

SKRIPSI

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN CDI TERPROGRAM
PADA MOTOR BENSIN SILINDER TUNGGAL BERBASIS
MIKROKONTROLER R8C/13 TINY**



Disusun oleh :
HARI CAHYONO
01.17.166

**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

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

2009

REVISI

REVISI KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
REVISI KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN RI
REVISI KEMENTERIAN KEMAHAKAMATAN RI

REVISI KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
REVISI KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN RI
REVISI KEMENTERIAN KEMAHAKAMATAN RI

REVISI KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
REVISI KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN RI
REVISI KEMENTERIAN KEMAHAKAMATAN RI
REVISI KEMENTERIAN KEMAHAKAMATAN RI

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN CDI TERPROGRAM
PADA MOTOR BENSIN SILINDER TUNGGAL BERBASIS
MIKROKONTROLER R8C/13 TINY**

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Elektronika Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh:

Hari Cahyono

01.17.166

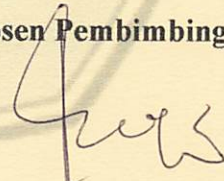
Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I



I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.P.1030100361

Dosen Pembimbing II



Ir. Eko Nurcahyo, MT
NIP. Y.1028700172



Mengetahui,

Ketua Jurusan T. Elektro S-1

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

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

ABSTRAK

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN CDI TERPROGRAM PADA MOTOR BENSIN SILINDER TUNGGAL BERBASIS MIKROKONTROLER R8C/13 TINY SERIES

(Nama : Hari Cahyono)

(Dosen Pembimbing I : I Komang Somawirata, ST, MT)

(Dosen Pembimbing II : Ir.Eko Nurcahyo, MT)

Kata Kunci : Pengapian , Derajat, Renesas,.

Dalam melakukan proses pembakaran, mesin berbahan bakar bensin sangat bergantung pada sistem pengapian. Karena beberapa kelemahan pada sistem pengapian konvensional, maka diperlukan perancangan sistem pengapian terprogram untuk memperbaiki kualitas penyalaan. Pengaturan kurva derajat pengapian selain disesuaikan dengan perubahan beban , suplai bahan bakar, dan perubahan-perubahan kondisi mesin pada putaran mesin (RPM) tertentu, juga didasarkan pada karakter lintasan yang akan digunakan. Dalam hal ini mikrokontroler R8C/13 Tiny Series digunakan sebagai unit pemroses utama waktu, dan jadwal pengapian .

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat dan karunia serta kesabaran kepada penyusun sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Perancangan dan Pembuatan CDI Terprogram pada Motor Bensin Silinder Tunggal berbasis Mikrokontroler R8C/13 tiny"** ini. Laporan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan kelulusan Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Program Studi Elektronika di Institut Teknologi Nasional Malang.

Keberhasilan penyusunan laporan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. DR. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1
3. Bapak I Komang Somawirata, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing
4. Bapak Ir. Eko Nurcahyo, MT selaku Dosen Pembimbing
5. Para dosen dan staf jurusan Teknik Elektronika yang telah banyak membantu hingga terlaksananya skripsi ini.
6. Teman-teman serta Semua pihak yang telah banyak membantu dan tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

Dengan segala itikad, kemampuan dan saran yang ada, laporan skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya. Namun karena keterbatasan waktu dan faktor lain yang dihadapi sehingga menyebabkan laporan skripsi ini tidak lepas dari banyaknya kekurangan. Karena itu sejumlah koreksi dan masukan konstruktif diperlukan guna

kesempurnaan laporan skripsi ini. Semoga laporan skripsi dari pemikiran sederhana ini akan menjadi cikal bakal dari karya yang lebih inovatif dan dapat bermanfaat untuk semua orang.

Malang, Maret 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAKSI	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Metodologi.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Pengapian CDI.....	10
2.2. Mikrokontroler R8C/13 Tiny.....	14
2.2.1. Spesifikasi R5F21134FP	15
2.2.2. Kelebihan Kunci R8C/13.....	16
2.2.3. Konfigurasi Pin R8C R5F21134FP	17
2.2.4. Arsitektur Internal.....	20
2.2.5. Register FLG	23

2.2.6. Peta Memori	25
2.2.7. Register SFR.....	26
2.2.8. Akses Memori.....	26
2.2.9. Clock CPU	28
2.2.10. Timer	29
2.3 Pick Up Coil (Pulser).....	31
BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT	32
3.1. Blok Diagram Sistem	32
3.2. Spesifikasi Alat	32
3.3. Flowchart.....	34
3.4. Prinsip Kerja Sistem	35
3.4.1. Peak Detektor	35
3.4.2. Reset Peak Detektor	36
3.4.3. Komparator dan Optokopler.....	37
3.4.4. Switch Transistor	38
3.4.5. Switch Pengapian	39
3.4.6 Rangkaian Mikrokontroler	39
3.5. Perangkat Lunak.....	41
3.5.1. Sub Program Timer X	42
3.5.2. Sub Program Interrupt 0	43
3.5.3. Sub Program Timer Y	44

BAB IV PEMBAHASAN	45
4.1. Pengujian Pulser	45
4.2. Pengujian Rangkaian Peak Detektor.....	46
4.3. Pengujian Komparator	47
4.4. Pengujian Optokopler	48
4.5. Pengujian Output Sistem.....	49
BAB V PENUTUP	52
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran-saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

BAB II

2-1. Blok Diagram R8C/13	16
2-2. Konfigurasi Pin R8C/13.....	17
2-3. Penyederhanaan Arsitektur R8C/13.....	21
2-4. Regiister FLG.....	24

BAB III

3-1. Diagram Blok Sistem	32
3-2. Diagram Alir Sistem	34
3-3. Rangkaian Peak Detektor.....	35
3-4. Rangkaian Reset.....	36
3-5. Komparator dan Optokopler	37
3-6. Switch Transistor	38
3-7. Rangkaian CDI.....	39
3-8. Rangkaian Mikrokontroler.....	40
3-9. Diagram Alir Program Utama.....	41
3-10. Diagram Alir Interup Timer X.....	42
3-11. Diagram Alir Interup 0	43
3-12. Diagram Alir Interup Timer Y	44

BAB IV

4-1. Pengujian Sensor Posisi Piston.....	45
4-2. Sinyal Keluaran Pulser	46
4-3. Pengujian Rangkaian Peak Detektor	46
4-4. Keluaran Rangkaian Peak Detektor	47
4-5. Pengujian Komparator	47
4-6 Hasil Pengujian Komparator	47
4-7. Pengujian Rangkaian Optokopler	48
4-8. Hasil Keluaran Optokopler	48
4-9. Kurva Pengapian.....	49
4-10. Pengukuran sensor posisi piston.....	51
4-11. Pengujian dengan Timing Light.....	51

DAFTAR TABEL

BAB II

2-1. Deskripsi Fungsi Pin R8C/13.....	18
2-2. Interpretasi Flag	24
2-3. Tipe Variabel	27
2-4. Makro Pembagi Clock CPU	28
2-5. Makro Seting Clock CPU	29
2-6. Gambaran Umum Timer R8C/13.....	30

BAB IV

4-1. Data Hasil Pengujian.....	50
--------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring laju perkembangan teknologi balap otomotif sekarang ini, maka sangat diperlukan peralatan kontrol secara otomatis. Peralatan ini diharapkan mampu meningkatkan unjuk kerja motor/ kendaraan baik dari segi efektifitas, performa maupun ketahanannya. Kinerja sebuah mesin dipengaruhi oleh kinerja komponen dan unit mesin secara menyeluruh, termasuk salah satunya unit pengapian. Dalam melakukan proses pembakaran, mesin berbahan bakar bensin sangat bergantung pada sistem pengapian. Saat ini sistem pengapian telah bergeser dari model mekanik platina menjadi sistem pengapian elektronik. Salah satu sistem pengapian elektronik yang banyak digunakan sekarang ini adalah sistem pengapian CDI (*Capasitif Discharge Ignition*), yaitu sistem pengapian dengan metode pengosongan muatan pada kapasitor dalam proses pembakaran.

Untuk meningkatkan kemampuan atau performa sebuah unit mesin, maka dapat dilakukan beberapa perubahan pada komponen dan unit pendukung mesin, seperti penggantian bahan bakar, *girbox/gigi* transmisi, *rasio* kompresi, dan perubahan-perubahan lainnya sesuai dengan regulasi dan peraturan spesifikasi mesin yang diberlakukan pada sebuah even balap. Dengan berubahnya beberapa kondisi mesin tersebut, maka harus ada penyesuaian pada sistem pengapian, contohnya jika dilakukan perubahan nilai oktan bahan bakar dan perubahan perbandingan kompresi pada ruang bakar, maka pengapian harus diawalkan atau

dimajukan beberapa saat/beberapa derajat dari jadwal pengapian yang ditetapkan sebelumnya.

Pengaturan kurva derajat pengapian selain disesuaikan dengan perubahan beban, suplai bahan bakar, dan perubahan-perubahan kondisi mesin pada putaran mesin (RPM) tertentu, juga didasarkan pada karakter lintasan yang akan digunakan. Untuk lintasan dengan trek lurus yang pendek dan banyak tikungan, maka jadwal pengapian diatur sedemikian agar peningkatan putaran mesin dari putaran mesin rendah ke putaran mesin yang lebih tinggi dapat terjadi dalam waktu yang relatif singkat, sehingga dihasilkan akselerasi maksimal pada motor. Untuk lintasan dengan trek lurus yang relatif panjang, maka kurva derajat pengapian diatur agar putaran mesin lebih lambat mencapai putaran (RPM) tinggi, sehingga dihasilkan rentang tenaga yang lebih luas.

Pada sistem pengapian CDI konvensional, kurva derajat pengapian tidak dapat diubah sesuai keinginan, karena sudah disesuaikan dengan spesifikasi motor/kendaraan yang dikehendaki oleh produsen atau pabrikan. Untuk memaksimalkan pengaturan pada sebuah sistem pengapian dengan bermacam kondisi mesin dan lintasan, maka diperlukan sebuah sistem pengapian CDI yang dapat diatur ulang atau dipilih mapping kurva derajat pengapiannya yang paling sesuai dengan kondisi mesin dan lintasan yang akan digunakan, demi mendapatkan performa mesin maksimal .

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang diuraikan pada latar belakang , maka rumusan masalah dapat ditekankan pada :

1. Bagaimana prinsip dasar sistem pengapian CDI
2. Bagaimana sistem kontrol mengetahui derajat posisi piston
3. Bagaimana sistem kontrol memberikan instruksi waktu pengapian yang tepat pada putaran mesin tertentu.

1.3. Batasan Masalah

1. Dalam perancangan ini tidak membahas mesin ataupun unit pengapian secara luas
2. Derajat posisi piston berdasarkan sinyal pulser yang ditangkap oleh sensor (optokopler)
3. Delay waktu pengapian ditentukan berdasarkan putaran mesin yang diketahui lewat sensor
4. Pengontrolan waktu penyalaan dengan menggunakan mikrokontroler.

1.4. Tujuan

Tujuan secara umum dalam penyusunan tugas akhir ini adalah untuk merealisasikan suatu sistem pengapian CDI pada mesin bensin bersilinder tunggal dengan *mapping* kurva derajat pengapian yang dapat diatur ulang untuk meningkatkan performa dan seting atau pengaturan maksimal mesin pada motor di lintasan.

1.5 Metodologi Pembahasan

Metodologi Penelitian yang dipakai dalam pembuatan skripsi ini :

1. Studi literature.

2. Perancangan dan pembuatan alat.
3. Pelaksanaan uji coba alat.
4. Penyusunan laporan skripsi.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan laporan skripsi ini ditulis sedemikian rupa sehingga diperoleh hubungan yang jelas antara bagian yang satu dengan yang lainnya.

Sistematika penulisan dari laporan ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, tujuan, permasalahan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan

BAB II. TEORI

Membahas teori-teori dasar penunjang, perancangan dan pembuatan alat

BAB III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas tentang perancangan alat baik perangkat keras maupun perangkat lunak, serta cara kerja blok diagram.

BAB IV. PENGUJIAN ALAT

Mencakup pembahasan tentang proses pengujian alat yang terdiri dari peralatan yang digunakan, langkah kerja dan analisa hasil pengujian.

BAB V. PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran

BAB II

SISTEM PENGAPIAN MESIN BENSIN

Sistem pengapian mesin yang berbahan bakar bensin, menyalakan campuran bahan bakar dan udara, sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar (*combustion chamber*). Pembakaran ini berlangsung pada volume yang relatif tetap dan terjadi ketika piston atau langkah torak mencapai Titik Mati Atas (*Top Dead Centre*) pada setiap menjelang akhir langkah kompresi. Akibat proses tersebut, di dalam ruang bakar terjadi kenaikan suhu yang menyebabkan tekanan dalam ruang bakar meningkat tajam. Tekanan ini mendorong torak bergerak ke bawah dan menghasilkan tenaga, selanjutnya proses itu disebut sebagai langkah usaha motor bakar.

Secara umum fungsi sistem pengapian adalah :

- a. Sebagai *switch* untuk menghidupkan dan mematikan *engine*.
- b. Dapat beroperasi/bekerja dengan tegangan listrik yang berbeda (yaitu tegangan batere dan tegangan alternator).
- c. Menghasilkan busur listrik tegangan tinggi pada busi untuk melakukan pembakaran.
- d. Mendistribusikan tegangan ke beberapa busi dengan urutan yang tepat (pada mesin multsilinder).
- e. Memastikan saat pengapian tepat beberapa derajat sebelum piston mencapai titik mati atas pada saat langkah kompresi.
- f. Mengubah saat pengapian sesuai dengan tingkat perubahan putaran, beban, dan kondisi lain *engine*.

Adapun komponen dasar sebuah sistem pengapian adalah :

- a. Sumber daya awal (batere pada sistem pengapian DC dan alternator pada sistem pengapian AC)
- b. Kunci kontak, sebagai alat bantu bagi pengemudi atau operator untuk menghidupkan dan mematikan *engine*.
- c. Koil pengapian untuk meningkatkan tegangan sumber daya awal hingga mencapai 20-50 kV.
- d. Busi sebagai komponen yang dapat mengubah energi listrik menjadi percikan bunga api.
- e. Kontak poin, atau kelengkapan elektronik, berfungsi untuk mengendalikan waktu koil bekerja .
- f. Pengawatan baik primer maupun sekunder, untuk menghubungkan satu komponen dengan komponen lainnya.

Sistem pengapian diharapkan dapat menimbulkan tegangan tinggi yang diperlukan untuk memproduksi loncatan bunga api (*spark over*) diantara elektroda busi, difungsikan untuk membakar bahan bakar bertekanan udara. Kenaikan tegangan yang besar akan mempengaruhi terhadap kuat atau meningkatnya laju loncatan bunga api diantara elektroda busi.

Koil pengapian mempunyai prinsip seperti transformator dengan inti besi dililiti konduktor yang digunakan untuk menaikkan tegangan primer menjadi tegangan tinggi pada sisi sekundernya. Pada koil ini mempunyai belitan sisi primer (tegangan rendah) antara 100-300 dan sisi sekunder (tegangan tinggi) 1500-20000 lilitan. Tahanan pada sisi primer dibuat sekecil mungkin agar arus yang mengalir tidak menjadi kecil, karena dapat menurunkan kuat medan

magnetnya. Sedangkan besarnya tegangan yang diinduksikan tergantung dari jumlah belitan, perubahan garis gaya magnet dan waktu terjadinya perubahan tersebut. Besarnya tegangan yang diinduksi pada sisi kumparan sekunder tergantung dari perbandingan gulungan antara kumparan primer dan sekunder dan juga besarnya tegangan induksi pada primernya.

Busi memegang peranan yang sangat vital dalam menghubungkan pengapian ke ruang pembakaran yang mana pada konstruksinya terdapat elektroda dengan celah udara sebagai medium tembus saat terjadi loncatan bunga api. Tekanan, temperature, dan pengapian tinggi semuanya diterapkan ke busi untuk muatan-muatan yang berat.

Penyalan busi didalam ruang bakar diperhitungkan dan dikendalikan terjadi pada waktu yang tepat. Sehingga tidak menimbulkan detonasi atau efek pukulan pada piston. Pada awal tahun 1970, sebagian besar motor bakar (*automotif engine*) menggunakan sistem penyalan pemutus arus didalam distributor (*contact points distributor*). Pemutus arus secara mekanis menimbulkan perubahan celah kontak (*gap*), menyebabkan proses pembakaran kurang sempurna. Pembakaran kurang sempurna ini menimbulkan gas buang (*exhaust*) tidak memenuhi standar polusi udara. (Crouse Anglin, 1993:397)

Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya beda tegangan yang dibutuhkan sistem pengapian untuk menyalakan campuran bahan bakar pada segala kondisi mesin antara lain :

1. Perbandingan campuran bahan bakar dengan udara
2. Kepadatan campuran bahan bakar dengan udara
3. Jarak (*gap*) antara kedua elektroda busi

4. Jumlah molekul campuran bahan bakar dengan udara

5. Temperatur campuran dan kondisi lainnya

Perbandingan campuran bahan bakar dengan udara berkisar antara 0,06 - 0,12.

Akan tetapi, pada umumnya dibutuhkan tegangan yang lebih besar untuk menjamin terjadi loncatan bunga api listrik dalam segala keadaan yaitu sebesar 10 kV – 20 kV.

Semakin padat campuran bahan bakar udara, maka semakin tinggi beda tegangan yang di butuhkan untuk penyalaan pada jarak elektroda yang sama. Oleh karena itu, semakin besar jarak elektroda busi, maka semakin besar pula tegangan yang dibutuhkan untuk memperoleh intensitas bunga api listrik yang sama. Jarak optimal elektroda busi adalah 0,6 mm – 0,8 mm. (Arismunandar, Wiranto, 1983:62)

Agar engine menghasilkan tenaga maksimum, proses pembakaran harus berakhir pada gerak piston tertentu, pada saat piston dalam langkah usaha. Untuk dapat mencapai hal tersebut, diperlukan saat pengapian yang tepat. Saat pengapian adalah suatu tolak ukur yang digunakan apakah pengapian berlangsung pada waktu yang tepat, terlalu cepat atau terlambat. Waktu yang diperlukan untuk membakar gas bahan bakar adalah sama, baik pada putaran rendah maupun putaran tinggi. Dengan demikian piston akan menempuh lintasan yang berbeda, lintasan piston akan lebih jauh pada saat putaran tinggi. Untuk menentukan waktu pembakaran ini dipakai sebagai pedoman putaran poros engkol atau putaran poros nok yang berputar dengan kecepatan $\frac{1}{2}$ kali putaran poros engkol. Seandainya gerakan putar poros engkol (satu kali berputar) digambarkan sebagai lingkaran

360° putaran, maka lama pembakaran campuran bahan bakar untuk dapat terbakar sempurna diperkirakan 1/10 putaran yaitu 36° putaran. Dengan demikian jika pembakaran mulai terjadi 17° sebelum TMA, maka pembakaran itu akan terus berlangsung sampai pada posisi 19° sesudah TMA. Jika suatu motor mempunyai putaran 1200 rpm, berarti setiap detik terjadi 20 putaran. Satu kali putaran membutuhkan waktu 1/20 detik atau 0,05 detik. Maka untuk sekali pembakaran 36° dibutuhkan waktu selama $36/360 \times 0,05 = 0,005$ detik. Jika putaran motor ditingkatkan menjadi dua kali (2400 rpm), maka untuk satu kali putaran hanya membutuhkan waktu 0,0025 detik. Jika kita tidak menyukai pengapian terlambat maka saat mulainya harus dipercepat, dan nantinya akan berakhir di saat yang sama, seperti jika pada putaran 1200 rpm. Sedangkan jika pembakaran tetap dimulai pada 17° sebelum TMA maka akan berakhir jauh sesudah piston melewati TMA. Pembakaran akan berlangsung selama $0,005/0,0025 \times 36^\circ = 72^\circ$ putaran. Jadi pembakaran jelas akan terlambat berakhir, jika dimulai tetap 17° sebelum TMA. (Drs.Jalius Jama, Motor Bensin, 102-103)

Dengan diterapkannya teknologi elektronik dalam bidang otomotif, unjuk kerja motor/kendaraan secara umum meningkat, baik dari segi kemampuan, ketahanan, konstruksinya sederhana dan perawatannya lebih mudah. Khusus dalam sistem pengapian, hampir semua kendaraan, baik mobil maupun motor yang diproduksi akhir-akhir ini menggunakan sistem pengapian elektronik. Nama yang diberikan produsen berbeda-beda seperti CDI, EPI, UTL, TAIS dan lain-lain. Dari sekian banyak sistem pengapian elektronik yang digunakan, dapat dikelompokkan dalam dua kelompok, yaitu pengapian pengosongan muatan

(CDI=Capasitif Discharge Ignition) dan pengapian transistor (TI=Transistor Ignition).

2.1 Pengapian CDI (Capasitif Discharge Ignition)

Pengapian CDI merupakan pengembangan dari sistem pengapian magnet konvensional. Dengan menambahkan komponen elektronik pada sistem ini, diperoleh unjuk kerja sistem pengapian magnet yang lebih baik. Fungsi CDI adalah mengatur kerja sistem pengapian secara elektronik dengan mengatur pengosongan muatan kapasitor yang akan disuplai ke koil. Komponen utama CDI adalah kumparan pengapian (*Charging Generator*), pembangkit pulsa (*Pulse Generator*) dan unit pengendali (Thyristor/SCR dan kapasitor). Charging dan Pulse Generator terdapat/dipasang pada unit generator motor. Pengapian CDI adalah suatu sistem pengapian elektronik, yang memutus dan menghubungkan aliran arus listrik melalui kapasitor yang dilakukan oleh SCR. Generator pada *engine* memiliki beberapa kumparan, salah satu diantaranya di gunakan untuk sistem pengapian. Salah satunya adalah kumparan pembangkit yang dikhususkan untuk memicu (*triggering*) SCR untuk melepas muatan kapasitor. Adapun cara kerja sistem pengapian CDI ini sebagai berikut. Pada saat medan magnet memotong kumparan pengisi, maka kumparan akan menghasilkan arus listrik, tegangan hasil pembangkitan ini berkisar 400 Volt. Arus ini akan dialirkan menuju kapasitor. Arus listrik ini akan tersimpan sementara pada kapasitor. Fly-wheel terus berputar dan medan magnet memotong kumparan pemicu. Kumparan pemicu menghasilkan arus listrik yang akan memicu SCR, sehingga SCR “ON”aktif. Pada saat SCR “ON” aktif, arus listrik (muatan kapasitor) akan

dikosongkan dan mengalir menuju lilitan primer. Selanjutnya seperti pada sistem pengapian konvensional inti koil akan menjadi magnet dan langsung hilang, hal ini terjadi sebab kapasitor hanya sesaat mengalirkan arus listrik yang menyebabkan induksi diri (*self induction*) sebesar ± 400 Volt pada kumparan primer, setelah arus induksi diri ini hilang, inti koil kehilangan medan magnet dan pada lilitan sekunder akan terjadi induksi mutual yang menghasilkan arus listrik tegangan tinggi dan dialirkan ke busi dan terjadi pembakaran, motor hidup.

