

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



SKRIPSI

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID CONTROLLER UNTUK
PENGENDALI PUTARAN MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR
BERBASIS MK AT89C51**

Disusun oleh :

**Rully
01.12.038**

Maret 2007



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO 2-1
KONSentrasi TEKNIK ENERGI LISTRIK

SKRIPSI

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID CONTROLLER UNTUK
KONTROL PUTARAN MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR
BERBASIS MK AT89C51

Disusun oleh :

Ilmuji

01.15.038

Malang 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID CONTROLLER UNTUK
PENGENDALI PUTARAN MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR
BERBASIS MK AT89C51

SKRIPSI

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

Disusun Oleh
RULLY
01.12.038

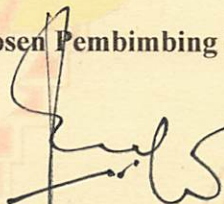
Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I,



Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT
NIP.Y. 102 870 0171

Dosen Pembimbing II,



Ir. Eko Nurcahyo
NIP.Y. 102 870 0172

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 103 950 0274

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO (S-1)
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2007**

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan judul “ Perencanaan Dan Pembuatan PID Controller Untuk Pengendali Putaran Motor DC Pada Belt Konveyor berbasis MK AT89C51 ” Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST).

Laporan ini tidak akan tersusun tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan penulis mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada:

1. **Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, selaku rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. **Ir. Mochtar Asroni, MSEE**, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
3. **Ir. F Yudi Limprptomo, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Insitut Teknologi Nasional Malang.
4. **Ir. Widodo Pudji M,MT**, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu,dorongan semangat dan bantuan.
5. **Ir.Eko Nurcahyo**, selaku Dosen pembimbing kedua yang telah memberikan masukan yang sangat berguna.
6. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besarku yang telah membesarkan,mendidik dan selalu mendoakanku sampai terwujudnya cita-citaku.
7. Vidya Faya Lestari,yang selalu mendukung segala langkahku,thank’s a lot sweety.
8. Arief dan mada maksih banyak atas masukannya bos,Dini tanpa pertolongan kamu aku ga mungkin bisa secepat ini Din. Buat Dabrotherhood ayo kita lanjutin misi kita.Tak lupa ucapan terimakasih untuk anak pleres16 yang masih tertinggal“Aku

misi kita. Tak lupa ucapan terimakasih untuk anak pleres¹⁶ yang masih tertinggal “Aku duluan yach”. Terimakasih juga atas semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian laporan skripsi ini.

Penulis juga menyadari bahwa apa yang telah dilakukan dalam pengerjaan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga semua saran dan kritik serta diskusi untuk kemungkinan pengembangan selanjutnya dari apa yang sudah dilakukan dalam skripsi ini sangat diharapkan oleh penulis.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi almamater tercinta, terutama rekan-rekan mahasiswa Jurusan Elektro Konsentrasi Energi Listrik Malang, bangsa dan negara.

Malang, April 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGUJI	iii
ABSTRAKSI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Sasaran	1
1.3.1 Tujuan Umum	1
1.3.2 Tujuan Khusus	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Ruang Lingkup.....	5
1.6 Manfaat pembuatan skripsi	5
1.6.1 Bagi Mahasiswa	5
1.6.2 Bagi Perguruan Tinggi	5
1.7 Metodologi Penulisan laporan	5
1.7.1 <i>Field Research</i>	6

1.7.2 <i>Library Research</i>	6
1.8 Sistematika Penulisan	6
BAB II KAJIAN TEORI	8
2.1 Definisi Konveyor	8
2.2 Mikrokontroler Atmel 89C51	8
2.2.1 Konfigurasi Pin AT89C51	9
2.2.2 Blok Diagram Mikrokontroler AT89C51	11
2.3 Rangkaian Darlington	11
2.4 Motor DC	12
2.4.1 Prinsip Kerja Motor DC	13
2.4.2 Model Matematik Motor DC	13
2.5 Kontroler	20
2.5.1 Kontroler Proposional	20
2.5.2 Kontroler Integral	23
2.5.3 Kontroler Diferensial	25
2.5.4 Kontroler PID	29
2.6 Penalaan parameter Kontroler PID	29
2.6.1 Metode Zigler-Nichols	30
BAB III PERENCANAAN SISTEM	33
3.1 Sistem Mekanik.....	33
3.2 Perencanaan Perangkat keras	34
3.3 MCU (<i>Microkontroller Unit</i>)	35
3.4 ADDA (<i>Analog to Digital and Digital to Analog</i>)	36
3.5 Driver Motor	38
3.6 Frekuensi to Voltage	40

3.7 Identifikasi Motor DC	41
3.8 Cara Kerja Konveyor	43
3.9 Rangkaian Perangkat Keras	44
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA	53
4.1 Pengujian Power Supply	54
4.2 Pengujian Sensor Kecepatan.....	54
4.3 Pengujian Motor dan Konveyor.....	55
4.3.1 Pengujian Kecepatan Motor Sebelum Dikontrol	56
4.3.2 Pengujian Kecepatan Konveyor Dengan PID.....	57
4.3.3 Hubungan Antar Mekanik Saat Motor terbebani	60
4.4 Hasil Kurva identifikasi motor sebelum dikontrol.....	60
4.4.1 Hasil settling k_p, T_I, T_d dan K_p, k_d, K_i	65
4.5 Hasil Kurva Motor Dengan P Kontroler.....	66
4.6 Hasil Kurva Motor Dengan PI Kontroler.....	68
4.7 Hasil Kurva Motor Dengan PID Kontroler.....	70
BAB V PENUTUP	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran-saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Nama Gambar	Halaman
2-1 .	Konfigurasi Pin AT89C51	9
2-2 .	Blok Diagram AT89C51	11
2-3 .	Rangkaian Darlington	12
2-4 .	Proses Konversi Energi.....	13
2-5 .	Arah Gaya Pada Motor DC.....	14
2-6 .	Rangkaian Ekuivalen Pada Motor DC	16
2-7 .	Diagram Blok Motor DC penguat Terpisah	19
2-8 .	Diagram blok kontroller proporsional.....	22
2-10	Respon sebuah pengendali proporsional	22
2-11.	Kurva Sinyal Kesalahan $e(t)$ Terhadap t	24
2-12.	Blok Diagram Hubungan Antara Besaran Kesalahan	24
2-13.	Blok Diagram Kontroler Differensial.....	25
2-14.	Kurva Waktu Hubungan Input Output Kont. Differensial	26
2-15.	Blok Diagram Kontroler PID.....	28
2-16.	Hubungan Fungsi Waktu Antara Sinyal input output PID	28
2-17.	Kurva Respon Tangga	30
2-18.	Kurva Respon Tangga Satuan Sistem.....	30
2-19.	Kurva Respon Berbentuk S	31
3-1.	Gambar Mekanik Konveyor	33
3-2.	Gambar perancangan sistem	34

3-3.	Blok Diagram Sistem.....	35
3-4.	Rangkaian MCU	36
3-5.	Konfigurasi PCF8591	37
3-6.	Rangkaian ADDA PCF8591.....	38
3-7.	Rangkaian Untuk Menjalankan Motor	39
3-8.	Rangkaian Frekuensi to Voltage.....	40
3-8.	Frekuensi to Voltage mengukur kecepatan konveyor	41
3-10.	<i>Setup</i> Peralatan Untuk Identifikasi Motor DC.....	41
3-11.	Osiloskop Hameg 500 Mhs 100 m Sa/s.....	42
3-12.	Blok Diagram Proses Identifikasi Motor.....	42
3-13.	Diagram alir cara kerja	43
3-14.	Diagram alir Algoritma PID	46
4-1.	Blok pengujian motor close loop	47
4-2.	Respon motor identifikasi.....	61
4-3.	Kurva hasil pendekatan.....	62
4-4.	Kurva Respon Motor Dengan P Kontroler	66
4-5.	Garis Singgung Kurva Dengan P Kontroler	59
4-6.	Kurva Respon Motor Dengan PI Kontroler.....	60
4-7.	Garis Singgung Motor Dengan PI Kontroler.....	69
4-8.	Kurva Respon Motor Dengan PID Kontroler	70
4-9.	Garis Singgung Motor Dengan PID Kontroler.....	70

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Nama Tabel	Halaman
2-1.	Penalaan Parameter Dengan Metode Kurva Reaksi	32
3-1.	Keterangan Masing-masik Konektor ADDA	36
3-2.	Hubungan Antara ADDA Dengan Mikrokontroler	37
4-1.	Hasil Pengujian Power Supply	54
4-2.	Data Hasil Pengukuran Frekuensi to Voltage.....	55
4-3.	Hasil Pengujian kecepatan Motor.....	56
4-4.	Hasil Pengujian konveyor Saat Terbebani (Set.100 rpm)	58
4-5.	Hasil Pengujian konveyor Saat Terbebani (Set.110 rpm)	59
4-6.	Penalaan Parameter Dengan Metode Kurva reaksi	63
4-7.	Hasil Perhitungan Parameter Kontroler.....	65

DAFTAR LAMPIRAN

Nama	Lampiran
Rangkaian keseluruhan.....	1
Listning Program.....	2
LM2917N.....	3
PCF8591.....	4
AT89C51.....	5

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi khususnya dibidang industri dewasa ini telah membawa perubahan dan kemajuan bagi peradaban kehidupan umat manusia ,dimana perkembangan teknologi tersebut telah mendorong manusia untuk membuat inovasi baru. Salah satu perkembangan teknologi yang bisa kita temukan dibidang industri. Perkembangan teknologi industri yang berkembang saat ini adalah peralatan yang mampu beroperasi secara otomatis dengan kinerja yang maksimal. Adanya suatu sistem kontrol yang baik akan dapat menunjang proses berjalannya industri tersebut dan untuk meningkatkan efisiensi dalam hal produksi.

Dalam suatu sistem kontrol dikenal pula istilah kontrol PID. Kontrol PID merupakan umpan balik yang paling populer di dalam dunia industri saat ini. Kontroler PID terbukti telah dapat memberikan performansi kontrol yang baik meskipun memiliki algoritma yang sederhana dan sangat mudah dipahami. Kontroler PID pun dikenal sebagai kontroler klasik yang dapat menghasilkan performansi yang paling baik.

Oleh sebab itu modul ini menguraikan desain kontrol PID(proporsional integral diferensial) dengan penggunaan perangkat keras mickrokontroller AT89C51 pada suatu system otomatisasi yang bekerja secara kontinyu.

Dalam hal ini dirancang suatu simulator system yang dapat mengangkut suatu produk maupun beban yang beratnya berbeda-beda.

Mengingat pentingnya hal tersebut diatas maka skripsi ini diberi judul:

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID CONTROLER UNTUK PENGENDALI PUTARAN MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR BERBASIS MICKROKONTROLER AT89C51.

1.2. Rumusan Masalah

Untuk melakukan pekerjaan yang kontinyu seperti mengangkut barang biasanya banyak yang menggunakan alat yang dinamakan konveyor. Kebanyakan beban yang di angkut konveyor adalah beban yang sejenis, “ bagaimana kalau tidak sejenis dan beban yang diangkat adalah beratnya berbeda“. Dengan latar belakang diatas, bagaimana supaya konveyor tersebut bisa mengangkat benda yang berbeda beratnya dan dapat berjalan dengan kecepatan yang kontinyu. Dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan dibahas yaitu:

1. Bagaimana cara merancang dan membuat suatu system pengendali konveyor dengan pendekatan PID menggunakan IC MC AT89C51 sebagai pusat pengendali.
2. Penggunaan perangkat keras microcontroller unit yang berperan untuk memperoleh data yang diterima dari masing-masing input berupa data tegangan dikonversikan menjadi data biner yang diolah dengan metode PID.

1.3. Tujuan dan Sasaran

Tujuan dari pembuatan laporan skripsi ini dapat dijelaskan sebagai berikut

1.3.1. Tujuan

Dalam pembuatan konveyor dengan mengimplementasiakan PID ini tentunya ada beberapa tujuan yang ingin dicapai diantaranya adalah :

- a. Merancang model prototype konveyor yang dapat dibebani dengan beban yang tidak homogen.
- b. Merancang dan merealisasikan system pengendali putaran motor konveyor tersebut dengan pendekatan PID kontroler yang berbasis prosesor MC AT89C51.
- c. Mengatur kecepatan putaran motor agar semaksimal mungkin bisa mendekati *setting point* yang sudah di tetapkan.

1.4. Batasan Masalah

batasan-batasan masalah yang dibahas dalam skripsi ini:

- a. Perancangan pengontrolan PID itu sendiri.
- b. Menentukan *setting point* sebagai parameter dalam kecepatan putaran motor pada konveyor.
- c. Mengidentifikasi motor dengan menggunakan metode Zigler- nikhols.
- d. Tidak membahas secara detail performa pengendali PID.
- e. Motor yang digunakan adalah motor DC penguatan terpisah.

1.5. Ruang Lingkup

Pembahasan yang berkenaan dengan pembuatan laporan skripsi ini adalah materi-materi yang berhubungan dengan teori-teori yang terdapat pada mata kuliah:

- Motor DC medan terpisah
- Kontrol PID

Dengan cabang-cabang ilmu diatas yang saling berkaitan sehingga akan terlihat sebagai sistem yang berhubungan sangat erat satu bidang dengan bidang yang lain, oleh karena itu sangat diperlukan pemahaman yang lebih mendalam dan pengertian yang baik pada cabang-cabang ilmu diatas.

1.6. Manfaat Pembuatan Skripsi

1.6.1. Bagi mahasiswa

- Melatih kemandirian mahasiswa dalam menghadapi dan menyelesaikan permasalahan yang terdapat saat mengerjakan laporan skripsi.
- Untuk memperoleh, mempraktekkan dan memperdalam ilmu yang telah diperoleh dibangku perkuliahan ke dalam laporan skripsi.

1.6.2. Bagi perguruan Tinggi

- Sebagai bahan evaluasi kurikulum yang diajarkan diperguruan tinggi sehingga sesuai dengan perkembangan dan tuntutan dunia ilmu pengetahuan.

1.7. Metodologi

Dalam penulisan laporan ini, metode pengumpulan data yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

1.7.1. *Field Research*

Ialah metode penelitian dimana proses pengumpulan data dilakukan dengan cara langsung dilapangan, metode ini meliputi:

- Metode interview dan partisipasi

Ialah metode dimana penulis mengadakan tanya jawab (wawancara) secara langsung dengan pihak yang menguasai bidangnya serta ikut dalam kegiatan yang dilakukannya.

1.7.2. *Library Research*

Ialah metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mencari literatur dan data-data dari buku-buku perpustakaan maupun dari internet yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

1.8. Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dari laporan ini direncanakan sebagai berikut:

- **BAB I Pendahuluan**

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dalam penulisan laporan skripsi itu sendiri, maksud dan tujuan serta sistematika pembahasan dari laporan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Definisi Konveyor

Konveyor adalah suatu alat yang digunakan untuk mengangkut barang dengan menggunakan belt atau sabuk. Konveyor ini biasanya sering kita jumpai di industri-industri besar seperti : industri semen, industri tekstil, industri perakitan dan banyak lagi yang lainnya. Konveyor ini bisa kita jumpai pada bagian pekerjaan yang kontinyu, hal ini bertujuan agar lebih efisien baik waktu atau tenaga maupun ekonomi.

2.2. Mikrokontroler Atmel 89C51

Mikrokontroler Atmel 89S51 adalah *low-power, high performance* CMOS 8 bit, 4 Kbyte *Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PROM)*. IC tersebut kompatibel dengan standart MCS-51 baik dari segi instruksi maupun pin-pinnya yang dapat diaplikasikan sebagai *Embedded controller*. Berikut ini merupakan kemampuan yang dimiliki oleh mikrokontroler Atmel 89C51 :

- Kompatibel dengan keluarga MCS-51.
- 4 kbyte PEROM didalam chip yang dapat ditulis dan dihapus sampai 1000 kali.
- Dapat beroperasi pada frekuensi 0 - 24 MHz.
- 3 level program kunci memori.
- 128 x 8-bit RAM internal.
- 32 jalur I/O.
- 2 buah timer counter 16 bit.
- 6 buah jalur interupsi.
- Serial chanel yang dapat diprogram.

- Hemat catu daya dan Power Down Modes.

2.2.1. Konfigurasi Pin AT89C51

Konfigurasi pin-pin mikrokontroler Atmel 89C51 dapat dijelaskan sebagai berikut :

P1.0	1	40	VCC
P1.1	2	39	P0.0/AD0
P1.2	3	38	P0.1/AD1
P1.3	4	37	P0.2/AD2
P1.4	5	36	P0.3/AD3
P1.5	6	35	P0.4/AD4
P1.6	7	34	P0.5/AD5
P1.7	8	33	P0.6/AD6
RST	9	32	P0.7/AD7
RxD/P3.0	10	31	\overline{EA}/VPP
TxD/P3.1	11	30	ALE/ \overline{PROG}
$\overline{INT0}/P3.2$	12	29	\overline{PSEN}
$\overline{INT1}/P3.3$	13	28	P2.7/A15
T0/P3.4	14	27	P2.6/A14
T1/P3.5	15	26	P2.5/A13
$\overline{WR}/P3.6$	16	25	P2.4/A12
$\overline{RD}/P3.7$	17	24	P2.3/A11
XTAL2	18	23	P2.2/A10
XTAL1	19	22	P2.1/A9
GND	20	21	P2.0/A8

Gambar 2.1 Konfigurasi Pin AT89C51

[Datasheet AT89C51](#)

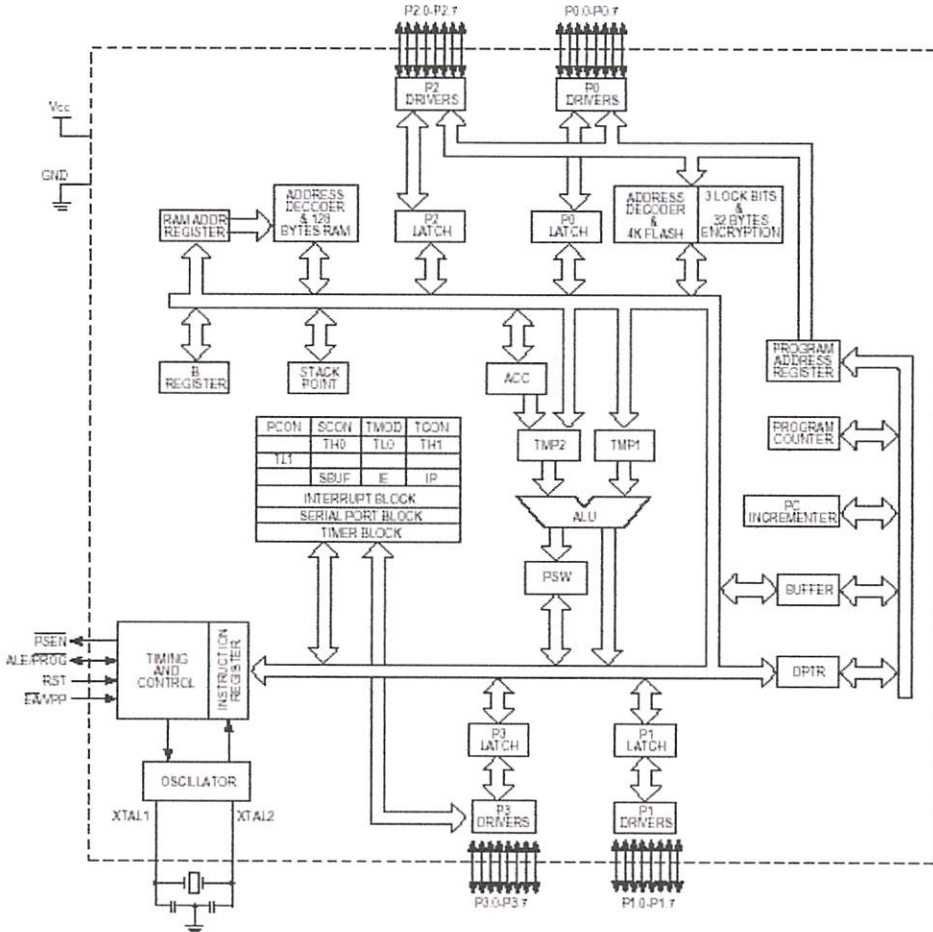
- Pin 1 sampai 8 (port 1) merupakan port paralel 8 bit dua arah (*bidirectional*) yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan (*general purpose*).
- Pin 9 (*reset*) adalah masukan reset (aktif tinggi). Pulsa transisi dari rendah ke tinggi akan me-reset 89C51. Pin ini dihubungkan dengan rangkaian power on *reset* yang terdiri dari sebuah resistor dan sebuah transistor.
- Pin 10 sampai 17 (port 3) adalah port paralel 8 bit dua arah yang memiliki fungsi pengganti. Fungsi pengganti meliputi TxD (*Transmit Data*), RxD (*Receive Data*), Int0 (*Interrupt 0*), Int1 (*Interrupt 1*), T0 (Timer 0), T1 (Timer 1),

WR (*Write*), RD (*Read*). Bila fungsi pengganti tidak dipakai, pin-pin ini dapat digunakan sebagai port paralel 8 bit serbaguna.

- d. Pin 18 (XTAL 1) adalah pin masukan ke rangkaian osilator internal. Sebuah osilator kristal atau sumber osilator luar dapat digunakan.
- e. Pin 19 (XTAL 2) adalah pin keluaran ke rangkaian osilator luar, pin ini dipakai bila menggunakan osilator kristal.
- f. Pin 20 (*Ground*) dihubungkan ke Vss atau *ground*.
- g. Pin 21-28 (port 2) adalah port paralel 2 (P2) selebar 8 bit dua arah (*bidirectional*).
- h. Pin 29 adalah pin PSEN (*Program Store Enable*) yang merupakan sinyal pengontrol yang membolehkan program memori eksternal masuk ke dalam bus selama proses pemberian/pengambilan instruksi (*fetching*).
- i. Pin 30 adalah pin ALE (*Address Latch Enable*) yang digunakan untuk menahan alamat memori eksternal selama pelaksanaan instruksi.
- j. Pin 31 (EA) bila pin ini diberi logika tinggi (*high*), mikrokontroler akan melaksanakan instruksi dari ROM/EPROM ketika isi program counter kurang dari 4096. Bila diberi logika rendah (*low*), mikrokontroler akan melaksanakan seluruh instruksi dari memori program luar.
- k. Pin 32 sampai 39 (Port 0) merupakan port paralel 8 bit (*open drain*) dua arah. Bila digunakan untuk mengakses program luar, port ini akan memultiplek alamat memori dengan data.
- l. Pin 40 merupakan Vcc, dihubungkan ke tegangan DC +5 Volt.

2.2.2. Blok Diagram Mikrokontroler AT89C51

Blok diagram dari mikrokontroler AT89C51 diperlihatkan seperti pada gambar 2.2 berikut ini :



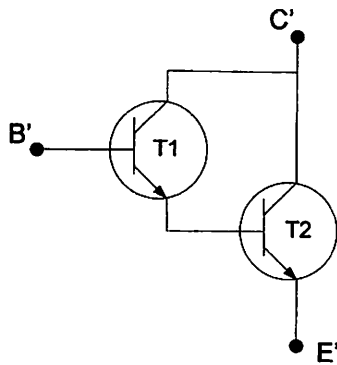
Gambar 2.2 Blok Diagram AT89C51

[Datasheet AT89C51](#)

2.3. Rangkaian Darlington

Dalam rangkaian darlington dua transistor disambungkan seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Emitor dari satu transistor T1 disambungkan ke basis dari transistor ke dua T2. Kolektor dari kedua transistor disambungkan. Secara keseluruhan terdapat rangkaian yang berfungsi seperti satu transistor pengganti. Kolektor dari kedua transistor merupakan kolektor C' dari transistor pengganti, basis dari transistor T1

menjadi basis B' dari transistor pengganti, dan emitor dari T2 menjadi emitor E' dari transistor pengganti. Terdapat juga gambar darlington yang terdapat dalam satu kemasan dan yang hanya mempunyai tiga sambungan. Transistor itu bisa dipakai seperti satu transistor biasa dengan beberapa sifat khusus. Dalam rangkaian darlington seluruh arus emitor dari T1 masuk kedalam basis dari T2. Oleh sebab itu penguatan arus seluruhnya didapat dari penguatan arus transistor pertama dikalikan penguatan arus transistor kedua :



Gambar 2.4. Rangkaian Darlington Dengan Transistor NPN

2.3.Motor DC

Suatu mesin listrik berfungsi sebagai motor listrik apabila terjadi proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik di dalamnya. Motor DC adalah motor yang memerlukan suplai tegangan searah pada kumparan jangkar dan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Pada pembuatan alat ini motor yang digunakan adalah motor Dc magnet permanen 24volt – 0,76 Amp.

2.3.1. Prinsip Kerja Motor DC

Pada motor DC, kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konverter energi baik energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet. Energi yang akan diubah dari suatu sistem ke sistem yang lain, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi system lainnya. Dengan demikian, medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus proses perubahan energi, dimana proses perubahan energi pada motor arus searah dapat digambarkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Proses Konversi Energi Pada Motor DC

Dengan mengingat hukum kekekalan energi, proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik dapat dinyatakan sebagai berikut:

Energi listrik sebagai *input* = Energi mekanik sebagai *output* + energi

yang diubah menjadi panas + Energi yang

tersimpan dalam medan magnet.

