

**PEMBUATAN PENGUBAH DC-AC (INVERTER) 1 FASA UNTUK DAYA
CADANGAN RUMAH TANGGA**

TUGAS AKHIR

Disusun oleh :

NAMA : Agustaf Wahyu Mardiko

NIM : 06.52.005



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO D-3
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2009**

**LEMBAR PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**PEMBUATAN PENGUBAH DC-AC (INVERTER) 1 FASA UNTUK DAYA
CADANGAN RUMAH TANGGA**

Disusun Oleh :

Nama : Agustaf Wahyu Mardiko

Nim : 06.52.005



**Mengetahui
Ketua Jurusan
Teknik Elektro D-III**

Ir.H. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y 101 8700 151

**Diperiksa dan Disetujui
Dosen Pembimbing**

Ir.H. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y 101 8700 151



**BERITA ACARA UJIAN TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO D-III
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : Agustaf Wahyu Mardiko
Nim : 0652005
Program Studi : Teknik Elektro D-III
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Tugas Akhir : Pembuatan Pengubah Dc-Ac (Inverter) 1 Fasa Untuk
Daya Cadangan Rumah Tangga

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Jenjang Program Diploma
Tiga (D-III) pada:

Hari, Tanggal : Jum'at, 2 Oktober 2009
Dengan Nilai : 74,6 (B+)

Panitia ujian Tugas Akhir



Ir. Sidik Noertjahjono, MT
NIP. Y 102 8700 163

Sekretaris

Ir. H. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y 101 8700 151

Anggota Penguji I

Irmalia Suryani Faradisa, ST, MT
NIP. P 103 0000 365

Anggota Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y 101 8800 190

ABSTRAK

Sumber energi listrik dari PLN pada rumah tangga sering mengalami pemadaman akibat over load. Untuk menghindari pemadaman sementara oleh PLN maka diperlukan daya cadangan yang bisa menyuplai beban penerangan pada rumah tangga. Pada tugas akhir ini kami membuat peralatan emergency power yang digunakan sebagai pengganti daya pada rumah tangga yang bersifat sementara. Emergency power mendapat sumber dari accu 12 Volt DC. Tegangan 12 Volt DC diubah oleh rangkaian sinus generator menjadi 12 Volt AC yang bekerja pada frekuensi switching 50 Hz. Rangkaian pengkondisi sinyal digunakan untuk memperkuat sinyal keluaran dari rangkaian sinus generator sebelum diumpankan ke rangkaian Driver Power (MOSFET). Tegangan keluaran dari rangkaian Driver Power kemudian diubah menjadi 220 Volt AC oleh transformator. Tegangan 220 Volt sudah dapat digunakan oleh beban.

Output transformator digunakan untuk beban lampu. Dalam pengujian menggunakan beban lampu 5 Watt didapat I_{out} 0,036A dan V_{out} 150Vac, sedangkan ketika pengujian menggunakan beban lampu 10 Watt didapat I_{out} 0,076A dan V_{out} 140Vac. Tegangan output mengalami penurunan ketika di bebani disebabkan karena drop tegangan pada transformator. Untuk mengurangi penurunan tegangan pada output trafo maka pada sisi masukan inverter yang merupakan tegangan keluaran accu diperlukan pengaturan tegangan melalui penyulutan terkontrol (*feedback*). Dengan adanya Emergency power pada rumah tangga dapat memberikan kenyamanan dalam penggunaan energi listrik.

Kata Kunci: *Sine Wave Generator, Single phase full bridge inverter.*

KATA PENGANTAR

DENGAN MENYEBUT NAMA ALLAH YANG MAHA PENGASIH

LAGI MAHA PENYAYANG

Puji syukur kepada ALLAH SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul: ***“Pembuatan Pengubah DC-AC (Inverter) 1 Fasa Untuk Daya Cadangan Rumah Tangga”***. Dan tidak lupa shalawat serta salam dipanjatkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya. Tugas akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam meraih derajat sarjana jenjang Diploma Tiga Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.

Selama pembuatan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis tidak luput dari kendala. Kendala tersebut dapat diatasi penulis berkat adanya bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE., selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahdjono, MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. H. Taufik Hidayat, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro D-III Institut Teknologi Nasional Malang sekaligus dosen pembimbing yang

telah mengorbankan waktu, tenaga, pikiran untuk membimbing serta memberikan saran dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

4. Bapak Ir. Bambang Prio Hartono, MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro D III Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Ibu Irmalia Suryani Faradisa, ST, MT selaku Dosen Penguji I dan Bapak Ir. Chirul Saleh, MT selaku Dosen Penguji II yang telah banyak memberikan saran dan masukan dalam perbaikan tugas akhir saya.
6. Ayah dan Bunda tercinta, kakakku, dan adikku yang kusayangi, terima kasih banyak atas doa restu dan dukungannya yang tak kenal lelah dan tak ternilai harganya bagi penulis. Semoga ALLAH SWT , memberikan yang terbaik bagi kita semua.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Elektro D-III 2006, terima kasih atas dukungannya.
8. SS145C friends, dan semua saudaraku di tanah air, terima kasih atas kebersamaannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga karya ini bermanfaat bagi penulis maupun para pembaca.

Malang, Oktober 2009

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
BERITA ACARA UJIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAKSI	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi.....	3
1.6. Sistematika Pembahasan.....	4

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Umum	6
2.2. Accumulator.....	6
2.3. Osilator.....	8
2.3.1. Osilator Pembentuk Gelombang Persegi	8
2.3.2. Osilator Pembangkit Gelombang Segitiga.....	10
2.3.3. Osilator Gelombang Sinus Jembatan Wien	12
2.3.4. Osilator Gelombang Sinus Menggunakan IC XR2206	15
2.4. Operasional Amplifier (Op-Amp).....	15
2.4.1. Inverting Amplifier	17
2.4.2. Non Inverting Amplifier	17
2.4.3. Buffer	18
2.4.4. Adder/Penjumlah	18
2.4.5. Subtractor/Pengurang.....	20
2.4.6. Komparator/Pembandingan.....	24
2.4.7. Differensiator.....	26
2.4.8. Integrator.....	29
2.5. Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET).....	31
2.5.1. Simbol Rangkaian MOSFET	32
2.5.2. MOSFET Sebagai Switch.....	33
2.5.3. Karakteristik MOSFET	34

2.5.4. MOSFET SSS70N10A	36
2.6. Inverter	37
2.6.1. Voltage Source Inverter	38
2.6.2. Inverter Satu Phasa	40
2.6.2.1. Half Bridge Inverter	40
2.6.2.2. Full Bridge Inverter	42
2.7. Transformator	43
2.7.1. Prinsip Dasar Transformator	45
2.7.2. Prinsip Kerja Transformator	46
2.7.3. Hubungan Antara Daya, Tegangan, dan Arus	46

BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Konfigurasi Sistem	48
3.2. Prinsip Kerja	48
3.3. Perencanaan dan Pembuatan Perangkat Keras	49
3.3.1. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Osilator	49
3.3.2. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Pengkondisi Sinyal	51
3.3.3. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Driver Power	53
3.4. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian DC ke AC (inverter)	53
3.5. Transformator	54

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1. Umum	56
4.2. Pengujian Rangkaian PCB dan Sambungan	56
4.3. Pengujian Rangkaian Kontrol Inverter	56
4.3.1. Pengujian Rangkaian Sinus Generator	57
4.3.2. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal	58
4.4. Pengujian Rangkaian Driver Power (MOSFET)	60
4.5. Pengujian Rangkaian MOSFET Setelah Masuk Trafo	61
4.6. Pengujian Inverter Dengan Beban Resistif	62

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian Osilator Pembangkit Gelombang Persegi	8
Gambar 2.2	Osilator Pembangkit Gelombang Segitiga.....	11
Gambar 2.3	Osilator Pembangkit Gelombang Sinus	13
Gambar 2.4	Konfigurasi pin IC XR2206.....	15
Gambar 2.5	Rangkaian Op-Amp Dasar	16
Gambar 2.6	Rangkaian Inverting Amplifier	17
Gambar 2.7	Rangkaian Non Inverting Amplifier	18
Gambar 2.8	Rangkaian Buffer	18
Gambar 2.9	Rangkaian Penjumlah Dengan Hasil Negatif	19
Gambar 2.10	Rangkaian Pengurang Dengan 1 Op-Amp.....	20
Gambar 2.11	Rangkaian Pengurang Dengan 2 Op-Amp.....	22
Gambar 2.12	Rangkaian Pengurang Dengan 3 Op-Amp.....	22
Gambar 2.13	Proses Mencari Persamaan Pada Rangkaian Pengurang 3 Op-Amp	23
Gambar 2.14	Rangkaian Pengurang 3 Op-Amp Dengan Buffer	23
Gambar 2.15	Rangkaian Comparator/Pembanding Dengan Referensi 0V	24
Gambar 2.16	Rangkaian Comparator/Pembanding Dengan Jendela.....	24
Gambar 2.17	Rangkaian Comparator 2 Op-Amp Dengan Output Negatif.....	25

Gambar 2.18	Rangkaian Comparator 2 Op-Amp Dengan Output Campuran.....	26
Gambar 2.19	Rangkaian Differensiator Op-Amp.....	27
Gambar 2.20	Rangkaian Aplikasi Differensial Op-Amp.....	28
Gambar 2.21	Rangkaian Integrator Op-Amp Sederhana.....	20
Gambar 2.22	Rangkaian Integrator Op-Amp Untuk Aplikasi.....	31
Gambar 2.23	Simbol MOSFET	32
Gambar 2.24	Rangkaian Switch Pengendali.....	33
Gambar 2.25	Bentuk Gelombang Tegangan Input dan Output	34
Gambar 2.26	MOSFET Jenis Pengisian	35
Gambar 2.27	Karakteristik keluaran MOSFET tipe Enhancement	36
Gambar 2.28	MOSFET SSS70N10A	36
Gambar 2.29	Inverter Sumber Tegangan.....	38
Gambar 2.30	Half Bridge Inverter Satu Fasa	41
Gambar 2.31	Full Bridge Inverter Satu Fasa	42
Gambar 2.32	Transformator Dasar	44
Gambar 2.33	Rangkaian Ekuivalen Transformator.....	47
Gambar 3.1	Blok diagram sistem pengubah dc ke ac (inverter) pada daya cadangan rumah tangga	48
Gambar 3.2	Rangkaian osilator pembangkit gelombang sinus	49
Gambar 3.3	Rangkaian Pengkondisi Sinyal	51

Gambar 3.4	Rangkaian buffer dan differensial.....	52
Gambar 3.5	Rangkaian MOSFET DC ke AC Driver	53
Gambar 3.6	Rangkaian DC ke AC Inverter.....	54
Gambar 3.7	Transformator	54
Gambar 4.1	Skematik pengujian rangkaian osilator.....	57
Gambar 4.2	Sinyal keluaran rangkaian osilator.....	58
Gambar 4.3	Skema pengujian rangkaian pengkondisi sinyal	59
Gambar 4.4	Sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal.....	59
Gambar 4.5	Skema pengujian rangkaian driver MOSFET.....	60
Gambar 4.6	Gelombang keluaran rangkaian MOSFET.....	60
Gambar 4.7	Rangkaian pengujian sinyal keluaran inverter.....	61
Gambar 4.8	Gelombang keluaran dari inverter	61

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Pengujian Beban Resistif	62
-----------	--------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin pesat dewasa ini membawa dampak perubahan di segala sendi kehidupan manusia. Dengan teknologi yang semakin berkembang maka kebutuhan manusia juga akan bertambah, fenomena ini juga akan semakin memacu tingkat konsumsi energi listrik. Sehingga setiap kebutuhan manusia sedikit banyak telah menggunakan peralatan-peralatan elektrik yang lebih praktis dan efisien. Karena semakin tinggi tingkat konsumsi energi listrik ini maka pihak penyedia energi listrik dalam hal ini adalah PLN (Perusahaan Listrik Negara) sebagai pengelola energi kelistrikan nasional memiliki kewajiban memenuhi kebutuhan energi listrik nasional yang semakin tahun semakin meningkat.

Sayangnya hingga saat ini kapasitas dari mesin-mesin generator yang dimiliki oleh PLN masih belum mampu mensuplai beban seluruh pelanggan PLN. Kurangnya pembangkit listrik dan jumlah generator yang dimiliki PLN mengakibatkan peralatan di PLN sering mengalami kerusakan dan mengakibatkan pemadaman aliran daya listrik sementara untuk pembagian beban kepada pelanggan PLN.

Pemadaman aliran daya listrik oleh PLN terjadi ketika ada peralatan sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan. Pemadaman umumnya dilakukan secara bergantian dan dalam kurun waktu yang relatif singkat. Ketika terjadi gangguan

yang pertama diputus adalah aliran daya yang menuju ke rumah-rumah kemudian selanjutnya yang menuju ke perkantoran dan industri.

Untuk menghindari terputusnya aliran daya listrik oleh PLN pada rumah tangga, maka sangat diperlukan adanya suatu peralatan *emergency power* yang mampu bekerja mensuplai daya listrik sebagai pengganti dari PLN untuk sementara. Peralatan listrik yang umum dimasyarakat adalah genset. Sumber energi dari pada genset adalah BBM. Untuk kalangan rumah tangga BBM dirasa cukup mahal dan tidak ramah lingkungan serta menimbulkan kebisingan. Dengan adanya peralatan *emergency power* ini diharapkan dapat memberikan kenyamanan dalam penggunaan energi listrik.

1.2. Permasalahan

Permasalahan dalam penulisan tugas akhir ini adalah “bagaimana membuat suatu inverter 1 phasa dengan tegangan keluaran 220 Volt konstan dan frekuensi 50 Hz menggunakan IC XR2206”

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Sebagai syarat kelulusan dari pendidikan Diploma III Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Untuk membuat dan merancang *Voltage Source Inverter (VSI)* pada daya cadangan rumah tangga dengan menggunakan *single phase full bridge inverter*.

1.4. Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

- a) Inverter yang direncanakan jenis *Voltage Source Inverter* (VSI) satu phasa jembatan penuh dengan menggunakan MOSFET.
- b) Gelombang tegangan keluaran dari inverter yang direncanakan berupa tegangan AC berbentuk kotak dengan frekuensi 50 Hz dan magnitudo 220 Volt.
- c) Daya keluaran dari inverter maksimum saya batasi 150 VA.

Dalam tugas akhir ini penulis membahas mengenai perancangan inverter satu phasa jembatan penuh yang merupakan penerapan dari mata kuliah Elektronika Industri, serta mata kuliah lainnya.

1.5. Metodologi

Untuk mencapai tujuan diatas maka ditumpuh langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penentuan dan pengumpulan literatur

Mengumpulkan dan mempelajari literatur sehubungan dengan permasalahan yang dihadapi, seperti inverter dan peralatan pendukung lainnya.

2. Studi literatur tentang teori penunjang tugas akhir.

Mempelajari secara teoritis dan praktis tentang karakteristik dari MOSFET daya dan teknik pengaturannya serta peralatan penunjang lainnya.

3. Perancangan sistem

Melakukan perancangan sistem tugas akhir secara umum, yaitu inverter satu phasa jembatan penuh dengan seluruh komponen pendukungnya.

4. Pembuatan alat

Membuat tugas akhir bagian per bagian dimulai dari rangkaian penunjang sampai rangkaian utama.

5. Pengujian alat

Melakukan pengujian dan analisa terhadap hasil inverter satu phasa yang telah dibuat.

6. Penyusunan buku

Menyimpulkan hasil perencanaan dan pembuatan serta hasil pengujian sehingga tersusunlah buku laporan tugas akhir.

1.6. Sistematika Pembahasan

Setelah dilakukan proses pembuatan alat pada tugas akhir ini, mulai dari studi literatur, perencanaan, pembuatan, pengujian, serta analisa dan hasil-hasil yang didapat maka untuk pembahasan selengkapnya diwujudkan dalam bentuk buku laporan tugas akhir ini dengan sistematika sebagai berikut:

BABI : PENDAHULUAN

Bab ini berisi pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, tujuan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika pembahasan tugas akhir.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini meliputi literatur, teori dasar, serta referensi, yang berguna sebagai acuan dan landasan bagi penulis.

BAB III: PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini menjelaskan tentang perencanaan dan pembuatan perangkat keras Voltage Source Inverter satu phasa jembatan penuh.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan keseluruhan sistem dan cara kerja serta membandingkan dengan teori dan menganalisa kinerja inverter.

BABV : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan juga saran serta masukan setelah melihat hasil analisa dari pengujian alat. Untuk meningkatkan hasil akhir yang lebih baik diberikan saran-saran terhadap hasil pembuatan tugas akhir.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Analisa dan perhitungan sangat penting sekali dilakukan sebelum kita merencanakan suatu sistem guna meminimalisasi kesalahan. Untuk itu diperlukan suatu teori penunjang sebagai referensi dari mata kuliah Elektronika Industri.

Adapun teori dan analisa penunjang yang lain disarikan dari mata kuliah yang masih berkaitan dengan Elektronika Industri antara lain sebagai berikut: Rangkaian Listrik, Dasar Elektronika, Bengkel Elektromekanik, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Medan Elektromagnetik, Mesin-Mesin Listrik, Matematika Terapan, dan buku-buku literatur lainnya.

Setiap pembahasan pada sub bab buku laporan tugas akhir ini akan saling berkaitan dengan teori dan analisa yang pernah diberikan pada perkuliahan yang pernah didapat.

2.2. Accumulator

Accumulator atau biasa disebut accu adalah salah satu komponen utama pada kendaraan bermotor, baik mobil atau sepeda motor, semua memerlukan accu untuk dapat menghidupkan mesin kendaraan (mencatu arus pada dynamo stater kendaraan). Accu mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik.

Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah dc dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari

elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (*katoda*) ke elektroda positif (*anoda*) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (*dry cells*).

Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik (secara umum dikenal dengan istilah 'disetrum'). Akan tetapi tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan aki. Dalam sebuah aki berlangsung proses elektrokimia yang *reversibel* (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia *reversibel* yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charging*).

Besar ggl yang dihasilkan satu sel aki adalah 2 Volt. Sebuah aki mobil terdiri dari enam buah aki yang disusun secara seri, sehingga ggl totalnya adalah 12 Volt. Accu mencatu arus untuk menyalakan mesin (motor dan mobil dengan menghidupkan dynamo stater) dan komponen listrik lain dalam mobil. Pada saat mobil berjalan aki dimuati (diisi) kembali sebuah dinamo (disebut dinamo jalan) yang dijalankan dari putaran mesin mobil atau motor.

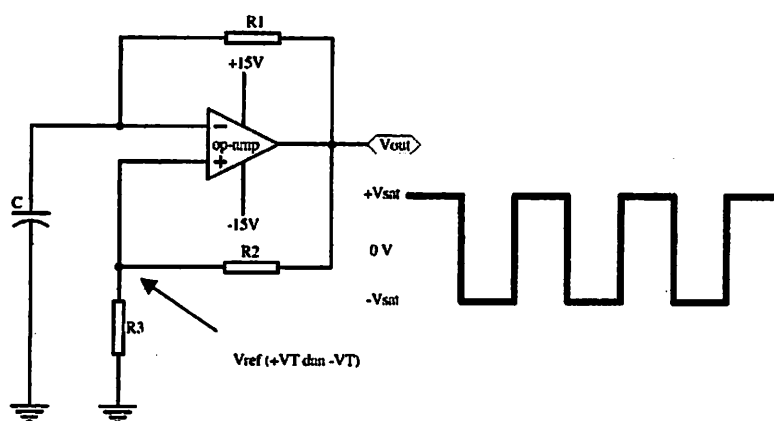
Pada aki kendaraan bermotor arus yang terdapat di dalamnya dinamakan dengan kapasitas aki yang disebut Ampere-Hour/AH (Ampere-jam). Contohnya untuk aki dengan kapasitas arus 5 AH, maka aki tersebut dapat mencatu arus 5 Ampere selama 1 jam atau 1 Ampere selama 5 jam.³

2.3. Osilator

Osilator mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC atau pulsa-pulsa tegangan DC. Perubahan tegangan dalam siklus perdetik disebut frekuensi osilator. Ada empat macam bentuk gelombang dasar osilator, yaitu: persegi, segitiga, gigi gergaji, dan sinus. Stabilitas Osilator ditentukan berdasarkan kemampuannya dalam mempertahankan amplitudo dan frekuensi keluaran tetap atau dekat-dekat pada nilai-nilai yang telah ditentukan dalam perancangan.

2.3.1. Osilator Pembentuk Gelombang Persegi

Pada gambar 2.1 diperlihatkan rangkaian osilator pembangkit gelombang persegi.



