

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI ELEKTRONIKA**



**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PASTEURISASI SUSU
SAPI MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER AT89C51**

SKRIPSI

**Disusun Oleh:
YUDHI WIBOWO
NIM : 9717020**

MARET 2006

LEMBAR PERSETUJUAN



PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PASTEURISASI SUSU SAPI MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER AT89C51

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat Guna
Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

Nama : Yudhi Wibowo
Nim : 9717020

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

(dr. E. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 1039500274

Diperiksa dan Disetujui
Dosen Pembimbing

(Joseph Dedy Irawan, ST, MT)
NIP. 132315178

KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG



BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Yudhi Wibowo
Nim : 9717020
Jurusan : Teknik Elektro
Kosentrasi : Teknik Elektronika S-1
Masa Bimbingan : 25-JAN-2006 s/d 25-JUN-2006
Judul Skripsi : Perancangan dan Pembuatan Alat Pasteurisasi Susu Sapi
Menggunakan Mikrokontroller AT89C51

Dipertahankan dihadapan Team Pengaji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-I)
pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 21 Maret 2006
Nilai : 77.6(B+)



Panitia Majelis Pengaji :

Sekretaris

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 1 039 500 274

Anggota Pengaji

Pengaji Pertama

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)
NIP. Y. 1 018 800 189

Pengaji Kedua

(Sotyo Hadi, ST)

ABSTRAKSI

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PASTEURISASI SUSU SAPI MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER AT89C51

(Yudhi Wibowo, 9717020, Teknik Elektro/Konsentrasi Elektronika S-1)

(Dosen Pembimbing: Joseph Dedy Irawan, ST, MT).

Kata Kunci: Sensor Suhu (LM 35), AT89C51, Pasteurisasi

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan di bidang elektronika telah membawa perubahan cukup besar dengan memberikan berbagai macam alat bantu sarana yang dapat mempermudah segala macam aktivitas manusia.

Dalam skripsi ini, dibahas tentang “Perencanaan dan Pembuatan Alat Pasteurisasi Susu Sapi Menggunakan Mikrokontroller AT89C51”. Alat tersebut menggunakan Mikrokontroller sebagai kontrol utama dan menampilkan proses yang sedang berlangsung melalui tampilan LCD.

Alat ini akan mengontrol suhu dan motor pengaduk serta waktu pemanasan agar hasil yang dicapai seperti apa yang diharapkan.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan laporan skripsi ini. Skripsi merupakan salah satu program mata kuliah wajib dan merupakan syarat menyelesaikan studi pada jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Elektronika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang. Skripsi ini mengambil masalah tentang “Perencanaan dan Pembuatan Alat Pasteurisasi Susu Sapi Menggunakan Mikrokontroller AT89C51”.

Dalam penulisan skripsi ini penulis mendapat bantuan baik secara moril maupun material serta bimbingan yang sangat berguna bagi penulis, maka penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku ketua Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Joseph Dedy Irawan, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing.
5. Bapak dan Ibu dosen elektronika yang telah memberikan ilmunya selama ini.
6. Kedua orang tua, kakakku, adikku serta semua keluarga yang telah memberikan do'a restu, semangat dan dana.
7. Semua rekan-rekan seperjuangan yang telah membantu selesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, untuk itu penulis terbuka atas kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk lebih sempurnanya skripsi ini dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis pribadi dan bagi pembaca pada umumnya.

Malang, 2006

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Penulisan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Pembahasan	3

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1. UMUM	5
2.2. PENGOLAHAN SUSU SEGAR	5
2.2.1. Pasteurisasi	6
2.2.2. Cara Pasteurisasi	7
2.3. SENSOR SUHU	8
2.4. PENGUAT OPERASIONAL	9
2.4.1. Penguat Tak Membalik (Non Inverting)	10
2.4.2. Pengikut Tegangan (Voltage Follower)	12

2.5. ANALOG TO DIGITAL CONVERTER (ADC)	13
2.5.1. Successive Approximations	15
2.5.2. Analog To Digital Converter 0809	16
2. 6. MIKROKONTROLLER AT89C51	18
2.6.1. Pendahuluan	18
2.6.2. Perangkat Keras Mikrokontroller AT89C51	19
2.6.2.1. Arsitektur AT89C51	20
2.6.2.2. Konfigurasi Pin-Pin Mikrokontroller	21
2.6.3. Organisasi Memory	24
2.6.3.1. Program Memory Internal	24
2.6.3.2. Data Memory (RAM) Internal	25
2.6.3.3. SFR (Special Function Register)	27
2.6.3.4. Program Status Word	27
2.6.3.5. PCON (Power Control)	27
2.6.3.6. Sistem Interupt	28
2.6.3.7. Timer / Counter	30
2.6.3.8. Metode Pengalamatan	32
2.7. TRANSISTOR SEBAGAI SAKLAR	33
2.8. LCD (Liquid Crystal Display)	35
2.8.1. Teori	35
2.8.2. Karakteristik Listrik LCD	36
2.8.3. LCD M1632	37
BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT	40
3.1. Blok Diagram Rangkaian	40
3.2. Perencanaan Hardware	42
3.2.1. Sensor Suhu	42

3.2.2. Perancangan Rangkaian Penguat Operasional.....	44
3.2.3. Perancangan ADC 0809 (Analog To Digital Converter).....	46
3.2.4. Perancangan Mikroontroller AT89C51	49
3.2.4.1. Penentuan Fungsi Pin pada AT89C51	50
3.2.4.2. Baud Rate.....	51
3.2.4.3. Rangkaian Lengkap AT89C51.....	52
3.2.5. Perancangan Driver Relay Heater.....	53
3.2.6. Heater	54
3.2.7. Perancangan Driver Relay Motor Pengaduk.....	54
3.2.8. Motor Pengaduk.....	55
3.2.9. Tampilan LCD	55
3.2. Perancangan Software.....	57
 BAB IV PENGUJIAN ALAT.....	 56
4.1. Pengujian sensor suhu dan penguat tak membalik.....	56
4.1.1. Tujuan	57
4.1.2. Peralatan yang Digunakan	57
4.1.3. Langkah-langkah Pengujian.....	57
4.1.4. Hasil Pengujian	57
4.2. Pengujian Rangkaian Driver Relay Heater dan motor Pengaduk.....	58
4.2.1. Tujuan	59
4.2.2. Peralatan yang Digunakan	59
4.2.3. Langkah-langkah Pengujian.....	59
4.2.4. Hasil Pengujian	29
4.3. Pengujian Tombol Selektor.....	60
4.3.1. Tujuan	60

4.3.2. Peralatan yang Digunakan	60
4.3.3. Langkah-langkah Pengujian	60
4.3.4. Hasil Pengujian	61
4.4. Pengujian Sistem Keseluruhan.....	61
4.4.1. Tujuan	61
4.4.2. Peralatan yang Digunakan	61
4.4.3. Langkah-langkah Pengujian.....	62
4.4.4. Hasil Pengujian	62
4.4.4.1. Hasil Pengujian Menggunakan Sistem Holding	62
4.4.4.2. Hasil Pengujian Menggunakan Sistem High Temperature Short Time.....	63
BAB V PENUTUP.....	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran-saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Pengaturan RS0-RS1 Select Register	26
Tabel 2-2 Alamat Sumber Interupsi.....	29
Tabel 2-3 Mode Operasi Timer/Counter.....	32
Tabel 2-4 Konfigurasi Pin LCD M1632	38
Tabel 3-1 Fungsi dari kaki-kaki LCD	54
Tabel 4-1 Pengujian LM35 dan Penguat Tak Membalik.....	60
Tabel 4-2 Pengujian Driver Relay	62
Tabel 4-3 Pengujian Tombol Selektor	64
Tabel 4-4 Hasil Pengujian dengan Sistem Holding	66
Tabel 4-5 Hasil Pengujian dengan Sistem High Temperature Short Time.....	66

Gambar 3.8. Tampilan LCD	53
Gambar 3.10. Diagram Alir Perancangan Software	55
Gambar 4.1. Pengujian LM35 dan Penguat Tak Membalik	56
Gambar 4.2. Pengujian Rangkaian Driver Relay.....	61
Gambar 4.3. Rangkaian Tombol Selektor.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi elektronika yang semakin cepat telah banyak membantu manusia dalam kehidupan segala bidang, terutama dalam sebuah industri besar. Namun teknologi tersebut untuk saat ini dan seterusnya pasti akan digunakan oleh industri-industri menengah ke bawah. Dalam hal instrumentasi perkembangan ini banyak memberikan keuntungan diantaranya keakuratannya yang semakin tinggi, mudah dalam pemakaian serta efisien.

Salah satu produk peternakan yang banyak dikonsumsi manusia adalah susu sapi. Pada produk ini diperlukan suatu perlakuan khusus agar produk tersebut tetap layak dikonsumsi dalam jangka waktu tertentu setelah diproduksi, cara tersebut adalah pasteurisasi. Pasteurisasi adalah proses pemanasan terhadap partikel susu atau produk susu yang bertujuan untuk membunuh organisme pathogen atau bakteri pembusuk yang ada pada susu. Agar didapat hasil yang optimal dan sesuai standarisasi maka diperlukan suatu alat yang dapat mengontrol proses pasteurisasi susu sapi.

Dan mengingat kebutuhan akan susu segar dalam masyarakat kita kian meningkat maka Alat pasteurisasi dituntut untuk lebih efisien dan cermat dalam proses penggerjaannya. Maka dari itu diusahakan suatu sistem yang bekerja secara otomatis namun efisien, terutama dalam pengontrolan suhu dan peralatan penunjang lainnya seperti yang dinginkan. Apabila proses dari pasteurisasi dikerjakan secara manual selain memerlukan banyak tenaga manusia juga dimungkinkan akan mengalami banyak

kesalahan dalam mengontrol suhu maupun peralatan penunjang lainnya yang berupa pengaduk dan pemanas. Jika suhu melebihi standarisasi yang telah ditentukan maka hal tersebut akan menyebabkan proses pasteurisasi tidak sesuai dengan hasil yang kita inginkan.

1. 2. PERMASALAHAN

Dalam perencanaan dan pembuatan Tugas Akhir ini masalah yang timbul adalah:

- Bagaimana membuat alat pasteurisasi susu yang dapat bekerja secara otomatis dan efisien dalam mengolah susu.

1. 3. TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan skripsi ini adalah merencanakan dan membuat alat untuk melakukan proses pasteurisasi secara otomatis serta efisien yang dikontrol oleh Mikrokontroller AT89C51.

1. 4. BATASAN MASALAH

Agar dapat tercapainya apa yang menjadi tujuan pembahasan skripsi ini, maka perlu kiranya diberikan batasan-batasan dalam pembahasannya yaitu:

- Menggunakan mikrokontroler AT89C51 sebagai sistem kontrol
- Tidak membahas rangkaian catu daya lebih lanjut
- Tidak membahas proses pengolahan susu lainnya
- Mekanik dan peralatan dibuat secara miniatur

1. 5. METODOLOGI

Untuk tercapainya sasaran yang sesuai dengan tujuan maka digunakan metode-metode berikut:

a) Studi Literatur

Pemanfaatan buku-buku referensi

b) Survey Lapangan

c) Perencanaan Dan Pembuatan Alat

Melaksanakan perencanaan dan pembuatan alat sesuai dengan rencana yang disusun

d) Pelaksanaan Uji Coba System

Menguji apakah sesuai dengan perencanaan dan perancangan

e) Penyusunan Buku Laporan

1. 6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan pembuatan Skripsi ini dibagi menjadi lima bagian, yaitu:

Bab I Pendahuluan, menguraikan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi yang dipakai serta sistematika penulisan yang dipakai dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini

Bab II Teori Penunjang, menguraikan tentang teori-teori penunjang yang dipakai sebagai referensi dalam pembuatan Tugas Akhir.

Bab III Perencanaan Dan Pembuatan Alat, menguraikan tentang tahap perencanaan sampai dengan proses pembuatan alat mulai dari pemilihan komponen dan pembuatan rangkaian.

Bab IV Pengujian Alat, Menguraikan tentang proses pengujian alat yang terdiri dari peralatan yang digunakan, langkah kerja dan analisa hasil pengujian.

Bab V Penutup, Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari pembuatan Tugas Akhir.

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 UMUM

Sebuah sistem instrumentasi umumnya terdiri dari 3 elemen utama, yaitu: peralatan masukan (input), pengendali sinyal (signal conditioning) atau peralatan pengolah dan peralatan keluaran (out put). Peralatan masukan menerima besaran yang akan diukur dan menghasilkan sebuah sinyal elektris yang sebanding dengan peralatan pengkondisi sinyal. Di sini peralatan tersebut diperkuat, ditapis atau dimodifikasi menjadi sebuah peralatan yang cocok bagi peralatan keluaran. Peralatan keluaran ini bisa berupa sebuah peralatan penunjuk sederhana, sebuah kartu pencatat untuk peragaan visual. Peralatan tersebut juga bisa berupa alat pencatat pita magnetik untuk mencatat data masukan secara sementara atau permanen atau berupa sebuah komputer digital untuk manipulasi data atau pengontrollan proses. Jenis sistem bergantung pada apa yang akan diukur dan bagaimana hasil pengukuran tersebut disajikan.

2. 2. PENGOLAHAN SUSU SEGAR

Yang dimaksud dengan pengolahan susu segar adalah perlakuan terhadap susu mulai saat diterima dari peternakan sampai susu tersebut siap untuk dikemas dan dipasarkan. Pengolahan susu segar bukanlah merupakan tindakan yang ditujukan untuk menutupi kesalahan yang terdapat pada susu. Jadi dalam hal ini diperlukan bahan baku yang bermutu baik.

Dalam pabrik pengolahan susu segar terdapat beberapa unit , yaitu:

1. Bagian penanaman
2. Bagian pendinginan
3. Bagian pemisah krim
4. Bagian penyaringan
5. Bagian klarifikasi
6. Bagian homogenisasi
7. Bagian pasteurisasi
8. Bagian sterilisasi
9. Bagian pencampur rasa

Namun dalam teori dasar ini kami hanya membahas pada bagian pemanasan khususnya pada proses pasteurisasi.

2. 2. 1 Pasteurisasi

Pasteurisasi adalah suatu perlakuan pemanasan terhadap partikel susu atau produk susu yang bertujuan untuk membunuh organisme pathogen atau bakteri pembusuk yang terdapat pada susu. Diharapkan setelah dilakukan pasteurisasi dapat membunuh sekitar 99% dari seluruh mikroorganisme pembusuk yang terdapat pada susu segar. Dengan demikian susu yang sudah dipasteurisasi diharapkan akan aman untuk dikonsumsi dan memiliki daya simpan yang lebih panjang. Namun demikian susu tersebut harus disimpan pada keadaan suhu rendah kira-kira 3^o C, karena masih ada mikroorganisme yang belum terbunuh, yaitu mikroorganisme yang tahan terhadap suhu pasteurisasi.

2. 2. 2 Cara Pasteurisasi

Ada dua cara yang umum digunakan untuk pasteurisasi, yaitu:

1. Sistem Holding

Cara ini adalah cara lambat yang dilakukan dengan memanaskan susu pada suhu 60-62°C yang dipertahankan minimal selama 30 menit. Kombinasi waktu dan suhu ini harus dikontrol secara cermat.

2. Sistem High Temperatur Short-Time

Cara ini adalah cara yang cepat dalam melakukan proses pasteurisasi, dimana suhu yang digunakan lebih tinggi sehingga waktu pemanasan dapat diperpendek.

Suhu yang digunakan adalah 70-85°C dan dipertahankan maksimal selama 5 menit.

Cara ini lebih banyak disukai orang karena memiliki beberapa kelebihan seperti:

- Tidak banyak memerlukan tempat
- Hanya membutuhkan waktu yang singkat
- Kapasitas alat mudah ditingkatkan
- Tenaga manusia dapat di hemat, karena proses pengolahan susu yang lain dapat langsung dikerjakan.
- Alat ini dapat dibersihkan dengan mudah.

Pada pabrik pengolahan susu cara yang dipakai adalah susu terus mengalir selama pasteurisasi dan pendinginan berlangsung. Setelah susu mengalami pesteurisasi kondisi mengalami beberapa perubahan, perubahan itu antara lain; hilangnya kepengikan, flavour seperti bedak talek atau karton atau minyak disebabkan karena perlakuan suhu yang tinggi, hilangnya sebagian kecil vitamin C. Namun dipandang dari sudut gizi, susu yang

sudah dipasteurisasi merupakan sumber gizi yang cukup baik karena adanya vitamin A,B,C,D dan E, serta mineral.

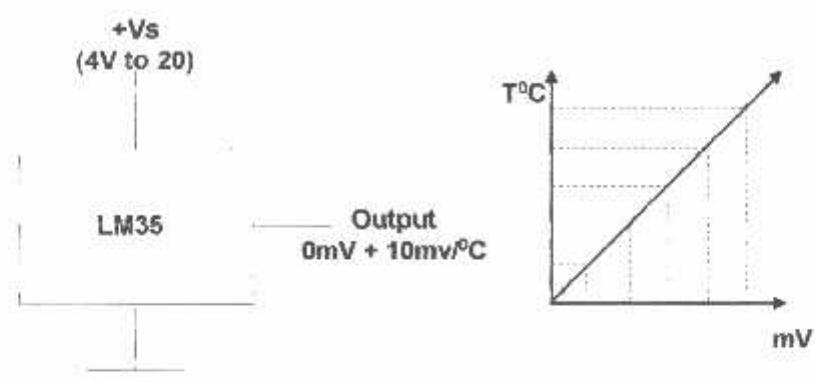
Selain vitamin-vitamin di atas, komponen-komponen susu masih bisa dipertahankan walaupun telah melalui proses pasteurisasi, antara lain: lemak susu, protein susu yang 80%-nya adalah Casein yang tahan terhadap perlakuan suhu tinggi, serta laktosa yang merupakan karbohidrat utama dalam susu.

2. 3. SENSOR SUHU

Dibutuhkan tranduser untuk mengukur suhu atau temperature. Suatu definisi mengatakan bahwa tranduser adalah sebuah alat yang bila digerakkan oleh energi di dalam sebuah sistem transmisi, menyalurkan energi dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlawanan dari sistem transmisi yang kedua. Transmisi ini dapat berupa listrik, mekanik, kimia, optic (radiasi) atau termal (panas).

Sensor suhu berfungsi untuk mengubah besar perubahan suhu yang diterima menjadi sinyal listrik. Sensor suhu pada tugas akhir ini menggunakan IC LM35. Karena mempunyai grafik yang linier, harga yang murah, sensitif, bentuknya kecil range suhu yang lebih besar. IC LM35 ini merupakan rangkaian integrasi untuk sensor suhu atau temperatur, yang mana tegangan keluaran dari dari sensor ini berbanding lurus dengan perubahan suhu atau temperatur dalam °Celcius. Sensor ini menghasilkan kenaikan tegangan 10mV pada output setiap kenaikan temperatur 1°C dengan range suhu antara -55°C sampai +150°C. Sehingga dapat diketahui setiap kenaikan per °C dengan mengalikan kelipatannya.

arus yang kurang dar 6 μ A. Bagan komponen dari LM35 dengan karakteristik ditunjukkan pada gambar 2.1.



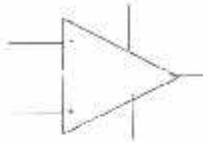
Gambar 2.1. Sensor Suhu LM35 dengan karakteristiknya

Sumber : National Semiconductor, *LM35, Precisien Centigrade Temperature Sensor*, hlm 13

2.4. PENGUAT OPERASIONAL

OP – AMP atau penguat operasional adalah piranti yang dapat digunakan untuk mengetahui sifat operasi matematika dengan dua input. Untuk pemanfaatannya dapat dipakai sebagai penyanga atau penguat linier dengan harga penguatan yang dapat ditentukan oleh umpan balik pada op amp tersebut. Op amp ini mempunyai harga penguatan yang sangat besar jika tidak dilengkapi oleh rangkaian umpan balik. Dari dua input yang ada mempunyai dua fungsi yang berbeda, yaitu dengan masukan pembalik (*inverting*) dan bukan pembalik (*non inverting*).

Penerapan dari sebuah Op amp tergantung pada pengolahan data masukan dan data keluaran yang diinginkan. Sebuah Op amp yang mampu menguatkan dengan penguatan tinggi ini akan mempunyai tegangan output maksimum sebesar tegangan catu daya yang diberikan. Untuk selanjutnya jika masih akan terjadi penguatan yang lebih



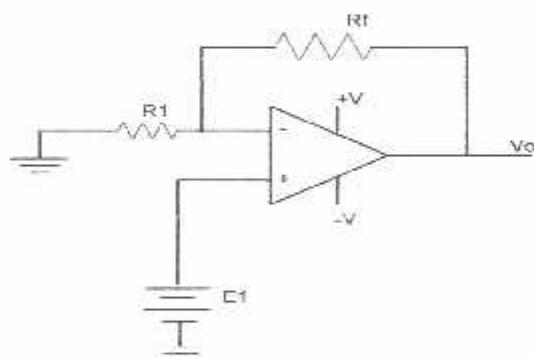
Gambar 2.2. Simbol Op-Amp

Sumber : Malvino, Prinsip-prinsip Eletronika, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga 1990,
hlm 427

Penguatan Tak Membalik (*Non Inverting*)

Penguatan tak membalik (*non inverting amplifier*) adalah suatu penguat yang tak membalik polaritas sinyal hasil penguatan atau penguat dimana tegangan *output* sefasa dengan tegangan *input*.

Gambar 2. 3. merupakan rangkaian dari penguat tak membalik.



Gambar 2.3. Rangkaian Penguat Tidak Membalik

Sumber : Malvino, Prinsip-prinsip Eletronika, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga 1990,
hlm 427

Apabila tegangan antara terminal *input* (-) dengan terminal *input* (+) menunjukkan 0 (nol) volt pada gambar 2.3, maka besar tegangan *input* (-) sama dengan tegangan *input* (+) terhadap *ground* (GND) yaitu sebesar E_1 volt. Arus yang melewati tahanan R_1 sebesar:

$$I = \frac{E_1}{R_1} \text{ ampere} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

Arah arus tegangan dari *polaritas* tegangan E_1 . arus akan melewati tahanan umpan balik R_f , sehingga tegangan pada tahanan R_f diperoleh:

$$V_{R_f} = I R_f \text{ volt} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.1) dan (2.2), maka diperoleh:

$$V_{R_f} = \frac{E_1}{R_1} R_f \text{ volt} \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

Tegangan *output* (V_o) diperoleh dari penjumlahan tegangan pada R_1 dengan tegangan pada R_f , yaitu:

$$V_o = E_1 + V_{R_f}$$

$$V_{R_f} = E_1 + \frac{R_f}{R_1} E_1 \text{ volt}$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) E_1 \text{ volt} \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

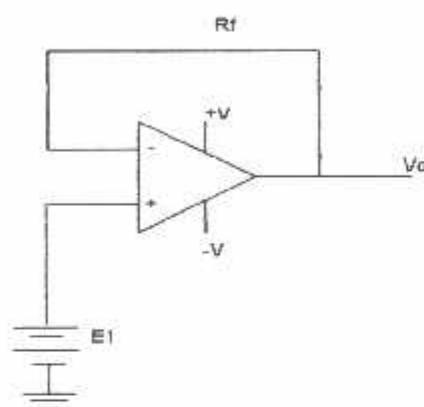
Besar penguatan diperoleh dari tegangan *output* berbanding dengan tegangan *input*, dimana diperoleh:

$$A_o = \frac{V_o}{E_1}$$

$$A_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

2. 4. 2. Pengikut tegangan (*Voltage Follower*)

Pengikut tegangan biasanya didefinisikan sebagai rangkaian dengan penguatan satu atau kurang dengan keluaran mengikuti masukan. Diantara masukan dan keluaran terdapat isolasi impedansi. Op-Amp pada khususnya berguna sebagai pengikut tegangan, seperti terlihat pada gambar 2. 4



Gambar 2. 4. Rangkaian Pengikut Tegangan

Sumber : Malvino, *Prinsip-prinsip Eletronika*. Edisi Kedua, Penerbit Erlangga 1990,
hlm 428

Dengan pengikut tegangan tak membalik, keluaran terhubung langsung pada masukan tak membalik. Resistansi umpan balik sama dengan nol. Karena itu, penguatan pengikut tegangan sama dengan satu. Dengan kata lain bila umpan balik diberikan umpan balik 100%, maka keluaran akan mengikuti masukannya. Sehingga besar tegangan *output* (V_o) adalah:

$$V_o = E_1 \text{ volt} \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

Dapat diperhatikan bahwa tegangan masukan membalik selalu menyamai tegangan masukan tak membalik. Jadi, selisih tegangan antara kedua masukan kira-kira selalu nol. Rangkaian ini memiliki impedansi masukan yang tinggi serta impedansi keluaran yang

rendah. Keuntungan ini menjadikannya sangat ideal untuk menyangga atau mengisolasi rangkaian.

2 .5. ANALOG TO DIGITAL CONVERTER (ADC)

Mikrokontroller hanya dapat mengolah data dalam bentuk biner saja, atau sering disebut digital, oleh sebab itu setiap data analog yang akan diproses oleh mikrokontroller harus diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk kode biner (digital). Jadi untuk menghubungkan sistem analog yang ada diluar mikrokontroller ke dalam mikrokontroller, dibutuhkan suatu pengubah atau konverter analog ke digital.

Fungsi dasar dari pengubah analog ke digital adalah mengubah tegangan analog kedalam kode-kode biner (digital) sehingga dapat diproses oleh mikrokontroller. Tegangan analog yang merupakan masukan dari ADC berasal dari pengkondisi sinyal, rangkaian ini mempunyai range tertentu dan disebut analog. Kode biner hasil konversi ini dipakai sebagai data untuk diolah oleh mikrokontroller yang kemudian ditampilkan oleh LCD.

Pengubah analog ke digital merupakan inti dari sistem data akuisisi yang berfungsi mengubah data dalam bentuk kontinyu ke dalam digital yang diskrit, sehingga cocok untuk diproses oleh mikrokontroller. ADC lebih banyak variasi bentuknya bila dibandinkan dengan DAC. Karena dalam ADC karakteristik yang dibutuhkan jauh lebih banyak. Adapun jenis ADC antara lain :

- Single Ramp Integrating
- Dual Slope Integrating
- Tracking (Counter Comparator)

- Single Counter
- Successive Approximations
- Multi Comparator (flash)

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan komponen ADC antara lain :

- Resolution (Resolusi)

Merupakan spesifikasi terpenting dari ADC, yaitu jumlah langkah dari sinyal dari skala penuh yang dibagi dan juga ukuran dari langkah-langkah, boleh juga dinyatakan dalam bit yang ada dalam satu word, ukuran LSB (angka terkecil) sebagai persen dari skala penuh atau juga LSB dalam mV (untuk skala penuh yang diberikan).

- Accuracy (Ketelitian)

Adalah jumlah dari semua kesalahan, misalnya kesalahan nonlinier, skala penuh, skala nol dan lain-lain. Dapat juga menyatakan perbedaan antara tegangan input analog secara teoritis yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu kode biner tertentu terhadap tegangan input nyata yang menghasilkan tegangan kode biner tersebut.

- Waktu Konversi

Waktu yang dibutuhkan untuk mengkonversikan analog ke digital setiap sampel atau waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu konversi.

Disini tidak akan dijelaskan keseluruhan dari jenis ADC, tetapi hanya dititik beratkan pada ADC jenis Successive Approximations, karena dalam perencanaan pembuatan alat digunakan ADC jenis ini. Successive Approximations ADC merupakan golongan ADC medium. ADC tipe ini dapat dikatakan merupakan perpaduan yang baik

antara kecepatan (kecepatan menengah) dan tingkat kerumitan rangkaian (menengah). Waktu konversi ADC ini selalu tetap, tidak tergantung dari besarnya sinyal analog (input), tetapi waktu konversi ini merupakan salah satu keuntungan menggunakan ADC tipe ini.

2.5.1. Successive Approximations

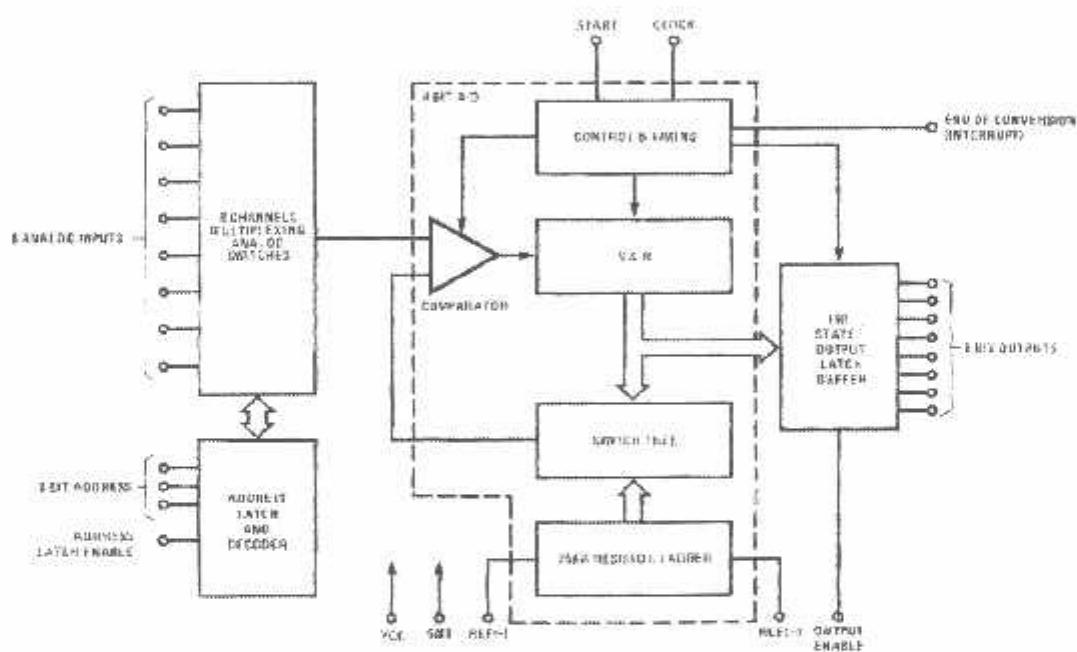
ADC jenis ini dibentuk dari beberapa jenis DAC (Digital To Analog Converter), komparator dan beberapa register dan rangkaian kontrol.

Teknik konversi yang dipakai adalah dengan membandingkan antara tegangan input yang tidak diketahui dengan tegangan output yang dihasilkan oleh DAC. DAC diatur oleh shift register dan rangkaian logika untuk control dan hasil konversi dapat diambil dari register keluaran. Konversi dimulai dengan memberikan sinyal input start conversion. Dengan sinyal start conversion tersebut input DAC akan dibuat aktif sehingga MSB sama dengan satu dan bit yang lain berharga 0. Output DAC akan terjadi setengah full scale dibandingkan dengan input analog yang dikonversi. Dari output komparator dapat diketahui mana yang lebih besar, bila tegangan output DAC lebih besar maka bit MSB tetap, sedang bila output DAC lebih kecil maka MSB berubah menjadi 0. kemudian bit berikutnya (bit lebih rendah dari MSB) dibuat sama dengan 1 dengan keadaan MSB tetap seperti proses perbandingan pertama tadi. Dari keadaan input digital ini akan dihasilkan output analog (dari DAC) yang juga akan dibandingkan lagi dengan tegangan input untuk menentukan apakah keadaan bit kedua akan diubah atau tidak. Proses diatas berlangsung terus sampai LSB sehingga diperoleh output dari input DAC yang terakhir. Proses pergescran bit dari MSB ke LSB dilakukan oleh shift register yang waktunya diatur oleh pulsa Clock. Jika proses konversi telah selesai output status bit akan

mengeluarkan End Of Conversion yang menyatakan output digital ADC dapat diambil sebagai besaran digital yang mewakili input analog yang dikonversikan.

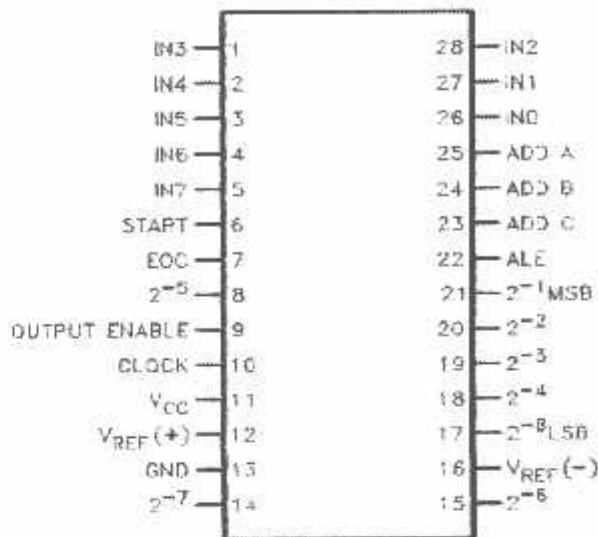
2.5.2. Analog To Digital Converter 0809

Analog To Digital Converter 0809 dikemas dalam IC monolitik, ADC ini menggunakan metode pengubah berturut-turut (Successive Approximation Register) dengan 8 saluran input analog dan dilengkapi beberapa control logika yang sesuai dengan standar mikroprosesor.



Gambar 2.5. Blok Diagram ADC 0809

Sumber : National Semiconductor, *ADC0808/08098-bit uP Compatible A/D Converters With 8-Channel Multiplexer*, Oktober 1999, hlm 1



Gambar 2.6. Struktur Pin Ic ADC 0809

Sumber : National Semiconductor, *ADC0808 0809 8-bit uP Compatible A/D Converters With 8-Channel Multiplexer*, Oktober 1999, hlm 2

2. 6. MIKROKONTROLLER AT89C51

2.6.1. Pendahuluan

Perbedaan mendasar antara mikrokontroller dan mikroprosesor adalah mikrokontroller selain memiliki CPU juga dilengkapi dengan memori dan I/O yang merupakan kelengkapan sebagai sistem minimum mikrokomputer sehingga sebuah mikrokontroller dapat dikatakan sebagai mikrokomputer dalam keping tunggal (single chip mikrokomputer) yang dapat berdiri sendiri.

