

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



SKRIPSI

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KOMPOR TENAGA
SURYA DENGAN MENGIKUTI ARAH MATAHARI
BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89S51**

Disusun Oleh :

NAMA : NUR HIDAYAT

NIM : 00.17.095

MARET 2006



**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KOMPOR
TENAGA SURYA DENGAN MENGIKUTI
ARAH MATAHARI BERBASIS
MIKROKONTROLLER AT89S51**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektronika**



Disusun Oleh :

NAMA : Nur Hidayat

NIM : 00.17.095

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
MARET 2006**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KOMPOR TENAGA
SURYA DENGAN MENGIKUTI ARAH MATAHARI
BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89S51**

SKRIPSI

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

**Disusun Oleh :
NUR HIDAYAT
NIM. 00.17.095**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)

NIP.Y.1039500274

Disetujui

Dosen Pembimbing

(Ir. Eko Nurcahyo)

NIP.Y.1028700172

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

Rasa Syukur kupanjatkan kepada Allah SWT yang mana atas karunianya dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.

Kepada Ayahanda dan Ibunda tersayang, terima kasih ku ucapkan atas semua kasih sayang yang telah engkau berikan, semua perhatian dan nasehat serta dukungan moral maupun spiritual yang tak henti-hentinya tuncurahkan kepadaku. Begitu besar jasa yang telah engkau berikan sehingga tak mungkin bisa aku tuk membalasnya. Gelar sarjanaku ini kupersembahkan kepadamu untuk Ayahanda dan Ibundaku tersayang.

Kakak-kakaku terimakasih atas doronganmu yang telah diberikan sampai masa kuliah selesai dan mencapai gelar sarjana.

Buat Genk-ku " Gede Agus (kucluk) yang sangat membantu sekali dalam penyelesaian skripsi ini, Dediek (Oon), Arief (Teletabis), Agus (Bajay), Kadek (Degan), dan anak2 SIMBO 14 " Bagus (Thole), Agus (Tommink), David (Kucing), pokok Thangk's Banget.....

Pemeran pembantu "Hendri (Mbah), Yun (Tukul), Dani (Panco), Terima kasih banyak,

Yang nggak disebutin pokoknya Thanks banyak atas semua kebaikan yang telah engkau berikan, smoga persahabatan yang telah berubah menjadi persaudaraan ini akan tetap terjaga tuk selama-lamanya.

Wassalam

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa penulis panjatkan oleh karena telah terselesaikannya Skripsi ini. Skripsi ini dilaksanakan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro program studi Elektronika.

Dengan terselesaikannya Skripsi ini, penulis tidak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro S-1. ITN Malang.
4. Bapak Ir. Eko Nurcahyo, selaku dosen pembimbing
5. Teman – teman SIMBO 14 yang selalu memberikan dorongan dan semangat angkatan 45.
6. Special for you my friend, Agoes and Dediek, good luck always. God Bless You.
7. Segenap keluarga tercinta yang selalu mendorong semangat dan selalu mendoakan penulis.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberi motivasi dan dorongan serta sarana dan prasarana bagi penulis dalam mengerjakan skripsi ini.

Dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan – kekurangan yang tentunya jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Penulis juga berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Maret 2006

Penulis

ABSTRAKSI

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KOMPOR TENAGA SURYA DENGAN MENGIKUTI ARAH MATAHARI BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89S51

(Nur Hidayat, 00.17.095, Jurusan Teknik ElektroS-1/Elektronika)
(Dosen Pembimbing : Ir. Eko Nurcaho)

Dengan melihat keadaan ini maka kehidupan masyarakat semakin terbebani oleh harga bahan bakar minyak, belum kebutuhan yang lainnya. Harga minyak tanah pada pedesaan harganya akan semakin mahal dikarenakan biaya ongkos pengiriman yang naik juga, karena itu kompor tenaga surya dengan mengikuti arah matahari ini untuk mengurangi biaya pengeluaran yang lebih besar.

Maka dari itu pada Skripsi ini dibuat kompor dengan tenaga surya sebagai media alternatif selain kompor minyak tanah dan kompor gas dengan tujuan untuk mengurangi biaya pengeluaran pembelian minyak tanah atau gas elpiji. Adapun kontroller yang digunakan sebagai pengolah otomatisasi adalah Mikrokontroller AT89S51. Sistem ini juga dapat menginformasikan berupa buzzer jika waktu memasak sudah mencapai suhu maksimum atau sudah mendidih.

Dari hasil pengujian kompor tenaga surya, waktu yang paling baik untuk memasak pada pukul 12.00 –12.30 dikarenakan pada waktu itu suhu pada kompor tenaga surya mencapai suhu yang maksimal.

DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAKSI	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I : PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi Penulisan	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II : LANDASAN TEORI	
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Teori Pemantulan Cahaya	6
2.2.1. Pemantulan pada Cermin Lengkung	6
2.2.2. Cermin Cekung	7

2.3. LDR (Light Dependent Resistor)	8
2.4. Potensiometer	9
2.5. IC LM35.....	10
2.6. Penguat Operasional (Op-Amp).....	12
2.7. ADC 0808 (Analog to Digital Converter)	13
2.8. Mikrokontroler AT89S51	14
2.8.1. Perangkat keras Mikrokontroler AT89S51	15
2.8.2. Arsitektur AT89S51	16
2.8.3. Konfigurasi Pin-pin Mikrokontroler	17
2.8.4. Organisasi Memori	21
2.8.5. SFR (<i>Special Function Register</i>)	22
2.9. IC ULN 2003A	27
2.10. Relay	29
2.11. Motor DC	31
2.11.1. Cara Kerja Motor DC	32
2.11.2. Pengendalian Arah Putaran Motor DC	34
2.12. Buzzer	35
2.13. Limit Switch	35

BAB III : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Pendahuluan.....	37
3.2. Perencanaan Blok Diagram	38

3.3. Prinsip Kerja Sistem	39
3.4. Perancangan Rangkaian Sensor Cahaya	41
3.5. Rangkaian Sensor Gerak.....	43
3.6. Rangkaian Sensor Suhu	43
3.7. Perencanaan Rangkaian ADC 0808.....	46
3.8. Minimum Sistem AT89S51	48
3.9. Rangkaian Driver ULN 2003A	51
3.9.1. Rangkaian Driver Relay Motor DC	51
3.9.2.. Rangkaian Driver Buzzer	52
3.10. Sensor Pembatas Menggunakan <i>Limit switch</i>	53
3.11. Titik Fokus Cermin Cekung	54
3.12. Perancangan Perangkat Lunak	57
3.12.1. Flow Chart	57

BAB IV : PENGUJIAN ALAT

4.1. Pengujian dan Pengukuran LDR.....	59
4.1.1. Tujuan	59
4.1.2. Peralatan Yang Digunakan	59
4.1.3. Hasil Pengujian	60
4.1.4. Kesimpulan	61
4.2. Pengujian dan Pengukuran Kepekaan Sensor Suhu	62
4.2.1. Tujuan	62
4.2.2. Peralatan Yang Digunakan	62

4.2.3. Hasil Pengujian	63
4.2.4. Analisa Data	64
4.2.5. Kesimpulan	68
4.3. Pengujian Op-Amp LM324	68
4.3.1. Tujuan	68
4.3.2. Peralatan Yang Digunakan	68
4.3.3. Hasil Pengujian	69
4.4. Pengujian Rangkaian ADC0808	70
4.4.1. Tujuan	70
4.4.2. Peralatan Yang Digunakan	70
4.4.3. Prosedur Pengujian	71
4.4.4. Data Hasil Pengukuran	72
4.4.5. Analisa Data	73
4.5. Pengujian IC ULN2003A Sebagai Driver Motor DC	74
4.5.1. Tujuan	74
4.5.2. Peralatan Yang Digunakan	75
4.5.3. Langkah-langkah Pengujian	75
4.5.4. Data Hasil Pengukuran	76
4.5.5. Kesimpulan	76
4.6. Pengujian Driver Buzzer	78
4.6.1. Tujuan	78
4.6.2. Peralatan Yang Digunakan	78
4.6.3. Langkah-langkah Pengujian	78

4.6.4. Data Hasil Pengujian.....	79
4.6.5. Kesimpulan	79
4.7. Pengujian Rangkaian <i>Limit Switch</i>	81
4.7.1. Tujuan	81
4.7.2. Peralatan Yang Digunakan.....	81
4.7.3. Data Hasil Pengujian	81
4.8. Pengujian Sistem	84
4.8.1. Tujuan	84
4.8.2. Peralatan Yang Digunakan.....	84
4.8.3. Hasil Pengujian	85
4.8.4. Kesimpulan	85
BAB V : PENUTUP	
5.1. Kesimpulan.....	89
5.2. Saran-saran.....	90

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2-1. Cermin Lengkung Sebagai Bagian Dari Kulit Bola.....	6
Gambar 2-2. Cermin Cekung Memenuhi Hukum Pemantulan	7
Gambar 2-3. Sinar datang yang paralel sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus.....	8
Gambar 2-4. Sinar datang yang melalui titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama	8
Gambar 2-5. Simbol Dan Konstruksi LDR.....	9
Gambar 2-6. Bentuk Fisik Potensiometer	10
Gambar 2-7. Fisik LM35.....	11
Gambar 2-8. Penguat tak membalik (Non Inverting).....	13
Gambar 2-9. Konfigurasi pin LM324.....	13
Gambar 2-10. Konfigurasi pin-pin ADC 0808	14
Gambar 2-11. Blok diagram Mikrokontroler AT89S51	16
Gambar 2-12. Konfigurasi pin-pin AT89S51	18
Gambar 2-13. Rangkaian <i>Clock</i>	20
Gambar 2-14. Alamat Memori	22
Gambar 2-15. Register PSW dalam Mikrokontroler AT89S51.....	25
Gambar 2-16. Pin-Pin Koneksi Dalam IC ULN 2003A.....	28
Gambar 2-17. Rangkaian Darlington didalam IC ULN 2003A.....	28
Gambar 2-18. Cara Kerja Relay	29

Gambar 2-19. Relay SPST	29
Gambar 2-20. Relay SPDT	30
Gambar 2-21. Relay DPST	30
Gambar 2-22. Relay DPDT	30
Gambar 2-23. Garis-Garis Medan Magnet disekitar Arus Listrik Pada Kawat Lurus	31
Gambar 2-24. Kaidah Tangan Kanan	32
Gambar 2-25. Dalam Motor	32
Gambar 2-26. Sebuah Motor	34
Gambar 2-27. Pengendalian Arah Putaran Motor DC	34
Gambar 2-28. Simbol Buzzer	35
Gambar 2-29. Simbol Limit Switch	35
Gambar 2-30. a). Simbol Limit Switch b). Bentuk Fisik	36
Gambar 3-1. Diagram Blok Rangkaian	38
Gambar 3-2. Kompor Tenaga Surya Dengan Mengikuti Arah Matahari	40
Gambar 3-3. Rangkaian Driver Sensor Cahaya	42
Gambar 3-4. Rangkaian Sensor Gerak	43
Gambar 3-5. Rangkaian Sensor Suhu	45
Gambar 3-6. Perencanaan Rangkaian ADC0808	46
Gambar 3-7. <i>Clock</i> ADC0808	47
Gambar 3-8. Rangkaian <i>Clock</i>	49
Gambar 3-9. Rangkaian Reset	50
Gambar 3-10. Konfigurasi pin pada Mikrokontroller AT89S51	50

Gambar 3-11. Rangkaian Driver Relay Motor DC.....	51
Gambar 3-12. Rangkaian Driver buzzer	53
Gambar 3-13. Rangkaian <i>Limit Switch</i>	54
Gambar 3-14. Titik Fokus Cermin.....	55
Gambar 3-15. <i>Flow chart</i>	58
Gambar 4-1. Rangkaian Pengujian LDR.....	60
Gambar 4-2. Tegangan Output Pada Kondisi LDR1 Terkena Cahaya	61
Gambar 4-3. Tegangan Output Pada Kondisi LDR1 Tidak Terkena Cahaya	62
Gambar 4-4. Pengujian Sensor Suhu LM35	63
Gambar 4-5. Rangkaian Pengujian Op-Amp LM324.....	68
Gambar 4-6. Tegangan Input Pada Op-Amp LM324.....	69
Gambar 4-7. Tegangan Output Pada Op-Amp LM324	70
Gambar 4-8. Rangkaian Pengujian ADC 0808	71
Gambar 4-9. Hasil Pengukuran Perubahan Tegangan Output Pada Rangkaian ADC0808	74
Gambar 4-10. Rangkaian Pengujian Driver Motor Reflektor.....	75
Gambar 4-11. Tegangan Input Pada Kondisi Motor Reflektor Diam	76
Gambar 4-12. Tegangan Output Pada Kondisi Motor Reflektor Diam.....	77
Gambar 4-13. Tegangan Input Pada Kondisi Motor Reflektor Berputar Kekiri	77
Gambar 4-14. Data Hasil Pengujian IC ULN2003 Sebagai Driver Buzzer...	79

Gambar 4-15. Hasil Pengukuran Tegangan Input Driver Buzzer Pada Kondisi Nyala	80
Gambar 4-16. Hasil Pengukuran Tegangan Output Driver Buzzer Pada Kondisi Nyala	80
Gambar 4-17. Pengujian Rangkaian Limit Switch	81
Gambar 4-18. Tegangan Output Pada Saat Limit Switch Tidak Ditekan	83
Gambar 4-19. Tegangan Output Pada Saat Limit Switch Ditekan	83
Gambar 4-20. Pengujian Dengan Menggunakan Kompor Tenaga Surya	87
Gambar 4-21. Besarnya Suhu Yang Dihasilkan Pada Kompor Tenaga Surya Selama Selang Waktu 30 Menit.....	87
Gambar 4-22. Pengujian Dengan Menggunakan kompor Gas	88
Gambar 4-23. Pengujian Dengan Menggunakan Kompor Minyak Tanah....	88

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2-1. Fungsi Khusus Port 1	19
Tabel 2-2. Fungsi Khusus Port 3	19
Tabel 2-3. <i>Special Function Register</i>	23
Tabel 4-1. Hasil Pengujian Tegangan Output LDR1, LDR2, dan LDR3	60
Tabel 4-2. Hasil Perhitungan dan Percobaan Tegangan Output Pada Sesnsor Suhu LM35	63
Tabel 4-3. Hasil Pengujian Tegangan Input dan Output Pada Op-Amp LM324	69
Tabel 4-4. Hasil Pengujian Perubahan Data Output Terhadap Tegangan Pada Rangkaian ADC0808	72
Tabel 4-5. Data Hasil Pengujian IC ULN2003A Sebagai Driver Relay	76
Tabel 4-6. Data Hasil Pengujian IC ULN2003 Sebagai Driver Buzzer	79
Tabel 4-7. Hasil Pengujian Rangkaian Limit Switch	82
Tabel 4-8. Hasil Pengujian Sistem Untuk Mendapatkan Suhu Yang Paling Panas	85
Tabel 4-9. Hasil Pengujian Kompor Tenaga Surya, Pengujian Minyak Tanah dan Pengujian Kompor Gas	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Minyak bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, dari tahun ke tahun cadangan minyak bumi di dunia semakin menipis dan penggunaannya semakin tahun semakin bertambah maka harga minyak bumi akan semakin naik.

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan salah satu hasil pengolahan dari minyak bumi yang merupakan kebutuhan pokok bagi manusia, dan akhir – akhir ini harga BBM dari hari ke hari semakin naik karena dana subsidi untuk BBM dari pemerintah semakin dikurangi. Dengan melihat keadaan ini maka kehidupan masyarakat semakin terbebani oleh harga bahan bakar minyak.. Harga minyak tanah pada perdesaan harganya akan semakin mahal dikarenakan biaya ongkos pengiriman yang naik juga, karena itu kompor tenaga surya dengan mengikuti arah matahari untuk media memasak alternatif yang lain selain kompor gas dan kompor minyak tanah, diharapkan kompor tersebut dapat menghemat penggunaan BBM sekaligus menghemat stok minyak bumi di dunia dan dapat mengurangi kenaikan harga minyak di pasar.

Untuk mengontrol alat tersebut diperlukan sebuah alat pengontrol yang mampu bekerja secara otomatis melakukan pendeteksian cahaya matahari dan memfokuskannya. Adapun controller yang digunakan sebagai pengolah otomatisasi

adalah Mikrokontroler AT89S51 yang dapat dengan mudah digunakan untuk mengontrol pendeteksian cahaya matahari dan memfokuskannya.

1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang dihadapi adalah:

1. Bagaimana perencanaan dan pembuatan sistem kompor tenaga surya dengan mengikuti arah matahari.
2. Bagaimana memanfaatkan Mikrokontroler AT89S51 sebagai suatu pengolah data masukan untuk mengatur otomatisasi pergerakan kompor tenaga surya.
3. Bagaimana memanfaatkan LDR sebagai sensor cahaya.
4. Bagaimana memanfaatkan LM35 sebagai sensor suhu.
5. Bagaimana memanfaatkan Motor DC sebagai penggerak reflektor cahaya.
6. Bagaimana memanfaatkan Buzzer sebagai tanda peringatan bahwa air sudah mendidih.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah merencanakan dan membuat kompor tenaga surya dengan mengikuti arah matahari untuk media memasak alternatif yang lain selain kompor gas dan kompor minyak tanah berbasis mikrokontroler AT89S51, maka judul skripsi ini adalah:

**“Perencanaan Dan Pembuatan Kompor Tenaga Surya Dengan Mengikuti
Arah Matahari Berbasis Mikrokontroler AT89S51”**

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu luas, maka penulis membatasi hanya pada hal-hal sebagai berikut :

1. Penggunaan kompor hanya bisa dipakai pada kondisi cuaca yang cerah dan tidak berawan.
2. Alat yang dibuat berbasis mikrokontroler yang diimplementasikan dengan menggunakan AT89S51.
3. Ditempatkan diluar ruangan atau halaman rumah yang cukup besar.
4. Media yang digunakan untuk menguji menggunakan air.
5. Tidak membahas power supply yang digunakan.

1.5. Metodologi Penulisan

Metode yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Studi Pustaka

Bertujuan untuk mengumpulkan literatur berisikan teori yang berhubungan dengan perencanaan alat, dipadukan dengan teori yang didapat dibangku kuliah.

2. Perencanaan dan pembuatan alat

Bertujuan untuk membuat diagram blok rangkaian yang sesuai dengan rencana kerja, yang kemudian direalisasikan dengan melaksanakan perencanaan dan pembuatan alat berdasarkan diagram blok rangkaian yang disusun.

3. Studi analisa alat

Dimaksudkan untuk melakukan analisa dan pengujian alat yang telah dirancang, apakah sesuai dengan fungsi kerja yang diharapkan atau tidak.

4. Penyusunan buku laporan

Bertujuan untuk menyusun data laporan berpedoman pada alat yang selesai dibuat beserta kesimpulan cara kerja dari alat tersebut

1.6. Sistematika Penulisan

Agar sistematis dan dapat mencapai pemahaman yang tepat maka skripsi ini disusun dalam beberapa bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi Latar belakang, Rumusan masalah, Tujuan, Batasan masalah, Metodologi penulisan, dan Sistematika penulisan..

BAB II LANDASAN TEORI

Meliputi teori penunjang yang membantu dalam pembuatan alat.

BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Meliputi berbagai hal yang berkenaan dengan perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak.

BAB IV PENGUJIAN ALAT

BAB V PENUTUP

Meliputi kesimpulan dan saran yang didapat selama perancangan dan pembuatan alat.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pendahuluan

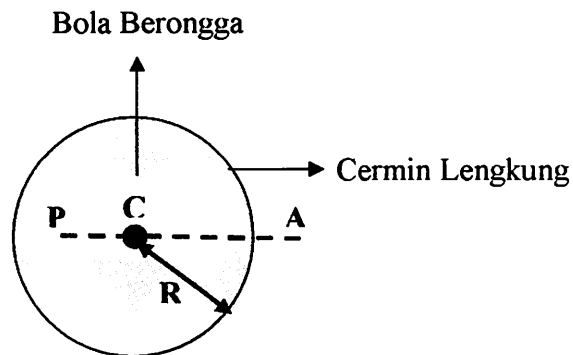
Pada bab ini akan dibahas mengenai teori penunjang dari peralatan yang direncanakan. Teori penunjang ini akan membahas tentang komponen dan peralatan pendukung pada alat yang dibuat. Pokok pembahasan pada bab ini adalah:

- Teori Pemantulan Cahaya
- Sensor Cahaya LDR
- Potensiometer
- Sensor Suhu LM35
- Penguat Operasional (Op – Amp)
- ADC 0808 (Analog to Digital Converter)
- Mikrokontroler AT89S51
- IC ULN 2003A
- Relay
- Motor DC
- Buzzer
- Limit Swicth

2.2. Teori Pemantulan Cahaya

2.2.1. Pemantulan pada Cermin Lengkung

Cermin lengkung merupakan bagian dari permukaan sebuah bola yang berongga seperti tampak pada gambar dibawah ini:



Gambar 2-1. Cermin Lengkung Sebagai Bagian Dari Kulit Bola^[4]

Garis PA yang melewati pusat bola dan tegak lurus terhadap permukaan adalah sumbu utama cermin. Jika cahaya dipantulkan dari sisi dalam bola maka cermin tersebut cermin cekung. Sebaliknya jika cahaya dipantulkan dari sisi luar bola, maka cermin disebut cermin cembung.

Hukum Pemantulan cahaya:

1. Sinar datang ,sinar pantul, dan garis normal berpotongan pada satu titik dan terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut datang sama dengan sudut pantul

2.2.2. Cermin Cekung

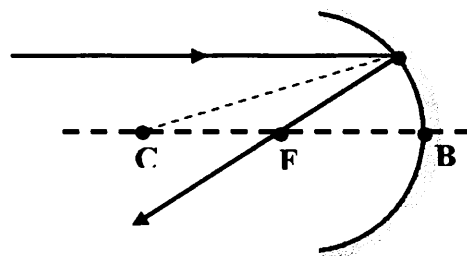
Cermin Cekung bersifat konvergen, yaitu bersifat mengumpulkan sinar. Berkas sinar sejajar sumbu utama dipantulkan mengumpul pada suatu titik yang dinamakan titik fokus (F) cermin maka sudut $FCA = \theta_1$ (bersebrangan dengan didalam sudut datang). Dengan demikian segitiga CFA adalah segitiga sama kaki sehingga $CF = AF$. Jika sinar datang tidak terlalu jauh dari sumbu utama sehingga titik A dekat dengan titik B, maka FA dan CF mendekati nilai FB. Karena $CF + FB$ adalah radius cermin (R). dari hukum pemantulan diperoleh:

$$FB = f = \frac{R}{2}$$

Keterangan:

FB = f = titik fokus

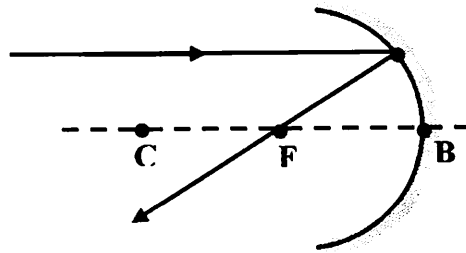
R = jarak titik fokus



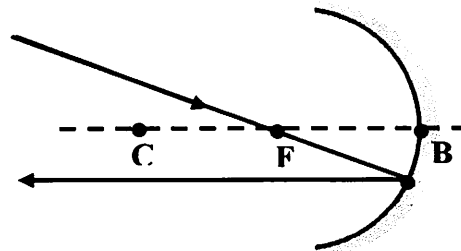
Gambar 2-2. Cermin Cekung Memenuhi Hukum Pemantulan^[4]

Sifat-sifat pada cermin cekung dalam menentukan titik fokus terdapat 2 sifat yaitu:

1. Sinar datang yang paralel sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus.
2. Sinar datang yang melalui titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama



Gambar 2-3. Sinar datang yang paralel sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus^[4]



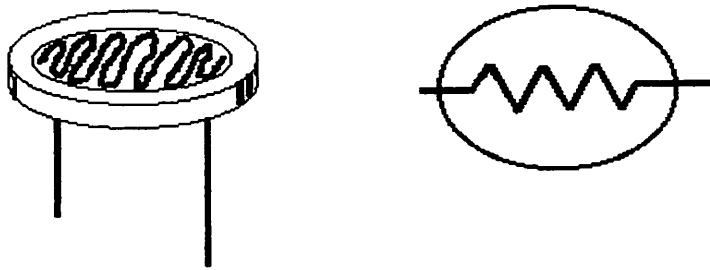
Gambar 2-4. Sinar datang yang melalui titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama^[4]

2.3. LDR (Light Dependent Resistor)

LDR adalah suatu komponen elektronika yang bersifat resistif, dimana nilai resistansi dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterimanya. Bila LDR dibawa dari ruangan dengan intensitas cahaya tertentu ke ruangan dengan intensitas cahaya yang lemah, maka nilai resistansinya akan berubah secara perlahan-lahan dalam selang waktu tertentu .

Laju perubahan merupakan ukuran yang paling tepat untuk menunjukkan perubahan resistansi dalam selang waktu tertentu. Besar laju perubahan yang

diberikan dinyatakan dalam satuan $K\Omega/\text{detik}$. Untuk LDR tipe arus harganya lebih dari $K\Omega/\text{detik}$, diukur selama 20 menit pertama mulai dari level cahaya 1000 lux.



Gambar 2-5. Simbol Dan Konstruksi LDR^[10]

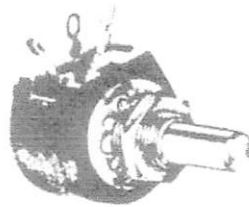
Kecepatan dan perubahan resistansi ini akan lebih besar nilainya pada arah sebaliknya yaitu dari tempat yang gelap ke tempat yang terang dengan intensitas cahaya sekitar 300 lux, akan memerlukan waktu 10 milidetik untuk mencapai nilai resistansi yang setaradengan level kuat cahaya 400 lux.

Dalam aplikasi rangkaian elektronika, LDR banyak dipakai sebagai alat pengindra cahaya. Penggunaannya antara lain sebagai saklar cahaya, mengukur intensitas cahaya dan lain-lain.

2.4. Potensiometer

Potensiometer pada skripsi ini digunakan sebagai sensor untuk mengetahui letak posisi reflektor kompor tenaga surya, pada keadaan kondisi cuaca gelap maka reflektor kompor akan kembali dalam posisi awal.

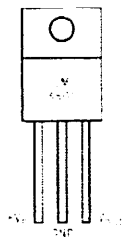
Potensiometer termasuk kedalam kelas *variable resistor* yang nilai tahanannya dapat berubah-ubah sesuai dengan letak kontak gesek dengan terminal-terminal ujungnya. Sehingga dapat pula dikatakan bahwa potensiometer memiliki perubahan nilai resistansi sebagai fungsi rotasi kontak gesek. Potensiometer dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu jenis linier dan jenis logaritmik. Nilai resistansi potensiometer ditandai dengan huruf A (untuk jenis linier) dan B (untuk jenis logaritmik), misalnya: A5 k Ω , B500 Ω .



Gambar 2-6 : Bentuk Fisik Potensiometer^[13]

2.5. IC LM35

IC LM35 merupakan seri integrasi yang digunakan sebagai sensor temperatur dengan output sebanding dengan derajat celcius dari temperatur. IC LM35 berisi zener yang sensitif terhadap suhu, dan tegangan zenernya berubah linier dari suhu sekelilingnya. Pada IC LM35 menghasilkan tegangan output sebesar 10mV untuk setiap kenaikan suhu sebesar 1°C.



Gambar 2-7 Fisik LM35^[5]

IC LM35 memiliki kelebihan dengan kelinieran suhu yang cukup tinggi yang disesuaikan dengan derajat kelvin, sehingga dalam penggunaannya tidak harus mengurangi besar tegangan konstan dari tegangan output pada skala yang tepat. Dalam pemakaian Ic ini tidak banyak kesulitan dalam pengkalibrasian secara ekstra dan memberikan keakurasian khusus pada temperatur $\pm 1/4$ °C dan $\pm 3/4$ °C. Dengan range yang lebih besar yaitu antara -55°C sampai +150°C. IC LM35 mempunyai impedansi output yang rendah, output temperatur yang linier dapat diberikan supply tegangan tunggal maupun tegangan simetris (tegangan plus dan tegangan minus).

IC LM35 memiliki beberapa macam tipe, antara lain LM35A, LM35C, LM35CA, LM35D, dari macam-macam tipe tersebut tersedia dalam beberapa package yaitu, TO-46 yang bentuknya seperti transistor, package TO-29 berupa package plastic seperti transistor dan dalam bentuk IC 8 pin dengan permukaan agak menonjol.

- Penunjukan kalibrasi dalam derajat celcius (°C).
- Skala linier 10mV/ °C.

- Memiliki range temperatur antara -55°C sampai $+150^{\circ}\text{C}$.
- Dioperasikan dengan tegangan 4 – 30 Volt
- Minimum pemanasan sendiri dalam udara $0,08^{\circ}\text{C}$.
- Keakuratan yang digunakan 0,5 C (di $+ 25^{\circ}\text{C}$).
- Minimum impedansi output 0,1 Ohm untuk 1 mA.

2.6. Penguat Operasional (Op-Amp)

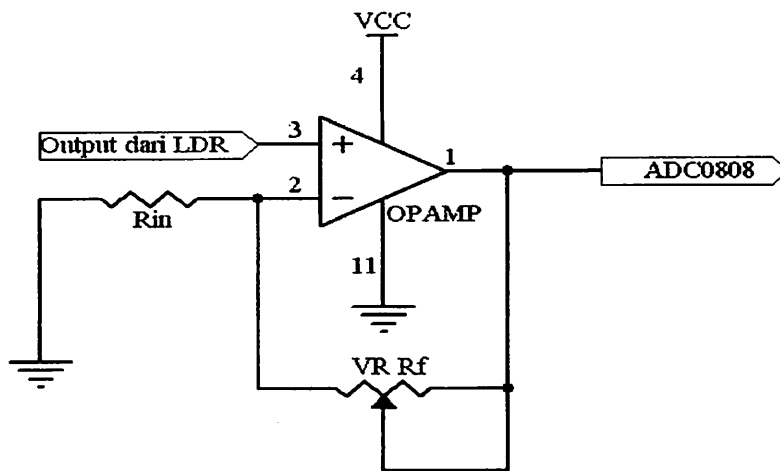
Op-Amp IC dapat dipakai sebagai penguat tak membalik sebagaimana terlihat pada gambar dibawah. Penguat adalah suatu rangkaian yang menerima sebuah isyarat di masuknya dan mengeluarkan berbentuk isyarat tak berubah di keluaranya. Tegangan keluaran (V_{out}) akan mempunyai polaritas yang sama seperti tegangan masukan (V_{in}).

Tegangan keluaran pada penguat tak membalik dapat dihitung dengan persamaan seagai berikut:

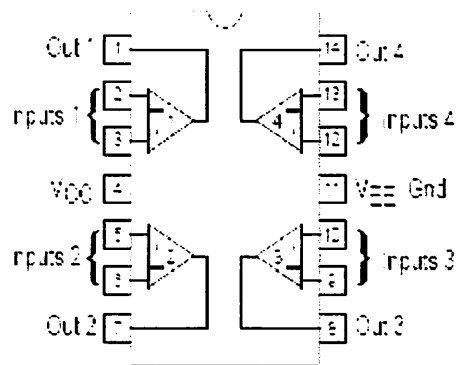
$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_{in}} + 1 \right) \times V_{in}$$

Dan besarnya penguatan tegangannya dapat diperoleh dengan rumus:

$$A_v = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$



Gambar 2-8 .Penguat tak membalik (Non Inverting)^[12]



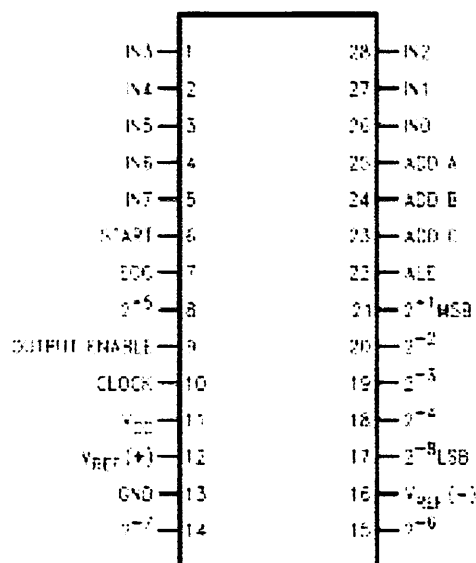
Gambar 2-9 Konfigurasi pin LM324^[6]

2.7. ADC 0808 (Analog to Digital Converter)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah rangkaian atau devais yang mengubah input analog menjadi output digital dalam bentuk biner yang ekuivalen. Dimana setiap perubahan pada output menyatakan kenaikan dari tegangan atau arus input.

Spesifikasi penting lain dari ADC selain ketelitian (akurasi) dan linieritas adalah waktu konversi (*conversion time*). Waktu konversi ADC adalah waktu yang diperlukan ADC untuk menghasilkan kode biner yang valid untuk tegangan masukan yang diberikan. Semakin pendek waktu konversi berarti kecepatan konversi semakin tinggi.

ADC 0808 adalah ADC yang mempunyai resolusi 8 bit dengan keluaran data paralel. ADC ini dapat menerima dan membaca tegangan input antara 0 – 5 volt.



Gambar 2-10 Konfigurasi pin-pin ADC 0808^[7]

2.8. Mikrokontroler AT89S51

Perbedaan mendasar antara mikrokontroler dan mikroprosesor adalah mikrokontroler selain memiliki CPU juga dilengkapi dengan memori *I/O* yang merupakan kelengkapan sebagai suatu *minimum system* mikrokomputer sehingga

mikrokontroller dapat dikatakan sebagai mikrokomputer dalam keping tunggal (*single chip microcomputer*) yang dapat berdiri sendiri.