2.3.2. Model Matematik Motor DC

Prinsip kerja motor DC berdasarkan pada penghantar yang dialiri arus ditempatkan dalam suatu medan magnet sehingga penghantar tersebut akan mengalami gaya. Gaya menimbulkan torsi sehingga menghasilkan

putaran. Penghantar yang berputar akan menimbulkan tegangan AC sehingga diubah menjadi tegangan DC oleh komutator dan sikat.

Gaya yang dihasilkan sebesar: [\(cathey,2001:50\)](#)

$$F = B.i.l \quad (2.1)$$

Bila jari-jari rotor adalah r , maka torsi yang akan dibangkitkan adalah:

$$T = F.r = B.i.l.r \quad (2.2)$$

dengan:

F = Gaya (N)

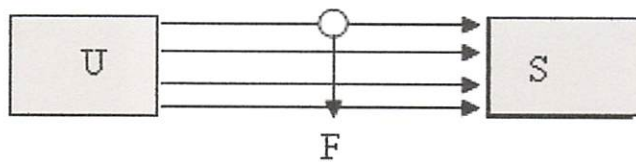
B = Rapat fluks (T)

i = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

l = Panjang penghantar (m)

r = Jari-jari inti jangkar (m)

T = Torsi (Nm)



Gambar 2.6. Arah Gaya Pada Motor DC

Pada saat gaya F dibangkitkan, konduktor bergerak didalam medan magnet dan akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) yang merupakan reaksi (lawan) terhadap tegangan penyebabnya. Agar proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik (motor) dapat berlangsung, tegangan sumber harus lebih besar dari gaya gerak listrik lawan. Torsi akan memutar rotor bila yang terbangkit telah memiliki torsi lawan dari motor dan beban.

Telah diketahui bahwa untuk motor arus searah dapat diturunkan rumus sebagai berikut:

$$V_t = E_a + I_a.R_a \quad (2.3)$$

$$E_a = k.n.\phi \quad (2.4)$$

Keterangan :

V_t = Tegangan jangkar (V)

E_a = Gaya gerak listrik lawan (V)

I_a = Arus Jangkar (A)

R_a = Tahanan jangkar (Ω)

n = Putaran (RPM)

ϕ = Fluks / kutub

k = Konstanta

Berdasarkan rumus diatas dapat diturunkan rumus kecepatan putar (n) , yaitu:

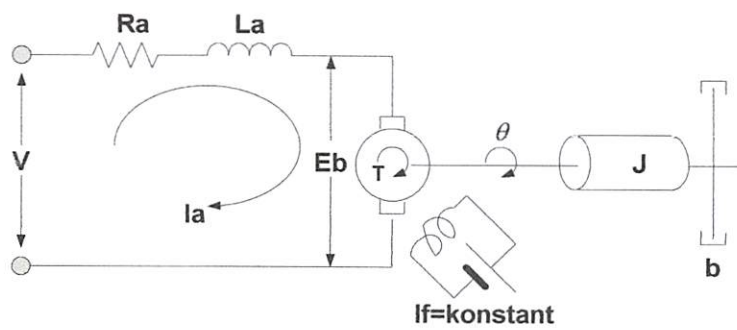
$$n = \frac{V_t - I_a.R_a}{k.\phi} \quad (2.5)$$

Dari persamaan diatas, dapat dilihat bahwa kecepatan putaran (n) motor DC dapat diatur dengan mengubah-ubah besarnya V_t (tegangan jangkar), R_a (tahanan jangkar) ,dan ϕ (*fluks magnet*).

Terdapat banyak jenis motor yang digunakan sebagai *plant* untuk sistem kontrol industri. Salah satu diantaranya adalah motor DC magnet permanent(tetap), dimana fluks magnetnya tidak tergantung pada arus jangkarnya, sehingga fluks magnet konstan .Jadi motor ini tidak memerlukan sumber tegangan dari luar untuk membangkitkan fluks magnet. Berikut ini

akan dijelaskan pengatur kecepatan motor DC dengan mengatur tegangan jangkar.

Dengan mengatur tegangan jangkar dan fluks magnetnya tetap, diharapkan dapat menghasilkan torsi yang diinginkan agar menghasilkan output motor mendekati *settling point*. Untuk mengetahui rangkaian ekivalen motor DC dengan pengontrolan jangkar dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Rangkaian Ekivalen Motor DC Pengontrolan Jangkar.

Sumber:ogata,1996:130

Keterangan gambar :

- V = tegangan jangkar (V)
- Eb = gaya gerak listrik (V)
- i_a = arus Jangkar (A)
- Ra = tahanan kumparan jangkar (Ω)
- La = induksi kumparan jangkar (*henry*)
- n = kecepatan jangkar (*rad/sec*)
- ϕ = fluks magnet per kutub (*webers*)
- ω_m = kecepatan jangkar (*rad/sec*)

karena,

$$E_b = K_e \cdot \phi \cdot \omega_m \quad (2.12)$$

dan,

$$K_e \cdot \phi = K_B \quad (2.13)$$

dimana , K_B konstanta gaya gerak listrik balik

maka :

$$E_b = K_B \cdot \omega_m \quad (2.14)$$

Sehingga,

$$V = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + K_B \cdot \omega_m \quad (2.15)$$

Dalam bentuk transformasi *Laplace* dapat ditulis :

$$V(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot S I_a(s) + K_B \cdot \omega_m(s) \quad (2.16)$$

Berdasarkan persamaan (2.16) dapat diturunkan persamaan *arus jangkar* (I_a), yaitu :

$$I_a(s) = \frac{1}{R_a + L_a \cdot S} [V(s) - K_B \cdot \omega_m(s)] \quad (2.17)$$

Karena time konstan rangkaian jangkar(rotor) adalah:

$$\tau_a = \frac{L_a}{R_a} \quad (2.18)$$

Maka,

$$I_a(s) = \frac{1}{R_a(1 + S\tau_a)} V(s) - K_B \cdot \omega_m(s) \quad (2.19)$$

J = momen inersia total dari motor dan beban pada poros motor
(kg.m^2)

b = koefisien gesekan viskos ekivalen dari motor dan beban
Pada poros motor ($\text{N.m}(\text{rad/sec})^{-1}$)

T_M = torsi yang diberikan oleh motor (N.m)

Besarnya GGL lawan (E_b) yang dibangkitkan oleh motor adalah :

$$E_b = K_e \cdot \phi \cdot \omega_m \quad (2.6)$$

Dan tegangan jangkar (V) adalah :

$$V = E_b + R_a \cdot i_a \quad (2.7)$$

Serta torsi motor (T_M) yang diberikan adalah

$$T_M = K_e \cdot \phi \cdot i_a \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.6), (2.7) dan (2.8) dapat ditentukan persamaan kecepatan jangkar (ω_m), yaitu:

$$\omega_m = \frac{V}{K_e \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot I_a}{K_e \cdot \phi} = \frac{1}{K_e \cdot \phi} (V - R_a \cdot I_a) \quad (2.9)$$

$$\omega_m = \frac{V}{K_e \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot T_M}{(K_e \cdot \phi)^2} \quad (2.10)$$

- Persamaan tegangan (V) dari rangkaian jangkar pada kondisi dinamik diberikan dalam bentuk :

$$V = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_b \quad (2.11)$$

Sehingga

$$I_a(s) = \frac{1/R_a}{(1 + S\tau_a)} V(s) - K_B \cdot \omega_m(s) \quad (2.20)$$

- Persamaan sistem motor berbeban dalam kondisi dinamik diberikan dalam bentuk:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_M - T_L - B \cdot \omega_m \quad (2.21)$$

Maka torsi

$$T_M = J \frac{d\omega_m}{dt} + B \cdot \omega_m + T_L \quad (2.22)$$

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} + B \cdot \omega_m \quad (2.23)$$

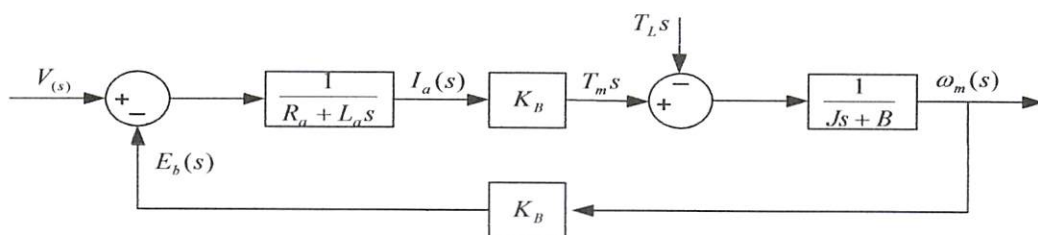
Dalam bentuk transformasi *Laplace* dapat ditulis :

$$T_M(s) - T_L(s) = J \cdot S \cdot \omega_m(s) + B \cdot \omega_m(s) \quad (2.24)$$

$$T_M(s) - T_L(s) = (J \cdot S + B) \cdot \omega_m(s) \quad (2.25)$$

Berdasarkan persamaan (2.25) dapat diturunkan persamaan kecepatan jangkar (ω_m), yaitu :

$$\omega_m(s) = \frac{1}{J \cdot S + B} [T_M(s) - T_L(s)] \quad (2.26)$$



Gambar 2.8. Diagram Blok Motor DC Penguat terpisah dengan Pengontrolan Tegangan Jangkar.

Sumber katsuhiko ogata jilid 1, 1996, 130

Dari rangkaian *loop* diatas dapat diketahui bahwa motor berkarakteristik seperti sebuah sistem *closed loop*. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pengontrolan motor DC dengan pengaturan tegangan jangkar menjadikan motor tersebut sistemnya *closed loop*.

2.4.Kontroller

Keberadaan kontroller dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Pada prinsipnya hal itu disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu sub sistem, yaitu kontroler.

Salah satu tugas komponen kontroler adalah mereduksi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara sinyal setting dan sinyal aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kontrol adalah mendapatkan sinyal aktual senantiasa (diinginkan) sama dengan sinyal setting. Semakin cepat reaksi sistem mengikuti sinyal aktual dan semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baiklah kinerja sistem kontrol yang diterapkan.

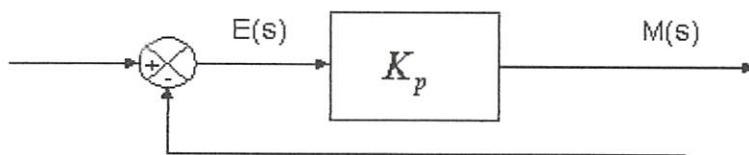
Apabila perbedaan antara nilai setting dengan nilai keluaran relatif besar, maka kita harus mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi plant. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran plant sampai diperoleh selisih antara setting dengan besaran yang diatur sekecil mungkin.

2.4.1. Kontroler Proporsional

Kontroler proposional memiliki keluaran yang sebanding/proposional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga

aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran controller proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

Gambar 2.9 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran setting, besaran aktual dengan besaran keluaran controller proporsional. Sinyal keasalahan (error) merupakan selisih antara besaran setting dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi controller, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga setting) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Gunterus, 1994, 6-24

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, pita proporsional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Daerah kerja controller efektif dicerminkan oleh Pita proporsional, sedangkan konstanta proporsional menunjukkan nilai faktor penguatan terhadap sinyal kesalahan, K_p .

Hubungan antara pita proporsional (PB) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara prosentasi oleh persamaan berikut:

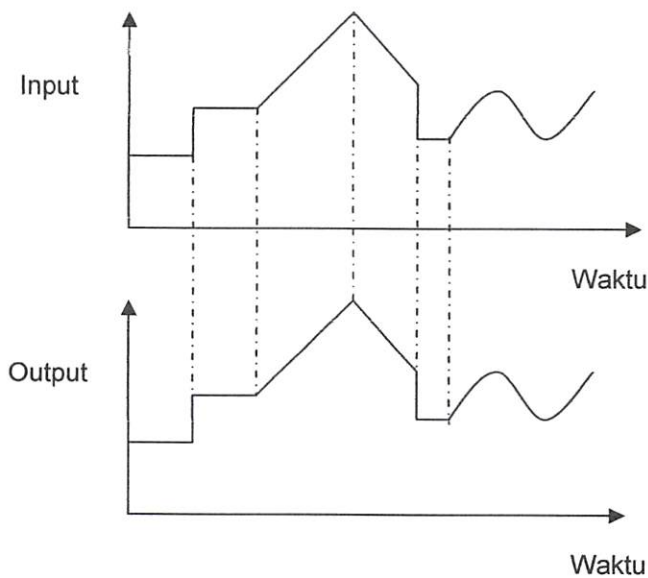
$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dimana :

PB = Proporsional Band

K_p = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari *gambar 2.10* jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop.



Gambar 2.10. Response Sebuah Pengendali Proporsional

Sumber: Gunterus, 1994, 6-7

Ciri-ciri kontroler proporsional harus diperhatikan ketika kontroler tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna kontroler proporsional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini:

1. Kalau nilai K_p kecil, kontroler proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Kalau nilai K_p dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan mantabnya.
3. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.

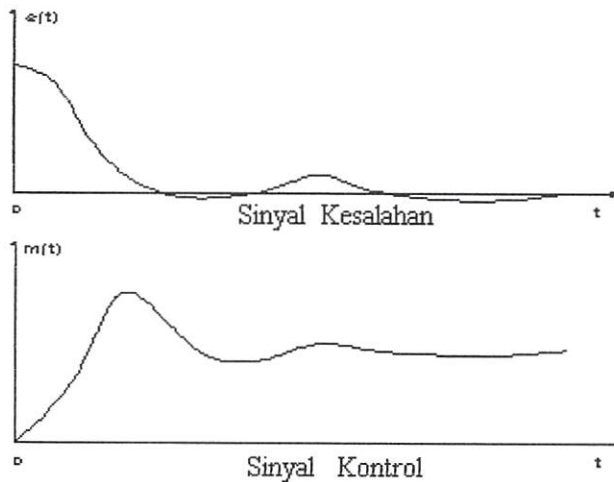
2.4.2. Kontroler Integral

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantabnya nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol.

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan.

Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

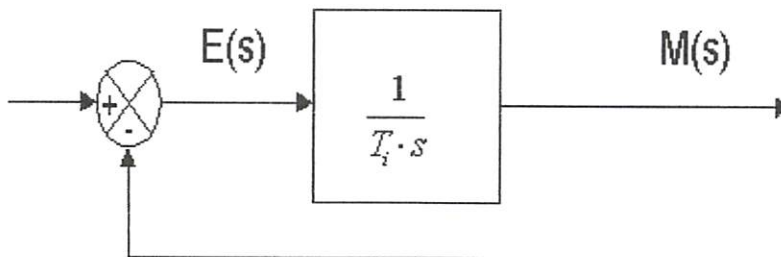
Sinyal keluaran kontroler integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak- lihat konsep numerik. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol. Gambar 2.11 menunjukkan contoh sinyal kesalahan yang disulutkan ke dalam kontroler integral dan keluaran kontroler integral terhadap perubahan sinyal kesalahan tersebut.



Gambar 2.11. Kurva Sinyal Kesalahan $e(t)$ Terhadap t dan Kurva $u(t)$ Terhadap t Pada Pembangkit Kesalahan Nol.

Sumber: www.Elektro Indonesia.com

Gambar 2.12. Menunjukkan blok diagram antara besaran kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



Gambar 2.12 Blok Diagram Hubungan Antara Besaran Kesalahan Dengan Kontroler Integral

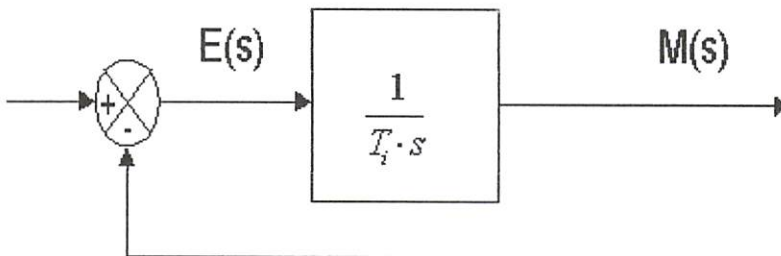
Sumber: www.Elektro Indonesia.com

Ketika digunakan, kontroler integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

1. Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
4. Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kontroler.

2.4.3. Kontroler Diferensial

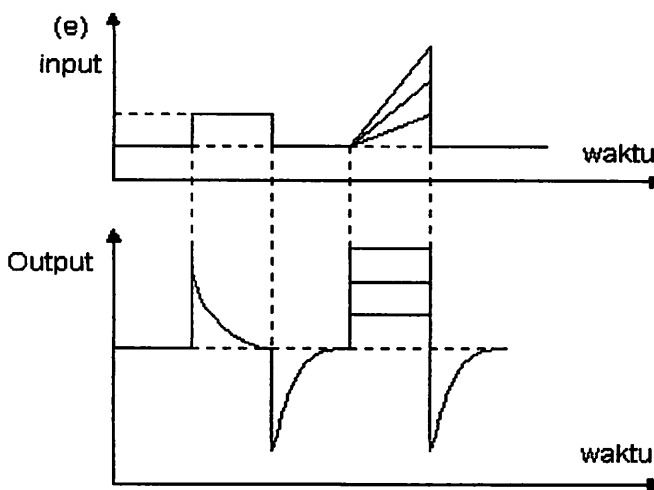
Keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.13 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan keluaran controller.



Gambar 2.13: Blok Diagram Kontroler Diferensial

Sumber: www.Elektro Indonesia.com

Gambar 2.13 menyatakan hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran kontroler diferensial. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran kontroler juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi *step* yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan faktor konstanta diferensialnya T_d .



Gambar 2.14 Kurva Waktu Hubungan Input-output Kontroler Diferensial

Karakteristik kontroler diferensial adalah sebagai berikut:

1. Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan kontroler tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Kontroler diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan

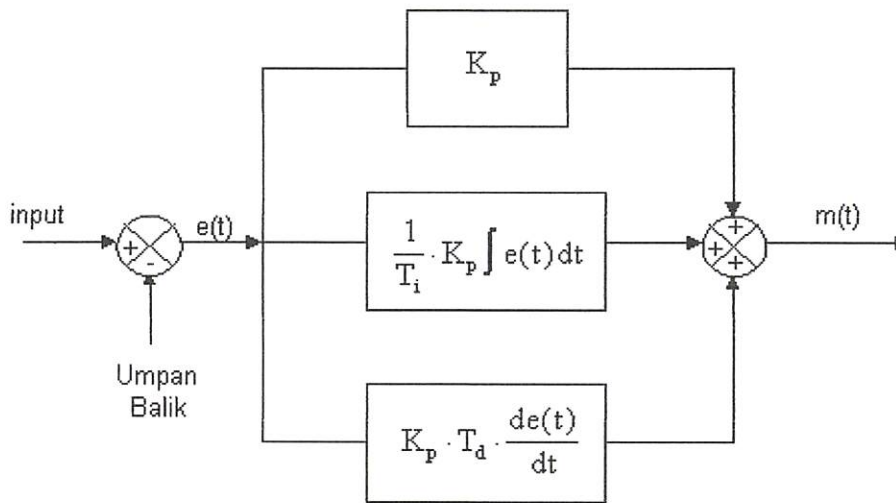
sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi kontroler diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain sebuah sistem.

2.4.4. Kontroler PID

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proposional plus integral plus diferensial (kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

Gambar 2.15 menunjukkan blok diagram kontroler PID.

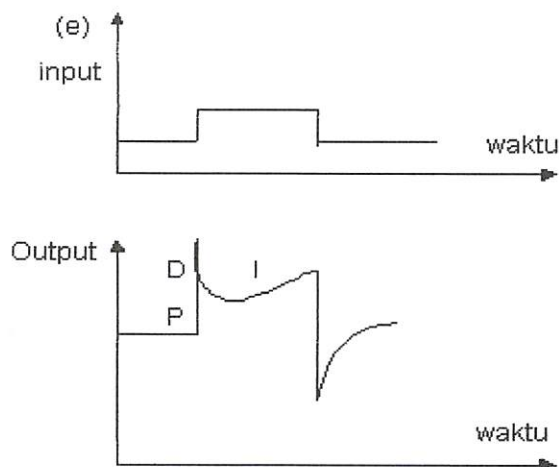


Gambar 2.15. Blok Diagram Kontroler PID

Sumber: www.Elektro Indonesia.com

Keluaran controller PID merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional, keluaran kontroler integral. Gambar 2.16 menunjukkan hubungan tersebut.

Dalam mendesain suatu sistem kontrol ,yang terpenting adalah spesifikasi atau kriteria performansi yang ditampilkan, dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar 2.16 Hubungan Fungsi Waktu Antara Sinyal *Input-output* Untuk Kontroler PID

Sumber: www.Elektro Indonesia.com

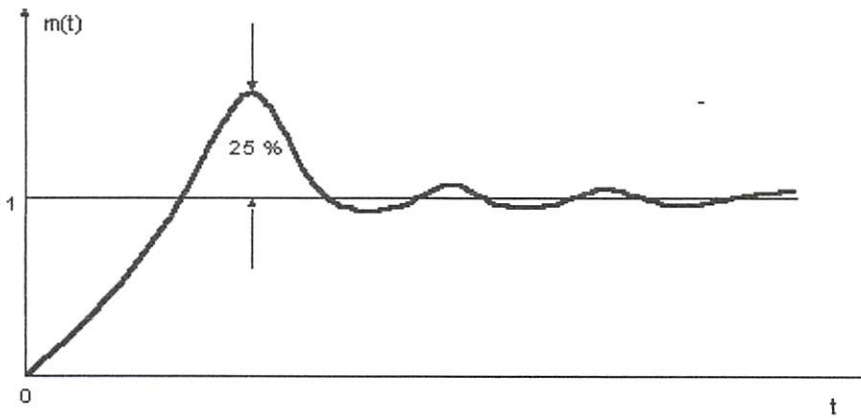
Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

2.5. Penalaan Parameter Kontroler PID

Penalaan parameter kontroler PID selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (Plant). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan. Karena penyusunan model matematik plant tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang dikenai suatu perubahan. Dengan menggunakan metode itu model matematik perilaku plant tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data yang berupa kurva krluaran, penalaan kontroler PID telah dapat dilakukan. Penalaan bertujuan untuk mendapatkan kinerja sistem sesuai spesifikasi perancangan. Metode pendekatan eksperimen adalah *Ziegler-Nichols*.

2.5.1. Metode Ziegler-Nichols

Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar dibawah memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25 %

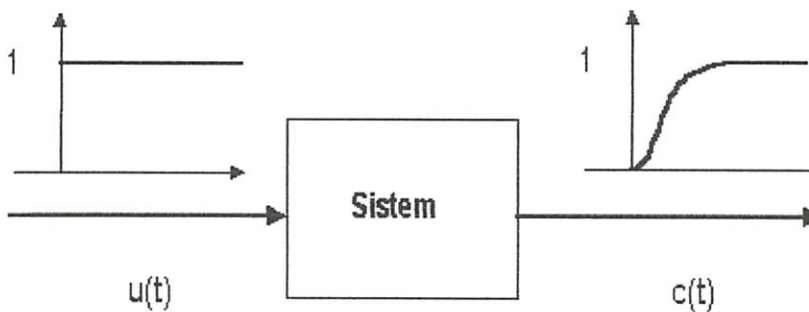


Gambar 2.17 Kurva Respons Tangga Satuan Yang Memperlihatkan 25 % lonjakan Maksimum

Sumber: www.Elektro Indonesia.com

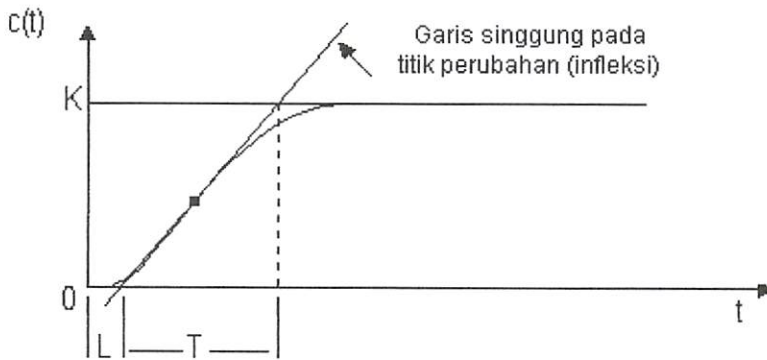
2.5.1.1. Metode Kurva Reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untai terbuka. *Plant* sebagai untai terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan. Kalau *plant* minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 2.18 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk *plant* integrator maupun *plant* yang memiliki pole kompleks.



Gambar 2,18 Respon Tangga Satuan Sistem

Sumber: www.Elektro Indonesia.com



Gambar 2.19 Kurva Respons Berbentuk S.

Sumber: www.Elektro Indonesia.com

Kurva berbentuk-s mempunyai dua konstanta, waktu mati (*dead time*) L dan waktu tunda T . Dari gambar 2.19 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L .