Kelebihan dari sistem pengapian CDI adalah sebagai berikut :

- Mogoknya mesin karena kotornya titik-titik kontak dapat dihindarkan,
- Tidak terjadi loncatan bunga api melintasi celah titik-titik kontak,
- Perawatan mudah karena tidak ada persoalan aus pada titik-titik kontak,
- Tidak diperlukan penyetelan ignition karena tidak dipakainya titik kontak, dan cam.
- Busi tidak mudah kotor karena Voltase sekunder yang lebih tinggi.

Komponen elektronik yang digunakan antara lain adalah :

1. Resistor : Berfungsi untuk membatasi arus/menurunkan tegangan yang masuk ke dalam rangkaian. Jenis tahanan lain yang digunakan dalam bidang otomotif antara lain:
 - a. Varistor :adalah tahanan yang nilai tahanannya dapat berubah sesuai dengan perubahan tegangan yang masuk ke dalam tahanan . Nilai tahanan akan turun bila tegangan masuk semakin besar. Varistor dibuat dari bahan Polycrystalline Zick Oxide atau tepung silicon Carbide yang di campur dengan bahan pengikat dan dipadatkan dalam suatu wadah.

b. NTC

Tahanan jenis ini akan mengalami penurunan nilai tahanan bila suhu tahanan bertambah tinggi. Dengan demikian, semakin tinggi suhu tahanan, semakin besar arus yang akan mengalir. Tahanan jenis ini dibuat dari bahan metal oxide seperti ferri oxide, zick titanium oxide dan magnesium chromicc oxide

c. PTC

Merupakan kebalikan dari NTC Resistor, tahanan akan mengalami peningkatan nilai tahanan bila suhunya meningkat. Hampir semua jenis logam masuk dalam kelompok ini, dimana logam lebih baik mengantar arus listrik pada saat dingin dibandingkan waktu panas. Bahan tahanan PTC adalah seikonduktor ferroelectric ceramic seperti polycrystalline titanate.

2. Diode

a. Dioda Penyearah

Dioda penyearah adalah katup listrik satu arah, sehingga sering didefinisikan dioda berfungsi sebagai penyearah arus listrik, dari arus bolak-balik menjadi arus searah. Namun pada sistem pengapian, fungsi dioda biasanya untuk melindungi transistor atau menghilangkan arus induksi yang tidak diinginkan, misalnya pada kumparan sistem pengisian. Dioda ini mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menahan tegangan balik (Reverse Voltage).

b. Dioda Zener

Apabila dioda ini dihubungkan dengan sumber tegangan dengan sumber polaritas terbalik, arus listrik akan tertahan sampai tercapai nilai tembus yang telah ditetapkan. Sebelum tercapai tegangan tembus, dioda zener akan menahan aliran arus yang masuk. Apabila tegangan tembus telah tercapai, maka diode zener akan berfungsi sebagai konduktor yang baik. Oleh sebab itu, dioda ini sangat baik digunakan sebagai penstabil tegangan

3. Kapasitor

Berfungsi untuk menyimpan arus. Pada sistem pengapian CDI, kapasitor akan menampung arus yang dihasilkan oleh kumparan, menyimpannya dan membuang pada saat yang telah ditentukan. Pada kondisi tertentu kapasitor digunakan sebagai penstabil tegangan. Kapasitor dan tahanan (RC) digunakan sebagai pengatur / pembangkit frekuensi, untuk itu perlu diketahui waktu pengosongan dan waktu pengisian suatu kapasitor ($f=1/RC$)

4. Transistor

Transistor adalah komponen semikonduktor, yaitu mampu berfungsi sebagai insulator atau juga sebagai konduktor, tergantung pada kondisi listrik yang diterimanya. Berdasarkan polaritasnya, transistor ada dua jenis yaitu transistor NPN dan PNP. Bila terdapat hubungan dengan polaritas yang benar antara Basis dan Emitter, maka akan terjadi aliran antara emitter dan collector, Transistor berfungsi sebagai konduktor. Bila tidak ada hubungan antara basis

dan emitor,atau polaritasnya tidak benar , maka tidak akan terjadi/ada aliran arus antara Emitor dan kolektor,transistor berfungsi sebagai insulator.

Pada system pengapian ,transistor umumnya berfungsi sebagai saklar (switching),yaitu menghubungkan dan memutuskan aliran arus dari sumber ke beban. Karakteristik transistor ialah bila Basis diberi arus listrik, negatif atau positif sesuai dengan jenisnya, maka Colektor dan Emitter akan terhubung.

5. SCR

SCR adalah *Silicon Controlled Rectifier*

Umumnya system pengapian CDI menggunakan SCR. Sifat SCR ialah bila terminal gate mendapat arus listrik , maka dari anoda akan mengalir arus ke katoda. Aliran arus ini akan terus berjalan selama aliran tidak terputus. Bila aliran arus dari anoda ke katoda terputus maka SCR akan mati, untuk menghidupkannya terminal Gate harus kembali diberi arus.Alasan digunakannya SCR utuk switching adalah karena dapat beroperasi dalam waktu mikrodetik, mampu menangani tegangan dan arus besar dalam kondisi malar(kontinyu) ataupun kondisi sentak (surge condition),tidak terpengaruh oleh oleh getaran dan benturan.

2.2. Mikrokontroler Renesas R8C/13 Tiny (R5F21134FP)

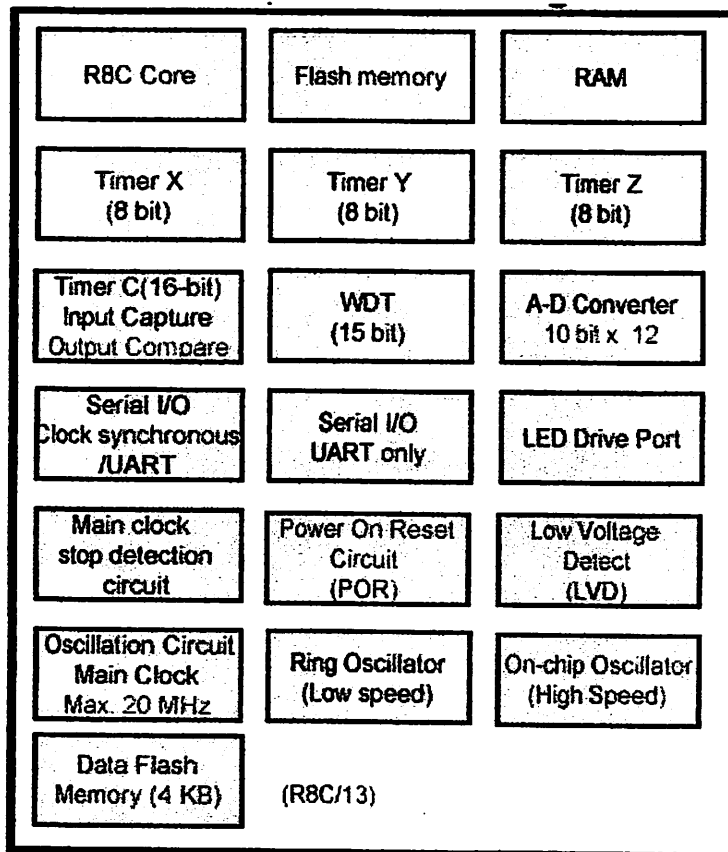
Renesas Technology adalah produsen semikonduktor tingkat internasional. Renesas terbangun dari gabungan dua produsen semikonduktor, yaitu Mitsubishi dan Hitachi. Sebagai produsen semikonduktor, renesas juga mengeluarkan berbagai jenis keluarga mikrokontroler (MK).

Renesas R8C adalah salah satu jenis seri dalam keluarga MK M16C. CPU R8C sama dengan CPU CISC 16-bit M16C, hanya saja lebar jalur data R8C adalah 8-bit. Karena menggunakan CPU yang sama maka R8C memiliki *instruction set* hampir sama dengan M16C. Perbedaannya hanya terletak pada 2 instruksi, yaitu R8C tidak memiliki instruksi JMPS (*Jump Special Page*) dan JSRS (*Jump Subroutine Special Page*). R8C/13 adalah salah satu tipe MK dalam seri R8C. MK ini memiliki kemasan 32-pin LQFP. Dalam perancangan pada skripsi ini menggunakan menggunakan MK seri R5F21134, yaitu R8C/13 yang memiliki Flash ROM 16 KB (1000 E/W cycles) dan RAM sebesar 1 KB.

2.2.1. Spesifikasi R5F21134FP

Berikut ini adalah spesifikasi *R5F21134FP* dengan peta peripheral dan memori-memorinya.

- ❖ Mempunyai *CPU Core* (16-bit) 1 – 20 MHz, 3.0 – 5.5 Volt dan 1 – 10MHz 2.7 – 5.5 Volt.
- ❖ Rangkaian Clock, kecepatan *Low/High On-Chip Oscillator*. Clock utama dengan Xin/Xout.
- ❖ Memory (ROM/SRAM) 16 Kbytes / 1 Kbytes, 2 x 2 K Bytes Data Flash pada R8C/12, 13.
- ❖ Kemasan 32 pin LQFP (7mm x 7mm)



Gambar 2-1

Blok Diagram R8C/11, 13 dan Peta *Peripheral*-nya

Sumber : www.renesas.com

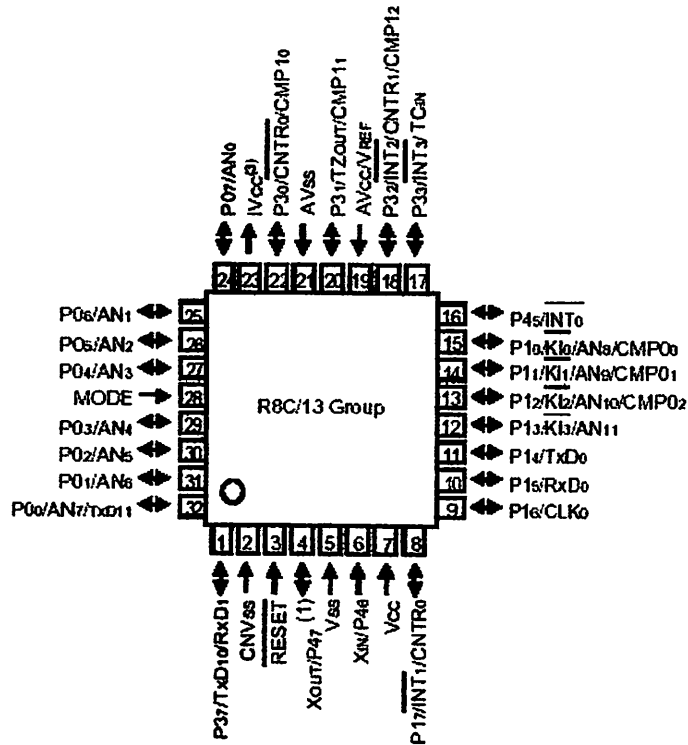
2.2.2. Kelebihan Kunci R8C/Tiny

Banyak kelebihan-kelebihan yang dimiliki R8C/Tiny diantaranya adalah :

- ❖ Kompatibel dengan M16C yaitu kompatibel dalam instruksi dan kode.
- ❖ *Peripheral* lebih terintegrasi jadi lebih hemat.
- ❖ *Electromagnetic Compatibility* (EMC) mempunyai EMI rendah, EMS tinggi.
- ❖ *Development Tool* (*Compiler* dan *Debugger*) didapat dengan murah dan difasilitasi *On-Chip Debugger*

- ❖ Mempunyai fitur *fail-safe* yaitu pengamanan terhadap kegagalan sistem.
- ❖ Konsumsi daya rendah.
- ❖ 16-bit CISC CPU dengan kecepatan maksimal 20 MHz (1:1).
- ❖ 89 instruksi CISC lebih hemat ROM kira-kira 20 %, RAM sampai 1 KB.
- ❖ Waktu konversi ADC hanya 3 uS.

2.2.3. Konfigurasi Pin R8C R5F21134FP



Gambar 2-2

Konfigurasi Pin R8C R5F21134FP

Sumber : www.renesas.com

Tabel 2.1 Deskripsi fungsi pin mikrokontroler R8C/13

Pin	Nama	Keterangan
1	P37	Pin input/output (p3_7)
	TxD10	Pengirim antarmuka serial UART1
	RxD1	Penerima antarmuka serial UART1
2	CNVss	Koneksi ke Vss (melalui resistor)
3	RESET	Reset Mikrokontroler (aktif rendah)
4	Xout	Output osilator eksternal (kristal 20 MHz)
	P47	Pin input (p4_7)
5	Vss	Acuan sumber tegangan (0 volt)
6	XIN	Input osilator eksternal (kristal 20 MHz)
	P46	Pin input (p4_6)
7	Vcc	Sumber tegangan (2,7 sampai 5,5 volt)
8	P17	Pin input/output (p1_7)
	INT1	Input interupsi eksternal INT1
	CNTR0	Input/output Timer X
9	P16	Pin input/output (p1_6)
	CLK0	Sinkronisasi antarmuka serial UART0 (I/O)
10	P15	Pin Input/Output (p1_5)
	RxD0	Penerima antarmuka serial UART0
11	P14	Pin Input/Output (p1_4)
	TxD0	Pngirim Antarmuka serial UART0
12	P13	Pin Input/Output (p1_3)
	K13	Input Intrupsi Internal K13
	AN11	Input ADC kanal 11
13	P12	Pin Input/Output (p1_2)
	K12	Input interupsi eksternal K12

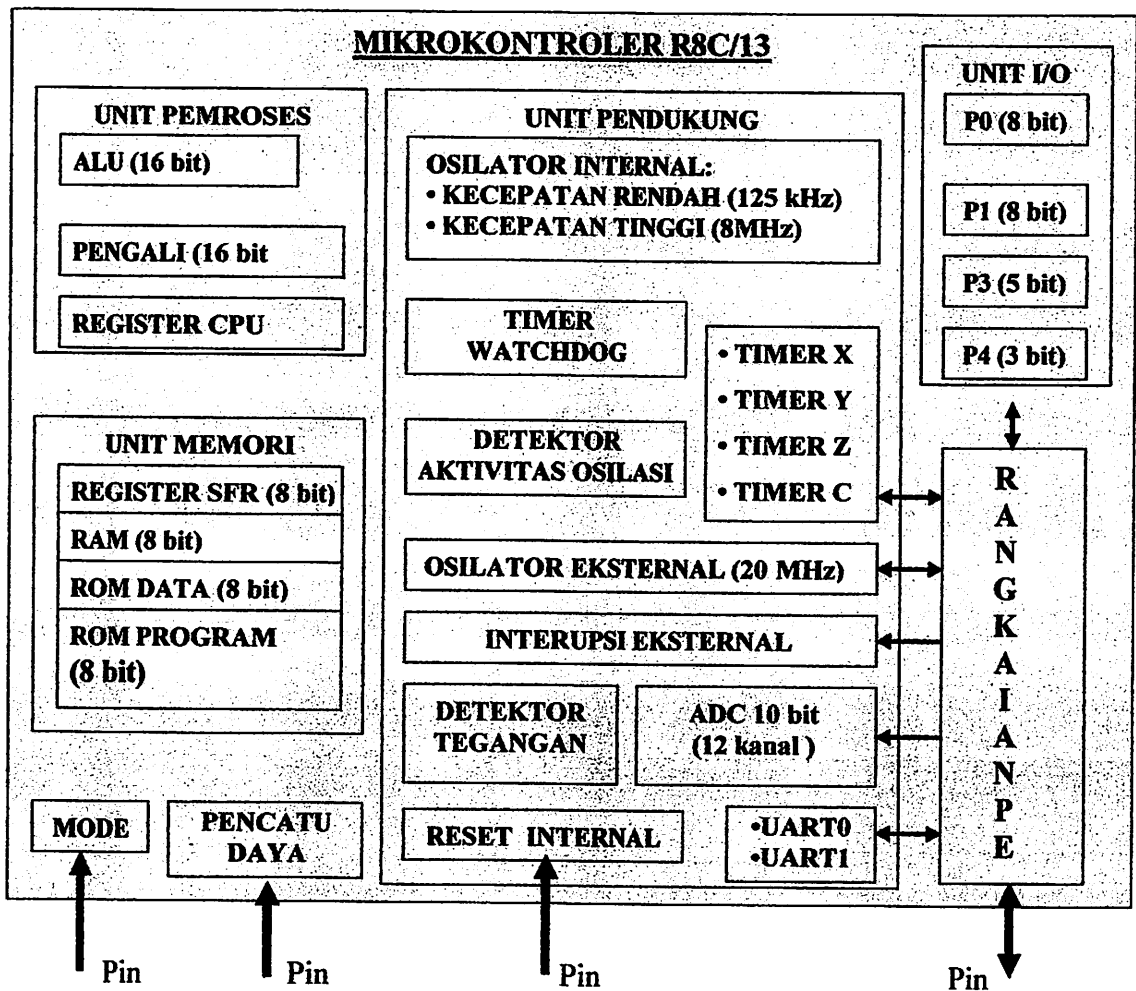
	AN10	Input ADC kanal 10
	CMP02	Output Timer C
14	P11	Pin Input/Output (p1_1)
	K11	Input Interupsi eksternal K11
	AN9	Input ADC kanal 9
	CMP01	Output Timer C
15	P10	Pin Input/Output (p1_0)
	K10	Input Interupsi eksternal K10
	AN8	Input ADC kanal 8
	CMP00	Output Timer C
16	P45	Pin Input/Output (p4_5)
	INT0	Input Interupsi eksternal INT0
17	P33	Pin Input/Output (p3_3)
	INT3	Input Interupsi eksternal INT3
	TCIN	Input Timer C
18	P32	Pin Input/Output (p3_2)
	INT2	Input Interupsi eksternal INT2
	CNTR1	Input/Output Timer Y
	CMP12	Output Timer C
19	AVCC	Sumber tegangan ADC (5 Volt)
	VREF	Tegangan referensi ADC (5 Volt)
20	P31	Pin Input/Output (p3_1)
	TZOUT	Output Timer Z
	CMP11	Output Timer C
21	AVSS	Acuan Sumber Tegangan ADC(0 Volt)
22	P30	Pin Input/Output (p3_0)
	CNTR0	Output Timer X (Output Inversi)
	CMP10	Output Timer C

23	IVCC	Sumber Tegangan Internal
24	P07	Pin Input/Output (p0_7)
	AN0	Input ADC kanal0
25	P06	Pin Input/Output (p0_6)
	AN1	Input ADC kanal 1
26	P05	Pin Input/Output (p0_5)
	AN2	Input ADC kanal 2
27	P04	Pin Input/Output (p0_4)
	AN3	Input ADC kanal 3
28	MODE	Moe Operasi Mikrokontroller
29	P03	Pin Input/Output (p0_3)
	AN4	Input ADC kanal 4
30	P02	Pin Input/Output (p0_2)
	AN5	Input ADC kanal 5
31	P01	Pin Input/Output (p0_1)
	AN6	Input ADC kanal 6
32	P00	Pin Input/Output (p0_0)
	AN7	Input ADC kanal 7
	TXD11	Pengirim antarmuka serial UART1

2.2.4. Arsitektur Internal

Selain unit pemroses, unit memori, unit input/output, dan unit pendukung, mikrokontroller ini juga memiliki beberapa unit tambahan, yaitu pengatur mode operasi mikrokontroller (mode normal atau mode download program), rangkaian pencatu daya internal, dan rangkaian pengkoneksi. Rangkaian pengoneksi diperlukan untuk mengatur hubungan pin-pin mikrokontroler dengan unit input/output atau unit pendukung yang bersesuaian.

Unit pemroses merupakan inti (core) mikrokontroler. Mikrokontroler R8C/13 memiliki unit pemroses 16 bit sehingga mikrokontroler ini dapat dikategorikan sebagai mikrokontroler 16 bit. Meskipun demikian, unit ini dapat juga digunakan untuk memproses data 8 bit. Selain ALU (untuk operasi aritmatika dan logika), mikrokontroler ini juga dilengkapi dengan modul pengali yang berguna untuk mempercepat operasi perkalian. Untuk input 16 bit, modul pengali ini menghasilkan output 32 bit.



Gambar 2.3
Penyederhanaan arsitektur mikrokontroler R8C/13

Register CPU terdiri atas register data (R0, R1, R2 dan R3), register alamat (A0, A1, FB dan SB), register pencacah program (PC), register table interupsi (INTB), register stack pointer (USP dan ISP), dan register status (FLG). Secara umum, register CPU tidak dapat diakses secara langsung melalui instruksi bahasa C standar. Kita harus menggunakan instruksi-instruksi assembly tertentu. Dalam bahasa C, instruksi assembly tersebut dapat kita panggil melalui fungsi asm.

Unit memori mikrokontroler R8C/13 memiliki lebar data 8 bit. Unit memori ini terdiri atas Register SFR (Special Function Register), RAM, ROM Data, dan ROM Program. Register SFR berguna untuk menyimpan setting mikrokontroler. Register ini dapat kita akses secara langsung melalui bahasa C. Nama-nama register didefinisikan dalam file pustaka `sfr_r813.h` yang disediakan renesas secara gratis.

RAM berfungsi sebagai tempat penyimpanan seluruh variable yang kita definisikan dalam bahasa C. RAM juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan data sementara ketika dilakukan eksekusi fungsi atau rutin interupsi. RAM umumnya dibagi menjadi dua area, yaitu area data (untuk variable statis) dan area stack pointer (untuk variable dinamis). Area data umumnya dialokasikan dari alamat awal RAM ke alamat yang lebih tinggi. Sebaliknya, area stack pointer umumnya dialokasikan dari alamat akhir RAM ke alamat yang lebih rendah.

ROM berfungsi sebagai tempat penyimpanan program dan konstanta. Mikrokontroler yang kita bahas ini memiliki ROM tipe flash yang terdiri atas ROM data (Blok A dan Blok B) dan ROM Program (Blok 1 dan Blok 2). Untuk menulis ulang salah satu blok tersebut, lebih dahulu kita harus menghapus seluruh data yang ada dalam blok tersebut. Operasi pembacaan memori flash relative cepat,

tetapi operasi penulisan memori ini relative lambat. ROM dapat diisi ulang baik ketika proses download maupun ketika mikrokontroler beroperasi normal.