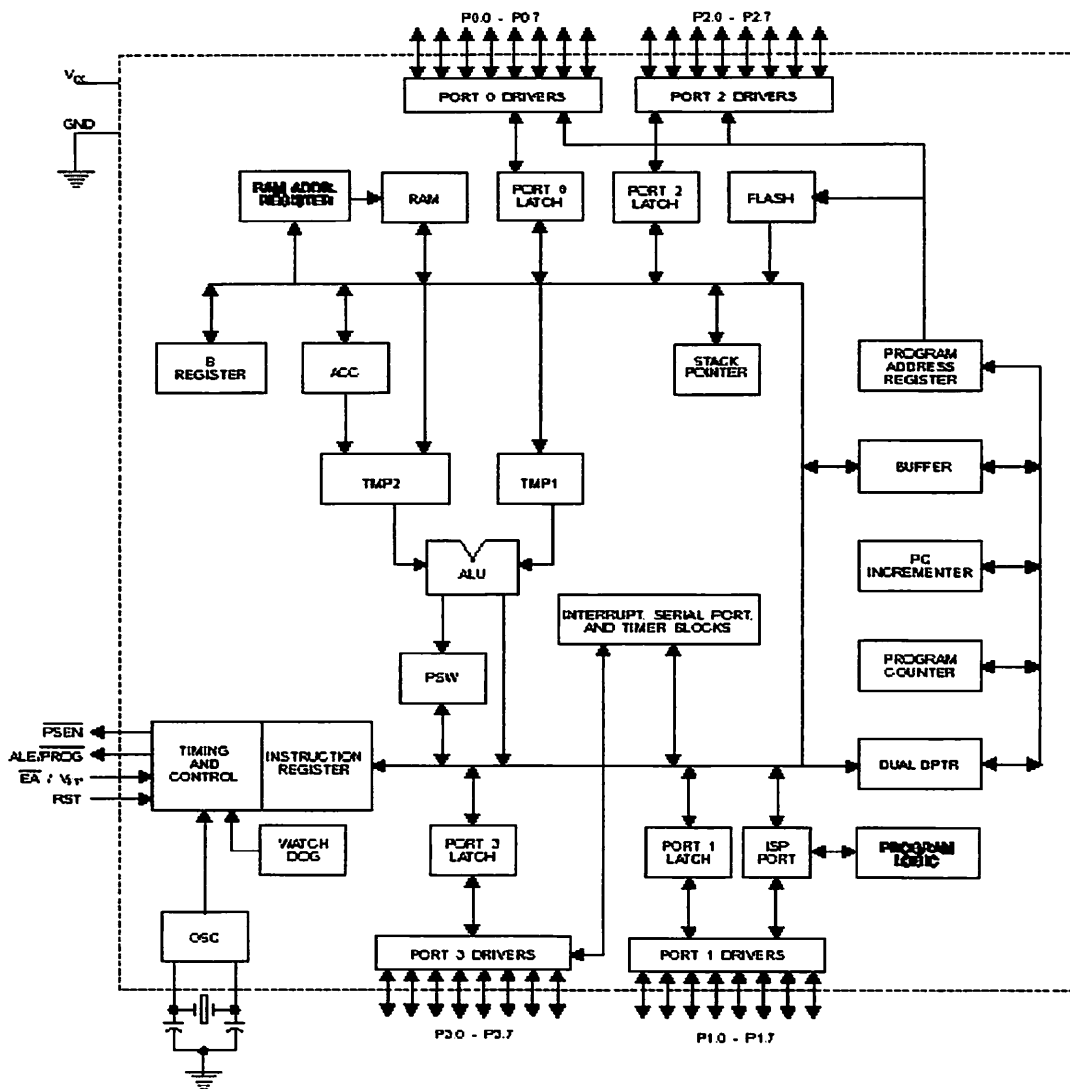
Mikrokontroller AT89S51 adalah mikrokontroller ATMEL *kompatibel* penuh dengan mikrokontroller keluarga MCS-51, dengan *supply* daya rendah, memiliki *performance* yang tinggi, dan merupakan mikrokontroller 8 bit yang dilengkapi 4 Kbyte EPROM (*Enable and programmable read Only Memory*) dan 128 Byte RAM *internal*. Program memori dapat diprogram ulang dalam sistem atau dengan menggunakan *Programmer Nonvolatly Memory Konvensional*.

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

2.8.1 Perangkat keras Mikrokontroller AT89S51

Mikrokontroller AT89S51 secara umum memiliki:

- CPU 8 bit
- *Memory*
- *Port I/O*
- *Timer dan Counter*
- Sumber *Interrupt*
- *Program Serial* yang dapat diprogram
- Osilator dan *Clock*



Gambar 2-11. Blok diagram Mikrokontroler AT89S51^[2]

2.8.2 Arsitektur AT89S51

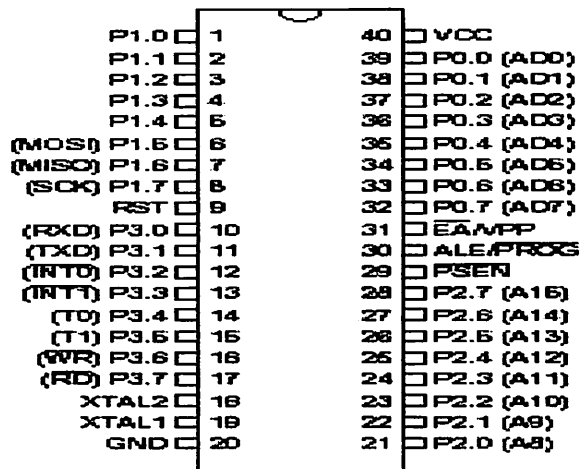
Arsitektur mikrokontroler AT89S51 adalah sebagai berikut :

1. CPU (*Central Processing Unit*) 8-bit dengan *register A (accumulator)* dan B
2. 16-Bit *Program Counter (PC)* dan *Data Pointer (DPTR)*.

3. 8- Bit *Program Status Word* (PSW).
4. 4-Bit *Stack Pointer* (SP).
5. 4 Kbyte *internal* EPROM.
6. 128 byte *internal* RAM.
 - 4 *bank register*, masing-masing berisi 8 byte
 - 16 byte alamat serbaguna yang dapat diakses sebagai byte atau bit, tergantung *software* yang digunakan.
 - 80 byte *general purpose memory* data.
7. 32 pin *input-output* tersusun atas P0-P3, masing-masing 8-bit.
8. 2 buah 16-bit *Timer/Counter*.
9. 2 buah *port serial full duplex*
10. *Control Register*, antara lain : TCON, SCON, PCON, IP, dan IE
11. 5 buah sumber interupsi (2 buah sumber interup eksternal dan 3 buah sumber *internal*).
12. Osilator dan *Clock Internal*.
13. *Watch Dog Programmable Timer*.
14. *ISP Port* .

2.8.3 Konfigurasi Pin-pin Mikrokontroller

Konfigurasi kaki-kaki Mikrokontroller terdiri dari 40 pena (pin), seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2-12 Konfigurasi pin-pin AT89S51^[2]

Fungsi dari tiap-tiap pin adalah sebagai berikut :

1. VCC (suplay tegangan).
2. GND (*ground*).
3. *Port 0*.

Merupakan *port input* dua arah dan dikonfigurasi sebagai *multipleks* dua bus alamat rendah (A0-A7) dan data selama pengaksesan program memori dan data internal.

4. *Port 1*.

Merupakan *port input* dua arah dengan pull-up dan juga menerima *Low-order address byte* selama memprogram dan verifikasi dari *flash*. Pada mikrokontroller AT89S51 port 1 memiliki 3 pin dengan fungsi khusus.

Tabel 2-1. Fungsi Khusus Port 1^[2]

Port Pin	Alternative Functions
P1.5	MOSI (<i>used for In-system Programming</i>)
P1.6	MOSI (<i>used for In-system Programming</i>)
P1.7	SCK (<i>used for In-Programming</i>)

5. *Port 2*

Merupakan *port I/O* dengan *internal pull-up*. Mengeluarkan *address* tinggi selama pengambilan (*fetching*) program memori eksternal. Selama pengaksesan ke eksternal data memori, port 2 mengeluarkan isi SFR (*Special Function Register*). Menerima *address* dan beberapa sinyal kontrol selama pemrograman.

6. *Port 3*

Merupakan *port I/O* dengan *internal pull-up*. Port 3 juga memiliki fungsi khusus, yaitu:

Tabel 2-2. Fungsi Khusus Port 3^[2]

Port Pin	Alternative Functions
P3.0	RXD (<i>serial input port</i>)
P3.1	TXD (<i>serial output port</i>)
P3.2	$\overline{INT0}$ (<i>external interrupt 0</i>)
P3.3	$\overline{INT1}$ (<i>external interrupt 1</i>)
P3.4	T0 (<i>timer 0 external input</i>)
P3.5	T1 (<i>timer 1 external input</i>)
P3.6	\overline{WR} (<i>internal data memory write strobe</i>)
P3.7	\overline{RD} (<i>external memory read strobe</i>)

7. Reset

Perubahan taraf tegangan dari rendah ke tinggi akan mereset AT 89S51.

8. ALE/PROG

Pulsa output ALE digunakan untuk proses-proses '*latching*' *byte address* rendah (A0-A7) selama pengaksesan ke memori eksternal. Pin ini juga digunakan untuk memasukkan pulsa program (*prog*) selama pemrograman.

9. PSEN

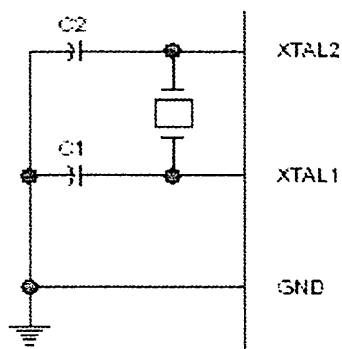
Merupakan *strobe* baca ke program memori eksternal.

10. EA/VPP

External Address Enable (EA) digroundkan jika mengakses memori eksternal, akan dihubungkan ke VCC jika digunakan untuk mengakses memori internal.

11. XTAL1 dan XTAL2

Kaki ini dihubungkan dengan kristal bila menggunakan osilator internal. XTAL1 merupakan *input inverting osilator amplifier* sedangkan XTAL2 merupakan *output inverting osilator amplifier*.



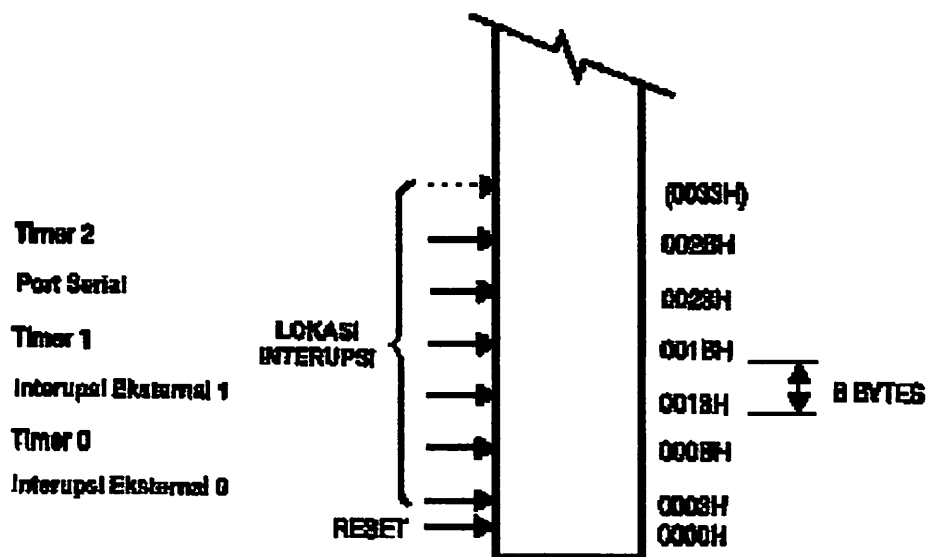
Gambar 2-13. Rangkaian *Clock*^[2]

2.8.4 Organisasi Memori

Organisasi memori pada mikrokontroler AT89S51 dapat dibagi menjadi dua bagian besar yaitu memori program dan memori data. Pembagian tersebut didasarkan atas fungsi dari penyimpanan data maupun program. Memori program digunakan untuk menyimpan instruksi-instruksi yang akan diajarkan oleh mikrokontroler, sedangkan memori data digunakan sebagai tempat menyimpan instruksi-instruksi yang sedang diolah mikrokontroler.

Program mikrokontroler disimpan dalam memori program berupa ROM. Mikrokontroler AT89S51 dilengkapi dengan ROM *internal*, sehingga untuk menyimpan program tidak digunakan ROM eksternal yang terpisah dari mikrokontroler. Agar tidak menggunakan memori program eksternal, EA (*Eksternal Address enable*) dihubungkan dengan Vcc.

Memori program mikrokontroler menggunakan alamat 16 bit mulai 0000_H-0FFF_H , sehingga kapasitas penyimpanan program maksimal adalah 4Kbyte. Sinyal / PSEN (*Program Strobe Enable*) tidak digunakan jika menggunakan memori *internal*.



Gambar 2-14. Alamat Memori^[2]

Selain program mikrokontroller AT 89S51 juga memiliki data internal 128 byte dan mampu mengakses memori data eksternal sebesar 64Kb. Semua memori data internal dapat dialamat dengan data langsung atau tidak langsung.. Sebagaimana memori tersebut dapat dialamat dengan memori satu bit. Untuk membaca data digunakan sinyal / RD sedangkan untuk menulis data digunakan sinyal / WR.

2.8.5 SFR (*Special Function Register*)

Register Fungsi Khusus (Special Function Register) terletak pada 128 byte bagian atas memori data internal dan berisi *register-register* untuk pelayanan *latch port, timer, program status words, control peripheral* dan sebagainya. Alamat register fungsi khusus ditunjukkan pada tabel 2.3

Tabel 2-3. *Special Function Register*⁽¹⁾

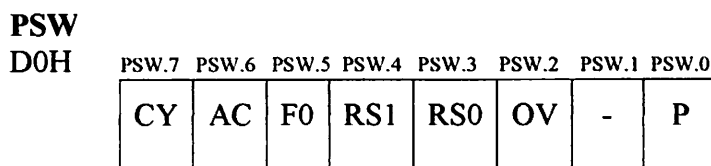
Simbol	Nama Register	Alamat
ACC	<i>Accumulator</i>	E0 _H
B	<i>Register B</i>	F0 _H
PSW	<i>Program Status Word</i>	D0 _H
SP	<i>Stack Pointer</i>	81 _H
DPTR	<i>Data Pointer 2 Byte</i>	
DPL	Bit Rendah	82 _H
DPH	Bit Tinggi	83 _H
P0	<i>Port 0</i>	80 _H
P1	<i>Port 1</i>	90 _H
P2	<i>Port 2</i>	A0 _H
P3	<i>Port 3</i>	B0 _H
IP	<i>Interrupt Priority Control</i>	D8 _H
IE	<i>Interrupt Enable Control</i>	A8 _H
TMOD	<i>Timer/Counter Mode Control</i>	89 _H
TCON	<i>Timer/Counter Control</i>	88 _H
TH0	<i>Timer/Counter 0 High byte</i>	8C _H
TL0	<i>Timer/Counter 0 Low byte</i>	8A _H
TH1	<i>Timer/Counter 1 High byte</i>	8D _H
TL1	<i>Timer/Counter 1 Low</i>	8B _H
SCON	<i>Serial Control</i>	98 _H
SBUF	<i>Serial Data Buffer</i>	99 _H
PCON	<i>Power Control</i>	87 _H

Beberapa macam *register* fungsi khusus yang sering digunakan adalah sebagai berikut :

- *Accumulator* (ACC) merupakan *register* untuk penambahan dan pengurangan. Perintah *mnemonic* untuk mengakses akumulator disederhanakan sebagai A.
- *Register B* merupakan *register* khusus yang berfungsi melayani operasi perkalian dan pembagian.
- *Register R* merupakan delapan set *register* yang dinamakan R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6 dan R7, fungsi dari *register-register* ini adalah sebagai *register* yang membantu penyimpanan data yang menggunakan banyak operasi. *Register-register* ini yang membantu akumulator dalam melakukan operasi antara dua operan.
- *Stack Pointer* (SP) merupakan *register* 8 bit yang dapat diletakkan dialamat manapun pada RAM *internal*.
- *Data Pointer* (DPTR) terdiri dari dua *register*, yaitu *register* untuk byte tinggi (*Data Pointer High*, DPH) dan register untuk byte rendah (*Data Pointer Low*, DPL) yang berfungsi untuk mengunci alamat 16 bit. DPTR berfungsi untuk menunjuk suatu lokasi data, namun pada beberapa perintah DPTR digunakan untuk mengakses memori eksternal.
- *PC (Program Counter)* merupakan alamat 16 bit yang menginstruksikan AT89S51 alamat instruksi yang selanjutnya akan dilaksanakan. Saat inisialisasi AT89S51, PC terisi dengan 00000h dan akan bertambah satu setiap kali instruksi telah dilaksanakan. Harga PC tidak dapat langsung dirubah

dengan menggunakan perintah MOV PC,2340h, namun dengan perintah LJMP 2340 yang akan mengisi PC dengan 2340h..

- *Program Status Word (PSW)* berisi bit-bit status yang berkaitan dengan kondisi CPU saat itu. PSW terletak pada alamat D0H.



Gambar 2-15. Register PSW dalam Mikrokontroler AT89S51^[1]

1. CY (*Flag Carry*)

Flag carry, yang terletak pada alamat D7H, berfungsi sebagai pendeteksi terjadinya kelebihan pada operasi penjumlahan, atau terjadinya peminjaman (*borrow*) pada operasi pengurangan. Misalnya, jika data pada akumulator adalah FFH dan dijumlahkan dengan bilangan satu atau lebih, maka akan terjadi kelebihan sehingga akan membuat *carry* menjadi *set*. Demikian juga apabila data pada akumulator adalah 00H dan dikurangkan dengan bilangan satu atau lebih, akan terjadi peminjaman sehingga membuat *carry* juga menjadi *set*.

2. AC (*Flag Auxiliary Carry*)

Flag auxiliary carry akan selalu dalam kondisi *set* apabila pada saat proses penjumlahan terjadi *carry* dari bit ketiga hingga bit keempat.

3. *Flag 0*

Flag 0 dapat digunakan untuk tujuan umum tergantung pada kebutuhan pemakai.

4. *RS (Register Select)*

Bit Pemilih *Bank Register (Register Bank Select Bits)* RS0 dan RS1 digunakan untuk menentukan lokasi dari *bank register (R0-R7)* pada memori. RS0 dan RS1 selalu bernilai 0 setiap kali sistem di reset sehingga lokasi dari *register R0* hingga *R7* akan berada pada alamat 00H hingga 07H.

5. *OV (Flag Overflow)*

Flag overflow akan berada pada kondisi set jika pada operasi aritmatik menghasilkan bilangan yang lebih besar daripada 128 atau lebih kecil dari -128.

6. *P (bit paritas)*

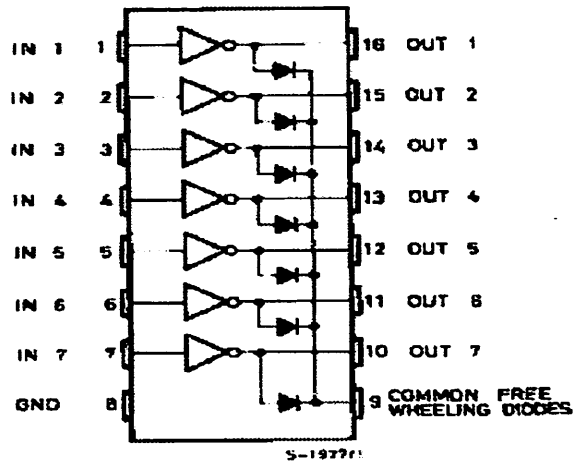
Bit paritas akan berada pada kondisi set jika jumlah bit 1 dalam akumulator adalah ganjil dan akan berada pada kondisi *clear* jika jumlah bit 1 dalam akumulator adalah genap. Misalnya, data yang tersimpan pada akumulator adalah 10101110b atau AEH maka *parity bit* akan berada pada kondisi *set*. Data AEH mempunyai lima bit yang berkondisi 1 atau dapat disebut mempunyai bit 1 dalam jumlah yang ganjil.

- *Port 0* sampai *Port 3* merupakan *register* yang berfungsi untuk membaca dan mengeluarkan data pada port 0,1,2 dan 3. Masing-masing *register* ini dapat dialamati per byte maupun per bit.
- *Control Register* terdiri dari register yang mempunyai fungsi kontrol. Untuk mengontrol sistem interupsi, terdapat dua *register* khusus yaitu *register IP (Interrupt Priority)* dan *register IE (Interrupt Enable)*. Untuk mengontrol *timer/counter* terdapat dua *register* khusus yaitu register *TCON (Timewr Counter Control)* serta *port serial* menggunakan *register SCON (Serial Port Control)*.

2.9. IC ULN 2003A

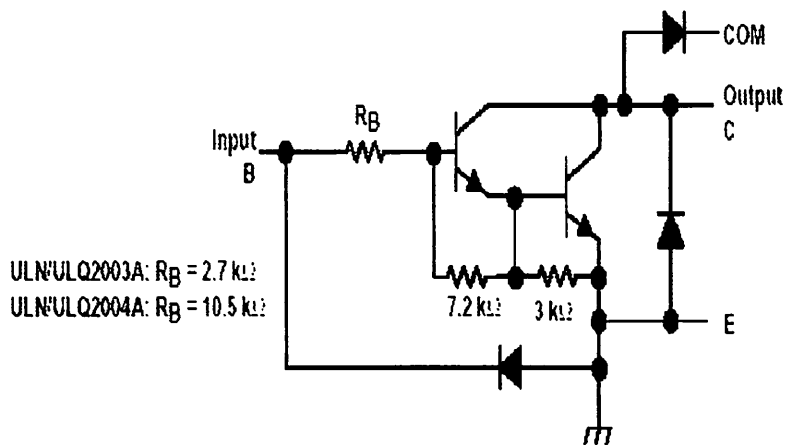
Pada IC ULN 2003A didalamnya terdapat rangkaian penguat Darlington. Untuk satu IC ULN2003A terdapat 7 pasang rangkaian Darlington NPN yang tersusun dalam rangkaian *common catoda*. Rangkaian Darlington ini digunakan sebagai saklar. Pada masing-masing rangkaian Darlington arus kolektornya sebesar 500mA. Rangkaian Darlington yang ada di dalam IC ULN 2003A dapat diparalel guna untuk kebutuhan arus yang besar. Karenanya IC ini dapat diaplikasikan untuk *driver* relay dan *logic buzzer*. Pada skripsi ini rangkaian Darlington yang ada pada IC ULN 2003A digunakan sebagai *driver* relay yang digunakan untuk mengendalikan putaran motorDC.

Adapun pin-pin koneksi yang ada dalam IC ULN 20003A dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2-16. Pin-Pin Koneksi Dalam IC ULN 2003A^[9]

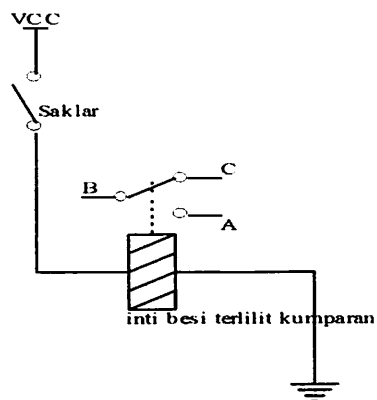
Sedangkan gambar untuk setiap rangkaian Darlington pada IC ULN 2003A dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2-17. Rangkaian Darlington didalam IC ULN 2003A^[9]

2.10. Relay

Relay adalah komponen elektronika yang terdiri dari sebuah lilitan kawat (kumparan/koil) yang terlilit pada sebuah besi lunak. Jika kumparan dialiri arus listrik maka inti besi akan menjadi magnet dan menarik pegas sehingga kontak AB terhubung dan BC terputus.

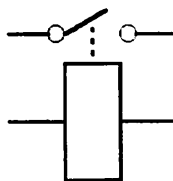


Gambar 2-18. Cara Kerja Relay^[11]

Relay merupakan suatu alat untuk menghubungkan atau memerlukan kontak antara komponen yang satu dengan yang lain. Dalam memutus atau menghubungkan kontak digerakkan oleh *fluksi* yang ditimbulkan dari adanya medan magnet listrik yang dihasilkan oleh kumparan yang melilit pada besi lunak.

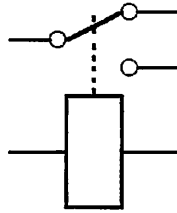
Ada beberapa macam relay, antara lain:

- SPST (*Single Pin Single Terminal*)



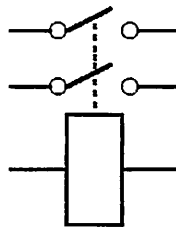
Gambar 2-19. Relay SPST^[11]

- SPDT (*Single Pin Dual Terminal*)



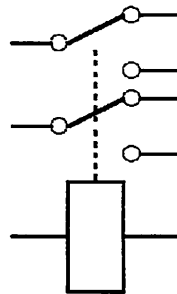
Gambar 2-20. Relay SPDT^[11]

- DPST (*Dual Pin Single Terminal*)



Gambar 2-21. Relay DPST^[11]

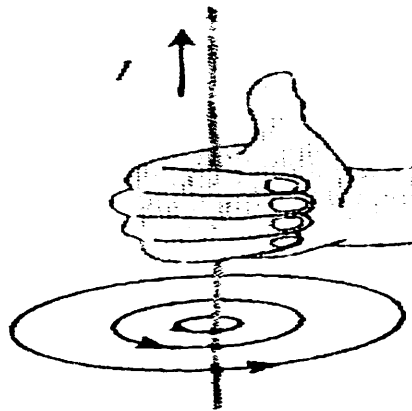
- DPDT (*Dual Pin Dual Terminal*)



Gambar 2-22. Relay DPDT^[11]

2.11. Motor DC

Setiap arus yang mengalir melalui sebuah konduktor akan menimbulkan medan magnet. Arah medan magnet dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan. Ibu jari tangan menunjukkan arah aliran arus listrik sedangkan jari-jari yang lain menunjukkan arah medan magnet yang timbul, seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut ini.



Gambar 2-23. Garis-Garis Medan Magnet disekitar Arus Listrik Pada Kawat Lurus^[3]

Kaidah tangan kanan untuk motor menunjukkan arah arus yang mengalir didalam sebuah konduktor yang berada dalam medan magnet. Jari tengah menunjukkan arah arus yang mengalir pada konduktor, jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet dan ibu jari menunjukkan arah gaya putar. Adapun besarnya gaya yang bekerja pada konduktor tersebut dapat dirumuskan dengan :

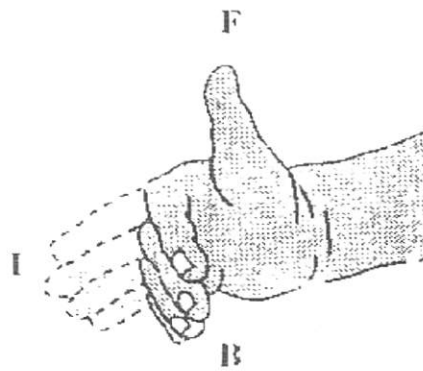
$$F = B.I.L \sin \theta \dots \dots \dots (\text{Newton})$$

Dimana : B = kerapatan *fluks* magnet (weber)

L = panjang konduktor (meter)

I = arus listrik (ampere)

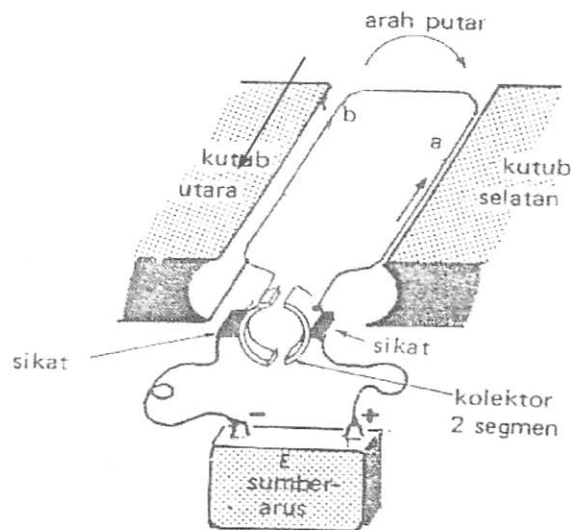
$\sin \theta$ = sudut antara antara arus dengan garis-garis medan.



Gambar 2-24. Kaidah Tangan Kanan^[3]

2.11.1 Cara Kerja Motor DC

Adapun cara kerja motor dc dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

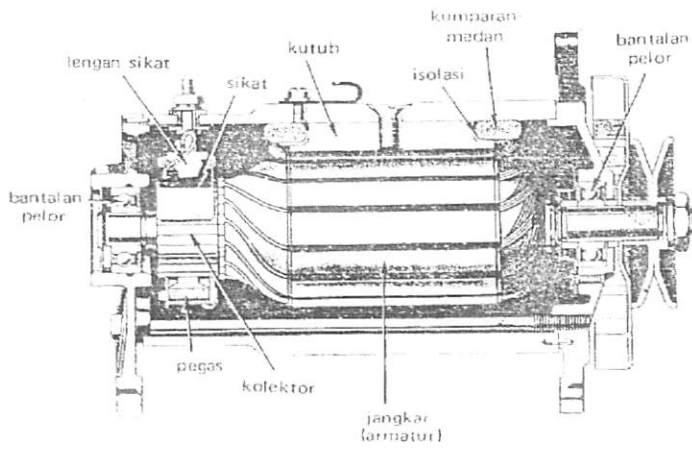


Gambar 2-25. Dalam Motor DC^[3]

Ada satu lilit kawat a – b berada di dalam medan magnet. Lilitan ini dapat berputar dengan bebas, lilitan ini biasa disebut dengan jangkat (*armour*).

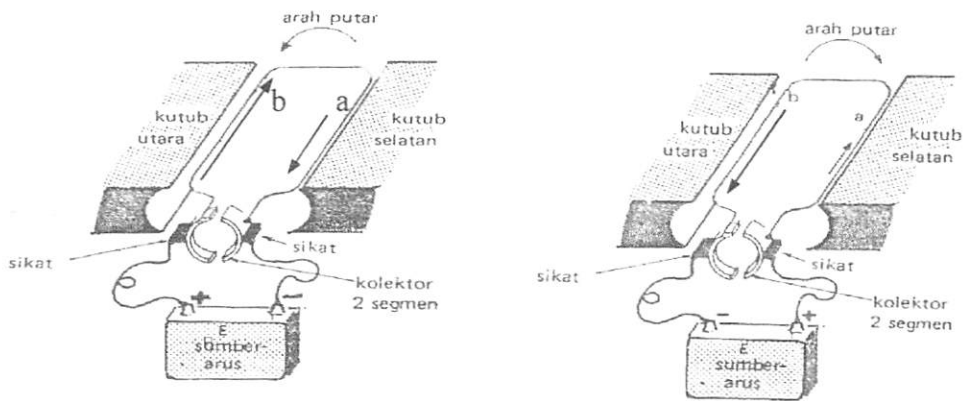
Pada jangkar dimasukkan arus yang berasal dari sumber (baterai) E. koneksi baterai dengan jangkar melalui sikat-sikat. Sikat-sikat ini terpasang pada sebuah cincin yang terbelah dua, yang disebut kolektir. Adapun tujuan dari konstruksi ini adalah agar lilitan kawat dapat berputar apabila ada arus listrik yang melewatinya.

Pada kawat yang berada di kanan arus mengalir dari depan ke belakang . dalam kawat yang di kiri, arus mengalir dari belakang ke depan . kawat a dan b secara berganti-gantian berada di kiri dan kanan. Karena itu arah arus di a dan arah arus di b selalu membolak balik. Pembalikan arah arus itu terjadi pada saat lilitan kawat melintasi posisi vertikal. Disini kolektor berfungsi bagaikan penyearah mekanik. Flux magnet yang ditimbulkan magnet permanen disebut medan magnetnya motor. Dalam gambar arah fluk magnetik adalah dari kiri ke kanan. Adapun gaya yang bekerja pada penghantar b adalah ke atas, sementara gaya yang bekerja pada penghantar a adalah ke bawah . Gaya-gaya yang bekerja sama kuatnya, jadi ada kopel yang bekerja pada kawat sehingga lilitan pun dapat berputar. Setelah berputar 90^0 arah arus berbalik, pada saat itu penghantar a dan penghantar b bertukar tempat. Akibatnya arah gerak putaran tidak berubah.



Gambar 2-26. Sebuah Motor DC^[3]

2.11.2 Pengendalian Arah Putaran Motor DC



Gambar 2-27. Pengendalian Arah Putaran Motor DC^[3]

Dari gambar diatas, agar arah putaran motor dc berubah, maka polaritas tegangan pada baterai harus dibalik.

2.12. Buzzer

Buzzer merupakan komponen yang mengubah tegangan listrik menjadi suatu getaran yang menimbulkan bunyi. Buzzer digunakan sebagai indikator apabila pada obyek yang dipanaskan telah mencapai suhu yang ditentukan.



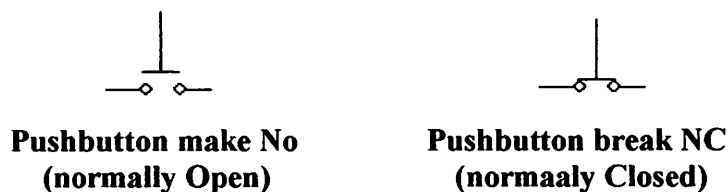
Gambar 2-28. Simbol Buzzer^[8]

2.13. Limit Swicth

Limit swicth merupakan sebuah saklar yang bekerja karena ada suatu sentuhan atau gesekan. Limit swicth mempunyai beberapa bagian antara penungkit dan roda penjulung yang merupakan bagian mekanik yang jika tersentuh oleh suatu benda atau mekanisasi lain, maka limit swicth akan on dan lalu menggerakkan lengan pengungkit dalam suatu kontak.

