB} = \frac{\text{Max_Expected_I}}{4096}$$

$$\text{Maximum_LSB} = 14.652 \times 10^{-6} \quad (12)$$

Choose an LSB in the range: $\text{Minimum_LSB} < \text{Selected_LSB} < \text{Maximum_LSB}$

$$\text{Current_LSB} = 1.9 \times 10^{-6}$$

Note:

This value was selected to be a round number near the Minimum_LSB. This section allows for good resolution with a rounded LSB.

5. Compute the calibration register using [Equation 13](#):

$$\text{Cal} = \text{trunc} \left(\frac{0.04096}{\text{Current_LSB} \times R_{\text{SHUNT}}} \right) \quad \text{Cal} = 4311 \quad (13)$$

6. Calculate the Power LSB using [Equation 14](#). [Equation 14](#) shows a general formula; because the bus voltage measurement LSB is always 4mV, the power formula reduces to calculate the result.

$$\text{Power_LSB} = 20 \text{ Current_LSB}$$

$$\text{Power_LSB} = 38 \times 10^{-6} \quad (14)$$

7. Compute the maximum current and shunt voltage values (before overflow), as shown by [Equation 15](#) and [Equation 16](#). Note that both [Equation 15](#) and [Equation 16](#) involve an *If - then* condition.

$$\text{Max_Current} = \text{Current_LSB} \times 32767$$

$$\text{Max_Current} = 0.06226 \tag{15}$$

If $\text{Max_Current} \geq \text{Max Possible_I}$ then

$$\text{Max_Current_Before_Overflow} = \text{MaxPossible_I}$$

Else

$$\text{Max_Current_Before_Overflow} = \text{Max_Current}$$

End If

(Note that Max_Current is less than MaxPossible_I in this example.)

$$\text{Max_Current_Before_Overflow} = 0.06226 \text{ (Note: This result is displayed by software as seen in [Figure 22](#).)}$$

$$\text{Max_ShuntVoltage} = \text{Max_Current_Before_Overflow} \times R_{\text{SHUNT}}$$

$$\text{Max_ShuntVoltage} = 0.3113 \tag{16}$$

If $\text{Max_ShuntVoltage} \geq V_{\text{SHUNT_MAX}}$

$$\text{Max_ShuntVoltage_Before_Overflow} = V_{\text{SHUNT_MAX}}$$

Else

$$\text{Max_ShuntVoltage_Before_Overflow} = \text{Max_ShuntVoltage}$$

End If

(Note that Max_ShuntVoltage is less than $V_{\text{SHUNT_MAX}}$ in this example.)

$$\text{Max_ShuntVoltage_Before_Overflow} = 0.3113 \text{ (Note: This result is displayed by software as seen in [Figure 22](#).)}$$

8. Compute the maximum power with equation 8.

$$\text{MaximumPower} = \text{Max_Current_Before_Overflow} \times V_{\text{BUS_MAX}}$$

$$\text{MaximumPower} = 1.992 \tag{17}$$

9. (Optional second calibration step.) Compute the corrected full-scale calibration value based on measured current.

$$\text{INA219_Current} = 0.06226$$

$$\text{MeasShuntCurrent} = 0.05$$

$$\text{Corrected_Full_Scale_Cal} = \text{trunc} \left(\frac{\text{Cal} \times \text{MeasShuntCurrent}}{\text{INA219_Current}} \right)$$

$$\text{Corrected_Full_Scale_Cal} = 3462 \tag{18}$$

[Figure 22](#) illustrates how to perform the same procedure discussed in this example using the automated INA219EVM software. Note that the same numbers used in the nine-step example are used in the software example in [Figure 22](#). Also note that [Figure 22](#) illustrates which results correspond to which step (for example, the information entered in Step 1 is enclosed in a box in [Figure 22](#) and labeled).

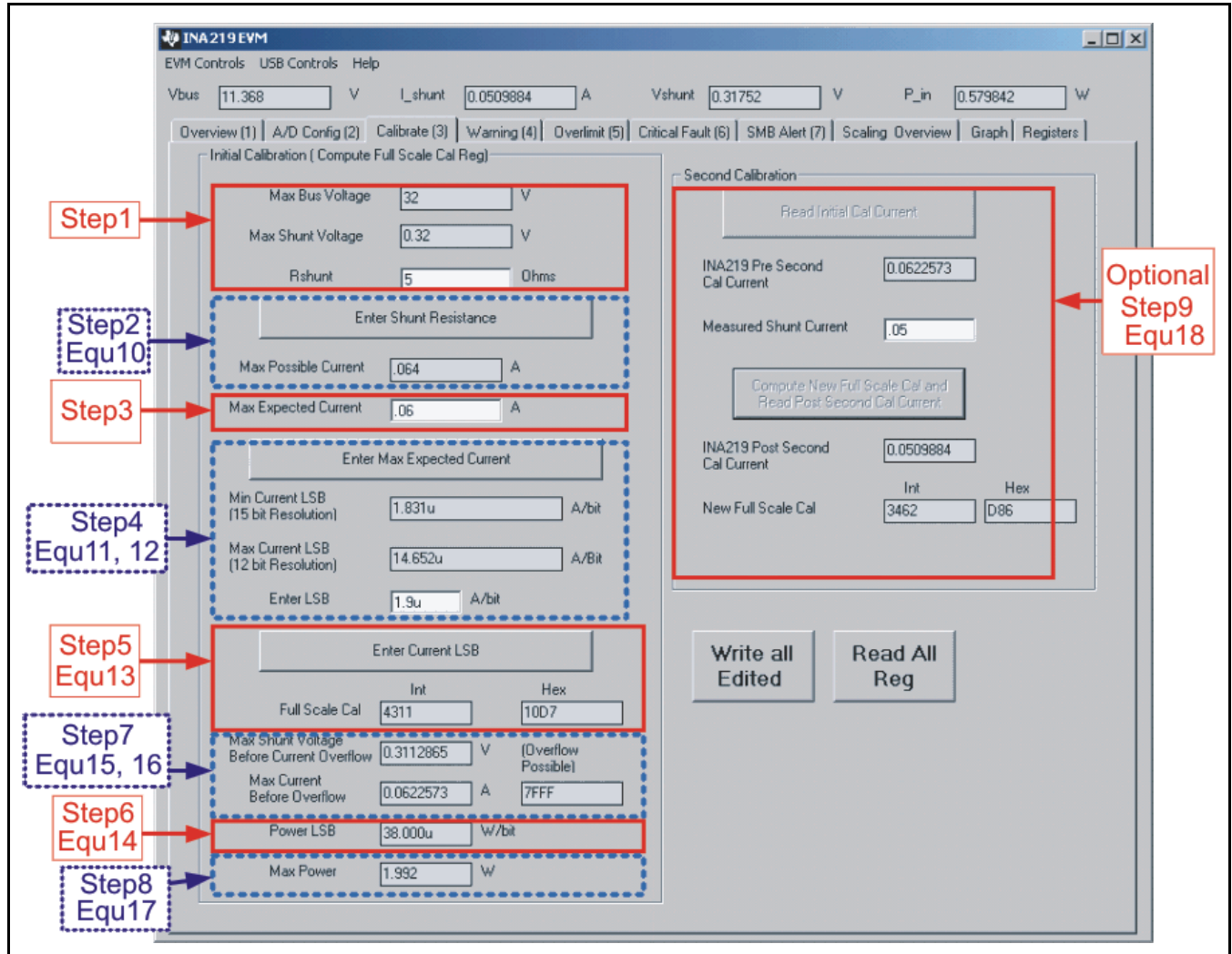


Figure 22. Calibration Software Automatically Computes Calibration Steps 1-9

REGISTER INFORMATION

The INA219 uses a bank of registers for holding configuration settings, measurement results, maximum/minimum limits, and status information. [Table 2](#) summarizes the INA219 registers; [Figure 12](#) illustrates registers.

Register contents are updated 4 μ s after completion of the write command. Therefore, a 4 μ s delay is required between completion of a write to a given register and a subsequent read of that register (without changing the pointer) when using SCL frequencies in excess of 1MHz.

Table 2. Summary of Register Set

POINTER ADDRESS	REGISTER NAME	FUNCTION	POWER-ON RESET		TYPE ⁽¹⁾
			BINARY	HEX	
00	Configuration Register	All-register reset, settings for bus voltage range, PGA Gain, ADC resolution/averaging.	00111001 10011111	399F	R/ \bar{W}
01	Shunt Voltage	Shunt voltage measurement data.	Shunt voltage	—	R
02	Bus Voltage	Bus voltage measurement data.	Bus voltage	—	R
03	Power ⁽²⁾	Power measurement data.	00000000 00000000	0000	R
04	Current ⁽²⁾	Contains the value of the current flowing through the shunt resistor.	00000000 00000000	0000	R
05	Calibration	Sets full-scale range and LSB of current and power measurements. Overall system calibration.	00000000 00000000	0000	R/ \bar{W}

(1) Type: R = Read-Only, R/ \bar{W} = Read/Write.

(2) The Power Register and Current Register default to '0' because the Calibration Register defaults to '0', yielding a zero current value until the Calibration Register is programmed.

REGISTER DETAILS

All INA219 registers 16-bit registers are actually two 8-bit bytes via the I²C interface.

Configuration Register 00h (Read/Write)

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	RST	—	BRNG	PG1	PG0	BADC4	BADC3	BADC2	BADC1	SADC4	SADC3	SADC2	SADC1	MODE3	MODE2	MODE1
POR VALUE	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1

Bit Descriptions

RST: **Reset Bit**

Bit 15 Setting this bit to '1' generates a system reset that is the same as power-on reset. Resets all registers to default values; this bit self-clears.

BRNG: **Bus Voltage Range**

Bit 13 0 = 16V FSR
1 = 32V FSR (default value)

PG: **PGA (Shunt Voltage Only)**

Bits 11, 12 Sets PGA gain and range. Note that the PGA defaults to ± 8 (320mV range). [Table 3](#) shows the gain and range for the various product gain settings.

Table 3. PG Bit Settings⁽¹⁾

PG1	PG0	GAIN	RANGE
0	0	1	$\pm 40\text{mV}$
0	1	$\div 2$	$\pm 80\text{mV}$
1	0	$\div 4$	$\pm 160\text{mV}$
1	1	$\div 8$	$\pm 320\text{mV}$

(1) Shaded values are default.

BADC: **BADC Bus ADC Resolution/Averaging**

Bits 7–10 These bits adjust the Bus ADC resolution (9-, 10-, 11-, or 12-bit) or set the number of samples used when averaging results for the Bus Voltage Register (02h).

SADC:
SADC Shunt ADC Resolution/Averaging

Bits 3–6

These bits adjust the Shunt ADC resolution (9-, 10-, 11-, or 12-bit) or set the number of samples used when averaging results for the Shunt Voltage Register (01h).

 BADC (Bus) and SADC (Shunt) ADC resolution/averaging and conversion time settings are shown in [Table 4](#).

Table 4. ADC Settings⁽¹⁾

ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	MODE/SAMPLES	CONVERSION TIME
0	X ⁽²⁾	0	0	9-bit	84µs
0	X ⁽²⁾	0	1	10-bit	148µs
0	X ⁽²⁾	1	0	11-bit	276µs
0	X ⁽²⁾	1	1	12-bit	532µs
1	0	0	0	12-bit	532µs
1	0	0	1	2	1.06ms
1	0	1	0	4	2.13ms
1	0	1	1	8	4.26ms
1	1	0	0	16	8.51ms
1	1	0	1	32	17.02ms
1	1	1	0	64	34.05ms
1	1	1	1	128	68.10ms

(1) Shaded values are default.

(2) X = Don't care.

MODE:
Operating Mode

Bits 0–2

 Selects continuous, triggered, or power-down mode of operation. These bits default to continuous shunt and bus measurement mode. The mode settings are shown in [Table 5](#).

Table 5. Mode Settings⁽¹⁾

MODE3	MODE2	MODE1	MODE
0	0	0	Power-Down
0	0	1	Shunt Voltage, Triggered
0	1	0	Bus Voltage, Triggered
0	1	1	Shunt and Bus, Triggered
1	0	0	ADC Off (disabled)
1	0	1	Shunt Voltage, Continuous
1	1	0	Bus Voltage, Continuous
1	1	1	Shunt and Bus, Continuous

(1) Shaded values are default.

DATA OUTPUT REGISTERS

Shunt Voltage Register 01h (Read-Only)

The Shunt Voltage Register stores the current shunt voltage reading, V_{SHUNT} . Shunt Voltage Register bits are shifted according to the PGA setting selected in the Configuration Register (00h). When multiple sign bits are present, they will all be the same value. Negative numbers are represented in two's complement format. Generate the two's complement of a negative number by complementing the absolute value binary number and adding 1. Extend the sign, denoting a negative number by setting the MSB = '1'. Extend the sign to any additional sign bits to form the 16-bit word.

Example: For a value of $V_{SHUNT} = -320\text{mV}$:

1. Take the absolute value (include accuracy to 0.01mV) ==> 320.00
2. Translate this number to a whole decimal number ==> 32000
3. Convert it to binary ==> 111 1101 0000 0000
4. Complement the binary result : 000 0010 1111 1111
5. Add 1 to the Complement to create the Two's Complement formatted result ==> 000 0011 0000 0000
6. Extend the sign and create the 16-bit word: 1000 0011 0000 0000 = 8300h (Remember to extend the sign to all sign-bits, as necessary based on the PGA setting.)

At PGA = ÷8, full-scale range = $\pm 320\text{mV}$ (decimal = 32000, positive value hex = 7D00, negative value hex = 8300), and LSB = $10\mu\text{V}$.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	SIGN	SD14_8	SD13_8	SD12_8	SD11_8	SD10_8	SD9_8	SD8_8	SD7_8	SD6_8	SD5_8	SD4_8	SD3_8	SD2_8	SD1_8	SD0_8
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

At PGA = ÷4, full-scale range = $\pm 160\text{mV}$ (decimal = 16000, positive value hex = 3E80, negative value hex = C180), and LSB = $10\mu\text{V}$.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	SIGN	SIGN	SD13_4	SD12_4	SD11_4	SD10_4	SD9_4	SD8_4	SD7_4	SD6_4	SD5_4	SD4_4	SD3_4	SD2_4	SD1_4	SD0_4
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

At PGA = ÷2, full-scale range = $\pm 80\text{mV}$ (decimal = 8000, positive value hex = 1F40, negative value hex = E0C0), and LSB = $10\mu\text{V}$.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	SIGN	SIGN	SIGN	SD12_2	SD11_2	SD10_2	SD9_2	SD8_2	SD7_2	SD6_2	SD5_2	SD4_2	SD3_2	SD2_2	SD1_2	SD0_2
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

At PGA = ÷1, full-scale range = $\pm 40\text{mV}$ (decimal = 4000, positive value hex = 0FA0, negative value hex = F060), and LSB = $10\mu\text{V}$.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	SIGN	SIGN	SIGN	SIGN	SD11_1	SD10_1	SD9_1	SD8_1	SD7_1	SD6_1	SD5_1	SD4_1	SD3_1	SD2_1	SD1_1	SD0_1
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 6. Shunt Voltage Register Format⁽¹⁾

V _{SHUNT} Reading (mV)	Decimal Value	PGA = ÷ 8 (D15.....D0)	PGA = ÷ 4 (D15.....D0)	PGA = ÷ 2 (D15.....D0)	PGA = ÷ 1 (D15.....D0)
320.02	32002	0111 1101 0000 0000	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
320.01	32001	0111 1101 0000 0000	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
320.00	32000	0111 1101 0000 0000	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
319.99	31999	0111 1100 1111 1111	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
319.98	31998	0111 1100 1111 1110	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
160.02	16002	0011 1110 1000 0010	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
160.01	16001	0011 1110 1000 0001	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
160.00	16000	0011 1110 1000 0000	0011 1110 1000 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
159.99	15999	0011 1110 0111 1111	0011 1110 0111 1111	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
159.98	15998	0011 1110 0111 1110	0011 1110 0111 1110	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
80.02	8002	0001 1111 0100 0010	0001 1111 0100 0010	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
80.01	8001	0001 1111 0100 0001	0001 1111 0100 0001	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
80.00	8000	0001 1111 0100 0000	0001 1111 0100 0000	0001 1111 0100 0000	0000 1111 1010 0000
79.99	7999	0001 1111 0011 1111	0001 1111 0011 1111	0001 1111 0011 1111	0000 1111 1010 0000
79.98	7998	0001 1111 0011 1110	0001 1111 0011 1110	0001 1111 0011 1110	0000 1111 1010 0000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
40.02	4002	0000 1111 1010 0010	0000 1111 1010 0010	0000 1111 1010 0010	0000 1111 1010 0000
40.01	4001	0000 1111 1010 0001	0000 1111 1010 0001	0000 1111 1010 0001	0000 1111 1010 0000
40.00	4000	0000 1111 1010 0000	0000 1111 1010 0000	0000 1111 1010 0000	0000 1111 1010 0000
39.99	3999	0000 1111 1001 1111	0000 1111 1001 1111	0000 1111 1001 1111	0000 1111 1001 1111
39.98	3998	0000 1111 1001 1110	0000 1111 1001 1110	0000 1111 1001 1110	0000 1111 1001 1110
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.02	2	0000 0000 0000 0010	0000 0000 0000 0010	0000 0000 0000 0010	0000 0000 0000 0010
0.01	1	0000 0000 0000 0001	0000 0000 0000 0001	0000 0000 0000 0001	0000 0000 0000 0001
0	0	0000 0000 0000 0000	0000 0000 0000 0000	0000 0000 0000 0000	0000 0000 0000 0000
-0.01	-1	1111 1111 1111 1111	1111 1111 1111 1111	1111 1111 1111 1111	1111 1111 1111 1111
-0.02	-2	1111 1111 1111 1110	1111 1111 1111 1110	1111 1111 1111 1110	1111 1111 1111 1110
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
-39.98	-3998	1111 0000 0110 0010	1111 0000 0110 0010	1111 0000 0110 0010	1111 0000 0110 0010
-39.99	-3999	1111 0000 0110 0001	1111 0000 0110 0001	1111 0000 0110 0001	1111 0000 0110 0001
-40.00	-4000	1111 0000 0110 0000	1111 0000 0110 0000	1111 0000 0110 0000	1111 0000 0110 0000
-40.01	-4001	1111 0000 0101 1111	1111 0000 0101 1111	1111 0000 0101 1111	1111 0000 0110 0000
-40.02	-4002	1111 0000 0101 1110	1111 0000 0101 1110	1111 0000 0101 1110	1111 0000 0110 0000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
-79.98	-7998	1110 0000 1100 0010	1110 0000 1100 0010	1110 0000 1100 0010	1111 0000 0110 0000
-79.99	-7999	1110 0000 1100 0001	1110 0000 1100 0001	1110 0000 1100 0001	1111 0000 0110 0000
-80.00	-8000	1110 0000 1100 0000	1110 0000 1100 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-80.01	-8001	1110 0000 1011 1111	1110 0000 1011 1111	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-80.02	-8002	1110 0000 1011 1110	1110 0000 1011 1110	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
-159.98	-15998	1100 0001 1000 0010	1100 0001 1000 0010	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-159.99	-15999	1100 0001 1000 0001	1100 0001 1000 0001	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-160.00	-16000	1100 0001 1000 0000	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-160.01	-16001	1100 0001 0111 1111	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-160.02	-16002	1100 0001 0111 1110	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
-319.98	-31998	1000 0011 0000 0010	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-319.99	-31999	1000 0011 0000 0001	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-320.00	-32000	1000 0011 0000 0000	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-320.01	-32001	1000 0011 0000 0000	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000
-320.02	-32002	1000 0011 0000 0000	1100 0001 1000 0000	1110 0000 1100 0000	1111 0000 0110 0000

(1) Out-of-range values are shown in grey shading.