Gambar 2.1 Rangkaian osilator pembangkit gelombang persegi

Ada dua buah lintasan umpan balik dalam rangkaian ini. Lintasan pertama, datang dari keluaran menuju masukan inverting op-amp. Dimana, pada lintasan ini terdapat sebuah resistor dan kapasitor yang dibumikan. Kombinasi RC ini adalah untuk menentukan frekuensi kerja dari osilator. Lintasan yang kedua, datang dari keluaran menuju masukan non inverting op-amp dan terdiri dari dua buah resistor. Resistor-resistor ini membentuk pembagi tegangan yang memberikan tegangan acuan (V_{ref}) pada masukan non inverting. Bila resistor-resistor dipilih sehingga besar nilai R_3 86% dari R_2 , maka frekuensi osilator tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f_{out} = \frac{1}{2R_1C} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana jaringan pembagi tegangan R_2 dan R_3 akan memberikan nilai V_{ref} pada masukan non inverting, sehingga rangkaian berperilaku seperti detektor level tegangan.

Adapun rangkaian diatas akan bekerja sbb: bila rangkaian diberikan sumber daya, maka kapasitor akan mengisi lewat R_1 sampai mencapai V_{out} . Keluaran op-amp akan $+V_{sat}$, dan V_{ref} pada masukan non inverting akan berada pada tegangan ambang positif $+V_T$. Bila tegangan kapasitor melebihi $+V_T$ maka keluaran op-amp akan beralih keadaan yaitu menuju $-V_{sat}$. Saat ini V_{ref} pada masukan non inverting berada pada tegangan ambang negatif $-V_T$. Sebaliknya, kini kapasitor mulai mengisi dalam arah yang berlawanan menuju $-V_{sat}$. Ketika tegangan kapasitor turun dibawah $-V_T$, maka keluaran op-amp akan kembali pada

keadaan semula dan V_{out} kembali pada $+V_{sat}$. Dalam hal ini, satu siklus telah terpenuhi, lalu proses akan berulang lagi.

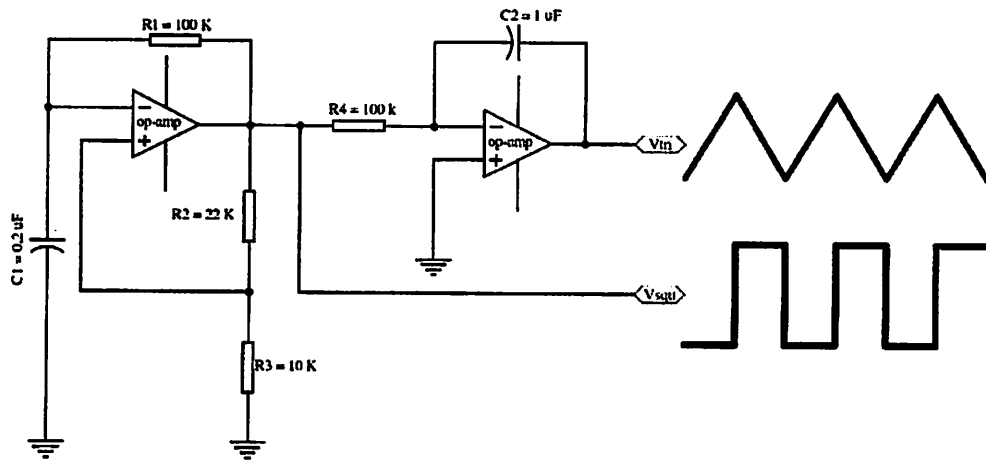
Adapun tegangan ambang $+V_T$ dan $-V_T$ ditentukan oleh resistor pembagi tegangan R_2 dan R_3 dan dinyatakan dalam rumus:

$$+V_T = \frac{R_3}{R_3 + R_2} (+V_{sat}) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$-V_T = \frac{R_3}{R_3 + R_2} (-V_{sat}) \dots\dots\dots (2.3)$$

2.3.2. Osilator Pembangkit Gelombang Segitiga

Seperti yang diperlihatkan pada rangkaian pembangkit gelombang segitiga berikut, adanya penambahan suatu rangkaian gelombang persegi dapat mempermudah kita untuk menganalisa suatu rangkaian pembangkit gelombang segitiga. Dalam rangkaian tersebut, bila keluaran osilator gelombang persegi positif, maka keluaran osilator segitiga berupa lereng negatif. Sebaliknya, bila keluaran osilator persegi negatif maka keluaran osilator segitiga berupa lereng positif. Dalam hal ini, frekuensi keluaran gelombang segitiga sama besarnya dengan frekuensi gelombang persegi.



Gambar 2.2 Osilator pembangkit gelombang segitiga

Persamaan matematis yang dapat digunakan dalam rangkaian ini adalah sbb:

Tegangan Ambang +VT dan -VT:

$$+VT = \frac{-V_{sat}}{R_3/R_2} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$-VT = \frac{+V_{sat}}{R_3/R_2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Tegangan Ambang antar puncak:

$$VH = (+VT) - VT \dots\dots\dots (2.6)$$

Frekuensi keluaran (fout) ditentukan dengan menghitung waktu naik (tR) dan waktu turun (tF) gelombang segitiga sbb:

$$tR = \frac{VH}{-V_{sat}} (R_1 \cdot C) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$tF = \frac{VH}{+V_{sat}} (R_1 \cdot C) \dots\dots\dots (2.8)$$

Satu siklus (T) adalah:

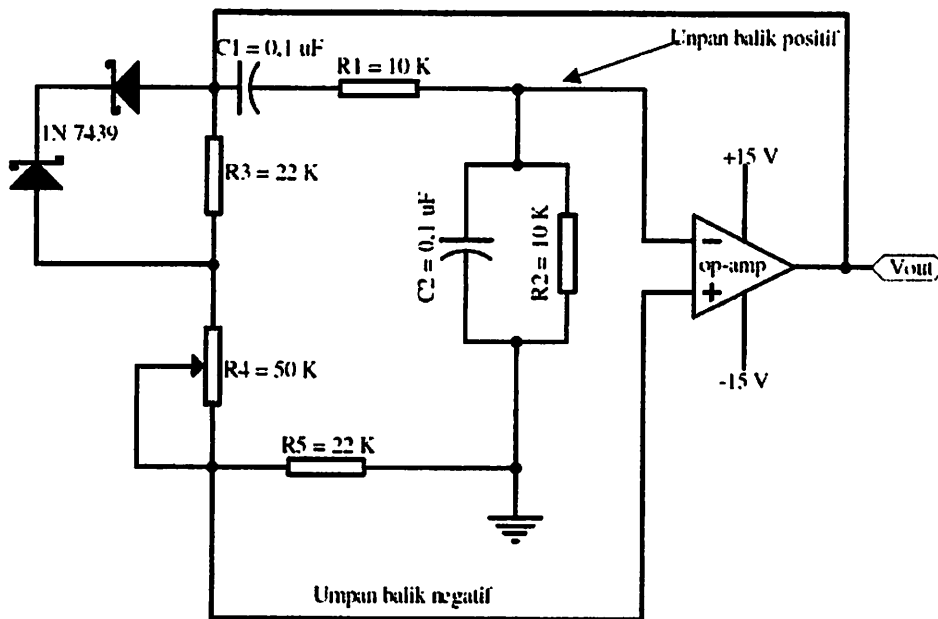
$$T = tR + tF \dots\dots\dots (2.9)$$

jadi frekuensi keluaran dapat dicari dengan:

$$f_{out} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.10)$$

2.3.3. Osilator Gelombang Sinus Jembatan Wien

Osilator gelombang sinus dapat membangkitkan gelombang sinus murni dengan menggunakan jaringan pemilih frekuensi serupa dengan rangkaian filter. Salah satu tipe rangkaian osilator untuk gelombang sinus adalah rangkaian osilator dengan jembatan Wien. Rangkaian Osilator jembatan Wien diperlihatkan dalam gambar berikut ini:



Gambar 2.3 Osilator pembangkit gelombang sinus

Seperti yang diperlihatkan pada gambar diatas, umpan balik diberikan pada kedua masukan op-amp. Jaringan pemilih frekuensi yang terdiri atas R_1 , C_1 , dan R_2 , C_2 memberikan umpan balik positif pada masukan non inverting. Umpan balik negatif diberikan pada masukan inverting melalui R_3 , R_4 , dan R_5 . Dalam hal ini, umpan balik positif harus lebih besar daripada umpan balik negatif supaya osilasi tetap terjadi. Pengurangan umpan balik negatif dikerjakan oleh potensiometer R_4 . Hal ini dikarenakan bahwa potensiometer dapat digunakan untuk menyetel saat mulainya osilasi rangkaian. Jaringan pemilih frekuensi mengendalikan besarnya umpan balik positif berdasarkan frekuensi. Setelah R_4 di setting untuk menentukan saat awal osilasi, selanjutnya umpan balik positif yang tepat untuk masukan non inverting ditentukan oleh perbandingan kapasitansi dan resistansi. Frekuensi akan berkurang bila kapasitansi C_1 membesar sehingga umpan balik positif berkurang. Namun bila kapasitansi C_2 mengecil maka akan lebih banyak

umpan balik yang ke ground. Dengan demikian, osilator dipaksa bekerja pada resonansi dalam jaringan ini.

Umpan balik positif menyebabkan tegangan keluaran meningkat sampai Op-amp terkunci kedalam saturasi. Untuk mencegah saturasi dan agar rangkaian dapat bermanfaat, dua buah dioda zener yang saling berhadapan diparalelkan dengan R_3 . Ini disebabkan karena hantaran dioda zener akan melintasi R_3 sehingga resistansi umpan balik negatif berkurang sehingga lebih banyak umpan balik negatif di kirim pada op-amp dan keluaran tetap terkendali pada level tertentu. Persamaan matematis yang dapat digunakan adalah:

$$f_{out} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2}} \dots\dots\dots (2.11)$$

bila

$$R_1 = R_2 \text{ dan } C_1 = C_2 \dots\dots\dots (2.12)$$

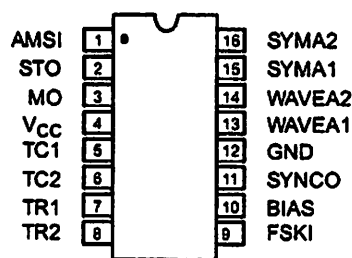
maka

$$f_{out} = \frac{1}{2\pi\sqrt{RC}} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.3.4. Osilator Gelombang Sinus Menggunakan IC XR2206

IC XR2206 adalah function generator (pembangkit sinyal) dari berbagai macam bentuk gelombang, mulai dari gelombang kotak, sinus, segitiga, gelombang pulsa dan lain-lain. Kehebatan lain dari IC XR2206 ini adalah memiliki tingkat stabilitas dan akurasi yang baik. XR2206 dapat membangkitkan frekuensi mulai dari 0,01 Hz sampai dengan diatas 1MHz. Adapun spesifikasi yang dimiliki adalah:

- 1) Penyimpangan frekuensi akibat suhu sangat rendah yaitu 20 ppm/°C
- 2) Kecacatan rendah yaitu 0,5%
- 3) Range frekuensi lebar antara 0,01 Hz sampai 1 MHz
- 4) Duty cycle yang bisa diubah-ubah antara 1% sampai 99%
- 5) TTL Compatible FSK Controls
- 6) Suplay tegangan 10 V- 26 V



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")

Gambar 2.4 Konfigurasi pin IC XR2206

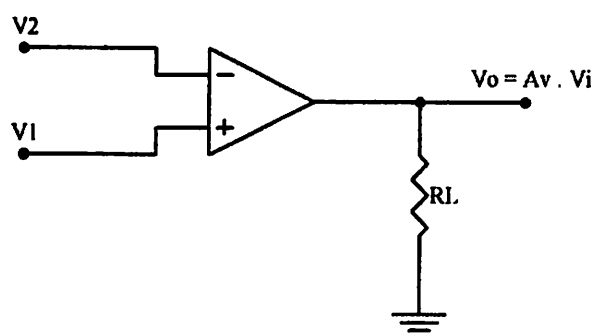
2.4. Operasional Amplifier (Op-Amp)

Penguat operasi (operating amplifier, dikenal sebagai op-amp) adalah suatu penguat gandengan langsung dengan gain tinggi dan dilengkapi dengan umpan

balik untuk mengendalikan kinerjanya secara menyeluruh. Penguat operasi biasanya diperoleh dalam rangkaian terintegrasi (integrated circuit = IC) analog. Penguat operasi telah memperoleh pengakuan secara luas sebagai suatu komponen elektronik yang serba guna, dapat diandalkan dan ekonomis.

Suatu penguat operasi ideal mempunyai beberapa karakteristik (tanpa umpan balik):

- impedansi masukan $Z_i = \infty$
- impedansi keluaran $Z_o = 0$
- penguatan tegangan $A_v = \infty$
- keseimbangan sempurna $V_o = 0$ bila $V_1 = V_2$
- karakteristik tak berubah karena suhu



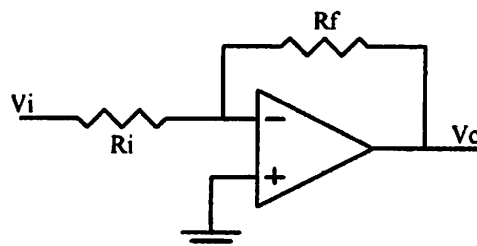
Gambar 2.5 Rangkaian Op-Amp dasar

Suatu penguat operasi dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya penguat membalik, penguat tak membalik, penjumlah, penggeser fasa, pengubah tegangan ke arus, pengubah arus ke tegangan, pengikut tegangan DC dan sebagainya.

2.4.1. Inverting Amplifier

Inverting amplifier ini, input dengan outputnya berlawanan polaritas. Jadi ada tanda minus pada rumus penguatannya. Penguatan inverting amplifier adalah bias lebih kecil nilai besaran dari 1, misalnya -0.2, -0.5, -0.7, dst dan selalu negatif. Persamaannya sebagai berikut:

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_i}\right) V_i \dots\dots\dots 2.14$$



Gambar 2.6 Rangkaian inverting amplifier

2.4.2. Non Inverting Amplifier

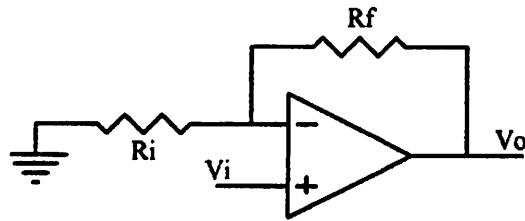
Rangkaian non inverting ini hampir sama dengan rangkaian inverting hanya perbedaannya adalah terletak pada tegangan inputnya dari masukan non inverting.

Persamaannya:

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1\right) V_i \dots\dots\dots 2.15$$

Hasil tegangan output noninverting ini akan lebih dari satu dan selalu positif.

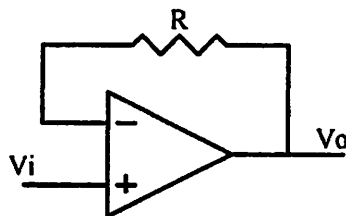
Rangkaiannya adalah seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2.7 Rangkaian non-inverting amplifier

2.4.3. Buffer

Rangkaian buffer adalah rangkaian yang inputnya sama dengan hasil outputnya. Dalam hal ini seperti rangkaian common kolektor yaitu berpenguatan = 1. Rangkaiannya ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 2.8 Rangkaian buffer

Nilai R yang terpasang digunakan untuk membatasi arus yang di keluarkan. Besar nilainya tergantung dari indikasi komponennya, biasanya tidak dipasang atau dengan kata lain arus dimaksimalkan sesuai dengan kemampuan op-ampnya.

2.4.4. Adder/Penjumlah

Rangkaian penjumlah atau rangkaian adder adalah rangkaian penjumlah yang dasar rangkaiannya adalah rangkaian inverting amplifier dan hasil outputnya adalah dikalikan dengan penguatan seperti pada rangkaian inverting. Pada dasarnya nilai outputnya adalah jumlah dari penguatan masing masing inverting.

$$V_{oa} = -\frac{R_f}{R_a} V_a$$

$$V_{ob} = -\frac{R_f}{R_b} V_b$$

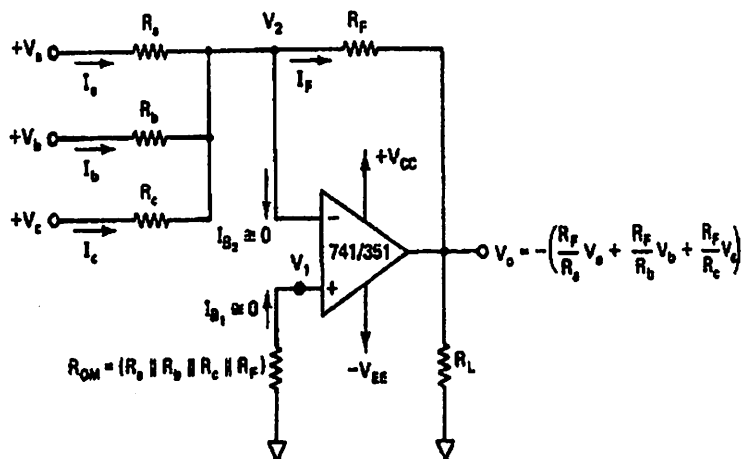
$$V_{oc} = -\frac{R_f}{R_c} V_c$$

$$V_{ot} = -R_f \left(\frac{1}{R_a} V_a + \frac{1}{R_b} V_b + \frac{1}{R_c} V_c \right) \dots\dots\dots 2.16$$

Bila $R_f = R_a = R_b = R_c$, maka persamaan menjadi:

$$V_o = -(V_a + V_b + V_c) \dots\dots\dots 2.17$$

Tahanan R_{OM} gunanya adalah untuk meletak titik nol supaya tepat, terkadang tanpa R_{OM} sudah cukup stabil. Rangkaian penjumlah dengan menggunakan non inverting sangat susah dilakukan karena tegangan yang diparalel akan menjadi tegangan terkecil yang ada, sehingga susah terjadi proses penjumlahan.



Gambar 2.9 Rangkaian penjumlah dengan hasil negatif

2.4.5. Subtractor/Pengurang

Rangkaian pengurang ini berasal dari rangkaian inverting dengan memanfaatkan masukan non-inverting. Rangkaian ini bisa terdiri 3 macam yaitu:

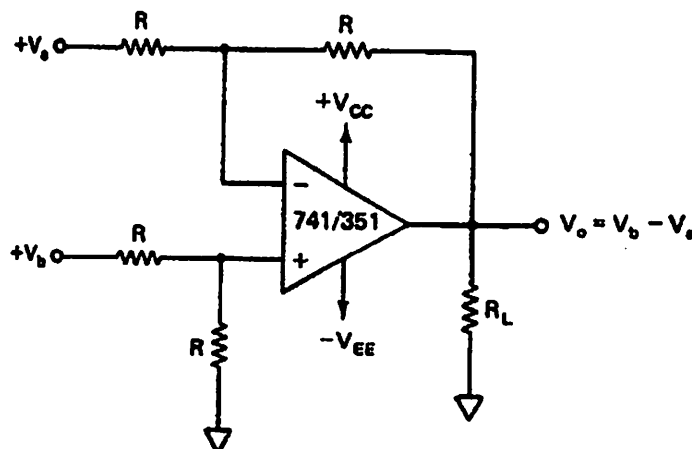
- Rangkaian dengan 1 op-amp
- Rangkaian dengan 2 op-amp
- Rangkaian dengan 3 op-amp

Rangkaian pengurang dengan 1 op-amp ini memanfaatkan kaki inverting dan kaki non-inverting. Supaya benar benar terjadi pengurangan maka nilai dibuat seragam seperti gambar 2.10. Persamaannya adalah:

$$V_o = \left(\frac{R}{R} + 1\right) \left(\frac{R}{R + R}\right) V_b - \frac{R}{R} V_a \dots\dots\dots 2.18$$

Sehingga

$$V_o = (V_b - V_a) \dots\dots\dots 2.19$$



Gambar 2.10 Rangkaian pengurang dengan 1 op-amp

Rangkaian pengurang dengan 2 op-amp tidak jauh berbeda dengan satu op-amp, yaitu salah satu input dikuatkan dulu kemudian dimasukkan ke rangkaian pengurang, seperti gambar dibawah ini. Perhitungan rumus yang terjadi pada titik V_z adalah:

$$V_z = \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) V_y \dots\dots\dots 2.20$$

Sehingga V_o menjadi

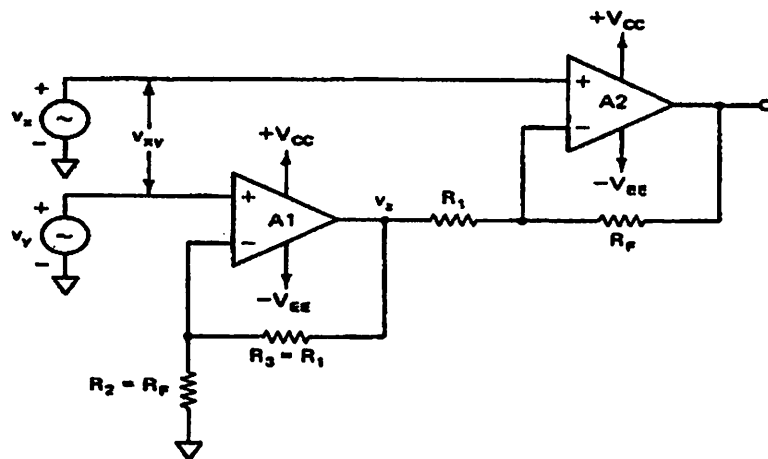
$$V_o = \left(-\frac{R_f}{R_1} \right) V_z + \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) V_x$$