Mikrokontroller AT89C51 adalah mikrokontroller ATMEL kompatibel penuh dengan mikrokontroller keluarga MCS-51, membutuhkan daya yang rendah, memiliki performance yang tinggi, dan merupakan mikrokomputer 8 bit yang dilengkapi 4 K byte

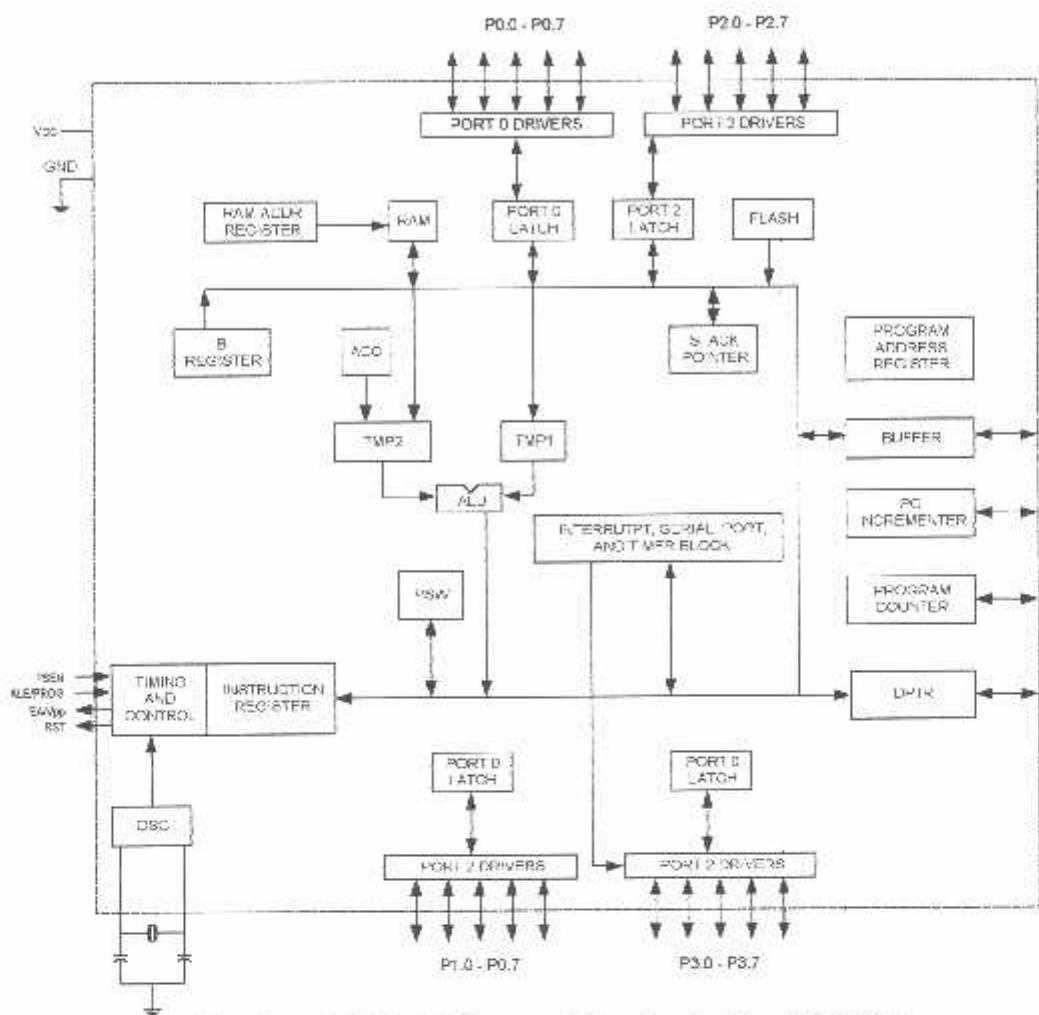
EPROM (Enable and Programble Read Only Memory) dan 128 Byte RAM internal. Program memori dapat diprogram ulang dalam sistem atau dengan menggunakan Programmer Nomolately Memori Konvensional.

Dalam sistem mikrokontroller terdapat dua hal yang mendasar, yaitu: perangkat keras dan perangkat lunak yang keduanya saling terkait dan mendukung.

2.6.2. Perangkat Keras Mikrokontroller AT89C51

Mikrokontroller AT89C51 secara umum memiliki:

- CPU 8bit
- Memory
- Port I/O yang dapat diprogram
- Timer dan Counter
- Sumber Interupt
- Program serial yang dapat diprogram
- Osilator dan clock



Gambar 2.7. Blok Diagram Mikrokontroller AT89C51

Sumber : ATMEL, Datasheet AT89Cs1, hlm 4.30

2.6.2.1. Arsitektur AT89C51

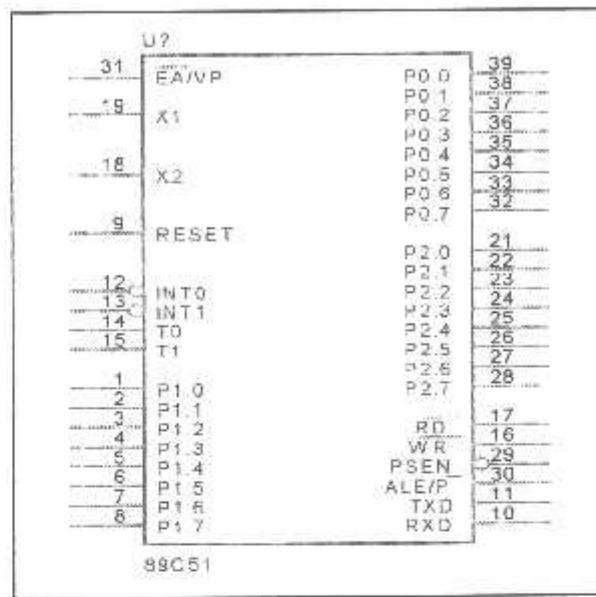
Arsitektur mikrokontroller AT89C51 adalah sebagai berikut:

1. CPU (Central Processing Unit) 8-bit dengan register A (Accumulator) dan B.
2. 16-bit program counter (PC) dan data pointer (DTPR).
3. 8-bit program status word (PSW).
4. 4-bit stack pointer (SP).

5. 5 Kbyte internal EEPROM.
6. 128 Byte internal RAM
 - 4 bank register, masing-masing berisi 8 register.
 - 16 Byte yang dapat dialamat pada bit level.
 - 80 Byte general purpose memory data.
7. 32 pin input-output tersusun atas PO-P3, masing-masing 8-bit.
8. 2 buah 16-bit Timer/counter.
9. Receiver/Tansmiter data serial Full Duplex: SBUF.
10. Control Register, yaitu: TCON, TMOP, SCON, PCON, PCON, IP, dan IE.
11. 5 buah sumber interupsi (2buah sumber interup external dan 3 buah sumber interup internal).
12. Osilator dan Clock Internal.

2.6.2.2. Konfigurasi Pin - Pin Mikrokontroller

Konfigurasi kaki-kaki mikrokontroller terdiri dari 40 pena, seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.8. Konfigurasi Pin – Pin AT89C51

Sumber : ATMEL, Datasheet AT89Cs1, hlm 4.29

Fungsi dari tiap- tiap pena adalah sebagai berikut:

1. VCC (Suplay tegangan).
2. GND (Ground).
3. Port 0

Merupakan port input- output dua arah dan dikonfigurasikan sebagai multipleks dua bus alamat rendah (A0 – A7) dan data selama pengaksesan program memori dan data memori external.

4. Port 1

Merupakan port input-output dua arah dengan internal pull-up.

5. Port 2

Merupakan port input-output dengan internal pull-up. Mengeluarkan address tinggi selama pengambilan (fetch) program memory external. Selama pengaksesan ke external data memory port 2 mengeluarkan isi P2 SFR (Special Function Register). Menerima address dan beberapa sinyal kontrol selama pemrograman dan verifikasi.

6. Port 3

Merupakan port input-output dengan internal pull-up.

Port 3 juga memiliki fungsi khusus, yaitu:

- RXD (P3.0) : Port input serial.
- TXD (P3.1) : Port output serial.
- INT0 (P3.2) : Interupt 0 external.
- INT1 (P3.3) : Interupt 1 external.
- T0 (P3.4) : Input external timer 0.
- T1 (P3.5) : Input external timer 1.
- WR (P3.6) : Strobe tulis data memory external.
- RD (P3.7) : Strobe baca data memory external.

7. RST

Input Reset

8. ALE/ PROG

Pulsa output ALE digunakan untuk proses ‘latching’ byte address rendah (A0- A7) selama pengaksesan ke external memory. Pin ini juga digunakan untuk memasukkan pulsa program (prog) selama pemrograman.

9. PSEN

Merupakan strobe baca ke program memory external.

10. EA/VPP

External address enable EA digroundkan jika mengakses memory external. Untuk mengakseskan memory internal maka dihubungkan ke VCC.

11. X-TALL1 dan X-TALL2

Kaki ini dihubungkan dengan kristal bila menggunakan osilator internal. X-TALL1 merupakan input inverting osilator amplifier sedangkan X_TALL2 merupakan output inverting osilator amplifier.

2.6.3. Organisasi Memory

Di dalam AT89C51 ruang alamat telah dibedakan untuk program memory dan data memory.

2.6.3.1. Program Memory Internal

AT89C51 memiliki program memory internal sebesar 4 Kbyte dengan ruangan alamat 0000H- 0FFFH. Jika alamat-alamat program lebih tinggi dari pada 0FFFH, yang melebihi kapasitas ROM internal menyebabkan AT89C51 secara otomatis mengambil code byte dari program memory external. Code byte juga dapat diambil hanya dari external memory dengan alamat 0000H-FFFFH dengan cara menghubungkan pin EA ke ground.

2.6.3.2. Data Memory (RAM) Internal

Ruangan alamat bahwa memory data (RAM) internal dengan kapasitas 128 byte yaitu: 00H-7FH yang terbagi atas 3 daerah, yaitu:

- Empat bank register

Setiap bank terdiri dari 8 register (R0-R7) sehingga jumlah register untuk keempat bank register menjadi 32 buah register yang menempati ruang alamat 00H-1FH. Mengaktifkan salah satu bank register dapat dilakukan dengan mengatur RS0-RS1 pada program status word (PSW).

- Bit Addressable

Terdiri dari 16 byte yang berada pada alamat 20H-2FH. Masing-masing 128 bit lokasi ini dapat dialami secara langsung.

- Stratc Pad Area

Terdiri atas 80 byte yang menempati alamat 30H-7FH. Yang dapat dialami secara langsung dan digunakan untuk keperluan umum (general purpose) misalnya digunakan untuk lokasi attack.

R7		7 F	
R6			
R5			
R4			
R3			
R2			
R1			
R0			
R7			
R8			
R5			
R4			
R3			
R2			
R1			
R0			
R7			
R8			
R5			
R4			
R3			
R2			
R1			
R0			
R7			
R6			
R5			
R4			
R3			
R2			
R1			
R0			
R7			
R6			
R5			
R4			
R3			
R2			
R1			
R0			
R7			
R6			
R5			
R4			
R3			
R2			
R1			
R0			

WORKING REGISTER BILL ADDRESSALE GENERAL PURPOSE

30

Gambar 2.9. Organisasi RAM Internal

Sumber : Agfianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gya Media, 2002, hlm 8

Tabel 2 - 1
Pengaturan RS0-RS1 Select Register Bank

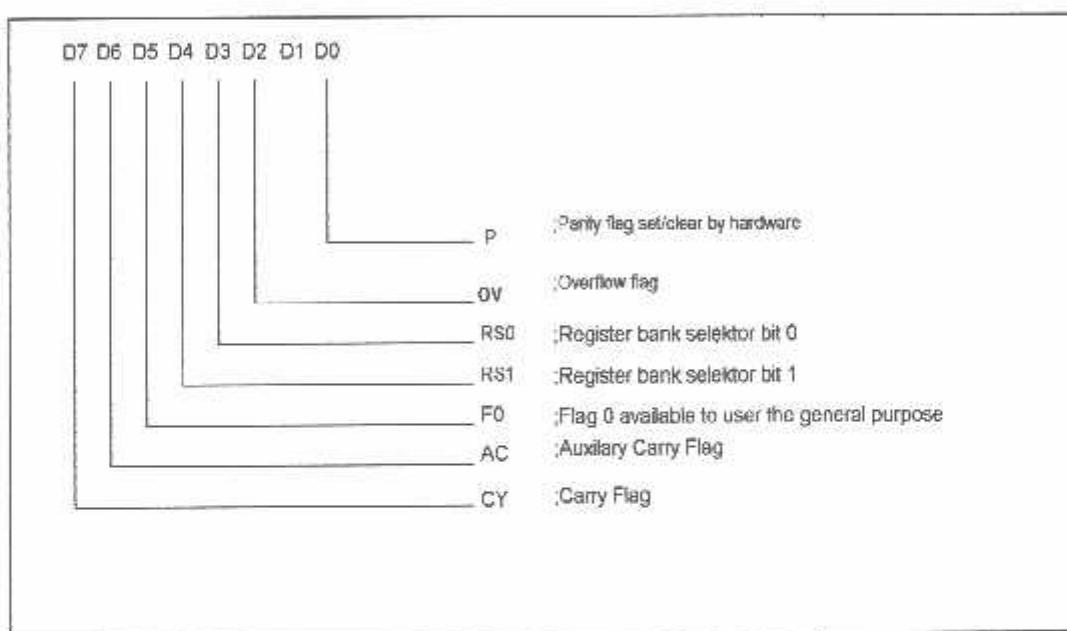
RS1	RS0	Select Register Bank
0	0	Bank 0
0	1	Bank 1
1	0	Bank 2
1	1	Bank 3

2.6.3.3. SFR (Special Function Register)

Untuk operasi AT89C51 yang tidak menggunakan alamat internal RAM (00H-7FH) dilakukan oleh SFR yang beraddress 80H- FFH, tetapi tidak semua address tersebut digunakan sebagai SFR, hanya address tertentu saja.

2.6.3.4. Program Status Word

Register ini terletak di alamat D0H. Cara mendefenisikannya adalah sebagai berikut:

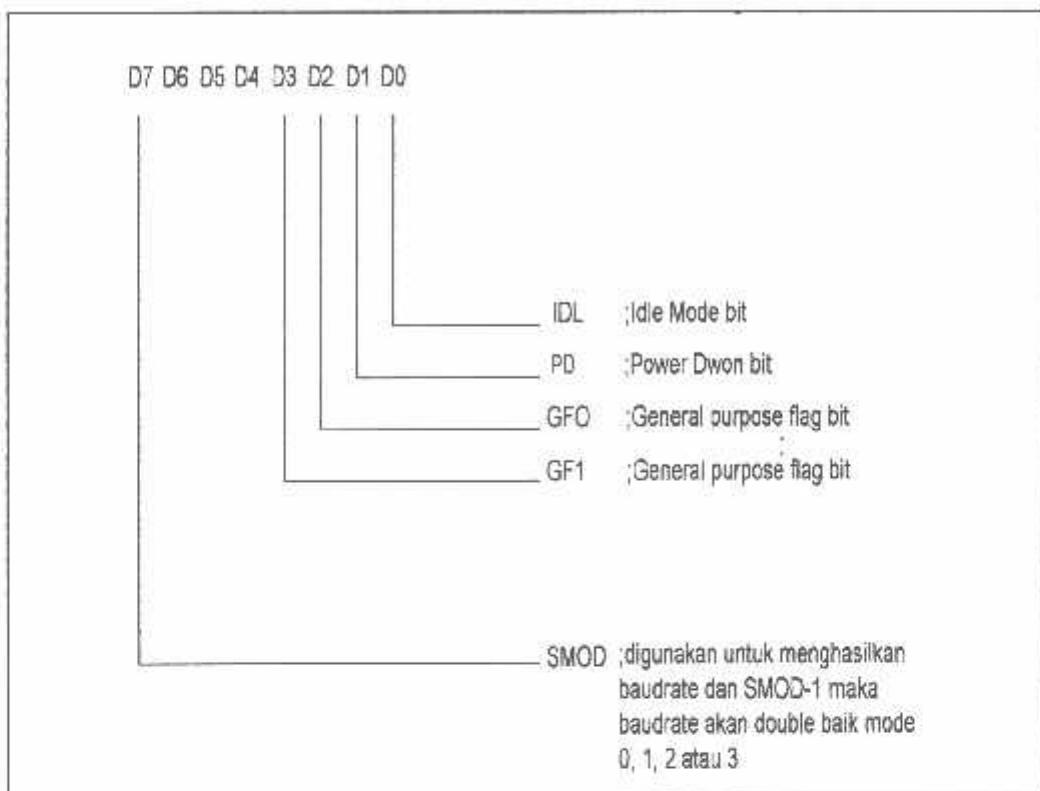


Gambar 2.10. Skema Medefinisikan PSW

Sumber : Agfianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gaya Media 2002, hlm 9

2.6.3.5. PCON (Power Control)

Register ini terletak pada alamat 87H. Cara mendefinisikan adalah sebagai berikut:



Gambar 2.11. Skema Mendefinisikan PCON

Sumber : Agfianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gaya Media 2002, hlm 10

2.6.3.6. Sistem Interrupt

Mikrokontroller AT89C51 mempunyai 5 buah sumber interup yang dapat mengakibatkan permintaan interup, yaitu: INT0, INT1, T1, T2 dan port serial.

Saat terjadi interup mikrokontroller secara otomatis akan menuju ke subrutin pada alamat tersebut. Setelah interup service selesai dikerjakan, mikrokontroller akan mengerjakan program semula. Dua sumber eksternal adalah INT0, INT1, dimana kedua interupsi eksternal akan aktif atau aktif transisi tergantung isi IT0 dan IT1 pada register TCON. Interupsi T0 dan T1 aktif pada saat timer yang sesuai mengalami roll over.

Interupsi serial dibangkitkan dengan melakukan operasi OR pada RI dan T1. Tiap – tiap sumber interupsi dapat enable atau disable secara software.

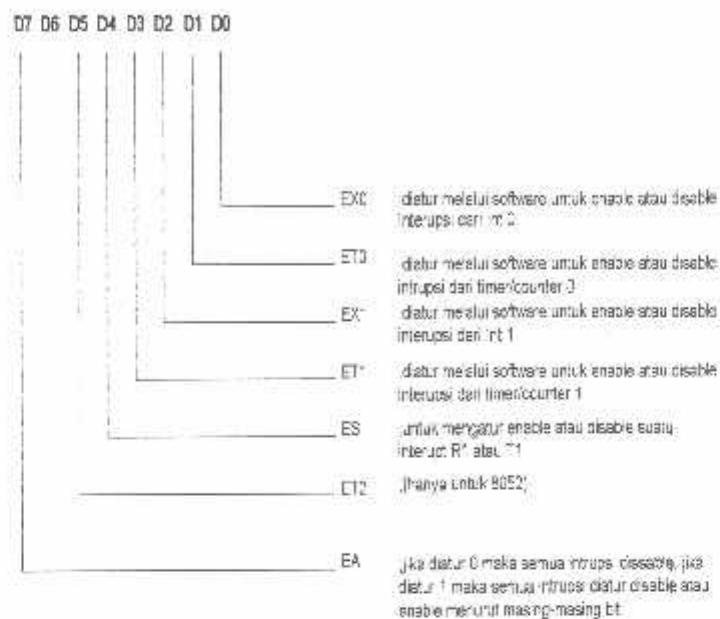
Tingkat prioritas semua sumber interupsi dapat diprogram sendiri-sendiri dengan set atau clear bit pada SFRS IP (Interrupt Priority).

Tabel 2 - 2
Alamat Sumber Interupsi

Sumber Interupt	Alamat Awal
Power On Reset	0000h
Interupt Luar 0 (INT 0)	0003h
Pewaktu/ Pencacah 0 (T0)	000Bh
Interupt Luar 1 (INT 1)	0013h
Pewaktu/ Pencacah 1 (T1)	001B
Port I/O Serial	0023h

Sumber : Agustianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gaya Media 2002

Register yang berperan dalam mengatur aktif tidaknya interupsi adalah interrupt enable register, berikut ini adalah susunan dari bit-bit beserta kegunaanya:



Gambar 2.12. Kegunaan Interupt Enable Register

Sumber : Agfianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gaya Media 2002, hlm 12

2.6.3.7. Timer/ Counter

Pengendalian kerja dari timer/counter dilakukan dengan pengaturan register yang berhubungan dengan kerja dari Timer/counter yaitu melalui sebuah timer/counter mode control.

Untuk mengaktifkan timer/counter yang meliputi penentuan fungsi sebagai timer atau sebagai counter serta pemilihan mode operasi dapat diatur melalui TMOD yang beralamat pada 89H.

- Gate

Bila gate = 1, Timer/counter x enable hanya pada saat pin INTx tinggi dan TRX 1,. Saat gate 0, timer/counter enable jika bit TRx 1

- CT

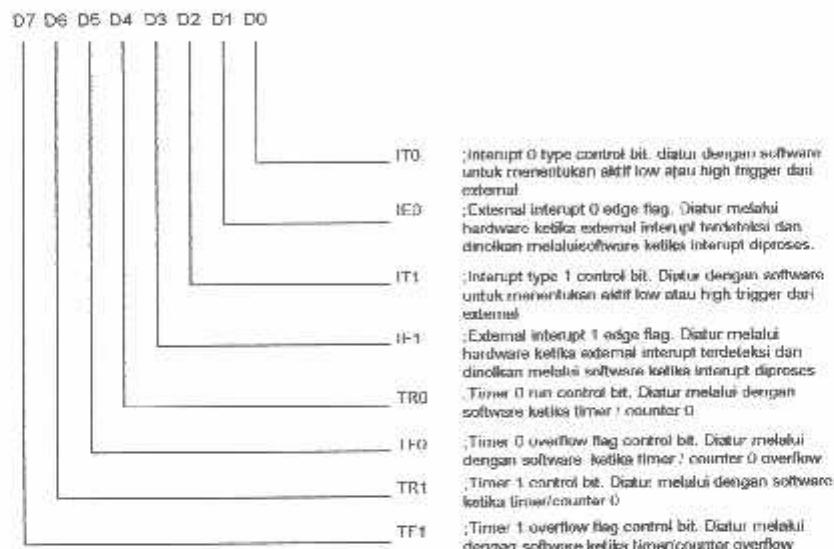
Jika bit C/T = 0, maka timer/counter x akan berfungsi sebagai timer.

Jika C/T = 1, maka timer/counter x akan beroperasi sebagai counter.

- M1 dan M2

Menentukan mode.

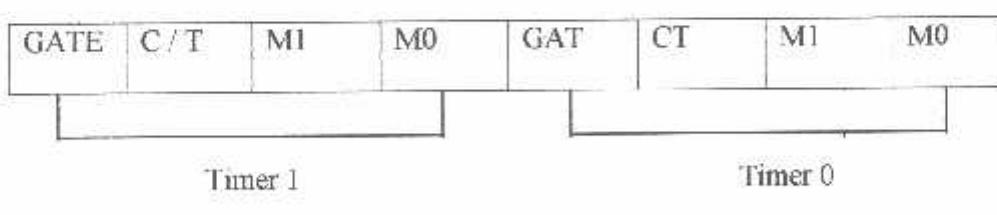
Konfigurasi yang dimaksud adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13. Konfigurasi dan Guna TMOD

Sumber : Agfianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gaya Media 2002, hlm 15

TMOD : Timer/Counter Mode Control Register



Gambar 2.14. Timer/Counter Mode Control Register

Sumber : Agfianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gaya Media 2002, hlm 20

Tabel 2 - 3
Mode Operasi Timer/Counter

M1	M0	Operating Mode
0	0	Timer 13 bit
0	1	Timer/Counter 16 bit
1	0	8 bit Auto reload Timer /Counter
1	1	TL0 dari Timer adalah 8 Bit Timer/Counter dikendalikan oleh kontrol bit timer 0. TH0 adalah 8 bit yang dikendalikan oleh Timer 1 control bit

Sumber : Agfianto Eko Putro, *Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gava Media 2002, hlm 23

2.6.3.8. Metode Pengalamatan

1. Pengalamatan Bit (Direct Bit Addressing)

Pengalamatan langsung tiap bit ini hanya dilakukan pada lokasi RAM internal yaitu 20H-2FH, d port 1, port 2 port 3, TCON register, SCON register, IE register, PSW register, ACC dan Δ CC dan B register.

2. Pengalamatan Tak Langsung

Pada pengalamatan tak langsung, instruksi menunjukkan suatu register yang isinya adalah alamat dari operand, eksternal dan internal RAM dapat dialamati

secara tidak langsung. Register alamat untuk data dengan lebar 8 bit dapat berupa R0 dan R1 yang digunakan untuk memilih angka register atau stack pointer. Register alamat untuk data, dengan lebar 16 bit digunakan data pointer DPTR.

3. Pengalamatan Berindeks

Yang dapat diakses dengan pengalamatan berindeks hanya memori program. Mode ini dimaksudkan untuk membaca look-up table program.

4. Konstanta Immediat

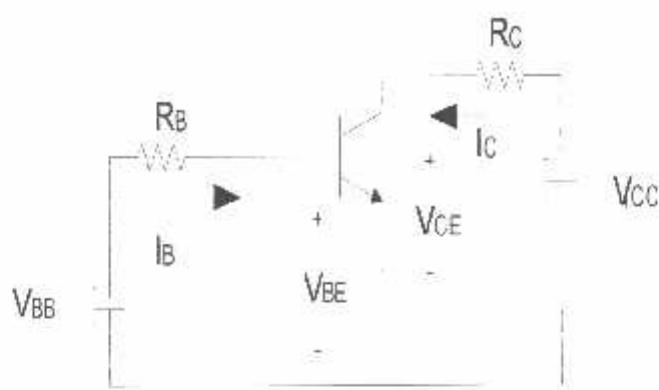
Pengalamatan langsung dilakukan dengan memberikan nilai ke suatu register secara langsung, dilakukan dengan menggunakan tanda #.

Contoh: Mov a# 100.

2. 7. TRANSISTOR SEBAGAI SAKLAR

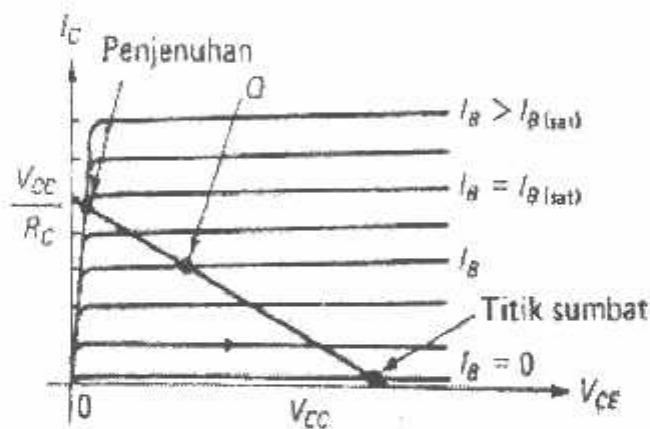
Rangkaian switching dengan transistor banyak digunakan pada berbagai rangkaian elektronik baik penguat, saklar dan lain-lain. Asas kerja transistor adalah akan ada arus yang mengalir diantara terminal kolktor emitor (I_c) hanya apabila ada arus yang mengalir di antara terminal basis emitor (I_B). Jadi transistor harus dioperasikan pada daerah linier agar diperoleh sinyal keluaran tidak cacat (*distorsi*). Untuk dapat mengoperasikan secara tepat maka pengertian titik kerja transistor amatlah penting dan harus dipahami dan dimengerti dengan benar.

Garis beban akan memotong sekelompok kurva arus basis konstan I_B dengan I_B tertentu (yang diatur rangkain bias), garis beban akan memotong kurva I_B tersebut dititik Q yang disebut titik kerja transistor. Titik ini menjadi kondisi awal dari pengoperasian transistor. Kelak dimana transistor mempunyai tiga daerah kerja yaitu : aktif (*active*), jenuh (*saturation*) dan tersumbat (*cut-off*).



Gambar 2.15. Konfigurasi Pin Transistor

Sumber : Malvino, *Prinsip-prinsip Elektronik*, Penerbit Erlangga, 1990, hlm. 122



Gambar 2.16. Garis Beban DC

Sumber : Malvino, *Prinsip-prinsip Elektronik*, Penerbit Erlangga, 1990, hlm. 122

Pada gambar di atas dilihat, titik dimana garis beban memotong kurva $I_B = 0$ disebut sebagai titik sumbat (*cut-off*). Pada titik ini arus kolektor (I_C) sangat kecil (hanya arus bocor) sehingga dapat diabaikan, di sini transistor kehilangan kerja normalnya. Di sini dapat dikatakan bahwa tegangan kolektor emitor ujung garis beban tersebut.

$$V_{CE} \text{ (cut-off)} I_C - V_{CE} \quad V_{CE} \approx$$

Perpotongan garis beban dengan Kurva $I_B = I_{B(sat)}$ disebut titik jenuh (saturation). Pada titik ini arus kolektor maksimum atau dapat dikatakan sama dengan ujung garis beban.

$$I_C \text{ (saturation)} \approx \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Jika arus basis I_B lebih kecil I_B (saturation) maka transistor akan beroperasi pada daerah aktif, yaitu titik kerjanya terletak disepanjang garis beban.

Jadi dapat disimpulkan bahwa transistor bekerja sebagai mana sumber arus (penguat) dimana saja sepanjang garis beban, kecuali titik jenuh (saturation) atau titik sumbat (cut-off) dimana transistor tidak dapat bekerja sebagai sumber arus (penguat) melainkan sebagai sumber saklar (switching).

2.8. LCD (Liquid Crystal Display)

2.8.1. Teori

LCD adalah merupakan komponen optoelektronik yaitu komponen-komponen yang dikerjakan atau dipengaruhi oleh sinar (*optolist*), komponen-komponen pembangkit cahaya (*light emitting*) dan komponen-komponen yang mempengaruhi akan mengubah sinar. LCD terbuat dari bahan kristal cair yang merupakan suatu kompon organik yang mempunyai sifat optik seperti benda padat meskipun bahan tetap cair. Contoh kompon itu adalah *Kolesterol nonanoat* dan *P-azoxyanisole*.

Sel kristal cair terdiri dari selapis bahan kristal cair yang diapit antara gelas tipis dengan elektroda lapisan logam transparan yang diendapkan (*deposited*) pada bagian dalam gelas seperti gambar 2 -. Kedua keping gelas juga transparan. Sel ini disebut sel

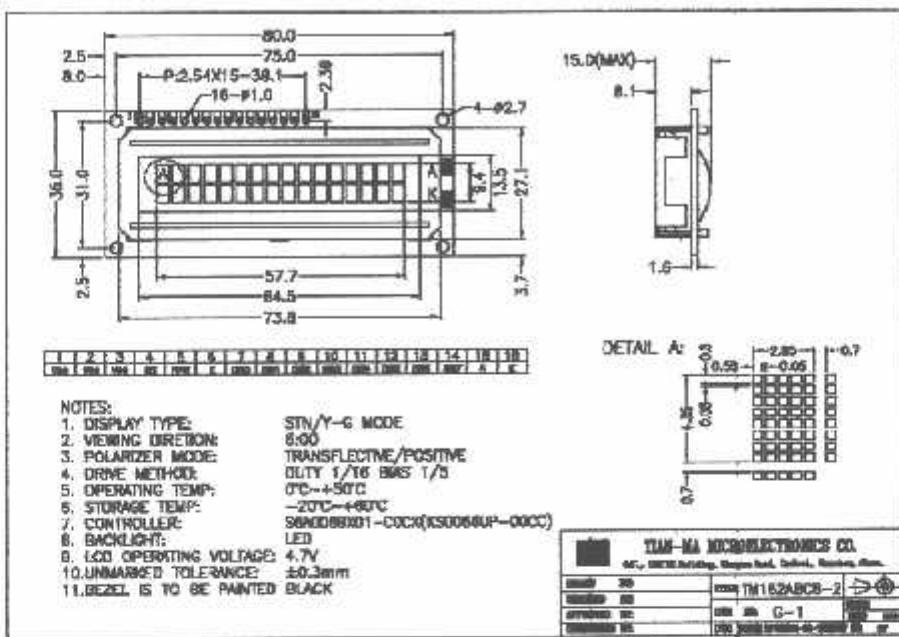
tipe transmitif. Bila hanya sebuah lapisan gelas yang transparan sedang yang lain mempunyai lapisan reflektif, sel ini disebut tipe reflektif. Bila tidak diaktifkan, tipe transmitif maka sel itu meneruskan sinar dari belakang atau dari pinggir dalam garis lurus. Dalam hal ini sel tidak nampak cemerlang. Bila diaktifkan, sinar yang datang dipendarkan ke depan dan difusi maka sel nampak cemerlang di bawah cahaya kamar yang terang.

2.6.2. Karakteristik Listrik LCD

Karena sel-sel kristal cair merefleksikan atau meneruskan cahaya, dan bukan membangkitkan cahaya maka daya listrik yang diperlukan sangat kecil energi yang dipergunakan hanyalah untuk mengaktifkan kristal cairnya.

Pada dasarnya LCD bekerja dari tegangan rendah (biasanya 3 sampai 15 Vrms), frekwensi rendah (25 sampai 60 hz) sinyal AC, dan memakai arus listrik yang sangat kecil (25 sampai 300 μ A). LCD seringkali ditata sebagai tampilan 7 segment untuk menampilkan angka.

LCD membutuhkan sumber listrik bolak-balik (AC) yang berbentuk sinus atau segi empat karena bila digunakan arus searah maka akan terbentuk penempelan elektrolisa pada elektroda-elektrodanya yang dapat merusak komponen ini. Tegangan AC diperlukan untuk menghidupkan segment, yang digunakan antara segment dan backplane, yang sama untuk semua segment. Segment dan backplane membentuk kapasitor yang membutuhkan arus listrik yang sangat kecil selama frekwensi AC dipertahankan low. Biasanya tidak lebih dari 25 Hz karena akan menghasilkan penglihatan yang bergetar.