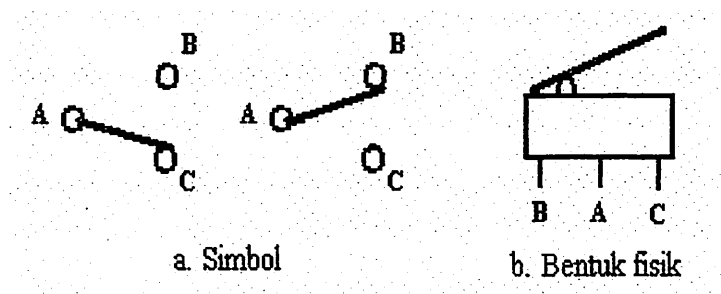
Ada beberapa tipe limit switch yaitu limit switch yang merupakan kontak NC (normally Closed) dan NO (Normally Open). Limit yang merupakan kontak NO berfungsi sebagai penghubung sedangkan yang kontak NC berfungsi sebagai pemutus.

Adapun simbol dari limit swicth atau push botton dari yang NC adalah sbb :



Gambar 2-29. Simbol Limit Switch^[10]

Sedangkan jenis limit switch yang digunakan dalam peralatan ini adalah yang terlihat seperti di bawah ini :



Gambar 2-30.

a). Simbol Limit Switch ^[10]

b). Bentuk Fisik ^{10]}

BAB III

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Pendahuluan

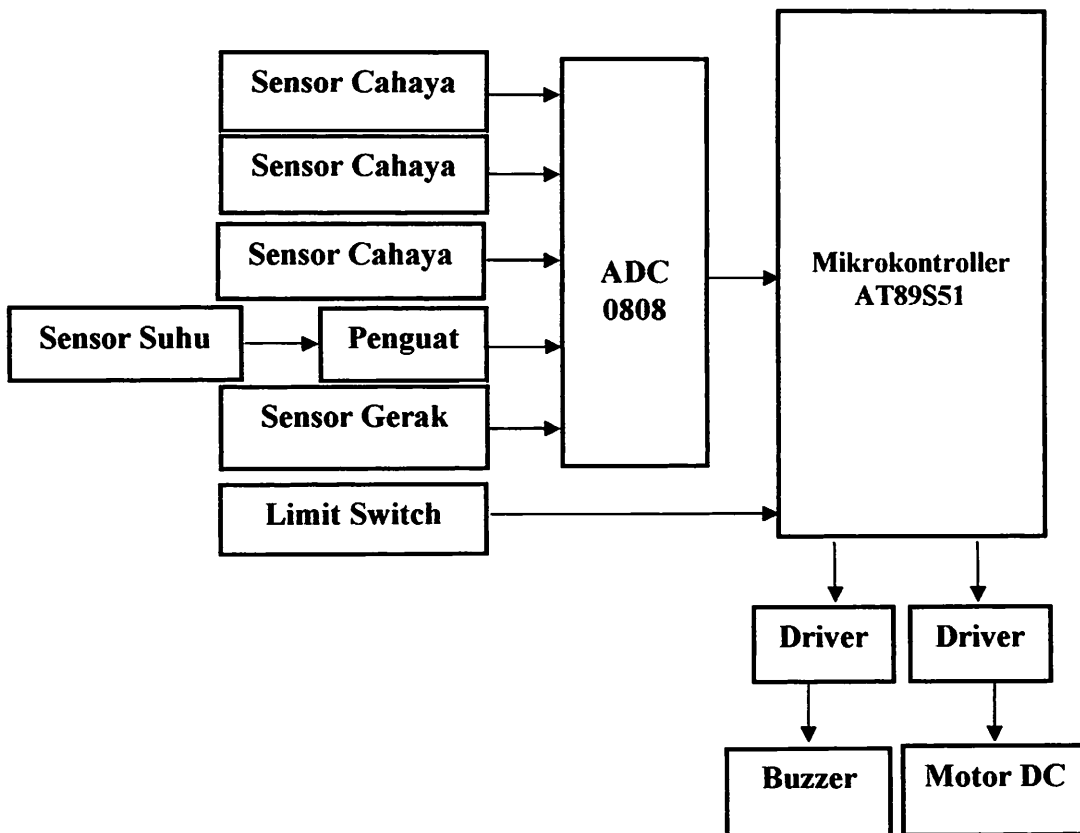
Pada bab ini akan dibahas mengenai peralatan yang direncanakan dan akan direalisasikan sebagaimana fungsinya. Adapun perencanaan dan pembuatan alat secara garis besar terdapat 2 (dua) bagian perangkat yang ada yaitu:

- Perencanaan dan pembuatan perangkat keras (Hardware)
- Perencanaan dan pembuatan perangkat lunak (Software)

Pada perencanaan perangkat keras akan meliputi seluruh periperal yang digunakan pada sistem ini. Pada perencanaan perangkat lunak akan meliputi flowchart dan software secara umum. Akan tetapi kedua perangkat tersebut dalam kerjanya akan saling menunjang satu sama lain.

3.2. Perancangan Blok Diagram

Untuk menjelaskan cara kerja dari alat ini dapat dijelaskan melalui konsep dasar diagram blok sebagai berikut :



Gambar 3-1. Diagram Blok Rangkaian

Dari gambar blok diagram diatas, maka dapat dilihat bahwa fungsi kerja dari kompor tenaga surya dengan mengikuti arah matahari adalah sebagai berikut:

- Sensor cahaya1 digunakan sebagai pendeteksi cahaya matahari untuk menggerakkan motor berputar kekanan.

- Sensor cahaya² digunakan sebagai pendeteksi cahaya matahari untuk menghentikan gerakan motor DC
- Sensor cahaya 3 digunakan sebagai pendeteksi cahaya matahari untuk menggerakkan motor berputar ke kiri
- Sensor suhu dipakai untuk mendeteksi suhu air.
- Sensor gerak digunakan untuk menempatkan reflektor kompor tenaga surya pada posisi awal.
- ADC digunakan sebagai konverter sinyal analog ke digital pada sensor .
- Unit kontrol yang digunakan adalah IC mikrokontroler 89S51
- Buzzer digunakan sebagai tanda peringatan apabila air sudah mendidih.
- Motor DC digunakan untuk menggerakkan reflektor kompor tenaga matahari.
- Limit Switch digunakan sebagai pembatas gerakan reflektor cahaya.

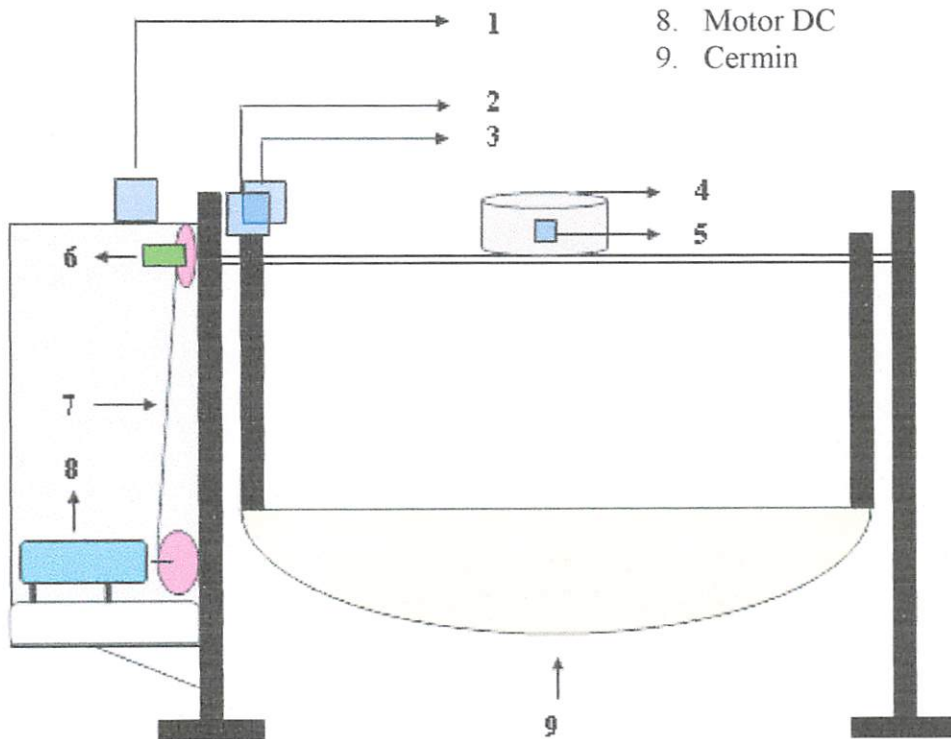
3.3. Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja dari alat ini adalah pada saat matahari bersinar sensor cahaya¹ dan sensor cahaya³ mendeteksi adanya sinar matahari. Perbandingan kedua sensor akan mengarahkan reflektor cahaya menuju arah matahari. Apabila sensor cahaya² sudah terfokus atau sudah memberikan outputan dengan nilai yang dikehendaki maka akan menghentikan gerakan motorDC atau reflektor cahaya. Kalau air dalam panci sudah mendidih maka sensor suhu memberikan imputan ke ADC kemudian diteruskan ke mikrokontroler untuk mengaktifkan *buzzer*. Jika *limit switch* aktif atau tertekan maka motorDC atau reflektor cahaya akan

berhenti. Dalam keadaan malam hari sensor gerak menempatkan reflektor kompor tenaga surya pada posisi awal semula.

Keterangan Gambar :

1. Sensor Cahaya1
2. Sensor Cahaya2
3. Sensor Cahaya3
4. Obyek yang dipanaskan
5. Sensor Suhu
6. Sensor Gerak
7. Rantai Gear
8. Motor DC
9. Cermin



Gambar 3-2. Kompor Tenaga Surya Dengan Mengikuti Arah Matahari

3.4. Perancangan Rangkaian Sensor Cahaya

Pada rangkaian sensor cahaya ini baik itu sensor cahaya1, sensor cahaya2, dan sensor cahaya3 digunakan sebuah *Light Dependent Resistor* (LDR), dimana sensor cahaya pada prinsip kerjanya mendeteksi adanya cahaya apabila LDR terkena cahaya maka nilai dari tahanannya akan mengecil. LDR tersebut dirangkai dengan resistor, resistor disini digunakan sebagai pembagi tegangan. Output dari rangkaian tersebut digunakan sebagai logika “0” dan “1” maka diperlukan rangkaian ADC yang mengubah data analog ke data digital. Untuk mengetahui tegangan outputnya maka dapat diukur dengan menggunakan rumus:

$$V_{out} = \frac{R_{vr}}{R_{vr} + R_{ldr}} \times V_{in}$$

Dimana :

V_{out} = Tegangan output

V_{in} = Tegangan input

R_{VR} = Tahanan tetap

R_{LDR} = Tahanan LDR

Diketahui:

Pada kondisi LDR Kena cahaya nilai dari $R_{LDR} = 740 \Omega$

V_{in} : 5 V

R_{VR} : 10 K

Sehingga besar V_{out} nya adalah :

$$V_{out} = \frac{R_{vr}}{R_{vr} + R_{ldr}} \times V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{10K}{10K + 740} \times 5$$

$$V_{out} = 4,65 \text{ V}$$

Pada kondisi LDR Tidakena cahaya nilai dari $R_{LDR} = 800 \text{ K}\Omega$

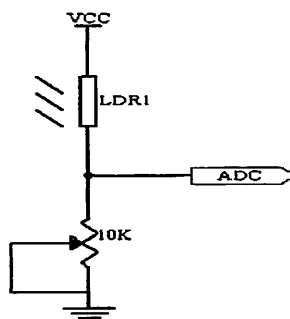
$$V_{out} = \frac{R_{vr}}{R_{vr} + R_{ldr}} \times V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{10K}{10K + 800K} \times 5$$

$$V_{out} = \frac{50K}{810K}$$

$$V_{out} = 0,06 \text{ V}$$

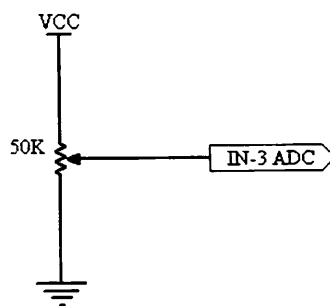
Adapun rangkaian driver dari LDR sensor adalah sebagai berikut:



Gambar 3-3. Rangkaian Driver Sensor Cahaya

3.5. Rangkaian Sensor Gerak

Rangkaian sensor gerak disini digunakan sebagai sensor untuk mengetahui kondisi reflektor cahaya untuk menempatkan reflektor cahaya pada posisi awal pada saat kompor tidak digunakan. Adapun sensor yang digunakan adalah sebuah potensiometer. Potensiometer termasuk kedalam kelas *variable resistor* yang nilai tahanannya dapat berubah-ubah sesuai dengan letak kontak gesek dengan terminal-terminal ujungnya. Potensiometer tersebut akan dihubungkan ke poros pegangan pada reflektor cahaya, dimana poros tersebut akan berputar yang memutar potensiometer yang outputnya digunakan untuk mengetahui posisi reflektor cahaya.



Gambar 3-4. Rangkaian Sensor Gerak

3.6. Rangkaian Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan pada perencanaan alat ini adalah IC LM 35. LM 35 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 0 Volt.

Alasan penggunaan sensor ini adalah :

- Mempunyai ketelitian dan ketepatan yang tinggi
- Mempunyai impedansi keluaran yang rendah dan kelinieran yang tinggi.
- Dengan keluaran 10mV setiap kenaikan 1 °C.

Dimana : Pin 1 sebagai ground

Pin 2 merupakan keluaran dari sensor suhu.

Pin 3 sebagai Vcc dengan tegangan sebesar 5 Volt.

Sensor suhu LM 35 digunakan untuk mengukur suhu pada saat air mendidih. Pada keadaan air mendidih suhu ± 100 °C. Tegangan keluaran yang diberikan sensor ketika proses pendeteksian temperatur adalah:

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

Dimana : V_{out} adalah tegangan output dari sensor LM 35 (Volt)

Temperatur adalah besaran suhu yang dibaca (°C)

Saat air mendidih suhu ± 100 °C maka tegangan dari sensor adalah:

$$\begin{aligned} V_{out} &= 100 \times 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \\ &= 1000\text{mV} = 1\text{V} \end{aligned}$$

Karena hasil dari perhitungan memiliki besaran 1V maka perlu dikuatkan terlebih dahulu oleh penguat Op-Amp. Karena hasil dari besaran temperatur ke besaran listrik masih dalam bentuk sinyal analog, maka sebelum di imputkan ke

mikrokontroller terlebih dahulu sinyal tersebut dikonversikan menggunakan pengubah sinyal analog ke digital yaitu ADC.

Pada sistem ini digunakan penguat tak membalik, yang berfungsi untuk menguatkan sinyal Output dari sensor suhu LM 35. Jenis IC yang digunakan adalah LM 324.

Dan perhitungan dari penguat tak membalik ini adalah sebagai berikut:

Diketahui :

$$V_{in} = 1V$$

$$V_o = 3V$$

Maka penguatan yang dibutuhkan adalah :

$$A = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{3}{1} = 3Kali$$

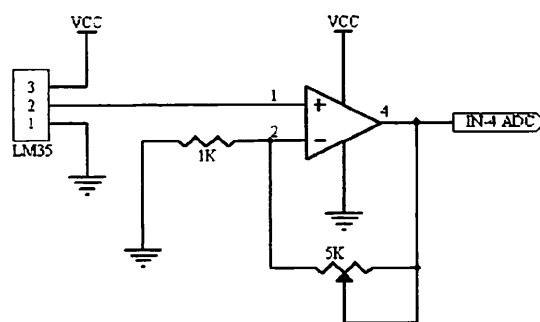
Rf yang dibutuhkan jika Rin = 1K adalah:

$$A = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$R_f = (A - 1) \cdot R_{in}$$

$$= (3-1) \cdot 1 \times 10^3$$

$$= 2 K\Omega \text{ Rangkaian sensor suhu terdapat pada gambar dibawah ini :}$$

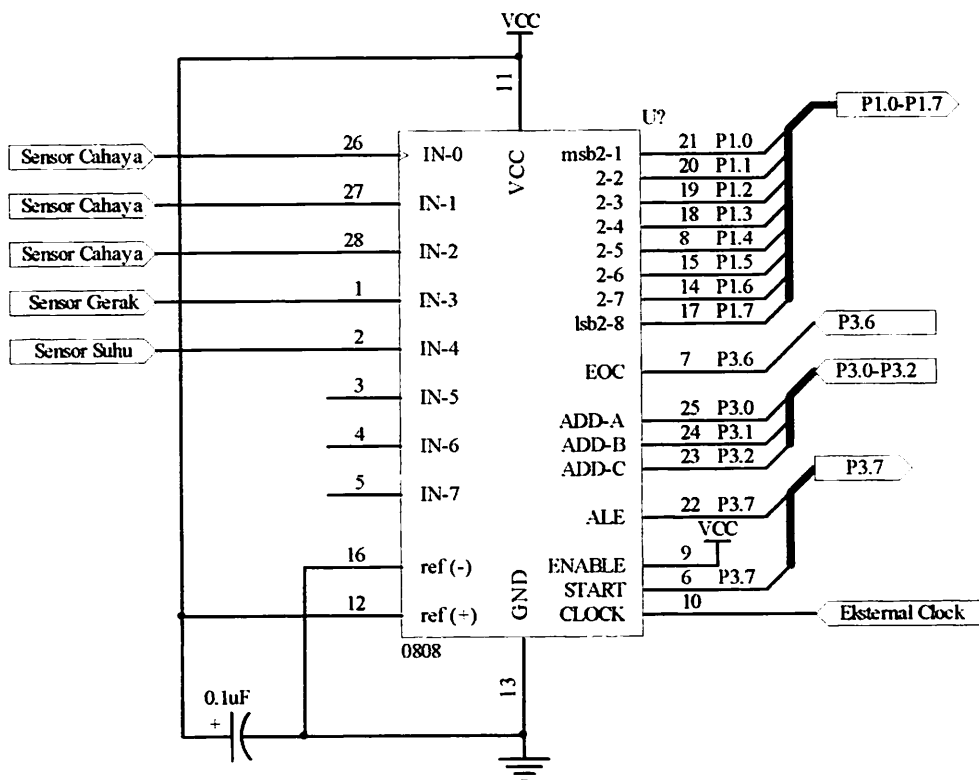


Gambar 3-5. Rangkaian Sensor Suhu

3.7. Perencanaan Rangkaian ADC 0808

Pada perancangan alat ini digunakan ADC 0808 yang merupakan ADC yang memiliki 8 buah inputan, tetapi pada sistem ini hanya digunakan 4 buah inputan yaitu: IN-0, IN-1, IN-2 dan IN-3, sedangkan kaki inputan yang tidak digunakan dibiarkan mengambang (NC)

Dan untuk memilih input analog yang akan dipakai maka select ADD-A dihubungkan ke P3.0, ADD-B dihubungkan ke P3.1 dan ADD-C dihubungkan ke P3.2 pada mikrokontroller. Sedangkan kedelapan bit data digital hasil konversi input analog dari semua sensor dihubungkan ke Port 1 dari mikrokontroller



Gambar 3-6. Perencanaan Rangkaian ADC0808

Karena tegangan yang diukur cukup stabil, maka tingkat resolusi dari ADC0808 diharapkan kecil, sehingga digunakan $V_{ref} = 5V$. Dimana tingkat resolusi dari ADC0808 adalah:

$$\text{Resolusi} = \frac{V_{ref}}{(2^8 - 1)}$$

$$\text{resolusi} = \frac{5}{(2^8 - 1)}$$

$$\text{resolusi} = 0,0196V = 19,6 \text{ mV}$$

Agar ADC0808 dapat bekerja, maka diperlukan sebuah sumber pulsa(clock) yang dihasilkan dari sebuah rangkaian RC dan sebuah Inverting Schmitt Trigger IC 74LS14.

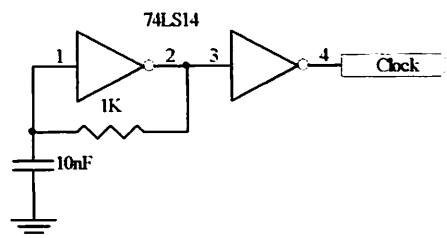
Besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian external clock ini adalah:

$$F = \frac{1}{1,1xRC}$$

$$F = \frac{1}{1,1x1.10^3.10.10^{-9}}$$

$$F = 90909,1 \text{ Hz}$$

$$F = 90,9 \text{ KHz}$$



Gambar 3-7. Clock ADC0808

3.8. Minimum Sistem AT89S51

Mikrokontroler AT89S51 dirancang untuk dapat berdiri sendiri, karena sudah terdapat 4 Kbytes PEROM, 128 x 8 bit RAM internal, 32 *Programmable I/O Lines*, dan terdapat dua 16 bit timer/counters. Dari fasilitas-fasilitas tersebut dapat memfungsikan mikrokontroler AT89S51 untuk bekerja dalam *single chip*, maksudnya dengan sebuah mikrokontroler saja sudah dapat mengontrol kerja dari keseluruhan sistem.

Port mikrokontroler di fungsikan sebagai I/O sebagai berikut:

- P1.0 – P1-7 digunakan untuk inputan ADC0808.
- P3.0, P3.1, dan P3.2 berfungsi sebagai data selector dari inputan ADC yaitu ADD-A, ADD-B, dan ADD-C.
- P0.0 – P0.2 sebagai data inputan driver motor.
- P2.0 dan P2.1 sebagai data inputan limit switch
- ALE/PROG

Pulsa ALE (*Address Latch Enable*) hanya digunakan untuk akses ke eksternal memori. Sedangkan PROG digunakan untuk input program selama program *Flash* memori. Karena dalam perancangan ini menggunakan *single chip* maka untu pin ALE/PROG tidak digunakan.

- PSEN

Program Strobe Enable berfungsi membaca *strobe* ke program memori eksternal. Untuk itu PSEN tidak digunakan.

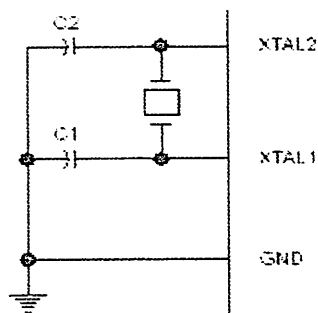
➤ EA/Vpp

Logika yang diberikan pada pin ini menunjukkan kerja dari mikrokontroller AT89S51. Pin ini dihubungkan ke Vcc karena pada perancangan ini tidak memanfaatkan memori eksternal.

➤ XTAL1 dan XTAL2

Untuk mendapatkan *clock* pada mikrokontroller, maka digunakan pin XTAL1 dan XTAL2 yang dihubungkan dengan sebuah kristal. Besar kristal

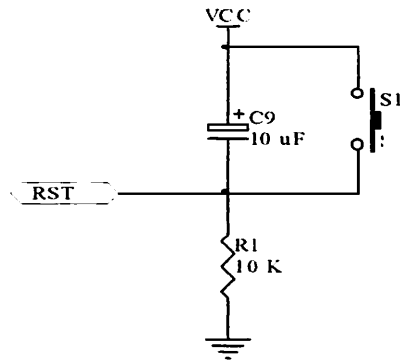
yang digunakan adalah 11,059 MHz. untuk menjaga kestabilan *clock*, maka ditambah 2 buah kapasitor seperti pada gambar dibawah ini:



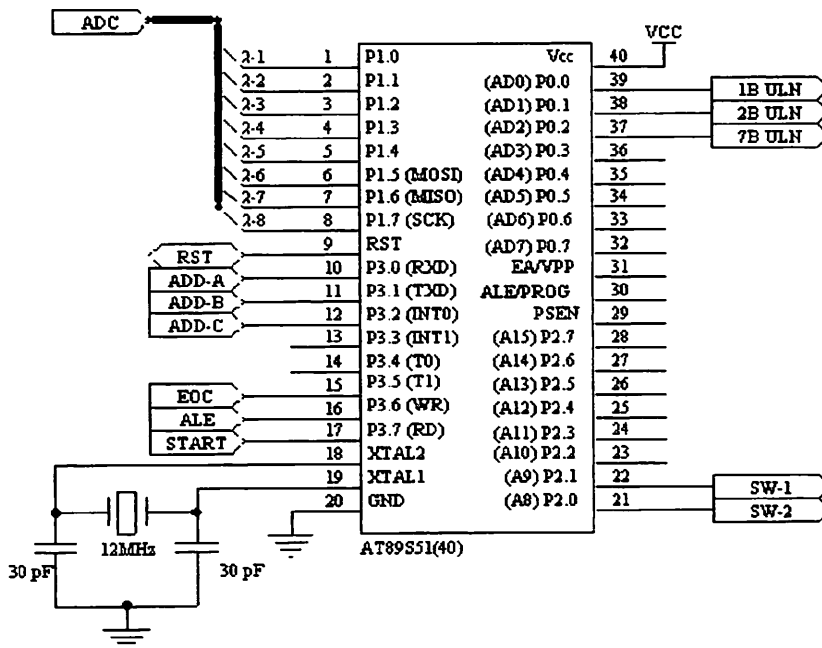
Gambar 3-8. Rangkaian *Clock*

➤ Reset

Untuk melakukan reset sistem pada mikrokontroller dapat dimanfaatkan pin reset yang ada padanya. Pin tersebut dihubungkan dengan rangkaian reset. Dibawah ini adalah adalah rangkaian reset :



Gambar 3-9. Rangkaian Reset



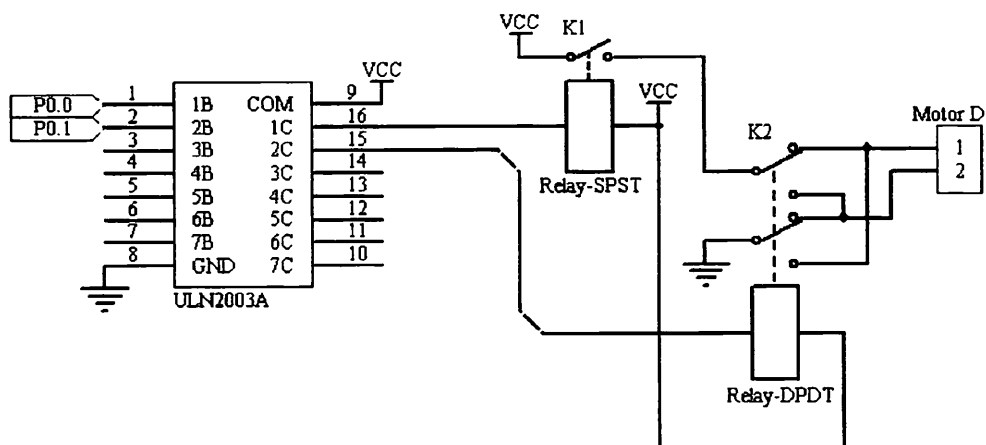
Gambar 3-10. Konfigurasi pin pada Mikrokontroler AT89S51

3.9. Rangkaian Driver ULN 2003A

Untuk keperluan ini diperlukan driver ULN 2003A yang mampu mengeluarkan arus maksimum 500 mA untuk setiap driver yang terdiri dari 7 buah rangkaian darlington NPN.

3.9.1. Rangkaian Driver Relay Motor DC

Untuk rangkaian driver relay motor DC digunakan IC ULN sebagai penggerak reflektor cahaya. Pada IC ULN 2003 dapat dipicu dengan tegangan 5 Volt dan arus maksimum sebesar 500mA dengan suhu kerja dari -20°C sampai 80°C . IC ULN2003 mampu menghidupkan dan mematikan relay untuk mengubah-ubah polaritas pada motor DC. Dibawah ini adalah rangkaian driver relay motor DC :



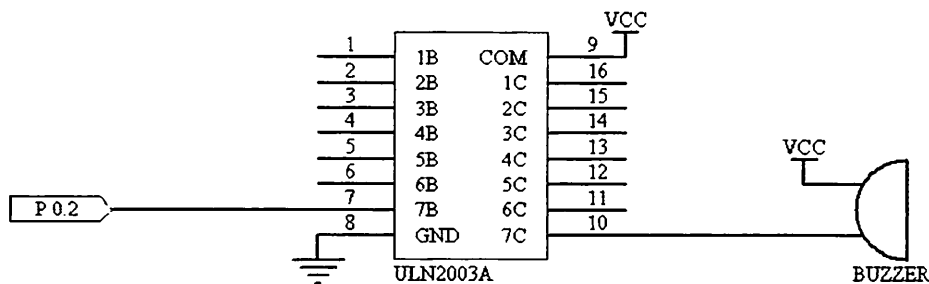
Gambar 3-11. Rangkaian Driver Relay Motor DC

Cara kerja dari rangkaian di atas adalah sebagai berikut :

- Apabila Port 0.0 dan P0.1 pada IC ULN mendapat logika *high* (1) maka pada kaki no 16 dan 15 akan menjadi *low* (0) sehingga K1 dari relay 1 dan K2a dan K2b dari relay 2 akan menjadi tertutup (*close*) ke bawah. Akibatnya motor akan tercatu daya sehingga motor akan berputar (di sini putaran motor diaplikasikan untuk memnggerakkan reflektor cahaya).
- Apabila P0.0 mendapat logika *high* (1) dan P0.1 pada IC ULN mendapat logika *low* (0), maka pada kaki no16 akan menjadi *low* (0) dan kaki no 15 akan menjadi *high* (1) sehingga K1 dari relay 1 akan tertutup (*close*), sedangkan kaki no 15 akan menjadi *high* (1) sehingga K1 dari relay 1 akan tertutup (*close*) ke atas,. Akibatnya motor akan tercatu daya dengan kondisi *polaritas* berbalikan dengan kondisi pertama sehingga motor berputar dengan arah berlawanan dengan kondisi pertama.

3.9.2. Rangkaian Driver Buzzer

Untuk menghasilkan sinyal output dari semikonduktor AT89S51 untuk mengaktifkan buzzer diperlukan driver, dimana driver digunakan adalah ULN 2003A. Pada perancangan ini,Buzzer berfungsi sebagai indikator peringatan bahwa air sudah mendidih. Rangkaian driver buzzer seperti dibawah ini :



Gambar 3-12. Rangkaian Driver buzzer

3.10. Sensor Pembatas Menggunakan *Limit switch*

Pada sensor pembatas gerakan reflektor cahaya agar tidak melebihi sudut yang ditentukan, disini menggunakan *limit switch* yang akan berubah logikanya. Pada saat normal dalam artian tidak terdapat tekanan kondisi dari *limit switch* ini adalah logika high atau “1” pada saat mendapat tekanan kondisi dari *limit switch* ini adalah low atau “0”.

Dari gambar dibawah ini diketahui bahwa *limit switch* ini terdapat 3 buah kaki yaitu antara lain kaki *common no* dan *nc*, untuk mendapatkan sinyal high maka kaki *common* dihubungkan langsung ke Vcc dan untuk kaki *no* dihubungkan ke mikrokontroller.

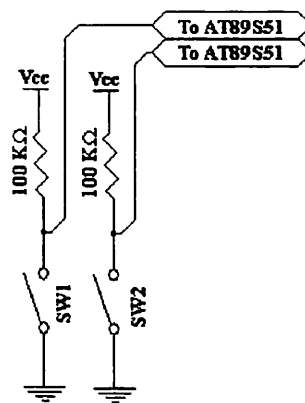
Agar rangkaian *limit switch* bekerja maka rangkaian digabungkan dengan rangkaian mikrokontroller . Rangkaian *limit switch* harus dapat mengeluarkan arus sebesar $650\mu\text{A}$ karena arus yang masuk diperbolehkan oleh mikrokontroller untuk mengubah dari logika tinggi ke logika rendah sebesar $650\mu\text{A}$

Maka didapat :

$$R = \frac{VCC}{I} = \frac{5}{650 \times 10^{-6}}$$

$$= 89285,7\Omega$$

karena dipasaran resistansi sebesar $89285,7\Omega$ tidak ada maka digunakan resistansi sebesar $100\text{ K}\Omega$



Gambar 3-13. Rangkaian *Limit Switch*

Keterangan :

SW1 Berfungsi untuk pembatas Reflektor Cahaya berputar kekiri.

SW2 Berfungsi untuk pembatas Reflektor Cahaya berputar kekanan.