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) V_x - \left(\frac{R_f}{R_1} \right) \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) V_y$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \left(V_x - \left(\frac{R_f}{R_1} \right) V_y \right) \dots\dots\dots 2.21$$

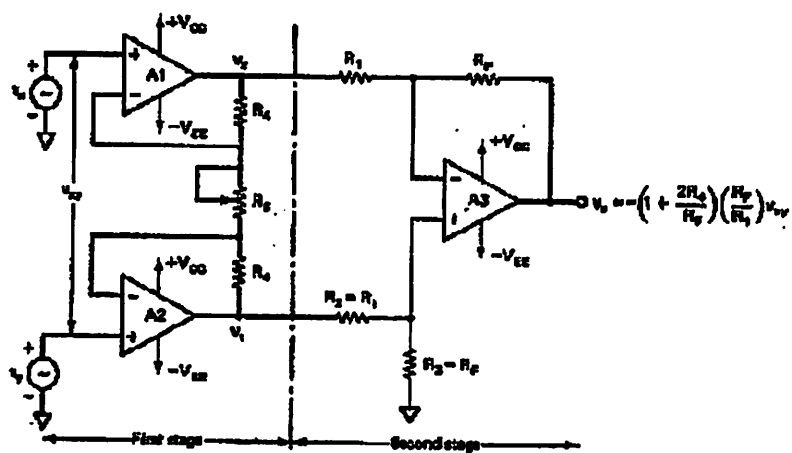
Bila $R_f = R_i$ maka persamaannya akan menjadi:

$$V_o = 2V_x - V_y \dots\dots\dots 2.22$$

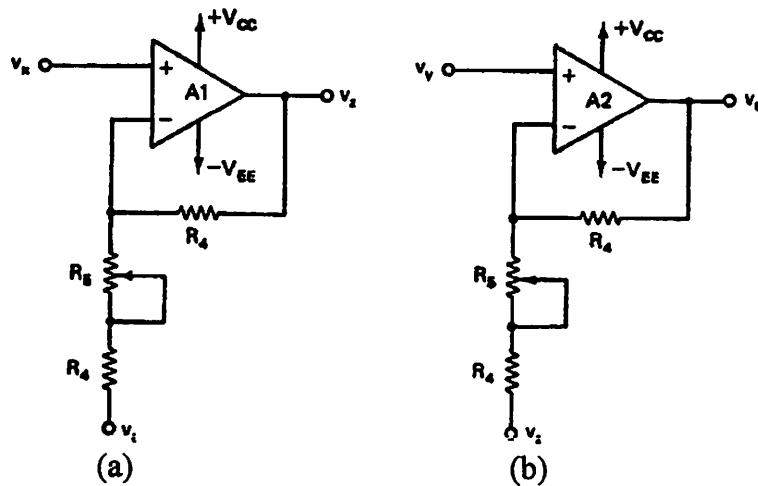


Gambar 2.11 Rangkaian pengurang dengan 2 op-amp

Rangkaian pengurang dengan 3 op-amp berbeda dengan yang lainnya. Ada 3 macam proses yang terjadi disini seperti pada gambar dibawah ini.



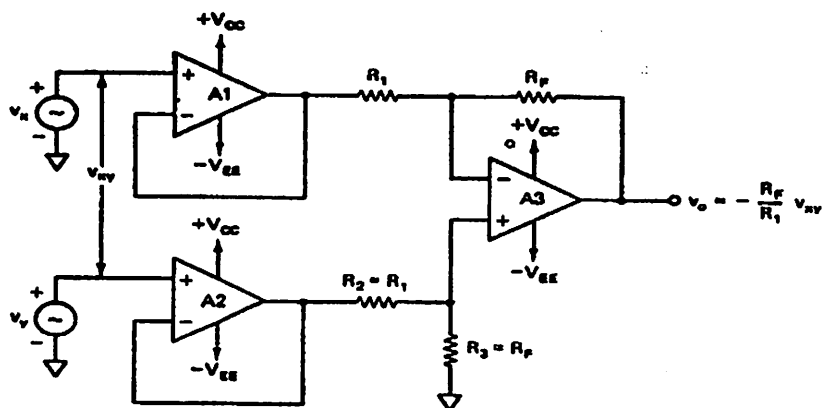
Gambar 2.12 Rangkaian pengurang dengan 3 op-amp



Gambar 2.13

Proses mencari persamaan pada rangkaian pengurang 3 op-amp

Rangkaian penguat 3 op-amp dengan buffer seperti pada gambar dibawah ini sangat persis seperti rangkaian penguat dengan 1 op-amp. Hal ini karena sebelum masuk dilewatkan buffer saja. Perhitungannya pun sama dengan rangkaian pengurang 1 op-amp



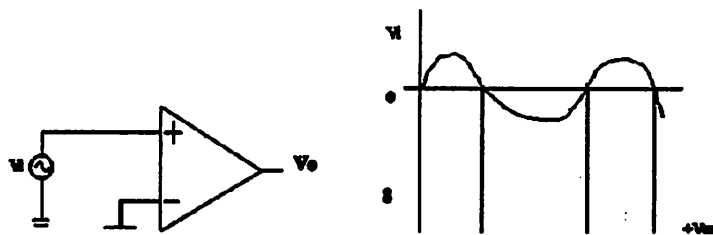
Gambar 2.14 Rangkaian pengurang 3 op-amp dengan buffer

2.4.6. Comparator/Pembanding

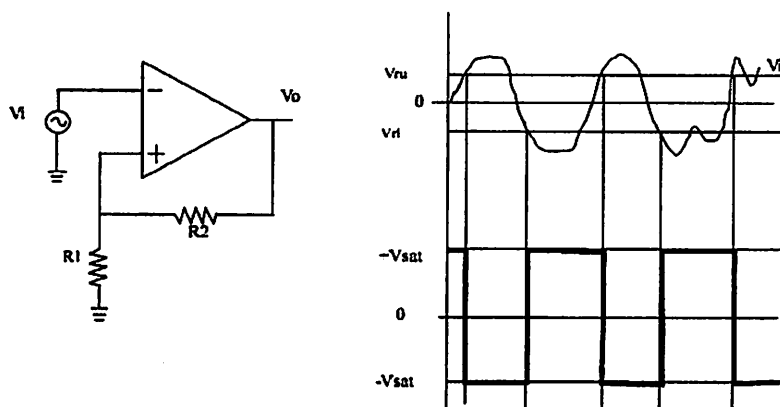
Rangkaian pembanding ini ada 3 macam yaitu:

- Rangkaian pembanding 1 op-amp tanpa jendela input
- Rangkaian pembanding 1 op-amp dengan jendela input
- Rangkaian pembanding 2 op-amp dengan jendela input proses output luar
- Rangkaian pembanding 2 op-amp dengan jendela input proses output dalam

Rangkaian pembanding dengan 1 op-amp tanpa jendela input, artinya rangkaian komparator/pembanding yang langsung dibandingkan. Seperti pada gambar berikut ini adalah komparator biasa dan hasilnya langsung dibandingkan dengan referensinya. Rangkaian komparator dengan jendela input rangkaiannya hampir sama dengan rangkaian non-inverting hanya saja parameternya terbalik.



Gambar 2.15 Rangkaian comparator/pembanding dengan referensi 0 volt

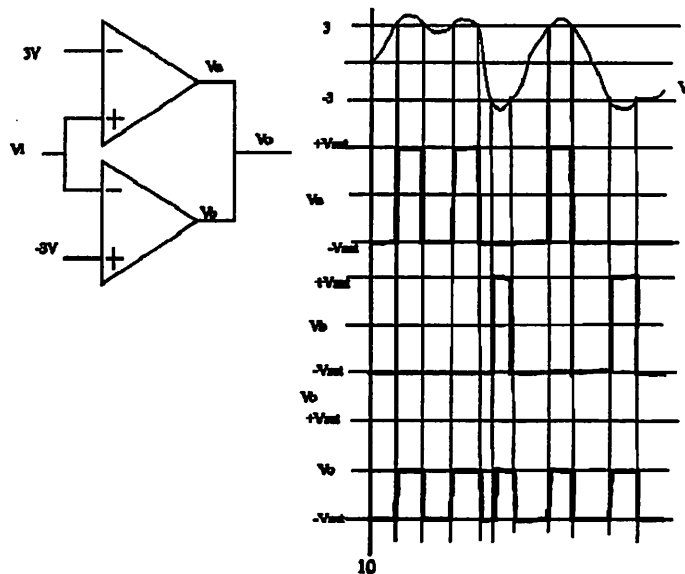


Gambar 2.16 Rangkaian comparator/pembanding dengan jendela

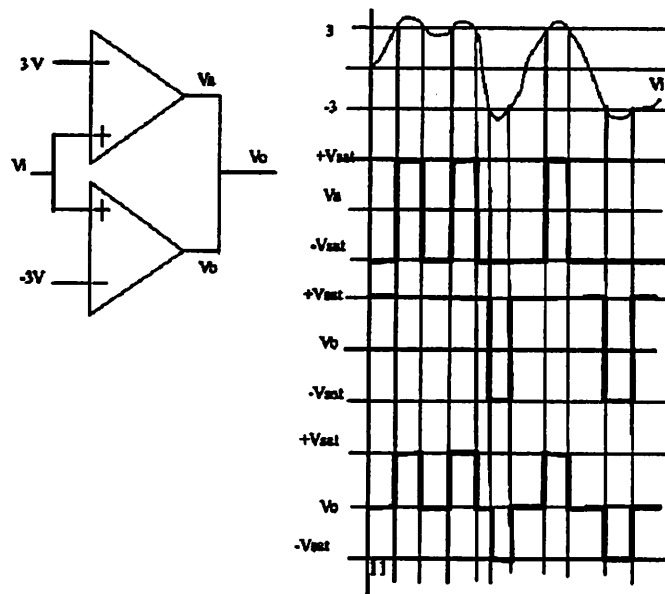
Perhitungan menentukan jendela Volt reference Up (V_{ru}) dan Volt reference low (V_{rl}) adalah sebagai berikut:



Sedangkan untuk komparator dengan 2 op-amp ada 3 macam variasi seperti gambar berikut:



Gambar 2.17 Rangkaian comparator 2 op-amp dengan output negatif



Gambar 2.18 Rangkaian comparator 2 op-amp dengan output campuran

Aplikasi untuk komparator semacam ini bisa dilihat dari hasil outputnya. Misal menginginkan hanya didalam jendela saja yang di proses atau hanya diluar jendela saja yang diproses dan sebagainya.

2.4.7. Differensiator

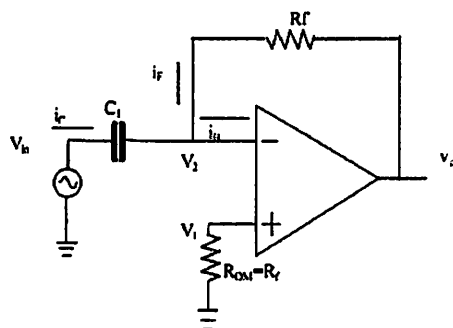
Rangkaian differensiator adalah rangkaian aplikasi dari rumusan matematika yang dipengaruhi oleh kerja kapasitor. Rangkaiannya ditunjukkan pada **gambar 2.19**. Untuk mendapatkan rumus differensiator, urutannya adalah sebagai berikut: $i_C = i_B + i_F$ dan selama nilai $i_B = 0$ maka $i_C = i_F$ selisih dari inverting input dan non-inverting input (v_1 dan v_2) adalah nol dan penguatan tegangannya sangat besar, maka didapat persamaan pengisian kapasitor sebagai berikut:

menjadi

$$C_1 \frac{dV_{in}}{dt} = -\frac{V_0}{R_F} \dots\dots\dots 2.26$$

atau

$$V_0 = -R_F C_1 \frac{dv_{in}}{dt} \dots\dots\dots 2.27$$



Gambar 2.19 Rangkaian differensiator op-amp

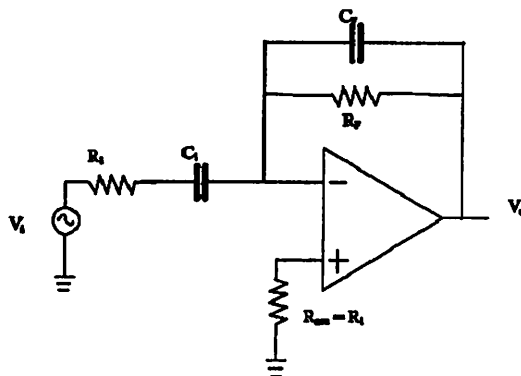
Pada rangkaian aplikasi rangkaian differensiator op-amp ini ada sedikit perubahan yaitu penambahan tahanan dan kapasitor yang fungsinya untuk menfilter sinyal masukan, seperti tampak pada gambar 2.19. Dengan demikian maka ada batasan input dari frekuensi yang masuk, batasan tersebut adalah:

$$f_a = \frac{1}{2 \pi R_F C_1} \dots\dots\dots 2.28$$

sedangkan nilai frekuensi yang diakibatkan oleh $R_F C_1$ adalah:

Bila sinyal input melebihi frekuensi f_a maka hasil output akan sama dengan hasil input, atau dengan kata lain fungsi rangkaian tersebut tidak lagi differensiator lagi tapi sebagai pelewat biasa. Sedangkan untuk gambar 2.20 biasanya digunakan untuk rangkaian aplikasi yang di integrasikan dengan rangkaian lain. Syarat perhitungan nilai nilai R_1 , C_1 , R_F , C_F adalah sesuai dengan syarat sebagai berikut:

sehingga frekuensi input akan dilewatkan terlebih dahulu ke R_1 , C_1 , R_F bila frekuensinya melebihi f_a .



Gambar 2.20 Rangkaian aplikasi differensial op-amp

2.4.8. Integrator

Rangkaian integrator op-amp ini juga berasal dari rangkaian inverting dengan tahanan umpan baliknya diganti dengan kapasitor. Proses perhitungannya sebagai berikut:

$$i_1 = I_B + i_F \dots\dots\dots 2.30$$

I_B diabaikan karena sangat kecil nilainya, sehingga:

$$i_1 \cong i_F \dots\dots\dots 2.31$$

arus pada kapasitor adalah

$$i_C = C \frac{dv_C}{dt} \dots\dots\dots 2.32$$

sehingga

$$\frac{v_{in} - v_2}{R_1} = C_F \left(\frac{d}{dt} \right) (v_2 - v_0) \dots\dots\dots 2.33$$

karena $v_1 = v_2 \cong 0$, dan penguatan A terlalu besar, sehingga

$$\frac{v_{in}}{R_1} = C_F \left(\frac{d}{dt} \right) (-v_0)$$

$$\int_0^t \frac{v_{in}}{R_1} dt = \int_0^t C_F \frac{d}{dt} (-v_0) dt = C_F (-v_0) + v_0 |_{t=0} \dots \dots \dots 2.34$$

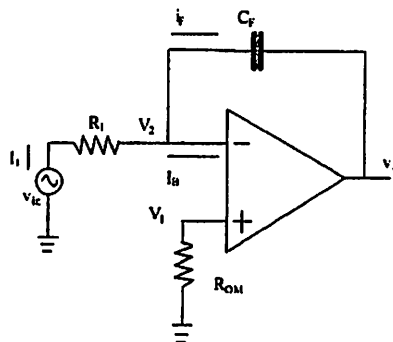
sehingga persamaannya menjadi:

$$v_0 = -\frac{1}{R_1 C_F} \int_0^t v_{in} dt + C \dots \dots \dots 2.35$$

Batas frekuensi yang dilalui oleh kapasitor dalam rangkaian integrator adalah:

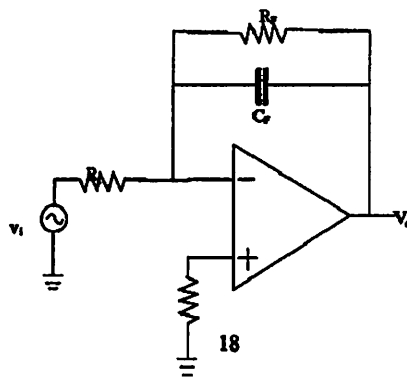
$$f_0 = \frac{1}{2 \pi R_1 C_F} \dots \dots \dots 2.36$$

Biasanya rangkaian untuk aplikasi ada penambahan tahanan yang diparalel dengan kapasitor (R_F). Pada gambar 2.21 ditunjukkan rangkaian integrator yang belum di tambah tahanan yang diparalel dengan kapasitor. Nilai R_{OM} adalah antara nol sampai dengan R_1 .



Gambar 2.21 Rangkaian integrator op-amp sederhana

Perhitungan nilai untuk R_F berkaitan dengan komponen lainnya yaitu $f_a < f_b$ dimana rumus f_a adalah :



Gambar 2.22 Rangkaian integrator op-amp untuk aplikasi

2.5. Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

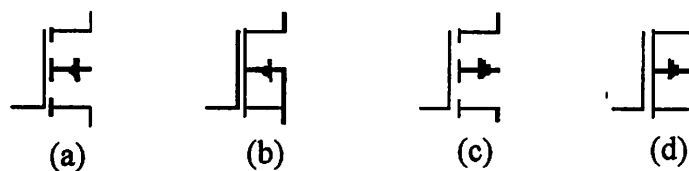
Dalam JFET, besar keefektifan pada channel dikontrol oleh medan listrik yang diberikan ke channel melalui P-N junction. Bentuk lain dari piranti pengaruh medan dicapai dengan penggunaan bahan elektroda gate yang dipisahkan oleh lapisan oxide dari channel semikonduktor. Pengaturan metal oxide semikonduktor (MOS) memungkinkan karakteristik channel dikontrol oleh medan listrik dengan memberikan tegangan diantara gate dan body semikonduktor dan pemindahan melalui lapisan oxide. Seperti halnya piranti yang disebut dengan MOSFET atau

MOS Transistor. Hal ini penting digaris bawahi dengan kenyataan bahwa IC lebih banyak dibuat dengan piranti MOS dari pada jenis piranti semikonduktor lain.

Ada dua tipe MOSFET. Deplesi MOSFET mempunyai tingkah laku yang sama dengan JFET pada saat tegangan gate nol dan tegangan drain tetap, arus akan maksimum dan kemudian menurun ketika diberikan potensial gate dengan polaritas yang benar (piranti normally on). Jenis yang lain dari piranti ini disebut dengan Enhancement MOSFET yang menunjukkan tidak ada arus pada saat tegangan gate nol dan besar arus sebanding dengan pertambahan besar potensial gate (normally off). Kedua tipe dapat berada dalam salah satu jenis channel P atau N.

2.5.1. Simbol Rangkaian MOSFET

Terdapat 4 simbol yang digunakan untuk MOSFET yang ditunjukkan pada gambar 2.23. Simbol-simbol pada gambar 2.23.(a) dan 2.23.(b) merupakan MOSFET channel N yang digunakan untuk enhancement dan depletion device. Simbol pada gambar 2.23.(c) dan 2.23.(d) merupakan MOSFET channel P yang digunakan pada mode enhancement dan depletion device.

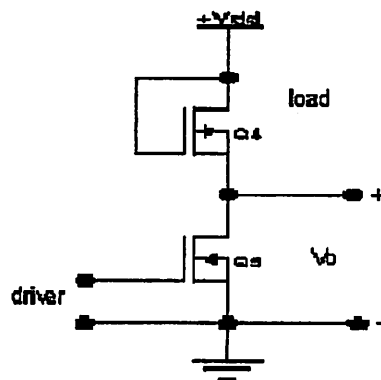


Gambar 2.23 Simbol MOSFET

Pengertian positif untuk semua terminal arus menuju ke dalam piranti. Kemudian MOSFET channel N, I_d adalah positif dan I_s adalah negatif. Ketika $I_d = I_s$, I_g sebenarnya berharga nol. Tegangan drop diantara drain dan source didesain oleh V_{ds} , V_{gs} digunakan untuk menunjukkan tegangan drop dari gate ke source. Untuk MOSFET channel P digunakan dengan arah reverse. Terminal arus dan terminal tegangan adalah negatif sebanding dengan kualitas MOSFET channel N. Source dan substrate dihubungkan singkatkan di dalam MOSFET channel P yang standard.

