

SISTEM KENDALI SUHU FURNACE BERBASIS PID

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana di

Jurusan Teknik Elektro



Oleh :

Nama : Insan Kamil Ahmad P.

No. Mahasiswa : 07 524 015

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2010

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
SISTEM KENDALI SUHU FURNACE BERBASIS PID

TUGAS AKHIR



Oleh:

Nama : **Insan Kamil Ahmad P.**

No. Mahasiswa : **07 524 015**

Yogyakarta,

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng.

Wahyudi Budi Pramono, ST, M.Eng

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
SISTEM KENDALI SUHU FURNACE BERBASIS PID

TUGAS AKHIR



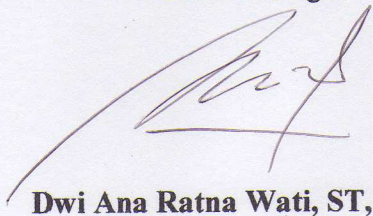
Nama : **Insan Kamil Ahmad P.**

No. Mahasiswa : **07 524 015**

Yogyakarta,

Menyetujui,

Pembimbing I



Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng.

Pembimbing II



Wahyudi Budi Pramono, ST, M.Eng

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
SISTEM KENDALI SUHU FURNACE BERBASIS PID
TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : **INSAN KAMIL AHMAD P.**

No. Mahasiswa : **07 524 015**

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 04 Juli 2011**

Tim Penguji,

Dwi Ana Ratna Wati, ST.,M.Eng

(Ketua)

Dr. Eng Hendra Setiawan, ST.,M.T.

Anggota

Tito Yuwono, ST.,M.Sc

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Tito Yuwono, ST.,M.Sc

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
SISTEM KENDALI SUHU FURNACE BERBASIS PID
TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : **INSAN KAMIL AHMAD P.**

No. Mahasiswa : **07 524 015**

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 04 Juli 2011**

Tim Penguji,

Dwi Ana Ratna Wati, ST., M.Eng

(Ketua)

Dr. Eng Hendra Setiawan, ST., M.T.

Anggota

Tito Yuwono, ST., M.Sc

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia



Tito Yuwono, ST., M.Sc

HALAMAN PERSEMBAHAN

Atas rasa syukur yang setinggi-tingginya,

Karya sederhanaku ini Kupersembahkan untuk:

Allah SWT Atas segala kemudahan yang Engkau berikan,

sehingga satu amanahmu mampu hamba selesaikan.

Sholawat dan salam teruntuk Junjungan kita Nabi Muhammad

SAW Yang telah membawa manusia dari alam kegelapan ke

dunia terang benderang

Dengan bangga ku persembahkan karya ku kepada Ayahanda

dan Ibunda yang telah mengukir jiwa & ragaku hingga detik ini

Temen_temenku:

“Teknik elektro”Yang telah hadir dalam hidupku dan

menggoreskan beraneka tulisan dan lukisan yang tertoreh

dalam catatan perjalananku.

Dan jasa para pendidik yang telah mengantarkanku

hingga hari ini.

MOTTO

“...Seseorang diuji sesuai kadar keimanannya, apabila teguh dalam keimanannya maka ujiannya bertambah berat, apabila lemah dalam keimanannya maka diuji sesuai kadar keimanannya, ujian terus menerus menimpa seorang hamba sampai meninggalkannya berjalan dimuka bumi dalam keadaan bersih dari kesalahan”

.(HR.Turmudzi)

“... Dan barangsiapa bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan menjadikan baginya jalan kemudahan dalam urusannya”

(Al Qur'an QS. Ath Thalaaq : 4)

“sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh(urusan) yang lain.

Dan hanya kepada Tuhanmu lah hendaknya kamu berharap”

(Al Qur'an Asy Syarh : 6-8)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah tak henti- hentinya dipanjatkan kehadiran Allah SWT yang mana telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dan semoga tugas akhir ini akan bermanfaat bagi orang banyak nantinya. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rosulullah Muhammad SAW beserta para keluarganya, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Semoga kita menjadi umat-umatnya yang mendapatkan syafaat beliau di yaumil akhir nanti.

Alhamdulillah sekali lagi penulis ucapkan, karena akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Sistem Kendali Suhu *Furnace* Berbasis PID”. Sungguh banyak kisah dan pengalaman yang sangat mengesankan selama mengerjakan tugas akhir ini. Adapun dalam tugas akhir ini membahas tentang perancangan pengendali PID pada reaktor *furnace*. Sehingga menghasilkan sebuah alat yang bisa mengendalikan suhu pada suhu tertentu.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, kerjasama, fasilitas dan kemudahan lainnya kepada beberapa pihak antara lain :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan semangat baik secara materil maupun moril, hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan
2. Bapak Tito Yuwono, ST, M.sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng. selaku Pembimbing I Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan tentang pengendali PID sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Wahyudi Budi Pramono, ST, M.Eng. selaku Pembimbing II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan tentang hardware sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas bimbingan selama saya kuliah di jurusan teknik elektro.
6. Mas Heri, Mas Anwar, Mas Handri yang selalu menyediakan tempat, alat – alat dan komponen di Laboratorium
7. Teman – teman Rudi, agus, hardi, erik, isnanto, Hifni, dan teman-teman elektro '07 yang telah memberikan dukungan kepadaku
8. Dan banyak pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan kemampuan dan kurangnya pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif dan solutif dari semua pembaca untuk kebaikan dan

kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membutuhkan.

Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 2011

Penulis



ABSTRAKSI

Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan implementasi Sistem Kendali Suhu Dan Masa Aktif Reaktor *Furnace* untuk Proses Kimia. Sistem kendali menggunakan mikrokontroller Atmega8535 dengan kontrol PID dan dengan nilai masa aktif dan *setpoint* sebagai masukan. Nilai masa aktif dan *setpoint* di kirim melalui *keypad* yang terhubung ke mikrokontroller. Nilai masa aktif akan di mulai saat Nilai *present value* sama dengan Nilai *setpoint* dan akan menghentikan sistem setelah *timer* sama dengan Nilai masa aktif. Nilai *setpoint* akan dibandingkan dengan nilai *present value* atau nilai suhu terakhir yang di deteksi oleh sensor dan hasil perbandingan disebut *error*. *Error* tersebut akan dimanipulasi oleh kontrol PID untuk mengatur tegangan pada *Furnace* . Dari perancangan sistem pengendali PID yang telah dibuat, nilai $K_p=10.728$, $K_i= 0.012364$, dan $K_d=2364$. Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan menggunakan nilai *setpoint* $600^{\circ}C$ dan suhu awal pada *furnace* sebesar $30^{\circ}C$. dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kontrol PID mampu mengendalikan suhu *furnace* dengan kestabilan yang baik dan tanggapan yang cepat terhadap perubahan suhu yang dikendalikan.

Kata kunci : PID, Mikrokontroler, Bascom AVR, Kendali Suhu, Furnace.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar	vi
Abstraksi	ix
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xvi
BAB I : PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	7
2.2.1 Mikrokontroler ATmega8535	7

2.2.1.1	Arsitektur ATmega8535	9
2.2.1.2	Fitur ATmega8535	10
2.2.1.3	Konfigurasi Pin ATmega8535	10
2.3	Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	12
2.3.1	BASCOM-AVR	12
2.3.1.1	Operator BASCOM-AVR	13
2.3.1.2	Tipe Data	15
2.3.1.3	Variabel	16
2.3.1.4	Alias	17
2.3.1.5	Konstanta	17
2.3.1.6	Array	17
2.4	Pengendali PID	18
2.4.1	Kontroler Proporsional (P)	19
2.4.2	Kontroler Integral (I)	20
2.4.3	Kontroler Derivatif (D)	20
2.4.4	Tuning Kontroler PID	21
2.5	Sensor	22
2.5.1	Sensor Suhu Termokopel K	22
2.6	LCD2x16	24
2.7	KEYPAD	26
2.6	Komponen Pendukung Utama	28
2.6.1	Thyristor	28

2.2.2 MOC3020	31
2.2.3 LM393	32
2.2.4 LM358	33

BAB III : PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Sistem	35
3.2 Perancangan Perangkat keras	37
3.2.1 Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler ATMega8535	37
3.2.2 Rangkaian <i>Power Supply</i>	38
3.2.3 Rangkaian Penguat Tegangan Termokopel	39
3.2.4 Rangkaian <i>Driver</i> Tegangan AC	41
3.2.5 Rangkaian <i>Zero Detector</i>	42
3.2.6 Rangkaian LCD (<i>Liquid crystal display</i>)	43
3.3 Perancangan Perangkat Lunak	44
3.3.1 Diagram Alir Rangkaian	44
3.3.2 Perancangan pengendali PID	47

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Rangkaian <i>Power Supply</i>	49
4.2 pengujian Rangkaian Sistem Minimum ATMega8535	49

4.3 Pengujian Rangkaian Penguat Termokopel	50
4.4 Pengujian Rangkaian <i>Zero Detector</i>	52
4.5 Pengujian Rangkaian Driver Tegangan AC	54
4.6 Pengujian LCD	55
4.7 Pengujian Rangkaian Secara Keseluruhan	56
4.8 Analisis Kendali PID dengan Metode Ziegler-Nichols	55
4.9 Pengendali PID dengan Hasil Tuning Metode Ziegler-Nichols Kp=4,728, Ki=0,002364, dan Kd=2364	59
4.10 Pengendali PID dengan Nilai K _p yang Berbeda-beda	60
4.11 Pengendali PID dengan Nilai K _i yang Berbeda-beda	63
4.12 Pengendali PID dengan Nilai K _d yang Berbeda-beda	66
4.13 Pengendali PID dengan <i>setpoint</i> yang Berbeda-beda	68
 BAB V : PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
 DAFTAR PUSTAKA	
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram fungsional Atmega8535	10
Gambar 2.2 konfigurasi kaki (pin) ATMEGA8535	11
Gambar 2.3 Alur Pemrograman Mikrokontroler	12
Gambar 2.4 Respon tangga satuan sebuah system	21
Gambar 2.5 Kurva respons berbentuk S	22
Gambar 2.6 Termokopel	23
Gambar 2.7 Blok diagram LCD	24
Gambar 2.8 Hubungan port dengan LCD	25
Gambar 2.9 Keypad 3x4	26
Gambar 2.10 <i>Schematic</i> Keypad 3x4	27
Gambar 2.11 TRIAC dan Ekuivalensi Simbolnya	28
Gambar 2.12 Gelombang yang melalui Triac tanpa beban	30
Gambar 2.13 Skematik MOC	31
Gambar 2.14 Blok Diagram Internal LM393	32
Gambar 2.15 Transistor yang dirangkai sebagai <i>open collector</i>	33
Gambar 2.16 Blok Diagram Internal LM358	33
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	35
Gambar 3.2 Diagram blok sistem <i>heater</i>	36
Gambar 3.3 Sistem minimum mikrokontroler ATMEga8535	37
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Power Supply</i>	38
Gambar 3.5 Rangkaian Penguat termokopel	41

Gambar 3.6 Rangkaian <i>Driver AC</i>	41
Gambar 3.7 Rangkaian <i>zero detector</i>	43
Gambar 3.8 Hubungan port dengan LCD	44
Gambar 3.9 Diagram alir (<i>flow chart</i>) sistem pengendali suhu <i>furnace</i>	45
Gambar 4.1 Software downloader AVR-Osp II	50
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Op-Amp	52
Gambar 4.3 Gelombang tegangan AC dan output <i>zero detector</i>	53
Gambar 4.4 PWM pada <i>duty cycle</i> 0% dan output <i>zero detector</i>	54
Gambar 4.5 PWM pada <i>duty cycle</i> 50% dan output <i>zero detector</i>	55
Gambar 4.6 Kurva S Analisa Grafis <i>Ziegler Nichols</i>	57
Gambar 4.7 Respon <i>Setpoint</i> 300 ⁰ C	59
Gambar 4.8 Respon <i>Setpoint</i> 600 ⁰ C dengan K_p berbeda-beda	61
Gambar 4.9 Respon <i>Setpoint</i> 600 ⁰ C dengan K_i berbeda-beda	63
Gambar 4.10 Respon <i>Setpoint</i> 600 ⁰ C dengan K_d berbeda-beda	66
Gambar 4.11 Respon dengan <i>Setpoint</i> berbeda-beda	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aturan Metode Ziegler – Nichols	22
Tabel 2.2 Sifat dari beberapa tipe termokopel pada 25 ⁰ C	24
Tabel 2.3 <i>Pin</i> LCD dan fungsinya	25
Tabel 2.4 Heksadesimal <i>Keypad</i>	27
Tabel 4.1 Pengujian OP – Amp	51
Tabel 4.2 tegangan AC dengan duty cycle yang berbeda-beda	53
Tabel 4.3 Data Pengamatan ScripProgram	56
Tabel 4.4 Formula <i>Ziegler Nichols</i>	58
Tabel 4.5 Perhitungan formula <i>Ziegler Nichols</i>	58
Tabel 4.6 Data hasil pengujian alat dengan nilai K_p berbeda-beda.	61
Tabel 4.7 Data hasil pengujian alat dengan nilai K_i berbeda-beda	64
Tabel 4.8 Data hasil pengujian alat dengan nilai K_d berbeda-beda	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Teknik pengontrolan otomatis saat ini memberikan peranan yang sangat besar dalam kehidupan sehari-hari, khususnya di bidang ilmu pengetahuan dan industri. Beberapa di antaranya adalah pada pengaturan suhu sebuah ruangan, pengaturan kelembaban udara dalam sebuah ruangan, pengaturan level air, pengaturan tekanan udara yang dijaga supaya berada dalam kondisi stabil seperti yang diharapkan, dan lain sebagainya.

Di berbagai bidang, *furnace* dibutuhkan untuk memperlancar jalannya suatu proses, seperti di industri pengolahan minyak, *furnace* sangat berperan penting dalam pengaturan pemanasan bahan-bahan mentah yang akan diproduksi, di industri pengolahan pupuk, di industri pengolahan makanan, industri elektronika, dan lain sebagainya.

Dalam prosesnya, *furnace* harus membutuhkan suatu sistem pengendali suhu. Pengendalian suhu tersebut dapat dilakukan secara manual atau otomatis. Untuk pengendalian suhu secara otomatis dilakukan oleh suatu sistem kendali. Sistem kendali tersebut menghidupkan *heater* yang bertujuan untuk menjaga supaya *furnace* berada pada kondisi yang diharapkan.

Dalam suatu sistem kendali otomatis dikenal adanya beberapa aksi pengendalian, diantaranya aksi kendali *on/off*, aksi kendali proporsional (P), aksi kendali integral (I) dan aksi kendali differensial (D).

Masing-masing aksi kendali tersebut mempunyai keunggulan tertentu. Aksi kendali *on/off* mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat, aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat dan stabil, aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali differensial memiliki keunggulan meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan. Untuk mendapatkan suatu sistem kendali dengan hasil pengendalian yang memiliki waktu naik yang cepat, kesalahan yang kecil dan kestabilan yang baik, dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga aksi kendali tersebut menjadi aksi kendali PID.

Kendali tipe PID adalah sistem pengendalian yang bersifat kontinu yaitu suatu sistem kendali yang bekerja pada daerah 0 sampai dengan 100%. Karena kendali PID bersifat kontinu, kontrol jenis ini sangat baik untuk pengendalian proses dengan fluktuasi atau perubahan proses yang cepat. Karakteristik dari pengendalian proses yang berupa suhu adalah perubahan proses yang lambat atau sangat lambat. Dari karakteristik pengendalian besaran fisis yang berupa suhu, pengendali tipe PID sangat sesuai untuk pengendalian suhu karena memiliki kelebihan yaitu waktu naik yang cepat, dapat memperkecil kesalahan, dan dapat meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan yang mengakibatkan kestabilan yang baik dan cepatnya tanggapan terhadap perubahan fisis yang dikendalikan. Oleh karena itu, digunakan pengendali tipe PID untuk pengendalian suhu pada *furnace* ini.

1.2. Rumusan Masalah

Pada pengendalian suhu diperlukan suatu sistem kendali yang memiliki waktu naik yang cepat dan kesalahan yang kecil. Ini dikarenakan dalam proses pengendalian suhu *furnace* melibatkan perpindahan kalor dari satu materi ke materi lain (*konveksi*) sehingga menyebabkan sifat dari pengendalian suhu menjadi lambat atau sangat lambat. Pada penelitian ini masalah yang di selesaikan adalah bagaimana merancang pengendali PID yang optimal untuk mengendalikan suhu *furnace* agar di peroleh nilai *overshoot* yang rendah, *rise time* atau waktu naik yang cepat dan kestabilan yang di harapkan.

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Hanya dibahas sistem pengendalian suhu *furnace* berbasis PID dengan batas suhu 30°C-750°C (suhu naik).
2. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu termokopel tipe K.
3. Menggunakan mikrokontroller Atmega 8535.
4. Pemrograman yang digunakan adalah dengan menggunakan program BASCOM AVR.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. merancang pengendali PID untuk kendali pola perubahan suhu dan masa aktif reaktor *furnace*

2. menguji sistem pengendali tipe PID untuk menentukan nilai tetapan proporsional (K_P), tetapan integral (K_I) dan tetapan diferensial (K_D) agar pengendali tipe PID dapat bekerja secara optimal.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan pembahasan laporan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan tentang judul, latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah dan tujuan serta sistematika pembahasan dari tugas akhir perancangan sistem kendali suhu *furnace* Berbasis PID.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai teori-teori yang mendukung dalam pelaksanaan serta penyelesaian perancangan sistem kendali suhu *furnace* Berbasis PID.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Dalam bab ini diuraikan tentang perencanaan serta langkah-langkah dalam pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak pada perancangan sistem kendali suhu *furnace* Berbasis PID.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Dari perancangan yang telah dibuat, akan menghasilkan suatu perangkat keras (*hardware*) alat pengontrol dan perangkat lunak (*software*) pengendali PID, maka dilakukan beberapa analisa serta pengujian terhadap alat tersebut, sehingga

dari alat yang telah diselesaikan dapat diketahui seberapa jauh kebenaran yang dihasilkan dalam praktek bila dibandingkan dengan teori-teori penunjang yang ada.

BAB V PENUTUP

Dari tahapan-tahapan tersebut diatas maka pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran-saran yang dikemukakan berdasarkan pada saat pengujian pengendali PID Digital dari perangkat yang telah dibuat.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Ahmad Andria Shidqi (2008) tentang pengendalian suhu pada rumah kaca menggunakan pengendali PID berbasis *mikrokontroler* AT89S51. Pada penelitian ini pengendalian suhu pada rumah kaca yang berukuran 1,6 meter kali 2,4 meter menggunakan pengendali tipe PID dengan batas suhu terkecil sama dengan suhu ruangan. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu LM35.

Penelitian juga dilakukan oleh Syaiful Mansyur (2009) tentang pengendali PID untuk mengendalikan ketinggian air. Pada penelitian ini menerapkan metode control PID dalam mengatur level ketinggian air. Pengujian system telah dilakukan untuk mengontrol ketinggian air antara 0-30 cm atau dengan memasukkan settling point 0-50%. Semua proses kontrol dan akuisisi data dilakukan dengan menggunakan *computer* (PC) dan DELPHI7 sebagai tampilan visualnya.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Fahlevy (2006) tentang monitoring suhu dan tekanan sistem *boiler* dengan tampilan pada PC. Di sini diterangkan salah satu aplikasi pengontrolan adalah monitoring suhu dan tekanan sistem *boiler* dengan tampilan pada PC. Adapun komponen yang digunakan dalam merancang monitoring suhu dan tekanan adalah sensor LM 35 yang mengubah panas ke bentuk tegangan, sensor MPXM2010 yang mengubah tekanan uap ke bentuk

tegangan. ADC yang mengubah tegangan dalam bentuk digital. Buffer sebagai penyangga keluaran ADC untuk dihubungkan ke port parallel agar dapat diproses oleh *computer* dengan menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*. Monitoring suhu dan tekanan boiler dengan tampilan PC dijalankan menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*.

Selain itu, Wisang Wiyoso (2006) juga melakukan penelitian tentang pengendali PID dengan GUI Matlab. Dalam penelitian ini, perancangan pengendali hanya simulasi dengan menggunakan Matlab, tidak diterapkan kepada alat secara langsung.

Berbeda dengan penelitian di atas, pada penelitian ini dirancang dan di buat sistem pengendali suhu furnace berbasis PID, pada penelitian ini digunakan mikrokontroler ATmega8535 dan di gunakan sensor suhu termokopel tipe K yang dapat mendeteksi suhu hingga 1350°C kemudian di gunakan LCD sebagai penampil parameter-parameter suhu.

2.2. Perangkat Keras (*Hardware*)

2.2.1. Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler merupakan suatu terobasan teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer yang merupakan teknologi semikonduktor dengan kandungan transistor yang lebih banyak namun hanya membutuhkan ruang yang sangat kecil, Lebih lanjut, mikrokontroler merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik, berbeda dengan PC (*Personal Computer*) yang memiliki beragam fungsi.

Mikrokontroler sebagai piranti yang semakin berkembang memiliki banyak manfaat, dapat diprogram sesuai dengan kebutuhan. Mikrokontroler merupakan mikroprosesor kecil yang di dalamnya memiliki fungsi khusus. Mikrokontroler ini umumnya dapat diprogram melalui komputer dengan *interface* seperti COM atau LPT bahkan yang terbaru melalui USB (*Universal Serial Bus*). Mikrokontroler ini dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan karena dapat diprogram dengan banyak bahasa.

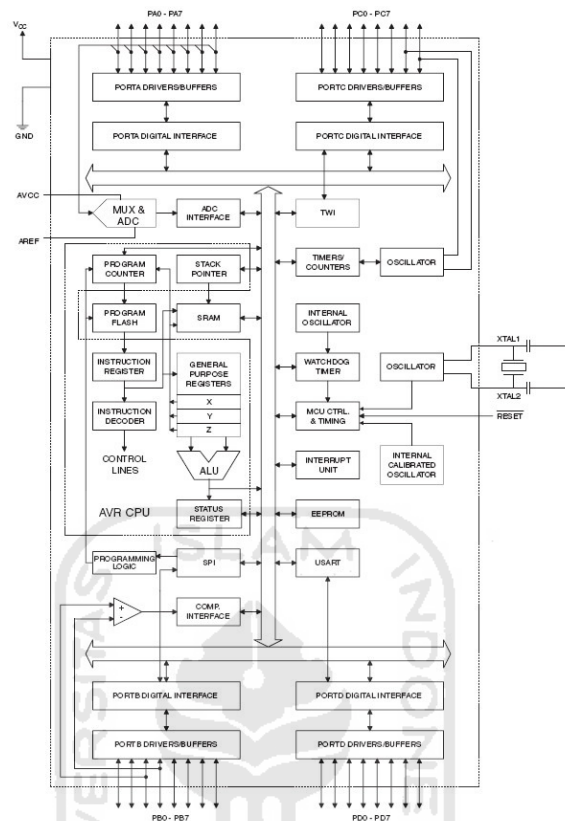
Saat ini penggunaan mikrokontroler dapat ditemui pada berbagai peralatan, misal telepon digital, handphone, microwave oven, televisi, mesin cuci, sistem keamanan rumah dan PDA.

Mikrokontroler dapat digunakan untuk berbagai aplikasi misalnya untuk sistem pengendalian, otomasi industri, akuisisi data, telekomunikasi dan lain-lain. Keuntungan menggunakan mikrokontroler yaitu harganya murah, dapat diprogram berulang kali, dan dapat kita program sesuai dengan keinginan kita. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroler AVR. Kelebihan mikrokontroler AVR dibandingkan mikrokontroler yang lain yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, selain itu mikrokontroler AVR memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, *timer/counter*, PWM, Port *I/O* dan komunikasi serial) yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi sistem elektronika seperti robot, otomasi industri dan peralatan telekomunikasi.

2.2.1.1. Arsitektur ATmega8535

Dari gambar blok diagram tersebut dapat dilihat bahwa ATmega8535 memiliki bagian-bagian sebagai berikut :

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C* dan *Port D*.
2. ADC 8 *channel* 10 bit.
3. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan pembanding.
4. CPU yang terdiri atas 32 buah *register*.
5. *Watchdog timer* dengan osilator *internal*.
6. SRAM sebesar 512 byte.
7. Memori *Flash* sebesar 8 KB dengan kemampuan *Read While Write*.
8. *Interrupt internal* dan *eksternal*
9. *Port* antarmuka SPI (*Serial Peripheral Interface*).
10. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
11. Antarmuka komparator analog.
12. *Port* USART untuk komunikasi serial



Gambar 2.1 Blok diagram fungsional ATmega8535

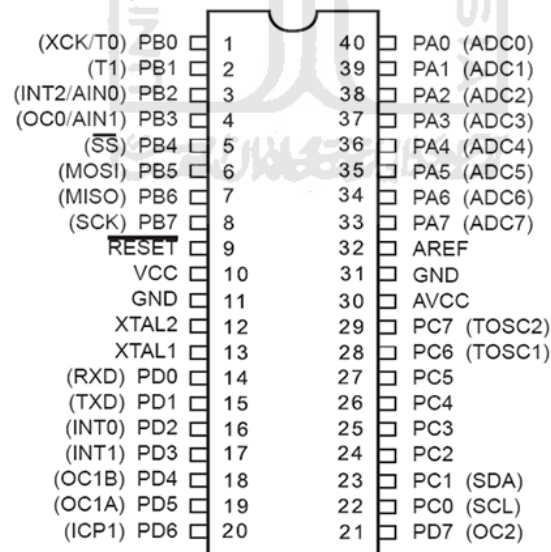
2.2.1.2. Fitur ATmega8535

- Sistem processor 8 bit berbasis *RISC* dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
- Ukuran memory *flash* 8KB, *SRAM* sebesar 512 byte, *EEPROM* sebesar 512 byte.
- ADC internal dengan resolusi 10 bit sebanyak 8 channel
- Port komunikasi serial USART dengan kecepatan maksimal 2.5 Mbps
- Mode Sleep untuk penghematan penggunaan daya listrik

2.2.1.3. Konfigurasi Pin ATmega8535

- VCC merupakan Pin yang berfungsi sebagai pin masukan catudaya

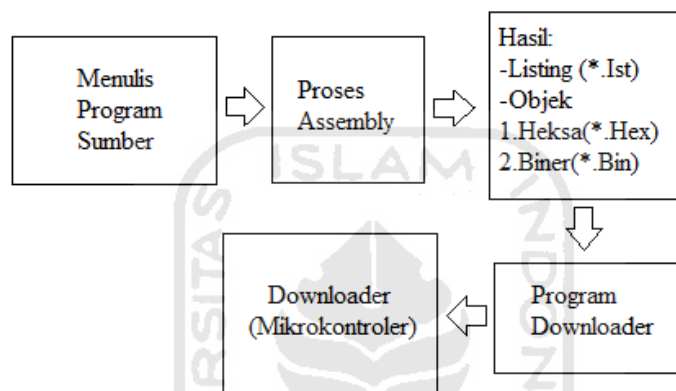
- GND merupakan Pin *Ground*
- Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dan pin masukan ADC
- Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus yaitu Timer/Counter, komparator Analog dan SPI
- Port C (PC0...PC7) merupakan port I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus, yaitu komparator analog dan Timer Oscillator
- Port D (PD0...PD1) merupakan port I/O dan pin fungsi khusus yaitu komparator analog dan interrupt eksternal serta komunikasi serial
- RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler
- XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal
- AVCC merupakan pin masukan untuk tegangan ADC
- AREF merupakan pin masukan tegangan referensi untuk ADC



Gambar 2.2 Konfigurasi kaki (pin) ATMEGA8535

2.3. Perangkat Lunak (*Software*)

Proses pemrograman mikrokontroler diawali dengan menulis program sumber (*source code*) baik dalam bahasa *Assembly*, *C* maupun *Basic*. *Source Code* kemudian di-compile dan akan menghasilkan kode-kode yang dapat di mengerti oleh mikrokontroler (format*.hex).



Gambar 2.3 Alur Pemrograman Mikrokontroler

2.3.1 BASCOM-AVR

Ada banyak cara untuk menuliskan program ke mikrokontroler, salah satunya bahasa BASIC. Bahasa pemrograman BASIC dikenal di seluruh dunia sebagai bahasa pemrograman handal, cepat, mudah dan tergolong kedalam bahasa pemrograman tingkat tinggi. Bahasa BASIC adalah salah satu bahasa pemrograman yang banyak digunakan untuk aplikasi mikrokontroler karena kemudahan dan kompatibel terhadap mikrokontroler jenis AVR dan didukung oleh *compiler software* berupa BASCOM-AVR.

2.3.1.1. Operator BASCOM-AVR

BASCOM-AVR menyediakan beberapa operator untuk pengolahan data.

a. Operator Penugasan

Operator Penugasan (*Assignment operator*) dalam Bahasa Basic berupa “=”.

b. Operator Aritmatika

* : untuk perkalian

/ : untuk pembagian

+ : untuk pertambahan

- : untuk pengurangan

% : untuk sisa pembagian (modulus)

c. Operator Hubungan (Perbandingan)

Operator hubungan digunakan untuk membandingkan hubungan dua buah operand atau sebuah nilai / variable, misalnya :

= 'Equality $X = Y$

< 'Less than $X < Y$

> 'Greater than $X > Y$

<= 'Less than or equal to $X <= Y$

>= 'Greater than or equal to $X >= Y$

d. Operator Logika

Operator logika digunakan untuk membandingkan logika hasil dari operator-operator hubungan. Operator logika ada empat macam, yaitu :

NOT 'Logical complement

AND 'Conjunction

OR 'Disjunction

XOR 'Exclusive or

e. Operator Bitwise

Operator bitwise digunakan untuk memanipulasi bit dari data yang ada di memori. Operator bitwise dalam Bahasa Basic :

Shift A, Left, 2 : Pergeseran bit ke kiri

Shift A, Right, 2 : Pergeseran bit ke kanan

Rotate A, Left, 2 : Putar bit ke kiri

Rotate A, right, 2 : Putar bit ke kanan

f. Pernyataan Kondisional (IF-THEN – END IF)

Pernyataan ini digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan terhadap dua buah bahkan lebih kemungkinan untuk melakukan suatu blok pernyataan atau tidak. Konstruksi penulisan pernyataan IF-THEN-ELSE-END IF pada bahasa BASIC ialah sebagai berikut:

IF *pernyataan kondisi 1* THEN

'blok pernyataan 1 yang dikerjakan bila kondisi 1 terpenuhi

IF *pernyataan kondisi 2* THEN

'blok pernyataan 2 yang dikerjakan bila kondisi 2 terpenuhi

IF *pernyataan kondisi 3* THEN

'blok pernyataan 3 yang dikerjakan bila kondisi 3 terpenuhi

Setiap penggunaan pernyataan IF-THEN harus diakhiri dengan perintah END IF sebagai akhir dari pernyataan kondisional.

2.3.1.2. Tipe Data

Di dalam pemrograman tipe data adalah hal yang sangat penting untuk diketahui sebelum kita memulai pemrograman itu sendiri. Pada bahasa Basic yang telah disesuaikan dengan BASCOM-AVR, tipe-tipe data yang dikenal dan dapat digunakan adalah sebagai berikut :

- Bit (1/8 byte). Satu bit hanya bisa menampung nilai **1** atau **0**. Kumpulan dari bit sebanyak 8 disebut byte.
- Byte (1 byte). Byte bisa menampung angka binari 8 bit dengan jangkauan **0** sampai **255**.
- Integer (2 byte). Integer bisa menampung angka bulat 16 bit dengan jangkauan **-32,768** sampai **+32,767**.
- Word (2 byte). Words memiliki daya tampung yang sama dengan Integer, perbedaannya adalah Word tidak mendukung nilai negatif adapun jangkauannya adalah dari **0** sampai **65535**.
- Long (4 byte). Long mampu menampung angka bulat 32 bit mulai dari **-2147483648** sampai **2147483647**.
- Single. Single mampu menampung angka pecahan (desimal) 32 bit dengan jangkauan dari **1.5×10^{-45}** sampai **3.4×10^{38}**
- Double. Double mampu menampung angka pecahan (desimal) 64 bit dengan jangkauan dari **5.0×10^{-324}** sampai **1.7×10^{308}**
- String (bisa sampai 254 byte). String bisa menampung karakter ataupun kumpulan karakter. Misalnya : "Edi Wang" => merupakan kumpulan

karakter, sehingga bisa ditampung ke dalam variabel dengan tipe data String.

2.3.1.3. Variabel

Cara mendeklarasikan sebuah variabel pada BASCOM-AVR adalah sebagai berikut :

Dim namavariabel tipedata,

contoh : Dim x as Byte.

Khusus untuk tipe data String ada sedikit tambahan yakni jumlah karakter maksimal yang bisa ditampung oleh variabel tersebut.

Contoh : Dim x as String * 10, berarti variabel x mampu menampung karakter sepanjang 10 karakter.

Di dalam penulisan nama variabel terdapat beberapa aturan yang harus diperhatikan :

1. Tidak boleh menggunakan karakter khusus seperti :
/#\$@!%^&(),; '~'?+ =-\
2. Tidak boleh menggunakan kata kunci yang telah ada di dalam bahasa pemrograman, contoh : for, next, do, loop, while, until, dll.
3. Karakter pertama dalam nama variabel tidak boleh angka, contoh :
4ndi => salah, n4di => benar.
4. Tidak boleh ada spasi, jika nama variabel lebih dari satu kata dapat dihubungkan dengan underscore.

2.3.1.4. Alias

Untuk mempermudah pemrograman, biasanya nama register dalam mikrokontroler di buat nama yang identik dengan hardware yang di buat.

Contoh:

LED_1 alias PORTC.0 'nama lain dari PORTC.0 adalah LED_1

SW_1 alias PINC>1 'nama lain dari PINC.1 adalah SW_1

2.3.1.5. Konstanta

Konstanta merupakan suatu nilai dengan tipe data tertentu yang tidak dapat diubah-ubah selama proses program berlangsung. Konstanta harus didefinisikan terlebih dahulu diawal program.

Contoh : $Kp = 35, Ki=15, Kd=40$

2.3.1.6. Array

array atau larik merupakan sekumpulan variabel dengan nama dan tipe yang sama, yang berbeda indeks keanggotaannya. Cara mendeklarasikan array sebagai berikut:

Dim nama_array(jumlah_anggota) **as** tipe_data

Contoh:

Dim voltage(5) as byte 'variabel voltage dengan tipe data byte mempunyai anggota 5. Untuk mengakses array dengan cara:

Voltage(1) =25 'anggota pertama dengan variabel voltage di isi dengan bilangan 25. PORTC=voltage(1) 'PORTC diisi nilai anggota pertama dari variabel voltage.

2.4. Pengendali PID

Kendali tipe PID adalah sistem pengendalian yang bersifat kontinu yaitu suatu sistem kendali yang bekerja pada daerah 0 sampai dengan 100%. Karena kendali PID bersifat kontinu, kontrol jenis ini sangat baik untuk pengendalian proses dengan fluktuasi atau perubahan proses yang cepat. Pengendali tipe PID sangat sesuai untuk pengendalian suhu karena memiliki kelebihan yaitu:

1. Waktu naik yang cepat,
2. Dapat memperkecil kesalahan, dan
3. Dapat meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan yang mengakibatkan kestabilan yang baik dan cepatnya tanggapan terhadap perubahan yang dikendalikan.

Parameter-parameter yang diperlukan untuk menganalisa karakteristik performansi sistem kontrol adalah sebagai berikut :

- 1) Waktu tunda (*delay time*), t_d : adalah waktu yang diperlukan oleh respons untuk mencapai setengah nilai akhir untuk waktu yang pertama.
- 2) Waktu naik (*rise time*), t_r : adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95%, atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang biasa digunakan. Untuk sistem atas redaman waktu naik yang biasa digunakan 10% menjadi 90%.
- 3) Waktu puncak (*peak time*), t_p : adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai puncak pertama lewat (*overshoot*). Maksimum (persen) *overshoot* (*overshoot maximum*), M_p : adalah nilai puncak kurva, respons

ukur dari satuan. Besarnya persen lewatan maksimum menunjukkan kestabilan relatif dari sistem.

- 4) Waktu penetapan atau waktu turun (*settling time*), t_s : adalah waktu yang diperlukan untuk merespon kurva agar dapat mencapai dan tetap berada dalam gugus nilai akhir ukuran yang disederhanakan dengan presentase mutlak harga akhirnya (biasanya 2% atau 5%).
- 5) Respon *steady state* diamati mulai saat respon masuk dalam keadaan “*steady state*” sampai waktu tak terbatas.

2.4.1. Kontroler Proporsional (P)

Aksi kontrol proporsional digunakan untuk mempercepat respon sistem, tetapi akan menghasilkan kesalahan pada kondisi mantap (*offset*). Sinyal kontrol yang dihasilkan mempunyai hubungan linier dengan kesalahan, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.1)$$

dengan K_p : konstanta proporsional, $e(t)$: *error*, $u(t)$: *controller output*

Pengaruh Kontroler Proporsional (P) terhadap sistem adalah sebagai berikut:

1. Menambah atau mengurangi kestabilan
2. Dapat memperbaiki respon transien khususnya rise time, settling time,
3. Mengurangi (bukan menghilangkan) error *steady state*.

2.4.2. Kontroler Integral (I)

Sinyal kontrol yang dihasilkan merupakan integrasi kesalahan terhadap waktu, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.2)$$

Dengan K_i : konstanta integral, $e(t)$: *error*, $u(t)$: *controller output*

Pengaruh pada sistem :

1. Menghilangkan *Error Steady state*
2. Respon lebih lambat (dibanding P)
3. Dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem)

2.4.3. Kontroler Derivatif (D)

Sinyal kontrol yang dihasilkan merupakan diferensiasi kesalahan terhadap waktu, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Dengan K_d : konstanta derivatif, $e(t)$: *error*, $u(t)$: *controller output*

Pengaruh pada sistem :

1. Memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi, sehingga bisa memperbesar pemberian nilai **Kp**
2. Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan error

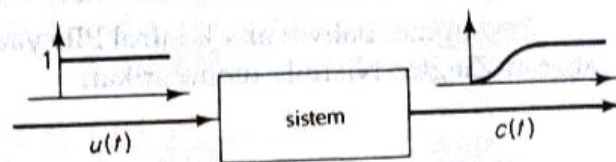
3. Derivatif hanya berubah saat ada perubahan error, sehingga saat ada error statis derivatif tidak beraksi, sehingga derivatif tidak boleh digunakan sendiri

2.4.4. Tuning Kontroler PID

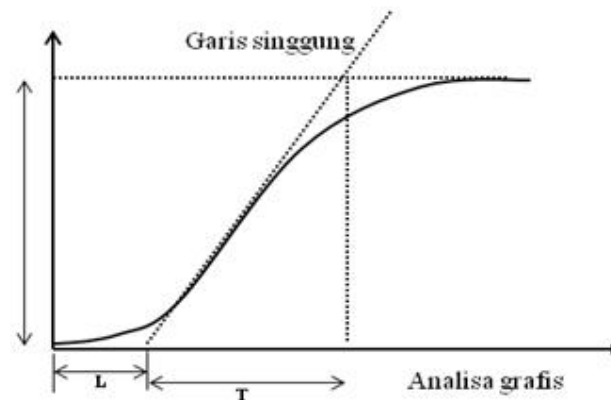
Permasalahan dalam desain kontroler PID adalah menentukan nilai K_i , K_p , dan K_d . Metode – metode *tuning* dilakukan berdasarkan pada model matematika/transfer fungsi *plant*/sistem, jika model tidak diketahui, dilakukan eksperimen terhadap sistem.

Cara *tuning* kontroler PID yang paling populer adalah dengan metode **Ziegler – Nichols**. Metode **Ziegler – Nichols** diperkenalkan pertama kali pada tahun 1942. metode ini memiliki dua cara. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%.

Metode pertama. Dilakukan berdasar eksperimen, dengan memberikan input *step* pada sistem, dan mengamati hasilnya. Sistem harus mempunyai *step response* (respon terhadap *step*) berbentuk kurva S.



Gambar 2.4 Respon tangga satuan sebuah sistem



Gambar 2.5 Kurva respons berbentuk S

Tabel 2.1 Aturan Metode pertama Ziegler – Nichols

Tipe pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$\frac{0.9 T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$\frac{1.2 T}{L}$	$2L$	$0.5L$

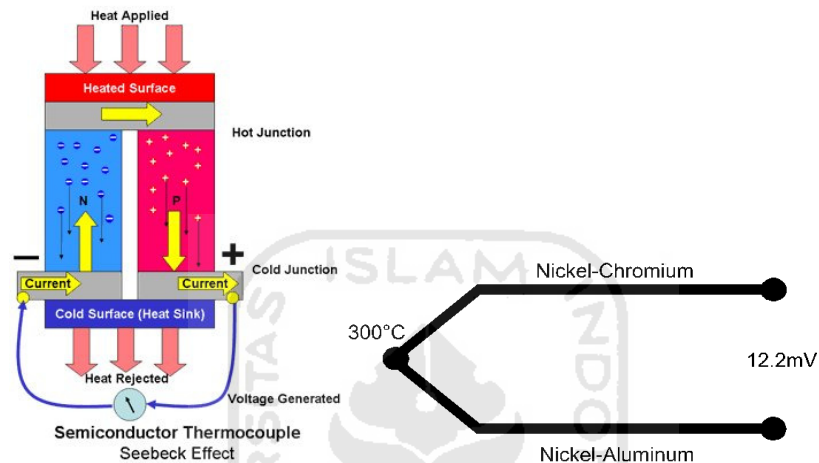
Setelah parameter-parameter diperoleh, dapat dipakai sebagai patokan membuat pengendali PID untuk diterapkan ke dalam sistem *plant furnace* sehingga diperoleh hasil yang sesuai dengan apa yang diharapkan yaitu mengontrol suhu pada keadaan stabil pada nilai suhu tertentu.

2.5. Sensor

2.2.1. Sensor Suhu Termokopel K

Termokopel merupakan transduser pengukur suhu yang bekerja berdasarkan prinsip *Seeback Effect*. Termokopel berasal dari kata “*Thermo*” yang berarti

energi panas dan “*Couple*” yang berarti pertemuan dari dua buah benda. Termokopel adalah transduser aktif suhu yang tersusun dari dua buah logam berbeda dengan titik pembacaan pada pertemuan kedua logam dan titik yang lain sebagai outputnya.



Gambar 2.6 Termokopel

Sebuah termokopel terdiri dari dua buah kawat yang kedua ujungnya disambung sehingga menghasilkan suatu *open-circuit voltage* sebagai fungsi dari suhu, diketahui sebagai tegangan termolistrik atau disebut dengan *seebeck voltage*, yang ditemukan oleh Thomas Seebeck pada 1821. Hubungan antara tegangan dan pengaruhnya terhadap suhu masing-masing titik pertemuan dua buah kawat adalah linear. Walaupun begitu, untuk perubahan suhu yang sangat kecil, tegangan pun akan terpengaruh secara linear.

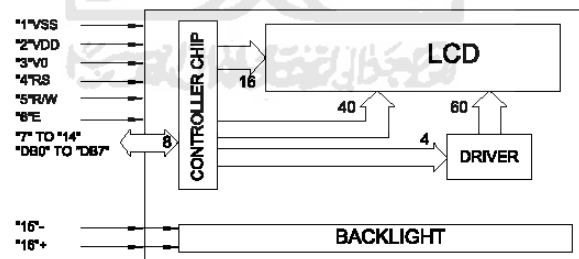
Termokopel diberi tanda dengan huruf besar yang mengindikasikan komposisinya berdasar pada aturan *American National Standard Institute* (ANSI), seperti data pada table 2.2.

Tabel 2.2 Sifat dari beberapa tipe termokopel pada 25⁰C

Tipe	Material (+ dan -)	Temp.Kerja (⁰ C)	Sensitivitas ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
E	Ni-Cr dan Cu-Ni	-270 ~ 1000	60.9
J	Fe dan Cu-Ni	-210 ~ 1200	51.7
K	Ni-Cr dan Ni-Al	-270 ~ 1350	40.6
T	Cu dan Cu-Ni	-270 ~ 400	40.6
R	Pt dan Pt(87%)-Rh(13%)	-50 ~ 1750	6
S	Pt dan Pt(90%)-Rh(10%)	-50 ~ 1750	6
B	Pt(70%)-h(30%) dan Pt(94%)-Rh(6%)	-50 ~ 1750	6

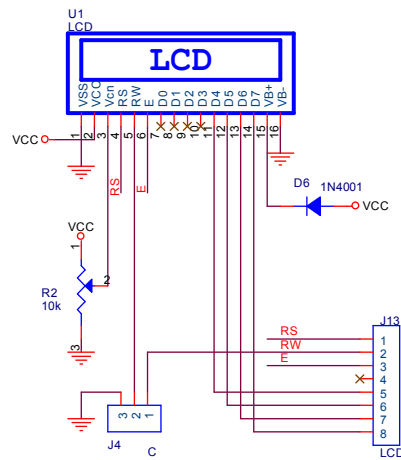
2.6. LCD 2x16

LCD yang di gunakan adalah jenis LCD M1632. M1632 merupakan modul LCD dengan tampilan 16x2 baris. LCD adalah suatu *display* dari bahan cairan cristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem *dot matriks*. LCD banyak di gunakan sebagai *display* dari alat-alat elektronik seperti kalkulator, *multitester digital*, jam *digital* dan sebagainya.