Bus Voltage Register 02h (Read-Only)

The Bus Voltage Register stores the most recent bus voltage reading, V_{BUS} .

At full-scale range = 32V (decimal = 8000, hex = 1F40), and LSB = 4mV.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	BD12	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	CNVR	OVF
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

At full-scale range = 16V (decimal = 4000, hex = 0FA0), and LSB = 4mV.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	0	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	CNVR	OVF
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CNVR: Conversion Ready

Bit 1

Although the data from the last conversion can be read at any time, the INA219 Conversion Ready bit (CNVR) indicates when data from a conversion is available in the data output registers. The CNVR bit is set after all conversions, averaging, and multiplications are complete. CNVR will clear under the following conditions:

- 1.) Writing a new mode into the Operating Mode bits in the Configuration Register (except for Power-Down or Disable)
- 2.) Reading the Power Register

OVF: Math Overflow Flag

Bit 0

The Math Overflow Flag (OVF) is set when the Power or Current calculations are out of range. It indicates that current and power data may be meaningless.

Power Register 03h (Read-Only)

Full-scale range and LSB are set by the Calibration Register. See the [Programming the INA219 Power Measurement Engine](#) section.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	PD15	PD14	PD13	PD12	PD11	PD10	PD9	PD8	PD7	PD6	PD5	PD4	PD3	PD2	PD1	PD0
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

The Power Register records power in watts by multiplying the values of the current with the value of the bus voltage according to the equation:

$$\text{Power} = \frac{\text{Current} \times \text{BusVoltage}}{5000}$$

Current Register 04h (Read-Only)

Full-scale range and LSB depend on the value entered in the Calibration Register. See the [Programming the INA219 Power Measurement Engine](#) section. Negative values are stored in two's complement format.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	CSIGN	CD14	CD13	CD12	CD11	CD10	CD9	CD8	CD7	CD6	CD5	CD4	CD3	CD2	CD1	CD0
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

The value of the Current Register is calculated by multiplying the value in the Shunt Voltage Register with the value in the Calibration Register according to the equation:

$$\text{Current} = \frac{\text{ShuntVoltage} \times \text{Calibration Register}}{4096}$$

CALIBRATION REGISTER

Calibration Register 05h (Read/Write)

Current and power calibration are set by bits D15 to D1 of the Calibration Register. Note that bit D0 is not used in the calculation. This register sets the current that corresponds to a full-scale drop across the shunt. Full-scale range and the LSB of the current and power measurement depend on the value entered in this register. See the [Programming the INA219 Power Measurement Engine](#) section. This register is suitable for use in overall system calibration. Note that the '0' POR values are all default.

BIT #	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0 ⁽¹⁾
BIT NAME	FS15	FS14	FS13	FS12	FS11	FS10	FS9	FS8	FS7	FS6	FS5	FS4	FS3	FS2	FS1	FS0
POR VALUE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(1) D0 is a *void* bit and will always be '0'. It is not possible to write a '1' to D0. CALIBRATION is the value stored in D15:D1.

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
INA219AID	PREVIEW	SOIC	D	8	75	TBD	Call TI	Call TI
INA219AIDCNR	ACTIVE	SOT-23	DCN	8	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
INA219AIDCNRG4	ACTIVE	SOT-23	DCN	8	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
INA219AIDCNT	ACTIVE	SOT-23	DCN	8	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
INA219AIDCNTG4	ACTIVE	SOT-23	DCN	8	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR
INA219AIDR	PREVIEW	SOIC	D	8	2500	TBD	Call TI	Call TI

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSELETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

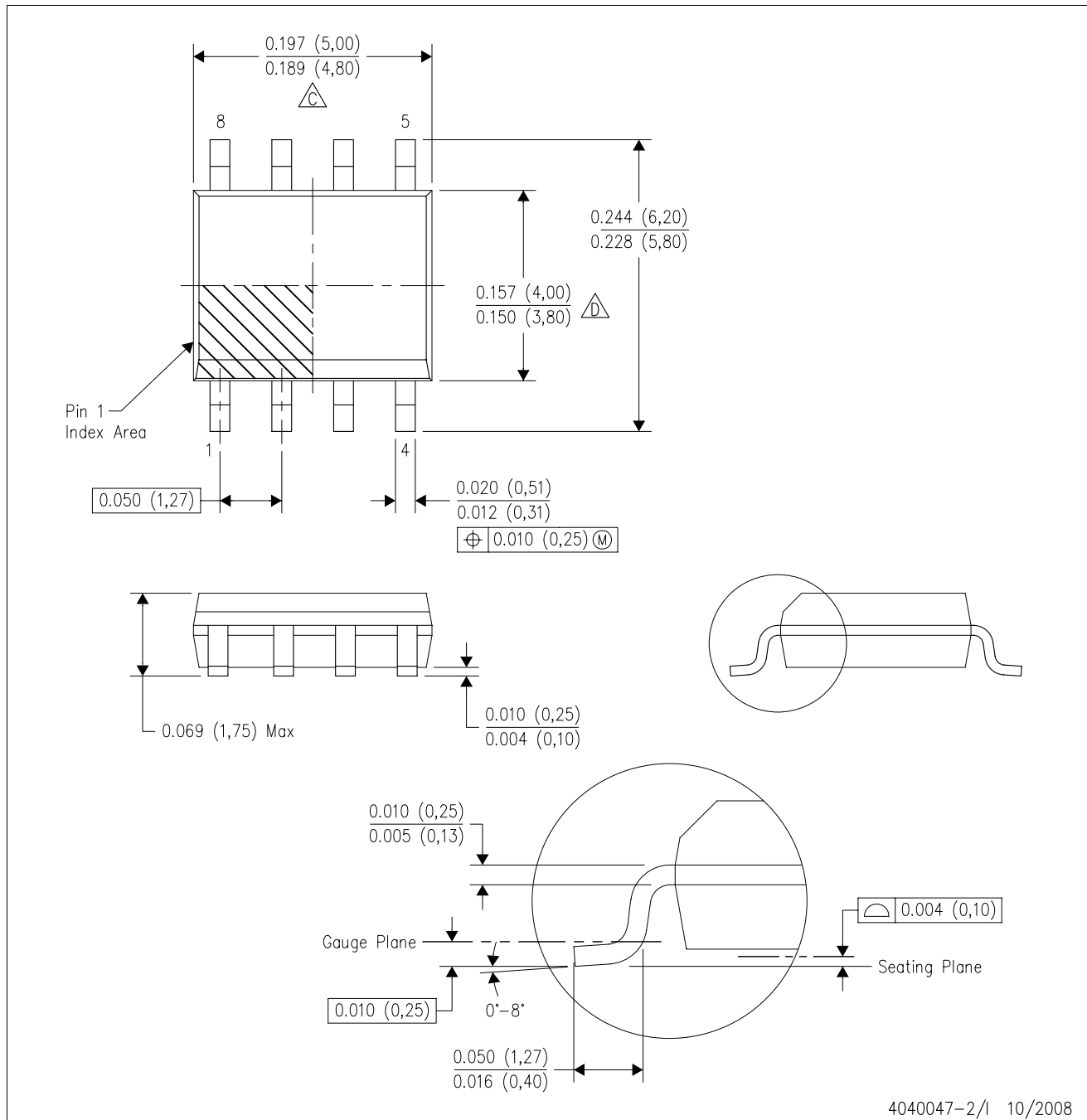
⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer:The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

D (R-PDSO-G8)

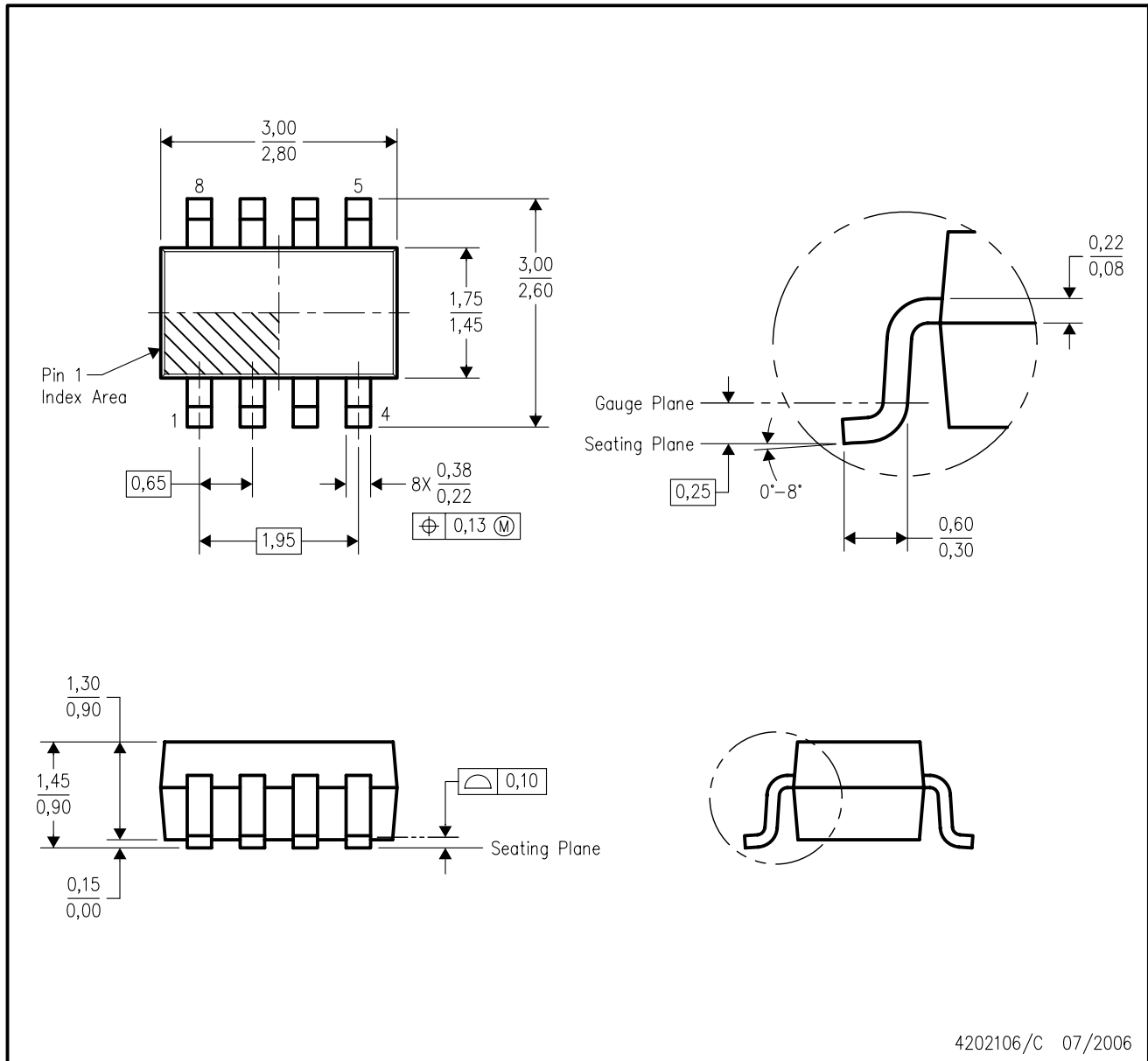
PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - $\triangle C$ Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed .006 (0,15) per end.
 - $\triangle D$ Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed .017 (0,43) per side.
 - E. Reference JEDEC MS-012 variation AA.

DCN (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE (DIE DOWN)



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Package outline exclusive of mold flash, metal burr & dambar protrusion/intrusion.
 - D. Package outline inclusive of solder plating.
 - E. A visual index feature must be located within the Pin 1 index area.
 - F. Falls within JEDEC MO-178 Variation BA.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

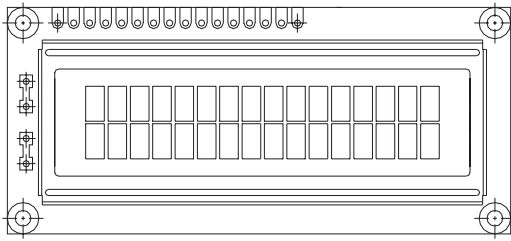
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
RF/IF and ZigBee® Solutions	www.ti.com/lpr

Applications

Audio	www.ti.com/audio
Automotive	www.ti.com/automotive
Broadband	www.ti.com/broadband
Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Medical	www.ti.com/medical
Military	www.ti.com/military
Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Security	www.ti.com/security
Telephony	www.ti.com/telephony
Video & Imaging	www.ti.com/video
Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2008, Texas Instruments Incorporated

16 x 2 Character LCD


FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

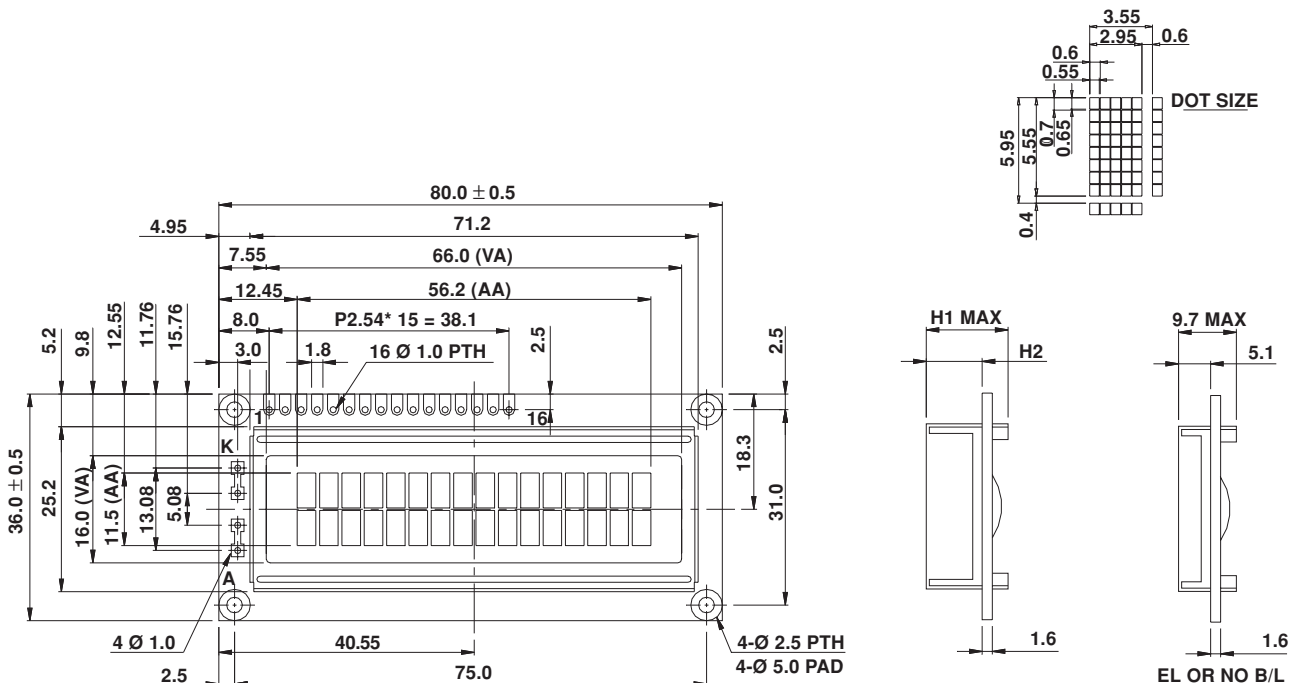
NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT	
			MIN.	TYP.	MAX.		
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V	
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V	
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20 °C	-	-	-	V	
		0°C	4.2	4.8	5.1		
		25°C	3.8	4.2	4.6		
		50°C	3.6	4.0	4.4		
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V	
LED Forward Current	IF	25°C	Array	-	130	260	mA
			Edge	-	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz	-	-	5.0	mA	

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:																
Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)

DIMENSIONS in millimeters



LED - H/L B/L		
	HIGH	LOW
H1	13.2	12.1
H2	8.6	7.5

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

Light Dependent Resistor - LDR

Two cadmium sulphide(cds) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.