2.5.2. MOSFET Sebagai Switch

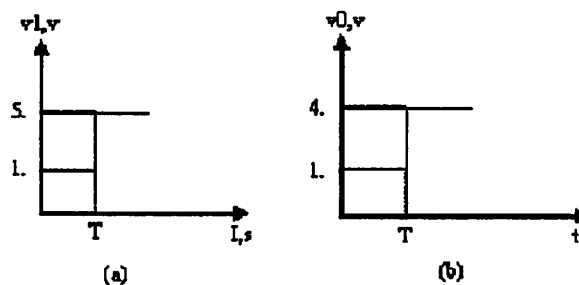
MOSFET digunakan secara ekstensif dalam rangkaian digital, piranti ini memiliki karakteristik switch. Rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 2.24 menunjukkan pengoperasian switch pengendali.



Gambar 2.24 Rangkaian switch pengendali

Bentuk gelombang tegangan masukan dan keluaran rangkaian pada gambar 2.24 adalah seperti terlihat pada gambar 2.25. Untuk $t < T$, tegangan input 1,5

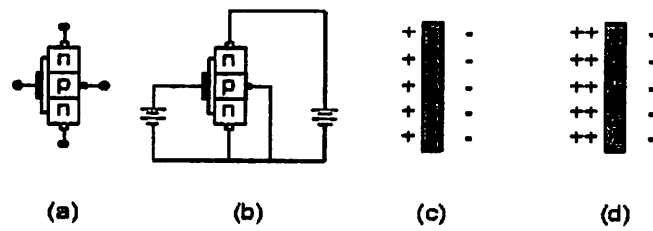
Volt, kemudian karakteristik V_0 - V_1 , dapat diketahui bahwa $V_0 = 4$ Volt. Arus pada rangkaian ID1 adalah nol. Karakteristik switch open ini adalah tegangan yang melewati switch cukup besar, sedangkan arus adalah nol. Untuk $t > T$, tegangan masukan adalah 5 Volt, $V_0 = 1,5$ Volt dan $I_{d1} = 250 \mu\text{A}$.



Gambar 2.25 Bentuk gelombang tegangan input dan output

2.5.3. Karakteristik MOSFET

MOSFET adalah semikonduktor FET oksida logam yang mempunyai sumber, gerbang dan penguras. Akan tetapi berbeda dengan JFET, gerbang MOSFET diisolasi dengan saluran. Maka arus gerbang sangat kecil, untuk gerbang positif atau negatif. MOSFET yang sangat penting dalam rangkaian-rangkaian digital dikenal dengan MOSFET jenis pengisian, ditunjukkan pada gambar 2.26.



Gambar 2.26 MOSFET jenis pengisian

- a) Struktur
- b) Prategangan normal
- c) Pembentukan ion negatif
- d) Pembentukan Lapisan Inversi tipe-n

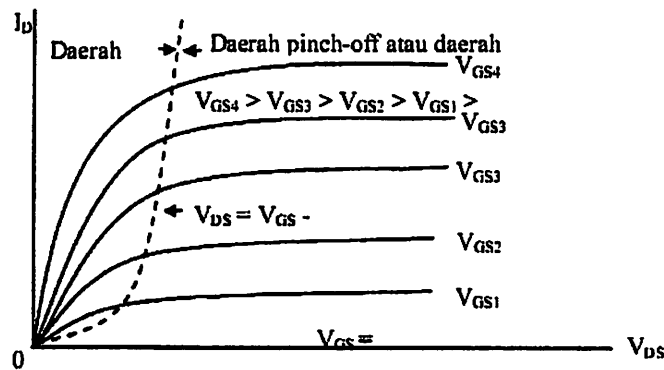
Untuk memperoleh arus penguras, harus menerapkan tegangan yang cukup positif pada gerbang. Gerbang bekerja sebagai sebuah pelat kapasitor, dioksida silikon bekerja sebagai bahan dielektrik dan substrat-p sebagai pelat kapasitor yang lain.

Lapisan elektron bebas yang terbentuk berdampan dengan dioksida silikon. Lapisan ini tidak bekerja sebagai suatu semikonduktor tipe-p melainkan nampak sebagai konduktor tipe-n disebabkan oleh elektron-elektron bebas yang diimbaskan. Maka lapisan bahan p yang bersinggungan dengan dioksida silikon disebut sebuah lapisan inversi tipe-n.

Tegangan gerbang sumber minimum yang menghasilkan lapisan inversi tipe-n disebut tegangan ambang (threshold voltage) dinyatakan dengan V_{gs} . Apabila tegangan gerbang kurang dari tegangan ambang, tidak ada arus yang mengalir dari sumber ke penguras. Tetapi apabila tegangan gerbang lebih besar dari tegangan ambang, lapisan inversi tipe-n menghubungkan sumber ke penguras dan diperoleh

arus. Tegangan ambang tergantung pada tipe khusus dari MOSFET. Untuk MOSFET IRFP460 tegangan ambangnya 2v–6v.

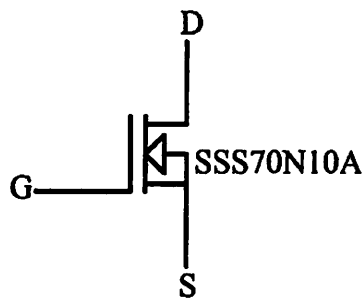
Gambar 2.27 memperlihatkan suatu kumpulan dari kurva-kurva penguras MOSFET jenis pengisian. Lengkungan yang paling bawah adalah kurva V_{GS} . Apabila V_{DS} kurang dari V_{GS} , arus penguras secara ideal sama dengan nol dan MOSFET berada pada keadaan tertentu. Apabila V_{DS} lebih besar dari V_{GS} arus penguras muncul.



Gambar 2.27 Karakteristik keluaran MOSFET tipe Enhancement

2.5.4. MOSFET SSS70N10A

Merupakan MOSFET channel N yang digunakan untuk depletion device, ditunjukkan oleh **gambar 2.28**.



Gambar 2.28 MOSFET SSS70N10A

Adapun karakteristik dari MOSFET ini antara lain:

- Drain to source voltage (V_{DSS}) 100 V
- Drain current (I_D) 28 A
- Gate to source voltage (V_{GS}) ± 20 V
- 175° C operating temperature

2.6. Inverter

Konverter DC ke AC dinamakan inverter. Fungsi sebuah inverter adalah mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC simetris dengan besar dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan outputnya bisa tertentu dan bisa juga diubah-ubah dengan frekuensi tertentu atau frekuensi yang diubah-ubah. Tegangan output variabel didapat dengan mengubah-ubah tegangan input DC agar gain inverter konstan. Disisi lain, apabila tegangan input DC adalah tertentu dan tidak bisa diubah-ubah, bisa didapatkan tegangan output yang variable dengan mengubah-ubah gain dari inverter. Gain inverter didefinisikan sebagai rasio tegangan output AC terhadap tegangan input DC.

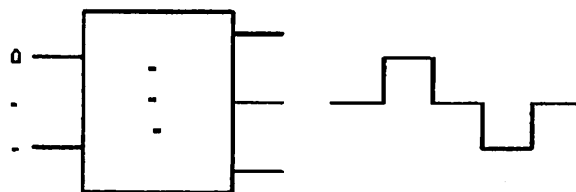
Bentuk gelombang tegangan output inverter ideal adalah sinus. Tetapi kenyataannya bentuk gelombang tegangan output inverter tidaklah sinus dan mengandung harmonisa tertentu. Untuk penerapan dengan daya rendah dan menengah, gelombang kotak simetri ataupun tidak simetri bisa digunakan, sedangkan untuk penerapan dengan daya tinggi dibutuhkan gelombang sinus dengan sedikit distorsi. Dengan kemampuan piranti semikonduktor daya

kecepatan tinggi yang tersedia, kandungan harmonisa dalam bentuk gelombang output bisa dikurangi dengan teknik pensaklaran (switching).

Jenis inverter berdasarkan sistem fasa dibedakan menjadi satu fasa atau tiga fasa. Sedangkan jenis inverter berdasarkan masukan yang digunakan meliputi: VSI (Voltage Source Inverter) sumber masukan berupa tegangan dan CSI (Current Source Inverter) sumber masukan berupa arus.

2.6.1. Voltage Source Inverter

VSI (Voltage Source Inverter) adalah inverter yang inputannya berupa tegangan searah dan kemudian oleh inverter diubah menjadi tegangan output bolak-balik, dengan bentuk gelombang persegi seperti tampak pada gambar 2.29.



Gambar 2.29 Inverter sumber tegangan

Inverter sumber tegangan dapat dibagi tiga kategori, yaitu:

a. Inverter tipe Pulse Width Modulation (PWM)

Pada inverter jenis ini, tegangan masukan DC yang digunakan tetap sedang yang diatur adalah frekuensi dan besar tegangan keluaran. Pengaturan dilakukan dengan pemodulasian lebar pulsa dari sinyal switching. Sehingga inverter ini disebut Inverter PWM. Salah satu pemodulasian lebar pulsa adalah Sinus PWM yang menggunakan tegangan sinus sebagai sinyal kontrol.

b. Inverter Gelombang Persegi

Pada inverter ini, tegangan masukan DC diatur untuk mendapatkan tegangan keluaran yang bervariasi, maka inverter ini hanya diatur besar tegangan keluaran. Bentuk tegangan keluaran adalah persegi.

c. Inverter Pergeseran Tegangan

Pada inverter ini dimungkinkan mengatur besar dan frekuensi tegangan keluaran dengan tegangan masukan DC tetap. Secara praktis tegangan keluaran inverter mengandung harmonisa dan kualitas inverter dinyatakan dalam parameter-parameter berikut:

- **Faktor Harmonisa (HF_n)**

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana: V_1 = nilai efektif komponen fundamental

V_n = nilai efektif komponen harmonisa ke-n

- **Total Harmonisa Distortion (THD)**

Kualitas bentuk gelombang sinusoidal dinyatakan dalam bentuk THD (*Total Harmonisa Distortion*)

$$THD = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.40)$$

- **Distortion Factor (DF_n)**

$$DF_n = \frac{V_n}{V_1 n^2} \dots\dots\dots (2.41)$$

- **Lowest Order Harmonic**

LOH: Komponen harmonisa yang frekuensinya ditutup pada fundamental dan amplitudonya lebih besar atau sama dengan 3% terhadap komponen.

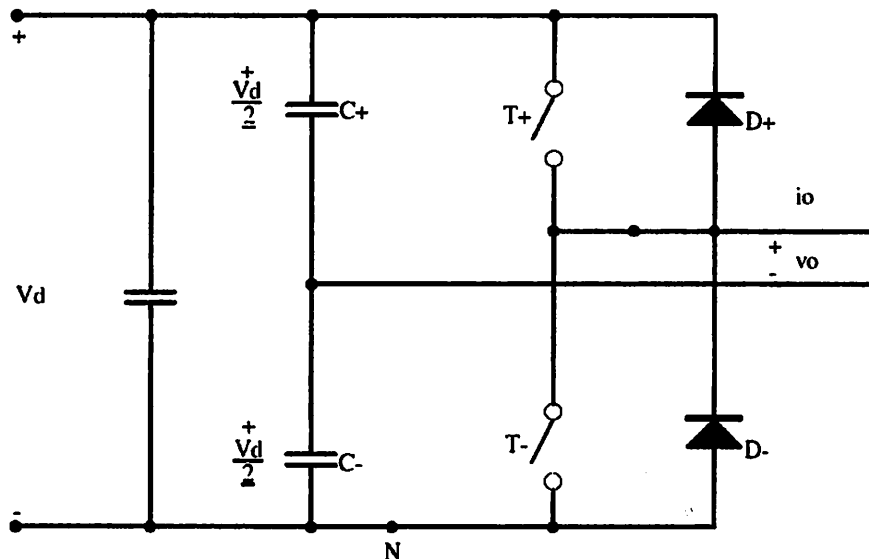
2.6.2. Inverter Satu Phasa

Inverter satu phasa adalah inverter yang outputnya berupa tegangan atau arus bolak-balik 1 phasa. Inverter ini biasanya digunakan untuk daya reaktif kecil. Berdasarkan metode switchingnya, dikenal 2 jenis inverter satu phasa, yaitu half bridge inverter dan full bridge inverter. Untuk inverter setengah jembatan (*half bridge inverter*) hanya terdiri atas 2 buah komponen inverter, sedangkan untuk inverter jembatan penuh (*full bridge inverter*) terdiri atas 4 buah komponen inverter.

2.6.2.1. Half Brigde Inverter

Pada gambar 2.30 ditunjukkan rangkaian half bridge inverter. Dua buah kapasitor yang mempunyai nilai sama disambung secara seri dan melintang dengan tegangan input DC dan sambungan potensial kapasitor yang berada di tengah-tengah dengan tegangan yang melintang pada setiap kapasitor.

Dengan memperhatikan switch state arus yang berada diantara dua buah kapasitor $C+$ dan $C-$ (yang mana sama dan mempunyai nilai yang besar) dibagi sama besar. Ketika $T+$ ON, $D+$ akan konduksi tergantung dari arah arus keluaran, dan arah arus i_o dibagi sama besar oleh dua buah kapasitor. Hampir sama seperti ketika $T-$ ON, $D-$ akan konduksi tergantung dari arah arus keluaran i_o yang dibagi sama besar oleh dua buah kapasitor. Kapasitor $C+$ dan $C-$ sangat efektif jika disambung secara paralel pada jalur yang dilalui oleh i_o .



Gambar 2.30 Half Bridge Inverter Satu Fasa

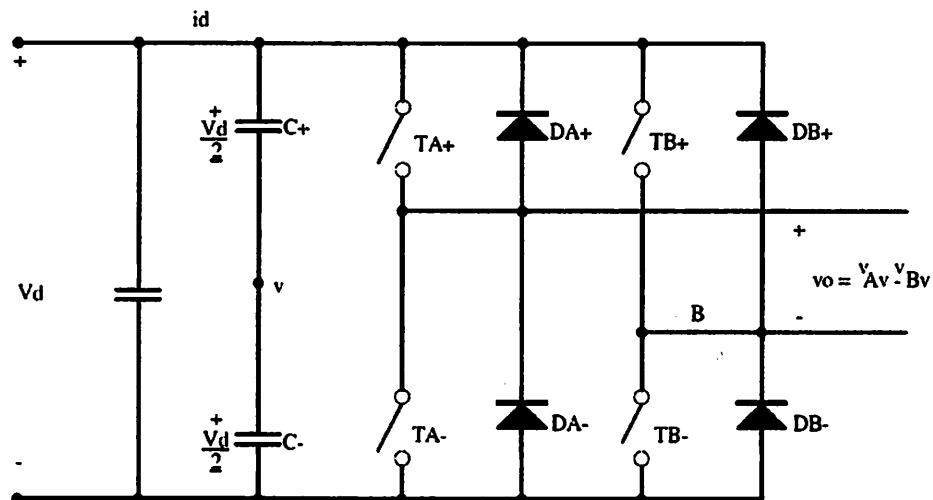
Ketika i_o mengalir terus ke paralel $C+$ dan $C-$, i_o akan steady state. Karena itu kapasitor ini bekerja seperti sumber DC membloking kapasitor, untuk menyelesaikan masalah saturasi pada trafo pada sisi primer, jika sebuah transformator digunakan pada keluaran inverter disediakan isolasi elektrik. Pada half bridge inverter tegangan puncak dan rating arus pada setiap switch adalah:

$$V_T = V_d \quad \dots\dots\dots (2.42)$$

$$I_T = i_o \text{ puncak} \quad \dots\dots\dots (2.43)$$

2.6.2.2. Full Bridge Inverter

Full Bridge Inverter ditunjukkan pada gambar 2.31. Inverter ini terdiri dari 2 pasang inverter tipe half bridge dan lebih banyak digunakan untuk rating daya besar. Dengan tegangan input DC yang sama, tegangan output maksimum menjadi dua kali dari half bridge inverter.



Gambar 2.31 Full Bridge Inverter Satu Fasa

Tegangan keluaran rms dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_o = \left(\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \quad \dots\dots\dots (2.44)$$

Untuk menyatakan tegangan keluaran sesaat dalam foerier series sebagai berikut:

$$V_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n \omega t \quad \dots\dots\dots (2.45)$$

dan untuk $n = 1$ pada persamaan 9 maka nilai rms dari komponen fundamental adalah:

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2}\pi} \quad 0,90 V_s \quad \dots\dots\dots (2.46)$$

Persamaan arus beban sesat i_o untuk beban RL adalah:

$$i_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n) \quad \dots\dots\dots (2.47)$$

$$\text{dimana } \theta_n = \tan^{-1} (n\omega L/R) \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

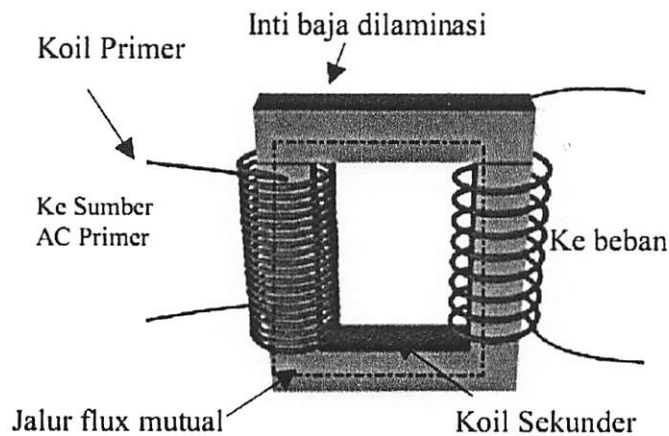
2.7. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga

memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkaian dengan rangkaian yang lain, dan untuk menghambat arus searah sambil tetap mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

- 1) transformator daya
- 2) transformator distribusi
- 3) transformator pengukuran, yang terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan



Gambar 2.32 Transformator dasar

Transformator terdiri dari 2 bagian utama, yaitu bagian primer dan bagian sekunder. Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal 2 macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Maka kumparannya dibagi

menjadi dua bagian menurut keperluan sistem mesin tersebut. Disini berlaku arus listriknya ditransfer dari kumparan pertama menuju ke kumparan yang kedua oleh sebab itu dalam kumparannya dibagi dua bagian dengan fungsi sendiri-sendiri yang berbeda satu dengan lainnya, sebab fungsi yang pertama bekerja menerima sumber arus, dan yang kedua meneruskan sumber arus yang sudah diolah menjadi arus yang sesuai dengan keperluannya. Maka kumparan yang kedua disebut sekunder dan yang menerima sumber arus listrik pertama disebut kumparan primer.

2.7.1. Prinsip Dasar Transformator

Piranti transformator banyak digunakan untuk berbagai keperluan yang disesuaikan dengan kondisinya. Transformator bisa berfungsi apabila ada tegangan, bila tidak ada tegangan maka tidak akan berhasil melakukan perubahan tegangan yang lebih tinggi atau yang lebih rendah. Oleh sebab itu dalam sistem kerja transformator dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Transformator penaik tegangan (*Step Up*)
2. Transformator penurun tegangan (*Step Down*)

Pada transformator penaik tegangan (*Step Up*) lilitan tegangan rendahnya merupakan sisi primer, sedangkan lilitan tegangan tingginya merupakan sisi sekunder. Adapun transformator penurun tegangan (*Step Down*) lilitan tegangan tingginya merupakan sisi primer dan lilitan tegangan rendahnya merupakan sisi sekunder.

2.7.2. Prinsip Kerja Transformator

Pada dasarnya prinsip kerja transformator adalah menggunakan *Induksi Elektromagnetik*. Apabila sisi kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan, maka arus mengalir pada kumparan primer, karena rangkaian tersebut merupakan rangkaian tertutup maka timbul fluksi yang akan menginduksi kumparan sekunder dimana pada kumparan sekunder tersebut akan timbul tegangan atau tegangan induksi. Tegangan yang diinduksikan dari induksi kumparan primer adalah tegangan lawan, berlawanan polaritas, dan hampir sama magnitudenya dengan tegangan yang disuplaikan. Tegangan lawan yang tinggi ini membatasi arus penguatan pada nilai yang sangat rendah. Tegangan yang diinduksikan pada kumparan sekunder adalah akibat dari induktansi bersama. Karena daya transformator umumnya mempunyai fluks gabungan hampir sebesar 100% maka tegangan yang sama akan terinduksi pada tiap lilitan kumparan. Oleh karena itu, tegangan total yang diinduksikan akan berbanding lurus dengan lilitan pada kumparan.

Bagian-bagian terpenting dari transformator:

- a) Inti/teras/kern.
- b) Kumparan primer, dihubungkan dengan sumber listrik.
- c) Kumparan sekunder, dihubungkan dengan beban.

2.7.3. Hubungan Antara Daya, Tegangan, dan Arus

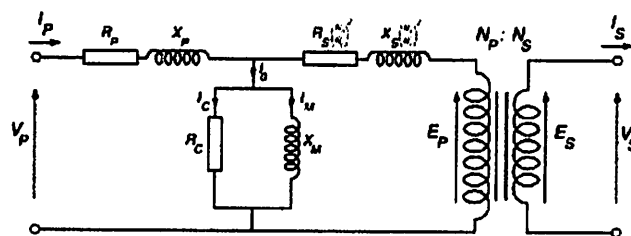
Transformator menaikkan, menurunkan tegangan atau menyamakan tegangan antara kumparan primer dan sekunder tanpa rugi daya yang besar. Output daya

transformator = input daya transformator dikurangi kerugian internal dan merupakan hasil kali tegangan dan arus.