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_p , T_i , dan T_d dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 2.1 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

Tabel 2.1 Penalaan Paramater PID Dengan Metode Kurva Reaksi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	~	0
PI	0,9 T/L	L/0.3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L

BAB III PERENCANAAN SISTEM

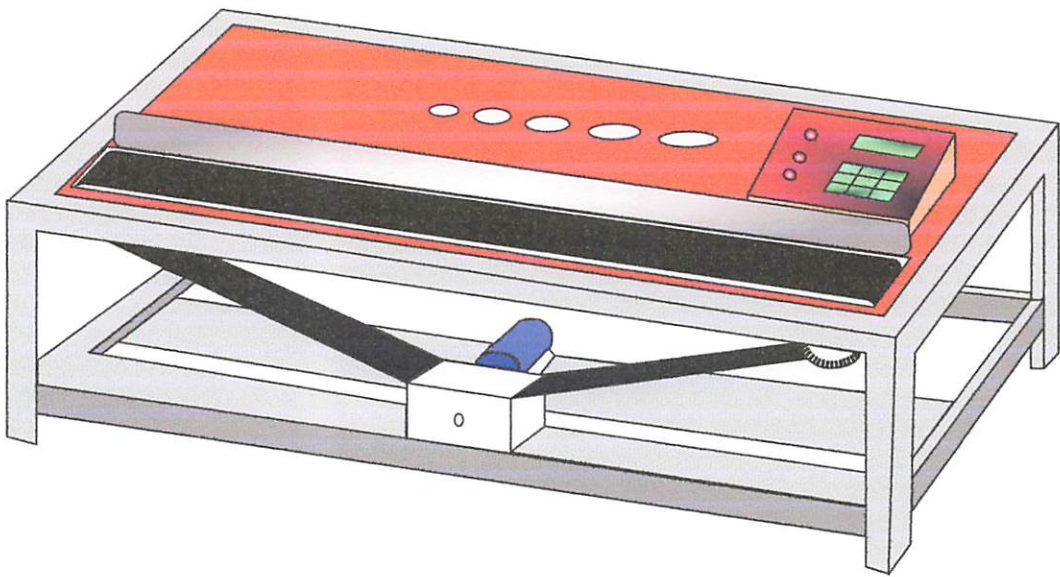
3.1. Sistem Mekanik

Sistem mekanik yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3.1, yang terdiri dari :

- Kerangka alat ; Berfungsi sebagai tempat pemegang poros dan motor yang terbuat dari besi siku dan akrilik dengan ukuran 100 x 50 cm.
- Transmisi; Yang berfungsi menghubungkan pulley motor DC dengan pulley belt konveyor.
- Motor penggerak; Dimana motor penggerak ini menggunakan motor DC dengan kecepatannya yang dikontrol menggunakan PID Kontroler.
- Pulley ; Alat yang menghubungkan v-belt konveyor dengan motor.
- Belt konveyor; dengan lebar 5,4cm dan panjang belt 200cm Yang digunakan untuk mengangkut barang yang beratnya berubah-ubah.



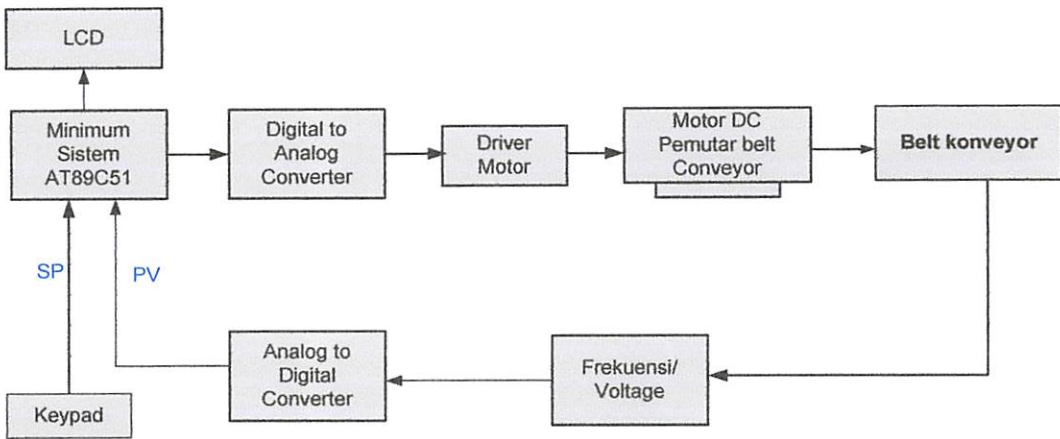
Gambar 3.1. Gambar Mekanik Konveyor



Gambar 3.2. Perancangan sistem

3.2. Perencanaan Perangkat Keras

- Pada gambar 3.3. ditunjukkan pada blok diagram sistem dimana pada blok tersebut terdapat Minimum Sistem AT89C51 yang digunakan untuk memprogram dengan menggunakan PID Kontroler (*Proportional Integral Differential*).
- Rangkaian DAC yang mengkonverter besaran digital ke besaran analog.
- Rangkaian ADC yang mengkonverter besaran analog ke besaran digital.
Dimana DAC dan DAC nanti akan menggunakan satu IC yaitu menggunakan ADDA dengan fungsi yang sama.
- Rangkaian frekuensi to voltage dan sensor putaran kecepatan motor dengan menggunakan optocoupler jenis U.



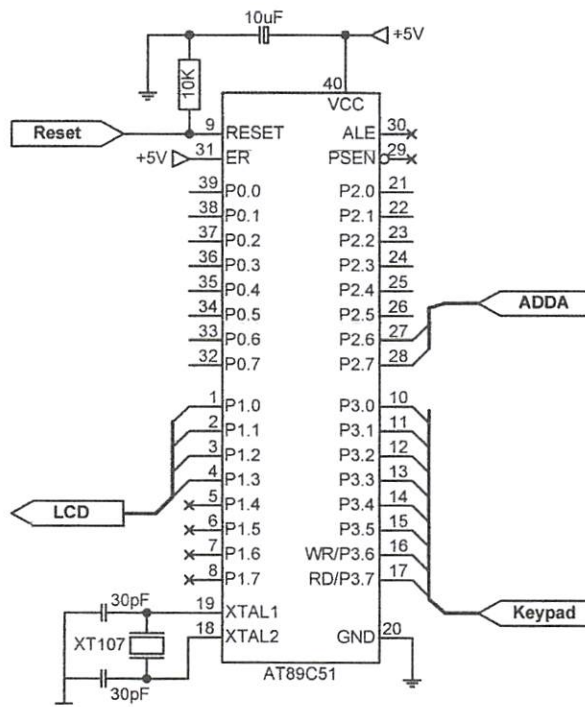
Gambar 3.3. Blok Diagram Sistem

- Driver motor berfungsi untuk menjalankan motor yang kemudian motor ini memutar konveyor melalui V-belt transmisi. Driver motor ini mendapat input analog dari rangkaian DAC.
- Display LCD untuk menampilkan nilai SP dan kecepatan putaran motor dalam RPM.

3.3. MCU (*Microcontroller Unit*)

Mikrokontroler disini berperan untuk mengolah data yang diterima dari masing-masing input berupa data tegangan dikonversi menjadi data biner yang diolah dengan metode PID kontroler. Dan disini data yang diolah adalah data dari *present value* dan *setting point*. Agar sistem bekerja menurut kebutuhan maka diperlukan suatu program yang sesuai dengan fungsi diatas. MCU yang digunakan mikrokontroler, sedangkan yang kami pake adalah AT89C51.

Untuk MCU dengan menggunakan mikrokontroler AT89C51 yang terdiri dari 32 kaki I/O yang dibagi menjadi 4 *port*. Pada perancangan alat untuk pembagian penentuan kaki-kaki pada I/O mikrokontroler telah dijabarkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.4. Rangkaian MCU (*Minimal System Microcontroller AT89C51*)
[*Data sheet AT89C51*](#)

3.4. ADDA (Analog to Digital dan Digital to Analog)

Pada rangkaian ini di perlukan ADDA, yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog seperti tegangan atau arus ke data biner atau sebaliknya.

Tabel 3.1. Keterangan Masing-masing Konektor ADDA

Simbol	Kaki	Deskripsi
AIN0	1	Input analog (konverter A/D)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	Alamat <i>hardware</i>
A1	6	
A2	7	
VSS	8	Tegangan suplai negatif
SDA	9	Input/output data I ² C-bus
SCL	10	Input <i>clock</i> I ² C-bus
OSC	11	Input/output osilator
EXT	12	<i>external/internal switch</i> untuk input osilator
AGND	13	<i>Ground</i> analog
VREF	14	Input tegangan referensi
AOUT	15	Output analog (konverter D/A)
VDD	16	Tegangan suplai positif

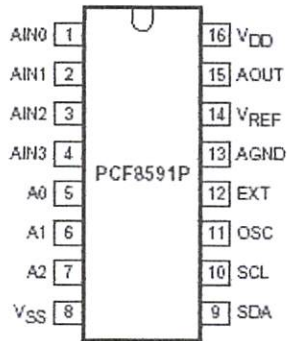
Dalam ADDA ini mempunyai empat chanel 8 bit analog input (*Analog to Digital Converter/ADC*) yang dapat diprogram sebagai *single_ended* atau sebagai differensial input. Dan juga terdapat satu chanel 8 bit analog output (*Digital to Analog Converter/DAC*)

Tabel 3.2. hubungan antara ADDA dengan mikrokontroler

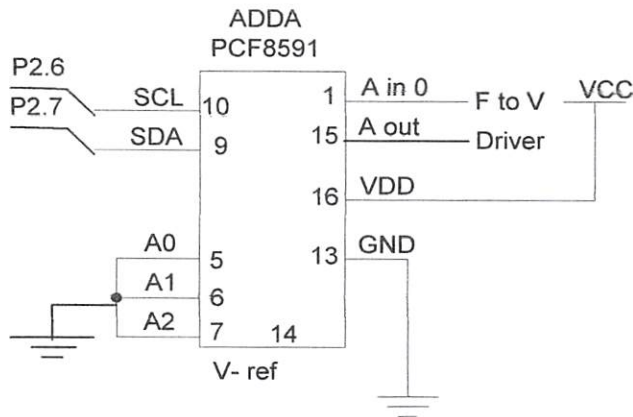
MIKROKONTROLER AT89C51	ADDA
P2.6	SCL
P2.7	SDA

Untuk merangka ADDA ini dalam suatu sistem, maka kita harus mengetahui urutan kaki atau konfigurasi dari ADDA tersebut. Disamping kita mengetahui kaki-kaki pada

ADDA tersebut, maka kita juga harus mengetahui fungsi dari kaki-kaki atau konfigurasi ADDA tersebut.



Gambar 3.5. Konfigurasi PCF8591
[Data sheet PCF8591](#)



Gambar 3.6. Rangkaian ADDA PCF8591
[Data sheet PCF8591](#)

3.5. Driver Motor

Driver motor pada alat yang dirancang berupa motor DC dengan power supply 24V. Besarnya kecepatan putar dari motor diatur melalui PC dimana prosesnya sebagai berikut melalui port pada mikro akan mengeluarkan perintah berupa data biner 8 bit

atau dalam desimal 0 sampai 255. Perintah ini akan diubah oleh ADDA menjadi perubahan tegangan analog.

Dan dari perubahan tegangan ini akan diubah oleh transistor TIP41 dan TIP3055 menjadi perubahan arus yang melalui rangkaian darlington.

Dimana perubahan arus yang melalui basis ini akan mempengaruhi besarnya arus yang masuk dari motor DC ke kolektor dimana besarnya arus kolektor (I_{C1}) sama dengan arus basis (I_{B1}) dikalikan dengan hfe_1 , dimana hfe adalah penguatan transistor.

Perubahan arus kolektor inilah yang menyebabkan kecepatan putar motor DC dapat berubah dimana kecepatannya berbanding lurus dengan arus kolektor, dimana besarnya arus basis bergantung pada besarnya resistor dengan rumus:

$$R_{B'E'} = 2hfe \frac{VT}{IC'} \quad (3.1)$$

Besarnya arus yang melalui basis akan mempengaruhi besarnya arus yang masuk dari motor DC ke kaki kolektor dimana besarnya dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

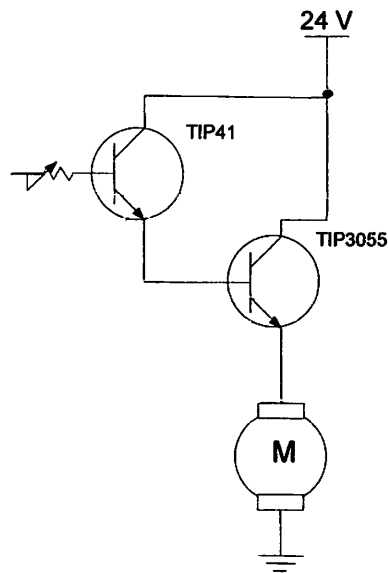
$$\begin{aligned} I_{C1} &= I_{B1} \cdot hfe_1 \\ I_{C2} &= hfe_2 \cdot I_{B2} = hfe_2 \cdot I_{C1} = hfe_2 \cdot hfe_1 \cdot I_{B1} \\ I_{C'} &= hfe_2 \cdot hfe_1 \cdot I_{B'} \end{aligned} \quad (3.2)$$

keterangan :

I_b = Arus basis

I_c = Arus colector

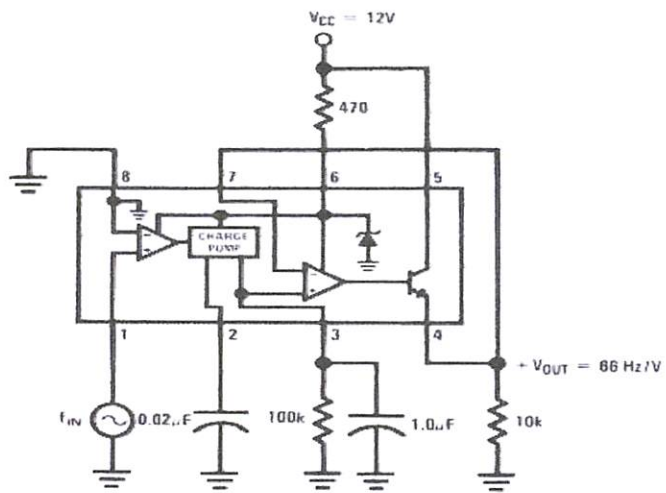
hfe = faktor penguatan transistor



Gambar 3.7. Rangkaian Untuk Menjalankan Motor

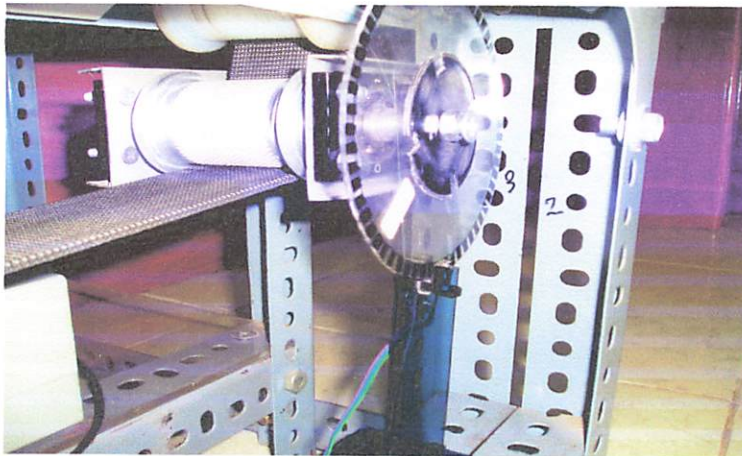
3.6. Frekuensi to Voltage

Rangkaian frekuensi to voltage berfungsi sebagai umpan balik (*Feed back*) dari kecepatan motor pada konveyor yang sedang berjalan. Rangkaian frekuensi to voltage ini menggunakan *optocoupler* yang berfungsi sebagai sensor kecepatan motor. Dengan dibantu lempeng lingkaran akrilik yang disablon hitam untuk penghalang sinar *infrared* maka dalam kondisi ini kolektor dan emitor dalam keadaan *Cutoff*, dan jika sinar *infrared* tidak terhalang oleh piringan yang disablon hitam maka sensor kecepatan akan menghasilkan pulsa *high* kolektor dan emitor dalam keadaan saturasi. Makin banyak lubang maka pembacaan akan makin sering dan jika dikonversi ke RPM akan didapat hasil yang makin mendekati kondisi aslinya. Gambar rangkaian sensor frekuensi to voltage diperlihatkan dalam gambar 3.8 dan gambar 3.9 dibawah ini:



Gambar 3.8 Rangkaian Frekuensi to Voltage

[*Data sheet LM2917*](#)



Gambar 3.9 Frekuensi to Voltage Untuk Mengukur Kecepatan Konveyor.

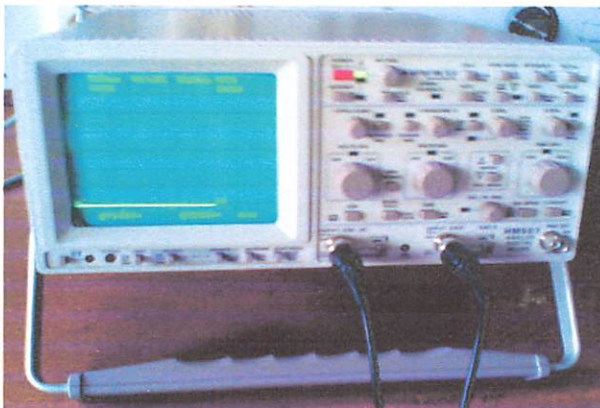
3.7. Identifikasi Motor DC

Identifikasi proses atau sistem dilakukan berdasarkan data. Proses identifikasi motor bertujuan untuk menentukan harga parameter dari K_p, K_i, K_d yang dipergunakan untuk memperbaiki sistem kerja dari motor DC magnet permanent yang dipergunakan sebagai penggerak Mekanik. Pada proses identifikasi penentuan parameter ini menggunakan metode Ziegler-Nichols. Pada metode Ziegler-Nichols identifikasi motor harus bisa menampilkan kurva reaksi yang berbentuk S sehingga nantinya dapat diketahui dua konstanta yang diharapkan yaitu waktu mati (*Dead time*) L dan waktu tunda T . Dari dua konstanta ini didapat dari data percobaan/eksperimen dengan mengukur sinyal masukan dan keluaran.



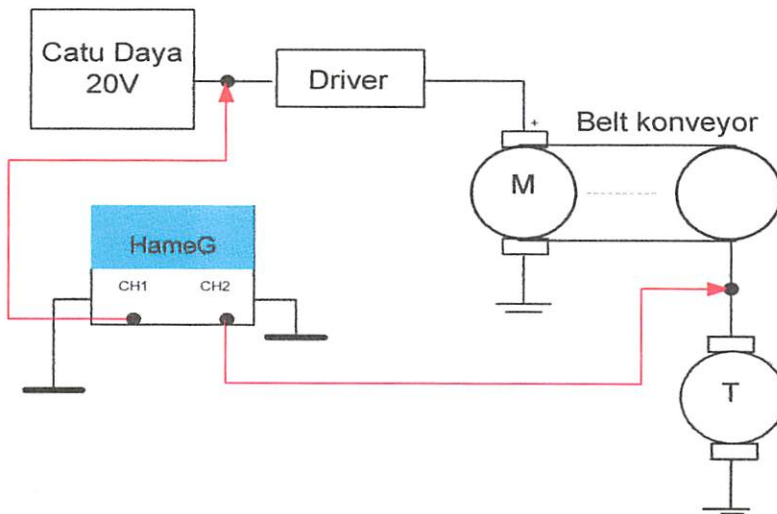
Gambar 3.10. *Setup* Peralatan Untuk Identifikasi Motor DC

Alat perekam data yang dipergunakan sebagai identifikasi motor dc ini menggunakan osiloscope Hameg 500Mhz 100MS yang dapat merekam data dan dapat dihubungkan ke *interface* komputer. Adapun gambar dari osiloskop diperlihatkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.11. Osiloskop Hameg 500Mhz 100mS

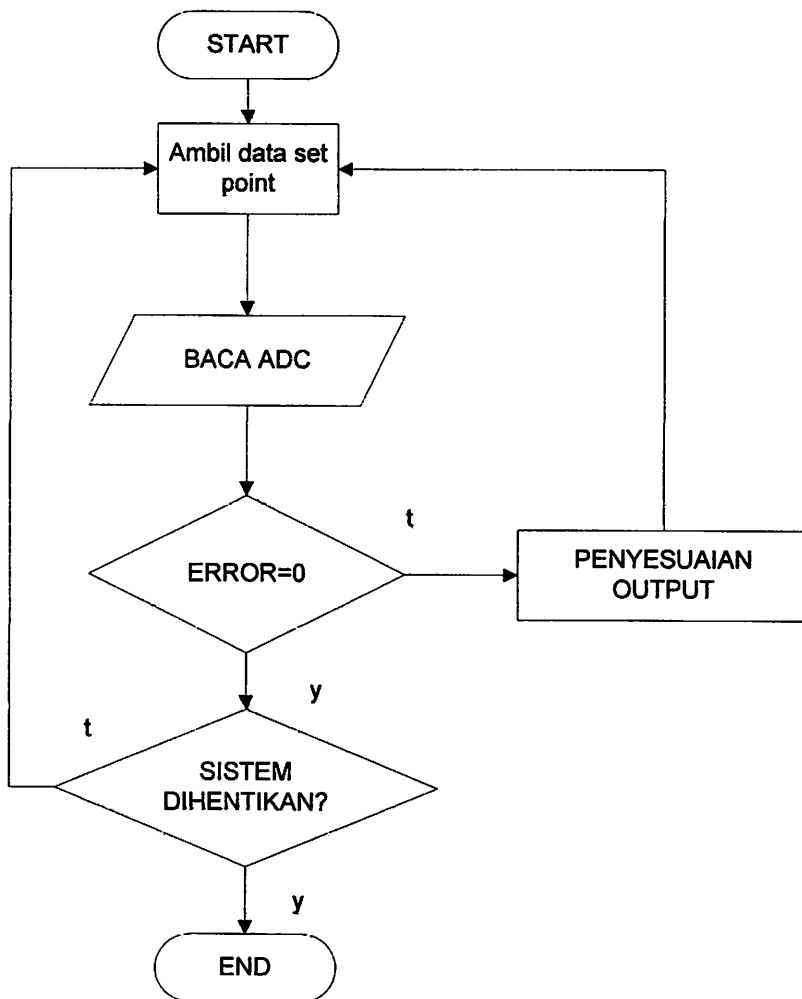
Secara gambar blok dalam proses identifikasi motor DC dapat ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.12. Blok Diagram Proses Identifikasi Motor

3.8. Cara Kerja Konveyor

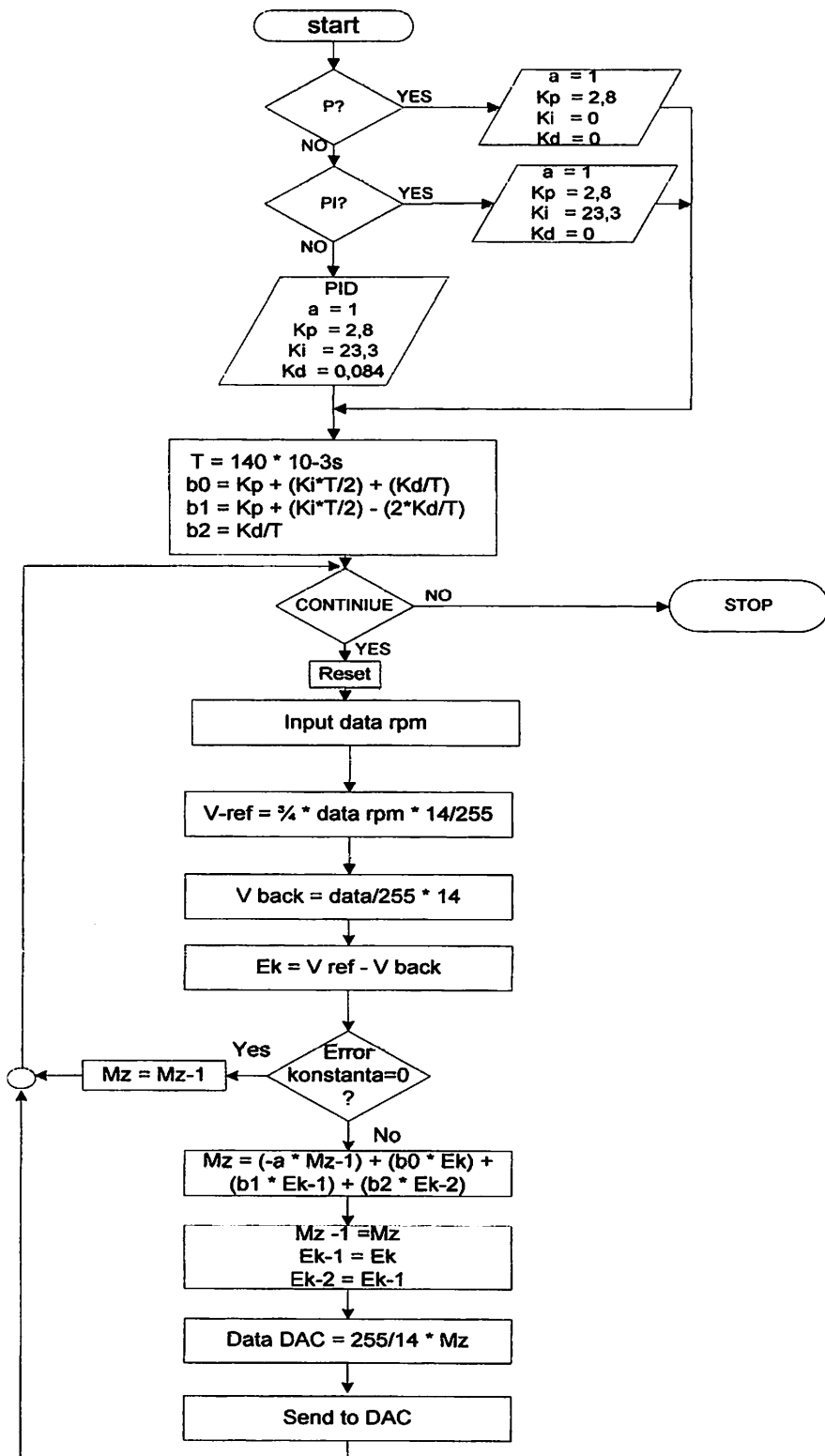
Cara kerja dari konveyor ini adalah sebagai berikut : Start awal adalah dengan menggunakan tombol manual, yang kemudian dilanjutkan dengan mengeset kecepatan berapa yang kita inginkan melalui *keypad* lalu kita jalankan. Data pengesetan lewat *keypad* akan diproses dalam mikrokontroler menggunakan kontrol PID yang bertujuan untuk mencapai hasil yang diinginkan yaitu putaran motor yang stabil. Berikut cara kerja yang dapat kita lihat pada diagram alir atau *flowchart*.