Gambar 2.7 Blok diagram LCD

LCD dapat dengan mudah di hubungkan dengan mikrokontroler AVR ATmega16. LCD yang di gunakan dalam percobaan adalah LCD 2x16, lebar *display* 2 baris 16 kolom, yang mempunyai 16 *pin* konektor, yaitu di definisikan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hubungan port dengan LCD

Tabel 2.3 Pin LCD dan fungsinya

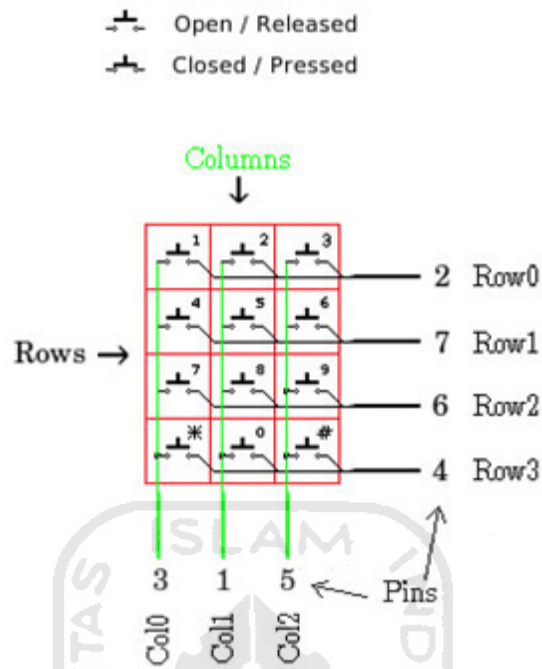
PIN	Nama PIN	Fungsi
1	VSS	Ground Voltage
2	VCC	5 volt
3	VEE	Contrast voltage
4	RS	Register Select
		0= Instruction Register 1= Data Register
5	R/W	Read/Write, to choose write or read mode
		0= write mode 1= read mode
6	E	Enable
		0= Start 1= Disable
7	DB0	Data bit ke-0 (LSB)
8	DB1	Data bit ke-1
9	DB2	Data bit ke-2
10	DB3	Data bit ke-3
11	DB4	Data bit ke-4
12	DB5	Data bit ke-5
13	DB6	Data bit ke-6
14	DB7	Data bit ke-7 (MSB)
15	BPL	Back Plane Light
16	GND	Ground Voltage

2.7. KEYPAD

Keypad atau papan kunci adalah penghubung antara pemakai dengan alat pengendali yang di buat. *Keypad* yang di pakai mempunyai 12 buah timbol yang tersusun dalam bentuk matriks 3 x 4 . Tombol-tonbol ini di pakai untuk menjalankan berbagai fungsi pengendalian seperti halnya untuk *On/Off* dan pilihan menu.



Gambar 2.9 Keypad 3x4



Gambar 2.10 Schematic Keypad 3x4

Pada *keypad* ini jika ada penekanan tombol, maka akan terbentuk kombinasi logika akibat terhubungnya baris dan kolom seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.4 Heksadesimal Keypad

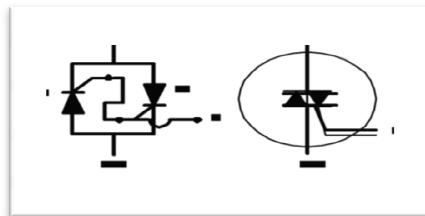
Tombol	Biner	Heksadesimal
#	01101110	6EH
0	10101110	AEH
*	11001110	CE
9	01110110	76H
8	10110110	B6H
7	11010110	D6H
6	01111010	7AH
5	10111010	BAH
4	11011010	DAH
3	01111100	7CH
2	10111100	BCH
1	11011100	DCH

2.8. Komponen Pendukung Utama

2.2.1. Thyristor

Thyristor merupakan komponen elektronika yang banyak digunakan sebagai saklar elektronik. Pada penelitian ini yang dipakai sebagai *Thyristor* yaitu TRIAC. TRIAC merupakan singkatan dari *TRIode Alternating Current*, yang artinya adalah saklar triode untuk arus bolak-balik. TRIAC adalah pengembangan dari pendahulunya yaitu DIAC dan SCR. Ketiganya merupakan sub-jenis dari *Thyristor*, piranti berbahan silikon yang umum digunakan sebagai saklar elektronik, disamping transistor dan FET. Perbedaan diantara ketiganya adalah dalam penggabungan unsur-unsur penyusunnya serta dalam segi arah penghantaran arus listrik yang melaluinya.

TRIAC sebenarnya adalah gabungan dua buah SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) atau *Thyristor* yang dirancang anti paralel dengan 1 (satu) buah elektroda gerbang (*gate electrode*) yang menyatu. SCR merupakan piranti zat padat (*solid state*) yang berfungsi sebagai sakelar daya berkecepatan tinggi.



Gambar 2.11 TRIAC dan Ekuivalensi Simbolnya

TRIAC memiliki karakteristik *switching* seperti pada SCR, kecuali bahwa TRIAC dapat berkonduksi dalam berbagai arah. TRIAC dapat digunakan untuk

mengontrol aliran arus dalam rangkaian AC. Elemen seperti penyearah dalam kedua arah menunjukkan kemungkinan dua aliran arus antara terminal utama M1 dan M2. Pengaturan dilakukan dengan menerapkan sinyal antara gate (gerbang) dan M1.

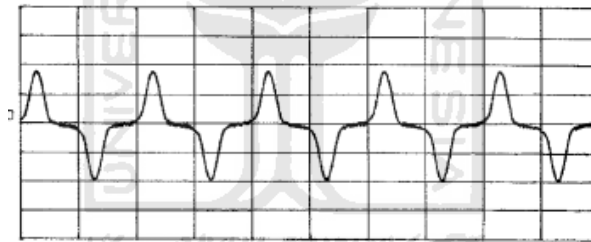
Karena dapat bersifat konduktif dalam dua arah, biasanya TRIAC digunakan untuk mengendalikan fasa arus AC (contohnya kontroler tegangan AC). Selain itu, karena TRIAC merupakan *device* bidireksional, terminalnya tidak dapat ditentukan sebagai anode atau katode. Jika terminal MT2 positif terhadap terminal MT1, TRIAC dapat dimatikan dengan memberikan sinyal gerbang positif antara gerbang G dan MT1. Sebaliknya jika terminal MT2 negatif terhadap MT1 maka TRIAC akan dapat dihidupkan dengan memberikan sinyal pulsa negatif antara gerbang G dan terminal MT1. Tidak perlu untuk memiliki kedua sinyal gerbang positif dan negatif dan TRIAC akan dapat dihidupkan baik dengan sinyal positif atau negatif.

Dalam prakteknya sensitivitas bervariasi antara satu kuadran dengan kuadran lain, dan TRIAC biasanya beroperasi di kuadran I+ (tegangan dan arus gerbang positif) atau kuadran III- (tegangan dan arus gerbang negatif).

Konduksi atau hantaran diantara katoda dan anodanya ditahan dalam arah maju maupun mundur. Gerbang tidak dikendalikan sepanjang karakteristik mundur, namun dapat dipergunakan sebagai sakelar hantaran dalam arah maju. Bila diberi sinyal kecil diantara gerbang dan katoda, *Thyristor* akan aktif, sehingga arus maju yang besar dapat mengalir dengan hanya memberikan tegangan kecil saja pada piranti ini. Sekali aktif, *Thyristor* hanya dapat dimatikan

dengan menurunkan arus yang melaluinya sampai kurang dari nilai arus yang disebut *holding current* (arus genggam). Arus genggam merupakan arus minimum yang dinyatakan untuk memastikan penerusan hantaran, dan ini biasanya dinyatakan dalam persen terhadap arus maju maksimum.

Piranti ini dapat dibuat agar bertindak sebagai rangkaian terbuka (penahan maju) atau dapat dipicu sehingga memiliki kondisi hantaran maju resistansi rendah dengan memberikan pulsa singkat yang memiliki daya relatif rendah/kecil pada terminal gerbang. Dengan memberikan *Thyristor* secara diagonal akan terlihat bahwa struktur transistor P-N terdapat diantara anoda dan gerbang transistor N-P dalam daerah gerbang katoda.

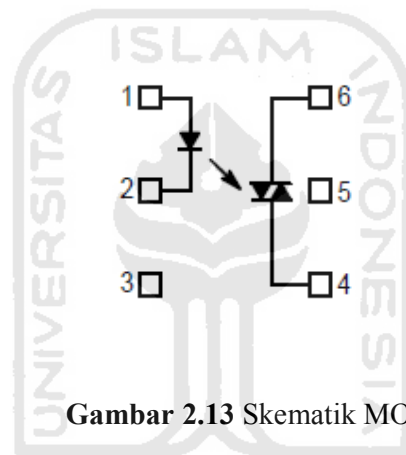


Gambar 2.12 Gelombang yang melalui Triac tanpa beban

Dapat dilihat bahwa gambar di atas adalah gelombang yang melalui Triac saat tanpa beban. Ketika diberikan tegangan pada kaki gate Triac, semakin besar tegangan yang diberikan, maka akan semakin sempit nilai *delay* gelombang di atas. Semakin sempit *delay*, maka tegangan yang akan diberikan ke beban akan semakin besar.

2.2.2. MOC3020

MOC merupakan komponen elektronika yang digunakan sebagai pengaman saat terjadi ledakan atau gangguan pada daerah tegangan tinggi, sehingga daerah pada tegangan rendah seperti rangkaian kendali tetap aman. MOC merupakan opto Triac yang dapat membuka saklar pada Triac sehingga dapat mengalirkan tegangan AC. MOC ini dapat bekerja saat dialiri tegangan DC sebesar 0 -5 volt sesuai dengan kebutuhan.



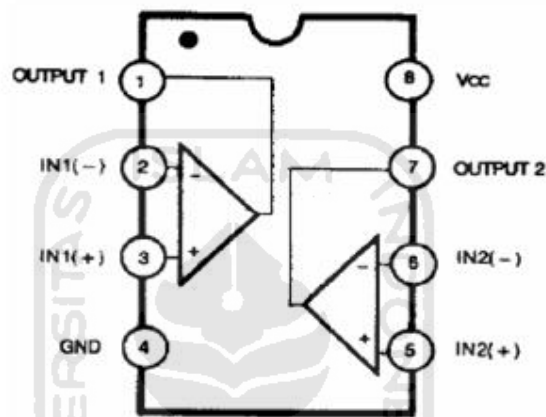
Gambar 2.13 Skematik MOC

Bagian yang berada disebelah kiri terhubung dengan tegangan rendah, sedangkan bagian sebelah kanan terhubung dengan tegangan tinggi. Kaki nomor 1 dan 2 merupakan diode yang akan memberikan sinyal kepada kaki 4 dan 6 yaitu opto Triac.

Dari opto Triac tersebut nantinya akan memicu gate Triac yang berasal dari pin kaki 4 opto, sehingga saklar akan membuka dan mengalirkan tegangan.

2.2.3. LM393

LM393 adalah Komparator yang di dalamnya terdapat dua Komparator tegangan yang *independent*. Komparator ini didesain dapat beroperasi pada *single power supply* dengan tegangan dari 2 sampai 36 volt. Blok diagram internalnya terlihat di Gambar 2.14.

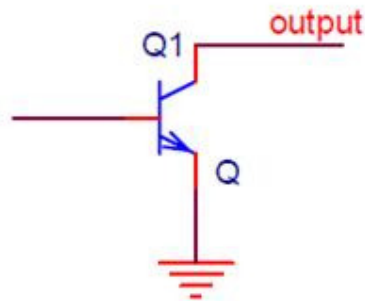


Gambar 2.14 Blok Diagram Internal LM393

Alasan menggunakan komparator ini karena komparator ini dapat beroperasi tanpa catu daya negatif. Selain itu komparator ini dapat bekerja hanya dengan tegangan 5 volt. Tegangan 5 volt merupakan catu daya yang biasa digunakan mikrokontroler sehingga catu daya dapat diambilkan dari catu daya mikrokontroler apabila sistem yang dibuat menggunakan mikrokontroler.

Komparator LM393 menggunakan output *open collector* yaitu bagian kolektor dari transistornya tidak dihubungkan tegangan positif sedangkan emitornya terhubung ke *ground*. Transistor yang dirangkai sebagai *open collector* terlihat di Gambar 2.15. Outputnya biasanya dihubungkan dengan resistor *pull up*

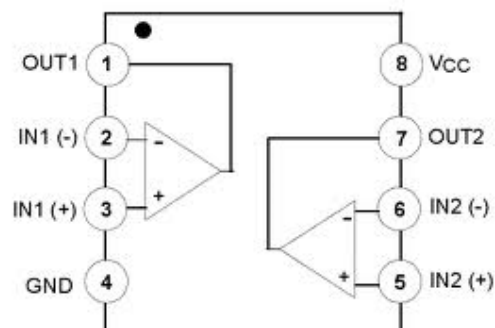
untuk menahan output *high* saat transistor OFF. Saat transistor ON arus *sinking* melewati transistor. Besarnya arus *sinking* ini tergantung besarnya resistor *pull up*.



Gambar 2.15 Transistor yang dirangkai sebagai *open collector*

2.2.4. LM358

LM358 adalah termasuk seri LM158, amplifier yang di dalamnya terdapat dua amplifier tegangan yang *independent*, Penguatan yang tinggi, internal kompensasi frekuensi penguat operasional yang dirancang khusus untuk beroperasi dari satu catu daya hingga berbagai tegangan. Dapat juga dioperasikan dengan pembagi tegangan dan *supply* daya rendah pasokan aliran arus yang tidak tergantung dari besarnya tegangan *power supply*. Blok diagram internalnya terlihat di Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Blok Diagram Internal LM358

Dapat di aplikasikan sebagai amplifier transduser, penguatan tegangan DC dan semua rangkaian op amp konvensional yang sekarang dapat lebih mudah diimplementasikan pada power supply sistem tunggal. Sebagai contoh, seri LM158 dapat secara langsung dioperasikan dengan tegangan standar +5 V yang digunakan dalam sistem digital dan dengan mudah di gunakan sebagai antarmuka elektronik tanpa membutuhkan pasokan daya tambahan $\pm 15V$. LM358 tersedia dalam ukuran paket chip ukuran(8-Bump SMD mikro)



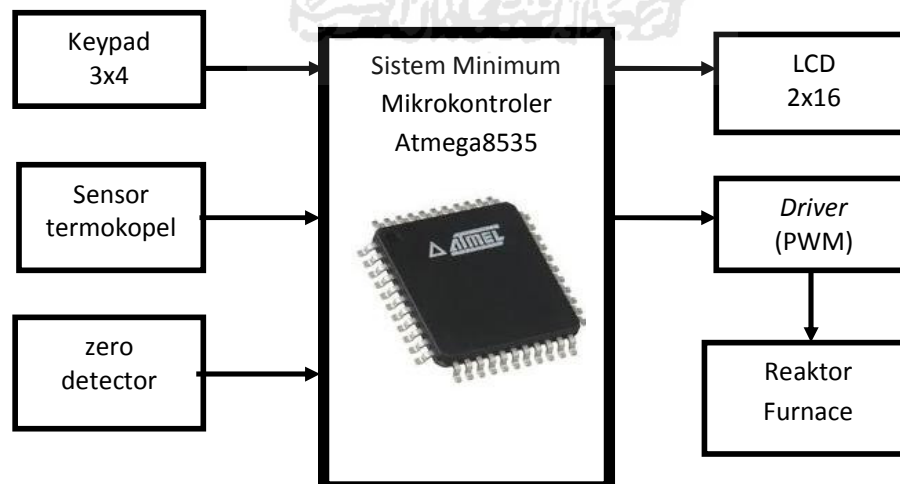
BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3. 1. Perancangan Sistem

Sistem yang akan di bangun adalah sistem kendali suhu *furnace* berbasis PID. *Plant* terdiri dari *Keypad* 3x4 , sensor suhu termokopel , rangkaian penguat *non inverting*, LCD, rangkaian *zero detector* , *Driver* AC, reaktor *furnace* dan rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535. Pengontrolan suhu dan masa aktif reaktor *furnace* di lakukan melalui rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 yang telah terintegrasi dengan rangkaian yang lainnya.

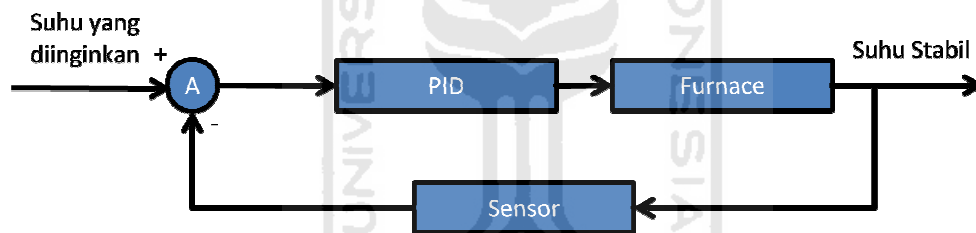
Berikut ini adalah diagram blok dari sistem kendali suhu *furnace*.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Untuk mendeteksi suhu *furnace* di gunakan sensor termokopel tipe K. *Output* sensor berupa tegangan. Apabila suhu semakin tinggi maka tegangan *output* pada sensor akan semakin besar. Data *output* sensor yang berupa analog di hubungkan ke mikrokontroler ATmega8535 yang memiliki ADC tersendiri pada *port A* sehingga *output* sensor akan secara otomatis dapat langsung di proses. Output dari mikrokontroler berupa PWM akan langsung di teruskan ke driver tegangan AC yang berfungsi mengontrol suhu *furnace*. LCD berfungsi untuk menampilkan parameter-parameter pengendali suhu yang di deteksi termokopel.

Sedangkan blok diagram *closed-loop Plant* sistem adalah:



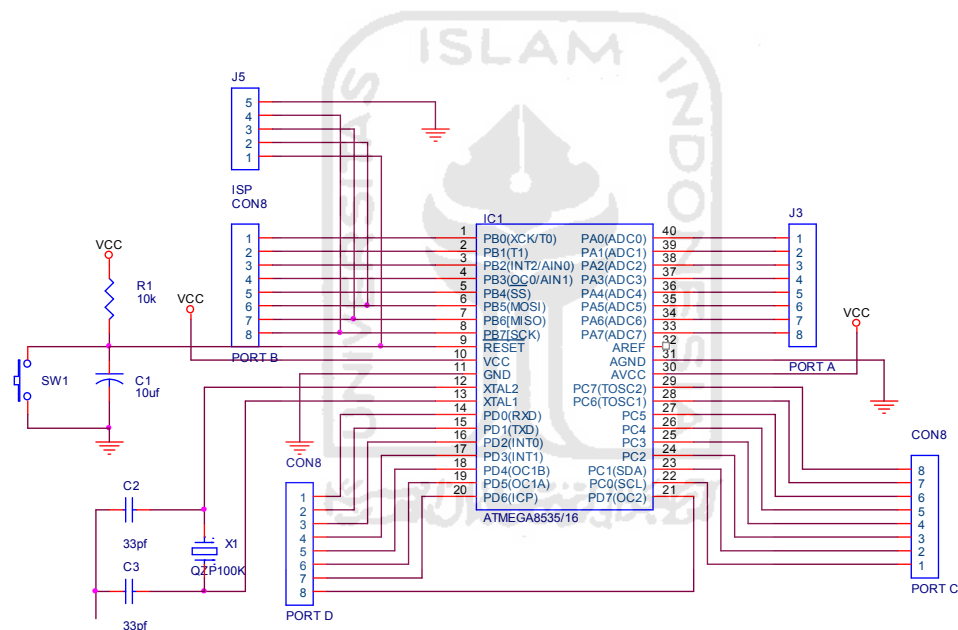
Gambar 3.2 Diagram blok sistem *heater*

Nilai suhu, nilai masa aktif furnace, nilai K_p , K_i , K_d yang di inginkan, di inputkan ke dalam mikrokontroler melalui *keypad* yang selanjutnya menjadi masukan sistem. Suhu *furnace* yang di deteksi oleh sensor termokopel dan hasil pengukurannya di jadikan sebagai sinyal umpan balik selanjutnya di bandingkan oleh pengendali dan akan menghasilkan nilai suhu yang sama seperti yang di harapkan.

3.2. Perancangan Perangkat Keras

3.2.1. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535

Rangkaian ini berfungsi sebagai pusat kendali dari seluruh system yang ada. Komponen utama dari rangkaian ini adalah IC mikrokontroler ATmega8535. Pada IC inilah semua program diisikan, sehingga rangkaian dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler di tunjukan pada gambar berikut ini:



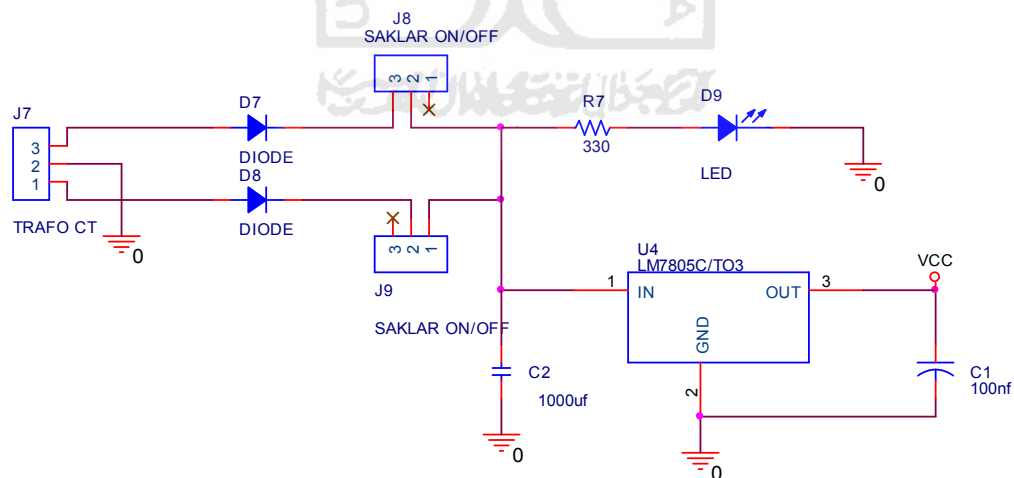
Gambar 3.3 Sistem minimum mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler ini memiliki 32 pin I/O, terdapat 4 Port yaitu PA, PB, PC dan PD yang semuanya dapat di program sebagai input ataupun output. Pin I/O pada mikrokontroler AVR dapat di konfigurasi sebagai input atau output, dengan cara mengubah isi I/O register data *direction register*. Dan pin 10(VCC) dan

30(AVCC) di hubungkan ke sumber tegangan 5 volt. Dan pin 11 dan 31 di hubungkan ke *ground*. Rangkaian mikrokontroler ini menggunakan komponen kristal 11059200Hz sebagai sumber clocknya. Nilai kristal ini akan mempengaruhi kecepatan mikrokontroler dalam mengeksekusi suatu perintah tertentu. Rangkaian sistem minimum ini sudah siap untuk menerima sinyal analog (fasilitas ADC) di port A. Yaitu yang berasal dari pin 33 sampai 40.

3.2.2. Rangkaian Power Supply

Rangkaian *power supply* ini berfungsi untuk men *supply* tegangan dc. Rangkaian ini memberikan *supply* tegangan sebesar 5 volt untuk rangkaian sistem minimum, Driver tegangan ac, rangkaian zero detector, penguat termokopel dan LCD. Rangkaian *power supply* ditunjukkan pada gambar di bawah :



Gambar 3.4 Rangkaian Power Supply

Input rangkaian sebesar 14 volt AC yang berasal dari trafo step down yang berfungsi menurunkan tegangan dari 220 volt AC menjadi 14 volt AC. Kemudian 14 volt AC disearahkan dengan menggunakan dua buah dioda, selanjutnya 14 volt DC akan diratakan oleh kapasitor 1000uF. Regulator tegangan 5 volt (LM7805/TO) digunakan agar keluaran yang dihasilkan tetap sebesar 5 volt walaupun terjadi perubahan pada tegangan masukannya. Kemudian disearahkan lagi dengan kapasitor 100uF. LED hanya sebagai indikator apabila *power supply* dinyalakan. *Output* yang dihasilkan dari rangkaian ini sebesar ± 5 volt DC.

3.2.3. Rangkaian Penguat Tegangan Termokopel

Sensor suhu yang digunakan pada perancangan ini yaitu thermocouple tipe K memiliki output dalam satuan mili Volt (mV) sehingga perlu dikuatkan hingga mendapatkan keluaran dalam satuan Volt. Tegangan keluaran maksimum yang diinginkan sebesar 5 Volt, Kenaikan pada thermocouple setiap 1 derajat sebesar 0,04 mV sedangkan tegangan keluaran maksimum thermocouple untuk 1000°C yaitu 41.665mV, sehingga diperlukan penguatan sebesar:

Diambil Nilai R2 sebesar 1.298 M Ω maka nilai R1 sebesar 10.95 K Ω .

$$V_{out} = \frac{R2}{R1} + 1 \times V_{in}$$

$$4980mV = \frac{1298}{R1} + 1 \times 41.665$$

$$R1 = \frac{1298}{119.52 - 1} = 10.95$$

Nilai penguatan :

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$A_v = \frac{4980}{41.665} = \frac{1298}{10.95} + 1$$

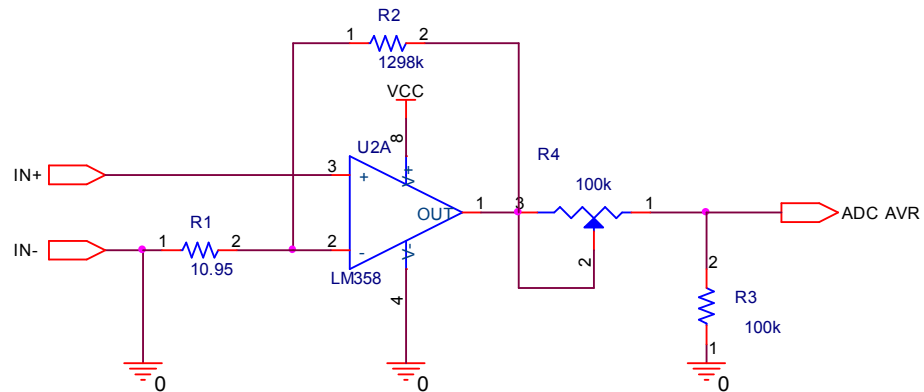
$$A_v = 119.5$$

$$A_v = \frac{1298}{10.95} + 1 = 119.5$$

Pada rangkaian ini digunakan IC Op-Amp LM358 karena dengan IC ini tidak diperlukan tegangan positif dan negatif. Dengan Resolusi ADC internal AVR sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Resolusi ADC} &= \frac{V_{ref}}{2^{10} - 1} \\ &= \frac{5}{1023} = 4.88mV \end{aligned}$$

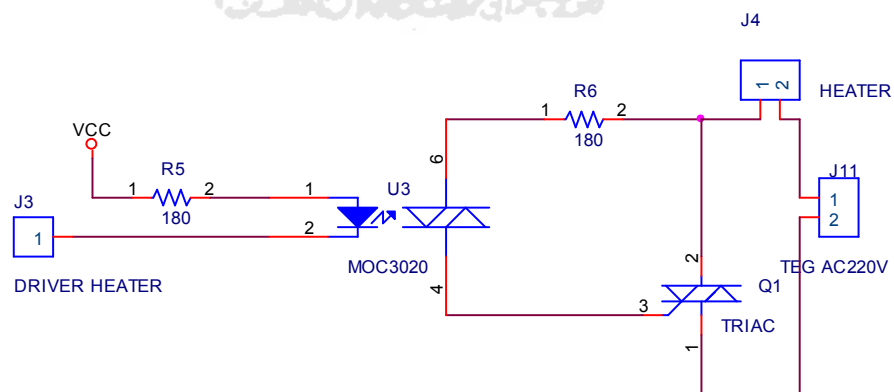
Direncanakan setiap kenaikan 1°C setara dengan 1 bit ADC yaitu 4,88mV. Adapun rangkaian Penguat untuk sensor thermocouple ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Penguat termokopel

3.2.4. Rangkaian Driver Tegangan AC

Rangkaian *driver* AC ini berfungsi sebagai pemuncian tegangan pada komponen TRIAC yang mengatur keluaran tegangan 220 AC. Pemicuan pada rangkaian ini yaitu berasal dari perangkat keras sistem minimum ATmega8535 yang memiliki tegangan keluaran sebesar 0 – 5 volt DC. Rangkaian tersebut dapat dilihat pada gambar 3.6.

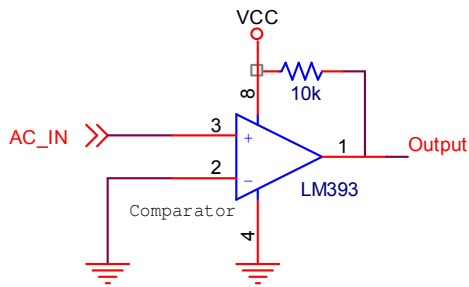


Gambar 3.6 Rangkaian *Driver* AC

Cara kerja rangkaian di atas yaitu saat diberikan input tegangan DC yang berasal dari output *Port* mikrokontroler, maka akan memberikan picuan terhadap TRIAC BT137 . Besarnya nilai tegangan picu yang diatur dari mikrokontroler akan berpengaruh terhadap pembukaan gate TRIAC yang nantinya akan mengalirkan tegangan AC ke beban. Komponen TRIAC ini dapat dikatakan sebagai saklar yang akan membuka dan menutup tegangan AC yang pengaturannya dikendalikan oleh tegangan DC yang berasal dari mikrokontroler . Rangkaian ini menggunakan MOC 3020 merupakan OptoTriac, yang berfungsi sebagai pengaman mikrokontroler ATmega8535. Jadi saat terjadi ledakan atau gangguan pada daerah yang dialiri oleh tegangan AC, mikrokontroler ATmega8535 akan aman.

3.2.5. Rangkaian Zero Detector

Bagian ini berfungsi untuk mendeteksi sinyal AC saat mengalami tegangan nol volt (saat *zero*) . Rangkaian *zero detector* yang digunakan dalam sistem ini menggunakan IC komparator LM393. Outputnya dihubungkan dengan kaki INT0 (pin 16) pada mikrokontroler. Komparator ini termasuk jenis *Low Power Low Offset Voltage Dual Comparator*. Outputnya menggunakan *open collector*. Rangkaian komparator ini dirangkai berdasarkan rangkaian yang terdapat pada penjelasan *datasheet*-nya. Rancangan rangkaiannya ialah sebagai berikut:



Gambar 3.7 Rangkaian *zero detector*

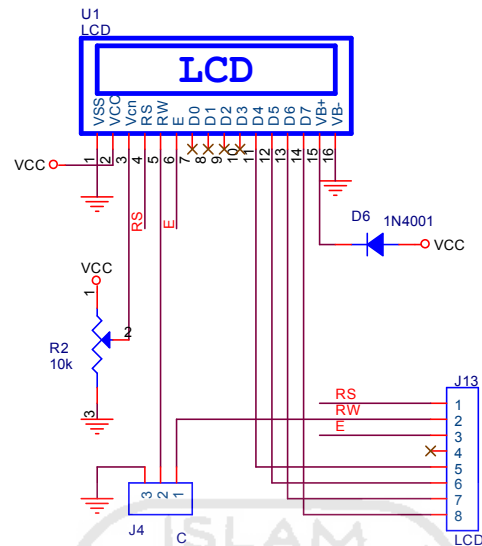
Prinsip kerjanya dengan membandingkan tegangan AC terhadap tegangan referensi yang dihubungkan ke *ground* (0 volt). Masukan AC berasal dari trafo *step down* yang sudah diturunkan lagi dengan resistor pembagi tegangan.

Saat fase positif komparator akan menghasilkan output *high* (Vcc) dan saat fase negatif akan menghasilkan output *low* (0 volt). Jadi outputnya adalah gelombang kotak dengan frekuensi sesuai dengan frekuensi AC-nya yaitu 50 Hz.

Pada saat *Positive Going Transition* (PGT) atau *Negative Going Transition* (NGT) inilah saat terjadi *zero*. PGT atau NGT inilah yang dibaca oleh mikrokontroler sebagai *zero*.

3.2.6. Rangkaian LCD (*Liquid crystal display*)

Rangkaian skematik konektor yang di hubungkan dari LCD (*liquid crystal display*) ke mikrokontroler. Rangkaian ini berfungsi menampilkan suhu yang di baca termokopel, nilai error, timer dan parameter-parameter input. Rangkaian dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

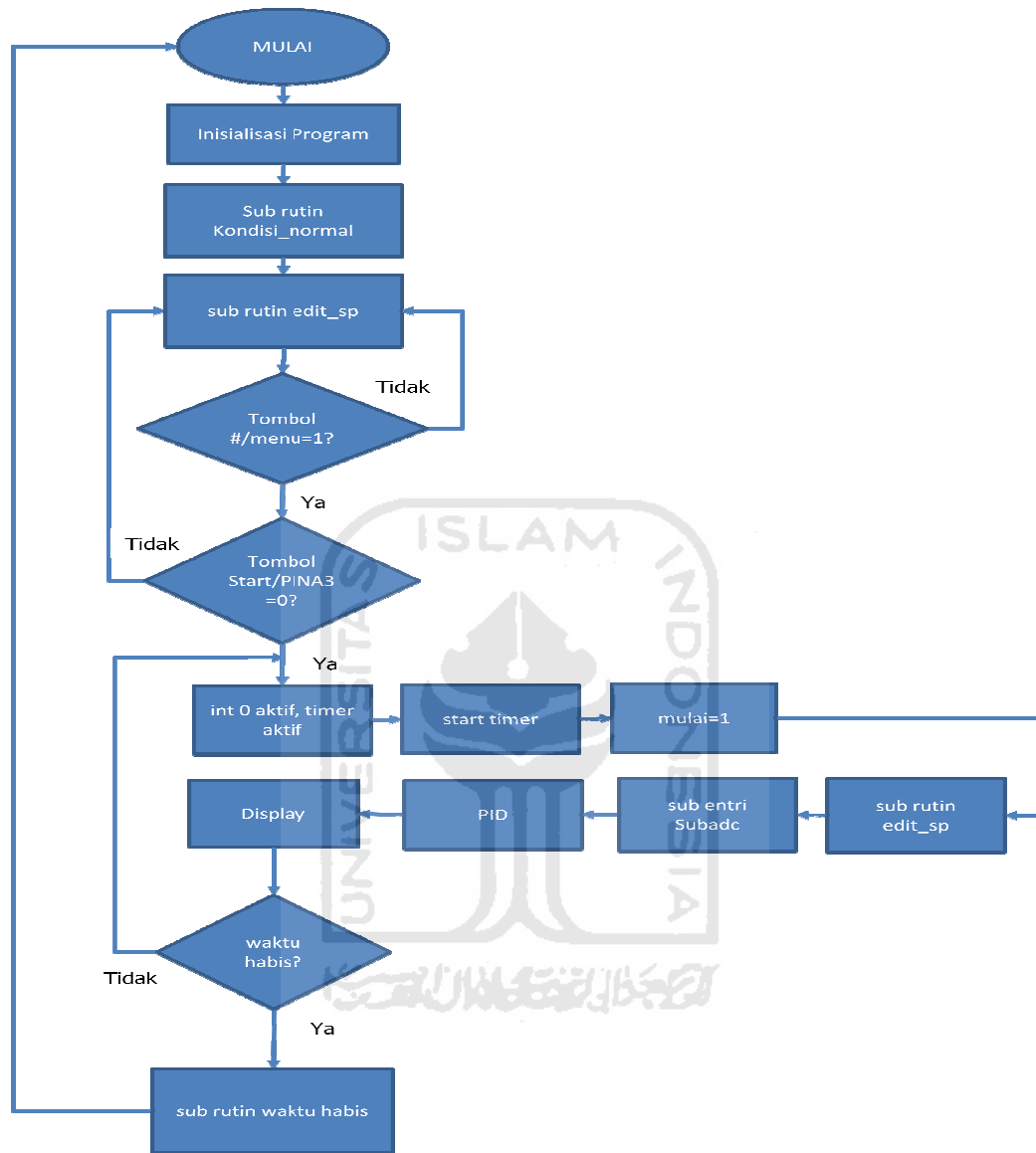


Gambar 3.8 Hubungan port dengan LCD

3. 3. Perancangan Perangkat lunak

3.3.1. Diagram Alir Rangkaian

Perangkat lunak yang di gunakan untuk membuat program mikrokontroler yaitu BASCOM AVR dengan menggunakan bahasa BASIC. Selanjutnya program ini di simpan dalam memori data dan memori program. Perancangan *software* di lakukan dengan membuat diagram alir (*Flow chart*) terlebih dahulu. Setelah itu, program di buat dengan mengikuti diagram alir (*flow chart*) seperti yang di tunjukan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Diagram alir (*flow chart*) sistem pengendali suhu *furnace*

Keterangan diagram alir:

1. Pertama-tama program di rancang untuk inisialisasi port, inisialisasi port berfungsi untuk mendefinisikan pin-pin I/O Mikrokontroler yang akan di gunakan dalam rangkaian.

2. Jalankan program sub rutin kondisi normal, yaitu program untuk mendeteksi output penguat sensor termokopel melalui ADC internal ATmega8535 yang selanjutnya di konversikan nilai ADC menjadi $^{\circ}\text{C}$ untuk di tunjukan di tampilan awal
3. Jalankan program sub rutin edit sp, yaitu program untuk menseting parameter-parameter yang di sediakan, diantaranya: Set point suhu, waktu, Kp, Ki, Kd.
4. Apakah menu=1?, bila tidak maka akan kembali ke sub rutin edit_sp, bila menu=1 maka akan di lanjutkan ke opsi tekan tombol start.
5. Tombol Start/PINA3=0?, jika tidak maka akan terus menunggu hingga tombol start di tekan atau menjalankan sub rutin edit_sp jika menekan tombol (*) untuk kembali ke menu utama. Jika tombol start di tekan maka akan mengaktifkan interupsi eksternal 0 yang merupakan interupsi untuk driver AC, timer aktif dan kemudian timer di mulai, (mulai=1).
6. Jalankan program sub entri Subadc untuk mengkonversi nilai ADC menjadi $^{\circ}\text{C}$ dan mendapatkan nilai error yang selanjutnya di konversi menggunakan algoritma PID agar di peroleh nilai kontrol. Adapun nilai kontrol tersebut di gunakan untuk mengendalikan driver AC.
7. Selanjutnya di tampilkan di LCD perbandingan nilai suhu terukur dengan nilai set point suhu.

8. Apakah waktu habis? Jika tidak maka sistem akan terus bekerja hingga waktu diinginkan telah tercapai, kemudian jika waktu habis maka program akan menjalankan sub rutin waktu habis dan selanjutnya kembali MULAI atau menjalankan program awal

3.3.2. Perancangan Pengendali PID

Program di bawah ini adalah program untuk sistem kontrol PID.

Program PID terdiri tiga Pengendali yaitu Pengendali P, pengendali I dan pengendali D.

Bentuk dari algoritma PID adalah:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.1)$$

Di mana:

K_p : penguatan proporsional, sebuah parameter tuning

K_i : penguatan Integral, sebuah parameter tuning

K_d : penguatan derivatif, sebuah parameter tuning

e : Error = $S_p - P_v$

t : Waktu atau waktu sesaat (sekarang)

Pengendali Proporsional:

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (3.2)$$

Kontrol P diperoleh dengan mengalikan nilai kesalahan atau *error* dengan nilai penguatan proporsional atau K_p .

Algoritma P yaitu:

Control_p = K_p * Error

Pengendali integral:

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3.3)$$

Kontrol I di peroleh dengan menjumlahkan durasi kesalahan atau *error* dan selanjutnya mengalikan penguatan Integral atau *K_i*.

Algoritma I yaitu:

error = setpoint - actual_position

integral = integral + (error*dt)

control_i = (K_i * integral)

Pengendali Derivatif:

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.4)$$

Ini turunan dari proses error dihitung dengan menentukan kemiringan error dari waktu ke waktu dan mengalikan ini dengan pengautan derivatif atau *K_d*.

Algoritma D yaitu:

Err_pengurangan = Error - Err_sblm

Err_sblm = Error

Derivative = Err_pengurangan / dt

Control_d = K_d * Derivative

Pengendali Proporsional Integral derivatif:

Merupakan gabungan dari pengendali P, I, dan D.

Algoritma PID yaitu:

Control_PID = control_p + control_i + control_d

BAB IV

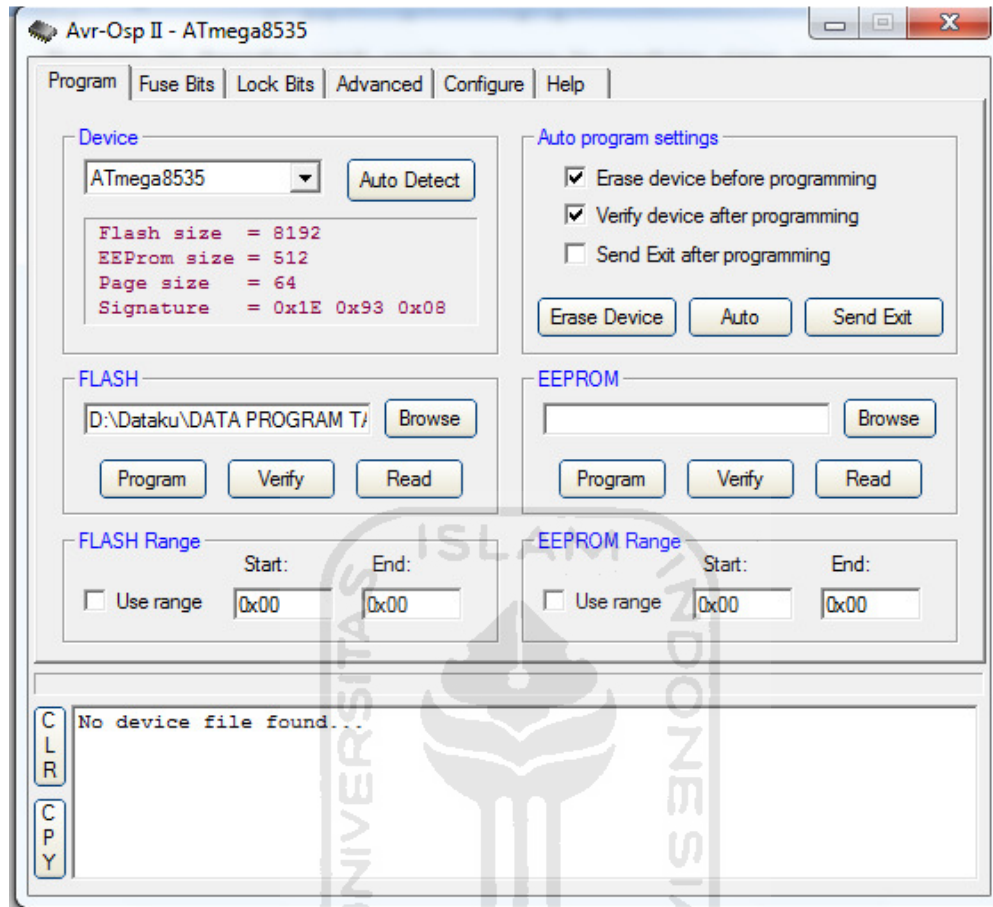
PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1. Pengujian Rangkaian *Power Supply*

Pengujian pada bagian rangkaian *power supply* ini dapat dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari rangkaian ini dengan menggunakan multimeter digital. Dari hasil pengujian diperoleh tegangan keluaran sebesar +5 volt. Tegangan ini digunakan untuk suplai tegangan ke rangkaian sistem minimum ATmega8535, rangkaian zero detector, rangkaian penguat termokopel, rangkaian LCD dan driver tegangan ac, semua rangkaian tersebut dapat bekerja dengan baik. Dengan demikian rangkaian *power supply* ini sudah dapat bekerja dengan baik.

4.2. Pengujian Rangkaian Sistem Minimum ATmega8535

Pengujian sistem minimum ATmega8535 harus dapat di program langsung pada papan rangkaian mikrokontroler dan rangkaian mikrokontroler harus dapat di kenali oleh program downloader. Pada pengujian rangkaian mikrokontroler ini berhasil di lakukan dengan di kenalnya jenis mikrokontroler oleh program downloader, yaitu ATmega8535.



Gambar 4.1 Software downloader AVR-Osp II

Mikrokontroler menggunakan kristal 11059200 Hz, jika tool auto Detect di klik dan muncul jenis mikrokontroler yang di gunakan, bisa di katakan rangkaian mikrokontroler bekerja dengan baik dengan mode ISP-nya.

4.3. Pengujian Rangkaian Penguat Termokopel

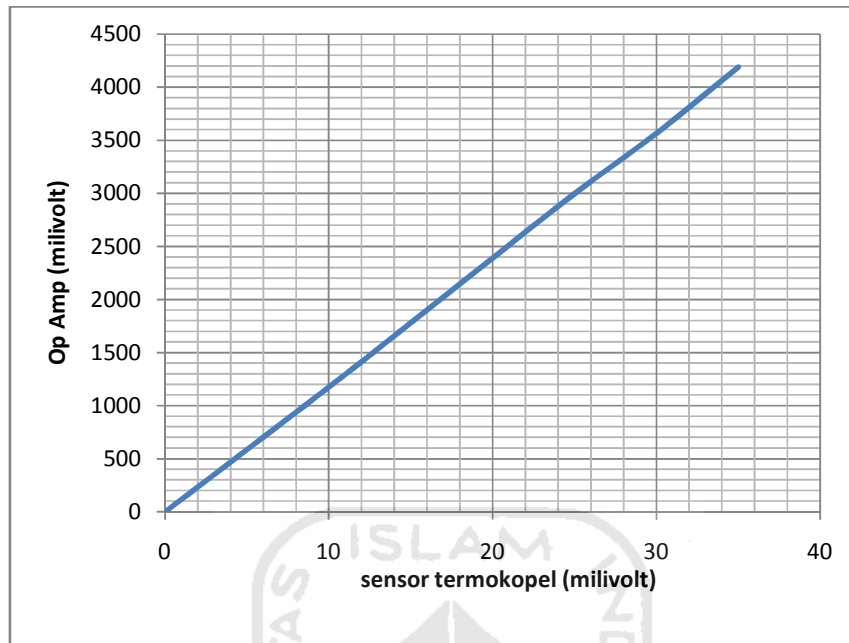
Pengujian rangkaian Op – Amp ini dilakukan untuk memperkuat tegangan yang dihasilkan sensor termokopel karena sangat kecil. Rangkaian ini adalah tipe

non-inverting yang akan menguatkan keluaran tegangan dari sensor termokopel sebesar 119.5 kali.

Tabel 4.1 Pengujian OP – Amp

Sensor Termokopel (mv)	Op Amp (mv)	Penguatan
0mv	0	0
10mv	1175	117.5
15mv	1780	118.7
20mv	2390	119.5
25mv	2997	119.8
30mv	3565	118.8
35mv	4190	119.7

Dari tabel pengujian di atas, dapat dilihat bahwa tegangan keluaran sensor termokopel cukup kecil, setelah dikuatkan dengan rangkaian OP – Amp tegangannya dapat dinaikkan sekitar ± 119.5 kali. Dengan demikian rangkaian penguat ini dapat dikatakan sudah bekerja dengan baik.