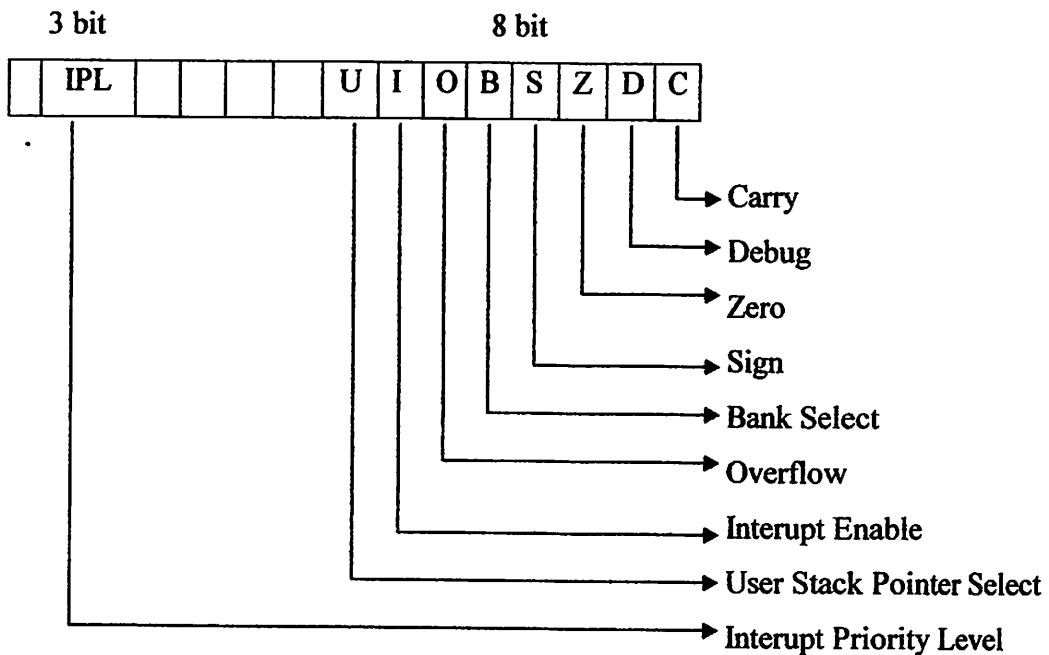
Unit input/output terdiri atas 4 port, yaitu P0, P1, P2, dan P4. Masing-masing port berhubungan dengan register buffer port (p0, p1, p3, dan p4) dan register penentu arah aliran data (pd0, pd1, pd3, dan pd4). Kita dapat menyeting port sebagai input atau output melalui register penentu arah aliran data tersebut. Sebagai tambahan, kita dapat menyeting sebagian pin dari sebuah port sebagai input dan pin-pin lainnya sebagai output.

Unit –unit pendukung yang dimiliki mikrokontroler R8C/13 cukup banyak, yaitu 1 detektor aktifitas osilator, 1 detektor tegangan pencatu daya, 1 rangkaian reset internal, 1 ADC (10 kanal), 2 antarmuka serial, 3 osilator, 5 timer, dan 8 interupsi eksternal. Selain itu kelima timer mikrokontroler ini memiliki struktur dan fungsi berbeda. Hal ini menyebabkan penyetingan unit-unit tersebut terlihat rumit.

2.2.5. Register FLG

Register FLG merupakan register CPU yang sangat penting karena register ini berisi bit-bit yang merepresentasikan status unit pemroses. Bit-bit status tersebut umumnya disebut istilah *flag*. Seperti yang diilustrasikan dalam gambar 2.3, register ini berisi delapan *flag*, yaitu flag U (*User Stack Pointer Select*), I (*Interrupt Enable*), O(*Overflow*), B(*Bank select*), S(*Sign*), Z(*Zero*), D (*Debug*), dan C (*Carry*). Pada kondisi awal, seluruh flag tersebut bernilai nol. Fungsi masing masing *flag* diuraikan dalam table 2.2

Bit ke-12 sampai ke-15 register FLG disebut IPL (*Interrupt Priority Level*). Interupsi-interupsi yang memiliki level kurang dari level IPL tidak diijinkan untuk dieksekusi. Mayoritas interupsi perangkat keras dipengaruhi oleh IPL



Gambar 2.4
Register FLG

Tabel 2.2 Interpretasi Flag

No.	Flag	Kondisi	Keterangan
1	U	U = 0	ISP dipilih sebagai stack pointer
		U = 1	USP dipilih sebagai stack pointer
2	I	I = 0	Interupsi dihalangi
		I = 1	Interupsi diijinkan
3	O	O = 0	Hasil operasi aritmetika dalam batas nilai yang diijinkan
		O = 1	Hasil operasi aritmetika melampaui batas nilai yang diijinkan
4	B	B = 0	Bank register 0 diaktifkan
		B = 1	Bank register 1 diaktifkan
5	S	S = 0	Hasil operasi aritmetika bernilai positif

		$S = 1$	Hasil operasi aritmetika bernilai negatif
6	Z	$Z = 0$	Hasil nilai aritmetika bernilai bukan nol
		$Z = 1$	Hasil nilai aritmetika bernilai nol
7	D	$D = 0$	Mode normal diaktifkan
		$D = 1$	Mode debug diaktifkan
8	C	$C = 0$	Operasi aritmetika/logika tidak menghasilkan bit pindahan
		$C = 1$	Operasi aritmetika/logika menghasilkan bit pindahan

2.2.6. Peta Memori

Seperti yang diilustrasikan dalam gambar 2.4, memori mikrokontroler R8C/13 (tipe R5F21134FP) Dipetakan ke dalam sebuah ruang memori sebesar 1MB, tetapi mikrokontroler ini hanya bias mengakses ruang alamat sebesar 64 kB. Ruang memori tersebut dialokasikan untuk register SFR, RAM, ROM Data dan ROM Progres. Area yang diarsir gelap merupakan area yang tidak bisa dipakai.

Register SFR dialokasikan pada alamat 00000_{16} sampai $002FF_{16}$ (512 alamat). Mayoritas alokasi ini berupa area kosong yang tidak terpakai. RAM kapasitas 1 kB dialokasikan pada alamat 00400_{16} sampai $007FF_{16}$. ROM data kapasitas 2kB dialokasikan pada alamat 02000_{16} sampai $02FFF_{16}$ dan ROM program kapasitas 16 kB dialokasikan pada alamat $0C000_{16}$ sampai $0FFFF_{16}$.

Bagian akhir ROM program dialokasikan untuk 7 alamat vector interupsi, tujuh kode sekuritas (ID1 sampai ID7), dan sebuah register OFS. Register OFS digunakan untuk mengaktifkan timer watchdog. Timer ini akan mati jika register ini diisi FF_{16} (nilai default) dan aktif jika register ini diisi dengan FE_{16} . Kode sekuritas berguna untuk memproteksi program dari proses pembacaan atau duplikasi. Jika kita menggunakan program developer HEW, kode-kode sekuritas

tersebut akan diisi dengan nilai default (FF16) sehingga program dalam mikrokontroller selalu bisa dibaca. Kita dapat menggunakan program downloader Flashta untuk mengisikan kode sekuritas tersebut kedalam mikrokontroler.

2.2.7 Register SFR

Fungsi dan nilai awal masing-masing nilai awal register SFR dirangkum dalam Tabel 2.3. Sebagian besar register SFR memiliki nilai awal . Diantara 86 register , hanya 13 register yang tidak memiliki nilai awal . Tanda silang “X” dalam table 2.3 berarti tidak dapat ditentukan .

Dalam file pustaka `sfr_r813.h`, register SFR dideklarasikan dengan menggunakan singkatan-singkatan standar dari renesas (seperti yang digunakan dalam table 2.3)

2.2.8 Akses Memori

Tipe Variable yang umum digunakan dalam bahasa C meliputi char, int, long, float, dan double. Pendeklarasian array tipe int memerlukan memori dua kali lebih banyak daripada array tipe char sehingga penggunaannya harus benar-benar kita perhitungkan. Jika variable tipe char telah mencukupi, kita jangan menggunakan variable tipe int. Peilihan variable tipe float dan double juga harus kita pertimbangkan masak-masak. Pemborosan memori akibat penggunaan data tipe double cukup signifikan, terutama untuk array berdimensi besar.

Seluruh variable pointer (tipe near pointer) memiliki lebar data yang sama (yaitu 2 byte) meskipun pointer-pointer tersebut menunjuk variable-variabel dengan tipe berbeda.

Tabel 2.3 Tipe Variabel

Tipe Variabel	Byte	Jangkauan nilai
Bool	1	0 dan 1
Char	1	0 sampai 255
Unsigned Char		
Signed Char	1	-128 sampai 127
Int	2	-32768 sampai 32767
Short		
Signed int		
Signed short		
Unsigned int	2	0 sampai 65535
Unsigned short		
Long	4	-2147483648 sampai
Signed long		2147483647
Unsigned long	4	0 sampai 4294967295
Long long	8	-9223372036854775808
Signed long long		Sampai 9223372036854775807
Unsigned long long	8	0 sampai 18446744073709551615
Float	4	$1.17549435 \times 10^{-38}$ sampai $3.40282347 \times 10^{38}$
Double	8	$2.2250738585072014 \times 10^{-308}$ sampai
Long double		$1.7976931348623157 \times 10^{308}$
Near Pointer	2	0000_{16} sampai $FFFF_{16}$
Far Pointer	4	00000000_{16} sampai $FFFFFFFF_{16}$

Pengalokasian RAM selain untuk menyimpan variable, RAM juga diperlukan dalam pengekseskuan fungsi dan rutin interupsi. Penyimpanan data ke dalam memori flash pada area ROM data. Data tersebut tidak hilang meskipun pencatu

daya dimatikan. Mikrokontroler menyediakan 2 blok memori flash, yaitu Blok A (Alamat 2000_{16} smpai $27FF_{16}$) dan Blok B (Alamat 2800_{16} sampai $2FFF_{16}$)

Blok A dan Blok B masing-masing berkapasitas 2 KB. Kita dapat langsung mengisi alamat-alamat kosong pada kedua blok tersebut. Kita harus menghapus seluruh ata pada suatu blok sebelum menulis ulang suatu alamat yang telah terisi data.

2.2.9 Clock CPU

Mikrokontroler R8C/13 menyediakan faktor pembagi frekuensi osilator seperti yang ditunjukkan dalam table 8.. Semakin besar faktor pembagi yang kit gunakan, semakin kecil frekuensi clock CPU yang kita peroleh. Kecepatan clock CPU yang tinggi akan menghasilkan kecepatan proses yang tinggi tetapi mikrokontroler akan mengkonsumsi energi listrik yang tinggi pula. Dalam sistem yang mengutamakan penghematan energi, frekuensi clock CPU umumnya di-setting serendah mungkin

Tabel 2.4 Makro Pembagi Clock CPU

Makro	Keterangan
CLOCK_SKALA_1	Frekuensi osilator tidak dibagi
CLOCK_SKALA_2	Frekuensi osilator dibagi 2
CLOCK_SKALA_4	Frekuensi osilator dibagi 4
CLOCK_SKALA_8	Frekuensi osilator dibagi 8
CLOCK_SKALA_16	Frekuensi osilator dibagi 16

Mikrokontroler R8C/13 memiliki dua buah clock internal, yaitu clock internal frekuensi rendah (125 kHz) dan clock internal frekuensi tinggi (8 MHz). Clock internal frekuensi tinggi bersumber pada clock internal frekuensi rendah sehingga clock frekuensi rendah umumnya tidak pernah dimatikan. Pada kondisi awal setelah reset, mikrokontroler menggunakan clock internal frekuensi rendah dengan faktor pembagi frekuensi 8 sehingga mikrokontroler beroperasi pada frekuensi sekitar 16 kHz.

Tabel 2.5 Makro Setting clock CPU

Makro	Keterangan
Clock_Eksternal	Frekuensi maksimum 20 MHz
Clock_Internal_F_Tinggi	Frekuensi sekitar 8 MHz
Clock_Internal_F_Rendah	Frekuensi sekitar 125kHz

2.2.10 Timer

Mikrokontroler R8C/13 memiliki empat buah timer, yaitu timer X, timer Y, timer Z, dan timer C. Gambaran umum keempat timer tersebut terangkum dalam table 9.1. Timer X, Timer Y, Tier Z melakukan pencacahan mundur. Kondisi hitungan mundur kembali ke nilai awal disebut Underflow. Dilain pihak, Timer C melakukan pencacahan maju. Kondisi hitungan maju kembali ke nilai awal disebut Overflow.

Tabel 2.6 Gambaran Umum timer mikrokontroler R8C/13

Item	Timer X	Timer Y	Timer Z	Timer C
Register	Prex	Prey	Prez	tc
pencacah	tx	Typr tysc	Tzpr tzsc	
Hitungan	mundur	mundur	mundur	maju
Clock	F1, f2, f8, f32	F1, f8, fRING	F1, f2, f8 Timer Y	F1, f8, f32 fRING-FAST
Pin input	CNTR0	CNTR0	INT0	TCIN
Pin output	CNTR0	CNTR1	TZOUT	CMP00-CMP02
	CNTR0			CMP10-CMP12
Interupsi	TMRX, INT1	TMRY, INT2	TMRZ	TMRC, INT3, CMP0, CMP1
Fungsi	Pengukur selang waktu Pembangkit pulsa Pencacah pulsa Pengukur lebar pulsa Pengukur periode	Pengukur selang waktu Pencacah pulsa Pembangkit gelombang	Pengukur selang waktu Pembangkit gelombang Pembangkit pulsa-tunggal Pembangkit pulsa-tunggal tertunda	Penangkap sinyal masukan Pembangkit sinyal hasil komparasi

2.3. PickUp Coil (Pulser)

Pickup coil adalah suatu alat yang terdiri dari lilitan yang mengeluarkan tegangan apabila medan magnet berputar dan akan menghasilkan keluaran tegangan 0-12 VAC. Besar kecilnya tegangan yang dihasilkan oleh pickup coil tergantung pada besarnya medan magnet yang berputar, semakin cepat kecepatan putar medan magnet maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar, demikian pula sebaliknya

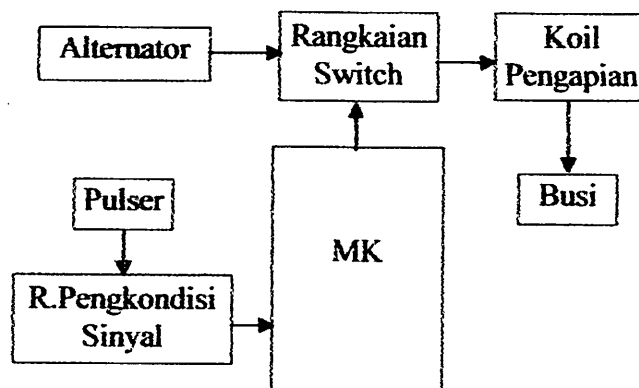
BAB III

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perencanaan sistem pengapian CDI terprogram pada motor bensin silinder tunggal pada umumnya dibagi menjadi tiga bagian antara lain adalah sensor posisi piston, unit kontrol pengapian dan rangkaian switching

3.1 Blok Diagram Sistem

Bagan sistem pengapian CDI terprogram pada motor bensin silinder tunggal dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1

Diagram Blok Sistem

Fungsi dari masing_masing blok adalah:

Sensor : Pulser

Berfungsi sebagai sensor posisi piston dan sensor putaran mesin, dengan mengetahui periode pulsa maka akan diketahui putaran(RPM) mesin

Pengkondisi Sinyal :

Berfungsi mengkondisikan sinyal keluaran dari sensor (pulser). Pengkondisi sinyal terdiri atas tiga rangkaian, yaitu :

- Rangkaian Peak Detektor
- Rangkaian Komparator
- Rangkaian Optokopler

Mikrokontroller :

Berfungsi sebagai pengolah data input dari sensor, dan memberikan perintah pada SCR

Rangkaian Switch :

- Kapasitor :

Berfungsi menyimpan sementara muatan dari sumber tegangan dan mengosongkannya pada waktu yang telah ditentukan

- SCR :

Berfungsi sebagai switch

Koil Pengapian :

Berfungsi sebagai penaik tegangan sebelum diumpan ke busi

Busi :

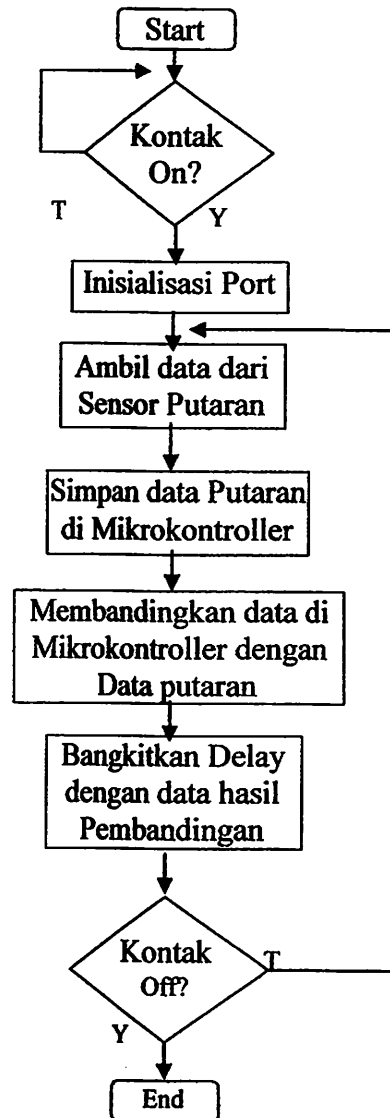
Adalah alat untuk melakukan pembakaran pada ruang bakar

3.2. Spesifikasi Alat

Pembuatan CDI terprogram pada motor bensin silinder tunggal ini dirancang dengan spesifikasi teknis sebagai berikut :

1. Sensor menggunakan Hall effect sensor (Pulser) yang terdapat pada motor
2. Menggunakan mikrokontroler R8C/13 sebagai pemroses utama.

3.3. Flowchart



Gambar 3.2
Diagram Alir Sistem

Ket : Panel 1 : Kontak

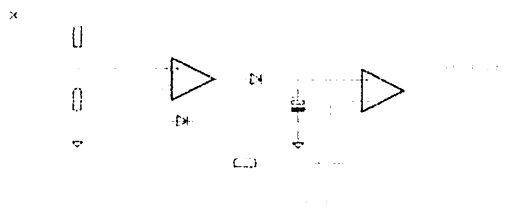
Panel 2 : Engine Start

3.4. Prinsip Kerja Sistem

Sinyal keluaran dari sensor (pulser) di ubah menjadi sinyal digital oleh Rangkaian Pengkondisi sinyal, yang terdiri dari rangkaian peak detector, komparator, dan optokopler sebagai input bagi mikrokontroller untuk mendeteksi posisi piston dan juga putaran mesin, Mikrokontroller sebagai unit pemroses utama dari sistem adalah penentu waktu pengaktifan SCR sebagai switch untuk melepaskan atau mengosongkan muatan kapasitor menuju kumparan primer dari koil pengapian pada putaran mesin tertentu sesuai dengan grafik kurva pengapian yang telah ditentukan.

3.4.1. Peak Detektor

Rangkaian Peak Detektor adalah bagian dari rangkaian pengkondisi sinyal, digunakan untuk mencatat tegangan puncak positif keluaran dari pulser yang nantinya akan digunakan sebagai referensi sudut acuan dalam melakukan delay waktu pengapian.



Gambar 3.3
Rangkaian Peak Detektor

Tegangan keluaran maksimum pulser pada 12000 RPM adalah 15V. Tegangan masukan untuk rangkaian peak detector adalah maksimal 5V.

$$\frac{V_p}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$\frac{15}{5} = \frac{R1 + R2}{R2}$$

$$15R2 = 5R1 + 5R2$$

$$10R2 = 5R1$$

$$2R2 = R1$$

$$R2 = 1k$$

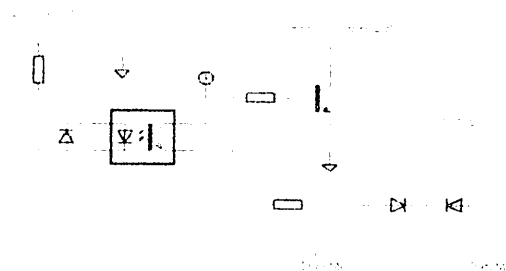
$$R1 = 2R2$$

$$= 2k\Omega$$

- * Saat $V_i > V_c$,maka D1 aktif terjadi pengisian pada C1,
- * Saat $V_i = V_c$, maka D1 tidak aktif, C1 menahan tegangan puncak V_i
- * Saat $V_i < V_c$, maka D2 aktif, C1 menahan tegangan puncak V_i

3.4.2. Reset Peak Detektor

Rangkaian ini digunakan untuk mereset atau mengosongkan muatan pada kapasitor C1 pada rangkaian peak detector dan juga sebagai kontrol jadwal pengapian pada putaran awal penyalaan mesin.



Gambar 3.4

Rangkaian Reset

- * Saat fase positif arus mengalir dari pulser, R3, D6 ke ground.

* Saat fase negatif arus mengalir dari ground, dioda opto, R3, pulser. Mengakibatkan optokopler aktif, Transistor *reset* peak detector membuang muatan pada kapasitor C1 pada rangkaian *peak detector*.

Pada saat putaran mesin langsam /*stasioner* besar $V_i = \pm 5V$

$$I_D = (V_i - V_D)/R_3$$

$$= (5 - 1.2)/1K$$

$$= 3.8 \text{ mA}$$

$$V = I \cdot R$$

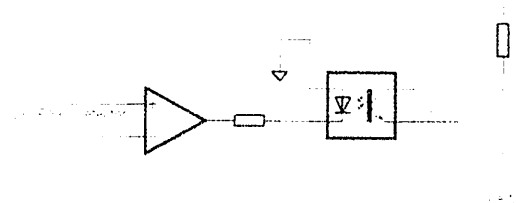
$$4.8 = 3.8\text{m} \times R$$

$$R = 4.8/3.8\text{mA}$$

$$= 1.3 \text{ k}\Omega$$

3.4.3. Komparator dan Optokopler

Komparator membandingkan puncak positif pulser dengan tegangan keluaran pulser. Optokopler mengubah keluaran komparator (Bipolar) menjadi Unipolar sebagai masukan atau input bagi mikrokontroller sebagai pemroses utama.