Gambar 3.13. Diagram Alir Cara Kerja

3.9. Rangkaian Perangkat Keras

Setelah kita mengetahui cara kerja keseluruhan dari konveyor serta mengetahui komponen – komponen apa saja yang akan digunakan, maka langkah selanjutnya adalah merakit komponen tersebut atau membuar perangkat keras (*hardware*). Dari masing – masing rangkaian seperti driver, v-reff, frekuensi to voltage, *keypad* dan LCD kita gabungkan menjadi satu yang tujuannya adalah untuk mempermudah pembacaan pada rangkaian.



Gambar 3.15. Diagram Alir Algoritma PID

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Untuk mengetahui bahwa konveyor yang dibuat telah berjalan dengan baik atau tidak maka kita lakukan pengujian. Yang mana pengujian ini dilakukan pada beberapa tahapan sebelum dilakukan pengujian secara keseluruhan.

Pengujian *hardware* bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dirancang berjalan sesuai dengan perencanaan dan analisa. Pada bab ini akan dibahas secara keseluruhan tahap-tahap dari pengujian *hardware* yang telah terintegrasi menjadi satu sistem kontrol. Pada proses pengukuran *hardware* yang telah menjadi satu sistem kontrol ini menggunakan multi meter digital untuk melihat tegangan keluaran yang dihasilkan oleh setiap blok kontrol. Sedangkan untuk mengetahui jumlah putaran motor yang dipergunakan sebagai penggerak utama dalam tugas akhir ini menggunakan tachometer dan tampilan LCD. sementara untuk melihat gelombang hasil kinerja kontrol dipergunakan *osilloscope* sebagai alat bantuannya. Dalam pengujian *hardware* ini meliputi:

1. Pengujian power supply.
2. Pengujian sensor kecepatan
3. Pengujian motor saat terbebani sesudah dikontrol
4. Pengujian kurva respon motor sebelum dikontrol.
5. Pengujian kurva respon motor setelah dilengkapi dengan PID.

4.1. Pengujian Power Supply

Sebelum kita melakukan pengujian hasil secara keseluruhan, kita perlu melakukan pengetesan hardware terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya kesalahan pada hasil data yang diproses nantinya. Pengetesan *hardware* dilakukan sesuai urutan daripada blok diagramnya. Yang pertama adalah memastikan bahwa suplai PLN bertegangan 220 volt. Kedua yaitu memastikan *rectifier* dan DC power supply input dan output hasilnya seperti pada tabel 4.1. Dengan ketentuan ini didapatkan hasil pengujian DC power suplay seperti berikut ini :

Tabel 4.1: Hasil Pengujian Power Supplay Amper Untuk Tegangan 24 V, 12V, 5 V

NO	Tegangan out 24 V	Tegangan out 12 V	Tegangan out 5 V
1	24,5	11,85	5,1

Dari pengujian power supply pada table 4.1 dapat dianalisa bahwa untuk tegangan yang diinginkan sesuai dengan yang diharapkan. Untuk tegangan 24 volt digunakan untuk motor, sedangkan tegangan 12 volt digunakan untuk tegangan referensi rangkaian frekuensi ke tegangan dan tegangan 5 volt adalah untuk mikrokontroler.

4.2. Pengujian Sensor Kecepatan

Rangkaian frekuensi to voltage adalah rangkaian yang dipergunakan sebagai *feedback* atau umpan balik dari kinerja motor yang digunakan. Rangkaian ini berfungsi untuk mengubah frekuensi dari putaran motor yang kemudian diubah menjadi tegangan. Dengan bantuan optokopler, rangkaian F to V ini mampu membaca berapa frekwensi kecepatan putaran motor tersebut. Rangkaian frekwensi to voltage ini dilengkapi dengan piringan, dimana piringan tersebut mempunyai lubang sebanyak 60 lubang. Jika semakin banyak lubang yang dibuat pada piringan, maka pembacaan parameter putaran motor

tersebut akan kelihatan semakin jelas. Pengujian dan pengukuran rangkaian frekuensi to voltage menggunakan digital.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Frekuensi to Voltage

U.IN(Volt)	PUTARAN MOTOR (rpm)	U. OUT (mVolt)
0	0	0
6	59,5	750
12	66,76	860
15	76	1000
20	90,52	1220
24	105,5	1830

Dengan melihat hasil pengukuran pada tabel di atas terlihat bahwa data sensor kecepatan pada motor berbentuk piringan dengan memakai optokopler tersebut berfungsi atau dapat bekerja. Jika tegangan refrensi dinaikan, maka U out akan ikut naik juga. Melihat dari hasil tersebut diatas bahwa, tegangan tertinggi yang dihasilkan oleh rangkaian *frekwensi to voltage* adalah 1830 mVolt atau 1,830 Volt. Jadi, dari hasil tegangan tersebut harus dikuatkan untuk mencapai tegangan yang diinginkan. Jika tegangan tersebut tidak dikuatkan, maka hasil keluaran dari *frekwensi to voltage* tersebut tidak dapat mengontrol kecepatan motor (dalam hal ini adalah *feedback*)

4.3. Pengujian Motor dan Konveyor

Ada beberapa data yang dapat kami ambil dari pengujian motor baik menggunakan beban maupun tidak menggunakan beban. Dalam pengujian ini yang kami gunakan adalah berapa rpm motor saat dibebani secara berubah-ubah maupun sebelum dibebani.

4.3.1. Pengujian Kecepatan Motor Sebelum Dikontrol

Dari data ini kita bisa mengetahui disamping memudahkan dalam perbandingan pengontrolan juga apakah *name plate* yang tertera pada motor DC sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

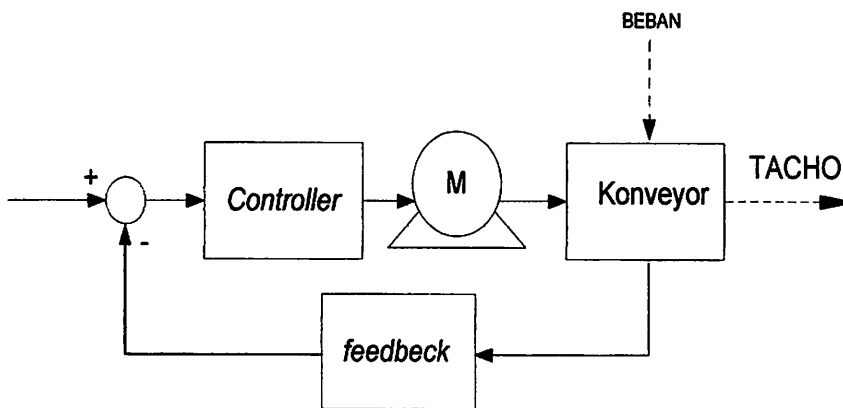
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Kecepatan Motor

No	U – Ref (Volt)	Putaran Motor (rpm)
1	0	0
2	1	0
3	5	30
4	6	39
5	7	47
6	8	55
7	9	62
8	10	70
9	11	77
10	12	85
11	13	93
12	14	100
13	15	108
14	16	110
15	17	115
16	18	120
17	19	125
18	20	128
19	21	137
20	22	145
21	23	153
22	24	160

Dari data pengujian diatas ternyata kondisi motor masih baik karena masih bisa menghasilkan data linier. Dari pengukuran tersebut juga bisa kita lihat bahwa kecepatan putaran motor berbanding lurus dengan tegangan. Pentingnya awal dari percobaan menyalakan atau mengambil data rpm ini adalah digunakan juga untuk perbandingan dalam pengontrolan, supaya dalam pekerjaan nantinya tidak sia-sia karena jika rpm motor sudah tidak sesuai dengan seharusnya yang dimiliki motor tersebut, maka motor tersebut adalah rusak. Jika motor tersebut rusak maka tidak dapat dikontrol lagi atau bisa saja dikontrol akan tetapi tidak sesuai lagi dengan yang kita harapkan.

4.3.2. Pengujian Kecepatan Konveyor Dengan PID

Tujuan melakukan pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa besar perubahan kecepatan motor saat motor dibebani dengan beban yang berubah beratnya. Dengan system *Close loop* yang nantinya pengujian dapat dilakukan melalui prosedur dibawah ini :



Gambar 4.1. Blok Pengujian Motor *Close Loop*(umpan balik)

Tabel 4.4. Hasil Pengujian konveyor Saat Terbebani (Set.100 rpm)

No	Beban (gram)	Set. rpm	Putaran Konveyor (rpm)		Error (%)		Ket.
			terendah	tertinggi	terendah	tertinggi	
1	0	100	114	117	1,14	1,17	Normal
2	50 gram	100	114	116	1,14	1,16	Normal
3	100 gram	100	114	116	1,14	1,16	Normal
4	200 gram	100	114	116	1,14	1,16	Normal
5	500 gram	100	113	115	1,14	1,15	Normal
6	1000 gram	100	0	0	0	0	Overload

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika kecepatan diberi setting 100 rpm, kecepatan motor mencapai 117 rpm dan jika diberi beban maksimal 500 gram maka kecepatan motor akan bertahan hingga 113 rpm kecuali pada saat diberi beban 1000 gram kecepatan akan berubah drastis. Berarti dalam pembebanan perlu dilakukan batasan berat beban yang akan diberikan ke konveyor, karena pada saat overload motor akan lebih lambat untuk mencapai kestabilan. Pada konveyon yang kami buat beban *overload* adalah diatas 1000 gram. Dari data tersebut maka dapat kita simpulkan bahwa sangat perlu dilakukan pengaturan kecepatanya untuk kesetabilan putaran motor tersebut.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian konveyor Saat Terbebani (Set.110 rpm)

No	Beban (gram)	Set. rpm	Putaran Konveyor (rpm)		Error (%)		Ket.
			terendah	tertinggi	terendah	tertinggi	
1	0	110	124	127	1,12	1,15	Normal
2	50 gram	110	124	126	1,12	1,14	Normal
3	100 gram	110	124	126	1,12	1,14	Normal
4	200 gram	110	124	126	1,12	1,14	Normal
5	500 gram	110	123	125	1,11	1,13	Normal
6	1000 gram	110	0	0	0	0	Overload

Untuk mendapatkan data error terendah dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Error_terendah = \frac{Put.terendah}{Set.po\ int} \times 100\%$$

Untuk mendapatkan data error tertinggi dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Error_tertinggi = \frac{Put.tertinggi}{Set.po\ int} \times 100\%$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika kecepatan diberi setting 110 rpm, kecepatan motor mencapai 127 rpm dan jika diberi beban maksimal 500 gram maka kecepatan motor akan bertahan hingga 123 rpm kecuali pada saat diberi beban 1000 gram kecepatan akan turun hingga mencapai 0 rpm. Dari data tabel percobaan tersebut yaitu tabel 4.4 dan tabel 4.5 dapat disimpulkan untuk kestabilan belt konveyor tersebut hanya berkisar dibawah 1000 gram, karena jika pembebanan diatas 1000 gram maka konveyor akan mengalami kelebihan beban atau *overload*.

4.3.3. Hubungan antar mekanik saat konveyor terbebani :

Tabel 4.4 menunjukkan, pada saat konveyor terbebani antara 50 – 500 gram, motor mengalami perubahan kecepatan akan tetapi kembali pada setting point yang telah ditentukan, hal ini diakibatkan karena desain mekanik, dimana belt pada konveyor mengalami gesekan. Ketika setting 100 rpm, kecepatan motor naik turun mulai 100 rpm hingga 107 rpm. Akan tetapi jika motor diberi beban berlebihan diatas 1000 gram, maka kecepatan (konveyor akan turun terus hingga mencapai 0 rpm) dan hal ini terjadi karena beban yang berlebihan dan mengakibatkan selip atau belt konveyor berhenti sehingga tidak ada *feedback* karena optokopler tidak berfungsi, maka motor akan berputar berapa tegangan yang diberikan.

4.4. Kurva Identifikasi Motor DC Sebelum Dikontrol

Kurva respon berbentuk S dapat dihasilkan secara eksperimen, oleh karena itu perlu sekali dilakukan proses identifikasi motor DC yang nantinya akan saling bersangkutan paut dengan Metode Zighler-Nichols.

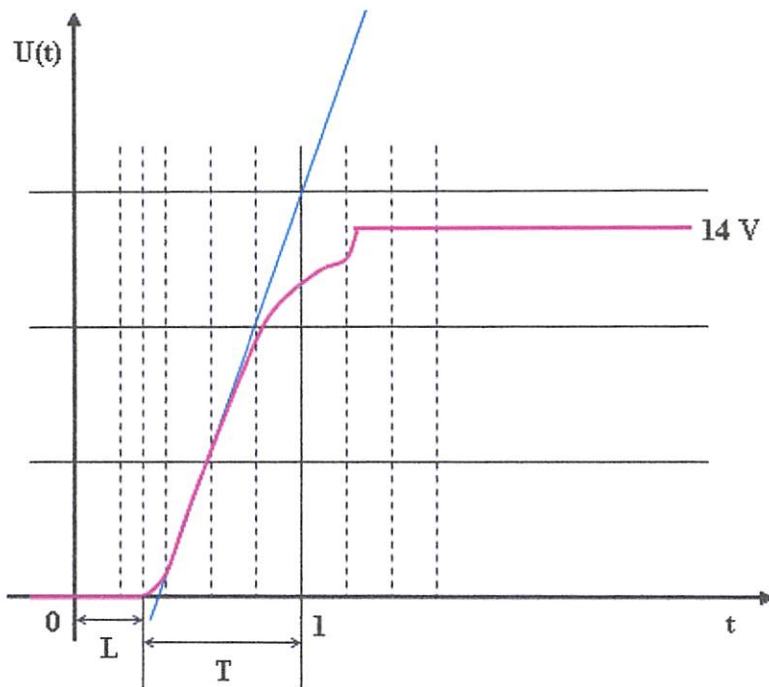
Karakteristik kurva yang dihasilkan dari proses identifikasi dapat diberikan dua konstanta yakni waktu tunda dan waktu mati yang ditentukan dengan menggambarkan garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk S.

Dari proses identifikasi yang telah dilakukan maka didapat kurva S dari motor DC magnet permanent yang dipergunakan dalam laporan skripsi ini dengan data $V/D=5$ Volt, $T/D=200$ ms. Dari identifikasi yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa respon motor DC(kurva S) yang digunakan sebagai *plant* adalah seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Respon Motor DC Hasil Identifikasi

Dari gambar diatas maka dapat kita peroleh data $\text{Time / Div} = 200 \text{ ms}$. Sehingga dari respon motor DC, dapat dilakukan pendekatan melalui metode Ziegler-Nichols untuk menentukan waktu mati(L) dan waktu tunda(T). Dengan mengacu pada kurva S metode Ziegler_Nichols maka didapatkan data sebagai berikut :



Gambar 4.3. Kurva S Hasil Pendekatan Metode Ziegler-Nichols

Dari kurva S gambar 4.2 setelah ditarik garis diketahui bahwa nilai dari L adalah $0,3$ sedangkan nilai dari tunda waktu T adalah $1 - 0,3 = 0,7$, sehingga :

$$L = 0,3 \times 200\text{ms} = 60\text{ms}$$

$$T = 0,7 \times 200\text{ms} = 140\text{ms}$$

Dimana 200ms didapat dari T/Div osciloskop yang digunakan. Untuk mengetahui nilai dari setiap parameter K_p , T_i , dan T_d perlu menggunakan bantuan tabel penalaan parameter metode kurva reaksi.

Tabel 4.6. Penalaan Parameter dengan Metode Kurva Reaksi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2L$	$0.5L$

Maka untuk P:

$$a). K_p = \frac{T}{L} \quad (4.1)$$

$$K_p = \frac{140ms}{60ms} = 2,3 \quad (4.2)$$

$$b). T_i = 0 \quad (4.3)$$

$$c). T_d = 0 \quad (4.4)$$

$$d). K_d = K_p * T_d \quad (4.5)$$

$$K_d = 2,3 * 0 = 0 \quad (4.6)$$

$$K_d = 0 \quad (4.7)$$

$$e). K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (4.8)$$

$$K_i = \frac{2,3}{0} = 0 \quad (4.9)$$

Maka untuk P,I :

$$a). Kp = 0,9 \frac{T}{L} \quad (4.10)$$

$$Kp = \frac{0,9 * 140ms}{60ms} = 2,1ms \quad (4.11)$$

$$b). Ti = \frac{L}{0,3} \quad (4.12)$$

$$Ti = \frac{60}{0,3} = 200ms \quad (4.13)$$

$$c). Td = 0 \quad (4.14)$$

$$d). Kd = Kp * Td \quad (4.15)$$

$$Kd = 2,1 * 0 = 0 \quad (4.16)$$

$$Kd = 0 \quad (4.17)$$

$$e). Ki = \frac{Kp}{Ti} \quad (4.18)$$

$$Ki = \frac{2,1}{200} = 0,1 \quad (4.19)$$

Maka untuk P , I , D :

$$a). Kp = 1,2 \frac{T}{L} \quad (4.20)$$

$$Kp = \frac{1,2 * 140ms}{60ms} = 2,8 \quad (4.21)$$

$$b). Ti = 2L \quad (4.22)$$

$$Ti = 2 * 60ms = 120ms \quad (4.24)$$

$$c). Td = 0,5L \quad (4.25)$$

$$Td = 0,5 * 60ms = 30ms \quad (4.26)$$

$$d). Kd = Kp * Td \quad (4.27)$$

$$Kd = 2,8 * 0,03 \quad (4.28)$$

$$Kd = 0,084 \quad (4.29)$$

$$e). Ki = \frac{Kp}{Ti} \quad (4.30)$$

$$Ki = \frac{2,8}{0,12} = 23,3 \quad (4.31)$$

4.4.1. Hasil Settling Kp, Ti dan Td /Kp,Kd dan Ki

Berikut ini nilai Kp, Ti, dan Td yang didapatkan dengan perhitungan menggunakan rumus-rumus pada bagian penalaan. Konfigurasi kontroler PID yang digunakan ialah seri.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Parameter Kontroler Kp,Ti dan Td

Sistem Loop Tertutup Ziegler-Nicols	Kp	Ti	Td
Kontrol P	2,3	0	0
Kontrol P+I	2,1	200ms	0
Kontrol P+I+D	2,8	120ms	30ms

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Parameter Kontroler Kp, Kd dan Ki

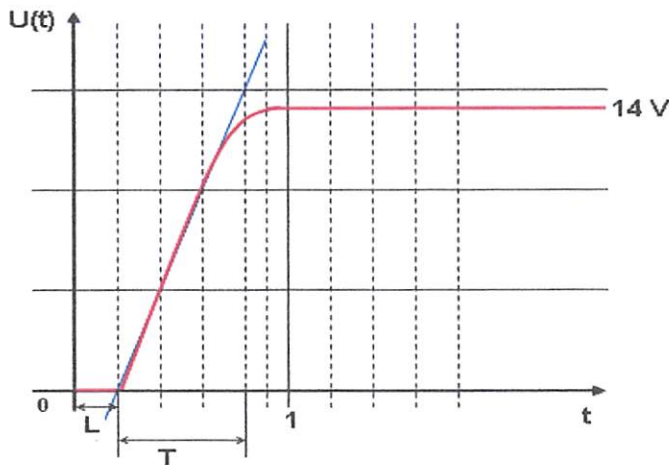
Sistem Loop Tertutup Ziegler-Nicols	Kp	Kd	Ki
Kontrol P	2,3	0	0
Kontrol P+I	2,1	0	0,01
Kontrol P+I+D	2,8	0,084	23,3

4.5 Hasil Kurva Motor Dengan P Kontroler

Pengujian respon motor yang telah dilengkapi dengan kontroler P ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk kurva dari respon motor apakah setelah dikontrol dengan proporsional ini nantinya ada perubahan yang lebih baik dibandingkan dengan kurva sebelum dikontrol. Hal ini dapat dilihat dengan hasil rekaman data yang didapat dari *osiloscope* yang dipergunakan sebagai alat perekaman respon motor.



Gambar 4.4. Kurva Respon Motor Dengan P Kontroler.



Gambar 4.5. Garis Singgung Kurva Dengan P Kontroler.

Dari gambar 4.4 dan 4.5 dapat kita analisa bahwa data hasil pengujian pada P kontroler yang menggunakan osiloskop dengan parameter $V/D = 5 \text{ V}$ dan $T/D = 200 \text{ ms}$ maka didapat :

$$L = 0,2 \times 200 \text{ ms} = 40 \text{ ms}$$

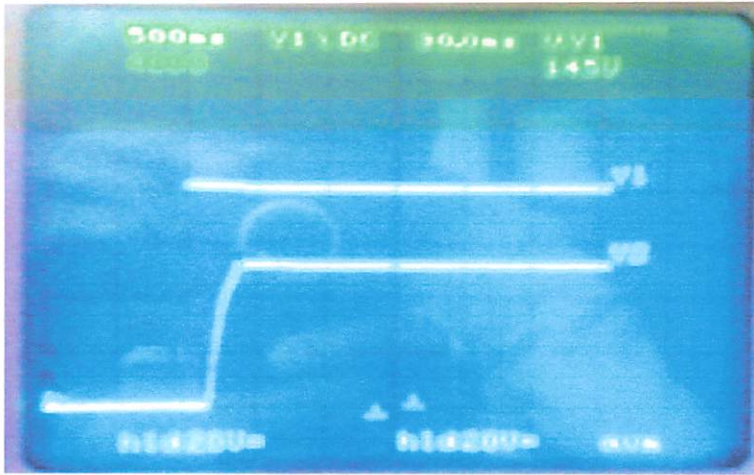
$$T = 0,6 \times 200 \text{ ms} = 120 \text{ ms}$$

Jika dilihat dari hasil kurva respon motor pada gambar 4.4 dengan menggunakan kontrol proporsional ini didapat harga L adalah 40 ms sedangkan untuk T adalah 120 maka jika dibandingkan dengan sebelum dikontrol, kontrol proporsional ini dapat mengurangi *rise time* menjadi lebih kecil, akan tetapi akan lebih lama untuk mencapai *steady state*. Oleh karena itu, supaya motor lebih cepat lagi untuk mencapai *steady state* diperlukan I kontroler, karena sifat dari kontroler I ini dapat memperbaiki respon sistem hingga mempunyai kesalahan mantap nol.

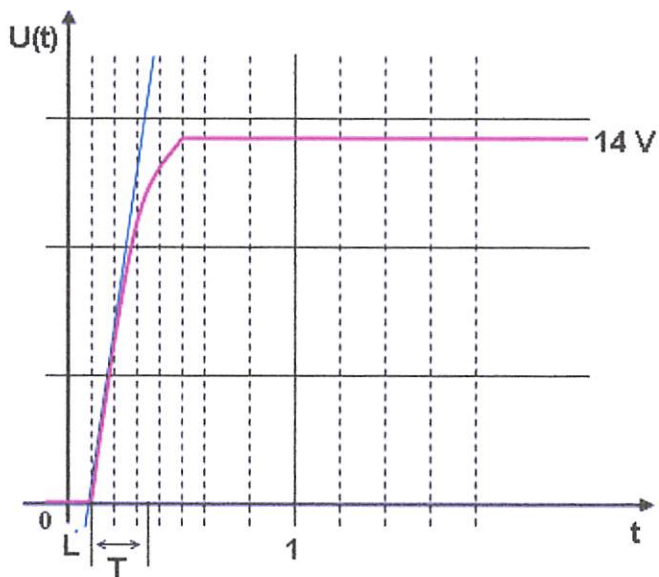
4.4. Hasil Kurva Motor Dengan PI Kontroler

Pengujian respon motor yang telah dilengkapi dengan kontroler PI ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk kurva dari respon motor apakah setelah dikontrol

dengan proporsional ditambah dengan Integral ini nantinya ada perubahan yang lebih baik dibandingkan dengan kurva sebelum dikontrol maupun hasil kurva hanya dengan menggunakan kontrol proporsional saja. Hal ini dapat dilihat dengan hasil rekaman data yang didapat dari *osilloscope* yang dipergunakan sebagai alat perekaman respon motor.



Gambar 4.6. Kurva Respon Motor Dengan PI Kontroler.



Gambar 4.7. Garis Singgung Kurva Dengan PI Kontroler.