Applications

Photoconductive cells are used in many different types of circuits and applications.

Analog Applications

- Camera Exposure Control
- Auto Slide Focus - dual cell
- Photocopy Machines - density of toner
- Colorimetric Test Equipment
- Densitometer
- Electronic Scales - dual cell
- Automatic Gain Control – modulated light source
- Automated Rear View Mirror

Digital Applications

- Automatic Headlight Dimmer
- Night Light Control
- Oil Burner Flame Out
- Street Light Control
- Absence / Presence (beam breaker)
- Position Sensor

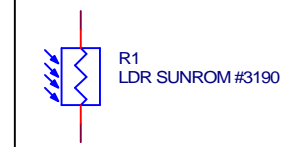
Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Cell resistance	1000 LUX	-	400	-	Ohm
	10 LUX	-	9	-	K Ohm
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise Time	1000 LUX	-	2.8	-	ms
	10 LUX	-	18	-	ms
Fall Time	1000 LUX	-	48	-	ms
	10 LUX	-	120	-	ms
Voltage AC/DC Peak		-	-	320	V max
Current		-	-	75	mA max
Power Dissipation				100	mW max
Operating Temperature		-60	-	+75	Deg. C

Guide to source illuminations

Light source Illumination	LUX
Moonlight	0.1
60W Bulb at 1m	50
1W MES Bulb at 0.1m	100
Fluorescent Lighting	500
Bright Sunlight	30,000

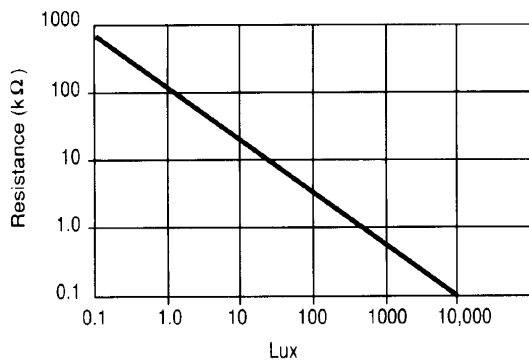
FIGURE 1 CIRCUIT SYMBOL



Sensitivity

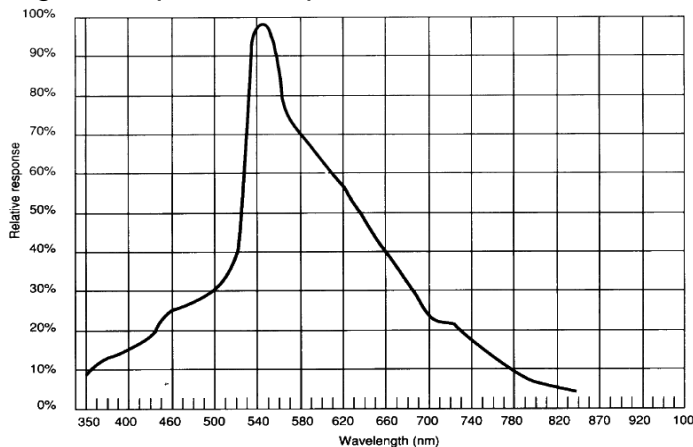
The sensitivity of a photodetector is the relationship between the light falling on the device and the resulting output signal. In the case of a photocell, one is dealing with the relationship between the incident light and the corresponding resistance of the cell.

FIGURE 2 RESISTANCE AS FUNCTION OF ILLUMINATION



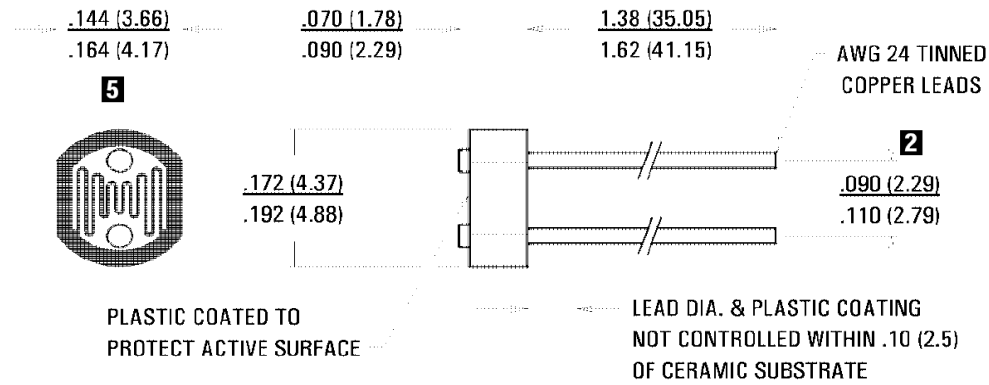
Spectral Response

Figure 3 Spectral response



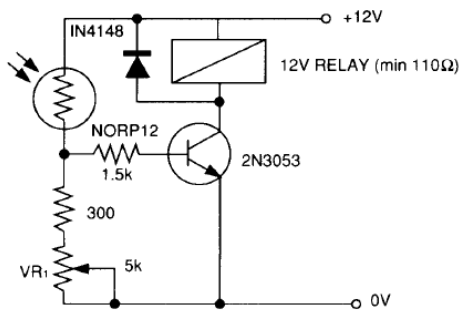
Like the human eye, the relative sensitivity of a photoconductive cell is dependent on the wavelength (color) of the incident light. Each photoconductor material type has its own unique spectral response curve or plot of the relative response of the photocell versus wavelength of light.

Dimensions



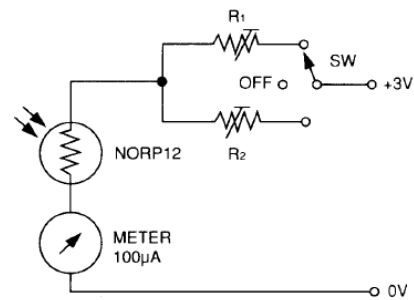
Typical Application Circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



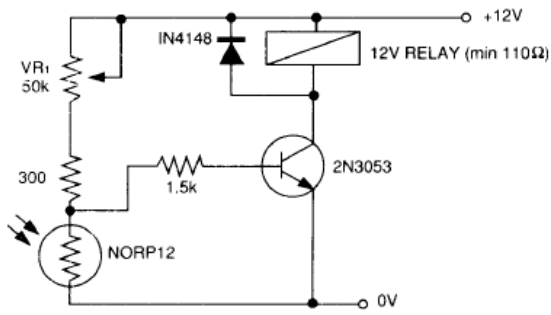
Relay energised when light level increases above the level set by VR₁

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



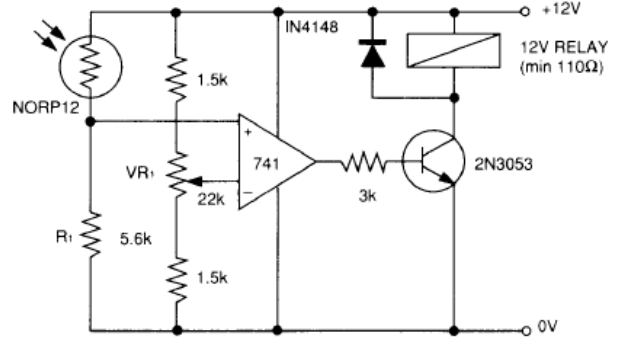
Typical value R¹ = 100kΩ
 R² = 200kΩ preset to give two overlapping ranges.
 (Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



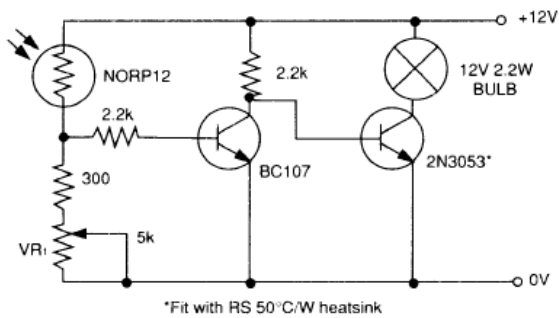
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR_1

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R_1 and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



*Fit with RS 50°C/W heatsink

FEATURES

- 3.3V, 5.0V, 12V, 15V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.23 to 37V +/- 4%. Maximum Over Line and Load Conditions
- Guaranteed 3.0A Output Current
- Wide Input Voltage Range
- Requires Only 4 External Components
- 150Khz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability, Low Power Standby Mode
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- Moisture Sensitivity Level(MSL) Equals1

Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down(Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter(Buck-Boost)
- Negative Step-Up Converters
- Power Supply for Battery Chargers

DESCRIPTION

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits ideally suited for easy and convenient design of a step-down switching regulator(buck converter).

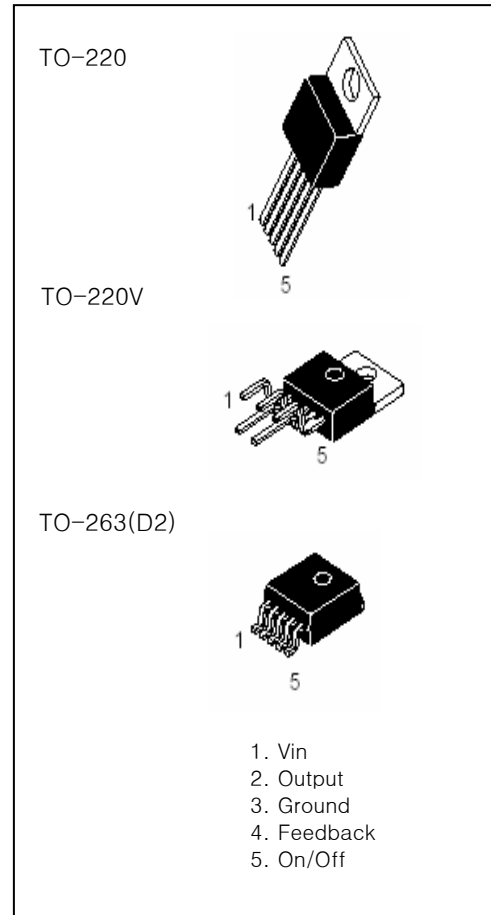
All circuits of this series are capable of driving a 3.0A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5.0V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

These regulators were designed to minimize the number of external components to simplify the power supply design. Standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are offered by several different inductor manufacturers.

Since the LM2596 converter is a switch-mode power supply, its efficiency is significantly higher in comparison with popular three-terminal linear regulators, especially with higher input voltages.

In many cases, the power dissipated is so low that no heatsink is required or its size could be reduced dramatically. A standard series of inductors optimized for use with the LM2596 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies. The LM2596 features include a guaranteed +/- 4% tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and +/-15% on the oscillator frequency (+/- 2% over 0oC to 125 oC).

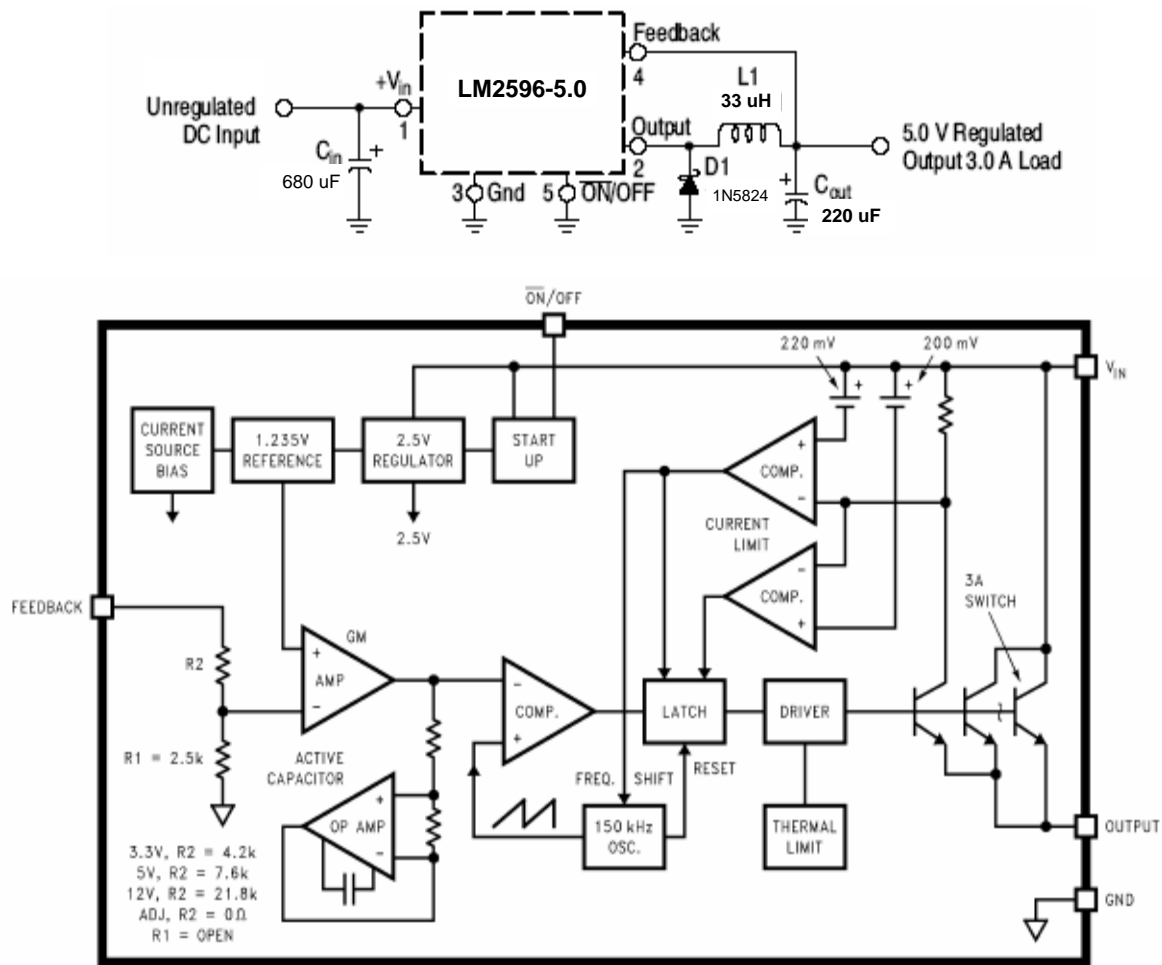
External shutdown is included, featuring 80 uA(typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.



ORDERING INFORMATION

Device	Marking	Package
LM2596T-X.X	LM2596T-X.X	TO-220
LM2596TV-X.X	LM2596T-X.X	TO-220V
LM2596R	LM2596R-X.X	TO-263

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Supply Voltage	V_{in}	45	V
$\overline{ON/OFF}$ Pin Input Voltage	-	$-0.3 \text{ V} \leq V \leq +V_{in}$	V
Output Voltage to Ground (Steady-State)	-	-1.0	V
Power Dissipation TO-220, 5-Lead Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-case	P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JC}$	Internally Limited 65 5.0	W $^{\circ}\text{C/W}$ $^{\circ}\text{C/W}$
TO-263 Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-case	P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JC}$	Internally Limited 70 5.0	W $^{\circ}\text{C/W}$ $^{\circ}\text{C/W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Minimum ESD Rating (Human Body Model: C = 100 pF, R = 1.5 k Ω)	-	2.0	kV
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	-	260	$^{\circ}\text{C}$
Maximum Junction Temperature	T_J	150	$^{\circ}\text{C}$

OPERATING RATINGS (Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to +125	°C
Supply Voltage	V_{in}	40	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS / SYSTEM PARAMETERS ([Note 1] Test Circuit Figure 2)

(Unless otherwise specified, $V_{in} = 12\text{ V}$ for the 3.3 V, 5.0 V, and Adjustable version, $V_{in} = 25\text{ V}$ for the 12 V version, and $V_{in} = 30\text{ V}$ for the 15 V version. $I_{Load} = 500\text{ mA}$. For typical values $T_J = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_J is the operating junction temperature range that applies [Note 2], unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
LM2596-3.3 ([Note 1]. Test Circuit Figure 2)					
Output Voltage ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 0.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	3.234	3.3	3.366	V
Output Voltage ($6.0\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{out}	3.168 3.135	3.3 -	3.432 3.465	V
Efficiency ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 3.0\text{ A}$)	η	-	73	-	%
LM2596-5.0 ([Note 1]. Test Circuit Figure 2)					
Output Voltage ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 0.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	4.9	5.0	5.1	V
Output Voltage ($8.0\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{out}	4.8 4.75	5.0 -	5.2 5.25	V
Efficiency ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 3.0\text{ A}$)	η	-	80	-	%
LM2596-12 ([Note 1]. Test Circuit Figure 2)					
Output Voltage ($V_{in} = 25\text{ V}$, $I_{Load} = 0.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	11.76	12	12.24	V
Output Voltage ($15\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{out}	11.52 11.4	12 -	12.48 12.6	V
Efficiency ($V_{in} = 15\text{ V}$, $I_{Load} = 3.0\text{ A}$)	η	-	90	-	%
LM2596-15 ([Note 1]. Test Circuit Figure 2)					
Output Voltage ($V_{in} = 30\text{ V}$, $I_{Load} = 0.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	14.7	15	15.3	V
Output Voltage ($18\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{out}	14.4 14.25	15 -	15.6 15.75	V
Efficiency ($V_{in} = 18\text{ V}$, $I_{Load} = 3.0\text{ A}$)	η	-	98	-	%
LM2596-ADJ ([Note 1]. Test Circuit Figure 2)					
Feedback Voltage ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 0.5\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	1.217	1.23	1.243	V
Feedback Voltage ($8.0\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{out}	1.193 1.18	1.23 -	1.267 1.28	V
Efficiency ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 3.0\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$)	η	-	73	-	%