Gambar 2.17. Diagram Liquid Cristal Dispaly

Sumber: LCD Module User Manual, hlm.2

2.8.3. LCD M1632

Untuk tampilan dalam tugas akhir ini, digunakan LCD M1632. Tampilan jenis ini tersusun dari dot matriks dan dikontrol oleh Rom/RAM generator karakter dan RAM data display. Semua fungsi display dikontrol dengan instruksi dan LCD dapat dengan mudah diantarmukakan dengan mikrokontroller unit.

Adapun karakteristik dari LCD M1632 adalah sebagai berikut :

- 16 x 2 karakter dengan 5 x 7 dot matriks.
- ROM generator karakter dengan 192 tipe karakter.
- RAM generator karakter dengan 8 tipe karakter (untuk program write).
- 80 x 8 bit RAM data display dengan 80 karakter maksimal.
- Dapat diantarmukakan dengan MPL4 atau 8 bit.

- RAM data dan RAM generator karakter dapat dibaca dari MPU.
- Rangkaian oscilator terpadu.
- Catu daya tunggal ± 5 Volt.
- Reset otomatis terpadu.
- Temperatur antara 0°C sampai 50°C .

Adapun untuk menampilkan karakter yang da dilakukan dengan cara memberikan kode karakter untuk tiap-tiap karakter yang diinginkan pada bus data dan dengan menggunakan sinyal kontrol E, RS dan R/W .

Tabel 2 – 4
Konfigurasi Pin LCD M1632

Nama Sinyal	Jumlah Terminal	I/O	Tujuan	Fungsi
DB0 – DB3	4	I/O	MPU	4 bit bus data lower tristate dua arah, dapat dibaca/ditulis terhadap MPU
DB4 – DB7	4	I/O	MPU	4 bit bus data Upper tristate dua arah, dapat dibaca/ditulis terhadap MPU, DB7 juga sebagai busy flag.
E	1	Input	MPU	Sinyal tanda mulai operasi yang berfungsi sebagai alat baca/tulis.

R/ \bar{W}	I	Input	MPU	0 : Write 1 : Read
RS	I	Input	MPU	Sinyal seleksi register : 0 : Register Instruksi (tulis) 1 : Data Register (baca/ tulis)
VCC	I	-	Power Supply	Untuk mengatur kontras pada LCD
V _{DD}	I	-	Power Supply	+ 5 V
V _{ss}	I	-	Power Supply	0 V (ground)

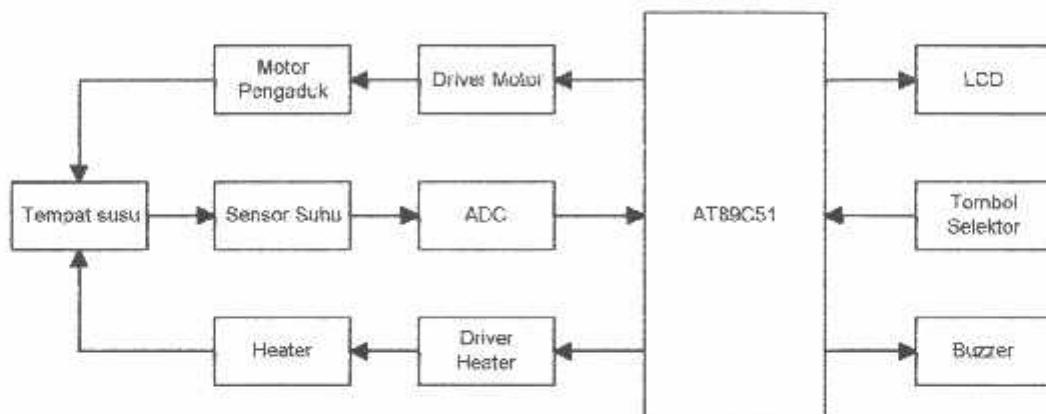
Sumber : LCD Module User Manual, hlm.6

BAB III

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Blok Diagram Rangkaian

Dalam bab ini akan dibahas tentang perencanaan dan pembuatan alat yang meliputi: sensor suhu, ADC, AT89C51, motor pengaduk, heater, LCD dan buzzer.



Gambar 3.1. Blok Diagram Rangkaian

Dari gambar 3.1 di atas maka dapat dijelaskan cara kerja rangkaian, yaitu:

1. *Tempat susu*. Di sini ditempatkan susu, heater, motor pengaduk dan sensor suhu.
2. *Sensor Suhu*

Untuk sensor suhu digunakan LM 35 yang berfungsi untuk mendapatkan informasi tentang suhu susu sapi yang akan menentukan proses berikutnya.

3. *ADC*.

Fungsi dasar dari pengubah analog ke digital (ADC) adalah mengubah tegangan analog kedalam kode-kode biner (digital) sehingga dapat diproses oleh mikrokontroller. Tegangan analog yang merupakan masukan dari ADC berasal

dari pengkondisi sinyal, rangkaian ini mempunyai range tertentu dan disebut analog. Kode biner hasil konversi ini dipakai sebagai data untuk diolah oleh mikrokontroller yang kemudian ditampilkan oleh LCD.

4. *AT89C51*

AT89C51 adalah Mikrokontroller yang berfungsi untuk mengontrol suhu, heater, motor pengaduk dan menampilkan data suhu dan waktu pada LCD.

5. *Elemen Pemanas / Heater*

Heater berfungsi untuk memanaskan susu dalam wadah sesuai dengan ketentuan yang kita inginkan

6. *Driver Heater*

Driver heater berfungsi sebagai pengendali aktif dan non aktif dari heater.

7. *Motor Pengaduk*

Digunakan untuk mengaduk susu agar suhu cepat merata dan meghindari terjadinya proses terbakarnya permukaan susu yang akan menghasilkan lapisan yang tidak kita inginkan.

8. *Driver Motor*

Driver motor berfungsi sebagai saklar pengendali aktif dan non aktifnya motor pengaduk

9. *LCD*

Untuk menunjukkan proses yang tengah berlangsung serta menunjukkan suhu pada saat itu.

10. *Tombol Selektor*

Berfungsi untuk memilih proses pasteurisasi yang akan dijalankan. Pada alat ini ada 2 sistem yaitu sistem holding dan sistem high temperature short time.

II. Buzzer

Untuk menunjukkan bahwa proses telah selesai.

Sehingga cara kerja alat dapat diterangkan sebagai berikut:

Setelah susu dimasukkan pada tempat susu maka pengguna akan menentukan proses yang akan dipilih apakah sistem holding atau sistem high temperature short time. Sistem holding yaitu memanaskan susu pada suhu 62°C yang dipertahankan selama 30 menit, sedangkan sistem high temperature short time menggunakan suhu 85°C yang dipertahankan selama 5 menit, apabila melebihi suhu tersebut maka susu akan rusak atau disebut pecah. Setelah itu elemen pemanas akan mulai menyala diikuti berputarnya motor pengaduk. Proses ini akan terus berlangsung sampai suhu yang ditetapkan, kemudian setelah proses tersebut tercapai maka alat akan mati dengan sendirinya dan membunyikan buzzer sebagai tanda proses telah selesai.

3.2. Perencanaan Hardware

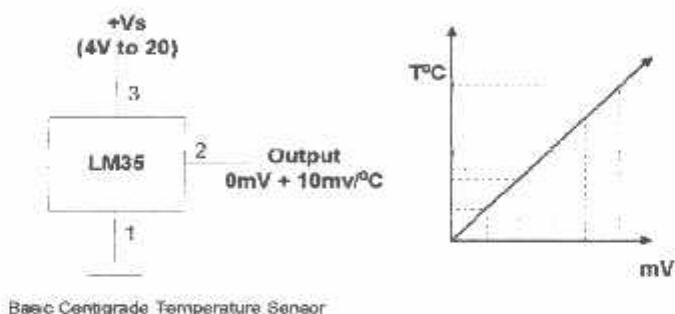
3.2.1. Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan pada perencanaan alat ni adalah IC LM35. LM35 merupakan pengindera suhu yang memberikan tegangan keluaran yang berbanding langsung dengan suhu yang diukurnya, dalam derajat Celcius. Sehingga pada saat suhu 0°C , tegangan keluaran adalah nol volt.

Alasan penggunaan sensor ini adalah:

- Mempunyai ketelitian dan ketepatan yang tinggi.
- Mempunyai impedansi keluaran yang rendah dan kelinieran yang tinggi.

- Memiliki kalibrasi yang tepat sehingga pembacaan nilai keluaran menjadi mudah dalam derajat celcius
- Dengan sensitivitas 10mV keluaran mengalami perubahan 10mV setiap kenaikan 1°C
- Memerlukan komponen eksternal yang sedikit
- Konsumsi arus yang kurang dari $60\mu\text{A}$.



Gambar 3.2 Rangkaian Sensor Suhu

Sumber : National Semiconductor, *LM35, Precision Centigrade Temperature Sensor*, hlm 13

Dimana: Pin 1 sebagai ground

Pin 2 merupakan keluaran dari sensor suhu

Pin 3 sebagai Vcc dengan tegangan sebesar +5 Volt

Range sensor suhu LM35

- Range sensor suhu LM35 : $+2^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $+150^{\circ}\text{C}$
- Range operasi alat ukur : 20°C sampai dengan 35°C .

Tegangan keluaran yang diberikan sensor ketika proses pendekatan temperatur adalah:

$$V_{\text{out}} = \text{temp} \times 10 \text{ mV/}{}^{\circ}\text{C}$$

Dimana : V_{out} adalah tegangan output dari sensor LM35 (volt)

Temp adalah besaran suhu yang dibaca.

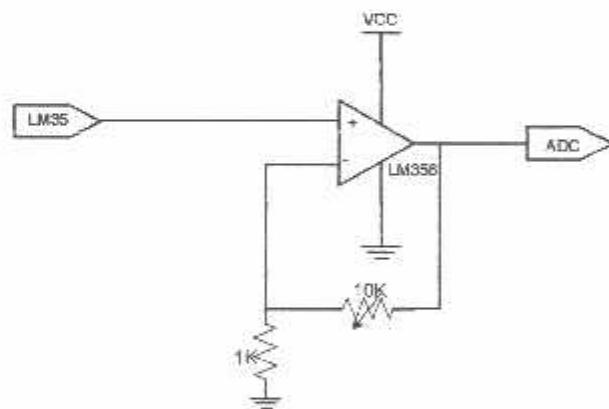
Misalkan suhu mencapai 85°C maka tegangan output dari sensor adalah:

$$V_{\text{out}} = 85 \times 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

Karena hasil besaran temperatur ke besaran listrik masih dalam bentuk sinyal-sinyal analog, maka sebelum diinputkan ke mikrokontroler terlebih dahulu sinyal tersebut dikonversikan menggunakan penuh sinyal analog ke digital yaitu ADC, yang sebelumnya dikuatkan terlebih dahulu oleh penguat Op-Amp.

3.2.2. Perencanaan Rangkaian Penguat Operasional

Penguat operasional dipergunakan untuk menguatkan tegangan yang kecil dari LM35 sehingga menjadi tegangan yang berkisar antara 0 volt sampai 5 volt. Sebuah penguat tak membalik, yaitu dengan tegangan keluaran (V_o) mempunyai polaritas yang sama seperti tegangan masukan (E_i), atau tegangan output sefasa dengan tegangan inputnya.



Gambar 3.3. Rangkaian Penguat Non-Inverting

Sumber : Perancangan

Arus beban I_L diberikan oleh $\frac{V_o}{R_L}$ karena hanya tergantung pada V_o dan R_L saja sedangkan I_o adalah arus yang mengalir dari keluaran Op-Amp.

3.2.3. Perancangan ADC 0809 (Analog To Digital Converter)

Dalam pembuatan alat ini juga dibutuhkan pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital atau disebut juga *Analog To Digital Converter* (ADC), hal ini disebabkan sinyal-sinyal yang didapat dari sensor temperatur berupa sinyal analog, sedangkan rangkaian controller menggunakan sistem digital sehingga membutuhkan masukan berupa sinyal digital. ADC yang digunakan adalah 0809. ADC ini dapat menerima 8 input tetapi yang digunakan pada alat ini hanya 1 input dan sisa input yang lain diground kan.

Karena hanya menggunakan 1 input maka ADD A (Pin 25), ADD B (pin 24) dan ADD C (Pin 23) diberi nilai low dengan cara diground kan. Sedangkan P2-1 sampai 2-8 dihubungkan ke M_μ (P1.0-P1.7).

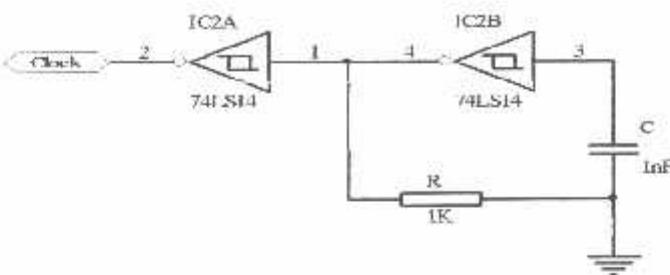
Dikarenakan tegangan yang terukur cukup kecil maka tingkat resolusi dari ADC 0809 diharapkan cukup kecil, sehingga digunakan $V_{ref} = 5$ volt. Dimana tingkat resolusi ADC 0809 adalah :

$$\text{Resolusi} = V_{\text{referensi}} / (2^8 - 1) \dots \quad (3.4)$$

Jadi besarnya resolusi adalah sebesar :

$$\text{Resolusi} = 5 / (2^8 - 1) = 0,0196 \text{ V}$$

Untuk membuat ADC 0809 dapat bekerja, maka diperlukan sebuah clock. Pada data book yang ada, tertulis bahwa frekwensi clock pada umumnya adalah 640 KHz. Pada perancangan ini digunakan sumber pulsa dari rangkaian RC dan sebuah inverting schmitt trigger IC 74LS14. Rangkaian pembentuk pulsa dapat dilihat dalam Gambar 3.4



Gambar 3.4 Pembangkit Clock

Sumber : Sergio F, 1990 : 330

Frekwensi yang dihasilkan oleh rangkaian ini adalah sebesar :

$$f_{\text{count}} = \frac{1}{1,2 \cdot R \cdot C} \quad (3.5)$$

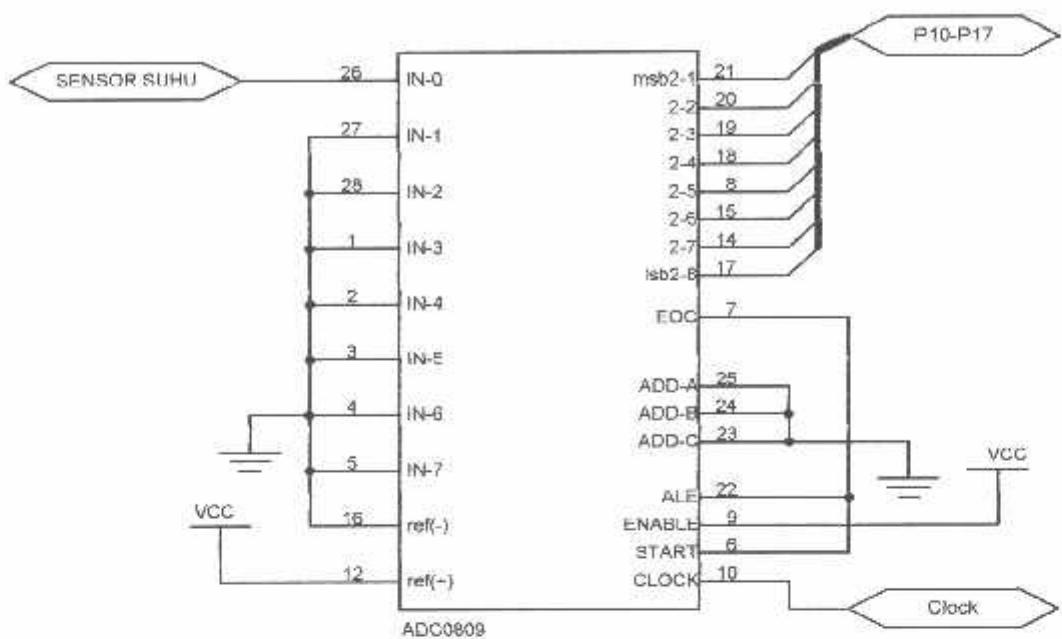
$$= 1 / (1,2 \times 1000 \times 1 \cdot 10^{-9})$$

$$= 833.333,33 \text{ Hz}$$

$$= 840 \text{ KHz}$$

Agar ADC dapat bekerja secara terus menerus tanpa diperintah maka masukan START dan ALE juga diberi masukan clock dengan frekwensi yang lebih rendah, dengan periode sekitar $100 \mu\text{s}$. Sebuah multivibrator 74LS123 diberikan pada keluaran counter untuk ALE dan START agar ADC dapat langsung terpicu pada saat counter memberikan sinyal. Pin-pin kendali yang dihubungkan dengan mikrokontroler ialah *End of Conversion* (EOC), alamat, ALE dan output enable. Selain itu data disalurkan melalui kaki D₀-D₇.

Realisasi dari ADC tersebut terlihat dalam Gambar 3.5



Gambar 3.5 Rangkaian ADC 0809

Sumber : Perancangan

3.2.4. Perancangan Mikrokontroller AT89C51

Sistem minimum AT89C51 adalah rangkaian yang berbasis mikrokontroler AT89C51 yang berfungsi sebagai pusat yang mengatur keseluruhan proses akuisisi data . Pengaturan – pengaturan yang utama yang dilakukan oleh sistem minimum adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan data dari sensor dan selektor
2. Pemrosesan data
3. Pengaturan output berupa heater, motor pengaduk dan display LCD

3.2.4.1. Penentuan Fungsi Pin Pada AT89C51

Dengan memakai mikrokontroler AT89C51 sebagai basis sistem minimum ditentukan bahwa :

- P1.0 – P1.7 Dihubungkan ke output ADC, dan digunakan sebagai saluran masukan bagi data
- P2.0. Dihubungkan ke RS (LCD)
- P2.1. Dihubungkan ke E (LCD)
- P2.2. Dihubungkan ke Driver Relay Heater untuk mengaktifkan heater.
- P2.3.Dihubungkan ke DRIVER Relay Motor untuk mengaktifkan motor pengaduk.
- P2.4-P2.5. Dihubungkan ke Tombol Selektor
- P2.6. Dihubungkan Ke Buzzer untuk mengaktifkan buzzer.
- X1-X2. Dihubungkan ke oscillator
- EA/Vp. Dihubungkan ke VCC dan Enable dari ADC

3.2.4.2. Baud Rate

Baud rate atau kecepatan transmisi merupakan hal yang sangat penting dalam komunikasi data seri asinkron, mengingat dalam komunikasi tersebut *clock* tidak ikut dikirimkan, jadi harus diusahakan *baud rate* mengikuti standar yang sudah ada .

Dalam perencanaan ini *baud rate* yang dipilih adalah sebesar 1200bps dan oleh karenanya frekwensi kristal yang sesuai untuk baud rate tersebut adalah 11,059MHz. dengan demikian transmisi data per byte memerlukan waktu sebesar:

$$t_{Transmisi\ data} = \frac{(Data) + (Start) + (Stop)}{Baud\ Rate} = \frac{8+1+1}{1200} = 8,33mDetik$$

Dimana, $T_{Transmisi}$

Waktu yang diperlukan untuk transmisi data per byte

Data, Start, Stop = Jumlah bit masing – masing variabel. Sebuah parameter lain diperlukan oleh program untuk pengaturan *baud rate*. Parameter tersebut adalah sebuah nilai yang harus diisi pada register Timer 1 byte tinggi atau TH1. Nilai tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan :

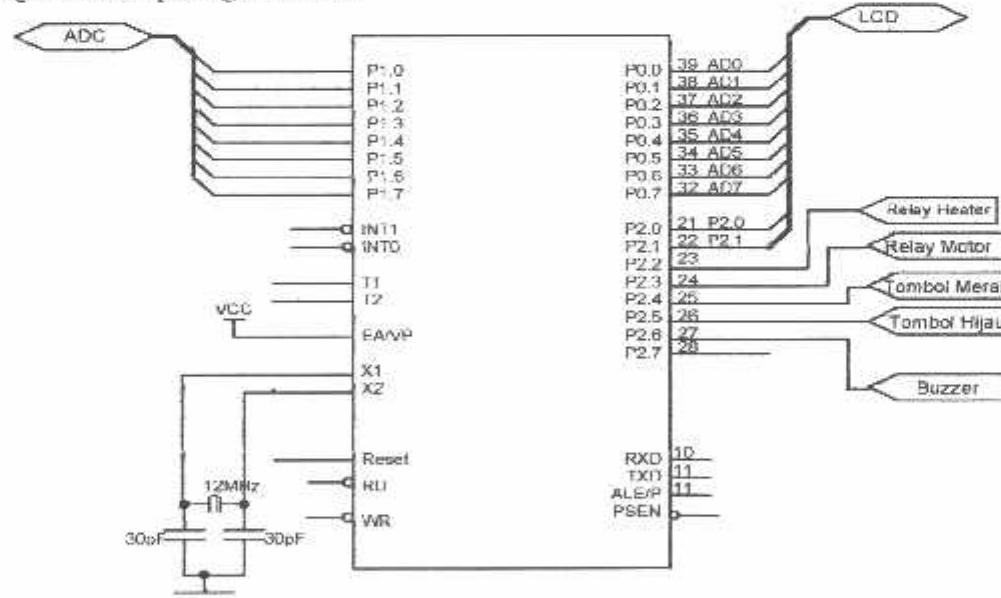
$$TH1 = 256 - \frac{K \times f \text{ kristal}}{32 \times 12 \times \text{Band rate}}$$

$$TH1 = 256 - \frac{1 \times 11,059 \text{ MHz}}{32 \times 12 \times 1200 \text{ bps}} = 232,000$$

Jadi nilai yang akan diisikan ke register TH1 adalah 232 atau E8h.

3.2.4.3. Rangkaian Lengkap

Sebuah rangkaian lengkap rancangan sistem minimum AT89C51 dapat digambarkan pada gambar 3.6

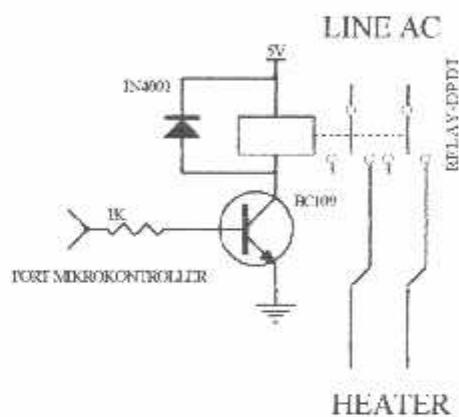


Gambar 3.6. Rangkaian Lengkap Sistem Minimum AT89C51

Sumber : Perancangan

3.2.5 Perancangan Driver Relay

Driver relay ini digunakan untuk memutus dan menghubungkan supply ke heater. Rangkaian driver ini dirancang sesuai program mikrokontroller, dimana terdapat sinyal kontrol dari mikrokontroller. Bila sinyal ini berlogika tinggi (5 volt) heater ataupun yang dikontrol akan terhubung dengan saluran sumber Line AC, dan apabila sinyal dari mikrokontroller berlogika (0 volt) heater yang dikontrol terputus dengan saluran sumber Line AC.



Gambar 3.7 Rangkaian Driver Relay

Sumber : Perancangan

Gambar rangkaian driver relay diperlihatkan dalam Gambar 3.7. Pensaklaran supply heater dilakukan oleh relay yang dikendalikan oleh transistor. Transistor-transistor yang digunakan dari jenis BC 109, dengan β sebesar 100. Dari hasil pengukuran diperoleh resistansi belitan relay sebesar $R_{relay} = 105 \Omega$.

Arus kolektor transistor $I_C = \frac{V_{CC}}{R_{relay}} = \frac{5}{105} = 47,6$ mA, kemudian dari rumus

$I_B = \frac{I_C}{\beta}$ diperoleh $I_B = 4,76$ mA. V_{in} adalah tegangan logika tinggi dari MK = 5 volt.

Dengan memasukkan nilai-nilai yang bersesuaian dari rumus berikut

$I_B = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_B}$ diperoleh $R_B = 902,8$ Ω , disesuaikan dengan nilai resistor di

pasaran menjadi 1 k Ω .

Pada kaki-kaki belitan relay yang dialiri arus kolektor dipasang dioda. Bila arus dari kolektor diputus maka arus balik dari belitan relay akan dihubung singkat dan tidak merusak transistor. Digunakan dioda 1N4001 yang mampu melewatkkan arus maksimum 1 A.

3.2.6. Heater

Dalam perancangan skripsi ini karena bersifat miniatur maka heater yang digunakan adalah heater yang mempunyai daya sebesar 350 Watt, Tegangan 220 Volt, Frekwensi 50 Hz

3.2.7. Motor Pengaduk

Motor ini berfungsi untuk mengaduk susu agar pemanasan merata.

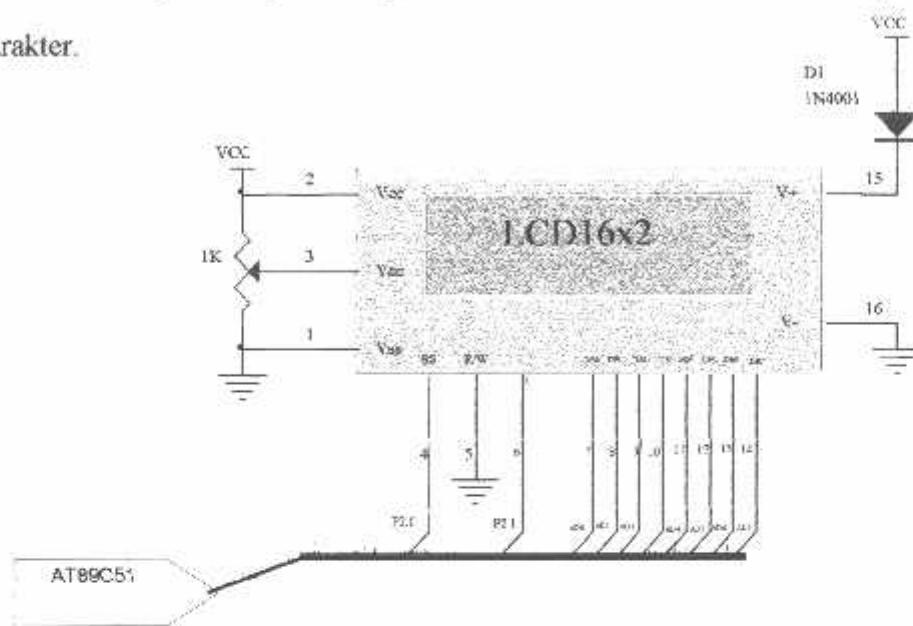
Spesifikasi motor:

Tegangan : 12 Volt

Arus : 0.5 mA

3.2.9. Tampilan LCD

Dalam perancangan ini digunakan suatu tampilan berupa LCD. LCD ini memudahkan untuk melihat perubahan suhu dan waktu yang ditentukan dari tombol pilihan. Dalam perancangan ini digunakan LCD dot matriks 5×7 untuk tampilan 2×16 karakter.



Gambar 3.9. Tampilan LCD

Sumber : Data Sheet LCD TM162ABC

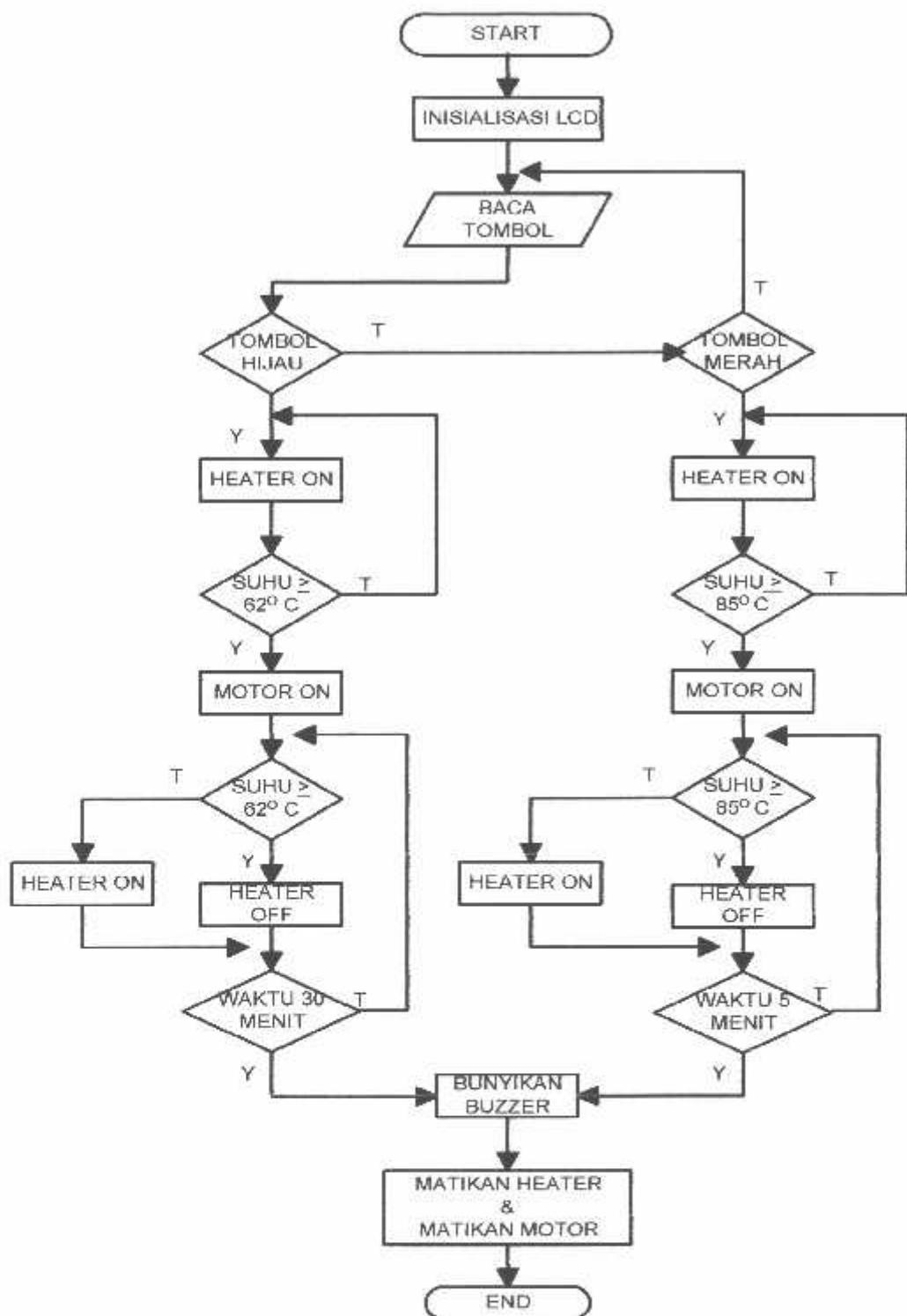
Dengan bantuan perangkat lunak yang dibuat dapat ditampilkan karakter yang diinginkan pada layer tampilan, yaitu dengan mengendalikan sinyal pada E,R\W dan RS. Untuk penggunaan dari masing-masing pin pada LCD dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3-1
Fungsi dari Kaki-kaki LCD

Nama Pin	Jumlah	I/O	Tujuan	Fungsi
Dim - DIP	8	I/Q	Mikrokontroller	Bus data berisi data yang akan ditampilkan.
E (enable)	1	Input	Mikrokontroller	Sinyal yang mengaktifkan data tulis dan baca.
R/W	1	Input	Mikrokontroller	Sinyal pilih baca dan tulis. (0 = tulis, 1 = baca).
RS	1	Input	Mikrokontroller	Sinyal pilih register. 0 = instruksi register tulis, 1 = data register.
V _{cc}	1	-	Power Supply	Penyetelan kontras pada tampilan LCD.
V _{ce}	1	-	Power Supply	Catu daya positif (5v)
V _{ss}	1	-	Power Supply	Terminal ground.

5.2. Perancangan Software

Untuk menjalankan simulasi dari peralatan yang telah dirancang diperlukan software yang disusun dengan flowchart, sebagai berikut



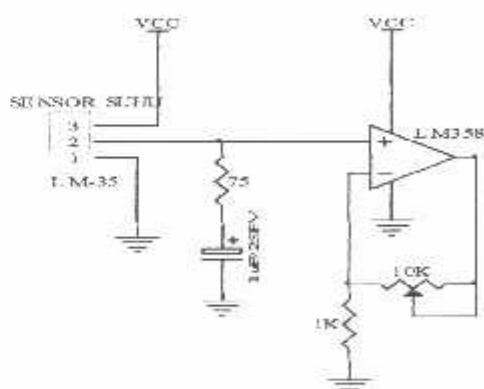
Gambar 3.10. Diagram Alir Perancangan Sofware

BAB IV

PENGUJIAN ALAT

Seringkali dalam suatu perancangan alat terjadi suatu penyimpangan hasil rancangan secara teoritis dengan pengujian dilapangan. Masalah ini umumnya disebabkan oleh banyak faktor antara lain pengaruh suhu lingkungan sekitar, toleransi dan bahkan cacat komponen yang memberikan hasil yang menyimpang dari semestinya. Biasanya masalah – masalah tersebut baru bisa diketahui jika dilakukan pengujian secara nyata terhadap alat yang dibuat. Pengujian tersebut memberikan pembuktian bahwa alat yang dirancang bisa bekerja sesuai dengan yang diinginkan oleh pencipta atau jika ternyata didapatkan penyimpangan terhadap hasil rancangan, maka berdasarkan kenyataan tersebut perancang dapat segera mengambil tindakan – tindakan untuk memecahkan masalah tersebut atau perancang dapat memberikan kesimpulan apa yang menyebabkan kejadian tersebut.

4.1 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu dan Penguat tak membalik



Gambar 4.1 Pengujian LM 35 dan Penguat Tak Membalik

4.1.1. Tujuan

Untuk mengetahui apakah sensor suhu bisa melakukan pendektsian suhu saat diberi input suhu yang berubah-ubah dan untuk mengetahui apakah penguat tak membalik dapat menguatkan tegangan sesuai yang diharapkan.