Dari gambar 4.6 dan 4.7 dapat kita analisa bahwa data hasil pengujian pada PI kontroler yang menggunakan osiloskop dengan parameter V/D = 5 V dan T/D = 200ms maka didapat :

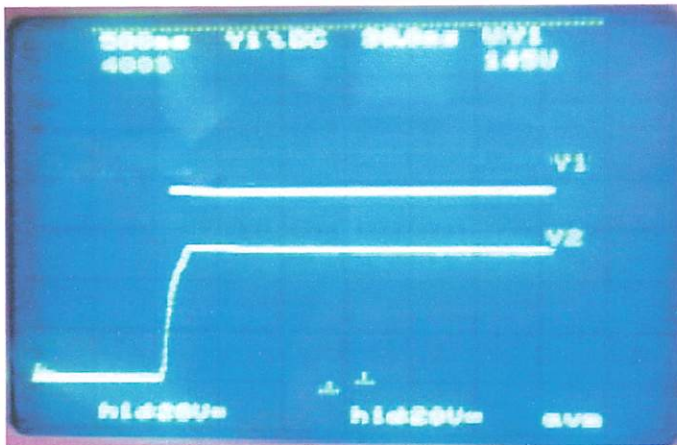
$$L = 0,1 \times 200 \text{ ms} = 20 \text{ ms}$$

$$T = 0,25 \times 200 \text{ ms} = 50 \text{ ms}$$

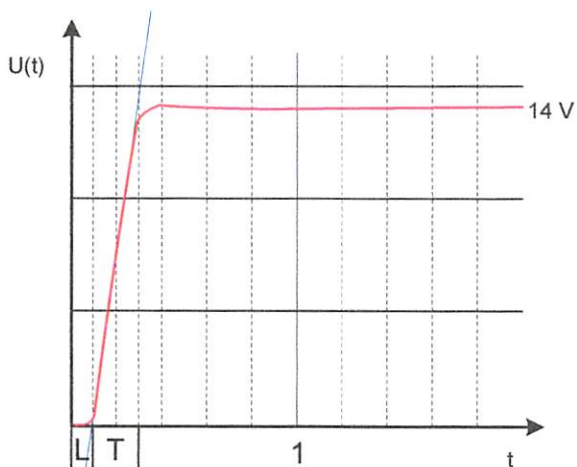
Apabila kita lihat dari hasil kurva respon motor pada gambar 4.6. dengan menggunakan kontrol proporsional dan integral maka kita dapatkan L adalah 20 ms sedangkan untuk T adalah 50 ms. Maka terlihat bahwa kontrol ini dapat mengurangi *rise time* menjadi lebih kecil dan juga akan lebih cepat untuk mencapai *steady state* dibandingkan dengan hanya menggunakan kontrol P saja.

4.5. Hasil Kurva Motor Dengan PID Kontroler

Pengujian respon motor yang telah dilengkapi dengan kontroler PID ini bertujuan untuk mengetahui apakah kontroler PID yang telah dirancang dan diaplikasikan pada alat telah berfungsi dengan baik. Hal ini dapat dilihat dengan hasil rekaman data yang didapat dari *osilloscope* yang dipergunakan sebagai alat perekaman respon motor dengan parameter V/D = 5 Volt T/D = 200 ms.



Gambar 4.8. Kurva Respon Motor Dengan PID Kontroler.



Gambar 4.9. Garis Singgung Kurva Dengan PID Kontroler.

Dari gambar 4.8 dan 4.9 dapat kita analisa bahwa data hasil pengujian pada rangkaian PID kontroler yang menggunakan osiloskop dengan parameter $V/D = 5 \text{ V}$ dan $T/D = 200\text{ms}$ maka didapat :

$$L = 0,1 \times 200 \text{ ms} = 20 \text{ ms}$$

$$T = 0,2 \times 200 \text{ ms} = 40 \text{ ms}$$

Dari perhitungan ini membuktikan bahwa kontroler PID yang dipergunakan dalam skripsi ini mampu mengurangi waktu tunda (T) sehingga tanggapan respon motor

semakin cepat untuk mencapai *steady state* yang mendekati *setting point* yang ditetapkan.

Dapat kita lihat bahwa kurva memiliki *rise time* yang lebih kecil dibanding sebelumnya, akan tetapi memiliki sedikit *overshot*. Dengan kontrol PID dapat respon terlihat berbanding lurus dengan seting point yang ditentukan. Pada saat motor start, motor akan sedikit ada lonjakan akan tetapi lebih cepat setabil. Hal ini menandakan bahwa PID Merupakan suatu metode yang bagus dalam pengaturan kecepatan motor.

Tabel 4.8. Error Putaran Konveyor

No	beban	Error (%)	
		terendah	tertinggi
1	0	1,14	1,17
2	50 gram	1,14	1,16
3	100 gram	1,14	1,16
4	200 gram	1,14	1,16
5	500 gram	1,13	1,15
6	1000 gram	0	0

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari rangkaian kegiatan skripsi yang telah dilakukan dan dari data-data yang diperoleh maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecepatan motor pada konveyor dengan kontroler PID setelah diberi beban yang berbeda-beda tetap menghasilkan putaran dari *setting point* yang ditentukan, hal ini membuktikan bahwa PID kontroler yang dipergunakan mampu beradaptasi dengan cepat pada perubahan beban yang terjadi.
2. Berikut adalah data kurva respon motor sebelum dan sesudah dikontrol

Dari hasil identifikasi motor :

Data Kurva Sebelum Dikontrol

$$L = 0,3 \times 200\text{ms} = 60\text{ms}$$

$$T = 0,7 \times 200\text{ms} = 140\text{ms}$$

Data Kurva Sesudah Dikontrol

$$L = 0,1 \times 200 \text{ ms} = 20 \text{ ms}$$

$$T = 0,3 \times 200 \text{ ms} = 40 \text{ ms}$$

Dari identifikasi motor diketahui bahwa kurva sebelum dikontrol memiliki $L = 60 \text{ ms}$ dan $T = 140 \text{ ms}$, dan setelah dikontrol terlihat bahwa harga $L = 20 \text{ ms}$ dan $T = 60 \text{ ms}$. Sehingga respon motor untuk mencapai steady state semakin cepat.

5.2. Saran - saran

Ada beberapa saran yang dapat kami berikan kepada pembaca yang tertarik dengan skripsi ini bahkan ingin mengembangkan.

- Skripsi ini bisa dikembangkan bukan hanya menggunakan metode Zigler-Nikhols tetapi bisa juga menggunakan cara atau dengan metode yang lain.
- Laporan ini bisa juga dikembangkan bukan hanya mencari K_p , K_d , K_i , untuk PID, tetapi juga bisa dikembangkan dengan Perhitungan mekanik . seperti perhitungan gear, dan beban gesek supaya mencapai hasil yang maksimal
- Untuk menghasilkan respon yang sangat baik diperlukan perhitungan yang tepat juga.

Daftar Pustaka

- [1] Budioko Totok, “ *Belajar Dengan Mudah dan Cepat pemograman bahasa C Dengan SDCC [Small Device C Compiler] Pada Mikrokontroler AT89X51/AT89C51/52 Teori, Simulasi dan Aplikasi* “, Gava Media, Yogyakarta, 2005
- [2] Zuhail “ *Dasar Tenaga Listrik*”, Penerbit ITB Bandung ,1991.
- [3] Ogata, Katsuhito ,”*Teknik Kontrol otomatis*”, Edisi 1 dan 2, Alih bahasa edi Leksono,Institut Teknologi Bandung, Erlangga 1997.
- [4] Susa’at, Sodikin, “*Teknik Pengaturan 1* ”,Diktat Kuliah Joint Program Berufsakademie Malang, 2003.
- [5] *Modul Elektronika Industri 2*, PENS ITS Surabaya
- [6] Handy Wicaksono, 2004, ”*Analisa Performansi dan Robustness Beberapa metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC*”, Universitas Kristen Petra Surabaya
- [7] Chairuzzaini dkk., “ *Pengenalan Metode Ziegler-Nichols Pada Perancangan Kontroler PID* ”, 1998. URL :
<http://www.elektroindonesia.com/elektro/tutor12.html>>.
- [8] Resmana, Ferdinando Hany,”*Implementasi Fuzzy Logic Pada Mikrokontroler Untuk Kendali Putaran Motor DC*”, Industrial Elektronik Seminar, ITS, Surabaya 1999.
<http://www.elektroindonesia.com/elektro/kend15.html>
- [9] [www.semiconductors.philips.com/cgi-bin/pldb/pip/pcf8591 - 36k](http://www.semiconductors.philips.com/cgi-bin/pldb/pip/pcf8591-36k)
- [10] Blocher Richard,Dipl.phys,“*Dasar Elektronika*“ , ANDI, Yogyakarta 2003
- [11] <http://www.elektroindonesia.com/elektro/kend15.html>
- [12] www.chipcatalog.com/National/LM2917.htm - 14k

LAMPIRAN



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1)
yang diselenggarakan pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Maret 2007

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Rully
2. NIM : 01.12.038
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID
CONTROLLER UNTUK PENGENDALI PUTARAN
MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR BERBASIS
MK AT89C51

No	Materi perbaikan	Ket
1.	Revisi tujuan	
2.	Kesimpulan dengan hasil pengujian disesuaikan	
3.	Abstrak bahasa inggris	
4.	Tabel tidak boleh terpisah	
5.	Flow chart halaman 46	
6.	Perubahan kontroller pada sistem	
7.	Flow chart halaman 43	
8.	Alat harus sudah ok	

Anggota Penguji

Penguji Pertama

Ir. H. Taufik Hidayat, MT

Penguji Kedua

Irrine Budi S. ST, MT

Dosen Pembimbing I

Ir. Widodol Pudji, M, MT

Dosen Pembimbing II

Ir. Eko Nurcahyo



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama Mahasiswa : Rully
N.I.M. : 01.12.038
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID
CONTROLLER UNTUK PENGENDALI
PUTARAN MOTOR DC PADA BELT
KONVEYOR BERBASIS MK AT 89C51

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Maret 2007
Dengan Nilai : 73,95 (B+) *By*



Panitia Ujian

(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Ketua

(Ir. F Yudi Limpraptono, MT)
Sekretaris

Anggota Penguji

(Ir. Taufik Hidayat, MT)
Penguji Pertama

(Irrine Budi.S. ST, MT)
Penguji Kedua



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : RULLY
Nim : 01.12.038
Masa Bimbingan : 14 Agustus 2007 s/d 14 Februari 2007
Judul Skripsi : **PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID
CONTROLLER UNTUK PENGENDALI PUTARAN
MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR BERBASIS
MK AT 89C51**

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	26-01-2007	Konsultasi Bab I dan II	
2.	29-01-2007	Acc Bab I dan II	
3.	01-02-2007	Konsultasi Bab III	
4.	05-02-2007	Listning program	
5.	08-02-2007	Acc Bab III	
6.	10-02-2007	Konsultasi Bab IV dan V	
7.	16-02-2007	Revisi Bab IV	
8.	18-02-2007	Konsultasi hasil revisi	
9.	22-02-2007	Konsultasi hasil revisi Bab IV dan V	
10.	24-02-2007	Acc Bab IV dan V	

Malang, 01 Maret 2007
Dosen Pembimbing I

Ir. Widodo Pudi M, MT



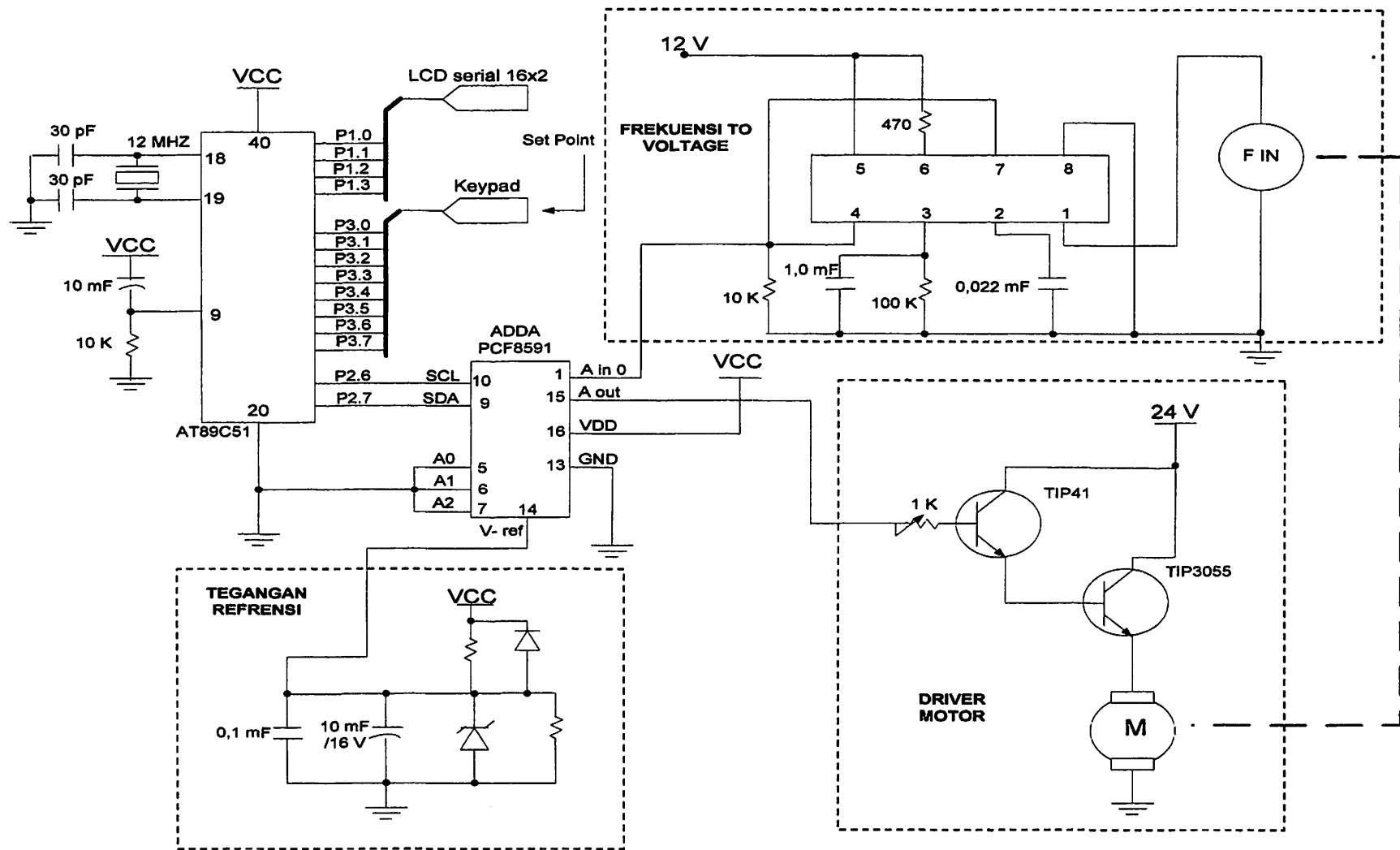
FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : RULLY
Nim : 01.12.038
Masa Bimbingan : 14 Agustus 2007 s/d 14 Februari 2007
Judul Skripsi : **PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID
CONTROLLER UNTUK PENGENDALI PUTARAN
MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR BERBASIS
MK AT 89C51**

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	01-03-2007	Konsultasi Bab I, II dan III	
2.	03-03-2007	Perbaikan Sistematika Penulisan Pada Bab I, II, III, IV	
3.	05-03-2007	Perbaikan bab IV	
4.	06-03-2007	Cek kesimpulan dan batasan masalah	
5.	07-03-2007	Periksa kembali kesimpulan dan batasan masalah apakah sudah sesuai dengan tujuan pembahasan dan hasil analisa	
6.	04-03-2007	Acc makalah seminar hasil	
7.	13-03-2007	Perbaikan dan revisi laporan skripsi	
8.	19-03-2007	Acc maju ujian skripsi	
9.			
10.			

Malang, 03 Maret 2007
Dosen Pembimbing II

Ir. Eko Nurcahyo



Gambar Rangkaian Perangkat Keras Secara Garis Besar

```
/* =====  
LISTING PROGRAM
```

```
PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PID CONTROLLER UNTUK  
PENGENDALI PUTARAN MOTOR DC PADA BELT KONVEYOR  
BERBASIS MICROKONTROLLER AT89C51
```

```
NAMA      : RULLY  
NIM       : 01.12.038  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
```

```
*/ =====
```

```
#include <at89x51.h>  
#include "Pending.c"  
#include "myser1.c"  
#include "lcdku.c"  
#include "adda.c"
```

```
#define tbp      P2_0  
#define tbpi    P2_1  
#define tbpid   P2_2  
#define ledp    P2_3  
#define ledpi   P2_4  
#define ledpid  P2_5
```

```
//inisialisasi variabel  
short Kp,Ki,b0,b1,b2,Ek,Ek1,Ek2,Mz,Mz1,a;  
float T,Kd,t;  
char Loop;  
int j;  
//char Data_Tombol;  
//=====
```

```
#define MatrikX1  P2_4  
#define MatrikX2  P2_5  
#define MatrikX3  P2_6  
#define MatrikX4  P2_7  
#define MatrikY1  P2_0  
#define MatrikY2  P2_1  
#define MatrikY3  P2_2
```

```
#define MatrikY4    P2_3
```

```
//rutin untuk tombol keypad
```

```
char Tombolnya()
```

```
{  
    MatrikX1    = 0        ;  
    MatrikX2    = 1        ;  
    MatrikX3    = 1        ;  
    MatrikX4    = 1        ;  
    switch ( P2 & 0x0F )  
    {  
    case 0x0E:  
        while(MatrikY1==0){;}  
        return '1';  
        break;  
    case 0x0D:  
        while(MatrikY2==0){;}  
        return '4';  
        break;  
    case 0x0B:  
        while(MatrikY3==0){;}  
        return '7';  
        break;  
    case 0x07:  
        while(MatrikY4==0){;}  
        return 'N';  
        break;  
    }  
    MatrikX1    = 1        ;  
    MatrikX2    = 0        ;  
    MatrikX3    = 1        ;  
    MatrikX4    = 1        ;  
    switch ( P2 & 0x0F )  
    {  
    case 0x0E:  
        while(MatrikY1==0){;}  
        return '2';  
        break;  
    case 0x0D:  
        while(MatrikY2==0){;}  
        return '5';  
        break;  
    case 0x0B:  
        while(MatrikY3==0){;}  
        return '8';  
    }  
}
```

```

        break;
case 0x07:
    while(MatrikY4==0){;}
    return '0';
    break;
}
MatrikX1    = 1          ;
MatrikX2    = 1          ;
MatrikX3    = 0          ;
MatrikX4    = 1          ;
switch ( P2 & 0x0F )
{
case 0x0E:
    while(MatrikY1==0){;}
    return '3';
    break;
case 0x0D:
    while(MatrikY2==0){;}
    return '6';
    break;
case 0x0B:
    while(MatrikY3==0){;}
    return '9';
    break;
case 0x07:
    while(MatrikY4==0){;}
    return 'E';
    break;
}
MatrikX1    = 1          ;
MatrikX2    = 1          ;
MatrikX3    = 1          ;
MatrikX4    = 0          ;
switch ( P2 & 0x0F )
{
case 0x0E:
    while(MatrikY1==0){;}
    return 'R';
    break;
case 0x0D:
    while(MatrikY2==0){;}
    return 'M';
    break;
case 0x0B:
    while(MatrikY3==0){;}
    return 'U';

```

```

        break;
    case 0x07:
        while(MatrikY4==0){;}
        return 'D';
        break;
    default:
        return 'Z';
    // break;
}

```

```

}

```

```

void key()
{
    ruly=Tombolnya();
    while (ruly=='Z')
    {
        ruly=Tombolnya();
    }
}

```

```

void awal()
{
    //tampilan awal
    cetak(1,1,"Setting:");
    while(ruly!='E')
        {
            key();
            //dataout();
        }
    cetak(1,12,"RPM");
}

```

```

void prosesp()
{
    awal();
    Kp=2.3;
    Kd=0;
    Ki=0;
    T=0.14;
    t=100/14;
    Ek=0;
    a=-1;
    b0=Kp+(Ki*T/2)+(Kd*t);
    b1=Kp+(Ki*T/2)-(2*Kd*t);
    b2=Ki*t;
    j=155;
    while(1)

```

```

{
  write_dac(0, j);
  Ek=(ruly-(3*read_adc(0)/4))*14/255;
  if (Ek!=0)
  {
    Mz=(-a*Mz1)+(b0*Ek)+(b1*Ek1)+(b2*Ek2);
    Mz1=Mz;
    Ek1=Ek;
    Ek2=Ek1;
    j=Mz*255/14;
  }
  else ;
}
}
}

```

```

void prosespi()

```

```

{
  awal();
  Kp=2.1;
  Kd=0;
  Ki=0.01;
  T=0.14;
  t=100/14;
  Ek=0;
  a=-1;
  b0=Kp+(Ki*T/2)+(Kd*t);
  b1=Kp+(Ki*T/2)-(2*Kd*t);
  b2=Ki*t;
  j=155;

```

```

while(1)

```

```

{
  write_dac(0, j);
  Ek=(ruly-(3*read_adc(0)/4))*14/255;
  if (Ek!=0)
  {
    Mz=(-a*Mz1)+(b0*Ek)+(b1*Ek1)+(b2*Ek2);
    Mz1=Mz;
    Ek1=Ek;
    Ek2=Ek1;
    j=Mz*255/14;
  }
  else ;
}
}
}

```

```

void prosespid()

```

```

{
  awal();

```



```

Kp=2.8;
Kd=0.084;
Ki=23.3;
T=0.14;
t=100/14;
Ek=0;
a=-1;
b0=Kp+(Ki*T/2)+(Kd*t);
b1=Kp+(Ki*T/2)-(2*Kd*t);
b2=Ki*t;
j=155;
while(1)
{
write_dac(0, j);
Ek=(ruly-(3*read_adc(0)/4))*14/255;
if (Ek!=0)
{
Mz=(-a*Mz1)+(b0*Ek)+(b1*Ek1)+(b2*Ek2);
Mz1=Mz;
Ek1=Ek;
Ek2=Ek1;
j=Mz*255/14;
}
else ;
}
}
// -----
// Program Utama
// -----
void main ()
{/** Begin of Main
initlcd(); //inisialisasi lcd
ledp=1;ledpi=1;ledpid=1;tbp=1;tbpi=1;tbpid=1;

//=====
while(1)/** Pengulangan Loop tanpa henti
{/** Begin of While
if(tbp==0) prosesp();
else if(tbpi==0) prosespi();
else if(tbpid==0) prosespid();
else ;

}/** End of While
}/** End of Main

```

LM2907/LM2917 Frequency to Voltage Converter

General Description

The LM2907, LM2917 series are monolithic frequency to voltage converters with a high gain op amp/comparator designed to operate a relay, lamp, or other load when the input frequency reaches or exceeds a selected rate. The tachometer uses a charge pump technique and offers frequency doubling for low ripple, full input protection in two versions (LM2907-8, LM2917-8) and its output swings to ground for a zero frequency input.

The op amp/comparator is fully compatible with the tachometer and has a floating transistor as its output. This feature allows either a ground or supply referred load of up to 50 mA. The collector may be taken above V_{CC} up to a maximum V_{CE} of 28V.

The two basic configurations offered include an 8-pin device with a *ground referenced tachometer* input and an internal connection between the tachometer output and the op amp non-inverting input. This version is well suited for single speed or frequency switching or fully buffered frequency to voltage conversion applications.

The more versatile configurations provide differential tachometer input and uncommitted op amp inputs. With this version the tachometer input may be floated and the op amp becomes suitable for active filter conditioning of the tachometer output.

Both of these configurations are available with an active shunt regulator connected across the power leads. The regulator clamps the supply such that stable frequency to voltage and frequency to current operations are possible with any supply voltage and a suitable resistor.