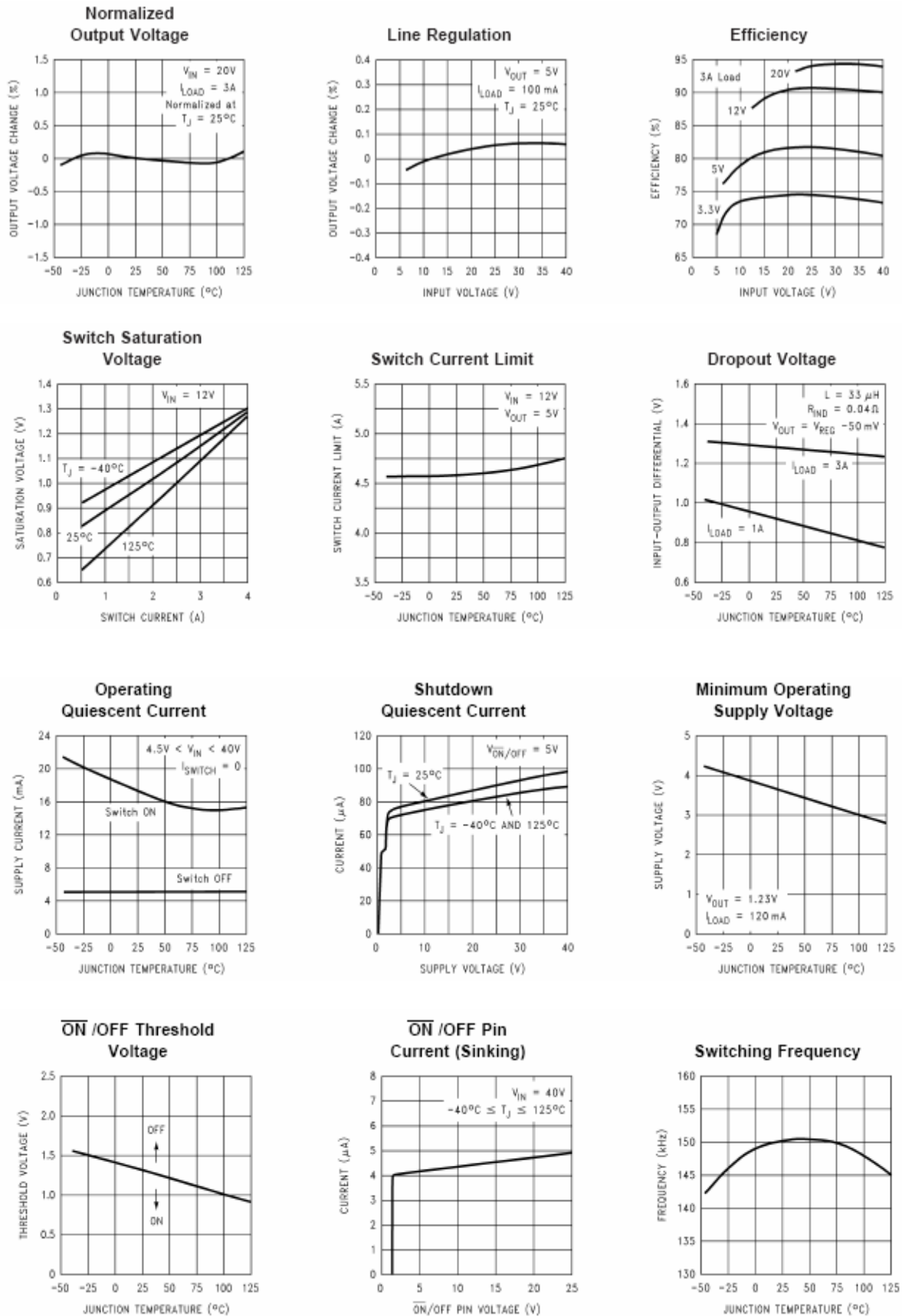
ELECTRICAL CHARACTERISTICS / Device Parameters

(Unless otherwise specified, $V_{in} = 12\text{ V}$ for the 3.3 V, 5.0 V, and Adjustable version, $V_{in} = 25\text{ V}$ for the 12 V version, and $V_{in} = 30\text{ V}$ for the 15 V version. $I_{Load} = 500\text{ mA}$. For typical values $T_J = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_J is the operating junction temperature range that applies [Note 2], unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS					
Feedback Bias Current ($V_{out} = 5.0\text{ V}$ [Adjustable Version Only]) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_b	– –	10 –	50 100	nA
Oscillator Frequency [Note 3] $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$	f_{osc}	127 110	150 – –	173 173	kHz
Saturation Voltage ($I_{out} = 3.0\text{ A}$ [Note 4]) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{sat}	– –	1.16 –	1.4 1.5	V
Max Duty Cycle (“on”) [Note 5]	DC	–	100	–	%
Current Limit (Peak Current [Notes 3 and 4]) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_{CL}	3.6 3.4	4.5 –	6.9 7.5	A
Output Leakage Current [Notes 6 and 7], $T_J = 25^\circ\text{C}$ Output = 0 V Output = –1.0 V	I_L	– –	– 2	50 30	mA
Quiescent Current [Note 6] $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_Q	– –	5 –	– 10	mA
Standby Quiescent Current (\overline{ON}/OFF Pin = 5.0 V (“off”)) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_{stby}	– –	80 –	200 250	μA
\overline{ON}/OFF Pin Logic Input Level (Test Circuit Figure 2.) $V_{out} = 0\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$ $V_{out} = \text{Nominal Output Voltage}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{IH}	–	1.3 –	0.6 0.6	V
	V_{IL}	2.0 2.0	1.3 –	– –	
\overline{ON}/OFF Pin Input Current (Test Circuit Figure 2.) $V_{Logic} = 2.5\text{ V}$ (Regulator OFF) $V_{Logic} = 0.5\text{ V}$ (Regulator ON)	I_{IH}	–	5	15	μA
	I_{IL}	–	0.02	5.0	

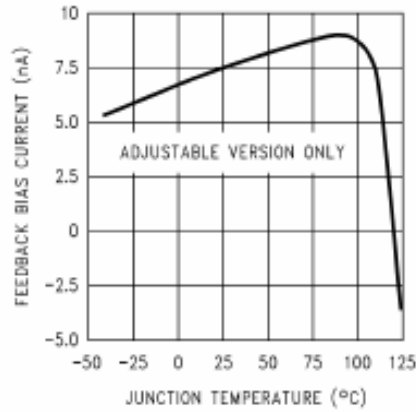
- External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance.
When the LM2596 is used as shown in the Figure 1 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section.
- Tested junction temperature range for the LM2596 : $T_{Low} = -0^\circ\text{C}$ $T_{High} = +125^\circ\text{C}$
- The oscillator frequency reduces to approximately 18 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.
- Output (Pin 2) sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output pin.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to 0 V.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to +12 V for the Adjustable, 3.3 V, and 5.0V versions, and +25 V for the 12 V and 15 V versions, to force the output transistor “off”.
- $V_{in} = 40\text{ V}$.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 2)



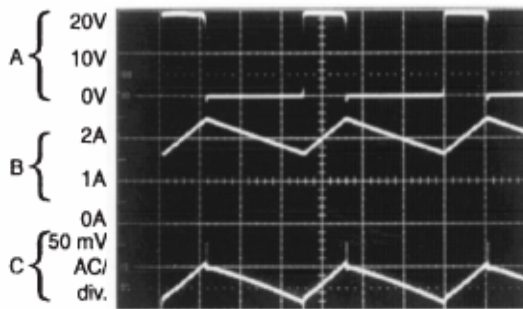
TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 2)

Feedback Pin Bias Current



Continuous Mode Switching Waveforms

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 2A$
 $L = 32 \mu H, C_{OUT} = 220 \mu F, C_{OUT} ESR = 50 m\Omega$

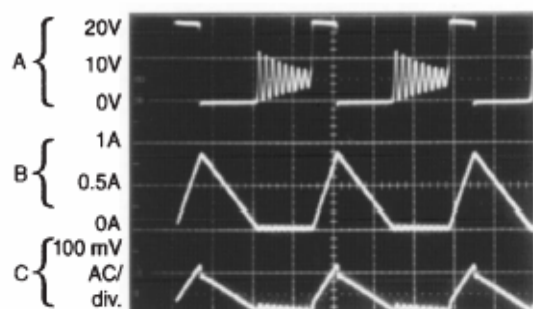


Horizontal Time Base: 2 $\mu s/div.$

A: Output Pin Voltage, 10V/div.
 B: Inductor Current 1A/div.
 C: Output Ripple Voltage, 50 mV/div.

Discontinuous Mode Switching Waveforms

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA$
 $L = 10 \mu H, C_{OUT} = 330 \mu F, C_{OUT} ESR = 45 m\Omega$

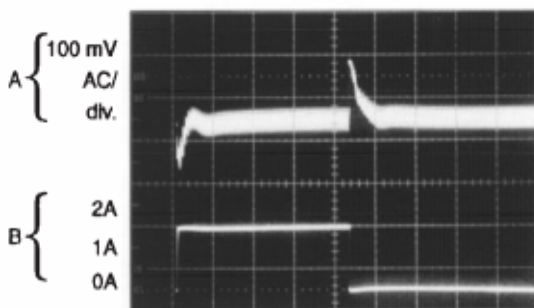


Horizontal Time Base: 2 $\mu s/div.$

A: Output Pin Voltage, 10V/div.
 B: Inductor Current 0.5A/div.
 C: Output Ripple Voltage, 100 mV/div.

Load Transient Response for Continuous Mode

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA \text{ to } 2A$
 $L = 32 \mu H, C_{OUT} = 220 \mu F, C_{OUT} ESR = 50 m\Omega$

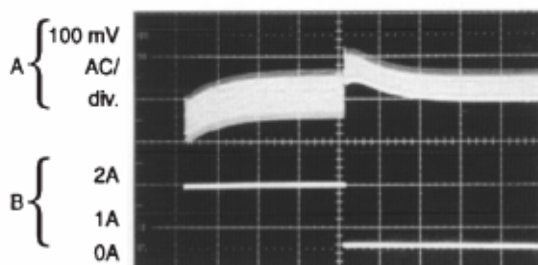


Horizontal Time Base: 100 $\mu s/div.$

A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC)
 B: 500 mA to 2A Load Pulse

Load Transient Response for Discontinuous Mode

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA \text{ to } 2A$
 $L = 10 \mu H, C_{OUT} = 330 \mu F, C_{OUT} ESR = 45 m\Omega$



Horizontal Time Base: 200 $\mu s/div.$

A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC)
 B: 500 mA to 2A Load Pulse

Test Circuit and Layout Guidelines

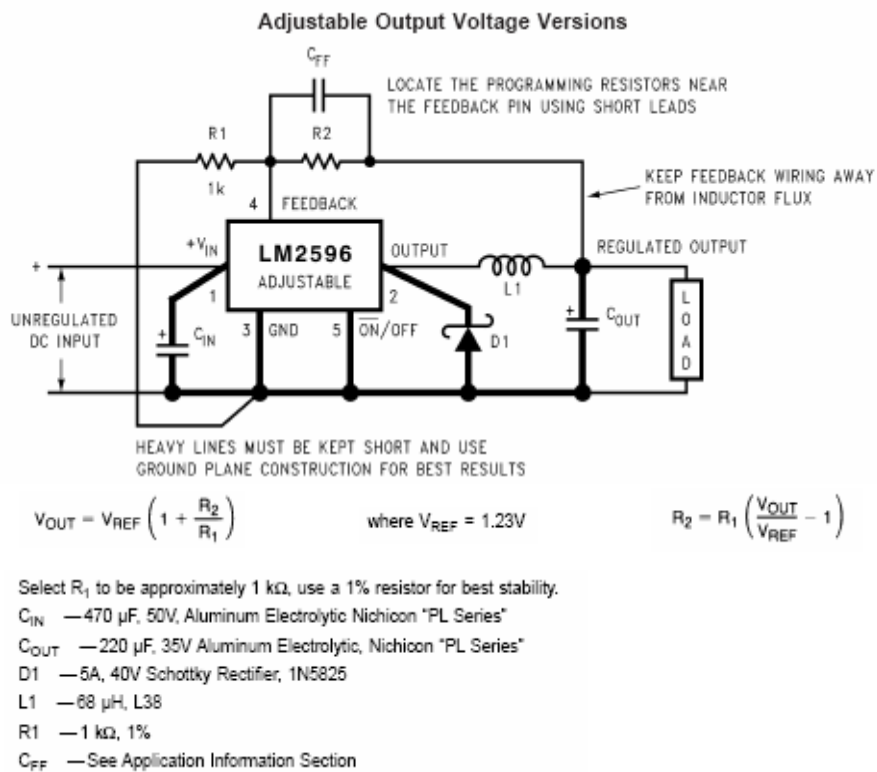
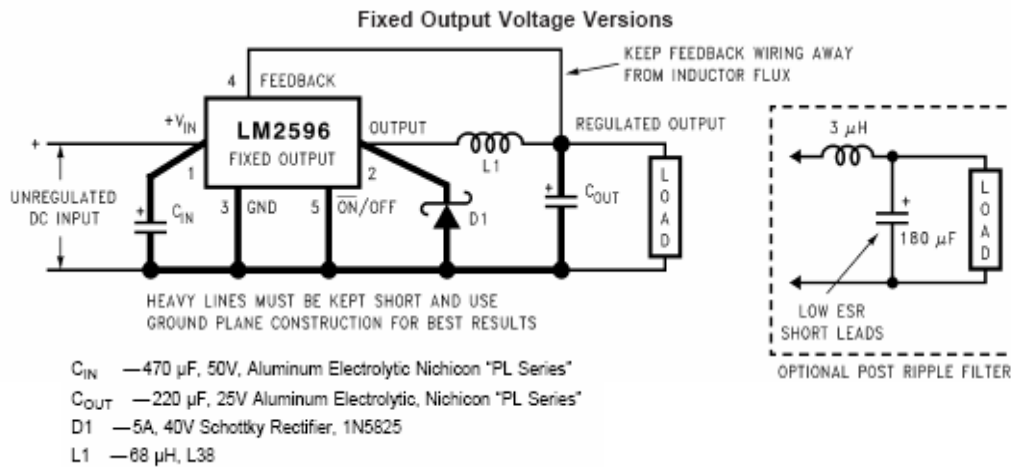


Figure 2. Typical Test Circuits and Layout Guide

As in any switching regulator, layout is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance can generate voltage transients which can cause problems. For minimal inductance and ground loops, the wires indicated by heavy lines should be wide printed circuit traces and should be kept as short as possible. For best results, external components should be located as close to the switcher IC as possible using ground plane construction or single point grounding.

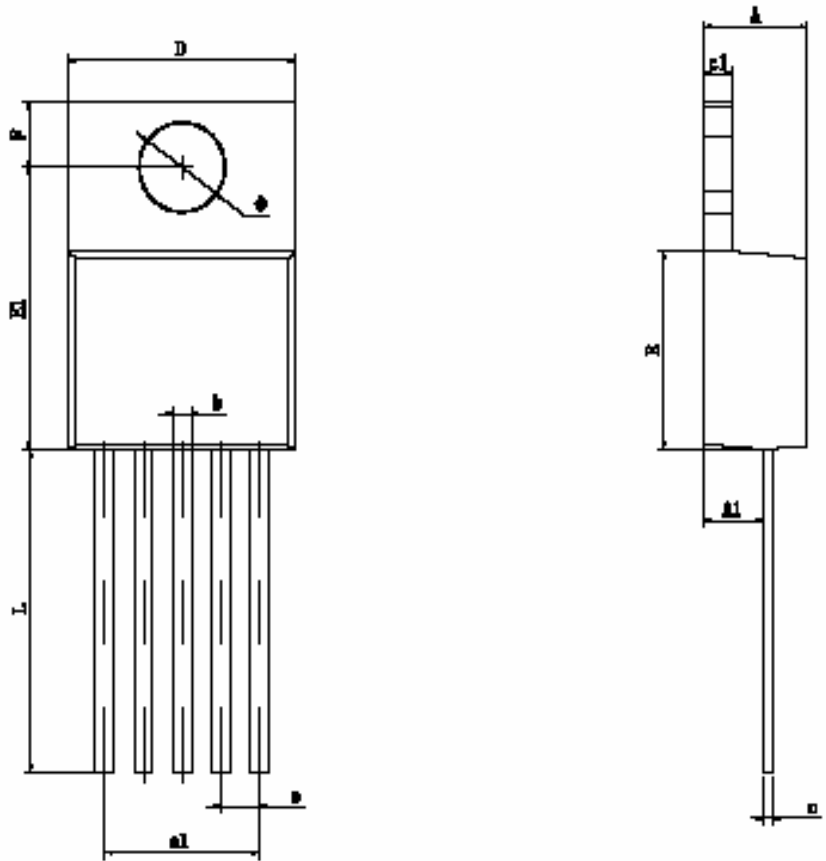
If open core inductors are used, special care must be taken as to the location and positioning of this type of inductor. Allowing the inductor flux to intersect sensitive feedback, IC groundpath and COUT wiring can cause problems.

When using the adjustable version, special care must be taken as to the location of the feedback resistors and the associated wiring. Physically locate both resistors near the IC, and route the wiring away from the inductor, especially an open core type of inductor.