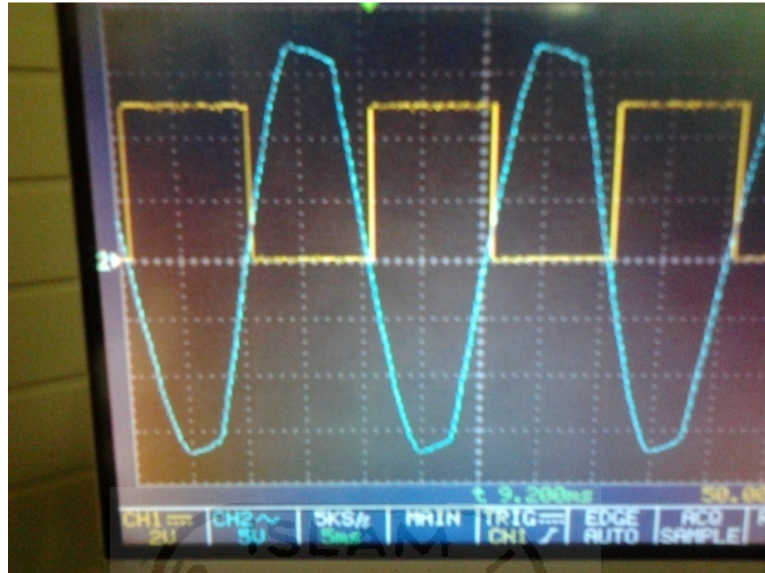


Gambar 4.2 Grafik Pengujian Op-Amp

Dari gambar grafik hubungan di atas dapat diketahui bahwa, semakin besar nilai tegangan yang dikeluarkan termokopel maka, akan semakin bertambah besar nilai tegangan yang dikeluarkan oleh Op – Amp dan nilainya cukup linier.

4.4. Pengujian Rangkaian *Zero Detector*

Pengujian rangkaian zero detector berfungsi untuk mendeteksi sinyal AC saat mengalami tegangan nol volt (saat *zero*). Pengujian rangkaian *zero crossing detector* dilakukan dengan cara memberikan masukan berupa tegangan AC ke rangkaian zero crossing detector. Kemudian dilakukan pengukuran pada bagian masukan dan keluaran dari rangkaian *zero crossing detector* menggunakan osiloskop. Melalui tampilan pada osiloskop diperoleh bentuk gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar .



Gambar 4.3 Gelombang tegangan AC dan output *zero detector*

4.5. Pengujian Rangkaian Driver Tegangan AC

Pada pengujian driver AC ini dilakukan untuk mengetahui besar nilai penyulutan tegangan DC yang berpengaruh terhadap pengaturan besarnya tegangan AC yang dikeluarkan oleh Triac. Dengan membandingkan pulsa masukan dari rangkaian *zero crossing detector* mikrokontroler dapat menghasilkan PWM (*pulse width modulation*) yang sesuai dengan tegangan AC.

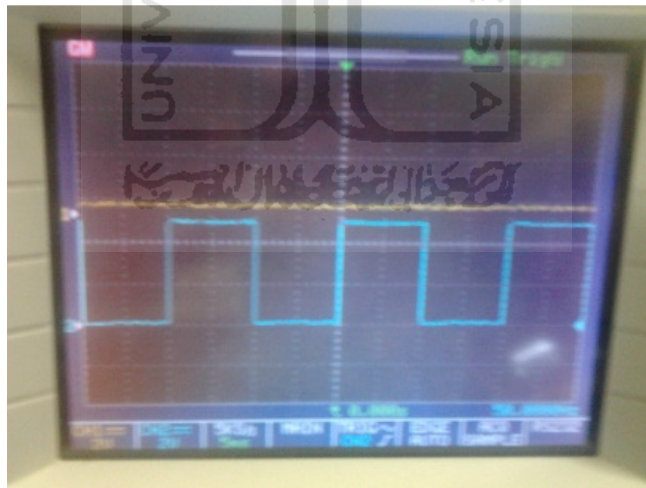
Pengujian driver AC dilakukan dengan cara memberikan PWM (*pulse width modulation*) dengan *duty cycle* yang berbeda-beda.

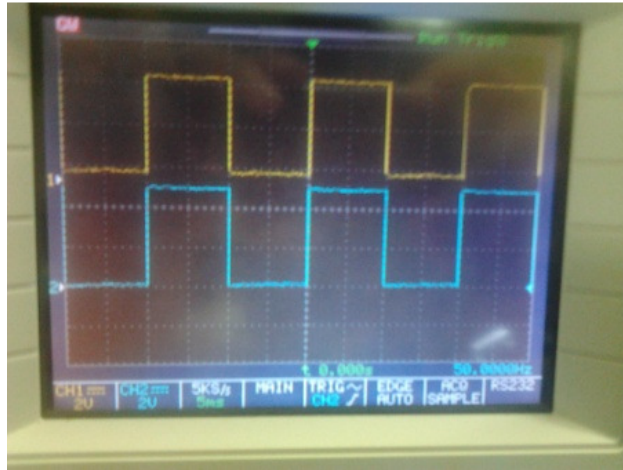
Tabel 4.2 Tegangan AC dengan duty cycle yang berbeda-beda

duty cycle (%)	Tegangan(Volt)
0	228
10	219,6
20	195
30	166,5
40	139
50	125,7
60	127,2
70	107,9
80	68,8
90	20
100	10,3

Berdasarkan tabel diatas rangkaian driver tegangan AC telah berfungsi dengan baik, dan dapat digunakan untuk mengontrol tegangan AC.

Pengujian driver AC dengan *duty cycle* 0% dan *duty cycle* 50% di tunjukan pada gambar 4.4 dan 4.5.

**Gambar 4.4** PWM pada *duty cycle* 0% dan output zero detector



Gambar 4.5 PWM pada *duty cycle* 50% dan output zero detector

4.6. Pengujian LCD

Rangkaian LCD diuji dengan menampilkan karakter dengan perintah sebagai berikut:

Cls

LCD "SENSOR SUHU"

Lowerline

LCD"TERMOKOPEL"

Perintah di atas menampilkan teks "SENSOR SUHU" pada baris pertama dan "TERMOKOPEL" pada baris kedua. Dengan tampilnya teks tersebut berarti modul LCD bekerja dengan baik.

4.7. Pengujian Rangkaian Secara Keseluruhan

Setelah bagian-bagian rangkaian semuanya di uji dan menunjukkan kinerja yang sesuai dengan yang di rencanakan serta program yang di buat telah selesai

dan di isikan ke dalam mikrokontroler langkah selanjutnya adalah menguji kinerja dari alat pengendali ini.

Pengujian di lakukan dengan menyeting nilai set point suhu, set point waktu, Kp, Ki, Kd. Pengujian di lakukan dengan memberikan nilai Kp, Ki, Kd yang berbeda-beda. Hasil pengamatan dari pengujian alat pengendali suhu secara keseluruhan di berikan pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Data Pengamatan ScripProgram

Hal yang diamati	Kondisi
Set Point Suhu	Berfungsi
Set Point Timer	Berfungsi
Set Point Kp	Berfungsi
Set Point Ki	Berfungsi
Set Point Kd	Berfungsi

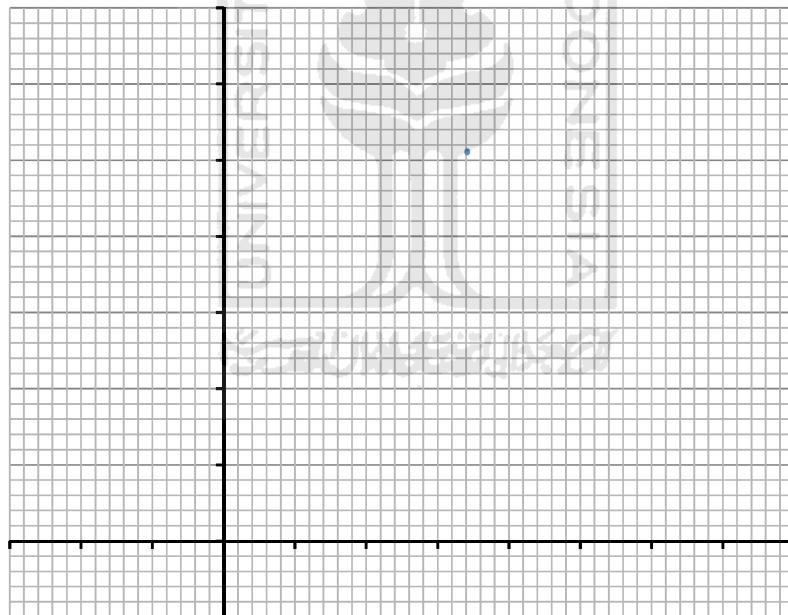
Pengujian alat secara keseluruhan ini dapat di katakan juga pengujian perangkat lunak yang di buat untuk mikrokontroler sebagai pengendali utama rangkaian. Dengan berfungsinya semua opsi yang di buat pada alat, dapat pula di simpulkan bahwa perangkat lunak yang di integrasikan juga bekerja dengan baik.

4.8. Analisis Kendali PID dengan metode Ziegler-Nichols

Aspek yang sangat penting dalam desain kontroler PID ialah penentuan parameter kontroler PID supaya sistem *close loop* memenuhi kriteria performansi yang diinginkan. Hal ini disebut juga dengan *tuning* kontroler.

Terkadang pemodelan matematis suatu plant susah untuk dilakukan. Jika hal ini terjadi maka perancangan kontroler PID secara analitis tidak mungkin dilakukan sehingga perancangan kontroler PID harus dilakukan secara eksperimental.

Ziegler – Nichols mengusulkan aturan untuk menentukan nilai K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada karakteristik tanggapan peralihan dari plant yang diberikan. Metode pertama Ziegler – Nichols menentukan nilai K_p , T_i , dan T_d di tunjukan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kurva S Analisa Grafis *Ziegler Nichols*

Aturan perpotongan garis lurus terjadi pada kondisi linier dari kurva S respon sistem. Ketepatan dalam pengambilan perpotongan ini sangatlah penting karena menentukan parameter T dan L yang menjadi acuan dari kontroler.

Tabel 4.4 Formula *Ziegler Nichols*

Tipe pengendali	Kp	Ti	T _d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$\frac{0.9 T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$\frac{1.2 T}{L}$	2L	0.5L

Parameter-parameter sistem diperoleh dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols :

maka:

$$T = 3940 \text{ s}$$

$$L = 1000 \text{ s}$$

$$K = 606$$

Tabel 4.5 Perhitungan formula *Ziegler Nichols*

Tipe pengendali	Kp	Ti	T _d
P	3,94	∞	0
PI	3,546	3333,3	0
PID	4,728	2000	500

Berdasarkan metode *open-loop Ziegler-Nichols*, maka:

$$K_p = 4,728$$

$T_i = 2L = 2000$ maka:

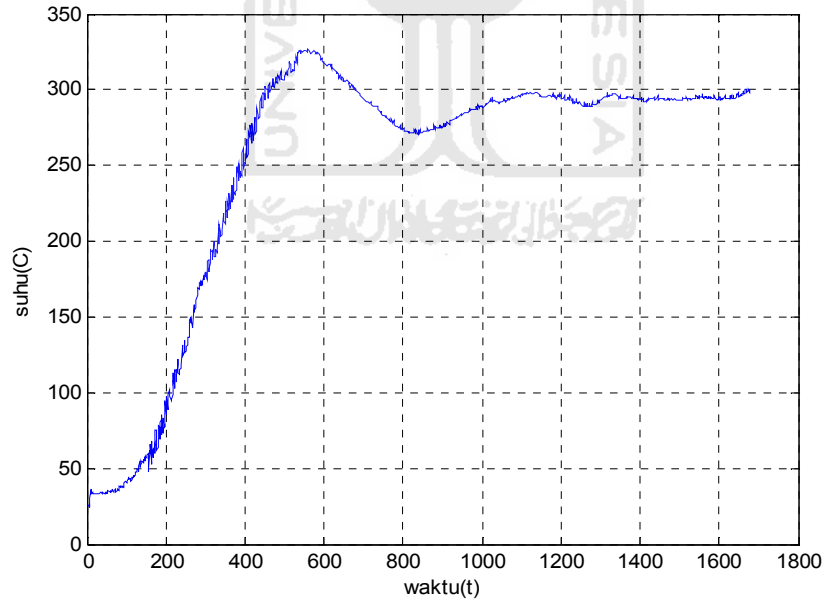
$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{4,728}{2000} = 0.002364$$

$T_d = 0,5L = 500$ maka:

$$K_d = K_p T_d = 2364$$

4.9. Pengendali PID dengan Hasil Tuning Metode Ziegler-Nichols

$K_p=4,728$, $K_i=0.002364$, dan $K_d=2364$



Gambar 4.7 Respon *Setpoint* 300⁰C

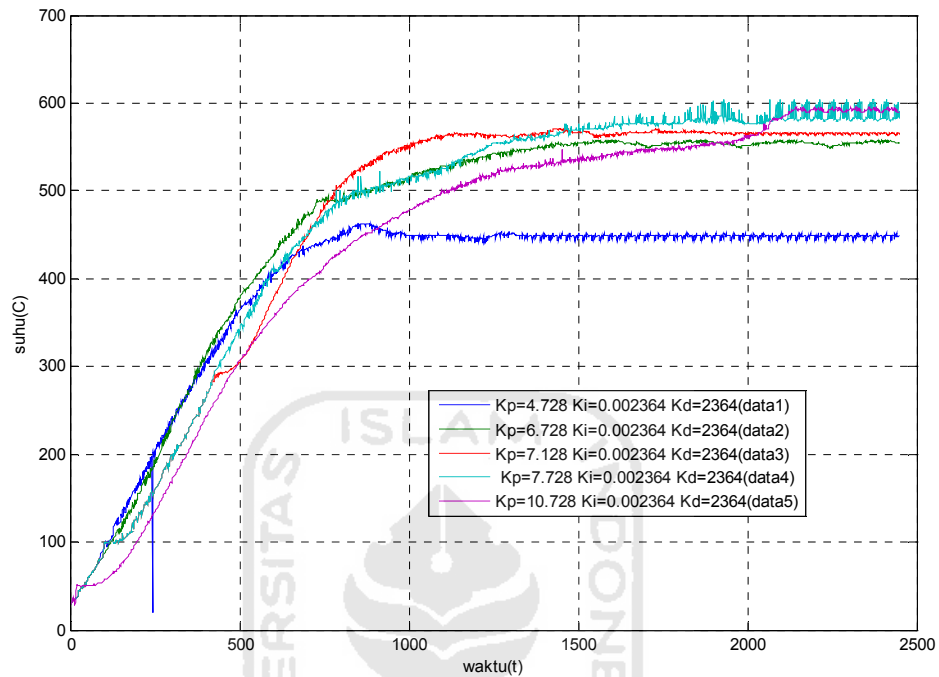
Dengan menggunakan matlab maka di peroleh informasi step respon:

set_suhu :300
Kp :4.728
Kd :2364
Ki :0.002364
RiseTime : 277.5333s
SettlingTime : 1643.500s
SettlingMin : 265°C
SettlingMax : 327°C
Overshoot : 9.0000%
Undershoot : 0
Peak : 327°C
PeakTime : 559s

Pengendali PID dengan hasil tuning metode ziegler-nichols sudah berhasil menjaga kestabilan suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 300°C. pada pengendali PID ini terjadi *overshoot* yang sangat tinggi kurang lebih 9%.

Pada pengendali ini nilai puncak atau *peak* telah mencapai nilai 327°C dengan *peak time* atau waktu untuk mencapai suhu 559second (±9.13 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* .

4.10. Pengendali PID dengan Nilai K_p Berbeda-beda



Gambar 4.8 Respon *Setpoint* 600^oC dengan K_p berbeda-beda

Tabel 4.6 data hasil pengujian alat dengan nilai K_p berbeda-beda.

	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5
Kp	4.728	6.728	7.128	7.728	10.728
Kd	2364	2364	2364	2364	2364
Ki	0.002364	0.002364	0.002364	0.002364	0.002364
RiseTime(s)	-	1148	828.8667	1080.900	1277.700
SettlingTime(s)	-	-	-	-	2124.600
SettlingMin(oC)	-	539	541	540	532
SettlingMax(oC)	-	557	571	604	595
Overshoot(%)	0	0	0	0.6667	0
Peak(oC)	463	557	571	604	595
PeakTime(s)	866	1545	1432	1930	2143

Berdasarkan data pada tabel 4.6. data hasil pengujian 1, Pengendali PID belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu *setpoint* yaitu 463°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 463°C berkisar pada 866 *second* ($\pm 14,4$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

Untuk data hasil pengujian 2, pengendali PID juga belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu set point yaitu 557°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 557°C berkisar pada 1545 *second* ($\pm 25,7$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

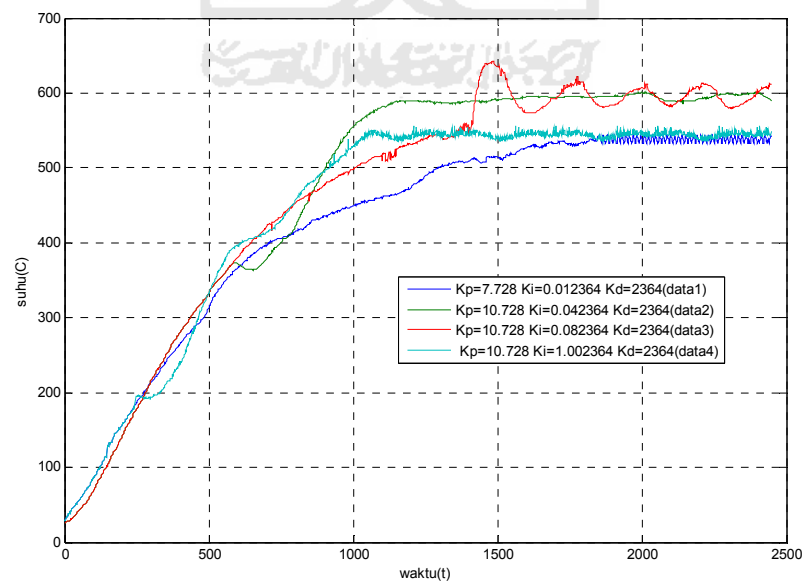
Untuk data3 hasil pengujian alat, pengendali PID juga belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu set point yaitu 571°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 571°C berkisar pada 1432 *second* ($\pm 23,8$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

Pada data4 hasil pengujian alat, pengendali PID juga sudah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini

terjadi *overshoot* yang rendah yaitu kurang lebih 0.6667%. Nilai suhu tertinggi yang di capai sudah mencapai suhu set point yaitu 604°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 604°C berkisar pada 1930 *second* ($\pm 32,1$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

Pada data5 hasil pengujian alat, pengendali PID hampir berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu set point yaitu 595°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 595°C berkisar pada 2143 *second* ($\pm 35,7$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C , pada pengujian ini dapat dianggap pengendali PID sudah cukup baik.

4.11. Pengendali PID dengan Nilai K_i Berbeda-beda



Gambar 4.9 Respon *Setpoint* 600°C dengan K_i berbeda-beda

Tabel 4.7 data hasil pengujian alat dengan nilai K_i berbeda-beda.

	Data1	Data2	Data3	Data4
Kp	7.728	10.728	10.728	10.728
Kd	2364	2364	2364	2364
Ki	0.012364	0.042364	0.082364	1.002364
RiseTime	1750	853.200	1142.200	937
SettlingTime	-	2142.800	2447.500	-
SettlingMin	532	543	538	536
SettlingMax	544	602	643	556
Overshoot	0	0.3333	7.1667	0
Undershoot	0	0	0	0
Peak	544	602	643	556
PeakTime	1853	2005	1483	1209

Berdasarkan data pada tabel 4.7. data 1 menunjukkan bahwa Pengendali PID dengan nilai K_i berbeda-beda belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu *setpoint* yaitu 544°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 544°C berkisar pada 1853 *second* (± 30.8 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

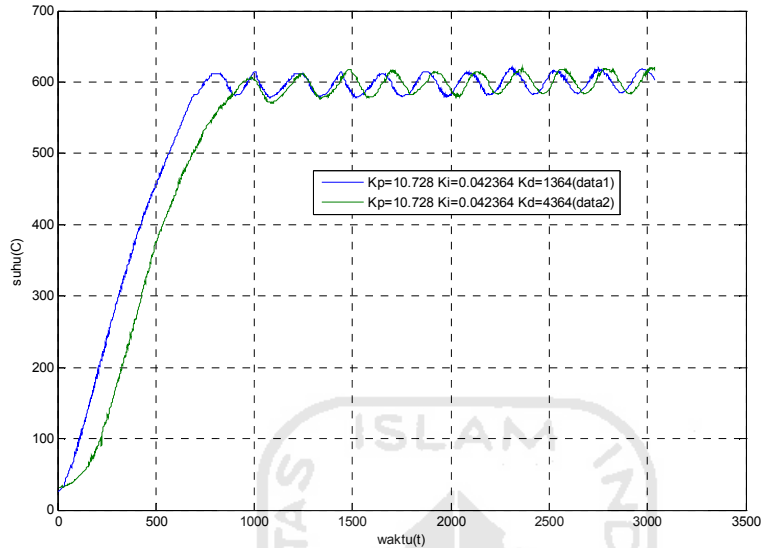
Pada data2 hasil pengujian alat menunjukkan bahwa pengendali PID telah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini terjadi *overshoot* yang cukup rendah yaitu kurang lebih 0.3333%. Nilai suhu tertinggi yang di capai melebihi suhu set point yaitu 602°C

dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 602°C berkisar pada 2005 *second* ($\pm 33,41$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C , pada pengujian ini dapat dianggap pengendali PID sudah cukup baik.

Pada data 3 hasil pengujian alat menunjukkan bahwa pengendali PID belum sesuai dengan yang di harapkan, hal ini karena pengendali ini memiliki nilai *overshoot* yang tinggi yaitu 7.1667% atau 43°C di atas suhu *setpoint* 600°C , nilai suhu tertinggi yang di capai melebihi suhu *setpoint* yaitu 643°C dengan waktu yang di butuhkan untuk mencapai suhu 643°C berkisar pada 1483 *second* ($\pm 24,7$ menit) dan selanjutnya terus beresilasi di sekitar suhu *set point* seperti terlihat pada gambar 4.9.

Pada data 4 hasil pengujian alat menunjukkan bahwa pengendali PID tidak sesuai dengan yang di harapkan, hal ini karena suhu *furnace* tidak mencapai suhu *setpoint* 600°C yaitu hanya berhasil mencapai suhu tertinggi 556°C dengan waktu yang di butuhkan untuk mencapai suhu 556°C berkisar pada 1209 *second* ($\pm 20,1$ menit), sehingga pengendali PID ini tidak baik di gunakan untuk pengendali suhu *furnace*.

4.12. Pengendali PID dengan Nilai K_d Berbeda-beda



Gambar 4.10 Respon *Setpoint* 600⁰C dengan K_d berbeda-beda

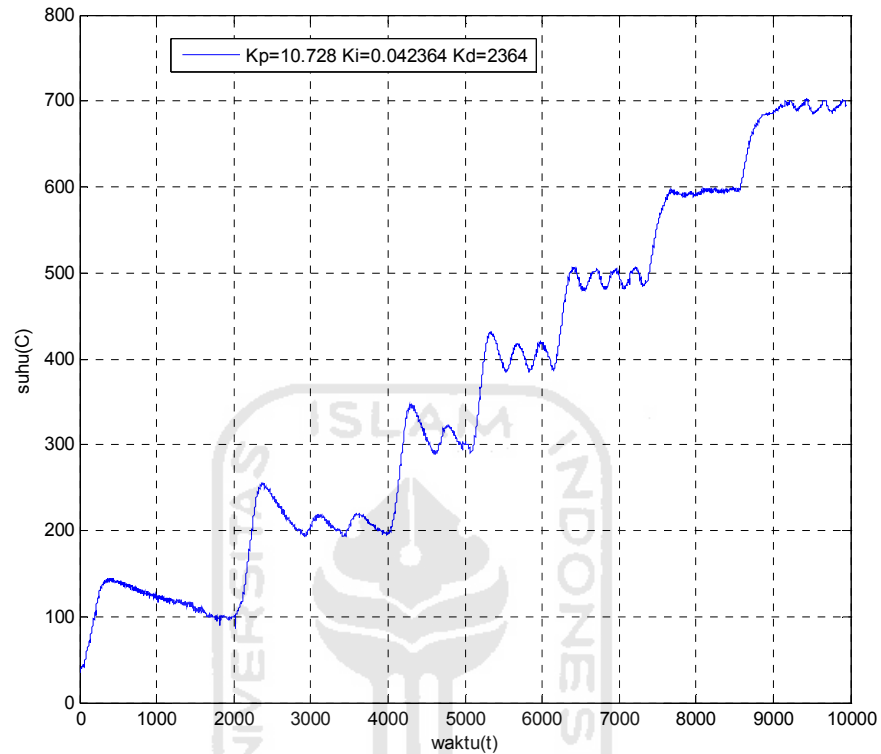
Tabel 4.8 data hasil pengujian alat dengan nilai K_d berbeda-beda.

	Data1	Data2
set_suhu	600	600
set_waktu	1000	1000
Kp	10.728	10.728
Kd	1364	4364
Ki	0.042364	0.042364
RiseTime	537.1333	573
SettlingTime	3019.500	-
SettlingMin	543	543
SettlingMax	620	621
Overshoot	3.3333	3.5000
Undershoot	0	0
Peak	620	621
PeakTime	2311	3010

Berdasarkan data pada tabel 4.8. data 1 menunjukkan bahwa Pengendali PID dengan nilai K_d berbeda-beda telah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C , namun pada pengendali ini terjadi *overshoot* yang cukup tinggi yaitu 3.3333% atau 20°C di atas suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai yaitu 620°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 620°C berkisar pada 2311 *second* (± 38.5 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

Pada data2 hasil pengujian alat menunjukkan bahwa pengendali PID telah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C , namun pada pengendali ini terjadi *overshoot* yang cukup tinggi yaitu kurang lebih 3.5% atau 21°C di atas suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai melebihi suhu set point yaitu 621°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 621°C berkisar pada 3010 *second* ($\pm 50,16$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C , pada pengujian ini dapat dianggap pengendali PID sudah cukup baik.

4.13. Pengendali PID dengan *Setpoint* Berbeda-beda



Gambar 4.11 Respon dengan *Setpoint* berbeda-beda

Dengan menggunakan tujuh buah *setpoint* yaitu 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C dan 700°C, ketika suhu sudah stabil pada *setpoint* 100°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* 200°C dan dilakukan terus hingga *setpoint* 700°C, maka dapat di ketahui perbedaan karakter step respon untuk setiap perubahan suhu, dengan menggunakan MATLAB dapat di peroleh data karakter step respon setiap perubahan *setpoint*.

Pada *setpoint* 100°C, nilai *overshoot* adalah 44% yaitu 44°C di atas *setpoint* 100°C dengan waktu yang di butuhkan untuk suhu puncak 144°C yaitu sekitar

363 *second* (± 6 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 100°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 200°C .

Pada *setpoint* suhu 200°C , nilai *overshoot* adalah 27.5% yaitu 55°C di atas suhu *setpoint* suhu 200°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 255°C yaitu sekitar 341 *second* (± 5.6 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 200°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 300°C .

Pada *setpoint* suhu 300°C , nilai *overshoot* adalah 15.6667% yaitu 47°C di atas suhu *setpoint* suhu 300°C , dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 347°C yaitu sekitar 337 *second* (± 5.6 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 300°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 400°C .

Pada *setpoint* suhu 400°C , nilai *overshoot* adalah 7.75% yaitu 31°C di atas suhu *setpoint* suhu 400°C , dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 431°C yaitu sekitar 353 *second* (± 5.8 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 400°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 500°C .

Pada *setpoint* suhu 500°C , nilai *overshoot* adalah 1.4% yaitu 7°C di atas suhu *setpoint* suhu 500°C , dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 507°C yaitu sekitar 252 *second* (± 4.2 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 500°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 600°C .

Pada *setpoint* suhu 600°C, nilai *overshoot* adalah 0% yaitu 0°C sejajar dengan suhu *setpoint* suhu 600°C, dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 600°C yaitu sekitar 1164 *second* (± 19.4 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 600°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 700°C.

Pada *setpoint* suhu 700°C, nilai *overshoot* adalah 0.2857% yaitu 2°C di atas suhu *setpoint* suhu 700°C, dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 702°C yaitu sekitar 867 *second* (± 14.4 menit).

Pengendali PID berhasil menjaga kestabilan suhu setiap *setpoint*, data hasil pengujian menunjukkan terjadi *overshoot* yang tinggi pada *setpoint* suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C. Sedangkan untuk *setpoint* 500°C, 600°C dan 700°C menunjukkan *overshoot* yang rendah dengan kestabilan yang baik. Waktu yang di butuhkan untuk mencapai suhu *setpoint* 700°C yaitu 9416 *second* (± 157 menit).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan berbagai macam pelatihan dan pengujian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan menggunakan perangkat mikrokontroler ATmega8535 dalam penelitian ini, alat dapat di jalankan secara *stand alone* atau dapat di operasikan secara otomatis tanpa di kendalikan. Nilai suhu yang didapatkan dari *plant* langsung dapat di tampilkan pada LCD.
2. Pada *driver* AC untuk mengatur keluaran tegangan pada *Triac* hasilnya sedikit kurang linier, tetapi sudah dapat digunakan untuk mengatur besar kecilnya keluaran pada *Triac* ke beban dan dapat diamati perubahan sinyal keluaran pada *Triac*.
3. Hasil pengukuran sensor suhu termokopel tidak sama dibandingkan dengan alat ukur suhu termometer. Agar menghasilkan nilai yang sama dengan termometer, maka dilakukan manipulasi perhitungan pada *program* agar nilai yang di tampilkan di LCD sama seperti yang ditampilkan alat ukur.
4. Pada penelitian ini, nilai $K_p=10.728$, $K_i=0.042364$, $K_d=2364$ merupakan hasil pengujian pengendali PID yang memiliki step respon yang paling baik. Untuk *setpoint* suhu 600°C memiliki *overshoot* yang cukup kecil

yaitu 0.3333% dengan suhu tertinggi 602°C dan waktu untuk mencapai suhu tertinggi 2005second (± 33.4 menit).

5.2 Saran

Masukan maupun saran untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem ini sangat dibutuhkan, berikut beberapa masukan dan saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Program harus lebih sederhana lagi akan tetapi dengan kualitas yang lebih baik.
2. Karena pada penelitian ini *driver* AC yang digunakan kurang linier untuk pengaturan tegangan AC, maka diperlukan *driver* AC yang lebih linier agar pengaturan keluaran tegangan AC pada *Triac dapat* sedikit lebih baik.
3. Di karenakan pada penelitian ini di gunakan termokopel yang standar, maka sebaiknya di gunakan termokopel yang lebih mahal dengan kualitas yang baik agar memiliki respon yang baik terhadap suhu.
4. Pengendali PID yang di gunakan agar lebih baik lagi, agar di peroleh step respon yang lebih baik.

,DAFTAR PUSTAKA

Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. terjemahan Edi Laksono, Jilid 2. Jakarta.

Penerbit Erlangga.

Ibrahim, Dogan, 2006. “ *Microcontroller Based Temperature Monitoring And Control*”. *Department of Computer Engineering Near East University, Cyprus*

Arifin, Jaenal ,2009. “Pengontrolan Temperatur Menggunakan Metode Kontrol PID Berbasis Mikrokontroler AT90S8515”,. www.electroniclab.com

Copeland, Brian, R,2008.”*the Design of PID Controllers using Ziegler Nichols Tuning*”,.

http://www.eng.uwi.tt/depts/elec/staff/copeland/ee27B/Ziegler_Nichols.pdf

Heryanto, M. Ary, & Adi, Wisnu, 2002. “Pemrograman Bahasa C untuk mikrokontrollrt ATMEGA8535”,.Yogyakarta. Penerbit ANDI.

Wardhana, Lingga, 2006. ”Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR seri ATMega8535”,. Yogyakarta.Penerbit ANDI.

Andrianto, Heri. 2008, ”Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA16”,. Bandung. penerbit INFORMATIKA.

Shidqi, Ahmad, Andria, 2008.”pengendalian suhu pada rumah kaca menggunakan pengendali PID berbasis *mikrokontroler AT89S51*”. Universiti Islam Indonesia.

Mansyur, Syaiful, 2009. “Pengendalian Level Ketinggian Air Menggunakan Kontrol PID ”. Universiti Islam Indonesia.

Wiyoso, Wisang, 2006. “ Pengendali PID dengan GUI (Graphical User Interface)

Matlab”. Universiti Islam Indonesia.

Fahlevy, 2006. “Monitoring Suhu dan Tekanan Sistem Boiler dengan Tampilan pada

PC ” . Universiti Islam Indonesia.



LM193/LM293/LM393/LM2903

Low Power Low Offset Voltage Dual Comparators

General Description

The LM193 series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0 mV max for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM193 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM193 series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

The LM393 and LM2903 parts are available in National's innovative thin micro SMD package with 8 (12 mil) large bumps.

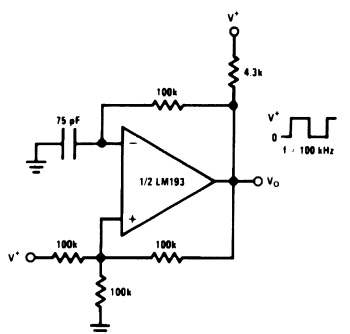
Advantages

- High precision comparators
- Reduced V_{OS} drift over temperature
- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near ground
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

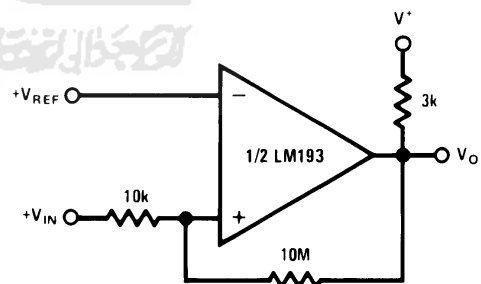
- Wide supply
 - Voltage range: 2.0V to 36V
 - Single or dual supplies: $\pm 1.0V$ to $\pm 18V$
- Very low supply current drain (0.4 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current: 25 nA
- Low input offset current: ± 5 nA
- Maximum offset voltage: ± 3 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage, : 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems
- Available in the 8-Bump (12 mil) micro SMD package
- See AN-1112 for micro SMD considerations

Squarewave Oscillator



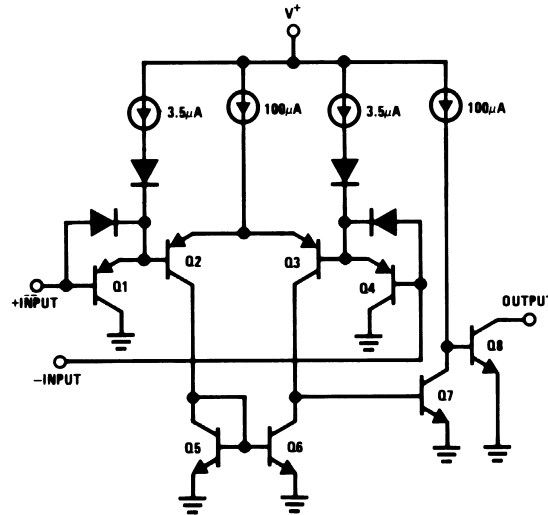
00570938

Non-Inverting Comparator with Hysteresis



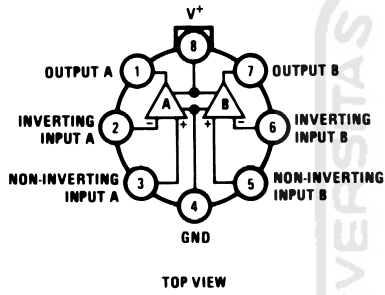
00570909

Schematic and Connection Diagrams



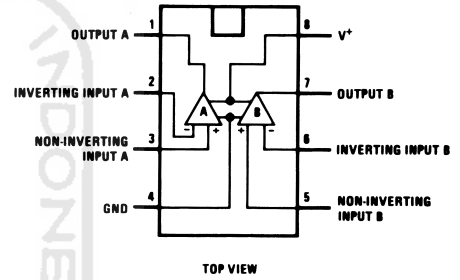
00570902

Metal Can Package



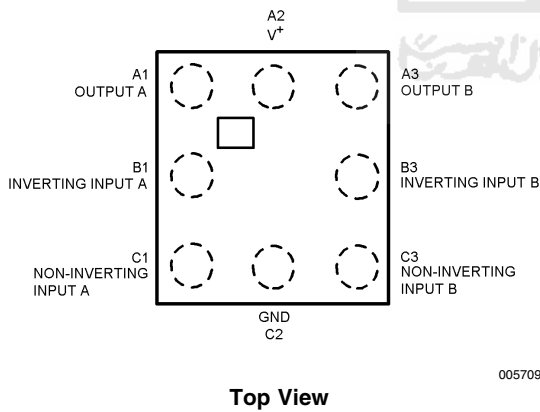
00570903

Dual-In-Line/SOIC Package



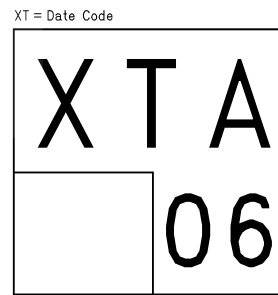
00570901

micro SMD



00570945

micro SMD Marking



XT = Date Code
 Pin A1 Corner
 Pin A1 is identified by lower left corner with respect to the text.

Top View

00570946

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage, V ⁺	36V
Differential Input Voltage (Note 8)	36V
Input Voltage	-0.3V to +36V
Input Current (V _{IN} < -0.3V) (Note 3)	50 mA
Power Dissipation (Note 1)	
Molded DIP	780 mW
Metal Can	660 mW
Small Outline Package	510 mW
micro SMD Package	568mW
Output Short-Circuit to Ground (Note 2)	Continuous
Operating Temperature Range	
LM393	0°C to +70°C
LM293	-25°C to +85°C

LM193/LM193A	-55°C to +125°C
LM2903	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	+260°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	215°C
Vapor Phase (60 seconds)	
Infrared (15 seconds)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
ESD rating (1.5 kΩ in series with 100 pF)	1300V

Electrical Characteristics(V⁺=5V, T_A = 25°C, unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM193A			Units
		Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)		1.0	2.0	mV
Input Bias Current	I _{IN} (+) or I _{IN} (-) with Output In Linear Range, V _{CM} = 0V (Note 5)		25	100	nA
Input Offset Current	I _{IN} (+) - I _{IN} (-) V _{CM} = 0V		3.0	25	nA
Input Common Mode Voltage Range	V ₊ = 30V (Note 6)	0		V ₊ - 1.5	V
Supply Current	R _L = ∞	V ⁺ = 5V	0.4	1	mA
		V ⁺ = 36V	1	2.5	mA
Voltage Gain	R _L ≥ 15 kΩ, V ⁺ = 15V V _O = 1V to 11V	50	200		V/mV
Large Signal Response Time	V _{IN} = TTL Logic Swing, V _{REF} = 1.4V V _{RL} = 5V, R _L = 5.1 kΩ		300		ns
Response Time	V _{RL} = 5V, R _L = 5.1 kΩ (Note 7)		1.3		μs
Output Sink Current	V _{IN} (-) = 1V, V _{IN} (+) = 0, V _O ≈ 1.5V	6.0	16		mA
Saturation Voltage	V _{IN} (-) = 1V, V _{IN} (+) = 0, I _{SINK} ≤ 4 mA		250	400	mV
Output Leakage Current	V _{IN} (-) = 0, V _{IN} (+) = 1V, V _O = 5V		0.1		nA

Electrical Characteristics(V⁺=5V, T_A = 25°C, unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM193			LM293, LM393			LM2903			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)	1.0		5.0	1.0		5.0	2.0		7.0	mV
Input Bias Current	I _{IN} (+) or I _{IN} (-) with Output In Linear Range, V _{CM} = 0V (Note 5)	25		100	25		250	25		250	nA
Input Offset Current	I _{IN} (+) - I _{IN} (-) V _{CM} = 0V	3.0		25	5.0		50	5.0		50	nA
Input Common Mode Voltage Range	V ₊ = 30V (Note 6)	0		V ₊ - 1.5	0		V ₊ - 1.5	0		V ₊ - 1.5	V

Electrical Characteristics (Continued) $(V^+=5V, T_A = 25^\circ C, \text{ unless otherwise stated})$

Parameter	Conditions		LM193		LM293, LM393		LM2903		Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Current	$R_L = \infty$	$V^+ = 5V$	0.4	1	0.4	1	0.4	1.0	mA
		$V^+ = 36V$	1	2.5	1	2.5	1	2.5	mA
Voltage Gain	$R_L \geq 15 \text{ k}\Omega$	$V^+ = 15V$ $V_O = 1V \text{ to } 11V$	50	200	50	200	25	100	V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}, V_{REF} = 1.4V$ $V_{RL} = 5V, R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$		300		300		300		ns
Response Time	$V_{RL} = 5V, R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$ (Note 7)		1.3		1.3		1.5		μs
Output Sink Current	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, V_O \leq 1.5V$		6.0	16	6.0	16	6.0	16	mA
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$		250	400	250	400	250	400	mV
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0, V_{IN(+)} = 1V, V_O = 5V$		0.1		0.1		0.1		nA

Electrical Characteristics $(V^+ = 5V)$ (Note 4)

Parameter	Conditions	LM193A			Units
		Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)	4.0			mV
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	100			nA
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)	300			nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0	$V^+ - 2.0$		V
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$	700			mV
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0, V_{IN(+)} = 1V, V_O = 30V$	1.0			μA
Differential Input Voltage	Keep All V_{IN} 's $\geq 0V$ (or V^- , if Used), (Note 8)	36			V

Electrical Characteristics $(V^+ = 5V)$ (Note 4)

Parameter	Conditions	LM193		LM293, LM393		LM2903		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)	9		9		9	15	mV
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	100		150		50	200	nA
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)	300		400		200	500	nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0	$V^+ - 2.0$	0	$V^+ - 2.0$	0	$V^+ - 2.0$	V
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0,$ $I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$	700		700		400	700	mV
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0, V_{IN(+)} = 1V, V_O = 30V$	1.0		1.0		1.0		μA
Differential Input Voltage	Keep All V_{IN} 's $\geq 0V$ (or V^- , if Used), (Note 8)	36		36		36		V

Note 1: For operating at high temperatures, the LM393 and LM2903 must be derated based on a $125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $170^\circ C/W$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM193/LM193A/LM293 must be derated based on a $150^\circ C$ maximum junction temperature. The low bias dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small ($P_{D} \leq 100 \text{ mW}$), provided the output transistors are allowed to saturate.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of V^+ .

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action

Electrical Characteristics (Continued)

on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the comparators to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3V$.

Note 4: These specifications are limited to $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$, for the LM193/LM193A. With the LM293 all temperature specifications are limited to $-25^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ and the LM393 temperature specifications are limited to $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$. The LM2903 is limited to $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$.

Note 5: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.

Note 6: The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than $0.3V$. The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ at $25^{\circ}C$, but either or both inputs can go to $36V$ without damage, independent of the magnitude of V^+ .

Note 7: The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see typical performance characteristics section.

Note 8: Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than $-0.3V$ (or $0.3V$ below the magnitude of the negative power supply, if used).

Note 9: At output switch point, $V_O = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from $5V$ to $30V$; and over the full input common-mode range ($0V$ to $V^+ - 1.5V$), at $25^{\circ}C$.

Note 10: Refer to RETS193AX for LM193AH military specifications and to RETS193X for LM193H military specifications.