Gambar 3.5
Komparator dan Optokopler

$V_{sat (+)}$ = Dioda reverse bias

$V_{sat (-)}$ = Dioda forward bias

$$I_D = (V_{sat} (-) - 1.2) / R_{10}$$

$$= (-3.5 + 1.2) / 1k$$

$$= 2.3 \text{ mA}$$

$$I_D = I_C$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_2}$$

$$2.3 = \frac{5 - 0.2}{R_2}$$

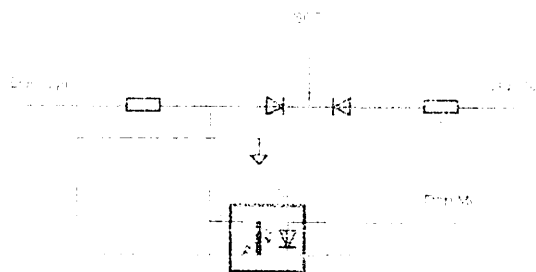
$$R_2 = \frac{5 - 0.2}{2.3}$$

$$= \frac{4.8}{2.3}$$

$$= 2.2k\Omega$$

3.4.4. Switch Transistor

Rangkaian ini bekerja setelah fase awal penyalaan mesin. Ketika putaran mesin mencapai >1500 RPM, maka mikrokontroler akan menon-aktifkan trigger SCR dari optokopler



Gambar 3.6

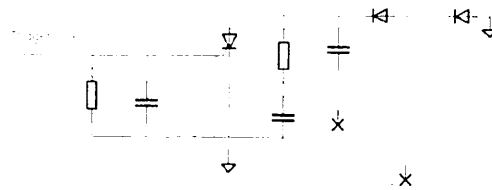
Switch Transistor

- $R_{11} = (V_{out} - V_D - V_G) / I_g$
 $= (5 - 0.6 - 0.6) / 2mA$
 $= 1.9 \text{ k}\Omega$

- $R14 = (V_{out} - V_D - V_G) / I_g$
 $= (4.8 - 0.6 - 0.6) / 2\text{mA}$
 $= 1.8 \text{ k}\Omega$

3.4.5. Switch Pengapian

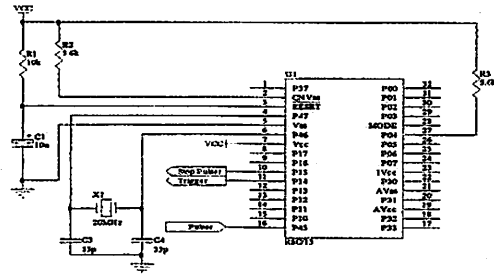
Ketika Gate SCR mendapat trigger dari mikrokontroler ataupun dari optokopler pulser pada putaran lambat, maka SCR akan aktif dan mengosongkan muatan kapasitor menuju *primary coil* dari koil pengapian yang menimbulkan induksi sesaat pada kumparan sekunder koil pengapian, sehingga menghasilkan bunga api di busi.



Gambar 3.7
Rangkaian CDI

3.4.6. Rangkaian Mikrokontroler

Berikut ini adalah spesifikasi *R5F21134FP* dengan peta peripheral dan memori-memorinya. Mempunyai *CPU Core* (16-bit) 1 – 20 MHz, 3.0 – 5.5 Volt dan 1 – 10MHz 2.7 – 5.5 Volt. Rangkaian Clock, kecepatan *Low/High On-Chip Oscillator*. Clock utama dengan *Xin/Xout*. Memory (ROM/SRAM) 16 Kbytes / 1 Kbytes, 2 x 2K

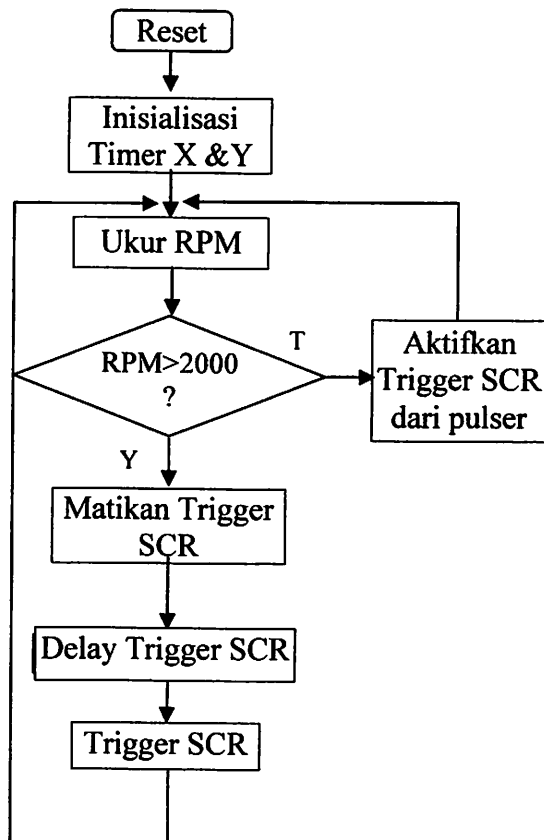


Gambar 3.8
Rangkaian Mikrokontroler

3.5. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah program mikrokontroller dengan menggunakan bahasa C. Program ini bertujuan mengatur sudut pengapian pada RPM tertentu berdasarkan kurva yang sudah ditentukan. Hal-hal yang dikendalikan oleh mikrokontroller adalah proses pengolahan sinyal waktu penyalaan.

Berikut adalah Diagram Alir Program:

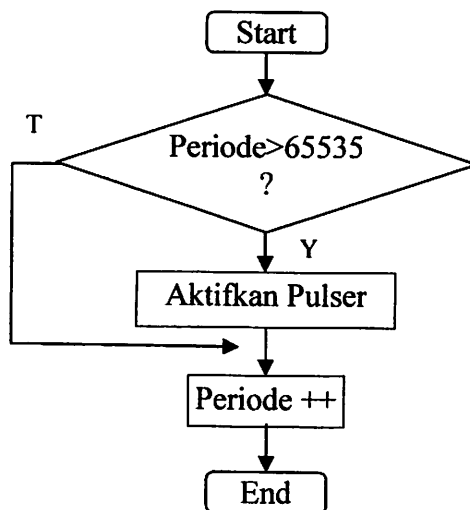


Gambar 3.9

Diagram Alir Program Utama

3.5.1 . Subprogram Timer X

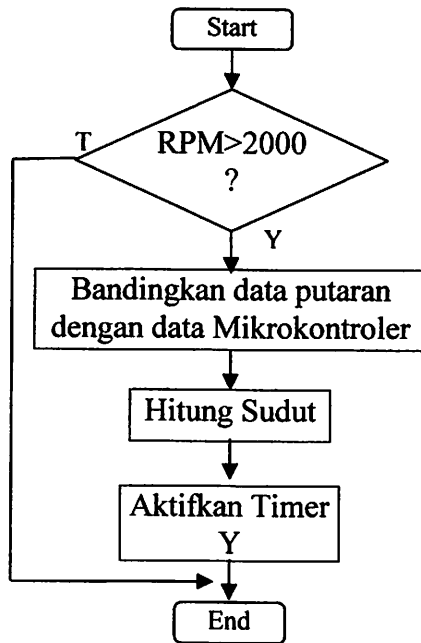
Timer X digunakan untuk mengukur periode pulsa keluaran dari pulser sehingga bisa diketahui putaran mesin (RPM) yang digunakan sebagai acuan sudut penyalan pengapian.



Gambar 3.10
Diagram Alir Interrupt Timer X

3.5.2. Subprogram INT0

Subprogram interrupt 0 berfungsi untuk menangkap tepi turun keluaran dari komparator yang merupakan penanda periode pulsa

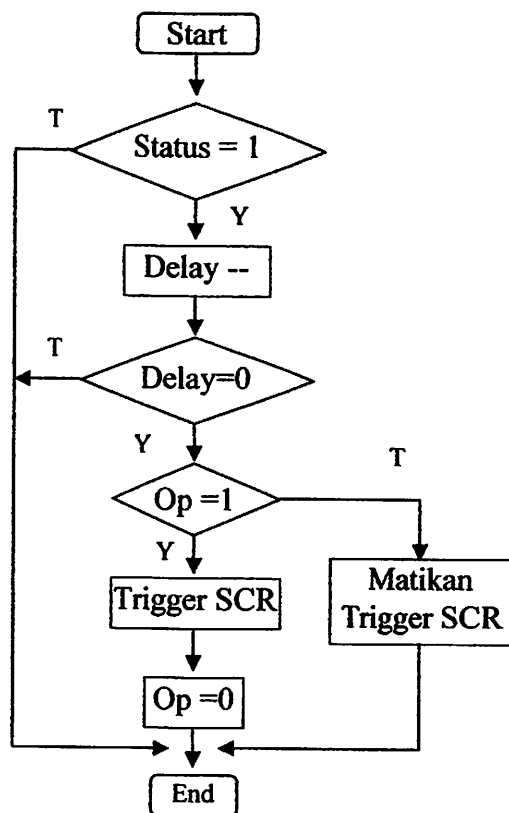


Gambar 3.11

Diagram Alir Interrupt 0

3.5.3. Subprogram Timer Y

Timer Y berfungsi untuk membangkitkan delay waktu pengapian berdasarkan perhitungan dan tabel di dalam mikrokontroller



Gambar 3.12

Diagram Alir Interrupt Timer Y

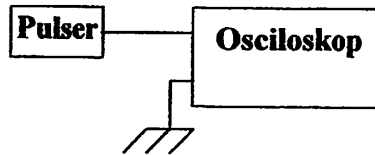
BAB IV

PEMBAHASAN

Pengujian bertujuan untuk menganalisis data yang diperoleh dari hasil pengukuran. Pengukuran dilakukan pada setiap rangkaian yang membangun sistem pengapian CDI. Dengan demikian dapat diketahui tingkat keberhasilan sistem yang telah direncanakan

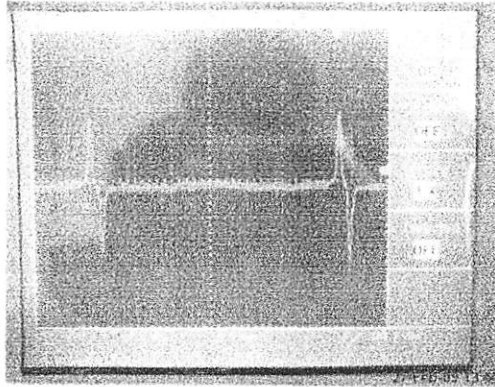
4.1. Pengujian Rangkaian Pulser

Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian sensor posisi piston dapat bekerja dengan baik dan juga untuk mengetahui level tegangan keluaran dari pulser.



Gambar 4.1
Pengujian Sensor Posisi Piston

Oscilloskop dipasang untuk pengujian pulser dengan cara mengengkol mesin atau menghidupkan mesin dalam keadaan langsam.

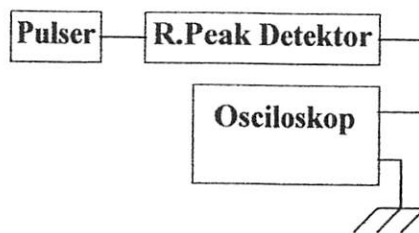


Gambar 4.2
Sinyal Keluaran Pulser

Berdasarkan pengukuran dengan menggunakan multimeter, didapatkan tegangan keluaran dari pulser pada putaran langsam adalah $\pm 5V$

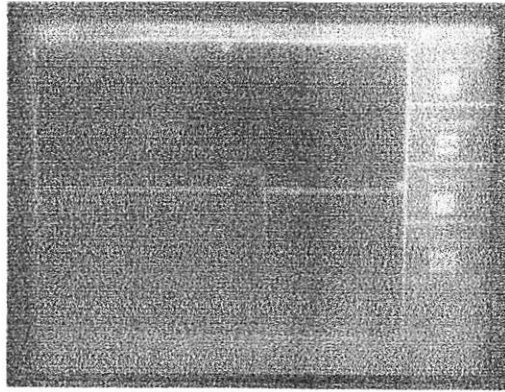
4.2 Pengujian Rangkaian Peak Detektor

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sinyal keluaran dari rangkaian peak detektor



Gambar 4.3
Pengujian R Peak Detektor

Rangkaian Peak detektor digunakan untuk mencatat puncak positif sinyal keluaran pulser yang nantinya akan digunakan sebagai acuan sudut pengapian.

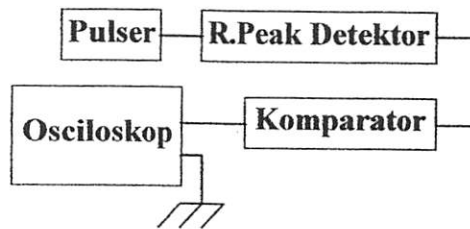


Gambar 4.4

Keluaran R. Peak Detektor

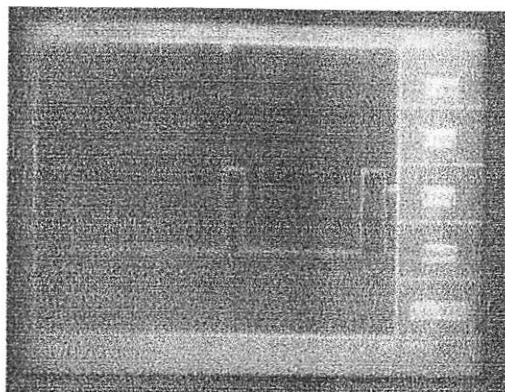
4.3 Pengujian Komparator

Komparator digunakan untuk membandingkan puncak positif pulser dengan tegangan keluaran pulser



Gambar 4.5

Pengujian Komparator

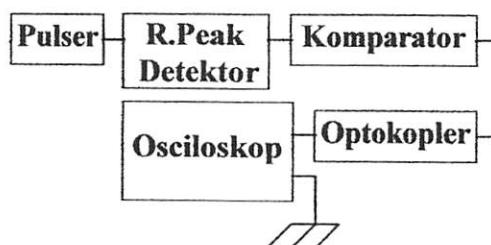


Gambar 4.6

Hasil Pengujian Komparator

8.4 Pengujian Optokopler

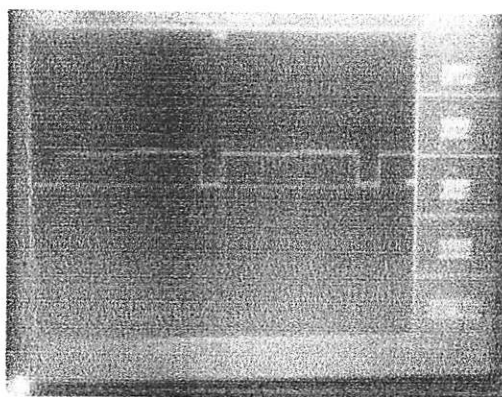
Optokopler digunakan untuk mengubah keluaran komparator (Bipolar) menjadi Unipolar



Gambar 4.7

Pengujian Rangkaian Optokopler

Keluaran dari optokopler ini digunakan sebagai input bagi mikrokontroller

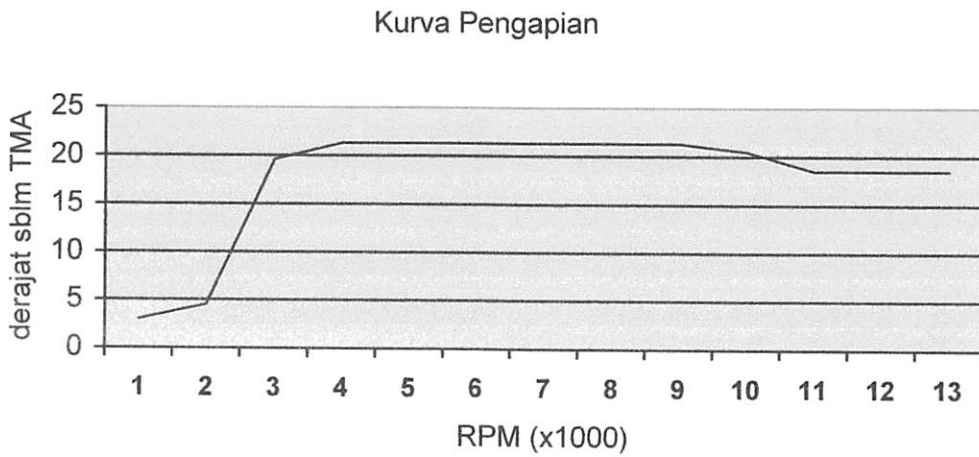


Gambar 4.8

Hasil keluaran Optokopler

8.5 Pengujian Output Sistem

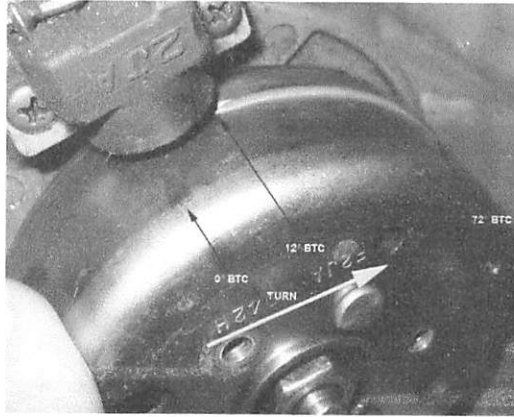
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui error dari sistem yang telah dibuat dalam menentukan derajat sudut pengapian pada RPM tertentu. Pemrograman sudut pengapian didasarkan pada perhitungan periode pulsa.



Gambar 4.9
Kurva Pengapian

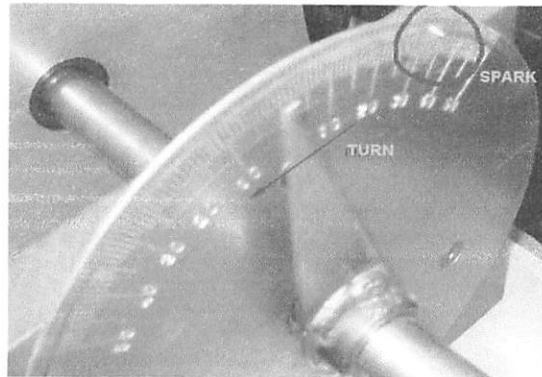
Tabel 4.1
Data Hasil Pengujian

Putaran (RPM)	Pengaturan Sudut Pengapian	Hasil Pengukuran Sudut Pengapian
1500<rpm≤ 1600	3	3
1600<rpm≤ 1700	3.5	3.5
1700<rpm≤ 1800	4	4
2600<rpm≤ 1900	4.5	4.5
2600<rpm≤ 2000	5	5
2600<rpm≤ 2100	5.5	5.5
2600<rpm≤ 2200	6.8	6.8
2600<rpm≤ 2300	8.1	8.1
2600<rpm≤ 2400	9.4	9.4
2600<rpm≤ 2500	10.7	10.7
2500<rpm≤ 2600	12	12
2600<rpm≤ 2700	13.9	13.9
2700<rpm≤ 2800	15.8	15.8
2800<rpm≤ 2900	17.7	17.7
2900<rpm≤ 3000	19.6	19.6
3000<rpm≤ 9500	21.5	21.5
9500<rpm≤ 9600	21.3	21.3
9600<rpm≤ 9700	21.1	21.1
9700<rpm≤ 9800	20.9	20.9
9800<rpm≤ 9900	20.7	20.7
9900<rpm≤ 10000	20.5	20.5
10000<rpm≤ 10100	20.3	20.3
10100<rpm≤ 10200	20.1	20.1
10200<rpm≤ 10300	19.9	19.9
10300<rpm≤ 10400	19.7	19.7
10400<rpm≤ 10500	19.5	19.5
10500<rpm≤ 13000	18.5	18.5
13000<rpm≤ 21000	17.5	17.5



Gambar 4.10

Pengukuran sensor posisi piston



Gambar 4.11

Pengujian Dengan Timing Light

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Perencanaan dan pembuatan sistem pengapian CDI terprogram pada motor bensin silinder tunggal dapat disimpulkan berdasarkan hasil uji dan analisis adalah

1. Sistem pengapian CDI dapat bekerja pada motor bensin silinder tunggal.
2. Sistem pengapian dapat bekerja pada setiap perubahan putaran mesin dengan tidak kehilangan penyalaan(missfiring).
3. Dengan menggunakan mikrokontroler sebagai pemroses waktu pengapian pada sistem pengapian CDI, maka kurva derajat waktu pengapian dapat diatur atau disesuaikan dengan karakter mesin yang akan digunakan.