PIN FUNCTION DESCRIPTION

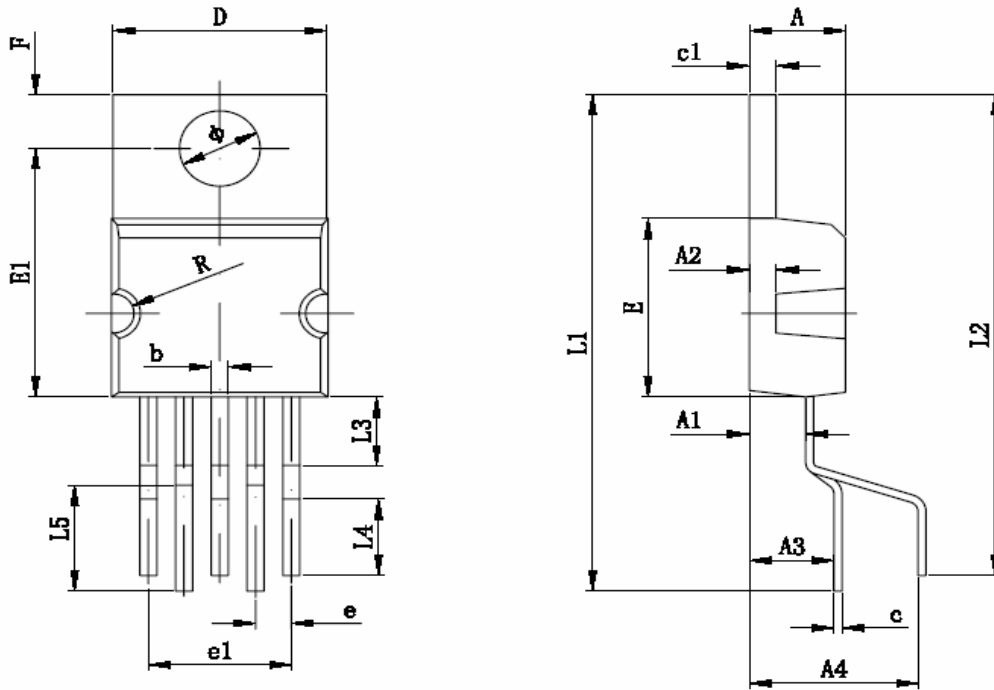
	Symbol	Description
1	V_{in}	This pin is the positive input supply for the LM2596 step-down switching regulator. In order to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator, a suitable input bypass capacitor must be present. (C_{in} in Figure 1).
2	Output	This is the emitter of the internal switch. The saturation voltage V_{sat} of this output switch is typically 1.5 V. It should be kept in mind that the PCB area connected to this pin should be kept to a minimum in order to minimize coupling to sensitive circuitry.
3	Gnd	Circuit ground pin. See the information about the printed circuit board layout.
4	Feedback	This pin senses regulated output voltage to complete the feedback loop. The signal is divided by the internal resistor divider network R2, R1 and applied to the non-inverting input of the internal error amplifier. In the Adjustable version of the LM2596 switching regulator this pin is the direct input of the error amplifier and the resistor network R2, R1 is connected externally to allow programming of the output voltage.
5	ON/OFF	It allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals, thus dropping the total input supply current to approximately 80 mA. The threshold voltage is typically 1.4 V. Applying a voltage above this value (up to $+V_{in}$) shuts the regulator off. If the voltage applied to this pin is lower than 1.4V or if this pin is left open, the regulator will be in the "on" condition

PACKAGES DIMENSION : TO220-5L



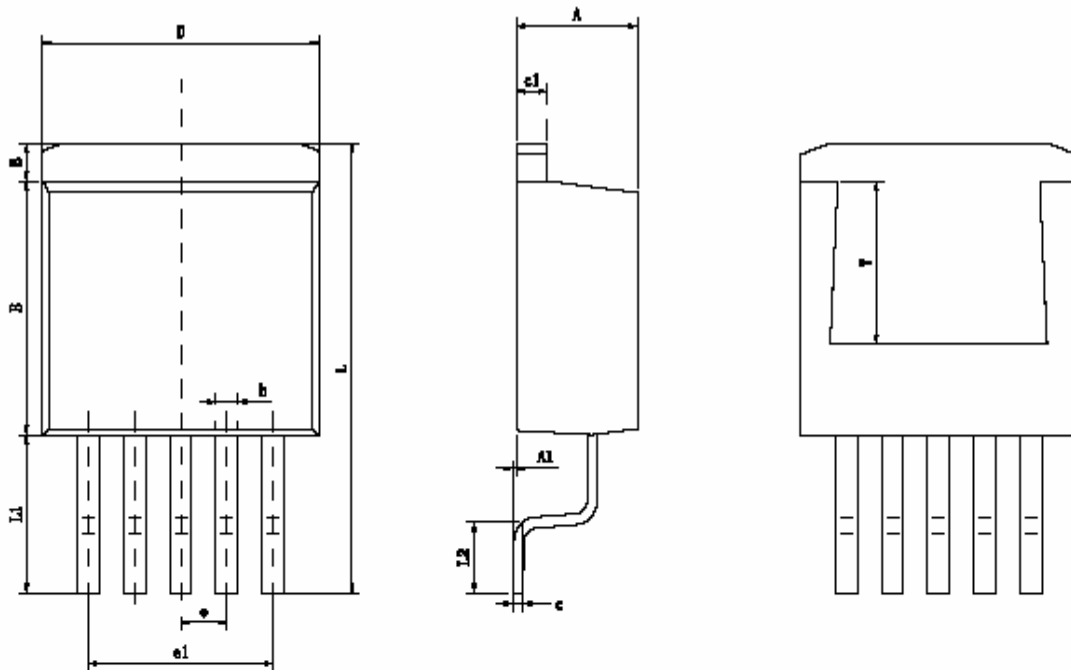
Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	4.470	4.670	0.176	0.184
A1	2.520	2.820	0.099	0.111
b	0.710	0.910	0.028	0.036
c	0.310	0.530	0.012	0.021
c1	1.170	1.370	0.046	0.054
D	9.850	10.150	0.388	0.400
E	8.200	8.600	0.323	0.339
E1	11.760	12.160	0.463	0.479
e	1.700TYP		0.067TYP	
e1	6.700	6.900	0.264	0.272
F	2.590	2.890	0.102	0.114
L	13.500	13.900	0.531	0.547
Φ	3.790	3.890	0.149	0.153

PACKAGES DIMENSION : TO220V-5L



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	4.470	4.670	0.176	0.184
A1	2.520	2.820	0.099	0.111
A2	1.170	1.370	0.046	0.054
A3	4.250	4.550	0.167	0.179
A4	8.250	8.550	0.325	0.337
b	0.710	0.910	0.028	0.036
c	0.310	0.530	0.012	0.021
c1	1.170	1.370	0.046	0.054
D	10.010	10.310	0.394	0.406
E	8.900	9.300	0.350	0.366
E1	12.460	12.860	0.491	0.506
e	1.700TYP		0.220TYP	
e1	6.700	6.900	0.264	0.272
e2	3.300	3.500	0.130	0.138
F	2.590	2.890	0.102	0.114
L1	25.100	25.500	0.988	1.004
L2	24.300	24.700	0.957	0.972
L3	3.400	3.600	0.134	0.142
L4	3.800	4.000	0.150	0.157
L5	5.300	5.500	0.209	0.217
R	0.950	1.050	0.037	0.041
Φ	3.790	3.890	0.149	0.153

PACKAGES DIMENSION : TO263-5L



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	4.470	4.670	0.176	0.184
A1	0.000	0.150	0.000	0.006
B	1.560	1.760	0.061	0.069
b	0.710	0.910	0.028	0.036
c	0.310	0.530	0.012	0.021
c1	1.170	1.370	0.046	0.054
D	9.880	10.180	0.389	0.401
E	8.200	8.600	0.323	0.339
e	1.700TYP		0.067TYP	
e1	6.700	6.900	0.264	0.272
L	15.140	15.540	0.596	0.612
L1	5.080	5.480	0.200	0.216
L2	2.340	2.740	0.092	0.108
V	5.600REF		0.220REF	

User Guide

2 Channel 5V Optical Isolated Relay Module

This is a LOW Level 5V 2-channel relay interface board, and each channel needs a 15-20mA driver current. It can be used to control various appliances and equipment with large current. It is equipped with high-current relays that work under AC250V 10A or DC30V 10A. It has a standard interface that can be controlled directly by microcontroller. This module is optically isolated from high voltage side for safety requirement and also prevent ground loop when interface to microcontroller.



Brief Data:

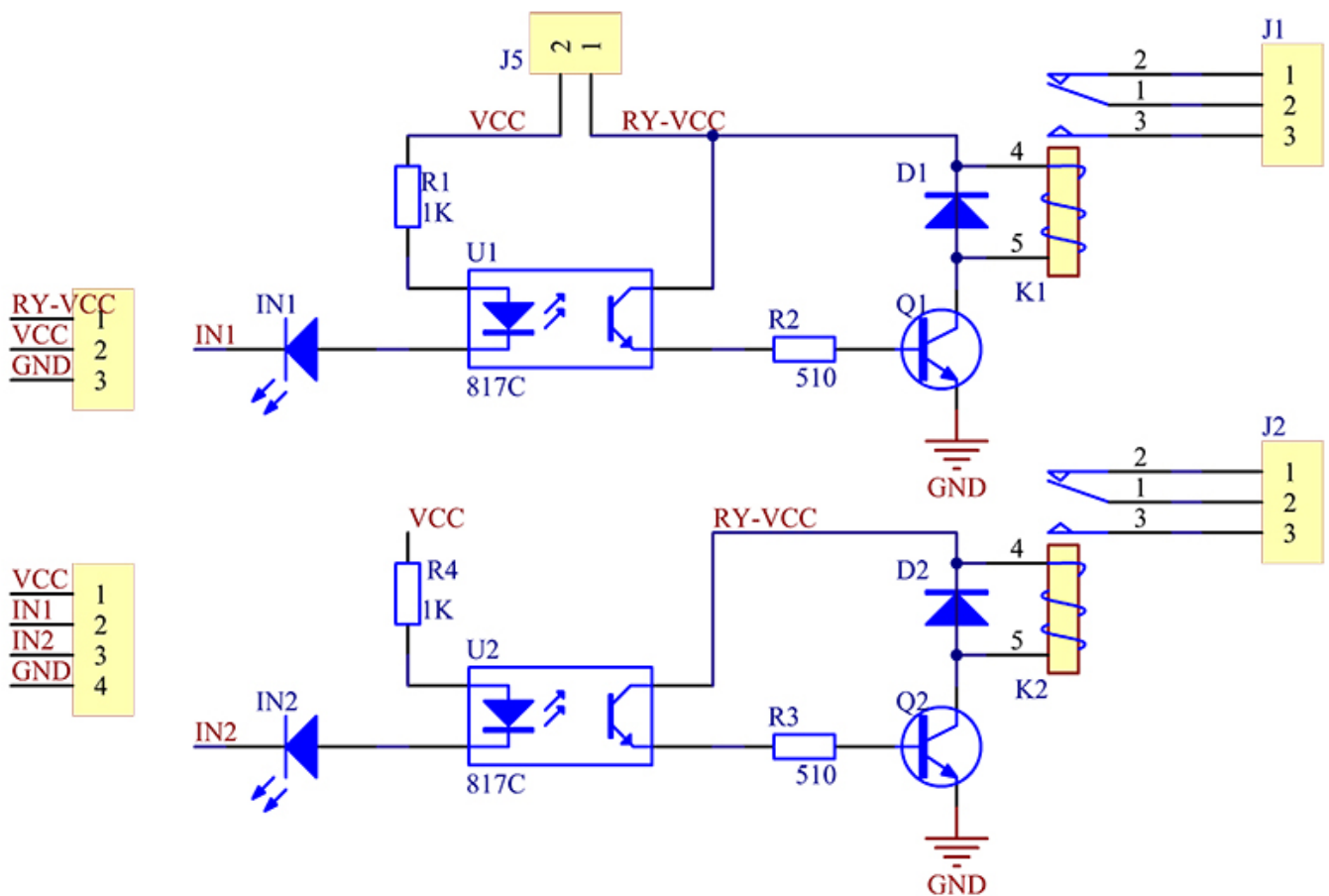
- Relay Maximum output: DC 30V/10A, AC 250V/10A.
- 2 Channel Relay Module with Opto-coupler. LOW Level Trigger expansion board, which is compatible with Arduino control board.
- Standard interface that can be controlled directly by microcontroller (8051, AVR, *PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic).
- Relay of high quality low noise relays SPDT. A common terminal, a normally open, one normally closed terminal.
- Opto-Coupler isolation, for high voltage safety and prevent ground loop with microcontroller.

Schematic:

VCC and RY-VCC are also the power supply of the relay module. When you need to drive a large power load, you can take the jumper cap off and connect an extra power to RY-VCC to supply the relay; connect VCC to 5V of the MCU board to supply input signals.

NOTES: If you want complete optical isolation, connect "Vcc" to Arduino +5 volts but do NOT connect Arduino Ground. Remove the Vcc to JD-Vcc jumper. Connect a separate +5 supply to "JD-Vcc" and board Gnd. This will supply power to the transistor drivers and relay coils.

If relay isolation is enough for your application, connect Arduino +5 and Gnd, and leave Vcc to JD-Vcc jumper in place.

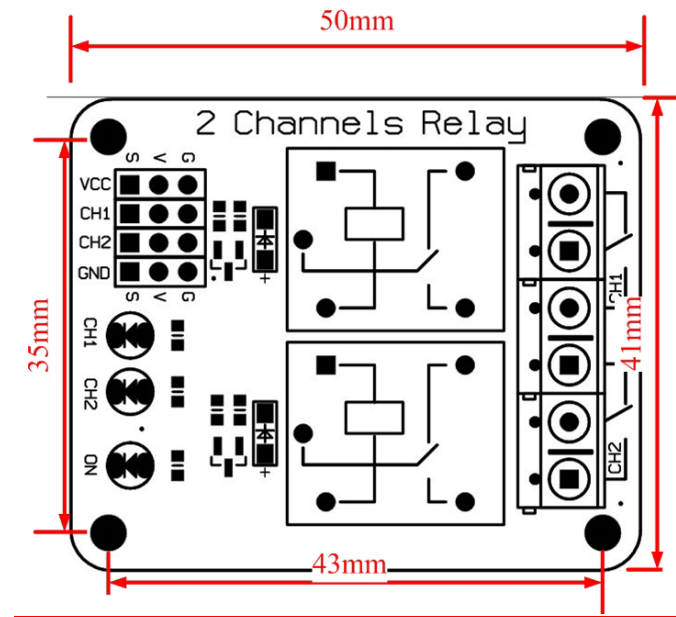


It is sometimes possible to use this relay boards with 3.3V signals, if the JD-VCC (Relay Power) is provided from a +5V supply and the VCC to JD-VCC jumper is removed. That 5V relay supply could be totally isolated from the 3.3V device, or have a common ground if opto-isolation is not needed. If used with isolated 3.3V signals, VCC (To the input of the opto-isolator, next to the IN pins) should be connected to the 3.3V device's +3.3V supply.

NOTE: Some Raspberry-Pi users have found that some relays are reliable and others do not actuate sometimes. It may be necessary to change the value of R1 from 1000 ohms to something like 220 ohms, or supply +5V to the VCC connection.

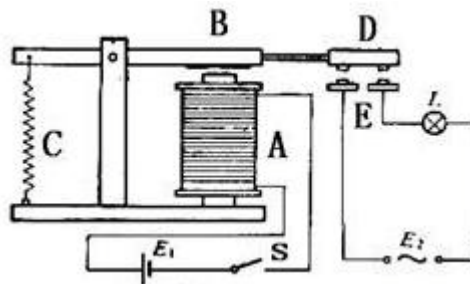
NOTE: The digital inputs from Arduino are Active LOW: The relay actuates and LED lights when the input pin is LOW, and turns off on HIGH.

Module Layout:



Operating Principle:

See the picture below: A is an electromagnet, B armature, C spring, D moving contact, and E fixed contacts. There are two fixed contacts, a normally closed one and a normally open one. When the coil is not energized, the normally open contact is the one that is off, while the normally closed one is the other that is on.



Supply voltage to the coil and some currents will pass through the coil thus generating the electromagnetic effect. So the armature overcomes the tension of the spring and is attracted to the core, thus closing the moving contact of the armature and the normally open (NO) contact or you may say releasing the former and the normally closed (NC) contact. After the coil is de-energized, the electromagnetic force disappears and the armature moves back to the original position, releasing the moving contact and normally closed contact. The closing and releasing of the contacts results in power on and off of the circuit.

Input:

VCC : Connected to positive supply voltage (supply power according to relay voltage)

GND : Connected to supply ground.

IN1: Signal triggering terminal 1 of relay module

IN2: Signal triggering terminal 2 of relay module

Output:

Each module of the relay has one NC (normally close), one NO (normally open) and one COM (Common) terminal. So there are 2 NC, 2 NO and 2 COM of the channel relay in total. NC stands for the normal close port contact and the state without power. NO stands for the normal open port contact and the state with power. COM means the common port. You can choose NC port or NO port according to whether power or not.

Testing Setup:

When a low level is supplied to signal terminal of the 2-channel relay, the LED at the output terminal will light up. Otherwise, it will turn off. If a periodic high and low level is supplied to the signal terminal, you can see the LED will cycle between on and off.

For Arduino:

Step 1:

Connect the signal terminal IN1、IN2 of 2-channel relay to digital pin 4 & 5 of the Arduino Uno or ATmega2560 board, and connect an LED at the output terminal.