3.11. Titik Fokus Cermin Cekung

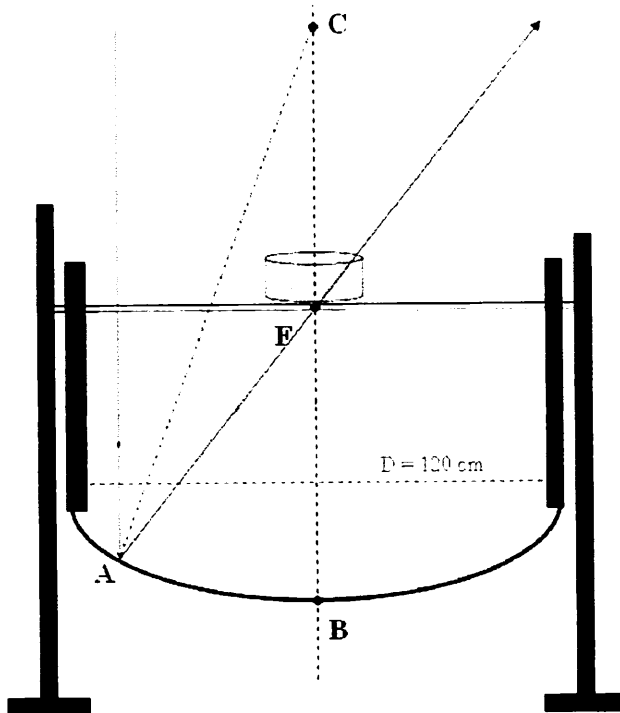
Cermin Cekung bersifat konvergen, yaitu bersifat mengumpulkan sinar. Berkas sinar sejajar sumbu utama dipantulkan mengumpul pada suatu titik yang dinamakan titik fokus (F) cermin maka sudut $FCA = \Theta_1$ (bersebrangan dengan didalam sudut datang). Dengan demikian segitiga CFA adalah segitiga sama kaki sehingga $CF = AF$. Jika sinar datang tidak terlalu jauh dari sumbu

utama sehingga titik A dekat dengan titik B, maka FA dan CF mendekati nilai FB. Karena $CF + FB$ adalah radius cermin (R), maka dari hukum pemantulan (Rumus 2.2) diperoleh:

$$FB = f = \frac{R}{2}$$

Keterangan:

$FB = f =$ titik fokus



Gambar 3-14. Titik Fokus Cermin

Diketahui : $D = 120 \text{ Cm}$

dimana $CF + FB = R$, dan $R = D$

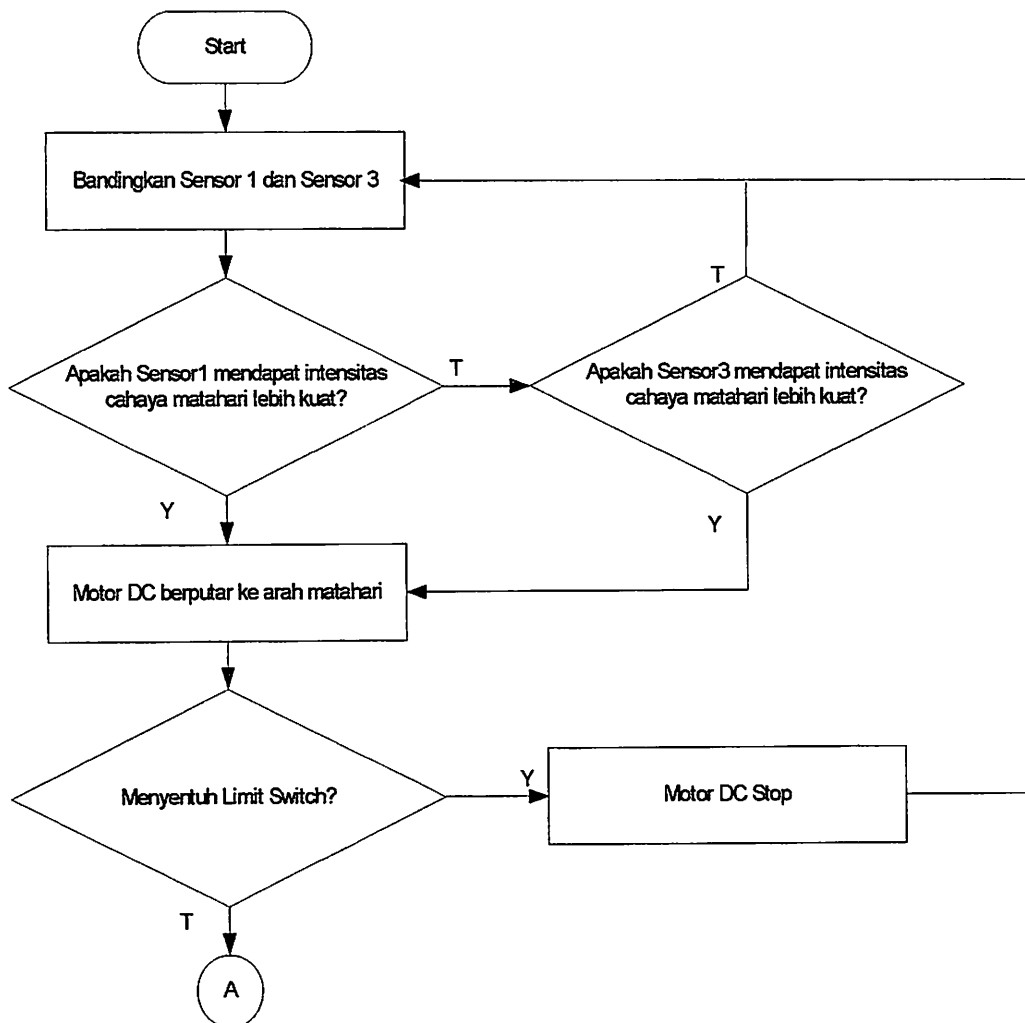
Dari nilai diameter diatas dapat dicari Jarak titik fokus dengan rumus sebagai berikut:

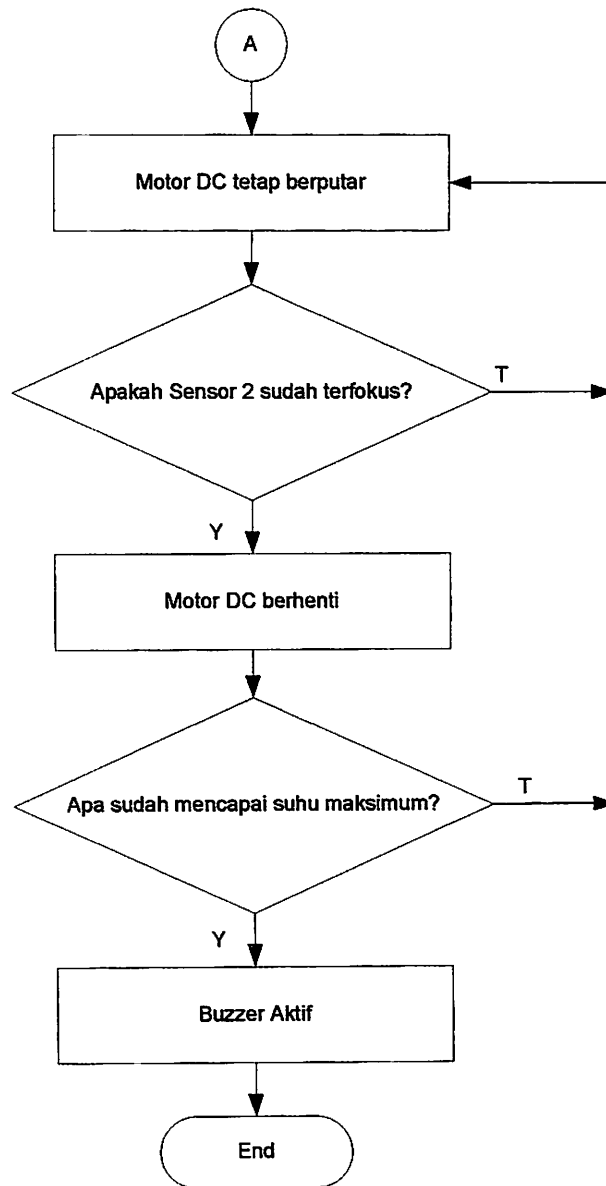
$$\begin{aligned} f &= \frac{R}{2} \\ &= \frac{120}{2} \\ &= 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.12. Perancangan Perangkat Lunak

3.12.1. Flow Chart

Adapun cara kerja dari perangkat lunak secara umum sebagai berikut :





Gambar 3-15. *Flow chart*

BAB IV

PENGUJIAN ALAT

Setelah perangkat keras dan perangkat lunak yang direncanakan selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap alat yang dibuat. Tahap pengujian alat ini perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil pengukuran serta kerja alat sesuai dengan yang diharapkan.

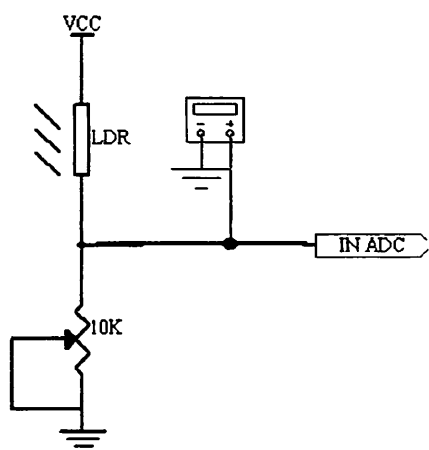
4.1. Pengujian dan Pengukuran LDR

4.1.1. Tujuan

Pengujian dan pengukuran LDR bertujuan untuk menguji kepekaan LDR terhadap intensitas cahaya matahari. Pada pengujian ini digunakan sample untuk keadaan gelap dan terang, hasil pengukuran seperti pada tabel.

4.1.2. Peralatan Yang Digunakan

1. Multimeter digital DT-830B.
2. Rangkaian Pengujian LDR
3. Catu daya 5 volt
4. Kabel jepit buaya



Gambar 4-1. Rangkaian Pengujian LDR

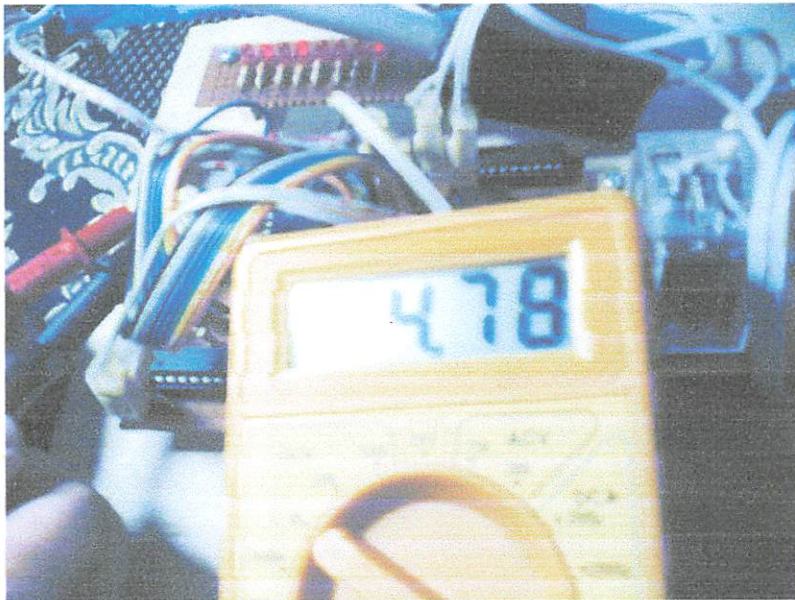
4.1.3. Hasil Pengujian

Tabel 4-1. Hasil Pengujian Tegangan Output Pada LDR1, LDR2, dan LDR3

LDR	Kondisi LDR	Output (V)
LDR1	Ada Cahaya	4,78
	Tidak Ada Cahaya	0,06
LDR2	Ada Cahaya	4,89
	Tidak Ada Cahaya	0,06
LDR3	Ada Cahaya	4,90
	Tidak Ada Cahaya	0,07
LDR1	Ada Cahaya	4,79
	Tidak Ada Cahaya	0,09
LDR2	Ada Cahaya	4,85
	Tidak Ada Cahaya	0,10
LDR3	Ada Cahaya	4,87
	Tidak Ada Cahaya	0,09

4.1.4. Kesimpulan

Dari data diatas dapat diperoleh kesimpulan bahwa, pada saat ada cahaya maka intensitas cahaya yang masuk ke LDR semakin besar, dan resistansi pada LDR akan semakin kecil sehingga tegangan yang keluar dari rangkaian sensor akan besar, demikian pula pada saat tidak ada cahaya maka intensitas cahaya yang masuk ke LDR semakin kecil, dan resistansi pada LDR akan semakin besar sehingga tegangan yang keluar dari rangkaian sensor akan kecil.



Gambar 4-2. Tegangan Output Pada Kondisi LDR1 Terkena Cahaya



Gambar 4-3. Tegangan Output Pada Kondisi LDR1 Tidak Terkena Cahaya

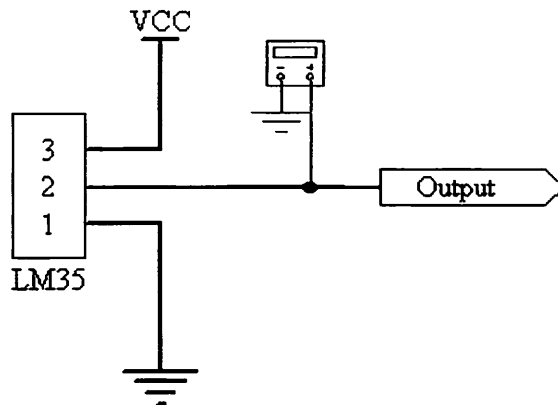
4.2. Pengujian dan Pengukuran Kepekaan Sensor Suhu

4.2.1. Tujuan

Pengujian dan pengukuran sensor suhu bertujuan untuk menguji kepekaan LM35 terhadap suhu didalam air yang dipanaskan. Pada pengujian ini digunakan sample 90°C sampai 100°C .

4.2.2. Peralatan Yang Digunakan

1. Power Supply
2. Rangkaian pengujian Op-Amp
3. Multimeter
4. Kabel Jepit Buaya



Gambar 4-4. Pengujian Sensor Suhu LM35

4.2.3. Hasil Pengujian

Tabel 4-2. Hasil Perhitungan dan Percobaan Tegangan Output Pada Sensor Suhu

LM35

Suhu Air (°C)	Perhitungan Output (mV)	Percobaan Output (mV)	Error (%)	Ketelitian (%)
90	900	895	0,55	99,45
91	910	905	0,54	99,56
92	920	918	0,21	99,79
93	930	927	0,32	99,68
94	940	939	0,10	99,90
95	950	946	0,42	99,58
96	960	957	0,31	99,69
97	970	965	0,51	99,49
98	980	976	0,40	99,60
99	990	985	0,50	99,50
100	1000	998	0,20	99,80

4.2.4. Analisa Data

Untuk mencari persentase error maka digunakan rumus:

$$\%Error = \left| \frac{Hasil\ Perhitungan - Hasil\ Pengukuran}{Hasil\ Perhitungan} \right| \times 100\%$$

$$\% Ketelitian = 100\% - \% Error$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 90°C :

$$\begin{aligned} \%Error &= \left| \frac{900 - 895}{900} \right| \times 100\% \\ &= 0,55\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% Ketelitian &= 100\% - 0,55\% \\ &= 99,45\% \end{aligned}$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 91°C :

$$\begin{aligned} \%Error &= \left| \frac{910 - 905}{910} \right| \times 100\% \\ &= 0,54\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% Ketelitian &= 100\% - 0,54\% \\ &= 99,46\% \end{aligned}$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 92°C :

$$\%Error = \left| \frac{920 - 918}{920} \right| \times 100\%$$

$$= 0,21 \%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,21\%$$

$$= 99,79\%$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 93°C :

$$\%Error = \left| \frac{930 - 927}{930} \right| \times 100\%$$

$$= 0,32 \%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,32\%$$

$$= 99,68\%$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 94°C :

$$\%Error = \left| \frac{940 - 939}{940} \right| \times 100\%$$

$$= 0,10 \%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,10\%$$

$$= 99,90\%$$

- LM35 pada kondisi suhu 95°C :

$$\%Error = \left| \frac{950 - 946}{950} \right| \times 100\%$$

$$= 0,42 \%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,42\%$$

$$= 99,58\%$$

- LM35 pada kondisi suhu 96°C :

$$\%Error = \left| \frac{960 - 957}{960} \right| \times 100\%$$

$$= 0,31 \%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,31\%$$

$$= 99,69\%$$

- LM35 pada kondisi suhu 97°C :

$$\%Error = \left| \frac{970 - 965}{965} \right| \times 100\%$$

$$= 0,51\%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,51\%$$

$$= 99,49\%$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 98°C :

$$\%Error = \left| \frac{980 - 976}{980} \right| \times 100\%$$

$$= 0,40 \%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,40\%$$

$$= 99,60\%$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 99°C :

$$\%Error = \left| \frac{990 - 985}{990} \right| \times 100\%$$

$$= 0,50 \%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,50\%$$

$$= 99,50\%$$

➤ LM35 pada kondisi suhu 100°C :

$$\%Error = \left| \frac{1000 - 998}{1000} \right| \times 100\%$$

$$= 0,20\%$$

$$\% \text{ Ketelitian} = 100\% - 0,20\%$$

$$= 99,80\%$$

4.2.5. Kesimpulan

Dapat dilihat dari tabel diatas dari hasil pengukuran sensor suhu LM35, setiap kenaikan 1°C tegangan outputnya sebesar $\pm 10\text{mV}$. Dari hasil percobaan kondisi air dianggap sudah mendidih pada suhu 98°C .

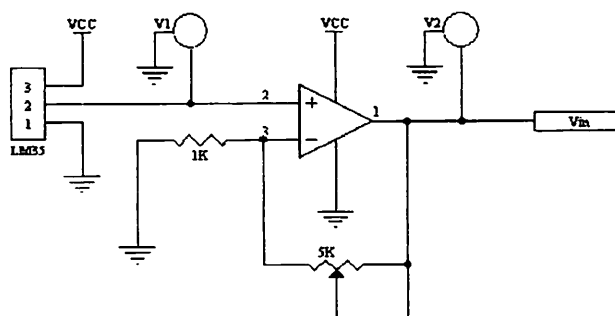
4.3. Pengujian Op-Amp LM324

4.3.1. Tujuan

Untuk mengetahui besarnya penguatan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian Op-Amp pada rangkaian sensor suhu LM35.

4.3.2. Peralatan Yang Digunakan

1. Power Supply
2. Rangkaian pengujian Op-Amp
3. Multimeter
4. Kabel Jepit Buaya

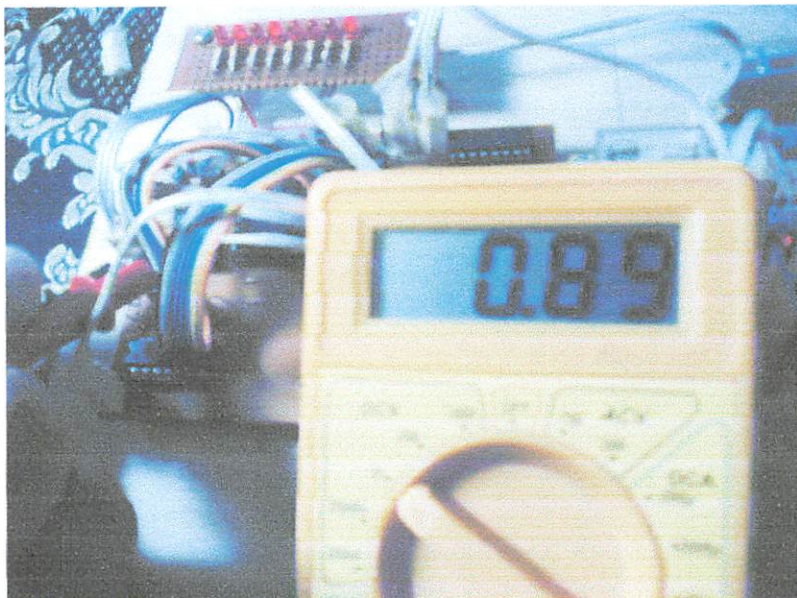


Gambar 4-5. Rangkaian Pengujian Op-Amp LM324

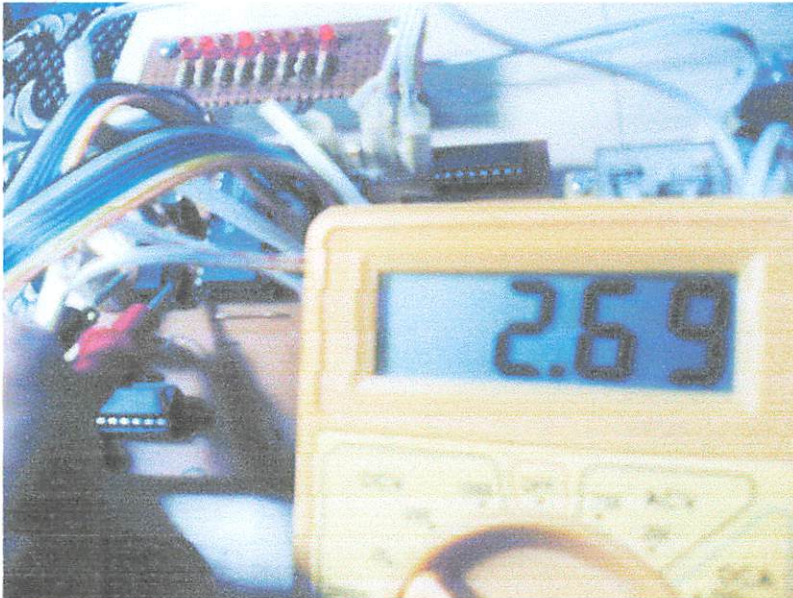
4.3.3. Hasil Pengujian

Tabel 4-3. Hasil Pengujian Tegangan Input dan Output Pada Op-Amp LM324

Tegangan Inputan (V)	Tegangan Output (V)
0,89	2,69
0,90	2,69
0,91	2,73
0,92	2,76
0,93	2,79
0,94	2,81
0,95	2,83
0,96	2,89
0,97	2,90
0,98	2,95
0,99	3,00



Gambar 4-6. Tegangan Input Pada Op-Amp LM324



Gambar 4-7. Tegangan Output Pada Op-Amp LM324

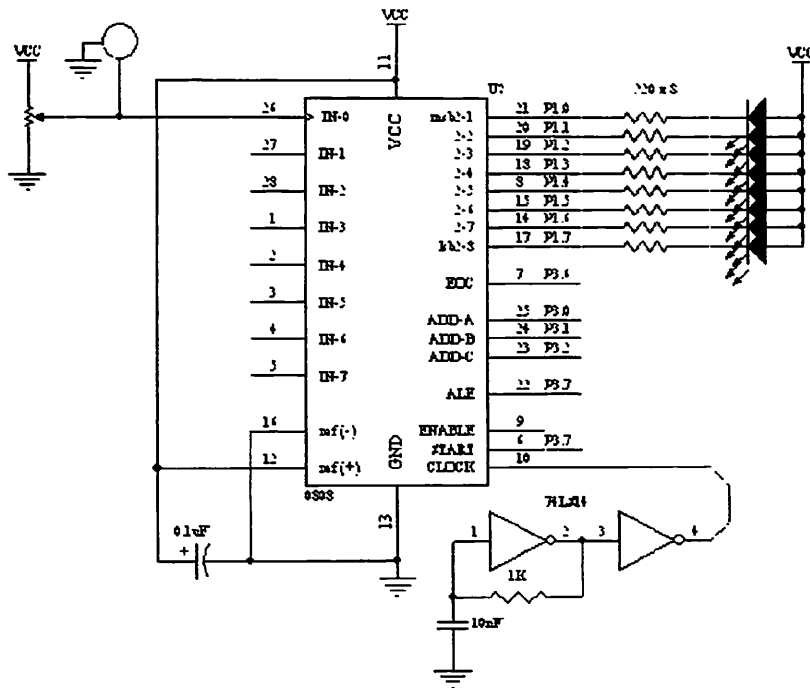
4.4. Pengujian Rangkaian ADC0808

4.4.1. Tujuan

Untuk mengetahui perubahan tegangan dari Sensor Gerak berupa potensiometer pada setiap perubahan putarannya yang dirubah menjadi digital.

4.4.2. Peralatan Yang Digunakan

1. Power Supply 5 Volt DC
2. Digital Multimeter GE-830B
3. Rangkaian LED
4. Potensiometer



Gambar 4-8. Rangkaian Pengujian ADC 0808

4.4.3. Prosedur Pengujian

1. Menghubungkan pin-pin keluaran dari ADC0808 dengan rangkaian LED.
2. Menghubungkan rangkaian pengujian ADC0808 dengan sumber tegangan 5 Volt
3. Menghubungkan kutub positif multimeter digital yang telah di set pada skala 20 Volt DC dengan Vin-0 pada pin26, dan menghubungkan kutub negatif multimeter dengan ground, lalu memutar potensiometer sehingga nilai Vin (+). Mencatat perubahan tegangan tersebut pada tabel 4-2.

4. Mengamati nyala LED setelah melaksanakan langkah 3, dan mencatatnya pada tabel 4-2.

4.4.4. Data Hasil Pengukuran

Tabel 4-4. Hasil Pengujian Perubahan Data Output Terhadap Tegangan Pada Rangkaian ADC0808

No	Perhitungan	Pengukuran	Output								Nilai	
	Vin (V)	Vin (V)	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Desimal	Hexa
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,49	0,5	0	0	0	1	1	0	0	1	25	19
3	0,48	0,99	0	0	1	1	0	0	1	0	50	32
4	1,47	1,40	0	1	0	0	1	0	1	1	75	4B
5	1,96	1,98	0	1	1	0	0	1	0	0	100	64
6	2,45	2,45	1	1	1	1	1	1	0	1	125	7D
7	2,94	2,94	1	0	0	1	0	1	1	0	150	96
8	3,43	3,43	1	0	1	0	1	1	1	1	175	AF
9	3,92	3,98	1	1	0	0	1	0	0	0	200	C8
10	4,41	4,42	1	1	1	0	0	0	0	1	225	E1

4.4.5. Analisa Data

Diketahui $V_{ref\ ADC} = 5V$ dan Resolusi sebesar $0,0196\ mV$

$$V_{out\ ADC} = \frac{V_{in}}{Resolusi}$$

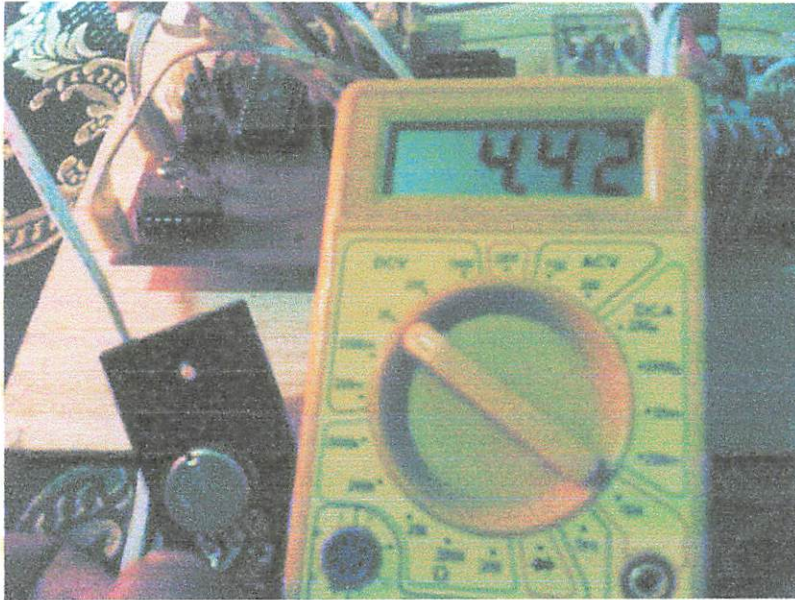
Dari persamaan tersebut maka dapat diketahui V_{out} pada ADC0808

Sebagai contoh, $V_{out\ ADC}$ pada tegangan $0,5V$.

$$V_{out\ ADC\ pada\ tegangan\ 0,5V} = \frac{0,5}{0,0196} = 25_{(des)} = 19_{(hek)} = 00011001_{(bin)}$$

$$\begin{array}{r} 19 \\ 2 \overline{) 19} = 1 \\ \underline{9} \\ 2 \overline{) 9} = 1 \\ \underline{4} \\ 2 \overline{) 4} = 0 \\ \underline{2} \\ 2 \overline{) 2} = 0 \\ \underline{1} \end{array}$$

Untuk data perhitungan yang lain dapat dilihat pada tabel diatas.



Gambar 4-9. Hasil Pengukuran Perubahan Tegangan Output Pada Rangkaian
ADC0808

4.5. Pengujian IC ULN2003A Sebagai Driver Motor DC

4.5.1. Tujuan

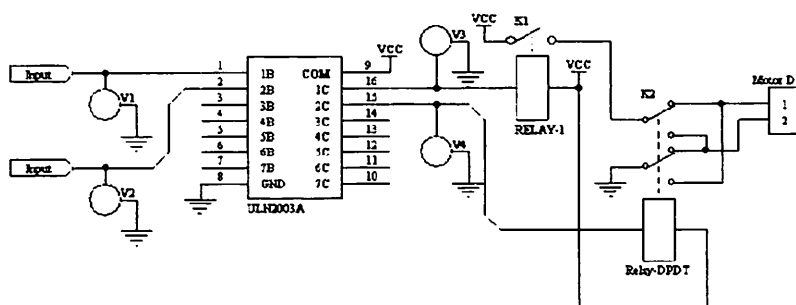
Pengujian driver motor DC bertujuan untuk mengetahui IC ULN2003A yang berfungsi sebagai driver relay yang menggerakkan motor DC untuk menggerakkan reflektor cahaya

4.5.2 Peralatan Yang Digunakan

1. Motor DC
2. Rangkaian IC ULN2003A
3. Digital Multimeter GE-830B
4. Catu daya 5 volt dan 12 volt.
5. Kabel Jepit Buaya

4.5.3. Langkah-langkah Pengujian

1. Membuat rangkaian IC ULN2003A sebagai saklar relay motor DC seperti gambat berikut :



Gambar 4-10. Rangkaian Pengujian Driver Motor Reflektor

2. Menghubungkan rangkaian IC ULN 2003A sebagai driver relay motor DC ke catu daya 12 Volt.
3. Menghubungkan relay dengan catu daya 12 Volt.
4. Memberikan logika *control* berupa logika *high* dan logika *low* pada input rangkaian IC ULN2003A.

4.5.4. Data Hasil Pengukuran

Tabel 4-5. Data Hasil Pengujian IC ULN2003A Sebagai Driver Relay

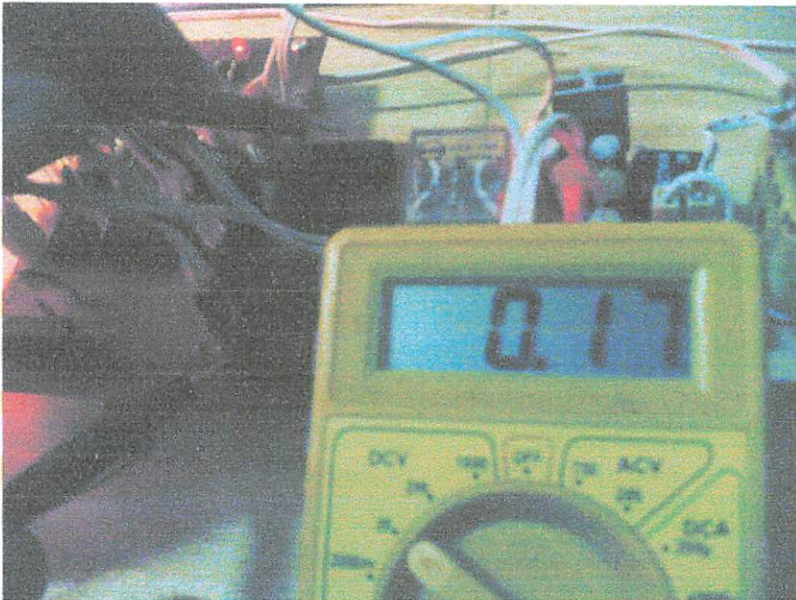
Vin		Vout		Kondisi motor Reflektor
V ₁ (Volt)	V ₂ (Volt)	V ₃ (Volt)	V ₄ (Volt)	
0	0	0,12	0,17	Diam
0	4,98	0,08	11,6	Diam
4,97	0	11,78	0,24	Berputar kekiri
4,8	5	11,81	11,6	Berputar kekanan

4.5.5. Kesimpulan

Jika V₁ terdapat tegangan atau kondisi high maka motor akan berputar sesuai dengan kondisi pada V₂. Sebaliknya jika pada V₁ tidak terdapat tegangan atau kondisi low maka motor tidak akan berputar atau diam.



Gambar 4-11. Tegangan Input Pada Kondisi Motor Reflektor Diam



Gambar 4-12. Tegangan Output Pada Kondisi Motor Reflektor Diam



Gambar 4-13. Tegangan Input Pada Kondisi Motor Reflektor Berputar Kekiri

4.6. Pengujian Driver Buzzer

4.6.1. Tujuan

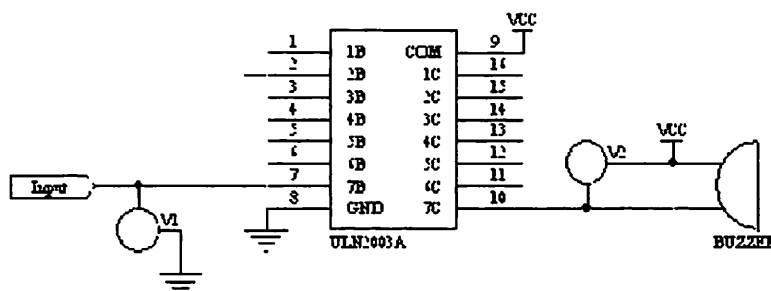
Pengujian driver buzzer bertujuan untuk mengetahui IC ULN2003A yang difungsikan sebagai driver buzzer.

4.6.2. Peralatan Yang Digunakan

1. Buzzer.
2. Rangkaian IC ULN2003 sebagai driver buzzer.
3. Multimeter/Logic probe.
4. Catu daya 12 volt.

4.6.3. Langkah-langkah Pengujian

1. Membuat rangkaian IC ULN2003 sebagai driver buzzer.
2. Menghubungkan rangkaian IC ULN2003 sebagai driver buzzer ke catu daya 12 Volt.
3. Memberikan logika control berupa logika *high* dan logika *low* pada rangkaian IC ULN2003.
4. Mengamati hasil pengujian dan memasukkan hasilnya pada tabel



Gambar 4-14. Data Hasil Pengujian IC ULN2003 Sebagai Driver Buzzer.

4.6.4. Data Hasil Pengujian

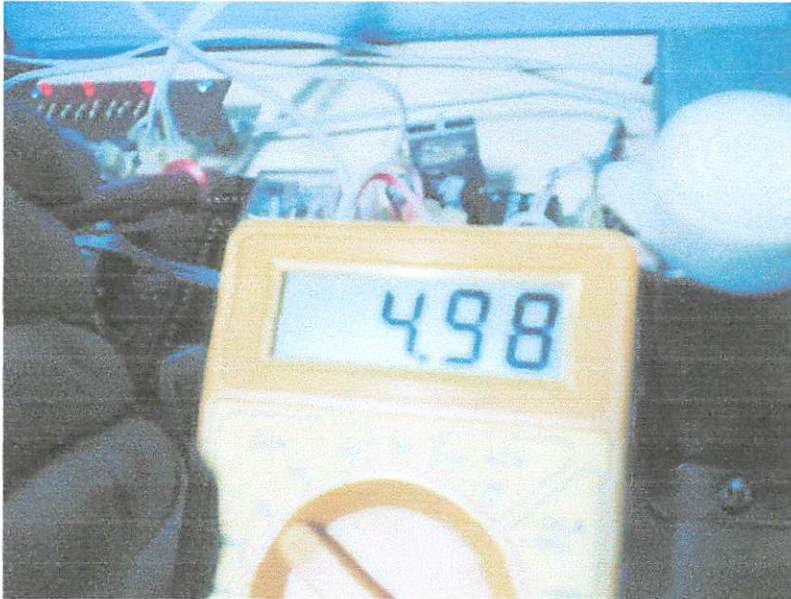
Hasil pengujian rangkaian IC ULN2003 sebagai driver buzzer ditunjukkan pada tabel:

Tabel 4-6. Data Hasil Pengujian IC ULN2003 Sebagai Driver Buzzer.

