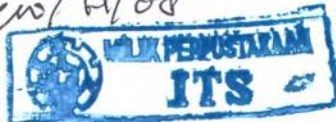




ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

33400/H/08



RSF

681.2

Mua

P-1

2008

TUGAS AKHIR RF 0469

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR KADAR
KALSIMUM DALAM DARAH BERBASIS MIKROKONTROLLER
AT89S52

HAWIN MUALIF

NRP : 2405 030 036

Dosen Pembimbing
Ir. Moch. Ilyas HS

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	8-8-2008
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	231916

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2008



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT RF 0469

DESIGN AND MANUFACTURING THE MEASURING EQUIPMENT OF THE CALCIUM'S LEVEL IN THE BLOOD BASED MICROCONTROLLER AT89S52

HAWIN MUALIF

NRP 2405 030 036

Counsellor lecture

Ir. Moch. Ilyas HS.

DIPLOMA 3 INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF PHYSICS ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2008

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR
KADAR KALSIUM DALAM DARAH
BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S52**

Oleh :

HAWIN MUALIF
NRP. 2405 030 036

Surabaya, Juli 2008
Mengetahui / Menyetujui
Pembimbing




Ir.Moch ILYAS HS
NIP. 130 805 282

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS**

**Ketua Program Studi
D-III Instrumentasi**



Dr. Bambang Lelono W, ST, MT
NIP. 132 137 895



Dr. rer.nat. Ir. Aulia M. T. N, MSc
NIP. 132 163 667

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR
KADAR KALSIMUM DALAM DARAH BERBASIS
MIKROKONTROLLER AT89S52**




TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D-3 Teknik Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HAWIN MUALIF
Nrp. 2405 030 036

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Moch Ilyas HS..........(Pembimbing I)
2. Ir. Tutug Dhanardono..........(Penguji I)
3. Lizda Johar Mawarani ST.MT..........(Penguji II)

Surabaya, Juli 2008

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR
KADAR KALSIMUM DALAM DARAH BERBASIS
MIKROKONTROLLER AT89s52**

Nama Mahasiswa : HAWIN MUALIF
NRP : 2405 030 036
Program Studi : D3 Teknik Instrumentasi - Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Moch. Ilyas HS.

Abstrak

Kalsium sangat dibutuhkan oleh tulang manusia, sekitar 99% kalsium terdapat di dalam jaringan keras yaitu pada tulang dan gigi serta 1% kalsium terdapat pada darah, dan jaringan lunak. Tanpa kalsium yang 1% ini, otot akan mengalami gangguan kontraksi, darah akan sulit membeku, transmisi saraf terganggu. Orang yang kekurangan kandungan kalsium dalam darah disebut Hypocalcemia (rendahnya kadar kalsium pada darah < 8,5 mg/dl). Hypocalcemia dapat menyebabkan perasaan kebas pada jari-jari, kram otot, nafsu makan menurun, merasa bingung. Oleh karena itu alat ukur kadar kalsium dalam darah ini saya buat. Sistem ini dirancang dengan menggunakan prinsip spektroskopi yaitu mengukur intensitas cahaya yang melewati sampel dan cahaya yang melewati sampel diterima oleh sensor OPT101 Monolithic Photodiode. Alat ini menggunakan sumber cahaya yang memancarkan cahaya warna merah dan memiliki panjang gelombang 610-680 nm. Sebagai pengolah data digunakan Mikrokontroler AT89S52 dan hasil pengukuran akan ditampilkan oleh LCD. Pada pengujian alat ukur kadar kalsium ini mempunyai tingkat akurasi sebesar 0.994 % dan presisi alat ini adalah 99.85 %

Kata kunci : kalsium, alat ukur, Mikrokontroler AT89s52

DESIGN AND MANUFACTURING THE MEASURING EQUIPMENT OF THE CALCIUM'S LEVEL IN THE BLOOD BASED MICROCONTROLLER AT89S52

Name : HAWIN MUALIF
Register Number : 2405 030 036
Program of study : Instrumentation Engineering Diploma
Department : Engineering physic FTI – ITS
Counselor lecturer : Ir. Moch. Ilyas HS.

Abstract

Calcium is absolutely needed by human's bones, approximately 99% of calcium can be found inside of hard tissue, bone, and 1% of calcium can be inside blood and fatty tissue. Without this 1% calcium, muscle will get a constriction disturbance, blood will be difficult to congeal, and nerve's transmission will be disturbed. People who has lack of calcium inside the blood is called Hypocalcemia (the lowness of the calcium's level in blood $< 8,5$ mg/dl). Hypocalcemia can cause paralysis feeling of the fingers, having cramps in the muscle, takingdown the natural appetite of eating, feeling confusing. Because of that, I decide to make the measuring equipment of calcium in the blood. The system is buit by using the principle of spectroscopy that measure the intensity of light that pass by the sample and it will be received by OPT 101 Monoholic Photodiode. This equipment use the source of the light that radiatte the red light that have wavelength about 610 – 680 nm. As the processor of the data, I use microcontroller AT89S52 and the result of the measuring will be appeared on LCD. This measuring equipment of calcium's level in 0,994 % and precision's level of this equipment is 99.85 %.

Keyword: calcium, measuring instrument, microcontroller AT89S52

KATA PENGANTAR



Segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. yang telah banyak melimpahkan rahmat, taufiq, hidayah, kemudahan, kesabaran dan kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

“ PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR KADAR KALSIMUM DALAM DARAH BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89s52 ”

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar ahli madya DIII Teknik Instrumentasi pada Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITS Surabaya.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta yang telah mendidik serta memberikan motivasi, pengorbanan material, waktu dan do'a restunya .
2. Dr. Bapak Bambang Lelono Waluyo, ST, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika
3. Bapak Dr. Ir. Aulia M. T. N, Msc, selaku Ketua Program Studi DIII Teknik Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITS
4. Bapak Ir. Moch. Ilyas HS selaku dosen pembimbing tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan,dukungan dan ilmu yang tiada ternilai harganya
5. Bapak Edigom Aritonang. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama menjalani masa perkuliahan

6. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ka.Lab Workshop Instrumentasi
7. Teman – teman F 39, 40, 41 serta F 42 yang telah memberikan semangat. serta dukungannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum sempurna, tetapi penulis berharap ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2008

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	iii
Abstrak.....	vii
Kata Pengantar.....	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tulang	5
2.2 Kalsium.....	8
2.3 Spektroskopi	10
2.3.1 Radiasi Elektronetik	12
2.3.2 Hukum Lambert-Beer	13
2.4 Pencatu Daya	14
2.5 Sumber Daya	18
2.6 Sensor OPT 101	19
2.7 LED (Light Emiting Diode).....	20
2.8 Signal Conditioning	21
2.9 Operational Amplifier.....	21
2.10 ADC(Analog Digital Converter)	25
2.11 Mikrokontroler AT98s52.....	27
2.12 Bahasa C/C++ AT89s52	31
2.13 LCD (Liquid Crytal Display).....	38

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Blok Diagram Perancangan Alat.....	43
3.1.1 Prinsip Kerja Sistem.....	44
3.2 Perancangan Hardware	44
3.2.1 Perancangan Catu Daya.....	45
3.2.2 Perancangan Sumber cahaya	46
3.2.3 Perancangan Sensor.....	46
3.2.4 Rangkaian Signal Conditioning (SC)	47
3.2.5 Perancangan ADC	48
3.2.6 Perancangan Rangkaian Mikrokontroller	50
3.2.7 Perancangan LCD.....	52
3.3 Perancangan Software.....	52
3.3.1 Software Bahasa C Mikrokontroller AT89s52	54

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

4.1 Pengujian Alat.....	53
4.1.1 Pengujian Power Supply	53
4.1.2 Pengujian Rangkaian Sensor	58
4.1.2 Pengujian Signal Conditioning (SC)	59
4.1.3 Pengujian ADC.....	59
4.1.4 Pengujian Mikrokontroller	60
4.2 Pengujian Alat.....	62
4.3 Analisa Data.....	53

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Osteoporosis.....	8
Gambar 2.2 Absorbansi dan Molar absorpsivitas (Koefisien molar ekstinsi).....	12
Gambar 2.3 <i>Transformator</i> Daya.....	16
Gambar 2.4 Penyearah Dioda Gelombang Penuh.....	16
Gambar 2.5 Kapasitor Filter	17
Gambar 2.6 IC Regulator 7805.....	17
Gambar 2.7 Power Supply 5 volt.....	18
Gambar 2.8 Spektral Responsivity	19
Gambar 2.9 Rangkaian OPT101 <i>Linear Photodiode</i>	20
Gambar 2.10 Simbol LED	20
Gambar 2.11 Rangkaian Pengkondisi Signal.....	21
Gambar 2.12 Lambang OP-Amp.....	22
Gambar 2.13 Inverting Amplifier	23
Gambar 2.14 Penguat non-inverting.....	24
Gambar 2.15 Deferential Amplifier.....	25
Gambar 2.16 Rangkaian ADC	26
Gambar 2.17 Konfigurasi pin IC AT89S52.....	30
Gambar 2.18 SDCC	38
Gambar 2.19 Konfigurasi LCD 2 X 16.....	39
Gambar 2.20 Diagram blok LCD.....	39
Gambar 2.21 Timing Diagram data write.....	40
Gambar 2.22 Timing Diagram data read	40
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem.....	41
Gambar 3.2 rangkaian Power Supply	46
Gambar 3.3 Rangkaian sumber cahaya.....	46
Gambar 3.4 Rangkaian OPT101 Monolithic Photodiode	47
Gambar 3.5 Rangkaian pengkondisi sinyal	48
Gambar 3.6 Rangkaian ADC 0804	49
Gambar 3.7 Gambar DIP dari AT89S52.....	50
Gambar 3.8 Rangkaian minimum system Mikrokontroller AT89S52.....	51

Gambar 3.9 Rangkaian Output Panel LCD 2x16.....	52
Gambar 3.10 Program Atmel MCU ISP software	53
Gambar 3.11 Compile program C dengan common prom... 54	54
Gambar 3.12 Program Atmel MCU ISP software	55
Gambar 3.13 Progra pengisian mikro AT89s52	55
Gambar 3.14 Flow Cart Program Alat Ukur Kalsium Dalam Darah	56

DAFTAR TABEL



		Hal
Tabel 2.1	Warna dan warna komplementer dalam spektrum cahaya tampak	13
Tabel 2.2	Tipe-tipe data dasar	33
Tabel 2.3	Operator Relasi	34
Tabel 2.4	Operator Logika	35
Tabel 2.5	Tabel fungsi pin LCD	41
Tabel 4.1	Data Pengukuran Rangkaian Supply +5 Volt	57
Tabel 4.2	Data Pengukuran Rangkaian Supply 9 Volt	58
Tabel 4.3	Data Pengujian Sensor	58
Tabel 4.4	Tabel Pengujian Signal Conditioning	59
Tabel 4.5	Tabel Pengujian ADC	60
Tabel 4.6	Pengujian Mikrokontroler AT89s52.	61
Tabel 4.7	Pengujian Alat ukur kadar kalsium	62
Tabel 4.8	Pembacaan Skala	63
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Koreksi Pengukuran Berulang	65
Tabel 4.10	Nilai Eror Data Pengujian Alat	67
Tabel 4.11	Nilai Presisi Pengujian Alat	68
Tabel 4.12	Nilai Akurasi Pengujian Alat	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan kemajuan jaman dan teknologi seperti ini,dalam bidang ilmu kedokteran salah satunya mengalami kemajuan teknologi. Di laboratoriumpun telah dikembangkan bermacam-macam alat pemeriksaan yang lebih canggih pula. Salah satu alat tersebut dapat membantu penegakan diagnosis, pemantauan perjalanan penyakit, serta pemantauan hasil terapi dengan lebih baik dan teliti.

Dalam dunia medis banyak sekali variable-variabel yang dihitung dan dijadikan ukuran kesehatan. Salah satu variabel yang biasa dihitung adalah kalsium. Kalsium sangat dibutuhkan oleh tubuh manusia terutama tulang. Biasanya setiap orang yang usianya sudah lanjut kebanyakan menyidap penyakit osteoporosis yaitu kekurangan kalsium yang menyebabkan tulang menjadi keropos.

Untuk itu dalam pengerjaan tugas akhir ini,kami ingin merancang dan membuat suatu alat yang digunakan untuk mengukur kadar kalsium dalam darah. Alat ini berbasis mikrokontroller yang nantinya berupa suatu prototipe alat pengukur kadar kalsium.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dihadapi didalam melakukan Tugas Akhir ini diantaranya adalah bagaimana cara menyesuaikan keluaran dari sensor untuk dikonversikan ke satuan mg/dL. Selain itu adalah konversi dari *hardware* yang ditampilkan pada LCD, dan membuat alat ukur kadar kalsium yang bersifat fleksibel, ekonomis, dan aman serta mampu diterima oleh masyarakat.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah merancang dan membuat suatu alat yang bisa secara otomatis melakukan perhitungan terhadap kadar kalsium dalam darah.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diantaranya adalah :

- Jenis sampel yang diukur Cuma kadar kalsiumnya adalah darah
- Pengukuran alat kadar kalsium ini mempunyai range yang telah ditentukan.
- Perancangan *Signal Conditioning (SC)* disesuaikan dengan skala maksimum dan minimum dari rangkaian ADC
- Tampilan pada display hanya berupa nilai terukur pada range maksimum dan minimum saja.
- Hanya menitik beratkan pada rangkaian elektroniknya saja.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Studi Literatur mengenai *hardware* (Sensor, ADC, Mikrokontroler).
- Perancangan sistem pengukuran kalsium baik *hardware* maupun *software* berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan.
- Mengaplikasikan perancangan *hardware* dan *software* ke rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89S52.
- Melakukan pengujian dan analisa sistem di atas baik *software* maupun *hardware*nya untuk mengetahui performansi alat, baik keakuratan maupun keoptimalan sekaligus dilakukan pengambilan data.

- Penyusunan laporan dan buku tugas akhir ini dibuat sebagai dokumentasi dari hasil tugas akhir secara lengkap dari perancangan alat ukur kadar kalsium dalam darah.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini akan disajikan dalam bab-bab seperti yang digambarkan dibawah ini :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang perumusan masalah, tujuan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TEORI PENUNJANG

Membahas tentang kadar kalsium dengan yang berdasarkan pada prinsip muatan yang terjadi akibat adanya tegangan pada konduktor yang dipisahkan oleh suatu insulator (udara, hampa udara atau suatu material tertentu), sensor yang digunakan, teori dasar dari pemroses data, serta tampilan dari tugas akhir ini.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas tentang perancangan sistem secara keseluruhan dimulai dari perancangan *hardware*, perancangan *software* dari alat ukur ini.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Berisi tentang data dari pengujian terhadap sistem yang telah dirancang baik perbagian maupun keseluruhan serta membahas hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP

Merupakan penutup yang terdiri dari kesimpulan dari pembahasan terdahulu beserta saran-saran yang berguna bagi pengembangan tugas akhir ini.



BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Tulang

Tulang normal terdiri dari lapisan tulang padat yang mengelilingi lempengan dan serabut tulang (tulang berongga) yang diselengi sumsum tulang. Ketebalan lapisan luar yang padat ini berbeda-beda pada setiap bagian rangka, sebagai contoh tulang tengkorak dan tulang anggota tubuh jauh lebih besar dibandingkan tulang belakang. Kekuatan rangka terutama dihasilkan oleh tulang padat ini, namun tulang berongga juga ikut berperan penting.

Penyusun utama tulang sesungguhnya adalah mineral tulang yang mengandung kalsium (Ca) & fosfor (P), dan protein yang disebut kolagen. Struktur tulang mirip beton untuk bangunan atau jembatan. Komponen kalsium dan fosfor membuat tulang keras dan kaku mirip semen, sedang serat-serat kolagen membuat tulang mirip kawat baja pada tembok.

Tulang adalah jaringan hidup yang harus terus diperbaharui untuk menjaga kekuatannya. Tulang yang tua selalu rusak dan digantikan oleh tulang yang baru dan kuat. Bila proses ini, yang terjadi di permukaan tulang (peremajaan tulang) tidak terjadi, rangka kita akan rusak karena keletihan ketika kita masih muda. Ada 2 jenis sel utama dalam tulang, yakni osteoklast (yang merusak tulang) dan osteoblast (yang membentuk tulang baru). Kedua sel ini dibentuk dalam sumsum tulang.

2.2 Kalsium

Kalsium merupakan mineral yang paling banyak terdapat didalam tubuh manusia. Kira-kira 99% kalsium terdapat di dalam jaringan keras yaitu pada tulang dan gigi. 1% kalsium terdapat pada darah, dan jaringan lunak. Tanpa kalsium yang 1% ini, otot akan mengalami gangguan

kontraksi, darah akan sulit membeku, transmisi saraf terganggu, dan sebagainya.

Untuk memenuhi 1% kebutuhan ini, tubuh mengambilnya dari makanan yang dimakan atau dari tulang. Apabila makanan yang dimakan tidak dapat memenuhi kebutuhan, maka tubuh akan mengambilnya dari tulang. Sehingga tulang dapat dikatakan sebagai cadangan kalsium tubuh. Jika hal ini terjadi dalam waktu yang lama, maka tulang akan mengalami pengeroposan tulang.

➤ **Penyerapan dan pembuangan**

Kemampuan absorpsi (penyerapan) kalsium lebih tinggi pada masa pertumbuhan dan menurun pada proses menua. Absorpsi pada laki-laki lebih tinggi daripada perempuan pada semua golongan usia. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi absorpsi kalsium, di antaranya kelarutan kalsium dalam air dan jenis makanan yang dimakan bersama dengan kalsium. Makanan tertentu menyebabkan pengendapan kalsium sehingga kalsium menjadi sulit diabsorpsi. Kalsium yang tidak diabsorpsi akan dikeluarkan dari tubuh. Pengeluaran ini melalui lapisan kulit, kuku, rambut, keringat, urine dan feses.

➤ **Faktor-faktor yang meningkatkan absorpsi kalsium**

Beberapa faktor yang dapat meningkatkan absorpsi kalsium adalah:

- Tingkat kebutuhan tubuh terhadap kalsium. Peningkatan kebutuhan terjadi pada pertumbuhan, masa kehamilan, menyusui, defisiensi kalsium.

- **Vitamin D.**

Vitamin D merangsang absorpsi kalsium melalui langkah-langkah kompleks. Vitamin D meningkatkan absorpsi pada mukosa usus dengan cara merangsang produksi protein-pengikat kalsium

- **Asam klorida.**

Asam Klorida yang dikeluarkan oleh lambung membantu absorpsi kalsium dengan cara menurunkan pH di bagian atas usus halus.

- Makanan yang mengandung lemak. Lemak meningkatkan waktu transit makanan melalui saluran cerna, dengan demikian memberikan waktu lebih banyak untuk absorpsi kalsium.

➤ **Faktor-faktor yang menghambat absorpsi kalsium**

- Kekurangan vitamin D bentuk aktif
- Makanan yang mengandung asam oksalat seperti bayam dan sayuran lain
- Makanan tinggi serat karena mempercepat waktu transit makanan di dalam saluran cerna.

➤ **Pengendalian kalsium dalam darah**

Yang mengatur kadar kalsium dalam darah adalah hormon Paratiroid, tirokalsitonin dari kelenjar tiroid dan vitamin D. Hormon paratiroid dan vitamin D meningkatkan kalsium darah dengan cara sebagai berikut :

- Vitamin D merangsang absorpsi kalsium oleh saluran cerna
- Vitamin D dan hormon paratiroid merangsang pelepasan kalsium dari tulang ke dalam darah.
- Vitamin D dan hormon paratiroid menunjang reabsorpsi kalsium di dalam ginjal

➤ **Fungsi kalsium**

- Membentuk serta mempertahankan tulang dan gigi yang sehat.
- Mencegah osteoporosis.
- Membantu proses pembekuan darah dan penyembuhan luka.
- Menghantarkan signal ke dalam sel-sel saraf.
- Mengatur kontraksi otot.

- Membantu transport ion melalui membran.
- Sebagai komponen penting dalam produksi hormon dan enzim yang mengatur proses pencernaan, energi dan metabolisme lemak.

➤ Kalsium dan kesehatan tulang

Tulang akan bertumbuh maksimum hingga umur 30 tahun. Oleh karena itu, konsumsi kalsium yang cukup dan tepat akan memperkuat pertumbuhan tulang. Dengan maksimumnya pertumbuhan tulang, akan mencegah osteoporosis pada usia lanjut. Latihan atau olah raga yang menyebabkan otot dan tulang melawan gaya gravitasi saat menahan berat badan, seperti lari, aerobik dapat membantu memperkuat tulang. Olah raga beban juga penting karena dapat memperbesar massa otot dan kekuatan tulang.



Gambar 2.1 Osteoporosis

➤ Kalsium dan tekanan darah tinggi

Beberapa observasi dan eksperimen menunjukkan vegetarian dengan mineral, kalsium, magnesium dan potasium yang tinggi dapat mengurangi tekanan darah.

Pada uji coba klinis, ditemukan bahwa dengan menambah kadar kalsium, dapat mengurangi tekanan darah dan resiko tekanan darah tinggi (hypertensi). Namun masih ditemukan adanya inkonsistensi kecil pada beberapa

percobaan. Dikarenakan percobaan ini untuk menguji 1 jenis nutrisi dari pada pengaruh makanan terhadap tekanan darah.

➤ **Kalsium dan kanker**

Hasil percobaan masih belum menunjukkan hasil yang pasti. Pernah dilakukan uji coba terhadap 135.000 pria dan wanita. Mereka diberikan 700-800 mg kalsium perhari. Ditemukan bahwa 40-50% lebih rendah mengalami resiko kanker usus. Walaupun beberapa studi menunjukkan kalsium bersifat mencegah kanker, studi lebih lanjut masih di perlukan untuk mengkonfirmasi.

➤ **Tanda-tanda kekurangan kalsium**

Hypocalcemia (rendahnya kadar kalsium pada darah). Biasanya terjadi bukan disebabkan kekurangan asupan kalsium, akan tetapi disebabkan oleh medikal treatment, seperti pembedahan pada perut, penggunaan diuretics (menyebabkan peningkatan pembuangan kalsium melalui urine). Hypocalcemia dapat menyebabkan perasaan kebas pada jari-jari, kram otot, nafsu makan menurun, merasa bingung, konstipasi. Perlu diperhatikan efek-efek diatas mungkin dapat disebabkan hal-hal yang lain, untuk kepastian hubungi profesional untuk mengetahui kepastian Hypocalcemia. Hypocalcemia (kadar Kalsium darah $<8,5$ mg/dL) kadang terjadi pada pasien nefropati diabetik, penyebabnya adalah asupan kalsium yang tidak adekuat, penyerapan di usus yang tidak baik serta hiperfosfatemia. Oleh karena itu biasanya pemberian suplemen kalsium diberikan dokter dalam bentuk tablet. Asupan kalsium yang dianjurkan adalah 1200 mg/hari. Suplemen kalsium yang biasa diberikan salah satunya adalah kalsium karbonat, karena selain untuk suplemen juga sebagai fosfat binder (pengikat fosfat). Kadar kalsium darah yang diharapkan berkisar **8.5-11 mg/dL.**

➤ **Siapa yang memerlukan ekstra kalsium?**

• **Wanita post-menopause**

Wanita yang mengalami Amenorrheic, yaitu kondisi dimana periode mensturasi berhenti atau gagal pada wanita usia hamil. Sering terjadi pada atlit wanita, penyebab potensial adalah, berat badan yang kurang, persentasi lemak yang rendah, kebiasaan makan yang tidak tetap dan stress.

Individu yang tidak dapat mencerna laktosa. Laktosa, zat gula pada susu. Orang yang tidak dapat mencerna laktosa biasanya akan mengalami diare setelah mengkonsumsi susu. Orang tipe ini cukup berisiko kekurangan kalsium dikarenakan tidak dapat mengkonsumsi produk diary. Karena itu harus di penuhi dengan sumber-sumber non-diary yang mengandung kalsium tinggi.

• **Vegetarian**

Penyerapan kalsium pada kaum vegetarian lebih rendah dikarenakan konsumsi tumbuhan yang mengandung oxalic dan phytic acids, yang mempengaruhi penyerapan kalsium. Namun vegetarian yang mengkonsumsi rendah protein dapat mencegah pembuangan kalsium dari tubuh. Karena itu, untuk kaum vegetarian disarankan menggunakan suplemen untuk asupan kalsium. Beberapa studi, menunjukkan vegetarian dapat menyebabkan efek buruk pada kesehatan tulang.

2.3 Spektroskopi

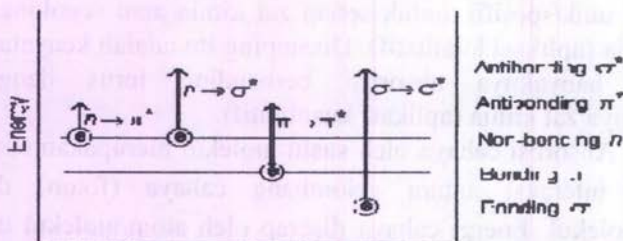
Prinsip spektroskopi didasarkan adanya interaksi dari enersi radiasi elektromagnetik dengan zat kimia. Dengan mengetahui interaksi yang terjadi, dikembangkan teknik-teknik analisis kimia yang memanfaatkan sifat-sifat dari interaksi tersebut. Hasil interaksi tersebut bisa menimbulkan satu atau lebih peristiwa seperti: pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi, penyerapan (*absorpsi*). Fluorosensi dan ionisasi. Dalam analisis kimia, peristiwa absorpsi tersebut

bersifat unik/spesifik untuk setiap zat kimia atau golongan zat kimia (aplikasi kualitatif). Disamping itu adalah kenyataan bahwa banyaknya absorpsi berbanding lurus dengan banyaknya zat kimia (aplikasi kuantitatif).

Absorpsi cahaya oleh suatu molekul merupakan suatu bentuk interaksi antara gelombang cahaya (foton) dan atom/molekul. Energi cahaya diserap oleh atom/molekul dan digunakan oleh elektron di dalam atom/molekul tersebut untuk bertransisi ke tingkat *energi elektronik* yang lebih tinggi. Absorpsi hanya terjadi jika selisih kedua tingkat energi elektronik tersebut ($\Delta E = E_2 - E_1$) bersesuaian dengan energi cahaya (foton) yang datang, yakni

$$\Delta E = E_{\text{foton}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk molekul organik, dalam banyak hal, absorpsi cahaya UV/Vis (ultraviolet/visible) terjadi pada group fungsional (kromofor) yang mengandung elektron-elektron valensi. Proses absorpsi cahaya berkaitan dengan promosi elektron dari satu orbital molekul dengan tingkat energi elektronik tertentu ke orbital molekul lain dengan tingkat energi elektronik yang lebih tinggi. Transisi elektronik tersebut biasanya adalah $\sigma \rightarrow \sigma^*$ atau $n \rightarrow \sigma^*$ (bersesuaian dengan energi cahaya UV), dan $\pi \rightarrow \pi^*$ atau $n \rightarrow \pi^*$ (bersesuaian dengan energi cahaya Vis), seperti ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 2.2. Absorbansi dan Molar absorpsivitas (Koefisien molar ekstinsi)

2.3.1 Radiasi elektromagnetik

Radiasi elektromagnetik meliputi banyak panjang gelombang, mulai dari radiasi yang mempunyai frekuensi yang sangat rendah sampai yang sangat sangat tinggi dan disebut spektrum elektromagnetik. Spektrum tersebut biasa dibagi dalam daerah-daerah lebih kecil.

Radiasi yang dapat dilihat oleh manusia disebut cahaya tampak/terlihat yang meliputi daerah panjang gelombang dari 400 – 700 nm, dan merupakan campuran dari warna-warna seperti yang terlihat pada pelangi. Apabila suatu larutan mendapat irradiasi sinar polikhromatik yaitu sinar yang terdiri dari beberapa macam warna, maka ada suatu sinar dengan panjang gelombang tertentu yang diserap, sedang yang lainnya diteruskan melalui larutan tersebut. Sinar yang mempunyai warna sama dengan larutan tidak diserap oleh larutan tersebut, tapi akan diteruskan. Warna yang diteruskan yang sebenarnya merupakan warna dari larutan tersebut merupakan warna komplementer dari warna yang tidak diteruskan atau warna yang diserap. Beberapa warna dan warna komplementer dalam spektrum cahaya tampak tercantum dalam tabel 2.1

Tabel 2.1 Warna dan warna komplementer dalam spektrum cahaya tampak

Panjang Gelombang (nm)	Warna	Warna Komplementer
400 - 435	Violet (ungu)	Hijau Kekuningan
435 - 480	Biru	Kuning
480 - 490	Biru Kehijauan	Jingga
490 - 600	Biru Kebiruan	Merah
500 - 560	Hijau	Ungu Kemerahan
560 - 595	Hijau Kekuningan	Ungu
595 - 610	Jingga	Biru Kehijauan
610 - 680	Merah	Hijau Kebiruan
680 - 700	Ungu kemerahan	Hijau

Spektrum cahaya yang dibutuhkan untuk pengukuran kalsium pada darah yaitu menggunakan spektrum warna merah yang mempunyai panjang gelombang 610 – 680 nm dan mempunyai warna komplementer hijau kebiruan.

2.3.2 Hukum Lambert-Beer

Hubungan antara panjang gelombang medium yang dilewati cahaya dan daya radiasi pertama kali dirumuskan oleh Lambert. Hukum ini menyatakan bahwa seberkas cahaya monokromatis melalui sebuah medium yang dapat menyerap cahaya untuk daya radiasi cahaya tersebut akan berkurang secara eksponensial dengan bertambah panjangnya medium tersebut. Sedangkan hubungan konsentrasi medium penyerap dengan daya radiasi seberkas cahaya dikemukakan oleh Beer.

Hukum ini menyatakan bahwa daya radiasi seberkas cahaya monokromator yang melewati sebuah medium penyerap akan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi larutan tersebut. Gabungan kedua rumusan ini dikenal dengan hukum Lambert-Beer.

Apabila seberkas cahaya monokromatik dengan daya radiasi (P_0) dijatuhkan pada kuvet yang berisi larutan dengan konsentrasi (c) maka setelah berkas tersebut melewati jarak (b), daya radiasi cahaya akan turun sampai (P). Daya radiasi cahaya setelah melewati larutan akan berkurang karena sebagian cahaya diserap oleh larutan pada panjang gelombang tertentu.