5.2. Saran

Dalam perencanaan dan pembuatan sistem pengapian CDI terprogram masih memiliki banyak keterbatasan ,karena tidak semua parameter automotif dikendalikan oleh unit pengontrol untuk itu disarankan untuk pengembangan lebih lanjut dapat ditambahkan sensor suhu,throtle position sensor,dan sensor-sensor lain yang dijadikan parameter acuan penentu sudut pengapian yang paling tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yunan Ginting, Listrik Otomotif, Angkasa Bandung, 1981
- [2] Aris Munandar , Wiranto. Penggerak Mula Motor Bakar, ITB Edisi II, 1980
- [3] Jalius Jama, Motor Bensin, Ghalia Indonesia, 1978
- [4] Oto Plus, 4 Stroke & two stroke Mapping CDI, oto plus 40/IV april 2007
- [5] PPPG Teknologi Malang, Otomotif Dasar, PPPG Teknologi, 1980
- [6] [http:// www.alldatasheet .com](http://www.alldatasheet.com)
- [7] A Graham Bell, Four Stroke Performance Tunning (2nd edition) Hayness Publishin

LAMPIRAN



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama Mahasiswa : Hari Cahyono
NIM : 01.17.166
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika
Judul Skripsi : Perancangan dan Pembuatan CDI Terprogram Pada Motor
Bensin Silinder Tunggal Berbasis Mikrokontroler R8C/13 Tiny

Dipertahankan dihadapan Team Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) Pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 18 Maret 2009
Dengan Nilai : 80,5 (A)

Panitia Ujian Skripsi,

Ketua

Ir.H.Sidik Noertjahjono, MT
NIP.Y.1028700163

Sekretaris

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

Anggota Penguji,

Penguji I

M.Ashar, ST, MT
NIP.1030500408

Penguji II

Sobrohadi, ST
NIP.Y.1039700309



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian komprehensif jenjang Strata Satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Elektronika yang diselenggarakan pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 18 Maret 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : Hari Cahyono
N.I.M : 01.17.166
Masa Bimbingan : 26 Desember 2008 s/d 26 Mei 2009
Judul : Perancangan dan Pembuatan CDI Terprogram Pada Motor Bensin Silinder Tunggal Berbasis Mikrokontroler R8C/13 Tiny

Perbaikan tersebut meliputi :

No	Materi Perbaikan	Paraf Dosen
1.	Metode Trigger dengan Mikrokontroler	
2.	Error Hasil Pengujian secara rata-rata	
3.	Grafik Timing (Kurva Pengapian)	
4.	Kesimpulan	

Disetujui Oleh:

Penguji I

M.Ashar, ST,MT
NIP.1030500408

Penguji II











Soryohadi, ST
NIP.Y.1039700309

Mengetahui
Dosen Pembimbing

I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.P.1030100361

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Hari Cahyono
 NIM : 01.17.166
 Masa bimbingan : 26 Desember 2008 – 26 Mei 2009
 Judul Skripsi : Perancangan dan Pembuatan CDI Terprogram Pada Motor Bensin Silinder Tunggal Berbasis Mikrokontroler R8C/13

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	13-02-2009	Konsultasi Laporan bimbingan bab II	
2.	14-02-2009	Perbaikan sistem komunikasi pengapian CDI	
3.	16-02-2009	ACC bab II	
4.	19-02-2009	Konsultasi bab III	
5.	21-02-2009	Revisi bimbingan blok diagram	
6.	25-02-2009	ACC perancangan alat	
7.	27-02-2009	Revisi Laporan bab IV	
8.	29-02-2009	ACC bab III & bab IV	
9.	10-03-2009	Revisi sistem kerja	
10.	16-03-2009	ACC semua bab	

Malang, 2009
 Dosen Pembimbing I













I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.P.103 0100361

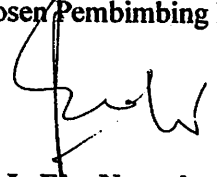
Form S-4b

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

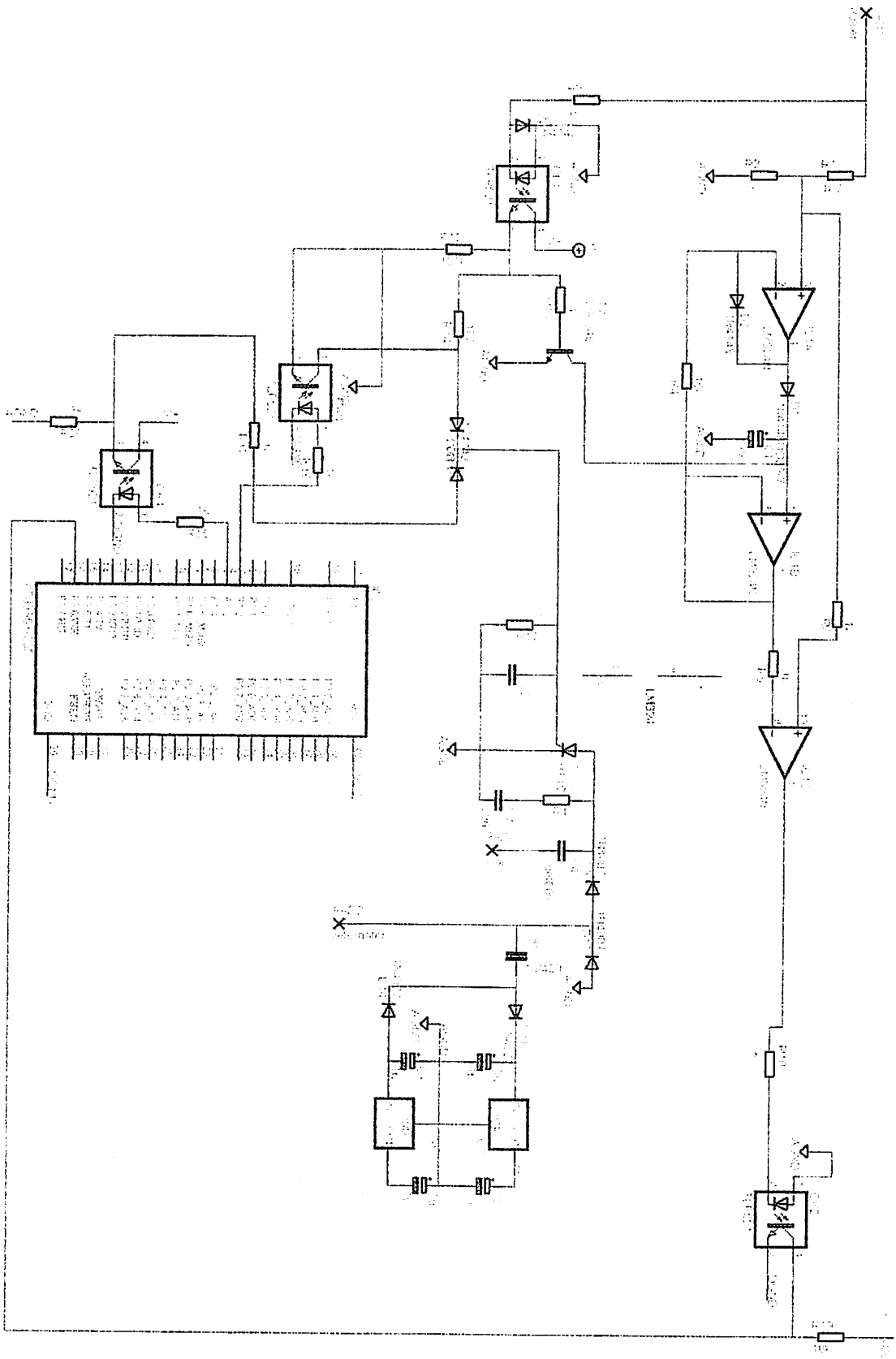
Nama : Hari Cahyono
 NIM : 01.17.166
 Masa bimbingan : 26 Desember 2008 – 26 Mei 2009
 Judul Skripsi : **Perancangan dan Pembuatan CDI Terprogram Pada Motor Bensin Silinder Tunggal Berbasis Mikrokontroler R8C/13**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	10-02-2009	konsultasi Laporan bimbingan bab II	
2.	14-02-2009	Perbaikkan sistem	
3.	16-02-2009	ACC bab II	
4.	19-02-2009	konsultasi bab III	
5.	21-02-2009	Revisi bimbingan, blok	
6.	25-02-2009	ACC perancangan alat	
7.	27-02-2009	Revisi Laporan bab II	
8.	29-02-2009	ACC bab III & bab IV	
9.	10-03-2009	Revisi sistem kerja	
10.	16-03-2009	ACC semua bab dan maju skripsi	

Malang, 14-03-2009
 Dosen Pembimbing II


Ir. Eko Nurcahyo
NIP. V.1028700172

Form S-4b



```

/*****
/*
/* FILE      :Ukur_Periode_TMRY.c
/* DATE      :Tue, Jan 06, 2009
/* DESCRIPTION :main program file.
/* CPU GROUP  :13
/*
/* This file is generated by Renesas Project Generator (Ver.4.8).
/*
*****/
#include "../pustaka/sfr_r813.h"
#include "../pustaka/seting_timer_x.h"
#include "../pustaka/seting_timer_y.h"
#include "../pustaka/seting_clock.h"
#include "../pustaka/seting_port.h"
#include "../pustaka/seting_interupsi.h"
#include "../pustaka/seting_interupsi_eksternal.h"

#define pulser p4_5
#define _ldet 6000000
#define trigger p1_0
#define trigger2 p1_3
#define stop_pulser p1_1
#define stop_pulser2 p1_4
#define select_curve p0_2

unsigned char jd0,jd1,jd2,tp0,tp1,tp2;
unsigned int dt0,dly0,dly1;
unsigned int tb0[] = {205,200,195,190,285,
                    172,159,146,133,120,101, 82, 63, 44, 25,
                    25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43,
                    45, 55, 65};

unsigned int pp0[] = {4000, 3750, 3529, 3333, 3158,
                    3000, 2857, 2727, 2609, 2500, 2400,
                    2308, 2222, 2143, 2069,
                    2000, 632, 625, 619, 612, 606, 600,
                    594, 589, 583,
                    577, 571, 462};

unsigned long periode[5],delay, dly_trigger,i;
float tampung;
struct { char status : 1;
        char op : 1;
        } flag;

```

```

RUTIN_INTERUPSI_INT0(hasil);
void hasil(void)
{ signed char i;
  double dly;

  periode[1] = periode[0];
  periode[0]=0;

  if(periode[1]>3000)
  {
    delay = tb0[0];
    flag.status = 0;
  } else
  {
    for(i=41;i>=0;i--)
    {

      if(periode[1]>pp0[i]) continue;
      delay = tb0[i+1];

      break;
    }

    dly = delay * periode[1];
    dly = dly / 3600;
    delay = (int)dly;
    flag.status = 1;
    flag.op = 1;
    stop_pulser = 1;
    stop_pulser2 = 1;
    TIMER_Y_PENCACAHAN_AKTIF;
  }
}

RUTIN_INTERUPSI_TMRX(update_data);
void update_data(void)
{

  if(periode[0] == 65535)
  {
    flag.status = 0;
    stop_pulser = 0;
    stop_pulser2 = 0;
  }
}

```

```

}
periode[0]++;
}

```

RUTIN INTERUPSI TMRY(delay_trigger);z

```

void delay_trigger(void)
{ unsigned int i;
  if( flag.status == 1)
  {
    delay--;
    if(delay ==0)
    {
      if(flag.op==1)
      {
        trigger=1;
        trigger2=1;
        delay=50;
        flag.op=0;
      } else
      {
        trigger=0;
        trigger2=0;
        TIMER_Y_PENCACAHAN_MATI;
      }
    }
  }
}
}
}

```

void main(void)

```

{
  for (i=0;i<100000;i++);
  for (i=0;i<100000;i++);
  for (i=0;i<100000;i++);
  for (i=0;i<100000;i++);
  for (i=0;i<100000;i++);

  pd1 = 0xFF;

  pd0 = 0xFF;
  stop_pulser = 0;
  stop_pulser2 = 0;
  trigger = 0;
  trigger2 = 0;

  pu00 = 1;

```

```
CLOCK_SKALA_1;
CLOCK_EKSTERNAL;
TIMER_X_PENGUKUR_SELANG_WAKTU;
TIMER_X_CLOCK_F1;
prex = 19;
tx = 9;
TIMER_Y_PENGUKUR_SELANG_WAKTU;
TIMER_Y_CLOCK_F1;
prey = 4;
typr = 1;
LEVEL_INTERUPSI_INT0(5);
LEVEL_INTERUPSI_TMRX(4);
LEVEL_INTERUPSI_TMRY(3);
INT0_TANPA_FILTER;
INT0_AKTIF;
INT0_PIN_INPUT_AKTIF;
INT0_TEPi_TURUN;
AKTIFKAN_SELURUH_INTERUPSI;
TIMER_X_PENCACAHAN_AKTIF;
stop_pulser = 0;
stop_pulser2 = 0;
trigger = 0;
trigger2 = 0;

while(1);
}
```

TOSHIBA Photocoupler GaAs Ired & Photo-Transistor

TLP521-1, TLP521-2, TLP521-4

Programmable Controllers

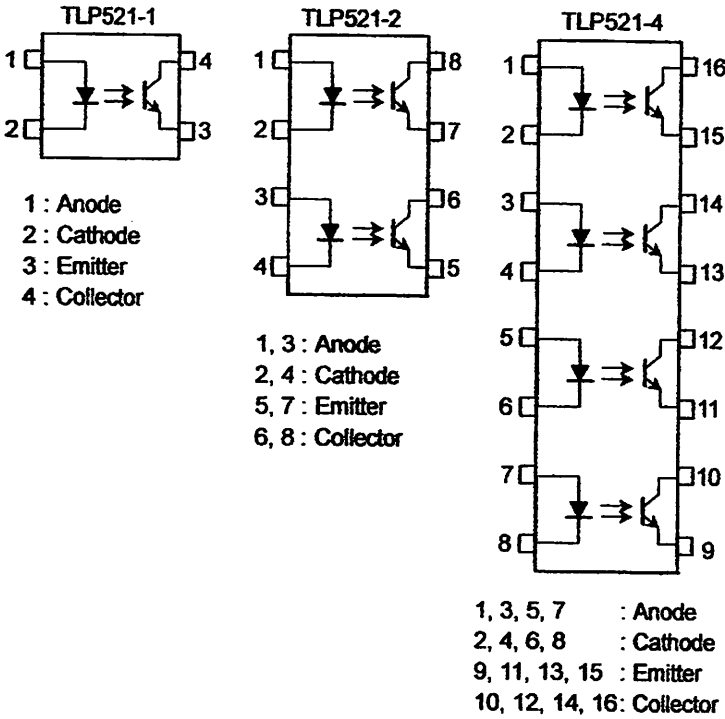
AC/DC-Input Module

Solid State Relay

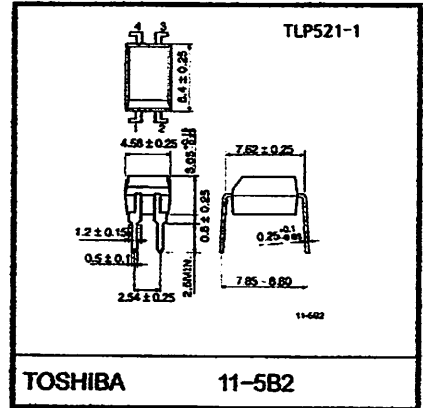
The TOSHIBA TLP521-1, -2 and -4 consist of a photo-transistor optically coupled to a gallium arsenide infrared emitting diode. The TLP521-2 offers two isolated channels in an eight lead plastic DIP package, while the TLP521-4 provides four isolated channels in a sixteen plastic DIP package.

- Collector-emitter voltage: 55 V (min)
- Current transfer ratio: 50% (min)
Rank GB: 100% (min)
- Isolation voltage: 2500 Vrms (min)
- UL recognized
made in Japan: UL1577, file No. E67349
made in Thailand: UL1577, file No. E152349

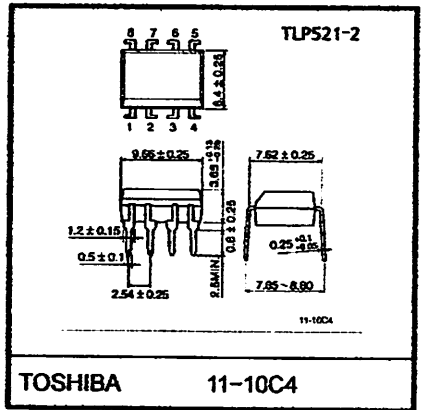
Pin Configurations (top view)



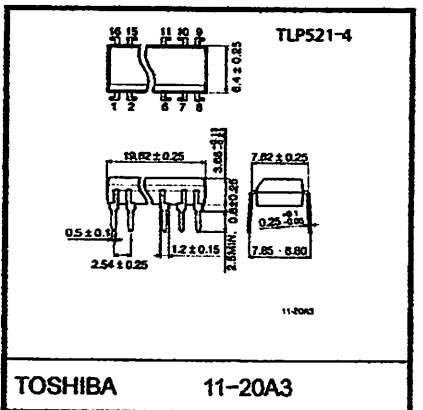
Unit in mm



Weight: 0.26 g



Weight: 0.54 g



Weight: 1.1 g

Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating		Unit
			TLP521-1	TLP521-2 TLP521-4	
LED	Forward current	I_F	70	50	mA
	Forward current derating	$\Delta I_F / ^\circ C$	-0.93 (Ta \geq 50°C)	-0.5 (Ta \geq 25°C)	mA/°C
	Pulse forward current	I_{FP}	1 (100 μ pulse, 100pps)		A
	Reverse voltage	V_R	5		V
	Junction temperature	T_j	125		°C
Detector	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	55		V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	7		V
	Collector current	I_C	50		mA
	Collector power dissipation (1 circuit)	P_C	150	100	mW
	Collector power dissipation derating (1 circuit Ta \geq 25°C)	$\Delta P_C / ^\circ C$	-1.5	-1.0	mW/°C
	Junction temperature	T_j	125		°C
Storage temperature range		T_{stg}	-55~125		°C
Operating temperature range		T_{opr}	-55~100		°C
Lead soldering temperature		T_{sol}	260 (10 s)		°C
Total package power dissipation		P_T	250	150	mW
Total package power dissipation derating (Ta \geq 25°C)		$\Delta P_T / ^\circ C$	-2.5	-1.5	mW/°C
Isolation voltage		BV_S	2500 (AC, 1min., R.H. \leq 60%) (Note 1)		Vrms

(Note 1): Device considered a two terminal device: LED side pins shorted together and detector side pins shorted together.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Supply voltage	V_{CC}	—	5	24	V
Forward current	I_F	—	16	25	mA
Collector current	I_C	—	1	10	mA
Operating temperature	T_{opr}	-25	—	85	°C

Type	Classi- fication (*1)	Current Transfer Ratio (%) (I_C / I_F)		Marking Of Classification
		$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V, T_a = 25^\circ C$		
		Min	Max	
TLP521	A	50	600	Blank, Y, Y [*] , G, G [*] , B, B [*] , GB
	Rank Y	50	150	Y, Y [*]
	Rank GR	100	300	G, G [*]
	Rank BL	200	600	B, B [*]
	Rank GB	100	600	G, G [*] , B, B [*] , GB
TLP521-2	A	50	600	Blank, GR, BL, GB
TLP521-4	Rank GB	100	600	GR, BL, GB

*1: Ex. rank GB: TLP521-1 (GB)

(Note): Application type name for certification test, please use standard product type name, i.e.
TLP521-1 (GB): TLP521-1, TLP521-2 (GB): TLP521-2

Individual Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
LED	Forward voltage	V_F	$I_F = 10 \text{ mA}$	1.0	1.15	1.3	V
	Reverse current	I_R	$V_R = 5 \text{ V}$	—	—	10	μA
	Capacitance	C_T	$V = 0, f = 1 \text{ MHz}$	—	30	—	pF
Detector	Collector-emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 0.5 \text{ mA}$	55	—	—	V
	Emitter-collector breakdown voltage	$V_{(BR)ECO}$	$I_E = 0.1 \text{ mA}$	7	—	—	V
	Collector dark current	I_{CEO}	$V_{CE} = 24 \text{ V}$	—	10	100	nA
			$V_{CE} = 24 \text{ V}, T_a = 85^\circ\text{C}$	—	2	50	μA
Capacitance (collector to emitter)	C_{CE}	$V = 0, f = 1 \text{ MHz}$	—	10	—	pF	

Coupled Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Current transfer ratio	I_C / I_F	$I_F = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$ Rank GB	50	—	600	%
			100	—	600	
Saturated CTR	$I_C / I_F (\text{sat})$	$I_F = 1 \text{ mA}, V_{CE} = 0.4 \text{ V}$ Rank GB	—	60	—	%
			30	—	—	
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE (\text{sat})}$	$I_C = 2.4 \text{ mA}, I_F = 8 \text{ mA}$	—	—	0.4	V
		$I_C = 0.2 \text{ mA}, I_F = 1 \text{ mA}$ Rank GB	—	0.2	—	
			—	—	0.4	

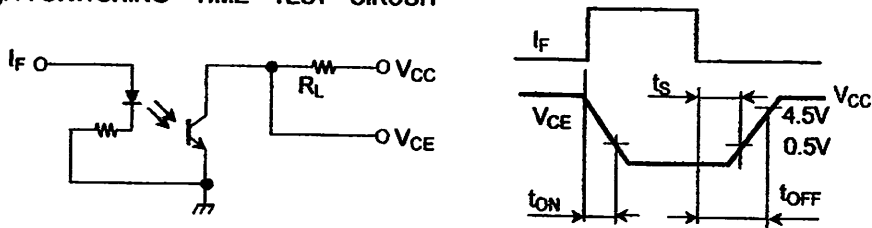
Isolation Characteristics (Ta = 25°C)

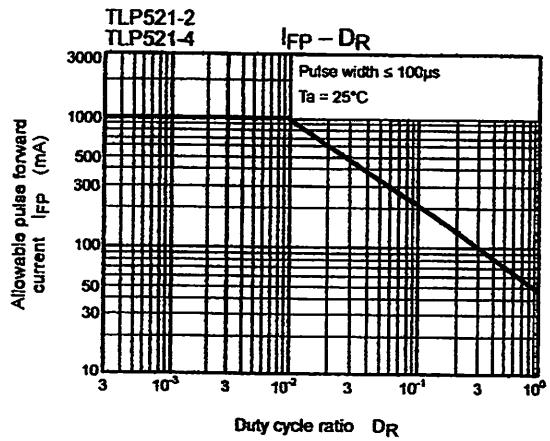
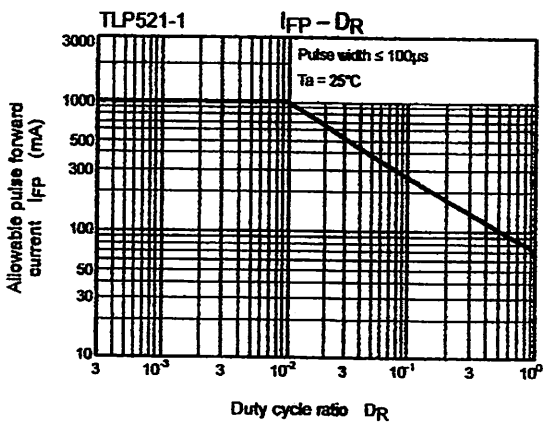
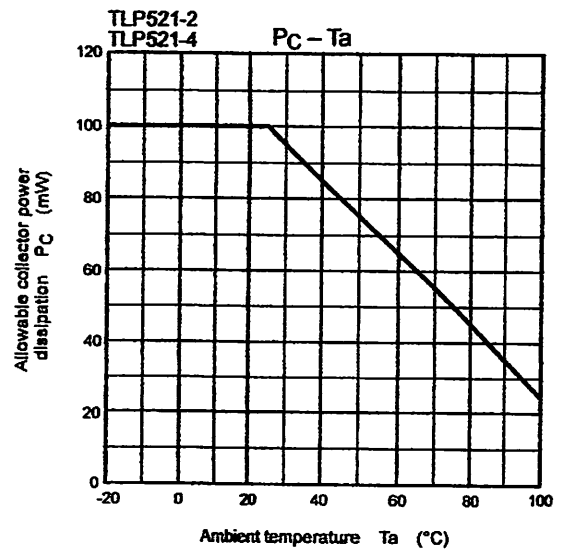
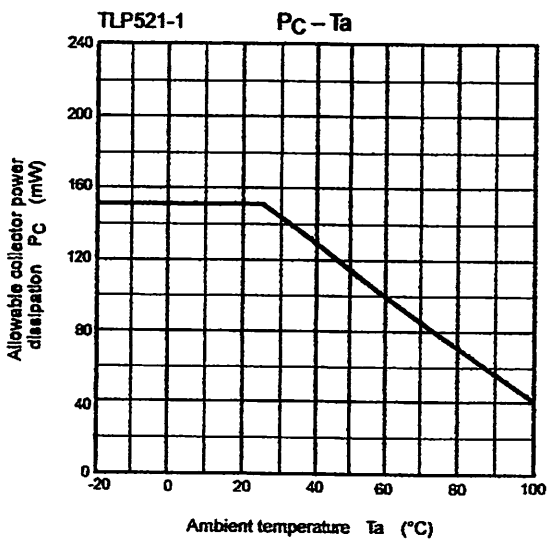
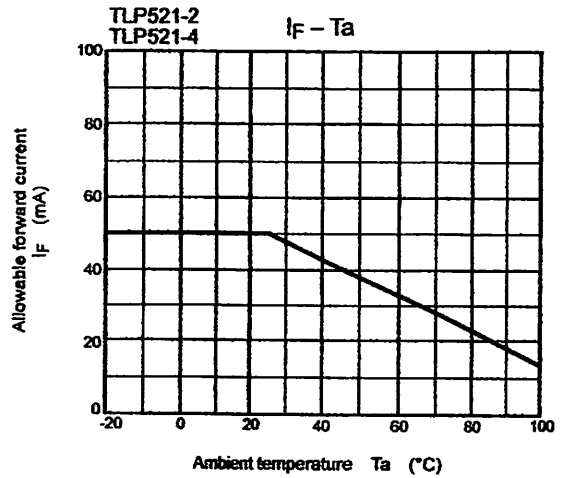
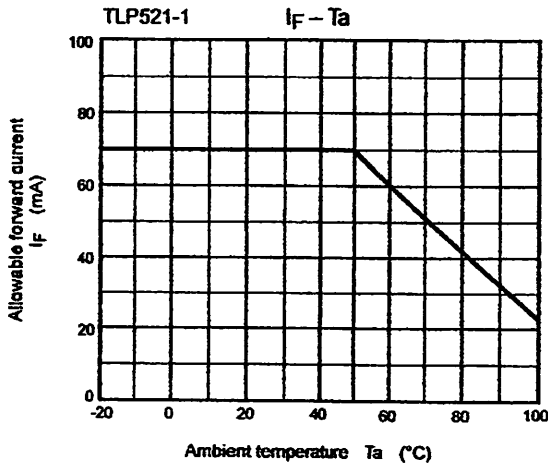
Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Capacitance (input to output)	C_S	$V_S = 0, f = 1 \text{ MHz}$	—	0.8	—	pF
Isolation resistance	R_S	$V_S = 500 \text{ V}, \text{R.H.} \leq 60\%$	—	10^{11}	—	Ω
Isolation voltage	BV_S	AC, 1 minute	2500	—	—	Vrms
		AC, 1 second, in oil	—	5000	—	
		DC, 1 minute, in oil	—	5000	—	Vdc