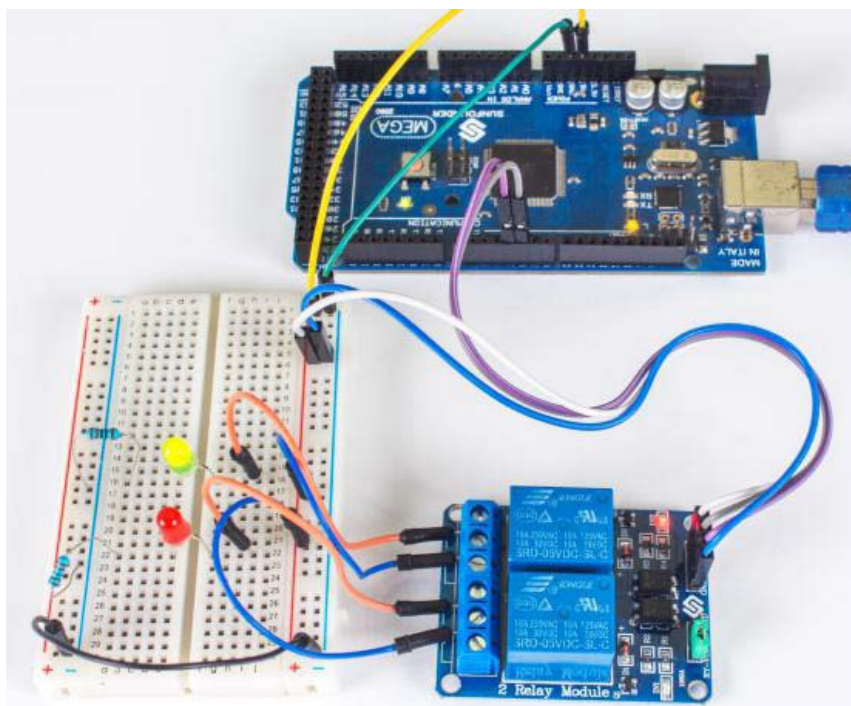
IN1> 4

IN2> 5

Step 2:

Upload the sketch "text_code" to the Arduino Uno or ATmega2560 board. Then you can see the LED cycle between on and off.

The actual figure is shown below:



For raspberry Pi:

Step1:

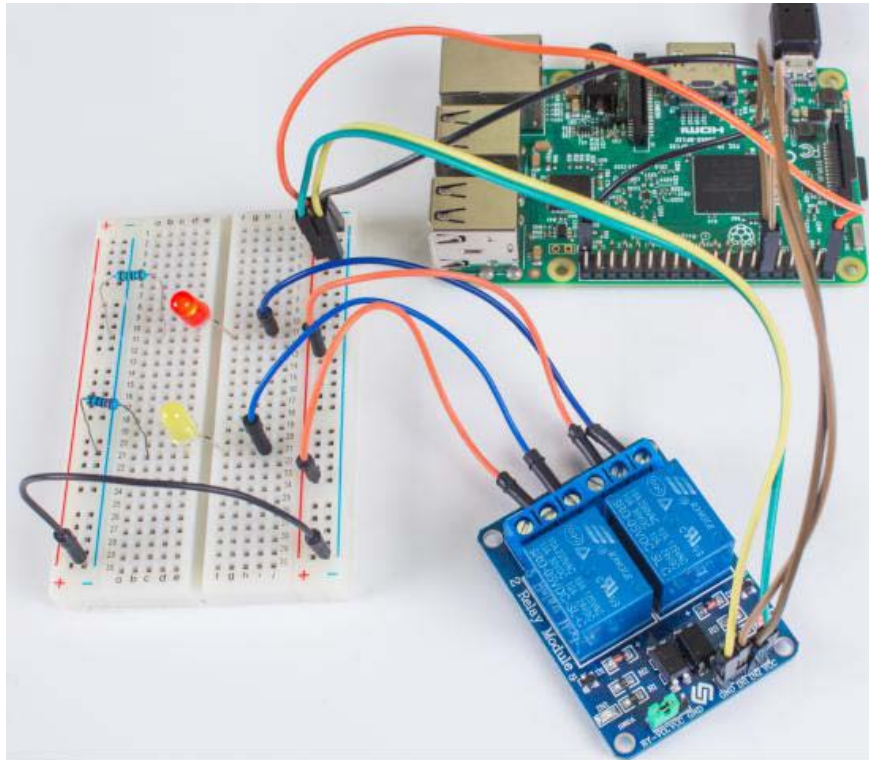
Connect the signal terminal IN2、 IN1 of 2-channel relay to port 17、 18 of the Raspberry Pi, and connect an LED at the output terminal.

IN2 > 17

IN1 > 18

Step 2:

Run the “test_code”. Then you can see the LED cycle between on and off.



Sketch for Arduino:

```
/*
Name: _2_channel_relay
Description: control the 2 channel relay module to ON or OFF
Website: www.handsontec.com
Email: techsupport@handsontec.com
*/

//the relays connect to
int IN1 = 4;
int IN2 = 5;

#define ON 0
#define OFF 1

void setup()
{
  relay_init();//initialize the relay
}

void loop() {
  relay_SetStatus(ON, OFF);//turn on RELAY_1
}
```

```

delay(2000);//delay 2s
relay_SetStatus(OFF, ON);//turn on RELAY_2
delay(2000);//delay 2s
}
void relay_init(void)//initialize the relay
{
    //set all the relays OUTPUT
    pinMode(IN1, OUTPUT);
    pinMode(IN2, OUTPUT);
    relay_SetStatus(OFF, OFF); //turn off all the relay
}
//set the status of relays
void relay_SetStatus( unsigned char status_1, unsigned char status_2)
{
    digitalWrite(IN1, status_1);
    digitalWrite(IN2, status_2);
}

```

Code for Raspberry Pi:

```

#!/usr/bin/env python
'''
*****
* Filename      : 2_channel_relay.py
* Description   : a sample script for 2-Channel High trigger Relay
* E-mail       : techsupport@handsontec.com
* Website      : www.handsontec.com
* Detail       : New file
*****
'''
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep

Relay_channel = [17, 18]

def setup():
    GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
    GPIO.setup(Relay_channel, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)
    print "|=====|"
    print "|          2-Channel High trigger Relay Sample          |"
    print "|-----|"
    print "|          Turn 2 channels on off in orders          |"
    print "|          17 ==> IN2          |"
    print "|          18 ==> IN1          |"
    print "|=====|"

def main():
    while True:
        for i in range(0, len(Relay_channel)):
            print '...Relay channel %d on' % i+1
            GPIO.output(Relay_channel[i], GPIO.HIGH)
            sleep(0.5)
            print '...Relay channel %d off' % i+1
            GPIO.output(Relay_channel[i], GPIO.LOW)
            sleep(0.5)

def destroy():
    GPIO.output(Relay_channel, GPIO.LOW)
    GPIO.cleanup()

```

```
if __name__ == '__main__':  
    setup()  
    try:  
        main()  
    except KeyboardInterrupt:  
        destroy()
```

User Guide

4 Channel 5V Optical Isolated Relay Module

This is a LOW Level 5V 4-channel relay interface board, and each channel needs a 15-20mA driver current. It can be used to control various appliances and equipment with large current. It is equipped with high-current relays that work under AC250V 10A or DC30V 10A. It has a standard interface that can be controlled directly by microcontroller. This module is optically isolated from high voltage side for safety requirement and also prevent ground loop when interface to microcontroller.



Brief Data:

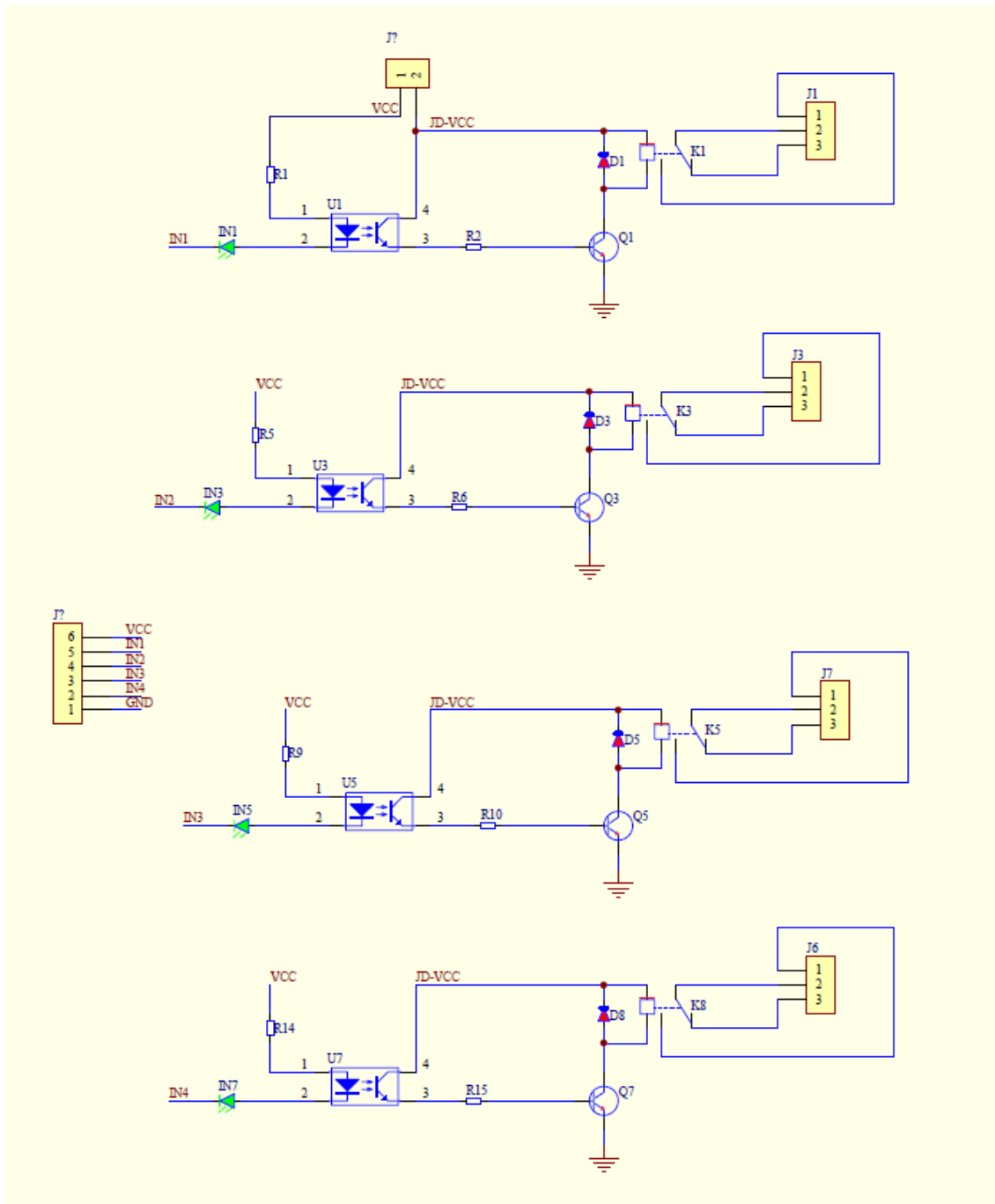
- Relay Maximum output: DC 30V/10A, AC 250V/10A.
- 4 Channel Relay Module with Opto-coupler. LOW Level Trigger expansion board, which is compatible with Arduino control board.
- Standard interface that can be controlled directly by microcontroller (8051, AVR, *PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic).
- Relay of high quality low noise relays SPDT. A common terminal, a normally open, one normally closed terminal.
- Opto-Coupler isolation, for high voltage safety and prevent ground loop with microcontroller.

Schematic:

VCC and RY-VCC are also the power supply of the relay module. When you need to drive a large power load, you can take the jumper cap off and connect an extra power to RY-VCC to supply the relay; connect VCC to 5V of the MCU board to supply input signals.

NOTES: If you want complete optical isolation, connect "Vcc" to Arduino +5 volts but do NOT connect Arduino Ground. Remove the Vcc to JD-Vcc jumper. Connect a separate +5 supply to "JD-Vcc" and board Gnd. This will supply power to the transistor drivers and relay coils.

If relay isolation is enough for your application, connect Arduino +5 and Gnd, and leave Vcc to JD-Vcc jumper in place.



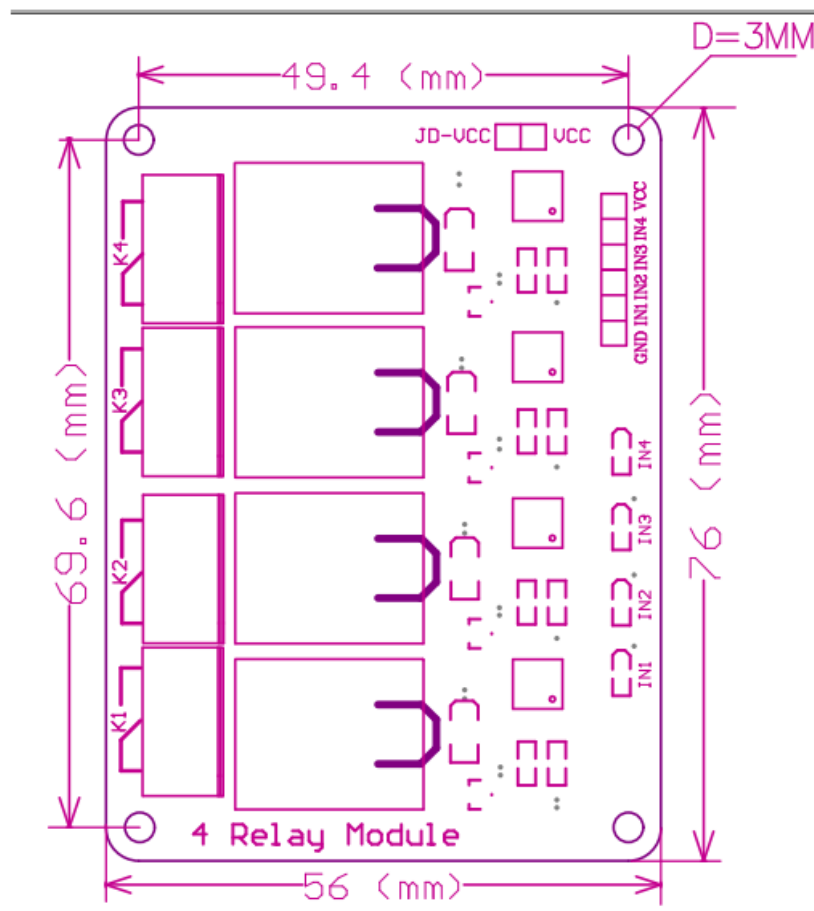
4 Channel Relay Module Schematic

It is sometimes possible to use this relay boards with 3.3V signals, if the JD-VCC (Relay Power) is provided from a +5V supply and the VCC to JD-VCC jumper is removed. That 5V relay supply could be totally isolated from the 3.3V device, or have a common ground if opto-isolation is not needed. If used with isolated 3.3V signals, VCC (To the input of the opto-isolator, next to the IN pins) should be connected to the 3.3V device's +3.3V supply.

NOTE: Some Raspberry-Pi users have found that some relays are reliable and others do not actuate sometimes. It may be necessary to change the value of R1 from 1000 ohms to something like 220 ohms, or supply +5V to the VCC connection.

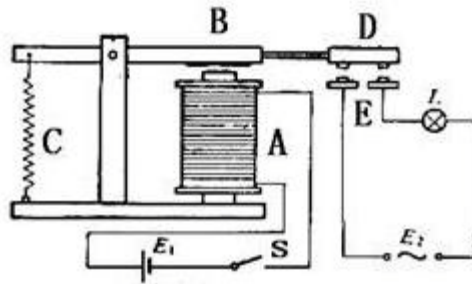
NOTE: The digital inputs from Arduino are Active LOW: The relay actuates and LED lights when the input pin is LOW, and turns off on HIGH.

Module Layout:



Operating Principle:

See the picture below: A is an electromagnet, B armature, C spring, D moving contact, and E fixed contacts. There are two fixed contacts, a normally closed one and a normally open one. When the coil is not energized, the normally open contact is the one that is off, while the normally closed one is the other that is on.



Supply voltage to the coil and some currents will pass through the coil thus generating the electromagnetic effect. So the armature overcomes the tension of the spring and is attracted to the core, thus closing the moving contact of the armature and the normally open (NO) contact or you may say releasing the former and the normally closed (NC) contact. After the coil is de-energized, the electromagnetic force disappears and the armature moves back to the original position, releasing the moving contact and normally closed contact. The closing and releasing of the contacts results in power on and off of the circuit.

Input:

VCC : Connected to positive supply voltage (supply power according to relay voltage)

GND : Connected to supply ground.

IN1: Signal triggering terminal 1 of relay module

IN2: Signal triggering terminal 2 of relay module

IN3: Signal triggering terminal 3 of relay module

IN4: Signal triggering terminal 4 of relay module

Output:

Each module of the relay has one NC (normally close), one NO (normally open) and one COM (Common) terminal. So there are 4 NC, 4 NO and 4 COM of the channel relay in total. NC stands for the normal close port contact and the state without power. NO stands for the normal open port contact and the state with power. COM means the common port. You can choose NC port or NO port according to whether power or not.

Testing Setup:

When a low level is supplied to signal terminal of the 4-channel relay, the LED at the output terminal will light up. Otherwise, it will turn off. If a periodic high and low level is supplied to the signal terminal, you can see the LED will cycle between on and off.