4.1.2. Peralatan yang digunakan

1. Power Supply
2. Potensiometer 10K
3. LM 35 dan LM 358 beserta komponen penguatan
4. Multimeter
5. Heater pemanas sebagai sumber panas

4.1.3. Langkah – Langkah Pengujian

1. Menyusun alat seperti gambar 4.1
2. Setelah Power Supply dihidupkan apakah tegangan keluar dari output LM 358
3. Memeriksa penguatan LM 358

4.1.4. Hasil Pengujian

Tabel 4-1.

Pengujian LM 35

Suhu°C	Penguatan	Vout Ukur (mV)	Vout Hitung (mV)	Error(%)
29	10	280	290	3.57
30	10	290	300	3.44
40	10	390	400	2.56
50	10	490	500	2.04

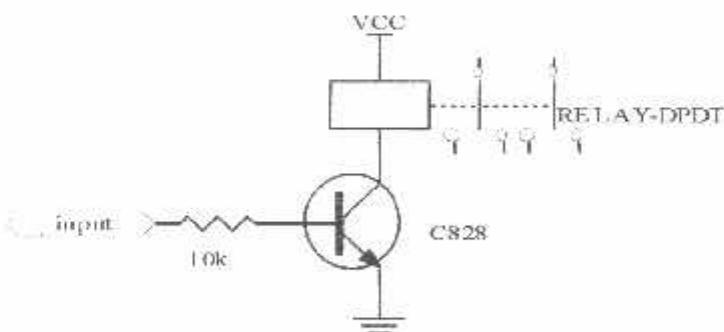
60	10	590	600	1.69
62	10	610	620	1.63
70	10	690	700	1.44
80	10	790	800	1.26
85	10	840	850	1.19

Sumber : Pengujian

Dari hasil pengujian sensor suhu LM 35 dan penguat tak membalik dihasilkan bahwa sensor suhu dapat mengeluarkan suhu secara akurat yaitu 10 mV per derajat Celcius yang selanjutnya dikuatkan oleh penguat tak membalik sebesar 10 kali dengan hasil sesuai dalam tabel 4.1. Hal ini menunjukkan rangkaian ini bekerja dengan baik. Dari hasil pengujian di atas juga dapat diketahui kesalahan (error) dalam proses, yaitu sebagai berikut:

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

4.2 Pengujian Rangkaian Driver Relay Heater dan Pengaduk



Gambar 4.2. Pengujian Rangkaian Driver Relay

4.2.1. Tujuan

Untuk mengetahui apakah driver relay yang digunakan dapat menghidup dan mematikan relay dengan tegangan input dari port mikrokontroler sesuai yang diharapkan.

4.2.2. Peralatan yang digunakan

1. Power Supply
2. Driver Relay
3. Multimeter

4.2.3. Langkah – Langkah Pengujian

1. Menyusun alat seperti gambar 4.4
2. Setelah Power Supply dihidupkan masukan tegangan input
3. Memeriksa relay apakah dalam kondisi on/off

4.2.4. Hasil Pengujian

Tabel 4-2.

Pengujian driver relay

No	Tegangan input	logika	Kondisi Relay
1	0 V	Low	off
2	1 V	Low	off
3	1.5 V	low	off
4	2 V	High	on
5	3 V	High	on
6	5 V	High	on

Sumber : Pengujian

Dari hasil pengujian driver relay yang digunakan untuk pemanas / heater dan pengaduk dilakukan dengan memberikan tegangan masukan pada basis transistor. Tegangan masukan dimulai logika low sebesar 0 V kemudian dilanjutkan logika high mulai tegangan 2 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa relay off pada kondisi tegangan masukan antara 0 V sampai 1.9 Volt dan relay dalam kondisi on pada tegangan masukan antara 2 V sampai 5 Volt.

Power Supply dihidupkan tekan tombol

3. Memeriksa logic probe apakah kondisi low atau high

4.3 Pengujian Tombol Selektor

4.3.1 Tujuan Pengujian

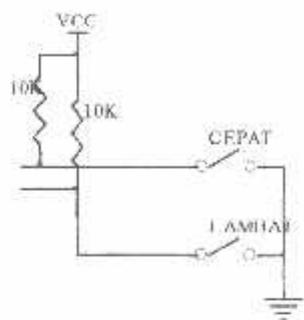
Pengujian tombol selector bertujuan untuk menguji apakah tombol selector dapat berfungsi untuk memberikan logika low pada saat tombol ditekan dan memberikan logika high pada saat tombol tidak ditekan.

4.3.2 Peralatan yang digunakan

1. Power Supply
2. Rangkaian Tombol Selektor
3. Logic Probe

4.3.3 Langkah – Langkah Pengujian

1. Menyusun alat seperti gambar 4.5
2. Setelah Power Supply dihidupkan tekan tombol
3. Memeriksa logic probe apakah kondisi low atau high



Gambar 4.3. Rangkaian Tombol Selektor

4.3.4. Hasil Pengujian

Tabel 4-3.

Pengujian Tombol Selektor

No	Kondisi Tombol	Logika	Led Logic Probe
1	Ditekan	Low	Off
2	Bebas	high	On

Dihasilkan kondisi low pada saat tombol ditekan dan high pada saat tombol dilepas, hal ini menunjukkan tombol selector berfungsi dengan baik.

4.4 Pengujian Sistem Keseluruhan

4.4.1 Tujuan:

- Untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan perencanaan.

4.4.2 Peralatan yang diperlukan:

- Rangkaian sistem Pasteurisasi Susu

4.4.3 Langkah Pengujian:

- Membuat perangkat lunak yang telah direncanakan dan mengisikannya pada memory program mikrokontroller.
- Mengoperasikan sistem sesuai dengan yang direncanakan dan mengamati hasilnya

4.4.4. Hasil Pengujian:

4.4.4.1. Hasil Pengujian Menggunakan Sistem Holding

Pada pengujian dengan menggunakan sistem Holding dapat dilihat hasil pengujiannya pada table 4.4.

Table 4-4.

Hasil Pengujian Dengan Sistem Holding

Suhu °C	Waktu	Heater	Motor
28	00:00	On	Off
29	06:10	On	Off
30	08:03	On	Off
40	14:48	On	Off
50	20:53	On	Off
60	27:16	On	Off
62	28:43	Off	On

Dari hasil pengujian menggunakan sistem holding di atas, maka waktu total yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 62°C adalah 28:43 + 30 menit = 58:30menit

4.4.4.2. Hasil Pengujian Menggunakan Sistem High Temperature Short Time

Pada pengujian dengan menggunakan sistem High Temperature Short Time dapat dilihat hasil pengujiannya pada table 4.5

Tabel 4-5.
Hasil Pengujian Dengan Sistem High Temperature Short Time

Suhu °C	Waktu	Heater	Motor
28	00:00	On	Off
29	06:10	On	Off
30	08:03	On	Off
40	14:48	On	Off
50	20:53	On	Off
60	27:16	On	Off
70	34:16	On	Off
80	39:05	On	Off
85	41:49	Off	On

Dari hasil pengujian menggunakan sistem high temperature short time di atas, maka waktu total yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 85°C adalah 41:49 + 5 menit = 46:49menit

4.4.5. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Dari hasil pengujian didapatkan hasil yaitu apabila tombol selektor ditekan pada proses holding, suhu susu diperoleh sebesar 62°C selama 30 menit, dan apabila tombol selektor ditekan pada high tempcratur didapatkan suhu 85°C selama 5 menit. Hal ini menunjukkan sistem keseluruhan dari alat Pasteurisasi susu telah bekerja sebagaimana mestinya yang diharapkan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perancangan dan pembuatan alat miniatur pasteurisasi susu sapi menggunakan mikrokontroller AT89C51, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat pasteurisasi ini telah dibuat dan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang telah dirancang.
2. Sensor suhu yang digunakan adalah IC LM35. Dimana IC ini mempunyai grafik yang linier, yaitu tegangan keluaran (V_o) berbanding lurus dengan perubahan suhu atau temperature dalam $^{\circ}\text{C}$. Sensor ini menghasilkan kenaikan tegangan 10mV pada keluaran setiap kenaikan 1°C dengan range suhu antara $+2^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $+150^{\circ}\text{C}$.
3. Penggunaan metode sistem Holding membutuhkan waktu antara 35 menit sampai 60 menit untuk melakukan proses pasteurisasi dengan suhu 62°C yang dipertahankan selama 30 menit dari proses awal hingga selesai.
4. Penggunaan metode sistem High Temperature Short Time (HTST) membutuhkan waktu antara 30 sampai dengan 50 menit untuk melakukan proses pasteurisasi dengan suhu 85°C yang dipertahankan selama 5 menit dari proses awal hingga selesai.

5. Penggunaan metode High Temperature Short Time (HTST) dimaksudkan untuk mendapatkan efisiensi waktu. Hal ini sangat berguna apabila proses pasteurisasi ini digunakan pada kuantitas susu dalam jumlah besar.
6. LCD digunakan untuk menampilkan informasi suhu dan waktu yang telah ditentukan selama proses berlangsung

5.2. Saran

Agar penggunaan alat ini lebih bermanfaat dapat ditambahkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pemilihan suhu dan waktu pemanasan harus diperhatikan karena apabila komposisi penggunaan suhu dan waktu tidak sesuai dapat menyebabkan hilangnya kandungan gizi dari susu.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut tentang hasil proses pasteurisasi dengan menggunakan kedua metode tersebut, dan membandingkan hasilnya sehingga dapat diketahui hasil yang terbaik dari kedua proses pasteurisasi tersebut.
3. Sistem pengamanan jika suhu mengalami overheat atau terlalu tinggi suhunya dengan menambahkan sistem alarm dan otomatisasi untuk mematikan heater.

DAFTAR PUSTAKA

1. Data sheet AT89C51, www.atmel.com
2. Data Sheet LCD M1632, www.seiko.com
3. Data Sheet LM35, www.nationalsemiconductor.com
4. Eko Putra, Agfianto, Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/53 (Teori dan Aplikasi), Gava Media, Yogyakarta, 2002
5. Andi Nalwan, Paulus, Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroller 3 AT89C51, PT. Elek Media Komputindo, Jakarta, 2003.
6. Malvino Hanapi Gunawan, Prinsip-prinsip Elektronika, Erlangga, Jakarta, 1996

LAMPIRAN



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Yudhi Wibowo
NIM : 9717020
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Elektronika S-1
Masa Bimbingan : 25-Jan-2006 s/d 25-Jun-2006
Judul Skripsi : Perancangan dan Pembuatan Alat Pasteurisasi
Susu Sapi Menggunakan Mikrokontroller
AT89C51
Dosen Pembimbing : Joseph Dedy Irawan, ST, MT
Telah Dievaluasi : 83 (Delapan Puluh Tiga)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 1 039 500 274

Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing

(Joseph Dedy Irawan, ST, MT)
NIP. 132315178



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

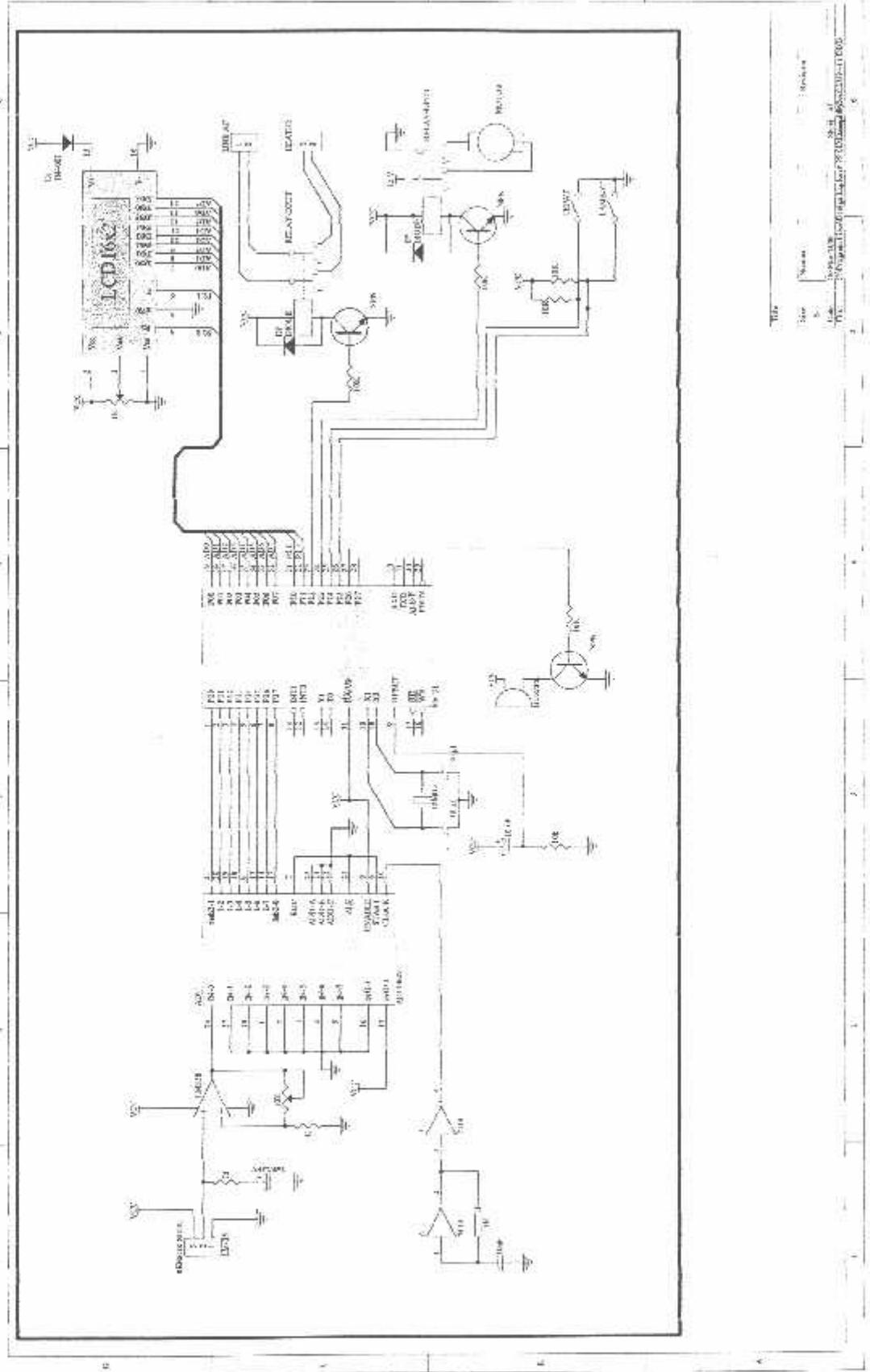
Nama : Yudhi Wibowo
Nim : 9717020
Masa Bimbingan : 25-Jan-2006 s/d 25-Jun-2006
Judul Skripsi : Perencanaan dan Pembuatan Alat Miniatur Pasturisasi Susu Sapi Menggunakan Mikrokontroller AT89C51

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	11/03 -06	Konsultasi BAB I & BAB II	
2	13/03 -06	Konsultasi BAB III	
3	14/03 -06	Revisi BAB III	
4	15/03 -06	Konsultasi BAB IV	
5	16/03 -06	Revisi BAB IV	
6	17/03 -06	Konsultasi BAB V.	
7	18/03 -06	Revisi Judul.	
8	19/03 -06	Revisi Tabel Pengujian	
9	19/03 -06	Revisi Range Sensor suhu	
10			

Malang, 2006
Dosen Pembimbing

Joseph Dedy Irawan, ST MT

Form S-4a



***** DESKRIPSI ALAT *****

; P1.0 => D0 ADC 0809
; P1.1 => D1 ADC 0809
; P1.2 => D2 ADC 0809
; P1.3 => D3 ADC 0809
; P1.4 => D4 ADC 0809
; P1.5 => D5 ADC 0809
; P1.6 => D6 ADC 0809
; P1.7 => D7 ADC 0809

; P2.6 -> RS LCD 16x2
; P2.7 => E LCD 16x2

; P2.0 => TOMBOL SISTEM 1

; P2.2 => TOMBOL SISTEM 2

; P2.3 -> RELAY PEMANAS AIR

; P2.4 => RELAY PENGADUK

; P3.5 -> BUZZER

; KONSTANTA BEBAS

DATALCD	EQU	21H
RATUSAN	EQU	22H
PULUHAN	EQU	23H
SATUAN	EQU	24H
DATAADC	EQU	25H
TANDA	EQU	26H
DETIK	EQU	27H
MENIT	EQU	28H

ORG 0000H
JMP START

ORG 0BH
LJMP TIMER_0

***** RUTIN INTERRUPT TIMER 0 *****

TIMER_0:

PUSH	ACC
MOV	TH0,#3CH
MOV	TL0,#0B5H
INC	R5
CJNE	R5,#20,METTU ; 1 DETIK

```
MOV      R5,#00H
INC      DETIK
MOV      A,DETIK
CJNE    A,#60,METTU
MOV      DETIK,#00
INC      MENIT
MOV      A,MENIT
CJNE    A,#60,METTU
MOV      MENIT,#00
```

METTU:

```
POP      ACC
RETI
```

; INISIALISASI TIMER

INIT:

```
MOV      TMOD,#21H
```

=====

; INISIALISASI TIMER 0

=====

```
MOV      TH0,#3CH
MOV      TL0,#0B5H
MOV      IE,#10000010B
```

```
; TIMER DISET 50 MILISECOND
; TIMER DISET 50 MILISECOND
; ENABLE INTERRUPT TIMER 0
```

=====

; SUBRUTIN DELAY LAMA

=====

DELAY_LAMA:

```
PUSH    ACC
PUSHI   PSW
PUSH    07H
PUSH    06H
PUSH    05H
MOV     R5,#255
PUTA3: MOV     R6,#255
PUTA2: MOV     R7,#255
PUTA1: DJNZ   R7,PUTA1
        DJNZ   R6,PUTA2
        DJNZ   R5,PUTA3
POP     05H
POP     06H
POP     07H
POP     PSW
POP     ACC
RETI
```

```
*****  
;
```

SUBRUTIN DELAY AWAL

```
*****  
;
```

DELAYAWAL:

PUSH	ACC
PUSH	04H
PUSH	03H
PUSH	02H
MOV	R2,#15
PUTAR3:	MOV R3,#255
PUTAR2:	MOV R4,#255
PUTARI:	
JNB	P2.0,METUOO
JNB	P2.2,METUOO
DJNZ	R4,PUTARI
DJNZ	R3,PUTAR2
DJNZ	R2,PUTAR3

METUOO:

POP	02H
POP	03H
POP	04H
POP	ACC
RET	

```
*****  
;
```

SUBRUTIN DELAY

```
*****  
;
```

DELAY:

PUSH	ACC
PUSH	04H
PUSH	03H
PUSH	02H
MOV	R2,#1
PUTARR3:	MOV R3,#200
PUTARR2:	MOV R4,#200
PUTARR1:	DJNZ R4,PUTARR1
	DJNZ R3,PUTARR2
	DJNZ R2,PUTARR3
POP	02H
POP	03H
POP	04H
POP	ACC
RET	

```
*****  
;
```

SUBRUTIN DELAYLCD

```
*****  
;
```

DELAYLCD:

PUSH	00
PUSH	01

```

    MOV      R0,#0FH
IISI:
    MOV      R1,#01FH
    DJNZ    R1,$
    DJNZ    R0,IISI

    POP     01
    POP     00
    RET

;*****SUB RUTIN KONVERSI HEXA KE DESIMAL*****
; SUB RUTIN KONVERSI HEXA KE DESIMAL
;*****SUBRUTIN UNTUK MENULIS DATA KONTROL*****
; SUBRUTIN UNTUK MENULIS DATA KONTROL

HEXDES:
    PUSH    B
    PUSH    ACC

    MOV     B,#100
    DIV     AB
    ORL     A,#30H
    MOV     RATUSAN,A
    MOV     A,B

    MOV     B,#10
    DIV     AB
    ORL     A,#30H
    MOV     PULUHAN,A
    MOV     A,B

    ORL     A,#30H
    MOV     SATUAN,A

    POP     ACC
    POP     B

    RET

;*****SUBRUTIN UNTUK MENULIS DATA KONTROL*****
; SUBRUTIN UNTUK MENULIS DATA KONTROL
;*****SUBRUTIN UNTUK MENULIS DATA KONTROL*****
; SUBRUTIN UNTUK MENULIS DATA KONTROL

CTUL:
    PUSH    ACC

    CLR     P2,6
    CLR     P2,7

    MOV     A,DATALCD
    MOV     P0,A

    SETB   P2,7
    CALL   DELAYLCD

```

```

CLR      P2.7
POP      ACC
RET

;*****SUBRUTIN UNTUK MENULIS DATA KARAKTER*****
;*****DTUL:*****  

DTUL:  

PUSH    ACC  

SETB    P2.6
CLR     P2.7  

MOV     A,DATALCD
MOV     P0,A  

SETB    P2.7
CALL    DELAYLCD
CLR     P2.7  

POP     ACC
RET

;*****INISIALISASI LCD*****  

;*****INITLCD:*****  

INITLCD:  

MOV     DATALCD,#03FH      ;FUNCTION SET
CALL   CTUL
MOV     DATALCD,#0CH
CALL   CTUL
MOV     DATALCD,#06H
CALL   CTUL
MOV     DATALCD,#01H      ;DISPLAY CLEAR
CALL   CTUL
MOV     DATALCD,#0CH
CALL   CTUL
RET

;*****SUBRUTIN HAPUS LCD*****  

;*****CLEARLCD:*****  

CLEARLCD:  

MOV     DATALCD,#01H
CALL   CTUL
MOV     DATALCD,#80H
CALL   CTUL
RET

```

```

*****  

; SUB RUTIN SETTING TAMPILAN  

*****  

POSS2:  

    MOV      DATALCD,#11000000B ;POSISI DI BARIS 2  

    JMP      SETPOSS  

POSS1:  

    MOV      DATALCD,#10000000B ;POSISI DI BARIS 1  

SETPOSS:  

    CALL     CTUL  

    RET  

*****  

; SUB RUTIN PRINT STRING BARIS 1 DAN 2  

*****  

----- BARIS 1 KOLOM 1 -----  

PRNSTR1:  

    CALL     POSS1 ;CETAK STRING DI BARIS 1 KOL 0  

    JMP      OUTSTR ;BARIS 1 KOL 0  

;CETAK STRING  

----- BARIS 2 KOLOM 1 -----  

PRNSTR2:  

    CALL     POSS2 ;BARIS 2 KOL 0  

    JMP      OUTSTR ;AMBIL DATA DULU  

PRNSTRLP:  

    MOV      DATALCD,A  

    CALL     DTUL ;KIRIM SEBAGAI OPERASI DATA  

    INC      DPTR ;POSISI DATA BERIKUTNYA  

OUTSTR:  

    CLR      A ;POINTER-0  

    MOVC    A,@A+DPTR ;AMBIL DATA DI EPROM BERDASARK DPTR  

    JNZ     PRNSTRLP ;MASIH ADA DATA?  

    RET     ;KEMBALI KE PROGRAM UTAMA  

*****  

; SUBRUTIN INPLT ADC 0809  

*****  

INPUTADC:  

    PUSH    ACC  

    MOV     C,P1.0  

    MOV     ACC.7,C  

    MOV     C,P1.1  

    MOV     ACC.6,C  

    MOV     C,P1.2  

    MOV     ACC.5,C  

    MOV     C,P1.3  

    MOV     ACC.4,C

```

```
MOV      C,P1.4
MOV      ACC.3,C
MOV      C,P1.5
MOV      ACC.2,C
MOV      C,P1.6
MOV      ACC.1,C
MOV      C,P1.7
MOV      ACC.0,C

MOV      DATAADC,A

POP      ACC
RET
```

```
*****  
: PROGRAM UTAMA  
*****
```

```
START:
```

```
MOV      SP,#60H
MOV      TANDA,#00H
CALL    INIT
CALL    INITLCD
SETB   P3.5
CALL    DELAY
CLR    P3.5
CALL    DELAY
CALL    DELAY
SETB   P3.5
CALL    DELAY
CALL    DELAY
CALL    DELAY
CLR    P3.5

SETB   P2.0
SETB   P2.2
SETB   P2.3
SETB   P2.4

MOV      DPTR,#MENU1
CALL    PRNSTR1
MOV      DPTR,#MENU2
CALL    PRNSTR2
CALL    DELAYAWAL

MOV      DPTR,#MENU01
CALL    PRNSTR1
MOV      DPTR,#MENU02
CALL    PRNSTR2
CALL    DELAYAWAL
```

```
MOV      DPTR,#MENU03
CALL    PRNSTR1
MOV      DPTR,#MENU04
CALL    PRNSTR2
CALL    DELAYAWAL

WAIT_KEY:
MOV      DPTR,#MENU1
CALL    PRNSTR1
MOV      DPTR,#MENU2
CALL    PRNSTR2
CALL    DELAYAWAL
JNB    P2.0,MODE1
JNB    P2.2,MODE22

MOV      DPTR,#MENU3
CALL    PRNSTR1
MOV      DPTR,#MENU4
CALL    PRNSTR2
CALL    DELAYAWAL
JNB    P2.0,MODE1
JNB    P2.2,MODE22

MOV      DPTR,#MENU5
CALL    PRNSTR1
MOV      DPTR,#MENU6
CALL    PRNSTR2
CALL    DELAYAWAL
JNB    P2.0,MODE1
JNB    P2.2,MODE22

CALL    CLEARLCD
MOV      DPTR,#MENU7
CALL    PRNSTR1
CALL    DELAYAWAL
JNB    P2.0,MODE1
JNB    P2.2,MODE22

JMP    WAIT_KEY
```

MODE22:

```
JMP    MODE2
```

MODE1:

```
SETB    P3.5
CALL    DELAY
CLR     P3.5
CALL    DELAY
CALL    DELAY
```

```

SETB    P3.5
CALL    DELAY
CALL    DELAY
CALL    DELAY
CLR     P3.5
MOV    DPTR,#SUHU
CALL    PRNSTR1
MOV    DPTR,#TIME
CALL    PRNSTR2
CLR     P2.3
; HEATER ON & PENGADUK OFF

WAIT_1ST:
CALL    INPUTADC
MOV    A,DATAADC
CALL    HEXDES
MOV    DATALCD,#8BH
CALL    CTUL
MOV    DATALCD,RATUSAN
CALL    DTUL
MOV    DATALCD,PULUHAN
CALL    DTUL
MOV    DATALCD,SATUAN
CALL    DTUL

MOV    A,DATAADC
CJNE   A,#61,CEK_CRY_1ST

LEBIH_1ST:
JMP    START_COUNT

CEK_CRY_1ST:
JNC    LEBIH_1ST
JMP    WAIT_1ST

START_COUNT:
CLR    P2.4
MOV    R5,#00H
MOV    MENIT,#00H
MOV    DETIK,#00H
MOV    TANDA,00H
SETB   TR0
; PENGADUK ON & HEATER ON

WAIT_MODEI_END:
CALL    INPUTADC
MOV    A,DATAADC
CALL    HEXDES
MOV    DATALCD,#8BH
CALL    CTUL
MOV    DATALCD,RATUSAN
CALL    DTUL
MOV    DATALCD,PULUHAN
CALL    DTUL

```

```

        MOV      DATALCD,SATUAN
        CALL    DTUL

        MOV      A,TANDA
        CJNE   A,#0FFH,BLM_ATAS
        JMP     DAH_ATAS

;-----;
BLM_ATAS:
        MOV      A,DATAADC
        CJNE   A,#61,CEK_CRY1

LBH_SAMA:
        SETB    P2.3
        MOV     TANDA,#0FFH
        JMP     CEK_WAKTU

CEK_CRY1:
        JNC    LBH_SAMA
        JMP     CEK_WAKTU

;-----;
DAH_ATAS:
        MOV      A,DATAADC
        CJNE   A,#59,CEK_CRY2

KRG_SAMA:
        CLR    P2.3
        MOV     TANDA,#00H
        JMP     CEK_WAKTU

CEK_CRY2:
        JC     KRG_SAMA
        JMP     CEK_WAKTU

;-----;
CEK_WAKTU:
        MOV      A,MENIT
        CJNE   A,#30,TAMPIL_MODE1
        SETB    P2.3
        CLR     TR0
        SETB    P3.5
        CALL    DELAY
        CLR     P3.5
        CALL    DELAY
        CALL    DELAY
        SETB    P3.5
        CALL    DELAY
        CALL    DELAY
        CALL    DELAY
        CLR     P3.5
        MOV     DPTR,#SELESAI
        CALL    PRNSTR1

```

```
CALL      DELAYAWAL
CALL      DELAYAWAL
CALL      DELAYAWAL
SETB     P2.4
JMP      WAIT_KEY
```

TAMPIL_MODE1:

```
MOV  DATA1.CD,#0C9H
CALL CTUL.
MOV  A,MENIT
CALL HEXDES
MOV  DATA1CD,PULUHAN
CALL DTUL
MOV  DATA1CD,SATUAN
CALL DTUL

MOV  DATA1LCD,#0CCCH
CALL CTUL
MOV  A,DETIK
CALL HEXDES
MOV  DATA1LCD,PULUHAN
CALL DTUL
MOV  DATA1LCD,SATUAN
CALL DTUL

JMP  WAIT_MODE1_END
```

MODE2:

```
SETB    P3.5
CALL    DELAY
CLR     P3.5
CALL    DELAY
CALL    DELAY
SETB    P3.5
CALL    DELAY
CALL    DELAY
CALL    DELAY
CLR     P3.5
MOV     DPTR,#SUHU
CALL    PRNSTR1
MOV     DPTR,#TIME
CALL    PRNSTR2
CLR     P2.3           ; HEATER ON DAN PENGADUK OFF
```

WAIT_1ST2:

```
CALL    INPUTADC
MOV    A,DATAADC
CALL    IHEXDES
MOV    DATA1CD,#8BH
```

```

CALL      CTUL
MOV      DATALCD,RATUSAN
CALL      DTUL
MOV      DATALCD,PULUHAN
CALL      DTUL
MOV      DATALCD,SATUAN
CALL      DTUL

MOV      A,DATAADC
CJNE    A,#84,CEK_CRY_IST2
LEBIH_IST2:
JMP      START_COUNT2
CEK_CRY_IST2:
JNC      LEBIH_IST2
JMP      WAIT_IST2

START_COUNT2:
CLR      P2.4
MOV      R5,#00H          ; PENGADUK ON & HEATER ON
MOV      MENIT,#00H
MOV      DETIK,#00H
MOV      TANDA,#00H
SETB    TR0

WAIT_MODE2_END:
CALL    INPUTADC
MOV    A,DATAADC
CALL    HEXDES
MOV    DATALCD,#8BII
CALL    CTUL
MOV    DATALCD,RATUSAN
CALL    DTUL
MOV    DATALCD,PULUHAN
CALL    DTUL
MOV    DATALCD,SATUAN
CALL    DTUL

MOV    A,TANDA
CJNE  A,#0FFFL,BLM_ATAS2
JMP   DAH_ATAS2



---


BLM_ATAS2:
MOV    A,DATAADC
CJNE  A,#84,CEK_CRYI2
LBH_SAMA2:
SETB  P2.3
MOV   TANDA,#0FFH
JMP   CEK_WAKTU2

```

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/2^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/2^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $50 \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $\pm 10.0 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteed (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $50 \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/2^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, 0.1Ω for 1 mA load

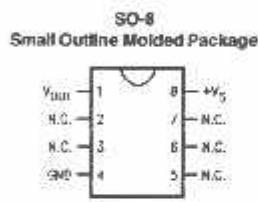
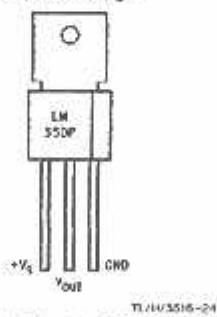
Connection Diagrams



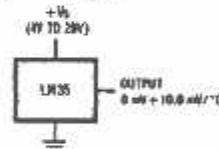
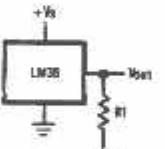
TL/H/5518-1

*Case is connected to negative pin (GND).