Ordering Information

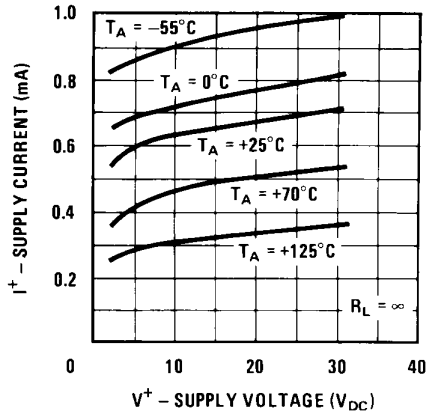
Package	Temperature Range	Part Number	NSC Drawing
8-Pin Metal Can	$-55^{\circ}C$ to $125^{\circ}C$	LM193H*	H08C
		LM193H/883	
		LM193H-MLS	
		LM193AH-MLS	
		LM193AH-QMLV**	
		LM193AH	
	LM193AH/883		
	$-25^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$	LM293H	
	$0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$	LM393H	
	$-55^{\circ}C$ to $125^{\circ}C$	LM193J/883*	J08A
LM193AJ/883			
LM193AJ-QMLV**			
LM193AJ-MLS			
8-Pin Molded DIP	$0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$	LM393N	N08E
	$-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$	LM2903N	
8-Pin SOIC	$0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$	LM393M	M08A
		LM393MX	
	$-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$	LM2903M	
		LM2903MX	
8-Bump (12 mils) micro SMD	$0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$	LM393TL	TLA08AAA
		LM393TLX	
	$-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$	LM2903ITL	
		LM2903ITLX	

Note: * Also available per LM38510/11202

Note: ** See STD Mil DWG 5962-94526

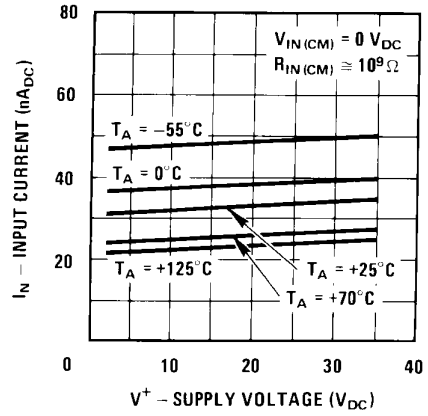
Typical Performance Characteristics LM193/LM293/LM393, LM193A

Supply Current



00570925

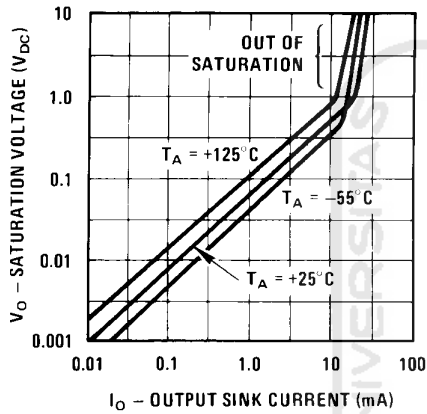
Input Current



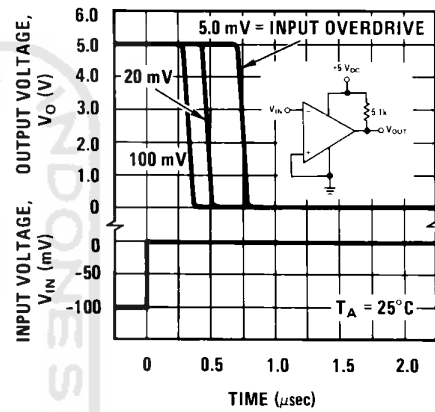
00570926

Response Time for Various Input Overdrives — Negative Transition

Output Saturation Voltage

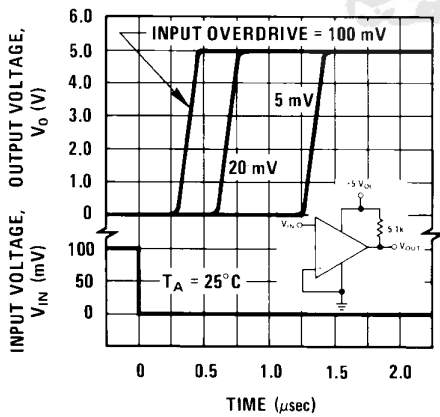


00570927



00570928

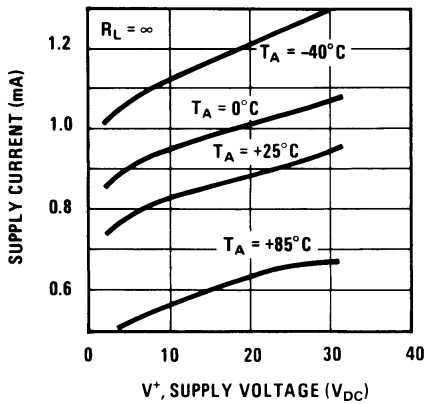
Response Time for Various Input Overdrives — Positive Transition



00570929

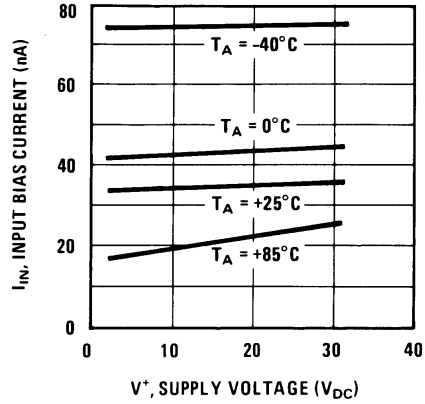
Typical Performance Characteristics LM2903

Supply Current



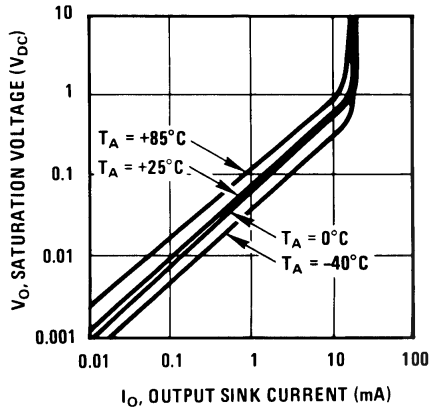
00570930

Input Current



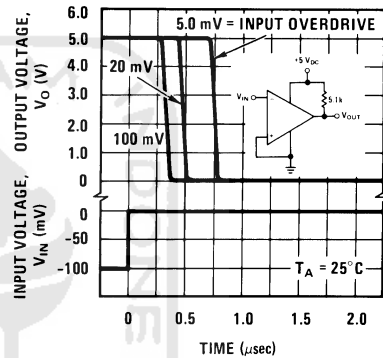
00570931

Output Saturation Voltage



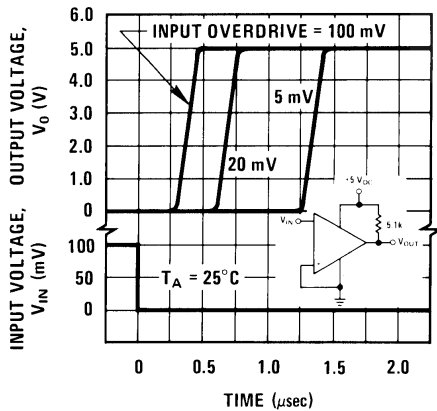
00570932

Response Time for Various Input Overdrives — Negative Transition



00570933

Response Time for Various Input Overdrives — Positive Transition



00570934

Application Hints

The LM193 series are high gain, wide bandwidth devices which, like most comparators, can easily oscillate if the output lead is inadvertently allowed to capacitively couple to the inputs via stray capacitance. This shows up only during the output voltage transition intervals as the comparator change states. Power supply bypassing is not required to solve this problem. Standard PC board layout is helpful as it reduces stray input-output coupling. Reducing the input resistors to $< 10\text{ k}\Omega$ reduces the feedback signal levels and finally, adding even a small amount (1.0 to 10 mV) of positive feedback (hysteresis) causes such a rapid transition that oscillations due to stray feedback are not possible. Simply socketing the IC and attaching resistors to the pins will cause input-output oscillations during the small transition intervals unless hysteresis is used. If the input signal is a pulse waveform, with relatively fast rise and fall times, hysteresis is not required.

All input pins of any unused comparators should be tied to the negative supply.

The bias network of the LM193 series establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 2.0 V_{DC} to 30 V_{DC} .

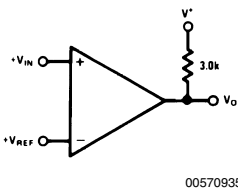
It is usually unnecessary to use a bypass capacitor across the power supply line.

The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device (Note 8). Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $-0.3\text{ V}_{\text{DC}}$ (at 25°C). An input clamp diode can be used as shown in the applications section.

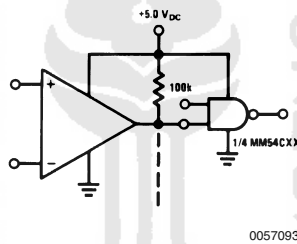
The output of the LM193 series is the uncommitted collector of a grounded-emitter NPN output transistor. Many collectors can be tied together to provide an output OR'ing function. An output pull-up resistor can be connected to any available power supply voltage within the permitted supply voltage range and there is no restriction on this voltage due to the magnitude of the voltage which is applied to the V^+ terminal of the LM193 package. The output can also be used as a simple SPST switch to ground (when a pull-up resistor is not used). The amount of current which the output device can sink is limited by the drive available (which is independent of V^+) and the β of this device. When the maximum current limit is reached (approximately 16mA), the output transistor will come out of saturation and the output voltage will rise very rapidly. The output saturation voltage is limited by the approximately $60\Omega\text{ }r_{\text{SAT}}$ of the output transistor. The low offset voltage of the output transistor (1.0mV) allows the output to clamp essentially to ground level for small load currents.

Typical Applications $(V^+=5.0\text{ V}_{\text{DC}})$

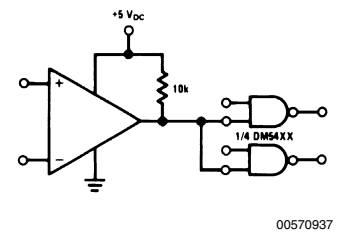
Basic Comparator



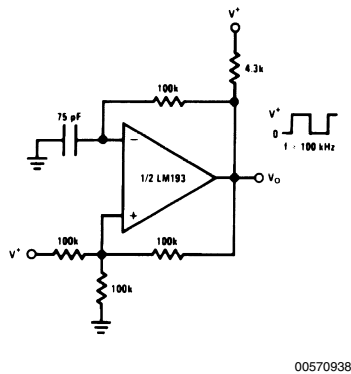
Driving CMOS



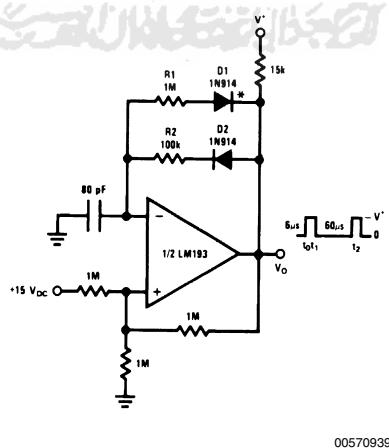
Driving TTL



Squarewave Oscillator

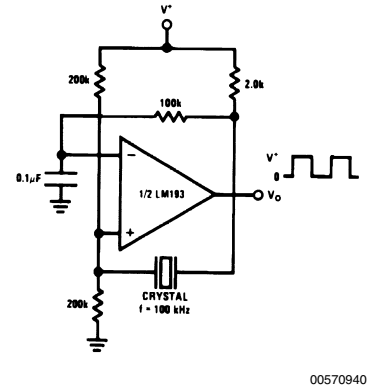


Pulse Generator



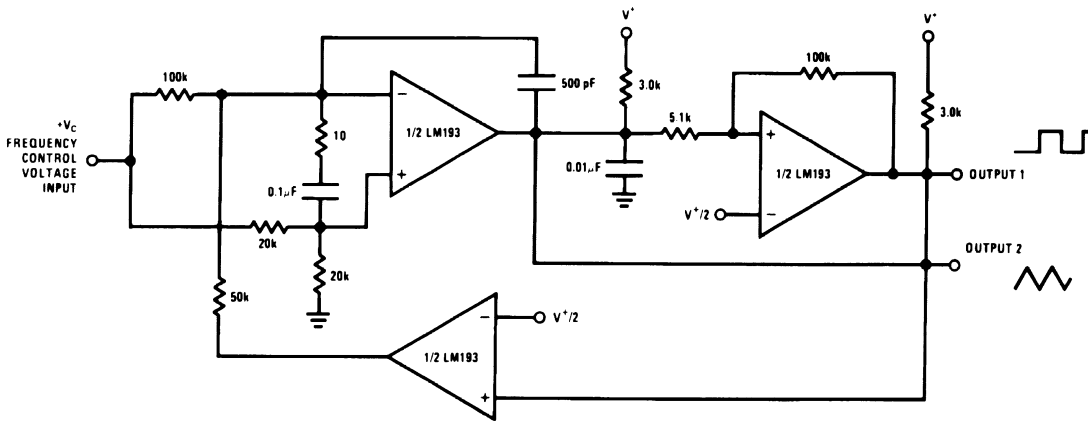
* For large ratios of $R1/R2$, $D1$ can be omitted.

Crystal Controlled Oscillator



Typical Applications ($V^+=5.0 V_{DC}$) (Continued)

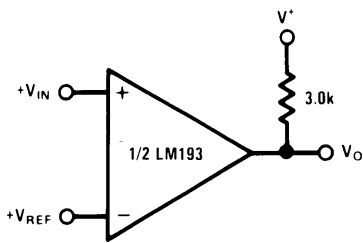
Two-Decade High Frequency VCO



00570941

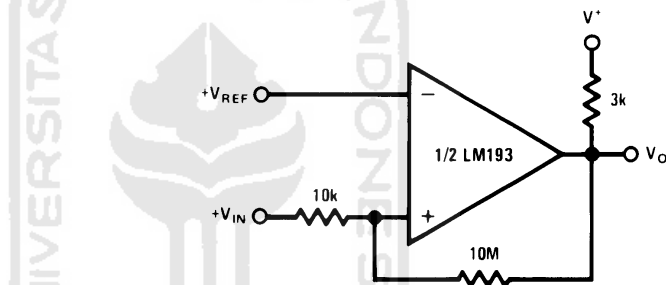
$V^* = +30 V_{DC}$
 $+250 mV_{DC} \leq V_C \leq +50 V_{DC}$
 $700Hz \leq f_0 \leq 100kHz$

Basic Comparator



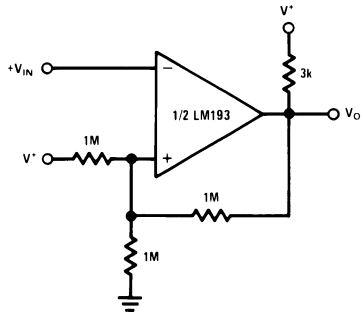
00570906

Non-Inverting Comparator with Hysteresis



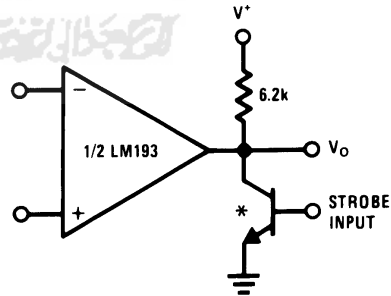
00570909

Inverting Comparator with Hysteresis



00570910

Output Strobing

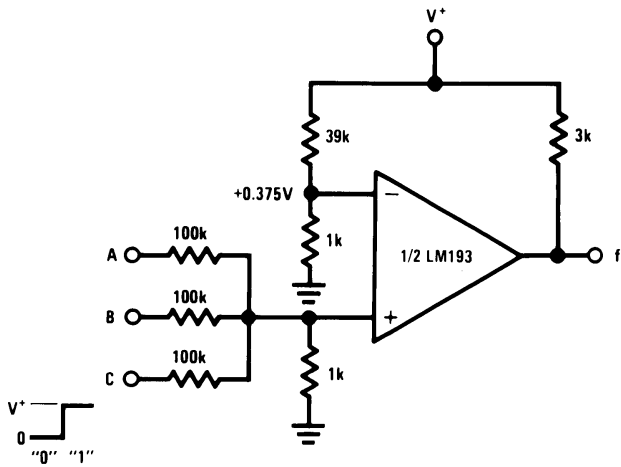


* OR LOGIC GATE
 WITHOUT PULL-UP RESISTOR

00570911

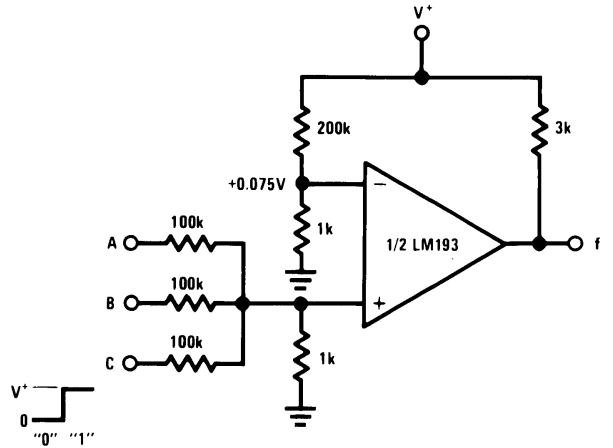
Typical Applications ($V^+=5.0 V_{DC}$) (Continued)

AND Gate



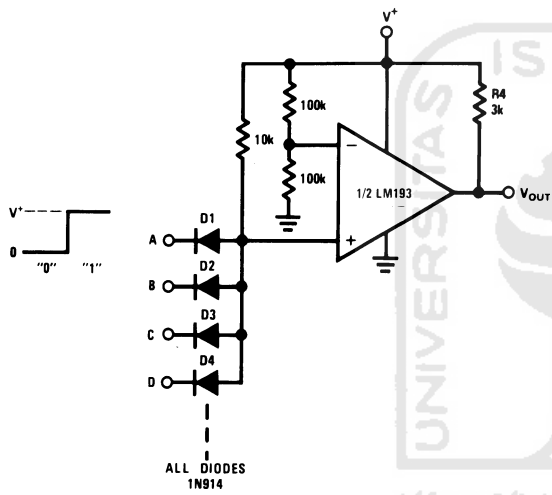
00570912

OR Gate



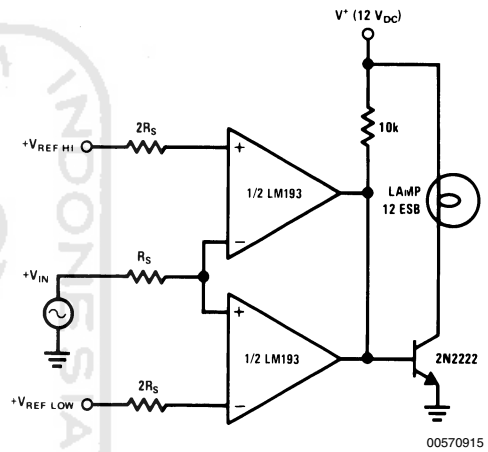
00570913

Large Fan-in AND Gate



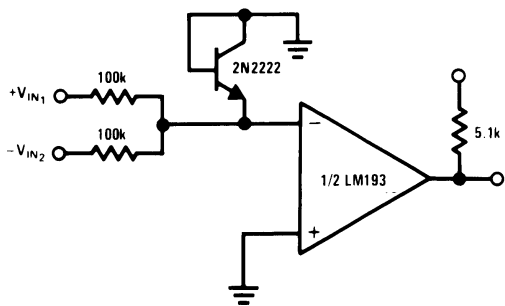
00570914

Limit Comparator



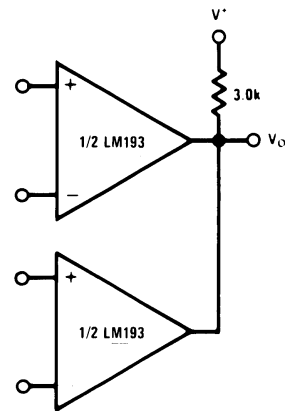
00570915

Comparing Input Voltages of Opposite Polarity



00570916

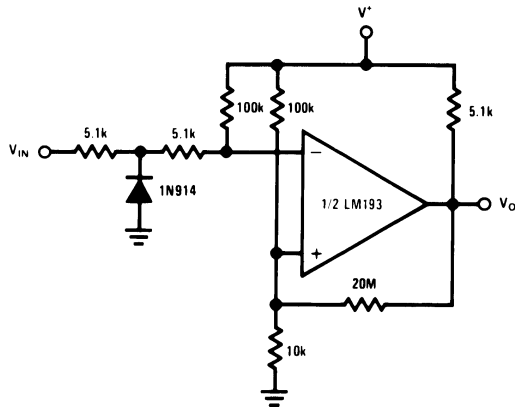
ORing the Outputs



00570917

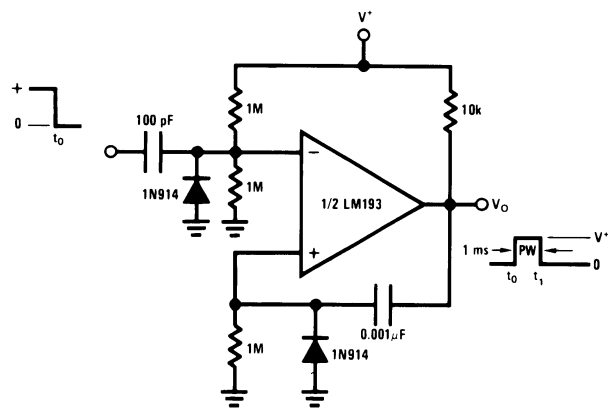
Typical Applications ($V^+=5.0 V_{DC}$) (Continued)

Zero Crossing Detector (Single Power Supply)



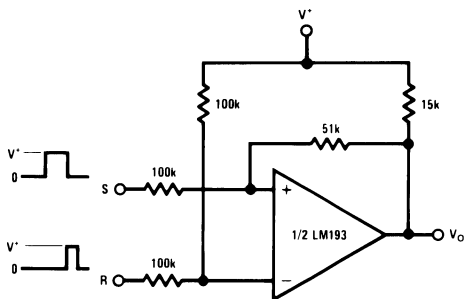
00570921

One-Shot Multivibrator



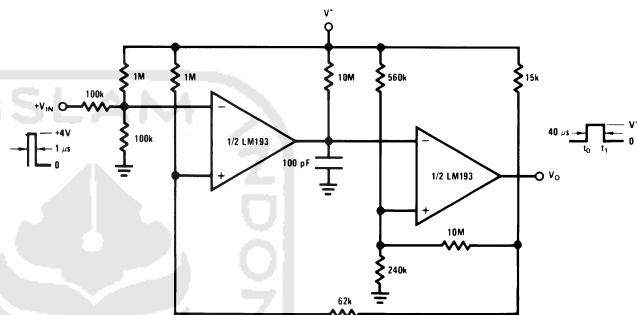
00570922

Bi-Stable Multivibrator



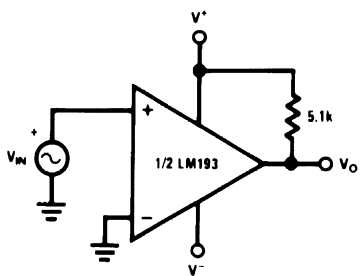
00570924

One-Shot Multivibrator with Input Lock Out



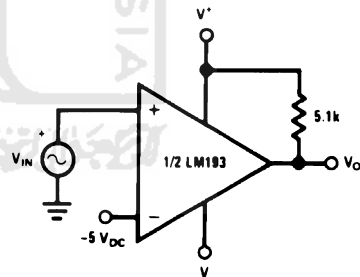
00570923

Zero Crossing Detector



00570943

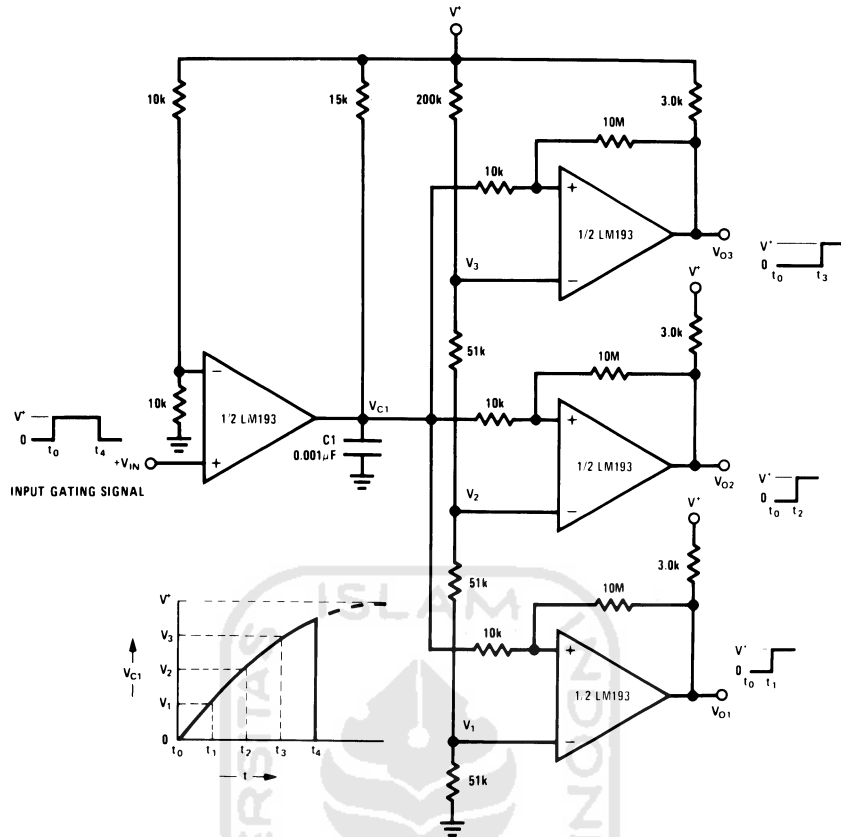
Comparator With a Negative Reference



00570944

Typical Applications ($V^+=5.0 V_{DC}$) (Continued)

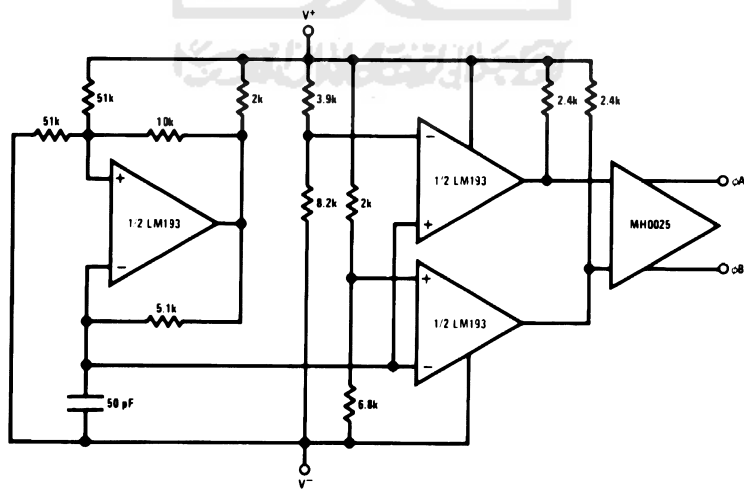
Time Delay Generator



00570907

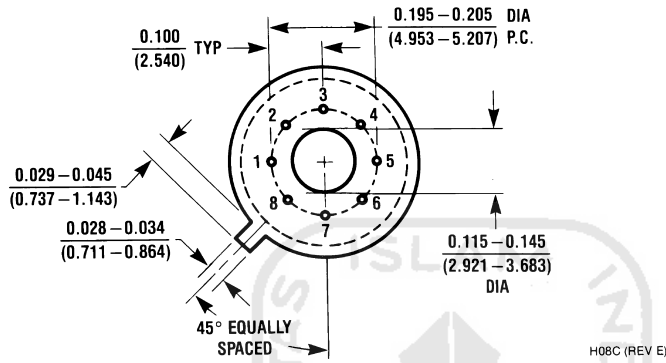
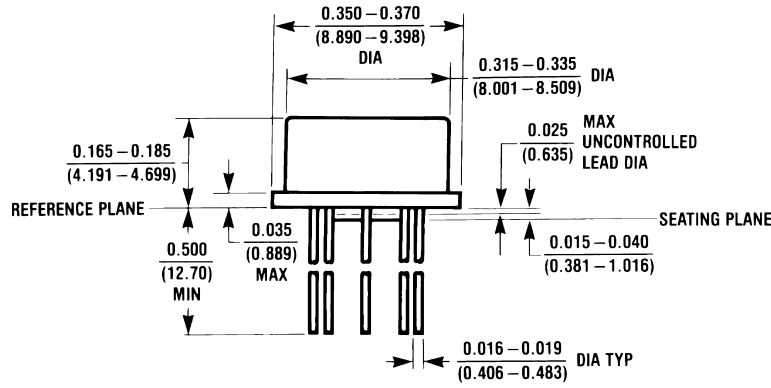
Split-Supply Applications ($V^+=+15 V_{DC}$ and $V^-=-15 V_{DC}$)

MOS Clock Driver

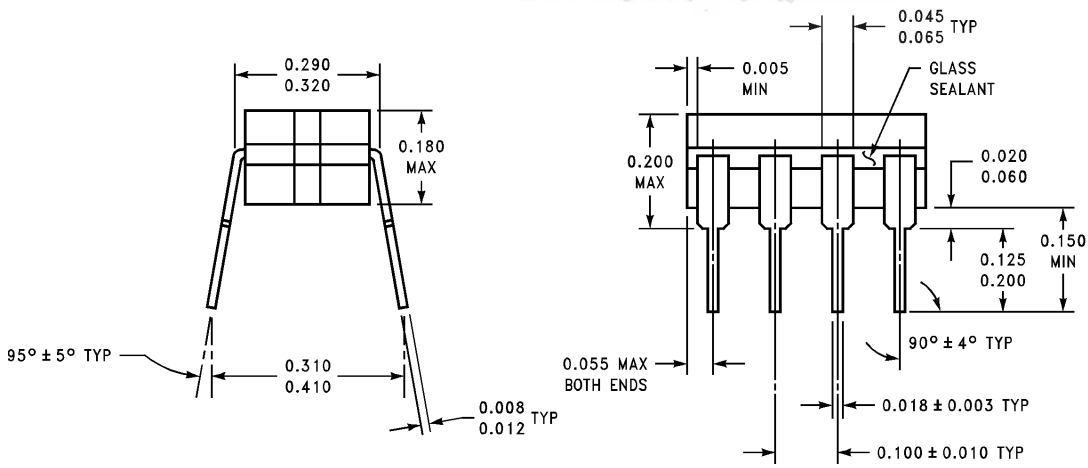
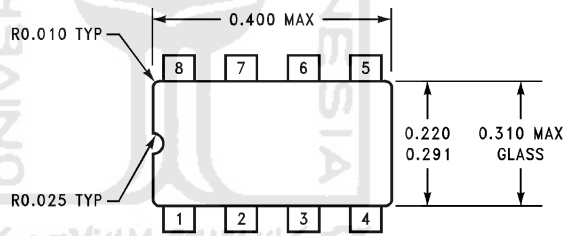


00570942

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



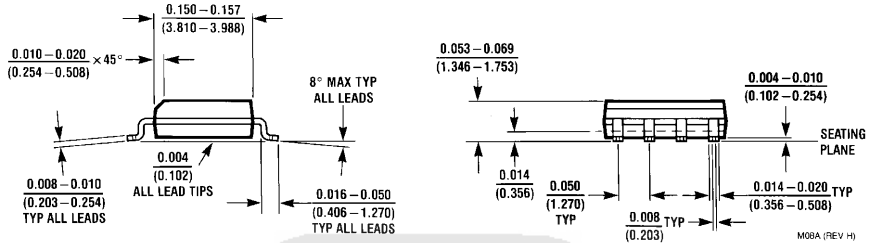
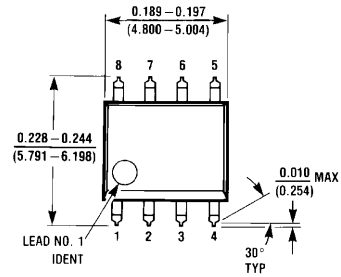
Metal Can Package (H)
NS Package Number H08C



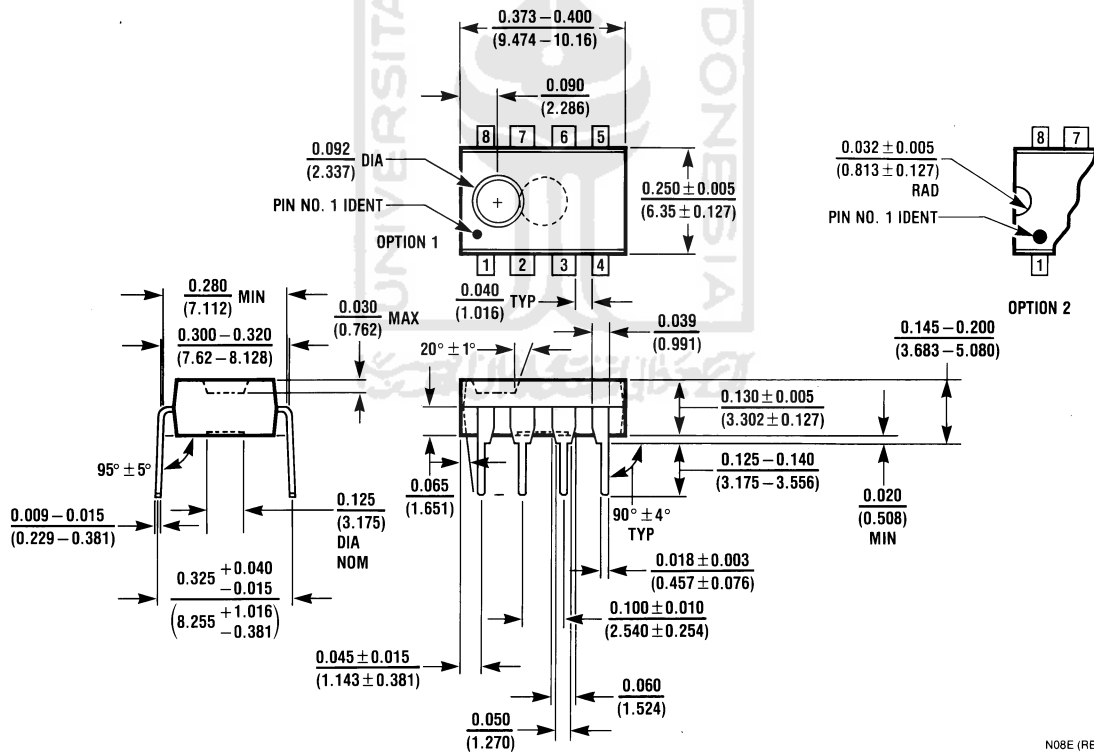
Ceramic Dual-In-Line Package
NS Package Number J08A

J08A (REV K)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

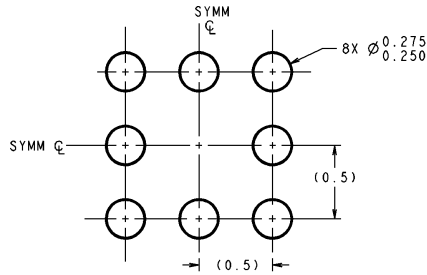


**SOIC Package
NS Package Number M08A**



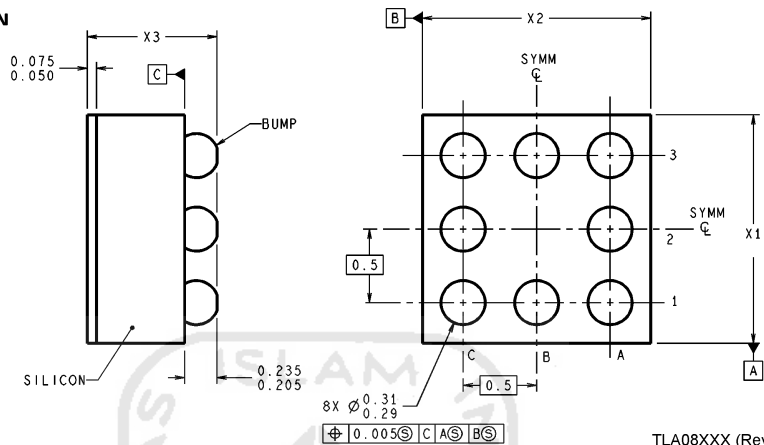
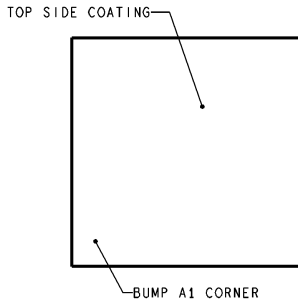
**Molded Dual-In-Line Package (N)
NS Package N08E**

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

LAND PATTERN RECOMMENDATION



TLA08XXX (Rev A)

NOTE: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED


1. EPOXY COATING
2. 63Sn/37Pb EUTECTIC BUMP
3. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
4. PIN A1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION REMAINING PINS ARE NUMBERED COUNTERCLOCKWISE.
5. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X₁ IS PACKAGE WIDTH, X₂ IS PACKAGE LENGTH AND X₃ IS PACKAGE HEIGHT.
6. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

8-Bump (12 mil) micro SMD Package
NS Package TLA08AAA
X₁ = 1.514mm X₂ = 1.514mm X₃ = 0.600mm

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 **National Semiconductor Corporation**
Americas
Email: support@nsc.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

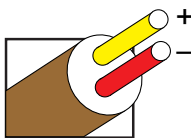
National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

Revised Thermocouple Reference Tables

TYPE K

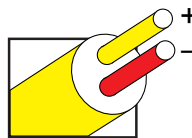
Reference Tables
N.I.S.T.
Monograph 175
Revised to
ITS-90



Thermocouple Grade

Nickel-Chromium
VS.
Nickel-Aluminum

Extension Grade



MAXIMUM TEMPERATURE RANGE
Thermocouple Grade
 - 328 to 2282°F
 - 200 to 1250°C
Extension Grade
 32 to 392°F
 0 to 200°C
LIMITS OF ERROR
 (whichever is greater)
Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C
 2.2°C or 2.0% Below 0°C
Special: 1.1°C or 0.4%
COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:
 Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration
TEMPERATURE IN DEGREES °C
REFERENCE JUNCTION AT 0°C

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800	1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810	1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820	1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830	1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840	1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850	1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860	1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870	1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105	1170
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880	1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890	1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900	1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910	1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920	1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930	1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940	1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950	1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960	1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970	1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708	1270
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980	1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990	1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000	1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759	1300
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010	1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020	1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030	1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040	1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050	1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060	1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070	1370	54.819	54.852	54.886									1370
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080													
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090													
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C



UNITED STATES

www.omega.com
1-800-TC-OMEGA
Stamford, CT.

CANADA

www.omega.ca
Laval(Quebec)
1-800-TC-OMEGA

GERMANY

www.omega.de
Deckenpfronn, Germany
0800-8266342

UNITED KINGDOM

www.omega.co.uk
Manchester, England
0800-488-488

FRANCE

www.omega.fr
Guyancourt, France
088-466-342

CZECH REPUBLIC

www.omegaeng.cz
Karviná, Czech Republic
596-311-899

BENELUX

www.omega.nl
Amstelveen, NL
0800-099-33-44



More than 100,000 Products Available!

• Temperature

Calibrators, Connectors, General Test and Measurement Instruments, Glass Bulb Thermometers, Handheld Instruments for Temperature Measurement, Ice Point References, Indicating Labels, Crayons, Cements and Lacquers, Infrared Temperature Measurement Instruments, Recorders Relative Humidity Measurement Instruments, RTD Probes, Elements and Assemblies, Temperature & Process Meters, Timers and Counters, Temperature and Process Controllers and Power Switching Devices, Thermistor Elements, Probes and Assemblies, Thermocouples Thermowells and Head and Well Assemblies, Transmitters, Wire

• Flow and Level

Air Velocity Indicators, Doppler Flowmeters, Level Measurement, Magnetic Flowmeters, Mass Flowmeters, Pitot Tubes, Pumps, Rotameters, Turbine and Paddle Wheel Flowmeters, Ultrasonic Flowmeters, Valves, Variable Area Flowmeters, Vortex Shedding Flowmeters

• pH and Conductivity

Conductivity Instrumentation, Dissolved Oxygen Instrumentation, Environmental Instrumentation, pH Electrodes and Instruments, Water and Soil Analysis Instrumentation

• Data Acquisition

Auto-Dialers and Alarm Monitoring Systems, Communication Products and Converters, Data Acquisition and Analysis Software, Data Loggers Plug-in Cards, Signal Conditioners, USB, RS232, RS485 and Parallel Port Data Acquisition Systems, Wireless Transmitters and Receivers

• Pressure, Strain and Force

Displacement Transducers, Dynamic Measurement Force Sensors, Instrumentation for Pressure and Strain Measurements, Load Cells, Pressure Gauges, Pressure Reference Section, Pressure Switches, Pressure Transducers, Proximity Transducers, Regulators, Strain Gages, Torque Transducers, Valves

• Heaters

Band Heaters, Cartridge Heaters, Circulation Heaters, Comfort Heaters, Controllers, Meters and Switching Devices, Flexible Heaters, General Test and Measurement Instruments, Heater Hook-up Wire, Heating Cable Systems, Immersion Heaters, Process Air and Duct, Heaters, Radiant Heaters, Strip Heaters, Tubular Heaters

LM158/LM258/LM358/LM2904

Low Power Dual Operational Amplifiers

General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

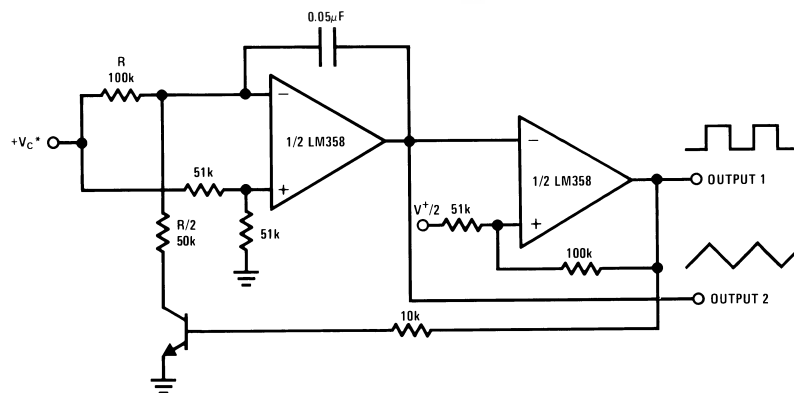
Advantages

- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Available in 8-Bump micro SMD chip sized package, (See AN-1112)
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply: 3V to 32V
 - or dual supplies: $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage: 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing

Voltage Controlled Oscillator (VCO)



00778723

Absolute Maximum Ratings (Note 9)

If Military/Aerospace specified devices are required,
please contact the National Semiconductor Sales Office/

Distributors for availability and specifications.

	LM158/LM258/LM358	LM2904
	LM158A/LM258A/LM358A	
Supply Voltage, V ⁺	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Power Dissipation (Note 1)		
Molded DIP	830 mW	830 mW
Metal Can	550 mW	
Small Outline Package (M)	530 mW	530 mW
micro SMD	435mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)		
V ⁺ ≤ 15V and T _A = 25°C	Continuous	Continuous
Input Current (V _{IN} < -0.3V) (Note 3)	50 mA	50 mA
Operating Temperature Range		
LM358	0°C to +70°C	-40°C to +85°C
LM258	-25°C to +85°C	
LM158	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 10)	250V	250V

Electrical Characteristics

V⁺ = +5.0V, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A		LM358A		LM158/LM258		Units
		Min	Typ Max	Min	Typ Max	Min	Typ Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), T _A = 25°C	1	2	2	3	2	5	mV
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , T _A = 25°C, V _{CM} = 0V, (Note 6)	20	50	45	100	45	150	nA
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C	2	10	5	30	3	30	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V ⁺ = 30V, (Note 7) (LM2904, V ⁺ = 26V), T _A = 25°C	0	V ⁺ -1.5	0	V ⁺ -1.5	0	V ⁺ -1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range R _L = ∞ on All Op Amps V ⁺ = 30V (LM2904 V ⁺ = 26V) V ⁺ = 5V							
		1	2	1	2	1	2	mA
		0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	mA

Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), $T_A = 25^\circ C$		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$, (Note 6)		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$		1 0.5	2 1.2		1 0.5	2 1.2	mA mA

Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L \geq 2 k\Omega$, (For $V_O = 1V$ to $11V$)	50	100		25	100		50	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	70	85		65	85		70	85		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1 kHz$ to $20 kHz$, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 8)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source $V_{IN^+} = 1V$, $V_{IN^-} = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN^-} = 1V$, $V_{IN^+} = 0V$ $V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $V_O = 2V$	10	20		10	20		10	20		mA
	$V_{IN^-} = 1V$, $V_{IN^+} = 0V$ $T_A = 25^\circ C$, $V_O = 200 mV$, $V^+ = 15V$	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ C$, (Note 2), $V^+ = 15V$		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 5)		4			5			7		mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7	15		7	20		7		$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$		30			75			100		nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10	200		10	300		10		$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V

Electrical Characteristics (Continued) $V^+ = +5.0V$, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ($V_O = 1V$ to $11V$) $R_L \geq 2 k\Omega$	25			15			25			V/mV	
Output Voltage Swing	V_{OH}	$V^+ = +30V$ (LM2904, $V^+ = 26V$) $R_L = 2 k\Omega$			26			26			V	
	V_{OL}	$R_L = 10 k\Omega$			27 28			27 28			V	
Output Current	$V^+ = 5V$, $R_L = 10 k\Omega$	5 20			5 20			5 20			mV	
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = +1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$			10 20			10 20			mA	
	Sink	$V_{IN}^- = +1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$			10 15			5 8			mA	

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units				
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max					
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L \geq 2 k\Omega$, (For $V_O = 1V$ to $11V$)	25 100			25 100			V/mV				
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	65 85			50 70			dB				
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65 100			50 100			dB				
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1 kHz$ to $20 kHz$, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 8)	-120			-120			dB				
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$			20 40			20 40		mA		
	Sink	$V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$ $V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $V_O = 2V$			10 20			10 20			mA	
		$V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$ $T_A = 25^\circ C$, $V_O = 200 mV$, $V^+ = 15V$			12 50			12 50			μA	
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ C$, (Note 2), $V^+ = 15V$	40 60			40 60			mA				
Input Offset Voltage	(Note 5)	9			10			mV				
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7			7			$\mu V/^\circ C$				
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$	150			45 200			nA				
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	10			10			$pA/^\circ C$				
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$	40 500			40 500			nA				
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30 V$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$)	0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			V				

Electrical Characteristics (Continued)V⁺ = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = +15V (V _O = 1V to 11V) R _L ≥ 2 kΩ	15			15			V/mV
Output Voltage Swing	V _{OH}	26			22			V
	V _{OL}	5			5			mV
Output Current	Source	10			10			mA
	Sink	5			5			mA

Note 1: For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for MDIP, 182°C/W for Metal Can, 189°C/W for Small Outline package, and 230°C/W for micro SMD, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V⁺ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V⁺. At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V⁺ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V (at 25°C).

Note 4: These specifications are limited to -55°C ≤ T_A ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ +85°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ +70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T_A ≤ +85°C.

Note 5: V_O = 1.4V, R_S = 0Ω with V⁺ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to V⁺ -1.5V) at 25°C. For LM2904, V⁺ from 5V to 26V.

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V⁺ -1.5V (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of V⁺.