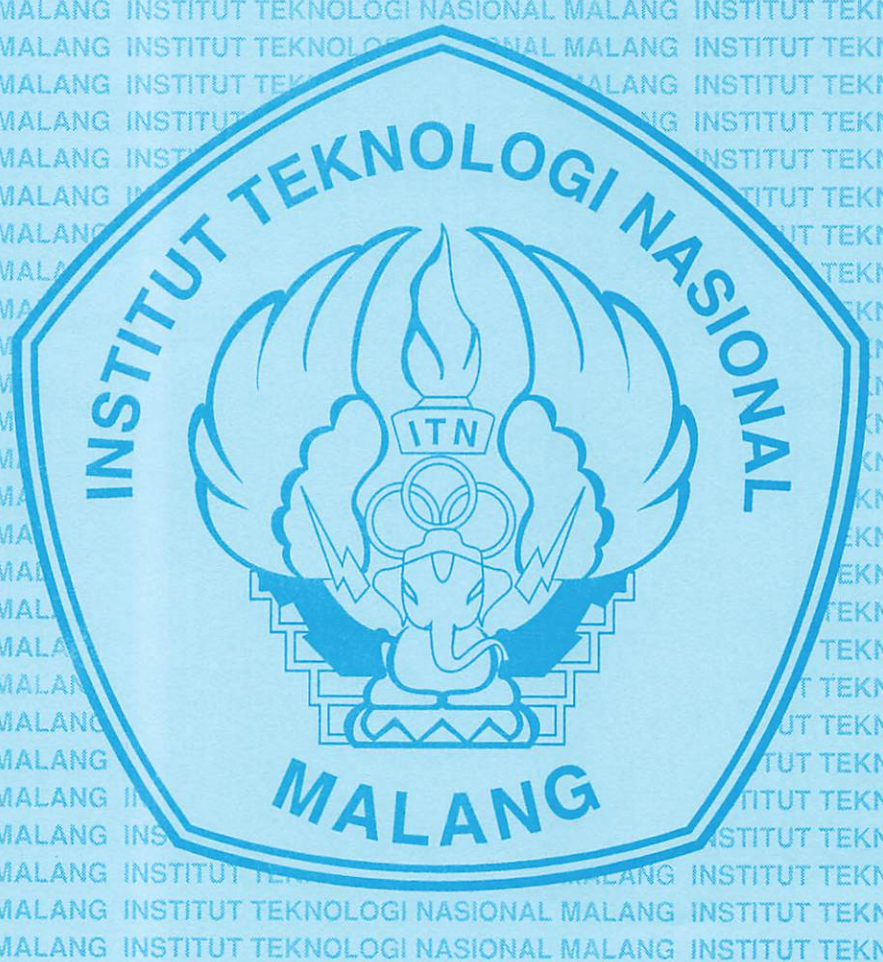
Tidak ada keuntungan atau kerugian energi pada transformator ideal. Energi yang ditransfer dari rangkaian primer ke rangkaian sekunder ini adalah tegangan yang dikalikan dengan arus rangkaian primer sama dengan tegangan dikalikan arus rangkaian sekunder. Dengan perkataan lain, pada transformator ideal output daya harus sama dengan input daya. Ada beberapa kerugian daya transformator dalam praktek, tetapi rata-rata efisiensi transformator tidak lebih baik dari 90%.

Transformator mempunyai dua fungsi yaitu sebagai konversi tegangan step up atau step down dan menyediakan isolasi elektrik antara input dengan output. Model transformator ideal ditunjukkan pada gambar 2.33. dimana antara input dengan output mempunyai hubungan :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{dan} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad \dots\dots\dots (2.49)$$



Gambar 2.33 Rangkaian ekuivalen transformator



BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Konfigurasi Sistem

Perencanaan dan pembuatan perangkat keras pengubah dc ke ac (inverter) pada tugas akhir ini mengacu pada blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Blok diagram sistem pengubah dc ke ac (inverter) pada daya cadangan rumah tangga

3.2. Prinsip Kerja

Rangkaian inverter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengkonversikan daya arus searah menjadi daya arus bolak-balik dengan tegangan dan frekuensi yang diinginkan. Rangkaian ini menggunakan MOSFET sebagai komponen utamanya. Dalam tugas akhir ini adalah pengubah dc ke ac (inverter) pada daya cadangan rumah tangga. Inverter ini menggunakan MOSFET sebagai switchingnya. Sumber masukan 12 Volt DC diperoleh dari accu. Tegangan 12 Volt DC diubah menjadi 12 Volt AC oleh rangkaian sinus generator. Rangkaian pengkondisi sinyal digunakan untuk memperkuat sinyal keluaran dari rangkaian sinus generator sebelum diumpankan ke rangkaian Driver Power (MOSFET). Tegangan keluaran dari rangkaian MOSFET Driver kemudian diubah

menjadi 220 Volt AC oleh transformator. Tegangan 220 Volt sudah dapat digunakan oleh beban.

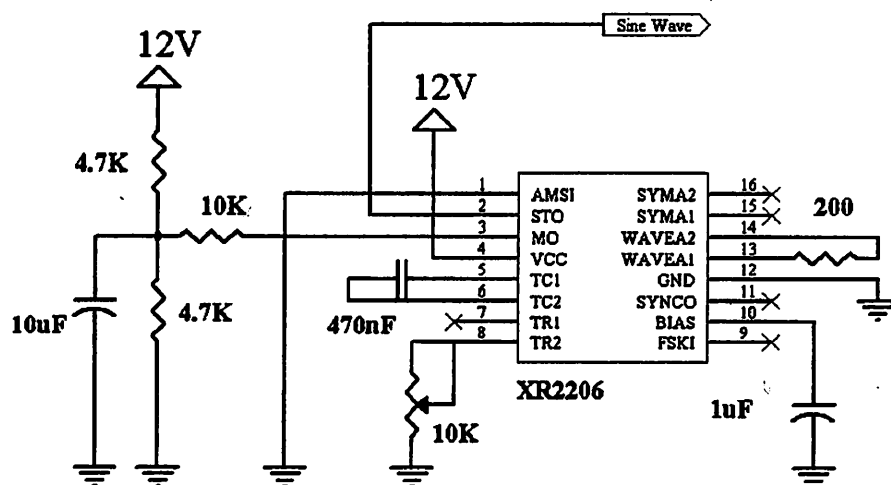
Berdasarkan gambar 3.1, perencanaan dan pembuatan perangkat keras pada tugas akhir ini meliputi:

1. Perencanaan dan pembuatan rangkaian sinus generator
2. Perencanaan dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal
3. Perencanaan dan pembuatan rangkaian MOSFET DC ke AC Driver
4. Perencanaan dan pembuatan rangkaian pengubah DC ke AC (inverter) secara keseluruhan.

3.3. Perencanaan dan Pembuatan Perangkat Keras

3.3.1. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Osilator

Perencanaan dan pembuatan rangkaian osilator pembangkit sinyal gelombang sinus (sinus generator) secara lengkap ditunjukkan oleh gambar 3.2 dibawah:



Gambar 3.2 Rangkaian osilator pembangkit gelombang sinus

Dari gambar 3.2 skema pembangkit gelombang sinus, pada pin no 5 dan 6 dipasang sebuah kapasitor bipolar. Kapasitor bipolar ini sangat penting sekali untuk membangkitkan sinyal yang memiliki frekuensi sesuai dengan yang kita inginkan. Karena nilai frekuensi sangat dipengaruhi sekali oleh harga kapasitor dan harga resistor, sesuai dengan persamaan:

$$f = \frac{1}{R \times C} \dots\dots\dots 3.1$$

Maka harga resistor yang dihubungkan pada pin no 8 pada IC XR2206 ini dipasang resistor yang bervariasi (trimpot). Karena kita tidak bisa mendapatkan suatu komponen resistor yang nilai hambatannya sangat presisi sekali dan konstan. Selalu pasti ada nilai toleransinya. Jadi untuk mendapatkan suatu nilai frekuensi yang kita inginkan, nilai komponen kapasitornya dipakai yang tetap, tapi untuk nilai resistornya dipakai yang dapat diubah-ubah (variable). Dengan tujuan kita mampu mengeset besar frekuensi sesuai dengan yang kita inginkan.

Kapasitor yang dihubungkan pada pin 5 dan 6 dari IC XR2206 adalah kapasitor bipolar dengan harga 470 nF. Untuk resistor digunakan trimpot dengan harga 10 K. Pada rangkaian sinus generator ini diinginkan nilai frekuensi keluaran adalah sebesar 50 Hz, maka nilai resistor yang digunakan berdasarkan persamaan 3.1 adalah:

$$f = \frac{1}{R \times C}$$

$$R = \frac{10^9}{50 \times 470} = \frac{10^9}{235 \times 10^3}$$

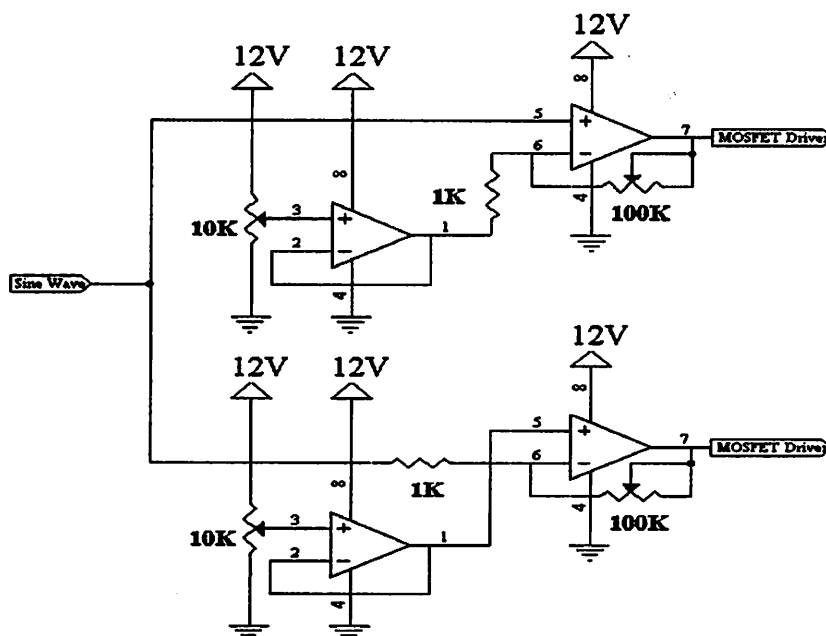
$$50 = \frac{1}{R \times (470 \times 10^{-9})} = \frac{10^9}{R \times 470}$$

$$R = 4,255 \text{ K}\Omega$$

Jadi untuk mendapatkan nilai keluaran frekuensi sebesar 50 Hz, maka dapat digunakan resistor variable dengan nilai $\geq 4,255 \text{ K}\Omega$.

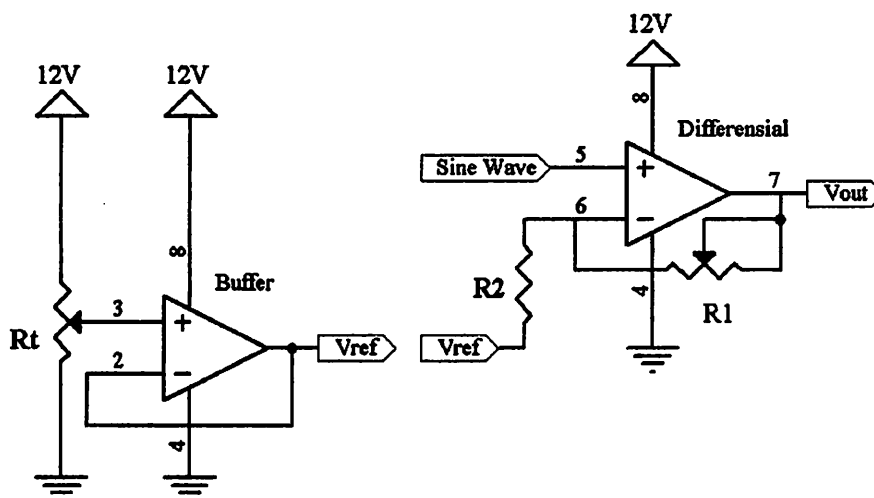
3.3.2. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Perencanaan dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal secara lengkap ditunjukkan oleh gambar 3.3 dibawah:



Gambar 3.3 Rangkaian pengkondisi sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal tersebut dibangun menggunakan IC LM358, terdiri dari 2 rangkaian. Rangkaian pertama adalah buffer dan yang kedua adalah rangkaian differensial. Ditunjukkan oleh gambar 3.4.



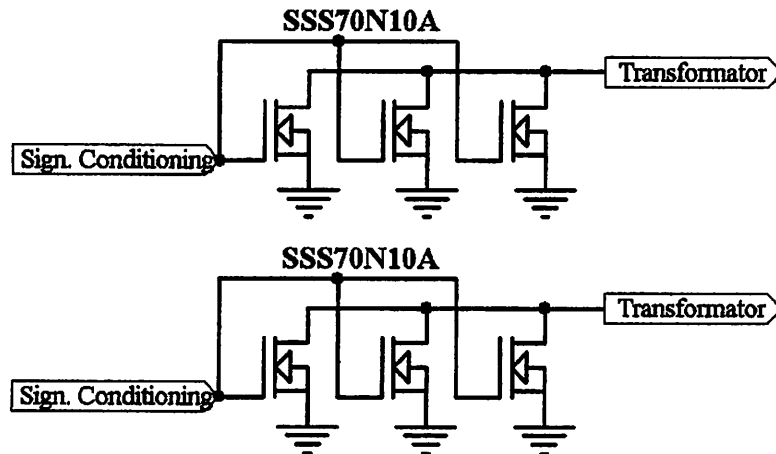
Gambar 3.4 Rangkaian buffer dan differensial

Rangkaian pengkondisi sinyal digunakan untuk mengkondisikan sinyal keluaran dari rangkaian osilator yang dibangun dari IC XR2206 yang memiliki tegangan antara 3-5 Volt menjadi 0-12 Volt. Nilai Vout tergantung dari nilai Vref yang dihasilkan oleh rangkaian buffer, yang diperoleh dengan cara merubah-rubah nilai Rt. Output tegangan dari rangkaian pengkondisi sinyal dapat ditentukan dengan persamaan:

$$V_{out} = V_{in} - V_{ref} \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) + V_{ref} \dots \dots \dots 3.2$$

3.3.3. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Driver Power

Perencanaan dan pembuatan rangkaian driver power secara lengkap ditunjukkan oleh gambar 3.5 dibawah:

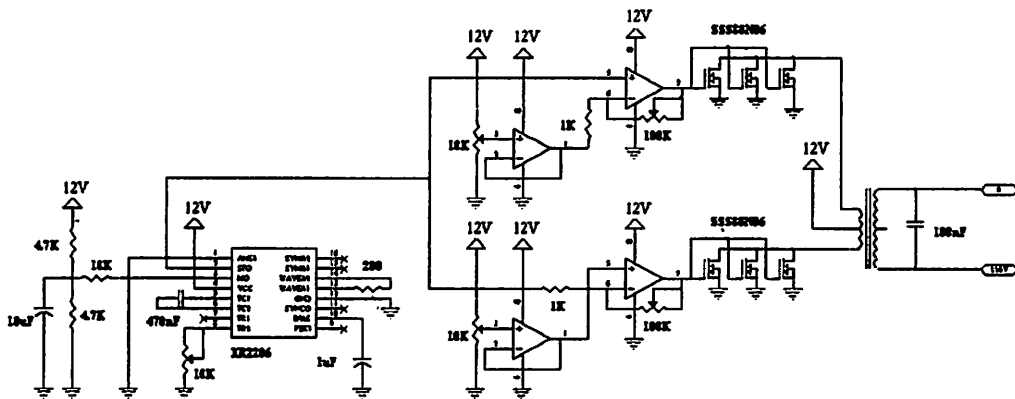


Gambar 3.5 Rangkaian MOSFET DC ke AC Driver

Fungsi rangkaian driver MOSFET tersebut adalah *men-drive* tegangan keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal sehingga akan dihasilkan tegangan bolak-balik satu fasa. Rangkaian MOSFET DC ke AC driver ini menggunakan MOSFET tipe SSS70N10A. MOSFET ini dapat bekerja pada tegangan maksimum 100 V dan arus 28 A, dari karakteristik MOSFET tersebut diharapkan kenaikan suhu yang timbul pada MOSFET tidak terlalu besar, sehingga nantinya inverter yang dibuat dapat beroperasi dalam jangka waktu lama.

3.4. Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian DC ke AC (inverter)

Keseluruhan perencanaan dan pembuatan rangkaian pengubah dc ke ac (inverter) secara lengkap ditunjukkan oleh gambar dibawah:



Gambar 3.6 Rangkaian DC ke AC Inverter

3.5. Transformator

Untuk transformator saya tidak mendesain sendiri melainkan beli jadi.

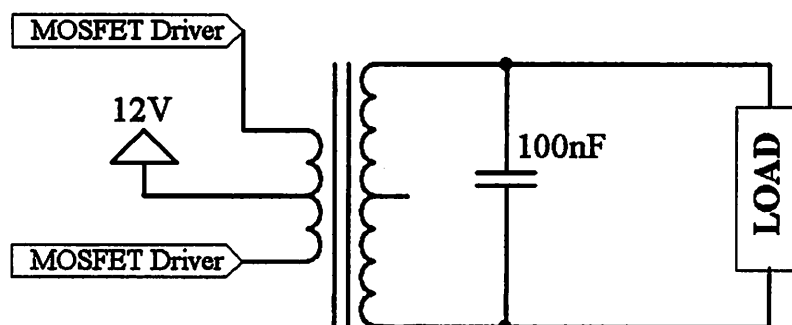
Adapun spesifikasi transformator yang digunakan adalah:

Sisi tegangan primer: 0-24 Volt

Sisi tegangan sekunder: 110 Volt dan 220 Volt (tanpa center-tap)

Sisi arus sekunder: 20 Ampere

Trafo yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.7 Transformator

Pemilihan spesifikasi transformator diatas didasarkan pada daya output yang diinginkan dari inverter.

Rumus dasar:

$$P (\text{daya}) = V (\text{tegangan}) \times I (\text{arus})$$

$$\text{Daya input trafo} = \text{Daya output trafo}$$

Pada tugas akhir ini, daya output yang diinginkan dari inverter adalah 150 VA pada 220 Volt ac, maka arus output menjadi 0,68 ampere, dan pada input Vdc harus menggunakan 12,5 ampere, hal ini berdasarkan perhitungan:

$$220 \text{ Volt} \times 0,68 \text{ Ampere} = 12 \text{ Volt} \times 12,5 \text{ Ampere}$$

Dari perhitungan diatas maka dipilih transformator step-up dengan karakter lilitan input dengan kemampuan sebesar 12,5 Ampere (tanpa center-tap). Namun untuk mengantisipasi terjadinya rugi-rugi daya pada transformator maka pada tugas akhir ini saya gunakan transformator dengan kemampuan sebesar 20 Ampere.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1. Umum

Metode pengujian dari tugas akhir ini dimulai dari pengujian yang dilakukan pada setiap blok inverter dari sistem yang telah dirancang. Pada masing-masing blok yang telah dibuat dapat dilihat hasil keluarannya. Kemudian dilakukan penggabungan dari semua blok, yang nantinya digunakan sebagai penyulutan dari mosfet SSS80N06 pada inverter.

4.2. Pengujian Rangkaian PCB dan Sambungan

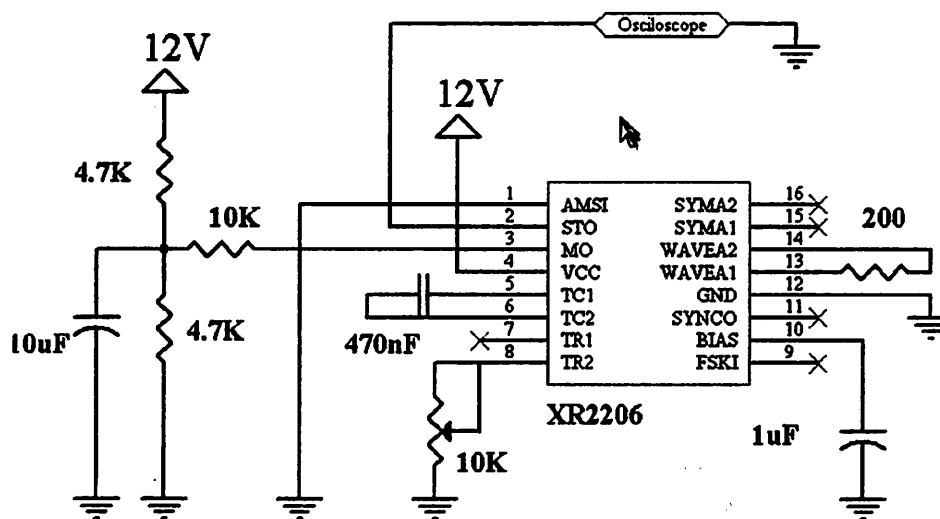
Pengujian dilakukan mulai dari pengecekan terhadap setiap rangkaian yang telah dibuat apakah sudah sesuai dengan gambar rangkaian yang di maksud atau belum. Kabel, PCB serta penyolderan juga perlu dicek ulang apakah sudah terpasang dengan tepat.