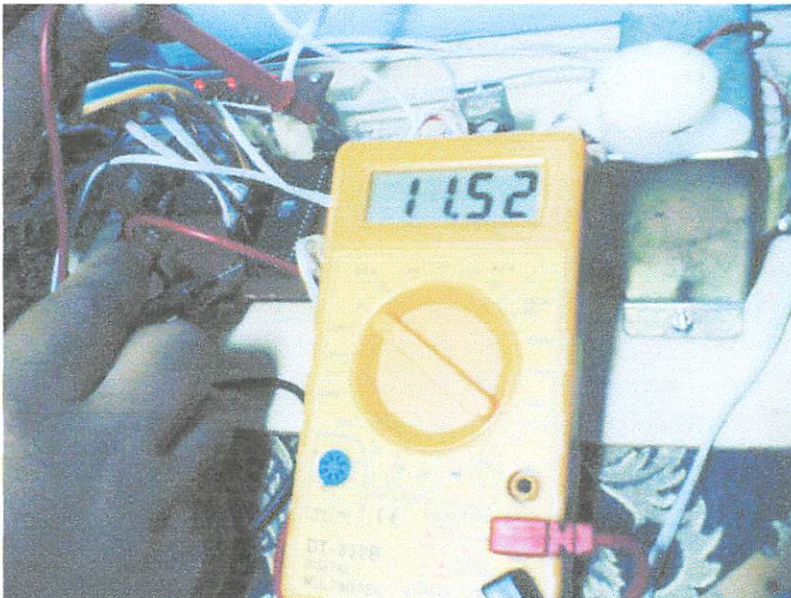
V1 (Volt)	V2 (Volt)	Kondisi Buzzer
4,98	11,52	Nyala
0,09	0,07	Mati

4.6.5. Kesimpulan

Jika buzzer mendapat ground dari IC ULN2003 maka buzzer akan aktif, dan sebaliknya jika buzzer tidak mendapat ground dari IC ULN2003 maka buzzer tidak aktif



Gambar 4-15. Hasil Pengukuran Tegangan Input Driver Buzzer Pada Kondisi Nyala



Gambar 4-16. Hasil Pengukuran Tegangan Output Driver Buzzer Pada Kondisi Nyala

4.7. Pengujian Rangkaian *Limit Switch*

4.7.1. Tujuan

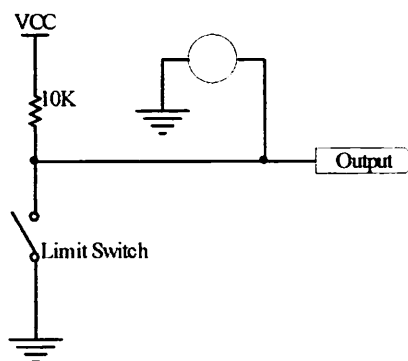
Untuk mengetahui apakah rangkaian *limit switch* dapat mengkondisikan penekanan pada *limit switch* menjadi kondisi *high* dan *low* pada keluarannya.

4.7.2. Peralatan Yang Digunakan

1. Multimeter digital.
2. Rangkaian *limit switch*.
3. Catu daya 5 volt.

4.7.3. Data Hasil Pengujian

1. Menyusun rangkaian seperti dalam gambar dibawah ini:



Gambar 4-17. Pengujian Rangkaian Limit Switch

2. Menghubungkan rangkaian *limit switch* dengan catu daya 5 volt.
3. Mengukur tegangan dan arus keluaran rangkaian *limit switch* seperti pada gambar. Pengukuran dilakukan dalam dua kondisi yaitu saat ada penekanan *limit switch* dan saat tidak ada penekanan *limit switch*.
4. Memasukkan hasil pengukuran pada tabel dibawah ini.

Tabel 4-7. Hasil Pengujian Rangkaian Limit Switch

Kondisi limit switch	limit switch 1	limit switch 2
Ditekan	0.08	0.09
Tidak ditekan	4,73V	4,74V
Ditekan	0.06	0.09
Tidak ditekan	4,75V	4,74V
Ditekan	0.08	0.07
Tidak ditekan	4,73V	4,75V



Gambar 4-18. Tegangan Output Pada Saat Limit Switch Tidak Ditekan



Gambar 4-19. Tegangan Output Pada Saat Limit Switch Ditekan

4.8. Pengujian Sistem

4.8.1. Tujuan

Pengujian pada sistem bertujuan untuk mengetahui lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memasak air dengan kapasitas jumlah air yang berbeda-beda.

4.8.2. Peralatan Yang Digunakan

1. Tempat Air
2. Termometer Air
3. Stopwatch

4.8.3. Hasil Pengujian

Tabel 4-8. Hasil Pengujian Sistem Untuk Mendapatkan Suhu Yang Paling Panas

Hari	Waktu Pada Percobaan	Suhu
	(n)	(°C)
Senin	09.00 – 09.30	85
	10.00 – 10.30	91
	11.00 – 11.30	94
	12.00 – 12.30	99
	13.00 – 13.30	98
	14.00 – 14.30	95
Selasa	09.00 – 09.30	87
	10.00 – 10.30	89
	11.00 – 11.30	96
	12.00 – 12.30	100
	13.00 – 13.30	99
	14.00 – 14.30	97
Rabu	09.00 – 09.30	85
	10.00 – 10.30	92
	11.00 – 11.30	96
	12.00 – 12.30	99
	13.00 – 13.30	98
	14.00 – 14.30	95

4.8.4. Kesimpulan

Dilihat dari tabel diatas, pengujian kompor tenaga surya waktu yang paling baik untuk memasak pada pukul 12.00 – 12.30 dikarenakan pada waktu itu suhu pada kompor tenaga surya mencapai suhu yang maksimal.

Tabel 4-9. Hasil Pengujian Kompor Tenaga Surya, Pengujian Minyak Tanah dan Pengujian Kompor Gas

Kapasitas Air (ml)	Kompor					
	Minyak Tanah		Gas		Tenaga Matahari	
	Suhu (°C)	Waktu (mnt)	Suhu (°C)	Waktu (mnt)	Suhu (°C)	Waktu (mnt)
500	100	09.09	100	07.40	96	24.35
	100	08.54	100	07.45	98	25.10
	100	08.01	100	07.40	99	24.30
	100	08.30	100	07.37	100	24.15
	100	08.18	100	07.40	99	23.55
750	100	14.13	100	11.05	97	29.40
	100	14.15	100	11.10	99	29.55
	100	13.08	100	11.09	98	30.01
	100	14.19	100	11.07	99	29.44
	100	14.02	100	11.11	98	29.57
1000	100	17.31	100	15.05	99	33.35
	100	17.25	100	15.00	99	34.06
	100	17.30	100	15.02	98	33.57
	100	16.49	100	15.00	95	34.08
	100	17.01	100	15.00	98	34.17



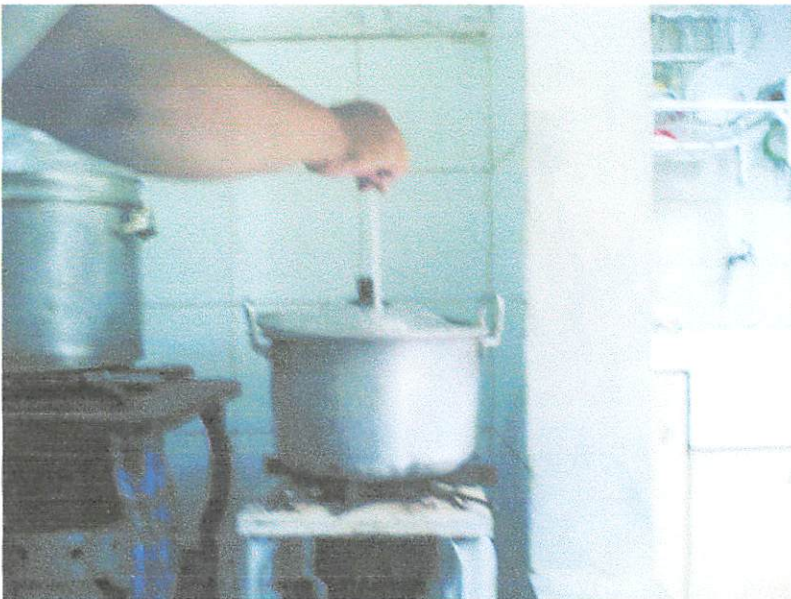
Gambar 4-20. Pengujian Dengan Menggunakan Kompor Tenaga Surya



Gambar 4-21. Besarnya Suhu Yang Dihasilkan Pada Kompor Tenaga Surya Selama Selang Waktu 30 Menit



Gambar 4-22. Pengujian Dengan Menggunakan kompor Gas



Gambar 4-23. Pengujian Dengan Menggunakan Kempur Minyak Tanah

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pembuatan serta pengukuran alat yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

- Dalam keadaan langit cerah maka alat tersebut bekerja secara normal, dan sebaliknya jika langit mendung maka alat tersebut akan berhenti atau diam.
- IC ULN 2003 dapat bekerja dengan baik sebagai driver untuk mengendalikan Buzzer dan Motor DC.
- Jika pada LM35 sudah mencapai suhu 100 °C maka buzzer akan aktif sebagai tanda air sudah mendidih jika dibawah suhu 100 °C maka buzzer tidak aktif atau dianggap air tidak mendidih.
- Pengujian kompor tenaga surya, waktu yang paling baik untuk memasak pada pukul 12.00 – 12.30 dikarenakan pada waktu itu suhu pada kompor tenaga surya mencapai suhu yang maksimal.
- Dimensi alat adalah sebagai berikut:

Diameter Reflektor : 120cm

Tinggi Alat : 117cm

Lebar Alat : 151cm

Diameter Panci : 10cm

Jarak Reflektor dengan Panci : 60cm

5.2. Saran – saran

- Untuk pengembangan lebih lanjut dari alat ini, perlu dilakukan penambahan sumbu poros pada reflektor cahaya mengingat dalam skripsi ini menggunakan hanya satu sumbu poros pada reflektor cahaya sehingga hasilnya belum mencapai maksimal.
- Pada rangkanya supaya memakai bahan yang ringan supaya berat reflektor cahaya berkurang, sehingga dapat diputar sampai 180° .

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agfianto Eko Putra, "*Belajar Mikrokontroller AT89S51/52/55*", Penerbit Gava Media, Yogyakarta, 2002
- [2]. Data Sheet ATMEL," *Mikrokontroller AT89S51*".
- [3]. Douglas C. Giancoli, Dra. Yuhilza Hanum, M. Eng, Ir. Irwan Arifin, M. Eng, "*Fisika*", Edisi kelima, jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1998
- [4]. Fisika SMU, Erlangga, Jakarta, 2004, Hal 69
- [5]. National Semiconductor Data Sheet, "*LM 35*".
- [6]. National Semiconductor Data Sheet, "*LM 324*".
- [7]. National Semiconductor Data Sheet, "*ADC0808*".
- [8]. National Semiconductor Data Sheet, "*Buzzer*".
- [9]. Texas Instruments Data Sheet, "*IC ULN 2003A*".
- [10]. TEDC Bandung, Teknologi komponen I, Hal 7, 15
- [11]. Wasito, "*Elektronika dalam Industri*", Penerbit Karya Utama, Jakarta 1986
- [12]. Wasito, "*Teknik Denyut-OpAmp-Thyristor*", jilid 3, Penerbit Karya Utama, Jakarta, 1980.
- [13]. WWW.Labaratorium Elektronika.Com

LAMPIRAN


```

#include<at89x51.h>

void tunda(long n);

int ambil_adc(char alamat);

void main()

while(1)
{
char sensor1=3;
char sensor2=2;
char sensor3=1;
char suhu=0;
P1=0x00;
tunda(1000);
sensor1=ambil_adc(0x03);
tunda(1000);
sensor2=ambil_adc(0x04);
tunda(1000);
sensor3=ambil_adc(0x05);
tunda(1000);
suhu=ambil_adc(0x06);
tunda(1000);
if (P2_0==0) P0_6=0;
else if (P2_1==0) P0_6=0;
else P0_6=1;
if ((sensor1 > sensor2) & (sensor1 > sensor3))
{
P0_5=1;
while (P2_0==1 | P2_1==1) {
P0_6=1;
tunda(1000);
P0_6=0;}

}
if(sensor3 > sensor2)
{
P0_5=0;
if (P2_0==1 | P2_1==1) {
P0_6=1;
tunda(1000);
P0_6=0;}
else P0_6=0;

}
if(suhu==0x88)
{
P0_7=1;
}
else

```

```
    {
    P0_7=0;
    }
}
```

d tunda(long n)

```
    i=1000;
    while(n>0) n--;
```

ur ambil_adc(char alamat)

```
ur data_adc;
(alamat==0x01)
```

```
{
P3_0=1;
P3_1=0;
P3_2=0;
}
```

```
se if (alamat==0x02)
```

```
{
P3_0=0;
P3_1=1;
P3_2=0;
}
```

```
se if (alamat==0x03)
```

```
{
P3_0=1;
P3_1=1;
P3_2=0;
}
```

```
se if (alamat==0x04)
```

```
{
P3_0=0;
P3_1=0;
P3_2=1;
}
```

```
se if (alamat==0x05)
```

```
{
P3_0=1;
P3_1=0;
P3_2=1;
}
```

```
se if (alamat==0x06)
```

```
{
P3_0=0;
P3_1=1;
P3_2=1;
}
```

```
}  
se if (alamat==0x07)  
{  
    P3_0=1;  
    P3_1=1;  
    P3_2=1;  
}  
_3=1;  
_4=1;  
nda(100);  
ile (P3_5==0);  
nda(100);  
ca_adc=P1;  
turn data_adc;
```



Motor DC Berputar Kekiri



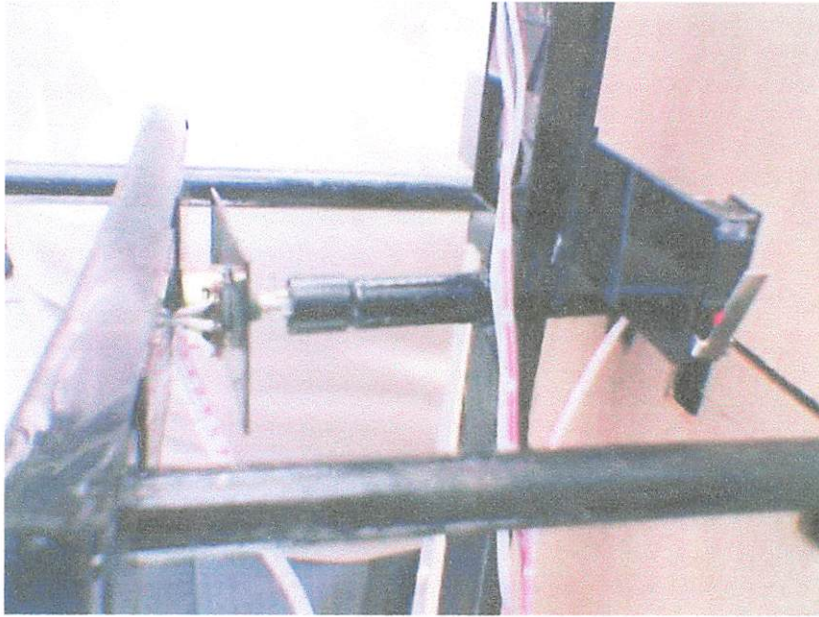
Motor DC Berputar Kekanan



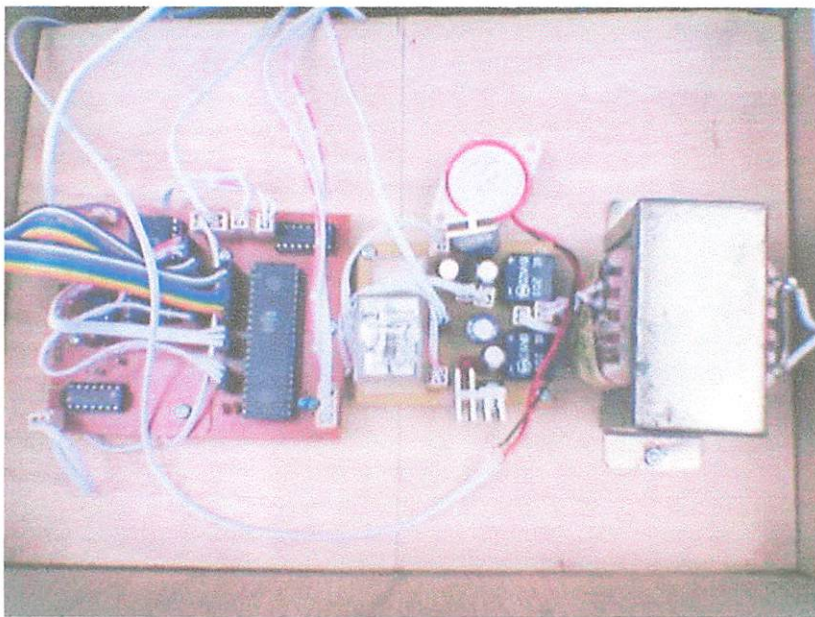
Posisi Motor DC



Posisi Sensor Cahaya



Posisi Sensor Gerak



Rangkaian Sistem



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Nur Hidayat
Nim : 0017095
Masa Bimbingan : 2-Feb-2005 s/d 5-Aug-2005 *1*
Judul Skripsi : Perencanaan dan pembuatan kompor tenaga surya dengan mengikuti arah matahari berbasis Mikrokontroller AT89S51

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	8-02-2005	BAB I	<i>Ef</i>
2.	9-02-2005	Revisi BAB I + kerangka BAB II	<i>Ef</i>
3.	14-04-2005	Revisi BAB II	<i>Ef.</i>
4.	20-05-2005	BAB III, perbaikan perhitungan.	<i>Ef</i>
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 2005
Dosen Pembimbing

Eko Nurcahyo
Ir. Eko Nurcahyo



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
JL. BENDUNGAN SIGURA-GURA 2
MALANG

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Nur Hidayat
Nim : 00.17095
Masa Bimbingan : 05 Agustus 2005 s/d 05 Februari 2006
Judul Skripsi : Perencanaan Dan Pembuatan Kompur Tenaga Surya Dengan Mengikuti Arah Matahari Berbasis Mikrokontroler AT89S51

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	11-08-05	Ace BAB I	
2.	07-09-05	BAB II : Tambahan temponjaya	
3.	15-10-05	Ace BAB II	
4.	02-11-05	BAB III : Perbaiki perhitungan	
5.	27-11-05	Ace BAB III	
6.	08-12-05	BAB IV : Kalibrasi alat + foto	
7.	19-12-05	Ace BAB IV + BAB V	
8.	13-03-06	Ace maju seminar honel	
9.	18-03-06	Rivini	
10.	9-03-06	Ace ujian Skripsi	

Malang, 2006
Dosen Pembimbing

Ir. Eko Nurcahyo

Form. S-4a



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
JL. BENDUNGAN SIGURA-GURA 2
MALANG

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama Mahasiswa : NUR HIDAYAT
2. NIM : 00.17.095
3. Jurusan : Teknik Elektronika S-1
4. Program Studi : Teknik Elektro
5. Judul Skripsi : Perencanaan dan Pembuatan
Kompor Tenaga Surya Dengan
Mengikuti Arah Matahari
Berdasarkan Mikrokontroler
AT89S51
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 2 Februari 2005
7. Selesai Menulis Skripsi : 5 Februari 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir. Eko Nurcahyo
9. Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 90 *l*

Malang, Maret 2006
Dosen Pembimbing

(Ir. Eko Nurcahyo)
NIP.Y. 1028700172



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama Mahasiswa : Nur Hidayat
Nim : 00.17.095
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika
Judul Skripsi : Perencanaan Dan Pembuatan Kompor Tenaga Surya Dengan Mengikuti Arah Matahari Berbasis Mikrokontroller AT89S51

Dipertahankan Dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) Pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 23 Maret 2006
Dengan Nilai : A (82,5) %



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
NIP. Y. 1018100036

Panitia Ujian Skripsi

Sekretaris

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 1039500274

Anggota Penguji

Penguji I

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 1039500274

Penguji II

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)
NIP. Y. 1018800189



8-bit Microcontroller with 4K Bytes In-System Programmable Flash

AT89S51

Rev. 2487A-10/01



Features

- Compatible with MCS-51[®] Products
- 4K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
- Endurance: 1000 Write/Erase Cycles
- 1.8V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 6 Programmable I/O Lines
- 2 x 16-bit Timer/Counters
- 5 Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- 2 Data Pointers
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)

Description

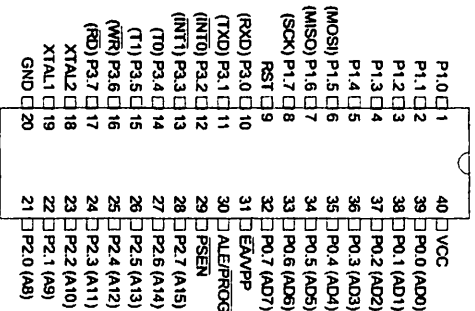
AT89S51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 4K bytes of in-system programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with in-system programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S51 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

AT89S51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of internal RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, two 16-bit timer/counters, a five-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and logic circuitry. In addition, the AT89S51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. 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 external interrupt or hardware reset.

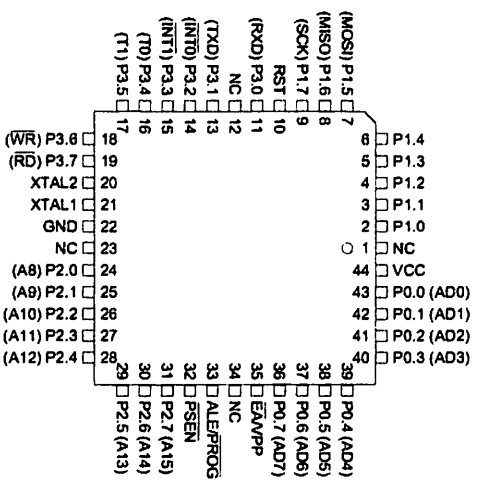


Configurations

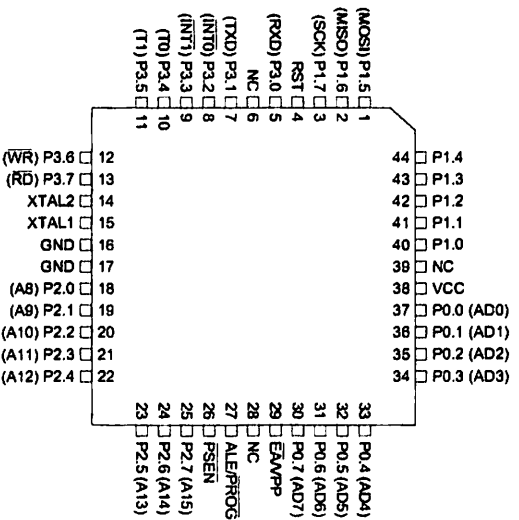
PDIP



PLCC

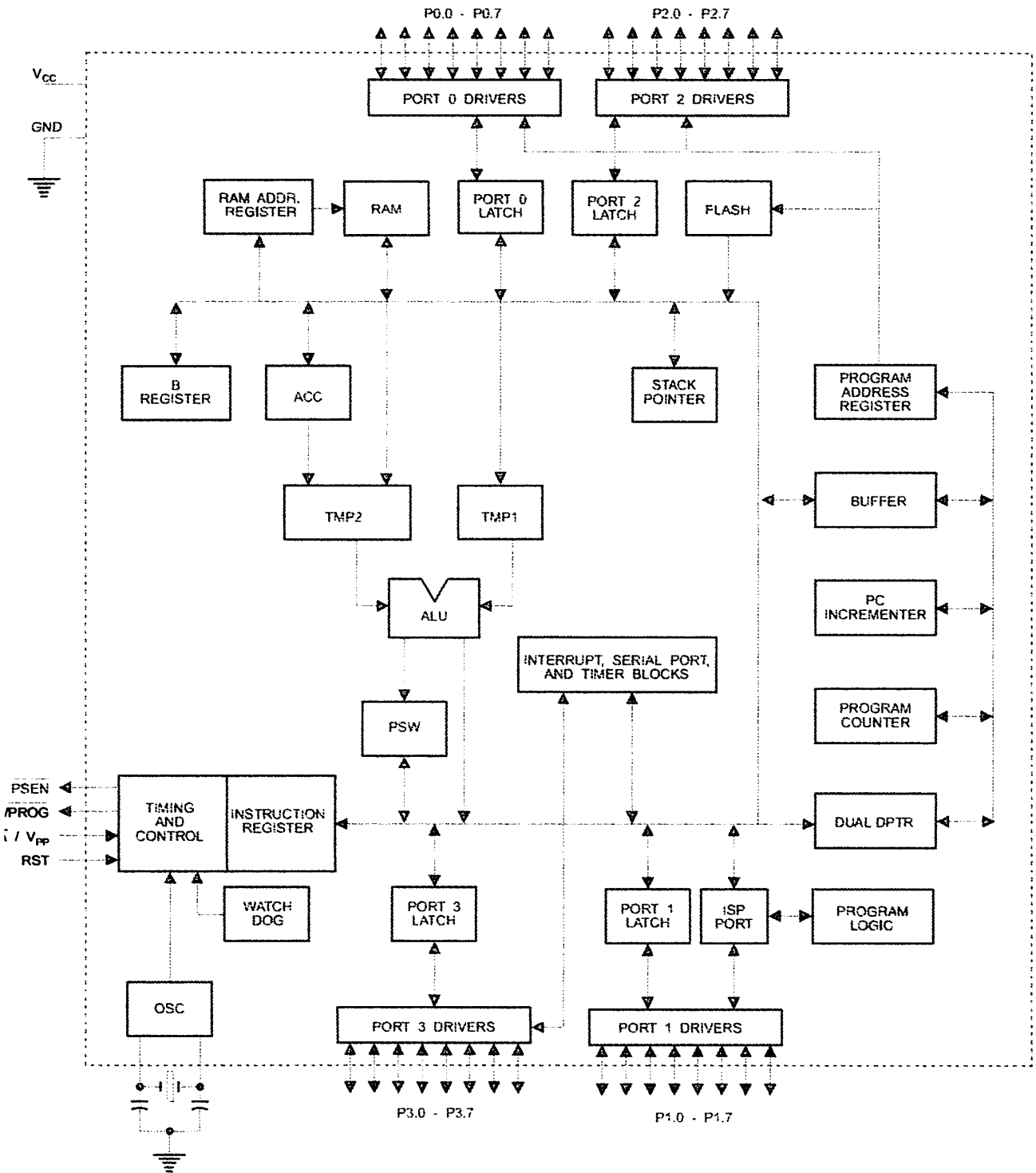


TQFP



AT89S51

Block Diagram





Description

Supply voltage.

Ground.

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional 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 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pull-ups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. **External pull-ups are required during program verification.**

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pull-ups 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 pull-ups.

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

Port Pin	Alternate Functions
P1.5	MOSI (used for In-System Programming)
P1.6	MISO (used for In-System Programming)
P1.7	SCK (used for In-System Programming)

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pull-ups 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 pull-ups.

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, Port 2 uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), 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 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. 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 pull-ups 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 pull-ups.

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

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S51, as shown in the following table.

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

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. This pin drives High for 98 oscillator periods after the Watchdog times out. The DISRTO bit in SFR AUXR (address 8EH) can be used to disable this feature. In the default state of bit DISRTO, the RESET HIGH out feature is enabled.

$\overline{\text{PROG}}$

Address Latch Enable (ALE) is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{\text{PROG}}$) 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 pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR 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.

$\overline{\text{PSEN}}$

Program Store Enable ($\overline{\text{PSEN}}$) is the read strobe to external program memory.

When the AT89S51 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

VPP

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ 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, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ 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.

L1

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

-2

Output from the inverting oscillator amplifier





Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

Table 1. AT89S51 SFR Map and Reset Values

08H								0FFH
00H	B 00000000							0F7H
08H								0EFH
00H	ACC 00000000							0E7H
08H								0DFH
00H	PSW 00000000							0D7H
08H								0CFH
00H								0C7H
08H	IP XX000000							0BFH
00H	P3 11111111							0B7H
08H	IE 0X000000							0AFH
00H	P2 11111111		AUXR1 XXXXXXXX0				WDTRST XXXXXXXXX	0A7H
08H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXXX						9FH
00H	P1 11111111							97H
08H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000	AUXR XXX00XX0	8FH
00H	P0 11111111	SP 00000111	DP0L 00000000	DP0H 00000000	DP1L 00000000	DP1H 00000000		PCON 0XXX0000 87H

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Interrupt Registers: The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the five interrupt sources in the IP register.

Table 2. AUXR: Auxiliary Register

AUXR		Address = 8EH					Reset Value = XXX00XX0B	
Not Bit Addressable								
	-	-	-	WDIDLE	DISRTO	-	-	DISALE
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
-	Reserved for future expansion							
DISALE	Disable/Enable ALE							
	DISALE							
	Operating Mode							
	0	ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency						
	1	ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction						
DISRTO	Disable/Enable Reset out							
	DISRTO							
	0	Reset pin is driven High after WDT times out						
	1	Reset pin is input only						
WDIDLE	Disable/Enable WDT in IDLE mode							
	WDIDLE							
	0	WDT continues to count in IDLE mode						
	1	WDT halts counting in IDLE mode						

Dual Data Pointer Registers: To facilitate accessing both internal and external data memory, two banks of 16-bit Data Pointer Registers are provided: DP0 at SFR address locations 82H-83H and DP1 at 84H-85H. Bit DPS = 0 in SFR AUXR1 selects DP0 and DPS = 1 selects DP1. The user should always initialize the DPS bit to the appropriate value before accessing the respective Data Pointer Register.



Power Off Flag: The Power Off Flag (POF) is located at bit 4 (PCON.4) in the PCON SFR. POF is set to "1" during power up. It can be set and rest under software control and is not affected by reset.

Table 3. AUXR1: Auxiliary Register 1

AUXR1									
Address = A2H									
Reset Value = XXXXXXX0B									
Not Bit Addressable									
Bit	7	6	5	4	3	2	1	DPS	0
	-	-	-	-	-	-	-		
-	Reserved for future expansion								
DPS	Data Pointer Register Select								
	DPS								
	0	Selects DPTR Registers DP0L, DP0H							
	1	Selects DPTR Registers DP1L, DP1H							

Memory Organization

MCS-51 devices have a separate address space for Program and Data Memory. Up to 64K bytes each of external Program and Data Memory can be addressed.

Program Memory

If the \overline{EA} pin is connected to GND, all program fetches are directed to external memory. On the AT89S51, if \overline{EA} is connected to V_{CC} , program fetches to addresses 0000H through FFFH are directed to internal memory and fetches to addresses 1000H through FFFFH are directed to external memory.

Data Memory

The AT89S51 implements 128 bytes of on-chip RAM. The 128 bytes are accessible via direct and indirect addressing modes. Stack operations are examples of indirect addressing, so the 128 bytes of data RAM are available as stack space.

Watchdog Timer (WDT) (Reset-out)

The WDT is intended as a recovery method in situations where the CPU may be subjected to software upsets. The WDT consists of a 14-bit counter and the Watchdog Timer Reset (WDTRST) SFR. The WDT is defaulted to disable from exiting reset. To enable the WDT, a user must write 01EH and 0E1H in sequence to the WDTRST register (SFR location 0A6H). When the WDT is enabled, it will increment every machine cycle while the oscillator is running. The WDT timeout period is dependent on the external clock frequency. There is no way to disable the WDT except through reset (either hardware reset or WDT overflow reset). When WDT overflows, it will drive an output RESET HIGH pulse at the RST pin.

Configuring the WDT

To enable the WDT, a user must write 01EH and 0E1H in sequence to the WDTRST register (SFR location 0A6H). When the WDT is enabled, the user needs to service it by writing 01EH and 0E1H to WDTRST to avoid a WDT overflow. The 14-bit counter overflows when it reaches 16383 (3FFFH), and this will reset the device. When the WDT is enabled, it will increment every machine cycle while the oscillator is running. This means the user must reset the WDT at least every 16383 machine cycles. To reset the WDT the user must write 01EH and 0E1H to WDTRST. WDTRST is a write-only register. The WDT counter cannot be read or written. When WDT overflows, it will generate an output RESET pulse at the RST pin. The RESET pulse duration is $98 \times TOSC$, where $TOSC = 1/FOSC$. To make the best use of the WDT, it

should be serviced in those sections of code that will periodically be executed within the time required to prevent a WDT reset.

T During Power-down in Idle

In Power-down mode the oscillator stops, which means the WDT also stops. While in Power-down mode, the user does not need to service the WDT. There are two methods of exiting Power-down mode: by a hardware reset or via a level-activated external interrupt, which is enabled prior to entering Power-down mode. When Power-down is exited with hardware reset, servicing the WDT should occur as it normally does whenever the AT89S51 is reset. Exiting Power-down with an interrupt is significantly different. The interrupt is held low long enough for the oscillator to stabilize. When the interrupt is brought high, the interrupt is serviced. To prevent the WDT from resetting the device while the interrupt pin is held low, the WDT is not started until the interrupt is pulled high. It is suggested that the WDT be reset during the interrupt service for the interrupt used to exit Power-down mode.

To ensure that the WDT does not overflow within a few states of exiting Power-down, it is best to reset the WDT just before entering Power-down mode.