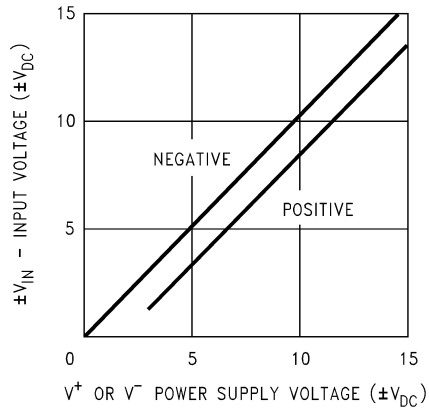
Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 9: Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

Note 10: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

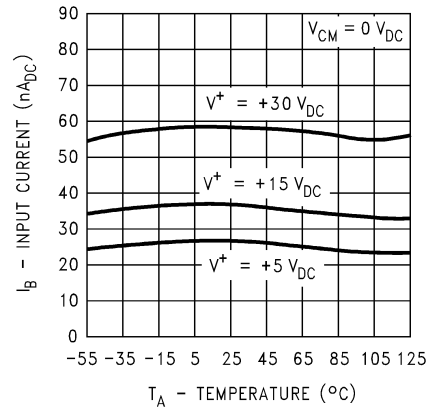
Typical Performance Characteristics

Input Voltage Range



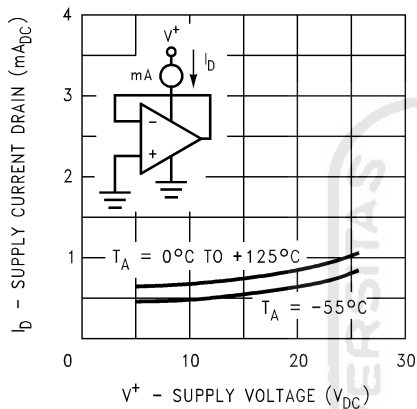
00778734

Input Current



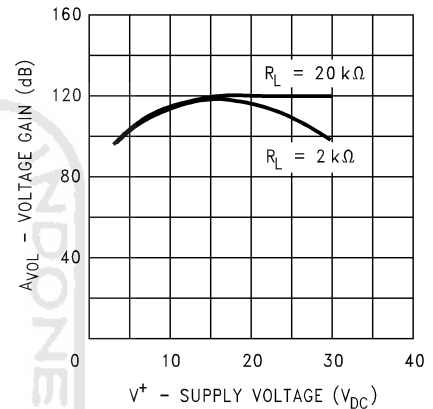
00778735

Supply Current



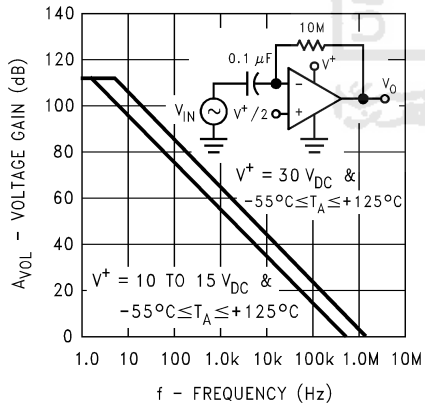
00778736

Voltage Gain



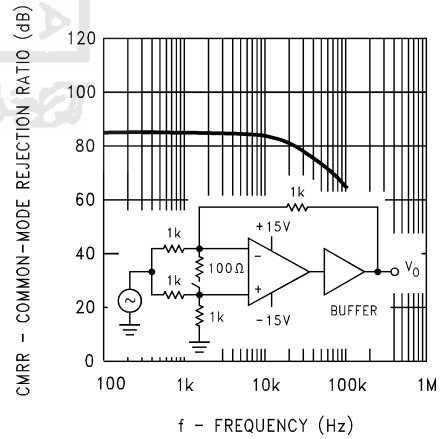
00778737

Open Loop Frequency Response



00778738

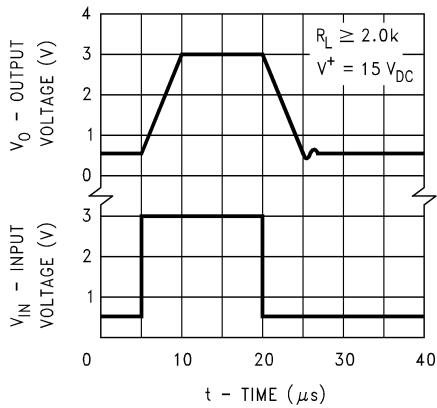
Common-Mode Rejection Ratio



00778739

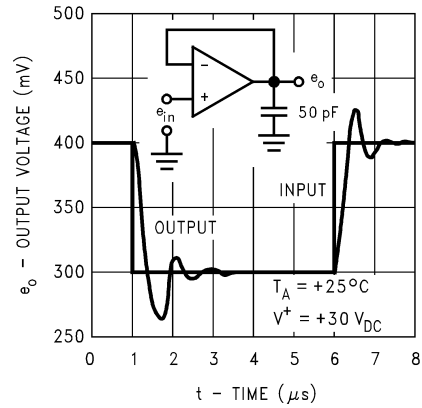
Typical Performance Characteristics (Continued)

Voltage Follower Pulse Response



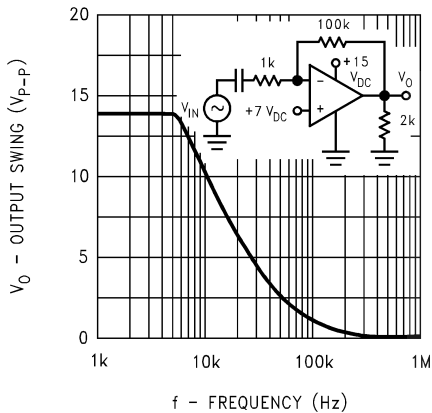
00778740

Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



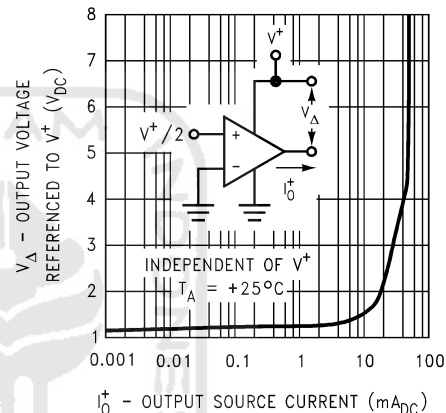
00778741

Large Signal Frequency Response



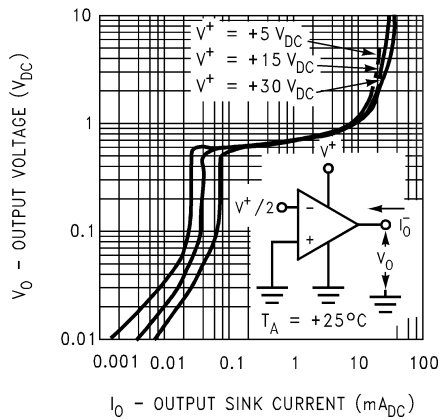
00778742

Output Characteristics Current Sourcing



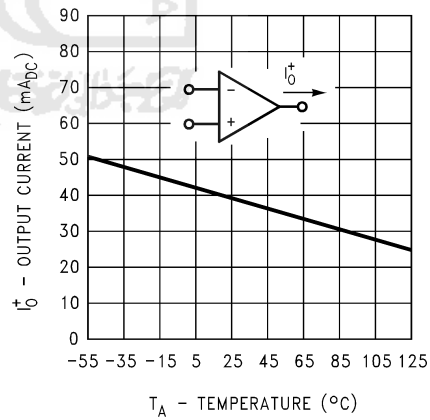
00778743

Output Characteristics Current Sinking



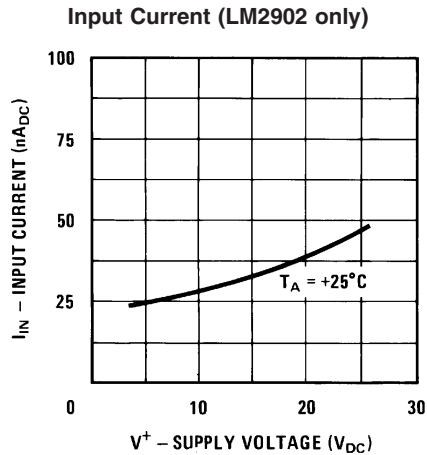
00778744

Current Limiting

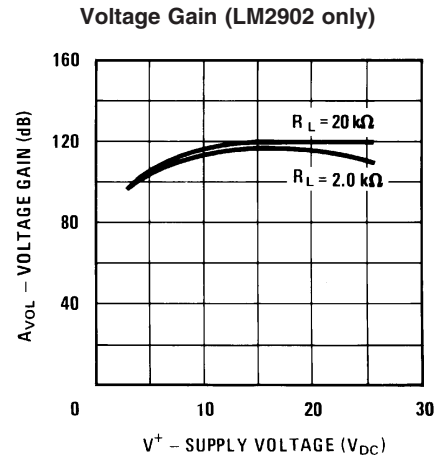


00778745

Typical Performance Characteristics (Continued)



00778746



00778747

Application Hints

The LM158 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC}. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC}.

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V⁺ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than -0.3 V_{DC} (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

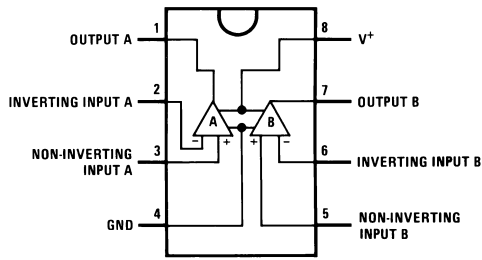
The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of 3 V_{DC} to 30 V_{DC}.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of V⁺/2) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

Connection Diagrams

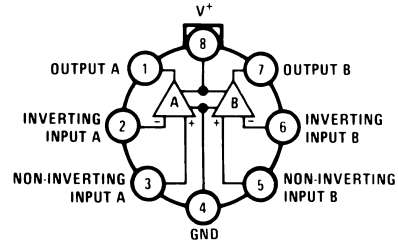
DIP/SO Package



Top View

00778702

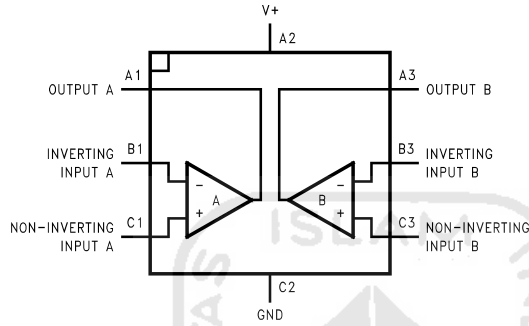
Metal Can Package



Top View

00778701

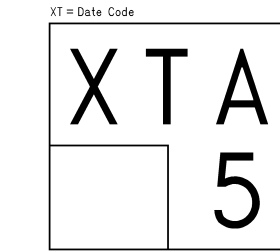
8-Bump micro SMD



Top View
(Bump Side Down)

00778755

LM358BP micro SMD Marking Orientation

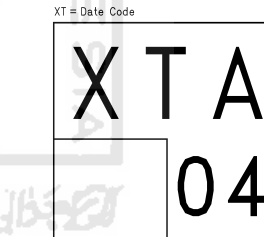


Pin A1 Corner
Pin A1 is identified by lower left corner with respect to the text.

Top View

00778756

LM2904BP micro SMD Marking Orientation

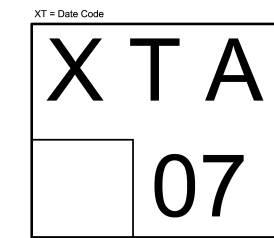


Pin A1 Corner
Pin A1 is identified by lower left corner with respect to the text.

Top View

00778757

LM358TP micro SMD Marking Orientation

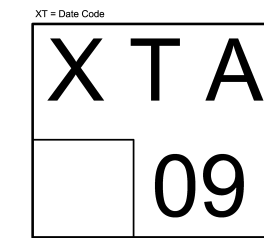


Pin A1 Corner
Pin A1 is identified by lower left corner with respect to the text.

Top View

00778758

LM2904TP micro SMD Marking Orientation



Pin A1 Corner
Pin A1 is identified by lower left corner with respect to the text.

Top View

00778759

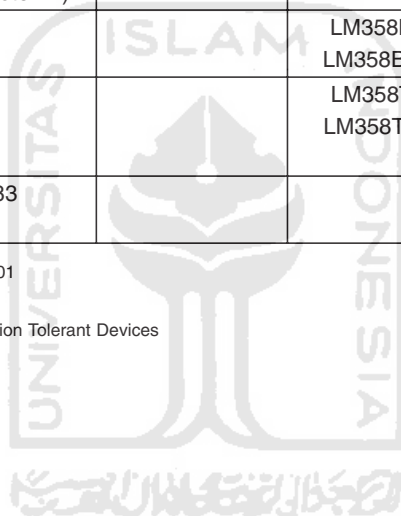
Ordering Information

Package	Temperature Range				NSC Drawing
	-55°C to 125°C	-25°C to 85°C	0°C to 70°C	-40°C to 85°C	
SO-8			LM358AM LM358AMX LM358M LM358MX	LM2904M LM2904MX	M08A
8-Pin Molded DIP			LM358AN LM358N	LM2904N	N08E
8-Pin Ceramic DIP	LM158AJ/883(Note 11) LM158J/883(Note 11) LM158J LM158AJLQML(Note 12) LM158AJQMLV(Note 12)				J08A
TO-5, 8-Pin Metal Can	LM158AH/883(Note 11) LM158H/883(Note 11) LM158AH LM158H LM158AHLQML(Note 12) LM158AHLQMLV(Note 12)	LM258H	LM358H		H08C
8-Bump micro SMD			LM358BP LM358BPX	LM2904IBP LM2904IBPX	BPA08AAB 0.85 mm Thick
8-Bump micro SMD Lead Free			LM358TP LM358TPX	LM2904ITP LM2904ITPX	TPA08AAA 0.50 mm Thick
14-Pin Ceramic SOIC	LM158AWG/883				WG10A

Note 11: LM158 is available per SMD #5962-8771001

LM158A is available per SMD #5962-8771002

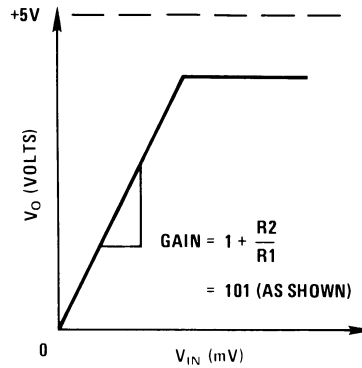
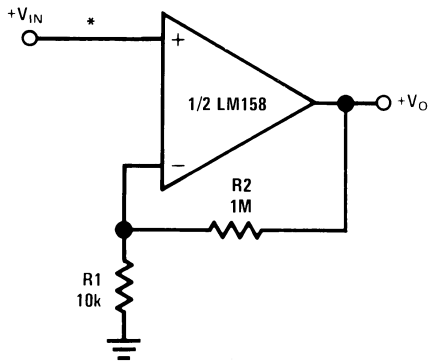
Note 12: See STD Mil DWG 5962L87710 for Radiation Tolerant Devices



Typical Single-Supply Applications

($V^+ = 5.0 V_{DC}$)

Non-Inverting DC Gain (0V Output)

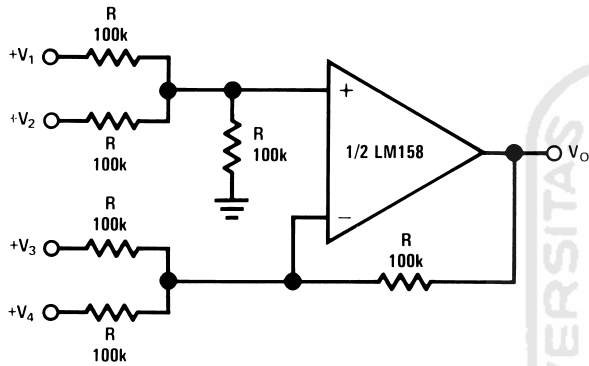


*R not needed due to temperature independent I_{IN}

00778706

00778707

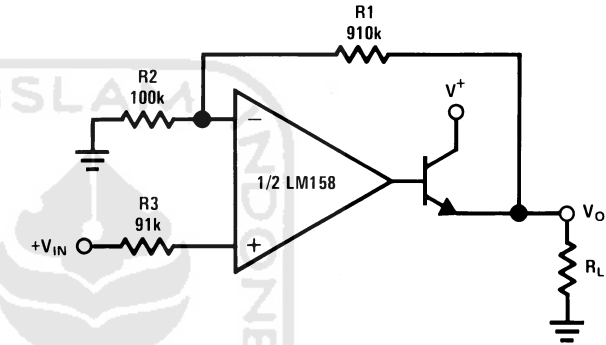
DC Summing Amplifier ($V_{IN'S} \geq 0 V_{DC}$ and $V_O \geq 0 V_{DC}$)



Where: $V_O = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$
 $(V_1 + V_2) \geq (V_3 + V_4)$ to keep $V_O > 0 V_{DC}$

00778708

Power Amplifier

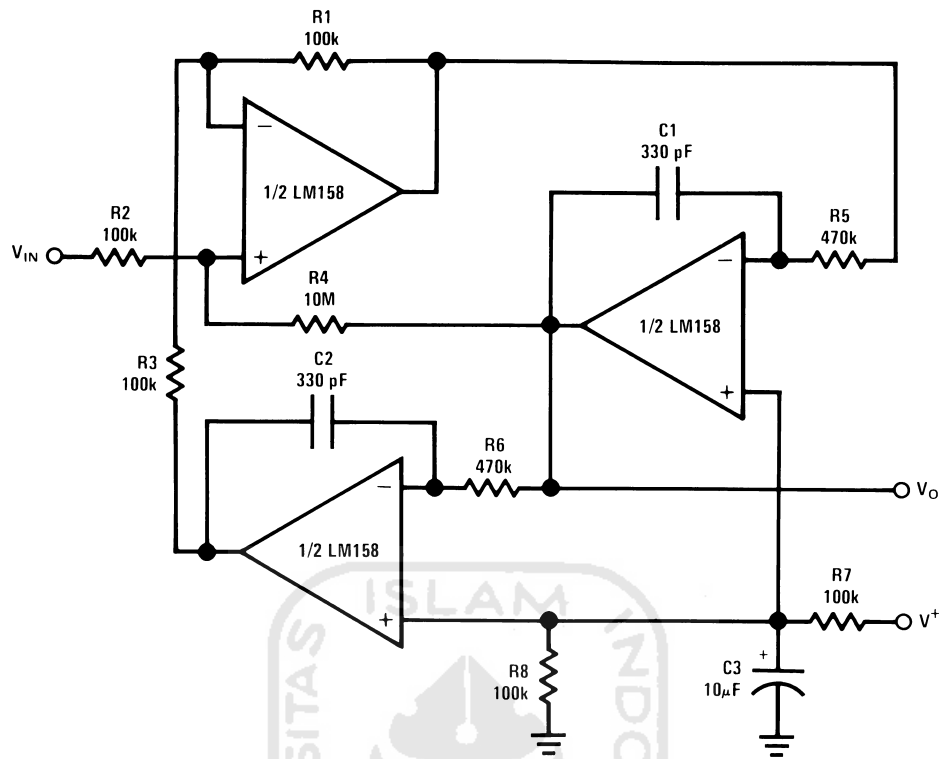


$V_O = 0 V_{DC}$ for $V_{IN} = 0 V_{DC}$
 $A_V = 10$

00778709

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

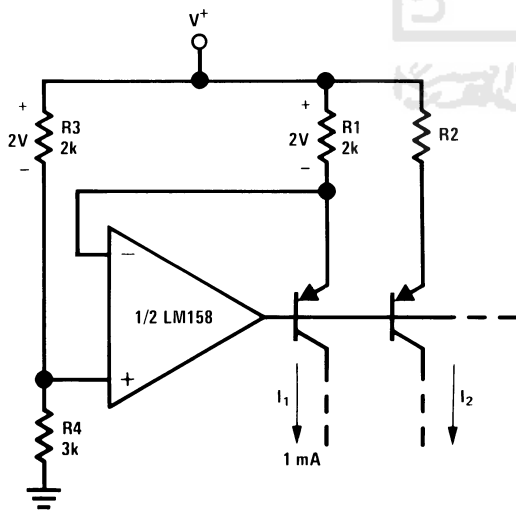
“BI-QUAD” RC Active Bandpass Filter



$f_o = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 50$
 $A_v = 100 \text{ (40 dB)}$

00778710

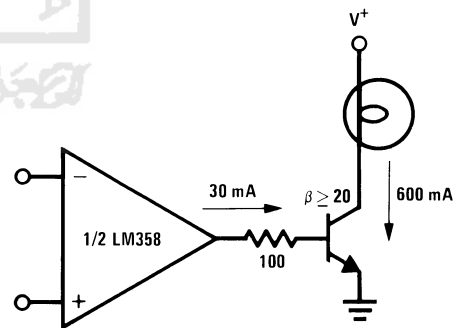
Fixed Current Sources



$$I_2 = \left(\frac{R_1}{R_2} \right) I_1$$

00778711

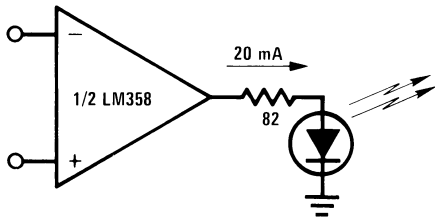
Lamp Driver



00778712

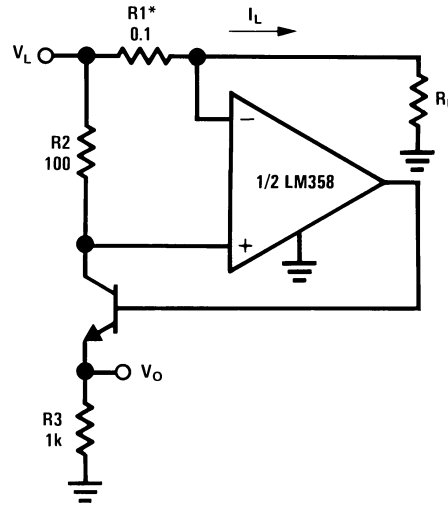
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

LED Driver



00778713

Current Monitor

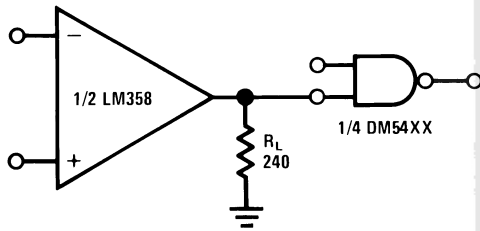


00778714

$$V_O = \frac{1V(I_L)}{1A}$$

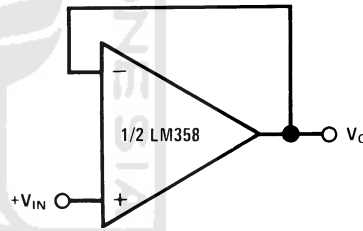
*(Increase R1 for I_L small)
 $V_L \leq V^+ - 2V$

Driving TTL



00778715

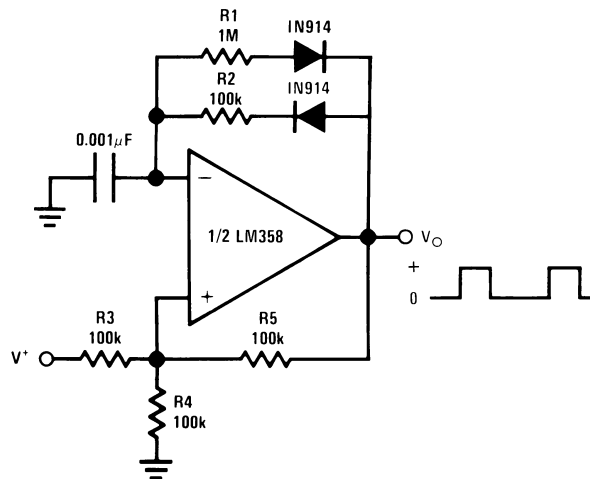
Voltage Follower



00778717

$$V_O = V_{IN}$$

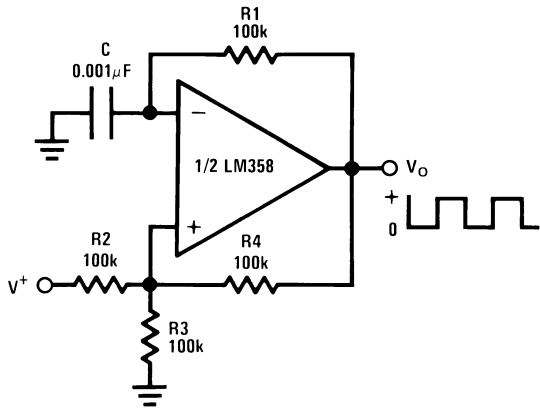
Pulse Generator



00778716

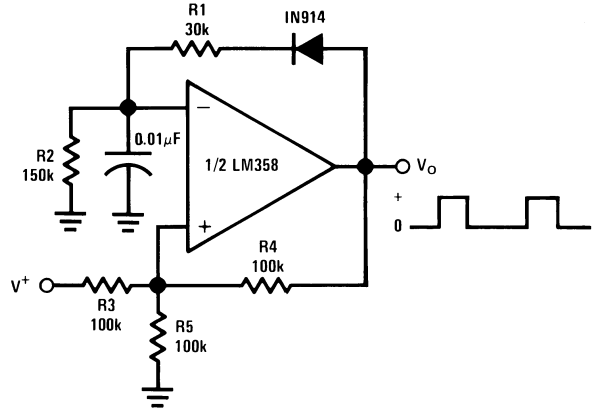
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Squarewave Oscillator



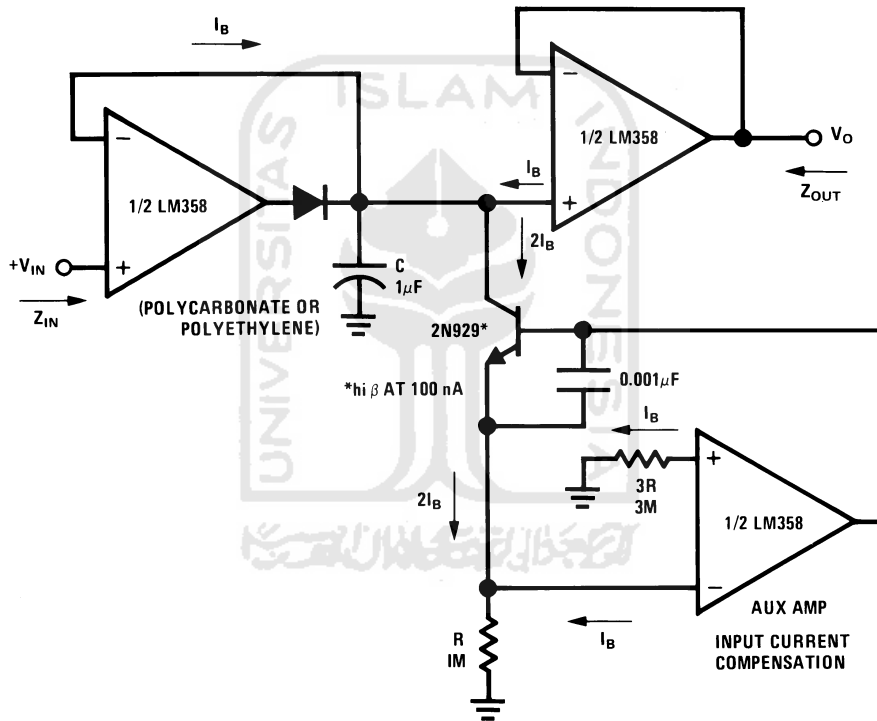
00778718

Pulse Generator



00778719

Low Drift Peak Detector

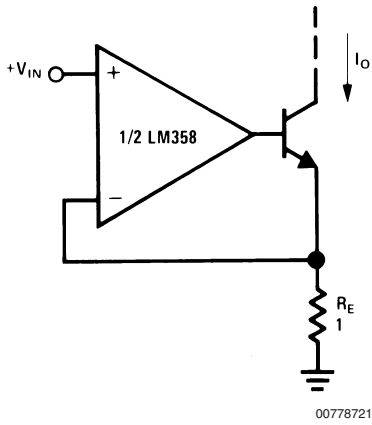


00778720

HIGH Z_{IN}
LOW Z_{OUT}

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

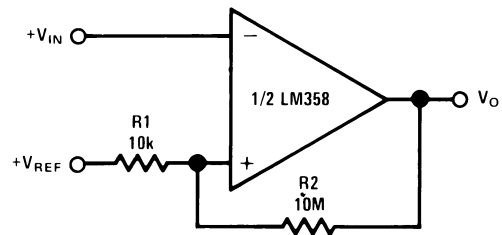
High Compliance Current Sink



00778721

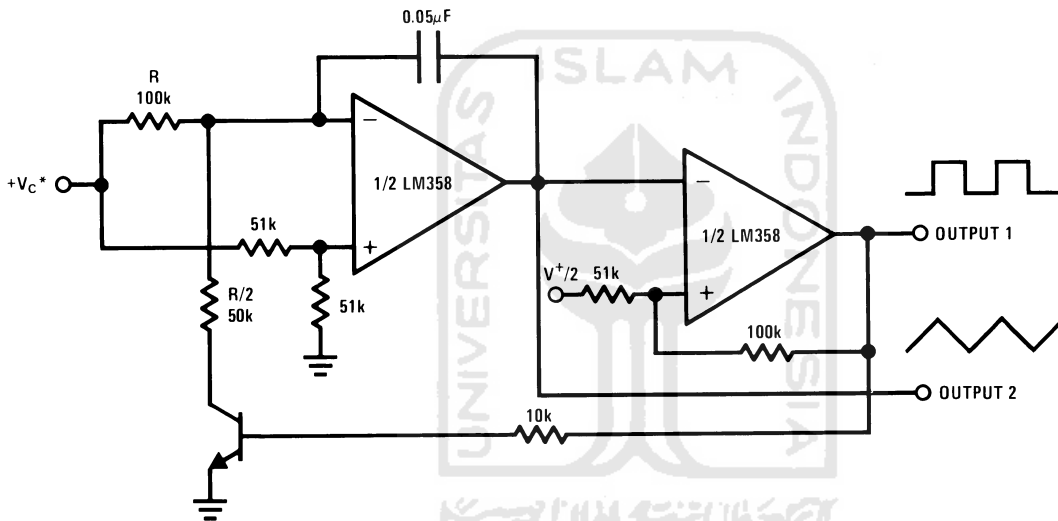
$I_O = 1 \text{ amp/volt } V_{IN}$
 (Increase R_E for I_O small)

Comparator with Hysteresis



00778722

Voltage Controlled Oscillator (VCO)

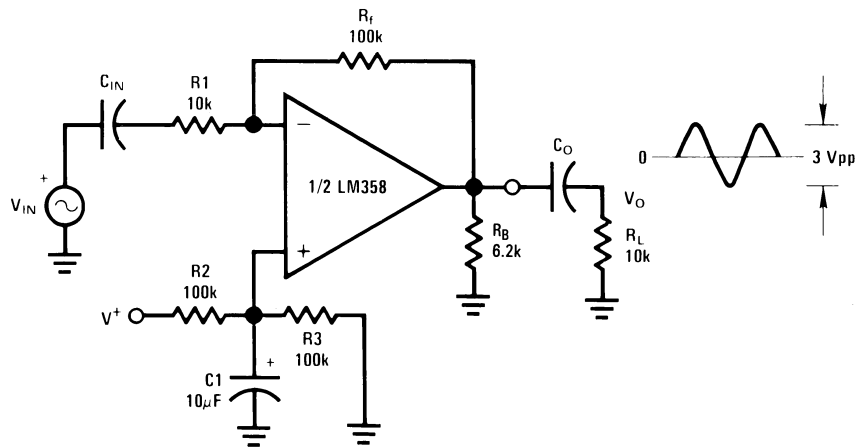


00778723

*WIDE CONTROL VOLTAGE RANGE: $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2 (V^+ - 1.5V_{DC})$

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

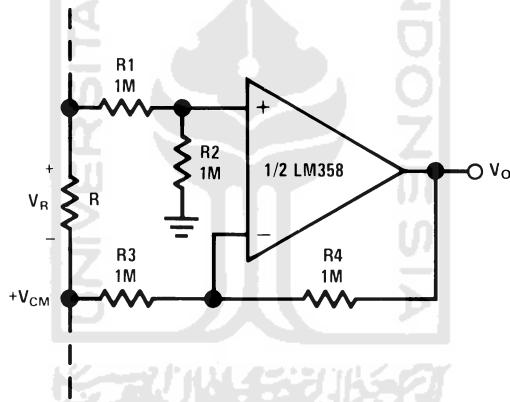
AC Coupled Inverting Amplifier



00778724

$$A_V = \frac{R_f}{R_1} \quad (\text{As shown, } A_V = 10)$$

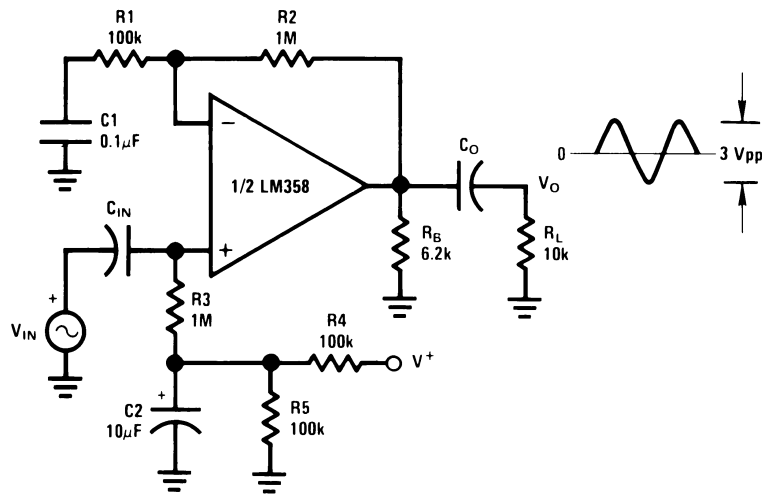
Ground Referencing a Differential Input Signal



00778725

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier

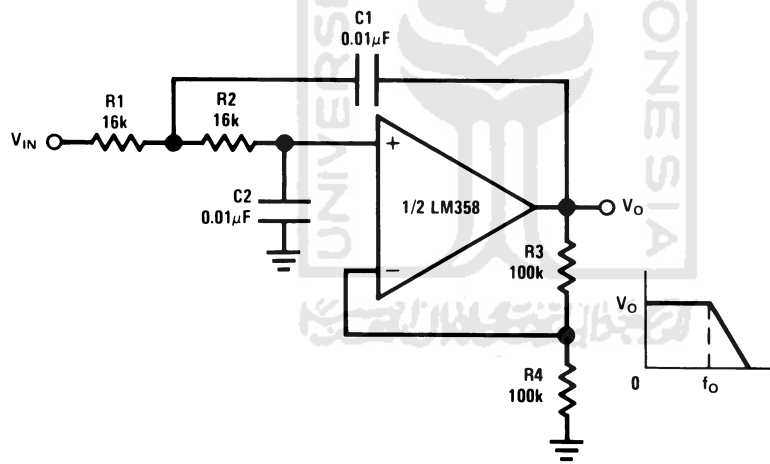


00778726

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$A_v = 11$ (As Shown)

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter

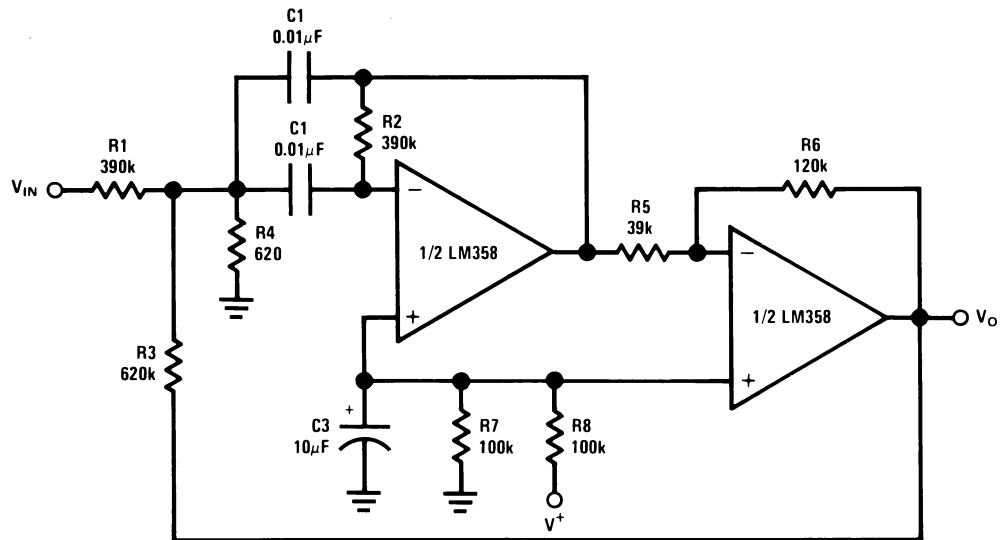


00778727

$f_o = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 1$
 $A_v = 2$

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

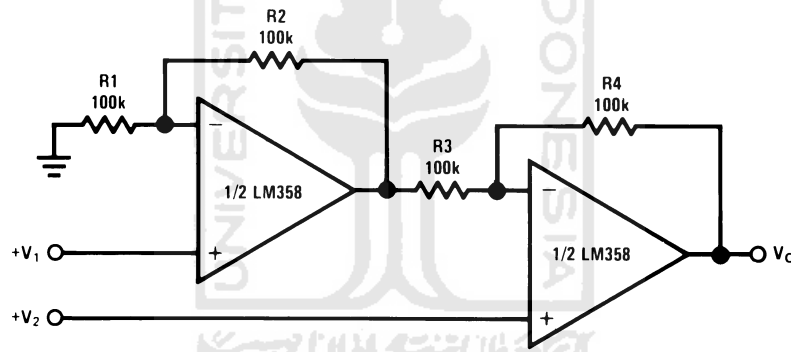
Bandpass Active Filter



00778728

$f_o = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 25$

High Input Z, DC Differential Amplifier



00778729

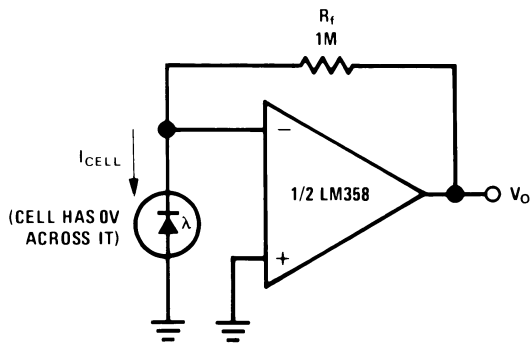
For $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$ (CMRR depends on this resistor ratio match)

$$V_O = 1 + \frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$$

As Shown: $V_O = 2 (V_2 - V_1)$

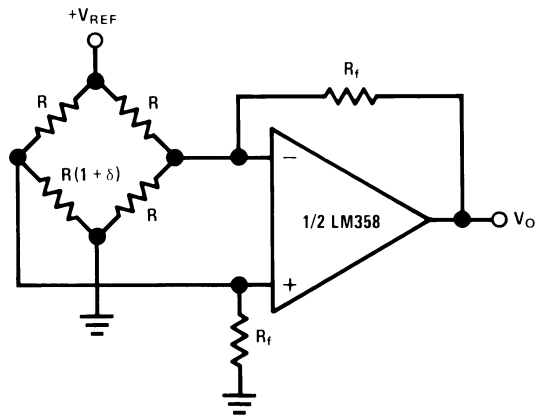
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Photo Voltaic-Cell Amplifier



00778730

Bridge Current Amplifier

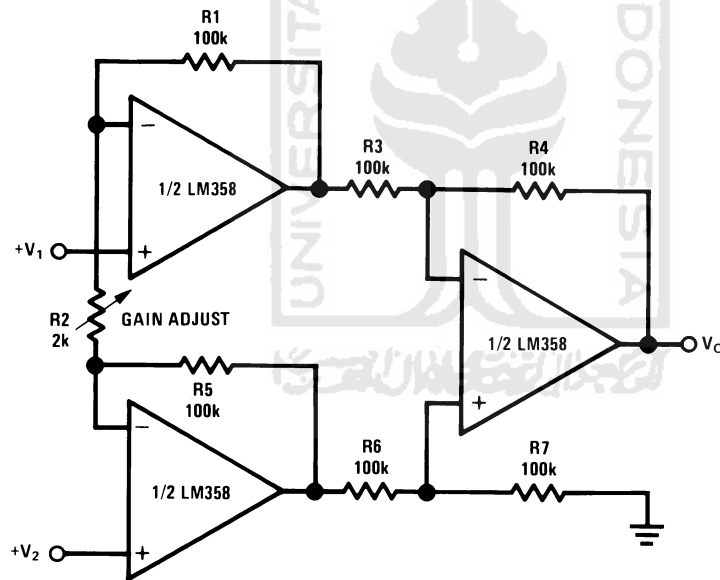


00778733

For $\delta \ll 1$ and $R_f \gg R$

$$V_O \cong V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



00778731

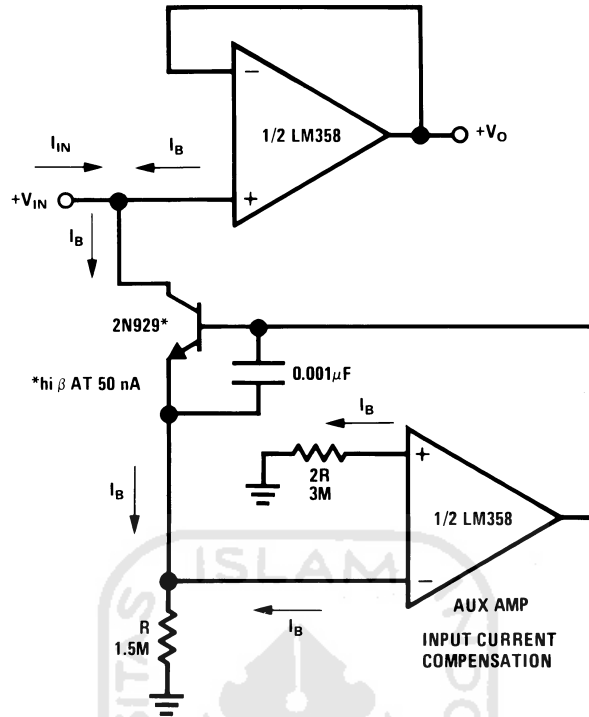
If $R_1 = R_5$ & $R_3 = R_4 = R_6 = R_7$ (CMRR depends on match)

$$V_O = 1 + \frac{2R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$$

As shown $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

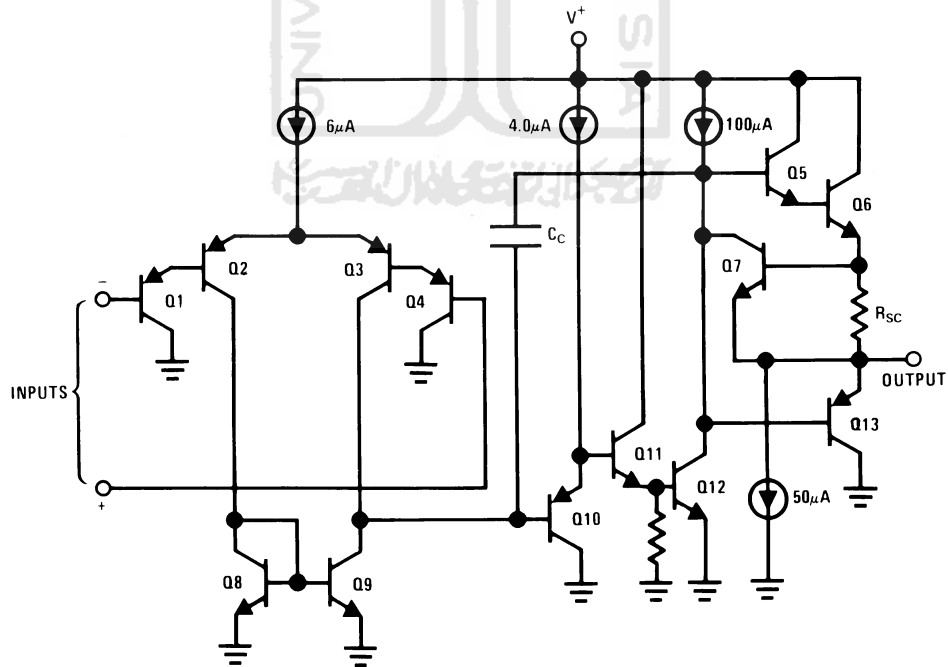
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



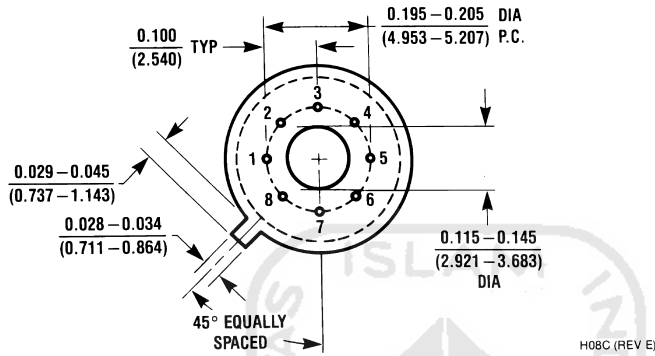
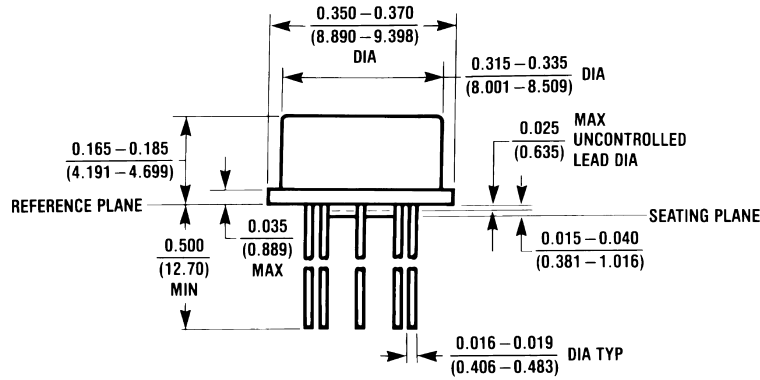
00778732

Schematic Diagram (Each Amplifier)

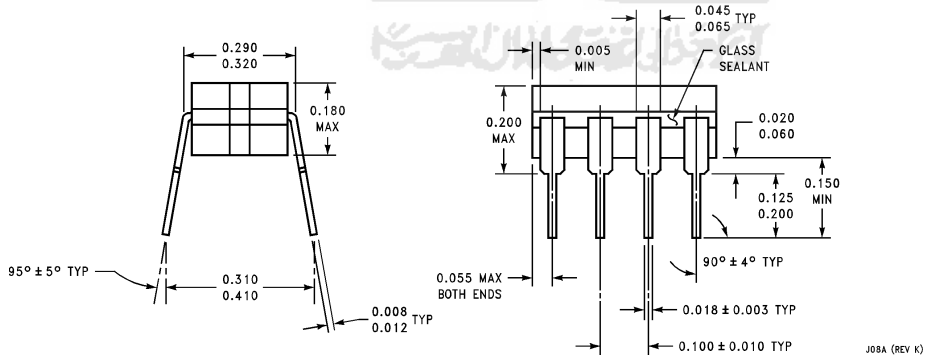
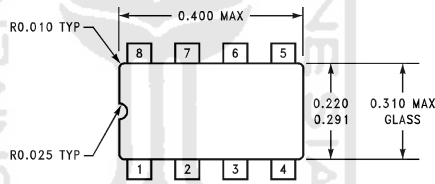