Advantages

- Output swings to ground for zero frequency input

- Easy to use; $V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$
- Only one RC network provides frequency doubling
- Zener regulator on chip allows accurate and stable frequency to voltage or current conversion (LM2917)

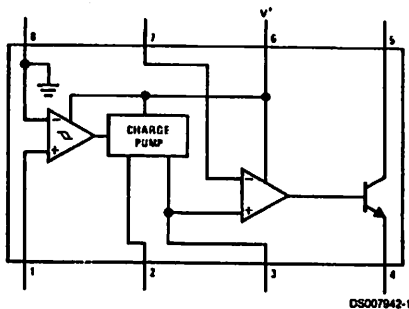
Features

- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs
- Frequency doubling for low ripple
- Tachometer has built-in hysteresis with either differential input or ground referenced input
- Built-in zener on LM2917
- $\pm 0.3\%$ linearity typical
- Ground referenced tachometer is fully protected from damage due to swings above V_{CC} and below ground

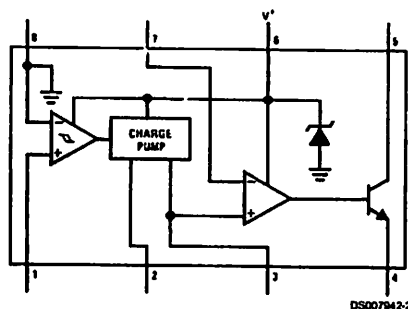
Applications

- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

Block and Connection Diagrams Dual-In-Line and Small Outline Packages, Top Views

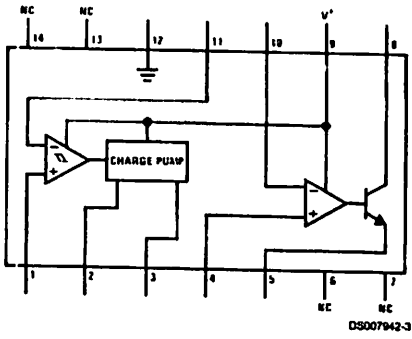


Order Number LM2907M-8 or LM2907N-8
See NS Package Number M08A or N08E

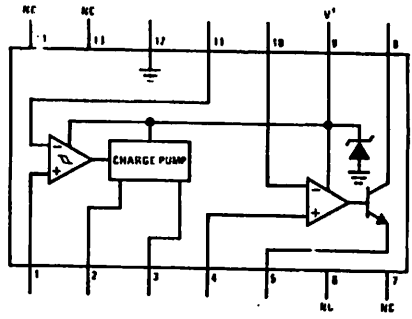


Order Number LM2917M-8 or LM2917N-8
See NS Package Number M08A or N08E

Block and Connection Diagrams Dual-In-Line and Small Outline Packages, Top Views (Continued)



Order Number LM2907M or LM2907N
See NS Package Number M14A or N14A



Order Number LM2917M or LM2917N
See NS Package Number M14A or N14A

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage	28V
Supply Current (Zener Options)	25 mA
Collector Voltage	28V
Differential Input Voltage	
Tachometer	28V
Op Amp/Comparator	28V
Input Voltage Range	
Tachometer	
LM2907-8, LM2917-8	±28V
LM2907, LM2917	0.0V to +28V
Op Amp/Comparator	0.0V to +28V

Power Dissipation	
LM2907-8, LM2917-8	1200 mW
LM2907-14, LM2917-14	1580 mW
See (Note 1)	
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	

Electrical Characteristics

V_{CC} = 12 V_{DC}, T_A = 25°C, see test circuit

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
TACHOMETER						
	Input Thresholds	V _{IN} = 250 mVp-p @ 1 kHz (Note 2)	±10	±25	±40	mV
	Hysteresis	V _{IN} = 250 mVp-p @ 1 kHz (Note 2)		30		mV
	Offset Voltage	V _{IN} = 250 mVp-p @ 1 kHz (Note 2)				
	LM2907/LM2917			3.5	10	mV
	LM2907-8/LM2917-8			5	15	mV
	Input Bias Current	V _{IN} = ±50 mV _{DC}		0.1	1	µA
V _{OH}	Pin 2	V _{IN} = +125 mV _{DC} (Note 3)		8.3		V
V _{OL}	Pin 2	V _{IN} = -125 mV _{DC} (Note 3)		2.3		V
I ₂ , I ₃	Output Current	V ₂ = V ₃ = 6.0V (Note 4)	140	180	240	µA
I ₃	Leakage Current	I ₂ = 0, V ₃ = 0			0.1	µA
K	Gain Constant	(Note 3)	0.9	1.0	1.1	
	Linearity	f _{IN} = 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz (Note 5)	-1.0	0.3	+1.0	%
OP/AMP COMPARATOR						
V _{OS}		V _{IN} = 6.0V		3	10	mV
I _{BIAS}		V _{IN} = 6.0V		50	500	nA
	Input Common-Mode Voltage		0		V _{CC} -1.5V	V
	Voltage Gain			200		V/mV
	Output Sink Current	V _C = 1.0	40	50		mA
	Output Source Current	V _E = V _{CC} - 2.0		10		mA
	Saturation Voltage	I _{SINK} = 5 mA		0.1	0.5	V
		I _{SINK} = 20 mA			1.0	V
		I _{SINK} = 50 mA		1.0	1.5	V
ZENER REGULATOR						
	Regulator Voltage	R _{DROP} = 470Ω		7.56		V
	Series Resistance			10.5	15	Ω
	Temperature Stability			+1		mV/°C
	TOTAL SUPPLY CURRENT		3.8		6	mA

Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 101°C/W junction to ambient for LM2907-8 and LM2917-8, and 79°C/W junction to ambient for LM2907-14 and LM2917-14.

Note 2: Hysteresis is the sum +V_{TH} - (-V_{TH}), offset voltage is their difference. See test circuit.

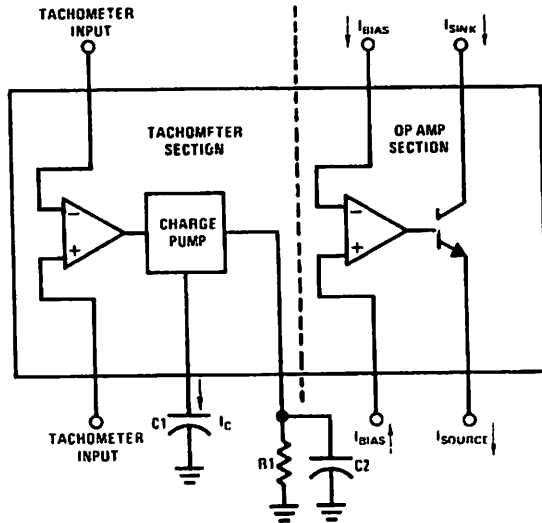
Note 3: V_{OH} is equal to ¼ x V_{CC} - 1 V_{BE}, V_{OL} is equal to ¼ x V_{CC} - 1 V_{BE} therefore V_{OH} - V_{OL} = V_{CC}/2. The difference, V_{OH} - V_{OL}, and the mirror gain, I₂/I₃, are the two factors that cause the tachometer gain constant to vary from 1.3.

Electrical Characteristics (Continued)

Note 4: Be sure when choosing the time constant $R1 \times C1$ that $R1$ is such that the maximum anticipated output voltage at pin 3 can be reached with $I_3 \times R1$. The maximum value for $R1$ is limited by the output resistance of pin 3 which is greater than $10\text{ M}\Omega$ typically.

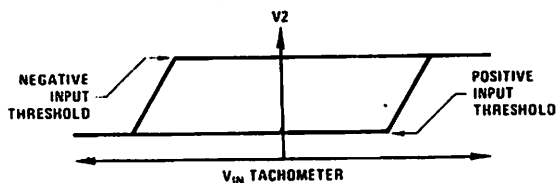
Note 5: Nonlinearity is defined as the deviation of V_{OUT} (# pin 3) for $f_{IN} = 5\text{ kHz}$ from a straight line defined by the V_{OUT} @ 1 kHz and V_{OUT} @ 10 kHz . $C1 = 1000\text{ pF}$, $R1 = 68\text{ k}$ and $C2 = 0.22\text{ mF}$.

Test Circuit and Waveform



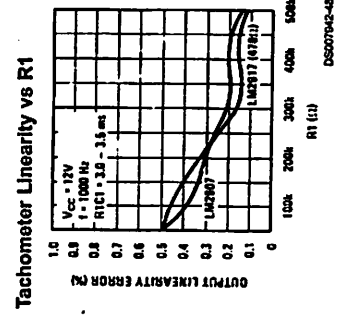
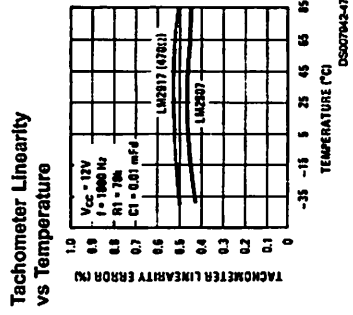
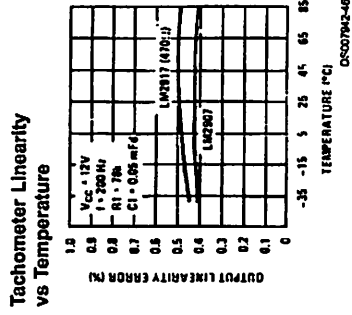
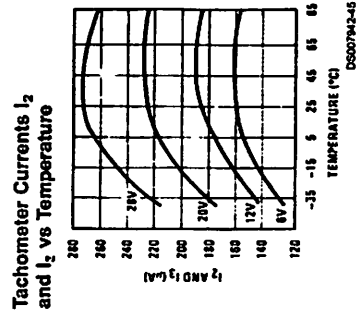
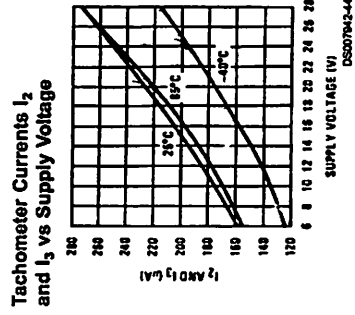
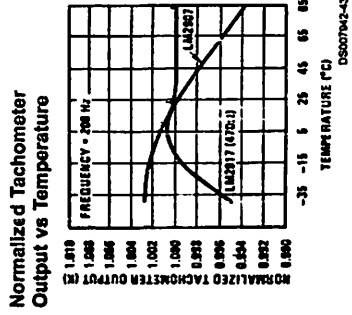
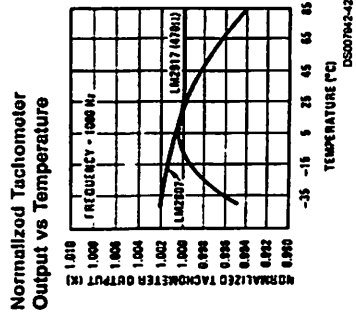
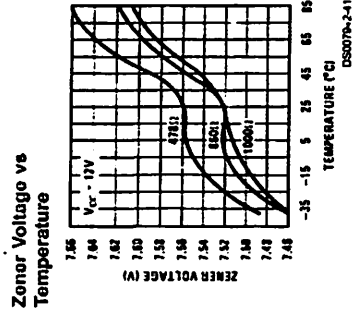
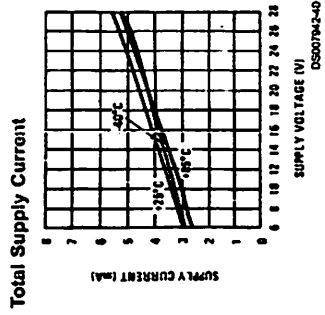
DS007942-6

Tachometer Input Threshold Measurement



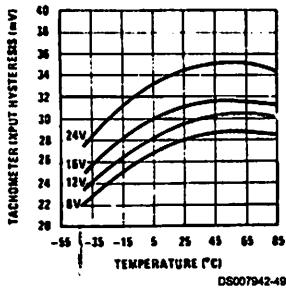
DS007942-7

Typical Performance Characteristics

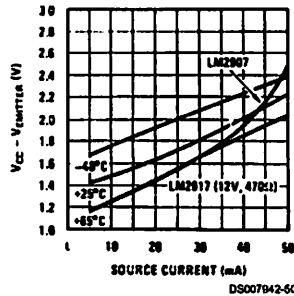


Typical Performance Characteristics (Continued)

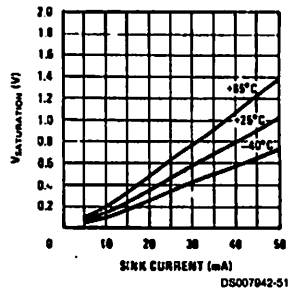
Tachometer Input Hysteresis vs Temperature



Op Amp Output Transistor Characteristics



Op Amp Output Transistor Characteristics



Applications Information

The LM2907 series of tachometer circuits is designed for minimum external part count applications and maximum versatility. In order to fully exploit its features and advantages let's examine its theory of operation. The first stage of operation is a differential amplifier driving a positive feedback flip-flop circuit. The input threshold voltage is the amount of differential input voltage at which the output of this stage changes state. Two options (LM2907-8, LM2917-8) have one input internally grounded so that an input signal must swing above and below ground and exceed the input thresholds to produce an output. This is offered specifically for magnetic variable reluctance pickups which typically provide a single-ended ac output. This single input is also fully protected against voltage swings to $\pm 28V$, which are easily attained with these types of pickups.

The differential input options (LM2907, LM2917) give the user the option of setting his own input switching level and still have the hysteresis around that level for excellent noise rejection in any application. Of course in order to allow the inputs to attain common-mode voltages above ground, input protection is removed and neither input should be taken outside the limits of the supply voltage being used. It is very important that an input not go below ground without some resistance in its lead to limit the current that will then flow in the epi-substrate diode.

Following the input stage is the charge pump where the input frequency is converted to a dc voltage. To do this requires one timing capacitor, one output resistor, and an integrating or filter capacitor. When the input stage changes state (due to a suitable zero crossing or differential voltage on the input) the timing capacitor is either charged or discharged linearly between two voltages whose difference is $V_{CC}/2$. Then in one half cycle of the input frequency or a time equal to $1/2 f_{IN}$ the change in charge on the timing capacitor is equal to $V_{CC}/2 \times C1$. The average amount of current pumped into or out of the capacitor then is:

$$\frac{\Delta Q}{T} = i_{c(AVG)} = C1 \times \frac{V_{CC}}{2} \times (2f_{IN}) = V_{CC} \times f_{IN} \times C1$$

The output circuit mirrors this current very accurately into the load resistor R1, connected to ground, such that if the pulses of current are integrated with a filter capacitor, then $V_O = I_c \times R1$, and the total conversion equation becomes:

$$V_O = V_{CC} \times f_{IN} \times C1 \times R1 \times K$$

Where K is the gain constant—typically 1.0.

The size of C2 is dependent only on the amount of ripple voltage allowable and the required response time.

CHOOSING R1 AND C1

There are some limitations on the choice of R1 and C1 which should be considered for optimum performance. The timing capacitor also provides internal compensation for the charge pump and should be kept larger than 500 pF for very accurate operation. Smaller values can cause an error current on R1, especially at low temperatures. Several considerations must be met when choosing R1. The output current at pin 3 is internally fixed and therefore $V_O/R1$ must be less than or equal to this value. If R1 is too large, it can become a significant fraction of the output impedance at pin 3 which degrades linearity. Also output ripple voltage must be considered and the size of C2 is affected by R1. An expression that describes the ripple content on pin 3 for a single R1C2 combination is:

$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{CC}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left(1 - \frac{V_{CC} \times f_{IN} \times C1}{I_2}\right) \text{ pk-pk}$$

It appears R1 can be chosen independent of ripple, however response time, or the time it takes V_{OUT} to stabilize at a new voltage increases as the size of C2 increases, so a compromise between ripple, response time, and linearity must be chosen carefully.

As a final consideration, the maximum attainable input frequency is determined by V_{CC} , C1 and I_2 :

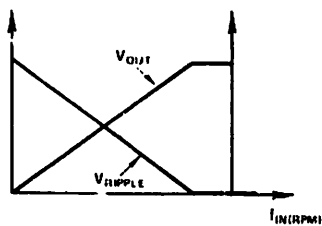
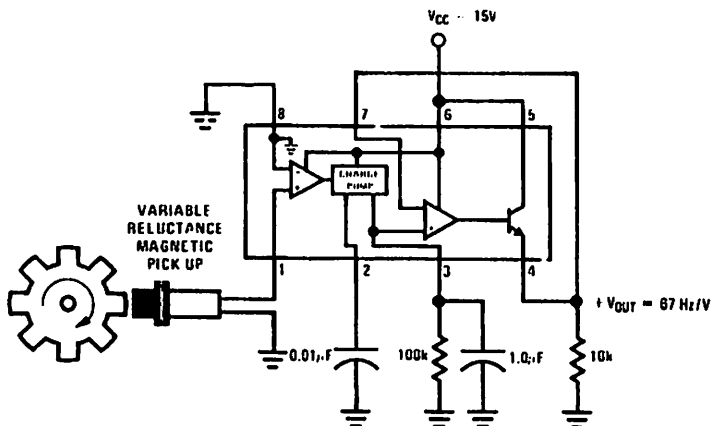
$$f_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{CC}}$$

USING ZENER REGULATED OPTIONS (LM2917)

For those applications where an output voltage or current must be obtained independent of supply voltage variations, the LM2917 is offered. The most important consideration in choosing a dropping resistor from the unregulated supply to the device is that the tachometer and op amp circuitry alone require about 3 mA at the voltage level provided by the zener. At low supply voltages there must be some current flowing in the resistor above the 3 mA circuit current to operate the regulator. As an example, if the raw supply varies from 9V to 16V, a resistance of 470Ω will minimize the zener voltage variation to 160 mV. If the resistance goes under 400Ω or over 600Ω the zener variation quickly rises above 200 mV for the same input variation.

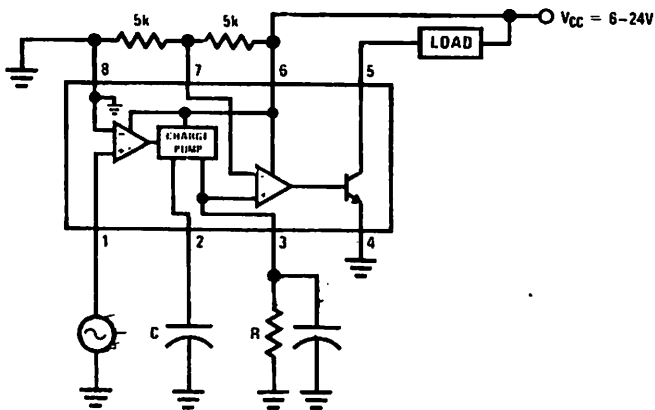
Typical Applications

Minimum Component Tachometer



DS007942-8

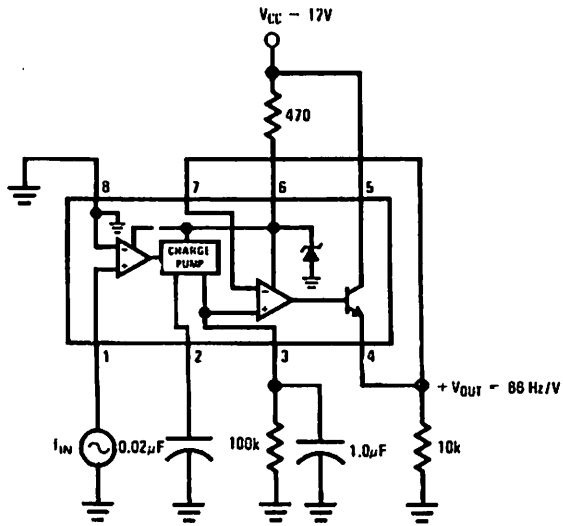
"Speed Switch" Load is Energized When $f_{IN} \geq \frac{1}{2RC}$



DS007942-9

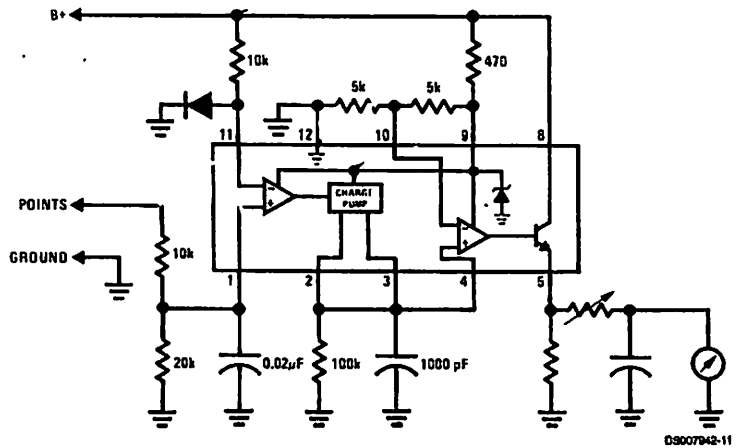
Typical Applications (Continued)

Zener Regulated Frequency to Voltage Converter



DS00742-10

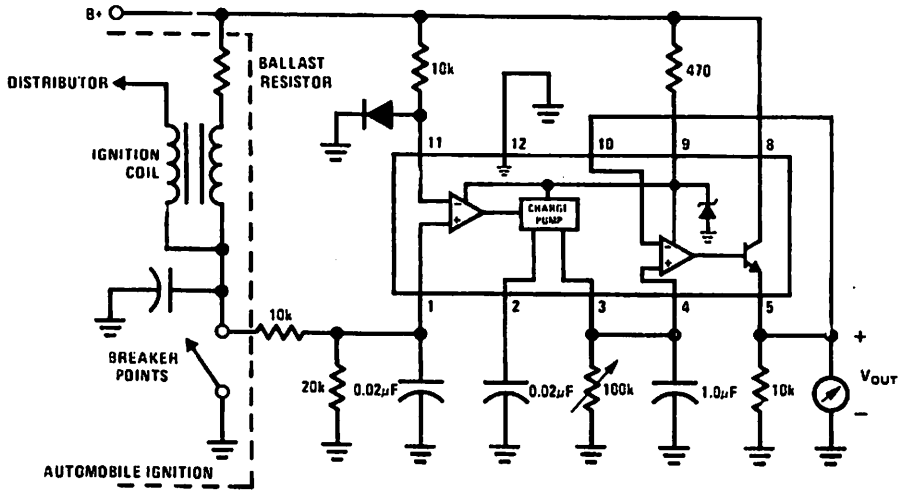
Breaker Point Dwell Meter



DS007942-11

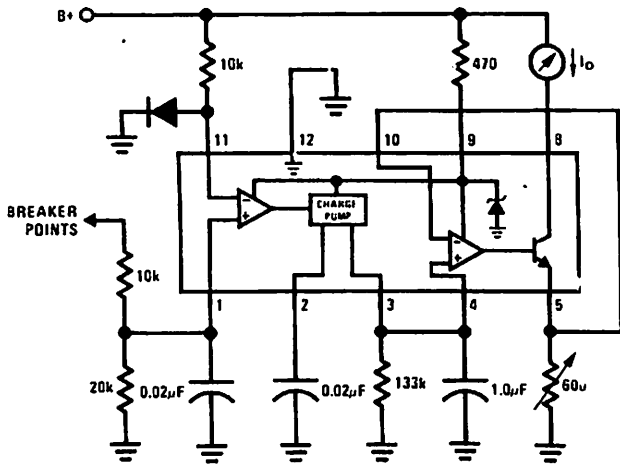
Typical Applications (Continued)

Voltage Driven Meter Indicating Engine RPM
 $V_o = 6V @ 400 \text{ Hz or } 6000 \text{ ERPM (8 Cylinder Engine)}$



DS007942-12

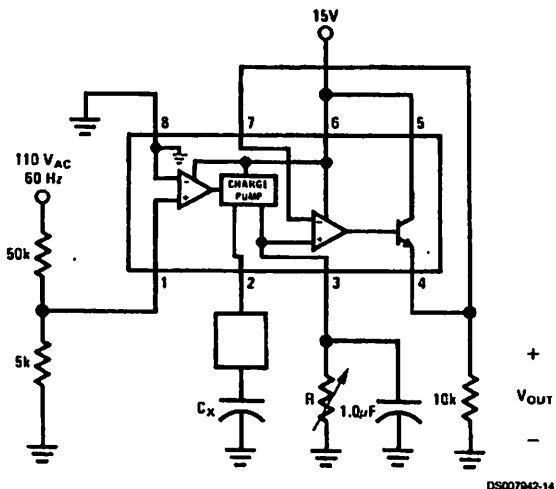
Current Driven Meter Indicating Engine RPM
 $I_o = 10 \text{ mA} @ 300 \text{ Hz or } 6000 \text{ ERPM (6 Cylinder Engine)}$



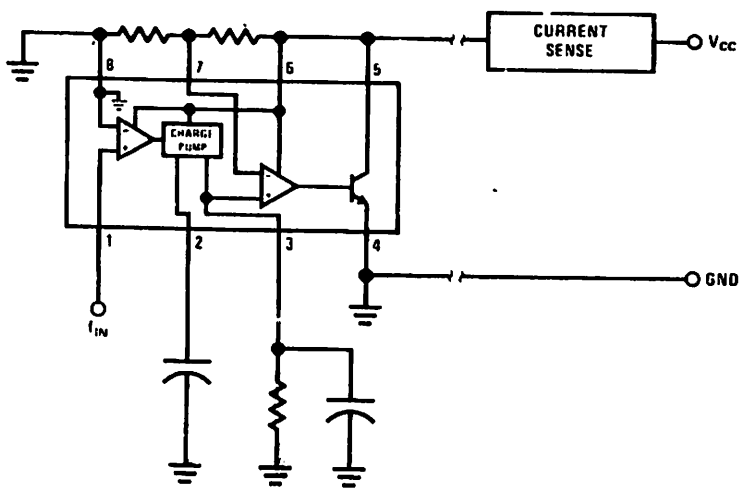
DS007942-13

Typical Applications (Continued)

Capacitance Meter
 $V_{OUT} = 1V-10V$ for $C_x = 0.01$ to 0.1 mF
 $(R = 111k)$

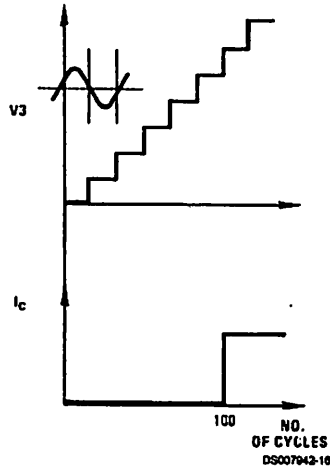
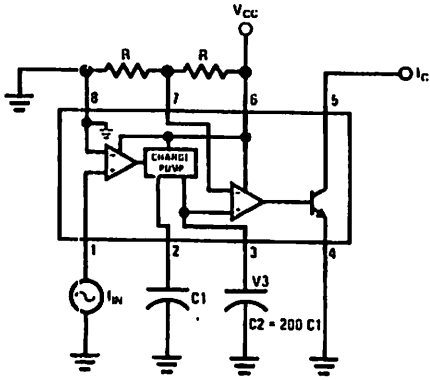


Two-Wire Remote Speed Switch



Typical Applications (Continued)

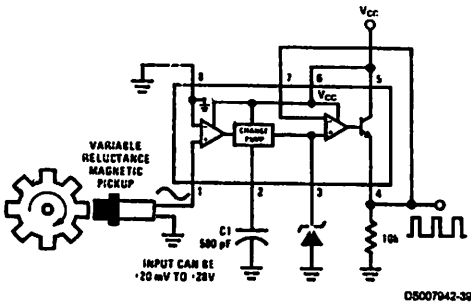
100 Cycle Delay Switch



V_3 steps up in voltage by the amount $\frac{V_{CC} \times C1}{C2}$ for each complete input cycle (2 zero crossings)

Example:
if $C2 = 200 C1$ after 100 consecutive input cycles.
 $V_3 = 1/2 V_{CC}$