For Arduino:

Step 1:

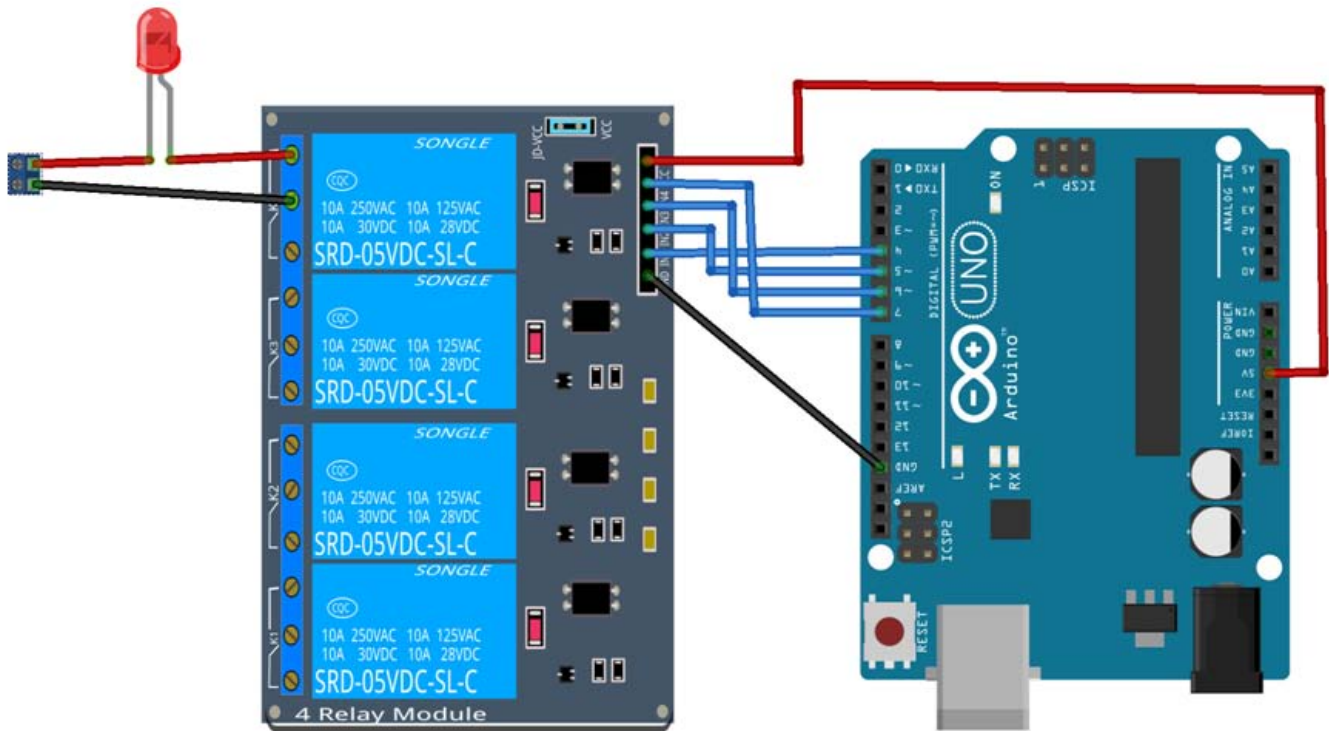
Connect the signal terminal IN1、 IN2, IN3 & IN4 of 4-channel relay to digital pin 4, 5, 6, 7 of the Arduino Uno or ATmega2560 board, and connect an LED at the output terminal.

IN1> 4; IN2> 5; IN3>6; IN4>7

Step 2:

Upload the sketch "4 Channel Relay Demo " to the Arduino Uno or ATmega2560 board. Then you can see the LED cycle between on and off.

The actual figure is shown below:

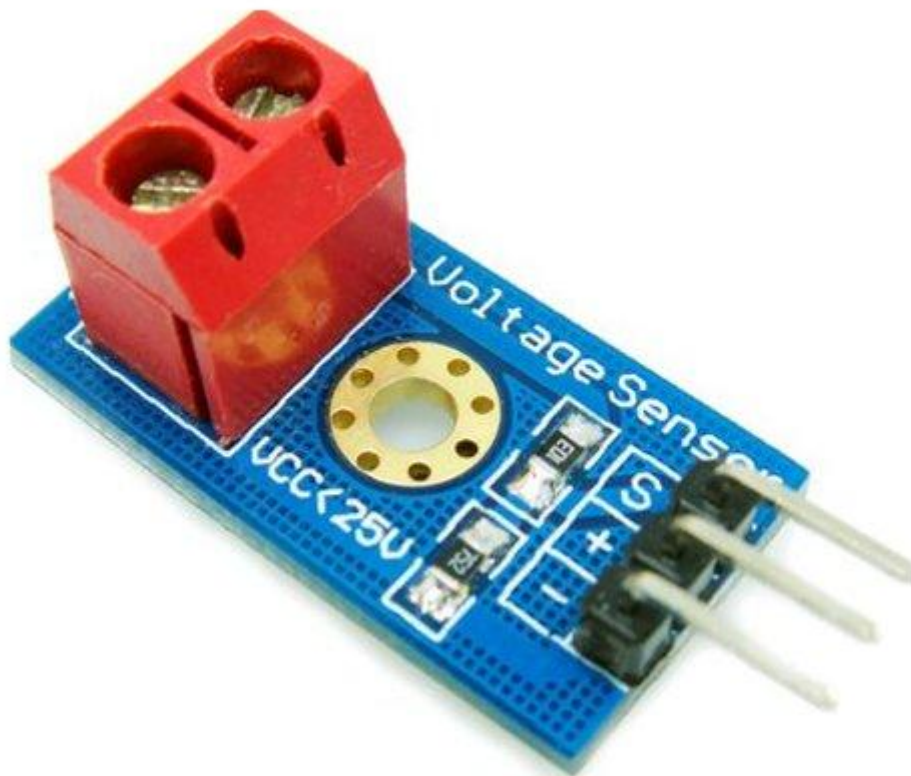


Arduino Sketch: 4 Channel Relay Demo

```
/*  
Name: 4 channel_relay  
Description: control the 4 channel relay module to ON or OFF  
Website: www.handsontec.com  
Email: techsupport@handsontec.com  
*/  
  
//the relays connect to  
  
int RelayControl1 = 4; // Digital Arduino Pin used to control the motor  
int RelayControl2 = 5;  
int RelayControl3 = 6;  
int RelayControl4 = 7;  
  
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(RelayControl1, OUTPUT);  
  pinMode(RelayControl2, OUTPUT);  
  pinMode(RelayControl3, OUTPUT);  
  pinMode(RelayControl4, OUTPUT);  
}  
  
void loop()  
{  
  
  digitalWrite(RelayControl1,HIGH);// NO1 and COM1 Connected (LED on)  
  delay(1000);  
}
```

```
digitalWrite(RelayControl1,LOW);// NO1 and COM1 disconnected (LED off)
delay(1000);
digitalWrite(RelayControl2,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(RelayControl2,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(RelayControl3,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(RelayControl3,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(RelayControl4,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(RelayControl4,LOW);
delay(1000);
}
```

Voltage Sensor Module



Description :

This module is based on resistance points pressure principle, and it can make the input voltage of red terminal reduce 5 times of original voltage.

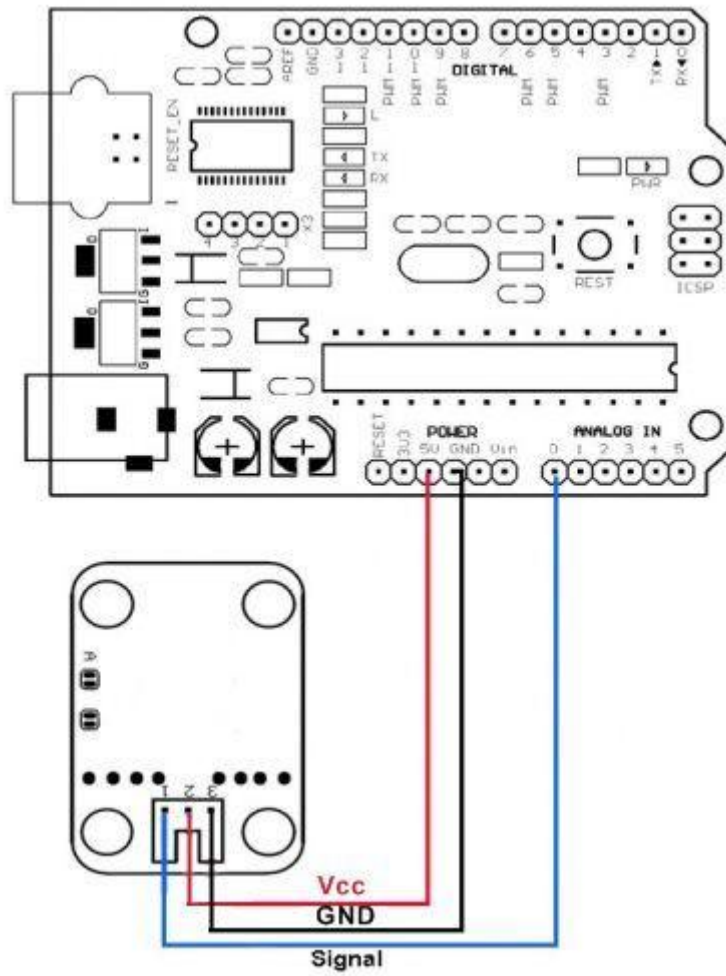
The max Arduino analog input voltage is 5 V, so the input voltage of this module should be not more than $5\text{ V} \times 5 = 25\text{ V}$ (if for 3.3 V system , the input voltage should be not more than $3.3\text{ V} \times 5 = 16.5\text{ V}$).

Because the Arduino AVR chip have 10 bit AD, so this module simulation resolution is 0.00489 V ($5\text{ V} / 1023$), and the input voltage of this module should be more than $0.00489\text{ V} \times 5 = 0.02445\text{ V}$.

Special Parameters :

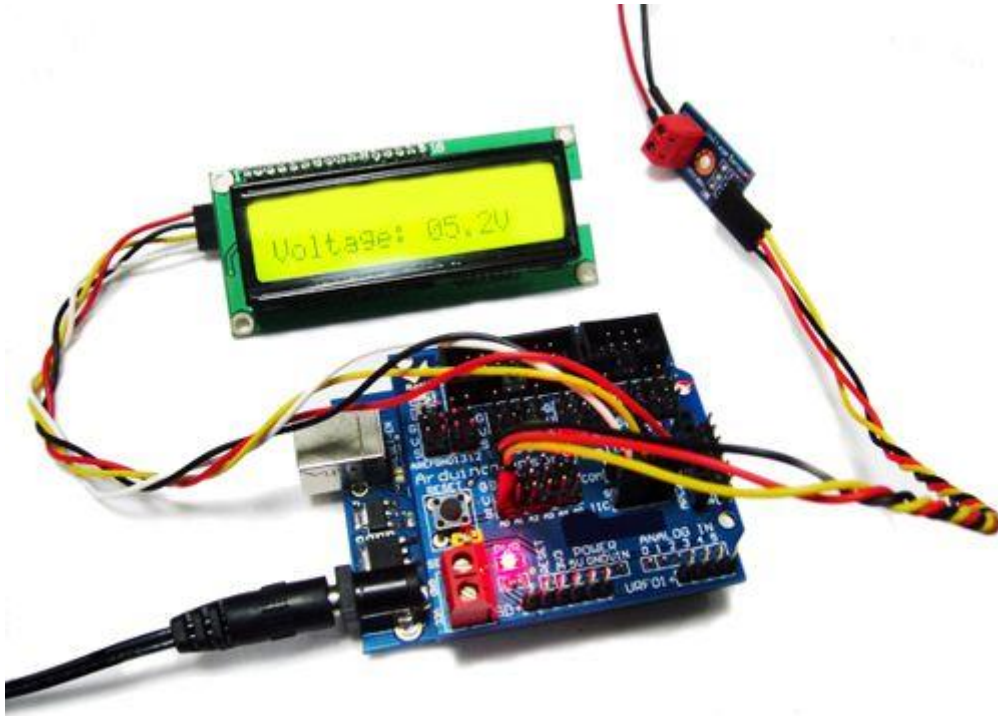
- 1、 Voltage input range : DC 0-25 V
- 2、 Voltage detection range : DC 0.02445 V -25 V
- 3、 Voltage analog resolution : 0.00489 V
- 4、 DC input interface : red terminal positive with VCC, negative with GND

Connecting Diagram :



Application :

Connect this voltage sensor module with Arduino sensor shield through 3 Pin sensor cable, not only can easily realize to detect and control the voltage, but also can display the voltage through the IIC LCD1602 LCD module and make voltage monitor, as following :



Reference Test Code :

```
#include <Wire.h>
int val11;
int val2;

void setup()
{
  pinMode(LED1,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Emartee.Com");

  Serial.println("Voltage: ");
  Serial.print("V");
}
void loop()
{
  float temp;
  val11=analogRead(1);
  temp=val11/4.092;
  val11=(int)temp;//
  val2=((val11% 100)/10);
  Serial.println(val2);

  delay(1000);
}
```

Features

- Wide 8V to 36V Input Voltage Range
- Output Adjustable from 1.25V to 32V
- Maximum Duty Cycle 100%
- Minimum Drop Out 0.3V
- Fixed 180KHz Switching Frequency
- 5A Constant Output Current Capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency up to 96%
- Excellent line and load regulation
- Built in thermal shutdown function
- Built in current limit function
- Built in output short protection function
- Available in TO263-5L package

Applications

- LCD Monitor and LCD TV
- Portable instrument power supply
- Telecom / Networking Equipment

General Description

The XL4015 is a 180 KHz fixed frequency PWM buck (step-down) DC/DC converter, capable of driving a 5A load with high efficiency, low ripple and excellent line and load regulation. Requiring a minimum number of external components, the regulator is simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The PWM control circuit is able to adjust the duty ratio linearly from 0 to 100%. An over current protection function is built inside. When short protection function happens, the operation frequency will be reduced from 180KHz to 48KHz. An internal compensation block is built in to minimize external component count.

**TO263-5L**

Figure1. Package Type of XL4015

Pin Configurations

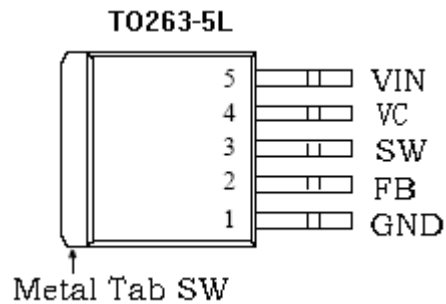


Figure2. Pin Configuration of XL4015 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin. Care must be taken in layout. This pin should be placed outside of the Schottky Diode to output capacitor ground path to prevent switching current spikes from inducing voltage noise into XL4015.
2	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW). SW is the switch node that supplies power to the output.
4	VC	Internal Voltage Regulator Bypass Capacity. In typical system application, The VC pin connect a 1uf capacity to VIN.
5	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL4015 operates from a 8V to 36V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.

Function Block

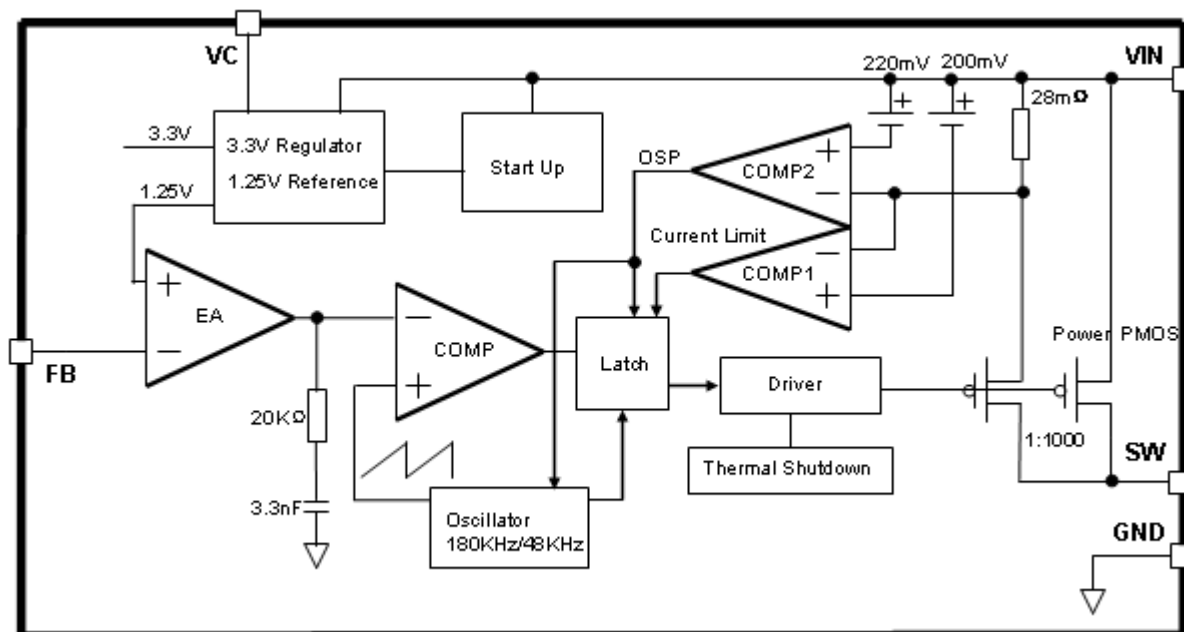


Figure3. Function Block Diagram of XL4015

Typical Application Circuit

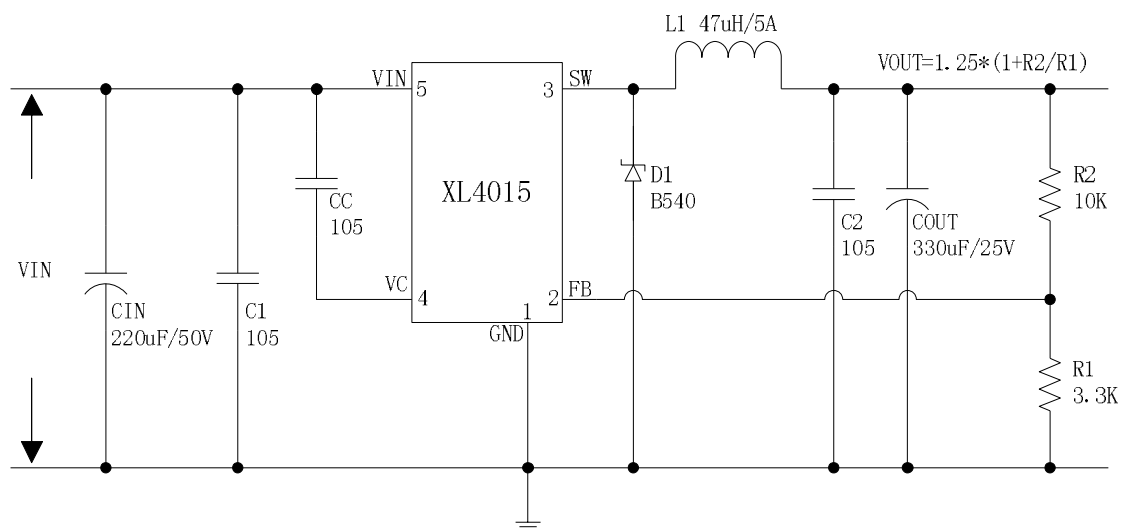


Figure4. XL4015 Typical Application Circuit (VIN=8V~36V, VOUT=5V/5A)

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter

XL4015

Ordering Information

Order Information	Marking ID	Package Type	Packing Type Supplied As
XL4015E1	XL4015E1	TO263-5L	800 Units on Tape & Reel

XLSEMI Pb-free products, as designated with “E1” suffix in the par number, are RoHS compliant.