00778703

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

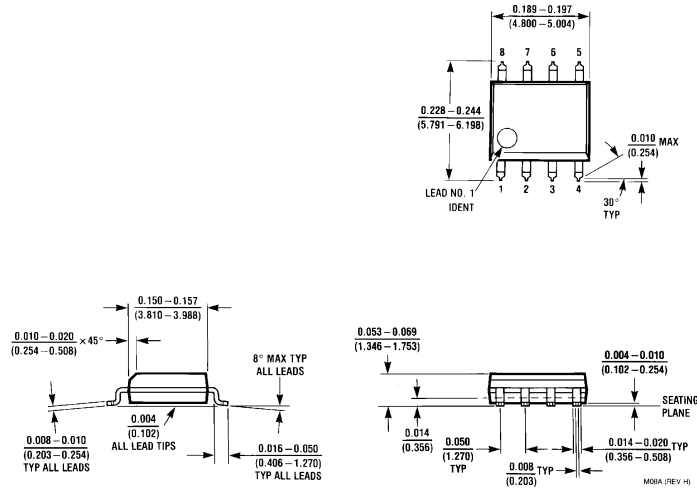


Metal Can Package (H)
NS Package Number H08C

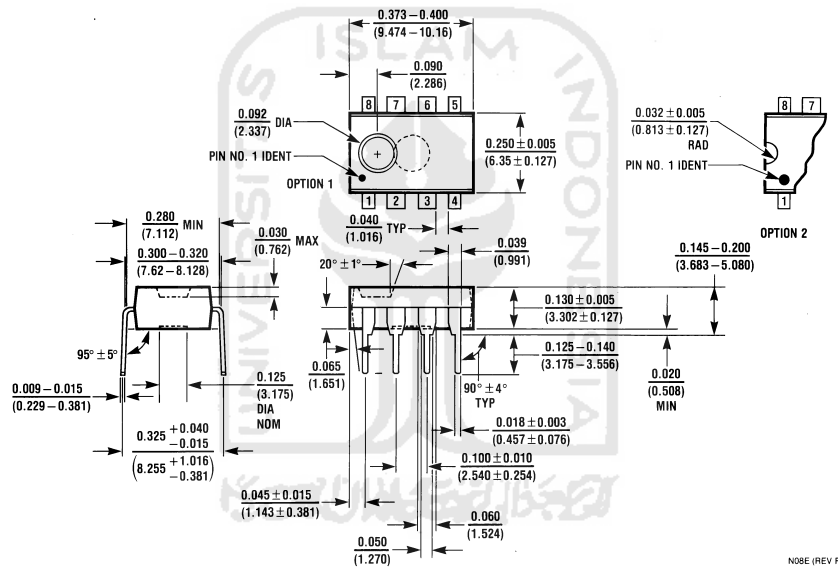


CerDip Package (J)
NS Package Number J08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

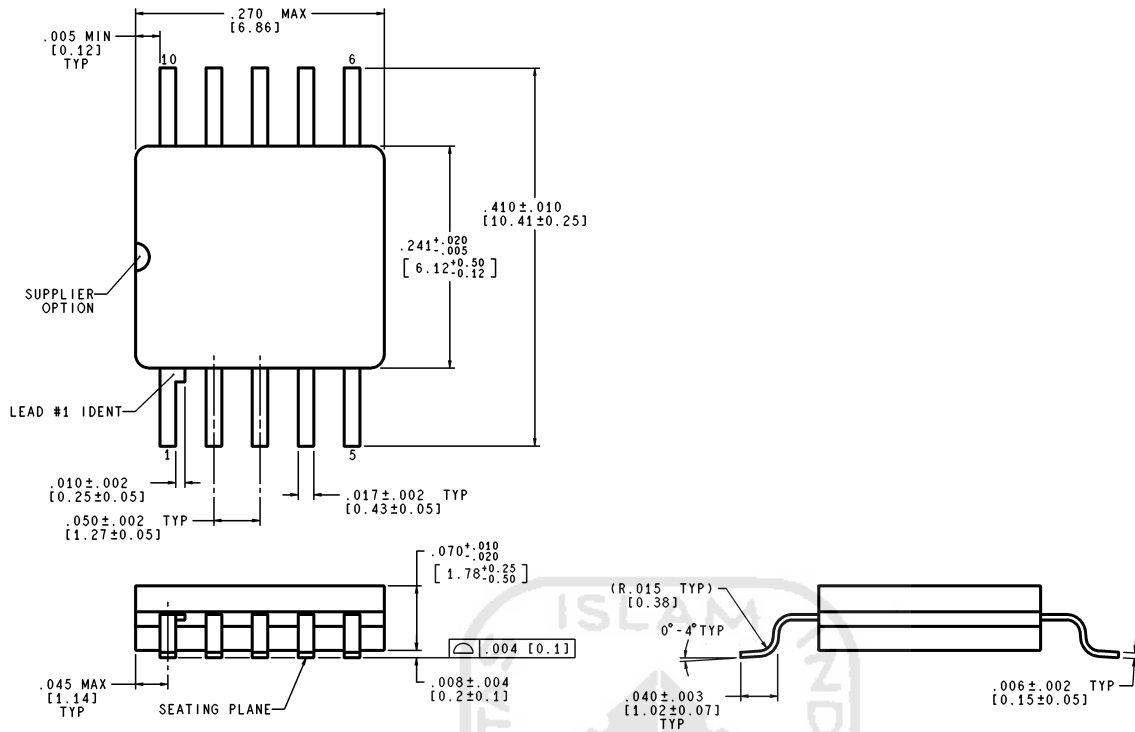


SOIC Package (M)
NS Package Number M08A



Molded Dip Package (N)
NS Package Number N08E

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

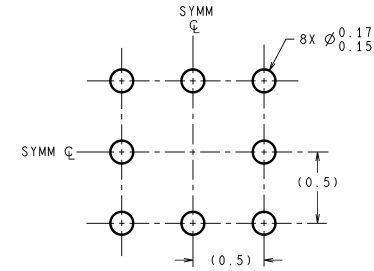


CONTROLLING DIMENSION IS INCH
VALUES IN [] ARE MILLIMETERS

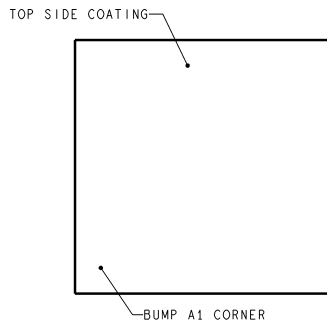
WG10A (Rev C)

Order Number LM158AWG/883
NS Package Number WG10A

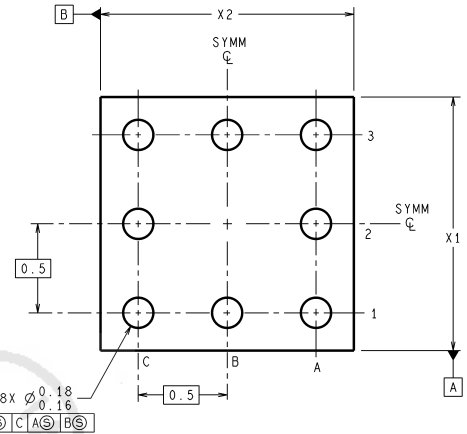
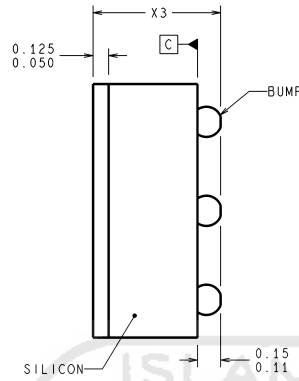
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LAND PATTERN RECOMMENDATION



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
DIMENSIONS IN () FOR REFERENCE ONLY



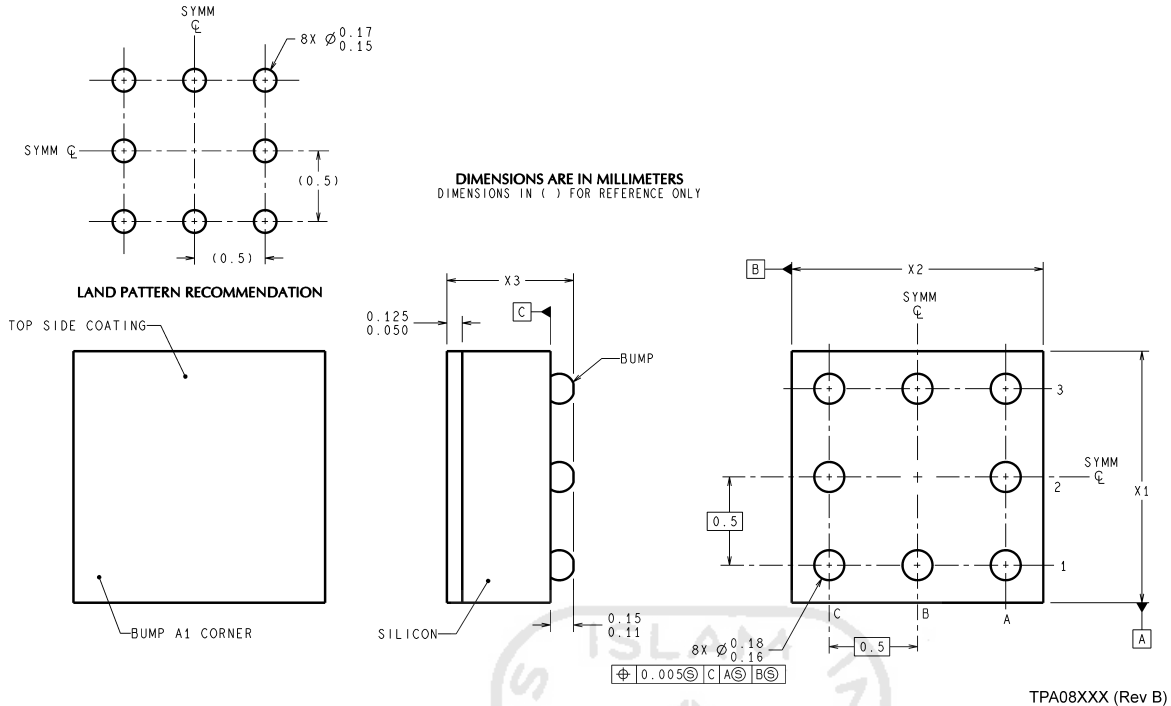
BPA08XXX (Rev D)

NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. EPOXY COATING
2. 63Sn/37Pb EUTECTIC BUMP
3. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
4. PIN A1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION REMAINING PINS ARE NUMBERED COUNTERCLOCKWISE.
5. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X₁ IS PACKAGE WIDTH, X₂ IS PACKAGE LENGTH AND X₃ IS PACKAGE HEIGHT.
6. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

8-Bump micro SMD
NS Package Number BPA08AAB
X₁ = 1.285 X₂ = 1.285 X₃ = 0.850

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. EPOXY COATING
2. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
3. PIN A1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION REMAINING PINS ARE NUMBERED COUNTERCLOCKWISE.
4. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X₁ IS PACKAGE WIDTH, X₂ IS PACKAGE LENGTH AND X₃ IS PACKAGE HEIGHT.
5. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

**8-Bump micro SMD Lead Free
NS Package Number TPA08AAA
X₁ = 1.285 X₂ = 1.285 X₃ = 0.500**

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at www.national.com.

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE

National Semiconductor manufactures products and uses packing materials that meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.

Leadfree products are RoHS compliant.



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560

LM78XX/LM78XXA

3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

General Description

The LM78XX series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	-40°C to +125°C
LM7806CT			
LM7808CT			
LM7809CT			
LM7810CT			
LM7812CT			
LM7815CT			
LM7818CT			
LM7824CT			
LM7805ACT			
LM7806ACT			
LM7808ACT			
LM7809ACT			
LM7810ACT			
LM7812ACT			
LM7815ACT			
LM7818ACT			
LM7824ACT			

Block Diagram

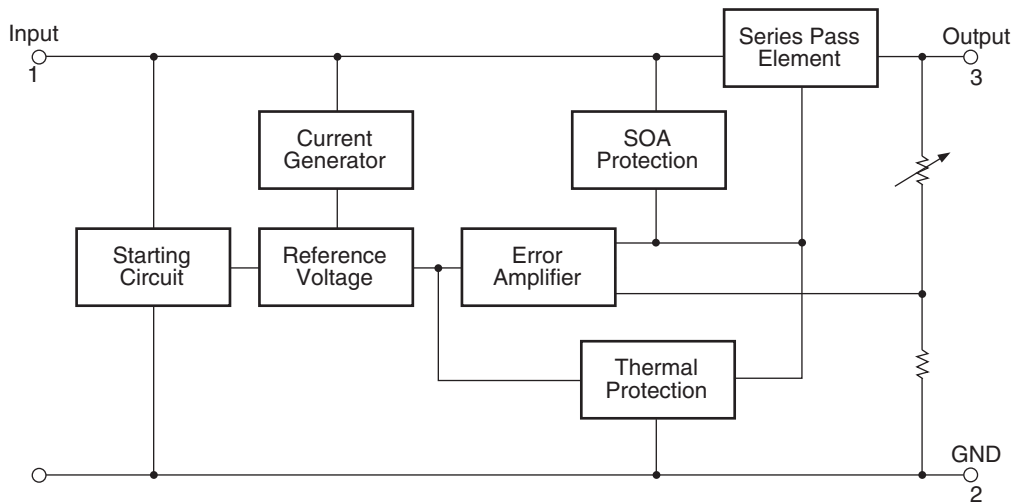


Figure 1.

Pin Assignment

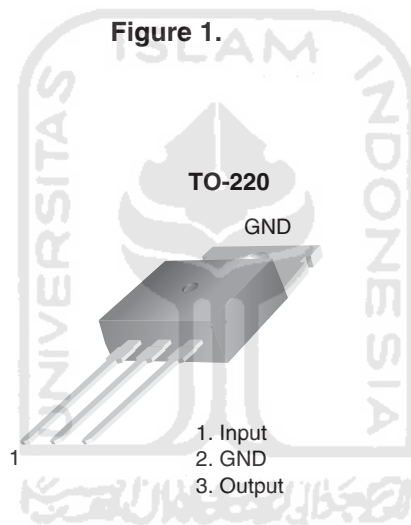


Figure 2.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	Input Voltage	$V_O = 5V \text{ to } 18V$	35	V
		$V_O = 24V$	40	V
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)		5	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)		65	$^{\circ}C/W$
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^{\circ}C$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range		-65 to +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (LM7805)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7\text{V to } 20\text{V}$	4.75	5.0	5.25		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_O = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	4.0	100	mV
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	0.3	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	42.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	15.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7806) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.75	6.0	6.25	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	5.7	6.0	6.3		
Regline	Line Regulation ⁽³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	5.0	120	mV
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	1.5	60.0	
Regload	Load Regulation ⁽³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	120	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	3.0	60.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	–	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	45.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7808) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_1 = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.7	8.0	8.3	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 10.5\text{V to } 23\text{V}$	7.6	8.0	8.4		
Regline	Line Regulation ⁽⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	–	5.0	160	mV
			$V_I = 11.5\text{V to } 17\text{V}$	–	2.0	80.0	
Regload	Load Regulation ⁽⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	10.0	160	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	80.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.05	0.5	mA	
		$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	–	0.5	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	52.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	56.0	73.0	–	dB	
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.65	9.0	9.35	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	8.6	9.0	9.4		
Regline	Line Regulation ⁽⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 25\text{V}$	–	6.0	180	mV
			$V_I = 12\text{V to } 17\text{V}$	–	2.0	90.0	
Regload	Load Regulation ⁽⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	180	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	90.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 11.5\text{V to } 26\text{V}$	–	–	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	58.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	–	dB	
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.6	10.0	10.4	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	9.5	10.0	10.5		
Regline	Line Regulation ⁽⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	–	10.0	200	mV
			$V_I = 13\text{V to } 25\text{V}$	–	3.0	100	
Regload	Load Regulation ⁽⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	200	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	400	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12.5\text{V to } 29\text{V}$	–	–	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	58.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

9. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
10. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	11.4	12.0	12.6		
Regline	Line Regulation ⁽¹¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	–	10.0	240	mV
			$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	3.0	120	
Regload	Load Regulation ⁽¹¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	11.0	240	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	120	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	–	0.5	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	76.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 15\text{V to } 25\text{V}$	55.0	71.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.4	15.0	15.6	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	14.25	15.0	15.75		
Regline	Line Regulation ⁽¹³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	–	11.0	300	mV
			$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	3.0	150	
Regload	Load Regulation ⁽¹³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	300	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	150	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	–	–	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	90.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	54.0	70.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

13. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
14. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.3	18.0	18.7	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.1	18.0	18.9		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	15.0	360	mV
			$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	–	5.0	180	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	360	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	180	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	–	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	110	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	53.0	69.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	22.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

15. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
16. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7824) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.0	24.0	25.0	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	22.8	24.0	25.25		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	–	17.0	480	mV
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	–	6.0	240	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	480	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	240	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	–	0.5	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.5	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	60.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	50.0	67.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
rO	Output Resistance ⁽¹⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	28.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

17. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
18. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7805A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5.0	5.1	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5.0	5.2		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁹⁾	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	5.0	50.0	mV	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	3.0	50.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	–	5.0		50.0
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	1.5		25.0
Regload	Load Regulation ⁽¹⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	9.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	–	68.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

19. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

20. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7806A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.58	6.0	6.12	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.6\text{V to } 21\text{V}$	5.76	6.0	6.24		
Regline	Line Regulation ⁽²¹⁾	$V_I = 8.6\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	5.0	60.0	mV	
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	3.0	60.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8.3\text{V to } 21\text{V}$	–	5.0		60.0
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	1.5	30.0		
Regload	Load Regulation ⁽²¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	9.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	4.3	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 19\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 8.5\text{V to } 21\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	–	65.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

21. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

22. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7808A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.84	8.0	8.16	V	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 10.6\text{V}$ to 23V	7.7	8.0	8.3		
Regline	Line Regulation ⁽²³⁾	$V_I = 10.6\text{V}$ to 25V, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	80.0	mV	
		$V_I = 11\text{V}$ to 17V	–	3.0	80.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.4\text{V}$ to 23V	–	6.0		80.0
		$V_I = 11\text{V}$ to 17V	–	2.0	40.0		
Regload	Load Regulation ⁽²³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5A	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 11\text{V}$ to 25V, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 10.6\text{V}$ to 23V, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11.5\text{V}$ to 21.5V	–	62.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

23. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

24. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.82	9.0	9.16	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.2\text{V to } 24\text{V}$	8.65	9.0	9.35		
Regline	Line Regulation ⁽²⁵⁾	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	90.0	mV	
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	4.0	45.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	–	6.0		90.0
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	2.0	45.0		
Regload	Load Regulation ⁽²⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 12\text{V to } 22\text{V}$	–	62.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

25. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

26. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.8	10.0	10.2	V	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.8\text{V}$ to 25V	9.6	10.0	10.4		
Regline	Line Regulation ⁽²⁷⁾	$V_I = 12.8\text{V}$ to 26V, $I_O = 500\text{mA}$	–	8.0	100	mV	
		$V_I = 13\text{V}$ to 20V	–	4.0	50.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V}$ to 25V	–	8.0		100
			$V_I = 13\text{V}$ to 20V	–	3.0		50.0
Regload	Load Regulation ⁽²⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5A	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12.8\text{V}$ to 25V, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 13\text{V}$ to 26V, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.5		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V}$ to 24V	–	62.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

27. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

28. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.75	12.0	12.25	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 14.8\text{V to } 27\text{V}$	11.5	12.0	12.5	
Regline	Line Regulation ⁽²⁹⁾	$V_I = 14.8\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	10.0	120	mV
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	4.0	120	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	–	10.0	120	
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	3.0	60.0	
Regload	Load Regulation ⁽²⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 14\text{V to } 27\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 15\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽³⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	–	60.0	–	dB
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽³⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note:

29. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

30. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.75	15.0	15.3	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 17.7\text{V to } 30\text{V}$	14.4	15.0	15.6		
Regline	Line Regulation ⁽³¹⁾	$V_I = 17.4\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	10.0	150	mV	
		$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	5.0	150		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	–	11.0		150
			$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	3.0		75.0
Regload	Load Regulation ⁽³¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽³²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	–	58.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽³²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽³²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

31. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

32. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.64	18.0	18.36	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.3	18.0	18.7		
Regline	Line Regulation ⁽³³⁾	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	15.0	180	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	5.0	180		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 20.6\text{V to } 33\text{V}$	–	15.0		180
		$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	–	5.0	90.0		
Regload	Load Regulation ⁽³³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	15.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	7.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12\text{V to } 33\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 12\text{V to } 33\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽³⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	–	57.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽³⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

33. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

34. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7824A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.5	24.0	24.5	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$	23.0	24.0	25.0		
Regline	Line Regulation ⁽³⁵⁾	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	18.0	240	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	6.0	240		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 26.7\text{V to } 38\text{V}$	–	18.0		240
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	–	6.0		120
Regload	Load Regulation ⁽³⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	15.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	7.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.5	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽³⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	–	54.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽³⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	20.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

35. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

36. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Typical Performance Characteristics

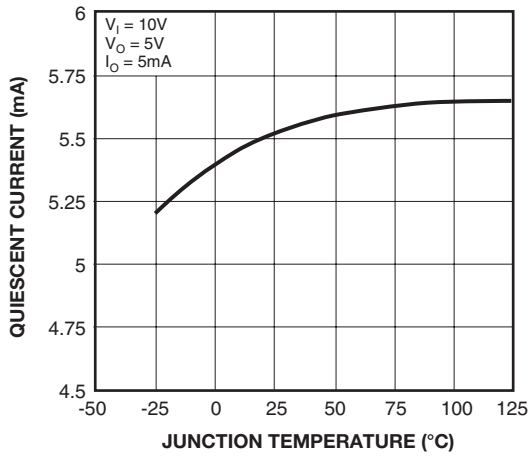


Figure 3. Quiescent Current

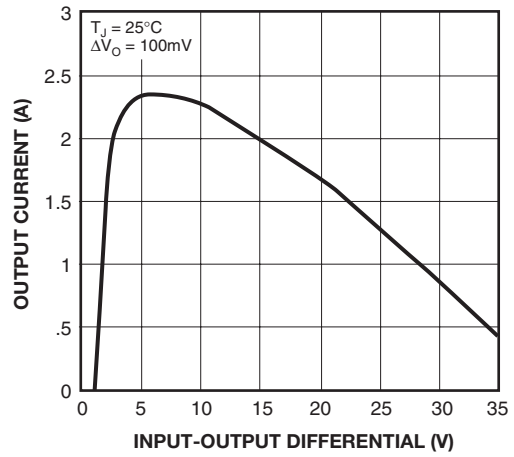


Figure 4. Peak Output Current

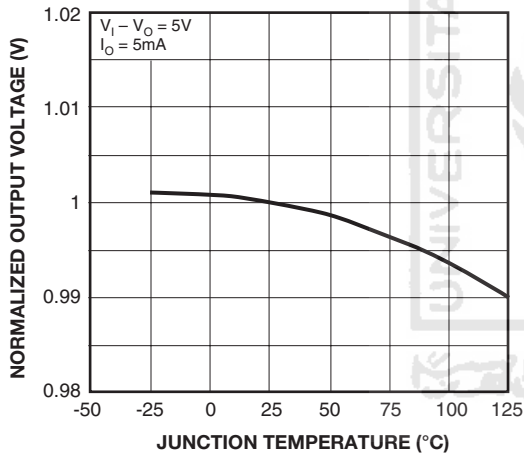


Figure 5. Output Voltage

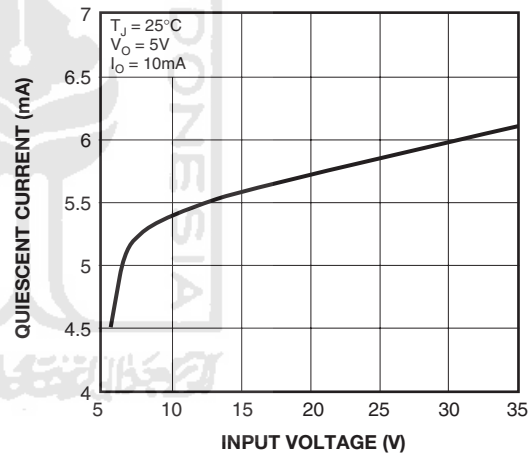


Figure 6. Quiescent Current

Typical Applications

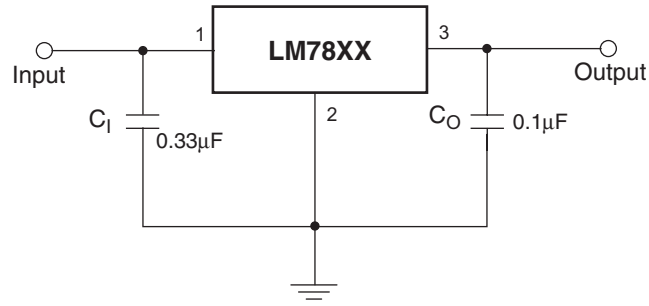


Figure 7. DC Parameters

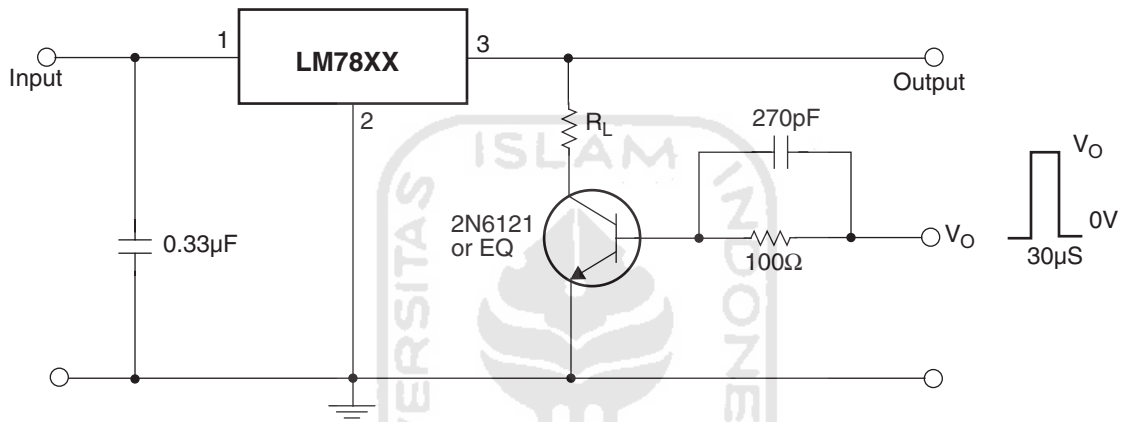


Figure 8. Load Regulation

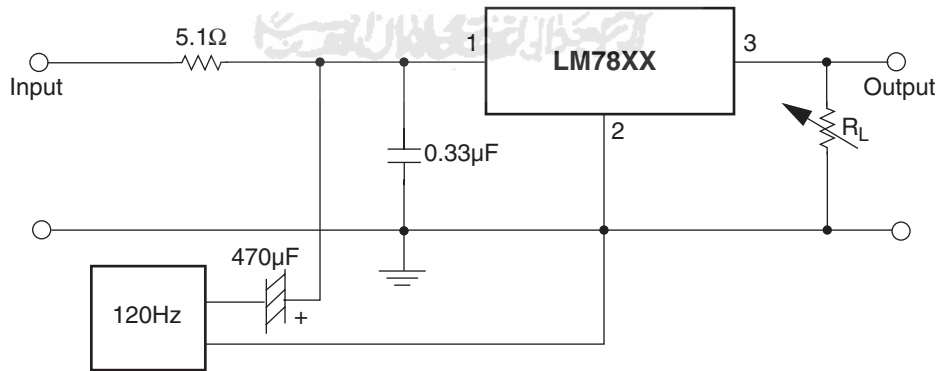


Figure 9. Ripple Rejection

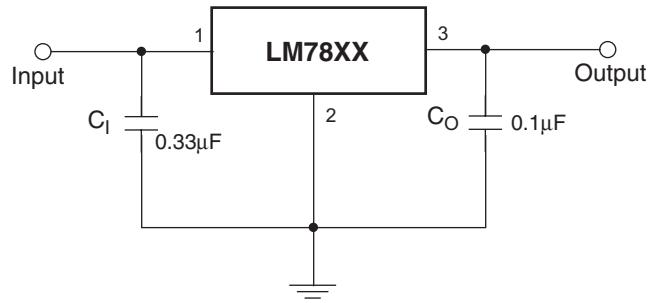
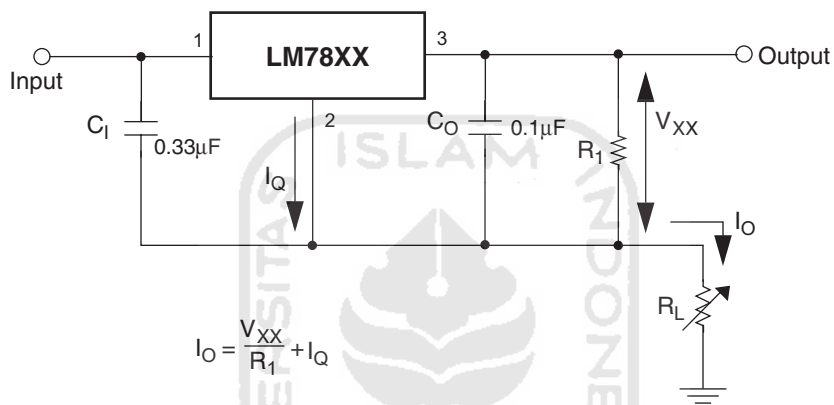


Figure 10. Fixed Output Regulator



Notes:

1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
2. C₁ is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
3. C₀ improves stability and transient response.

Figure 11.

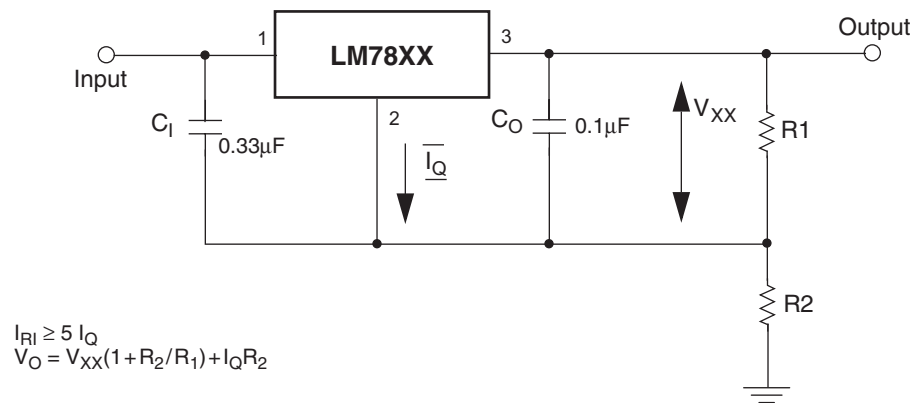


Figure 12. Circuit for Increasing Output Voltage

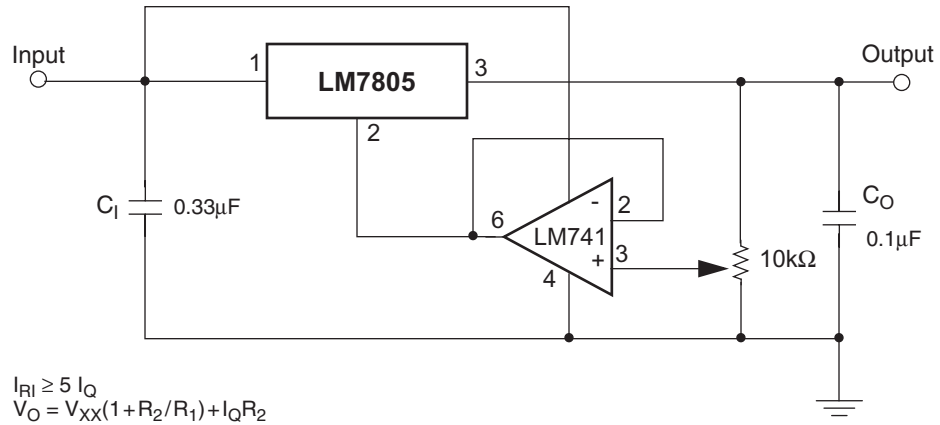


Figure 13. Adjustable Output Regulator (7V to 30V)

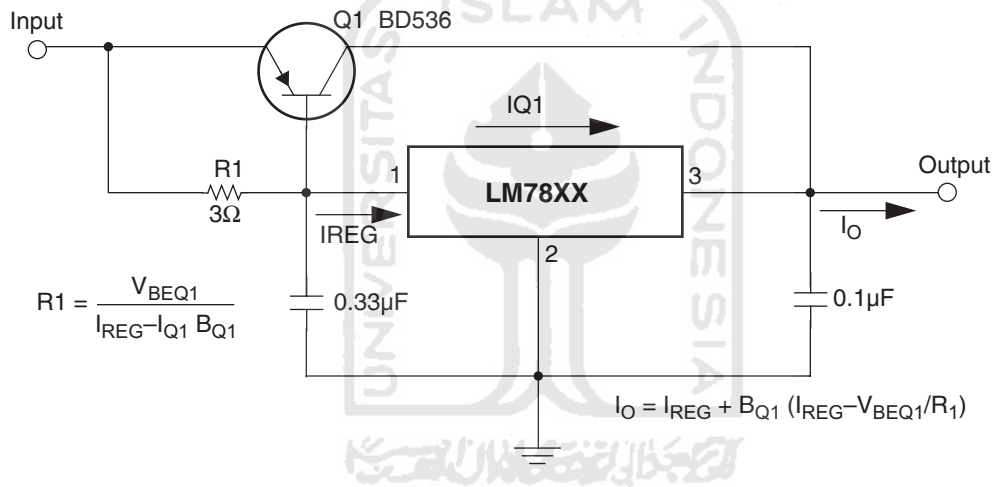


Figure 14. High Current Voltage Regulator

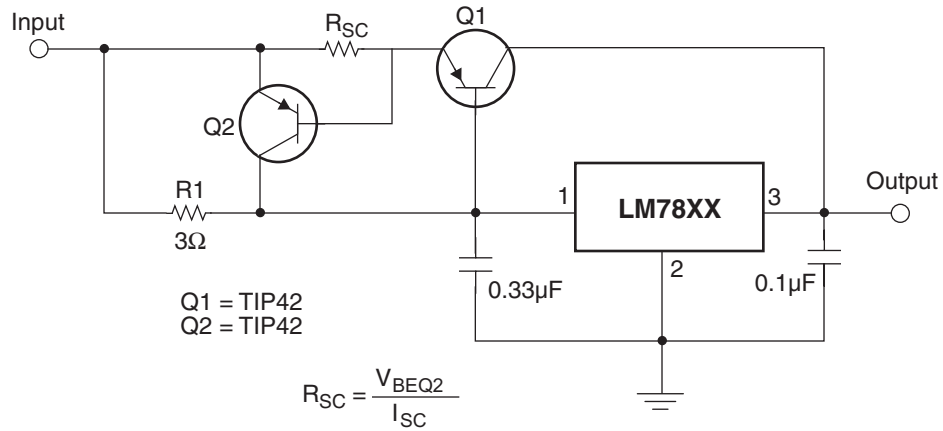


Figure 15. High Output Current with Short Circuit Protection

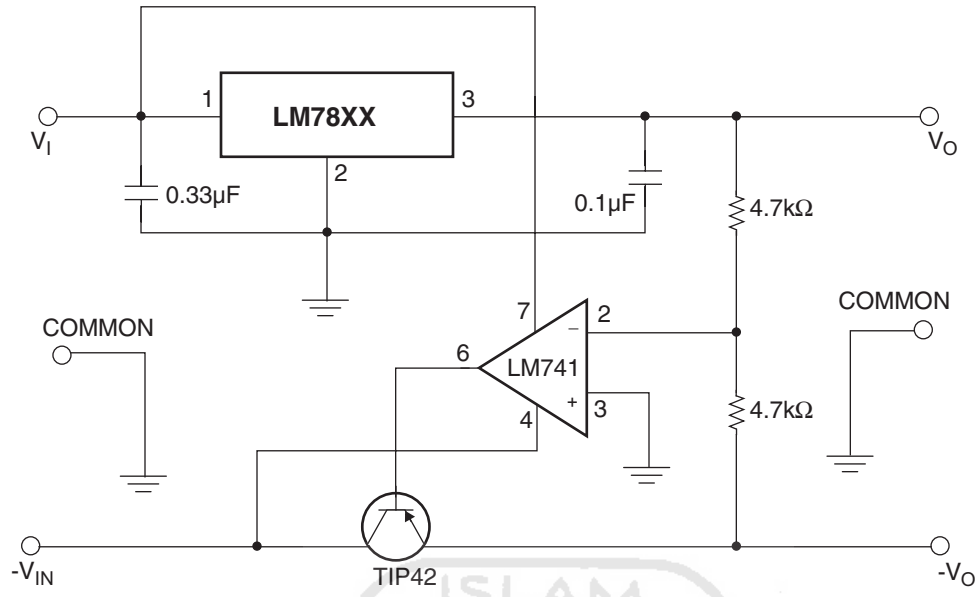


Figure 16. Tracking Voltage Regulator

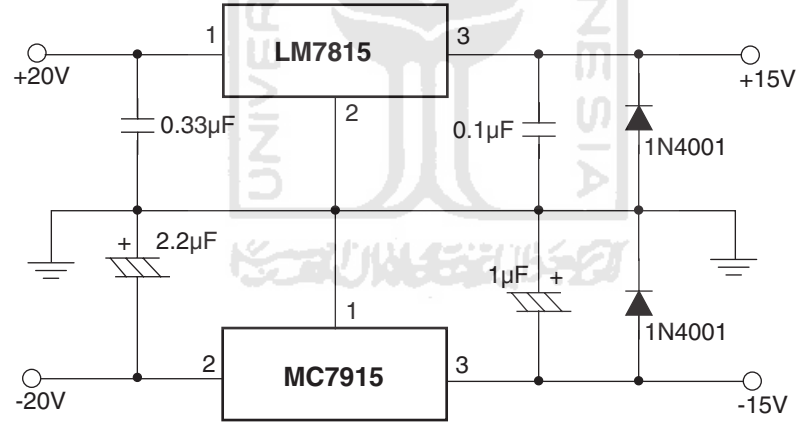


Figure 17. Split Power Supply (±15V – 1A)

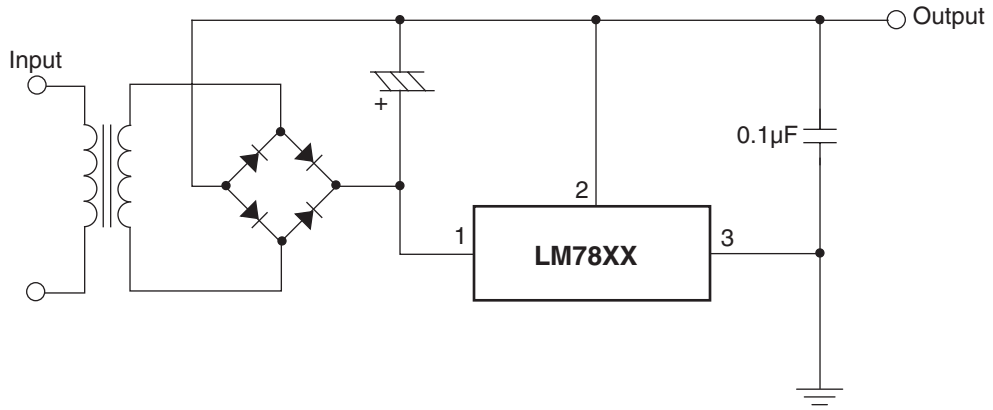


Figure 18. Negative Output Voltage Circuit

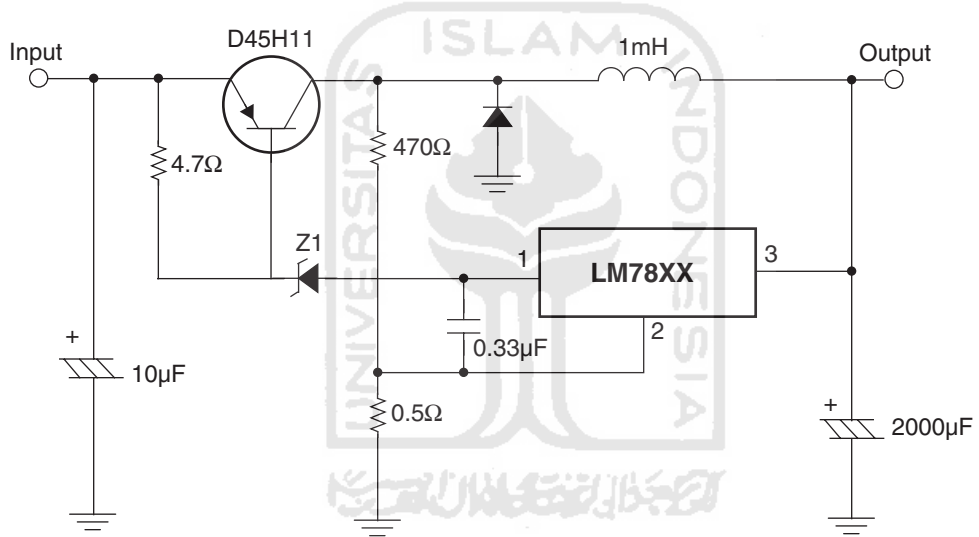
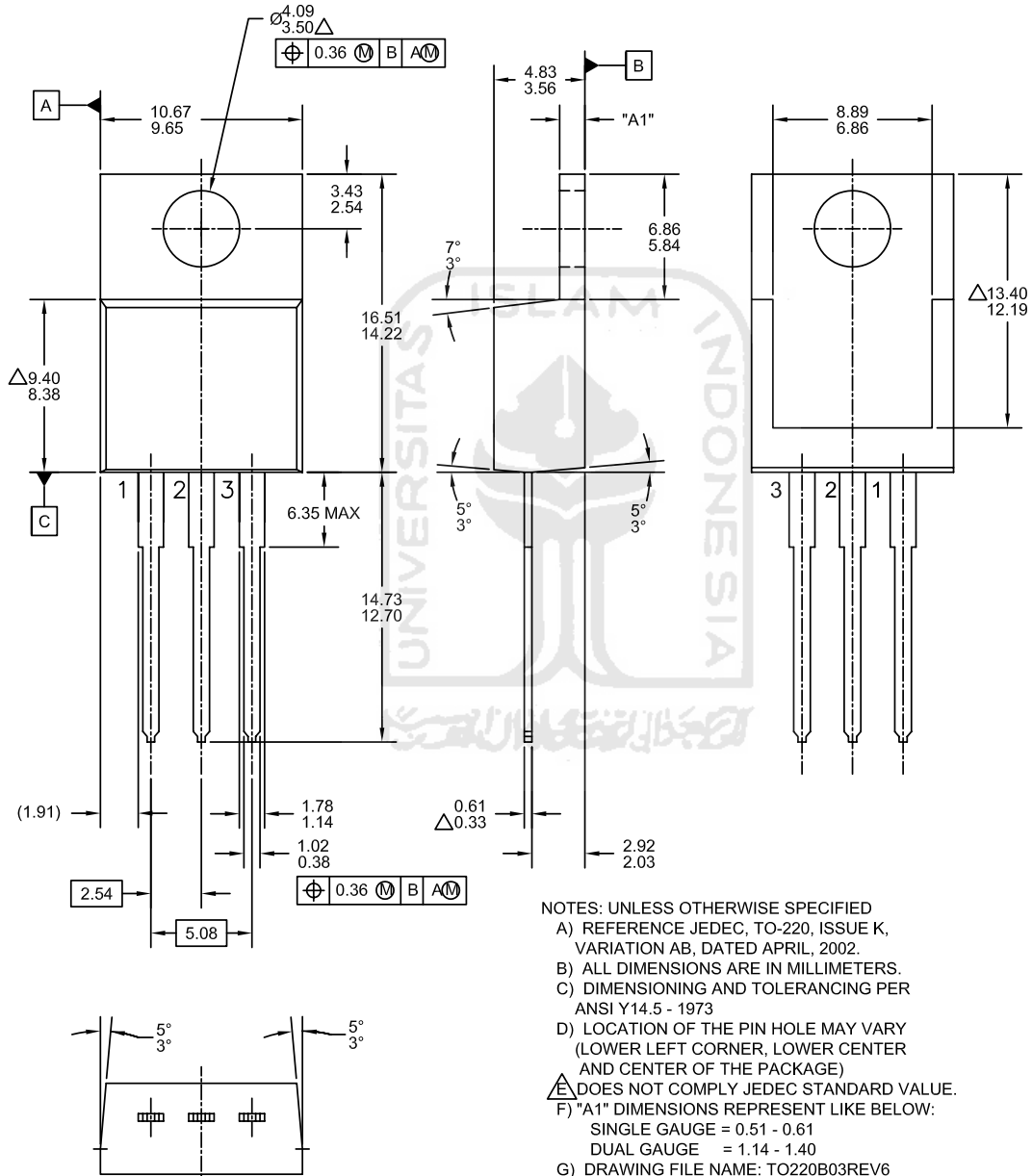


Figure 19. Switching Regulator

Mechanical Dimensions

Dimensions in millimeters





TO-220 [SINGLE GAUGE]





TRADEMARKS

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

AccuPower™	FRFET®	PowerTrench®	The Power Franchise®
Auto-SPM™	Global Power Resource™	PowerXS™	the power franchise™
Build it Now™	Green FPS™	Programmable Active Droop™	TinyBoost™
CorePLUS™	Green FPS™ e-Series™	QFET®	TinyBuck™
CorePOWER™	Gmax™	QS™	TinyCalc™
CROSSVOLT™	GTO™	Quiet Series™	TinyLogic®
CTL™	IntelliMAX™	RapidConfigure™	TINYOPTO™
Current Transfer Logic™	ISOPLANAR™	 ™	TinyPower™
DEUXPEED®	MegaBuck™	Saving our world, 1mW/W/kW at a time™	TinyPwm™
Dual Cool™	MICROCOUPLER™	SignalWise™	TinyWire™
EcoSPARK®	MicroFET™	SmartMax™	TriFault Detect™
EfficientMax™	MicroPak™	SMART START™	TRUECURRENT™*
F ®	MicroPak2™	SPM®	µSerDes™
Fairchild®	MillerDrive™	STEALTH™	 SerDes®
Fairchild Semiconductor®	MotionMax™	SuperFET™	UHC®
FACT Quiet Series™	Motion-SPM™	SuperSOT™-3	Ultra FRFET™
FACT®	OptoHiT™	SuperSOT™-6	UniFET™
FAST®	OPTOLOGIC®	SuperSOT™-8	VCX™
FastvCore™	OPTOPLANAR®	SupreMOS™	VisualMax™
FETBench™	 ™	SyncFET™	XS™
FlashWriter®*	PDP SPM™	Sync-Lock™	
FPS™	Power-SPM™	 ™*	
F-PFS™			

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLED/OPTOISOLATORS

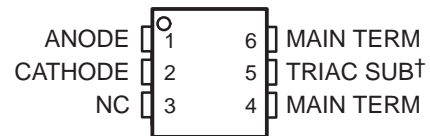
SOES025A – OCTOBER 1986 – REVISED APRIL 1998

- 400 V Phototriac Driver Output
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source and Optically-Coupled Silicon Triac Driver (Bilateral Switch)
- UL Recognized . . . File Number E65085
- High Isolation . . . 7500 V Peak
- Output Driver Designed for 220 Vac
- Standard 6-Terminal Plastic DIP
- Directly Interchangeable with Motorola MOC3020, MOC3021, MOC3022, and MOC3023

typical 115/240 Vac(rms) applications

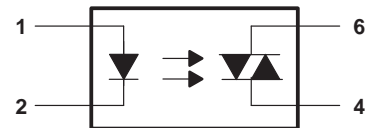
- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115/240 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Incandescent Lamp Dimmers

MOC3020 – MOC3023 . . . PACKAGE (TOP VIEW)



† Do not connect this terminal
NC – No internal connection

logic diagram



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage, 5 s maximum duration, 60 Hz (see Note 1)	7.5 kV
Input diode reverse voltage	3 V
Input diode forward current, continuous	50 mA
Output repetitive peak off-state voltage	400 V
Output on-state current, total rms value (50-60 Hz, full sine wave):	
$T_A = 25^\circ\text{C}$	100 mA
$T_A = 70^\circ\text{C}$	50 mA
Output driver nonrepetitive peak on-state current ($t_w = 10$ ms, duty cycle = 10%, see Figure 7)	1.2 A
Continuous power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:	
Infrared-emitting diode (see Note 2)	100 mW
Phototriac (see Note 3)	300 mW
Total device (see Note 4)	330 mW
Operating junction temperature range, T_J	-40°C to 100°C
Storage temperature range, T_{stg}	-40°C to 150°C
Lead temperature 1,6 (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. Input-to-output peak voltage is the internal device dielectric breakdown rating.
 2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
 3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
 4. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4.4 mW/°C.