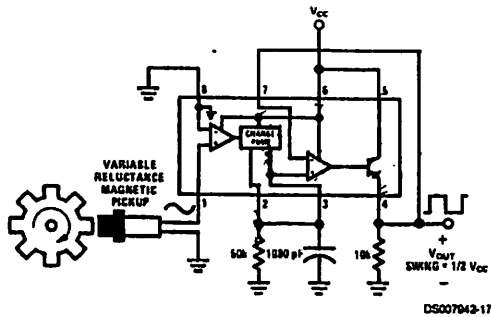
Variable Reluctance Magnetic Pickup Buffer Circuits



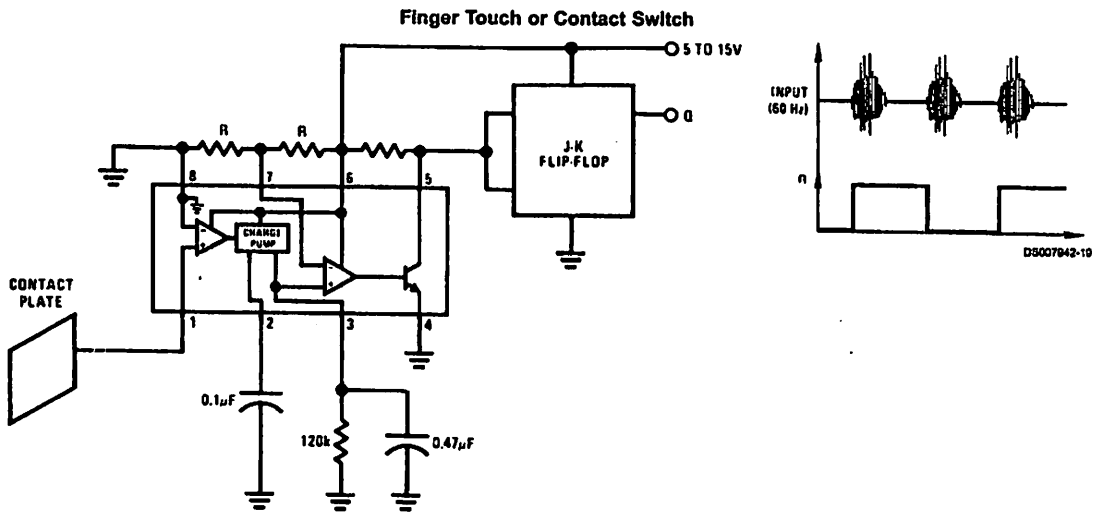
Precision two-shot output frequency equals twice input frequency.

$$\text{Pulse width} = \frac{V_{CC} C1}{2 I2}$$

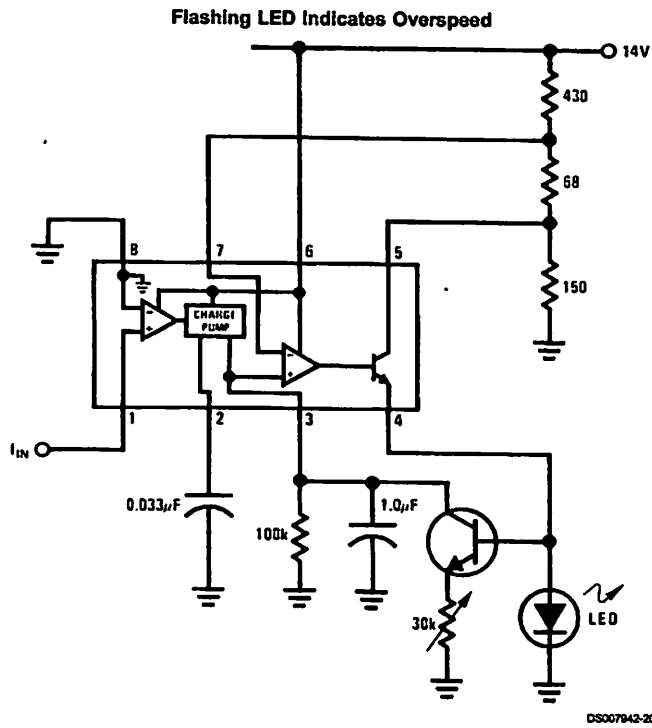
Pulse height = V_{ZENER}



Typical Applications (Continued)



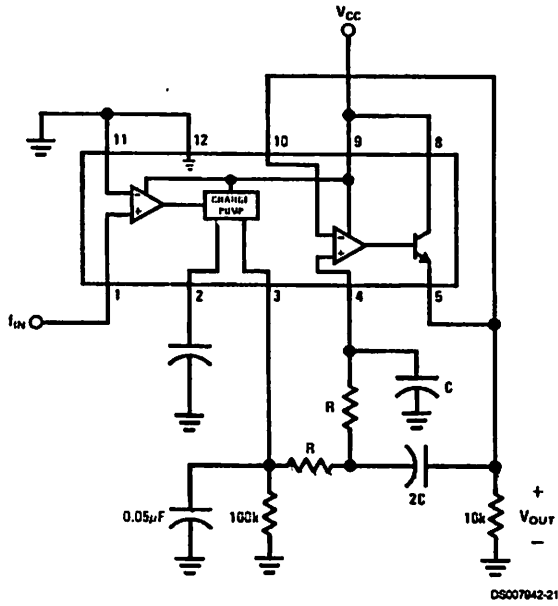
DS007942-18



Flashing begins when $f_{IN} \geq 100$ Hz.
Flash rate increases with input frequency increase beyond trip point.

Typical Applications (Continued)

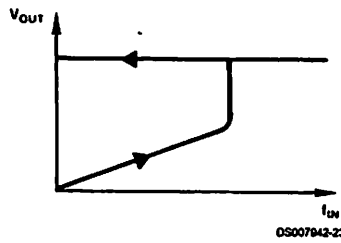
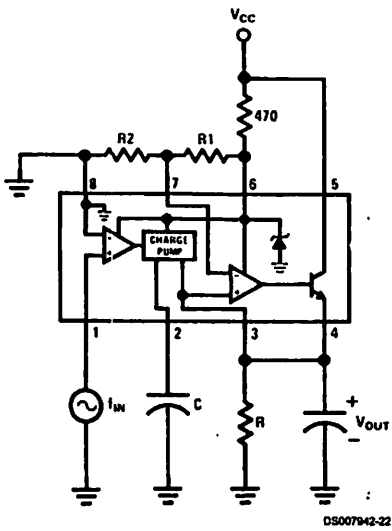
Frequency to Voltage Converter with 2 Pole Butterworth Filter to Reduce Ripple



$$f_{POLE} = \frac{0.707}{2\pi RC}$$

$$V_{RESPONSE} = \frac{2.57}{2\pi f_{POLE}}$$

Overspeed Latch



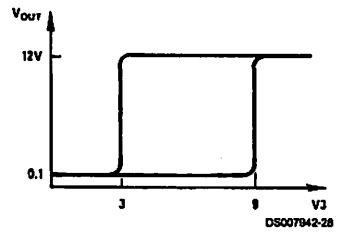
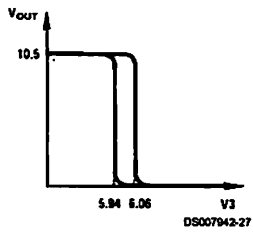
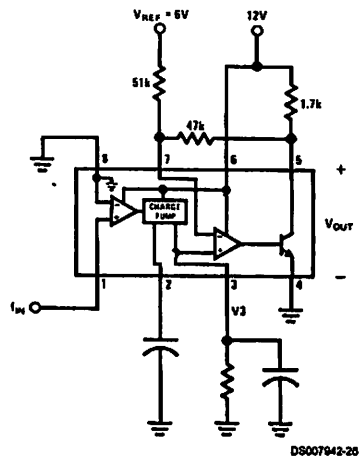
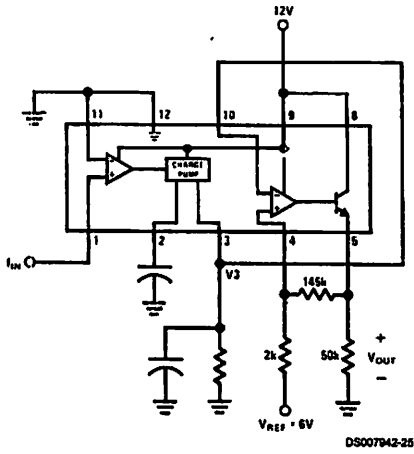
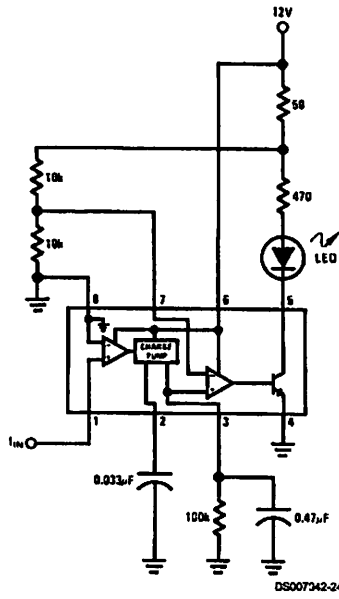
Output latches when

$$f_{IN} = \frac{R2}{R1 + R2} \frac{1}{RC}$$

Reset by removing V_{CC}.

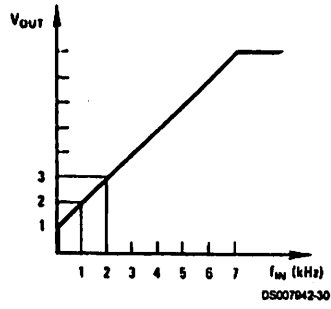
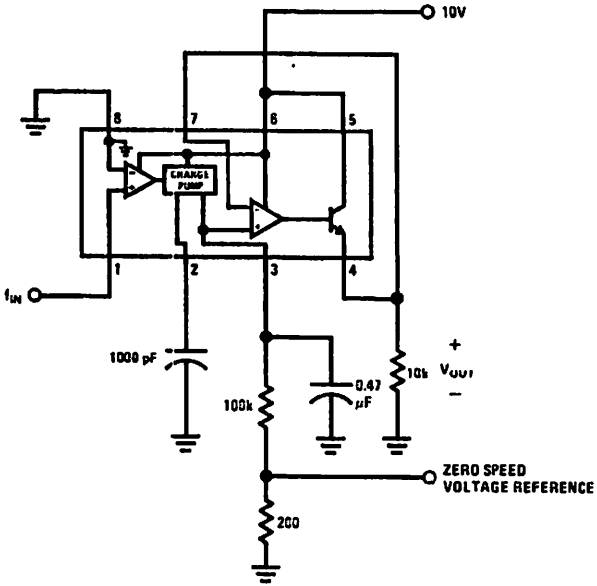
Typical Applications (Continued)

Some Frequency Switch Applications May Require Hysteresis in the Comparator Function Which can be Implemented in Several Ways:



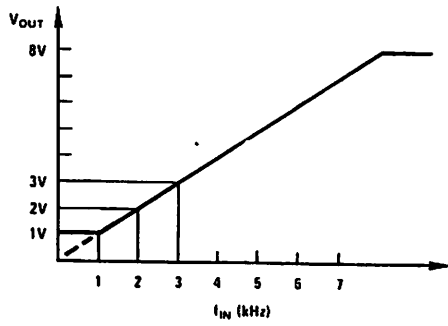
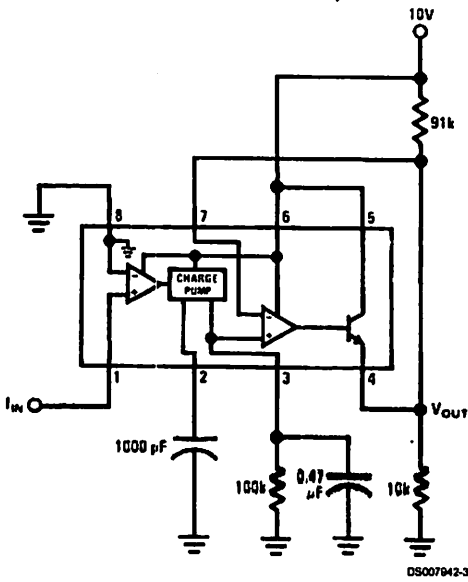
Typical Applications (Continued)

Changing the Output Voltage for an Input Frequency of Zero



DS007942-29

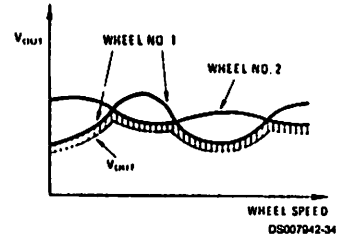
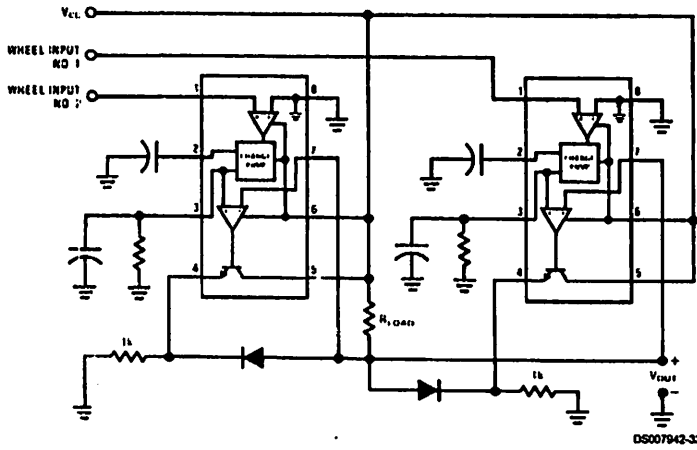
Changing Tachometer Gain Curve or Clamping the Minimum Output Voltage



DS007942-31

Anti-Skid Circuit Functions

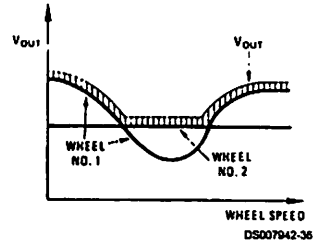
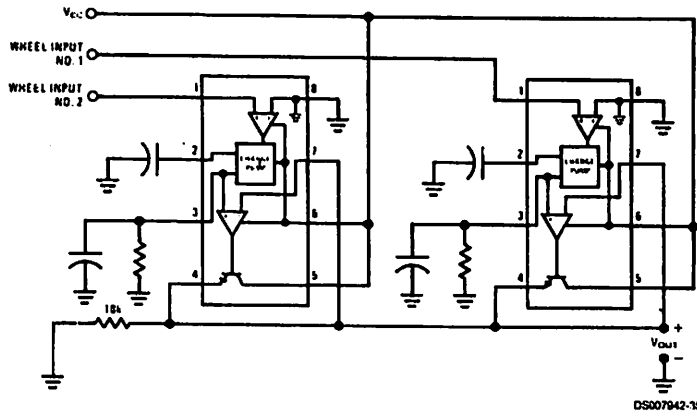
"Select-Low" Circuit



V_{OUT} is proportional to the lower of the two input wheel speeds.

DS007942-33

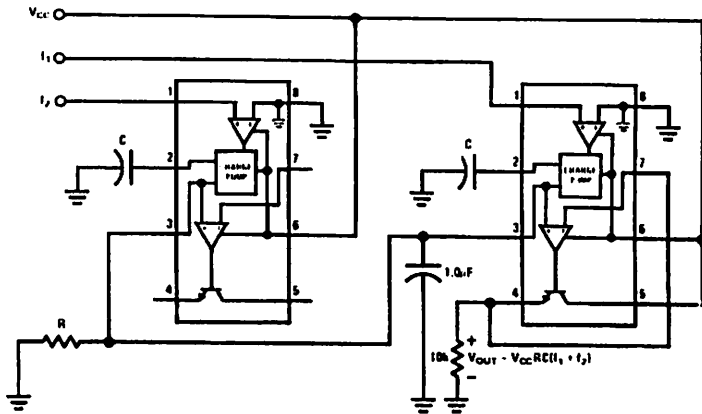
"Select-High" Circuit



V_{OUT} is proportional to the higher of the two input wheel speeds.

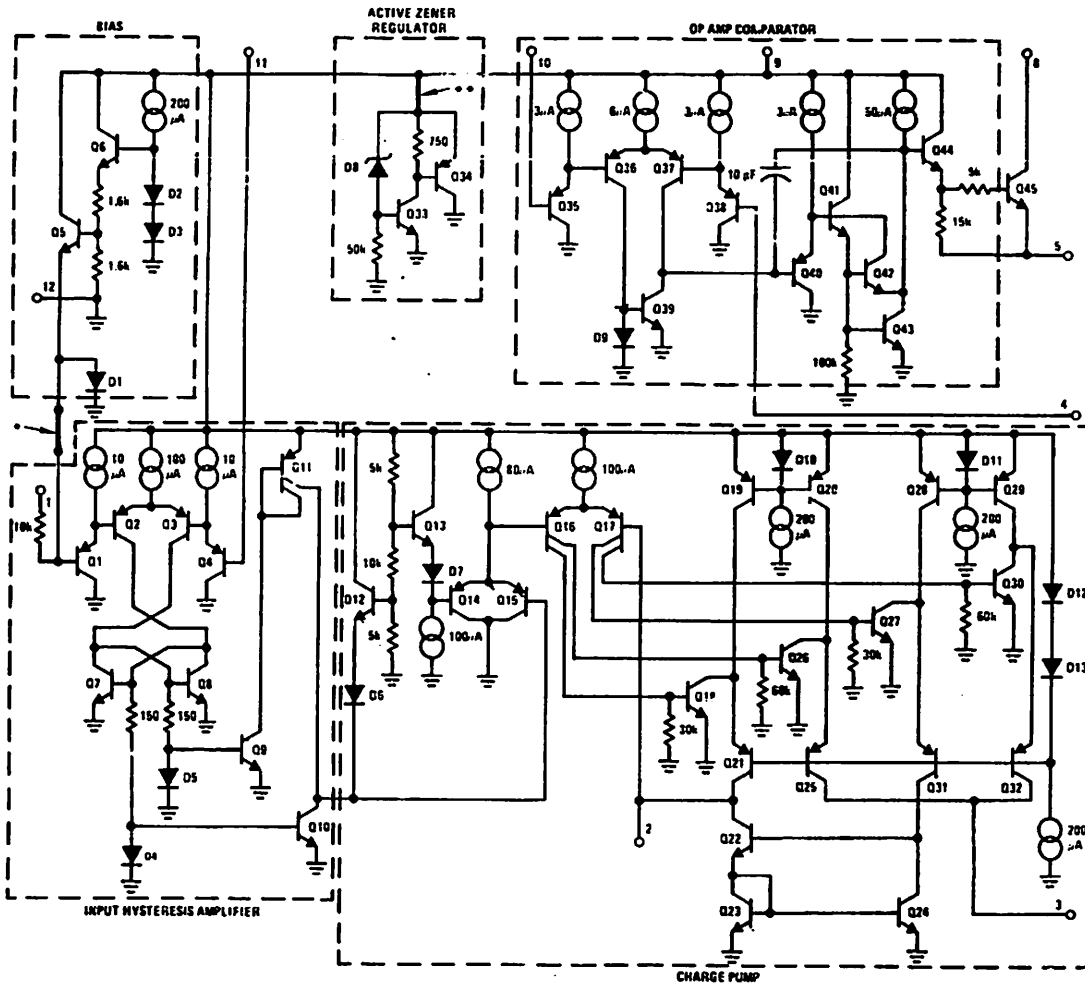
DS007942-35

"Select-Average" Circuit



DS007942-37

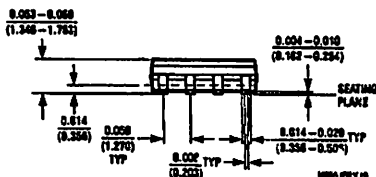
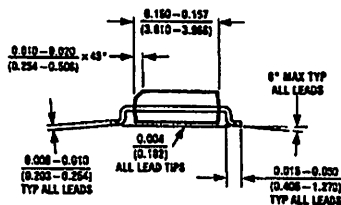
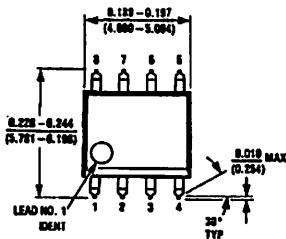
Equivalent Schematic Diagram



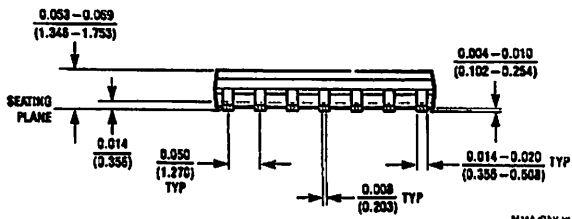
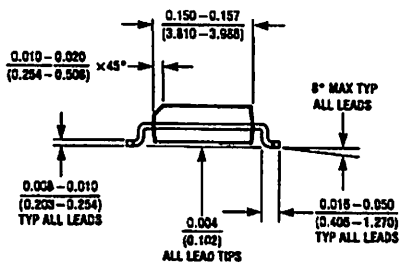
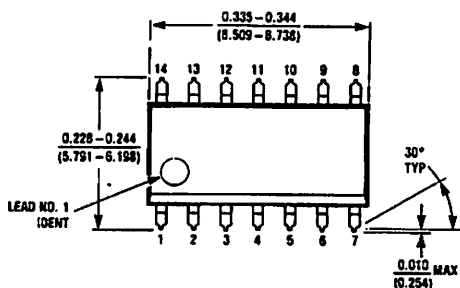
DS007942-38

*This connection made on LM2907-8 and LM2917-8 only.
 **This connection made on LM2917 and LM2917-8 only.

Physical Dimensions Inches (millimeters) unless otherwise noted

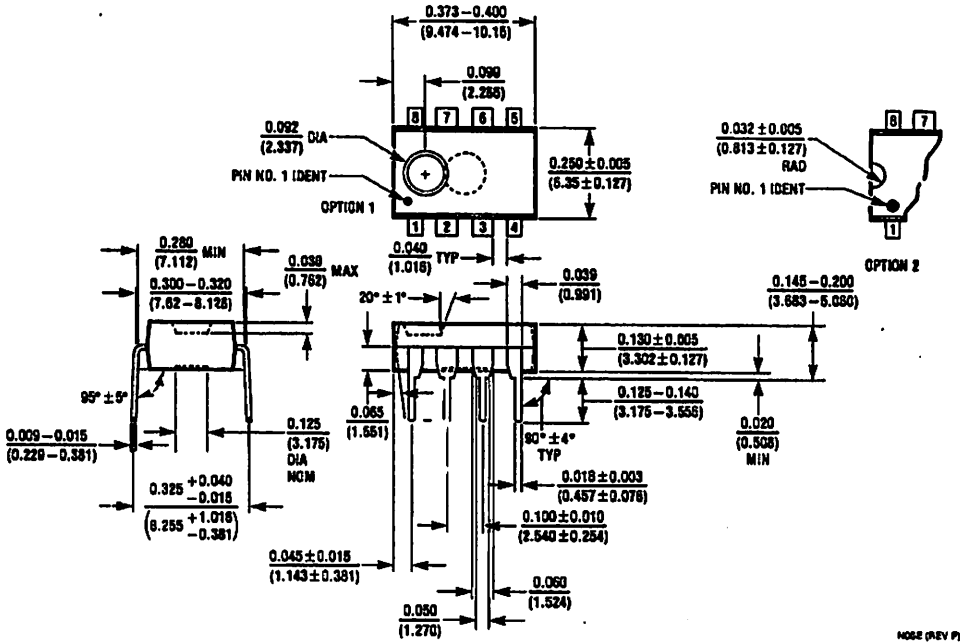


8-Lead (0.150" Wide) Molded Small Outline Package, JEDEC
Order Number LM2907M-8 or LM2917M-8
NS Package Number M08A

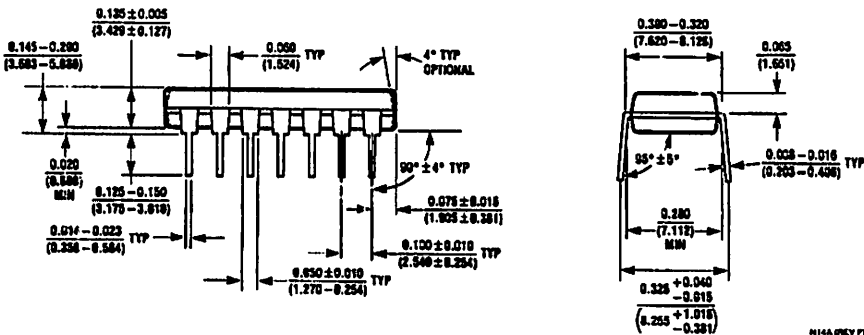
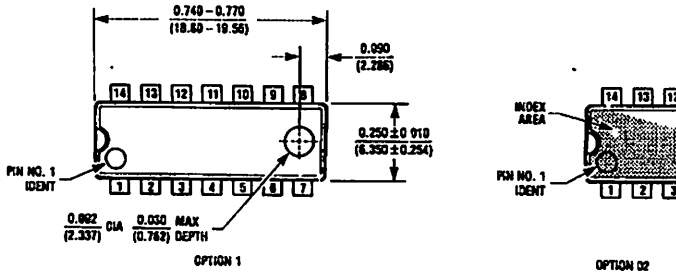


Molded SO Package (M)
Order Number LM2907M or LM2917M
NS Package Number M14A

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



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM2907N-8 or LM2917N-8
NS Package Number N08E