Absolute Maximum Ratings (Note1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V_{in}	-0.3 to 40	V
Feedback Pin Voltage	V_{FB}	-0.3 to V_{in}	V
Output Switch Pin Voltage	V_{Output}	-0.3 to V_{in}	V
Power Dissipation	P_D	Internally limited	mW
Thermal Resistance (TO263-5L) (Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air)	R_{JA}	30	°C/W
Operating Junction Temperature	T_J	-40 to 125	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	T_{LEAD}	260	°C
ESD (HBM)		>2000	V

Note1: Stresses greater than those listed under 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 is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter

XL4015

XL4015 Electrical Characteristics

$T_a = 25^\circ\text{C}$; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
<i>System parameters test circuit figure4</i>						
VFB	Feedback Voltage	$V_{in} = 8\text{V to } 40\text{V}, V_{out}=5\text{V}$ $I_{load}=0.5\text{A to } 5\text{A}$	1.225	1.25	1.275	V
Efficiency	η	$V_{in}=12\text{V}, V_{out}=5\text{V}$ $I_{out}=5\text{A}$	-	87	-	%
Efficiency	η	$V_{in}=24\text{V}, V_{out}=12\text{V}$ $I_{out}=4\text{A}$	-	93	-	%

Electrical Characteristics (DC Parameters)

$V_{in} = 12\text{V}$, $GND=0\text{V}$, V_{in} & GND parallel connect a 220uf/50V capacitor; $I_{out}=500\text{mA}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	V_{in}		8		36	V
Quiescent Supply Current	I_q	$V_{FB} = V_{in}$		2.1	5	mA
Oscillator Frequency	F_{osc}		144	180	216	KHz
Output Short Frequency	F_{osp}			48		KHz
Switch Current Limit	I_L	$V_{FB} = 0$		7		A
Max. Duty Cycle	D_{MAX}	$V_{FB}=0\text{V}$		100		%
Output Power PMOS	R_{dson}	$V_{FB}=0\text{V}, V_{in}=12\text{V},$ $I_{SW}=5\text{A}$		60	80	mohm

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter **XL4015**

Typical System Application (VOUT=5V/5A)

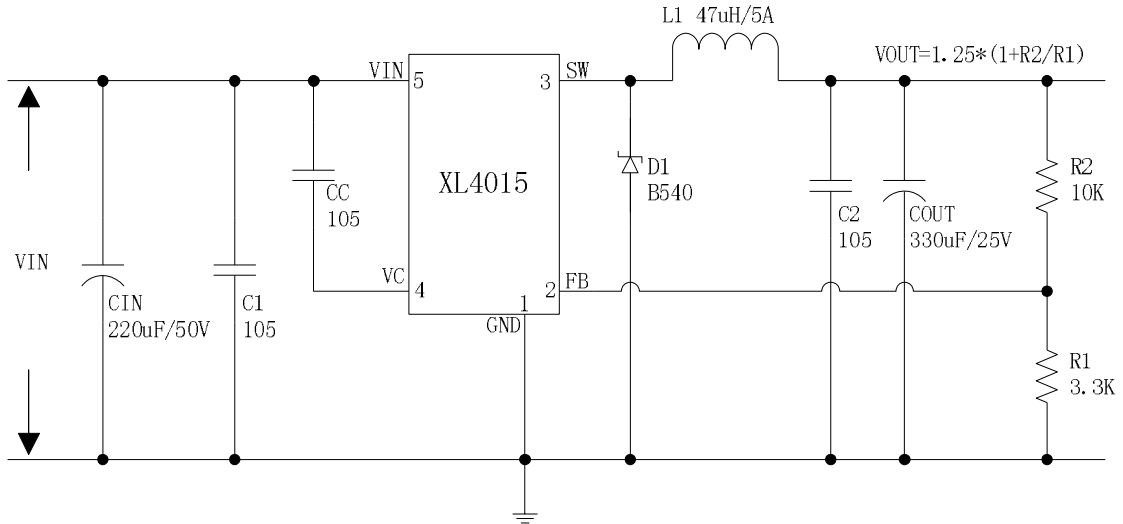


Figure5. XL4015 System Parameters Test Circuit (VIN=8V~36V, VOUT=5V/5A)

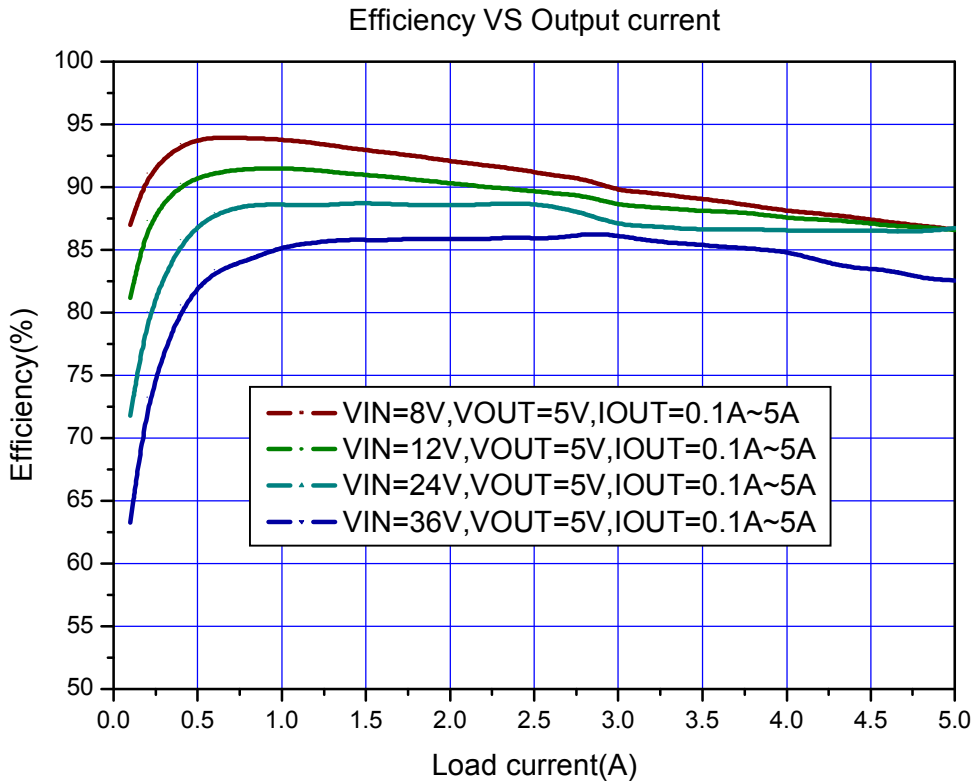


Figure6. XL4015 System Efficiency Curve

5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter **XL4015**

Typical System Application (VOUT=12V/4A)

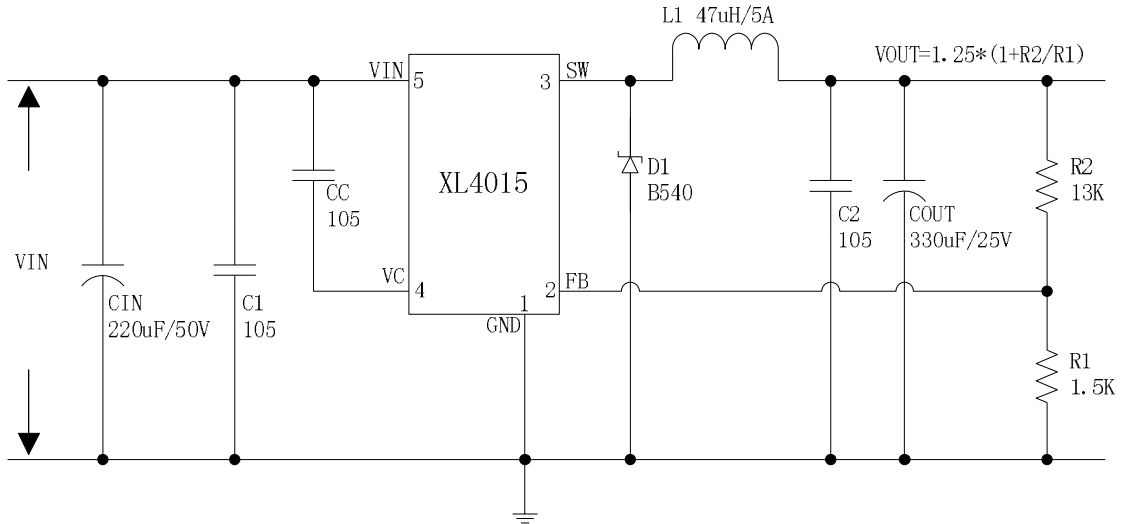


Figure7. XL4015 System Parameters Test Circuit (VIN=15V~36V, VOUT=12V/4A)

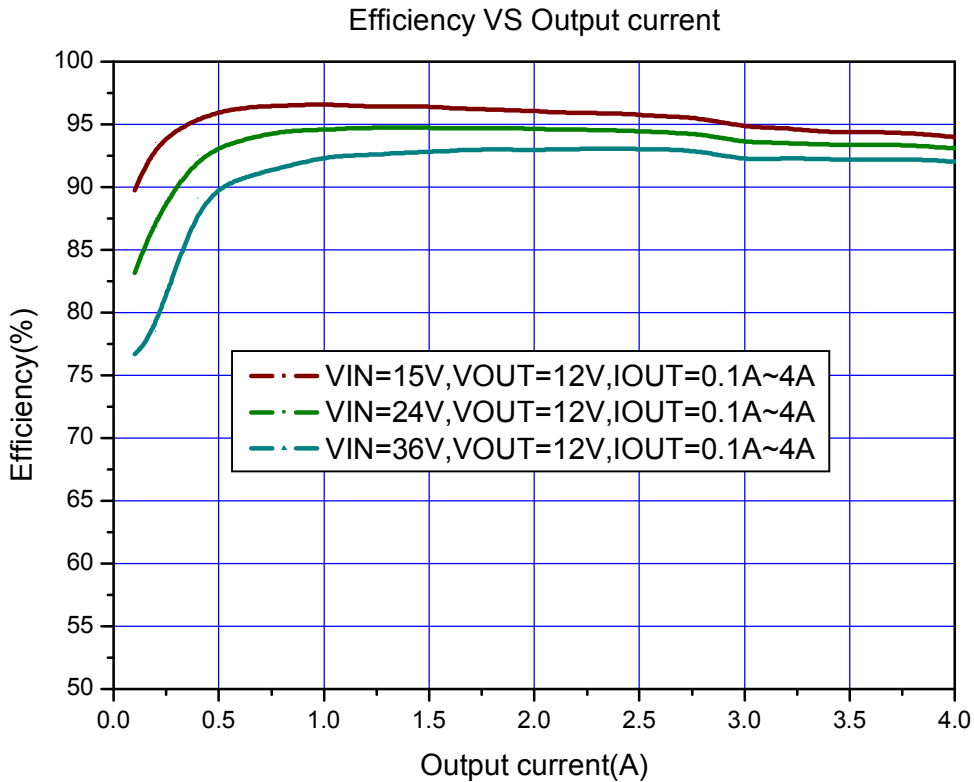


Figure8. XL4015 System Efficiency Curve

Typical System Application (TTL shutdown function)

Logic level signals shutdown function can be used in typical system application with external components. When the TTL high voltage above 3.3V(referenced to ground, lower than VIN), the converter will shutdown, input current less than 5mA; when the TTL Low voltage below 0.8V(referenced to ground), the converter will turn on.

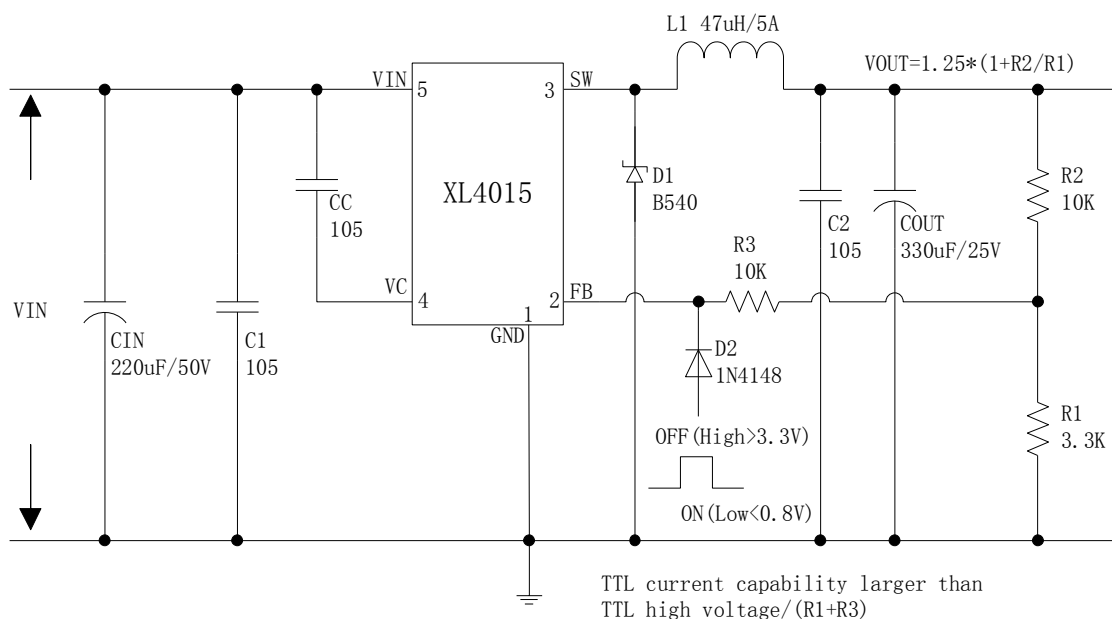


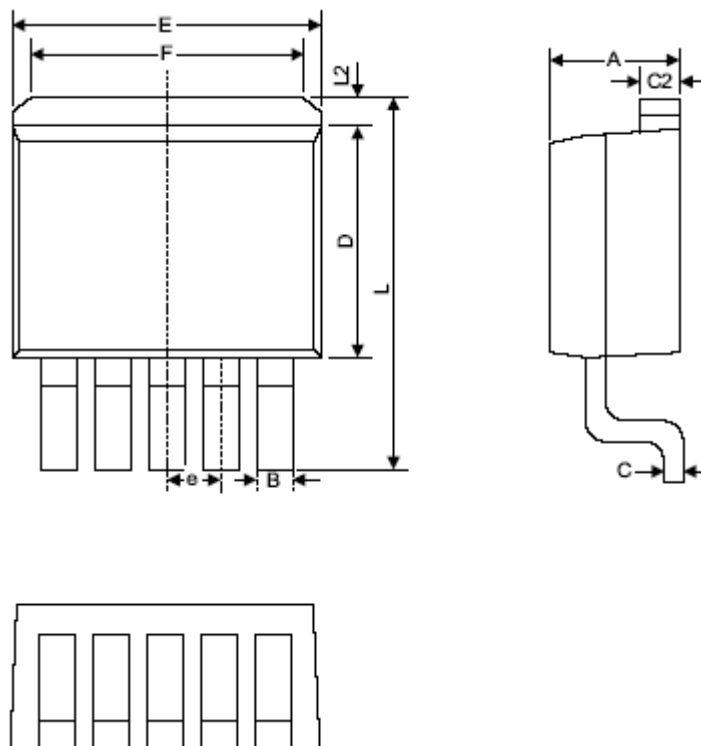
Figure9. XL4015 Typical Application Circuit

Schottky Diode Selection Table

Current	Surface Mount	Through Hole	VR (The same as system maximum input voltage)				
			20V	30V	40V	50V	60V
1A		✓	1N5817	1N5818	1N5819		
3A		✓	1N5820	1N5821	1N5822		
		✓	MBR320	MBR330	MBR340	MBR350	MBR360
	✓		SK32	SK33	SK34	SK35	SK36
	✓			30WQ03	30WQ04	30WQ05	
		✓		31DQ03	31DQ04	31DQ05	
		✓	SR302	SR303	SR304	SR305	SR306
5A		✓	1N5823	1N5824	1N5825		
		✓	SR502	SR503	SR504	SR505	SR506
		✓	SB520	SB530	SB540	SB550	SB560
	✓		SK52	SK53	SK54	SK55	SK56
	✓			50WQ03	50WQ04	50WQ05	

Package Information

TO263-5L



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.06	4.83	0.160	0.190
B	0.76	1.02	0.030	0.040
C	0.36	0.64	0.014	0.025
C2	1.14	1.40	0.045	0.055
D	8.64	9.65	0.340	0.380
E	9.78	10.54	0.385	0.415
e	1.57	1.85	0.062	0.073
F	6.60	7.11	0.260	0.280
L	15.11	15.37	0.595	0.605
L2	-	1.40	-	0.055