4.3. Pengujian Rangkaian Kontrol Inverter

Pengujian rangkaian kontrol inverter meliputi pengujian rangkaian sinus generator, dan rangkaian pengkondisi sinyal. Untuk melakukan pengujian rangkaian kontrol inverter diperlukan oscilloscope untuk dapat mengetahui bentuk gelombang keluaran rangkaiannya.

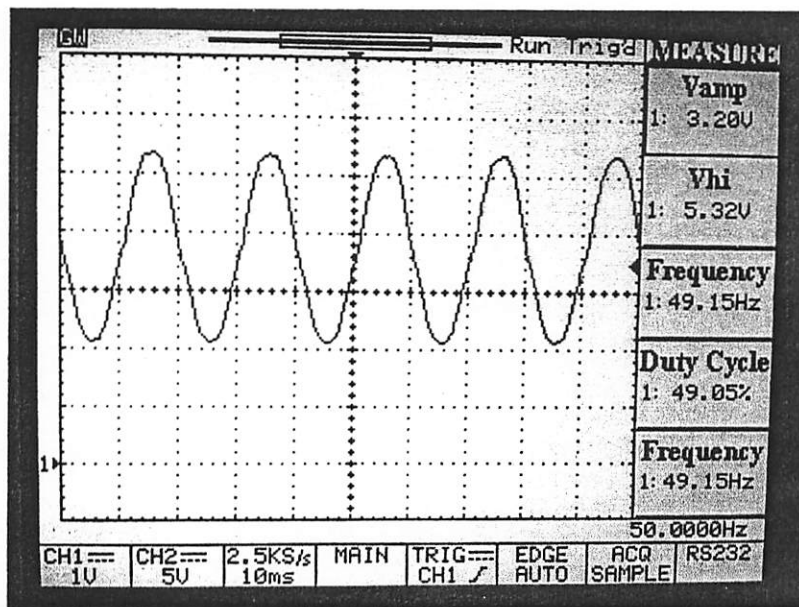
4.3.1. Pengujian Rangkaian Sinus Generator

Pengujian rangkaian osilator yang dibangun menggunakan IC XR2206 dilakukan untuk melihat bentuk gelombang dan besar frekuensi keluaran. Berdasarkan kebutuhan frekuensi switching rangkaian inverter 50 Hz, maka pada rangkaian sinus generator dilakukan pengaturan nilai resistor variable yang terhubung pada pin 8 dari IC XR2206. Adapun pengujian rangkaian sinus generator ditunjukkan secara lengkap oleh gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skematik pengujian rangkaian osilator

Bentuk gelombang keluaran dari hasil pengujian rangkaian osilator ditunjukkan oleh gambar 4.2.

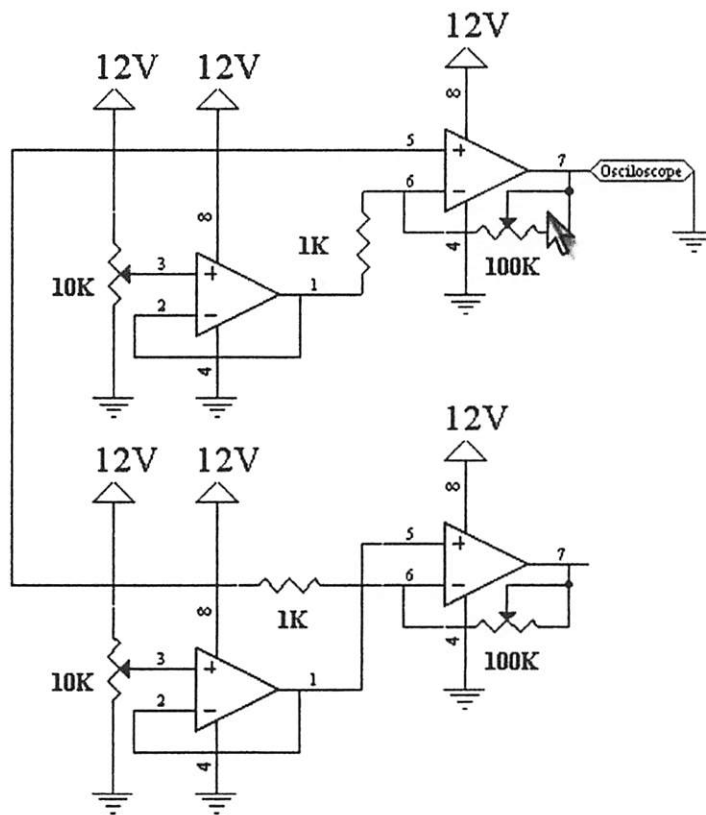


Gambar 4.2 Sinyal keluaran rangkaian osilator

Dari **gambar 4.2** sinyal keluaran rangkaian osilator dapat dilihat bahwa tegangan keluaran dari gelombang sinus adalah antara 3 Volt hingga 5 Volt dengan frekuensi sebesar 50 Hz. Hal ini sudah sesuai dengan perancangan dan perhitungan karena frekuensi yang diinginkan adalah 50 Hz.

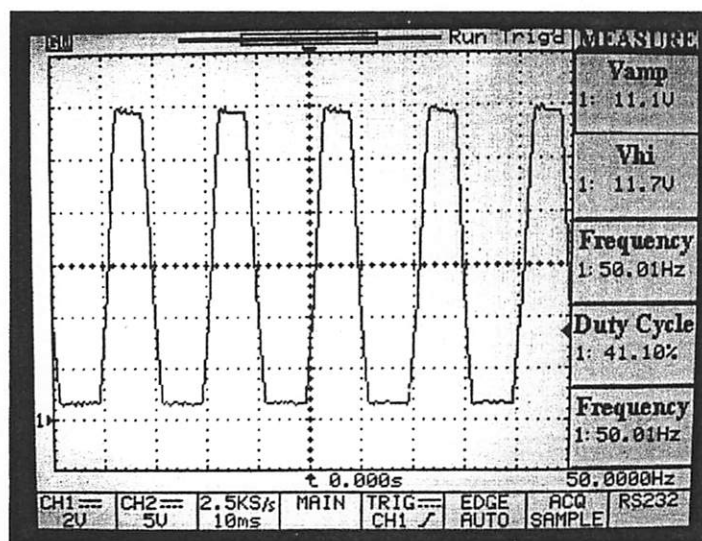
4.3.2. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Pengujian dilakukan pada rangkaian pengkondisi sinyal yang dibangun menggunakan IC LM358. Adapun skema pengujian rangkaian pengkondisi sinyal secara lengkap ditunjukkan oleh **gambar 4.3**. Rangkaian pengkondisi sinyal digunakan untuk menaikkan tegangan dan merubah gelombang keluaran rangkaian osilator dari 3-5 Volt menjadi 0-12 Volt agar dapat di baca oleh rangkaian driver MOSFET.



Gambar 4.3 Skema pengujian rangkaian pengkondisi sinyal

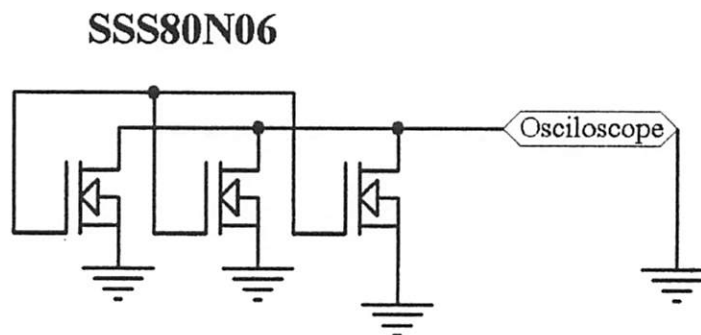
Hasil pengujian rangkaian pengkondisi sinyal ditunjukkan oleh gambar 4.4.



Gambar 4.4 Sinyal keluaran rangkaian pengkondisi sinyal

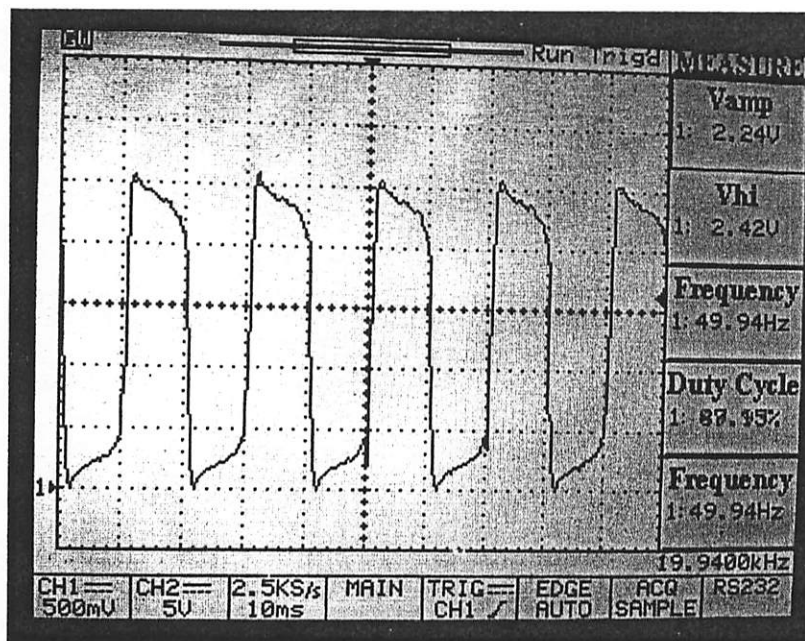
4.4. Pengujian Rangkaian Driver Power (MOSFET)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang keluaran dari MOSFET, apakah sudah sesuai dengan perhitungan atau belum. Rangkaian pengujian driver MOSFET ditunjukkan oleh gambar 4.5.



Gambar 4.5 Skema pengujian rangkaian driver MOSFET

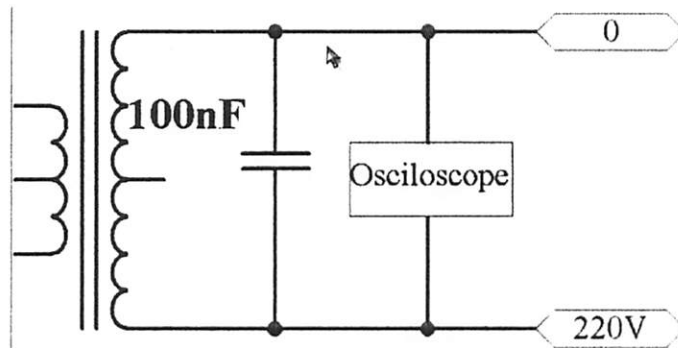
Hasil pengujian rangkaian DRIVER mosfet ditunjukkan oleh gambar 4.6.



Gambar 4.6 Gelombang keluaran rangkaian MOSFET

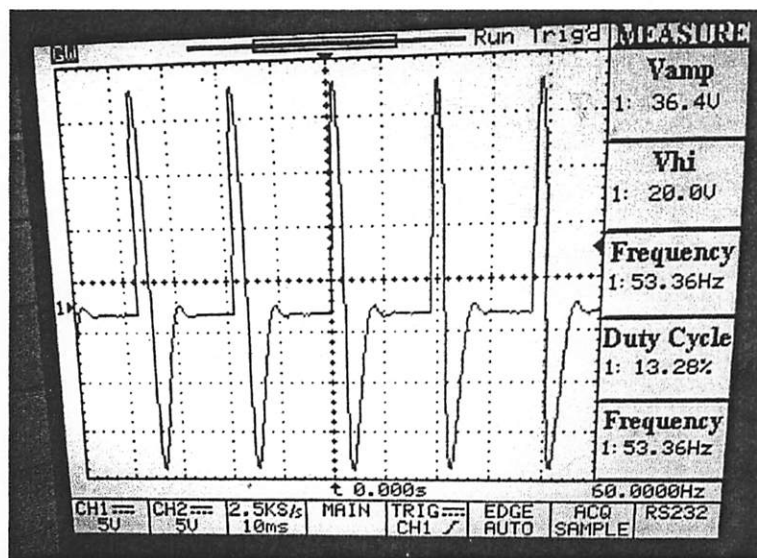
4.5. Pengujian Rangkaian MOSFET Setelah Masuk Trafo

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sinyal dari keluaran MOSFET setelah masuk trafo. Apakah sudah sesuai dengan perhitungan atau belum. Rangkaian pengujian ditunjukkan oleh gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian pengujian sinyal keluaran inverter

Hasil pengujian rangkaian keluaran inverter ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Gelombang keluaran dari inverter

4.6. Pengujian Inverter Dengan Beban Resistif

Pengujian pada inverter dilakukan dengan menggunakan beban resistif sebanyak tiga buah. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali yaitu:

- 1) Pengujian dengan menggunakan beban lampu pijar 5 Watt.
- 2) Pengujian dengan menggunakan beban lampu pijar 10 Watt.
- 3) Pengujian dengan menggunakan beban lampu pijar 40 Watt.

Hasil dari pengujian ini ditampilkan pada tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pengujian Beban Resistif

Beban	I_{out}	V_{out}
Pijar 5 Watt	0,036	160
Pijar 10 Watt	0,076	150
Pijar 40 Watt	0,69	60

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian inverter yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil keluaran inverter dalam keadaan tidak berbeban sebesar 220 Volt konstan.
2. Berdasarkan pengujian menggunakan beban resistif, tegangan keluaran inverter akan menurun saat di beri beban, hal ini dikarenakan terjadi drop tegangan pada transformator.
3. Besarnya drop tegangan pada keluaran inverter berbanding lurus dengan daya beban. Semakin besar daya beban yang dihubungkan pada inverter, semakin besar pula drop tegangan yang terjadi.
4. Inverter ini hanya mampu bekerja pada daya 60 Watt dengan drop tegangan hingga 60 Volt
5. Sinyal keluaran dari inverter berbentuk sinus dengan distorsi.

5.2. Saran

Dari pembuatan rangkaian inverter tipe voltage source inverter satu fasa tersebut dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Dari segi fisik alat yang dibuat ini kurang memenuhi standar pasar, sehingga perlu adanya penyederhanaan.

2. Untuk menangani penurunan tegangan yang besar pada saat inverter dibebani, maka pada sisi masukan inverter yang merupakan tegangan keluaran accu diperlukan pengaturan tegangan melalui penyulutan terkontrol.
3. Pemilihan kualitas komponen mempengaruhi hasil dari alat yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

Hartono, Bambang Prio. *Diktat Kuliah Elektronika Industri*. Institut Teknologi Nasional Malang

Manaf, Abdul. 2007. *Petunjuk Praktek Instalasi Listrik II*. Politeknik Negeri Malang.

Alerich, Water N. 1988. *Electric Motor Control*. New York : Delmar Publisher Inc.

William D. Cooper, *Electronic Instrument and Measurement*, Prentice Hall, Inc, 1984

Mahmood Nahvi & Joseph A. Edminister, *Schaum's Outlines Rangkaian Listrik*, Polytechnic State University, 2003

Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.

Williams, *Actical Transistor Circuit Design and Analysis*.

Harten, P. van, dan E. Setiawan. *Instalasi Listrik Arus Kuat 3*. 1978. Nederland.

PEDC. 1984. *Rancangan Listrik Semester III*. Jurusan Teknik Listrik. Bandung

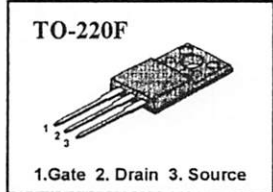
William H. Hayt, JR, Elektromagnetika Teknologi.

DR. Artono Arismunandar, M.A.S, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik.

FEATURES

- Avalanche Rugged Technology
- Rugged Gate Oxide Technology
- Lower Input Capacitance
- Improved Gate Charge
- Extended Safe Operating Area
- 175°C Operating Temperature
- Lower Leakage Current : 10 μ A (Max.) @ $V_{DS} = 100V$
- Lower $R_{DS(ON)}$: 0.018 Ω (Typ.)

$BV_{DSS} = 100 V$
 $R_{DS(on)} = 0.023 \Omega$
 $I_D = 28 A$



Absolute Maximum Ratings

Symbol	Characteristic	Value	Units
V_{DSS}	Drain-to-Source Voltage	100	V
I_D	Continuous Drain Current ($T_C=25^\circ C$)	28	A
	Continuous Drain Current ($T_C=100^\circ C$)	19.8	
I_{DM}	Drain Current-Pulsed ①	220	A
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 0	V
E_{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy ②	1568	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	28	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	4.9	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	6.5	V/ns
P_D	Total Power Dissipation ($T_C=25^\circ C$)	49	W
	Linear Derating Factor	0.32	
T_J, T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	- 55 to +175	°C
T_L	Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5-seconds	300	

Thermal Resistance

Symbol	Characteristic	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	--	3.09	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	--	62.5	

SSS70N10A

N-CHANNEL
POWER MOSFET

Electrical Characteristics ($T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu\text{A}$
$\Delta BV/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coeff.	—	0.12	—	V/°C	$I_D=250\mu\text{A}$ See Fig 7
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=5V, I_D=250\mu\text{A}$
I_{GSS}	Gate-Source Leakage, Forward	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-Source Leakage, Reverse	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	10	μA	$V_{DS}=100V$
		—	—	100		$V_{DS}=80V, T_C=150^\circ\text{C}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-State Resistance	—	—	0.023	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=14A$ ④
g_{fs}	Forward Transconductance	—	34.51	—	Ω	$V_{DS}=40V, I_D=14A$ ④
C_{iss}	Input Capacitance	—	3750	4870	pF	$V_{GS}=0V, V_{DS}=25V, f=1\text{MHz}$ See Fig 5
C_{oss}	Output Capacitance	—	850	980		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	375	430		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	22	60	ns	$V_{DD}=50V, I_D=70A,$ $R_G=5.3\Omega$ See Fig 13 ④⑤
t_r	Rise Time	—	24	60		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	112	240		
t_f	Fall Time	—	84	180		
Q_g	Total Gate Charge	—	151	195	nC	$V_{DS}=80V, V_{GS}=10V,$ $I_D=70A$ See Fig 6 & Fig 12 ④⑤
Q_{gs}	Gate-Source Charge	—	31	—		
Q_{gd}	Gate-Drain("Miller") Charge	—	66	—		

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
I_S	Continuous Source Current	—	—	28	A	Integral reverse pn-diode in the MOSFET
I_{SM}	Pulsed-Source Current ①	—	—	220		
V_{SD}	Diode Forward Voltage ④	—	—	1.6	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=28A, V_{GS}=0V$
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	143	—	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=70A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	0.72	—	μC	$di_F/dt=100A/\mu\text{s}$ ④

Notes ;

- ① Repetitive Rating : Pulse Width Limited by Maximum Junction Temperature
- ② $L=3\text{mH}, I_{AS}=28A, V_{DD}=25V, R_G=27\Omega$, Starting $T_J=25^\circ\text{C}$
- ③ $I_{SD} \leq 0.0A, di/dt \leq 0.0A/\mu\text{s}, V_{DS} \leq BV_{DSS}$, Starting $T_J=25^\circ\text{C}$
- ④ Pulse Test : Pulse Width = 250 μs , Duty Cycle $\leq 2\%$
- ⑤ Essentially Independent of Operating Temperature