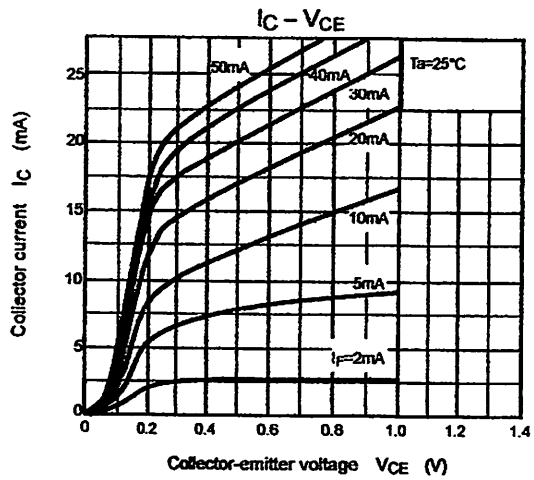
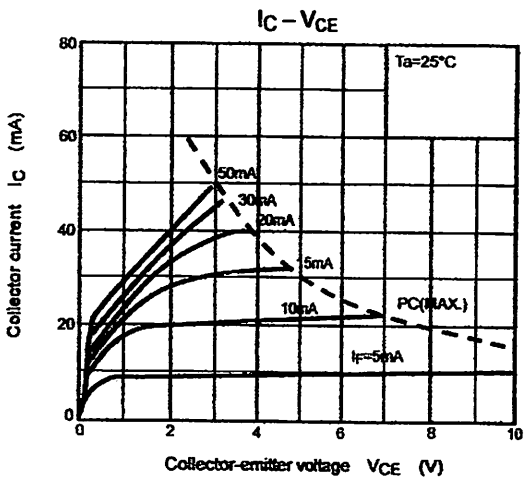
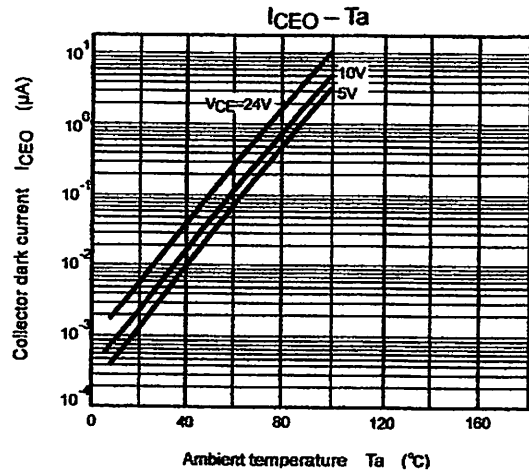
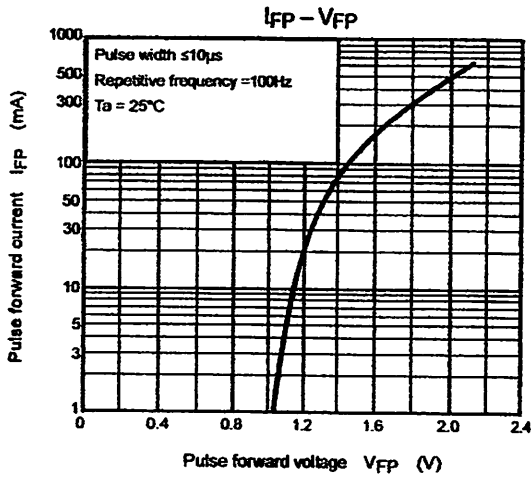
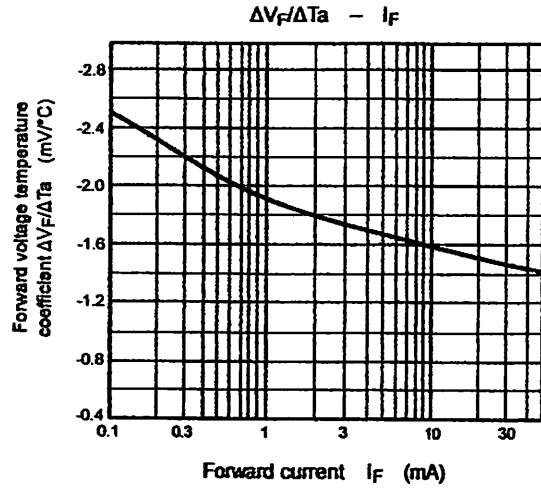
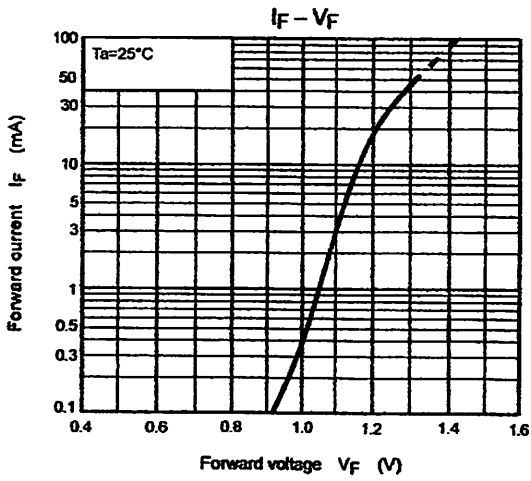
Switching Characteristics (Ta = 25°C)

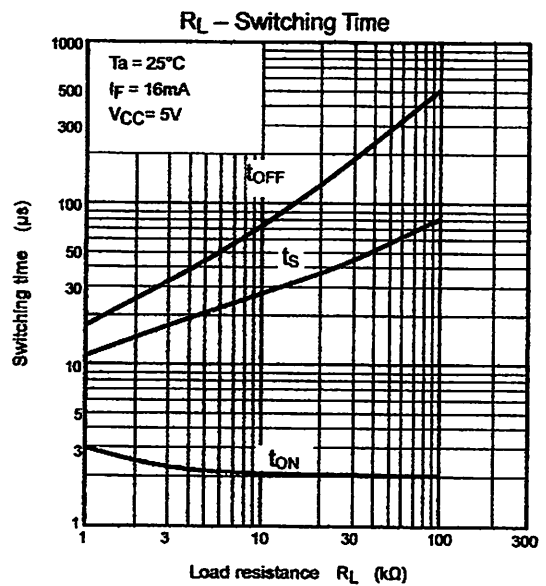
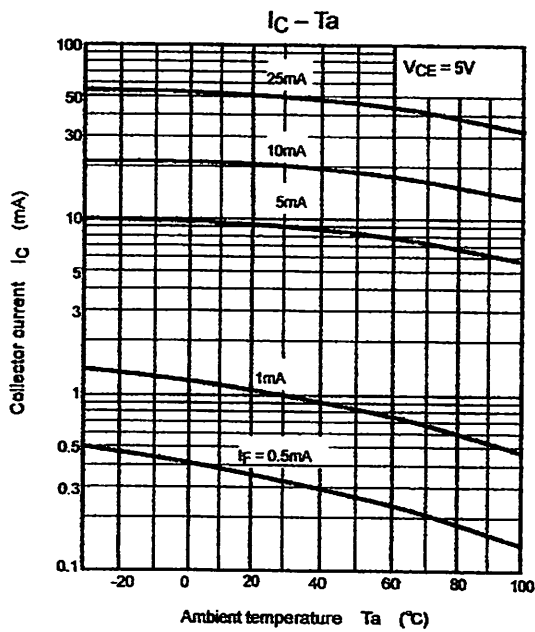
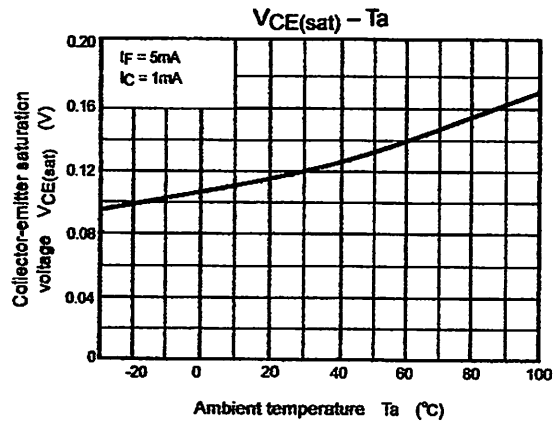
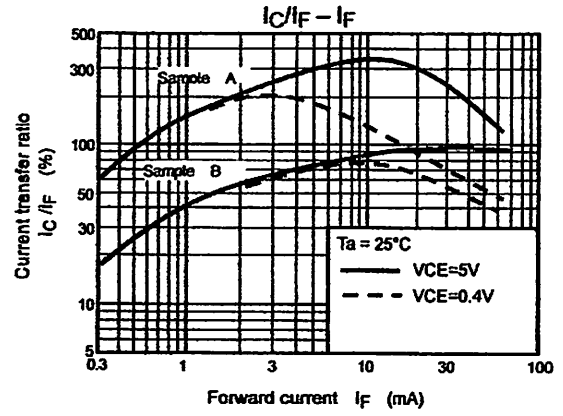
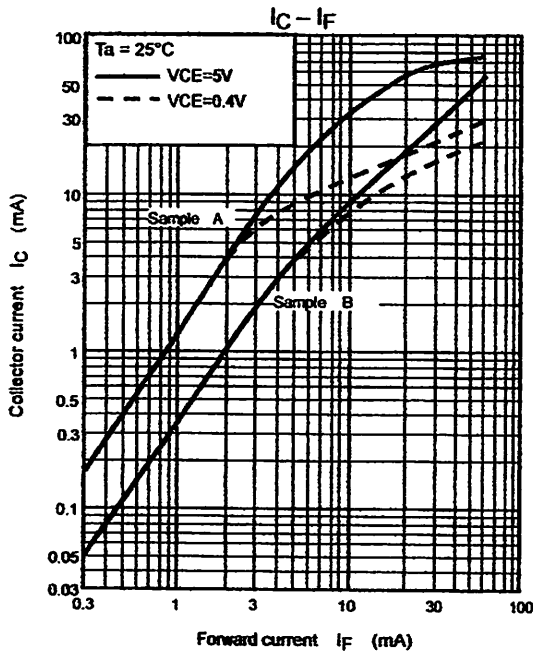
Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Rise time	t_r	$V_{CC} = 10\text{ V}$ $I_C = 2\text{ mA}$ $R_L = 100\Omega$	—	2	—	μs
Fall time	t_f		—	3	—	
Turn-on time	t_{on}		—	3	—	
Turn-off time	t_{off}		—	3	—	
Turn-on time	t_{ON}	$R_L = 1.9\text{ k}\Omega$ (Fig.1) $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_F = 16\text{ mA}$	—	2	—	μs
Storage time	t_s		—	15	—	
Turn-off time	t_{OFF}		—	25	—	

Fig.1: SWITCHING TIME TEST CIRCUIT









RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

000707EBC

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

KSC945

KSC945

Audio Frequency Amplifier & High Frequency OSC.

- Complement to KSA733
- Collector-Base Voltage : $V_{CB0}=60V$
- High Current Gain Bandwidth Product : $f_T=300MHz$ (TYP)
- Suffix "-C" means Center Collector (1. Emitter 2. Collector 3. Base)



TO-92
1. Emitter 2. Base 3. Collector

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	60	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	50	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current	150	mA
P_C	Collector Power Dissipation	250	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ C$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
BV_{CB0}	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C=100\mu A, I_E=0$	60			V
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=10mA, I_B=0$	50			V
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E=10\mu A, I_C=0$	5			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=40V, I_E=0$			0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB}=3V, I_C=0$			0.1	μA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=6V, I_C=1.0mA$	40		700	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=100mA, I_B=10mA$		0.15	0.3	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=6V, I_C=10mA$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=6V, I_E=0, f=1MHz$		2.5		pF
NF	Noise Figure	$V_{CE}=6V, I_C=0.5mA, f=1KHz, R_S=500\Omega$		4.0		dB

h_{FE} Classification

Classification	R	O	Y	G	L
h_{FE}	40 ~ 80	70 ~ 140	120 ~ 240	200 ~ 400	350 ~ 700

Typical Characteristics

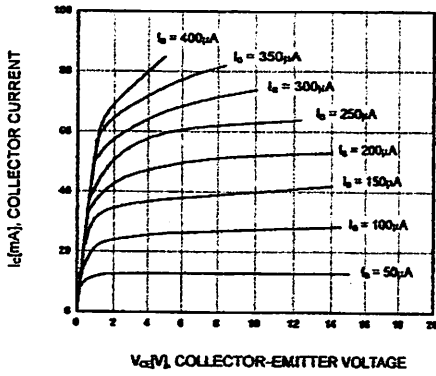


Figure 1. Static Characteristic

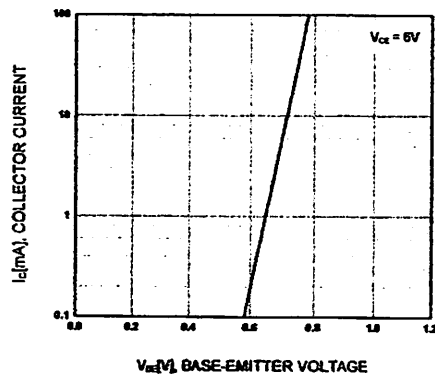


Figure 2. Transfer Characteristic

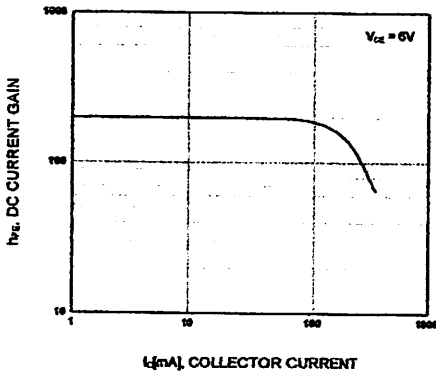


Figure 3. DC current Gain

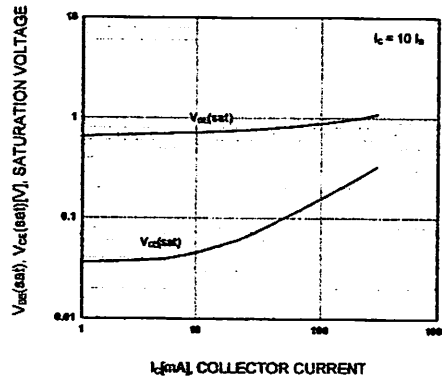


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

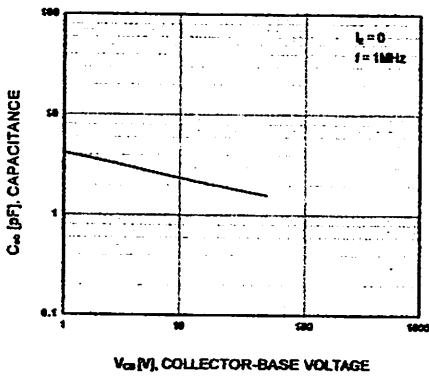


Figure 5. Output Capacitance

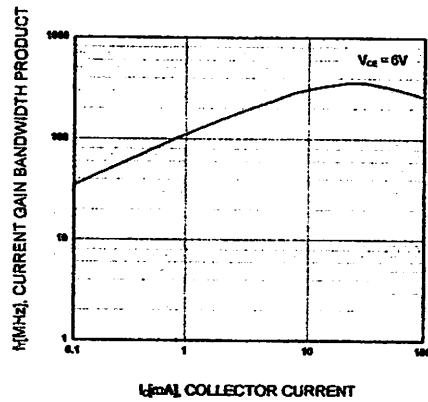
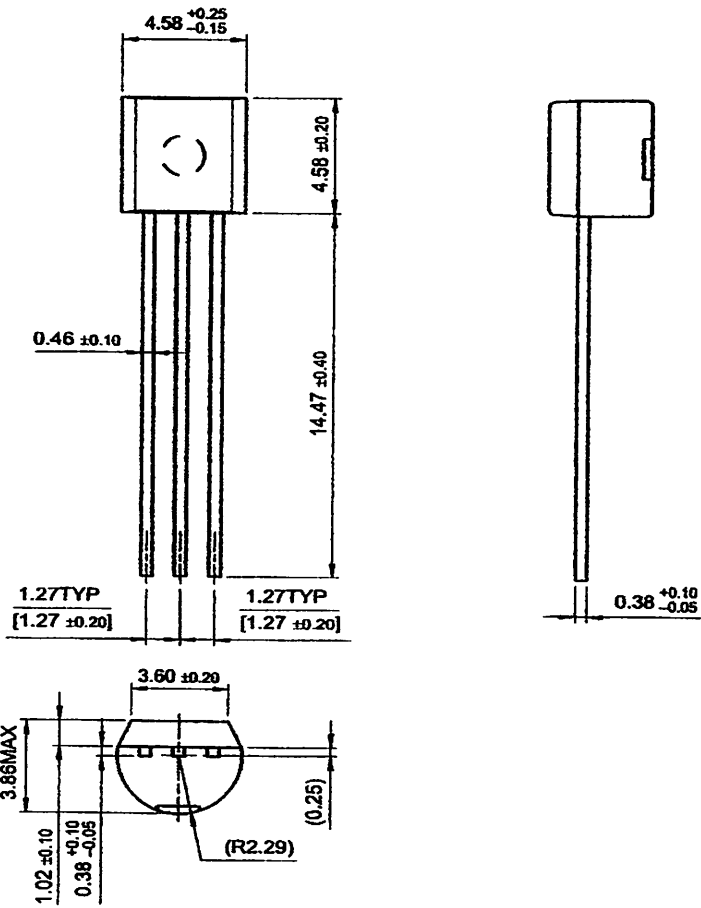


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

Package Dimensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE _x ™	FACT™	ImpliedDisconnect™	PACMAN™	SPM™
ActiveArray™	FACT Quiet series™	ISOPANAR™	POP™	Stealth™
Bottomless™	FAST®	LittleFET™	Power247™	SuperSOT™-3
CoolFET™	FAST _r ™	MicroFET™	PowerTrench®	SuperSOT™-6
CROSSVOLT™	FRFET™	MicroPak™	QFET™	SuperSOT™-8
DOVE™	GlobalOptoisolator™	MICROWIRE™	QS™	SyncFET™
EcoSPARK™	GTO™	MSX™	QT Optoelectronics™	TinyLogic™
E ² CMOS™	HiSeC™	MSXPro™	Quiet Series™	TruTranslation™
EnSigna™	I ² C™	OCX™	RapidConfigure™	UHC™
Across the board. Around the world.™		OCXPro™	RapidConnect™	UltraFET®
The Power Franchise™		OPTOLOGIC®	SILENT SWITCHER®	VCX™
Programmable Active Droop™		OPTOPLANAR™	SMART START™	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

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

As used herein:

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

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

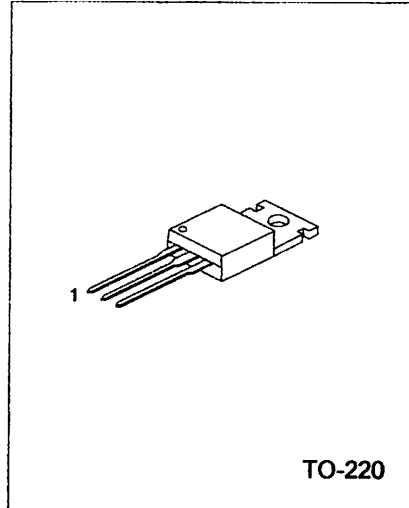
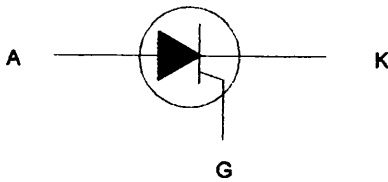
Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary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

SCRs

DESCRIPTION

Passivated thyristors in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

SYMBOL



1: CATHODE 2: ANODE 3: GATE

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS.

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Repetitive peak off-state voltages BT151-500 BT151-650 BT151-800	V_{DRM}, V_{RRM}	500* 650* 800	V
Average on-state current (half sine wave; $T_{mb} \leq 109^\circ\text{C}$)	$I_{T(AV)}$	7.5	A
RMS on-state current (all conduction angles)	$I_{T(RMS)}$	12	A
Non-repetitive peak on-state current (half sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge) $t = 10\text{ ms}$ $t = 8.3\text{ ms}$	I_{TSM}	100 110	A
I^2t for fusing ($t = 10\text{ ms}$)	I^2t	50	A^2s
Repetitive rate of rise of on-state current after triggering ($I_{TM} = 20\text{ A}$; $I_G = 50\text{ mA}$; $dI_G/dt = 50\text{ mA/ms}$)	dI_T/dt	50	$\text{A}/\mu\text{s}$
Peak gate current	I_{GM}	2	A
Peak gate voltage	V_{GM}	5	V
Peak reverse gate voltage	V_{RGM}	5	V
Peak gate power (over any 20 ms period)	P_{GM}	5	W
Average gate power	$P_{G(AV)}$	0.5	W
Storage temperature	T_{stg}	-40~150	$^\circ\text{C}$
Operating junction temperature	T_j	125	$^\circ\text{C}$

*Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the thyristor may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed $15\text{A}/\mu\text{s}$.