Hukum Lambert ini tentunya hanya berlaku jika di dalam bahan/medium tersebut tidak ada reaksi kimia ataupun proses fisis yang dapat dipicu atau diimbis oleh berkas cahaya datang tersebut. Dalam hal demikian, intensitas cahaya yang keluar setelah melewati bahan/medium tersebut dapat dituliskan dalam bentuk sederhana sbb.:

$$I = T \times I_0 \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan I adalah intensitas berkas cahaya keluar, I_0 adalah intensitas berkas cahaya masuk/datang, dan T adalah transmitansi.

Transmitansi adalah perbandingan antara daya radiasi cahaya setelah melewati larutan terhadap daya radiasi sebelum melewati larutan. Semakin tinggi konsentrasi larutan semakin banyak pula cahaya yang akan diserap larutan dan semakin sedikit cahaya yang akan diteruskan larutan sehingga transmitansinya semakin kecil.

2.4 Pencatu Daya

Sumber daya merupakan sebagian besar dari piranti elektronika yang membutuhkan tegangan searah (*Direct Current* atau DC). Tegangan jaringan lain berupa tegangan bolak – balik (*Alternate Current* atau AC), supaya dapat mencatu piranti elektronik yang membutuhkan tegangan DC, maka diperlukan sebuah rangkaian yang bisa merubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah yang dinamakan rangkaian penyearah yang tidak mengurangi tegangan DC nya ketika arus beban yang lebih besar dialirkan dari pencatu daya ini.

➤ Transformator

Pada dasarnya transformator tersebut terdiri dari dua kumparan, yang saling tersekat secara elektrik dan terlilit diatas sebuah bahan inti biasa yang membentuk suatu sirkuit magnetis tertutup, sehingga kedua kumparan tadi terhubung secara berbalasan.

Kalau transformator digunakan pada frekuensi daya dan sampai pada batas frekuensi audio, inti magnetisnya harus dibuat dari laminasi bahan berpermeabilitas tinggi. Jika digunakan pada frekuensi radio, arus putar akan menyebabkan kehilangan yang berlebihan, sehingga dipakai inti ferit atau inti serbuk.

Kumparan primer dihubungkan ke sebuah sumber AC dan kumparan sekunder dilengkapi dengan terminal yang menghasilkan tegangan bolak-balik.

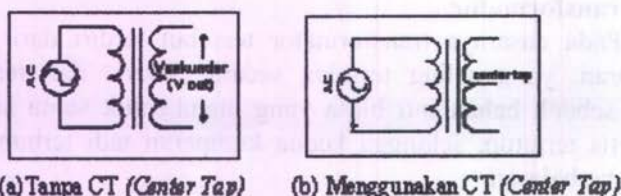
Transformator digunakan untuk :

- Mengubah tinggi tegangan bolak-balik, yaitu menaikkan atau menurunkannya.
- Menyesuaikan impedansi.
- Menggabungkan.
- Menyekat sikrir.

Perbandingan transformasi,

$$n = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad \dots(2.4)$$

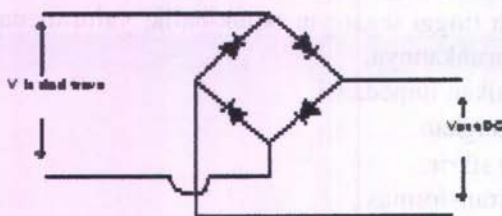
Transformator daya ini digunakan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik 110 / 220 volt pada kumparan primernya menjadi tegangan AC yang lebih rendah pada kumparan sekundernya. Gambar 2.7 menunjukkan simbol transformator daya.



Gambar 2.3 Transformator Daya

➤ **Diode penyearah**

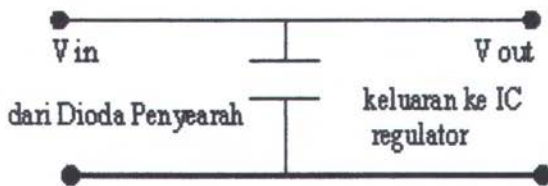
Pada rangkaian pencatu daya, diode ini berfungsi sebagai penyearah tegangan bolak – balik (V_{AC}) menjadi tegangan searah (V_{DC}). Konfigurasi dari pemakaian diode penyearah ini ada dua macam yaitu penyearah diode setengah gelombang dan penyearah diode gelombang penuh.



Gambar 2.4 Penyearah Dioda Gelombang Penuh

➤ **Kapasitor filter**

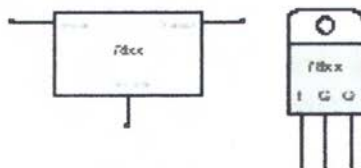
Tegangan keluaran dari diode penyearah gelombang penuh masih dalam kondisi berdenyut (belum rata) sehingga dibutuhkan sebuah kapasitor filter yang ditempatkan pada terminal keluaran tegangan searah dari diode penyearah. Kapasitor ini berfungsi untuk meratakan denyutan-denyutan (*ripple*) tersebut dan memberikan suatu tegangan searah yang hampir murni.



Gambar 2.5 Kapasitor Filter

➤ Regulator

Pemakaian regulator pada pencatu daya berfungsi sebagai stabilitas tegangan. Komponen aktif ini mampu meregulasi tegangan menjadi stabil. Komponen ini sudah dikemas dalam sebuah IC regulator tegangan tetap yang biasanya sudah dilengkapi dengan pembatas arus (*current limiter*) dan juga pembatas suhu (*thermal shutdown*). Jenis IC regulator tegangan tetap yang sering dipakai adalah jenis 78xx atau 79xx. IC regulator 78xx menghasilkan output tegangan dengan polaritas positif sedangkan 79xx menghasilkan output tegangan dengan polaritas negatif. Pemakaian dari kedua tipe regulator ini tergantung dari kebutuhan yang ada, dimana apabila kita butuh supply dengan polaritas positif dan negatif maka kedua regulator tersebut kedua-duanya kita pakai. Misalkan power supply untuk Op-Amp 741, dimana disitu biasanya dipakai supply sebesar 12 atau 15 volt. Konstruksi dari regulator ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.6 IC Regulator 78xx

Hanya saja perlu diketahui supaya rangkaian regulator dengan IC tersebut bisa bekerja, tegangan input harus lebih

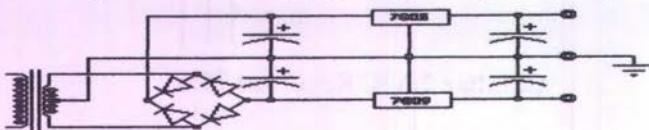
besar dari tegangan output regulatornya. Biasanya perbedaan tegangan V_{in} terhadap V_{out} yang direkomendasikan ada di dalam *datasheet* komponen tersebut. Pemakaian aluminium pendingin (*heatsink*) dianjurkan jika komponen ini dipakai untuk mencatu arus yang besar.

2.5 Sumber Daya

Sebagai sumber daya sebagian besar piranti elektronika membutuhkan tegangan searah (*Direct Current/DC*). Penggunaan baterai sebagai sumber daya DC kurang efektif, hal ini disebabkan daya yang dimiliki oleh baterai hanya mampu digunakan dalam beberapa waktu saja (tidak tahan lama) dan harganya relatif mahal. Satu-satunya sumber daya yang mudah didapat dan paling murah adalah tegangan listrik dari jaringan PLN sebesar 110 / 220 volt dengan frekuensi 50 – 60 Hz. Tegangan jaringan ini berupa tegangan bolak – balik (*Alternate Current/AC*), oleh karena supaya dapat *mensupply* piranti elektronik yang membutuhkan tegangan DC, maka diperlukan sebuah rangkaian yang bisa merubah tegangan bolak – balik menjadi tegangan searah yang dinamakan rangkaian penyearah yang tidak berkurang tegangan DC – nya ketika arus beban yang lebih besar dialirkan dari *pensupply* ini. Beberapa komponen penunjang dari rangkaian *pensupply* daya meliputi :

- Transformator daya
- Diode penyearah
- Kapasitor filter
- Regulator

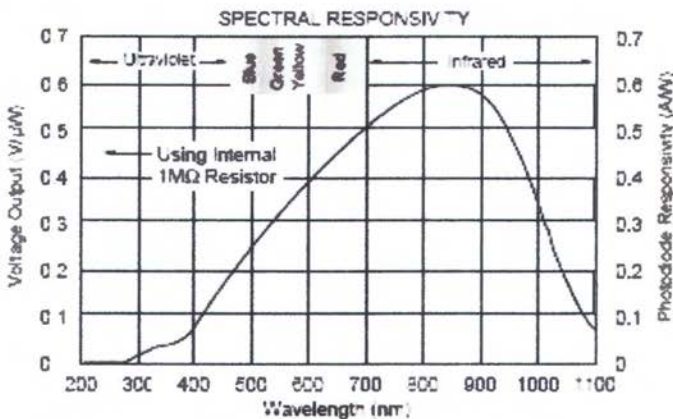
Untuk rangkaian Power Supply dengan output 5 volt yaitu :



Gambar 2.7 Power supply 5 volt.

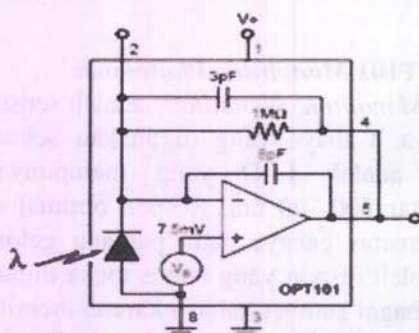
2.6 Sensor OPT101 *Monolithic Photodiode*

OPT101 *Monolithic Photodiode* adalah sensor penerima intensitas cahaya. Cahaya yang digunakan sebagai sumber salah satunya adalah LED yang mempunyai panjang gelombang sekitar 500-700 nm. Respon optimal detektor ini mendeteksi intensitas cahaya pada panjang gelombang 680 nm. Agar diperoleh respon yang bagus maka digunakan LED warna merah sebagai sumber cahaya karena memiliki panjang gelombang antara 610-680 nm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.8 *Spectral Responsivity (OPT101 Data Sheet)*

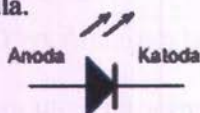
Prinsip kerja sensor ini yaitu mendeteksi cahaya yang diserap oleh larutan sampel yang disinari oleh sumber cahaya. Keluaran dari sensor ini berupa tegangan yang akan bertambah secara linier seiring dengan bertambahnya intensitas cahaya. Sensor ini membutuhkan sumber tegangan 2,7-36 V. Rangkaianannya ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.9 Rangkaian OPT101 *Linear Photodiode*

2.7 LED (*Light Emitting Diode*)

LED adalah singkatan dari *Light Emitting Diode*, merupakan komponen yang dapat mengeluarkan emisi cahaya. LED merupakan produk temuan lain setelah dioda. Strukturnya juga sama dengan dioda, tetapi belakangan ditemukan bahwa elektron yang menerjang sambungan P-N juga melepaskan energi berupa energi panas dan energi cahaya. LED dibuat agar lebih efisien jika mengeluarkan cahaya. Untuk mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, doping yang pakai adalah galium, arsenic dan fosforus. Jenis doping yang berbeda menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula.



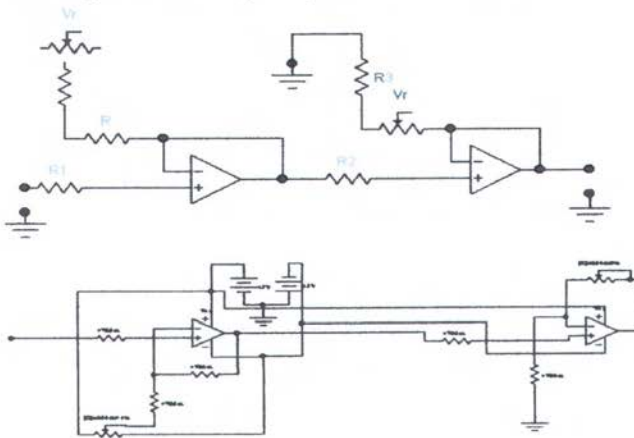
Gambar 2.10 Simbol LED

Pada saat ini warna-warna cahaya LED yang banyak ada adalah warna merah, kuning dan hijau. LED berwarna biru sangat langka. Pada dasarnya semua warna bisa dihasilkan, namun akan menjadi sangat mahal dan tidak efisien. Dalam memilih LED selain warna, perlu diperhatikan tegangan kerja, arus maksimum dan disipasi daya-nya. Rumah (*chasing*) LED

dan bentuknya juga bermacam-macam, ada yang persegi empat, bulat dan lonjong.

2.8 *Signal Conditioning*

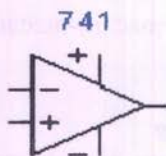
Ada berbagai macam *signal conditioning*, yang tentu saja mempunyai fungsi untuk mengkondisikan sinyal output yang keluar dari suatu device misalnya sensor. Untuk kemudian digunakan sebagai inputan device lain.



Gambar 2.11 Rangkaian pengkondisi sinyal

2.9 *Operational Amplifier*

Op-Amp adalah rangkaian yang mampu mendeteksi serta memperkuat sinyal baik DC maupun AC dengan penguatan mendekati ideal. Rangkaian ini dibangun atas elemen-elemen transistor, resistor, dan kapasitor. Penguat operasional banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena keunggulannya seperti penguatan yang tinggi, impedansi keluaran yang tinggi, impedansi keluaran yang rendah, dsb. Beberapa penggunaan dari penguat operasional ialah di bidang-bidang pengendalian proses, komunikasi, komputer, sumber daya, peragaan sistem pengukuran dan pengujian.



Gambar 2.12 Lambang *Op-Amp*

Penguat operasional memiliki 5 terminal dasar, yaitu 2 untuk mensuplai daya, 2 untuk masukan dan satu untuk keluaran. Bagian dalamnya rumit, agar dapat menggunakannya secara maksimal tidaklah perlu mengetahui cara kerja system pada bagian dalam. Penguat operasional sudah dirancang sedemikian rupa sehingga komponen – komponen luar saja yang mempengaruhi dan menentukan apa yang akan dikerjakan.

Penguat operasional memiliki beberapa ketentuan ideal. Ketentuan – ketentuan ini tidak terdapat dalam praktek, namun asumsi mengenai hal tersebut memungkinkan orang untuk melakukan analisa – analiasa dengan cepat. Mengenai rangkaian umpan balik pada penguat operasional. Ketentuan – ketentuan ideal penguat operasional ini, antara lain :

- Penguatan *open loop* besar sekali ($A_v \gg \gg$)
- $V_0 = 0$ jika $V_1 = V_2$
- Impedansi input tinggi ($Z_i \gg \gg$)
- Impedansi output rendah ($Z_0 \ll \ll$)
- Tidak ada tegangan *offset*

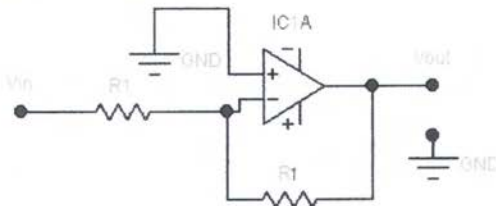
Apabila digunakan sebagai umpan balik, maka karakteristik penguat sebagian besar ditentukan oleh jaringan umpan baliknya. Keluaran transduser atau sensor sangat kecil, sehingga perlu dikuatkan lagi sampai mencapai jangkauan tegangan ADC skala penuh dengan menggunakan rangkaian pengkondisian sinyal. Penguat operasional merupakan komponen utama dari rangkaian pengkondisian sinyal.

Penerapan rangkaian pengkondisian sinyal antara lain sebagai *detector* penyilang-nol (dengan atau tanpa *hysteresis*), penguat pembalik, penguat tak membalik, penjumlah, pengikut tegangan, penguat differensial, penguat instrumentasi dan *filter* aktif.

➤ ***Inverting amplifier***

Rangkaian *inverting amplifier* ini ditunjukkan pada gambar di bawah. *Input non inverting* digroundkan, dengan *input inverting* sebagai masukan. Dengan mengasumsikan, *op amp* mempunyai *open loop gain* yang tidak berhingga,

maka perbedaan tegangan antara *input inverting* dan *non inverting* sama dengan nol.



Gambar 2.13 *Inverting amplifier*

Pada kondisi ini *input inverting* sebagai *virtual ground*. Arus yang mengalir pada R_1 adalah V_i/R_1 dan arus pada R_f adalah V_o/R_f . Penguatan tegangan pada *inverting amplifier* sama dengan harga resistor *feedback* dibagi dengan harga resistor *input*. Tanda *minus* menunjukkan adanya perbedaan fasa antara *input* dan *output*.

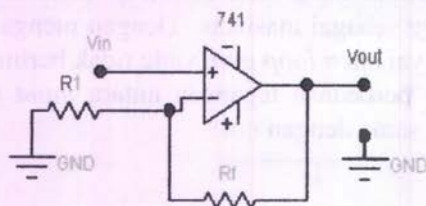
$$-\frac{V_{in}}{R_{ri}} = \frac{V_{out}}{R_f} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$V_{out} = -V_{in} \frac{R_f}{R_i} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i} \dots\dots\dots(2.7)$$

➤ **Non inverting.**

Dalam kenyataannya, seringkali dibutuhkan penguat yang memberikan keluaran sama besar dan sefasa dengan masukannya serta memenuhi hubungan R_f tertentu dengan R_i . Rangkaian *non-inverting amplifier* ditunjukkan seperti gambar 2.21.



Gambar 2.14 Non-inverting amplifier

Dengan asumsi tegangan antara tegangan terminal *inverting* (-) dan *non-inverting* (+) adalah 0 volt, berarti tegangan di titik A sama dengan V_i . Arus yang mengalir pada R_i sama dengan arus yang mengalir pada R_f , yaitu :

$$I = \frac{V_i}{R_i} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$V_{R_i} + V_{R_f} = V_o \dots\dots\dots(2.9)$$

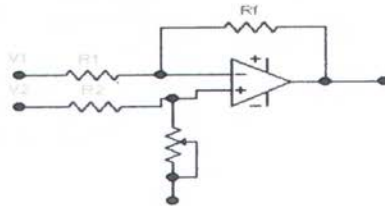
$$\left(R_i \times \frac{V_i}{R_o} \right) + \left(R_f \times \frac{V_i}{R_i} \right) = V_o \dots\dots\dots(2.10)$$

$$V_i + V_i \left(\frac{R_f}{R_i} \right) = V_o \dots\dots\dots(2.11)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} (1 + R_f) \dots \dots \dots (2.12)$$

➤ **Differential amplifier**

Pada dasarnya resistor pada *input inverting* menjaga agar input tersebut berada pada nilai tegangan yang mendekati pada common mode tegangan DC.



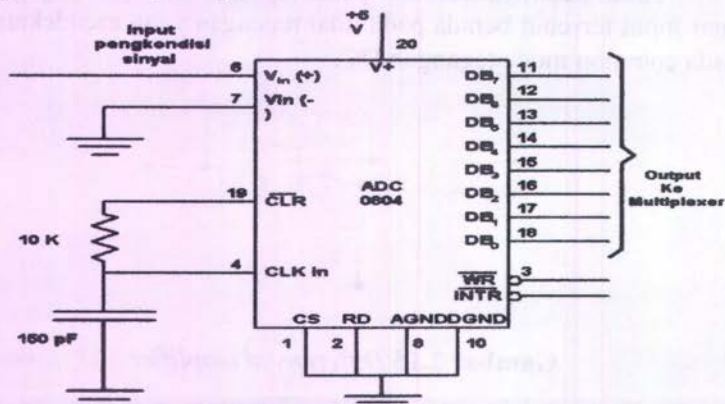
Gambar 2.15 *Differential amplifier*

Penguat ini pada *inverting* inputnya menahan agar tegangan bernilai sama dengan tegangan referensi. Jika tegangan pada resistor mendekati harga tegangan referensi, yang akan diperkuat hanyalah jika terjadi perbedaan tegangan antar tegangan input V1 dan tegangan input V2. Pada aplikasi di lapangan rangkaian ini sering dipakai untuk rangkaian *zero-span*, dimana inputan dari sensor akan masuk melalui R1 sebagai V1 sedangkan untuk input negatifnya dipakai tegangan referensi sebesar 12 volt

2.10 ADC (*Analog Digital Converter*)

Pengubah analog ke digital atau ADC (*Analog to Digital Converter*), adalah alat yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog ke digital, yaitu kondisi sinyal 0 – 5 volt diubah kedalam bilangan biner. Prinsip kerja rangkaianya adalah jika sinyal masukan mulai mengkonversi dari unit kendali diberi logika 0, maka register SAR (*Succesive Approximation Register*) akan mereset sehingga keluaran V_{out}

unit DAC (*Digital to Analog*) menjadi 0. Proses konversi diawali dengan pengesetan bit paling besar berarti (MSB) register SAR oleh unit kendali. Selanjutnya data digital dalam register SAR dikonversikan ke analog oleh unit pembanding seperti terlihat pada gambar dibawah



Gambar 2.16 Rangkaian ADC 0804

Bila $V_{out} > V_{in}$, maka unit pembanding akan mengirim sinyal negatif ke unit kendali. Dengan sinyal negatif ini, unit kendali akan mereset bit paling kecil berarti (LSB) register SAR. Sebaliknya bila $V_{out} < V_{in}$, unit pembanding akan mengirim sinyal positif ke unit kendali. Dengan sinyal positif ini, unit kendali akan tetap mengeset bit paling besar berarti (MSB). Pada pulsa clock berikutnya unit kendali akan mengeset bit yang lebih rendah yaitu bit ke 7 register SAR. Kemudian data dikonversikan oleh unit ADC, dan hasil konversi V_{out} dibandingkan dengan sinyal masukan V_{in} . Sinyal hasil perbandingan akan menentukan unit kendali untuk mengeset atau mereset register SAR. Demikian seterusnya proses ini berlangsung sampai nilai V_{in} sama dengan V_{out} .

Apabila konversi telah selesai, unit kendali mengirim sinyal selesai konversi yang berlogika rendah. Tetapi penurunan sinyal ini akan mengisikikan data digital yang ekuivalen dengan nilai V_{in} , ke dalam register penahan.

2.11 Mikrokontroller AT89s52

Mikrokontroller merupakan suatu rangkaian terintegrasi (IC) yang diperlukan oleh suatu pengendali yang sudah dikemas dalam satu keping yang didalamnya terdiri dari pusat pemroses (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM atau EPROM atau PROM, unit input/output, antarmuka serial dan parallel, timer dan counter, serta interrupt controller.

Fasilitas port paralel yang dimiliki dapat dipergunakan untuk mengendalikan peralatan luar atau memasukkan data yang diperlukan. Port serial dapat dipergunakan untuk mengakses sistem komunikasi data dengan peralatan luar. Timer/Counter yang ada dapat dipergunakan untuk mencacah pulsa, menghitung lama pulsa atau sebagai pewaktu umum. Sedangkan sistem interrupt membuat AT89s52 dapat dipakai pada aplikasi-aplikasi yang mendekati sistem dengan proses real time. Rangkaian internal clock yang dimiliki AT89s52 menjadikan cukup hanya menambah sebuah osilator kristal dan dua kapasitor untuk menghasilkan clock bagi seluruh sistem rangkaian.

Sistem mikrokontroler standart dewasa ini adalah mikrokontroler 8 bit. Mikrokontroler AT89s52 merupakan sebuah IC mikrokomputer 8 bit dengan 4 Kb Flash memori (PEROM) yang mudah dan dapat dihapus maupun diisi sebuah program.

Beberapa memori pada Mikrokontroller AT89s52 antara lain:

- Program Memori

Program Memori adalah memori yang menyimpan program aktual dari 89s52 yang akan dijalankan. Memori ini

terbatas pada 128K tergantung pada jenis dan tipenya. Di dalam AT89s52 sudah terdapat Program Memori internal sebesar 4K, namun dapat diekspansikan dengan menggunakan EPROM hingga 64K. Umumnya orang menggunakan memori eksternal EPROM 2764 yang memiliki spasi 8K. Memori program berisi vektor interupsi dan kode-kode perogram yang ingin dijalankan oleh mikrokontroller.

- *RAM Internal*

Mikrokontroler 89S52 yang merupakan keluarga Intel 8031, memiliki 64 byte *RAM Internal*. *RAM Internal* ini terdapat dalam keping 89s52, karenanya memori ini adalah memori tercepat yang ada dalam sistem, dan juga tempat yang paling fleksibel untuk membaca, menulis, dan memodifikasi isi datanya. *RAM Internal* ini bersifat volatile, yang berarti jika 89s52 mengalami reset, maka isi memori akan hilang. *RAM Internal* digunakan sebagai spasi untuk variabel yang dibutuhkan untuk diakses berulang-ulang dengan kecepatan tinggi. RAM ini juga digunakan oleh mikrokontroler sebagai tempat penyimpanan stack. Karena hal ini, besar stack dari 89s52 dibatasi maksimum 128 byte; namun kenyataannya maksimum 80 byte karena 48 byte sisanya digunakan untuk pemakaian lainnya. Jika pemakai memiliki variabel-variabel yang diletakkan pada *RAM Internal* ini, maka besar maksimum stack 80 byte ini akan menyusut.

- *RAM Eksternal*

RAM Eksternal adalah memori yang dapat diakses secara acak yang terletak di luar keping mikrokontroler. Karena memori ini terletak di luar keping, maka tidak fleksibel untuk mengaksesnya karena memakan lebih banyak instruksi dan waktu. Namun *RAM Eksternal* ini memiliki keuntungan yang terletak pada fleksibilitas ukuran spasinya. Jika *RAM Internal* terbatas pada 128 byte, maka *RAM Eksternal* mampu mengalami spasi hingga 64K.

- *SFR (Special Function Register)*

SFR adalah suatu daerah memori yang mengontrol fungsi spesifik dari prosesor 89s51. Dalam pemrograman, SFR diilustrasikan sebagai memori internal. Sebenarnya SFR memang merupakan bagian dari Internal RAM, hanya dibatasi oleh alamat, alamat 00h hingga 7Fh mengarah pada alamat RAM Internal, sedangkan alamat 80h hingga FFh mengarah pada alamat SFR.

- Memori Bit

Mikrokontroler 89s52 memberikan kemampuan untuk mengakses memori bit sebagai variabel yang hanya berisi kondisi logika 0 atau 1. Terdapat 128 bit variabel yang tersedia untuk pemakai, yang memiliki alamat 00h hingga 7Fh. Untuk mengaksesnya, dapat digunakan perintah SETB dan CLR. Memori Bit adalah bagian dari *RAM Internal*. Pada kenyataannya, 128 bit variabel menempati 16 byte dari RAM Internal dengan alamat 20h hingga 2Fh.

Fungsi-fungsi pin dari IC AT89S52 adalah sebagai berikut

- Vcc : Supply Tegangan, +5 Volt
- GND : Ground, 0 Volt
- AD.0 – AD.7 : Port 0, 8 jalur data bersifat *bidirectional* digunakan untuk pertukaran data dari CPU ke rangkaian *Input/Output*. Data dapat dikirim atau diterima melalui instruksi *Input/Output* dari CPU. Setiap pinnya dapat mengendalikan langsung 8 beban TTL.
- P1.0 – P1.7 : Port 1, 8 jalur data bersifat *bidirectional* dengan pengontrol didalamnya, biasa digunakan sebagai jalan pertukaran data dari peralatan luar ke CPU. Dapat

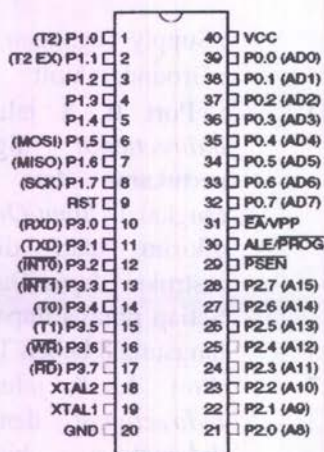
mengendalikan beban 4 TTL secara langsung. Setiap pin dapat diakses secara operasi tiap bit atau byte bergantung pemrogram.

• A.8 – A.15

:Port 2, 8 jalur data bersifat *bidirectional* dengan pengontrol didalamnya, dapat mengendalikan beban 4 TTL secara langsung. Port ini digunakan sebagai jalan untuk pertukaran data dari CPU ke *external* memori atau rangkaian *Input/Output*.

• P3.0 – P3.7

:Port 3, 8 jalur data bersifat *bidirectional* dengan pengontrol didalamnya, dapat mengendalikan beban 4 TTL secara langsung. Digunakan untuk pertukaran data dari CPU ke rangkaian *Input/Output*.



Gambar 2.17 Konfigurasi pin IC AT89S52



- RST :Reset, berfungsi sebagai masukan. Mengaktifkan RST berarti mengembalikan CPU ke keadaan awal.
- ALE/PROG :*Address Latch Enable*, berfungsi sebagai keluaran untuk mengunci jalur keluaran port 2 untuk mengakses *external* memori.
- PSEN :*Program Strobe Enable*, sinyal/strobe baca untuk memori eksternal. Ketika AT89S52 ingin membaca data pada memori eksternal maka PSEN akan aktif.
- EA/Vpp :*External Access Enable*, selalu dihubungkan ke GND untuk mengaktifkan AT89S51 jika ingin mengakses ke memori program eksternal, jika untuk mengakses memori program internal dihubungkan ke Vcc.

2.12 Bahasa C/C++ AT89s52

Mikrokontroler dan mikroprosesor menggunakan kode biner sebagai perintahnya. Namun pada saat membuat suatu program, sangat sulit bila menggunakan bilangan biner untuk mempresentasikan perintah mesin. Cara yang mudah yaitu dengan menggunakan bahasa C/++. Bila setiap perintah ditampilkan dalam bentuk ini, program akan lebih mudah untuk dibaca dan dipahami.

➤ Sejarah dan standar C

Akar dari bahasa C adalah dari bahasa BCPL yang dikembangkan oleh Martin Richards pada tahun 1967. Bahasa ini memberikan ide kepada Ken Thomson yang kemudian mengembangkan bahasa yang disebut dengan B pada tahun

1970. Perkembangan selanjutnya dari bahasa B adalah Bahasa C oleh Dennis Ritchie sekitar tahun 1970-an di Bell Telephone Laboratories Inc. (sekarang adalah AT dan T Bell Digital Equipment Corporation PDP-11 yang menggunakan sistem operasi UNIX C adalah bahasa yang standar, artinya suatu program yang ditulis dengan bahasa C tertentu akan dapat dikonversi dengan bahasa C yang lain dengan sedikit modifikasi. Standar bahasa C yang asli adalah standar dari UNIX. Patokan dari standar UNIX ini diambil dari buku yang ditulis oleh *Brian Kerninghan dan Dennis Ritchie* berjudul "The C Programming Language", diterbitkan oleh Prentice-Hall tahun 1978. Deskripsi C dari Kerninghan dan Ritchie ini kemudian kemudian dikenal secara umum sebagai "K dan R C".