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

**N-CHANNEL
POWER MOSFET**

SSS70N10A

Fig 1. Output Characteristics

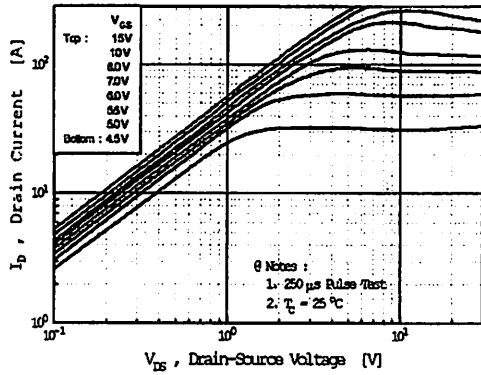


Fig 2. Transfer Characteristics

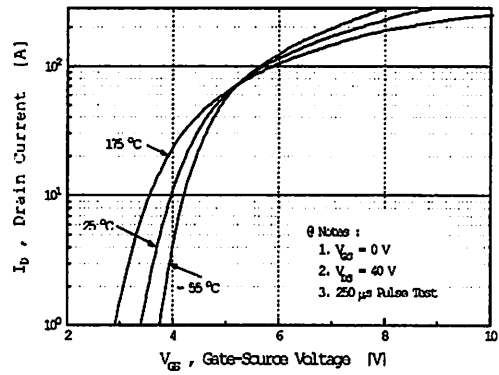


Fig 3. On-Resistance vs. Drain Current

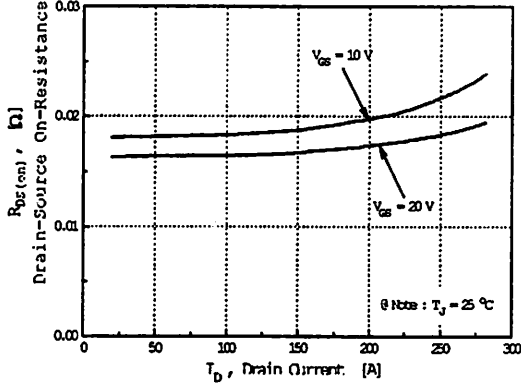


Fig 4. Source-Drain Diode Forward Voltage

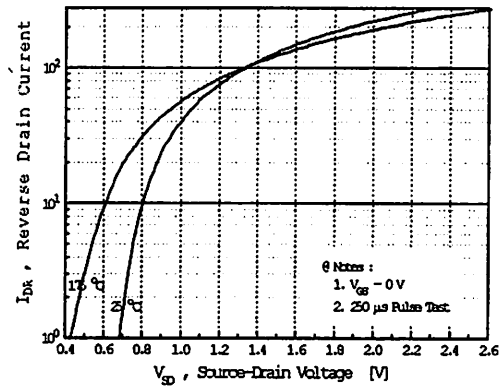


Fig 5. Capacitance vs. Drain-Source Voltage

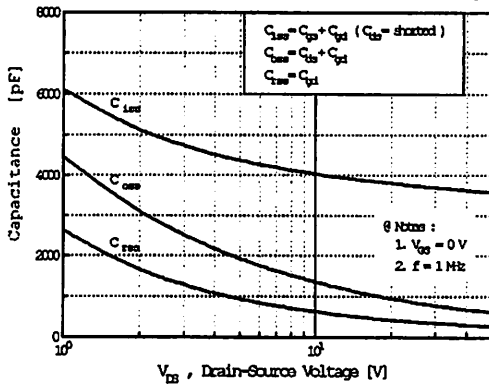
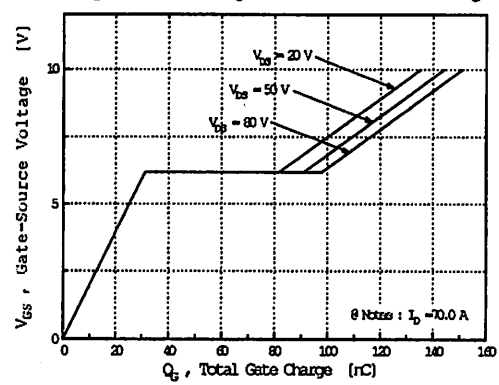


Fig 6. Gate Charge vs. Gate-Source Voltage



SSS70N10A

N-CHANNEL POWER MOSFET

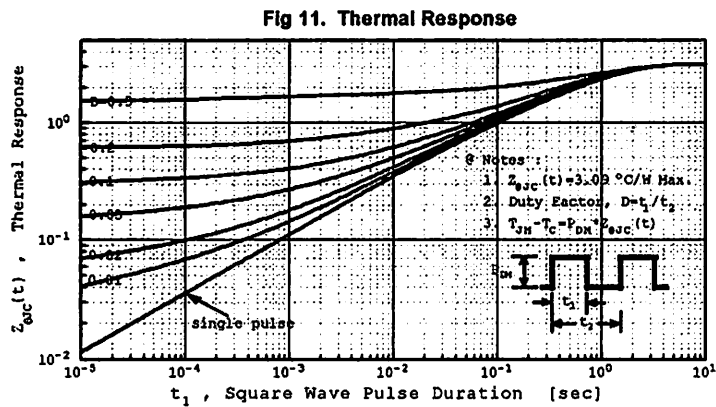
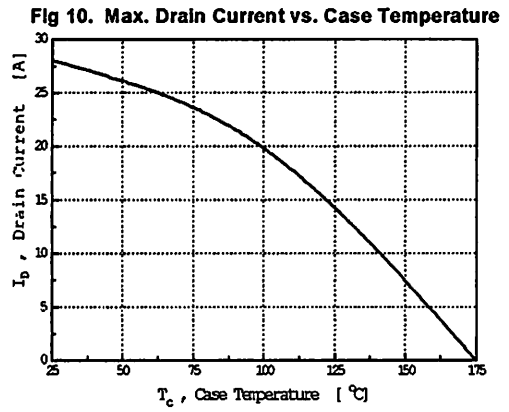
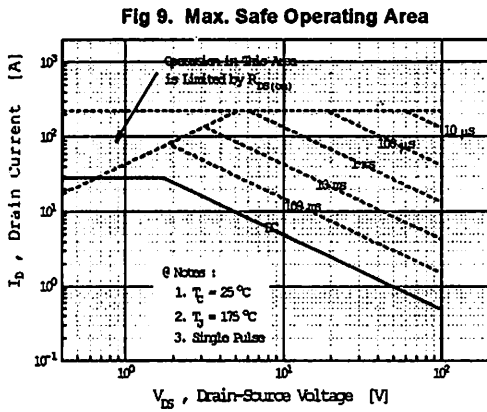
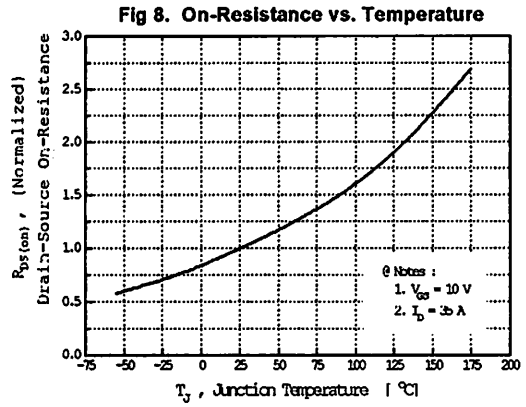
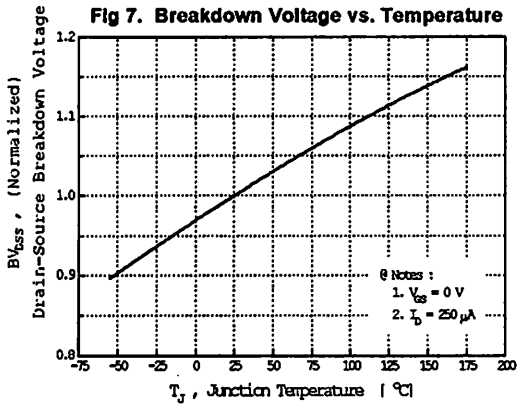


Fig 12. Gate Charge Test Circuit & Waveform

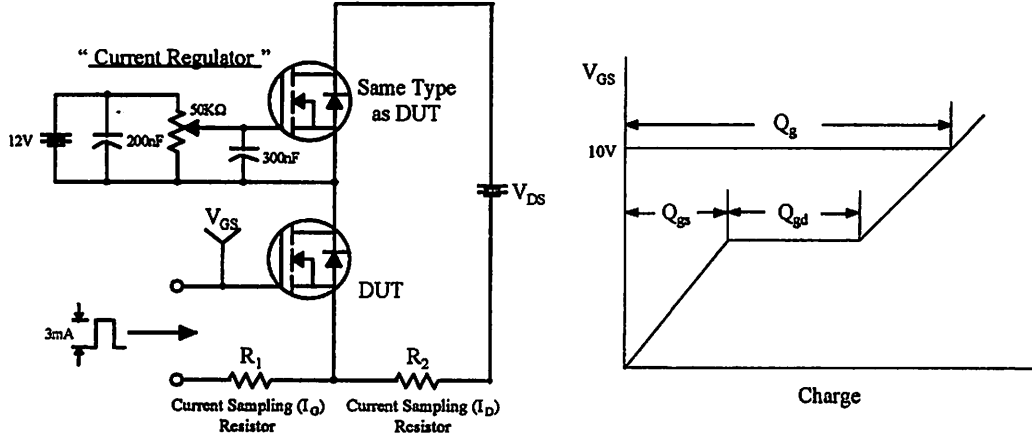


Fig 13. Resistive Switching Test Circuit & Waveforms

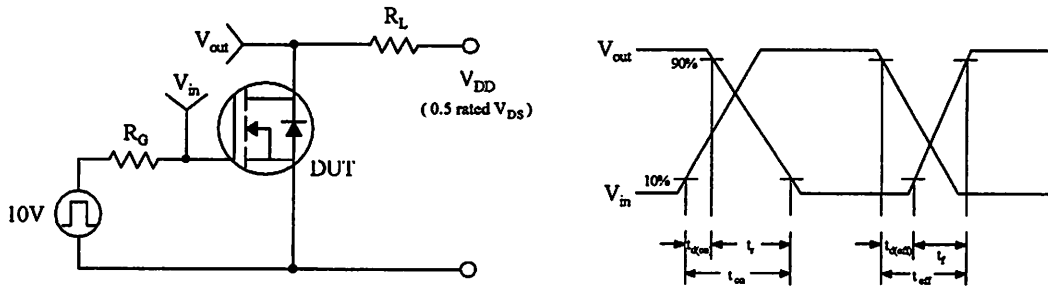


Fig 14. Unclamped Inductive Switching Test Circuit & Waveforms

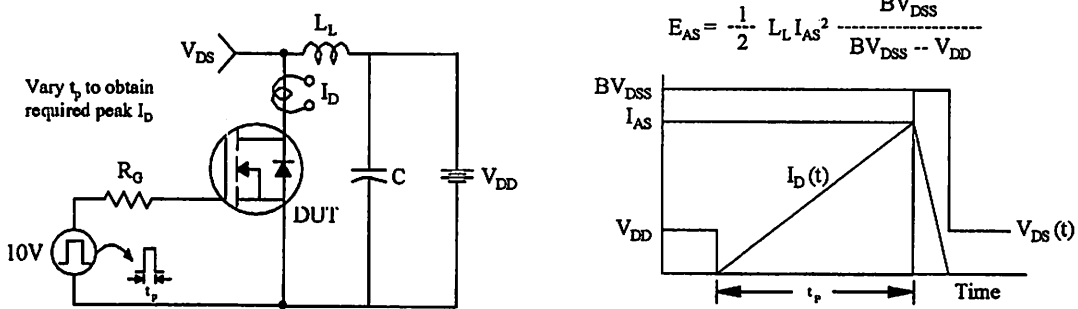
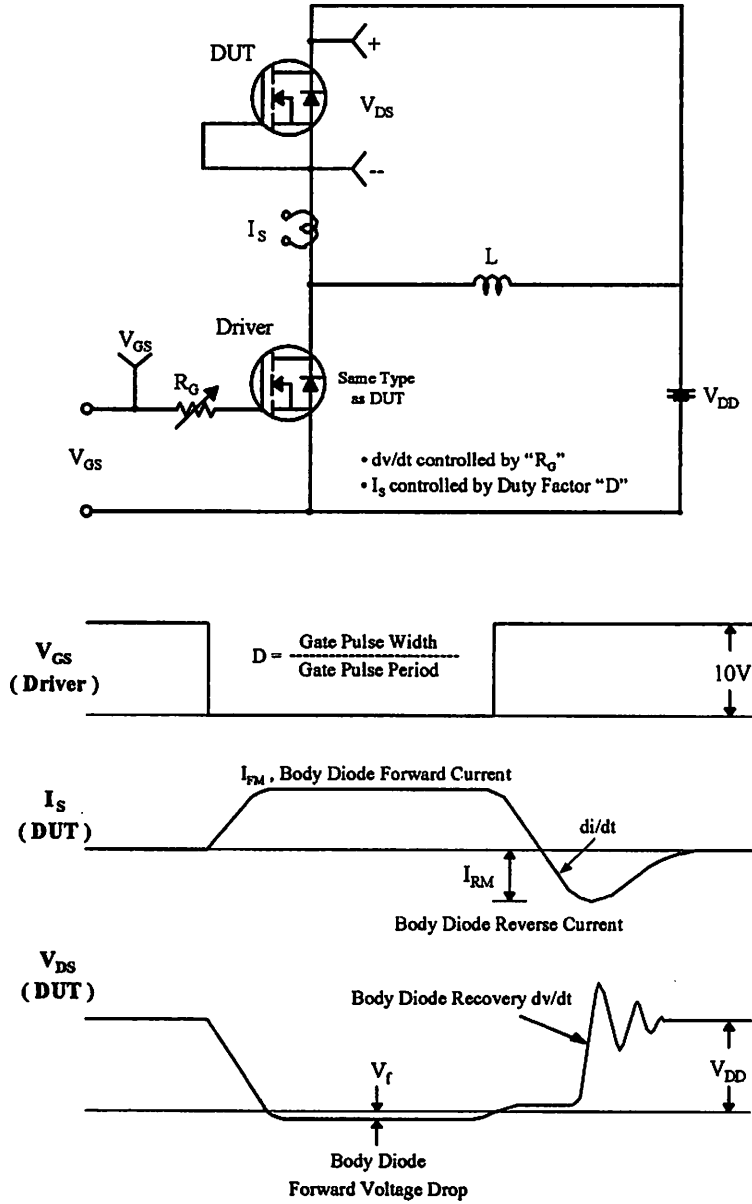


Fig 15. Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit & Waveforms



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 ™	ISOPLANAR™	UHC™
CoolFET™	MICROWIRE™	VCX™
CROSSVOLT™	POP™	
E ² CMOS™	PowerTrench™	
FACT™	QS™	
FACT Quiet Series™	Quiet Series™	
FAST®	SuperSOT™-3	
FAST _r ™	SuperSOT™-6	
GTO™	SuperSOT™-8	
HiSeC™	TinyLogic™	

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.

LM2904, LM358/LM358A, LM258/ LM258A

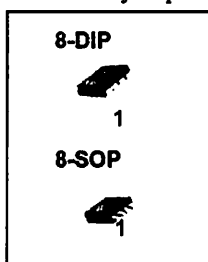
Dual Operational Amplifier

Features

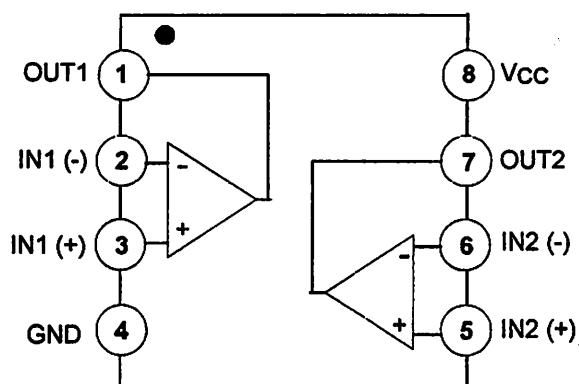
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V~32V (or $\pm 1.5V \sim 16V$)
LM2904 : 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to $V_{CC} - 1.5V$ DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation.

Description

The LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. 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 amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.

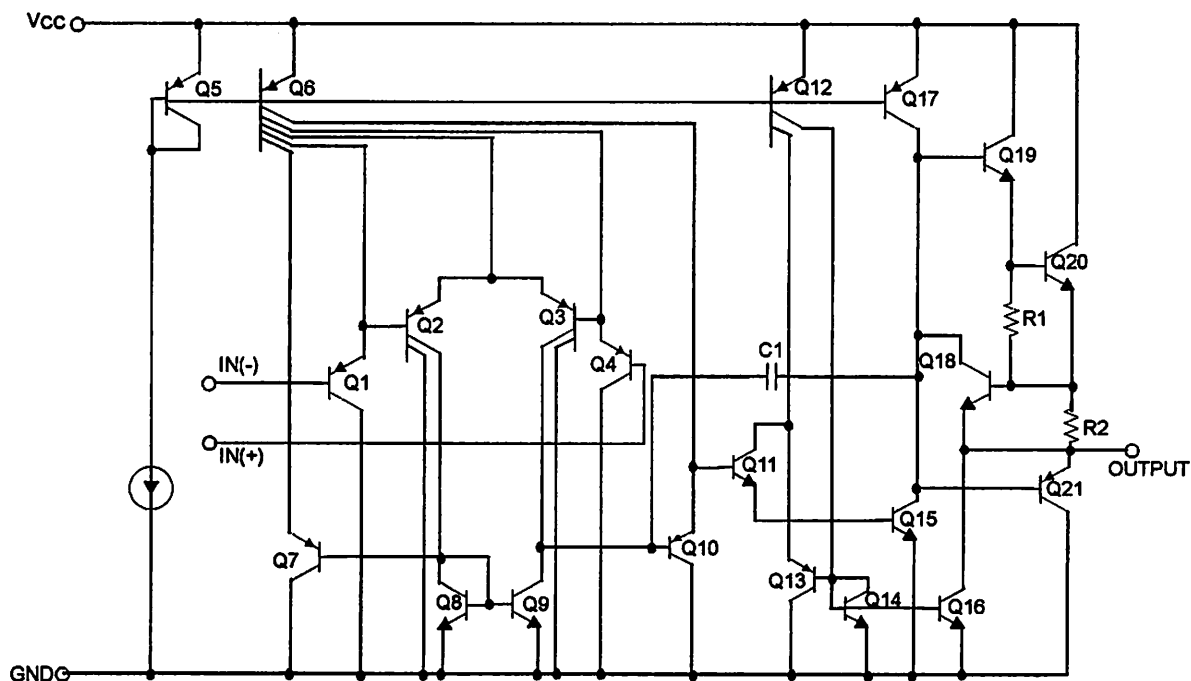


Internal Block Diagram



Schematic Diagram

(One section only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	VCC	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	32	32	26	V
Input Voltage	VI	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND VCC ≤ 15V, TA = 25°C (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	TOPR	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	2.9	5.0	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	$V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC} = 26V$)	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$ (LM2904, $V_{CC} = 26V$)	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		$R_L = \infty$, $V_{CC} = 5V$	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L = 2k\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	$V_{CC} = 30V$, $R_L = 2k\Omega$ ($V_{CC} = 26V$ for LM2904)	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		$R_L = 10k\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L = 10k\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	80	-	50	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	$f = 1kHz$ to $20kHz$ (Note1)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	20	30	-	20	30	-	20	30	-	mA
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$, $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	15	-	10	15	-	10	15	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$, $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 200mV$	12	100	-	12	100	-	-	-	-	μA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	V

Note:

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)The following specifications apply over the range of $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM258; and the $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM358; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM2904

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} - 1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	R _S = 0Ω	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	-	100	-	-	150	-	45	200	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	300	-	40	500	-	40	500	nA	
Input Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V (LM2904), V _{CC} = 26V	0	-	V _{CC} - 2.0	0	-	V _{CC} - 2.0	0	-	V _{CC} - 2.0	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2.0kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	V _{CC} = 30V (V _{CC} = 26V for LM2904)	R _L = 2kΩ		26	-	-	26	-	-	22	-	V
		R _L = 10kΩ		27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ		-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	30	-	10	30	-	10	30	-	mA	
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	5	8	-	5	9	-	5	9	-	mA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} - 1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	1.0	3.0	-	2.0	3.0	mV	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	2	15	-	5	30	nA	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	80	-	45	100	nA	
Input Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} - 1.5	0	-	V _{CC} - 1.5	V	
Supply Current	I _{CC}	R _L = ∞, V _{CC} = 30V	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA	
		R _L = ∞, V _{CC} = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2kΩ V _O = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{OH}	V _{CC} = 30V	R _L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			R _L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V _{OL}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB	
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note 1)	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I _{SC}	-	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	20	30	-	20	30	-	mA	
			10	15	-	10	15	-	mA	
	I _{SINK}	V _{in +} = 0V, V _{in (-)} = 1V V _{O(P)} = 200mV	12	100	-	12	100	-	μA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Note:

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)The following specifications apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM258A; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM358A

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} - 1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	-	4.0	-	-	5.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	-	-	7.0	15	-	7.0	20	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	-	30	-	-	75	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	-	-	10	200	-	10	300	pA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	100	-	40	200	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	V	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	V _{CC} = 30V	R _L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			R _L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2.0kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	30	-	10	30	-	mA	
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	5	9	-	5	9	-	mA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Typical Performance Characteristics