THERMAL RESISTANCES

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNIT
Thermal resistance Junction to mounting base	$R_{th\ j-mb}$			1.3	K/W
Thermal resistance Junction to ambient In free air	$R_{th\ j-a}$		60		K/W

STATIC CHARACTERISTICS ($T_j=25^\circ\text{C}$, unless otherwise stated)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Gate trigger current	I_{GT}	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$		2	15	mA
Latching current	I_L	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$		10	40	mA
Holding current	I_H	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$		7	20	mA
On-state voltage	V_T	$I_T = 23\text{ A}$		1.4	1.75	V
Gate trigger voltage	V_{GT}	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$ $V_D = V_{DRM(max)}; I_T = 0.1\text{ A}; T_j = 125^\circ\text{C}$	0.25	0.6 0.4	1.5	V
Off-state leakage current	I_D, I_R	$V_D = V_{DRM(max)}; V_R = V_{RRM(max)};$ $T_j = 125^\circ\text{C}$		0.1	0.5	mA

DYNAMIC CHARACTERISTICS ($T_j=25^\circ\text{C}$, unless otherwise stated)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Critical rate of rise of off-state voltage	dV_D/dt	$V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}; T_j = 125^\circ\text{C};$ exponential waveform; Gate open circuit $R_{GK} = 100\ \Omega$	50 200	130 1000		V/ μs
Gate controlled turn-on time	t_{gt}	$I_{TM} = 40\text{ A}; V_D = V_{DRM(max)}; I_G = 0.1\text{ A};$ $dI_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s}$		2		μs
Circuit commutated Turn-off time	t_q	$V_D = 67\% V_{DRM(max)}; T_j = 125^\circ\text{C};$ $I_{TM} = 20\text{ A}; V_R = 25\text{ V}; dI_{TM}/dt = 30\text{ A}/\mu\text{s};$ $dV_D/dt = 50\text{ V}/\mu\text{s}; R_{GK} = 100\ \Omega$		70		μs

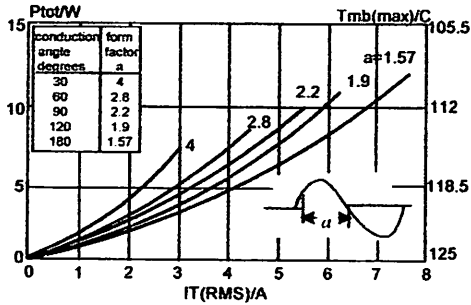


Fig.1. Maximum on-state dissipation, P_{tot} versus average on-state current $I_{T(AV)}$ where $a = \text{form factor} = I_{T(RMS)} / I_{T(AV)}$.

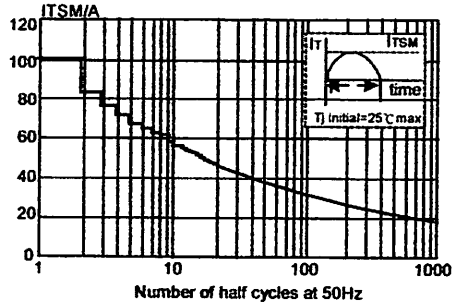


Fig4. Maximum Permissible non-repetitive peak on-state current I_{TSM} versus number of cycles, for sinusoidal currents, $f=50\text{Hz}$.

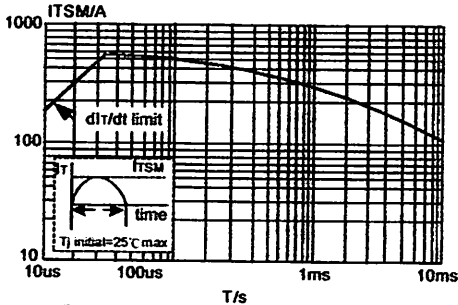


Fig.2. Maximum Permissible non-repetitive peak on-state Current I_{TSM} versus pulse width t_p for sinusoidal currents, $t_p < 10\text{ms}$

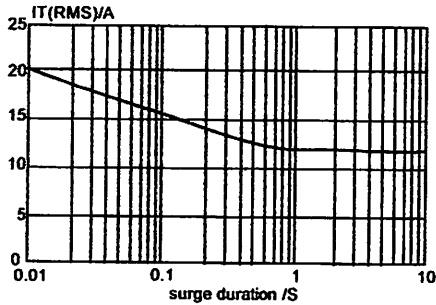


Fig. 5. Maximum permissible repetitive rms on-state current $I_{T(RMS)}$ versus surge duration, for sinusoidal currents, $f=50\text{Hz}; T_{mb} \leq 109^\circ\text{C}$

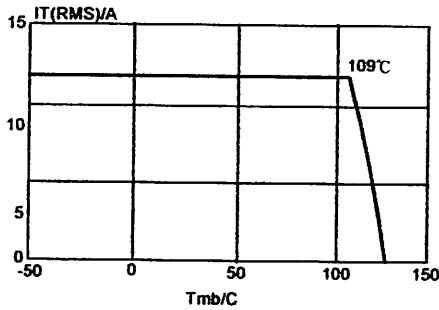


Fig.3. Maximum permissible rms current $I_{T(RMS)}$ versus mounting base temperature T_{mb}

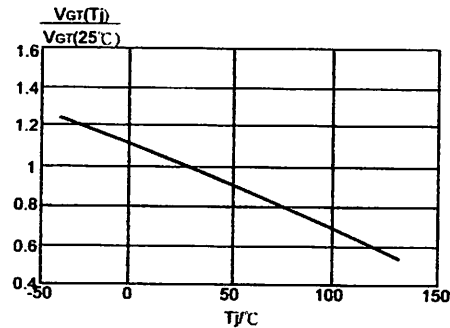


Fig.6. Normalised gate trigger voltage $V_{GT}(T_j) / V_{GT}(25^\circ\text{C})$ versus junction temperature T_j .

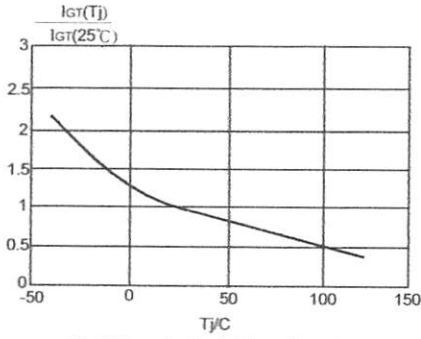


Fig. 7. Normalised gate trigger Current $I_{GT}(T_j)/I_{GT}(25^\circ\text{C})$, versus junction temperature T_j



Fig. 8. Normalised latching Current $I_L(T_j)/I_L(25^\circ\text{C})$, versus junction temperature T_j

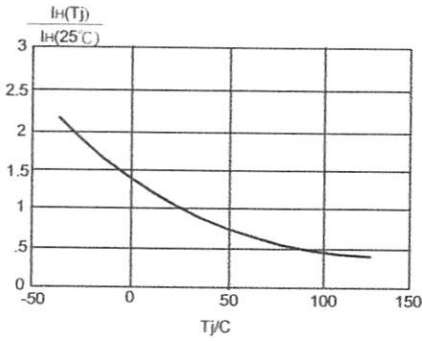


Fig. 9. Normalised holding current $I_H(T_j)/I_H(25^\circ\text{C})$, versus junction temperature T_j

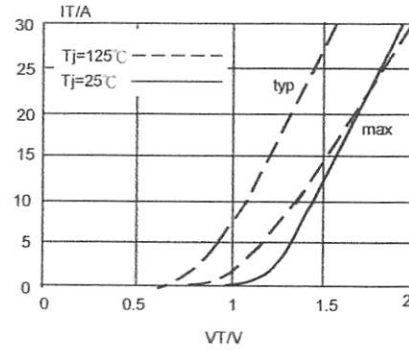


Fig. 10. Typical and maximum on-state characteristic.

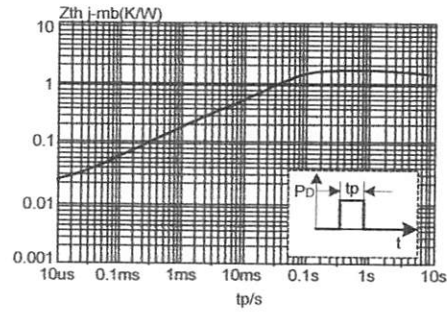


Fig. 11. Transient thermal impedance Z_{thj-mb} , versus pulse width t_p .

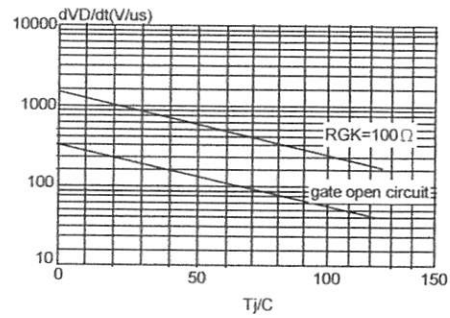


Fig. 12. Typical, critical rate of rise of off-state voltage, dV_{D}/dt versus junction temperature T_j .

UTC assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges, or other parameters) listed in products specifications of any and all UTC products described or contained herein. UTC products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner. The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice.

LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

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

Advantages

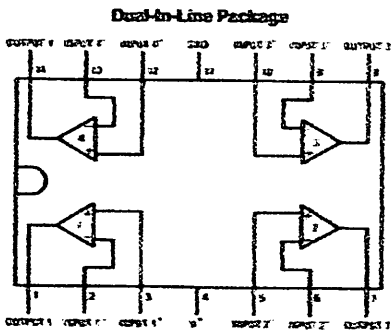
- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows direct sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz
(temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3V to 32V
or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA
(temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV
and offset current 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing $0V$ to $V^+ - 1.5V$

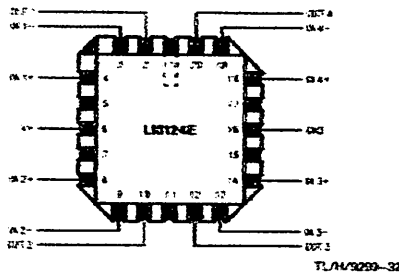
LM124/LM224/LM324/LM2902
Low Power Quad Operational Amplifiers

Connection Diagram

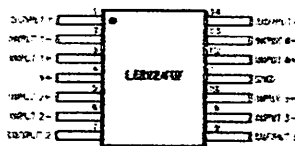


Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124LJ/883**,
LM124AJ/883*, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324AJ,
LM324AM, LM2902J, LM324N, LM324AN or LM2902N
See NS Package Number J14A, M14A or N14A



Order Number LM124AE/883 or LM124E/883
See NS Package Number E20A



Order Number LM124AW/883 or LM124W/883
See NS Package Number W14B

*LM124A available per J439510/11006

**LM124 available per J439510/11005

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 9)

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V^+	32V	28V	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Differential Input Voltage	32V	26V	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V	Soldering Information	
Input Current			Dual-In-Line Package	
($V_{IN} < -0.3V$) (Note 3)	50 mA	50 mA	Soldering (10 seconds)	260°C
Power Dissipation (Note 1)			Small Outline Package	
Molded DIP	1130 mW	1130 mW	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Cavity DIP	1260 mW	1260 mW	Infrared (15 seconds)	220°C
Small Outline Package	800 mW	800 mW	See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)			ESD Tolerance (Note 10)	250V
$V^+ = 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous		250V
Operating Temperature Range				
LM324/LM324A	0°C to +70°C	-40°C to +85°C		
LM224/LM224A	-25°C to +85°C			
LM124/LM124A	-65°C to +125°C			

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

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5) $T_A = 25^\circ C$	1	2	1	3	2	3	2	6	2	7	2	7	mV
Input Bias Current (Note 6)	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	20	60	40	80	45	100	45	160	45	250	45	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	2	10	2	15	5	30	3	30	5	60	5	60	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30V$, (LM2902, $V^+ = 28V$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 28V$) $V^+ = 5V$	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	mA
		0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 16V$, $R_L = 2 k\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	80	100	80	100	25	100	80	100	25	100	25	100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$	70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	60	70	dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $28V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB

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

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)	$f = 1 \text{ kHz to } 20 \text{ kHz}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred)	-120			-120			-120			-120			-120			-120			dB	
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V, V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	20 40			20 40			20 40			20 40			20 40			20 40			mA	
	Sink $V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$	10 20			10 20			10 20			10 20			10 20			10 20			mA	
	$V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 200 \text{ mV}, T_A = 25^\circ\text{C}$	12 50			12 50			12 50			12 50			12 50			12 50			μA	
Short Circuit to Ground	(Note 2) $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ\text{C}$	40 60			40 60			40 60			40 60			40 60			40 60			mA	
Input Offset Voltage	(Note 5)	4			4			5			7			8			10			mV	
Input Offset Voltage Drift	$R_B = 0\Omega$	7 20			7 20			7 30			7			7			7			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	30			30			75			100			150			45 200			nA	
Input Offset Current Drift	$R_B = 0\Omega$	10 200			10 200			10 300			10			10			10			$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$	
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$	40 100			40 100			40 200			40 300			40 600			40 600			nA	
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 28V$)	0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 5$			0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			V	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ (V_O Swing = 1V to 11V) $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	25			25			15			25			15			15			V/mV	
Output Voltage Swing	V_{OH} $V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 28V$)	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$	26			26			26			26			22			22			V
		$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	27 28			27 28			27 28			27 28			27 28			23 24			V
	V_{OL} $V^+ = 5V, R_L = 10 \text{ k}\Omega$	5 20			5 20			5 20			5 20			5 20			5 100			mV	

Electrical Characteristics $V^+ = +6.0V$ (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = +1V,$ $V_{IN}^- = 0V, V^+ = -15V$		10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA
	Sink	$V_{IN}^- = +1V,$ $V_{IN}^+ = 0V, V^+ = -15V$		10	15	5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	5	8	

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a $+150^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $68^\circ C/W$ which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a $+150^\circ C$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of +18V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.8V$ (at $25^\circ C$).

Note 4: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$, the LM224/LM224A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM324 specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 5: $V_{IO} = 1.4V, R_p = 10k$ with V^+ from 6V to 26V, and over the full input common-mode range (6V to $V^+ - 1.8V$) for LM2902, V^+ from 6V to 26V.

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

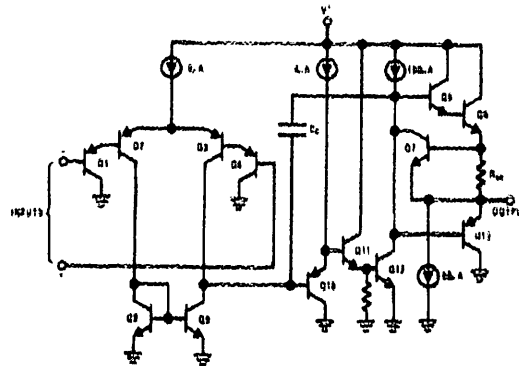
Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.8V (at $25^\circ C$). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at $25^\circ C$), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2902), independent of the magnitude of V^+ .

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

Note 9: Refer to RET8124AX for LM124A military specifications and refer to RET8124X for LM124 military specifications.

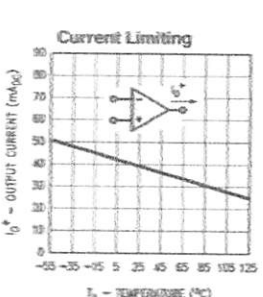
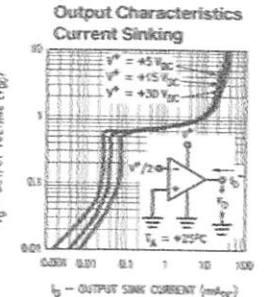
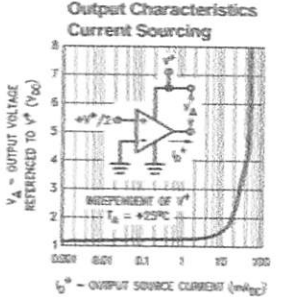
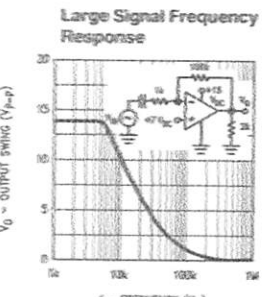
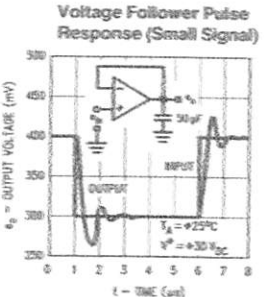
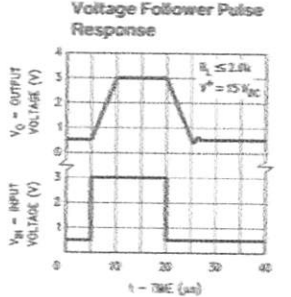
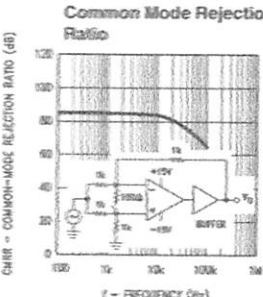
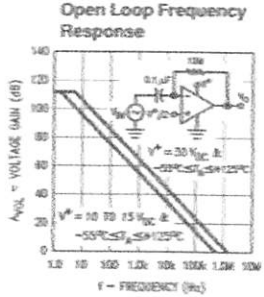
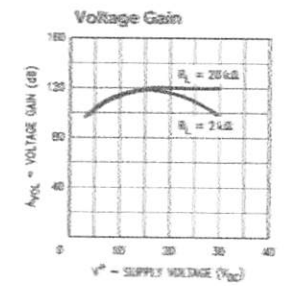
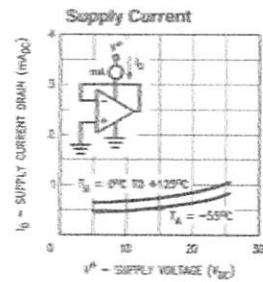
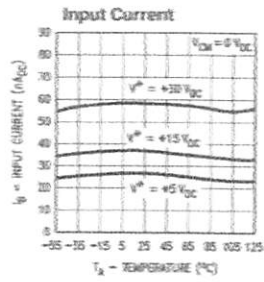
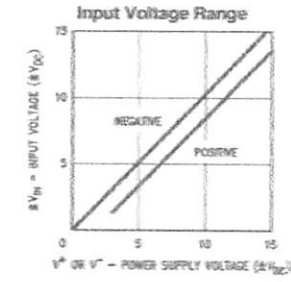
Note 10: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Schematic Diagram (Each Amplifier)



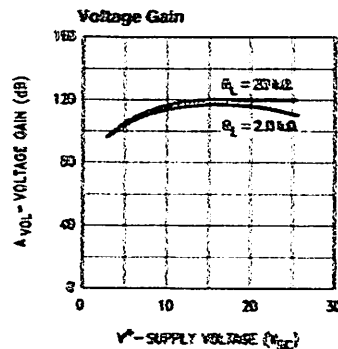
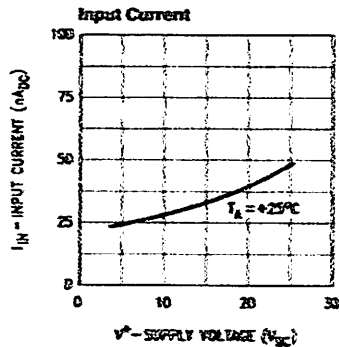
TL7110200-2

Typical Performance Characteristics



TL1412293-3

Typical Performance Characteristics (LM2502 only)



TL149259-4

Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC} . These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC} .

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

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

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

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

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

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

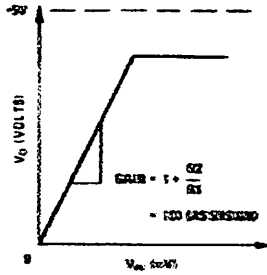
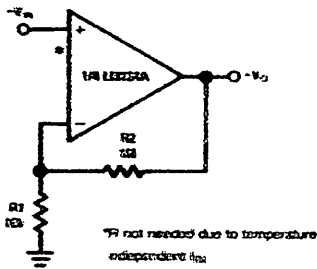
The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 3 V_{DC} to 30 V_{DC} .