Didalam bahasa pemrograman computer, data yang digunakan umumnya dibedakan menjadi data *nilai numerik* dan *nilai karakter*. Nilai numerik dapat dibedakan lagi menjadi *nilai numerik integer* dan *nilai numerik pecahan*. Nilai numeric pecahan dapat dibedakan lagi menjadi *nilai numerik pecahan ketetapan tunggal* dan *nilai numerik pecahan ketetapan ganda*.

Bahasa-bahasa pemrograman computer membedakan data ke dalam beberapa tipe dengan tujuan supaya data menjadi efisien dan efektif. C menyediakan lima macam tipe data dasar, yaitu tipe data *integer* (nilai numerik bulat yang dideklarasikan dengan *int*), *floatingpoint* (nilai numerik pecahan ketetapan tunggal yang dideklarasikan dengan *float*), *double-precision* (nilai numerik pecahan ketetapan ganda yang dideklarasikan dengan *double*).

Karakter (dideklarasikan dengan *char*), dan *kosong* (dideklarasikan dengan *void*). **Int, float, double** dan *char* dapat dikombinasikan dengan pengubah (*modifier*) **signed, unsigned, long** dan **short**. Hasil dari kombinasi tipe data ini dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2.2 Tipe-tipe data dasar

Tipe	Lebar	Jangkauan Nilai	
		Dari	Sampai Dengan
Int	16 bit	-32768	32767
Signed int			
Short int			
Signed short int			
Unsigned int	16 bit	0	65535
Unsigned short int			
Long int	32 bit	-2147483648	2147483649
Signed long int			
Unsigned long int	32 bit	0	4294967296
Float	32 bit	3.4E-38	3.4E+38
Double	64 bit	1.7E-308	1.7E+308
Long double	80 bit	3.4E-4932	1.1E+4932
Char	8 bit	-128	127
Signed char			
Unsigned char	8 bit	0	255

➤ Pengenalan fungsi-fungsi dasar

Fungsi *main()* harus ada pada program, sebab fungsi inilah yang menjadi titik awal dan titik akhir eksekusi program. Tanda { di awal fungsi menyatakan awal tubuh fungsi dan sekaligus awal eksekusi program, sedangkan tanda } di akhir fungsi merupakan akhir tubuh fungsi dan sekaligus adalah akhir eksekusi program.

Jika program terdiri atas lebih dari satu fungsi, fungsi *main()* biasa ditempatkan pada posisi yang paling atas dalam pendefinisian fungsi. Hal ini hanya merupakan kebiasaan. Tujuannya untuk memudahkan pencarian terhadap program utama bagi pemrogram. Jadi bukanlah merupakan suatu keharusan.

➤ **Pengenalan praprosesor #include**

include merupakan salah satu jenis pengarah praprosesor (*preprocessor directive*). Pengarah praprosesor ini dipakai untuk membaca file yang di antaranya berisi deklarasi fungsi dan definisi konstanta. Beberapa file judul disediakan dalam C. File-file ini mempunyai ciri yaitu namanya diakhiri dengan ekstensi .h. Misalnya pada program #include <stdio.h> menyatakan pada kompiler agar membaca file bernama *stdio.h* saat pelaksanaan kompilasi. Bentuk umum #include:

#include "namafile"

Bentuk pertama (#include <namafile>) mengisyaratkan bahwa pencarian file dilakukan pada direktori khusus, yaitu direktori file *include*. Sedangkan bentuk kedua (#include "namafile") menyatakan bahwa pencarian file dilakukan pertama kali pada direktori aktif tempat program sumber dan seandainya tidak ditemukan pencarian akan dilanjutkan pada direktori lainnya yang sesuai dengan perintah pada sistem operasi.

➤ **Operator Relasi**

Operator relasi biasa dipakai untuk membandingkan dua buah nilai. Hasil perbandingan berupa keadaan benar atau salah. Keseluruhan operator relasi pada C.

Tabel 2.3 Operator Relasi

Operator	Makna
>	Lebih dari
>=	Lebih dari atau sama dengan
<	Kurang dari
<=	Kurang dari atau sama dengan
==	Sama dengan
!=	Tidak sama dengan

➤ **Operator Logika.**

Operator logika biasa dipakai untuk menghubungkan ekspresi relasi. Keseluruhan operator logika ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Operator logika

Operator	Makna
&&	dan (AND)
 	atau (OR)
!	tidak (NOT)

Bentuk pemakaian operator & dan || adalah:

operand1 operator operand2

- **Pernyataan Bahasa C**
- **Pernyataan *if***

Pernyataan *if* mempunyai bentuk umum :

***if* (kondisi)**
 pernyataan;

Bentuk ini menyatakan :

Jika kondisi yang diseleksi adalah benar (bernilai logika = 1), maka pernyataan yang mengikutinya akan diproses.

Sebaliknya, jika kondisi yang diseleksi adalah tidak benar (bernilai logika = 0), maka pernyataan yang mengikutinya tidak akan diproses. Mengenai kondisi harus ditulis diantara tanda kurung, sedangkan pernyataan dapat berupa sebuah pernyataan tunggal, pernyataan majemuk atau pernyataan kosong.

- **Pernyataan *if-else***

Pernyataan *if-else* memiliki bentuk :

if (kondisi)

pernyataan-1;

else

pernyataan-2;

Arti dari pernyataan *if-else* :

- *) Jika kondisi benar, maka **pernyataan-1** dijalankan.
- *) Sedangkan bila kondisi bernilai salah, maka **pernyataan-2** yang dijalankan.

Masing-masing pernyataan-1 dan pernyataan-2 dapat berupa sebuah pernyataan tunggal, pernyataan majemuk ataupun pernyataan kosong

- **Pernyataan Switch**
- **Pernyataan switch Tunggal**

Bentuk sintak dari statement switch tunggal adalah sebagai berikut:

```

switch(kondisi)
{
    case konstanta 1:
        statemen-statemen;
        break;
    casekonstanta2:
        statemen-statemen;
        break;
    default;
        statemen-statemen;
}

```


➤ **Perulangan FOR**

Pada pemrograman proses perulangan dibagi dua 2 bagian utama yaitu :

- Perulangan yang sudah diketahui jumlah perulangansebelumnya perulangan tersebut dilakukan.
- Perulangan yang belum diketahui jumlah perulangannya sebelum perulangan tersebut dilakukan.

Dalam hal ini dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- Kondisi perulangan diperiksa diawal perulangan.
- Kondisi perulangan diperiksa diakhir perulangan.

Bentuk pernyataan *for*:

```

for (ungkapan1; ungkapan2; ungkapan3)
{
  pernyataan ;
  .....;
}

```

Keterangan :

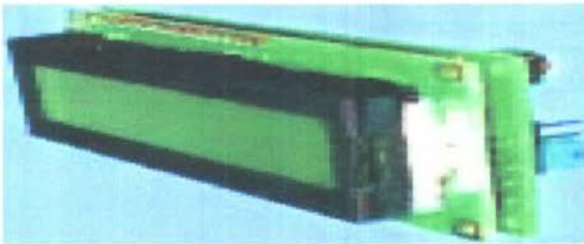
- *) Ungkapan1 : Digunakan untuk memberikan inialisasi terhadap variabel pengendali loop.
- *) Ungkapan2 : Dipakai untuk kondisi keluar dari loop.
- *) Ungkapan3 : Dipakai sebagai pengatur kenaikan nilai variabel pengendali loop.

➤ **Perulangan *while* dan *do while***

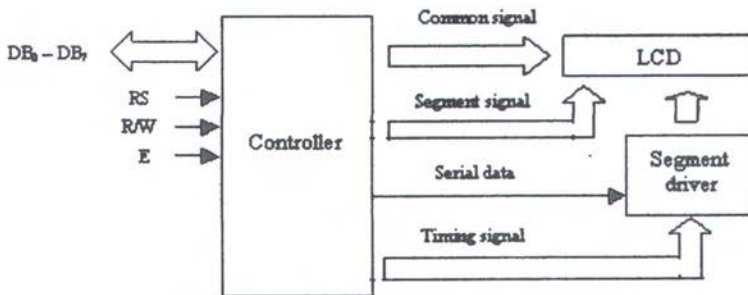
Perulangan yang belum diketahui berapa kali akan diulangi maka dapat menggunakan *while* atau *do while*. Pada pernyataan *while*, pemeriksaan terhadap loop dilakukan di bagian awal (sebelum tubuh loop). Pernyataan *while* akan diulangi terus menerus selama kondisi bernilai benar, jika kondisinya salah maka perulangan dianggap selesai.

digunakan dalam penelitian ini adalah LCD dengan dua baris dan enambelas karakter tiap barisnya yang biasa disebut dengan LCD 2 x 16. Sehingga dapat menampilkan dua data ukur alat.

LCD memiliki memori internal yang berisi definisi karakter sesuai dengan standar ASCII (CGROM – *Character Generator ROM*) dan memori sementara (RAM) yang bisa digunakan bila memerlukan karakter khusus (berkapasitas 8 karakter).



Gambar 2.19 LCD 2 x 16



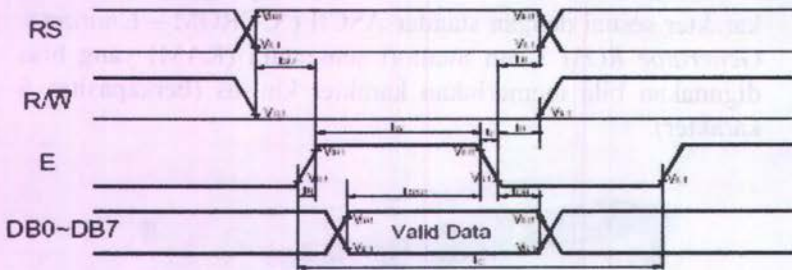
Gambar 2.20 Diagram blok LCD

RAM ini juga berfungsi untuk menyimpan karakter yang ingin ditampilkan di LCD.

Operasi Write adalah waktu penulisan data pada saat data dimasukkan ke LCD.

➤ **Operasi Write**

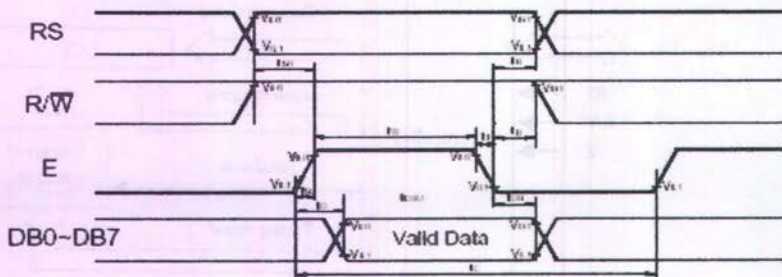
Pada Gambar 2.21 dapat dilihat diagram pada waktu pengisian data ke Mikrokontroler.



Gambar 2.21 Timing diagram data write

➤ **Operasi Read**

Sedangkan Operasi read adalah pembacaan pada saat data masuk ke dalam LCD



Gambar 2.22 Timing diagram data read

➤ Fungsi Pin-pin LCD

Tabel 2.5 Tabel fungsi pin LCD

Sinyal	Input/Output	Fungsi
DB ₀ - DB ₇	Input/Output	Data
E	Input	Sinyal operasi
R/W	Input	Sinyal seleksi <i>Read and Write</i> 0 : <i>Write</i> 1 : <i>Read</i>
RS	Input	Sinyal seleksi Register 0 : Register instruksi 1 : Register data
V _{LC}	-	Pengaturan contrast
V _{DD}	-	+5V
V _{SS}	-	Ground

Pin-pin yang digunakan untuk control LCD adalah :

- RS : Register Seleksi
- E : Enable

Pin untuk LCD sendiri adalah pin pengisian data agar data dapat diterima dan diolah melalui Mikrokontroler ke LCD. Sebelum data dibaca oleh LCD maka data diisi oleh RS. Untuk pemrograman mikrokontroler menggunakan software atmel ISP yang merupakan *software* untuk download ke mikrokontroler.

Program yang kita tulis dalam notepad harus disimpan dalam ekstensi .asm dan kemudian dikonversikan dalam bentuk bilangan heksadesimal yang secara otomatis akan mengoreksi error program. Bila *error* adalah nol maka program bisa di downloadkan menuju mikrokontroler.

BAB III

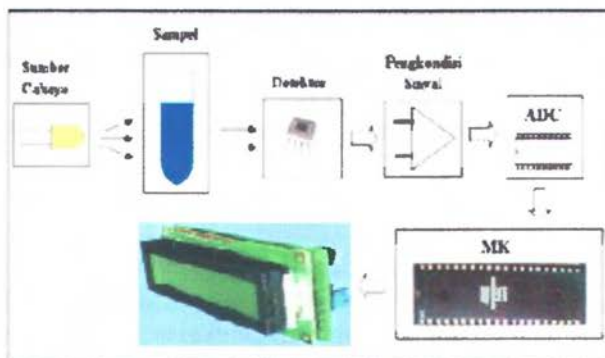
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada perancangan system alat ukur kadar kalsium dalam darah ini dilakukan secara bertahap blok demi blok untuk memudahkan analisis system setiap bagian maupun sistem secara keseluruhan. Perancangan dan pembuatan alat ini meliputi rangkaian sensor photodiode, pengkondisi sinyal, ADC, Mikrokontroler dan LCD.

3.1 Blok Diagram Perancangan Alat

Bab ini menjelaskan mengenai perancangan dan pembuatan alat yang meliputi penentuan komponen yang digunakan, perancangan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*), serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak (*software*). Dimana *hardware* terdiri dari komponen-komponen elektronika, yaitu : Power Supply, Sensor photodiode, ADC, Mikrokontroler, dan LCD. Sebelum dilakukan pembuatan alat, terlebih dahulu dilakukan perancangan terhadap sistem kerja dari alat ukur yang dibuat.

Diagram blok rangkaian Alat ukur kadar kalsium dalam darah berbasis Mikrokontroler adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Sesuai dengan diagram blok rangkaian yang ditunjukkan dalam gambar 3.1, maka peralatan yang dirancang dapat dibagi dalam bagian sebagai berikut:

- ❖ Sampel berupa darah yang telah diolah sehingga siap diukur.
- ❖ Sensor Photodiode OPT 101 sebagai pendeteksi awal variabel kolesterol.
- ❖ Rangkaian Pengkondisian Sinyal yang digunakan menguatkan sinyal.
- ❖ Rangkaian ADC sebagai pengubah data dari analog ke digital
- ❖ Rangkaian controller yang terdiri dari rangkaian mikrokontroler
- ❖ LCD sebagai penampil data.

3.1.1 Prinsip kerja sistem

Sumber cahaya memancarkan cahaya warna merah dengan panjang gelombang 660 nm yang merupakan spektrum dari darah. Cahaya yang dipancarkan ke arah sampel akan terserap oleh sampel tersebut lalu sebagian cahaya akan diterima oleh sensor photodiode. Sensor photodiode mengubah besaran cahaya menjadi tegangan. Tegangan tersebut selanjutnya dikuatkan serta disesuaikan oleh rangkaian pengkondisi sinyal agar memenuhi tegangan masukan yang diijinkan oleh ADC. ADC akan menghasilkan keluaran data digital dan merupakan masukan dari mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengolah data. Data yang berupa kadar kalsium dalam darah selanjutnya akan ditampilkan oleh LCD.

3.2 Perancangan *Hardware*

Perancangan untuk perangkat keras (*Hardware*) pada tugas akhir ini dimulai dari perancangan catu daya (*power supply*), rangkaian sumber cahaya, rangkaian sensor, rangkaian *signal conditioning*, rangkaian ADC (*analog digital converter*), rangkaian mikrokontroler AT89s52, dan LCD.

3.2.1 Perancangan catu daya

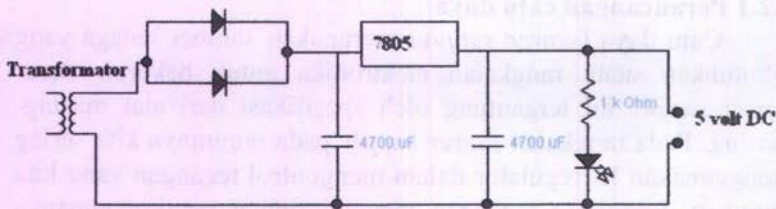
Catu daya (*power supply*) merupakan sumber tenaga yang dibutuhkan suatu rangkaian elektronika untuk bekerja. Besar *power supply* ini tergantung oleh spesifikasi dari alat masing-masing. Pada rangkaian *power supply* pada umumnya kita sering menggunakan IC regulator dalam mengontrol tegangan yang kita inginkan. Regulator tegangan menjadi sangat penting gunanya apabila kita mengaplikasikan *system power* tersebut untuk rangkaian – rangkaian yang membutuhkan tegangan yang sangat stabil. Misalkan untuk sistem digital, terutama untuk Minimum system (Mikrokontroler) yang sangat membutuhkan tegangan dan arus yang sangat stabil.

Pada perancangan alat ukur kadar kalsium dalam darah berbasis mikrokontroler AT89s52 ini *power supply* digunakan untuk mengaktifkan rangkaian sensor, rangkaian pengkondisian sinyal (SC) , ADC (*Analog Digital Converter*) 0804, rangkaian minimum system AT89S52 dan LCD.

IC regulator yang umum digunakan untuk, mengontrol tegangan adalah IC keluarga 78XX. IC ini dapat mengontrol tegangan dengan baik. Keluaran tegangan yang diinginkan tinggal melihat tipe yang ada. Misalkan tipe 7805 dapat memberikan keluaran tegangan 5 Volt dengan toleransi ± 1 , dengan arus keluaran maksimal 1500 mA.

Pada perancangan alat ukur kadar kalsium dalam darah ini, rangkaian catu daya (*power supply*) yang digunakan adalah 5 volt dan 9 volt dengan menggunakan IC Regulator 7805 dan 7809. Rangkaian catu daya sebesar 5 volt untuk sensor mikrokontroler, ADC, Minimum sistem dan LCD. Sedangkan catu daya 9 volt untuk rangkaian sumber cahaya dan rangkaian SC. Kedua Rangkaian ini menggunakan sistem diode penyearah dan menggunakan transformator yang merupakan suatu alat untuk menurunkan tegangan AC 220 volt menjadi tegangan yang lebih kecil yaitu 5 volt dan 9 volt sesuai dengan kebutuhan dari alat ini.

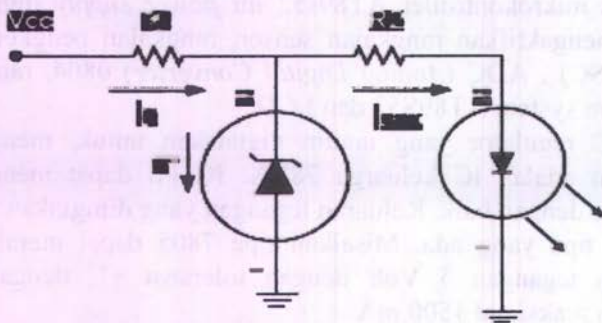
Dibawah ini contoh gambar rangkaian *power supply* dengan output tegangan 5 volt.



Gambar 3.2 Rangkaian *power supply*

3.2.2 Rangkaian sumber cahaya

Rangkaian selanjutnya adalah untuk mengaktifkan sumber cahaya (LED) yang akan dipancarkan melewati sampel darah. Rangkaianannya adalah sebagai berikut:



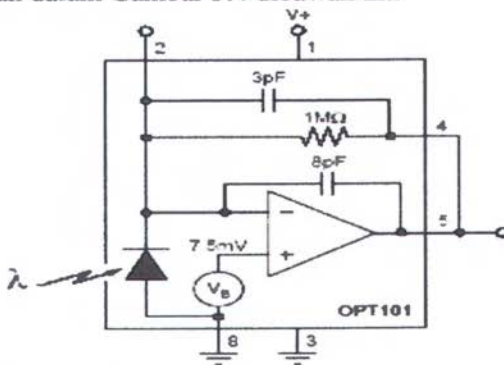
Gambar 3.3 Rangkaian sumber cahaya

Untuk menjaga intensitas cahaya yang dipancarkan oleh LED tetap stabil, maka dalam perancangan ini tegangan yang mencatu LED diusahakan tetap konstan. Dengan menggunakan dioda zener tipe 1N746A yang dipasang seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3 maka tegangan yang masuk ke LED dapat dijaga tetap konstan.

3.2.3 Perancangan sensor.

Pada alat ukur kadar kalsium dalam darah ini, menggunakan sensor cahaya yaitu OPT101 *Monolithic*

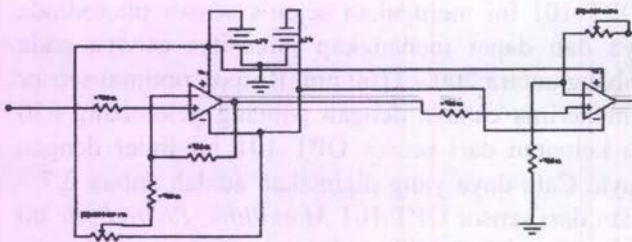
Photodiode. OPT 101 ini merupakan sejenis sensor photodiode pada umumnya dan dapat menangkap intensitas cahaya pada panjang gelombang antara 200 - 1100 nm. Respon optimal sensor OPT 101 ini menerima cahaya dengan panjang gelombang 650 nm. Tegangan keluaran dari sensor OPT 101 ini linier dengan intensitas cahaya. Catu daya yang digunakan adalah antara 2,7 - 36 V. Rangkaian dari sensor OPT 101 *Monolithic Photodiode* ini ditunjukkan dalam Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Rangkaian OPT101 Monolithic Photodiode

3.2.4 Rangkaian pengkondisi signal

Rangkaian pengkondisi signal merupakan rangkaian yang menghubungkan antara keluaran sensor photodiode yang telah dikonversikan dengan masukan ADC. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor belum bisa diproses oleh rangkaian pengkonversi analog ke digital. Karena jangkauan tegangan masukan yang dapat diproses oleh rangkaian pengkonversi analog ke digital dibatasi sebesar 0 sampai 5 volt. Untuk mensinkronkan antara keluaran sensor dengan rangkaian pengkonversi analog ke digital maka digunakan rangkaian pengkondisi signal.



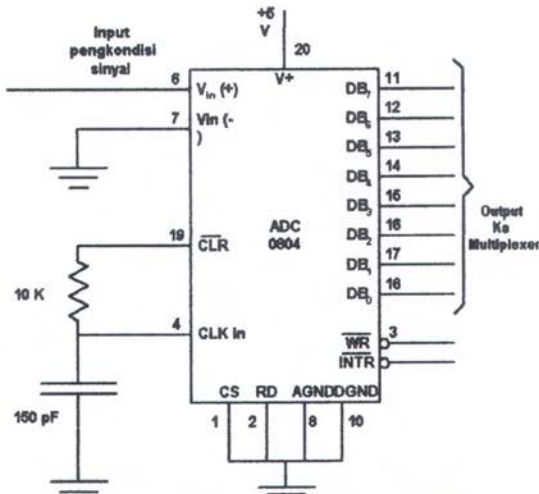
Gambar 3.5 Rangkaian pengkondisi sinyal

3.2.5 Perancangan ADC

Konverter analog ke digital atau ADC (*Analog to Digital Converter*), adalah alat yang berfungsi untuk mengubah tegangan analog pada input menjadi tegangan digital pada outputnya, sehingga data tersebut akan terbaca dan dapat diproses oleh mikroprosesor.

ADC mengambil input sinyal kontinu yang tidak diketahui, sering tegangan V_{in} , dan mengkonversinya ke dalam bilangan biner n -bit. Bilangan n -bit adalah fraksi biner yang menunjukkan rasio antara sinyal input, tegangan V_{in} , dan pengkonversi tegangan penuh, V_{fs} .

Perancangan rangkaian ADC dalam tugas akhir ini memakai ADC 0804 produksi *National Semiconductor*. Pengubah analog ke digital atau ADC (*Analog to digital Converter*) adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengubah signal *analog* ke *digital*. ADC diperlukan supaya nantinya besaran yang diterima dapat dibaca oleh program mikrokontroler. ADC tipe ini memakai metode bergantian secara serial dalam penerimaan dan pengiriman data, ADC ini dapat digunakan dalam penerimaan dan pengiriman data dengan lebih dari 2 inputan, untuk mengkonversi masukan *analog* (0 –5 volt DC) menjadi data *digital* 8-bit. Gambar 3.6 adalah gambar rangkain ADC yang dirancang :



Gambar 3.6 Rangkaian ADC 0804

ADC tipe ini memakai metode pendekatan berturut-turut (*Successive Approximation*) untuk mengkonversi masukan analog (0 – 5,02 Volt DC) menjadi data digital 8-bit. Pada Gambar 3.6 terdapat hubungan pin-pin IC ADC 0804 yang dihubungkan dalam pemenuhan kebutuhan sinyal digital untuk masukan pada mikrokontroller AT89S51. Pada ADC 0804 ini memiliki input V_{cc} sebesar 5 Volt DC, resolusi 8-bit dan total error $\pm \frac{1}{4}$ LSB, $\pm \frac{1}{2}$ LSB, dan ± 1 LSB.

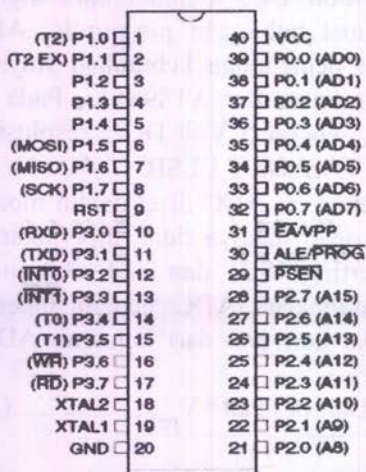
Pada rangkaian ini ADC diset dalam mode free-running, artinya dalam pengoperasiannya tidak diperlukan sinyal kontrol seperti start converting (SC) dan end of converting (EOC). Dikarenakan keluaran dari ADC adalah biner 8-bit dengan desimal 0-255 maka konversi dari keluaran ADC ke tegangan adalah :

$$V_{out} = \frac{\text{Data desimal} * V_{ref}}{256} \dots \dots \dots (3.1)$$

3.2.6 Perancangan rangkaian mikrokontroler

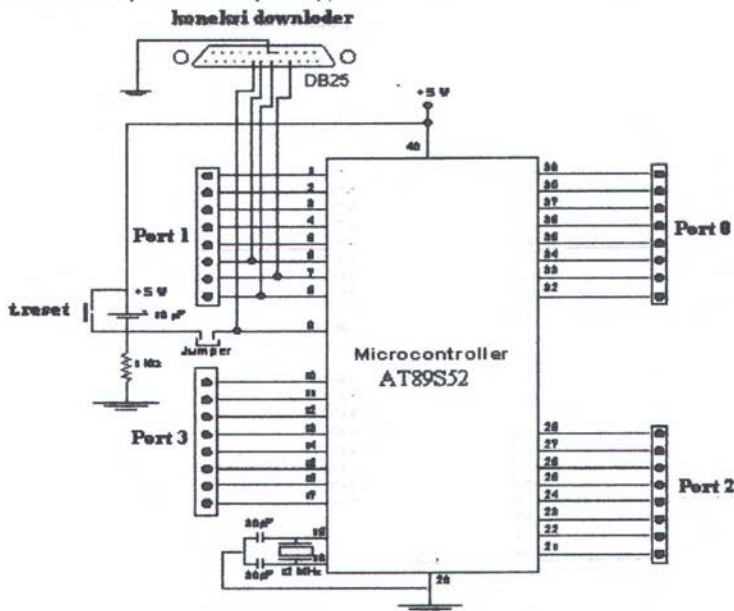
Mikrokontroler AT89S52 mempunyai 4 port paralel yakni port 0, port 1, port 2, dan port 3, keempat port tersebut bisa dipakai sebagai port paralel dengan 8 bit saluran data, atau digunakan sebagai *bit adreseble* (Satu pin saluran dipakai sebagai pin masukan tersendiri yang terpisah dengan pin-pin yang lain) seperti yang terlihat pada gambar 3.12.

Sebagai pengendali yang utama dari sistem pengukuran kelembaban ini digunakan sistem minimum mikrokontroler AT89S52, sistem minimum mikrokontroler AT89s52 didukung oleh unit memori dinamik (*RAM*) berkapasitas 128 *byte* yang dipakai sebagai memori dari program. Sistem mikrokontroler AT89S52 ini membutuhkan sumber frekuensi yang didapat dari sebuah rangkaian penguat osilator pembalik (*inverting oscillator amplifier*) yang tersusun dari sebuah Cristal dengan frekuensi 11.0592 MHz dan tiga buah kapasitor keramik sebesar 30pF, 10 pF, dan 0,1 mF yang dihubungkan pada kaki-kaki XTAL1 dan XTAL2 (kaki nomor 18 dan 19).



Gambar 3.7 Gambar DIP dari AT89s52.

Mikrokontroler AT89S52 mempunyai 4 buah port paralel dengan lebar data 8 bit, terdiri dari port 0, port 1, port 2, dan port 3 yang berfungsi sebagai port masukan atau keluaran. Pada sistem tugas akhir penulis ini mikrokontroler mendapatkan inputan (masukan) dari rangkaian sensor kelembaban dan memberi keluaran pada tampilan pada PC. Port pada mikrokontroler yang digunakan sebagai port *input* adalah port 1.0 dan port 1.1, yang berfungsi sebagai port *output* (keluaran) adalah port 1.3 dan port 1.4. Disamping port masukan dan keluaran, perlu dipasang input reset untuk sistem mikrokontroler pada kaki nomor 9 dengan menambahkan rangkaian komponen resistor sebesar 1 Kilo ohm dan kapasitor elektrolit sebesar 10 mF. Skema dan tabel fungsi dari sistem minimum mikrokontroler AT89s52 dapat dilihat pada gambar 3.8.