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

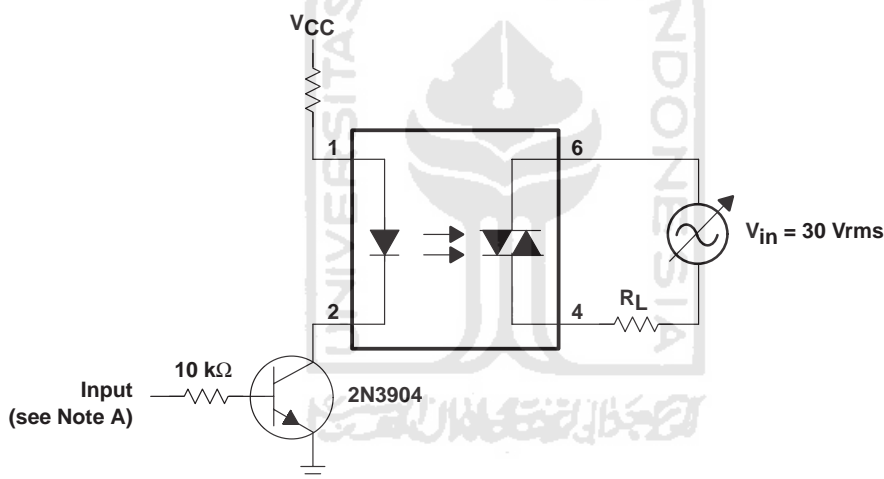
SOES025A – OCTOBER 1986 – REVISED APRIL 1998

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_R	Static reverse current	$V_R = 3\text{ V}$		0.05	100	μA
V_F	Static forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$		1.2	1.5	V
$I_{(DRM)}$	Repetitive off-state current, either direction	$V_{(DRM)} = 400\text{ V}$, See Note 5		10	100	nA
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	See Figure 1		100		$\text{V}/\mu\text{s}$
$dv/dt(c)$	Critical rate of rise of commutating voltage	$I_O = 15\text{ mA}$, See Figure 1		0.15		$\text{V}/\mu\text{s}$
I_{FT}	Input trigger current, either direction	Output supply voltage = 3 V	MOC3020	15	30	mA
			MOC3021	8	15	
			MOC3022	5	10	
			MOC3023	3	5	
V_{TM}	Peak on-state voltage, either direction	$I_{TM} = 100\text{ mA}$		1.4	3	V
I_H	Holding current, either direction			100		μA

NOTE 5: Test voltage must be applied at a rate no higher than 12 V/ μs .

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTE A. The critical rate of rise of off-state voltage, dv/dt , is measured with the input at 0 V. The frequency of V_{in} is increased until the phototriac turns on. This frequency is then used to calculate the dv/dt according to the formula:

$$dv/dt = 2\sqrt{2}\pi fV_{in}$$

The critical rate of rise of commutating voltage, $dv/dt(c)$, is measured by applying occasional 5-V pulses to the input and increasing the frequency of V_{in} until the phototriac stays on (latches) after the input pulse has ceased. With no further input pulses, the frequency of V_{in} is then gradually decreased until the phototriac turns off. The frequency at which turn-off occurs may then be used to calculate the $dv/dt(c)$ according to the formula shown above.

Figure 1. Critical Rate of Rise Test Circuit

TYPICAL CHARACTERISTICS

EMITTING-DIODE TRIGGER CURRENT (NORMALIZED)
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

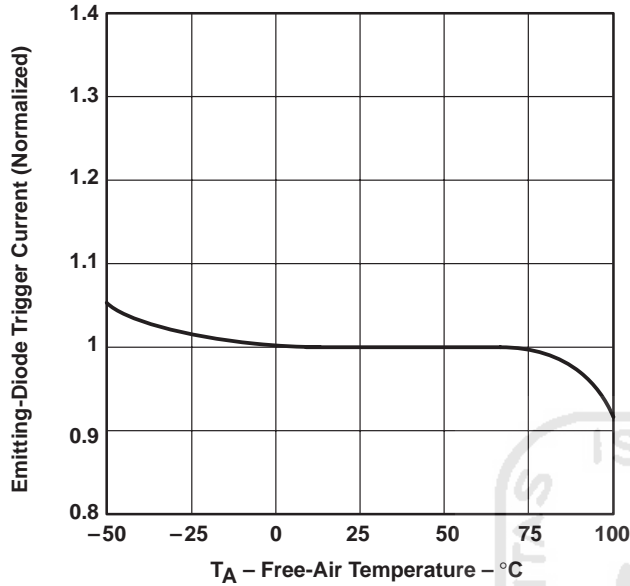


Figure 2

ON-STATE CHARACTERISTICS

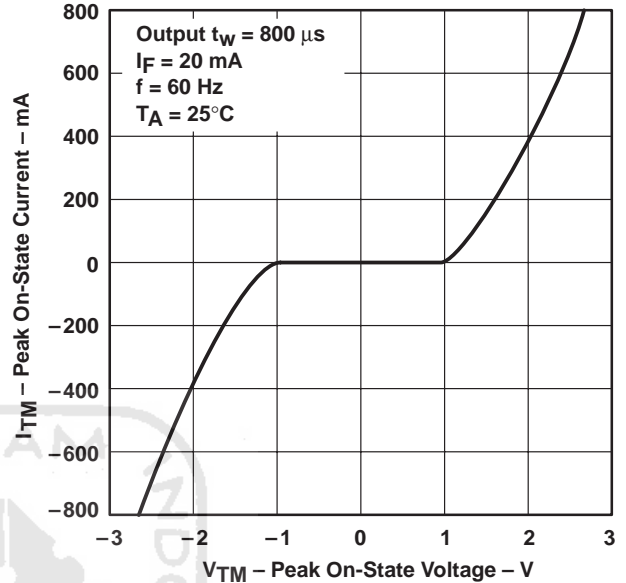


Figure 3

NONREPETITIVE PEAK ON-STATE CURRENT
vs
PULSE DURATION

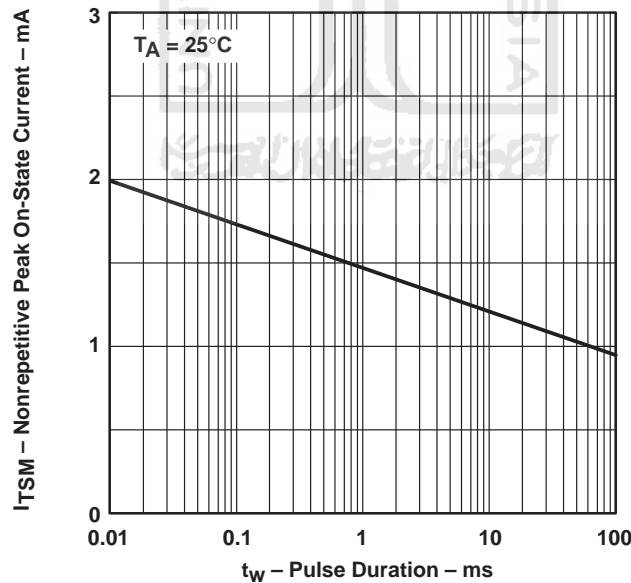


Figure 4

APPLICATIONS INFORMATION

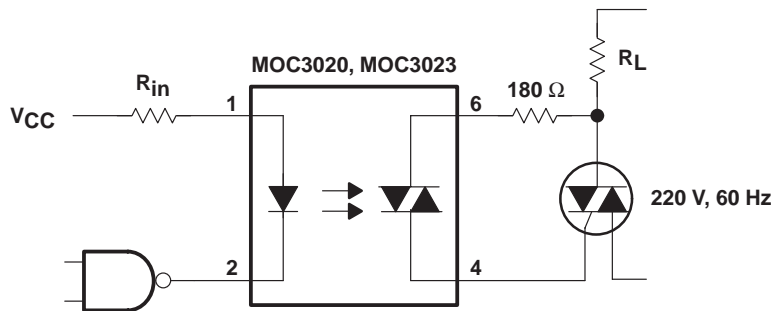


Figure 5. Resistive Load

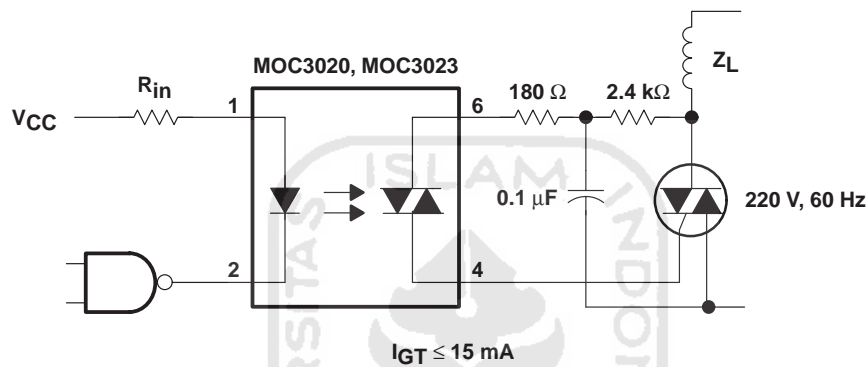


Figure 6. Inductive Load With Sensitive-Gate Triac

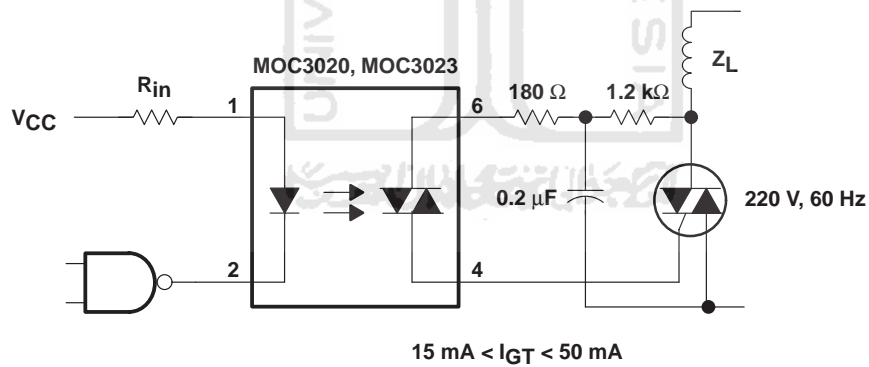
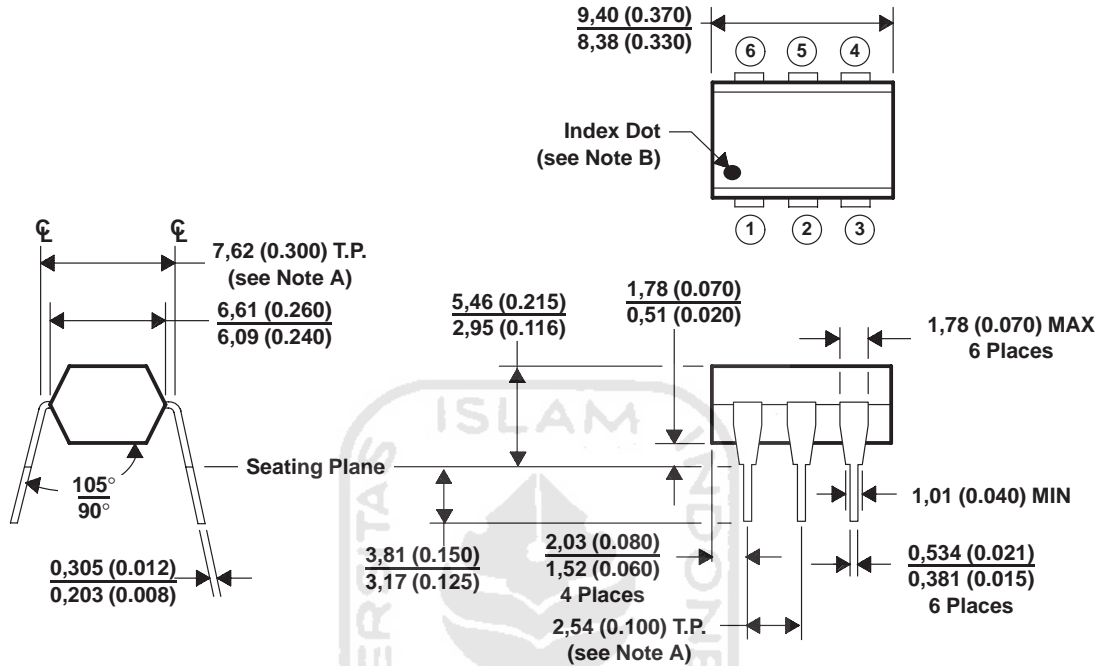


Figure 7. Inductive Load With Nonsensitive-Gate Triac

MECHANICAL INFORMATION

Each device consists of a gallium-arsenide infrared-emitting diode optically coupled to a silicon phototriac mounted on a 6-terminal lead frame encapsulated within an electrically nonconductive plastic compound. The case can withstand soldering temperature with no deformation and device performance characteristics remain stable when operated in high-humidity conditions.



- NOTES: A. Leads are within 0,13 (0.005) radius of true position (T.P.) with maximum material condition and unit installed.
B. Pin 1 identified by index dot.
C. The dimensions given fall within JEDEC MO-001 AM dimensions.
D. All linear dimensions are given in millimeters and parenthetically given in inches.

Figure 8. Packaging Specifications



IMPORTANT NOTICE

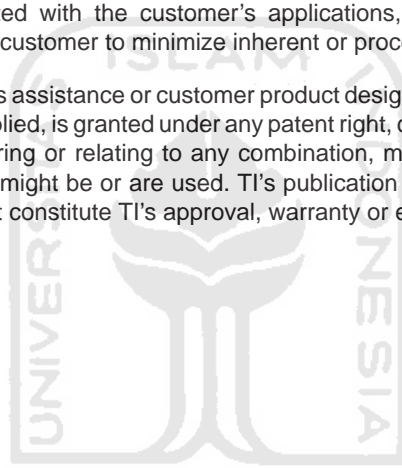
Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

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

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.



LM78XX/LM78XXA

3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

General Description

The LM78XX series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	-40°C to +125°C
LM7806CT			
LM7808CT			
LM7809CT			
LM7810CT			
LM7812CT			
LM7815CT			
LM7818CT			
LM7824CT			
LM7805ACT			
LM7806ACT			
LM7808ACT			
LM7809ACT			
LM7810ACT			
LM7812ACT			
LM7815ACT			
LM7818ACT			
LM7824ACT			

Block Diagram

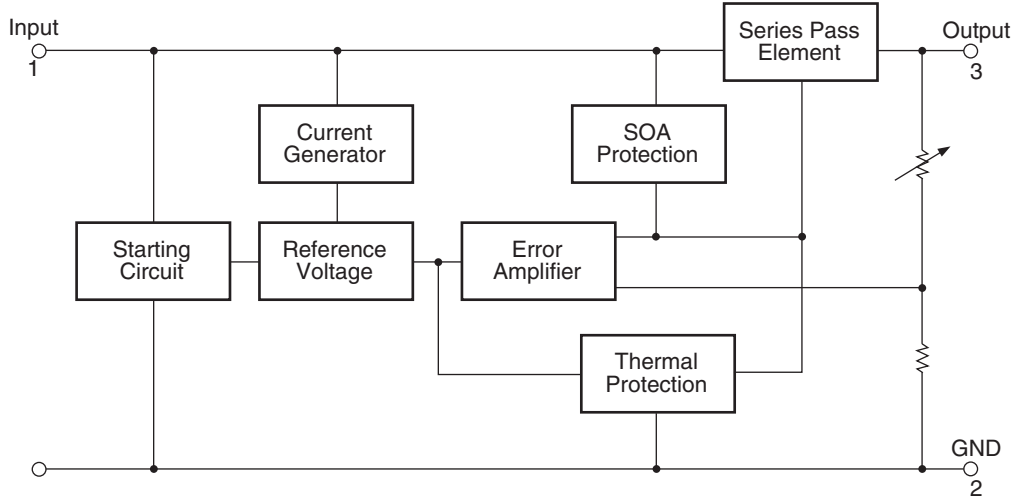


Figure 1.

Pin Assignment

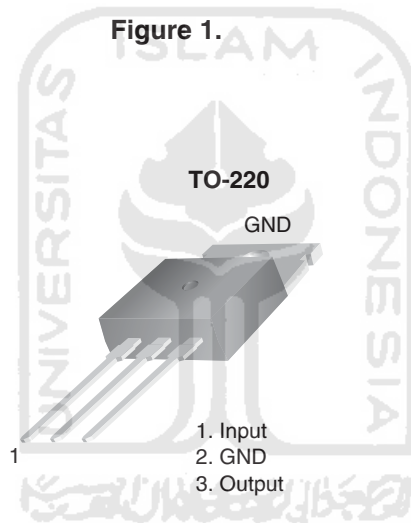


Figure 2.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	Input Voltage	$V_O = 5V \text{ to } 18V$	35	V
		$V_O = 24V$	40	V
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)		5	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)		65	$^{\circ}C/W$
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^{\circ}C$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range		-65 to +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (LM7805)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7\text{V to } 20\text{V}$	4.75	5.0	5.25		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_O = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	4.0	100	mV
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	0.3	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	42.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB	
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	15.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7806) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.75	6.0	6.25	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	5.7	6.0	6.3		
Regline	Line Regulation ⁽³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	5.0	120	mV
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	1.5	60.0	
Regload	Load Regulation ⁽³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	120	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	3.0	60.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	–	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	45.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7808) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_1 = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.7	8.0	8.3	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 10.5\text{V to } 23\text{V}$	7.6	8.0	8.4		
Regline	Line Regulation ⁽⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	–	5.0	160	mV
			$V_I = 11.5\text{V to } 17\text{V}$	–	2.0	80.0	
Regload	Load Regulation ⁽⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	10.0	160	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	80.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.05	0.5	mA	
		$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	–	0.5	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	52.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	56.0	73.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.65	9.0	9.35	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	8.6	9.0	9.4		
Regline	Line Regulation ⁽⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 25\text{V}$	–	6.0	180	mV
			$V_I = 12\text{V to } 17\text{V}$	–	2.0	90.0	
Regload	Load Regulation ⁽⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	180	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	90.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 11.5\text{V to } 26\text{V}$	–	–	1.3		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	58.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

7. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
8. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.6	10.0	10.4	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	9.5	10.0	10.5		
Regline	Line Regulation ⁽⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	–	10.0	200	mV
			$V_I = 13\text{V to } 25\text{V}$	–	3.0	100	
Regload	Load Regulation ⁽⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	200	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	400	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12.5\text{V to } 29\text{V}$	–	–	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	58.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

9. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
10. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	11.4	12.0	12.6		
Regline	Line Regulation ⁽¹¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	–	10.0	240	mV
			$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	3.0	120	
Regload	Load Regulation ⁽¹¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	11.0	240	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	120	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	–	0.5	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	76.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 15\text{V to } 25\text{V}$	55.0	71.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.4	15.0	15.6	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	14.25	15.0	15.75		
Regline	Line Regulation ⁽¹³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	–	11.0	300	mV
			$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	3.0	150	
Regload	Load Regulation ⁽¹³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	300	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	150	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	–	–	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	90.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	54.0	70.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

13. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
14. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.3	18.0	18.7	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.1	18.0	18.9		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	15.0	360	mV
			$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	–	5.0	180	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	360	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	180	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	–	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	110	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	53.0	69.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽¹⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	22.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

15. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
16. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7824) (Continued)Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.0	24.0	25.0	V	
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	22.8	24.0	25.25		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	–	17.0	480	mV
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	–	6.0	240	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	480	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	240	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	–	0.5	1.0		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.5	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	60.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	50.0	67.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
rO	Output Resistance ⁽¹⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	28.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

17. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
18. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7805A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5.0	5.1	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5.0	5.2		
Regline	Line Regulation ⁽¹⁹⁾	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	5.0	50.0	mV	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	3.0	50.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	–	5.0		50.0
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	1.5		25.0
Regload	Load Regulation ⁽¹⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	9.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	–	68.0	–	dB	
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

19. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

20. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7806A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.58	6.0	6.12	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.6\text{V to } 21\text{V}$	5.76	6.0	6.24	
Regline	Line Regulation ⁽²¹⁾	$V_I = 8.6\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	5.0	60.0	mV
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	3.0	60.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 8.3\text{V to } 21\text{V}$	–	5.0	60.0	
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	1.5	30.0	
Regload	Load Regulation ⁽²¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	9.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	4.3	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 19\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 8.5\text{V to } 21\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	–	65.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽²²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

21. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

22. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7808A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.84	8.0	8.16	V	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 10.6\text{V}$ to 23V	7.7	8.0	8.3		
Regline	Line Regulation ⁽²³⁾	$V_I = 10.6\text{V}$ to 25V, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	80.0	mV	
		$V_I = 11\text{V}$ to 17V	–	3.0	80.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.4\text{V}$ to 23V	–	6.0		80.0
		$V_I = 11\text{V}$ to 17V	–	2.0	40.0		
Regload	Load Regulation ⁽²³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5A	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 11\text{V}$ to 25V, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 10.6\text{V}$ to 23V, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11.5\text{V}$ to 21.5V	–	62.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

23. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

24. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.82	9.0	9.16	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.2\text{V to } 24\text{V}$	8.65	9.0	9.35		
Regline	Line Regulation ⁽²⁵⁾	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	90.0	mV	
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	4.0	45.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	–	6.0		90.0
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	2.0	45.0		
Regload	Load Regulation ⁽²⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 12\text{V to } 22\text{V}$	–	62.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

25. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

26. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.8	10.0	10.2	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.8\text{V to } 25\text{V}$	9.6	10.0	10.4		
Regline	Line Regulation ⁽²⁷⁾	$V_I = 12.8\text{V to } 26\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	8.0	100	mV	
		$V_I = 13\text{V to } 20\text{V}$	–	4.0	50.0		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	–	8.0		100
			$V_I = 13\text{V to } 20\text{V}$	–	3.0		50.0
Regload	Load Regulation ⁽²⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12.8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 13\text{V to } 26\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.5		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽²⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	–	62.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽²⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

27. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

28. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.75	12.0	12.25	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 14.8\text{V to } 27\text{V}$	11.5	12.0	12.5		
Regline	Line Regulation ⁽²⁹⁾	$V_I = 14.8\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	10.0	120	mV	
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	4.0	120		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$ $V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	10.0		120
		–		3.0	60.0		
Regload	Load Regulation ⁽²⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 14\text{V to } 27\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 15\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽³⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	–	60.0	–	dB	
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽³⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Note:

29. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

30. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.75	15.0	15.3	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 17.7\text{V to } 30\text{V}$	14.4	15.0	15.6		
Regline	Line Regulation ⁽³¹⁾	$V_I = 17.4\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	10.0	150	mV	
		$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	5.0	150		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	–	11.0		150
			$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	3.0		75.0
Regload	Load Regulation ⁽³¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽³²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	–	58.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽³²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽³²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

31. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

32. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.64	18.0	18.36	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.3	18.0	18.7		
Regline	Line Regulation ⁽³³⁾	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	15.0	180	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	5.0	180		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 20.6\text{V to } 33\text{V}$	–	15.0		180
			$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	–	5.0		90.0
Regload	Load Regulation ⁽³³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	15.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	7.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 12\text{V to } 33\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 12\text{V to } 33\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽³⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	–	57.0	–	dB	
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽³⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	$\text{m}\Omega$	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

33. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

34. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7824A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.5	24.0	24.5	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$	23.0	24.0	25.0		
Regline	Line Regulation ⁽³⁵⁾	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	18.0	240	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	6.0	240		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 26.7\text{V to } 38\text{V}$	–	18.0		240
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	–	6.0		120
Regload	Load Regulation ⁽³⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	15.0	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	7.0	50.0		
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA	
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8		
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8		
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.5	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$	
RR	Ripple Rejection ⁽³⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	–	54.0	–	dB	
V_{DROPP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V	
r_O	Output Resistance ⁽³⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	20.0	–	m Ω	
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA	
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A	

Notes:

35. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

36. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Typical Performance Characteristics

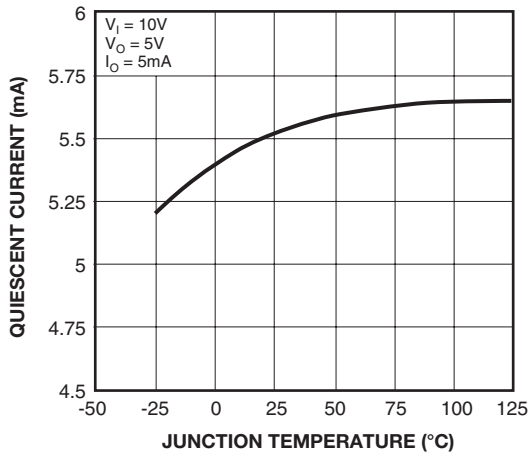


Figure 3. Quiescent Current

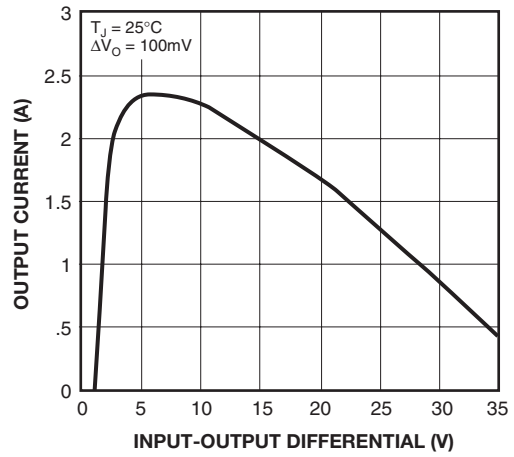


Figure 4. Peak Output Current

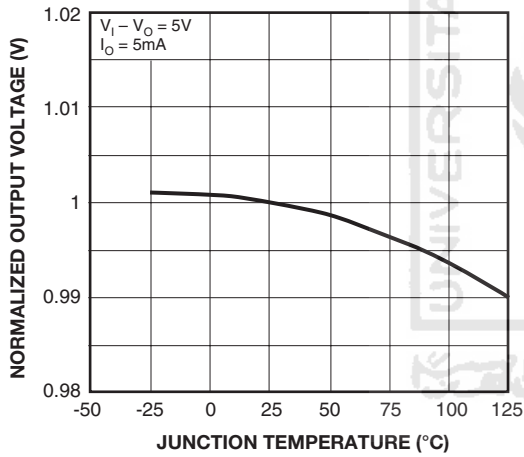


Figure 5. Output Voltage

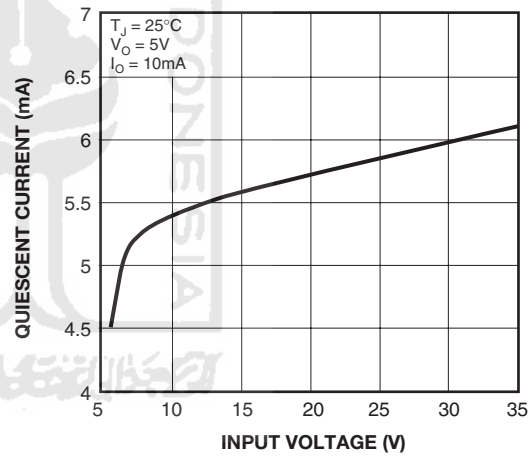


Figure 6. Quiescent Current

Typical Applications

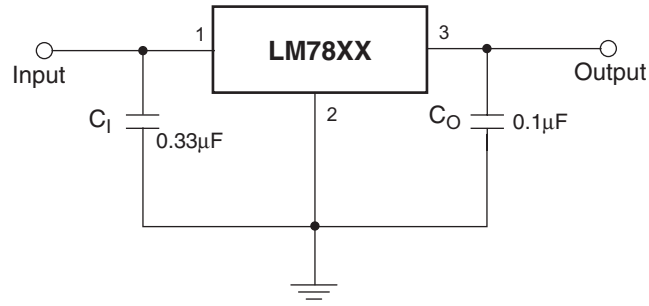


Figure 7. DC Parameters

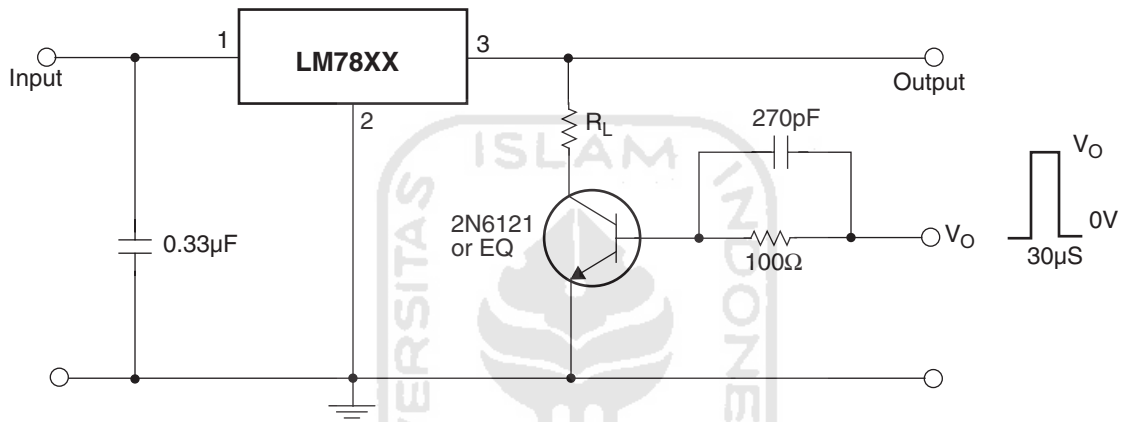


Figure 8. Load Regulation

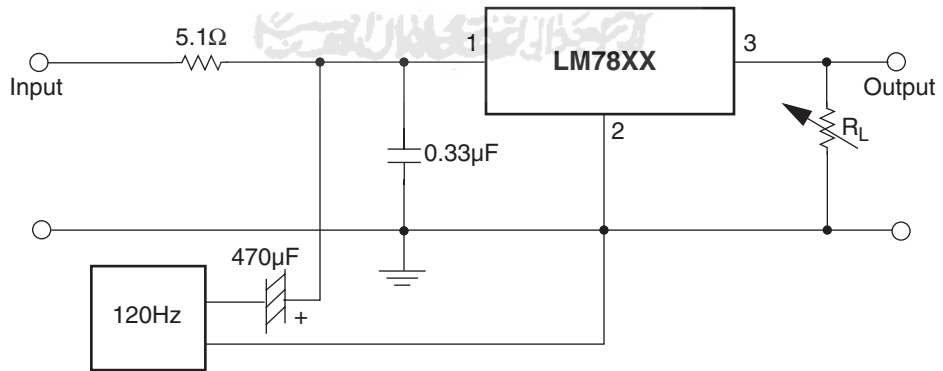


Figure 9. Ripple Rejection

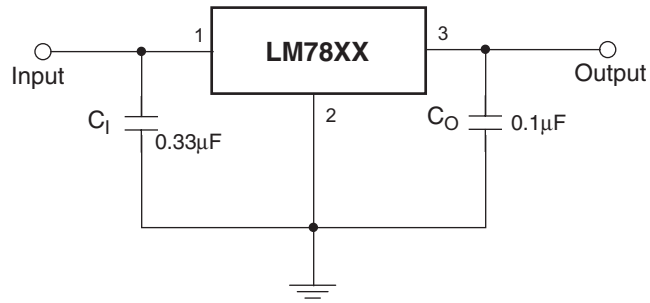
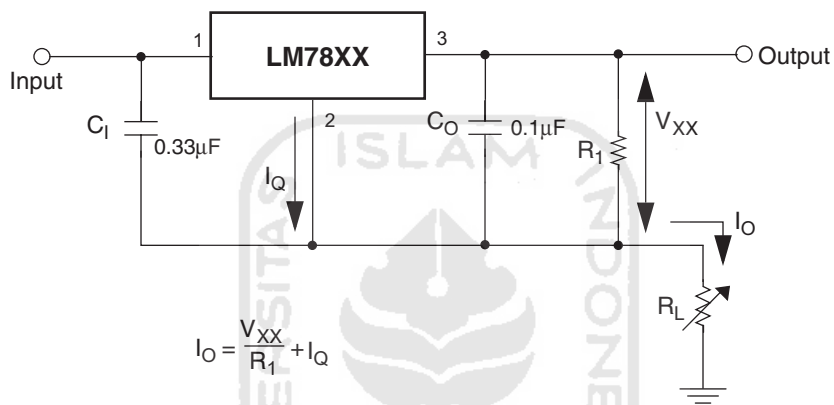


Figure 10. Fixed Output Regulator



Notes:

1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
2. C₁ is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
3. C₀ improves stability and transient response.

Figure 11.

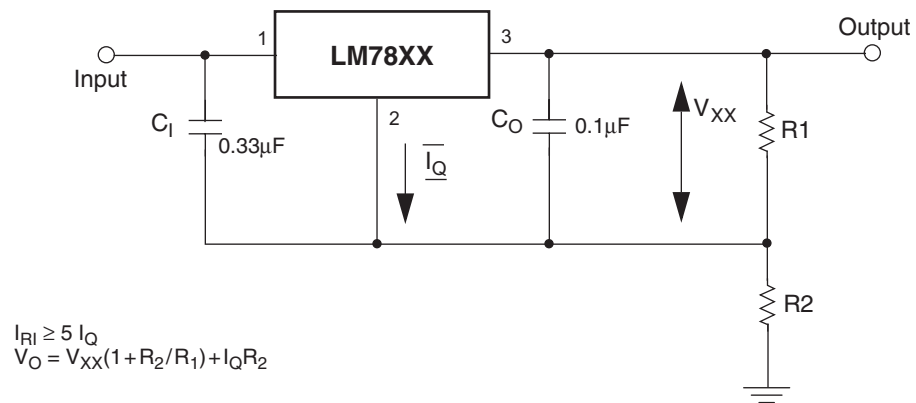


Figure 12. Circuit for Increasing Output Voltage

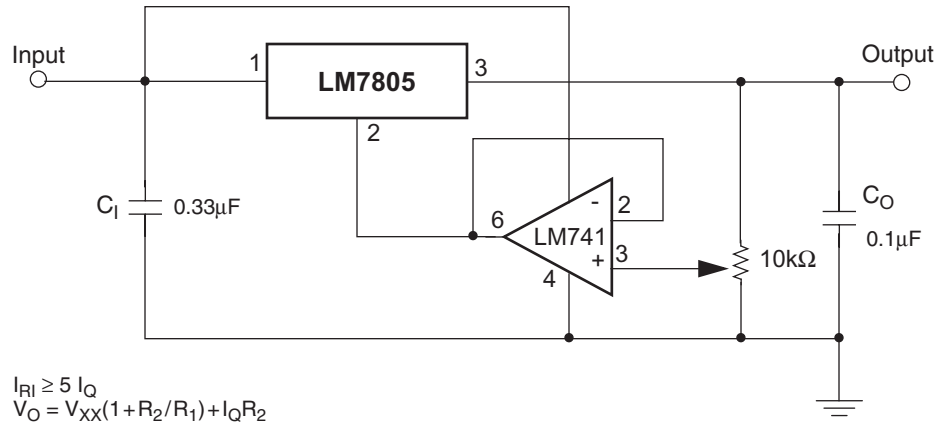


Figure 13. Adjustable Output Regulator (7V to 30V)

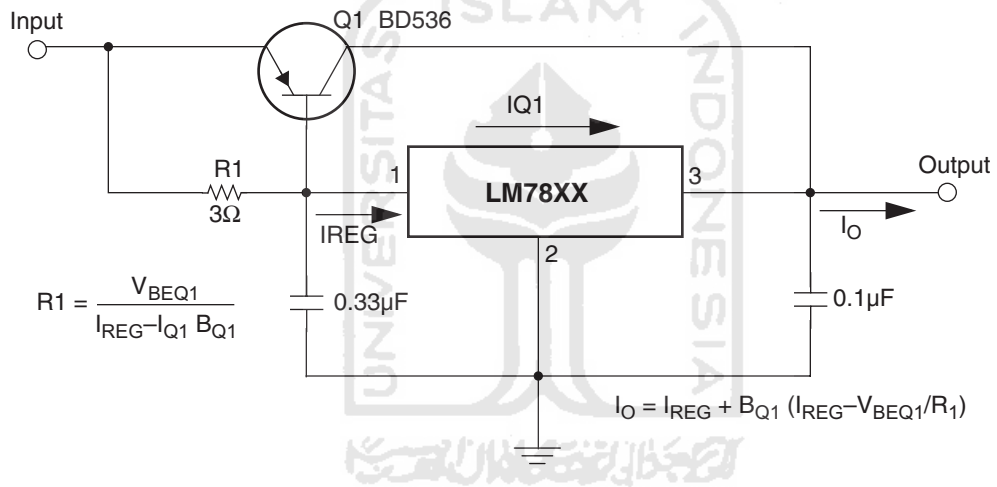


Figure 14. High Current Voltage Regulator

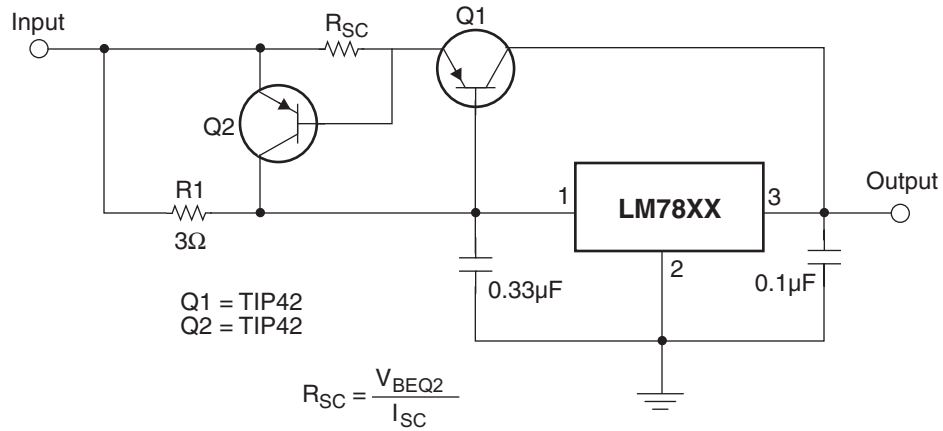


Figure 15. High Output Current with Short Circuit Protection

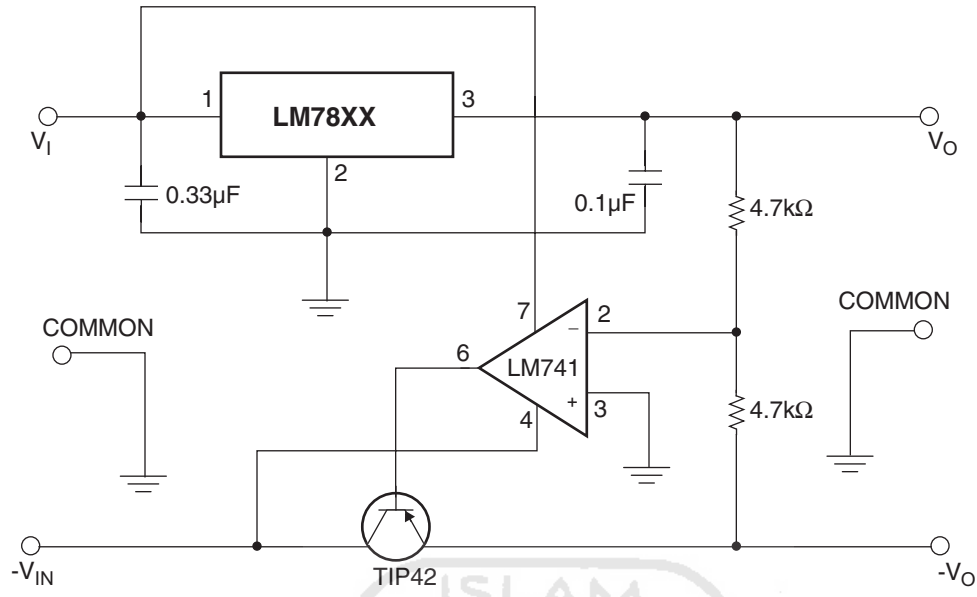


Figure 16. Tracking Voltage Regulator

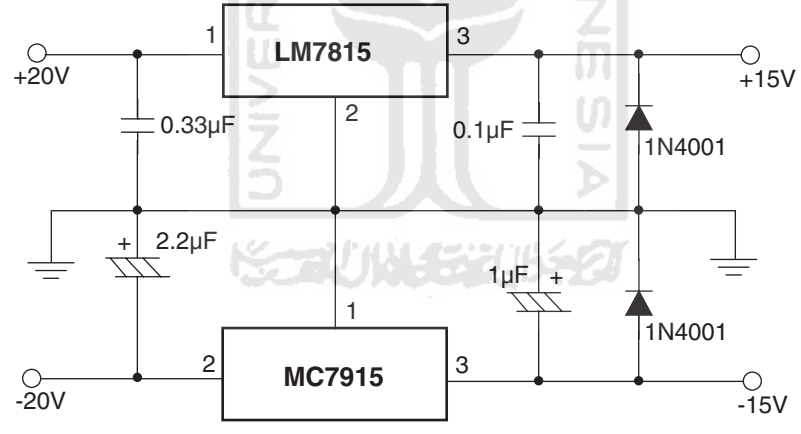


Figure 17. Split Power Supply (±15V – 1A)