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

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

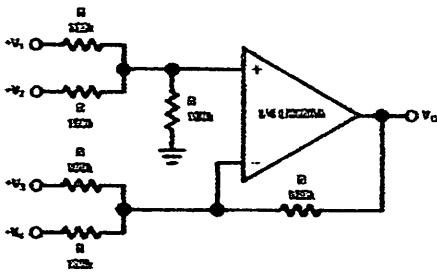
Typical Single-Supply Applications ($V^- = 0V_{DC}$)

Non-Inverting DC Gain (0V Input = 0V Output)



TL/H/9299-5

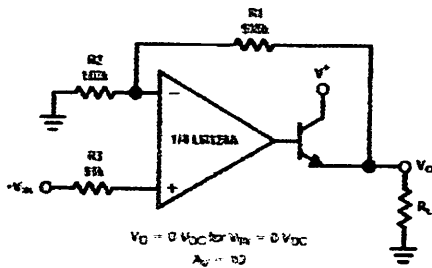
DC Summing Amplifier ($V_{in1} \geq 0V_{DC}$ and $V_O \geq 0V_{DC}$)



TL/H/9299-6

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

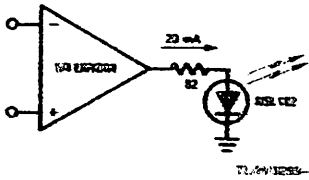
Power Amplifier



$V_O = 0V_{DC}$ for $V_{in} = 0V_{DC}$
 $A_v = 10$

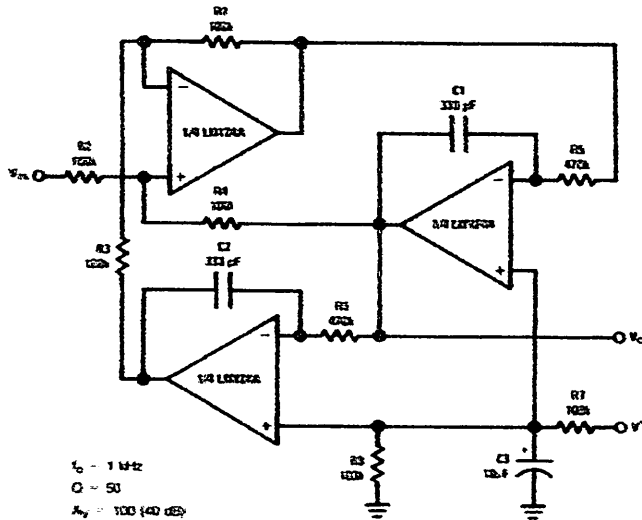
TL/H/9299-7

LED Driver



TL/H/9299-8

"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter

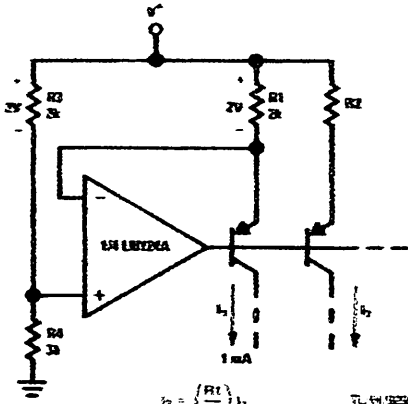


$f_0 = 1\text{ kHz}$
 $Q = 50$
 $A_v = 100 (40\text{ dB})$

TL/H/9299-9

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

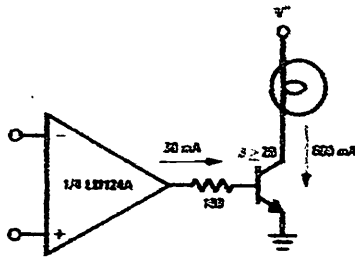
Fixed Current Sources



$$I_2 = \left(\frac{R1}{R2} \right) I_1$$

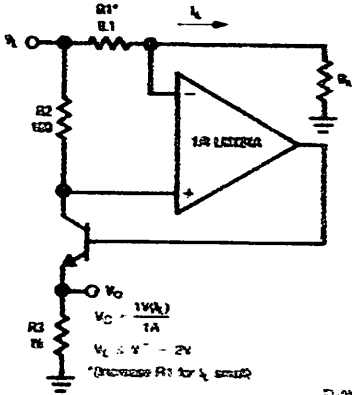
TL/H/9299-11

Lamp Driver



TL/H/9299-11

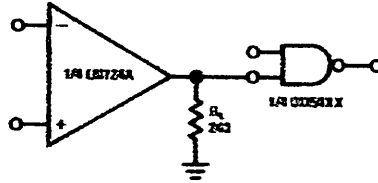
Current Monitor



$V_0 = \frac{I_2 R_6}{10}$
 $V_0 = V^+ - 2V$
 *Decrease R1 for I_2 sense

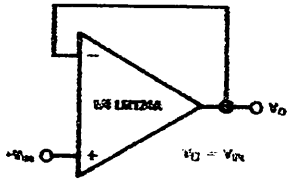
TL/H/9299-12

Driving TTL



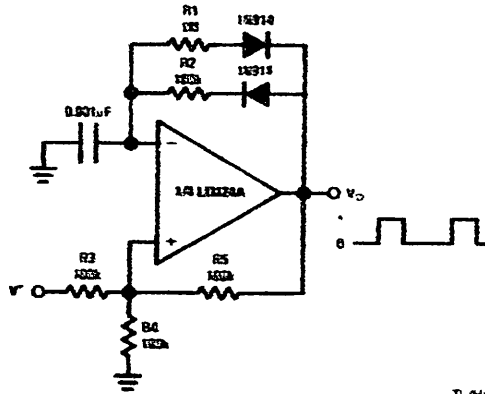
TL/H/9299-13

Voltage Follower



TL/H/9299-14

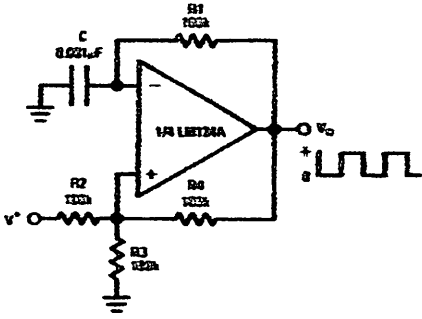
Pulse Generator



TL/H/9299-15

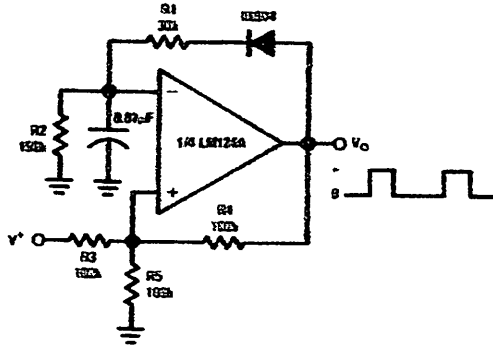
Typical Single-Supply Applications ($V^- = 5.0 V_{DD}$) (Continued)

Squarewave Oscillator



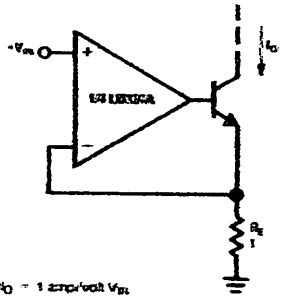
TL/H/3299-16

Pulse Generator



TL/H/3299-17

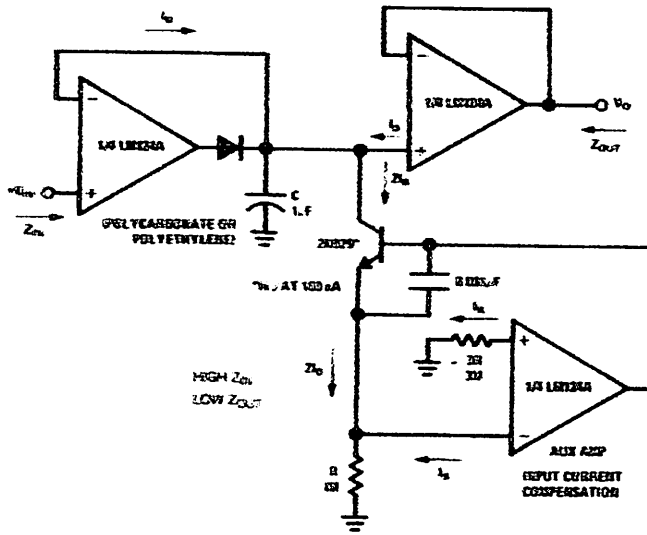
High Compliance Current Sink



$I_o = 1 \text{ amp/volt } V_m$
(Increase R_L for I_o scale)

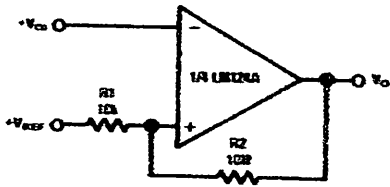
TL/H/3299-18

Low Drift Peak Detector



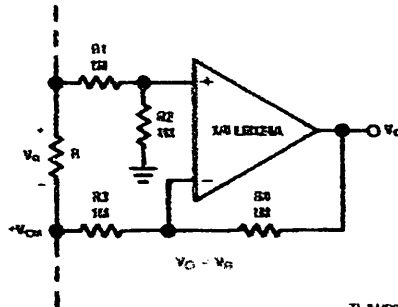
TL/H/3299-19

Comparator with Hysteresis



TL/H/3299-20

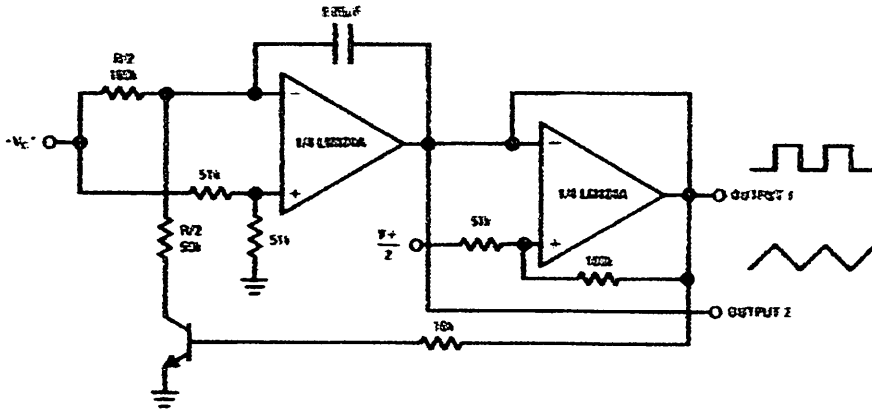
Ground Referencing a Differential Input Signal



TL/H/3299-21

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

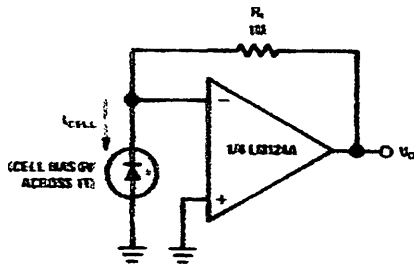
Voltage Controlled Oscillator Circuit



Wide control voltage range: $0 \text{ V}_{\text{DC}} \leq V_c \leq 2 (V^+ - 1.5 \text{ V}_{\text{DC}})$

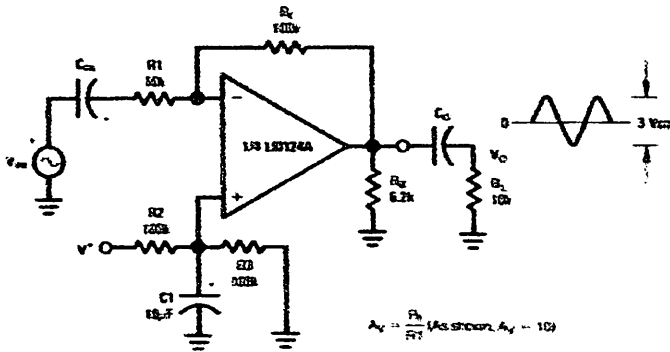
TL494-22

Photo Voltaic-Cell Amplifier



TL494-23

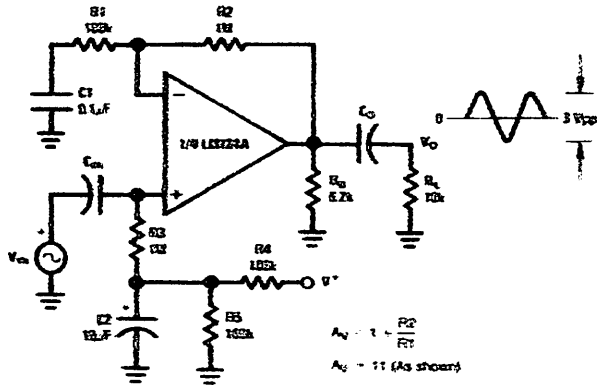
AC Coupled Inverting Amplifier



TL494-24

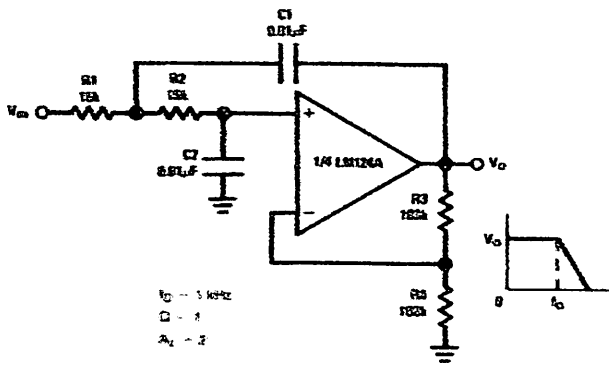
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

AC Coupled Non-Inverting Amplifier



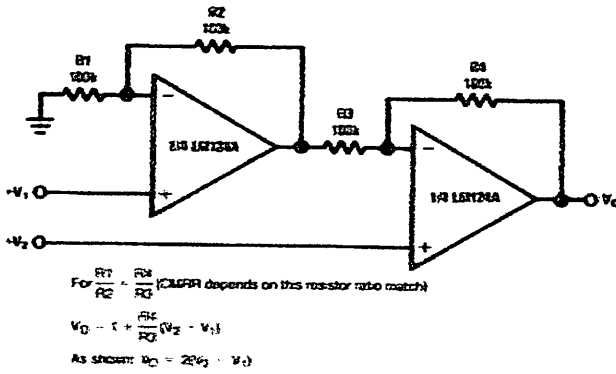
TL/H/9299-25

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



TL/H/9299-26

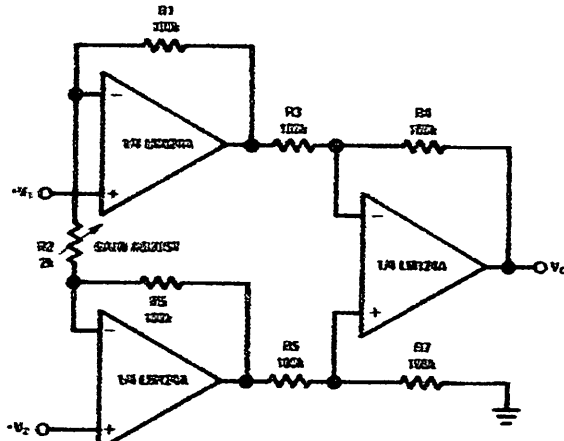
High Input Z, DC Differential Amplifier



TL/H/9299-27

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

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



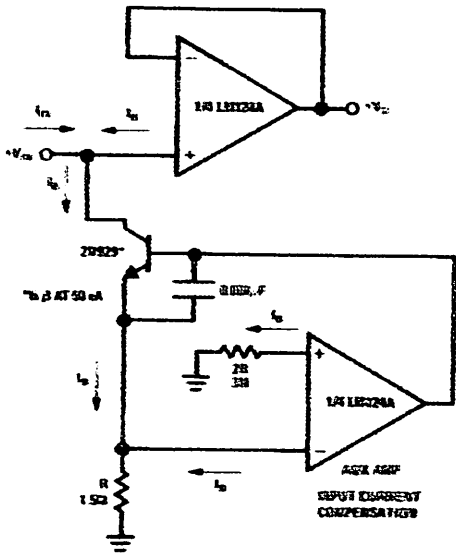
If $R1 = R5$ & $R3 = R4 = R6 = R7$ (CMRR depends on match)

TU-41/9259-25

$$V_o = 1 + \frac{2R1}{R2} (V_2 - V_1)$$

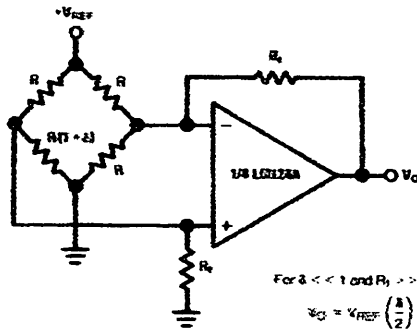
As shown $V_o = 101 (V_2 - V_1)$

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



TU-41/9259-25

Bridge Current Amplifier



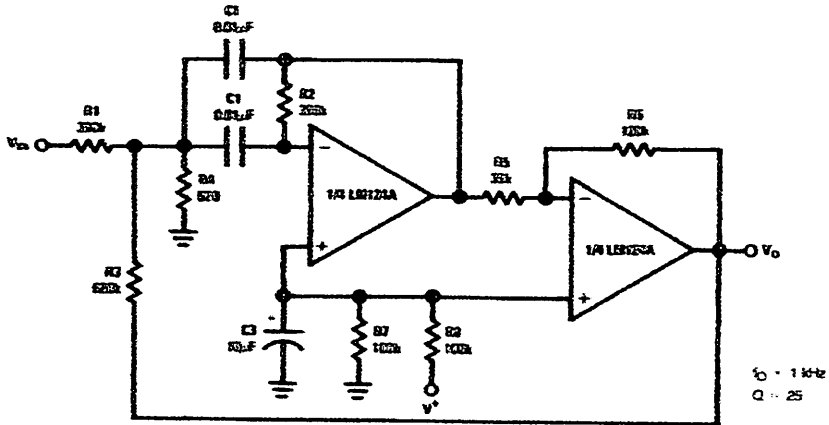
For $\delta \ll 1$ and $R_1 \gg R$

$$V_o = V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

TU-41/9259-30

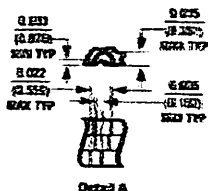
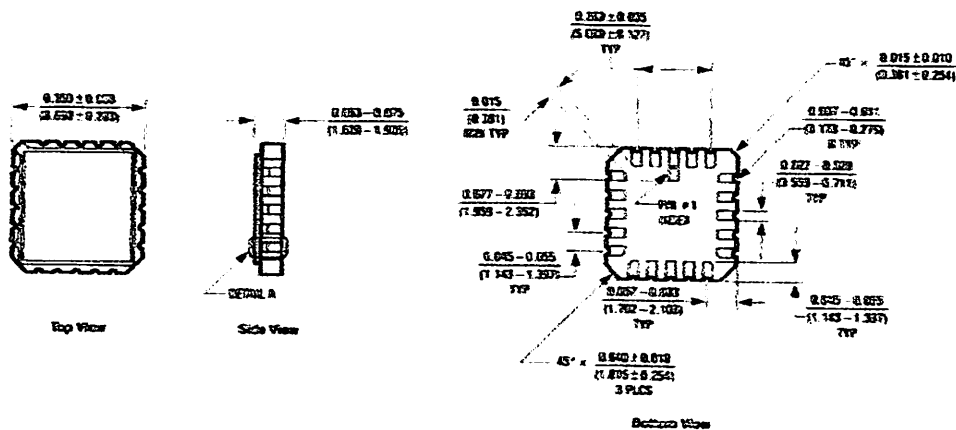
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Bandpass Active Filter



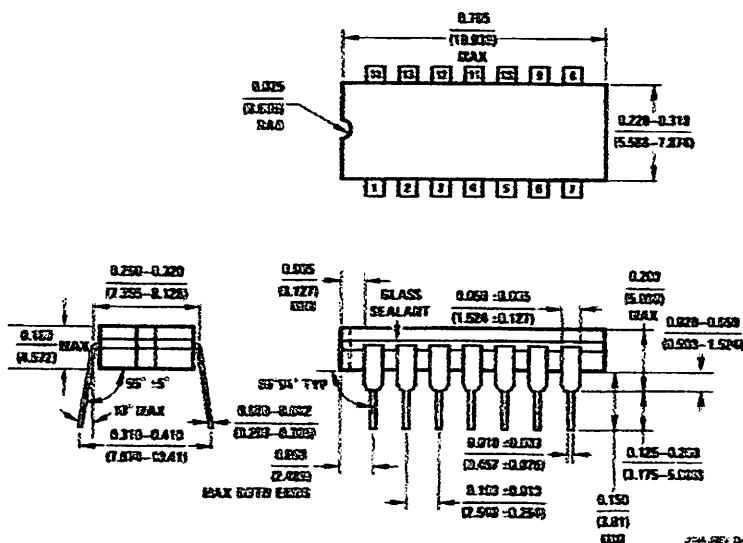
T.../9259-31

Physical Dimensions inches (millimeters)



Leadless Chip Carrier Package
 Order Number LM124AE/883 or LM124E/883
 NS Package Number E20A

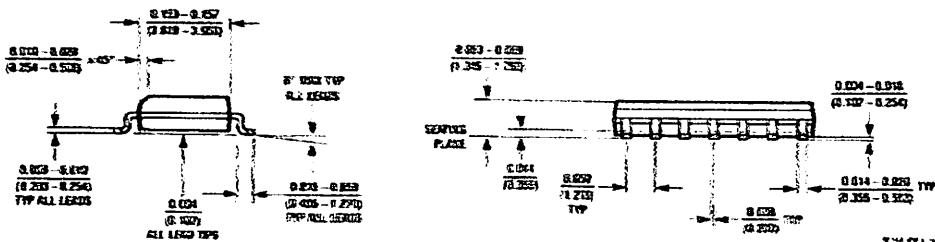
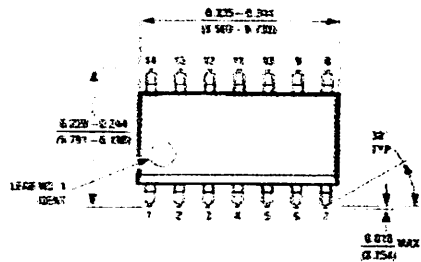
LM124E



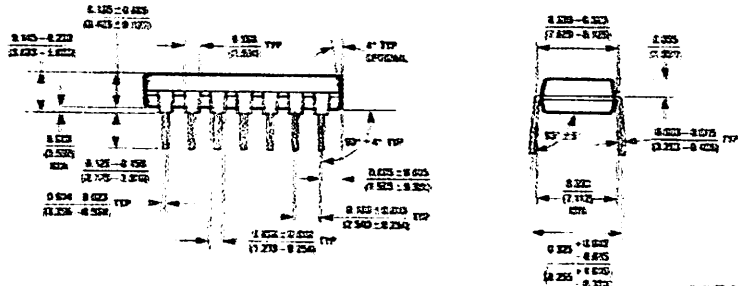
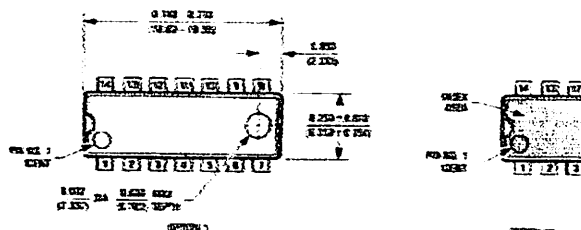
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number LM124J, LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J
 NS Package Number J14A

J14A REV D

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)

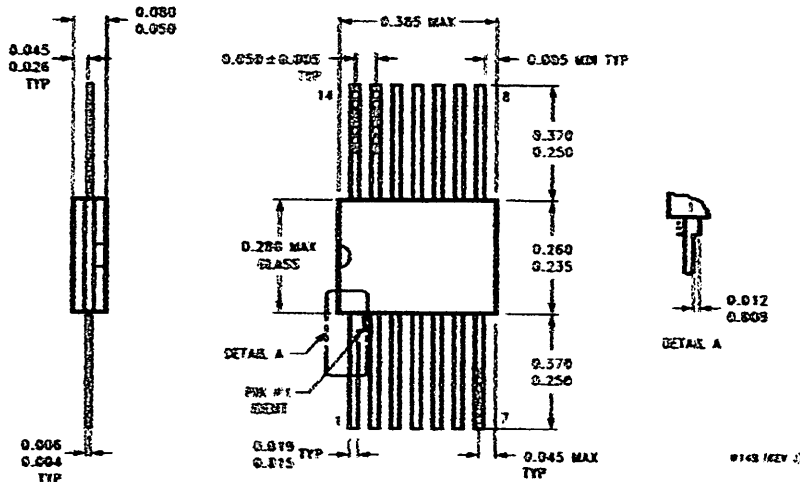


S.O. Package (N)
Order Number LM324M, LM324AM or LM2902M
NS Package Number N14A



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM324M, LM324AM or LM2902M
NS Package Number N14A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Ceramic Flatpak Package
Order Number LM124AW/883 or LM124W/883
NS Package Number W14B

#14B (REV. J)

LIFE SUPPORT POLICY

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

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



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Atmel, TX 75007
Tel: (800) 772-8959
Fax: (800) 737-7916

National Semiconductor Europe
Fax: (+43) 0-180-530 85 86
Email: europe@tsem2.nsc.com
Deutsch Tel: (+43) 0-180-530 85 85
English Tel: (+43) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+33) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+39) 0-180-534 78 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Street,
Gloucester Centre, 5 Canton Road
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9900

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-239-2309
Fax: 91-043-239-2420

National Semiconductor assumes no responsibility for use of any circuitry described in these product data sheets, and National reserves the right to vary these without notice to change product quality and specifications.