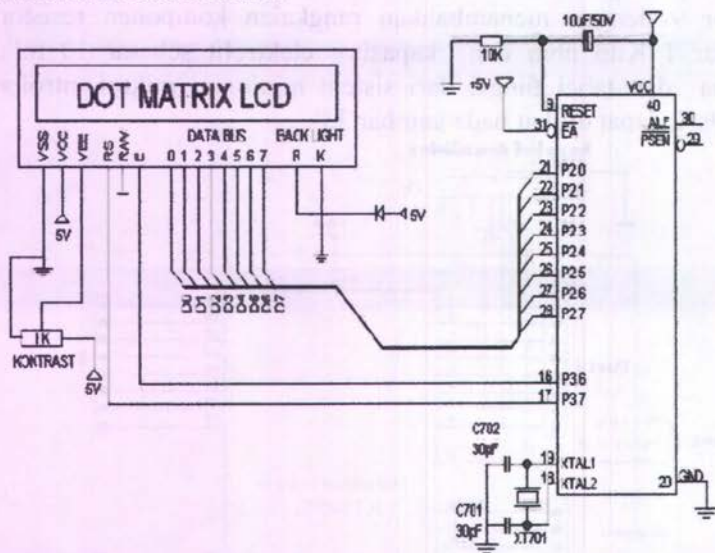


Gambar 3.8 Rangkaian minimum system mikrokontroler AT89s51/52.

3.2.7 Display LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD yang digunakan 2 baris x 16 kolom. LCD memiliki memori internal yang berisi definisi karakter sesuai dengan standar ASCII (CGROM – *Character Generator ROM*) dan memori sementara (RAM) yang bisa digunakan bila memerlukan karakter khusus (berkapasitas 8 karakter). RAM ini juga berfungsi untuk menyimpan karakter yang ingin ditampilkan di LCD.

Gambar dibawah merupakan rangkaian untuk display LCD 2x16 yang dikoneksikan dengan rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89s52.



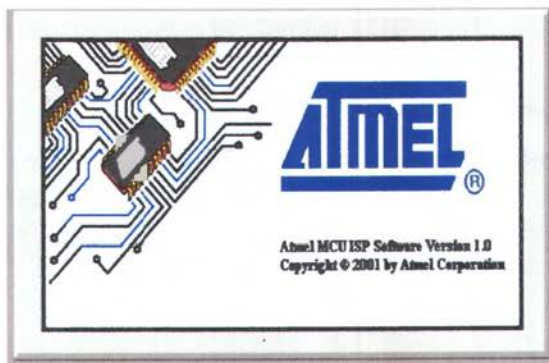
Gambar 3.9 Rangkaian Output Panel LCD 2x16.

3.3 Perancangan *Software*

Perancangan *software* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah dengan Mikrokontroler AT89s52 dibuat dan disesuaikan dengan keberadaan *hardware* yang digunakan. Perancangan *software* pada dasarnya terdiri dari beberapa bagian pokok yaitu :

- *Software* yang dipakai untuk pembacaan Mikrokontroler.
- *Software* yang dipakai untuk pembacaan Output sinyal dari sensor oleh mikrokontroler yang digunakan sebagai data pengolahan data.
- *Software* pengkonversi nilai desimal ke nilai tegangan .
- *Software* penampil ke display LCD

Perancangan software digunakan untuk mendukung kerja dari perangkat hardware. Pada Proses Pengisian kita menggunakan Program Atmel Mikrokontroler ISP Program yang dijalankan pada Operating System Windows.



Gambar 3.10 Program Atmel MCU ISP Software

Prosedur pengisian program pada chip mikrokontroler

- Program yang sudah dibuat dengan menggunakan teks editor (*NotePad*) disimpan dengan nama tertentu yang diakhiri dengan ekstensi *.asm*.
- Mengkompile file program yang berekstensi **.asm* tersebut menggunakan kompiler *ASM51.exe*. File yang sudah dikompile tersebut akan menghasilkan file baru (program objek) yang terdiri dari file dengan format hex (ekstensi **.hex*) dan assembly listing (ekstensi **.lst*)

- File dengan format hexa tersebut kemudian di transfer kedalam kode biner bahasa mesin dengan memakai program linker *HEXBIN.exe*, sehingga dihasilkan file baru dengan ekstensi **.bin*.
- File dengan format ekstensi **.bin* inilah yang akan diisikan ke dalam *Flash PEROM* mikrokontroler AT89C51 menggunakan *EEPROM Programmer* (emulator) dengan bantuan perangkat lunak *WR51.exe*.

Perancangan software digunakan untuk mendukung kerja dari perangkat hardware. Perancangan software ini dibuat dengan menggunakan program sebagai display data dan program interface dan Program C/C++.

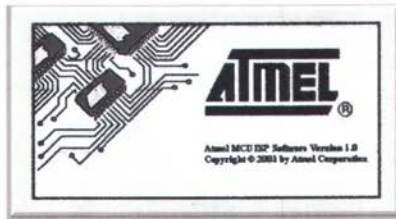
3.3.1 Software bahasa C mikrokontroler AT89s52

Gambar dibawah merupakan cara *compile* program C/C++ yang telah dibuat pada *software* SDCC sehingga setelah *compile* akan dihasilkan 11 data yang baru dengan nama yang sama tetapi dalam format ang berbeda, *.hex*, *.lst*, *.asm*, *.sbm*, *.ihx*, *.map*, *.mem*, *.rel*, *.rst*, *.sym*, *.c*.



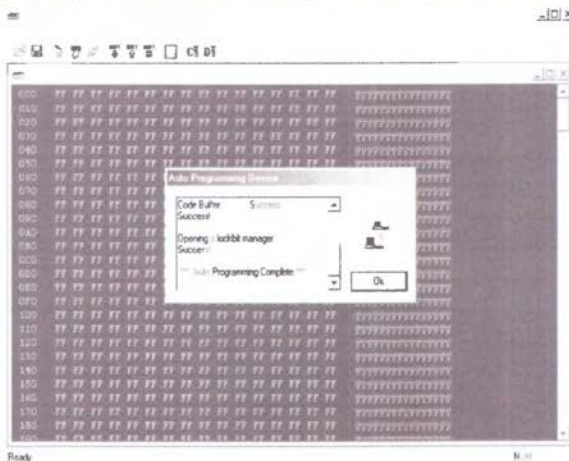
Gambar 3.11 Compile program C dengan common porm

Setelah komunikasi antara komputer dengan Minimum System AT89S52 terdeteksi, maka selanjutnya kita mengambil program hex yang akan kita isi kemudian disimpan di Buffer dari Program ISP.

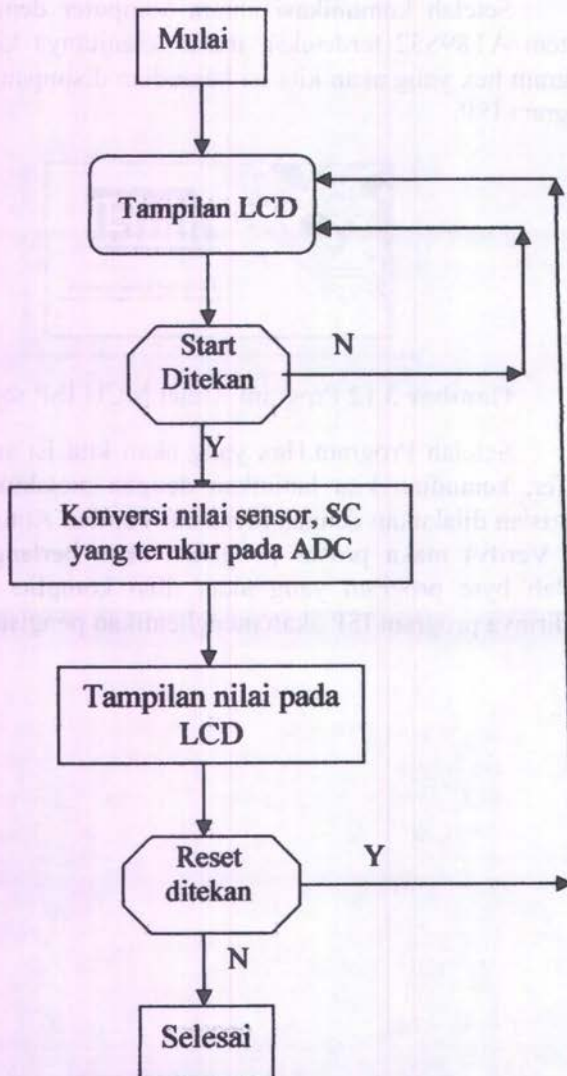


Gambar 3.12 Program Atmel MCU ISP software

Setelah Program.Hex yang akan kita isi sudah ada pada Buffer, kemudian kita lanjutkan dengan melakukan pengisian. Pengisian dilakukan dengan menekan Tombol Auto (Erase, Write dan Verify) maka proses pengisian akan berlangsung, sampai jumlah byte program yang akan diisi komplit. Maka dengan sendirinya program ISP akan menghentikan pengisian.



Gambar 3.13 Program pengisian mikro AT89s52



Gambar 3.14 Flow chat program alat ukur kadar kalsium dalam darah

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Setelah melalui proses perancangan dan pembuatan sistem alat ukur kadar kalsium dalam darah, maka diperlukan uji data pada alat tersebut. Bagian-bagian yang diuji meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Uji data meliputi pengujian sensor, pengujian catu daya, pengujian pengkondisian sinyal, pengujian ADC dan pengujian pengukuran apakah alat yang dibuat memenuhi standart yang ada.

4.1 Pengujian Alat

Seluruh komponen elektronika yang disusun dalam perancangan alat ini akan dilakukan pengujian, agar nantinya dapat diketahui keakuratan dan kepresisian masing-masing komponen.

4.1.1 Pengujian power supply

Pengujian terhadap catu daya 5 dan 9 volt dilakukan dengan cara memberi masukan tegangan AC secara konstan, kemudian tegangan *output* diukur dengan menggunakan *Avometer digital*. Data diambil dengan melihat nilai yang tertera pada Avometer kemudian dicatat.

Data hasil pengujian catu daya 5 volt dan 9 volt dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.1 Data pengukuran rangkaian supply +5 Volt

Data ke-	Tegangan input (Volt)	Tegangan Terukur (volt)
1	5	4.99
2	5	4.98
3	5	5.01
4	5	5.00
5	5	4.99
6	5	4.99
Rata-rata Pengukuran		4.993

Tabel 4.2 Data pengukuran rangkaian supply 9 Volt

Data Ke-	Tegangan Input (Volt)	Tegangan Terukur (Volt)
1	9	9.02
2	9	9.00
3	9	9.01
4	9	9.02
5	9	9.01
6	9	9.1
Rata-rata Pengukuran		9.026

4.1.2 Pengujian rangkaian sensor

Pengujian terhadap sensor OPT 101 dilakukan dengan cara memberi tegangan *supply* sebesar 5 volt DC. Kemudian di berikan sumber cahaya berupa LED warna merah. Data dari hasil pengujian sensor dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini:

Tabel 4.3 Data pengujian sensor

No	Kadar kalsium (mg/dl)	Vout Sensor (Volt)	
		Kenaikan	Penurunan
1.	9.32	1.67	1.67
2.	9.58	1.53	1.53
3.	9.61	1.51	1.51
4.	9.79	1.40	1.40
5.	10.07	1.20	1.20

4.1.3 Pengujian *Signal Conditioning* (SC)

Pada pengujian *signal conditioning* (SC), dimana kita mencari nilai minimum dan maksimum dari signal yang dikeluarkan oleh sensor. SC yang dipakai adalah rangkaian zero-span, dimana signal keluaran dari sensor akan dikondisikan oleh

SC jenis zero span agar dapat mengkondisikan signal menjadi 0-5 volt.

Tabel 4.4 Tabel Pengujian Signal Conditioning

No	Input (Volt)	Output (Volt)						Rata-rata
		P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	
1	1.200	2.500	2.510	2.500	2.520	2.500	2.510	2.5067
2	1.400	3.400	3.400	3.410	3.400	3.420	3.410	3.4067
3	1.510	3.780	3.790	3.780	3.790	3.790	3.780	3.7850
4	1.530	3.880	3.870	3.880	3.860	3.860	3.880	3.8717
5	1.670	4.350	4.340	4.350	4.340	4.350	4.350	4.3467

4.1.4 Pengujian ADC

Pengujian yang dilakukan terhadap rangkaian ADC 0804 ini bertujuan untuk mengetahui kesalahan yang sebenarnya dari proses konversi data analog ke digital. Dimana keluaran dari SC lalu diasukkan ke ADC 0804 untuk diolah datanya, besarnya tegangan masukan pada ADC 0804 antara 0-5 volt. Berikut tabel hasil pengujian ADC 0804.

4.1.5 Pengujian Mikrokontroller

Pengujian berikutnya adalah pengujian mikrokontroller AT89s52 yang dilakukan dengan cara mengoneksikan konfigurasi pin-pin yang ada pada Mikrokontroller AT89s52 tersebut kekomponen elektronika yang mendukung terbentuknya alat ukur ini. Dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 4.6 Pengujian Mikrokontroller AT89s52.

	Ket		Ket
Pin 1		Pin 21	for input digital from ADC
Pin 2		Pin 22	for input digital from ADC
Pin 3	to control LCD	Pin 23	for input digital from ADC
Pin 4	to control LCD	Pin 24	for input digital from ADC
Pin 5	to control LCD	Pin 25	for input digital from ADC
Pin 6	for connector downloder to PC	Pin 26	for input digital from ADC
Pin 7	for connector downloder to PC	Pin 27	for input digital from ADC
Pin 8	for connector downloder to PC	Pin 28	for input digital from ADC
Pin 9	for connector downloder to PC	Pin 29	
Pin 10	to MAX 232 (Aplikasi Serial)	Pin 30	
Pin 11	to MAX 232 (Aplikasi Serial)	Pin 31	VCC 5,02 volt
Pin 12		Pin 32	to data bus LCD
Pin 13		Pin 33	to data bus LCD

Pin 14		Pin 34	to data bus LCD
Pin 15		Pin 35	to data bus LCD
Pin 16	to control ADC	Pin 36	to data bus LCD
Pin 17	to control ADC	Pin 37	to data bus LCD
Pin 18	Frekuensi / external clock Mikro AT89S52	Pin 38	to data bus LCD
Pin 19	Frekuensi / external clock Mikro AT89S52	Pin 39	to data bus LCD
Pin 20	GND	Pin 40	VCC 5,02 volt

4.2. Pengujian Alat

Pengujian alat ini dilakukan dengan menghitung beberapa nilai kadar kalsium yang berbeda pada tabel 4.3

Tabel 4.7 Pengujian Alat ukur kadar kalsium

No	Standard Total Kalsium	Pengukuran Kalsium (mg/dl)						Rata-rata
		P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	
1	9.380	9.309	9.316	9.302	9.309	9.311	9.312	9.3098
2	9.580	9.603	9.610	9.603	9.596	9.589	9.582	9.5972
3	9.610	9.724	9.715	9.722	9.622	9.628	9.631	9.6737
4	9.790	9.778	9.792	9.778	9.792	9.771	9.785	9.7827
5	10.070	9.953	9.946	9.948	9.946	9.951	9.954	9.9497

Dimana :

Std Kal : Standard kalsium

P1 : Pengambilan data ke-1

P2 : Pengambilan data ke-2

P3 : Pengambilan data ke-3

- P4 : Pengambilan data ke-4
 P5 : Pengambilan data ke-5
 P6 : Pengambilan data ke-6

Dari data-data yang didapatkan, dapat dihitung data ketidakpastian sebagai berikut:

➤ Pengukuran Pertama (Pembacaan Skala)

Tabel 4.8 Pembacaan Skala

No	Pembacaan alat uji	Pembacaan Standart	error (y)	y ²	x ²	XiYi
1	9.3098	9.3800	-0.0702	0.0049	87.9844	-0.6585
2	9.5972	9.5800	0.0172	0.0003	91.7764	0.1648
3	9.6737	9.6100	0.0637	0.0041	92.3521	0.6122
4	9.7827	9.7900	-0.0073	0.0001	95.8441	-0.0715
5	9.9497	10.0700	-0.1203	0.0145	101.4049	-1.2114
Jumlah	48.3131	48.4300	-0.1169	0.0238	469.3619	-1.1644
Rata-rata	8.0522	8.0717	-0.0195	0.0040	78.2270	-0.1941

Nb: semua satuan dalam mg/dl

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(-0.0702+0.0195)^2 + (0.0172+0.0195)^2 + (0.0637+0.0195)^2 + (-0.0073+0.0195)^2 + (-0.1203+0.0195)^2}{5-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.0211}{4}}$$

$$\sigma = 0.0726 \text{ mg/dl}, \quad \sigma = \text{SD}$$

$$U_{a1} = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{0.0726}{\sqrt{5}} = 0.0324 \text{ mg/dl}$$

$$Ua 2 = \sqrt{\frac{SSr}{n-2}}$$

$$SSr = \sum C^2$$

$$y = a + bx + c$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{5[(-1.1644) - (48.4300x(-0.1169))]}{5(469.3619) - (48.4300)^2}$$

$$b = \frac{-0.1606}{1.3446}$$

$$b = -1.1944$$

$$a = \bar{y} - bx$$

$$= -0.0195 - (-1.1944 * (9.3800))$$

$$a = 11.1839$$

$$y = a + bx + c$$

$$c = y - a - bx$$

$$= -0.0702 - 11.1839 - (-1.1944 * (9.3800))$$

$$= -0.0507$$

Dengan cara yang sama didapatkan hasil perhitungan koreksi sbb:

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Koreksi Pengukuran Berulang

No	X	eror (y)	a	B	c
1	9.3800	-0.0702	11.1839	-1.1944	-0.0507
2	9.5800	0.0172	11.4228	-1.1944	0.0367
3	9.6100	0.0637	11.4586	-1.1944	0.0832
4	9.7900	-0.0073	11.6736	-1.1944	0.0122
5	10.0700	-0.1203	12.0081	-1.1944	-0.1008

Nb: semua satuan dalam mg/dl

$$\begin{aligned}
 U_{a2} &= \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \\
 &= \sqrt{\frac{\sum c^2}{n-2}} \\
 &= \sqrt{\frac{0.0194}{3}} \\
 &= 0.0464 \text{ mg/dl}
 \end{aligned}$$

Ketidak pastian standart

$$\begin{aligned}
 U_{b1} &= \frac{1/2 \times \text{resolusi}}{k} \quad \text{Dimana nilai k untuk digital} = \sqrt{3} \\
 &= \frac{1/2 \times 0.01}{\sqrt{3}} \\
 &= 0.0020 \text{ mg/dl}
 \end{aligned}$$

$$U_c = \sqrt{ua1^2 + ua2^2 + ub1^2}$$

$$= \sqrt{0.0324^2 + 0.0464^2 + 0.0020^2}$$

$$= 0.0032 \text{ mg/dl}$$

Dari hasil pembacaan tabel diatas di dapatkan nilai k (factor cakupan) dengan kepercayaan 95 % sebesar 4.5

$$\begin{aligned} U_{\text{exp}} &= k \cdot U_c \\ &= 4.5 \times 0.0032 \\ &= 0.0144 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan performansi peralatan sebagai berikut :

1. Pengukuran pembacaan berulang :

Standart deviasi	= 0.0726 mg/dl
Koreksi maksimum	= 0.0832 mg/dl
Koreksi ,minimum	= -0.1008 mg/dl

2. Pengukuran skala :

Ketidakpastian hasil pengukuran (U_1)	= 0.0324 mg/dl
Ketidakpastian Regresi Linier Pengukuran (U_2)	= 0.0464mg/dl
Ketidakpastian Resolusi (U_4)	= 0.0020mg/dl
Ketidakpastian Gabungan (U_c)	= 0.0032mg/dl
Factor Cakupan (k)	= 4.5
Ketidakpastian Diperluas (U_{exp})	= 0.0144

Catatan:

1. Faktor Cakupan dihitung dengan menggunakan tabel T student, dimana tingkat kepercayaan/ confidence level yang diambil adalah 95 %
2. Sertifikat yang digunakan adalah hasil kalibrasi dengan acuan yang sama
3. Ketidakpastian hasil pengukuran, didapatkan dengan mengambil standar diviasi maksimum
4. Bila tanda koreksi adalah positif (+), maka jumlahnya harus ditambahkan untuk mendapatkan hasil yang benar, demikian pula untuk koreksi negatif

➤ Perhitungan Error

Setelah diperoleh data pengujian, kemudian dihitung besarnya error pengukuran. Error atau kesalahan adalah penyimpangan nilai dari suatu pengukuran terhadap harga sebenarnya, dapat dinyatakan dalam prosen error.

$$\text{Prosen Error \%} = \left| \frac{Y_n - \bar{X}_n}{Y_n} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (4.1)$$

dimana :

Y_n = nilai sebenarnya

X_n = nilai hasil pengukuran

Hasil perhitungan besarnya nilai error seperti tercantum pada tabel. 4.10

Tabel 4.10 Nilai Error Data Pengujian Alat

No.	Y_n (mg/dl)	\bar{X}_n (mg/dl)	Error (%)
1	9	9.3098	0.7480
2	10	9.5972	0.1792
3	10	9.6737	0.6625
4	10	9.7827	0.0749
5	10	9.9497	1.1950

➤ Perhitungan Presisi

Presisi adalah keterdekatan hasil pengukuran yang dilakukan berulang-ulang terhadap rata-rata pengukuran. Persamaan nilai presisi (ketelitian) :

$$\text{Prosen presisi} = 100\% - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \dots\dots\dots (4.5)$$

Hasil perhitungan presisi dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Nilai Presisi Pengujian Alat

No	Presisi (%)						Rata-rata
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
1	99.9910	99.9338	99.9159	99.9910	99.9875	99.9767	99.966
2	99.9392	99.8663	99.9392	99.9878	99.9149	99.8420	99.914
3	99.4797	99.5727	99.5004	99.4659	99.5279	99.5589	99.517
4	99.9523	99.9046	99.9523	99.9046	99.8807	99.9761	99.928
5	99.9665	99.9631	99.9832	99.9631	99.9866	99.9564	99.969

➤ **Perhitungan Akurasi**

Akurasi didefinisikan sebagai keterdekatan hasil pengukuran suatu alat ukur terhadap suatu nilai standar yang disepakati atau terhadap suatu nilai yang benar. Untuk mendapatkan nilai akurasi relatif digunakan persamaan sebagai berikut :

$$A = 1 - \frac{|Y_n - X_n|}{Y_n} \dots\dots\dots (4.3)$$

dimana :

X_n = nilai hasil pengukuran

Y_n = nilai sebenarnya

A = akurasi relatif

Akurasi dapat pula dinyatakan dalam prosen akurasi sebagai berikut :

$$\text{Prosen akurasi} = 100 \% - \text{prosentase error} \dots (4.4)$$

Hasil perhitungan presisi dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Nilai Akurasi Pengujian Alat

No	Akurasi						Rata-rata
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
1	0.9924	0.9932	0.9917	0.9924	0.9926	0.9928	0.9925
2	0.9976	0.9969	0.9976	0.9983	0.9991	0.9998	0.9982
3	0.9881	0.9891	0.9883	0.9988	0.9981	0.9978	0.9934
4	0.9988	0.9998	0.9988	0.9998	0.9981	0.9995	0.9991
5	0.9884	0.9877	0.9879	0.9877	0.9882	0.9885	0.9881

4.3 Analisa Data

Prinsip kerja dari alat ini adalah Cahaya yang dipancarkan ke arah sampel dengan panjang gelombang 660 nm (warna merah). Warna ini adalah warna komplementer dari warna merah yang merupakan spektrum dari kalsium akan terserap oleh sampel tersebut lalu sebagian cahaya akan diterima oleh sensor photodiode. Sensor photodiode mengubah besaran cahaya menjadi tegangan. Tegangan tersebut selanjutnya dikuatkan serta disesuaikan oleh rangkaian pengkondisi sinyal agar memenuhi tegangan masukan yang untuk ADC. ADC akan menghasilkan keluaran berupa data digital dan merupakan masukan dari mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengolah data. Data yang berupa kadar Kalsium berikutnya akan ditampilkan oleh LCD

Untuk pengujian dari alat ukur ini yaitu yang diukur adalah tegangan keluaran *power supply*, *sensor*, SC, ADC, Mikrokontroler . Cara pengujiannya adalah dengan cara mengukur tegangan keluaran pada power supply 5V dengan menggunakan multimeter kemudian diambil rata-rata tegangan outputnya, yang diukur sebanyak 5 kali tiap tegangan, pengujian sensor sebanyak 6 kali pengujian SC sebanyak 5 kali, pengujian pengujian ADC sebanyak 25 kali, serta pengujian mikrokontroler pada konfigurasi pinnya. Sedangkan pada pengujian alat yaitu

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Telah berhasil dibuat *hardware* dan *software* sebuah alat ukur kadar kalsium dalam darah yang dapat beroperasi sesuai dengan keinginan kita, sehingga dapat mengetahui kadar kalsium dalam darahnya manusia dengan spesifikasi alat sebagai berikut:.

- ❖ Jangkauan pengukuran oleh alat ukur kadar kalsium dalam darah ini adalah 9.38 – 10.07 mg/dl.
- ❖ Kadar kalsium darah pada umumnya yang diharapkan berkisar antara 8.5-11 mg/dl.
- ❖ Akurasi dari alat ini adalah 99.46 %
- ❖ Presisi dari alat ini adalah 99.85%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan pembuatan alat ini masih banyak kekurangan, maka saran dari kami yang dapat diberikan untuk alat ini adalah perlu dikembangkan lagi dengan menambahkan tampilannya menggunakan PC sebagai pembanding hasil pengukuran dari LCD.



DAFTAR PUSTAKA

1. Albert, P, Malvino. *Prinsip-prinsip Dasar Elektronika*. Penerbit Erlangga. 1994.
2. Agfianto Eho Putra, *Belajar Mikrokontroller AT89C551/52/55*, Gava Media, 2002
3. Budioko, Totok. 2005. **Belajar dengan mudah dan cepat PEMROGRAMAN Bahasa C dengan SDCC [Small Divice C Compiler] Pada Mikrokontroller AT89X051/AT89C51/52**,Gava Media,2005.
4. David, **instrumentasi elektronik dan teknik pengukuran**, Erlangga, 1994.
5. Woolard, Barry. 2002. **Elektronika Praktis**. Pradnya Paramita. Jakarta
6. www.google.com “ kadar kalsium dalam darah”
7. Arifai, Tugas Akhir tentang “ **Alat Ukur Kadar Gula Dalam Urine Berbasis Mikrokontrolller AT 89S51 “ D3 Instrumentasi – Teknik Fisika – ITS – Surabaya.2006.**
8. Budioko, Totok. 2005. ”**Belajar dengan mudah dan cepat PEMROGRAMAN Bahasa C dengan SDCC [Small Divice C Compiler] Pada Mikrokontroller AT89X051/AT89C51/52**”,Gava Media,2005.