Before going into the IDLE mode, the WDIDLE bit in SFR AUXR is used to determine whether the WDT continues to count if enabled. The WDT keeps counting during IDLE (WDIDLE bit = 0) as the default state. To prevent the WDT from resetting the AT89S51 while in IDLE mode, the user should always set up a timer that will periodically exit IDLE, service the WDT, and reenter IDLE mode.

With WDIDLE bit enabled, the WDT will stop to count in IDLE mode and resumes the count upon exit from IDLE.

UART

The UART in the AT89S51 operates the same way as the UART in the AT89C51. For further information on the UART operation, refer to the ATMEL Web site (<http://www.atmel.com>). From the home page, select 'Products', then '8051-Architecture Flash Microcontroller', then 'Product Overview'.

Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89S51 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51. For further information on the timers' operation, refer to the ATMEL Web site (<http://www.atmel.com>). From the home page, select 'Products', then '8051-Architecture Flash Microcontroller', then 'Product Overview'.

Interrupts

The AT89S51 has a total of five interrupt vectors: two external interrupts ($\overline{INT0}$ and $\overline{INT1}$), two timer interrupts (Timers 0 and 1), and the serial port interrupt. These interrupts are all shown in Figure 1.

Each of these interrupt sources can be individually enabled or disabled by setting or clearing a bit in Special Function Register IE. IE also contains a global disable bit, EA, which disables all interrupts at once.

Note that Table 4 shows that bit position IE.6 is unimplemented. In the AT89S51, bit position IE.5 is also unimplemented. User software should not write 1s to these bit positions, since they may be used in future AT89 products.

The Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at S5P2 of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle



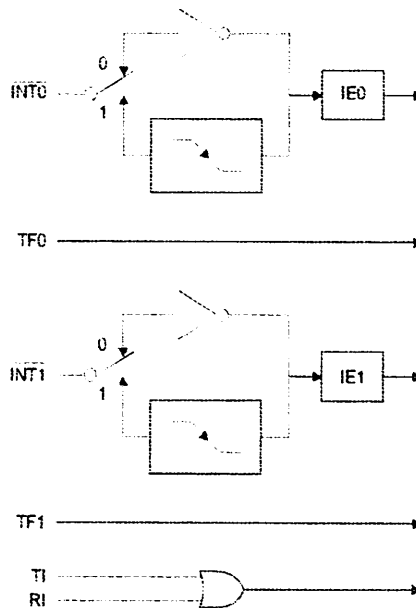
Table 4. Interrupt Enable (IE) Register

(MSB)		(LSB)					
EA	-	-	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
Enable Bit = 1 enables the interrupt.							
Enable Bit = 0 disables the interrupt.							

Symbol	Position	Function
EA	IE.7	Disables all interrupts. If EA = 0, no interrupt is acknowledged. If EA = 1, each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
-	IE.6	Reserved
-	IE.5	Reserved
ES	IE.4	Serial Port interrupt enable bit
ET1	IE.3	Timer 1 interrupt enable bit
EX1	IE.2	External interrupt 1 enable bit
ET0	IE.1	Timer 0 interrupt enable bit
EX0	IE.0	External interrupt 0 enable bit

User software should never write 1s to reserved bits, because they may be used in future AT89 products.

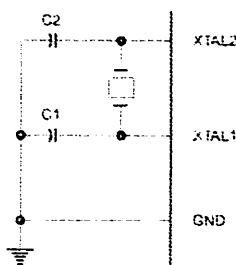
Figure 1. Interrupt Sources



Oscillator Characteristics

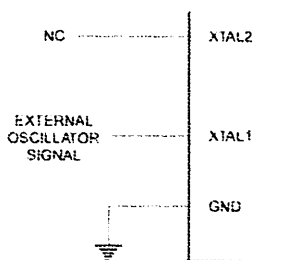
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 2. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 3. 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.

Figure 2. Oscillator Connections



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

Figure 3. External Clock Drive Configuration



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 function registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

Note that when idle mode 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 mode is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes idle mode should not write to a port pin or to external memory.

Power-down Mode

In the 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. Exit from Power-down mode can be initiated either by a hardware reset or by activation of an enabled external interrupt into $\overline{INT0}$ or $\overline{INT1}$. 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.





Table 5. 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

Program Memory Lock

The AT89S51 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the following table.

Table 6. Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC 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 memory is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, but verify is also disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, but external execution is also disabled

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. The latched value of EA must agree with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Programming Flash – Parallel Mode

The AT89S51 is shipped with the on-chip Flash memory array ready to be programmed. The programming interface needs a high-voltage (12-volt) program enable signal and is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89S51 code memory array is programmed byte-by-byte.

Programming Algorithm: Before programming the AT89S51, the address, data, and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 13 and 14. To program the AT89S51, take the following steps:

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise EA/V_{pp} to 12V.
5. 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 50 μs. 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 AT89S51 features Data Polling to indicate the end of a byte write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P0.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

AT89S51

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ $\overline{\text{BSY}}$ output signal. P3.0 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate $\overline{\text{BUSY}}$. P3.0 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 status of the individual lock bits can be verified directly by reading them back.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 100H, and 200H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (100H) = 51H indicates 89S51
- (200H) = 06H

Chip Erase: In the parallel programming mode, a chip erase operation is initiated by using the proper combination of control signals and by pulsing ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ low for a duration of 200 ns - 500 ns.

In the serial programming mode, a chip erase operation is initiated by issuing the Chip Erase instruction. In this mode, chip erase is self-timed and takes about 500 ms.

During chip erase, a serial read from any address location will return 00H at the data output.

The Code memory array can be programmed using the serial ISP interface while RST is pulled to V_{CC} . The serial interface consists of pins SCK, MOSI (input) and MISO (output). After RST is set high, the Programming Enable instruction needs to be executed first before other operations can be executed. Before a reprogramming sequence can occur, a Chip Erase operation is required.

The Chip Erase operation turns the content of every memory location in the Code array into FFH.

Either an external system clock can be supplied at pin XTAL1 or a crystal needs to be connected across pins XTAL1 and XTAL2. The maximum serial clock (SCK) frequency should be less than 1/16 of the crystal frequency. With a 33 MHz oscillator clock, the maximum SCK frequency is 2 MHz.

To program and verify the AT89S51 in the serial programming mode, the following sequence is recommended:

1. Power-up sequence:
Apply power between VCC and GND pins.
Set RST pin to "H".
If a crystal is not connected across pins XTAL1 and XTAL2, apply a 3 MHz to 33 MHz clock to XTAL1 pin and wait for at least 10 milliseconds.
2. Enable serial programming by sending the Programming Enable serial instruction to pin MOSI/P1.5. The frequency of the shift clock supplied at pin SCK/P1.7 needs to be less than the CPU clock at XTAL1 divided by 16.
3. The Code array is programmed one byte at a time in either the Byte or Page mode. The write cycle is self-timed and typically takes less than 0.5 ms at 5V.
4. Any memory location can be verified by using the Read instruction that returns the content at the selected address at serial output MISO/P1.6.
5. At the end of a programming session, RST can be set low to commence normal device operation.





Power-off sequence (if needed):

Set XTAL1 to "L" (if a crystal is not used).

Set RST to "L".

Turn V_{CC} power off.

Data Polling: The Data Polling feature is also available in the serial mode. In this mode, during a write cycle an attempted read of the last byte written will result in the complement of the MSB of the serial output byte on MISO.

Serial Programming Instruction Set

The Instruction Set for Serial Programming follows a 4-byte protocol and is shown in Table 8 on page 18.

Serial Programming Interface – Parallel Mode

Every code byte in the Flash array can be programmed 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.

7. Flash Programming Modes

	V_{CC}	RST	\overline{PSEN}	ALE/ PROG	$\overline{EA}/$ V_{PP}	P2.6	P2.7	P3.3	P3.6	P3.7	P0.7-0 Data	P2.3-0	P1.7-0
												Address	
Code Data	5V	H	L		12V	L	H	H	H	H	D_{IN}	A11-8	A7-0
Code Data	5V	H	L	H	H	L	L	L	H	H	D_{OUT}	A11-8	A7-0
Lock Bit 1	5V	H	L		12V	H	H	H	H	H	X	X	X
Lock Bit 2	5V	H	L		12V	H	H	H	L	L	X	X	X
Lock Bit 3	5V	H	L		12V	H	L	H	H	L	X	X	X
Lock Bits 3	5V	H	L	H	H	H	H	L	H	L	P0.2, P0.3, P0.4	X	X
Erase	5V	H	L		12V	H	L	H	L	L	X	X	X
Atmel ID	5V	H	L	H	H	L	L	L	L	L	1EH	0000	00H
Device ID	5V	H	L	H	H	L	L	L	L	L	51H	0001	00H
Device ID	5V	H	L	H	H	L	L	L	L	L	06H	0010	00H

1. Each \overline{PROG} pulse is 200 ns - 500 ns for Chip Erase.
2. Each \overline{PROG} pulse is 200 ns - 500 ns for Write Code Data.
3. Each \overline{PROG} pulse is 200 ns - 500 ns for Write Lock Bits.
4. RDY/BSY signal is output on P3.0 during programming.
5. X = don't care.

Figure 4. Programming the Flash Memory (Parallel Mode)

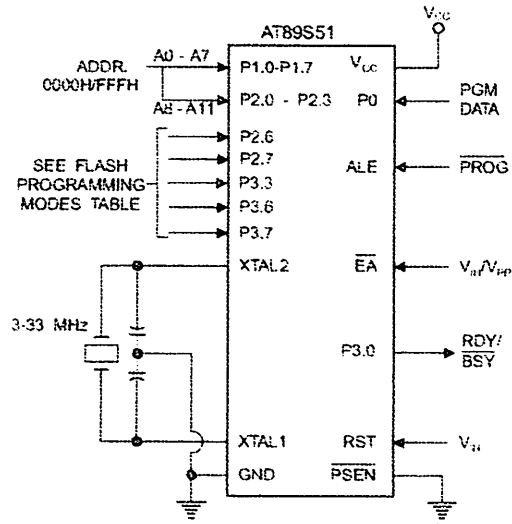
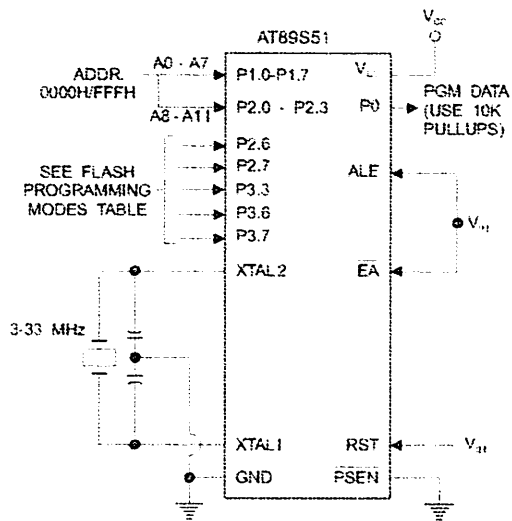


Figure 5. Verifying the Flash Memory (Parallel Mode)



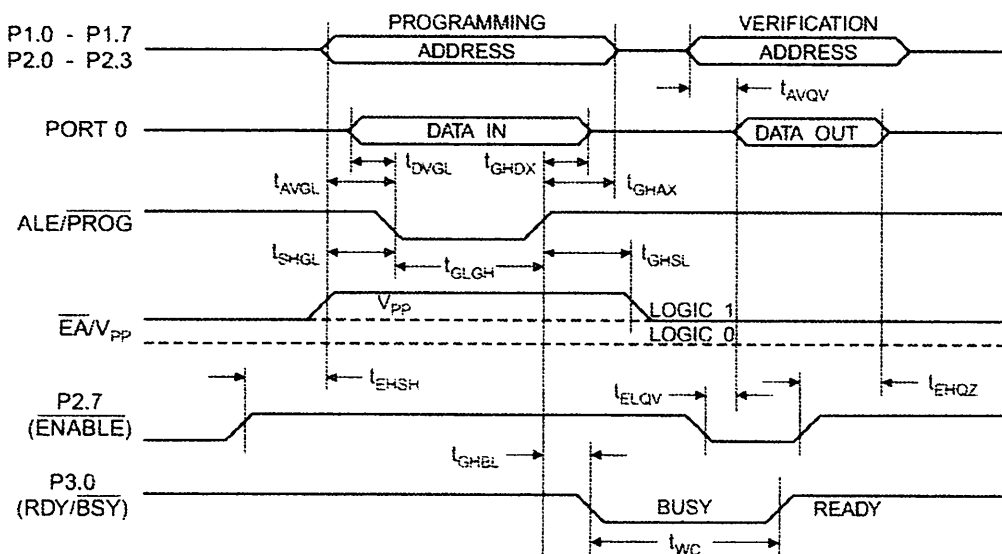


Flash Programming and Verification Characteristics (Parallel Mode)

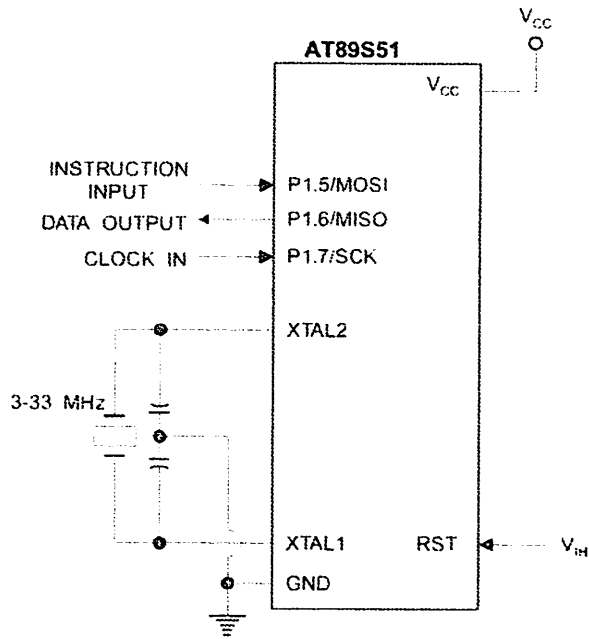
20°C to 30°C, $V_{CC} = 4.5$ to $5.5V$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
	Programming Supply Voltage	11.5	12.5	V
	Programming Supply Current		10	mA
	V_{CC} Supply Current		30	mA
CL	Oscillator Frequency	3	33	MHz
	Address Setup to \overline{PROG} Low	$48t_{CLCL}$		
	Address Hold After \overline{PROG}	$48t_{CLCL}$		
	Data Setup to \overline{PROG} Low	$48t_{CLCL}$		
	Data Hold After \overline{PROG}	$48t_{CLCL}$		
	P2.7 (\overline{ENABLE}) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
	V_{PP} Setup to \overline{PROG} Low	10		μs
	V_{PP} Hold After \overline{PROG}	10		μs
	\overline{PROG} Width	0.2	1	μs
	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
	\overline{ENABLE} Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
	Data Float After \overline{ENABLE}	0	$48t_{CLCL}$	
	\overline{PROG} High to \overline{BUSY} Low		1.0	μs
	Byte Write Cycle Time		50	μs

Figure 6. Flash Programming and Verification Waveforms – Parallel Mode

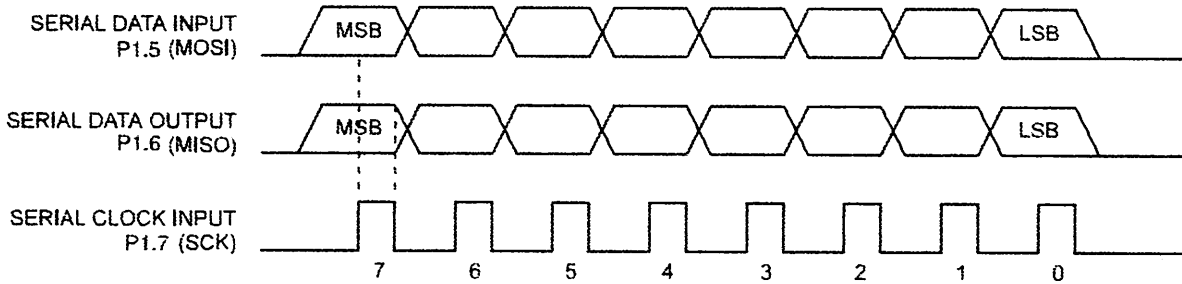


e 7. Flash Memory Serial Downloading



ih Programming and Verification Waveforms – Serial Mode

e 8. Serial Programming Waveforms





8. Serial Programming Instruction Set

Instruction	Instruction Format				Operation
	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	
Programming Enable	1010 1100	0101 0011	xxxx xxxx	xxxx xxxx 0110 1001 (Output)	Enable Serial Programming while RST is high
Erase	1010 1100	100x xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	Chip Erase Flash memory array
Program Memory (Mode)	0010 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	7 6 5 4 3 2 1 0 0000 0000	Read data from Program memory in the byte mode
Program Memory (Mode)	0100 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	7 6 5 4 3 2 1 0 0000 0000	Write data to Program memory in the byte mode
Lock Bits ⁽²⁾	1010 1100	1110 00 B1 B2	xxxx xxxx	xxxx xxxx	Write Lock bits. See Note (2).
Lock Bits	0010 0100	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xx LB3 LB2 LB1 xx	Read back current status of the lock bits (a programmed lock bit reads back as a "1")
Signature Bytes ⁽¹⁾	0010 1000	xxx A5 A4 A3 A2 A1	0 xxx xxxx	Signature Byte	Read Signature Byte
Program Memory (Page Mode)	0011 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	Byte 0	Byte 1... Byte 255	Read data from Program memory in the Page Mode (256 bytes)
Program Memory (Page Mode)	0101 0000	xxxx A11 A10 A9 A8	Byte 0	Byte 1... Byte 255	Write data to Program memory in the Page Mode (256 bytes)

1. The signature bytes are not readable in Lock Bit Modes 3 and 4.

2. B1 = 0, B2 = 0 → Mode 1, no lock protection
 B1 = 0, B2 = 1 → Mode 2, lock bit 1 activated
 B1 = 1, B2 = 0 → Mode 3, lock bit 2 activated
 B1 = 1, B2 = 1 → Mode 4, lock bit 3 activated

Each of the lock bits needs to be activated sequentially before Mode 4 can be executed.

After Reset signal is high, SCK should be low for at least 64 system clocks before it goes high to clock in the enable data bytes. No pulsing of Reset signal is necessary. SCK should be no faster than 1/16 of the system clock at XTAL1.

For Page Read/Write, the data always starts from byte 0 to 255. After the command byte and upper address byte are latched, each byte thereafter is treated as data until all 256 bytes are shifted in/out. Then the next instruction will be ready to be decoded.

Serial Programming Characteristics

Figure 9. Serial Programming Timing

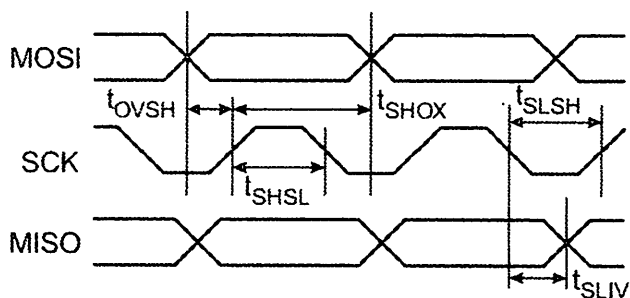


Table 9. Serial Programming Characteristics, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 4.0 - 5.5\text{V}$ (Unless Otherwise Noted)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
f_{CLCL}	Oscillator Frequency	0		33	MHz
t_{CLCL}	Oscillator Period	30			ns
t_{SL}	SCK Pulse Width High	$8 t_{CLCL}$			ns
t_{SH}	SCK Pulse Width Low	$8 t_{CLCL}$			ns
$t_{/SH}$	MOSI Setup to SCK High	t_{CLCL}			ns
$t_{/OX}$	MOSI Hold after SCK High	$2 t_{CLCL}$			ns
$t_{/IV}$	SCK Low to MISO Valid	10	16	32	ns
$t_{/ASE}$	Chip Erase Instruction Cycle Time			500	ms
$t_{/WC}$	Serial Byte Write Cycle Time			$64 t_{CLCL} + 400$	μs





Absolute Maximum Ratings*

Storage Temperature.....	-55°C to +125°C
Operating Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin 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

Values shown in this table are valid for $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C and $V_{CC} = 4.0\text{V}$ to 5.5V , unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
	Input Low Voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
	Input Low Voltage (\overline{EA})		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RST	Reset Pulldown Resistor		50	300	K Ω
	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
		Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 5.5\text{V}$		50

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_{OL} 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.

AT89S51

Characteristics

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

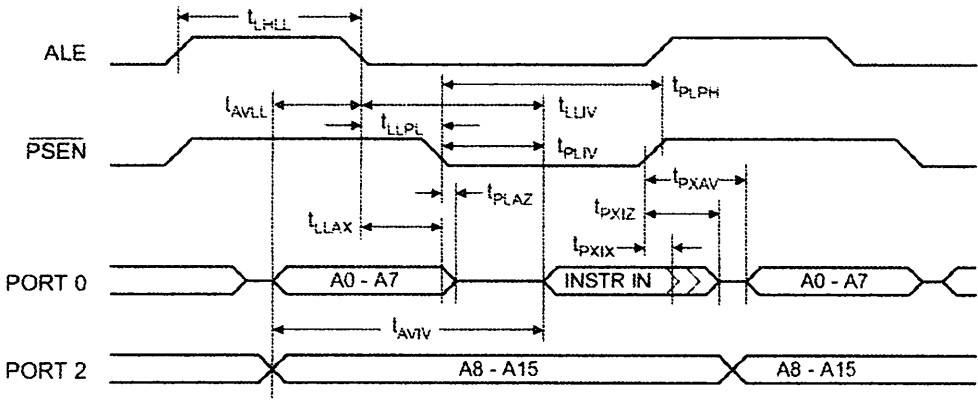
Internal Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
f_{CL}	Oscillator Frequency			0	33	MHz
	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}-40$		ns
	Address Valid to ALE Low	43		$t_{CLCL}-25$		ns
	Address Hold After ALE Low	48		$t_{CLCL}-25$		ns
	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{CLCL}-65$	ns
	ALE Low to PSEN Low	43		$t_{CLCL}-25$		ns
	PSEN Pulse Width	205		$3t_{CLCL}-45$		ns
	PSEN Low to Valid Instruction In		145		$3t_{CLCL}-60$	ns
	Input Instruction Hold After PSEN	0		0		ns
	Input Instruction Float After PSEN		59		$t_{CLCL}-25$	ns
	PSEN to Address Valid	75		$t_{CLCL}-8$		ns
	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{CLCL}-80$	ns
	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
t_{RD}	RD Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{WR}	WR Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{RD}	RD Low to Valid Data In		252		$5t_{CLCL}-90$	ns
t_{D}	Data Hold After RD	0		0		ns
t_{D}	Data Float After RD		97		$2t_{CLCL}-28$	ns
t_{D}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{CLCL}-150$	ns
t_{D}	Address to Valid Data In		585		$9t_{CLCL}-165$	ns
t_{D}	ALE Low to RD or WR Low	200	300	$3t_{CLCL}-50$	$3t_{CLCL}+50$	ns
t_{D}	Address to RD or WR Low	203		$4t_{CLCL}-75$		ns
t_{D}	Data Valid to WR Transition	23		$t_{CLCL}-30$		ns
t_{D}	Data Valid to WR High	433		$7t_{CLCL}-130$		ns
t_{D}	Data Hold After WR	33		$t_{CLCL}-25$		ns
	RD Low to Address Float		0		0	ns
	RD or WR High to ALE High	43	123	$t_{CLCL}-25$	$t_{CLCL}+25$	ns

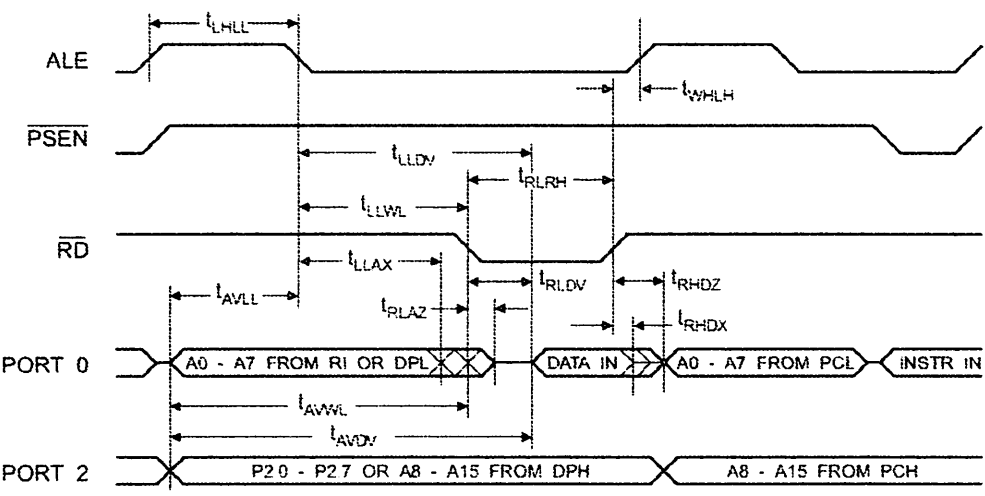




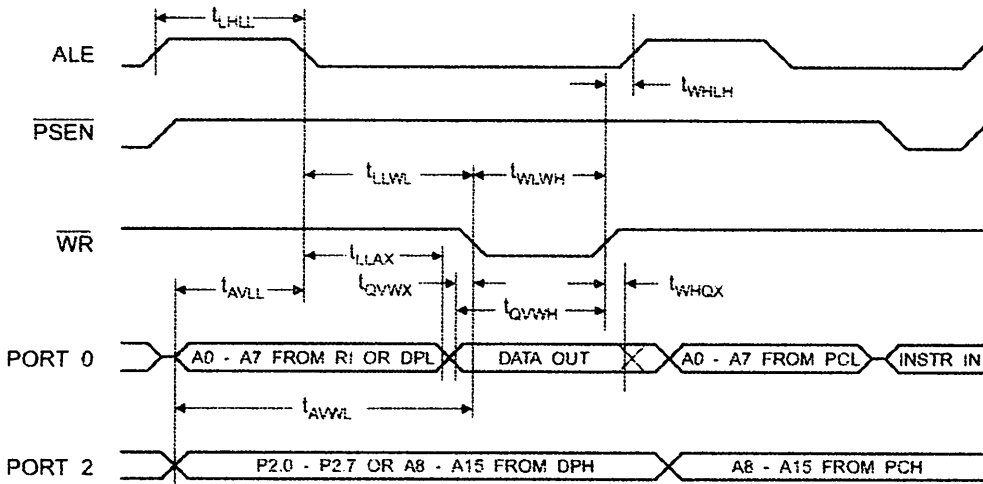
ernal Program Memory Read Cycle



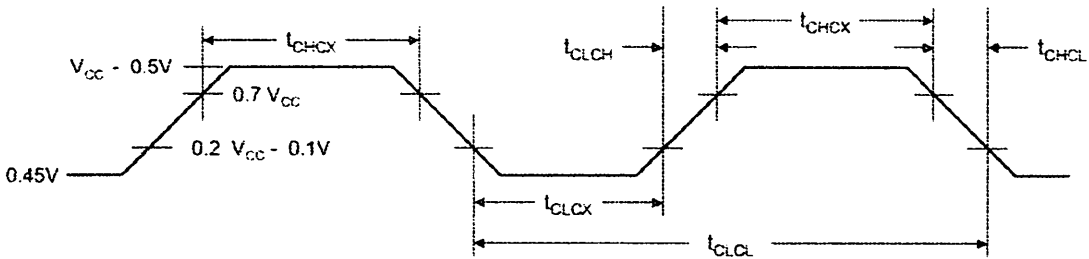
ernal Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
f_{CL}	Oscillator Frequency	0	33	MHz
	Clock Period	30		ns
	High Time	12		ns
	Low Time	12		ns
	Rise Time		5	ns
	Fall Time		5	ns



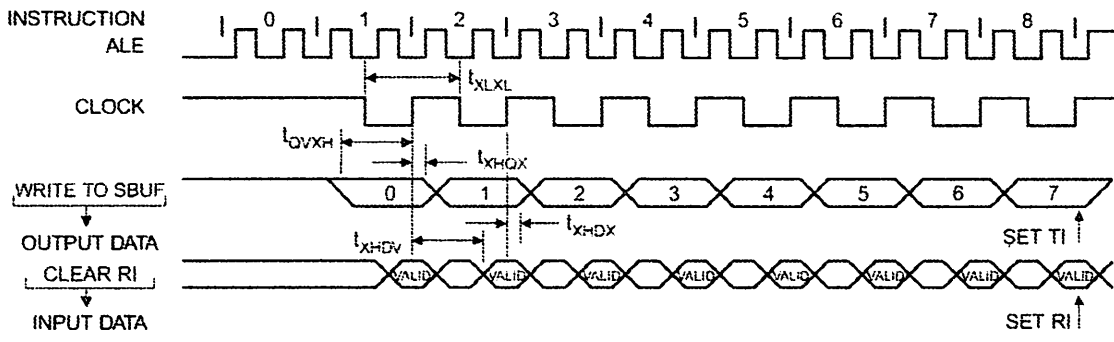


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

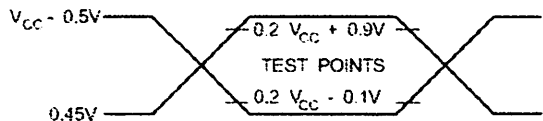
Values in this table are valid for $V_{CC} = 4.0V$ to $5.5V$ and Load Capacitance = $80 pF$.

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t _{SD}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t _{SDX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-80$		ns
t _{SDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t _{SD}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

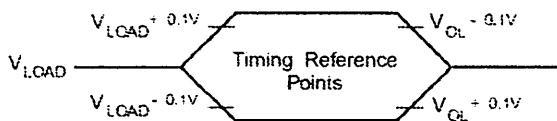


Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



- 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_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Timing Waveforms⁽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 a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.



Ordering Information

Speed (kHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	4.0V to 5.5V	AT89S51-24AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89S51-24JC	44J	
		AT89S51-24PC	40P6	
		AT89S51-24AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89S51-24JI	44J	
		AT89S51-24PI	40P6	
33	4.5V to 5.5V	AT89S51-33AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89S51-33JC	44J	
		AT89S51-33PC	40P6	

= Preliminary Availability

Package Type

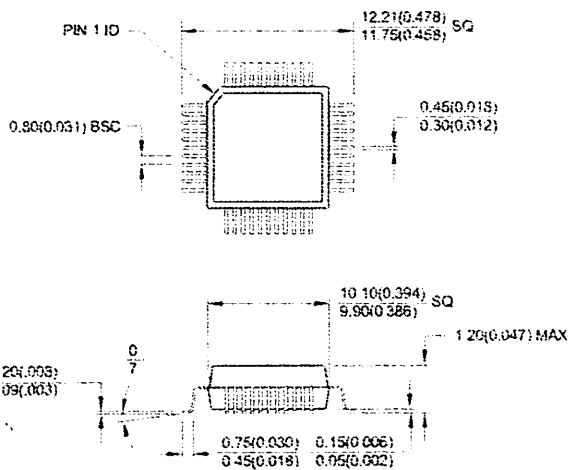
44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)





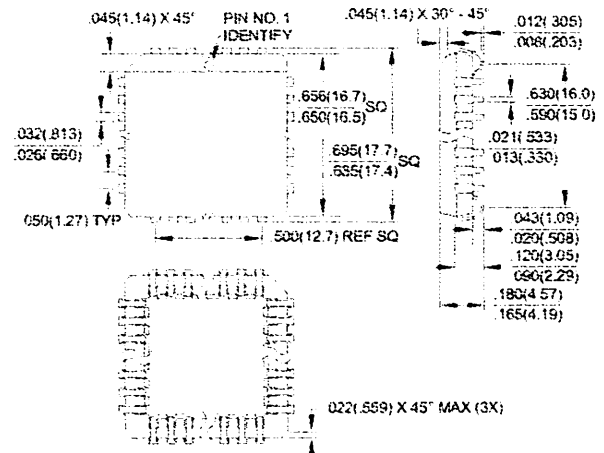
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*

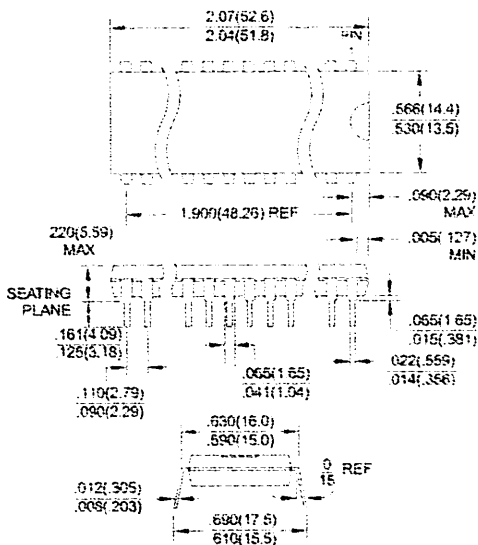


Controlling dimension: millimeters

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



6, 40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
Dimensions in Inches and (Millimeters)
MILITARY STANDARD MS-011 AC



AT89S51



Atmel Headquarters

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

Atmel Europe
Atmel SarL
Route des Arsenaux 41
Case Postale 80
CH-1705 Fribourg
Switzerland
TEL (41) 26-426-5555
FAX (41) 26-426-5500

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

Atmel Japan K.K.
Konetsu Shinkawa Bldg.
3 Shinkawa
ku, Tokyo 104-0033

(1) 3-3523-3551
(31) 3-3523-7581

Atmel Product Operations

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

Atmel Grenoble
Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex, France
TEL (33) 4-7658-3000
FAX (33) 4-7658-3480

Atmel Heilbronn
Theresienstrasse 2
POB 3535
D-74025 Heilbronn, Germany
TEL (49) 71 31 67 25 94
FAX (49) 71 31 67 24 23

Atmel Nantes
La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3, France
TEL (33) 0 2 40 18 18 18
FAX (33) 0 2 40 18 19 60

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

Atmel Smart Card ICs
Scottish Enterprise Technology Park
East Kilbride, Scotland G75 0QR
TEL (44) 1355-357-000
FAX (44) 1355-242-743

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
<http://www.atmel.com>

Corporation 2001.

Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors or omissions that 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 to any 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.

Atmel is the registered trademark of Atmel.

® is the registered trademark of Intel Corporation. Terms and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

2487A-10/01/xM

ADC0808/ADC0809 8-Bit μ P 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 ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

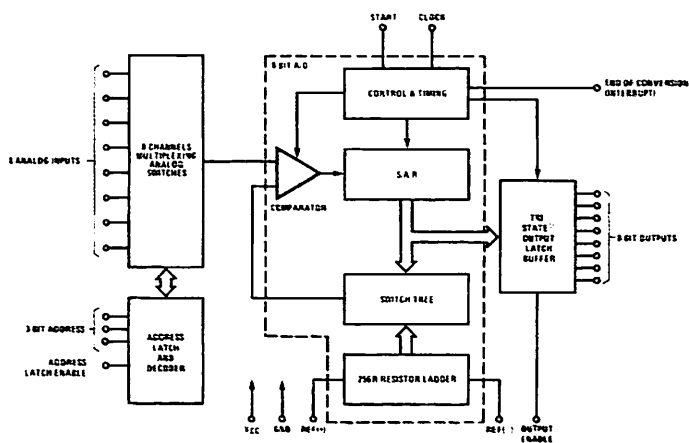
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} 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
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| ■ Resolution | 8 Bits |
| ■ Total Unadjusted Error | $\pm \frac{1}{2}$ LSB and ± 1 LSB |
| ■ Single Supply | 5 V _{DC} |
| ■ Low Power | 15 mW |
| ■ Conversion Time | 100 μ s |

Block Diagram



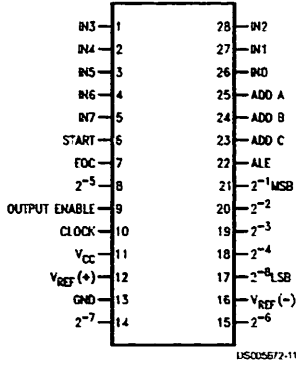
See Ordering Information

DS005672-1

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corp

Connection Diagrams

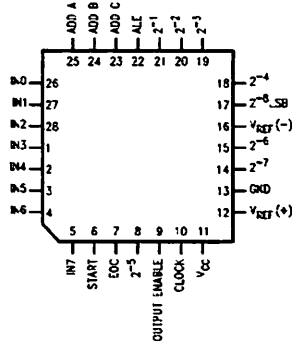
Dual-In-Line Package



US005672-11

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



DS005672-12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	± ½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	± 1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV		
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier	J28A Ceramic DIP	J28A Ceramic DIP

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

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

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 (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	-0.3V to +15V
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)	260°C

Dual-In-Line Package (ceramic)	300°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°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
Range of V_{CC} (Note 1)	4.5 V_{DC} to 6.0 V_{DC}

Electrical Characteristics

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

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

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC}=5V$, $V_{IN}=5V$, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX}		10	200 1.0	nA μA
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC}=5V$, $V_{IN}=0$, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX}	-200 -1.0	-10		nA μA
CONTROL INPUTS						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage			$V_{CC}-1.5$		V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=15V$			1.0	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=0$	-1.0			μA
I_{CC}	Supply Current	$f_{CLK}=640$ 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	$I_O = 1.6\text{ mA}$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2\text{ mA}$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$, $V_{REF(-)} = GND$, $t_r = t_f = 20\text{ ns}$ 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 From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{1H}, t_{0H}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10\text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640\text{ kHz}$, (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 μs	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 code will be correct. To achieve an absolute $0V_{DC}$ 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 8). 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 k Ω 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 $+1/2$ 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.

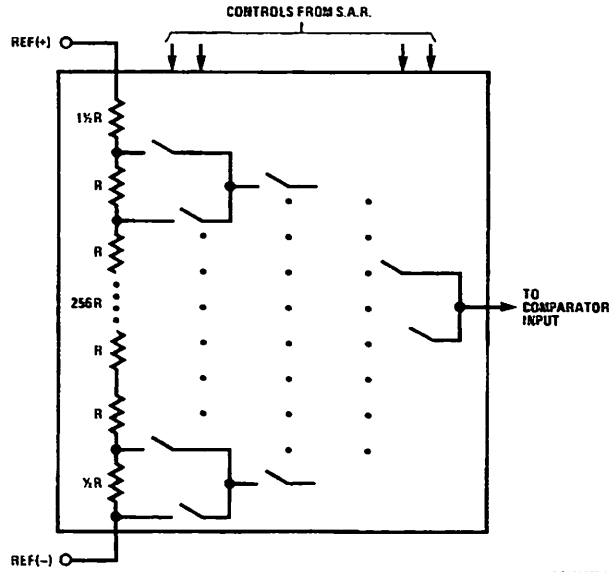
The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion 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.

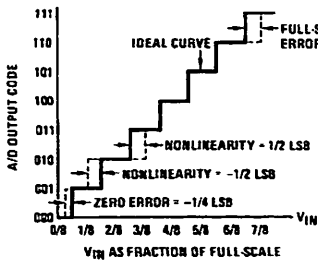
Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

Functional Description (Continued)



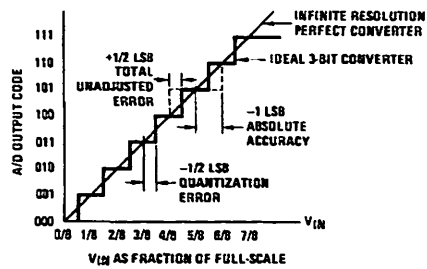
DS005672-2

FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree



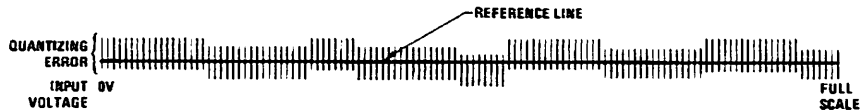
DS005672-13

FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve



DS005672-14

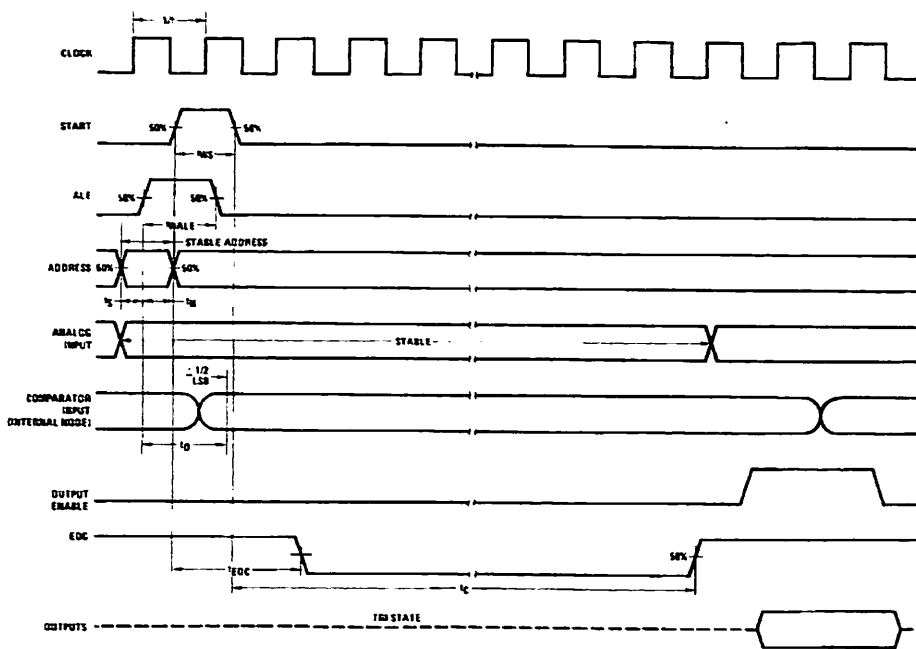
FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve



DS005672-15

FIGURE 4. Typical Error Curve

Timing Diagram



DS005672-4

FIGURE 5.

Typical Performance Characteristics

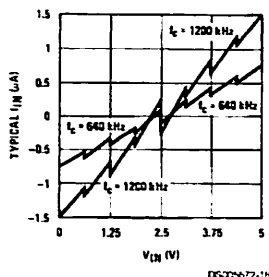


FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN} ($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

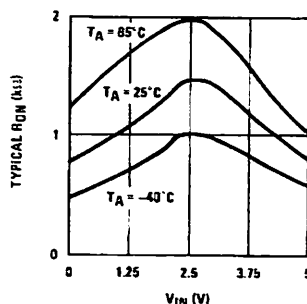


FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN} ($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

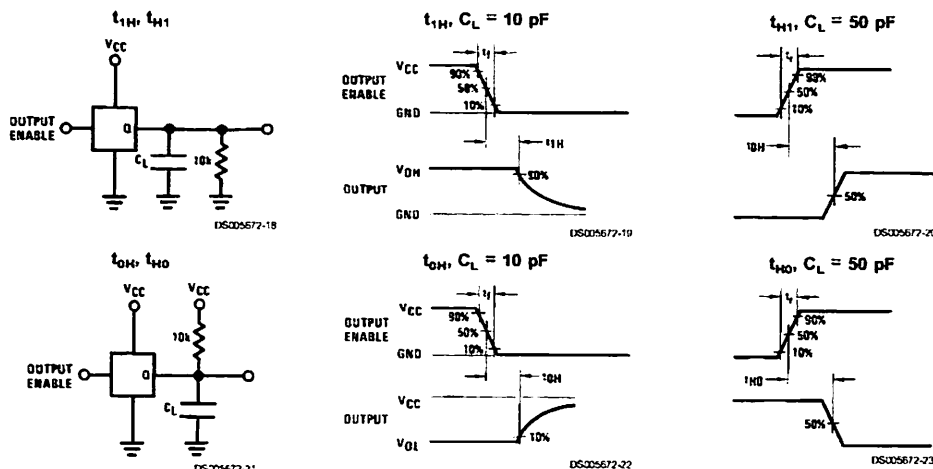


FIGURE 8.

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIOMETRIC 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 into 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 sys-

Applications Information (Continued)

tem 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.

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 10 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.

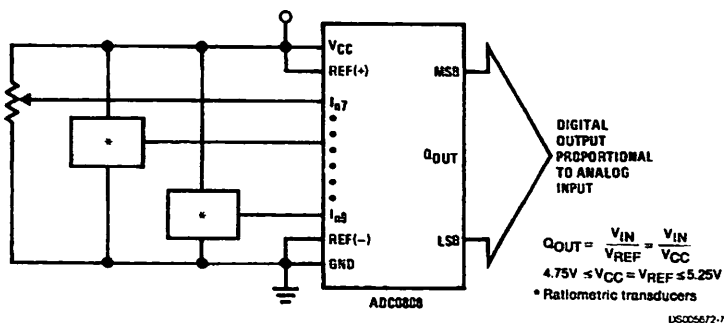
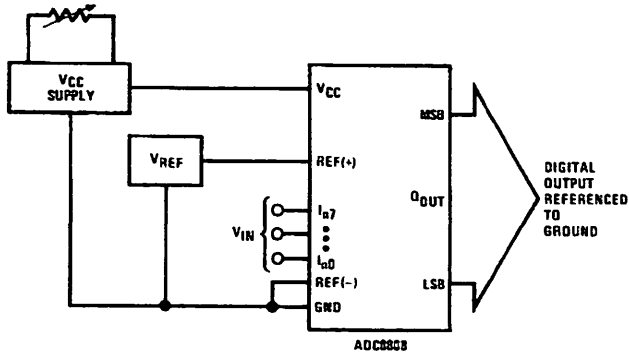


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

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 μF 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)

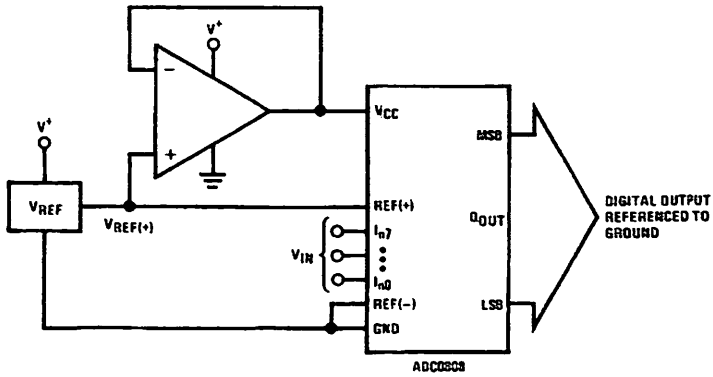


DS005672-24

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

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

FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply



DS005672-25

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

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

FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating VCC Supply

Applications Information (Continued)

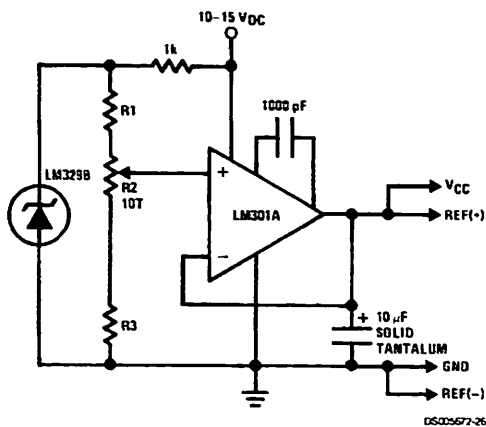
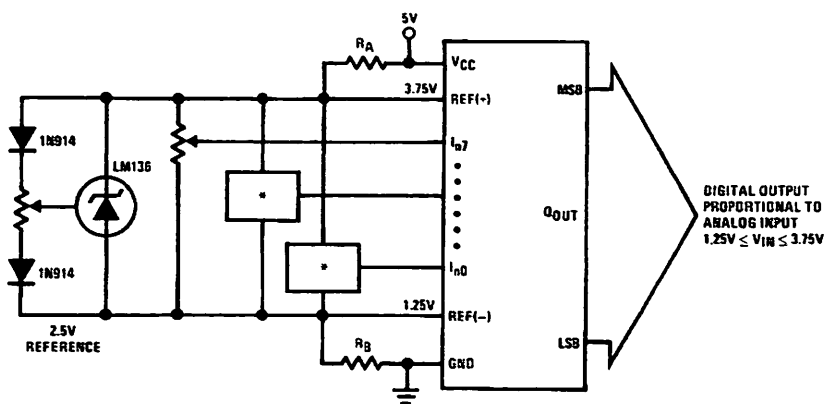


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit



DS005672-21

$R_A = R_B$
 *Ratiometric transducers

FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

3.0 CONVERTER EQUATIONS

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

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

The center of an output code N is given by:

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

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

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

Where: V_{IN} = Voltage at comparator input
 $V_{REF(+)}$ = Voltage at Ref(+)
 $V_{REF(-)}$ = Voltage at Ref(-)
 V_{TUE} = Total unadjusted error voltage (typically $V_{REF(+)} \div 512$)

Applications Information (Continued)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

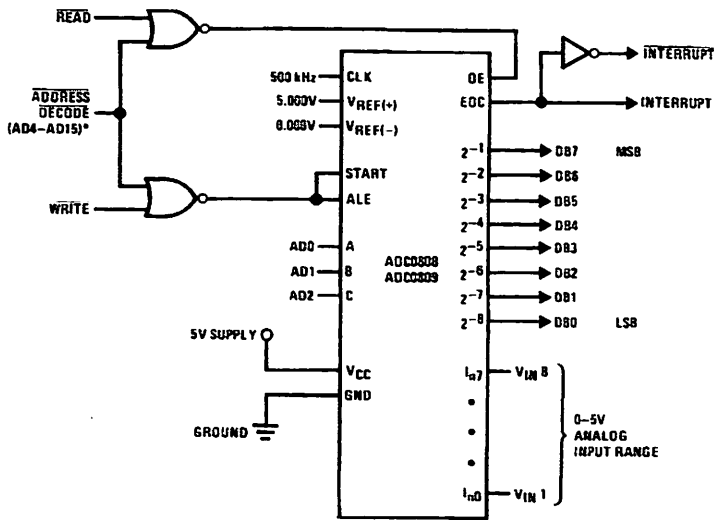
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

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



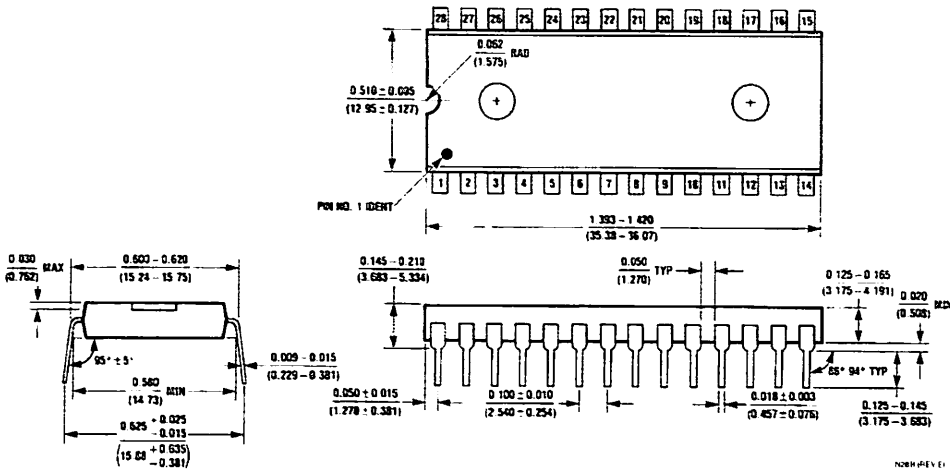
*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

DS025672-10

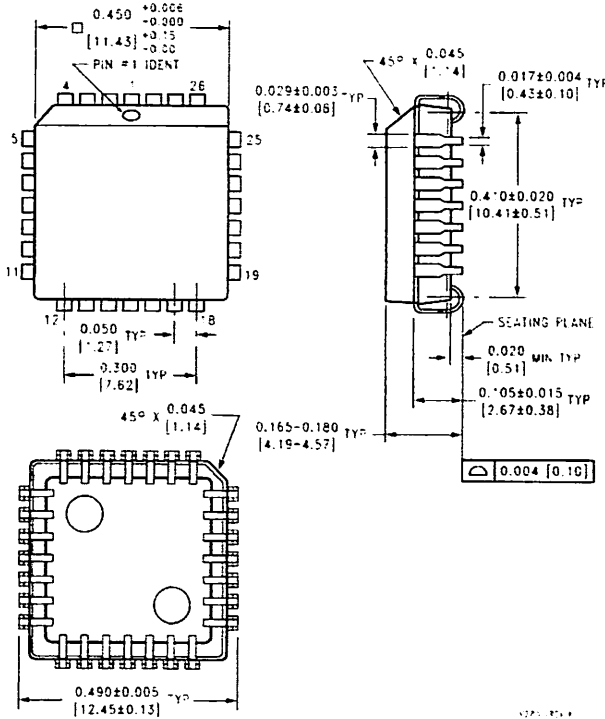
TABLE 2. Microprocessor Interface Table

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	\overline{RD}	\overline{WR}	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{INT} (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	$\overline{VMA} \cdot \phi 2 \cdot \overline{RW}$	$\overline{VMA} \cdot \phi \cdot \overline{RW}$	\overline{IRQA} or \overline{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



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

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: 1-800-272-9959
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 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group

Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.

Tel: 81-3-5639-7560

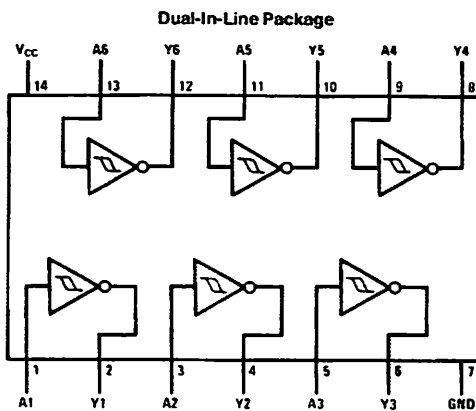
Fax: 81-3-5639-7507

54LS14/DM74LS14 Hex Inverters with Schmitt Trigger Inputs

General Description

This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function. Each input has hysteresis which increases the noise immunity and transforms a slowly changing input signal to a fast changing, jitter free output.

Connection Diagram



TL/F/6353-1

Order Number 54LS14DMQB, 54LS14FMQB,
54LS14LMQB, DM74LS14M or DM74LS14N
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

Function Table

$$Y = \bar{A}$$

Input	Output
A	Y
L	H
H	L

H = High Logic Level
L = Low Logic Level

54LS14/DM74LS14 Hex Inverters with Schmitt Trigger Inputs

Absolute Maximum Ratings (Note)

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

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	
54LS	-55°C to +125°C
DM74LS	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	54LS14			DM74LS14			Units
		Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V _{CC}	Supply Voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V _{T+}	Positive-Going Input Threshold Voltage (Note 1)	1.5	1.6	2.0	1.4	1.6	1.9	V
V _{T-}	Negative-Going Input Threshold Voltage (Note 1)	0.6	0.8	1.1	0.5	0.8	1	V
HYS	Input Hysteresis (Note 1)	0.4	0.8		0.4	0.8		V
I _{OH}	High Level Output Current			0.4			-0.4	mA
I _{OL}	Low Level Output Current			4			8	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	-55		125	0		70	°C

Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max	54LS 2.5	3.4		V
V _{OL}	Low Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IH} = Min	54LS	0.25	0.4	V
			DM74	0.35	0.5	
		V _{CC} = Min, I _{OL} = 4 mA	DM74	0.25	0.4	
I _{T+}	Input Current at Positive-Going Threshold	V _{CC} = 5V, V _I = V _{T+}	DM74		-0.14	mA
I _{T-}	Input Current at Negative-Going Threshold	V _{CC} = 5V, V _I = V _{T-}	DM74		-0.18	mA
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V	DM74		0.1	mA
		V _{CC} = Max, V _I = 10.0V	54LS			
I _{IH}	High Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL}	Low Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 3)	54LS	-20	-100	mA
			DM74	-20	-100	
I _{CCH}	Supply Current with Outputs High	V _{CC} = Max		8.6	16	mA
I _{CCL}	Supply Current with Outputs Low	V _{CC} = Max		12	21	mA

Note 1: V_{CC} = 5V.

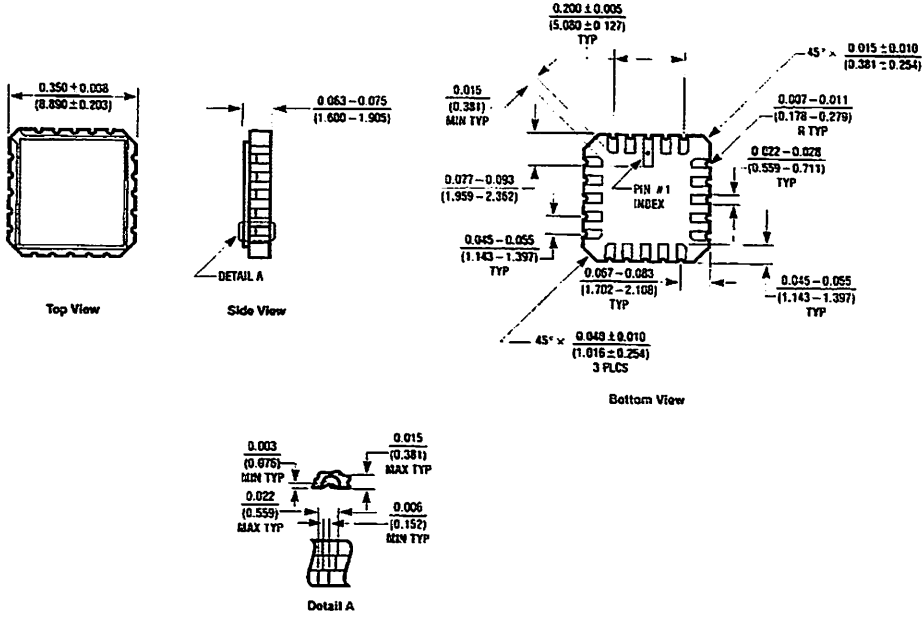
Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Switching Characteristics at $V_{CC} = 5V$ and $T_A = 25^\circ C$ (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

Symbol	Parameter	$R_L = 2\text{ k}\Omega$				Units
		$C_L = 15\text{ pF}$		$C_L = 50\text{ pF}$		
		Min	Max	Min	Max	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output	5	22	8	25	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output	5	22	10	33	ns

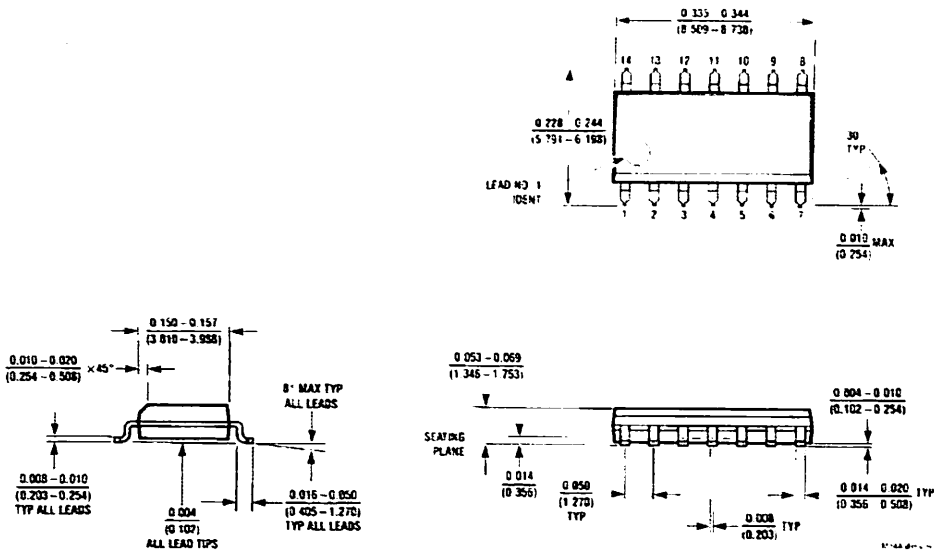
Physical Dimensions inches (millimeters)



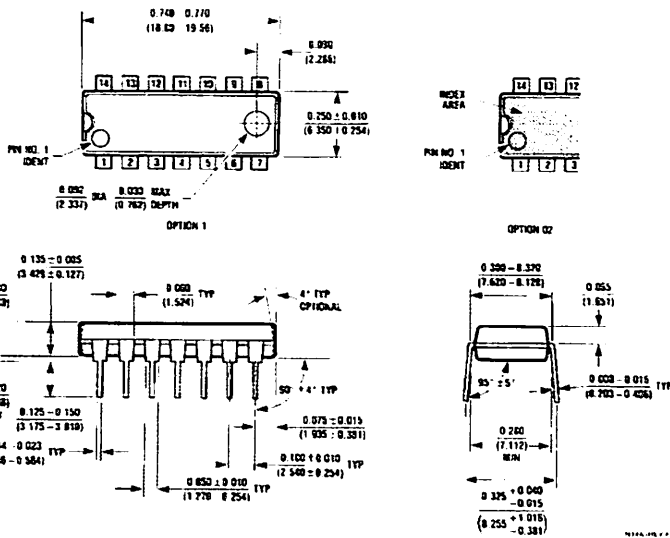
Ceramic Leadless Chip Carrier (E)
Order Number 54LS14LMQB
NS Package Number E20A

1234-PCB-C

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)

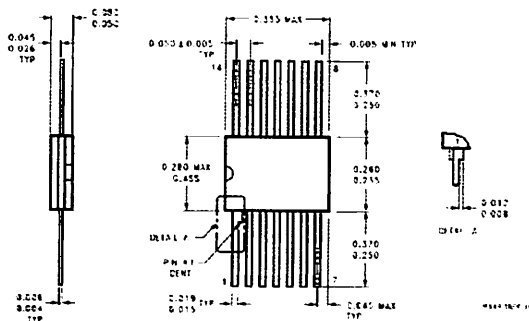


14-Lead Small Outline Molded Package (M)
Order Number DM74LS14M
NS Package Number M14A



14-Lead Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number DM74LS14N
NS Package Number N14A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)




14-Lead Ceramic Flat Package (W)
Order Number 54LS14FMQB
NS Package Number W14B

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.

 <p>National Semiconductor Corporation 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: (800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p>	<p>National Semiconductor Europe Fax: (+49) 0-180-530 85 88 Email: onpage@twm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 83 58 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80</p>	<p>National Semiconductor Hong Kong Ltd. 13th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon - Hong Kong Tel: (852) 2737-1600 Fax: (852) 2738-0960</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p>
---	---	---	---

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

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

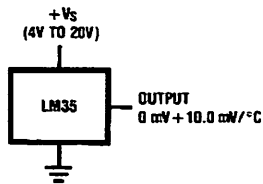
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ 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 $60\ \mu\text{A}$ 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 pack-

aged 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-220 package.

Features

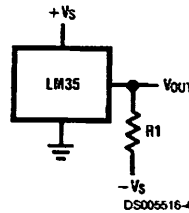
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
(+2°C to +150°C)



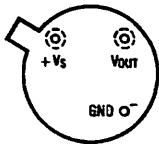
DS005516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

**TO-46
Metal Can Package***



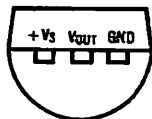
BOTTOM VIEW
DS005516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

See NS Package Number H03H

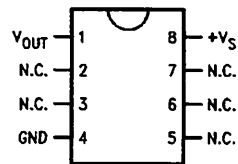
**TO-92
Plastic Package**



BOTTOM VIEW
DS005516-2

**Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ**
See NS Package Number Z03A

**SO-8
Small Outline Molded Package**

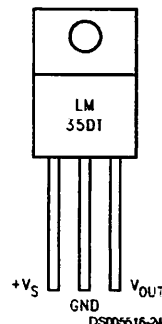


DS005516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

**TO-220
Plastic Package***



DS005516-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Input Voltage	+6V to -1.0V
Input Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 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 (7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Linearity (8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Open Loop Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Supply Current (9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Temperature Coefficient of Supply Current	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA/°C
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA/°C
Temperature Coefficient of Supply Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	μA/°C
Trim Temperature Coefficient 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

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

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)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
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)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	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 <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+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 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W , junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°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-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant 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: Tested 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*.

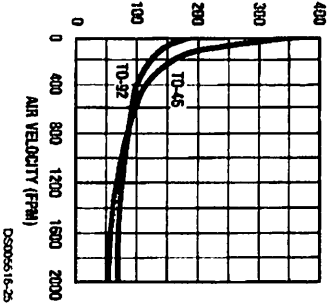
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ 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.

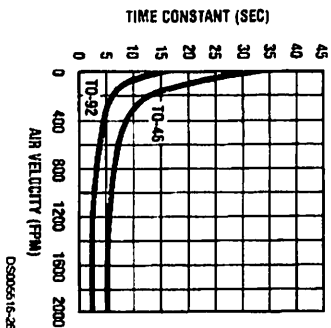
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance
in Still Air



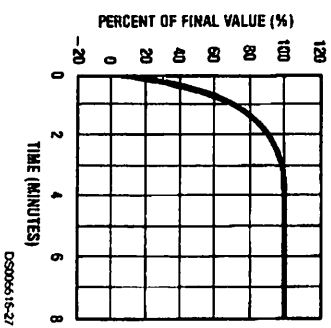
DS006516-25

Thermal Time Constant
in Still Air



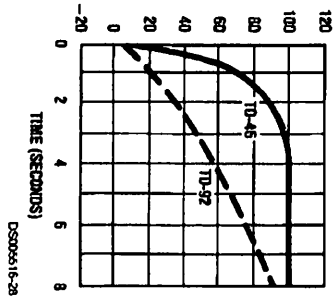
DS006516-26

Thermal Response
in Still Air



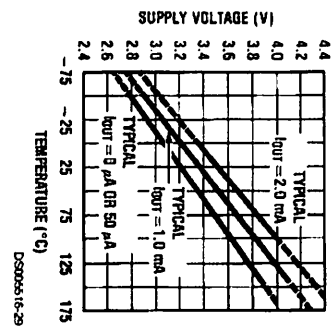
DS006516-27

Thermal Response in
Red Oil Bath



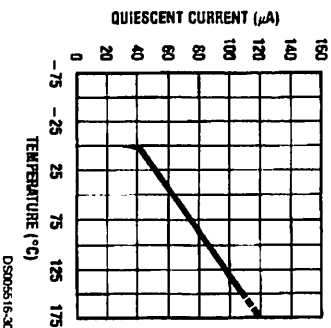
DS006516-28

Minimum Supply
Voltage vs. Temperature



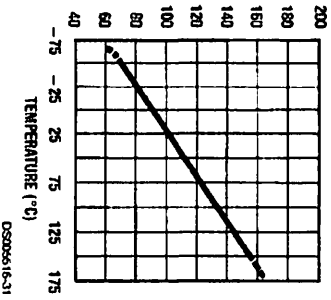
DS006516-29

Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 1.)



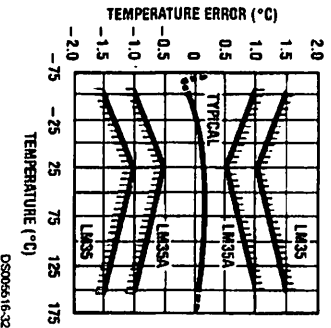
DS006516-30

Quiescent Current
Temperature
Circuit of Figure 2)



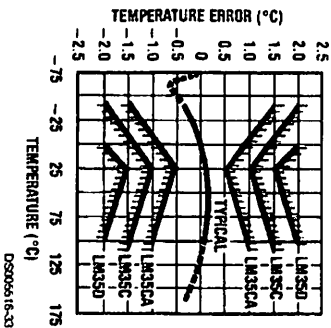
DS006516-31

Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)



DS006516-32

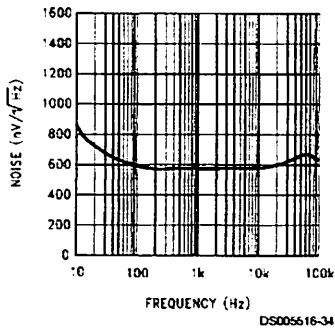
Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)



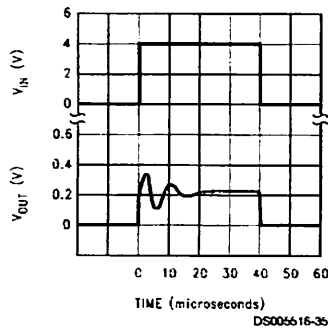
DS006516-33

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



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 Humiseal 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.