Order Number LM35H, LM35AH,
LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

TL/H/5518-2
Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03ATL/H/5518-2
Top View
N.C. = No Connection
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08ATO-202
Plastic PackageTL/H/5518-24
Order Number LM35DP
See NS Package Number P03A

Typical Applications

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (-2°C to $+150^\circ\text{C}$)FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor
Choose $R_1 = -V_{DD}/50 \mu\text{A}$
 $V_{DD} = +1.500 \text{ mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= 850 \text{ mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= 450 \text{ mV}$ at -55°C

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	+35V to -0.2V	SO Package (Note 12):	
Output Voltage	+6V to -1.0V	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Output Current	10 mA	Infrared (15 seconds)	220°C
Storage Temp., TO-16 Package,	-60°C to +180°C	ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
TO-92 Package,	-60°C to +150°C	Specified Operating Temperature Range: T _{MIN} to T _{MAX}	
SO-8 Package,	85°C to +150°C	(Note 2): LM35, LM35A	-55°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C	LM35C, LM35CA	40°C to +110°C
		LM35D	0°C to +100°C
Lead Temp.:			
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	900°C		
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C		
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C		

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	T _A = +25°C	±0.2	+0.5		+0.2	+0.5		°C
	T _A = -10°C	±0.3			+0.3		±1.0	°C
	T _A = T _{MAX}	1.0	±1.0		+0.4	+1.0		°C
	T _A = T _{MIN}	1.0	±1.0		±0.4		±1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	±0.18		+0.38	+0.18		±0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	+10.0	+9.9, -10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 9): 0 ≤ I _L ≤ 1 mA	T _A = +25°C	±0.4	+1.0	+3.0	±0.4	±1.0	±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T _A = +25°C 4V ≤ V _B ≤ 30V	+0.01 +0.02	+0.05	±0.1	±0.01 ±0.02	±0.05	+0.1	mV/V mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V _B = +5V, +25°C	56	67	56	67		114	μA
	V _B = +5V	105		91				μA
	V _B = +30V, +25°C	56.2	66	56.2	66		114	μA
	V _B = +30V	105.5		91.5			116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V ≤ V _B ≤ 30V, +25°C	0.2	1.0	2.0	0.2	1.0	2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current	4V ≤ V _B ≤ 30V	0.5			0.5		-0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, I _L = 0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	T _J = T _{MAX} , for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

Note 10: Unless otherwise noted, these specifications apply: 55°C < T_J ≤ +150°C for the LM35 and LM35A; -40°C < T_J ≤ +110°C for the LM35C and LM35CA; and 0 ≤ I_L ≤ +100°C for the LM35D. V_B = +5Vdc and I_{Q,OPP} = 50 μA, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from -2°C to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 9: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W (junction to ambient), and 94°C/W (junction to case). Thermal resistance of the TO-92 package is 160°C/W (junction to ambient). Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W (junction to ambient). Thermal resistance of the TO-202 package is 85°C/W (junction to ambient). For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = -10^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{MAX}}$ $T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.4 ± 0.5 ± 0.8 ± 0.8	± 1.0 ± 1.5 ± 1.5 ± 1.5		± 0.4 ± 0.5 ± 0.8 ± 0.8	± 1.0 ± 1.5 ± 1.5 ± 2.0	± 1.5 ± 1.5 ± 2.0 ± 2.0	${}^\circ\text{C}$ ${}^\circ\text{C}$ ${}^\circ\text{C}$ ${}^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{MAX}}$ $T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.8 ± 0.9 ± 0.9	± 1.5 ± 2.0 ± 2.0		${}^\circ\text{C}$ ${}^\circ\text{C}$ ${}^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	${}^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$I_{\text{MIN}} \leq I_A \leq I_{\text{MAX}}$	± 10.0	± 9.8 ± 10.2		± 10.0		± 9.8 ± 10.2	$\text{mV}/{}^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.4 ± 0.5	± 2.0 ± 5.0		± 0.4 ± 0.5	± 2.0 ± 5.0		mV/mA mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.01 ± 0.02	± 0.1 ± 0.2	± 0.01 ± 0.02	± 0.1 ± 0.2		± 0.2	mV/V mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$ $V_S = +5V$ $V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$ $V_S = +30V$	56 105 56.2 105.5	80 156 82 161	56 91 56.2 91.5	80 138 82 141			μA μA μA μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V < V_S < 30V, +25^\circ\text{C}$ $4V \leq V_S \leq 30V$	0.2 0.5	2.0 3.0		0.2 0.5	2.0 3.0		μA μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		-0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/{}^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	± 1.5		± 2.0	± 1.5		± 2.0	${}^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			${}^\circ\text{C}$

Note 3: Regulation is measured at junction junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Design limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/{}^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in ${}^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line over the device's rated temperature range.

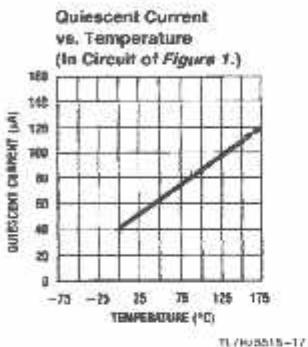
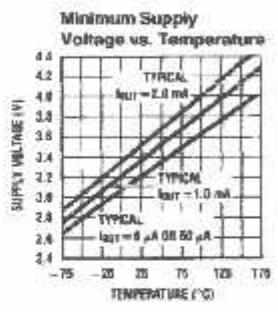
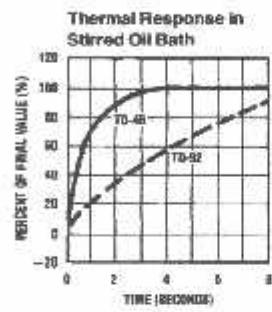
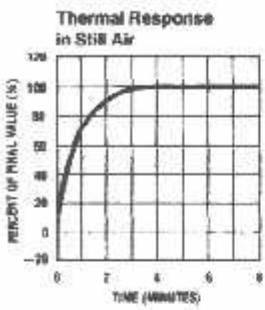
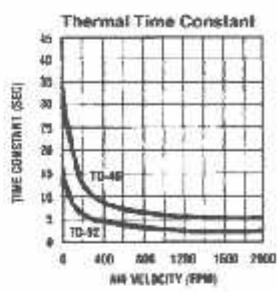
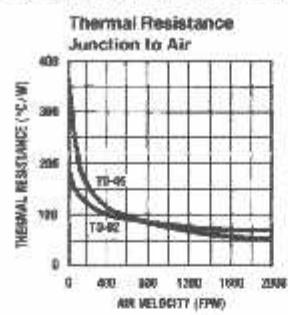
Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

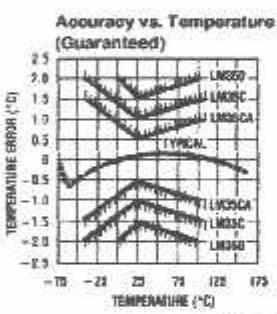
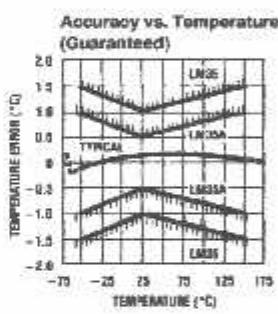
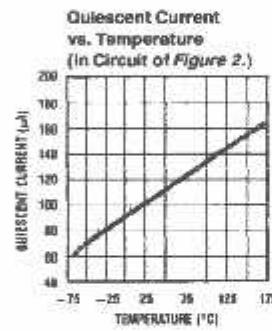
Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

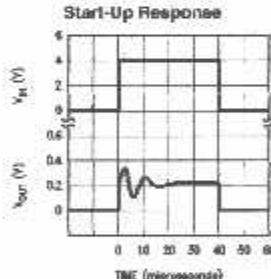
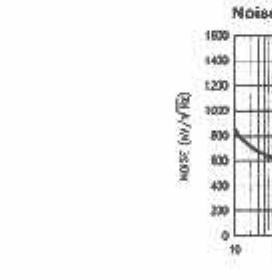
Typical Performance Characteristics



TL/H/0515-17



TL/H/0515-18



TL/H/0515-22

Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V₋ terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Lumiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance)

	TO-46, no heat sink	TO-46, small heat fin**	TO-92, no heat sink	TO-92, small heat fin**	SO-8 no heat sink	SO-8 small heat fin**	TO-202 no heat sink	TO-202 *** small heat fin
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	85°C/W	80°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W	40°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	-	-	-	-
Silicone oil (Clamped to metal, infinite heat sink)	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W	-	-	-	-
	(24°C/W)	(24°C/W)			(55°C/W)		(23°C/W)	

* Waveform type 201, or 1" dia. of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

** TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of $\frac{1}{16}$ " printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications (Continued)

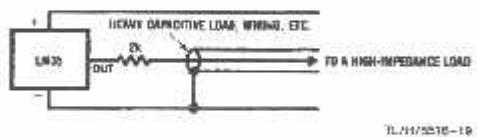


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

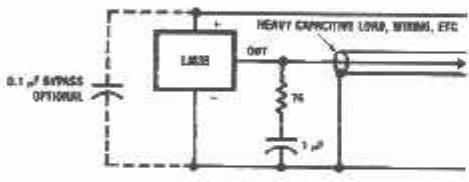


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

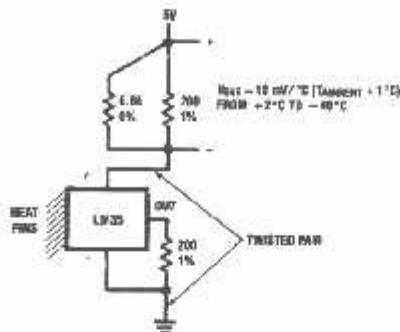
CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

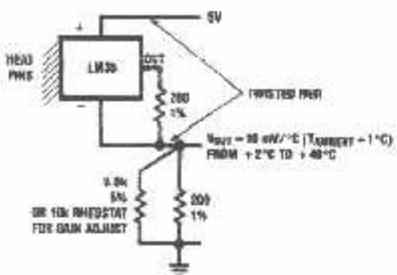
When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figures 5, 6, or 8, it is relatively immune to wiring

capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figures 13, 14, and 16.

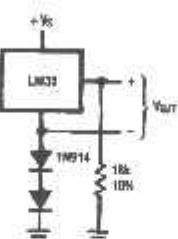
Typical Applications (Continued)



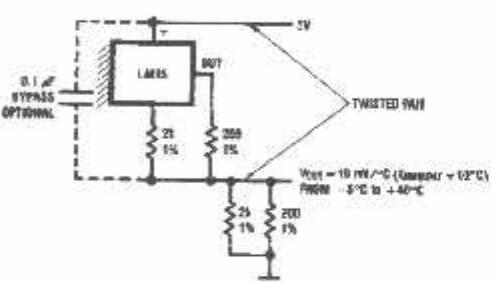
TI/H/5516-5



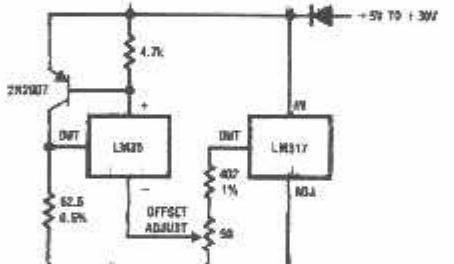
TI/H/5516-6



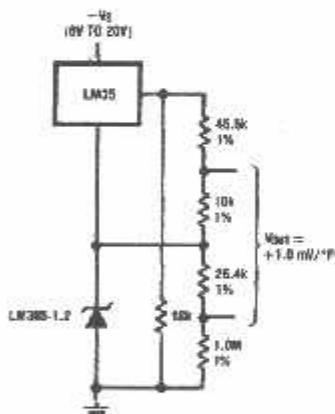
TLI/H/5516-7



TLI/H/5516-8



TLI/H/5516-9



TLI/H/5516-10

Typical Applications (Continued)

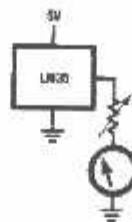


FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)
T/L/H/5518-11

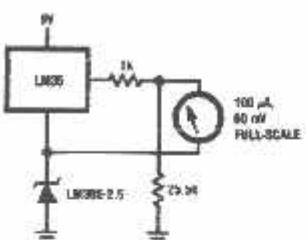


FIGURE 12. Expanded Scale Thermometer
(50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)
T/L/H/5518-12

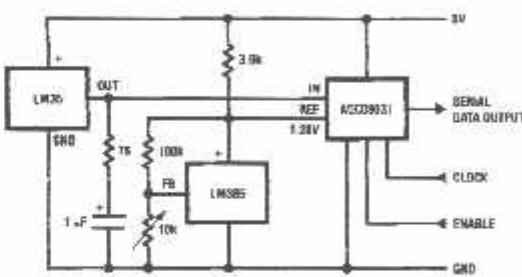


FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128°C Full Scale)
T/L/H/5518-13

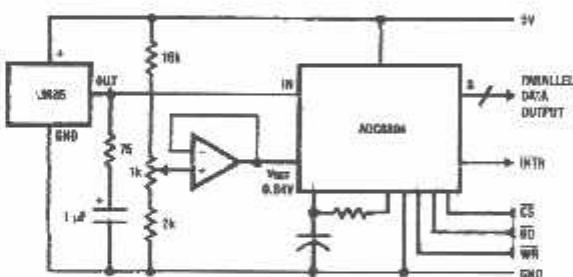
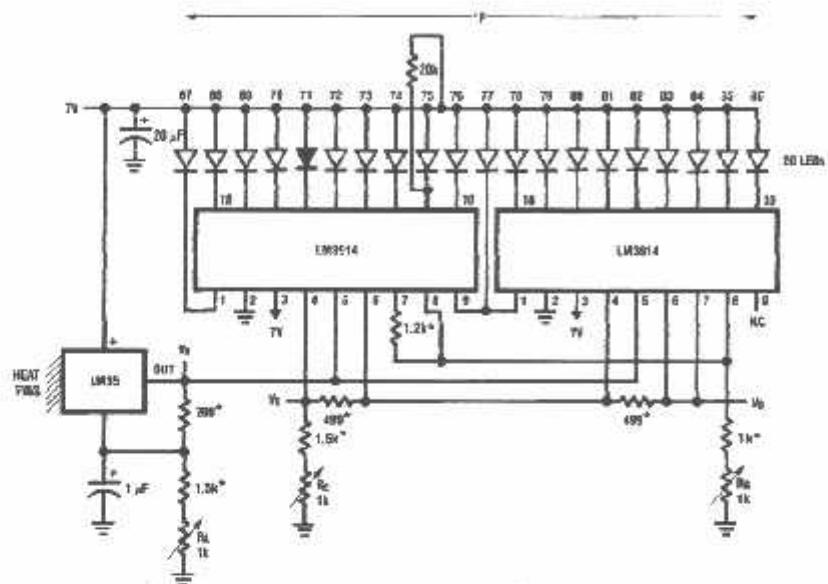


FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE® Outputs for Standard Data Bus to μP Interface) (128°C Full Scale)
T/L/H/5518-14

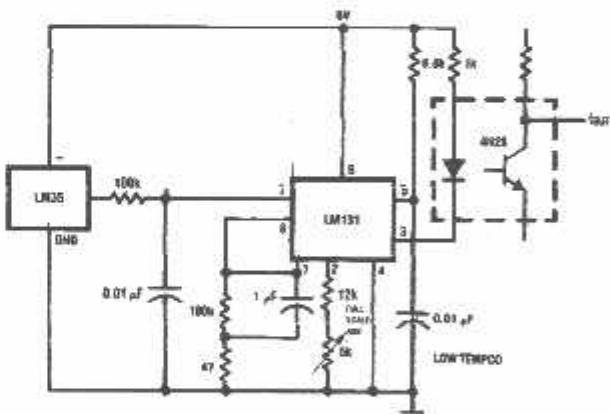
Typical Applications (Continued)



TL/H5510-15

- ± 1% or 2% over temperature
- Trim R_g for $V_{D1} = 3.075V$
- Trim R_C for $V_D = 1.955V$
- Trim R_A for $V_A = 0.075V = 100mV/C \times T_{ambient}$
- Example, $V_A = 2.275V$ at $22^{\circ}C$

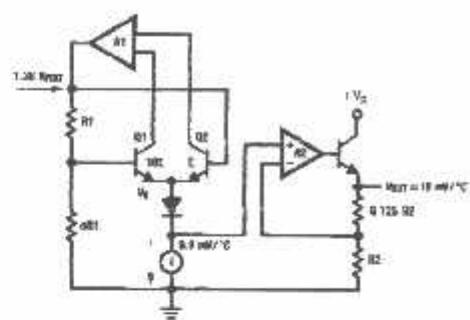
FIGURE 15. Bar-Graph Temperature Display (Dot Mode)



TL/H5510-15

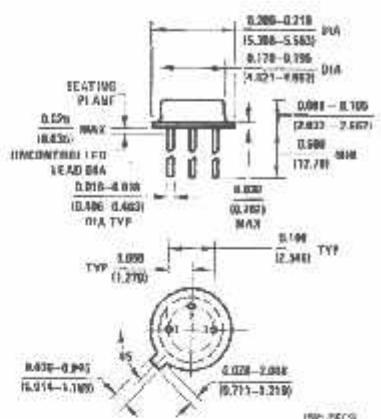
FIGURE 16. LM35 With Voltage-To-Frequency Converter And Isolated Output
(2°C to + 150°C; 20 Hz to 1500 Hz)

Block Diagram

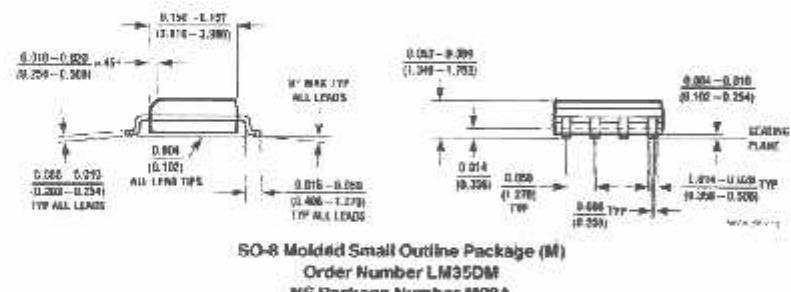
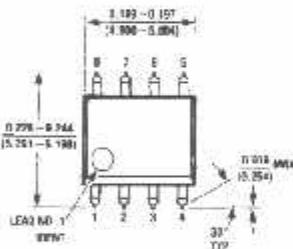


7/11/2015 6-23

Physical Dimensions inches (millimeters)

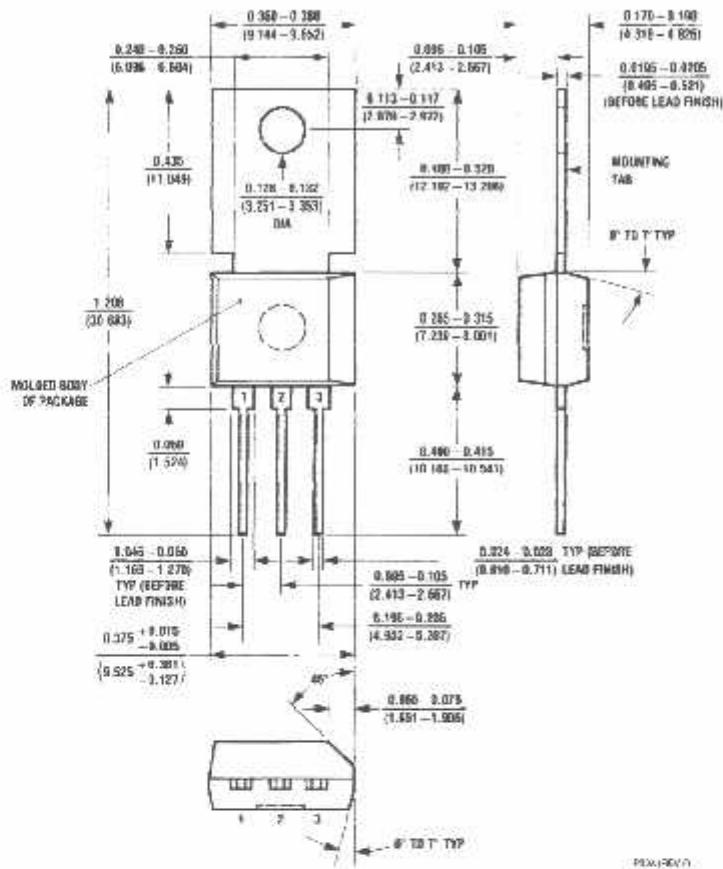


TO-46 Metal Can Package (H)
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
LM35CAH, or LM35DH
NS Package Number H03H



SO-8 Molded Small Outline Package (M)
Order Number LM35DM
NS Package Number M08A

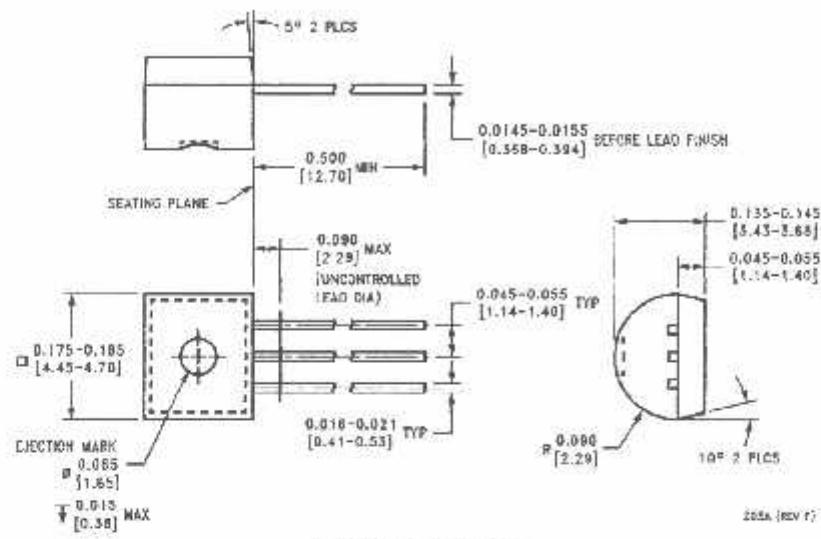
Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Power Package TD-202 (P)
Order Number LM35DP
NS Package Number P09A

P09A/P09V7

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number 203A

203A (REV F)

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 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	National Semiconductor GmbH	National Semiconductor Japan Ltd.	National Semiconductor Hong Kong Ltd.	National Semiconductor Do Brasil Ltda.	National Semiconductor (Australia) Pty. Ltd.
2900 Semiconductor Drive P.O. Box 50000 Santa Clara, CA 95052-0000 Tel: (408) 729-4400 Fax: (408) 729-4400	Ambergstrasse 10 D-8229 Freising-Weihenstephan Germany Tel: (08131) 931-0 Fax: (08131) 931-0	Sumitomo Chemical Engineering Center 10F, 1-1-1 Minami, Akasaka, Minato-ku Tokyo, Japan Tel: (03) 556-2211 Fax: (03) 556-2230	19/F, Phoenix Plaza, Ocean Centre, 5 Canton Rd Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2011-1629 Fax: (852) 2735-2900	New Caprice, Avenue Franc	Sydney, NSW Gardens Rd Business Park Drive Menai Business Park Menai, NSW Tel: (02) 528-0000 Fax: (02) 521-1132 Tel: (02) 528-0006 Fax: (02) 521-1131

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent license is implied and National reserves the right to change said circuitry at any time without notice or obligation and is not liable for applications assistance.

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 is also 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.

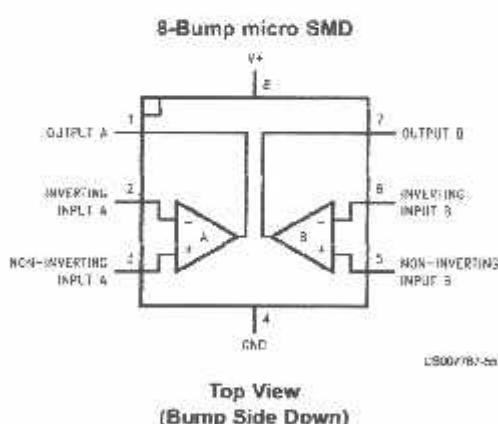
Advantages

- 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
- Pin-out same as LM158/LM1458 dual op amp

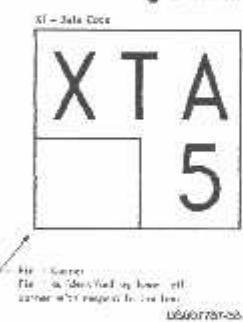
Features

- 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 ($500\ \mu A$) — 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: 0V to $V^+ - 1.5V$

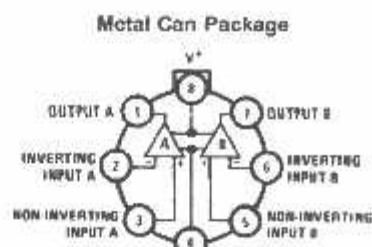
Connection Diagrams



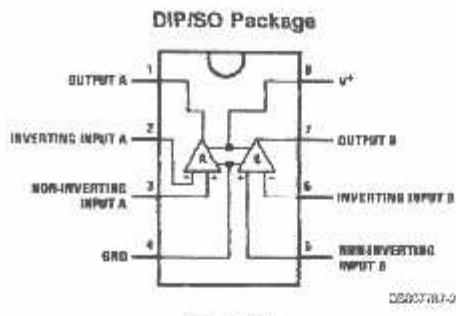
micro SMD Marking Orientation



Connection Diagrams (Continued)



Top View



Top View

DS90778U-2

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 LM358M	LM2904M	MO8A
8-Pin Molded DIP			LM358AN LM358N	LM2904N	N08E
8-Pin Ceramic DIP	LM158AJ/883(Note 1) LM158J/883(Note 1) LM158J LM158AJLQML(Note 2) LM158AJQMLV(Note 2)				J08A
TO-5, 8-Pin Metal Can	LM158AH/883(Note 1) LM158H/883(Note 1) LM158AH LM158H LM158AHLQML(Note 2) LM158AHLQMLV(Note 2)	LM258H	LM358H		H08C
8-Bump micro SMD			LM358BP LM358BPX		BPA08AAA

Note 1: LM158 is available per SMD #5982-8771001

LM158A is available per SMD #5982-8771002

Note 2: See STD MIL-DWG 5982L87710 for Radiation Tolerant Devices

Absolute Maximum Ratings (Note 11)

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 3)		
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 4)	Continuous	Continuous
V ⁺ < 15V and T _A = 25°C	50 mA	50 mA
Input Current (V _{IN} < -0.3V) (Note 5)		
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 12)	250V	250V

Electrical Characteristics

1 = +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 7), 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 8)	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 9)	0	V ⁺ -1.5	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 7), $T_A = 25^\circ C$		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	$i_{IN(+)} \text{ or } i_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$, (Note 8)		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 9) (LM2904, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	$V^+ - 1.5$	$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range: $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$) $V^- = 5V$		1	2		1	2	mA
			0.5	1.2		0.5	1.2	mA

Electrical Characteristics $V^- = +5.0V$, (Note 6), 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		VM/V
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 10)		-120		-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 4), $V^+ = 15V$	40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	(Note 7)		4		5		7		7		mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7	15		7	20		7		μV/°C
Input Offset Current	$ i_{IN(+)} - i_{IN(-)} $		30		75		100		100		nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10	200		10	300		10		pA/°C
Input Bias Current	$i_{IN(+)} \text{ or } i_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30 V$, (Note 9) (LM2904, $V^+ = 26V$)	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	0	$V^+ - 2$	$V^+ - 2$	V

Electrical Characteristics (Continued)

* = +5.0V, (Note 6), unless otherwise stated

Parameter		Conditions		LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
				Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Signal Voltage		V ⁺ = +15V (V _O = 1V to 11V) R _L ≥ 2 kΩ		25			15			25			V/mV
Output Current	V _{OH}	V ⁺ = +30V (LM2904, V ⁺ = 26V)	R _L = 2 kΩ	26			26			26			V
Output Current		V ⁺ = 5V, R _L = 10 kΩ		27	28		27	28		27	28		V
Output Current	Source	V _{IN} ⁺ = +1V, V _{IN} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 2V		10	20		10	20		10	20		mA
Output Current		V _{IN} ⁺ = +1V, V _{IN} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 2V		10	15		5	8		5	8		mA

Electrical Characteristics

* = +5.0V, (Note 6), unless otherwise stated

Parameter		Conditions		LM358			LM2904			Units
				Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Signal Voltage		V ⁺ = 15V, T _A = 25°C, R _L ≥ 2 kΩ (For V _O = 1V to 11V)		25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio		T _A = 25°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°C		65	100		50	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling		f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred), (Note 10)				-120			-120	dB
Input Current	Source	V _{IN} ⁺ = 1V, V _{IN} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C		20	40		20	40		mA
Input Current		V _{IN} ⁺ = 1V, V _{IN} ⁻ = 0V V ⁺ = 15V, T _A = 25°C, V _O = 2V		10	20		10	20		mA
Input Current		V _{IN} ⁺ = 1V, V _{IN} ⁻ = 0V T _A = 25°C, V _O = 200 mV, V ⁺ = 15V		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground		T _A = 25°C, (Note 4), V ⁺ = 15V		40	60		40	60		mA
Output Offset Voltage		(Note 7)				9			10	mV
Output Offset Voltage drift		R _S = 0Ω				7			7	μV/°C
Output Offset Current		I _{IN(+)} - I _{IN(-)}				150			45	nA
Output Offset Current drift		R _S = 0Ω				10			10	pA/°C
Output Bias Current		I _{IN(+)} or I _{IN(-)}				40	500		40	nA
Output Common-Mode Range		V ⁺ = 30 V, (Note 9) (LM2904, V ⁺ = 26V)		0	V ⁺ -2	0	V ⁺ -2		V	

Electrical Characteristics (Continued)

$V^+ = +5.0V$, (Note 6), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ($V_O = 1V$ to $11V$) $R_L \geq 2 k\Omega$	15			15			V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH} $V^+ = +30V$ (LM2904, $V^- = 26V$)	$R_I = 2 k\Omega$	26		22			V
		$R_L = 10 k\Omega$	27	28	23	24		V
Output Current Swing	V_{OL} $V^+ = 5V$, $R_I = 10 k\Omega$		5	20	5	100		mV
Output Current	Source $V_{IN}^+ = +1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$	10	20		10	20		mA
	Sink $V_{IN}^- = +1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$		5	8	5	8		mA

Note 3: For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a $-120^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $120^\circ C/W$ for DIP, $182^\circ C/W$ for Metal Can, $189^\circ C/W$ for Small Outline package, and $230^\circ C/W$ for mini 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 $+150^\circ C$ 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 4: 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 5: 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 transistor 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 non-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 $25^\circ C$).

Note 6: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq -125^\circ C$ for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$; the LM358/LM358A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2904 specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 7: $V_O = 1.4V$, $R_S = 0.2$ with V^+ from $5V$ to $30V$; and over the full input common-mode range ($0V$ to $V^- - 1.5V$) at $25^\circ C$. For LM2904, V^+ from $5V$ to $26V$.

Note 8: 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 9: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than $0.3V$ (at $25^\circ C$). 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 $-32V$ without damage ($+26V$ for LM2904), independent of the magnitude of V^+ .

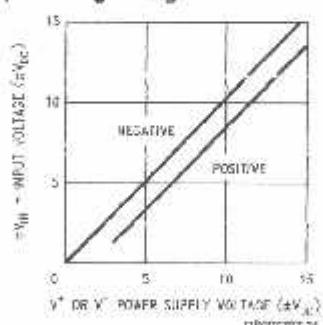
Note 10: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 11: Refer to MIL-S158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

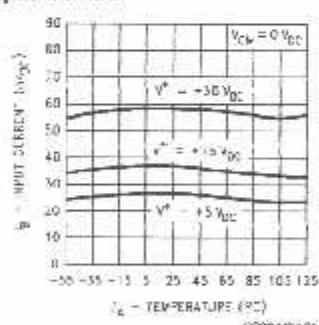
Note 12: Human body model, $1.5 k\Omega$ in series with $100 \mu F$.

Typical Performance Characteristics

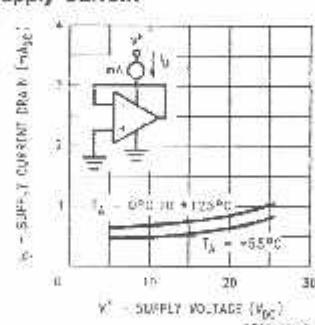
Input Voltage Range



Input Current

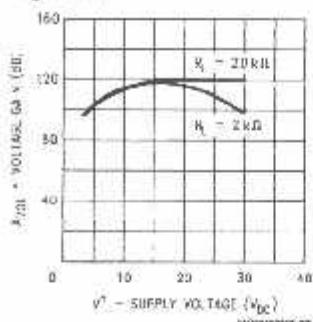


Supply Current

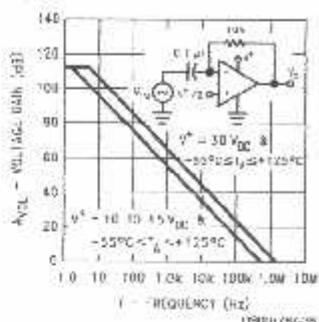


Typical Performance Characteristics (Continued)

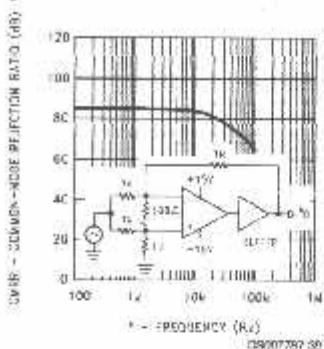
Voltage Gain



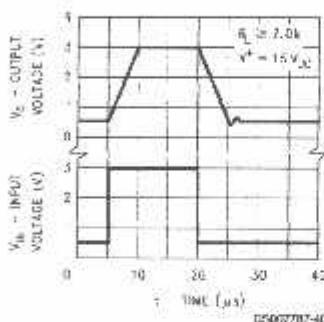
Open Loop Frequency Response



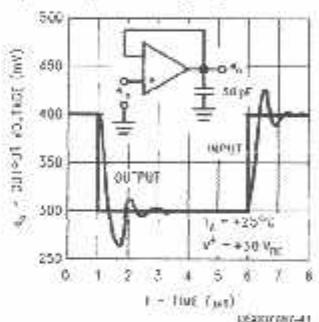
Common-Mode Rejection Ratio



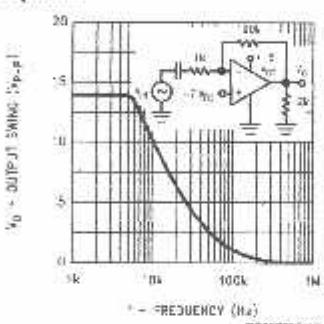
Voltage Follower Pulse Response



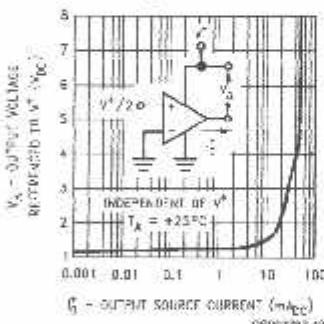
Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



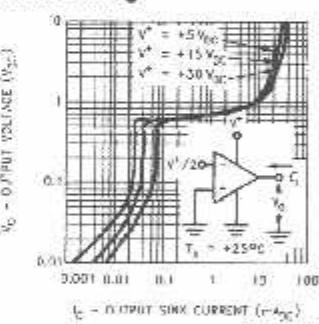
Large Signal Frequency Response



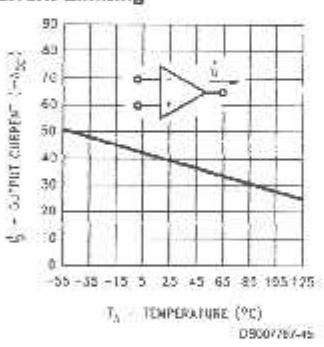
Output Characteristics Current Sourcing



Output Characteristics Current Sinking

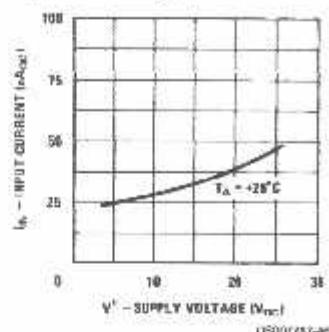


Current Limiting

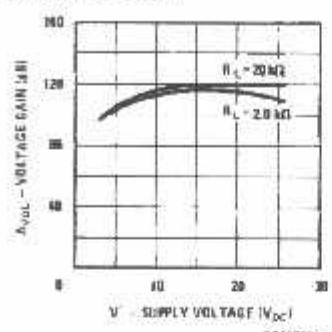


Typical Performance Characteristics (Continued)

Input Current (LM2902 only)



Voltage Gain (LM2902 only)



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.