Lampiran A

Listing Program Mikro

```
#include <at89x52.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define RS P1_4
#define RW P1_3
#define EN P1_2
#define wr_adc P3_7
#define rd_adc P3_6
#define adc P2
#define start P3_2

unsigned int data_adc;
unsigned char state=0;

void delay_lcd()
{
    int i;
    for (i=0;i<1000;i++);
    {};
}

void delay()
{
    int i;
    for (i=0;i<10000;i++);
    {};
}

void delays(unsigned int u)
{
    unsigned int i=0;
    for (i=0;i<u;i++)
    {
        if (state==1)
        {break;}
    }
}

void delayx(unsigned int u)
{
    unsigned int i=0;
    for (i=0;i<u;i++)
    {};
}

void read_adc()
{
    adc = 0xff;
    wr_adc = 0;
    wr_adc = 1;
    rd_adc = 0;
    data_adc = adc;
    rd_adc = 1;
}

void tulis_inst(char c)
{
    delay_lcd();
    RS = 0;
    RW = 0;
```



```

EN = 1;
P0 = c;
EN = 0;
}

```

```

void tunggu_lcd()

```

```

{
    bit a;
    RS = 0;
    RW = 1;
    EN = 1;
    a = P0_7;
    while (a == 1);
    {
    }
    EN = 0;
    RW = 0;
}

```

```

void init_lcd ()

```

```

{
    delay_lcd();
    delay_lcd();
    P1 = 0x00;
    P0 = 0x00;
    tulis_inst(0x38);
    tulis_inst(0x38);
    tulis_inst(0x38);
    tulis_inst(0x38);
    tulis_inst(0x08);
    tulis_inst(0x01);
}

```

```

    tulis_inst(0x06);
    tulis_inst(0x0e);
}

```

```

void tulis_char(char c)

```

```

{
    delay_lcd();
    RS = 1;
    RW = 0;
    EN = 1;
    P0 = c;
    EN = 0;
}

```

```

void putchar(char c)

```

```

{
    delay_lcd();
    RS = 1;
    RW = 0;
    EN = 1;
    P0 = c;
    EN = 0;
}

```

```

void int_eks0() interrupt 0

```

```

using 1
{
    state=1;
}

```

```

void init_int_eks0()

```

```

{
    EA=1;
    EX0=1;
}

```

```

IT0=1;
}
void entry()
{
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("ALAT
UKUR KADAR ");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("AT UKUR
KADAR CA");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f(" UKUR
KADAR CALS");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("KUR
KADAR CALSIU");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("R KADAR
CALSIUM ");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("KADAR
CALSIUM DA");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("DAR
CALSIUM DALA");

```

```

    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("R
CALSIUM DALAM ");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("CALSIUM
DALAM DA");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("LSIUM
DALAM DARA");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("IUM
DALAM DARAH ");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("M DALAM
DARAH AL");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("DALAM
DARAH ALAT");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);
    printf_fast_f("LAM
DARAH ALAT U");
    delays(60000);
    tulis_inst(0xc0);

```

```

printf_fast_f("M DARAH
ALAT UKU");
delays(60000);
tulis_inst(0xc0);
printf_fast_f("DARAH
ALAT UKUR ");
delays(60000);
tulis_inst(0xc0);
printf_fast_f("RAH ALAT
UKUR KA");
delays(60000);
tulis_inst(0xc0);
printf_fast_f("H ALAT
UKUR KADA");
delays(60000);
}
void main()
{
int i=0;
float f;

init_lcd();
init_int_eks0();
P3=0xff;
tulis_inst(0x01);
printf_fast_f(" HAWIN
MUALIF ");
while(1)
{
entry();
if (state==1)

```

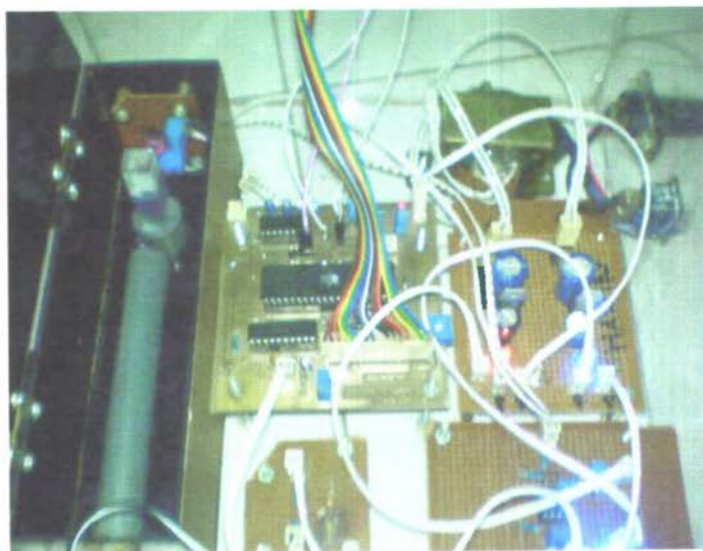
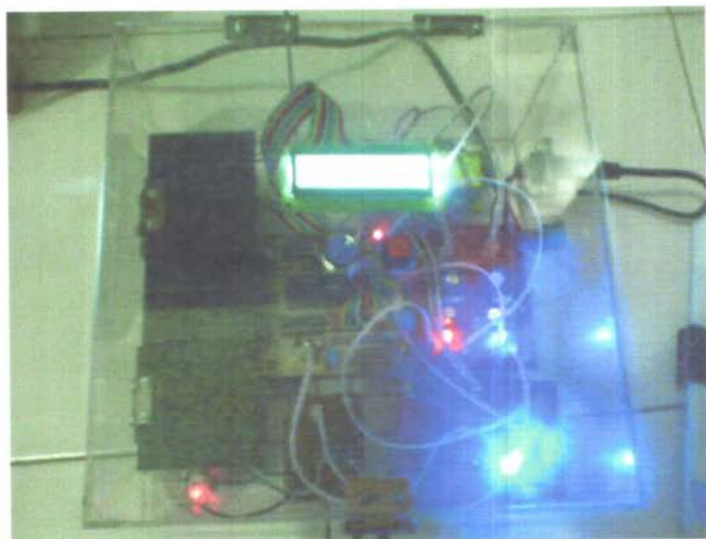
```

{break;}
}
while(1)
{
read_adc();
f=11.01-
(0.007*data_adc);

tulis_inst(0x01);
printf_fast_f("Kadar
Calsium:");
tulis_inst(0xc0);
printf_fast_f(" %f
mg/dl",f);
for(i=0;i<5;i++)
{
delayx(60000);
}
i=0;
}
}
}

```


Lampiran 1 (Foto Alat)





LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number

of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

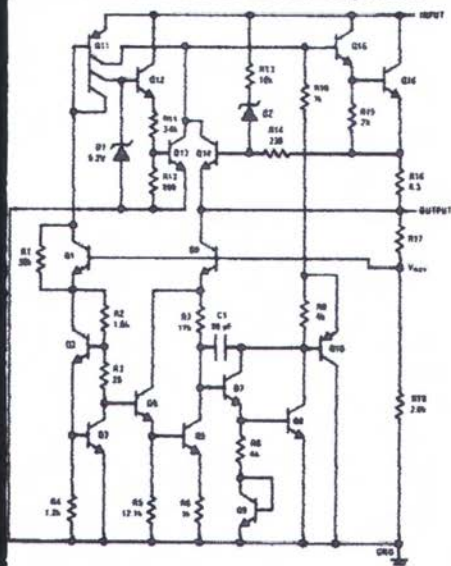
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Schematic and Connection Diagrams



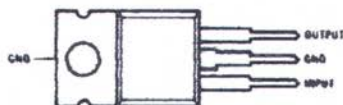
TL/H/7746-1

**Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum**


TL/H/7746-2

Bottom View

Order Number LM7805CK,
LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A

**Plastic Package
TO-220 (T)**


TL/H/7746-3

Top View

Order Number LM7805CT,
LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

Absolute Maximum Ratings

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

Input Voltage ($V_O = 5V, 12V$ and $15V$)	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)	Internally Limited
Operating Temperature Range (T_A)	0°C to $+70^\circ\text{C}$

Maximum Junction Temperature	150°C
(K Package)	150°C
(T Package)	150°C
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C
TO-3 Package K	300°C
TO-220 Package T	230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

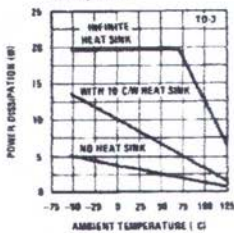
Output Voltage			5V			12V			15V			Units	
Input Voltage (unless otherwise noted)			18V			18V			28V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
		$P_D \leq 15\text{ W}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V	
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)				(14.5 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3	50	4	120	4	150			mV	
			ΔV_{IN}	(7 $\leq V_{IN} \leq 25$)			(14.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
			$0^\circ\text{C} < T_J < +125^\circ\text{C}$		50		120		150			mV	
		$I_O \leq 1\text{ A}$	ΔV_{IN}	(8 $\leq V_{IN} \leq 20$)			(15 $\leq V_{IN} \leq 27$)			(18.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)			V
			$T_J = 25^\circ\text{C}$		80		120		180			mV	
			$0^\circ\text{C} < T_J < +125^\circ\text{C}$		25		80		75			mV	
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	10	50	12	120	12	150			mV	
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$		25		80		75			mV	
		$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$		50		120		150			mV		
I_O	Quiescent Current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		8		8		8			mA	
			$0^\circ\text{C} < T_J < +125^\circ\text{C}$		8.5		8.5		8.5			mA	
ΔI_O	Quiescent Current Change	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$		0.5		0.5		0.5			mA	
			$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$)		1.0		1.0		1.0		mA	
		$I_O \leq 500\text{ mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7 $\leq V_{IN} \leq 25$)		1.0		1.0		1.0		mA	
			$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(14.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)				(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$)				V	
V_{IN}	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	40			75			90			μV	
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$	$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$ or	62	80	53	72	54	70			dB	
			$I_O \leq 500\text{ mA}$	62		55		54				dB	
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$										V
R_{IO}	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{OUT} = 1\text{ A}$	$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(8 $\leq V_{IN} \leq 18$)		(15 $\leq V_{IN} \leq 25$)		(18.5 $\leq V_{IN} \leq 28.5$)				V	
			$f = 1\text{ kHz}$		2.0		2.0		2.0			V	
			Short-Circuit Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		8		18		18			mA
			Peak Output Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		1.5		1.2			A
			Average TC of V_{OUT}	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}, I_O = 5\text{ mA}$		2.4		2.4		2.4			A
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$	7.5			14.6			17.7			V	

Note 1: Thermal resistance of the TO3 package (K, K3) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

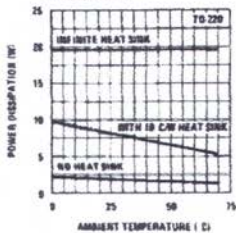
Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of $0.22\text{ }\mu\text{F}$, and a capacitor across the output of $0.1\text{ }\mu\text{F}$. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($I_O \leq 10\text{ mA}$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Typical Performance Characteristics

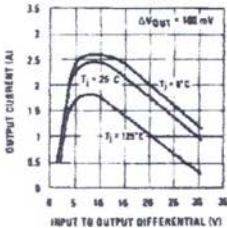
Maximum Average Power Dissipation



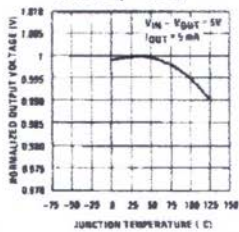
Maximum Average Power Dissipation



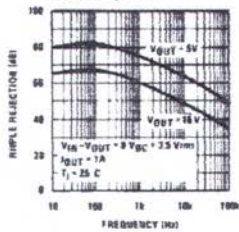
Peak Output Current



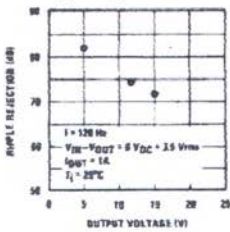
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_j = 25^\circ\text{C}$)



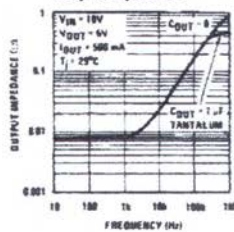
Ripple Rejection



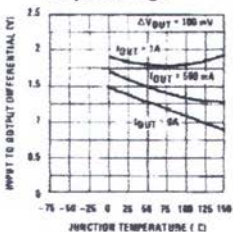
Ripple Rejection



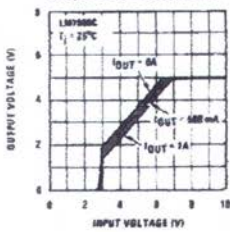
Output Impedance



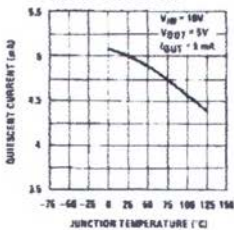
Dropout Voltage



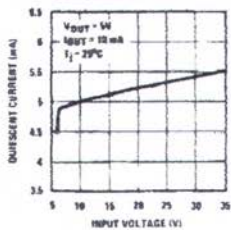
Dropout Characteristics



Quiescent Current



Quiescent Current





OPT101

MONOLITHIC PHOTODIODE AND SINGLE-SUPPLY TRANSIMPEDANCE AMPLIFIER

FEATURES

- SINGLE SUPPLY: +2.7 to +36V
- PHOTODIODE SIZE: 0.090 x 0.090 Inch
- INTERNAL 1MΩ FEEDBACK RESISTOR
- HIGH RESPONSIVITY: 0.45A/W (650nm)
- BANDWIDTH: 14kHz at $R_F = 1M\Omega$
- LOW QUIESCENT CURRENT: 120μA
- AVAILABLE IN 8-PIN DIP, 5-PIN SIP, AND 8-LEAD SURFACE MOUNT PACKAGES

APPLICATIONS

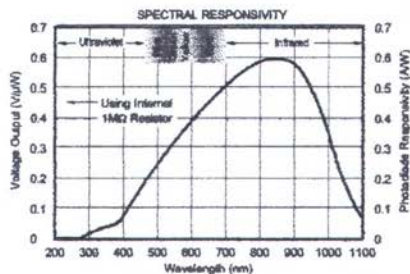
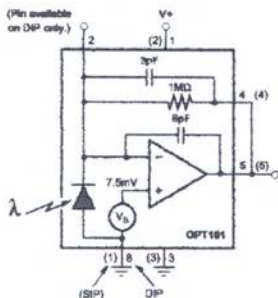
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- LABORATORY INSTRUMENTATION
- POSITION AND PROXIMITY SENSORS
- PHOTOGRAPHIC ANALYZERS
- BARCODE SCANNERS
- SMOKE DETECTORS
- CURRENCY CHANGERS

DESCRIPTION

The OPT101 is a monolithic photodiode with on-chip transimpedance amplifier. Output voltage increases linearly with light intensity. The amplifier is designed for single or dual power supply operation, making it ideal for battery operated equipment.

The integrated combination of photodiode and transimpedance amplifier on a single chip eliminates the problems commonly encountered in discrete designs such as leakage current errors, noise pick-up and gain peaking due to stray capacitance. The 0.09 x 0.09 inch photodiode is operated in the photoconductive mode for excellent linearity and low dark current.

The OPT101 operates from +2.7V to +36V supplies and quiescent current is only 120μA. It is available in clear plastic 8-pin DIP, 5-pin SIP and J-formed DIP for surface mounting. Temperature range is 0°C to 70°C.



International Airways Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85724 • Street Address: 6720 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85729 • Tel: (520) 746-9111 • Fax: 919-603-1111
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXline: (800) 548-6135 (9AM/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 808-4801 • FAX: (520) 880-1518 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

SPECIFICATIONS

At $T_A = -25^\circ\text{C}$, $V_B = +2.7\text{V}$ to $+30\text{V}$, $\lambda = 650\text{nm}$, internal $1\text{M}\Omega$ feedback resistor, and $R_L = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	OPT101P, W			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
RESPONSIVITY					
Photodiode Current	650nm		0.45		A/W
Voltage Output	650nm		0.45		V/W
vs Temperature			100		ppm/°C
Unit to Unit Variation	650nm		± 5		%
Nonlinearity(1)	FS Output = 20V (0.000 \pm 0.000in)		± 0.01		% of FS
Photodiode Area	(2.29 \times 2.29mm)		0.008		in ²
			5.2		mm ²
DARK ERRORS, RTOP					
Offset Voltage, Output		+5	-7.5	-10	mV
vs Temperature			± 2.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply	$V_B = +2.7\text{V}$ to $+30\text{V}$		10	100	μV
Voltage Noise, Dark, $f_b = 0.1\text{Hz}$ to 200Hz	$V_B = +10\text{V}$, $V_{\text{load}} = -15\text{V}$		300		$\mu\text{V}/\text{rms}$
TRANSIMPEDANCE GAIN					
Resistor			1		M Ω
Tolerance, P			± 0.5	± 2	%
W			± 0.5		%
vs Temperature			± 50		ppm/°C
FREQUENCY RESPONSE					
Bandwidth	$V_{\text{OUT}} = 10\text{Vp-p}$		14		kHz
Rise Fall Time, 10% to 90%	$V_{\text{OUT}} = 10\text{V Step}$		28		μs
Settling Time, 0.05%	$V_{\text{OUT}} = 10\text{V Step}$		180		μs
0.1%			80		μs
1%			70		μs
Overload Recovery	100%, Return to Linear Operation		50		μs
OUTPUT					
Voltage Output, High		$(V_B) - 1.3$	$(V_B) - 1.95$		V
Capacitive Load, Stable Operation			10		nF
Short-Circuit Current	$V_B = 30\text{V}$		15		mA
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range		-2.7		+28	V
Quiescent Current	Dark, $V_{\text{load}} = 0\text{V}$		120	340	μA
	$R_L = \infty$, $V_{\text{OUT}} = 10\text{V}$		220		μA
TEMPERATURE RANGE					
Specification		0		-70	°C
Operating		0		-78	°C
Storage		-35		-85	°C
Thermal Resistance, θ_{JA}			100		°C/W

NOTES: (1) Deviation in percent of full scale from best-fit straight line. (2) Referred to Output. Includes all error sources.

PHOTODIODE SPECIFICATIONS

At $T_A = -25^\circ\text{C}$, $V_B = +2.7\text{V}$ to $+30\text{V}$ unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	Photodiode of OPT101P			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Photodiode Area	(0.000 \times 0.000in) (2.29 \times 2.29mm)		0.008		in ²
Current Responsivity	650nm		0.45		A/W
	650nm		865		$\mu\text{A}/\text{Wcm}^2$
Dark Current	$V_{\text{BIAS}} = 7.5\text{mV}$		2.5		pA
vs Temperature			doubles every 7°C		
Capacitance			1200		pF

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.



OPT101

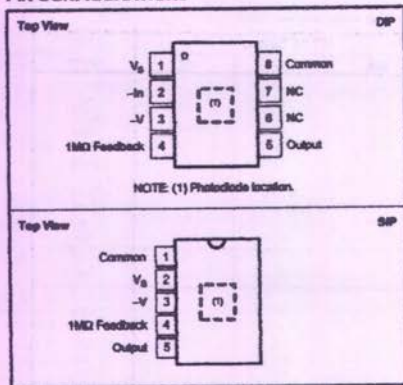
OP AMP SPECIFICATIONS

At $T_a = -25^\circ\text{C}$, $V_s = -2.7\text{V}$ to $+36\text{V}$, $\lambda = 660\text{nm}$, internal $1\text{M}\Omega$ feedback resistor, and $R_f = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	OPT101 Op Amp ⁽¹⁾			UNITS
		BIN	TYP	MAX	
INPUT					
Offset Voltage			±0.5		mV
vs Temperature			±2.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply			10		$\mu\text{V}/\text{V}$
Input Bias Current	(-) Input		165		pA
vs Temperature	(-) Input		1		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Impedance					
Differential			400 5		$\text{M}\Omega$ pF
Common-Mode			250 35		$\text{G}\Omega$ pF
Common-Mode Input Voltage Range	Linear Operation		0 to $[(V_s) - 1]$		V
Common-Mode Rejection			99		dB
OPEN-LOOP GAIN					
Open-loop Voltage Gain			90		dB
FREQUENCY RESPONSE					
Gain-Bandwidth Product ⁽²⁾			2		MHz
Slow Rate			1		V/ μs
Settling Time 1%			5.8		μs
0.1%			7.7		μs
0.05%			8.0		μs
OUTPUT					
Voltage Output, High		$(V_s) - 1.3$	$(V_s) - 1.15$		V
Short-Circuit Current	$V_s = +36\text{V}$		15		mA
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range		-2.7		+36	V
Quiescent Current	Dark, $V_{\text{FEB}} = 0\text{V}$ $R_f = \infty$, $V_{\text{OUT}} = 10\text{V}$		120	240	μA
			220		μA

NOTES: (1) Op amp specifications provided for information and comparison only. (2) Stable gains $\geq 10\text{V}/\text{V}$.

PIN CONFIGURATIONS



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V_s to "Common" or pin 3)	0 to $-36V$
Output Short-Circuit (to ground)	Continuous
Operating Temperature	$-25^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
Storage Temperature	$-25^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
Junction Temperature	$+85^{\circ}C$
Lead Temperature (soldering, 10s)	$+300^{\circ}C$
(Vapor-Phase Soldering Not Recommended)	

PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	COLOR	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER ⁽¹⁾
OPT101P	Clear	8-Pin Plastic DIP	008-1
OPT101P-J	Clear	8-Lead Surface Mount ⁽²⁾	008-4
OPT101W	Clear	5-Pin Plastic SIP	321

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book. (2) 8-pin DIP with J-formed leads for surface mounting.



ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

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

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



MOISTURE SENSITIVITY AND SOLDERING

Clear plastic does not contain the structural-enhancing fillers used in black plastic molding compound. As a result, clear plastic is more sensitive to environmental stress than black plastic. This can cause difficulties if devices have been stored in high humidity prior to soldering. The rapid heating during soldering can stress wire bonds and cause failures. Prior to soldering, it is recommended that plastic devices be baked-out at $+85^{\circ}C$ for 24 hours.

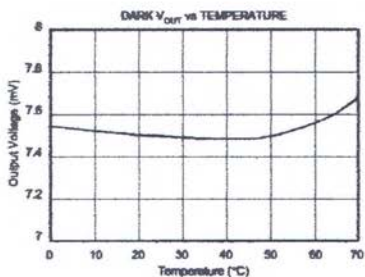
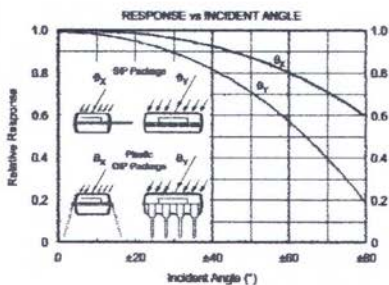
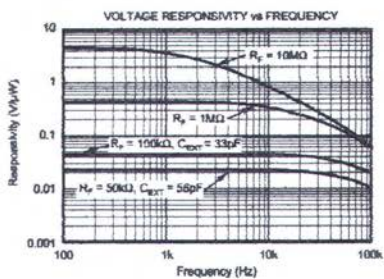
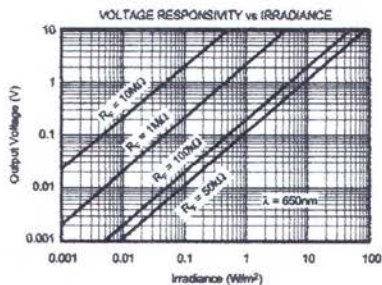
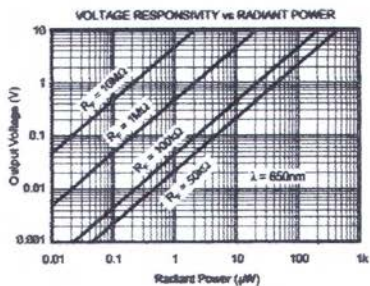
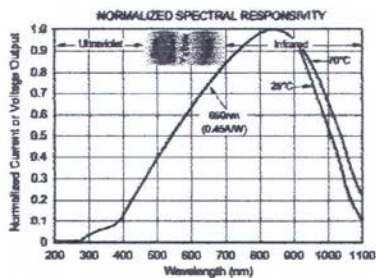
The fire-retardant fillers used in black plastic are not compatible with clear molding compound. The OPT101 plastic packages cannot meet flammability test, UL-94.



OPT101

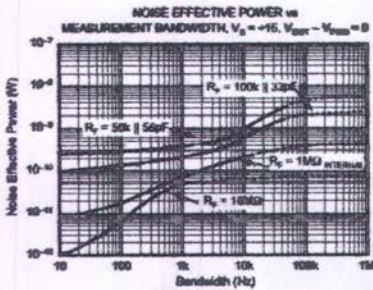
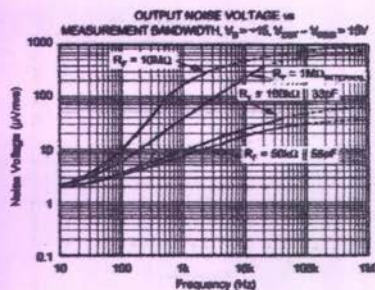
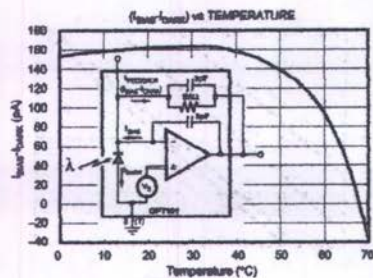
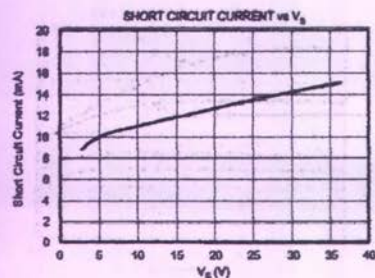
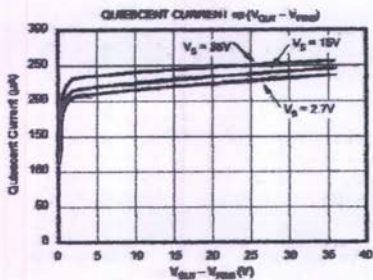
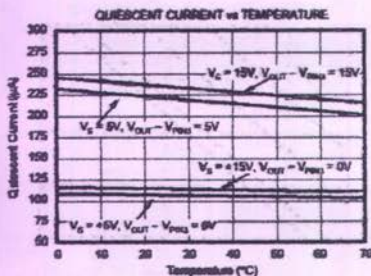
TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_B = +2.7\text{V}$ to $+3\text{V}$, $\lambda = 650\text{nm}$, internal $1\text{M}\Omega$ feedback resistor, and $R_f = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.



TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

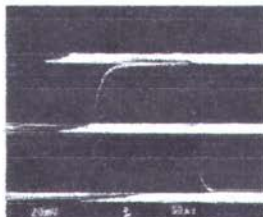
At $T_A = -25^\circ\text{C}$, $V_S = -2.7\text{V}$ to $+36\text{V}$, $I = 600\text{mA}$, internal $1\text{M}\Omega$ feedback resistor, and $R_L = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.



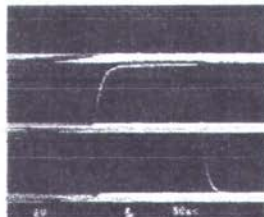
TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = -2.7\text{V}$ to -36V , $\lambda = 650\text{nm}$, internal $1\text{M}\Omega$ feedback resistor, and $R_L = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

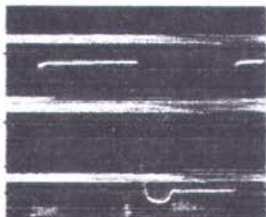
SMALL SIGNAL RESPONSE



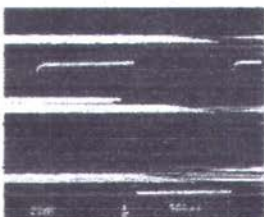
LARGE SIGNAL RESPONSE



SMALL SIGNAL RESPONSE ($f_{L,0dB} = 10,000\text{Hz}$)
(Pin 3 = 0V)



SMALL SIGNAL RESPONSE ($f_{L,0dB} = 10,000\text{Hz}$)
(Pin 3 = -15V)



APPLICATIONS INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required to operate the OPT101. Applications with high-impedance power supplies may require decoupling capacitors located close to the device pins as shown. Output is 7.5mV dc with no light and increases with increasing illumination.

Photodiode current I_{ph} is proportional to the incident power, or flux, (in units) falling on the photodiode. At a wavelength of 650nm (visible red), the photodiode responsivity, R_p is approximately 0.45A/W. Responsivity at other wavelengths is shown in the typical performance curve "Responsivity vs Wavelength."

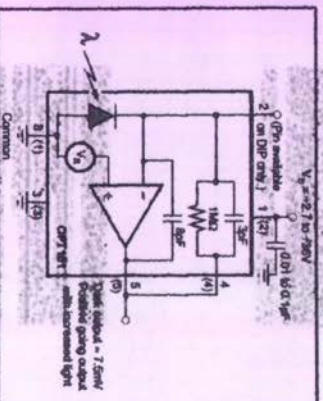


FIGURE 1. Basic Circuit Connections.

The typical performance curve "Output Voltage vs Radiant Power" shows the response throughout a wide range of radiant power. The response curve "Output Voltage vs Irradiance" is based on the photodiode area of 5.2mm².

The OPT101's voltage output is the product of the photodiode current times the feedback resistor, $(R_{fb}R_p)$, plus a gain-of-unity operation. The internal feedback resistor is laser trimmed to 1MΩ. Using this resistor, the output voltage responsivity, R_{vo} is approximately 0.45V/W at 650nm wavelength. Figure 1 shows the basic circuit connections for the OPT101 operating with a single power supply and using the internal 1MΩ feedback resistor for a response of 0.45V/W at 650nm. Pin 3 is connected to common in this configuration.

CAPACITIVE LOADING

The OPT101 is capable of driving load capacitances of 100nF without instability. However, dynamic performance with capacitive loads can be improved by applying a negative bias voltage to Pin 3 (shown in Figure 2). This negative power supply voltage allows the output to go negative in response to the reactive effect of a capacitive load. An internal JFET connected between pin 5 (output) and pin 3 allows the output to sink current. This current sink capability can also be useful when driving the capacitive inputs of some analog-to-digital converters which require the signal

source to sink currents up to approximately 100μA. The benefits of this current sink are shown in the typical performance curve "Small Signal Response ($C_{load} = 10,000pF$)" which compare operation with pin 3 grounded and connected to -15V.

Due to the architecture of this output stage current sink, there is a slight increase in operating current when there is a voltage between pin 3 and the output. Operating in the neighborhood of this voltage the quiescent current will increase by approximately 100μA as shown in the typical performance curve "Quiescent Current vs $V_{out} - V_{pin3}$ ".

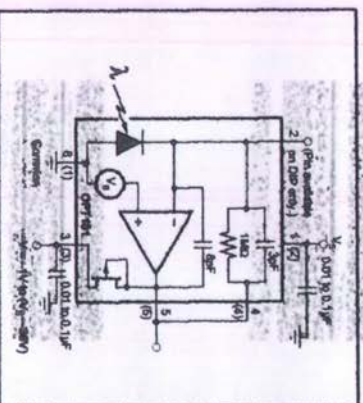


FIGURE 2. Regulate Power Supply Output Capacitance.

NOISE PERFORMANCE

Noise performance of the OPT101 is determined by the op amp characteristics, feedback components and photodiode capacitance. The typical performance curve "Output Noise Voltage vs Measurement Bandwidth" shows how the noise varies with R_{fb} and measured bandwidth (0.1Hz to the indicated frequency) when the output voltage minus the voltage on pin 3 is greater than approximately 50mV. Below this level, the output stage is powered down, and the effective bandwidth is decreased. This reduces the noise to approximately 1/3 the nominal noise value of 300μVrms, or 100μVrms. This enables a low level signal to be resolved. Noise can be reduced by shunting the output with a cutoff frequency equal to the signal bandwidth. This will improve signal-to-noise ratio. Also, output noise increases in proportion to the square root of the feedback resistance, while responsivity increases linearly with feedback resistance. Best signal-to-noise ratio is achieved with large feedback resistance. This comes with the trade-off of decreased bandwidth.

The noise performance of the photodiode is sometimes characterized by *Noise Effective Power* (NEP). This is the radiant power that would produce an output signal equal to the noise level. NEP has the units of radiant power (watts), or W/√Hz to convey spectral information about the noise. The typical performance curve "Noise Effective Power" vs Measurement Bandwidth" illustrates the NEP for the OPT101.



OPT101

DARK ERRORS

The dark errors in the specification table include all sources. The dominant source of dark output voltage is the "pedestal" voltage applied to the non-inverting input of the op amp. This voltage is introduced to provide linear operation in the absence of light falling on the photodiode. Photodiode dark current is approximately 2.5pA and contributes virtually no offset error at room temperature. The bias current of the op amp's summing junction (- input) is approximately 165pA. The dark current will be subtracted from the amplifier's bias current, and this residual current will flow through the feedback resistor creating an offset. The effects of temperature on this difference current can be seen in the typical performance curve " $I_{BIAS} - I_{DARK}$ vs Temperature." The dark output voltage can be trimmed to zero with the optional circuit shown in Figure 3. A low impedance offset driver (op amp) should be used to drive pin 8 (DIP) because this node has signal-dependent currents.

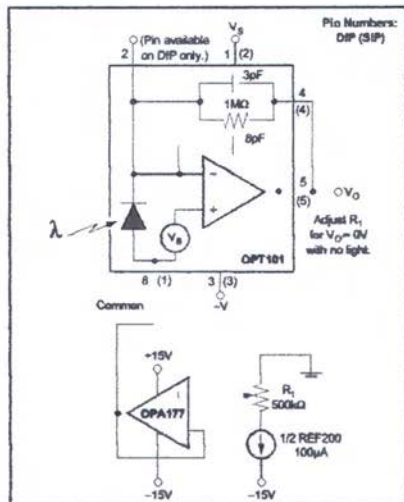


FIGURE 3. Dark Error (Offset) Adjustment Circuit.

CHANGING RESPONSIVITY

An external resistor, R_{EXT} , can be connected to set a different voltage responsivity. To increase the responsivity, this resistor can be placed in series with the internal 1MΩ (Figure 4a), or with the DIP package, the external resistor can replace the internal resistor by not connecting pin 4 (Figure 4b). The second configuration also allows the circuit gain to be reduced below 10⁶V/A by using external resistors of less than 1MΩ.

Figure 4 includes tables showing the responsivity and bandwidth. For values of R_f less than 1MΩ, an external capacitor, C_{EXT} should be connected in parallel with R_f .