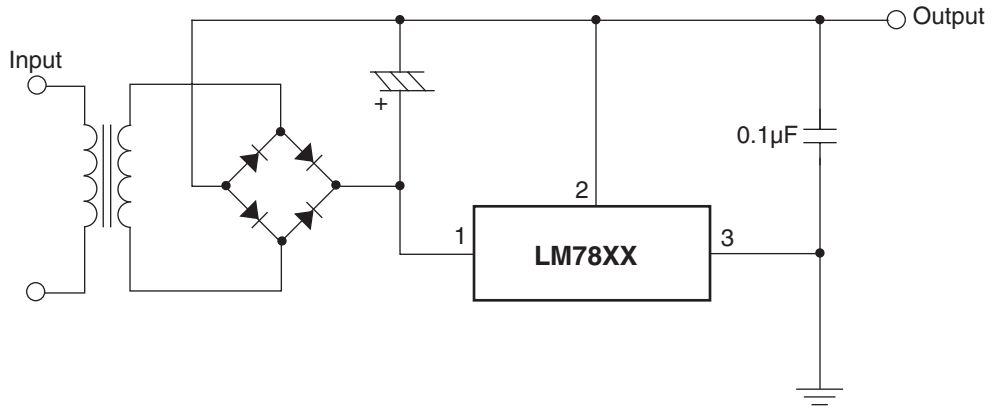


Figure 18. Negative Output Voltage Circuit

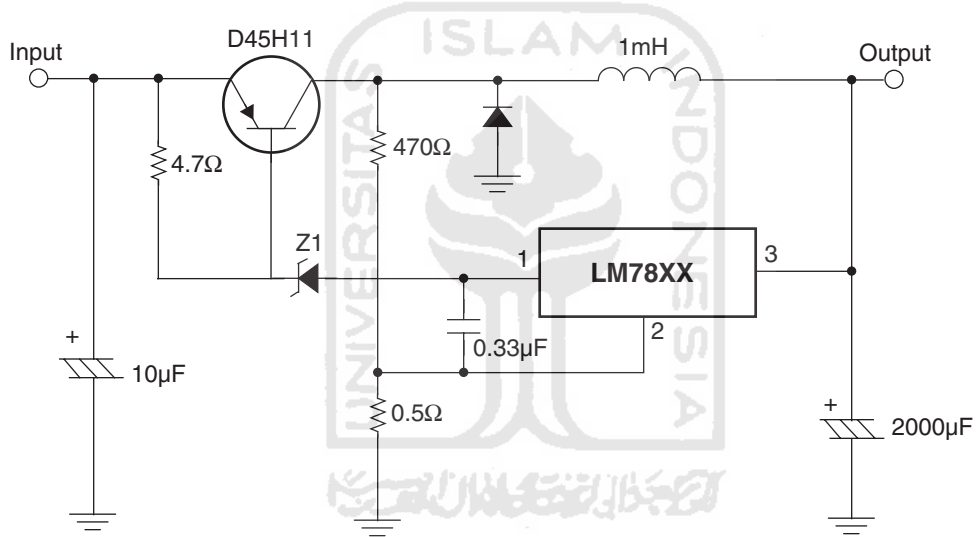
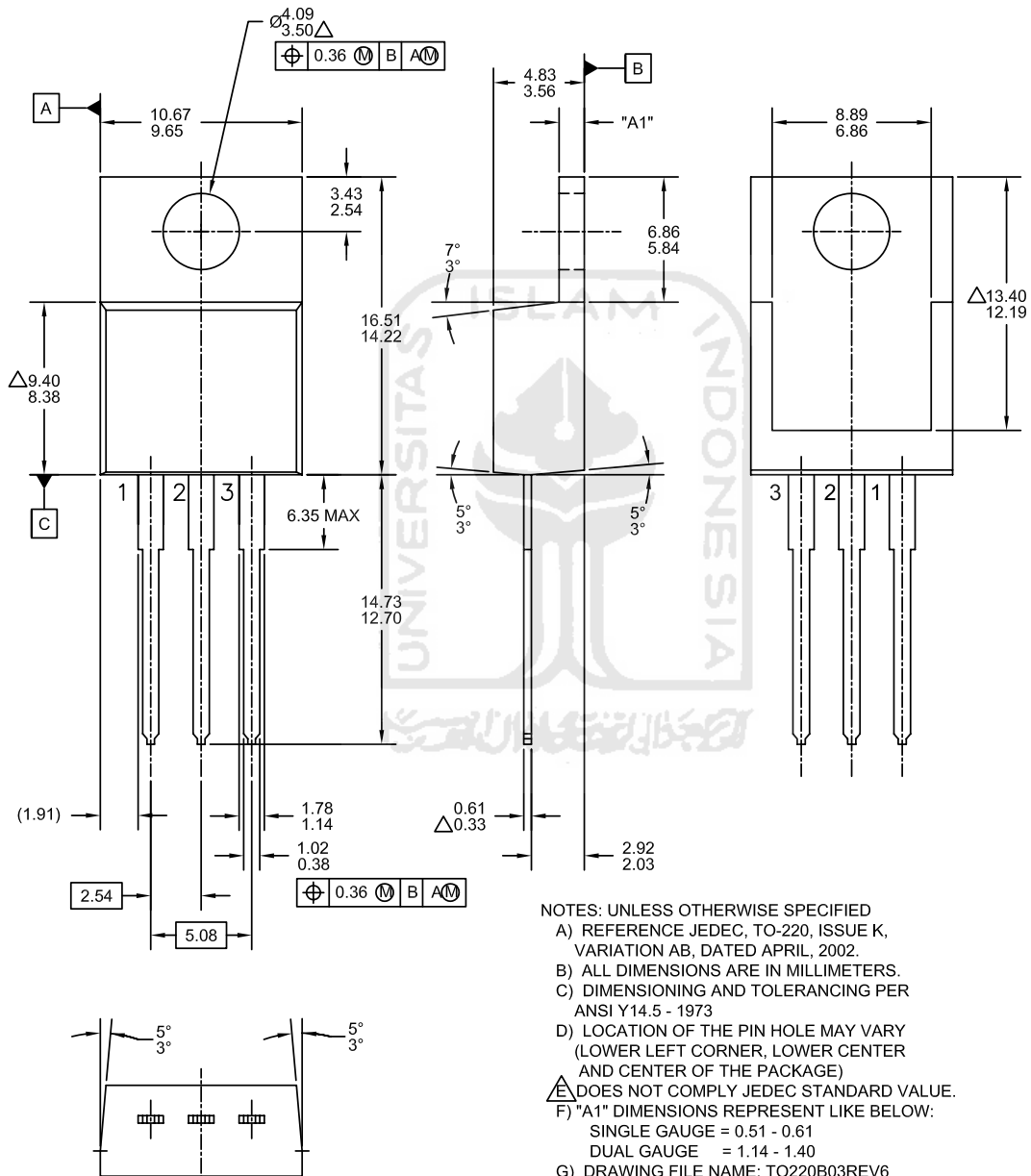


Figure 19. Switching Regulator

Mechanical Dimensions

Dimensions in millimeters





TO-220 [SINGLE GAUGE]





TRADEMARKS

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

AccuPower™	FRFET®	PowerTrench®	The Power Franchise®
Auto-SPM™	Global Power Resource™	PowerXS™	the power franchise™
Build it Now™	Green FPS™	Programmable Active Droop™	TinyBoost™
CorePLUS™	Green FPS™ e-Series™	QFET®	TinyBuck™
CorePOWER™	Gmax™	QS™	TinyCalc™
CROSSVOLT™	GTO™	Quiet Series™	TinyLogic®
CTL™	IntelliMAX™	RapidConfigure™	TINYOPTO™
Current Transfer Logic™	ISOPLANAR™	 ™	TinyPower™
DEUXPEED®	MegaBuck™	Saving our world, 1mW/W/kW at a time™	TinyPwm™
Dual Cool™	MICROCOUPLER™	SignalWise™	TinyWire™
EcoSPARK®	MicroFET™	SmartMax™	TriFault Detect™
EfficientMax™	MicroPak™	SMART START™	TRUECURRENT™*
F ®	MicroPak2™	SPM®	µSerDes™
Fairchild®	MillerDrive™	STEALTH™	 SerDes®
Fairchild Semiconductor®	MotionMax™	SuperFET™	UHC®
FACT Quiet Series™	Motion-SPM™	SuperSOT™-3	Ultra FRFET™
FACT®	OptoHiT™	SuperSOT™-6	UniFET™
FAST®	OPTOLOGIC®	SuperSOT™-8	VCX™
FastvCore™	OPTOPLANAR®	SupreMOS™	VisualMax™
FETBench™	 ™	SyncFET™	XS™
FlashWriter®*	PDP SPM™	Sync-Lock™	
FPS™	Power-SPM™	 ™*	
F-PFS™			

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

SISTEM KENDALI SUHU *FURNACE* BERBASIS PID

INSAN KAMIL

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km. 14,5 Sleman, Yogyakarta 55501

Telp.(0274) 895287, 895287 Faks. (0274) 895007 Ext. 131

E-mail : insankamilahmad@yahoo.com

ABSTRAKSI

Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan implementasi Sistem Kendali Suhu Dan Masa Aktif Reaktor *Furnace* untuk Proses Kimia. Sistem kendali menggunakan mikrokontroler Atmega8535 dengan kontrol PID dan dengan nilai masa aktif dan *setpoint* sebagai masukan. Nilai masa aktif dan *setpoint* di kirim melalui *keypad* yang terhubung ke mikrokontroler. Nilai masa aktif akan di mulai saat Nilai *present value* sama dengan Nilai *setpoint* dan akan menghentikan sistem setelah *timer* sama dengan Nilai masa aktif. Nilai *setpoint* akan dibandingkan dengan nilai *present value* atau nilai suhu terakhir yang di deteksi oleh sensor dan hasil perbandingan disebut *error*. *Error* tersebut akan dimanipulasi oleh kontrol PID untuk mengatur tegangan pada *Furnace*. Dari perancangan sistem pengendali PID yang telah dibuat, nilai $K_p=10.728$, $K_i= 0.012364$, dan $K_d=2364$. Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan menggunakan nilai *setpoint* $600^{\circ}C$ dan suhu awal pada *furnace* sebesar $30^{\circ}C$. dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kontrol PID mampu mengendalikan suhu *furnace* dengan kestabilan yang baik dan tanggapan yang cepat terhadap perubahan suhu yang dikendalikan.

Kata kunci : PID, Mikrokontroler, Bascom AVR, Kendali Suhu, *Furnace*.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Teknik pengontrolan otomatis saat ini memberikan peranan yang sangat besar dalam kehidupan sehari-hari, khususnya di bidang ilmu pengetahuan dan industri. Beberapa di antaranya adalah pada pengaturan suhu sebuah ruangan, pengaturan kelembaban udara dalam sebuah ruangan, pengaturan level air, pengaturan tekanan udara yang dijaga supaya berada dalam kondisi stabil seperti yang diharapkan, dan lain sebagainya.

Di berbagai bidang, *furnace* dibutuhkan untuk memperlancar jalannya suatu proses, seperti di industri pengolahan minyak, *furnace* sangat berperan penting dalam pengaturan pemanasan bahan-bahan mentah yang akan diproduksi, di industri pengolahan pupuk, di industri pengolahan makanan, industri elektronika, dan lain sebagainya.

Dalam prosesnya, *furnace* harus membutuhkan suatu sistem pengendali suhu. Pengendalian suhu tersebut dapat dilakukan secara manual atau otomatis. Untuk pengendalian suhu secara otomatis dilakukan oleh suatu sistem kendali. Sistem kendali tersebut menghidupkan *heater* yang bertujuan untuk menjaga supaya *furnace* berada pada kondisi yang diharapkan.

Dalam suatu sistem kendali otomatis dikenal adanya beberapa aksi pengendalian, diantaranya aksi kendali *on/off*, aksi kendali proporsional (P), aksi kendali integral (I) dan aksi kendali differensial (D).

Masing-masing aksi kendali tersebut mempunyai keunggulan tertentu. Aksi kendali *on/off* mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat, aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat dan stabil, aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali differensial memiliki keunggulan meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan. Untuk mendapatkan suatu sistem kendali dengan hasil pengendalian yang memiliki waktu naik yang cepat, kesalahan yang kecil dan kestabilan yang baik, dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga aksi kendali tersebut menjadi aksi kendali PID.

Kendali tipe PID adalah sistem pengendalian yang bersifat kontinu yaitu suatu sistem kendali yang bekerja pada daerah 0 sampai dengan 100%. Karena kendali PID bersifat kontinu, kontrol jenis ini sangat baik untuk pengendalian proses dengan fluktuasi atau perubahan proses yang cepat. Karakteristik dari pengendalian proses yang berupa suhu adalah perubahan proses yang lambat atau sangat lambat. Dari karakteristik pengendalian besaran fisis yang berupa suhu, pengendali tipe PID sangat sesuai untuk pengendalian suhu karena memiliki kelebihan yaitu waktu naik yang cepat, dapat memperkecil kesalahan, dan dapat meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan yang mengakibatkan kestabilan yang baik dan cepatnya tanggapan terhadap perubahan fisis yang dikendalikan. Oleh karena

itu, digunakan pengendali tipe PID untuk pengendalian suhu pada *furnace* ini.

1.2. Rumusan Masalah

Pada pengendalian suhu diperlukan suatu sistem kendali yang memiliki waktu naik yang cepat dan kesalahan yang kecil. Ini dikarenakan dalam proses pengendalian suhu *furnace* melibatkan perpindahan kalor dari satu materi ke materi lain (*konveksi*) sehingga menyebabkan sifat dari pengendalian suhu menjadi lambat atau sangat lambat. Pada penelitian ini masalah yang di selesaikan adalah bagaimana merancang pengendali PID yang optimal untuk mengendalikan suhu *furnace* agar di peroleh nilai *overshoot* yang rendah, *rise time* atau waktu naik yang cepat dan kestabilan yang di harapkan.

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Hanya dibahas sistem pengendalian suhu *furnace* berbasis PID dengan batas suhu 30°C-750°C (suhu naik).
2. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu termokopel tipe K.
3. Menggunakan mikrokontroler Atmega 8535.
4. Pemrograman yang digunakan adalah dengan menggunakan program BASCOM AVR.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. merancang pengendali PID untuk kendali pola perubahan suhu dan masa aktif reaktor *furnace*
2. menguji sistem pengendali tipe PID untuk menentukan nilai tetapan proporsional (K_p), tetapan integral (K_i) dan tetapan diferensial (K_d) agar pengendali tipe PID dapat bekerja secara optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengendali PID

Kendali tipe PID adalah sistem pengendalian yang bersifat kontinu yaitu suatu sistem kendali yang bekerja pada daerah 0 sampai dengan 100%. Karena kendali PID bersifat kontinu, kontrol jenis ini sangat baik untuk pengendalian proses dengan fluktuasi atau perubahan proses yang cepat. Pengendali tipe PID sangat sesuai untuk pengendalian suhu karena memiliki kelebihan yaitu:

1. Waktu naik yang cepat,
2. Dapat memperkecil kesalahan, dan

3. Dapat meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan yang mengakibatkan kestabilan yang baik dan cepatnya tanggapan terhadap perubahan yang dikendalikan.

2.4.1. Kontroler Proporsional (P)

Aksi kontrol proporsional digunakan untuk mempercepat respon sistem, tetapi akan menghasilkan kesalahan pada kondisi mantap (*offset*). Sinyal kontrol yang dihasilkan mempunyai hubungan linier dengan kesalahan, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.1)$$

dengan K_p : konstanta proporsional, $e(t)$: *error*, $u(t)$: *controller output*

Pengaruh Kontroler Proporsional (P) terhadap sistem adalah sebagai berikut:

1. Menambah atau mengurangi kestabilan
2. Dapat memperbaiki respon transien khususnya *rise time*, *settling time*,
3. Mengurangi (bukan menghilangkan) *error steady state*.

2.4.2. Kontroler Integral (I)

Sinyal kontrol yang dihasilkan merupakan integrasi kesalahan terhadap waktu, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.2)$$

Dengan K_i : konstanta integral, $e(t)$: *error*, $u(t)$: *controller output*

Pengaruh pada sistem :

1. Menghilangkan *Error Steady state*
2. Respon lebih lambat (dibanding P)
3. Dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem)

2.4.3. Kontroler Derivatif (D)

Sinyal kontrol yang dihasilkan merupakan diferensiasi kesalahan terhadap waktu, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Dengan K_d : konstanta derivatif, $e(t)$: *error*, $u(t)$: *controller output*

Pengaruh pada sistem :

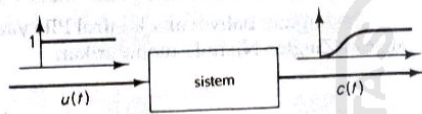
1. Memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi, sehingga bisa memperbesar pemberian nilai K_p
2. Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan *error*
3. Derivatif hanya berubah saat ada perubahan *error*, sehingga saat ada *error statis* derivatif tidak beraksi, sehingga derivatif tidak boleh digunakan sendiri

2.4.4. Tuning Kontroler PID

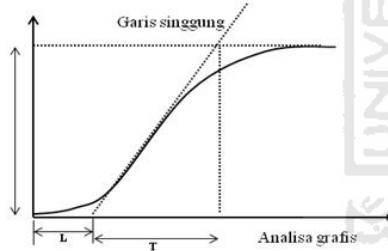
Permasalahan dalam desain kontroler PID adalah menentukan nilai K_i , K_p , dan K_d . Metode – metode *tuning* dilakukan berdasarkan pada model matematika/transfer fungsi *plant*/sistem, jika model tidak diketahui, dilakukan eksperimen terhadap sistem.

Cara *tuning* kontroler PID yang paling populer adalah dengan metode **Ziegler – Nichols**. Metode **Ziegler – Nichols** diperkenalkan pertama kali pada tahun 1942. metode ini memiliki dua cara. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%.

Metode pertama. Dilakukan berdasar eksperimen, dengan memberikan input *step* pada sistem, dan mengamati hasilnya. Sistem harus mempunyai *step response* (respons terhadap *step*) berbentuk kurva S.



Gambar 1. Respon tangga satuan sebuah system



Gambar 2. Kurva respons berbentuk S

Tabel 1 Aturan Metode pertama Ziegler – Nichols

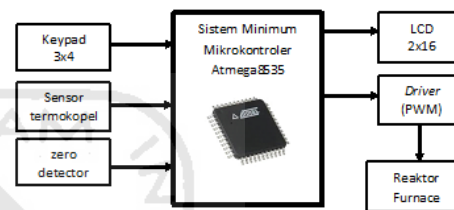
Tipe pengendali	K_p	T_i	T_d
P	—	∞	0
PI	—	—	0
PID	—	—	—

Setelah parameter-parameter diperoleh, dapat dipakai sebagai patokan membuat pengendali PID untuk diterapkan ke dalam sistem *plant furnace* sehingga diperoleh hasil yang sesuai dengan apa yang diharapkan yaitu mengontrol suhu pada keadaan stabil pada nilai suhu tertentu.

3. PERANCANGAN SISTEM

Sistem yang akan dibangun adalah sistem kendali suhu *furnace* berbasis PID. *Plant* terdiri dari *Keypad* 3x4, sensor suhu termokopel, rangkaian penguat *non inverting*, LCD, rangkaian *zero detector*, *Driver AC*, reaktor *furnace* dan rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535. Pengontrolan suhu dan masa aktif reaktor *furnace* dilakukan melalui rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 yang telah terintegrasi dengan rangkaian yang lainnya.

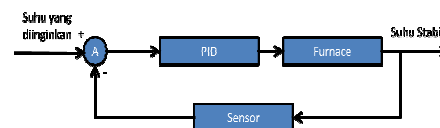
Berikut ini adalah diagram blok dari sistem kendali suhu *furnace*.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Untuk mendeteksi suhu *furnace* digunakan sensor termokopel tipe K. *Output* sensor berupa tegangan. Apabila suhu semakin tinggi maka tegangan *output* pada sensor akan semakin besar. Data *output* sensor yang berupa analog dihubungkan ke mikrokontroler ATmega8535 yang memiliki ADC tersendiri pada *port A* sehingga *output* sensor akan secara otomatis dapat langsung di proses. *Output* dari mikrokontroler berupa PWM akan langsung diteruskan ke driver tegangan AC yang berfungsi mengontrol suhu *furnace*. LCD berfungsi untuk menampilkan parameter-parameter pengendali suhu yang dideteksi termokopel.

Sedangkan blok diagram *closed-loop Plant* sistem adalah:



Gambar 4. Diagram blok sistem heater

Nilai suhu, nilai masa aktif *furnace*, nilai K_p , K_i , K_d yang diinginkan, di inputkan ke dalam mikrokontroler melalui *keypad* yang selanjutnya menjadi masukan sistem. Suhu *furnace* yang dideteksi oleh sensor termokopel

dan hasil pengukurannya di jadikan sebagai sinyal umpan balik selanjutnya di bandingkan oleh pengendali dan akan menghasilkan nilai suhu yang sama seperti yang di harapkan.

3.1. Perancangan Perangkat Keras

3.2.1. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535

Rangkaian ini berfungsi sebagai pusat kendali dari seluruh system yang ada. Komponen utama dari rangkaian ini adalah IC mikrokontroler ATmega8535. Pada IC inilah semua program diisikan, sehingga rangkaian dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

Mikrokontroler ini memiliki 32 pin I/O, terdapat 4 Port yaitu PA, PB, PC dan PD yang semuanya dapat di program sebagai input ataupun output. Pin I/O pada mikrokontroler AVR dapat di konfigurasi sebagai input atau output, dengan cara mengubah isi I/O register data *direction register*. Dan pin 10(VCC) dan 30(AVCC) di hubungkan ke sumber tegangan 5 volt. Dan pin 11 dan 31 di hubungkan ke *ground*. Rangkaian mikrokontroler ini menggunakan komponen kristal 11059200Hz sebagai sumber clocknya. Nilai kristal ini akan mempengaruhi kecepatan mikrokontroler dalam mengeksekusi suatu perintah tertentu. Rangkaian sistem minimum ini sudah siap untuk menerima sinyal analog (fasilitas ADC) di port A. Yaitu yang berasal dari pin 33 sampai 40.

3.2.2. Rangkaian Power Supply

Rangkaian *power supply* ini berfungsi untuk men *supply* tegangan dc. Rangkaian ini memberikan *supply* tegangan sebesar 5 volt untuk rangkaian sistem minimum, Driver tegangan ac, rangkaian zero detector, penguat termokopel dan LCD.

Input rangkaian sebesar 14 volt AC yang berasal dari trafo step down yang berfungsi menurunkan tegangan dari 220 volt AC menjadi 14 volt AC. Kemudian 14 volt AC disearahkan dengan menggunakan dua buah dioda, selanjutnya 14 volt DC akan diratakan oleh kapasitor 1000uF. Regulator tegangan 5 volt (LM7805/TO) digunakan agar keluaran yang dihasilkan tetap sebesar 5 volt walaupun terjadi perubahan pada tegangan masukannya. Kemudian disearahkan lagi dengan kapasitor 100uF. LED hanya sebagai indikator apabila *power supply* dinyalakan. *Output* yang dihasilkan dari rangkaian ini sebesar ± 5 volt DC.

3.2.3. Rangkaian Penguat Tegangan Termokopel

Sensor suhu yang digunakan pada perancangan ini yaitu thermocouple tipe K

memiliki output dalam satuan mili Volt (mV) sehingga perlu dikuatkan hingga mendapatkan keluaran dalam satuan Volt. Tegangan keluaran maksimum yang diinginkan sebesar 5 Volt, Kenaikan pada thermocouple setiap 1 derajat sebesar 0,04 mV sedangkan tegangan keluaran maksimum thermocouple untuk 1000°C yaitu 41.665mV, sehingga diperlukan penguatan sebesar:

Diambil Nilai R2 sebesar 1.298 M Ω maka nilai R1 sebesar 10.95 K Ω .

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} + 1 \times V_{in}$$

$$4980mV = \frac{1298}{R_1} + 1 \times 41.665$$

$$R_1 = \frac{1298}{119.52 - 1} = 10.95$$

Nilai penguatan :

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$A_v = \frac{4980}{41.665} = \frac{1298}{10.95} + 1$$

$$A_v = 119.5$$

$$A_v = \frac{1298}{10.95} + 1 = 119.5$$

Pada rangkaian ini digunakan IC Op-Amp LM358 karena dengan IC ini tidak diperlukan tegangan positif dan negatif. Dengan Resolusi ADC internal AVR sebesar :

$$Resolusi\ ADC = \frac{V_{ref}}{2^{10} - 1}$$

$$= \frac{5}{1023} = 4.88mV$$

Direncanakan setiap kenaikan 1°C setara dengan 1 bit ADC yaitu 4,88mV.

3.2.4. Rangkaian Driver Tegangan AC

Rangkaian *driver* AC ini berfungsi sebagai pemucuan tegangan pada komponen TRIAC yang mengatur keluaran tegangan 220 AC. Pemucuan pada rangkaian ini yaitu berasal dari perangkat keras sistem minimum ATmega8535 yang memiliki tegangan keluaran sebesar 0 – 5 volt DC.

Cara kerja rangkaian Rangkaian *driver* AC yaitu saat diberikan input tegangan DC yang berasal dari output *Port* mikrokontroler, maka akan memberikan picuan terhadap TRIAC BT137 . Besarnya nilai tegangan picu yang diatur dari mikrokontroler akan berpengaruh terhadap pembukaan gate TRIAC yang nantinya akan mengalirkan tegangan AC ke beban. Komponen TRIAC ini dapat dikatakan sebagai

saklar yang akan membuka dan menutup tegangan AC yang pengaturannya dikendalikan oleh tegangan DC yang berasal dari mikrokontroler.

Rangkaian ini menggunakan MOC 3020 merupakan OptoTriac, yang berfungsi sebagai pengaman mikrokontroler ATmega8535. Jadi saat terjadi ledakan atau gangguan pada daerah yang dialiri oleh tegangan AC, mikrokontroler ATmega8535 akan aman.

3.2.5. Rangkaian Zero Detector

Bagian ini berfungsi untuk mendeteksi sinyal AC saat mengalami tegangan nol volt (saat zero). Rangkaian zero detector yang digunakan dalam sistem ini menggunakan IC komparator LM393. Outputnya dihubungkan dengan kaki INT0 (pin 16) pada mikrokontroler. Komparator ini termasuk jenis *Low Power Low Offset Voltage Dual Comparator*. Outputnya menggunakan *open collector*. Rangkaian komparator ini dirangkai berdasarkan rangkaian yang terdapat pada penjelasan *datasheet*-nya.

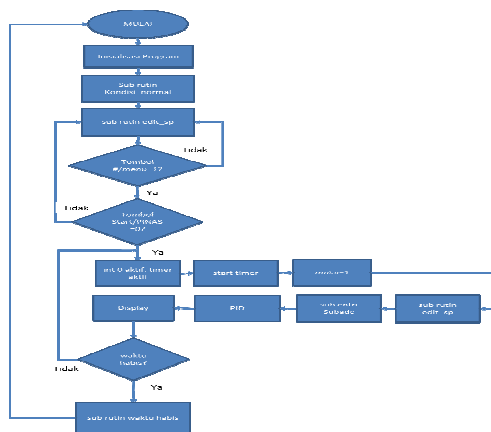
3.2.6. Rangkaian LCD (*Liquid crystal display*)

Rangkaian skematik konektor yang di hubungkan dari LCD (*liquid crystal display*) ke mikrokontroler. Rangkaian ini berfungsi menampilkan suhu yang di baca termokopel, nilai error, timer dan parameter-parameter input.

3. 2. Perancangan Perangkat Lunak

3.3.1. Diagram Alir Rangkaian

Perancangan *software* di lakukan dengan membuat diagram alir (*Flow chart*) terlebih dahulu. Setelah itu, program di buat dengan mengikuti diagram alir (*flow chart*) seperti yang di tunjukan pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir (*flow chart*) sistem pengendali suhu *furnace*

Keterangan diagram alir:

1. Pertama-tama program di rancang untuk inialisasi port, inialisasi port berfungsi untuk mendefinisikan pin-pin I/O Mikrokontroler yang akan di gunakan dalam rangkaian.
2. Jalankan program sub rutin kondisi normal, yaitu program untuk mendeteksi output penguat sensor termokopel melalui ADC internal ATmega8535 yang selanjutnya di konversikan nilai ADC menjadi °C untuk di tunjukan di tampilan awal
3. Jalankan program sub rutin edit sp, yaitu program untuk menseting parameter-parameter yang di sediakan, diantaranya: Set point suhu, waktu, Kp, Ki, Kd.
4. Apakah menu=1?, bila tidak maka akan kembali ke sub rutin edit_sp, bila menu=1 maka akan di lanjutkan ke opsi tekan tombol start.
5. Tombol Start/PINA3=0?, jika tidak maka akan terus menunggu hingga tombol start di tekan atau menjalankan sub rutin edit_sp jika menekan tombol (*) untuk kembali ke menu utama. Jika tombol start di tekan maka akan mengaktifkan interupsi eksternal 0 yang merupakan interupsi untuk driver AC, timer aktif dan kemudian timer di mulai, (mulai=1).
6. Jalankan program sub entri Subadc untuk mengkonversi nilai ADC menjadi °C dan mendapatkan nilai error yang selanjutnya di konversi menggunakan algoritma PID agar di peroleh nilai kontrol. Adapun nilai kontrol tersebut di gunakan untuk mengendalikan driver AC.
7. Selanjutnya di tampilkan di LCD perbandingan nilai suhu terukur dengan nilai set point suhu.
8. Apakah waktu habis? Jika tidak maka sistem akan terus bekerja hingga waktu diinginkan telah tercapai, kemudian jika waktu habis maka program akan menjalankan sub rutin waktu habis dan selanjutnya kembali MULAI atau menjalankan program awal

3.3.2. Perancangan Pengendali PID

Program di bawah ini adalah program untuk sistem kontrol PID.

Program PID terdiri tiga Pengendali yaitu Pengendali P, pengendali I dan pengendali D.

Bentuk dari algoritma PID adalah:

(3.1)

Di mana:

Kp: penguatan proporsional, sebuah parameter tuning

Ki: penguatan Integral, sebuah parameter tuning
 Kd: penguatan derivatif, sebuah parameter tuning

e : Error = $Sp - Pv$

t : Waktu atau waktu sesaat (sekarang)

Pengendali Proporsional:

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (3.2)$$

Kontrol P diperoleh dengan mengalikan nilai kesalahan atau *error* dengan nilai penguatan proporsional atau K_p .

Algoritma P yaitu:

$$\text{Control}_p = K_p * \text{Error}$$

Pengendali integral:

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3.3)$$

Kontrol I di peroleh dengan menjumlahkan durasi kesalahan atau *error* dan selanjutnya mengalikan penguatan Integral atau K_i .

Algoritma I yaitu:

error = setpoint - actual_position

integral = integral + (error*dt)

control_i = ($K_i * \text{integral}$)

Pengendali Derivatif:

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.4)$$

Ini turunan dari proses error dihitung dengan menentukan kemiringan error dari waktu ke waktu dan mengalikan ini dengan penguatan derivatif atau K_d .

Algoritma D yaitu:

Err_pengurangan = Error - Err_sblm

Err_sblm = Error

Derivative = Err_pengurangan / dt

Control_d = $K_d * \text{Derivative}$

Pengendali Proporsional Integral derivatif:

Merupakan gabungan dari pengendali P, I, dan D.

Algoritma PID yaitu:

Control_PID = control_p + control_i + control_d

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

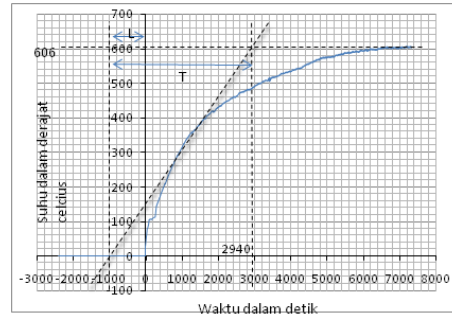
4.1. Analisis Kendali PID dengan metode Ziegler-Nichols

Aspek yang sangat penting dalam desain kontroler PID ialah penentuan parameter kontroler PID supaya sistem *close loop* memenuhi kriteria performansi yang diinginkan. Hal ini disebut juga dengan *tuning* kontroler.

Terkadang pemodelan matematis suatu plant susah untuk dilakukan. Jika hal ini terjadi maka perancangan kontroler PID secara analitis tidak mungkin dilakukan sehingga perancangan kontroler PID harus dilakukan secara eksperimental.

Ziegler – Nichols mengusulkan aturan untuk menentukan nilai K_p , T_i dan T_d

berdasarkan pada karakteristik tanggapan peralihan dari plant yang diberikan. Metode pertama Ziegler – Nichols menentukan nilai K_p , T_i , dan T_d di tunjukan pada gambar 4.6.



Gambar 6. Kurva S Analisa Grafis Ziegler Nichols

Aturan perpotongan garis lurus terjadi pada kondisi linier dari kurva S respon sistem. Ketepatan dalam pengambilan perpotongan ini sangatlah penting karena menentukan parameter T dan L yang menjadi acuan dari kontroler.

Tabel 2. Formula Ziegler Nichols

Tipe pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$\frac{0.9 T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$\frac{1.2 T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Parameter-parameter sistem diperoleh dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols :

maka:

$$T = 3940 \text{ s}$$

$$L = 1000 \text{ s}$$

$$K = 606$$

Tabel 3. Perhitungan formula Ziegler Nichols

Tipe pengendali	K_p	T_i	T_d
P	3,94	∞	0
PI	3,546	3333,3	0
PID	4,728	2000	500

Berdasarkan metode *open-loop* Ziegler-Nichols, maka:

$$K_p = 4,728$$

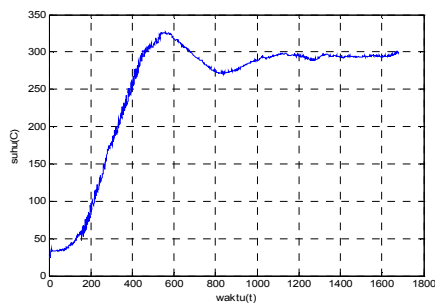
$$T_i = 2L = 2000 \text{ maka:}$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{4,728}{2000} = 0.002364$$

$$T_d = 0,5L = 500 \text{ maka:}$$

$$K_d = K_p T_d = 2364$$

4.2. Pengendali PID dengan Hasil Tuning Metode Ziegler-Nichols $K_p=4,728$, $K_i=0.002364$, dan $K_d=2364$



Gambar 7. Respon *Setpoint* 300°C

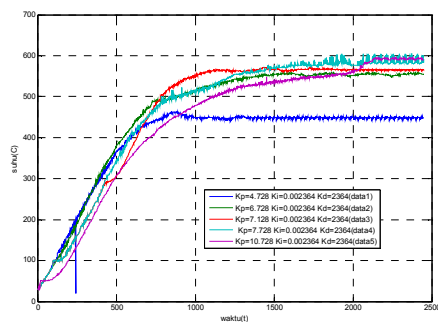
Dengan menggunakan matlab maka di peroleh informasi step respon:

```
set_suhu:300
Kp       :4.728
Kd       :2364
Ki       :0.002364
RiseTime :277.5333s
SettlingTime :1643.500s
SettlingMin :265°C
SettlingMax :327°C
Overshoot :9.0000%
Peak     :327°C
PeakTime :559s
```

Pengendali PID dengan hasil tuning metode ziegler-nichols sudah berhasil menjaga kestabilan suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 300°C.pada pengendali PID ini terjadi *overshoot* yang sangat tinggi kurang lebih 9%.

Pada pengendali ini nilai puncak atau *peak* telah mencapai nilai 327°C dengan *peak time* atau waktu untuk mencapai suhu 559second (±9.13 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* .

4.3. Pengendali PID dengan Nilai K_p Berbeda-beda



Gambar 8. Respon *Setpoint* 600°C dengan K_p berbeda-beda

Tabel 4. data hasil pengujian alat dengan nilai K_p berbeda-beda.

	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5
Kp	4.728	6.728	7.128	7.728	10.728
Kd	2364	2364	2364	2364	2364
Ki	0.002364	0.002364	0.002364	0.002364	0.002364
RiseTime(s)	-	1148	828.8667	1080.900	1277.700
SettlingTime(s)	-	-	-	-	2124.600
SettlingMin(oC)	-	539	541	540	532
SettlingMax(oC)	-	557	571	604	595
Overshoot(%)	0	0	0	0.6667	0
Peak(oC)	463	557	571	604	595
PeakTime(s)	866	1545	1432	1930	2143

Berdasarkan data pada tabel 4 data hasil pengujian 1, Pengendali PID belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C.pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu *setpoint* yaitu 463°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 463°C berkisar pada 866 second (±14,4 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C.

Untuk data hasil pengujian 2, pengendali PID juga belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C. pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu set point yaitu 557°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 557°C berkisar pada 1545 second (±25,7 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C.

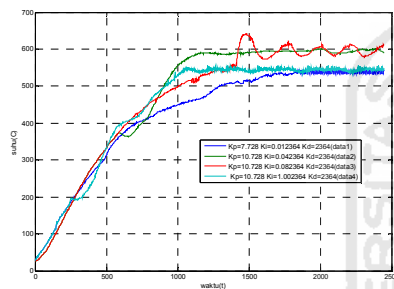
Untuk data3 hasil pengujian alat, pengendali PID juga belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C. pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu set point yaitu 571°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 571°C berkisar pada 1432 second (±23,8 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C.

Pada data4 hasil pengujian alat, pengendali PID juga sudah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C.pada pengendali PID ini terjadi *overshoot* yang rendah yaitu kurang lebih 0.6667%. Nilai suhu tertinggi yang di capai sudah mencapai suhu set point yaitu 604°C dengan waktu yang

dibutuhkan untuk mencapai suhu 604°C berkisar pada 1930 *second* ($\pm 32,1$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

Pada data5 hasil pengujian alat, pengendali PID hampir berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah suhu set point yaitu 595°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 595°C berkisar pada 2143 *second* ($\pm 35,7$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C , pada pengujian ini dapat dianggap pengendali PID sudah cukup baik.

4.4. Pengendali PID dengan Nilai K_i Berbeda-beda



Gambar 9. Respon *Setpoint* 600°C dengan K_i berbeda-beda

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Alat Dengan nilai K_i berbeda-beda.

	Data1	Data2	Data3	Data4
Kp	10.728	10.728	10.728	10.728
Kd	2364	2364	2364	2364
Ki	0.012364	0.042364	0.082364	1.002364
RiseTime	1750	853.200	1142.200	937
SettlingTime	-	2142.800	2447.500	-
SettlingMin	532	543	538	536
SettlingMax	544	602	643	556
Overshoot	0	0.3333	7.1667	0
Peak	544	602	643	556
PeakTime	1853	2005	1483	1209

Berdasarkan data pada tabel 5. data 1 menunjukan bahwa Pengendali PID dengan nilai K_i berbeda-beda belum berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini tidak terjadi *overshoot* diatas suhu *setpoint* karena suhu hanya beresilasi di bawah suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai masih di bawah

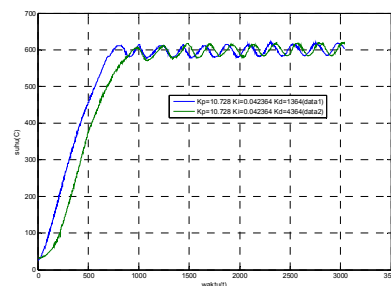
suhu *setpoint* yaitu 544°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 544°C berkisar pada 1853 *second* ($\pm 30,8$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

Pada data2 hasil pengujian alat menunjukan bahwa pengendali PID telah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C . pada pengendali PID ini terjadi *overshoot* yang cukup rendah yaitu kurang lebih 0.3333%. Nilai suhu tertinggi yang di capai melebihi suhu set point yaitu 602°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 602°C berkisar pada 2005 *second* ($\pm 33,41$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C , pada pengujian ini dapat dianggap pengendali PID sudah cukup baik.

Pada data 3 hasil pengujian alat menunjukan bahwa pengendali PID belum sesuai dengan yang di harapkan, hal ini karena pengendali ini memiliki nilai *overshoot* yang tinggi yaitu 7.1667% atau 43°C di atas suhu *setpoint* 600°C , nilai suhu tertinggi yang di capai melebihi suhu *setpoint* yaitu 643°C dengan waktu yang di butuhkan untuk mencapai suhu 643°C berkisar pada 1483 *second* ($\pm 24,7$ menit) dan selanjutnya terus beresilasi di sekitar suhu *set point* seperti terlihat pada gambar 4.9.

Pada data 4 hasil pengujian alat menunjukan bahwa pengendali PID tidak sesuai dengan yang di harapkan, hal ini karena suhu *furnace* tidak mencapai suhu *setpoint* 600°C yaitu hanya berhasil mencapai suhu tertinggi 556°C dengan waktu yang di butuhkan untuk mencapai suhu 556°C berkisar pada 1209 *second* ($\pm 20,1$ menit), sehingga pengendali PID ini tidak baik di gunakan untuk pengendali suhu *furnace*.

4.5. Pengendali PID dengan Nilai K_d Berbeda-beda



Gambar 10. Respon *Setpoint* 600°C dengan K_d berbeda-beda

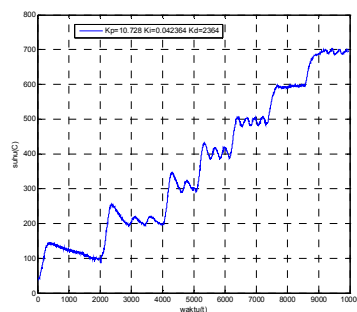
Tabel 6. data hasil pengujian alat dengan nilai K_d berbeda-beda.

	Data1	Data2
set suhu	600	600
Kp	10.728	10.728
Kd	1364	4364
Ki	0.042364	0.042364
RiseTime	537.1333	573
SettlingTime	3019.500	-
SettlingMin	543	543
SettlingMax	620	621
Overshoot	3.3333	3.5000
Peak	620	621
PeakTime	2311	3010

Berdasarkan data pada tabel 6. data 1 menunjukkan bahwa Pengendali PID dengan nilai K_d berbeda-beda telah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C , namun pada pengendali ini terjadi *overshoot* yang cukup tinggi yaitu 3.3333% atau 20°C di atas suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai yaitu 620°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 620°C berkisar pada 2311 *second* (± 38.5 menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C .

Pada data2 hasil pengujian alat menunjukkan bahwa pengendali PID telah berhasil mencapai suhu seperti yang diharapkan yakni pada suhu 600°C , namun pada pengendali ini terjadi *overshoot* yang cukup tinggi yaitu kurang lebih 3.5% atau 21°C di atas suhu *setpoint*. Nilai suhu tertinggi yang di capai melebihi suhu set point yaitu 621°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 621°C berkisar pada 3010 *second* ($\pm 50,16$ menit) dan selanjutnya beresilasi pada suhu *setpoint* 600°C , pada pengujian ini dapat dianggap pengendali PID sudah cukup baik.

4.6. Pengendali PID dengan *Setpoint* Berbeda-beda



Gambar 11. Respon dengan *Setpoint* berbeda-beda

Dengan menggunakan tujuh buah *setpoint* yaitu 100°C , 200°C , 300°C , 400°C , 500°C , 600°C dan 700°C , ketika suhu sudah stabil pada *setpoint* 100°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* 200°C dan dilakukan terus hingga *setpoint* 700°C , maka dapat di ketahui perbedaan karakter step respon untuk setiap perubahan suhu, dengan menggunakan MATLAB dapat di peroleh data karakter step respon setiap perubahan *setpoint*.

Pada *setpoint* 100°C , nilai *overshoot* adalah 44% yaitu 44°C di atas *setpoint* 100°C dengan waktu yang di butuhkan untuk suhu puncak 144°C yaitu sekitar 363 *second* (± 6 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 100°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 200°C .

Pada *setpoint* suhu 200°C , nilai *overshoot* adalah 27.5% yaitu 55°C di atas suhu *setpoint* suhu 200°C dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 255°C yaitu sekitar 341 *second* (± 5.6 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 200°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 300°C .

Pada *setpoint* suhu 300°C , nilai *overshoot* adalah 15.6667% yaitu 47°C di atas suhu *setpoint* suhu 300°C , dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 347°C yaitu sekitar 337 *second* (± 5.6 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 300°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 400°C .

Pada *setpoint* suhu 400°C , nilai *overshoot* adalah 7.75% yaitu 31°C di atas suhu *setpoint* suhu 400°C , dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 431°C yaitu sekitar 353 *second* (± 5.8 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 400°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 500°C .

Pada *setpoint* suhu 500°C , nilai *overshoot* adalah 1.4% yaitu 7°C di atas suhu *setpoint* suhu 500°C , dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 507°C yaitu sekitar 252 *second* (± 4.2 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 500°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 600°C .

Pada *setpoint* suhu 600°C , nilai *overshoot* adalah 0% yaitu 0°C sejajar dengan suhu *setpoint* suhu 600°C , dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 600°C yaitu sekitar 1164 *second* (± 19.4 menit), setelah suhu sudah stabil pada *setpoint* suhu 600°C selanjutnya langsung dinaikan menuju *setpoint* suhu 700°C .

Pada *setpoint* suhu 700°C , nilai *overshoot* adalah 0.2857% yaitu 2°C di atas suhu *setpoint*

suhu 700°C, dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu puncak 702°C yaitu sekitar 867 *second* (± 14.4 menit).

Pengendali PID berhasil menjaga kestabilan suhu setiap *setpoint*, data hasil pengujian menunjukkan terjadi *overshoot* yang tinggi pada *setpoint* suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C. Sedangkan untuk *setpoint* 500°C, 600°C dan 700°C menunjukkan *overshoot* yang rendah dengan kestabilan yang baik. Waktu yang di butuhkan untuk mencapai suhu *setpoint* 700°C yaitu 9416 *second* (± 157 menit).

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan berbagai macam pelatihan dan pengujian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan menggunakan perangkat mikrokontroler ATmega8535 dalam penelitian ini, alat dapat di jalankan secara *stand alone* atau dapat di operasikan secara otomatis tanpa di kendalikan. Nilai suhu yang didapatkan dari *plant* langsung dapat di tampilkan pada LCD.
2. Pada *driver* AC untuk mengatur keluaran tegangan pada *Triac* hasilnya sedikit kurang linier, tetapi sudah dapat digunakan untuk mengatur besar kecilnya keluaran pada *Triac* ke beban dan dapat diamati perubahan sinyal keluaran pada *Triac*.
3. Hasil pengukuran sensor suhu termokopel tidak sama dibandingkan dengan alat ukur suhu termometer. Agar menghasilkan nilai yang sama dengan termometer, maka dilakukan manipulasi perhitungan pada *program* agar nilai yang di tampilkan di LCD sama seperti yang ditampilkan alat ukur.
4. Pada penelitian ini, nilai $K_p=10.728$, $K_i=0.042364$, $K_d=2364$ merupakan hasil pengujian pengendali PID yang memiliki step respon yang paling baik. Untuk *setpoint* suhu 600°C memiliki *overshoot* yang cukup kecil yaitu 0.3333% dengan suhu tertinggi 602°C dan waktu untuk mencapai suhu tertinggi 2005*second* (± 33.4 menit).

5.2 Saran

Masukan maupun saran untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem ini sangat dibutuhkan, berikut beberapa masukan dan saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Program harus lebih sederhana lagi akan tetapi dengan kualitas yang lebih baik.
2. Karena pada penelitian ini *driver* AC yang digunakan kurang linier untuk pengaturan tegangan AC, maka diperlukan *driver* AC yang lebih linier agar pengaturan keluaran

tegangan AC pada *Triac* dapat sedikit lebih baik.

3. Di karenakan pada penelitian ini di gunakan termokopel yang standar, maka sebaiknya di gunakan termokopel yang lebih mahal dengan kualitas yang baik agar memiliki respon yang baik terhadap suhu.
4. Pengendali PID yang di gunakan agar lebih baik lagi, agar di peroleh step respon yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. terjemahan Edi Laksono, Jilid 2. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Ibrahim, Dogan, 2006. “ *Microcontroller Based Temperature Monitoring And Control*”. *Department of Computer Engineering Near East University, Cyprus*
- Arifin, Jaenal ,2009. “Pengontrolan Temperatur Menggunakan Metode Kontrol PID Berbasis Mikrokontroler AT90S8515” ,. www.electroniclab.com
- Copeland, Brian, R,2008.”*the Design of PID Controllers using Ziegler Nichols Tuning*” ,. http://www.eng.uwi.tt/depts/elec/staff/cope/land/ee27B/Ziegler_Nichols.pdf
- Heryanto, M. Ary, & Adi, Wisnu, 2002. “Pemrograman Bahasa C untuk mikrokontrollrt ATMEGA8535” ,.Yogyakarta. Penerbit ANDI.
- Wardhana, Lingga, 2006. ”Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR seri ATmega8535” ,. Yogyakarta.Penerbit ANDI.
- Andrianto, Heri. 2008, ”Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA16” ,. Bandung. penerbit INFORMATIKA.
- Shidqi, Ahmad, Andria, 2008.”pengendalian suhu pada rumah kaca menggunakan pengendali PID berbasis *mikrokontroler* AT89S51”. Universiti Islam Indonesia.
- Mansyur, Syaiful, 2009. “Pengendalian Level Ketinggian Air Menggunakan Kontrol PID ”. Universiti Islam Indonesia.
- Wiyoso, Wisang, 2006. “ Pengendali PID dengan GUI (Graphical User Interface) Matlab”. Universiti Islam Indonesia.
- Fahlevy, 2006. “Monitoring Suhu dan Tekanan Sistem Boiler dengan Tampilan pada PC ” . Universiti Islam Indonesia.