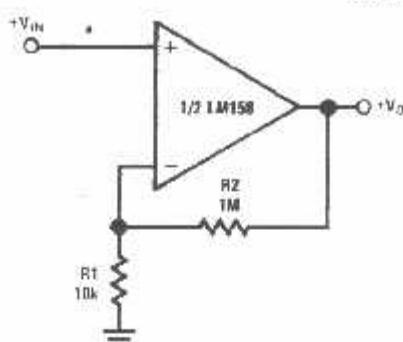
Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven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

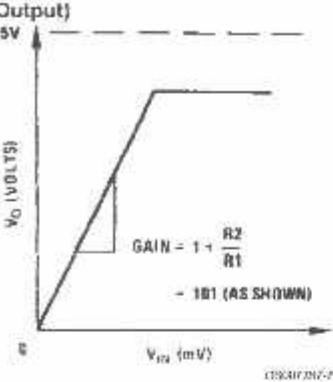
The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of V^{+/2}) will allow 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.

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



Non-Inverting DC Gain (0V Output)

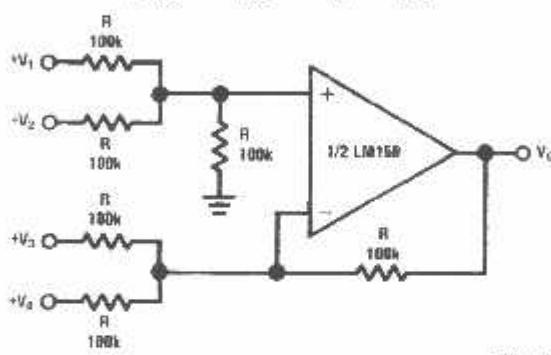
U590W15/0



U594H2N/2

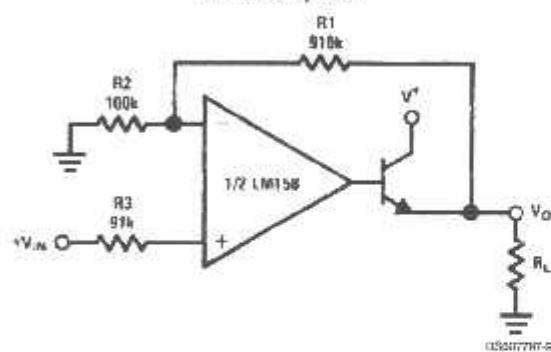
¹R not needed due to temperature independent I_{IN}

DC Summing Amplifier
($V_{IN1,2} \geq 0 \text{ V}_{\text{DC}}$ and $V_O \geq 0 \text{ V}_{\text{DC}}$)



$$\text{Output: } V_O = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

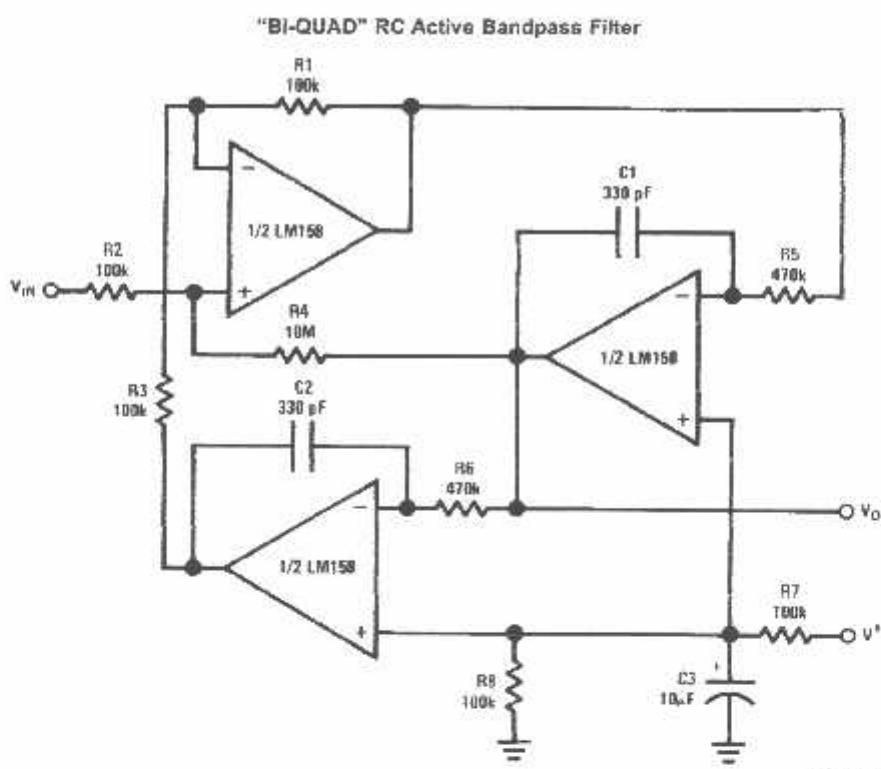
Where: $V_O = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$
 $|V_1 + V_2| \geq (V_3 + V_4)$ to keep $V_O \geq 0 \text{ V}_{\text{DC}}$

Power Amplifier

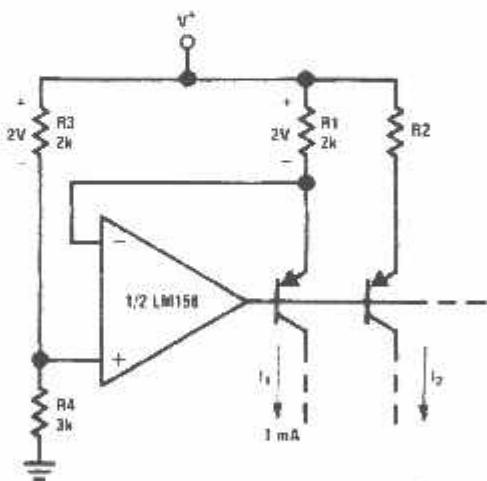
U324H7N/2

$$V_O = 0 \text{ V}_{\text{DC}} \text{ for } V_{IN} = 0 \text{ V}_{\text{DC}}$$

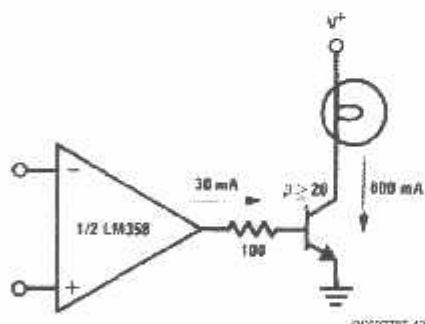
$A_V = 10$

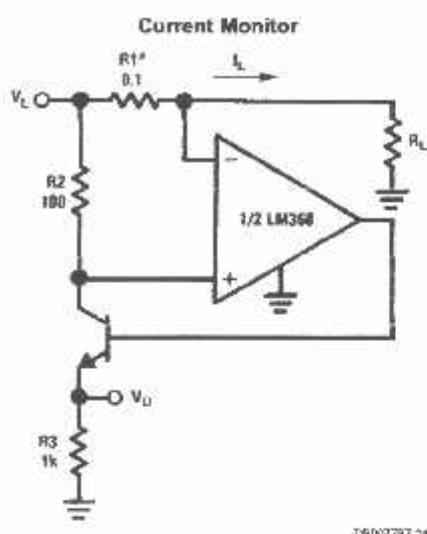
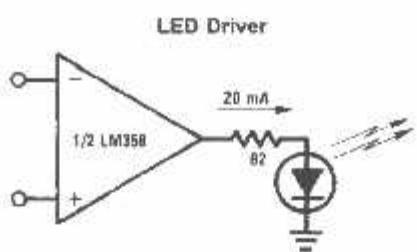
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 \text{ V}_{\text{DC}}$) (Continued)

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

Fixed Current Sources

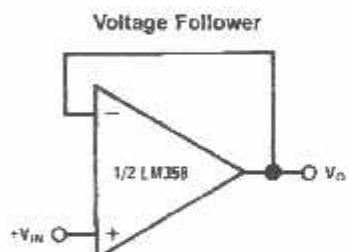
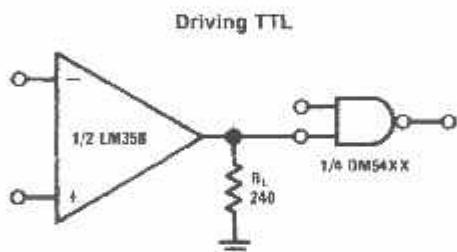
$$I_2 = \left(\frac{R_1}{R_2} \right) I_1$$

Lamp Driver

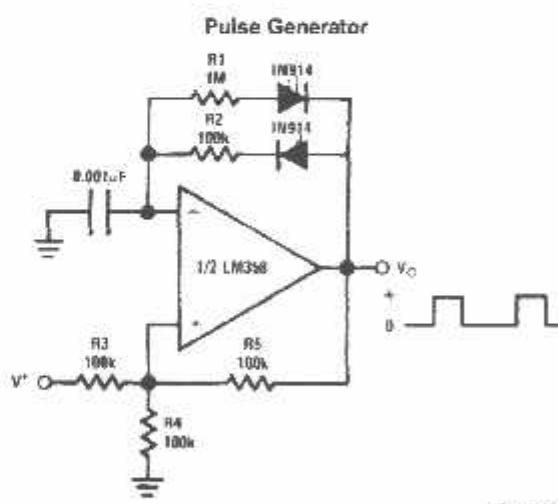
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0$ V_{DC}) (Continued)

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

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

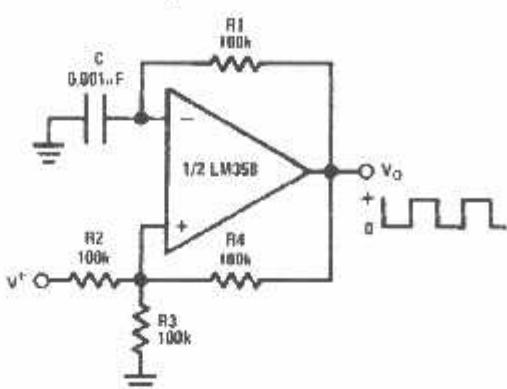


$$VO = V_{IN}$$



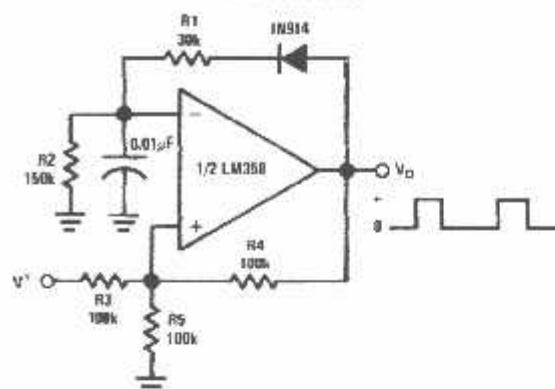
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 \text{ V}_{\text{DC}}$) (Continued)

Sawtooth Oscillator



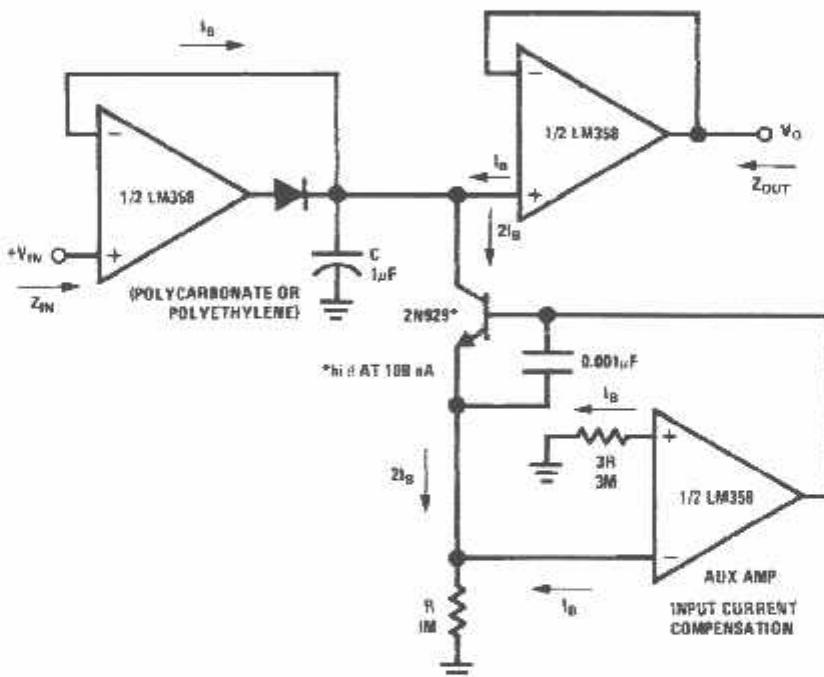
DS007787-15

Pulse Generator



DS007787-19

Low Drift Peak Detector

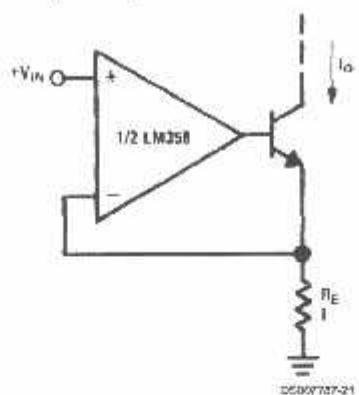


DS007787-26

HIGH Z_{IN}
LOW Z_{OUT}

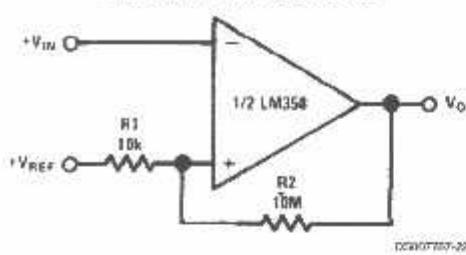
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 \text{ V}_{\text{DC}}$) (Continued)

High Compliance Current Sink

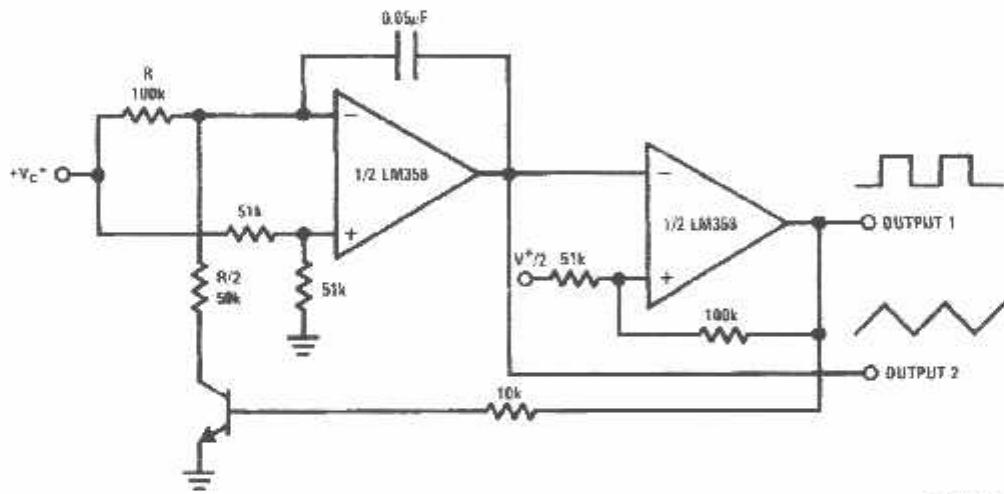


$\alpha = 1 \text{ amp/volt } V_{\text{IN}}$
(Increase R_E for I_O small)

Comparator with Hysteresis



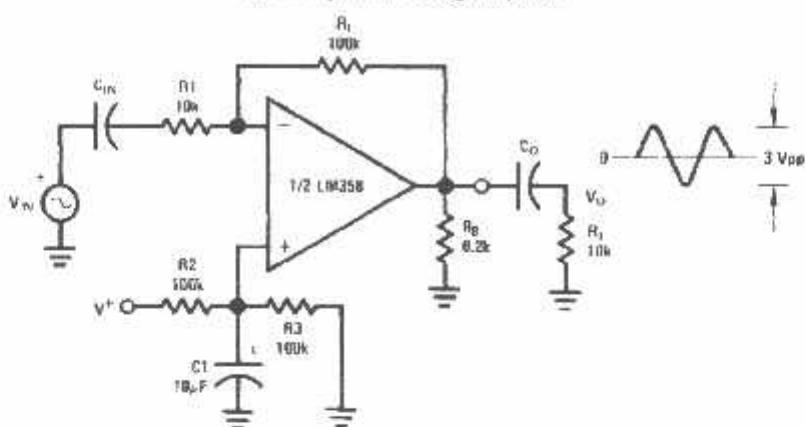
Voltage Controlled Oscillator (VCO)



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

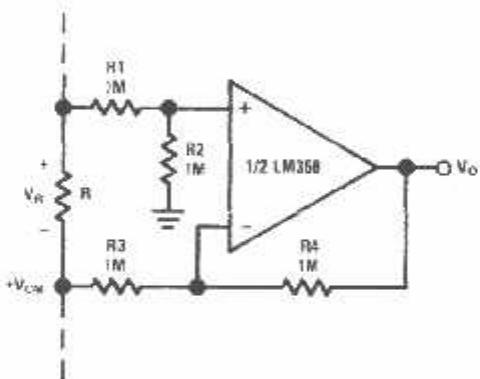
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 \text{ V}_{\text{DC}}$) (Continued)

AC Coupled Inverting Amplifier



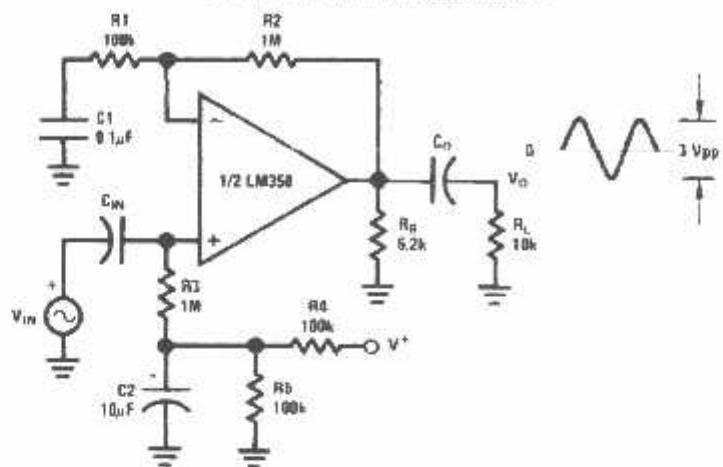
$$A_V = \frac{R_f}{R_1} \quad (\text{As shown, } A_V = 10)$$

Ground Referencing a Differential Input Signal



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

AC Coupled Non-Inverting Amplifier

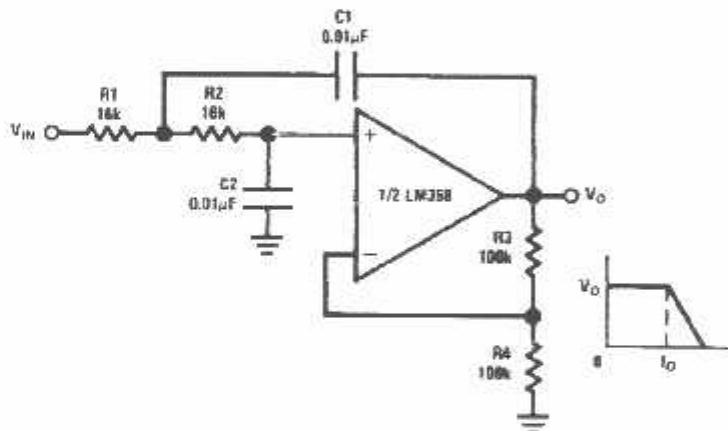


DS007767-28

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

 $A_v = 11$ (As Shown)

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter

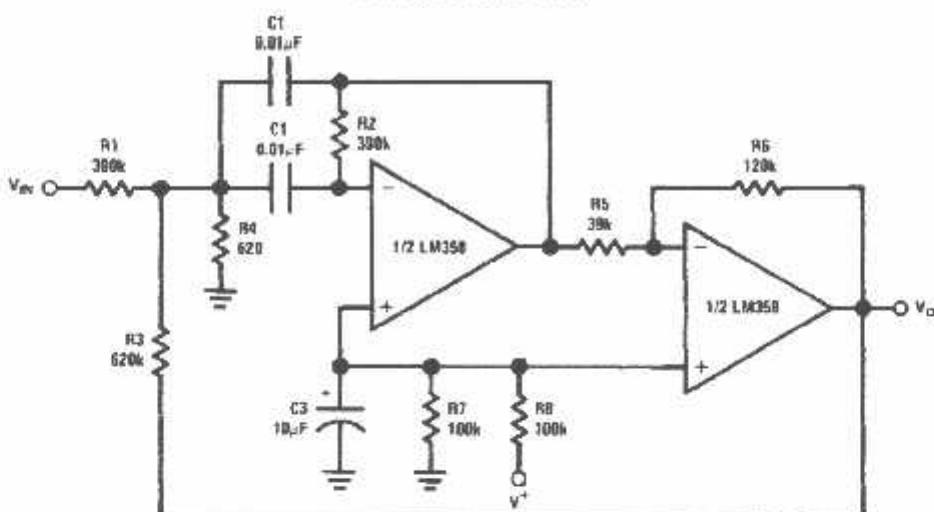


DS007767-27

$$\begin{aligned}f_o &= 1 \text{ kHz} \\D &= 1 \\A_V &= 2\end{aligned}$$

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

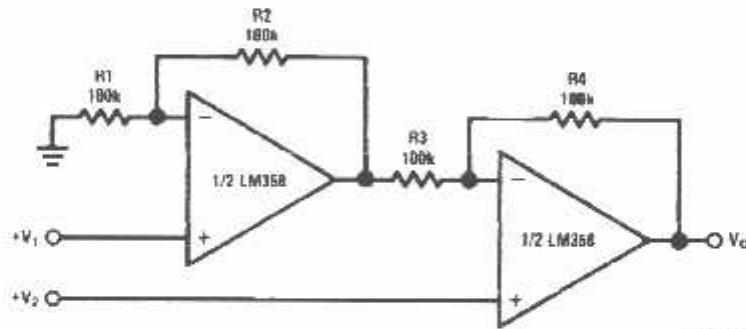
Bandpass Active Filter



DS007797-2B

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

High Input Z, DC Differential Amplifier



DS007797-2B

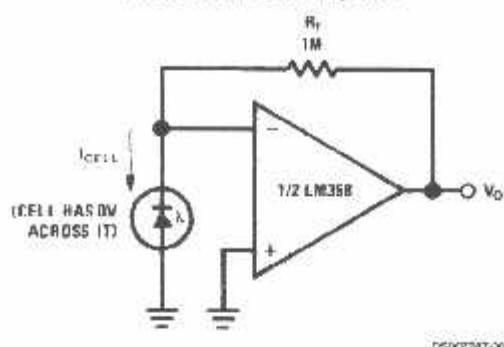
For $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$ [CMHR depends on this resistor ratio match]

$$V_o = 1 + \frac{R_4}{R_3} (V_2 - V_1)$$

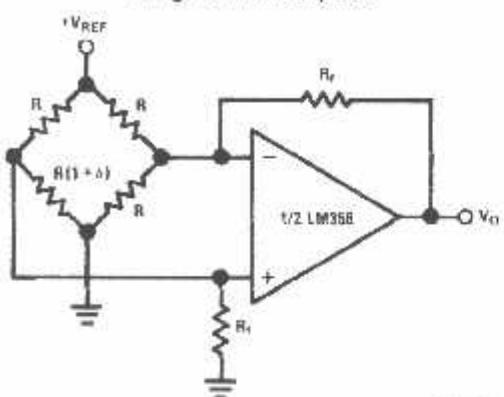
As Shown: $V_o = 2(V_2 - V_1)$

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

Photo Voltaic-Cell Amplifier

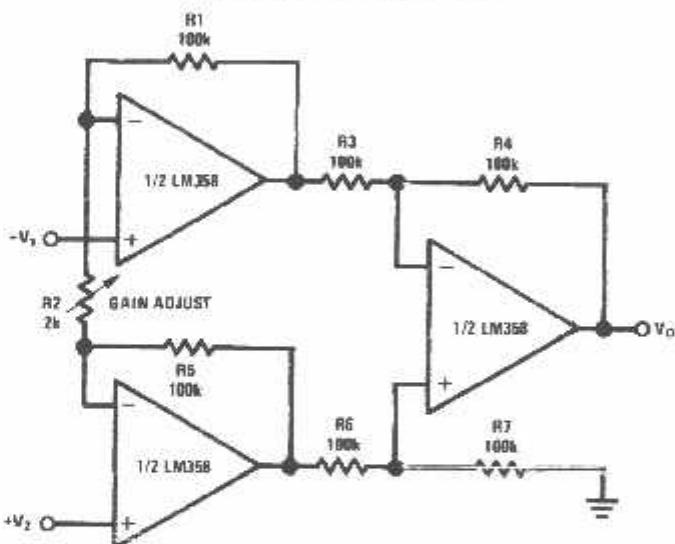


Bridge Current Amplifier

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

$$V_O \approx V_{\text{REF}} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_F}{R}$$

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier

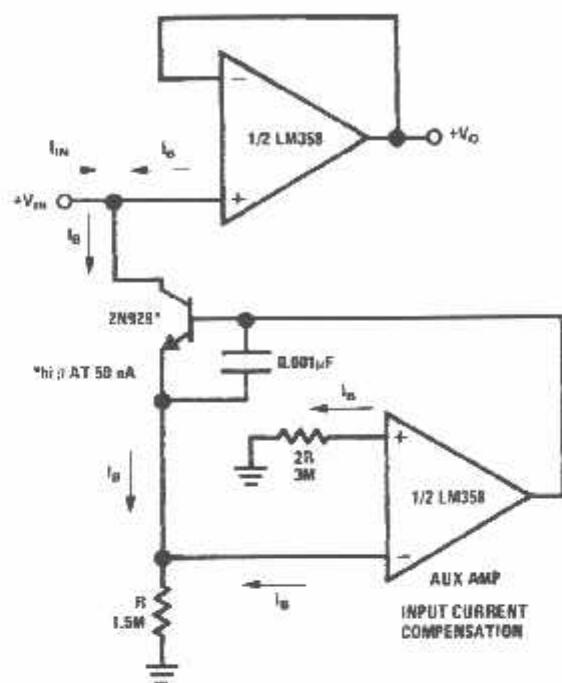
If $R_1 = R_5$ & $R_3 = R_4 = R_6 = R_7$ (CMRR depends on match)

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

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

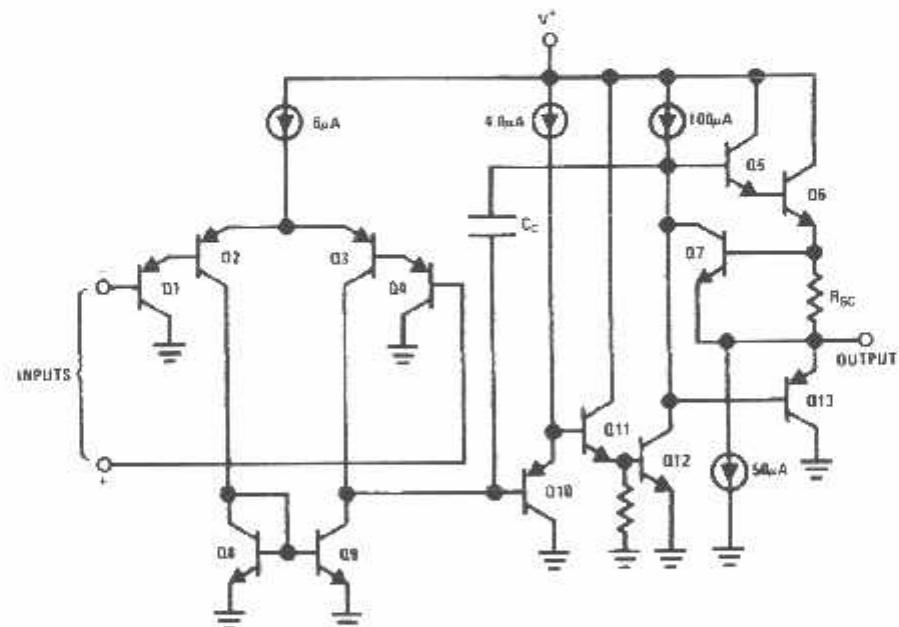
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{DC}$) (Continued)

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce input Current (General Concept)



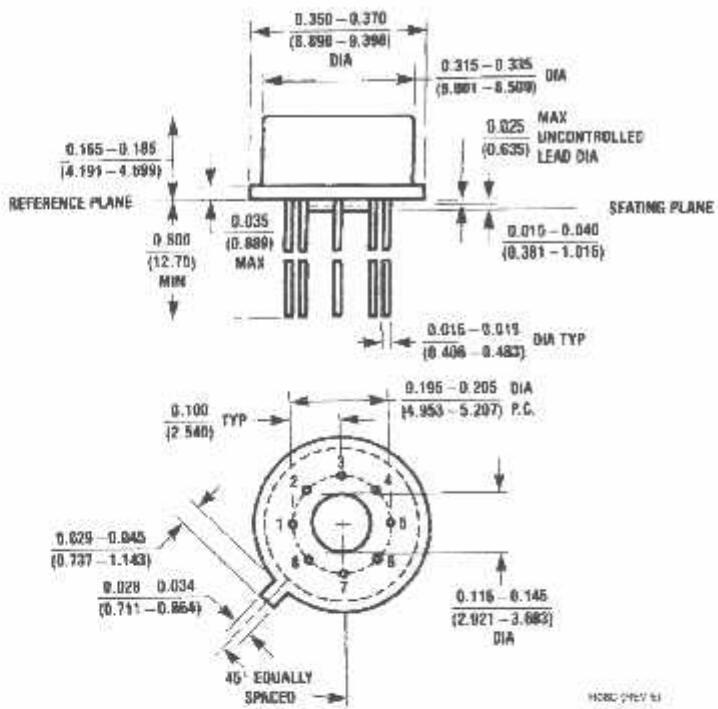
08007787-22

Schematic Diagram (Each Amplifier)

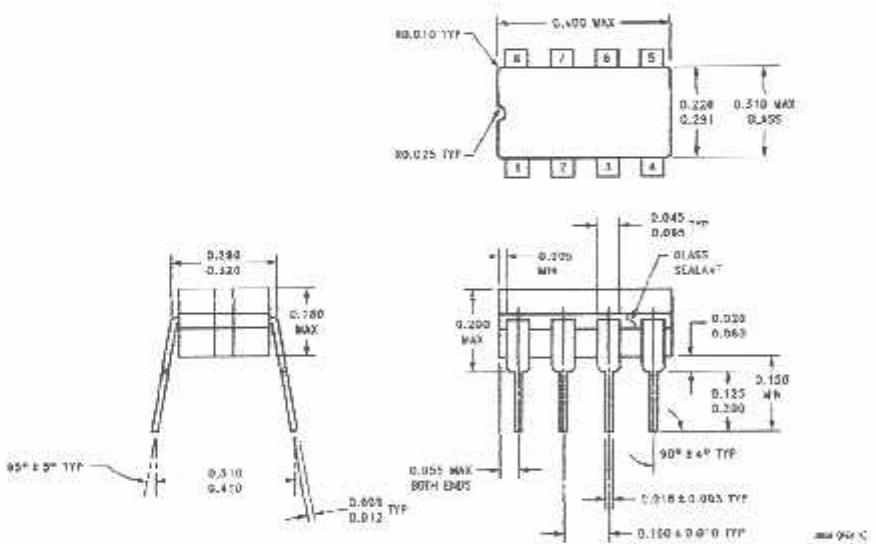


08007787-3

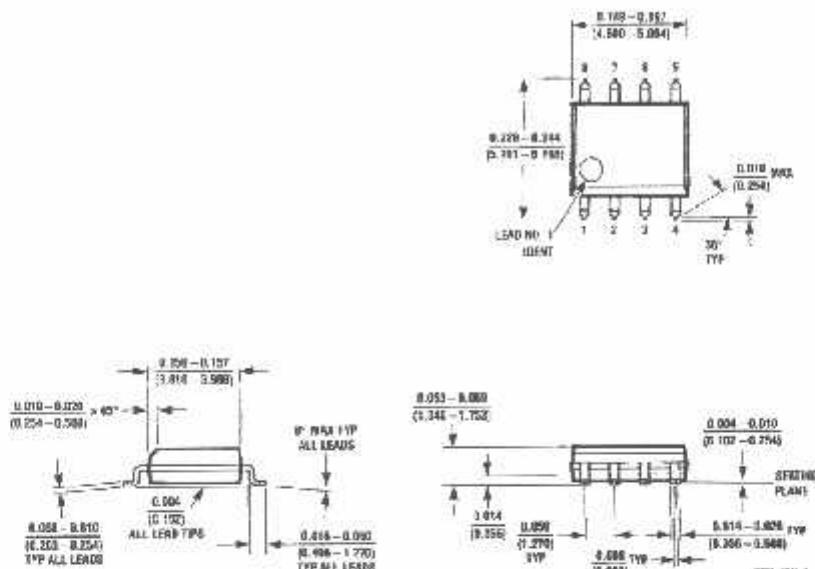
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Metal Can Package (H)
Order Number LM158AH, LM158AH/883, LM158H,
LM158H/883, LM258H or LM358H
NS Package Number H08C