This capacitor eliminates gain peaking and prevents instability. The value of C_{EXT} can be determined from the table in Figure 4. Values of R_f , other than shown in the table, can be interpolated.

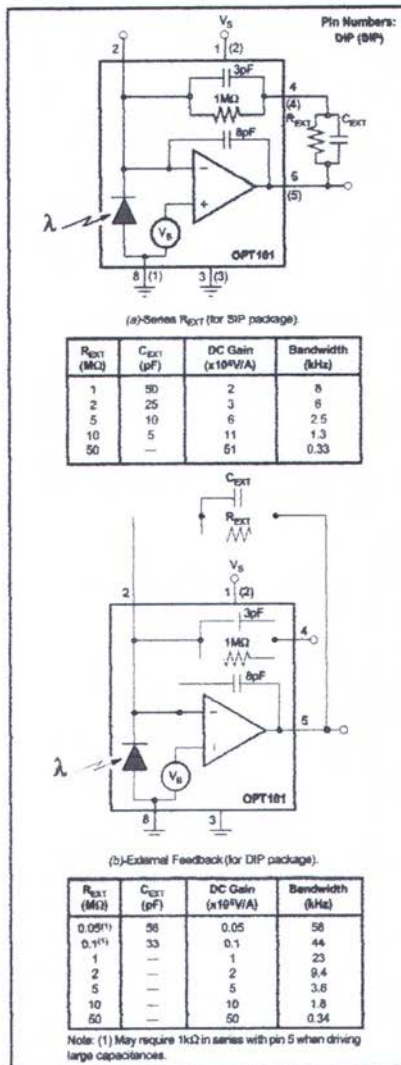


FIGURE 4. Changing Responsivity with External Resistor.

LIGHT SOURCE POSITIONING

The OPT101 is tested with a light source that uniformly illuminates the full area of the integrated circuit, including the op amp. Although IC amplifiers are light-sensitive to some degree, the OPT101 op amp circuitry is designed to minimize this effect. Sensitive junctions are shielded with metal, and the photodiode area is very large relative to the op amp input circuitry.

If your light source is focused to a small area, be sure that it is properly aimed to fall on the photodiode. A narrowly focused beam falling on only the photodiode will provide improved settling times compared to a source that uniformly illuminates the full area of the die. If a narrowly focused light source were to miss the photodiode area and fall only on the op amp circuitry, the OPT101 would not perform properly. The large $0.09^{\circ} \times 0.09^{\circ}$ ($2.29\text{mm} \times 2.29\text{mm}$) photodiode area allows easy positioning of narrowly focused light sources. The photodiode area is easily visible, as it appears very dark compared to the surrounding active circuitry.

The incident angle of the light source also effects the apparent sensitivity in uniform irradiance. For small incident angles, the loss in sensitivity is simply due to the smaller effective light gathering area of the photodiode (proportional to the cosine of the angle). At a greater incident angle, light is diffracted and scattered by the package. These effects are shown in the typical performance curve "Responsivity vs Incident Angle."

DYNAMIC RESPONSE

Using the internal $1\text{M}\Omega$ resistor, the dynamic response of the photodiode/op amp combination can be modeled as a simple $R \cdot C$ circuit with a -3dB cutoff frequency of

approximately 14kHz . The R and C values are $1\text{M}\Omega$ and 1pF respectively. By using external resistors, with less than 3pF parasitic capacitance, the frequency response can be improved. An external $1\text{M}\Omega$ resistor used in the configuration shown in Figure 4b will create a 23kHz bandwidth with the same 10^6V/A dc transimpedance gain. This yields a rise time of approximately $15\mu\text{s}$ (10% to 90%). Dynamic response is not limited by op amp slew rate. This is demonstrated by the dynamic response oscilloscope photographs showing virtually identical large-signal and small-signal response.

Dynamic response will vary with feedback resistor value as shown in the typical performance curve "Responsivity vs Frequency." Rise time (10% to 90%) will vary according to the -3dB bandwidth produced by a given feedback resistor value:

$$t_r = \frac{0.35}{f_c}$$

where:

t_r is the rise time (10% to 90%)

f_c is the -3dB bandwidth

LINEARITY PERFORMANCE

The photodiode is operated in the photoconductive mode so the current output of the photodiode is very linear with radiant power throughout a wide range. Nonlinearity remains below approximately 0.05% up to $100\mu\text{A}$ photodiode current. The photodiode can produce output currents of 1mA or greater with high radiant power, but nonlinearity increases to several percent in this region.

This very linear performance at high radiant power assumes that the full photodiode area is uniformly illuminated. If the light source is focused to a small area of the photodiode, nonlinearity will occur at lower radiant power.

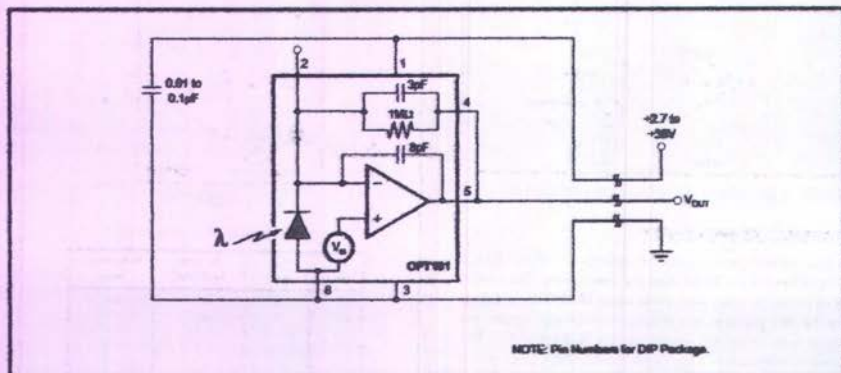


FIGURE 5. Three-Wire Remote Light Measurement.



OPT101

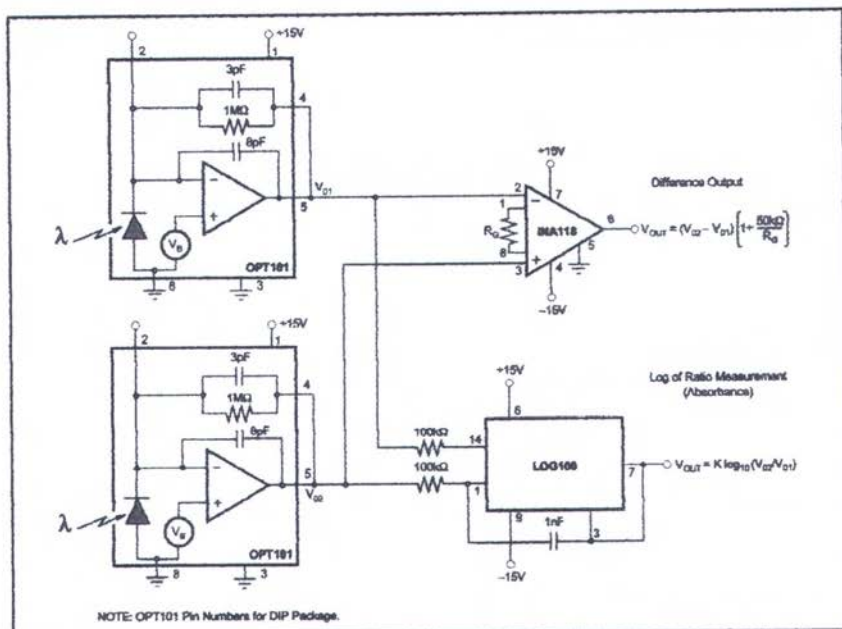


FIGURE 6. Differential Light Measurement.

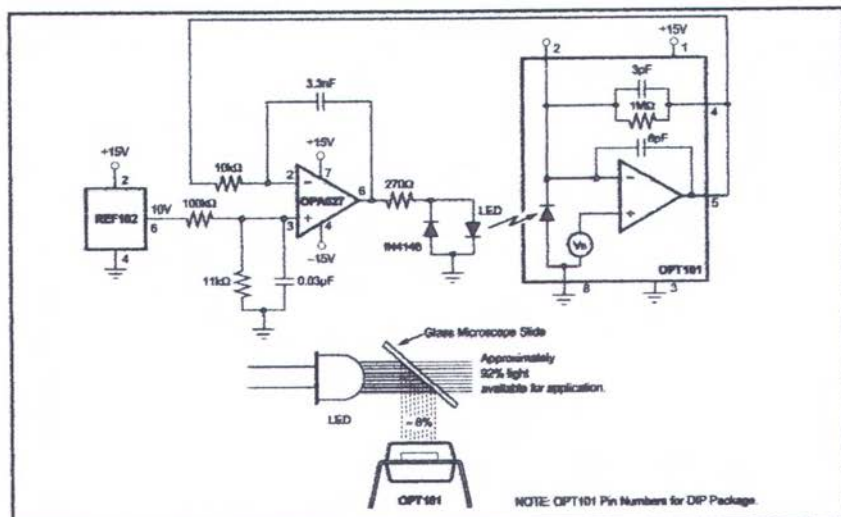


FIGURE 7. LED Output Regulation Circuit.

LM356, LM250, LM250V,
LM2904A, LM2904V,
NCV250V

Single Supply Dual Operational Amplifiers

Utilizing the circuit designs perfected for Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature low power drain, a common mode input voltage range extending to ground/ V_{EE} , and single supply or split supply operation. The LM356 device is equivalent to one half of an LM324.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V (LM258/LM358)
3.0 V to 26 V (LM2904, A, V)
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



PDP-8
N, AN, VN SUFFIX
CASE 626

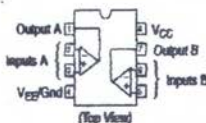


SO-8
D, VD SUFFIX
CASE 751



Micro8™
DMR2 SUFFIX
CASE 946A

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, etc. V_{CC} > 0V

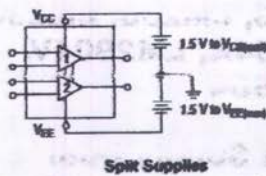
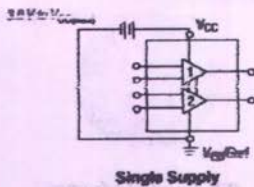
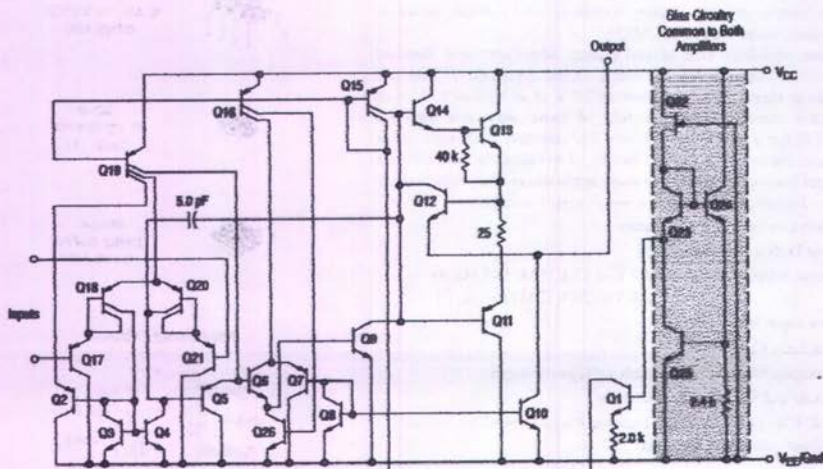


Figure 1.



LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted)

Rating	Symbol	LM258 LM358	LM2904, LM2904A LM2904V, NCV2904	Unit
Power Supply Voltages				Vdc
Single Supply	V _{CC}	32	26	
Split Supplies	V _{CC} , V _{EE}	±16	±13	
Input Common-Mode Voltage Range (Note 1)	V _{ICR}	+32	-26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	V _{ICR}	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	t _{sc}	Continuous		
Junction Temperature	T _J	150		°C
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 3)	R _{θJA}	238		°C/W
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +125		°C
ESD Tolerance – Human Body Model (Note 4)	–	2000		V
Operating Ambient Temperature Range	T _A			°C
LM258		-25 to +85	–	
LM358		0 to +70	–	
LM2904/LM2904A		–	-40 to +105	
LM2904V, NCV2904 (Note 5)		–	-40 to +125	

- Split Power Supplies.
- For Supply Voltages less than 32 V for the LM258/358 and 26 V for the LM2904, A, V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- R_{θJA} for Case 845A.
- ESD data available upon request.
- NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM258			LM358			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V (26 V for LM2904, V), $V_{CC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_B = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 6) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 6)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	50	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	I_B	-	-45	-150	-	-45	-150	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 7), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	A_{VOL}	50 25	100	-	25 15	100	-	V/mV
Channel Separation $1.0\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection $R_B \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	dB
Output Voltage-High Limit $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3 26 27	3.5 -	-	3.3 26 27	3.5 -	-	V
Output Voltage-Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{IO} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current $V_{IO} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{IO} = -4.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{O-}	10 12	20 50	-	10 12	20 50	-	mA μA
Output Short Circuit to Ground (Note 8)	I_{SC}	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 6) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = -$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = -$	I_{CC}	-	1.5 0.7	3.0 1.2	-	1.5 0.7	3.0 1.2	mA

6. LM258: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +65^\circ\text{C}$
LM2904/LM2904A: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
LM2904V & NCV2904: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$

7. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.
8. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{CC} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	LM2904			LM2904A			LM2904V, NCV2904			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V (26 V for LM2904, V), $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_B = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 9) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 9)	V_{IO}	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	-	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9) Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	I_{IO} I_{IB}	-	5.0 45	50 200	-	5.0 45	50 200	-	5.0 45	50 200	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 10), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}	V_{ICR}	0	-	24.3	0	-	24.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	A_{VOL}	25 15	100 -	- -	25 15	100 -	- -	25 15	100 -	- -	V/mV
Channel Separation 1.0 kHz $\leq f \leq 20$ kHz, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	50	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	50	100	-	50	100	-	50	100	-	dB
Output Voltage-High Limit $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3 22 23	3.5 -	- -	3.3 22 23	3.5 -	- -	3.3 22 23	3.5 -	- -	V
Output Voltage-Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{O-}	10 -	20 -	- -	10 -	20 -	- -	10 -	20 -	- -	mA μA
Output Short Circuit to Ground (Note 11)	I_{SC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 9) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	-	1.5 0.7	3.0 1.2	-	1.5 0.7	3.0 1.2	-	1.5 0.7	3.0 1.2	mA

2. LM258: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
LM2904/LM2904A: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
LM2904V & NCV2904: $T_{\text{low}} = -60^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$

10. The input common mode voltages or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.

11. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM358 series is made using two internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

Each amplifier is biased from an internal voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.

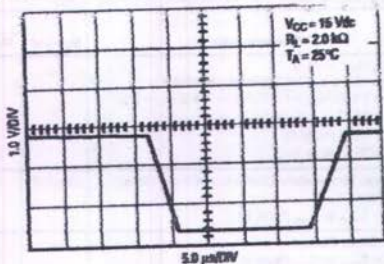


Figure 3. Large Signal Voltage Follower Response

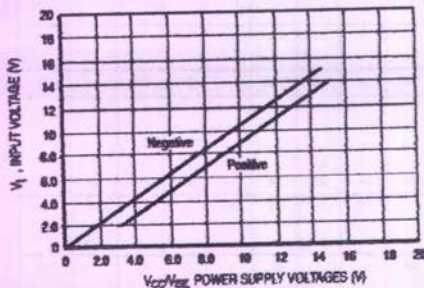


Figure 4. Input Voltage Range

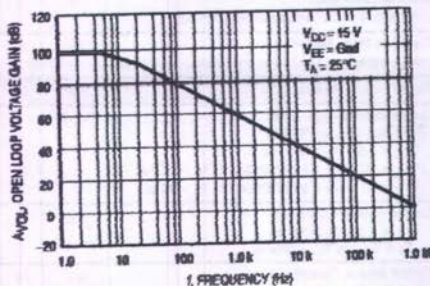


Figure 5. Large-Signal Open Loop Voltage Gain

V_O, OUTPUT VOLTAGE RANGE (V_{pp})

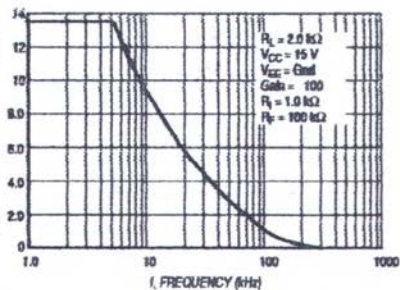


Figure 6. Large-Signal Frequency Response

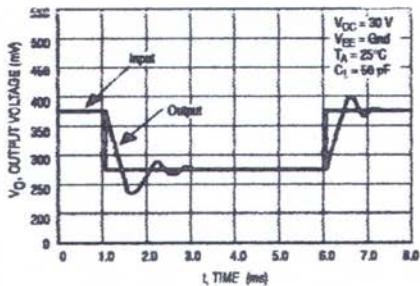


Figure 7. Small Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

I_{CC}, POWER SUPPLY CURRENT (mA)

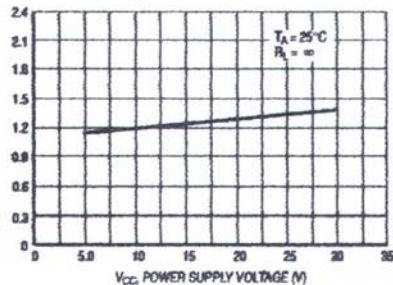


Figure 8. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

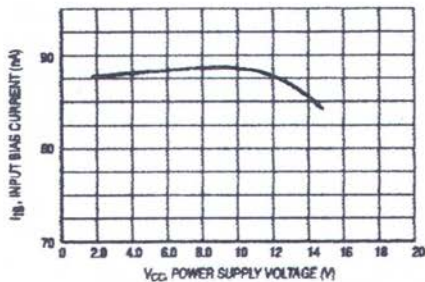


Figure 9. Input Bias Current versus Supply Voltage

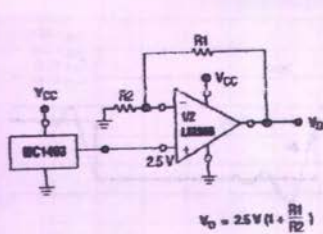


Figure 10. Voltage Reference

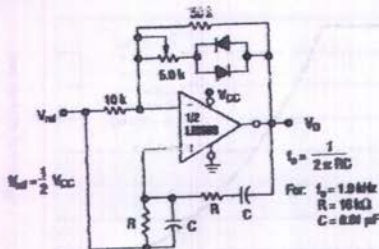


Figure 11. Wien Bridge Oscillator

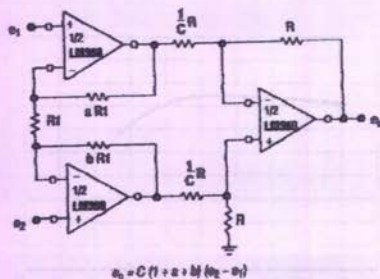


Figure 12. High Impedance Differential Amplifier

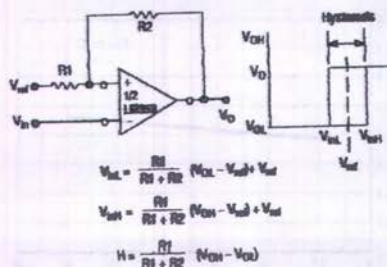


Figure 13. Comparator with Hysteresis

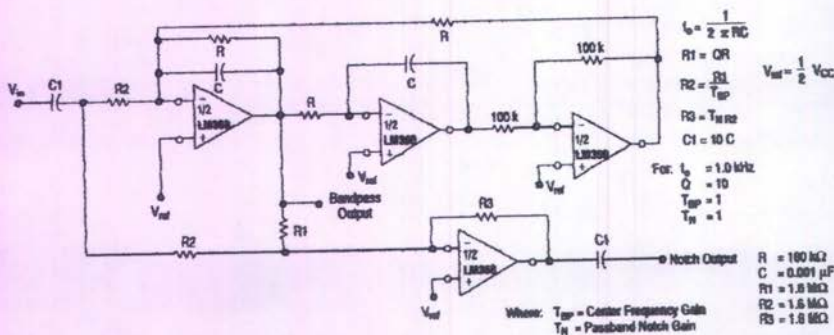


Figure 14. Bi-Quad Filter

ADC0802, ADC0803 ADC0804

8-Bit, Microprocessor-
Compatible, AD Converters

August 1997

Features

- 80C48 and 80C48/85 Bus Compatible - No Interfacing Logic Required
- Conversion Time < 100µs
- Easy Interface to Most Microprocessors
- Will Operate in a "Stand Alone" Mode
- Differential Analog Voltage Inputs
- Works with Bandgap Voltage References
- TTL Compatible Inputs and Outputs
- On-Chip Clock Generator
- 0V to 5V Analog Voltage Input Range (Single + 5V Supply)
- No Zero-Adjust Required

Description

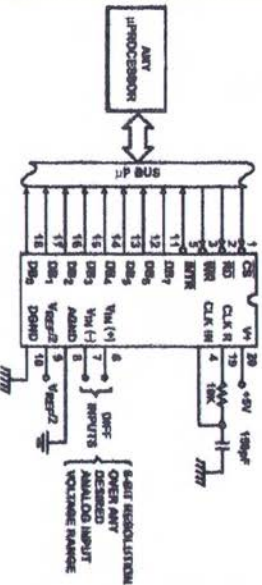
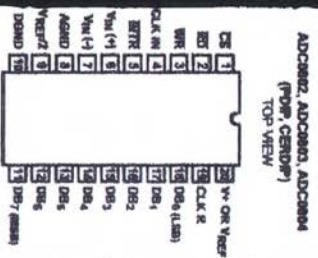
The ADC0802 family are CMOS 8-Bit, successive-approximation A/D converters which use a modified potentiometric ladder and are designed to operate with the 8080A control bus via three-state outputs. These converters appear to the processor as memory locations or I/O ports, and hence no interfacing logic is required.

The differential analog voltage input has good common-mode-rejection and permits offsetting the analog zero-tique-voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Ordering Information

PART NUMBER	ERROR	EXTERNAL CONDITIONS	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ADC0802LCN	$\pm 1/2$ LSB	$V_{REF2} = 2.500V_{DC}$ (No Adjustments)	0 to 70	20 LD PDIP	E20.3
ADC0802LCD	$\pm 3/4$ LSB		-40 to 85	20 LD CERDIP	F20.3
ADC0802LD	± 1 LSB		-55 to 125	20 LD CERDIP	F20.3
ADC0803LCN	$\pm 1/2$ LSB	V_{REF2} Adjusted for Correct Full Scale Resolving	0 to 70	20 LD PDIP	E20.3
ADC0803LCD	$\pm 3/4$ LSB		-40 to 85	20 LD CERDIP	F20.3
ADC0803CMM	± 1 LSB		-40 to 85	20 LD 501C	M20.3
ADC0803LD	± 1 LSB		-55 to 125	20 LD CERDIP	F20.3
ADC0804LCN	± 1 LSB	$V_{REF2} = 2.500V_{DC}$ (No Adjustments)	0 to 70	20 LD PDIP	E20.3
ADC0804LCD	± 1 LSB		-40 to 85	20 LD CERDIP	F20.3
ADC0804CMM	± 1 LSB		-40 to 85	20 LD 501C	M20.3

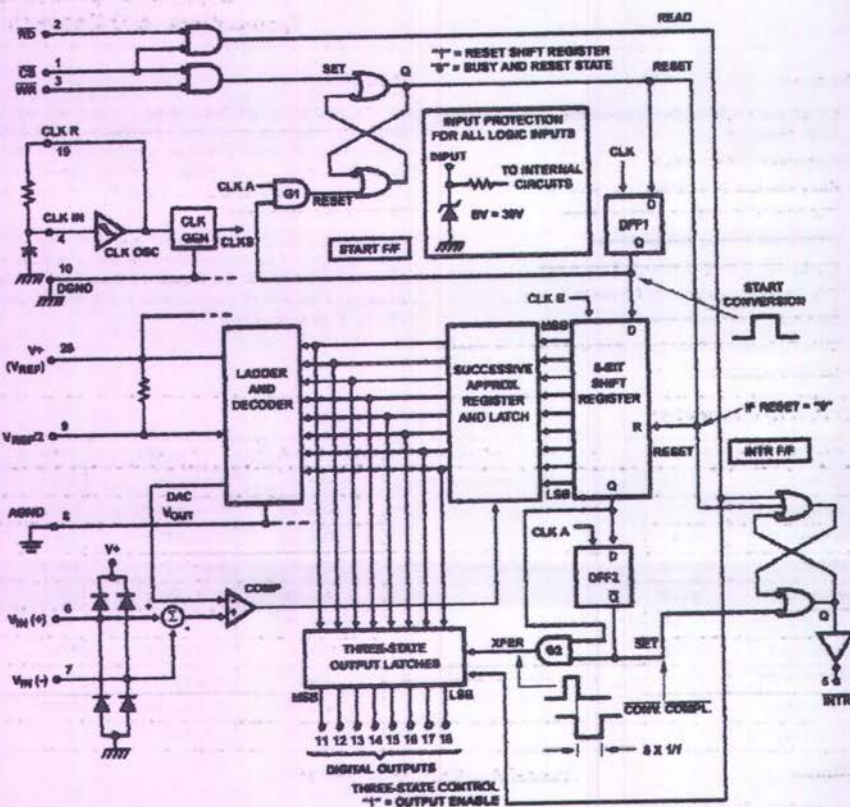
Typical Application Schematic



NOTE: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Follow proper IC Handling Procedures.

80C48/85: EN5121 or 521-724-7143 | Copyright © Intersil Corporation, 1998

Functional Diagram



ADC0802, ADC0803, ADC0804

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	0.5V
Voltage at Any Input	-0.3V to (V ⁺ + 0.3V)

Operating Conditions

Temperature Range	
ADC0802/03/LD	-55°C to 125°C
ADC0802/03/04/LCD	-40°C to 85°C
ADC0802/03/04/LCN	0°C to 70°C
ADC0803/04/LCWM	-40°C to 85°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
PdIP Package	125	N/A
CERDIP Package	80	20
SOIC Package	120	N/A
Maximum Junction Temperature		
Hermetic Package	175°C	
Plastic Package	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 180°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering, 10s)	300°C	
(SOIC - Lead Tips Only)		

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications (Notes 1, 7)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CONVERTER SPECIFICATIONS $V^+ = 5V$, $T_A = 25^\circ C$ and $f_{CLK} = 640kHz$, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0802	$V_{REF}/2 = 2.500V$	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0803	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0804	$V_{REF}/2 = 2.500V$	-	-	± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND-0.05	-	$(V^+) + 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V^+ = 5V \pm 10\%$ Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
CONVERTER SPECIFICATIONS $V^+ = 5V$, $0^\circ C$ to $70^\circ C$ and $f_{CLK} = 640kHz$, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0802	$V_{REF}/2 = 2.500V$	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0803	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0804	$V_{REF}/2 = 2.500V$	-	-	± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND-0.05	-	$(V^+) + 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V^+ = 5V \pm 10\%$ Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
CONVERTER SPECIFICATIONS $V^+ = 5V$, $-25^\circ C$ to $85^\circ C$ and $f_{CLK} = 640kHz$, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0802	$V_{REF}/2 = 2.500V$	-	-	$\pm 3/4$	LSB
ADC0803	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 3/4$	LSB
ADC0804	$V_{REF}/2 = 2.500V$	-	-	± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND-0.05	-	$(V^+) + 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V^+ = 5V \pm 10\%$ Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

ADC0802, ADC0803, ADC0804

Electrical Specifications (Notes 1, 7) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CONVERTER SPECIFICATIONS $V_{+} = 5V$, $25^{\circ}C$ to $125^{\circ}C$ and $I_{CLK} = 640kHz$, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error ADC0802 ADC0803	$V_{REF2} = 2.500V$ V_{REF2} Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	± 1	LSB
V_{REF2} Input Resistance	Input Resistance at Pin 8	1.0	1.3	-	k Ω
Average Input Voltage Range	(Note 2)	-	$\pm 1/8$	$(V_{+}) \pm 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Average Input Voltage Ranges	-	$\pm 1/8$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{+} = 8V$, 10% Over Allowed Input Voltage Range	-	$1/16$	$1/16$	LSB
AC TESTING SPECIFICATIONS $V_{+} = 8V$, and $T_A = 25^{\circ}C$, Unless Otherwise Specified					
Clock Frequency, f_{CLK}	$V_{+} = 6V$ (Note 3)	100	640	1280	kHz
	$V_{+} = 8V$	100	640	800	kHz
Clock Periods per Conversion (Note 4), t_{CONV}		82	-	73	Clocks/Conv
Conversion Rate in Free-Running Mode, CR	RTRR tied to \overline{WR} with $CS = 0V$, $f_{CLK} = 640kHz$	-	-	8888	Convs/s
Width of \overline{WR} Input (Start Pulse Width), t_{WWR}	$CS = 0V$ (Note 5)	100	-	-	ns
Access Time Delay from Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid, t_{AC}	$C_L = 100pF$ (See Bus Character for Larger C_L)	-	125	200	ns
Three-State Control (Delay from Rising Edge of \overline{RD} to Hi-Z State), t_{H-Z}	$C_L = 100pF$, $R_L = 10k$ (See Three-State Test Circuit)	-	125	250	ns
Delay from Falling Edge of \overline{WR} to Reset of RTRR, t_{WR} , t_{H-Z}		-	300	450	ns
Input Capacitance of Logic Control Inputs, C_{IN}		-	5	-	pF
Three-State Output Capacitance (Data Buffer), C_{OUT}		-	5	-	pF
DC DIGITAL LEVELS AND DC SPECIFICATIONS $V_{+} = 8V$, and T_{MIN} to T_{MAX} , Unless Otherwise Specified					
CONTROL INPUTS (Note 6)					
Logic '1' Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), V_{IH1}	$V_{+} = 5.25V$	2.0	-	V_{+}	V
Logic '0' Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), V_{IL1}	$V_{+} = 4.75V$	-	-	0.8	V
CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage, V_{T+CLK}		2.7	3.1	3.5	V
CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage, V_{T-CLK}		1.5	1.8	2.1	V
CLK IN (Pin 4) Hysteresis, V_H		0.6	1.3	2.0	V
Logic '1' Input Current (All Inputs), I_{IH1}	$V_{IN} = 8V$	-	0.005	1	μA
Logic '0' Input Current (All Inputs), I_{IL0}	$V_{IN} = 0V$	-	-0.005	-	μA
Supply Current (Includes Ladder Current), I_{+}	$f_{CLK} = 640kHz$, $T_A = 25^{\circ}C$ and $CS = HI$	-	1.3	2.5	mA
DATA OUTPUTS AND RTRR					
Logic '0' Output Voltage, V_{OL}	$I_O = 1.6mA$, $V_{+} = 4.75V$	-	-	0.4	V

ADC0802, ADC0803, ADC0804

Electrical Specifications (Notes 1, 7) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Logic "1" Output Voltage, V_{OH}	$I_O = -360\mu A$, $V^+ = 4.75V$	2.4	-	-	V
Three-State Disabled Output Leakage (All Data Buffers), I_{LO}	$V_{OUT} = 0V$	-3	-	-	μA
	$V_{OUT} = 5V$	-	-	3	μA
Output Short Circuit Current, I_{SOURCE}	V_{OUT} Short to Gnd $T_A = 25^\circ C$	4.5	6	-	mA
Output Short Circuit Current, I_{SINK}	V_{OUT} Short to V^+ $T_A = 25^\circ C$	9.0	16	-	mA

- NOTES:
- All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified. The separate AGND point should always be wired to the DGND, being careful to avoid ground loops.
 - For $V_{IN(-)} > V_{IN(+)}$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see Block Diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V^+ supply. Be careful, during testing at low V^+ levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct - especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full scale. As long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V to 5V input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950V over temperature variations, initial tolerance and loading.
 - With $V^+ = 6V$, the digital logic interfaces are no longer TTL compatible.
 - With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process.
 - The CS input is assumed to bracket the WR strobe input so that timing is dependent on the WR pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the WR pulse (see Timing Diagrams).
 - CLK IN (pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately.
 - None of these A/Ds requires a zero-adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0V, or if a narrow full scale span exists (for example: 0.5V to 4V full scale) the $V_{IN(-)}$ input can be adjusted to achieve this. See the Zero Error description in this data sheet.