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM2907N or LM2917N
NS Package Number N14A

Features

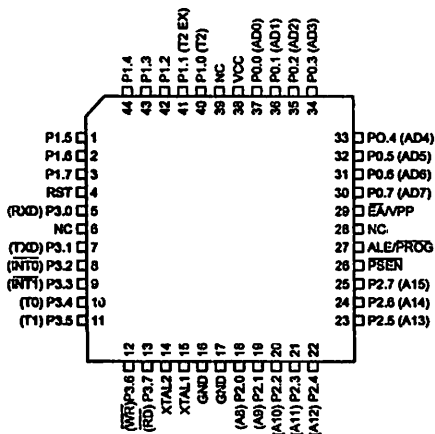
- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources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

Description

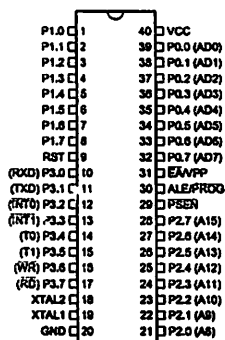
The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and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

Pin Configurations

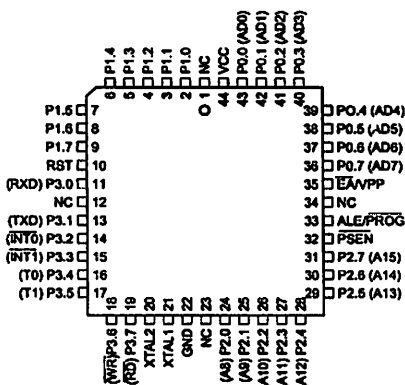
PQFP/TQFP



PDIP



PLCC



8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

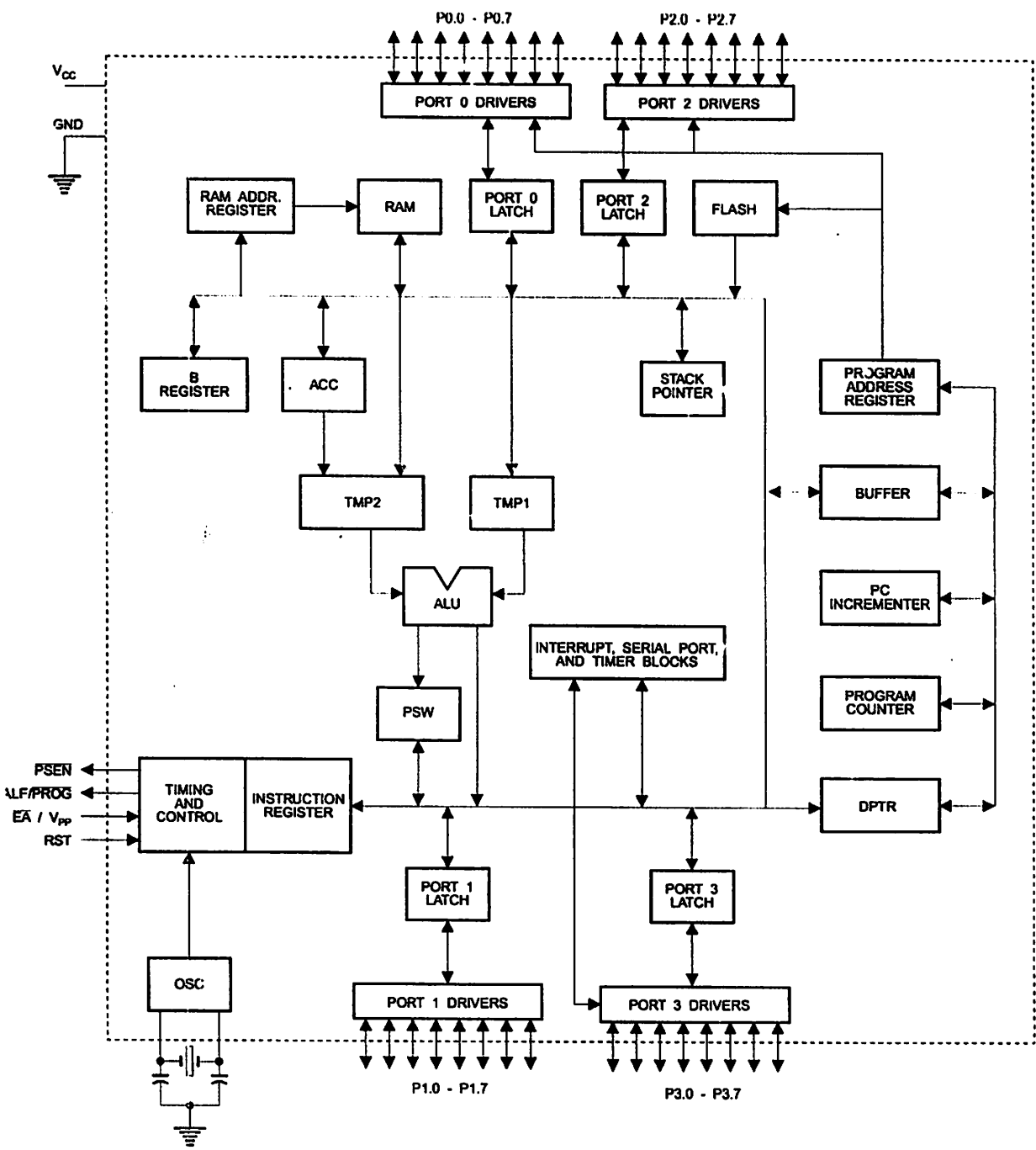
AT89C51

Not Recommended
for New Designs.
Use AT89S51.





Block Diagram



AT89C51

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

Pin Description

V_{CC}

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

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

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

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

Port 1

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

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

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. 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, it 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 listed below:

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

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

RST

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

ALE/PROG

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

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



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

EA/VPP

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 FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to VCC for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (VPP) during Flash programming, for parts that require 12-volt VPP.

XTAL1

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

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

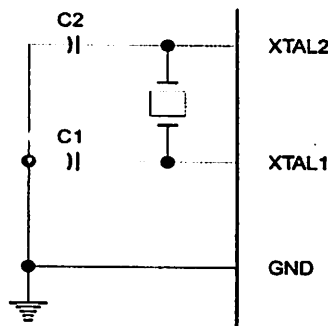
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

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

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

Figure 1. Oscillator Connections

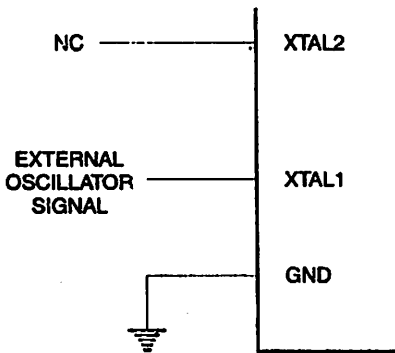


Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

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

Figure 2. External Clock Drive Configuration



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

Program Memory Lock Bits

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

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

Power-down Mode

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

Lock Bit Protection Modes

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



Programming the Flash

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

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

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

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

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

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/\overline{PROG} once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

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

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

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

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

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

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

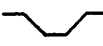
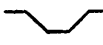
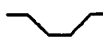
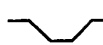
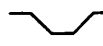
- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

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

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

Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{pp}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	H	L		H/12V	H	H	H	H
								
								
Chip Erase	H	L	 (1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

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

Figure 3. Programming the Flash

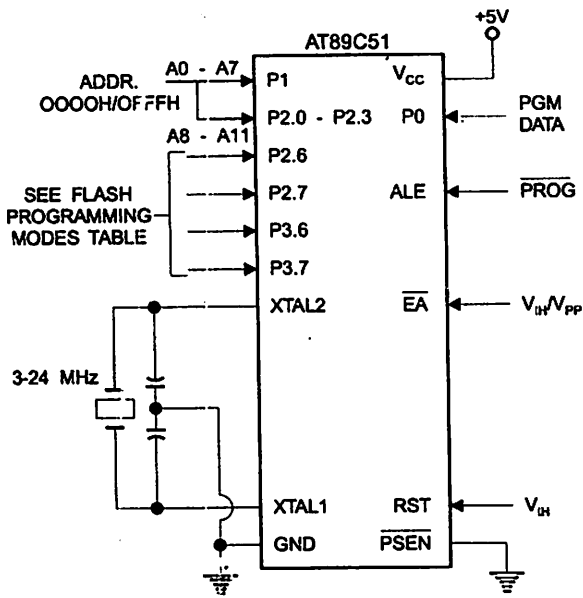
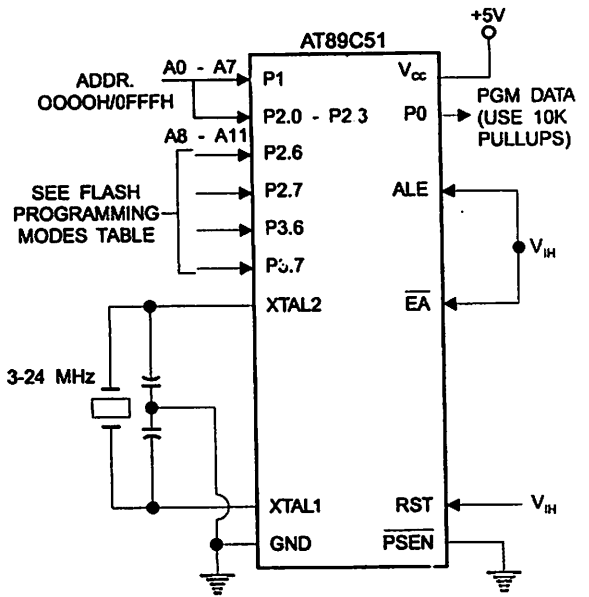
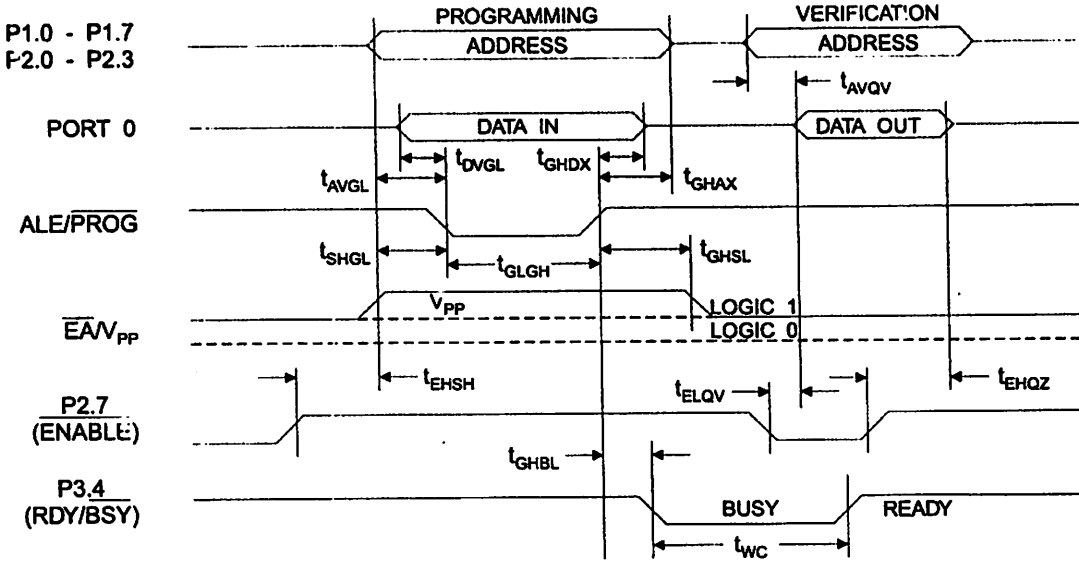


Figure 4. Verifying the Flash

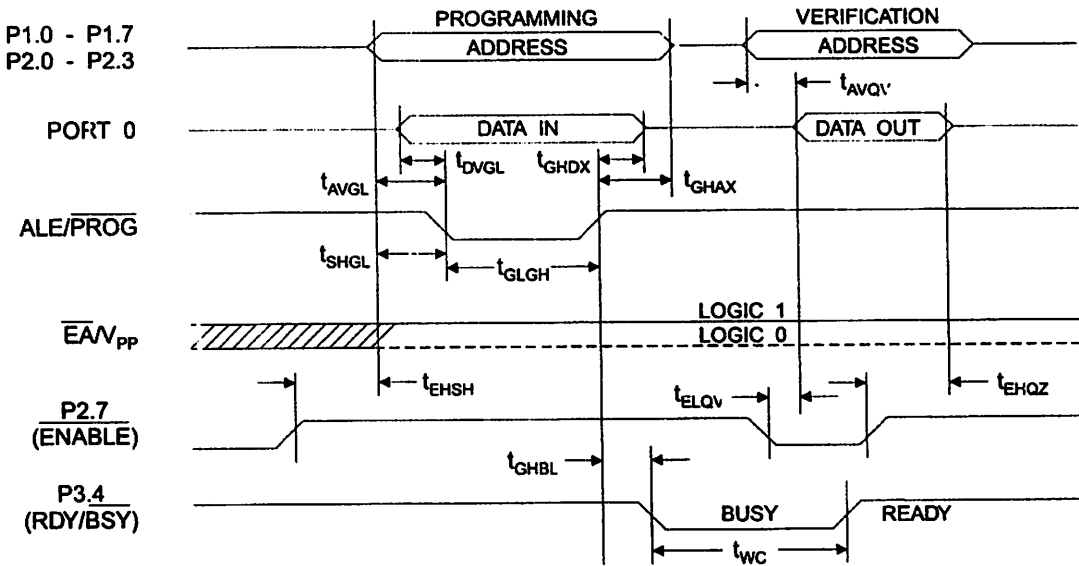




Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



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



Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}, V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/f_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold after $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHSB}	P2.7 (ENABLE) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
$t_{GHSL}^{(1)}$	V_{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHOZ}	Data Float after $\overline{\text{ENABLE}}$	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

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





Absolute Maximum Ratings*

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

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

DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except \overline{EA})	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low-voltage (\overline{EA})		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6\text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OL} = 3.2\text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, \overline{PSEN})	$I_{OH} = -60\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{L1}	Input Leakage Current (Port 0, \overline{EA})	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
PRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

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

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA

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

Ports 1, 2, 3: 15 mA

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

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

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

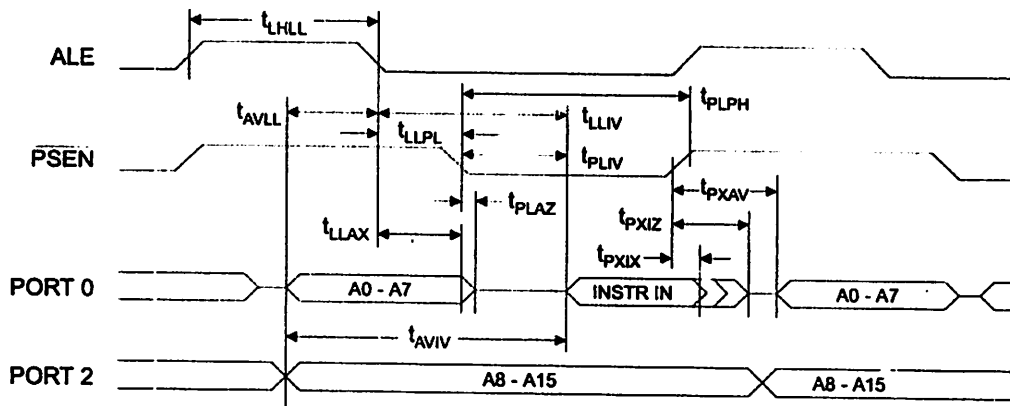
AC Characteristics

Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

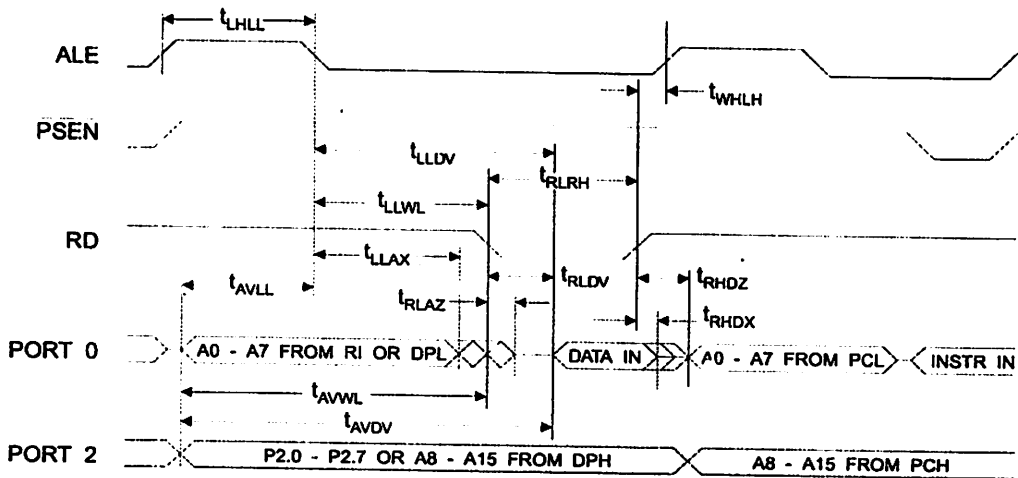
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold after ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold after $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float after $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold after $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{RHDX}	Data Float after $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{AVCV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold after $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{RLAL}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns

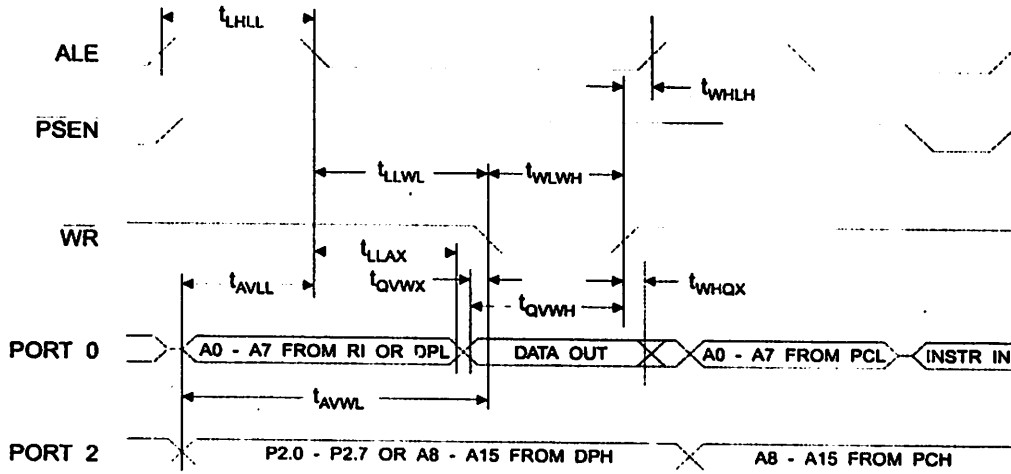
External Program Memory Read Cycle



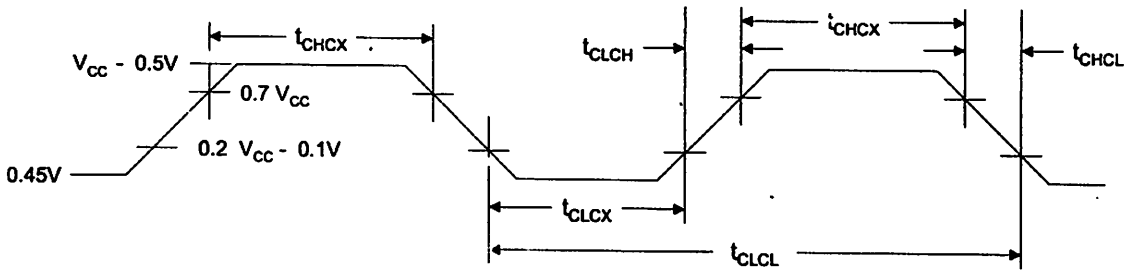
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.8		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

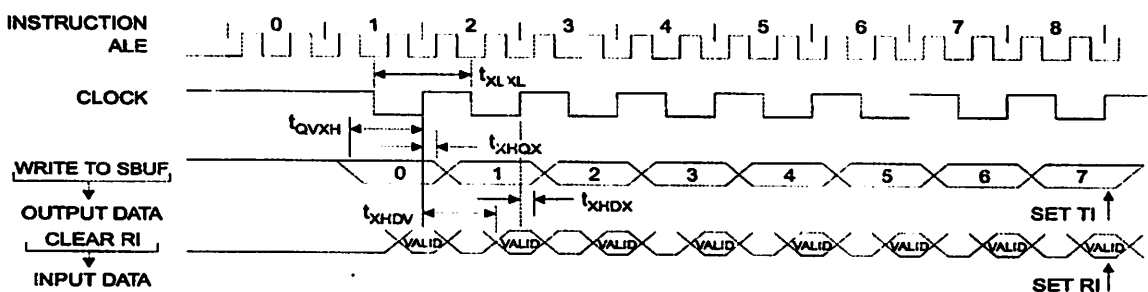


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

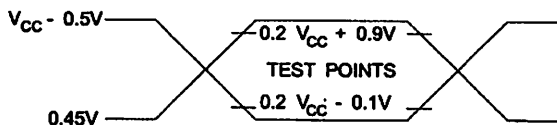
($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHDX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

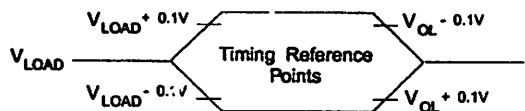


AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



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

Float Waveforms⁽¹⁾



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

Ordering Information

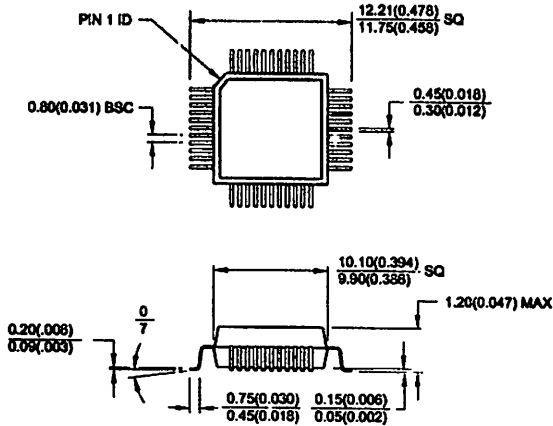
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5V ±20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-12JC	44J		
		AT89C51-12PC	40P6		
		AT89C51-12QC	44Q		
			AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-12JI	44J	
			AT89C51-12PI	40P6	
			AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ±20%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

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



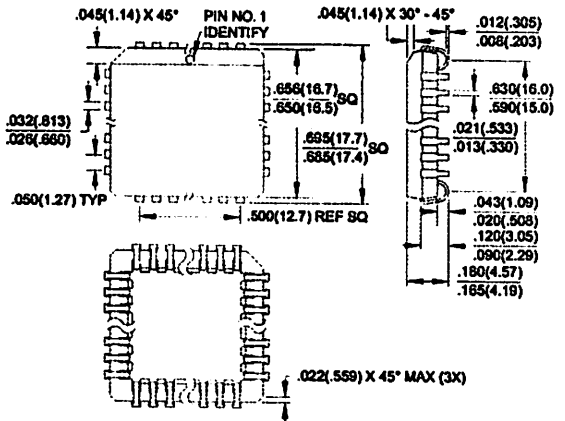
Packaging Information

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

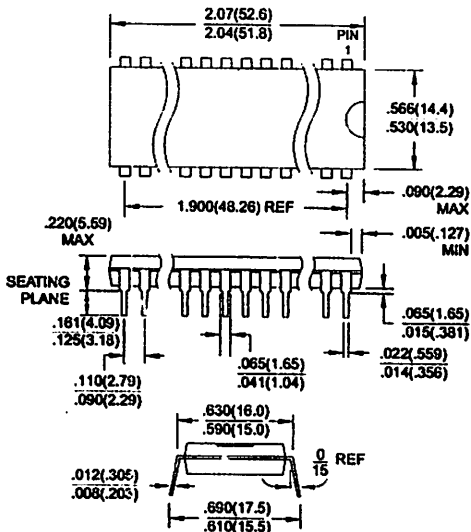


Controlling dimension: millimeters

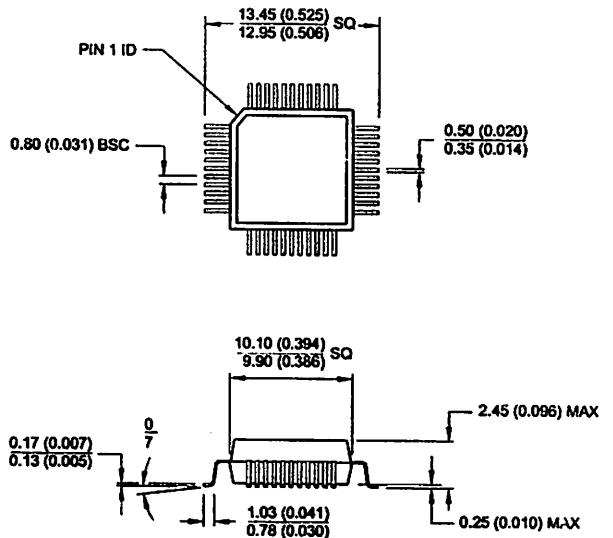
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC STANDARD MS-018 AC



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



44Q, 44 lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters



Atmel Headquarters

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

Europe

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

Asia

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

Japan

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

Atmel Operations

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

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

Fax-on-Demand

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

e-mail
literature@atmel.com

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

BBS
1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.

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

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

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



Printed on recycled paper.

0265G-02/00/xM