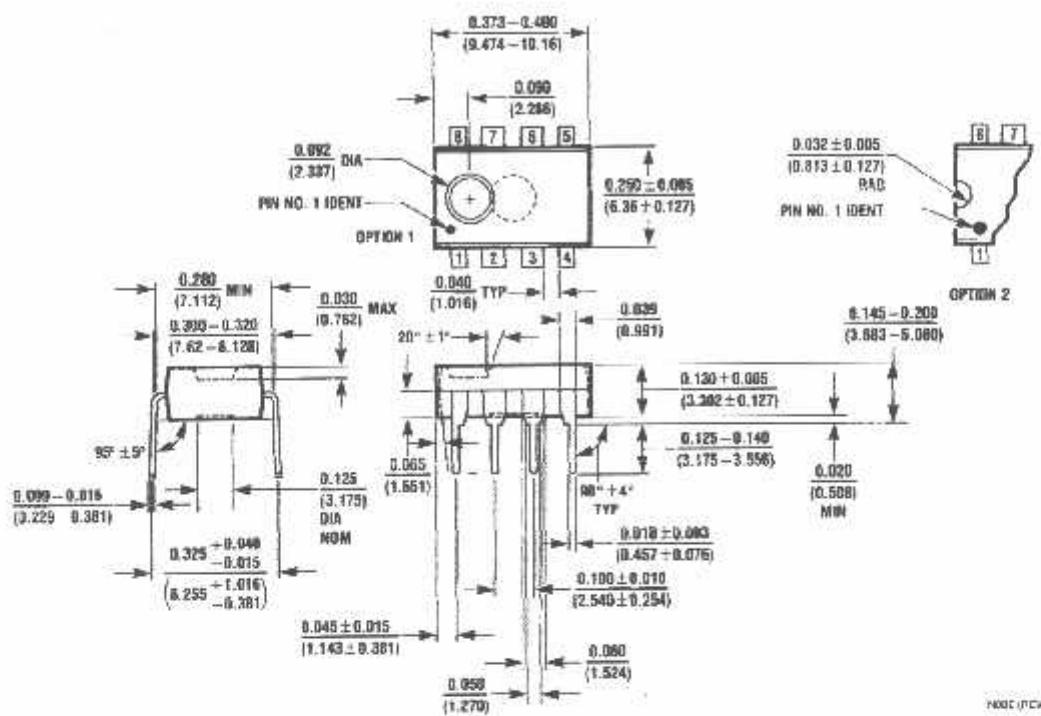


Cerdip Package (J)
Order Number LM158J, LM158J/883, LM158AJ or LM158AJ/883
NS Package Number J08A

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

S.O. Package (M)
Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M
NS Package Number M08A

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



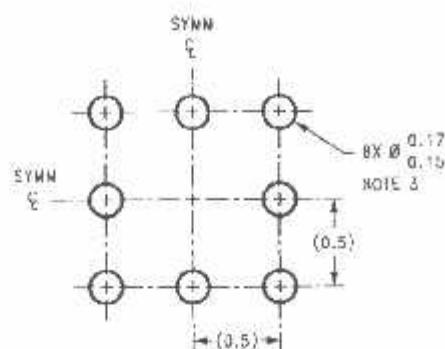
Molded Dip Package (N)

Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N

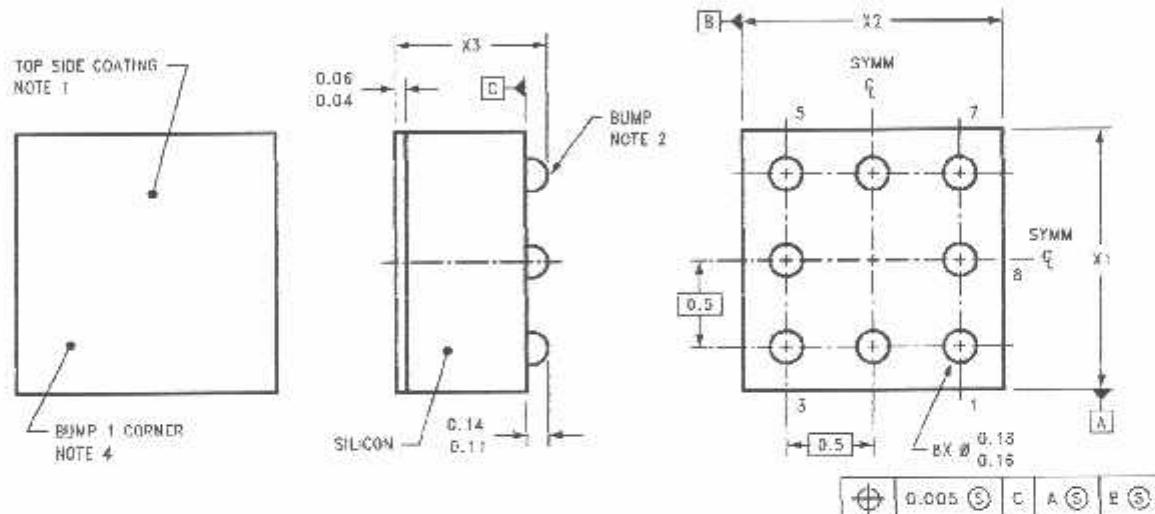
NS Package Number N08E

Physical Dimensions

Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LAND PATTERN RECOMMENDATION



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

BRASS04X (REV. A)

NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. EPOXY COATING
2. 63Sn/37Pb EUTECTIC BUMP
3. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
4. PIN 1 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 2PA08AAA
 $X_1 = 1.285$ $X_2 = 1.285$ $X_3 = 0.700$

Notes

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
Tel: 1-800-272-9859
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 86
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 53 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 86

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504168
Email: asia.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5839-7560
Fax: 81-3-5839-7507

Features

Compatible with MCS-51™ Products

4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory

- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles

- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz

Three-level Program Memory Lock

28 x 8-bit Internal RAM

2 Programmable I/O Lines

Two 16-bit Timer/Counters

Six Interrupt Sources

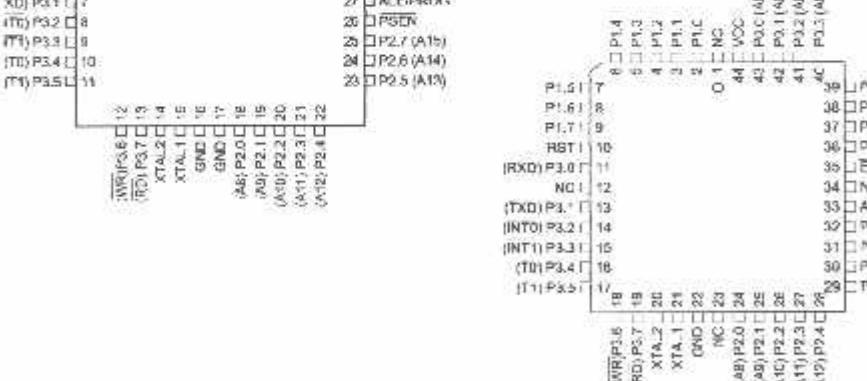
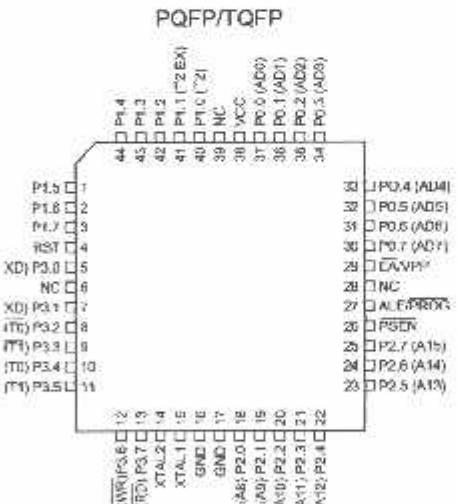
Programmable Serial Channel

Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash memory on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations



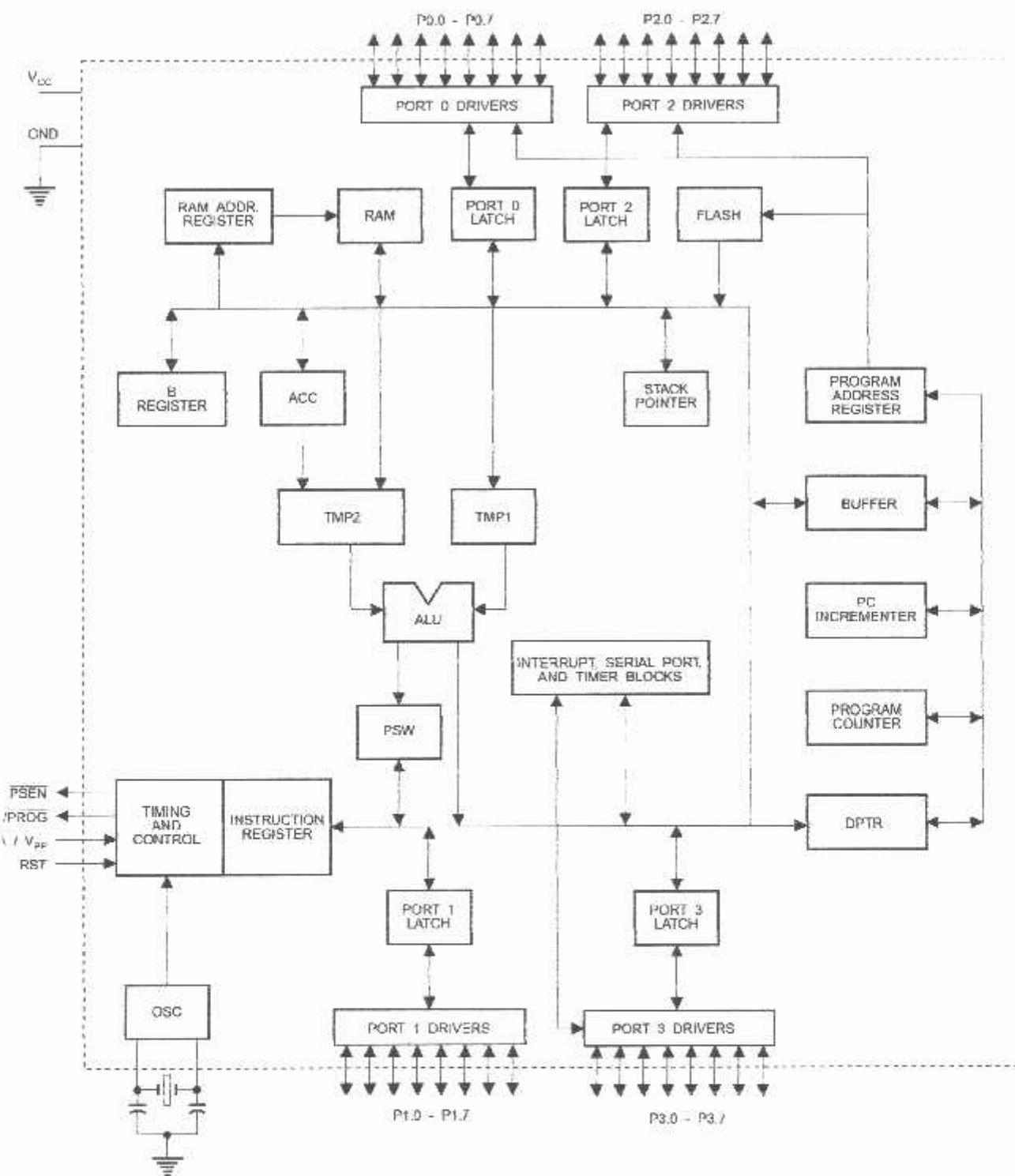
8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

AT89C51

Not Recommended for New Designs.
Use AT89S51.



Block Diagram



AT89C51

AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic operation down to zero frequency and supports two hardware selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

n Description

C
Supply voltage.

ID
Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to Port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed lower address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ R1), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE



I_{OE} is skipped during each access to external Data memory.

desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of R location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

EN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

VPP

Internal Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

It should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require a -volt V_{PP}.

AL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the external clock operating circuit.

AL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

AL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

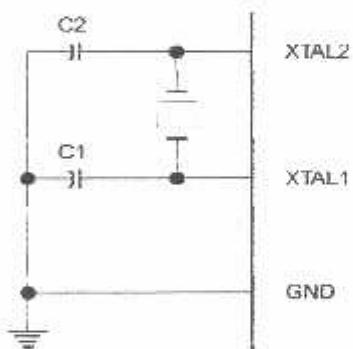
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

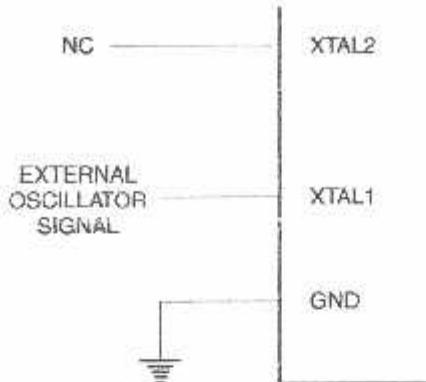
Figure 1. Oscillator Connections



Note: C₁, C₂ = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration

Power-down Mode

In power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers

retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the EA pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of EA be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				
	LB1	LB2	LB3	Protection Type
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVIC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory. EA is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled



Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (5-volt) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the '89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or 5-volt programming mode enabled. The respective underside marking and device signature codes are listed in the following table.

	V _{PP} = 12V	V _{PP} = 5V
Op-side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = F FH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. To program any non-inhibit byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.

Programming Algorithm: Before programming the '89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

Input the desired memory location on the address lines.

Input the appropriate data byte on the data lines.

Activate the correct combination of control signals.

Raise EA/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.

Pulse ALE/PROG once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on P0.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(031H) = 51H indicates 89C51
(032H) = FFH indicates 12V programming
(032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

AT89C51

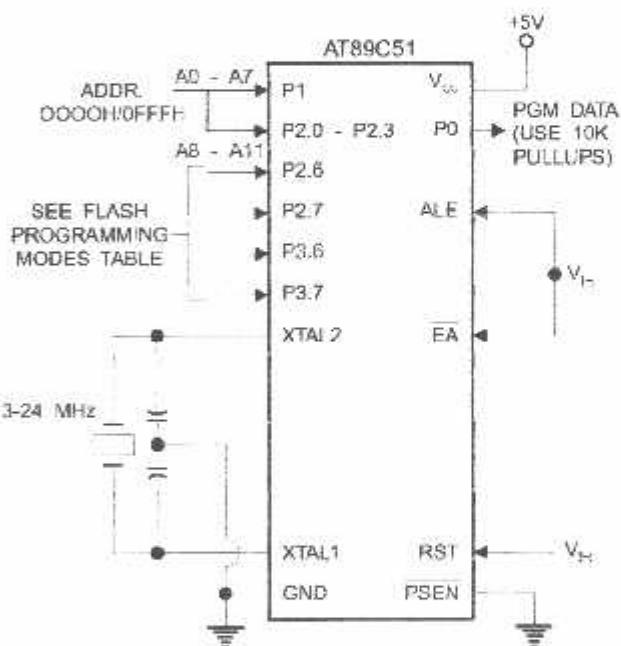
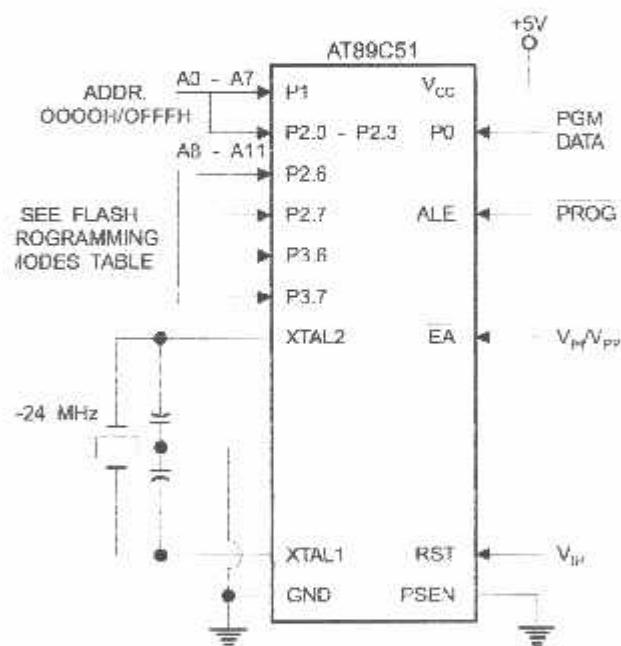
Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L	—	H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L	H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L	H/12V	H	H	L	E
	Bit - 3	H	L	H/12V	H	L	H	L
Chip Erase	H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Bad Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

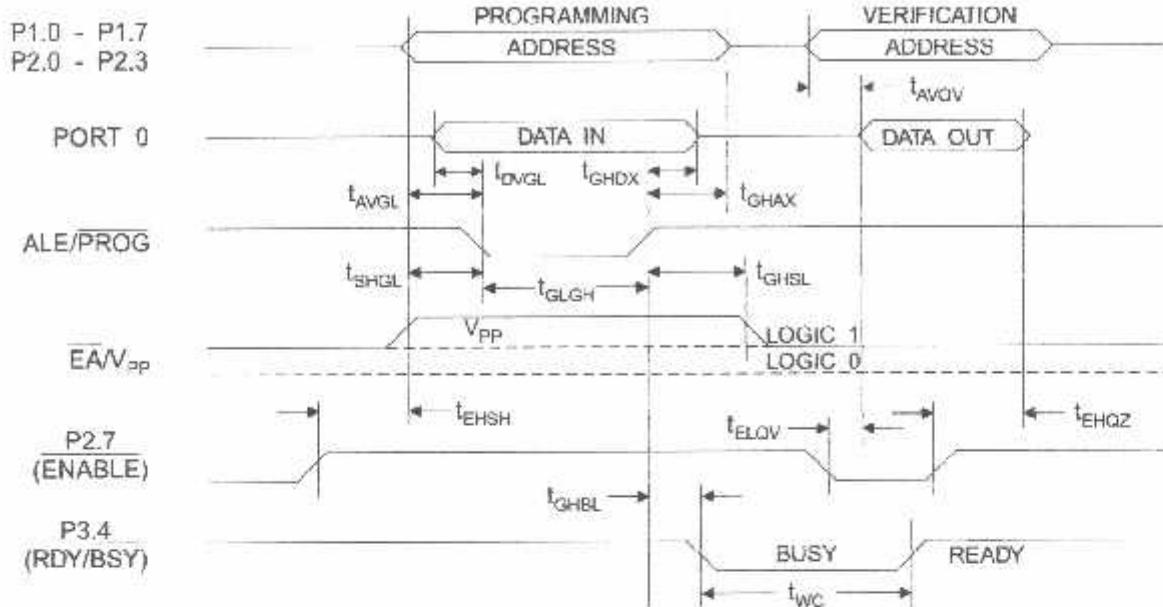
Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

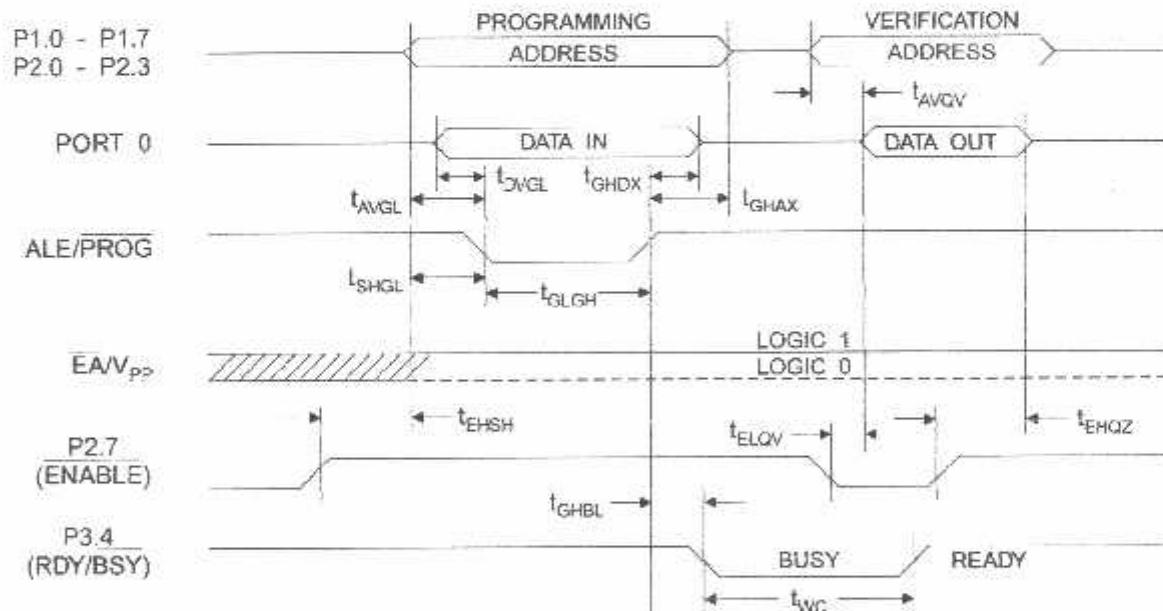
Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



Flash Programming and Verification Characteristics

= 0°C to 70°C, $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_P^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
t_{CLCL}	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{VGL}	Address Setup to PROG Low	$48t_{CLCL}$		
t_{IHAX}	Address Hold after PROG	$48t_{CLCL}$		
t_{VGL}	Data Setup to PROG Low	$48t_{CLCL}$		
t_{HDX}	Data Hold after PROG	$48t_{CLCL}$		
t_{HSH}	P2.7 (ENABLE) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{HSL}	V_{PP} Setup to PROG Low	10		μs
$t_{HSL}^{(1)}$	V_{PP} Hold after PROG	10		μs
t_{LGH}	PROG Width	1	110	μs
t_{ADV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{DADV}	ENABLE Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{HZ}	Data Float after ENABLE	0	$48t_{CLCL}$	
t_{IBL}	PROG High to BUSY Low		1.0	μs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.





Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
Output Current	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Characteristics

= -40°C to 85°C, V_{CC} = 5.0V ± 20% (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
L	Input Low-voltage	(Except EA)	-0.5	0.2 V _{CC} - 0.1	V
L ₁	Input Low-voltage (EA)		-0.5	0.2 V _{CC} - 0.3	V
H	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} + 0.9	V _{CC} + 0.5	V
H ₁	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} + 0.5	V
I _L	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	I _{OL} = 1.6 mA		0.45	V
I _{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN)	I _{OL} = 3.2 mA		0.45	V
		I _{OH} = -60 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
I _H	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	I _{OH} = -25 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -10 μA	0.9 V _{CC}		V
I _{H11}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	I _{OH} = -800 μA, V _{CC} = 5V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -300 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -80 μA	0.9 V _{CC}		V
	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 0.45V		-50	μA
I	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 2V, V _{CC} = 5V ± 10%		-650	μA
I	Input Leakage Current (Port 0, EA)	0.45 < V _{IN} < V _{CC}		±10	μA
RST	Reset Pull-down Resistor		50	300	kΩ
I _D	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T _A = 25°C	10		pF
		Active Mode, 12 MHz	20		nA
I _C	Power Supply Current	Idle Mode, 12 MHz	5		nA
		V _{CC} = 6V	100		μA
	Power-down Mode ⁽²⁾	V _{CC} = 3V	40		μA

Test: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA

Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA

Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{CL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

AT89C51

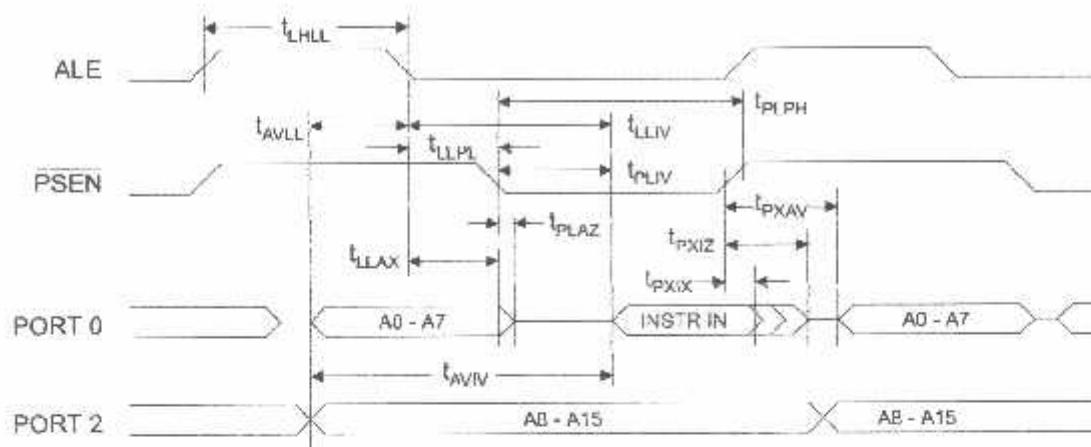
C Characteristics

der operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/PROG, and PSEN = 100 pF; load capacitance for all other inputs = 80 pF.

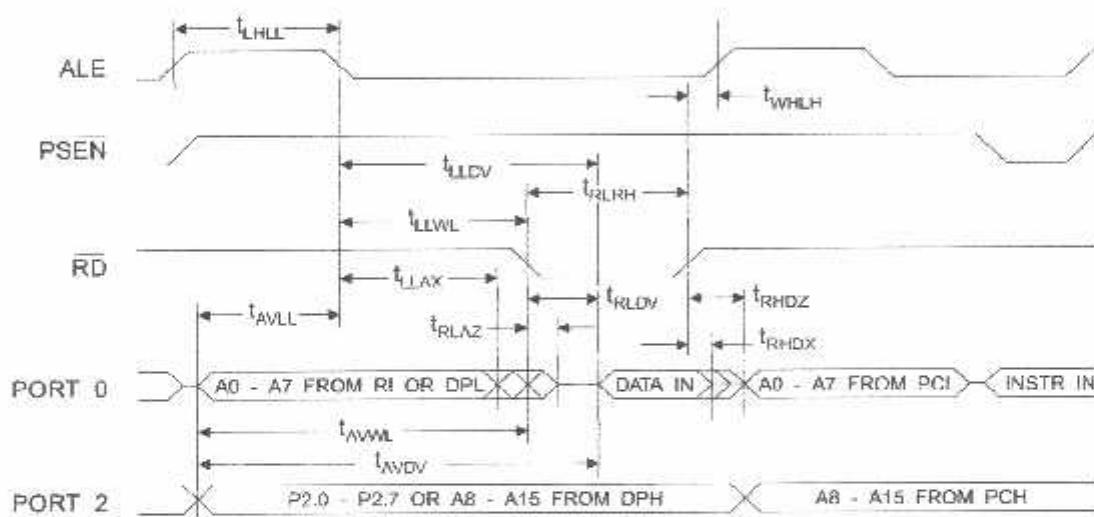
External Program and Data Memory Characteristics

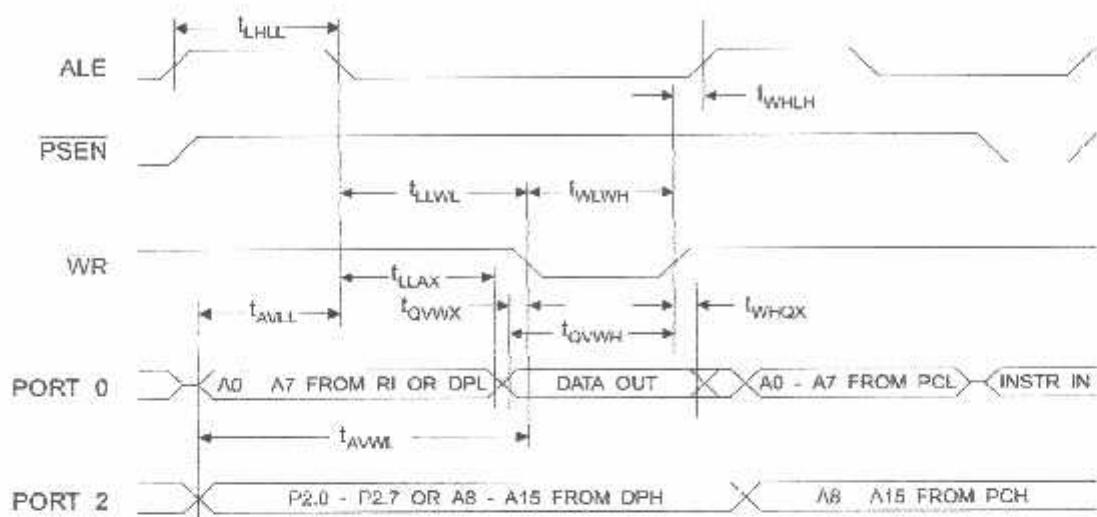
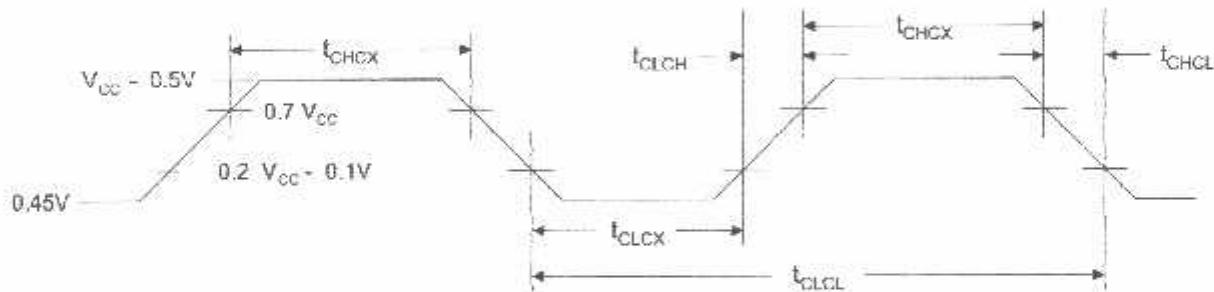
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t _{CLCL}	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t _{HLL}	ALE Pulse Width	127		2t _{CLCL} -40		ns
t _{M1}	Address Valid to ALE Low	43		t _{CLCL} -13		ns
t _{LAX}	Address Hold after ALE Low	48		t _{CLCL} -20		ns
t _{LV}	ALE Low to Valid Instruction In		233	4t _{CLCL} -65		ns
t _{LPL}	ALE Low to PSEN Low	43		t _{CLCL} -13		ns
t _{LPW}	PSEN Pulse Width	205		3t _{CLCL} -20		ns
t _{IV}	PSEN Low to Valid Instruction In		145		3t _{CLCL} -45	ns
t _{XIX}	Input Instruction Hold after PSEN	0		0		ns
t _{XIZ}	Input Instruction Float after PSEN		59		t _{CLCL} -10	ns
t _{PAV}	PSEN to Address Valid	75		t _{CLCL} -8		ns
t _{AV}	Address to Valid Instruction In		312		5t _{CLCL} -55	ns
t _{LAZ}	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
t _{IRH}	RD Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
t _{VLWH}	WR Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
t _{LDV}	RD Low to Valid Data In		252		5t _{CLCL} -90	ns
t _{IDX}	Data Hold after RD	0		0		ns
t _{IDZ}	Data Float after RD		97		2t _{CLCL} -28	ns
t _{LEV}	ALE Low to Valid Data In		517		8t _{CLCL} -150	ns
t _{ADV}	Address to Valid Data In		585		9t _{CLCL} -165	ns
t _{AWT}	ALE Low to RD or WR Low	200	300	3t _{CLCL} -50	3t _{CLCL} +50	ns
t _{VWL}	Address to RD or WR Low	203		4t _{CLCL} -75		ns
t _{VWX}	Data Valid to WR Transition	23		t _{CLCL} -20		ns
t _{VWHT}	Data Valid to WR High	433		7t _{CLCL} -120		ns
t _{NHQX}	Data Hold after WR	33		t _{CLCL} -20		ns
t _{RLAZ}	RD Low to Address Float		0		0	ns
t _{WHH}	RD or WR High to ALE High	43	123	t _{CLCL} -20	t _{CLCL} +25	ns

External Program Memory Read Cycle



External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle**External Clock Drive Waveforms****External Clock Drive**

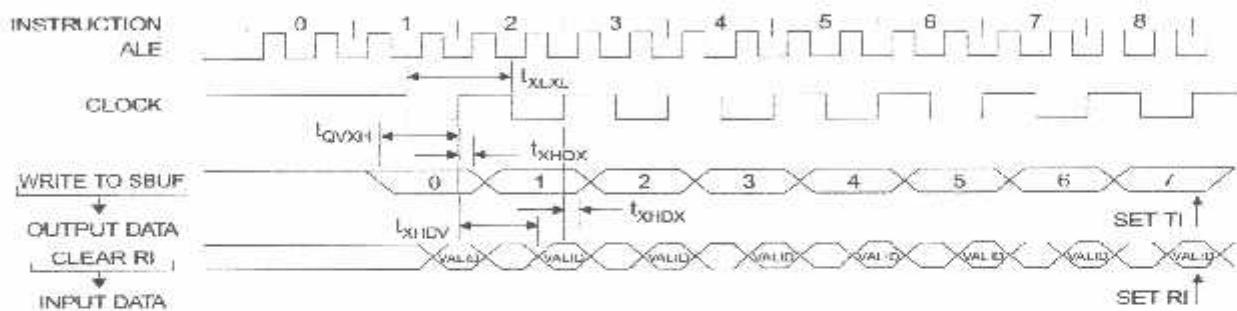
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
t_{CLCL}	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHX}	High Time	15		ns
t_{CLX}	Low Time	15		ns
t_{CLH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

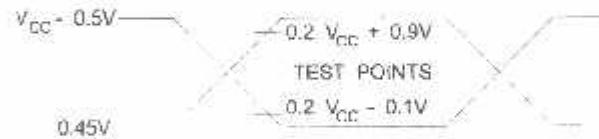
$V_{CC} = 5.0 \text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
LXL	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t _{CLCL}		μs
t _{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t _{CLCL} -133		ns
t _{XQX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		2t _{CLCL} -117		ns
t _{HDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t _{HIV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t _{CLCL} -133	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



C Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_H min. for a logic 1 and V_L max. for a logic 0.

Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{DH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ±20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ±20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ±20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ±20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	40P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	40P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

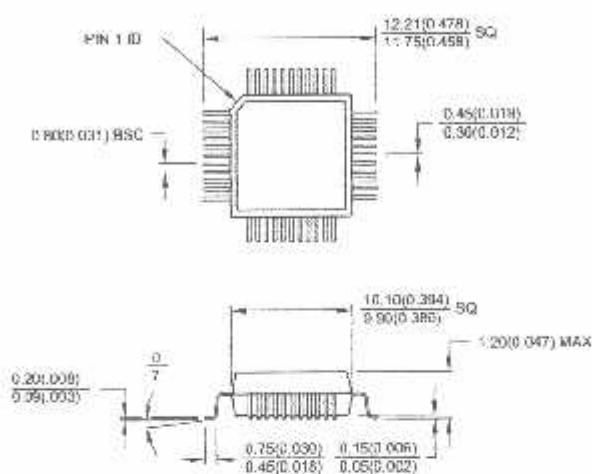
Package Type

4A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
4J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
4P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
4Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



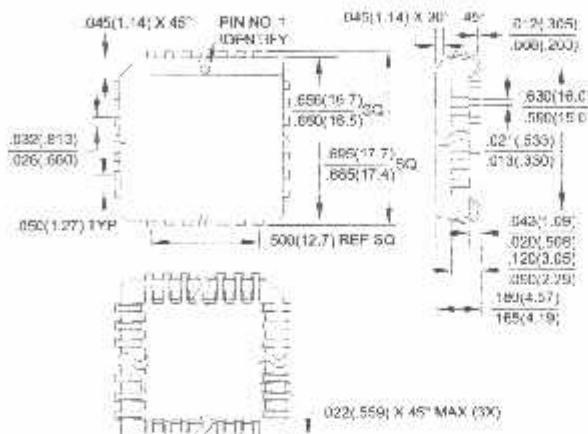
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-026 AC9



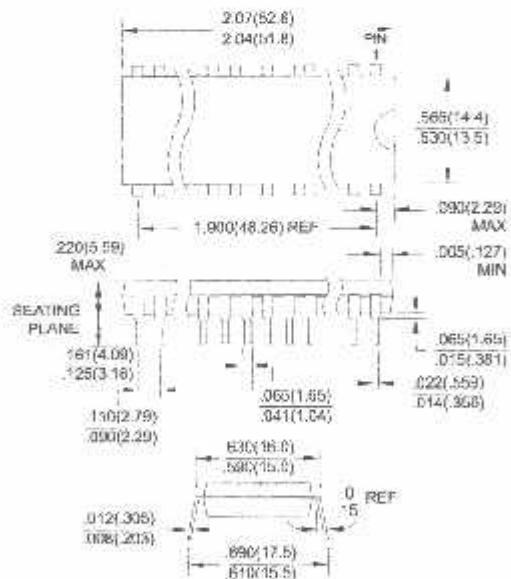
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)

JEDEC STANDARD MS-018 AC



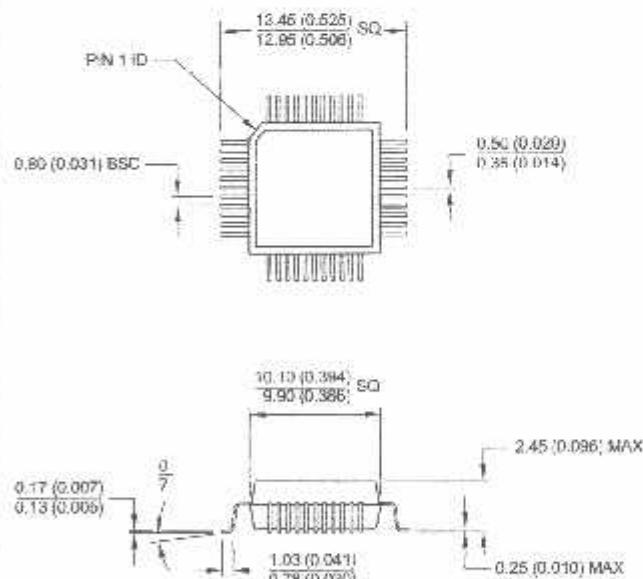
Controlling dimension: millimeters

40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*

JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters

AT89C51



Atmel Headquarters

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

Europe

Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimshatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan

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

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs
1150 E. Cheyenne Min. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Fax-on-Demand

North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail

literature@atmel.com

Web Site

<http://www.atmel.com>

BBS

1-(408) 436-4309

Atmel Corporation 2000.

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

marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Names and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

0265G-02/00/xM

ADC0808/ADC0809

8-Bit μP Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8-single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0818 data sheet. (See AN-247 for more information.)

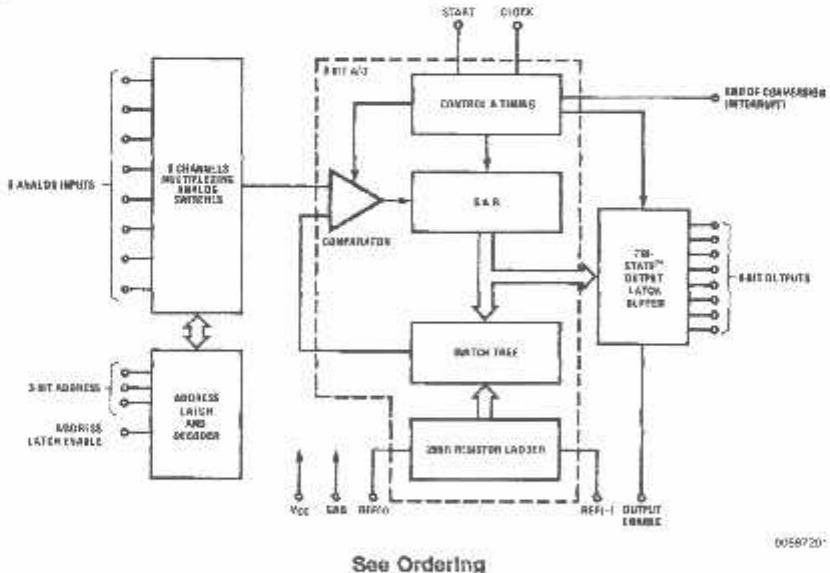
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DD} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

■ Resolution	8 Bits
■ Total Unadjusted Error	±1/2 LSB and ±1 LSB
■ Single Supply	5 V _{DD}
■ Low Power	15 mW
■ Conversion Time	100 μs

Block Diagram



See Ordering
Information

Connection Diagrams

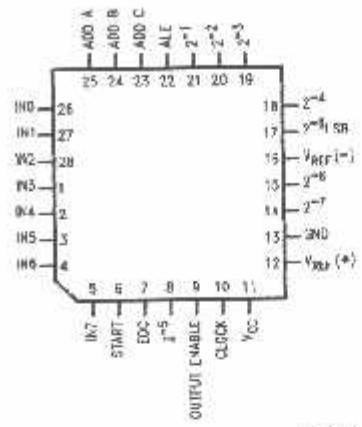
Dual-In-Line Package



0086217

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



0086218

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$		
Error	$\pm 1/2$ LSB Unadjusted	ADC0808CCN		ADC0808CCV
	± 1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN		ADC0809CCV
Package Outline		N28A Molded DIP		V28A Molded Chip Carrier

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to (V_{CC} +0.3V)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs	-0.3V to +15V (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A=25^\circ\text{C}$	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	

Dual-In-Line Package (plastic)	280°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0808CCN, ADC0809CCN	-40°C $\leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C $\leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
Range of V_{CC} (Note 1)	4.5 V _{DC} to 6.0 V _{DC}

Electrical CharacteristicsConverter Specifications: $V_{CC}=5$ V_{DC}= $V_{REF(+)}$, $V_{REF(-)}=GND$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK}=640$ kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
I _{L1(+)}	ADC0808	25°C			$\pm 5\%$	LSB
	Total Unadjusted Error (Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			$\pm 3\%$	LSB
I _{L2(+)}	ADC0809	0°C to 70°C			± 1	LSB
	Total Unadjusted Error (Note 5)	T_{MIN} to T_{MAX}			$\pm 1\%$	LSB
I _{REF(+)}	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		kΩ
V _{REF(+)} + V _{REF(-)}	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		V _{CC} +0.10	V _{DC}
I _{REF(-)}	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V _{CC}	V _{CC} +0.1	V
	Voltage, Center of Ladder		V _{CC} /2-0.1	V _{CC} /2	V _{CC} /2+0.1	V
V _{REF(+)} + V _{REF(-)}	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
I _C	Comparator Input Current	I _C =640 kHz, (Note 6)	2	± 0.5	2	μA

Electrical CharacteristicsDigital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25$ V, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DIGITAL LEVELS AND DC SPECIFICATIONS						
I _{REF(+)}	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC}=5$ V, $V_{IN}=5$ V, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX}		10	200	nA
I _{REF(+)}	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC}=5$ V, $V_{IN}=0$, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX}	-200	-10		nA
CONTROL INPUTS						
I _{IN(1)}	Logical "1" Input Voltage		V _{CC} -1.5			V
I _{IN(0)}	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
I _{IN(1)}	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=15$ V			1.0	μA
I _{IN(0)}	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=0$	-1.0			μA
I _C	Supply Current	I _C =640 kHz		0.3	3.0	mA

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$, $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\mu A$ $I_{OUT} = -10\mu A$		2.4 4.5		V(min) V(min)
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 mA$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 mA$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC} = V_{REF(1)} = 5V$, $V_{REF(0)} = GND$, $t_s = t_i = 20$ ns and $T_A = 25^{\circ}C$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_h	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_d	Analog MUX Delay Time	$R_S = 6\Omega$ (Figure 5) From ALE		1	2.5	μs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 pF, R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{IH}, t_{OH}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 pF, R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$t_c = 640$ kHz, (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	μs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		$8+2 \mu s$	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	pF

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists internally from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of 7 V_{DC}.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output logic will be correct. To achieve an absolute $0V_{IN}$ to 5V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{DC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all-zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table 1 shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (Figure 1) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in Figure 1 are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $\pm \frac{1}{2}$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. Figure 2 shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion start pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

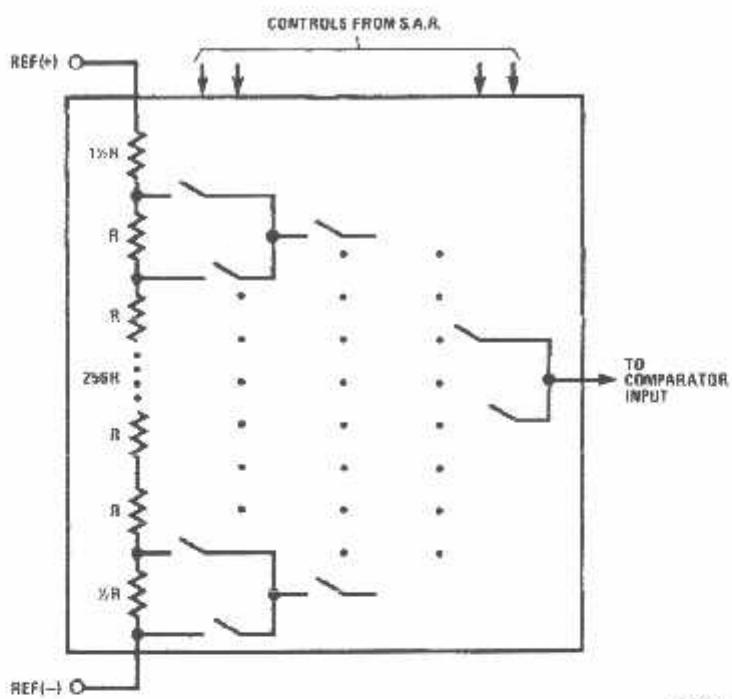
Functional Description (Continued)

FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

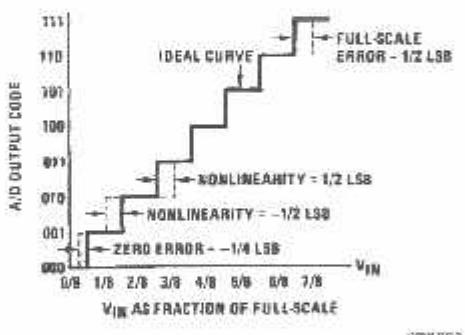


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

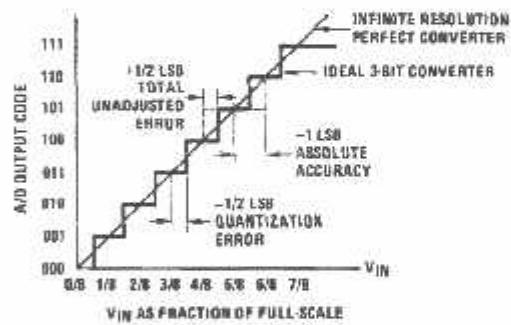


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

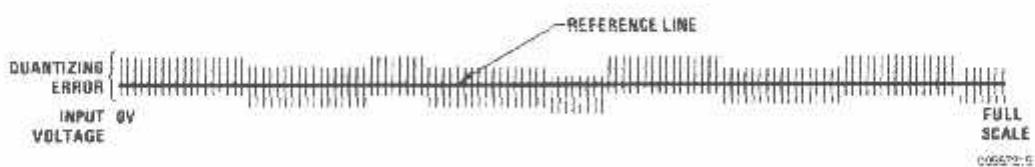


FIGURE 4. Typical Error Curve

Timing Diagram

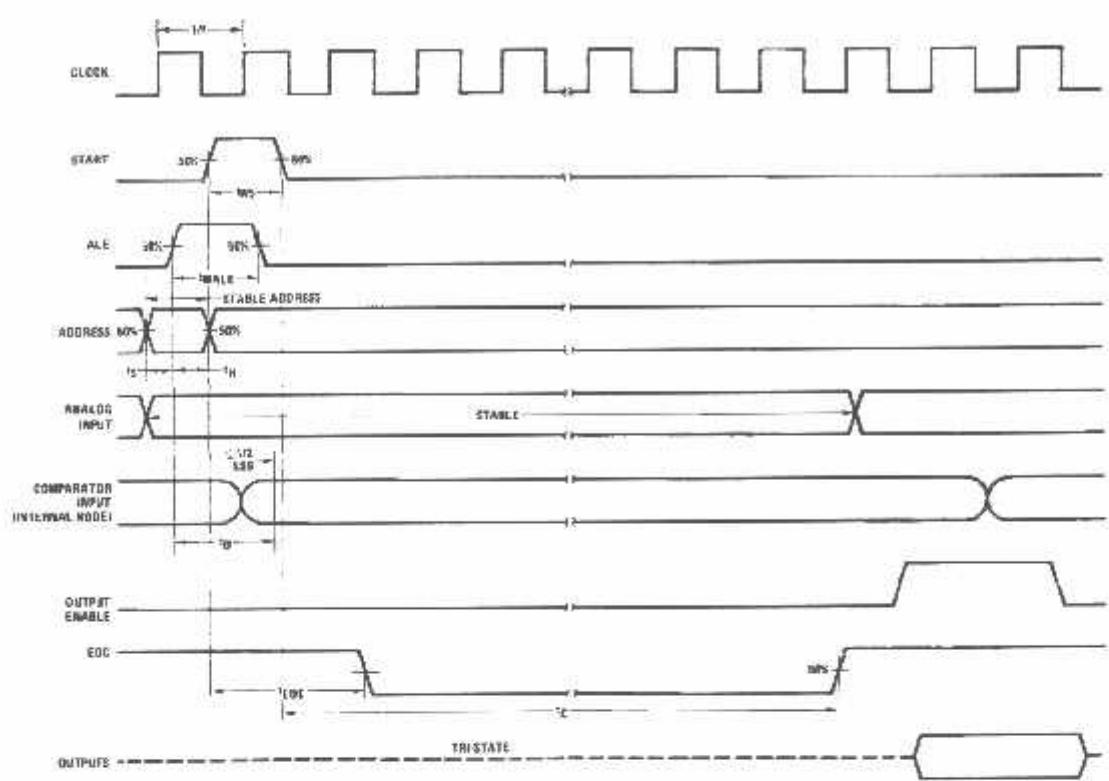
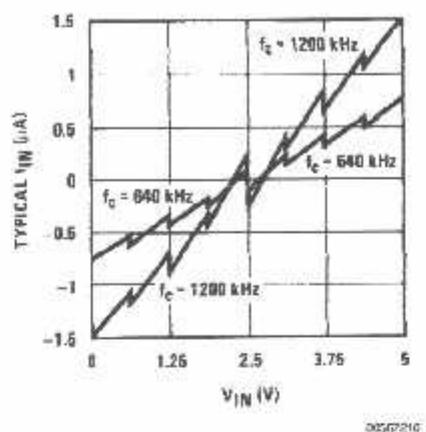


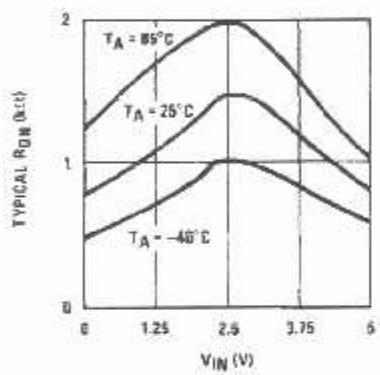
FIGURE 5.

Typical Performance Characteristics



005621C

FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN}
($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)



005621D

FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN}
($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

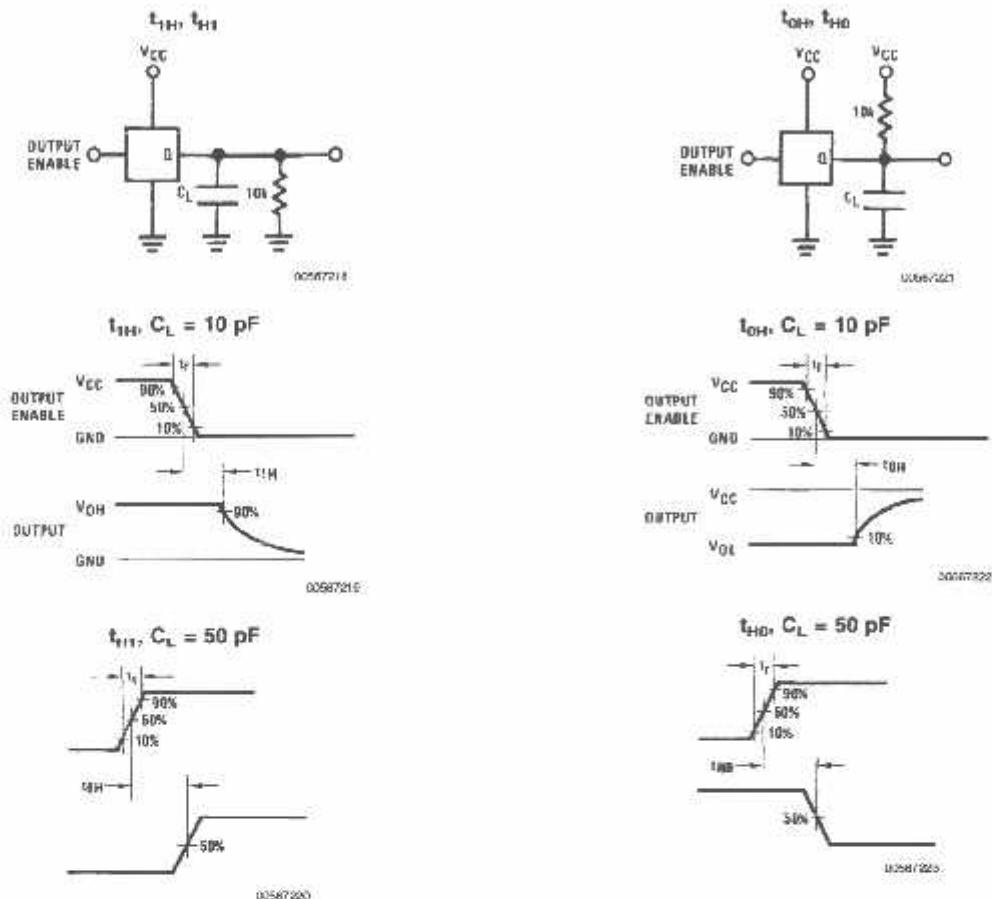


FIGURE 8.

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIO METRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{FS} - V_Z} = \frac{D_X}{D_{MAX} - D_{MIN}} \quad (1)$$

V_{IN}=Input voltage into the ADC0808

V_{FS}=Full-scale voltage

V_Z=Zero voltage

D_X=Data point being measured

D_{MAX}=Maximum data limit

D_{MIN}=Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly to the multiplexer inputs. (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a system reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if V_{CC}=V_{REF}=5.12V, then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

Applications Information (Continued)

2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should

not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 12 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

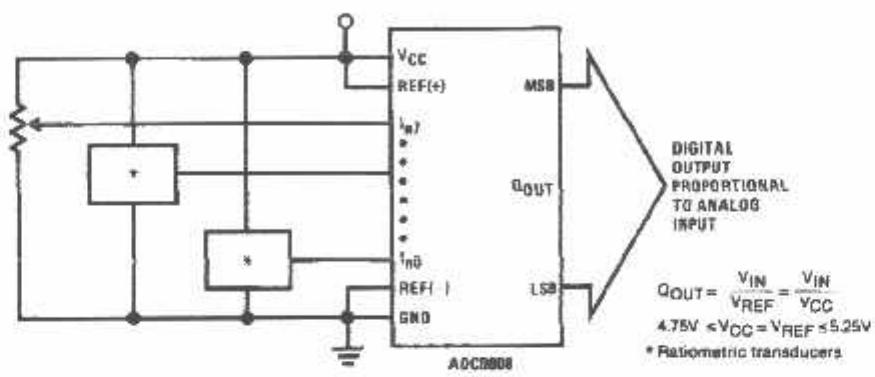
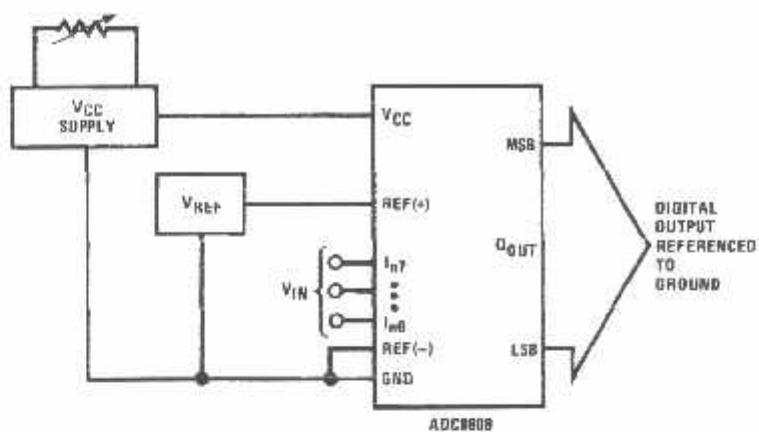


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11, a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10 μ F output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed V_{CC} and ground, respectively, but they can be symmetrically less than V_{CC} and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about $V_{CC}/2$ since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

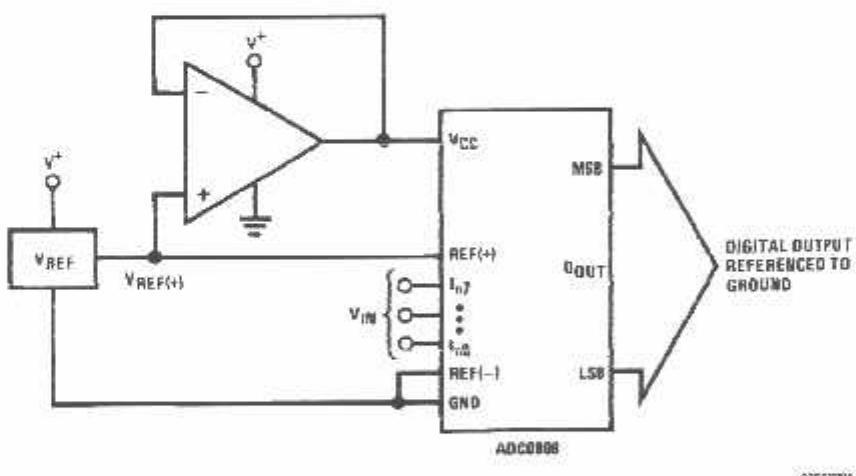
Applications Information (Continued)



$$Q_{\text{OUT}} = \frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{REF}}}$$

$4.75V \leq V_{\text{CC}} = V_{\text{REF}} \leq 5.25V$

FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply



$$Q_{\text{OUT}} = \frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{REF}}}$$

$4.75V \leq V_{\text{CC}} = V_{\text{REF}} \leq 5.25V$

FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

Applications Information (Continued)

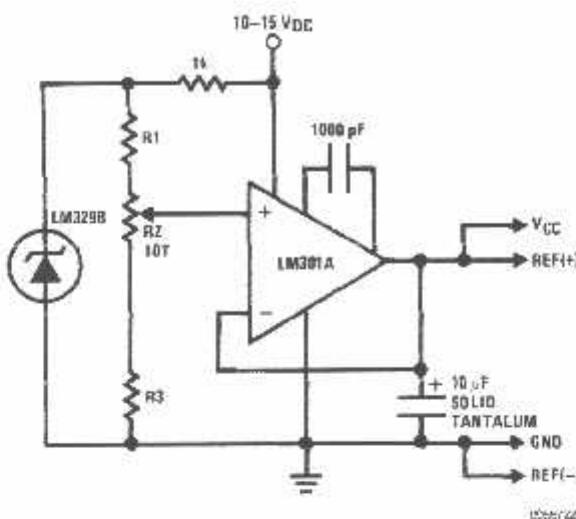
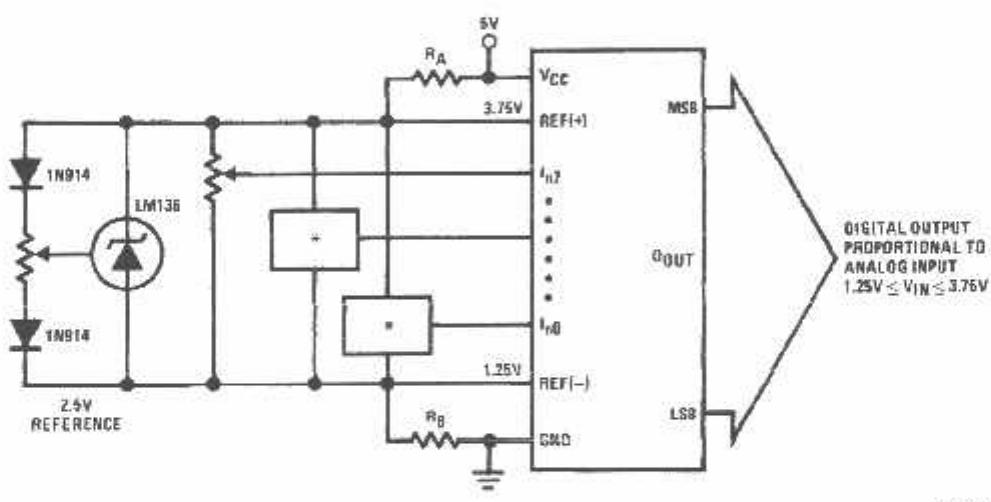


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

 $R_A = R_B$

*Ratiometric transducers

FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and $N+1$ is given by:

$$V_{IN} = \left((V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TRUE} \right) + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} = \left((V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} \right] \pm V_{TRUE} \right) + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \quad \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

Where: V_{IN} = Voltage at comparator input

$V_{REF(+)}$ = Voltage at Ref(+)

$V_{REF(-)}$ = Voltage at Ref(-)

V_{TRUE} = Total unadjusted error voltage (typically $V_{REF(+)} - 512$)

Applications Information (Continued)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

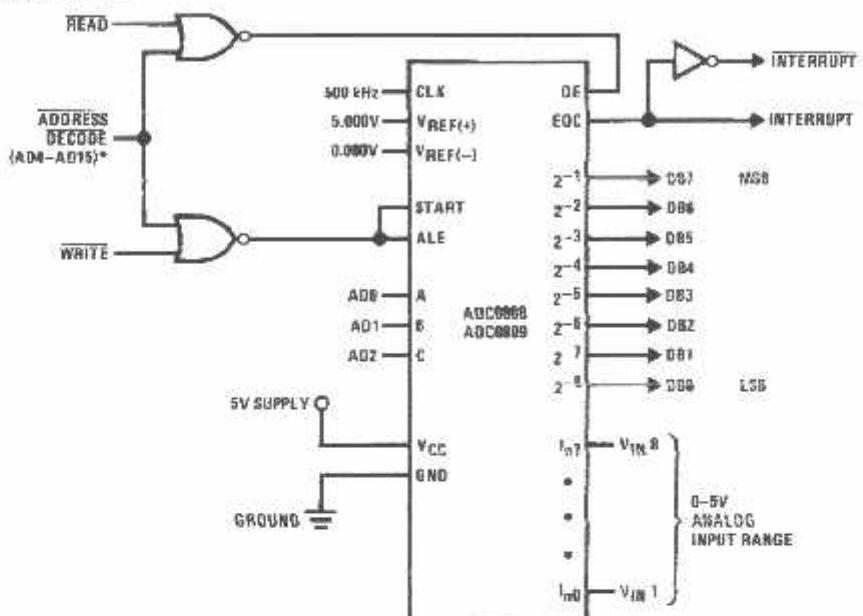
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with V_{IN} as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

Typical Application



0166/210

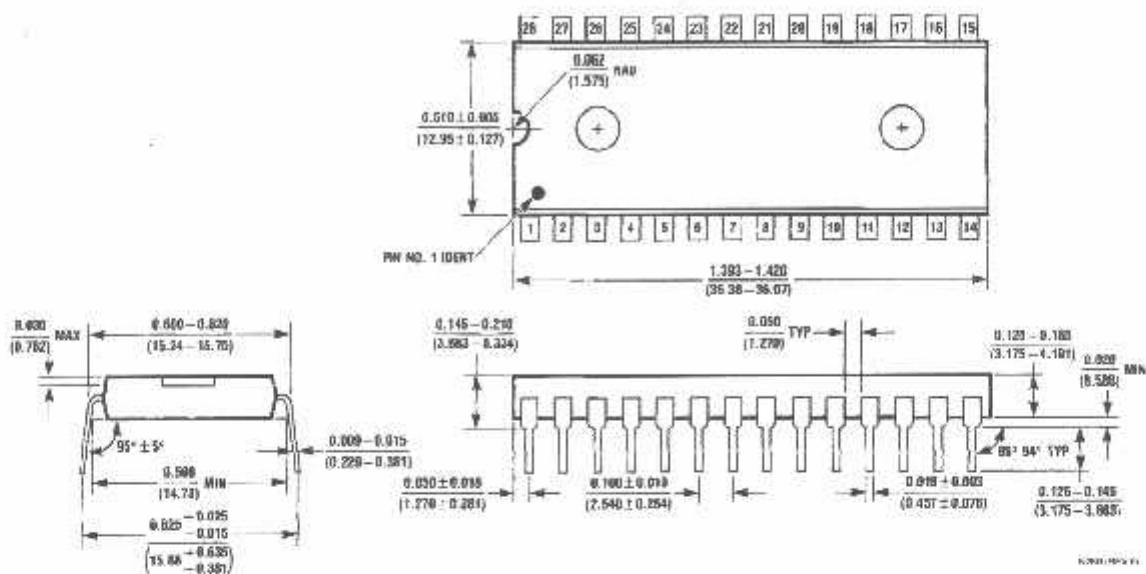
*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

TABLE 2. Microprocessor Interface Table

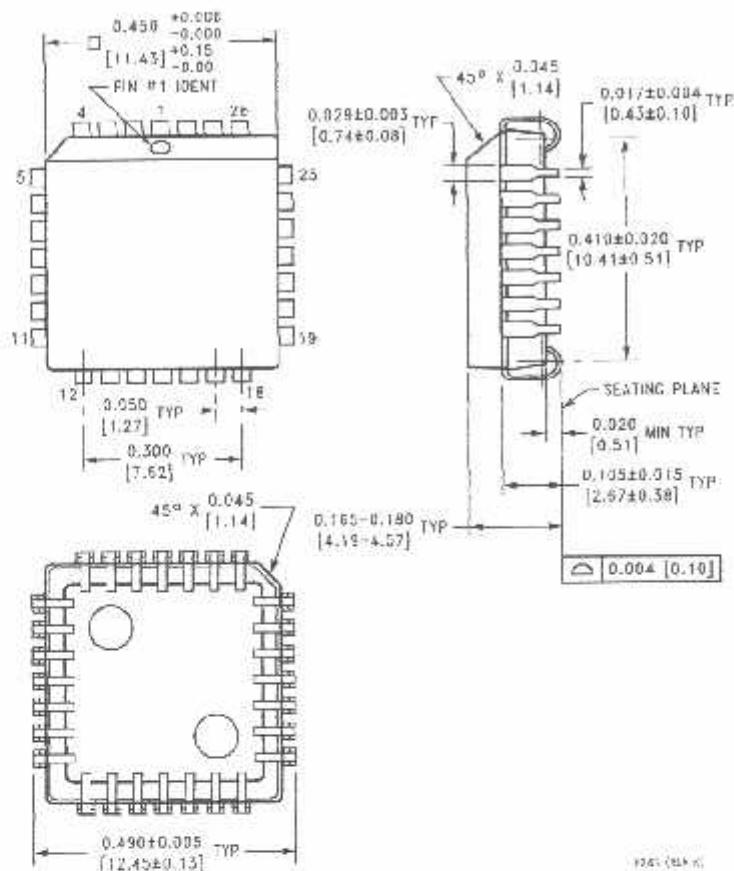
PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	RD	WR	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	RD	WR	INT (Thru RST Circuit; Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA*#2*R/W	VMA*#2*R/W	IRQA or IRQB (Thru PIA)

Physical Dimensions inches (millimeters)

unless otherwise noted



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
NS Package Number N28B

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

Molded Chip Carrier (V)
Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
NS Package Number V28A

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

www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 190-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch: Tel: +49 (0) 69 9588 8208
English: Tel: +44 (0) 870 24 6217
Français: Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2944466
Fax: 65-2944466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 01-3-5639-7560
Fax: 01-3-5639-7507