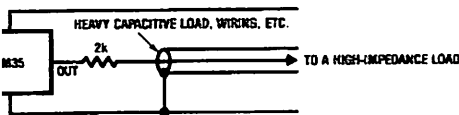
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	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-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)			(55°C/W)		

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

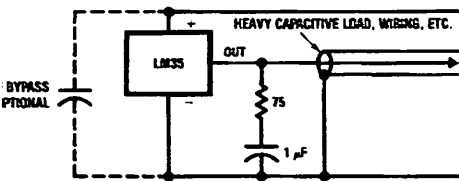
**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

cal Applications



DS005516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



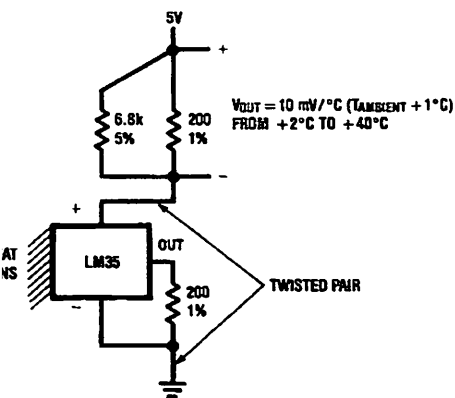
DS005516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CTIVE LOADS

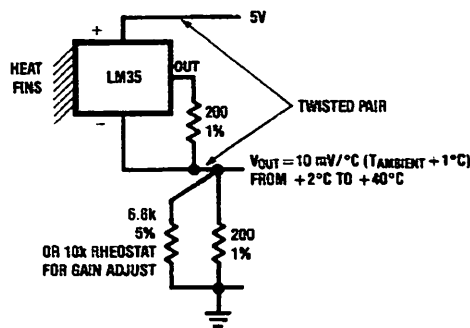
ost micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive a load of 100 pF without special precautions. If heavier loads are required, it is easy to isolate or decouple the load with a series R-C damper; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of the LM35 to inductive loads 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 Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to stray capacitance because the capacitance forms a by-path to ground from the input, not on the output. However, as a linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by inductive loads or electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as these can act as a receiving antenna and its internal nodes can act as rectifiers. For best results in such cases, bypass capacitors from V_{IN} to ground and a series R-C damper from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.



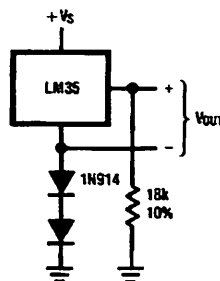
DS005516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



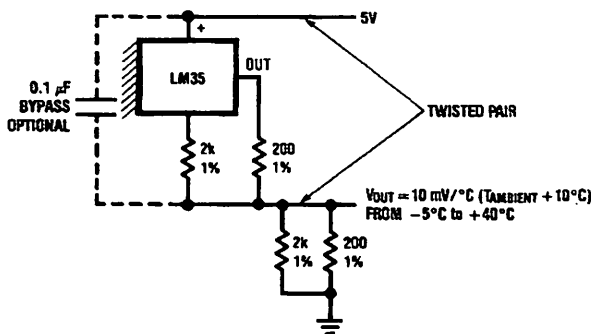
DS005516-6

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



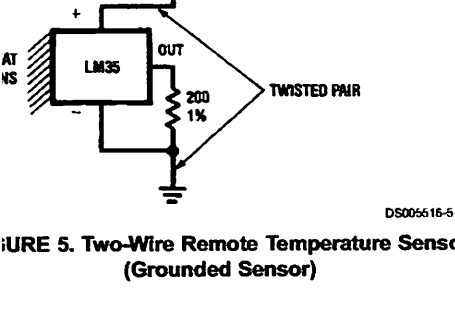
DS005516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C



DS005516-8

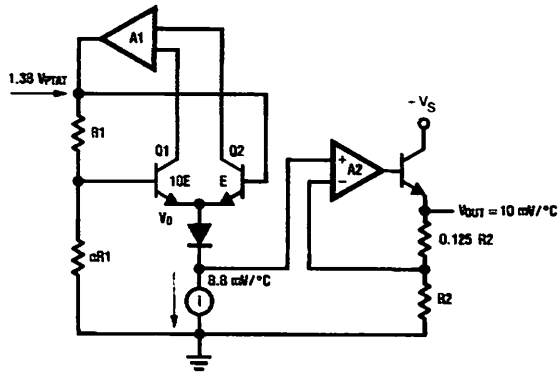
FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



DS005516-9

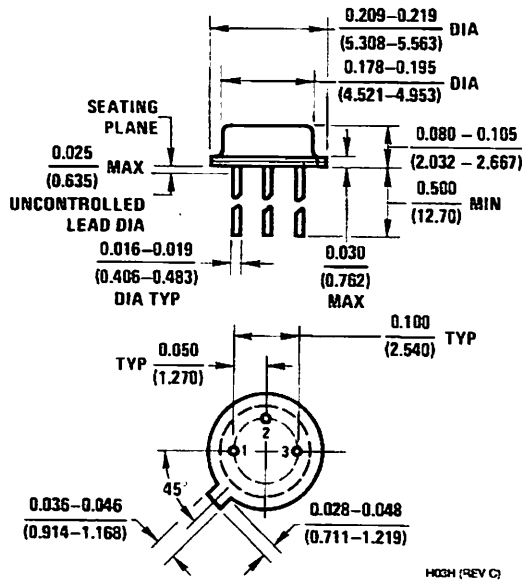
FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

Block Diagram

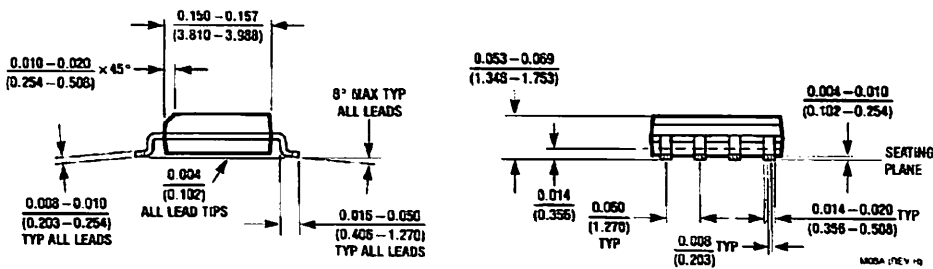
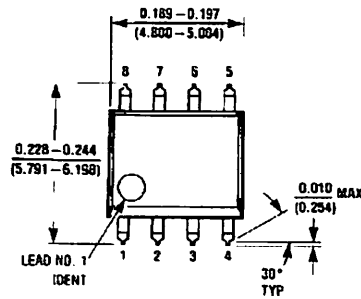


DS006616-23

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

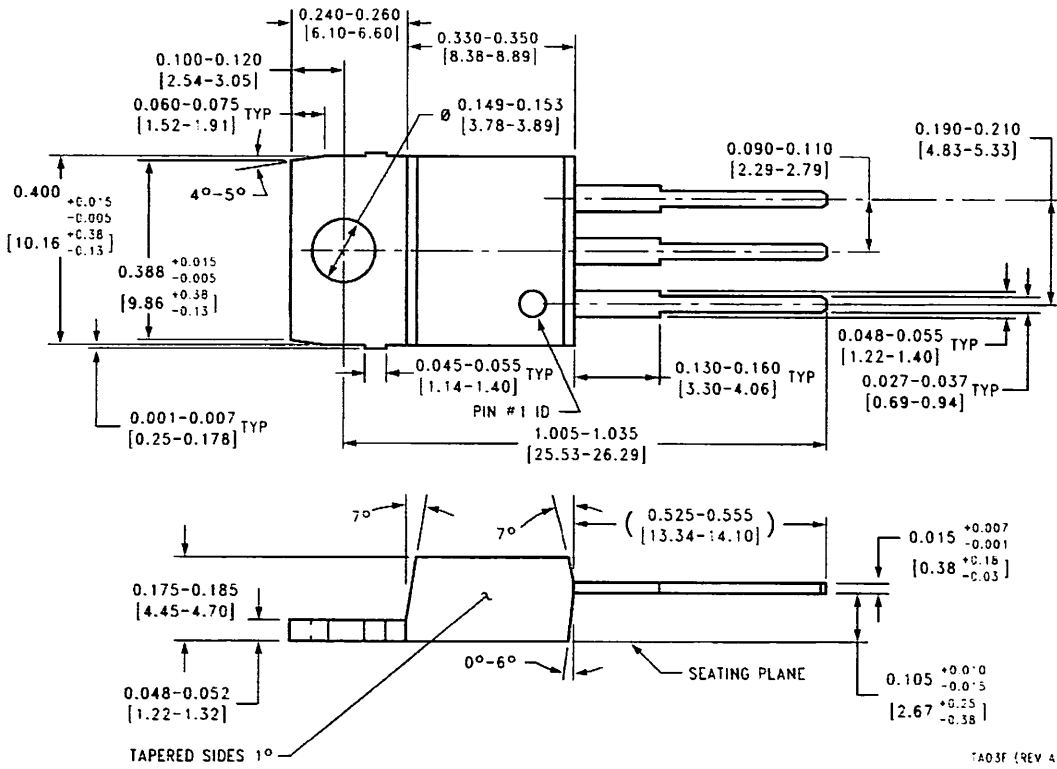


TO-46 Metal Can Package (H)
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
LM35CAH, or LM35DH
NS Package Number H03H



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

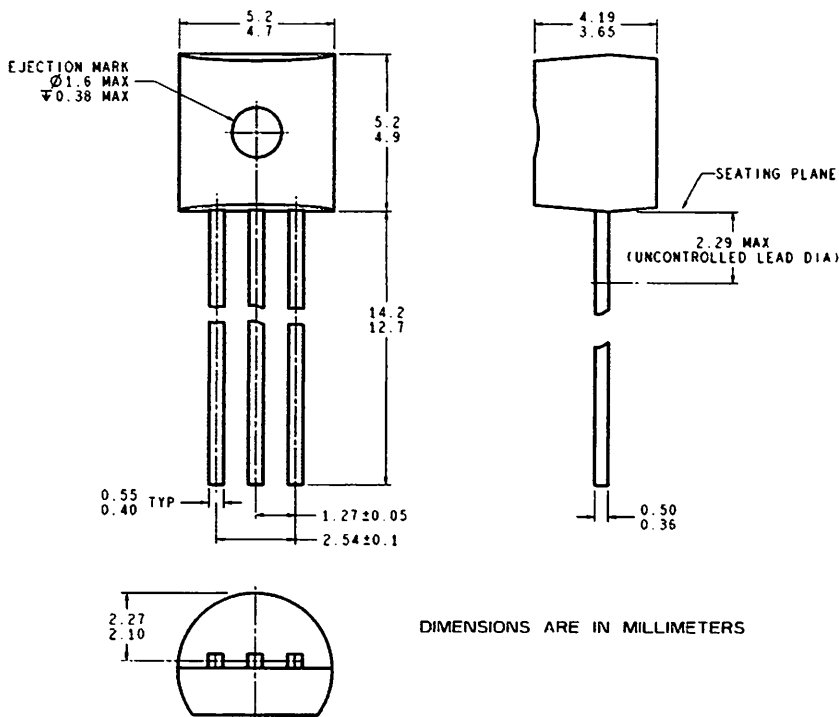
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TA03F (REV 4)

Power Package TO-220 (T)
Order Number LM35DT
NS Package Number TA03F

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



Z03A (Rev. G)

TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A

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 MANAGER 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: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

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

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

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



ULN2001A-ULN2002A ULN2003A-ULN2004A

SEVEN DARLINGTON ARRAYS

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500mA PER DRIVER (600mA PEAK)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRATED SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT

DESCRIPTION

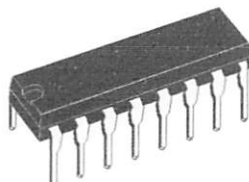
The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003 and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel rated at 500mA and can withstand peak currents of 600mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

The four versions interface to all common logic families :

ULN2001A	General Purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN2002A	14-25V PMOS
ULN2003A	5V TTL, CMOS
ULN2004A	6-15V CMOS, PMOS

These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motors, LED displays filament lamps, thermal print-heads and high power buffers.

The ULN2001A/2002A/2003A and 2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with a copper leadframe to reduce thermal resistance. They are available also in small outline package (SO-16) as ULN2001D/2002D/2003D/2004D.



DIP16

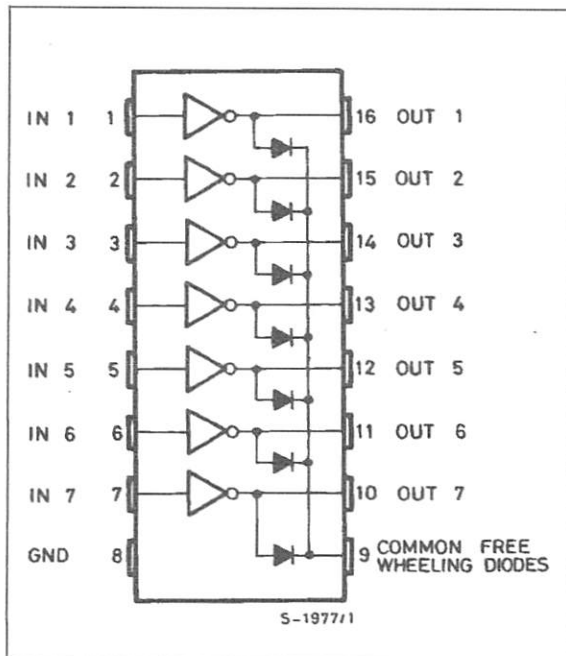
ORDERING NUMBERS: ULN2001A/2A/3A/4A



SO16

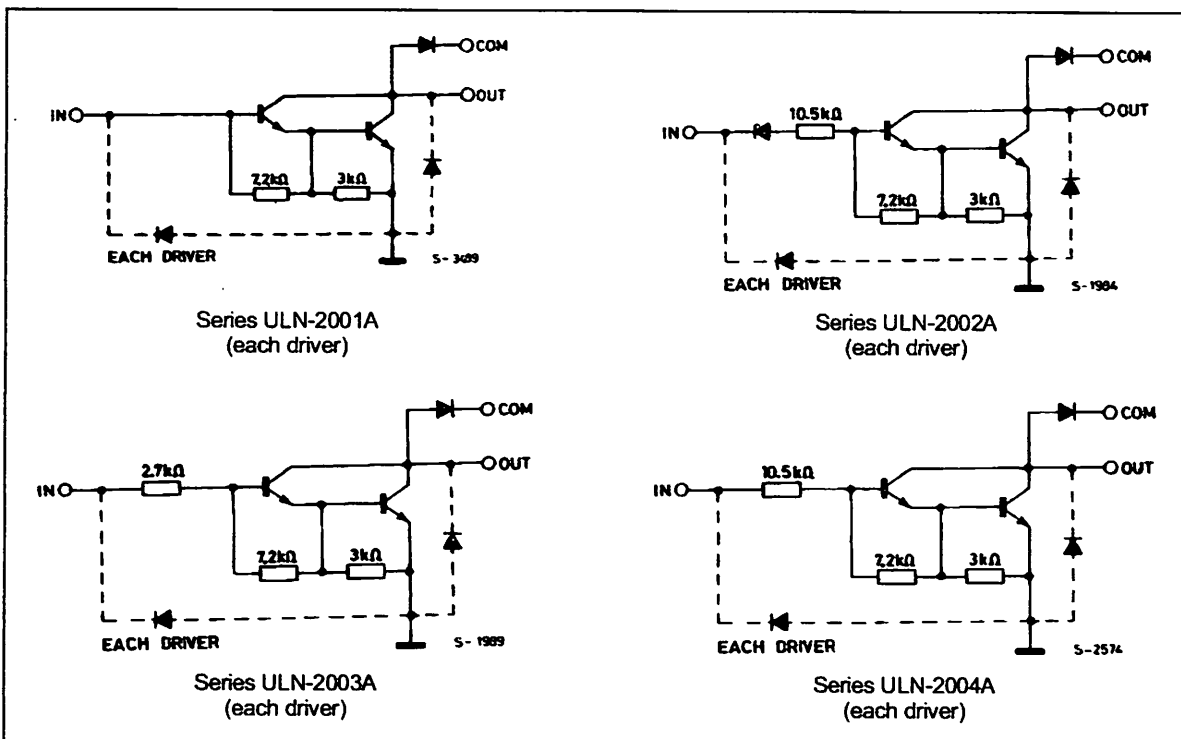
ORDERING NUMBERS: ULN2001D/2D/3D/4D

PIN CONNECTION



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_o	Output Voltage	50	V
V_{in}	Input Voltage (for ULN2002A/D - 2003A/D - 2004A/D)	30	V
I_c	Continuous Collector Current	500	mA
I_b	Continuous Base Current	25	mA
T_{amb}	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	- 55 to 150	°C
T_j	Junction Temperature	150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP16	SO16	Unit
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 70	120	°C/W

ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.
I_{CEX}	Output Leakage Current	$V_{CE} = 50\text{V}$			50	μA	1a
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 50\text{V}$			100	μA	1a
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ for ULN2002A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 6\text{V}$			500	μA	1b
		for ULN2004A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 1\text{V}$			500	μA	1b
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 250\mu\text{A}$		0.9	1.1	V	2
		$I_C = 200\text{mA}, I_B = 350\mu\text{A}$		1.1	1.3	V	2
		$I_C = 350\text{mA}, I_B = 500\mu\text{A}$		1.3	1.6	V	2
$I_{i(on)}$	Input Current	for ULN2002A, $V_i = 17\text{V}$		0.82	1.25	mA	3
		for ULN2003A, $V_i = 3.85\text{V}$		0.93	1.35	mA	3
		for ULN2004A, $V_i = 5\text{V}$		0.35	0.5	mA	3
		$V_i = 12\text{V}$		1	1.45	mA	3
$I_{i(off)}$	Input Current	$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, I_C = 500\mu\text{A}$	50	65		μA	4
$V_{i(on)}$	Input Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}$ for ULN2002A $I_C = 300\text{mA}$			13	V	5
		for ULN2003A $I_C = 200\text{mA}$			2.4		
		$I_C = 250\text{mA}$			2.7		
		$I_C = 300\text{mA}$			3		
		for ULN2004A $I_C = 125\text{mA}$			5		
		$I_C = 200\text{mA}$			6		
		$I_C = 275\text{mA}$ $I_C = 350\text{mA}$			7 8		
h_{FE}	DC Forward Current Gain	for ULN2001A $V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 350\text{mA}$	1000				2
C_i	Input Capacitance			15	25	pF	
t_{PLH}	Turn-on Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	μs	
t_{PHL}	Turn-off Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	μs	
I_R	Clamp Diode Leakage Current	$V_R = 50\text{V}$			50	μA	6
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_R = 50\text{V}$			100	μA	6
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_F = 350\text{mA}$		1.7	2	V	7

TEST CIRCUITS

Figure 1a.

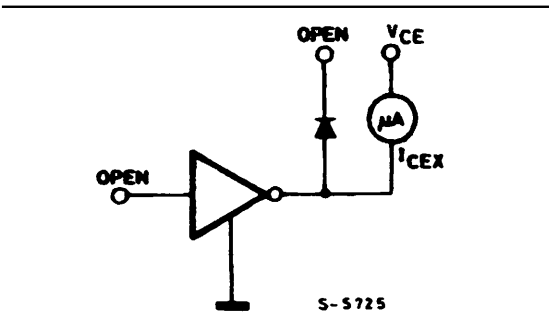


Figure 1b.

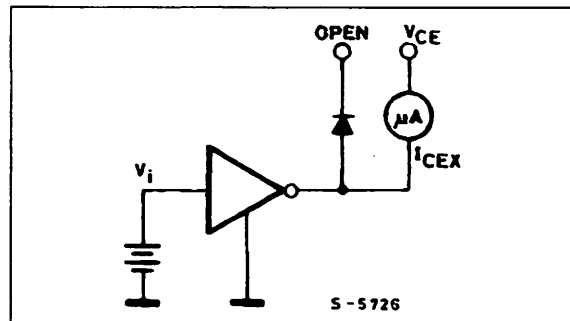


Figure 2.

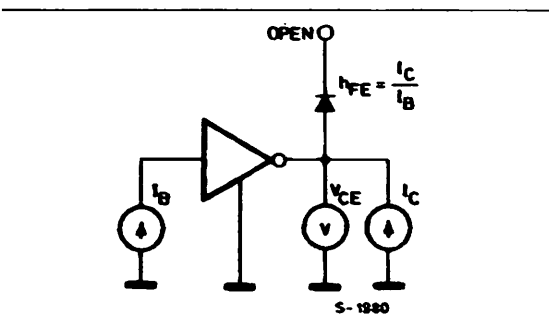


Figure 3.

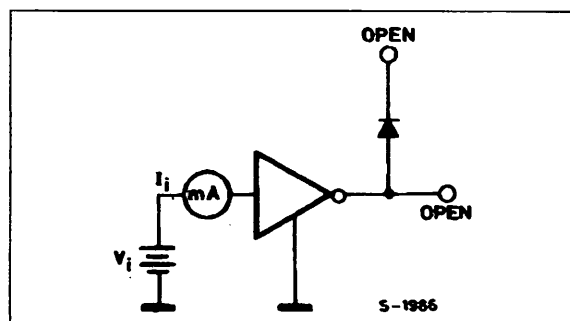


Figure 4.

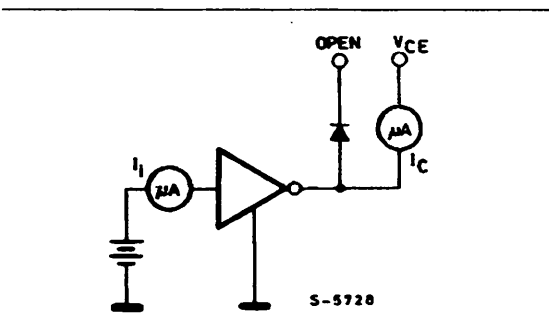


Figure 5.

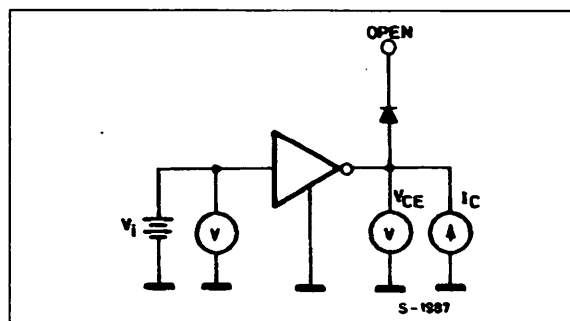


Figure 6.

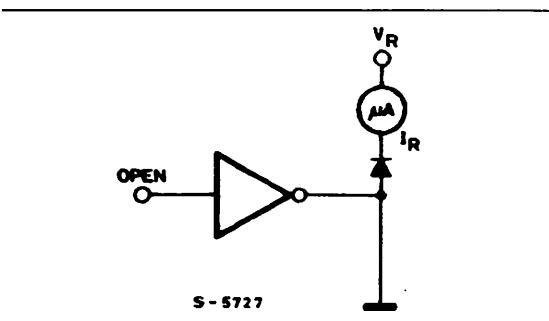


Figure 7.

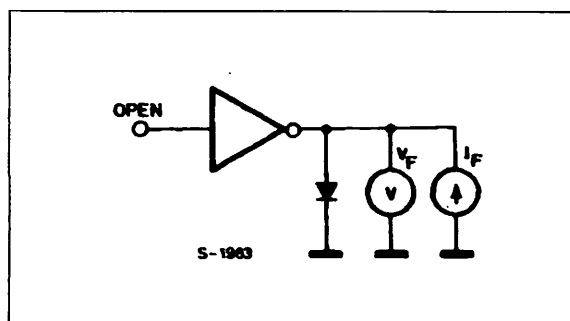


Figure 8: Collector Current versus Input Current

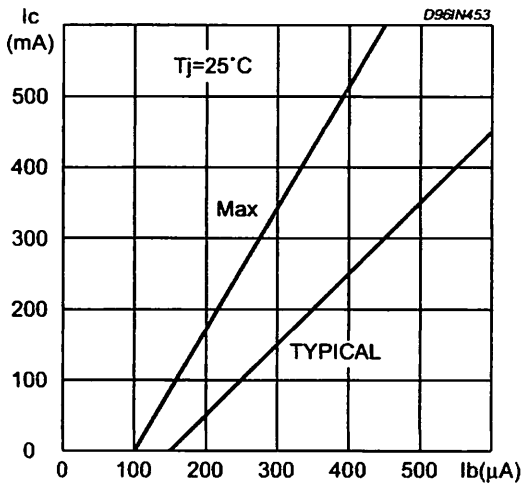


Figure 9: Collector Current versus Saturation Voltage

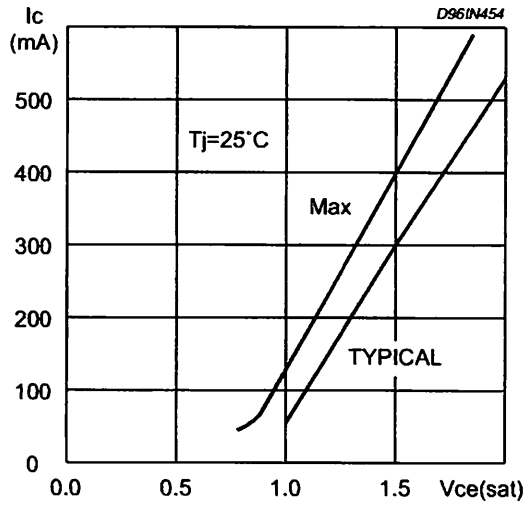


Figure 10: Peak Collector Current versus Duty Cycle

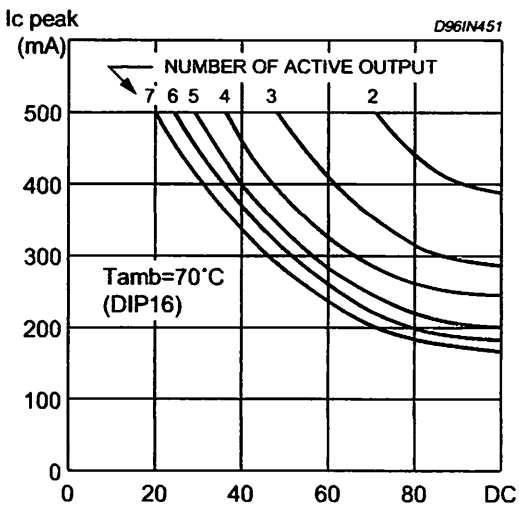
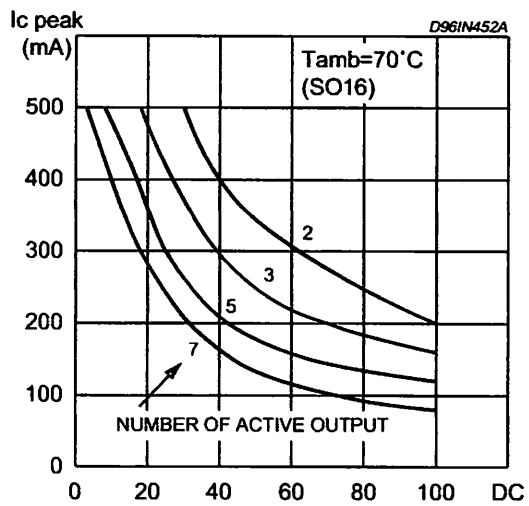


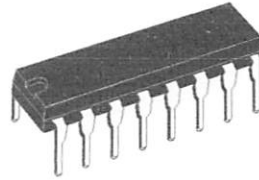
Figure 11: Peak Collector Current versus Duty Cycle



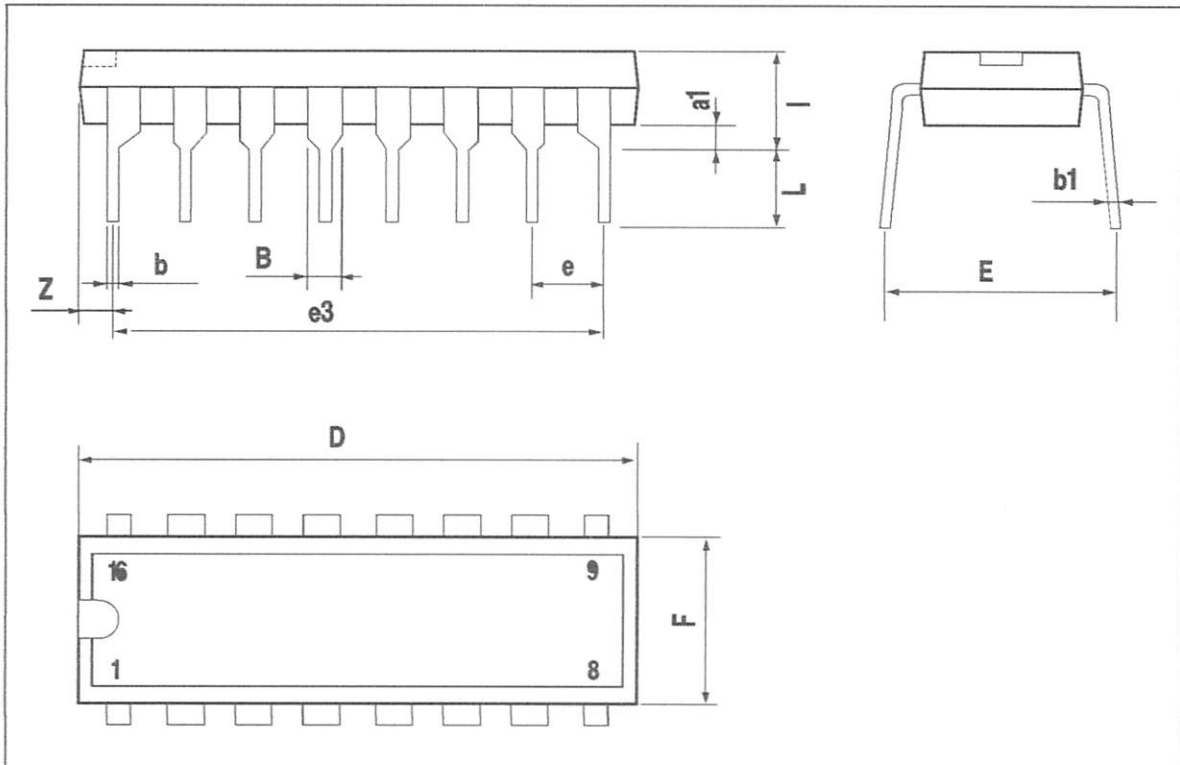
ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



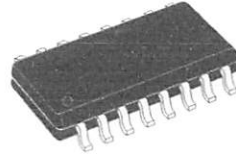
DIP16



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

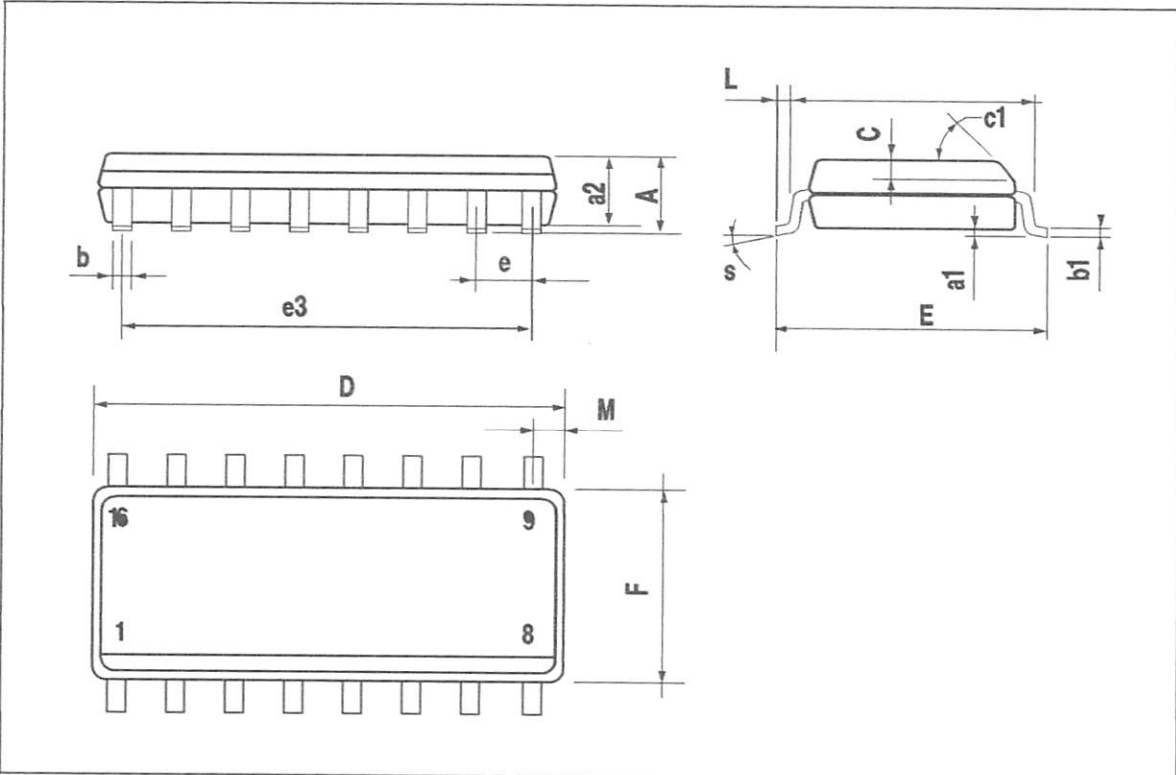
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D (1)	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F (1)	3.8		4	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.209
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S	8°(max.)					

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



SO16 Narrow

(1) D and F do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.006inch).



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
© 2002 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.

<http://www.st.com>