Timing Waveforms

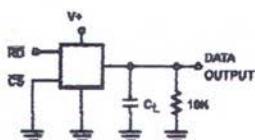


FIGURE 1A. t_{1H}

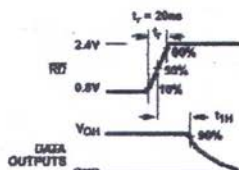


FIGURE 1B. t_{1H} , $C_L = 10pF$

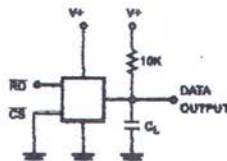


FIGURE 1C. t_{0H}

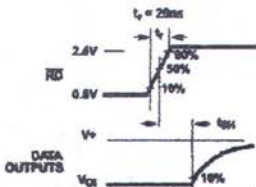


FIGURE 1D. t_{0H} , $C_L = 10pF$

FIGURE 1. THREE-STATE CIRCUITS AND WAVEFORMS

Typical Performance Curves

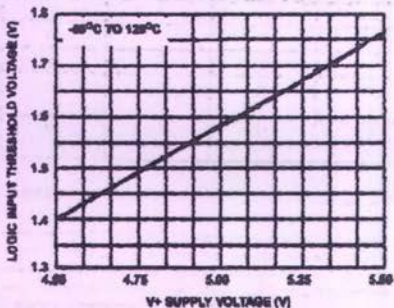


FIGURE 2. LOGIC INPUT THRESHOLD VOLTAGE vs SUPPLY VOLTAGE

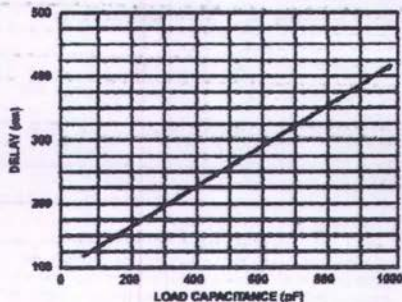


FIGURE 3. DELAY FROM FALLING EDGE OF RD TO OUTPUT DATA VALID vs LOAD CAPACITANCE

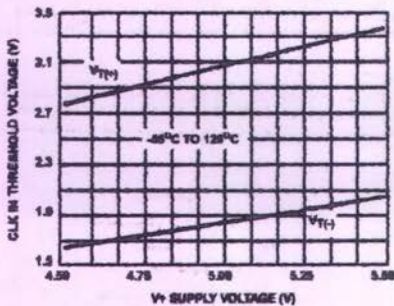


FIGURE 4. CLK IN SCHMITT TRIP LEVELS vs SUPPLY VOLTAGE

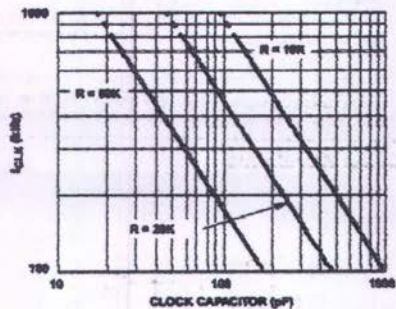


FIGURE 5. f_{CLK} vs CLOCK CAPACITOR

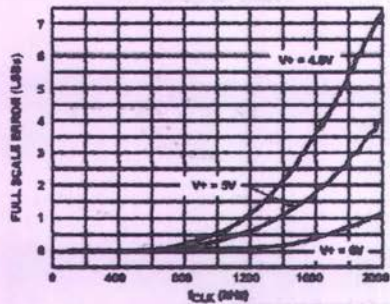


FIGURE 6. FULL SCALE ERROR vs f_{CLK}

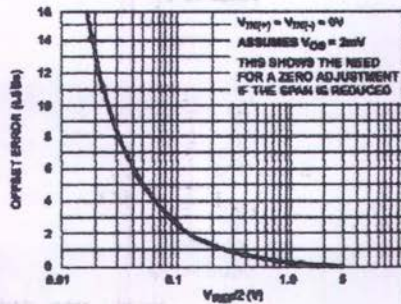


FIGURE 7. EFFECT OF UNADJUSTED OFFSET ERROR

Typical Performance Curves (Continued)

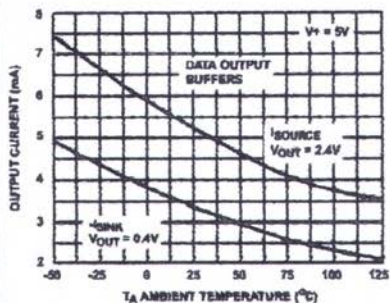


FIGURE 8. OUTPUT CURRENT vs TEMPERATURE

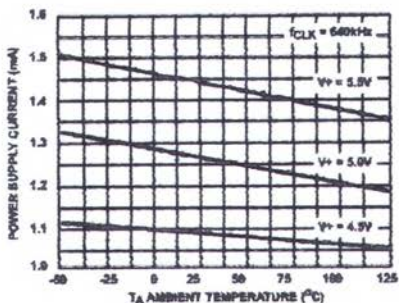


FIGURE 9. POWER SUPPLY CURRENT vs TEMPERATURE

Timing Diagrams

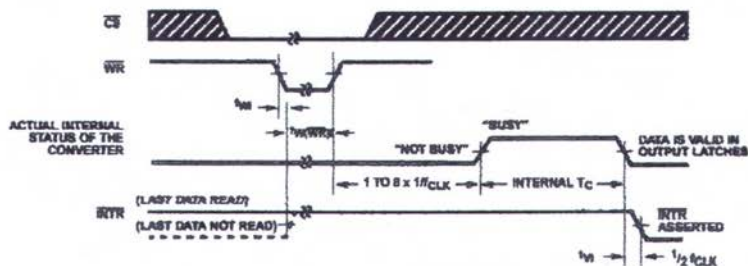


FIGURE 16A. START CONVERSION

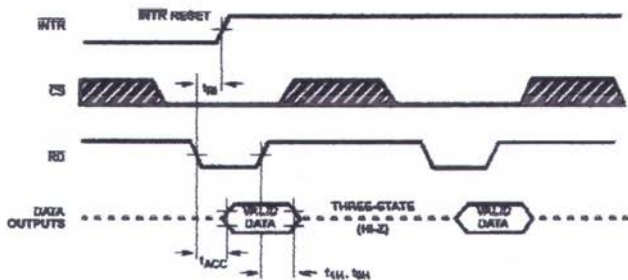


FIGURE 10B. OUTPUT ENABLE AND REBET INTR

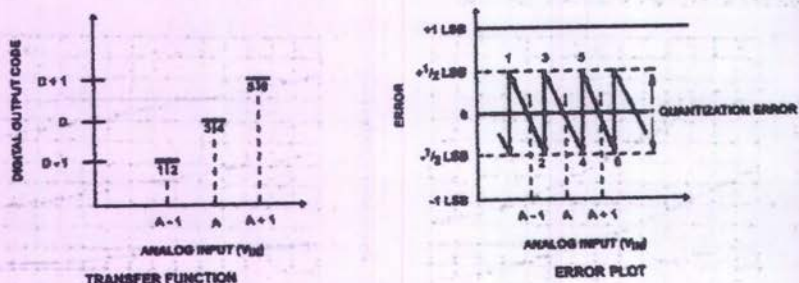
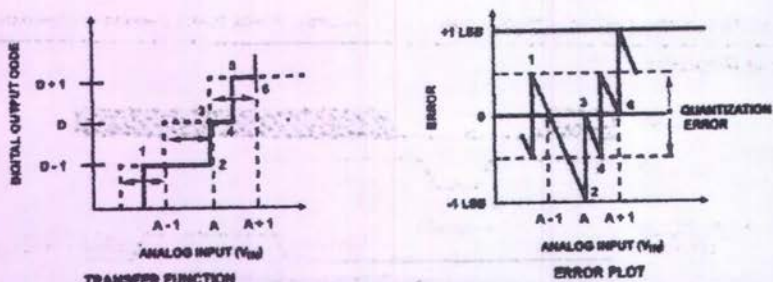
FIGURE 11A. ACCURACY = ± 0.5 LSB; PERFECT A/DFIGURE 11B. ACCURACY = $\pm 1/2$ LSB

FIGURE 11. CLARIFYING THE ERROR SPECS OF AN A/D CONVERTER

Understanding A/D Error Specs

A perfect A/D transfer characteristic (staircase wave-form) is shown in Figure 11A. The horizontal scale is analog input voltage and the particular points labeled are in steps of 1 LSB (19.53mV with 2.5V tied to the V_{REF} pin). The digital output codes which correspond to these inputs are shown as D-1, D, and D+1. For the perfect A/D, not only will center-value (A - 1, A, A + 1, ...) analog inputs produce the correct output digital codes, but also each riser (the transitions between adjacent output codes) will be located $\pm 1/2$ LSB away from each center-value. As shown, the risers are ideal and have no width. Correct digital output codes will be provided for a range of analog input voltages which extend $\pm 1/2$ LSB from the ideal center-values. Each tread (the range of analog input voltage which provides the same digital output code) is therefore 1 LSB wide.

The error curve of Figure 11B shows the worst case transfer function for the ADC0802. Here the specification guarantees that if we apply an analog input equal to the LSB analog voltage center-value, the A/D will produce the correct digital code.

Next to each transfer function is shown the corresponding error plot. Notice that the error includes the quantization uncertainty of the A/D. For example, the error at point 1 of Figure 11A is $+1/2$ LSB because the digital code appeared $1/2$ LSB in advance of the center-value of the tread. The error plots always have a

constant negative slope and the abrupt upside steps are always 1 LSB in magnitude, unless the device has missing codes.

Detailed Description

The functional diagram of the ADC0802 series of A/D converters operates on the successive approximation principle (see Application Notes AN016 and AN020 for a more detailed description of this principle). Analog switches are closed sequentially by successive-approximation logic until the analog differential input voltage ($V_{IN(-)} - V_{IN(+)}$) matches a voltage derived from a bipped resistor string across the reference voltage. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles), an 8-bit binary code (1111 1111 = full scale) is transferred to an output latch.

The normal operation proceeds as follows. On the high-to-low transition of the WR input, the internal SAR latches and the shift-register stages are reset, and the INTR output will be high. As long as the CS input and WR input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition. After the requisite number of clock pulses to complete the conversion, the INTR pin will make a high-to-low transition. This can be used to interrupt a processor, or otherwise signal the availability of a new conversion. A R operation (with CS low) will clear the INTR line high again.

ADC0802, ADC0803, ADC0804

The device may be operated in the free-running mode by connecting INTR to the WR input with CS = 0. To ensure start-up under all possible conditions, an external WR pulse is required during the first power-up cycle. A conversion-in-process can be interrupted by issuing a second start command.

Digital Operation

The converter is started by having CS and WR simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the interrupt (INTR) F/F and inputs a "1" to the D flip-flop, DFF1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of DFF1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present either WR or CS is a "1", the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This allows for asynchronous or wide CS and WR signals.

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR operation) it appears as the input to DFF2. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the Three-State output latches. When DFF2 is subsequently clocked, the \bar{Q} output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the INTR output signal.

When data is to be read, the combination of both \bar{CS} and \bar{RD} being low will cause the INTR F/F to be reset and the three-state output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

Digital Control Inputs

The digital control inputs (CS, RD, and WR) meet standard TTL logic voltage levels. These signals are essentially equivalent to the standard A/D Start and Output Enable control signals, and are active low to allow an easy interface to microprocessor control buses. For non-microprocessor based applications, the CS input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function obtained by an active low pulse at the WR input (pin 3). The Output Enable function is achieved by an active low pulse at the RD input (pin 2).

Analog Operation

The analog comparisons are performed by a capacitive charge summing circuit. Three capacitors (with precise ratioed values) share a common node with the input to an auto-zeroed comparator. The input capacitor is switched between $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$, while two ratioed reference capacitors are switched between taps on the reference voltage divider string. The net charge corresponds to the weighted difference between the input and the current total value set by the successive approximation register. A correction is made to offset the comparison by $1/2$ LSB (see Figure 11A).

Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

This A/D gains considerable applications flexibility from the analog differential voltage input. The $V_{IN(-)}$ input (pin 7) can be used

to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4mA - 20mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input.

The time interval between sampling $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$ is $4^{1/2}$ clock periods. The maximum error voltage due to this slight time difference between the input voltage samples is given by:

$$\Delta V_E(\text{MAX}) = (V_{\text{PEAK}})(2\pi f_{\text{CM}}) \left[\frac{4.5}{f_{\text{CLK}}} \right]$$

where:

ΔV_E is the error voltage due to sampling delay.

V_{PEAK} is the peak value of the common-mode voltage.

f_{CM} is the common-mode frequency.

For example, with a 80Hz common-mode frequency, f_{CM} , and a 640kHz A/D clock, f_{CLK} , keeping this error to $1/4$ LSB (-5mV) would allow a common-mode voltage, V_{PEAK} , given by:

$$V_{\text{PEAK}} = \frac{[\Delta V_E(\text{MAX}) f_{\text{CLK}}]}{(2\pi f_{\text{CM}})(4.5)}$$

or

$$V_{\text{PEAK}} = \frac{(5 \times 10^{-3})(640 \times 10^3)}{(6.28)(80)(4.5)} = 1.9V.$$

The allowed range of analog input voltage usually places more severe restrictions on input common-mode voltage levels than this.

An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be easily handled by making use of the differential input (see Reference Voltage Span Adjust).

Analog Input Current

The internal switching action causes displacement currents to flow at the analog inputs. The voltage on the on-chip capacitance to ground is switched through the analog differential input voltage, resulting in proportional currents entering the $V_{IN(+)}$ input and leaving the $V_{IN(-)}$ input. These current transients occur at the leading edge of the internal clocks. They rapidly decay and do not inherently cause errors as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock period.

Input Bypass Capacitors

Bypass capacitors at the inputs will average these charges and cause a DC current to flow through the output resistances of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the $V_{IN(+)}$ input voltage at full scale. For a 640kHz clock frequency with the $V_{IN(+)}$ input at 5V, this DC current is at a maximum of approximately 5 μ A. Therefore, bypass capacitors should not be used at the analog inputs or the $V_{\text{REF}2}$ pin for high resistance sources (>1k Ω). If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the effects of the voltage drop across this input resistance, due to the average value of the input current, can be compensated by a full scale adjustment while the given source resistor and input bypass capacitor are both in place. This is possible because the average value of the input current is a precise linear function of the differential input voltage at a constant conversion rate.

Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used will not cause errors since the input currents settle out prior to the comparison time. If a low-pass filter is required in the system, use a low-value series resistor ($\leq 1k\Omega$) for a passive RC section or add an op amp RC active low-pass filter. For low-source-resistance applications ($\leq 1k\Omega$), a $0.1\mu F$ bypass capacitor at the inputs will minimize EMI due to the series lead inductance of a long wire. A 100Ω series resistor can be used to isolate this capacitor (both the R and C are placed outside the feedback loop) from the output of an op amp, if used.

Stray Pickup

The leads to the analog inputs (pins 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize stray signal pickup (EMI). Both EMI and undesired digital-clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below $5k\Omega$. Larger values of source resistance can cause undesired signal pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate this pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see Analog Input Current). This scale error depends on both a large source resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be compensated by a full scale adjustment of the A/D (see Full Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place, and the desired conversion rate.

Reference Voltage Span Adjust

For maximum application flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a 5V, 2.5V or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 12.

Notice that the reference voltage for the IC is either $1/2$ of the voltage which is applied to the $V+$ supply pin, or is equal to the voltage which is externally forced at the $V_{REF}/2$ pin. This allows for a pseudo-ratiometric voltage reference using, for the $V+$ supply, a 5V reference voltage. Alternatively, a voltage less than 2.5V can be applied to the $V_{REF}/2$ input. The internal gain to the $V_{REF}/2$ input is 2 to allow this factor of 2 reduction in the reference voltage.

Such an adjusted reference voltage can accommodate a reduced span or dynamic voltage range of the analog input voltage. If the analog input voltage were to range from 0.5V to 3.5V, instead of 0V to 5V, the span would be 3V. With 0.5V applied to the $V_{IN(-)}$ pin to absorb the offset, the reference voltage can be made equal to $1/2$ of the 3V span or 1.5V. The A/D now will encode the $V_{IN(+)}$ signal from 0.5V to 3.5V with the 0.5V input corresponding to zero and the 3.5V input corresponding to full scale. The full 8 bits of resolution are therefore applied over this reduced analog input voltage range. The requisite connections are shown in Figure 13. For expanded scale inputs, the circuits of Figures 14 and 15 can be used.

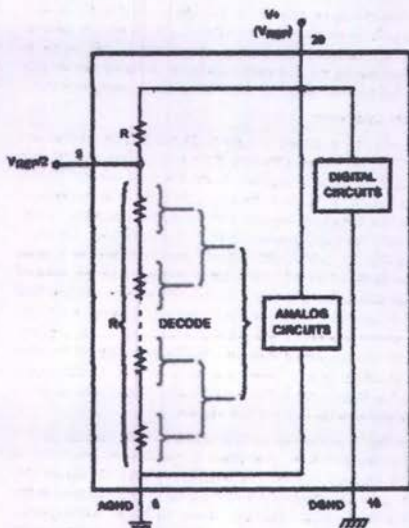


FIGURE 12. THE V_{REF} DESIGN ON THE IC

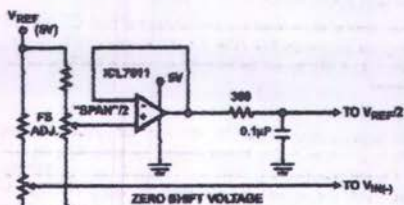


FIGURE 13. OFFSETTING THE ZERO OF THE ADC0802 AND PERFORMING AN INPUT RANGE (SPAN) ADJUSTMENT

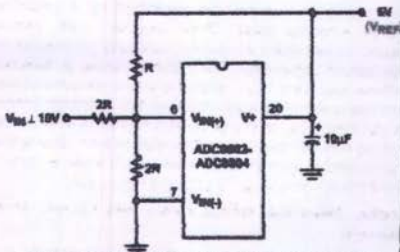


FIGURE 14. HANDLING $\pm 16V$ ANALOG INPUT RANGE

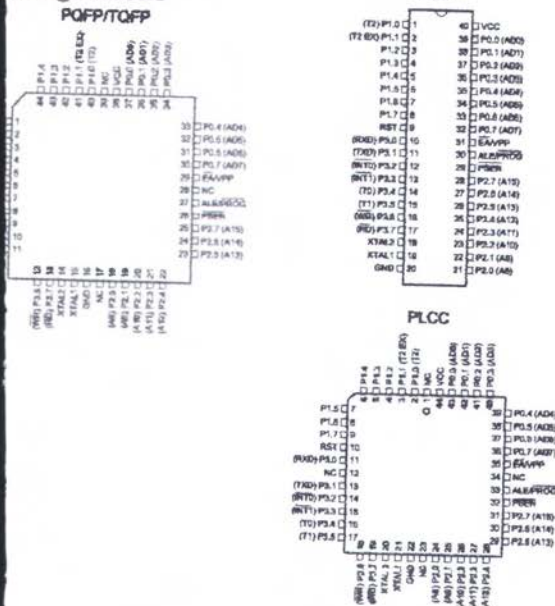
Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Operating Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Byte-level Program Memory Lock
- 8-bit Internal RAM
- 8 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Two Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K Bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. 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 Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Configurations



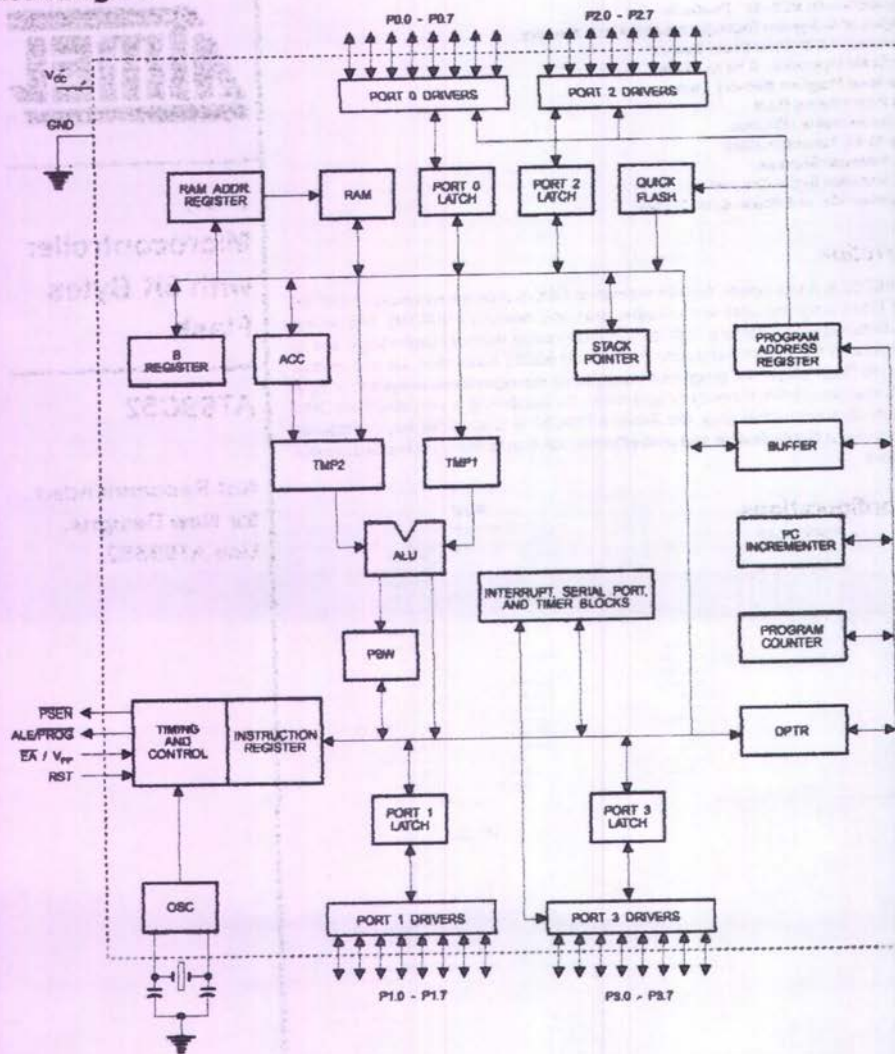
8-bit
Microcontroller
with 8K Bytes
Flash

AT89C52

Not Recommended
for New Designs.
Use AT89S52.



Block Diagram



AT89C52 provides the following standard features: 8K of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit counters, a six-vector two-level interrupt architecture, duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuit. In addition, the AT89C52 is designed with static logic operation down to zero frequency and supports two user-selectable power saving modes. The Idle Mode allows 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 disables the oscillator, disabling all other chip functions until hardware reset.

Description

voltage.

d.

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

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal

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

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

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the counter 2 external count input (P1.0/T2) and the counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as in the following table.

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

Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. 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 pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups 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

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

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

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

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

RST

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

ALE/PROG

Address Latch Enable 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 (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.

PSEN

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

When the AT89C52 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

EA/VP

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

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 when 12V programming is selected.

XTAL1

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

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD X0000000	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000		0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP X0000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0X000000							0AFH
0A0H	P2 11111111							0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF X000000X						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H	PO 11111111	SP 00001111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0X000000	87H

Special Function Registers

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

Not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Accesses to these addresses will in general return a 'data', and write accesses will have an indeterminate effect.

Hardware should not write '1s to these unlabelled locations 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.

Timer 2 Registers Control and status bits are contained in registers TZCON (shown in Table 2) and TZMOD (shown in Table 4) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

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

TZCON - Timer/Counter 2 Control Register

CON Address = 0C2H

Reset Value = 0000 0000B

Addressable

TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T $\bar{2}$	CP/RL $\bar{2}$
7	6	5	4	3	2	1	0

Function

Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.

Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on TZEK and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).

Reload clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for the receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.

Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for the transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.

Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on TZEK if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at TZEK.

Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.

Timer or counter select for Timer 2. C/T $\bar{2}$ = 0 for timer function, C/T $\bar{2}$ = 1 for external event counter (falling edge triggered).

Capture/Reload select. CP/RL $\bar{2}$ = 1 causes captures to occur on negative transitions at TZEK if EXEN2 = 1. CP/RL $\bar{2}$ = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at TZEK when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

MEMORY

52 implements 256 bytes of on-chip RAM. The bytes occupy a parallel address space to the Action Registers. That means the upper 128 of the same addresses as the SFR space but are parallel from SFR space.

Instruction accesses an internal location above 4, the address mode used in the instruction

specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

MOV DATA, #DATA



Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

MOV #80, @data

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89C52 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51.

Timer 2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit C/T2 in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 3.

Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

Table 3. Timer 2 Operating Modes

RCLK +TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16-bit Auto-reload
0	1	1	16-bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external

input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected. Since two machine cycles (oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is 1/24 of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

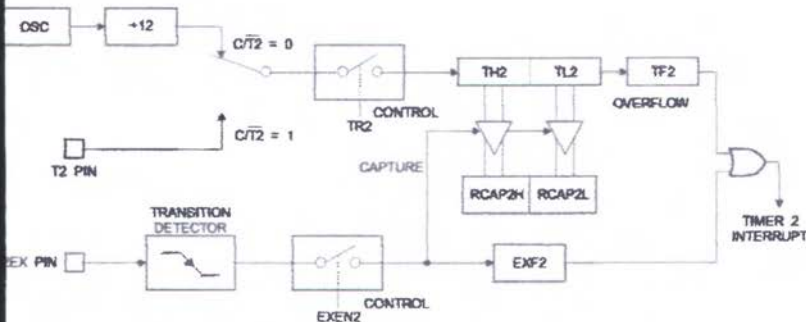
Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, when set, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

Auto-reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down and is configured in its 16-bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 4). Upon reset, the DCEN bit is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

Timer in Capture Mode



shows Timer 2 automatically counting up when $\overline{C/T2} = 0$. In this mode, two options are selected by bit $\overline{C/T2}$ in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0xFFFF and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with the value in RCAP2H and RCAP2L. The values in RCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16-bit reload can be triggered by an overflow or by a 1-to-0 transition at external EXEN2. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled.

The DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls

the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0xFFFF and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively.

A logic 0 at T2EX makes Timer 2 count down. The timer underflows when TH2 and TL2 equal the values stored in RCAP2H and RCAP2L. The underflow sets the TF2 bit and causes 0xFFFFH to be reloaded into the timer registers.

The EXF2 bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, EXF2 does not flag an interrupt.

Figure 2. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 0)

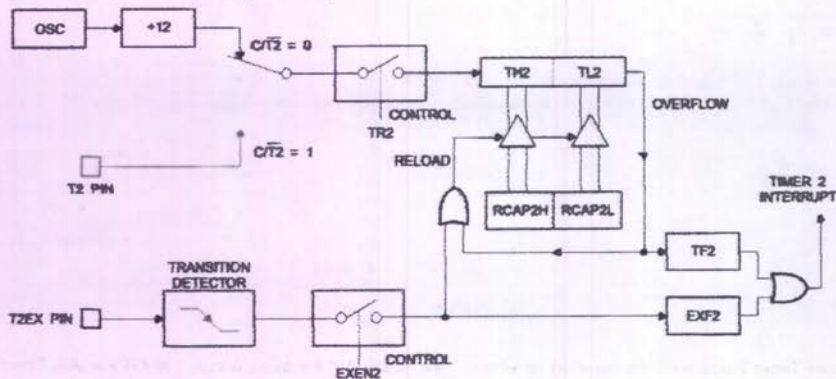


Table 4. TZMOD – Timer 2 Mode Control Register

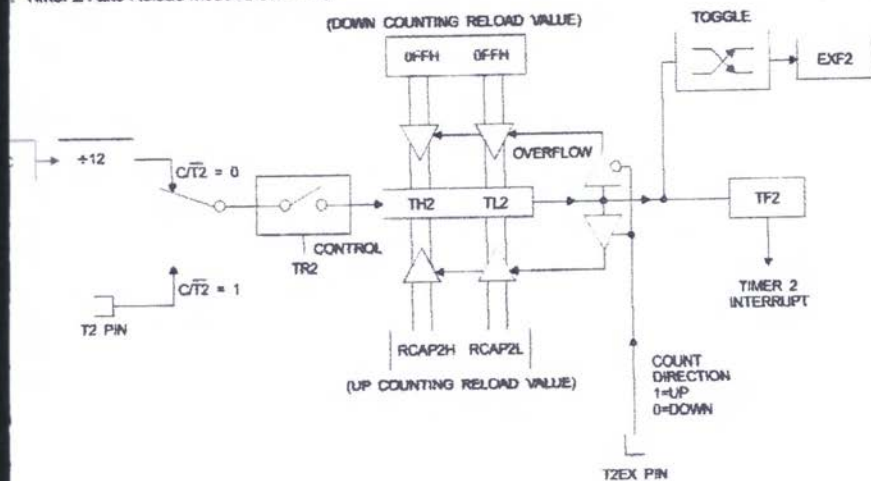
TZMOD Address = 0C9H Reset Value = XXXX XX00B

Not Bit Addressable

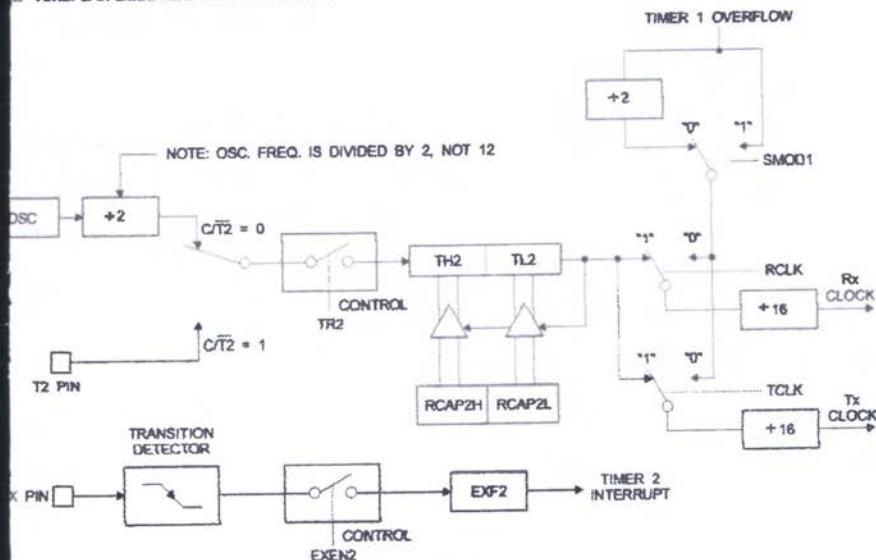
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	-	-	-	-	-	-	T2OE	DCEN

Symbol	Function
-	Not implemented, reserved for future
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.

Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)



4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting TCLK and/or RCLK in TZCON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and/or TCLK puts Timer 2 into the baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode, in that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rates} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation (CP/T2 = 0). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it

increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

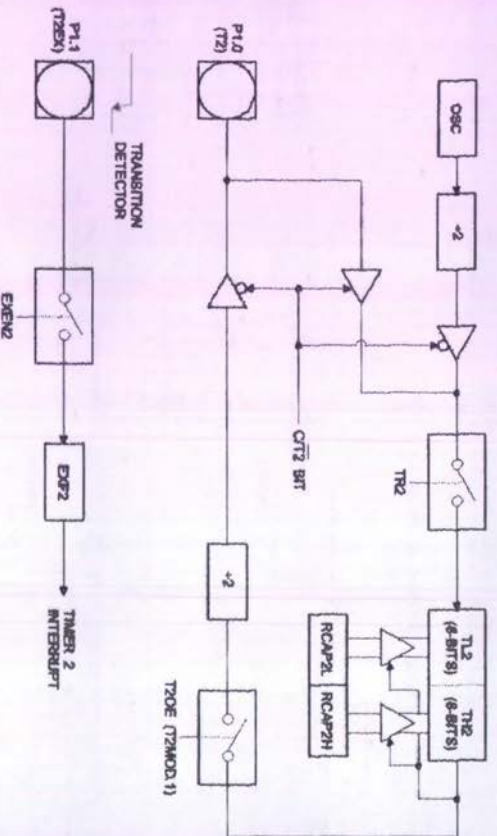
$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rate} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times \{65536 - (\text{RCAP2H} \cdot \text{RCAP2L})\}}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H/RCAP2L taken as a 16-bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4, figure is valid only if RCLK or TCLK = 1 in TZCON, that a rollover in TH2 does not set TF2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-transition in TZEX will set EXF2 but will not cause a read from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer 2 is in use as a baud rate generator, TZEX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running (TR2 = 1) as a timer the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the Timer increments every state time, and the results of a read/write may not be accurate. The RCAP2 registers are read but should not be written to, because a write to them would be ignored. If the baud rate generator is not being used, the timer should be turned off (clear TR2) before accessing Timer 2 or RCAP2 registers.

Figure 5. Timer 2 in Clock-out Mode





KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
ITS

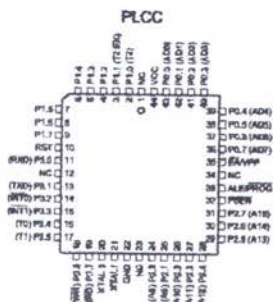
Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Operating Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- 8-level Program Memory Lock
- 16 x 8-bit Internal RAM
- 8 Programmable I/O Lines
- 16-bit Timer/Counters
- 4 Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Power Idle and Power-down Modes

Description

AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K Bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. On-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a traditional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU and Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Configurations



8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

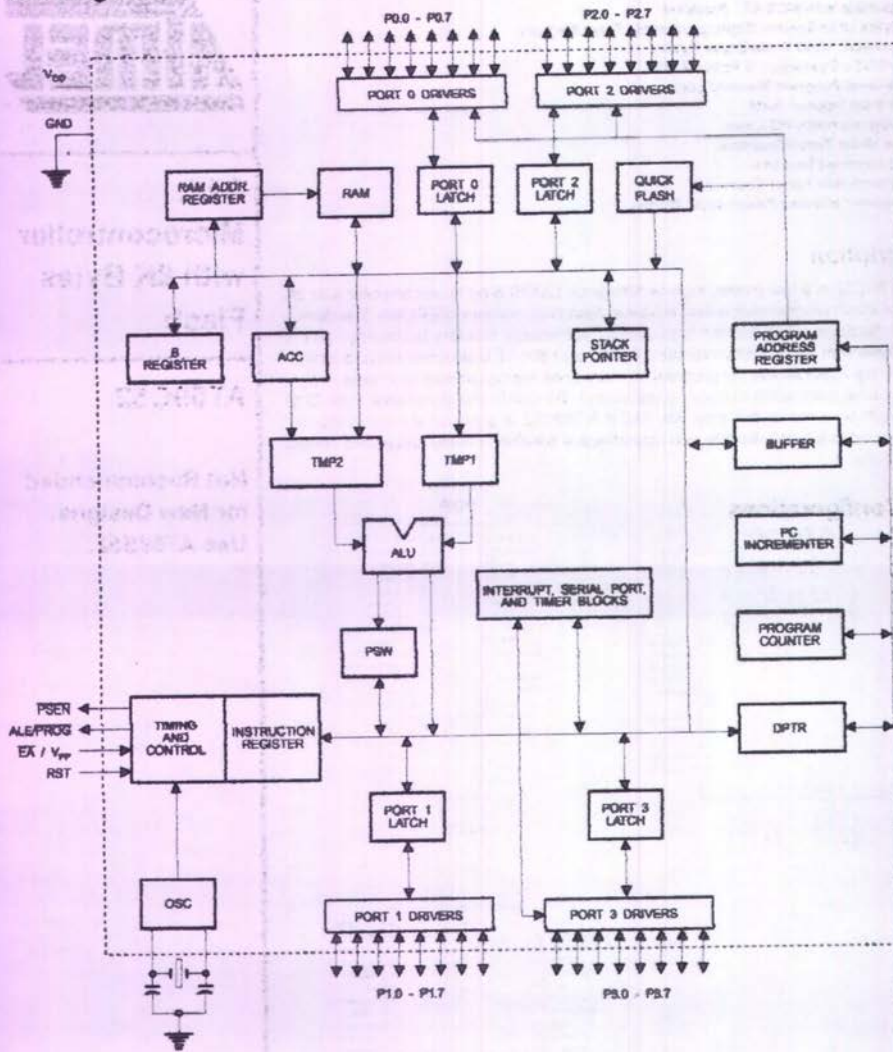
AT89C52

Not Recommended
for New Designs.
Use AT89S52.

Rev. 05134-02/00



Block Diagram



AT89C52 provides the following standard features: 8K of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit counters, a six-vector two-level interrupt architecture, duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuit. In addition, the AT89C52 is designed with static logic operation down to zero frequency and supports two selectable power saving modes. The Idle Mode puts the CPU to sleep while allowing the RAM, timer/counters, port, and interrupt system to continue functioning. Power-down mode saves the RAM contents but disables the oscillator, disabling all other chip functions until hardware reset.

Description

Supply voltage.

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

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

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

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

Port 1.0 and Port 1.1 can be configured to be the counter 2 external count input (P1.0/T2) and the counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

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

Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. 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 pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{OL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups 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

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

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

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

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

RST

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

ALE/PROG

Address Latch Enable 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 (PROG) during Flash programming.

In normal operation, ALE is omitted at a constant rate of 1/8 the oscillator frequency and may be used for external

Function Registers

on-chip memory area called the Special Function Registers (SFR) space is shown in Table 1.

Not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Accesses to these addresses will in general return 0, and write accesses will have an indeterminate result.

Users should not write 1s to these unlisted locations. 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.

Timer 2 Registers Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 4) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

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

T2CON – Timer/Counter 2 Control Register

Address = 0C8H

Reset Value = 0000 0000B

Bit	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T $\bar{2}$	CP/RL $\bar{2}$
7	6	5	4	3	2	1	0	

Bit	Function
7	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
6	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 Interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
5	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
4	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
3	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
2	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
1	Timer or counter select for Timer 2. C/T $\bar{2}$ = 0 for timer function. C/T $\bar{2}$ = 1 for external event counter (falling edge triggered).
0	Capture/Reload select. CP/RL $\bar{2}$ = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/RL $\bar{2}$ = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

Memory

The AT89C52 implements 256 bytes of on-chip RAM. The bytes occupy a parallel address space to the Function Registers. That means the upper 128 bytes use the same addresses as the SFR space but are separate from SFR space.

The instruction accesses an internal location above 00FH, the address mode used in the instruction

specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, @data
```



Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

MOV @R0, @data

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89C52 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51.

Timer 2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit C/T2 in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 3.

Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

Table 3. Timer 2 Operating Modes

RCLK + TCLK	CP/RLZ	TR2	MODE
0	0	1	16-bit Auto-reload
0	1	1	16-bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external

input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples show a high in one cycle and a low in the next cycle, count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected. Since two machine cycles (oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is 1/24 of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

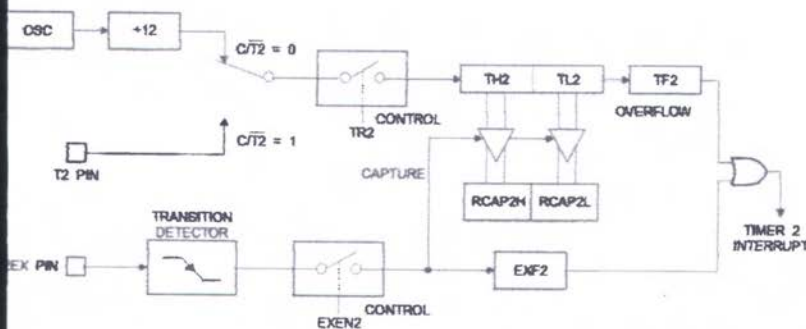
Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, like TF2, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

Auto-reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down when configured in its 16-bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 4). Upon reset, the DCEN is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

Timer in Capture Mode



shows Timer 2 automatically counting up when $C/T2 = 0$. In this mode, two options are selected by bit $T2CON$. If $EXEN2 = 0$, Timer 2 counts up to $0xFFFFH$ and then sets the $TF2$ bit upon overflow. The overflow also causes the 16-bit value in $RCAP2H$ and $RCAP2L$ to be reloaded into the timer registers, $TH2$ and $TL2$, respectively. If $EXEN2 = 1$, a 16-bit reload can be triggered by an overflow or by a 1-to-0 transition at external pin $T2EX$. This transition also sets the $EXF2$ bit. Both the $TF2$ and $EXF2$ bits can generate an interrupt if enabled.

The $DCEN$ bit enables Timer 2 to count up or down. In Figure 3. In this mode, the $T2EX$ pin controls

the direction of the count. A logic 1 at $T2EX$ makes Timer 2 count up. The timer will overflow at $0xFFFFH$ and set the $TF2$ bit. This overflow also causes the 16-bit value in $RCAP2H$ and $RCAP2L$ to be reloaded into the timer registers, $TH2$ and $TL2$, respectively.

A logic 0 at $T2EX$ makes Timer 2 count down. The timer underflows when $TH2$ and $TL2$ equal the values stored in $RCAP2H$ and $RCAP2L$. The underflow sets the $TF2$ bit and causes $0xFFFFH$ to be reloaded into the timer registers.

The $EXF2$ bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, $EXF2$ does not flag an interrupt.

Figure 2. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 0)

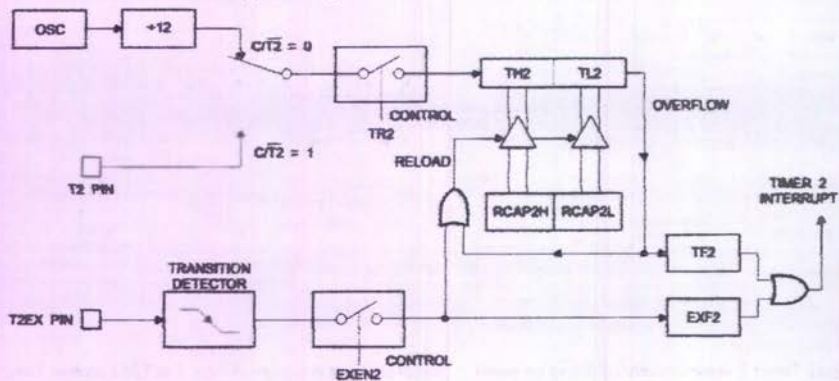
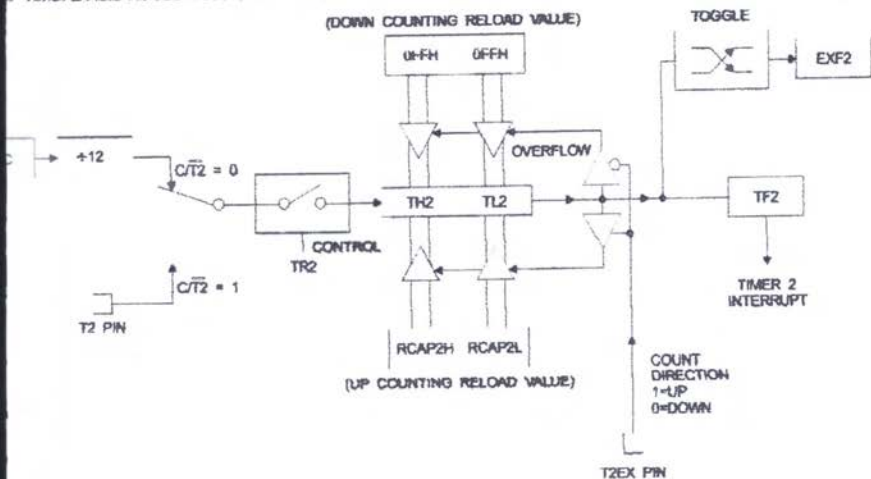


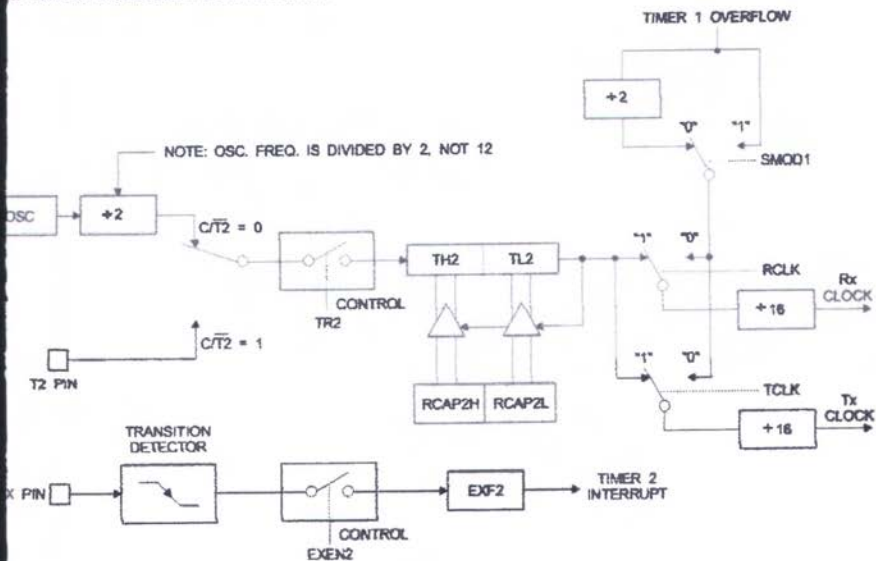
Table 4. T2MOD – Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H								Reset Value = XXXX XX00B	
Not Bit Addressable									
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	-	-	-	-	T2OE	DCEN	
Symbol	Function								
-	Not implemented, reserved for future								
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.								
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.								

3. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)



4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting TCLK and RCLK in T2CON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and TCLK puts Timer 2 into the baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode. In that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rate} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation (CP/12 = 0). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it

increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

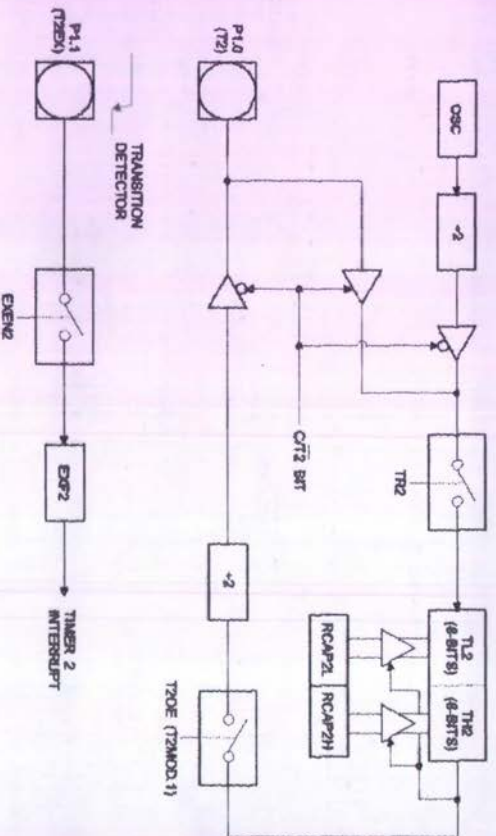
$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rate} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times (65536 - (RCAP2H \cdot RCAP2L))}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H-RCAP2L taken as a 16-bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4. Figure 4 is valid only if RCLK or TCLK = 1 in T2CON, that a rollover in TH2 does not set TR2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-transition in TZEX will set EXF2 but will not cause a rollover from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer 2 is in use as a baud rate generator, TZEX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running (TR2 = 1) as a timer the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the TH2 incremented every state time, and the results of a read write may not be accurate. The RCAP2 registers are read but should not be written to, because a write to them would overlap a reload and cause write and/or reload errors. Timer should be turned off (clear TR2) before accessing Timer 2 or RCAP2 registers.

Figure 5. Timer 2 in Clock-out Mode



Specification

For

LCD Module

ADT-1620/C/S/L



■ SCOPE

This specification is applied to the liquid crystal display module ADT-1620/C/S/L* with 1/16 duty.

*C: Bonding IC; S: STN LCD; L: LED Back-light

■ DISPLAY CONTENTS

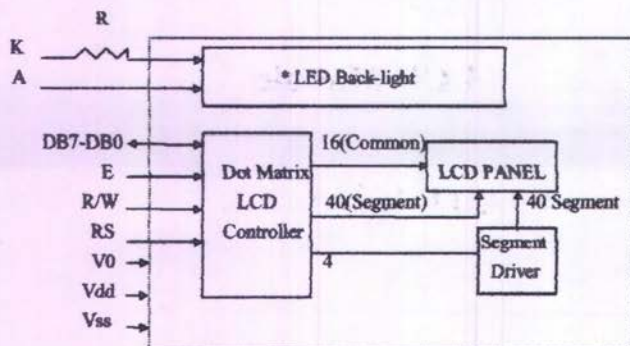
2 Lines x 16 characters (5 x 8 Dots) ,1/16 duty-cycle LCD display

■ MECHANICAL CHARACTERISTICS

Item	Description	Unit
Outline Dimension	80(L) x 36(W) x 9/13.0(H)*	mm
Viewing area	64.5(L) x 13.8(W)	mm
Weight	about 30/40	g

*L: H=13mm; 40g

■ SYSTEM BLOCK DIAGRAM



* Option

■ Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Min.	Max.	Unit
Power Supply for Logic	Vdd	-0.3	+7.0	V
Power supply for LCD Drive	Vlcd	Vdd-11.5	Vdd+0.3	V
Input Voltage	Vi	-0.3	Vdd+0.3	V
Operating Temperature	Ta	0	+50	°C
Storage Temperature	Tstg	-10	+60	°C



■ **Electrical Characteristics**(Ta=25°C;Vdd=5.0V±5%,otherwise specified)

Item	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Power Supply for Logic	Vdd	--	4.5	--	5.5	V
Operating Voltage for LCD	Vdd-Vo	--	--	5.0	--	V
Input "high" voltage	Vih	--	2.2	--	Vdd	V
Input "low" voltage	Vil	--	-0.3	--	0.6	V
Output "high" voltage	Voh	-Ioh=0.2mA	2.4	--	--	V
Output "low" voltage	Vol	Iol=1.2mA	--	--	0.4	V
Power supply current	Idd	Vdd=5.0v	--	1.0	3.0	mA

■ **LED Back-light**(*Option)

Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Conditions	Unit
Forward Voltage	VF	3.8	4.1	4.4	IF=10mA	V
Forward Current	IF	--	--	200	--	mA
Reverse Voltage	VR	--	--	10	--	V
Reverse Current	IR	--	--	100	VR=10V	uA
Brightness	B	60	--	--	IF=100mA	cd/m ²

■ **PIN ASSIGNMENT**

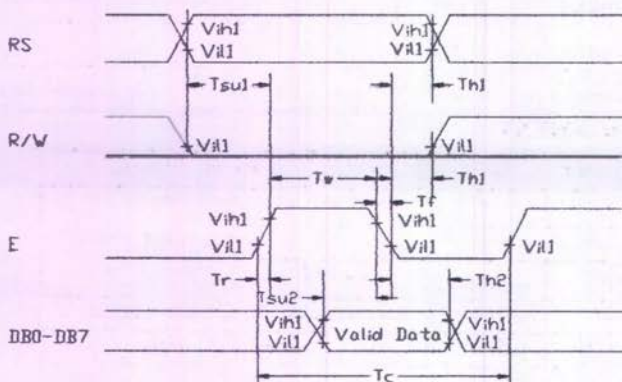
No.	Symbol	Level	Function
1	Vss	--	0V
2	Vdd	--	+5V
3	V0	--	for LCD
4	RS	H/L	Register Select: H--Data, L--Instruction
5	R/W	H/L	H--Read L--Write
6	E	H,H-L	Enable Signal
7	DB0	H/L	Data bus used in 8 bit transfer
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	Data bus for both 4 and 8 bit transfer
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	
	K	--	Led Back-light(-)
	A	--	Led Back-light(+)

AC Characteristics and Input Timing Characteristics

AC characteristics ($V_{dd}=5V \pm 10\%$, $V_{ss}=0V$ $T_a=25^\circ C$)

Write mode(writing data from Micom to KS0066)

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test pin
E cycle time	T_c	500	--	--	ns	E
E rise time	T_r	--	--	25	ns	E
E fall time	T_f	--	--	25	ns	E
E pulse width (High,Low)	T_w	220	--	--	ns	E
R/W and RS set-up time	T_{su1}	40	--	--	ns	R/W,RS
R/w and RS hold time	T_{h1}	10	--	--	ns	R/W,RS
Data set-up time	T_{su2}	60	--	--	ns	DB0-DB7
Data hold time	T_{h2}	10	--	--	ns	DB0-DB7

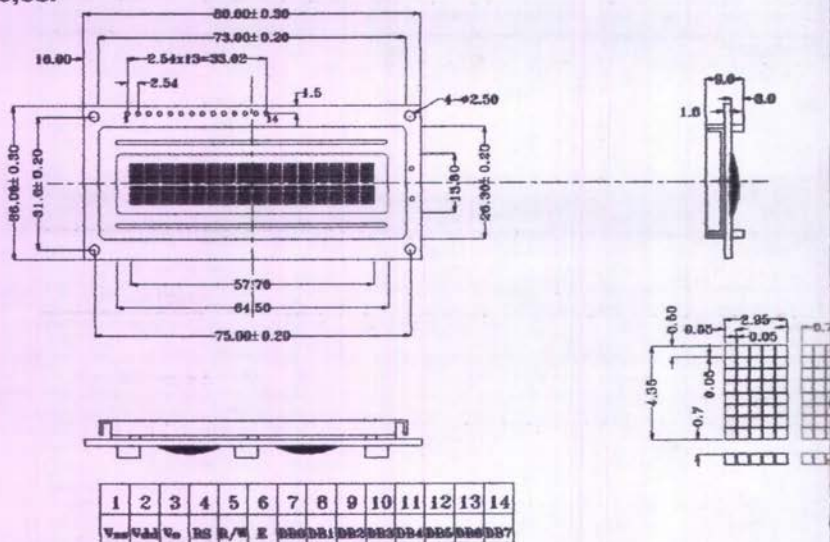


■CONTROL and DISPLAY COMMAND

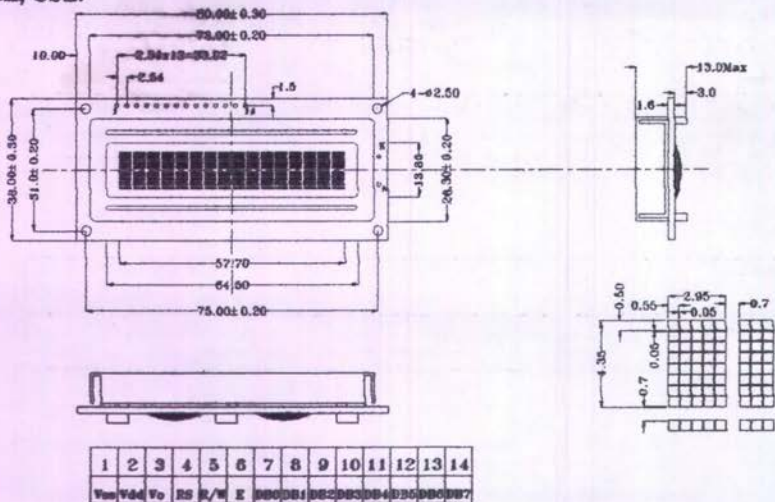
Command	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Remark
Display Clear	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	
Return Home	L	L	L	L	L	L	L	L	H	X	cursor move to first digit
Entry Mode Set	L	L	L	L	L	L	L	H	I/D	SH	I/D:set cursor move direction H-Increase L-Decrease SH:Specifies shift of display H-display is shifted L-Display is not shifted
Display On/Off	L	L	L	L	L	L	H	D	C	B	D:Display(H-on,L-off) C:Cursor(H-on,L-off) B:Blinking(H-on,L-off)
Shift	L	L	L	L	L	H	S/C	R/L	X	X	SC:(H-Display shift,L-Cursor move) R/L:(H-Right shift,L-Left shift)
Set Function	L	L	L	L	H	DL	N	F	X	X	DL:(H-8 bits interface,L-4 bits interface) N:(H-2 line display,L-1 line display) F:(H-5 x 10 dots,L-5 x 7 dots)
Set CG RAM Address	L	L	L	H	CG RAM address (corresponds to address)					CG RAM Data is sent and received after this setting	
Set DD RAM Address	L	L	H	DD RAM address					DD RAM Data is sent and received after this setting		
Read Busy Flag & Address	L	H	BF	Address Counter used for Both DD & CG RAM address					BF:(H-Busy ,L-Ready) —Reads BF indication internal operating is being performed —reads address counter contents		
Write Data	H	L	Write Data					Write data into DD or CG RAM			
Read Data	H	H	Read Data					Read data from DD or CGRAM			

■ ASSEMBLY DRAWING

●C, CS:



●CL, CSL:



K. A: LED Backlight

Note: QFP Package IC also available

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama, kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga Tugas Akhirku terlaksana dengan baik dan tepat waktu. Amiin.....

Kedua, kepada Ayah dan Ibu yang aku hormati dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa restu, serta dukungannya selama mengerjakan TA ini baik materiil maupun spiritual yang tiada habisnya serta maafkan atas segala kesalahan dan kekurangan yang telah ananda perbuat kepada ayah dan ibu selama ini. Tidak ada yang hal yang paling indah didunia ini selain membahagiakan ayah & ibu dan membuat ayah & ibu tersenyum.

Ketiga, kepada kakakQ tercinta Dian serta adik2 yang manis2 Hani n Selvi, makasih ya doa dan dukungannya dalam menyelesaikan TA ini.

Keempat, kepada Kekasihq tersayang Nani Ari Susanti serta keluarga, makasih ya dukungannya selama ini.

Kelima, kepada Komandan Hudi, makasih atas bantuan selama ngerjain TA, penghuni 'Statistik Room' Om Kholili, Alrizqi (Ibu e arek2 statistik room), Eta alias Etan Ndut, Cindy alias Mbak Welas, Rohis alias Bang Tegor, Fajar, Catur, Pasangan TerHot...Dimas n Eka, Tante linda, Siseksi Desy, Dedy makasih telah minjemi laptop serta printernya, Bang Zigan makasih softwarena, serta seluruh temen2Q 2005 seperjuangan yang selalu bersama-sama waktu kuliah.....Aku pasti akan merindukan saat-saat indah bersama kalian semua.

Keenam, kepada seluruh angkatan 2005, 2006 serta 2007 yang secara moril maupun spirituil ikut mendukung dalam

penyelesaian Tugas Akhir ini. Thanks atas semua bantuan yang telah kalian berikan. Maaf kalo nama2 kalian tidak disebut satu persatu.

Ketujuh, kepada seluruh pengurus himpunan Tekfis makasih ya doa dan dukungannya dalam menyelesaikan TA ini.

I Love U All.....

PETUNJUK PENGOPERASIAN ALAT

1. Berikan supply input tegangan 220 V AC (PLN) pada jack yang telah disediakan.
2. Tekan Switch Tombol ON sehingga indikator lampu switch menyala.
3. Masukkan Sampel Darah yang telah siap untuk diketahui nilai kadar kalsiumnya.
4. Tekan Button Start sehingga LCD akan menampilkan nilai Kadar Kalsium dari sampel.
5. Tekan Button Reset apabila akan mengukur Kadar Kalsiumnya yang lain.

**ALAT UKUR KADAR KALSIMUM
DALAM DARAH**