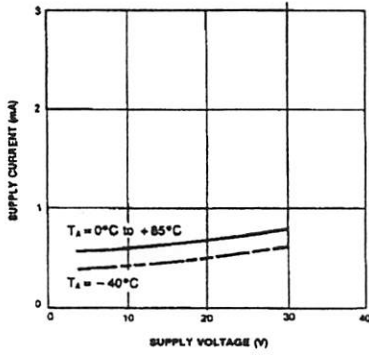


Figure 1. Supply Current vs Supply Voltage

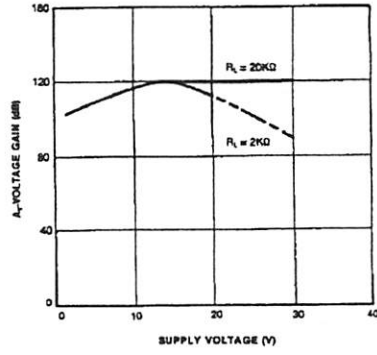


Figure 2. Voltage Gain vs Supply Voltage

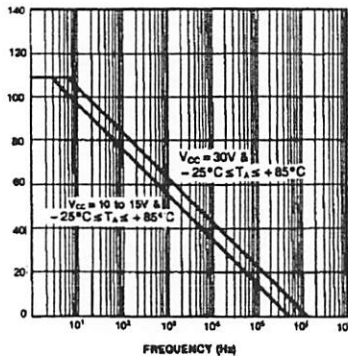


Figure 3. Open Loop Frequency Response

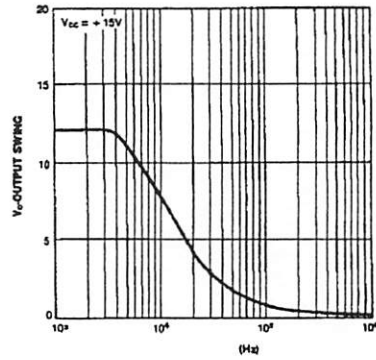


Figure 4. Large Signal Output Swing vs Frequency

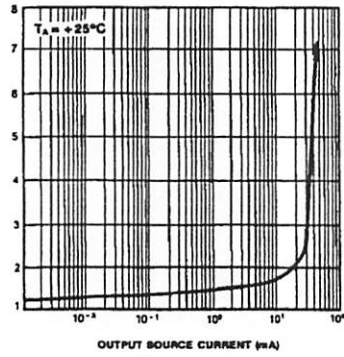


Figure 5. Output Characteristics vs Current Sourcing

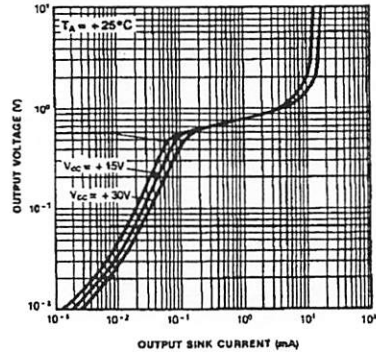


Figure 6. Output Characteristics vs Current Sinking

Typical Performance Characteristics (Continued)

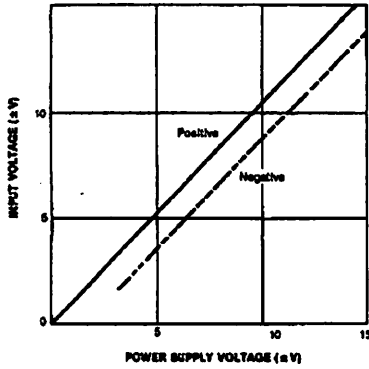


Figure 7. Input Voltage Range vs Supply Voltage

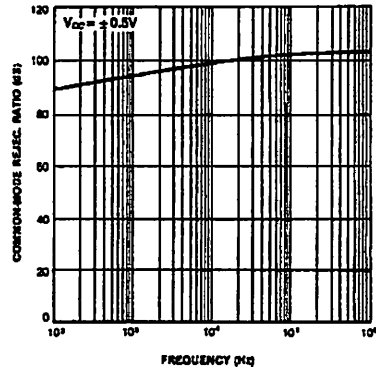


Figure 8. Common-Mode Rejection Ratio

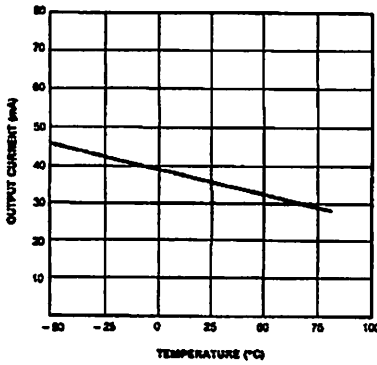


Figure 9. Output Current vs Temperature (Current Limiting)

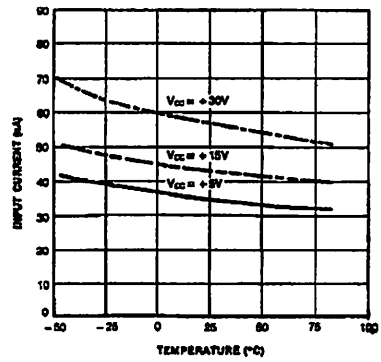


Figure 10. Input Current vs Temperature

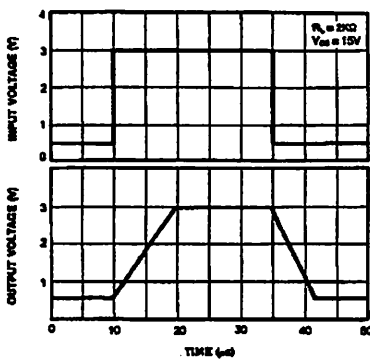


Figure 11. Voltage Follower Pulse Response

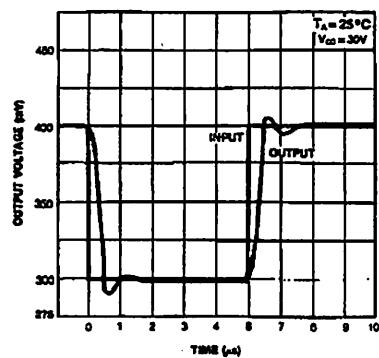


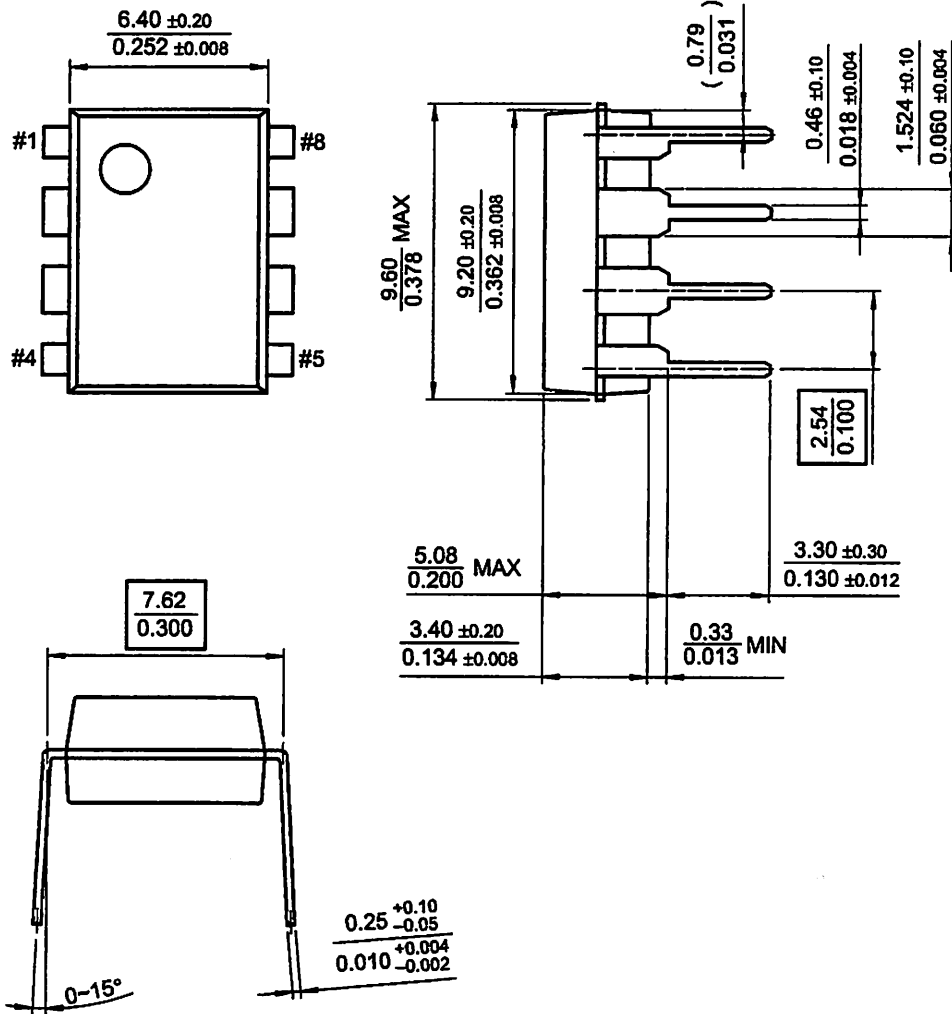
Figure 12. Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP

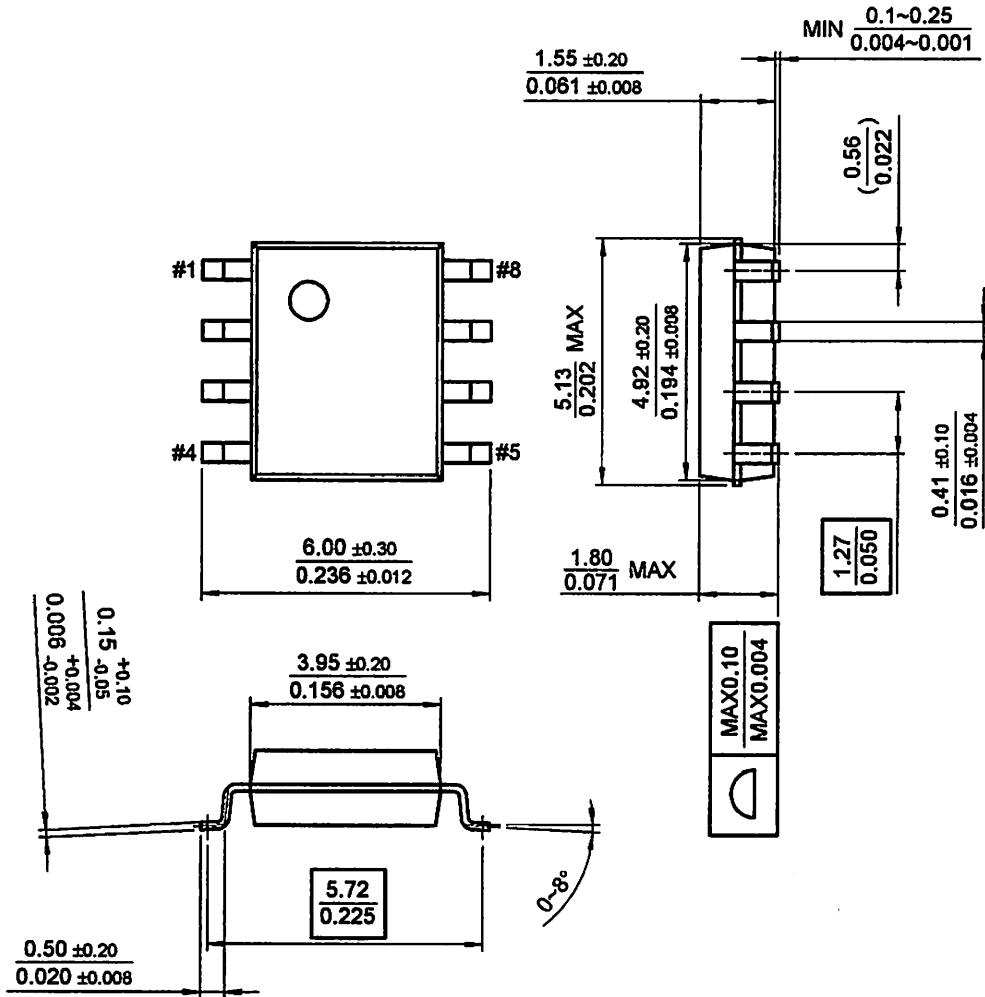


Mechanical Dimensions (Continued)

Package

Dimensions in millimeters

8-SOP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM358N	8-DIP	0 ~ +70°C
LM358AN		
LM358M	8-SOP	
LM358AM		
LM2904N	8-DIP	-40 ~ +85°C
LM2904M	8-SOP	
LM258N	8-DIP	-25 ~ +85°C
LM258AN		
LM258M	8-SOP	
LM258AM		

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 THE PRESIDENT 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, and (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 a significant injury of the user.
2. A critical component in 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.

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

June 1997-3

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

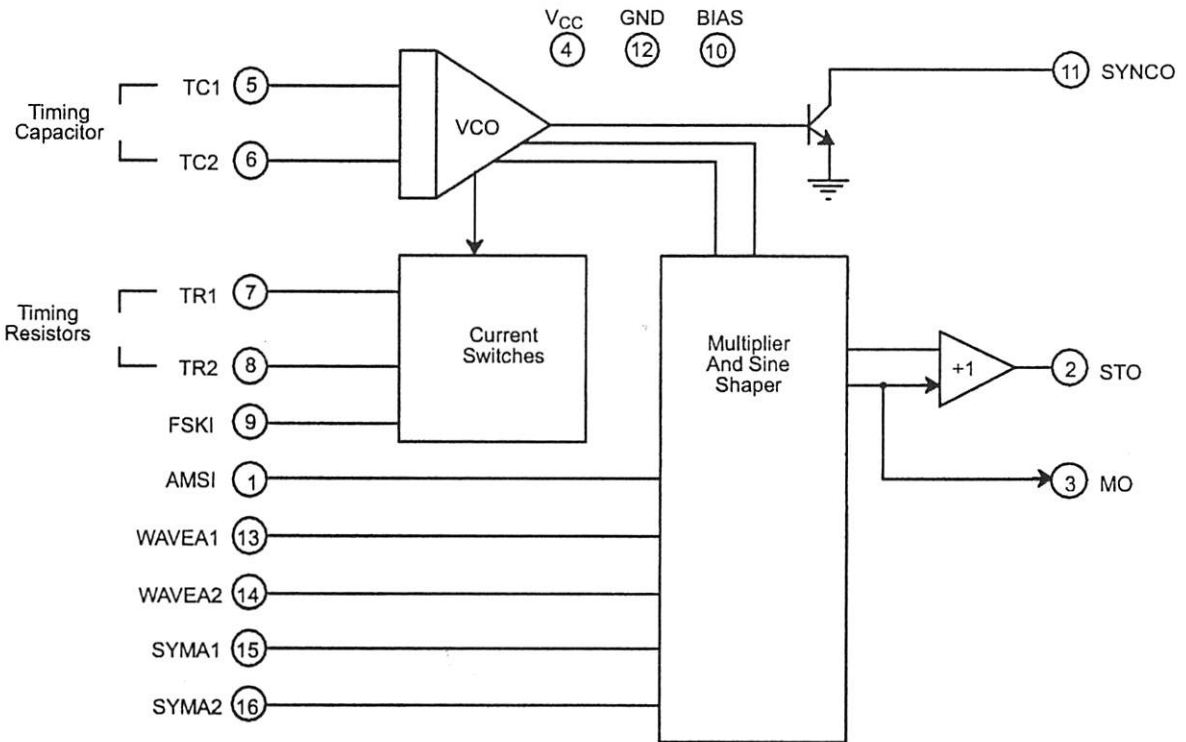
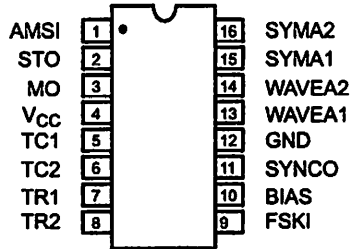
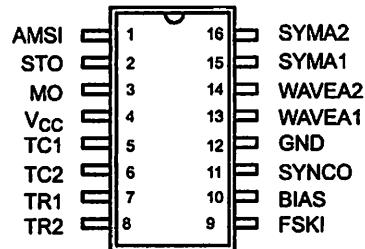


Figure 1. XR-2206 Block Diagram



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{CC}		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_0	$f_0 = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	<i>Figure 5</i>
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	k Ω	
Triangle Sine Wave Output¹								<i>Figure 3</i>
Triangle Amplitude		160			160		mV/k Ω	<i>Figure 2</i> , S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/k Ω	<i>Figure 2</i> , S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		V _{p-p}	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i>

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See *Figure 3*.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		kΩ	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	C _L = 10pF
Fall Time		50			50		ns	C _L = 10pF
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	I _L = 2mA
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μA	V _{CC} = 26V
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R₃, on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R₃ should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply 26V
 Power Dissipation 750mW
 Derate Above 25°C 5mW/°C

Total Timing Current 6mA
 Storage Temperature -65°C to +150°C

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

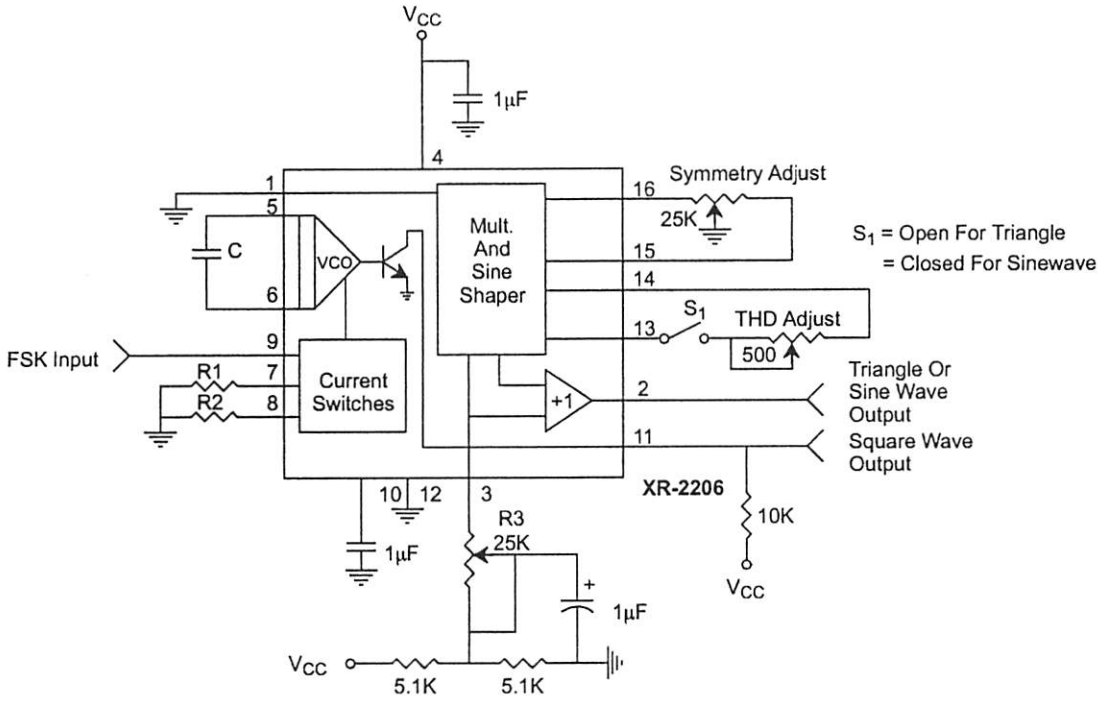


Figure 2. Basic Test Circuit

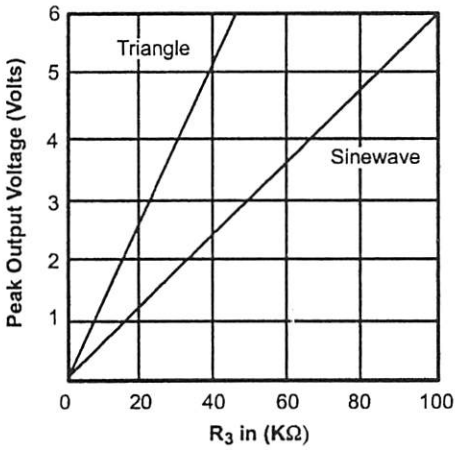


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

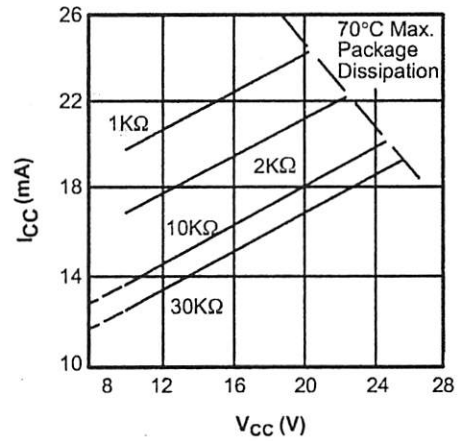


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

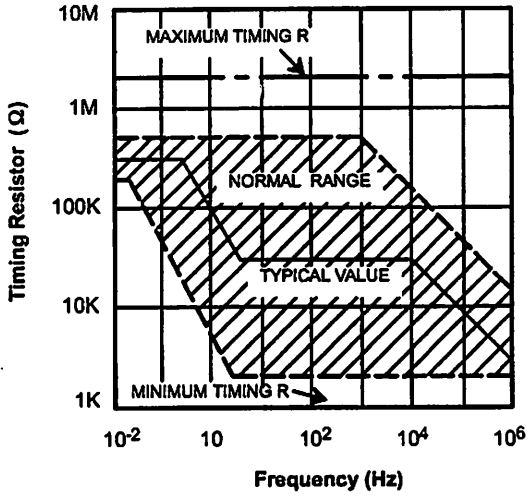


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

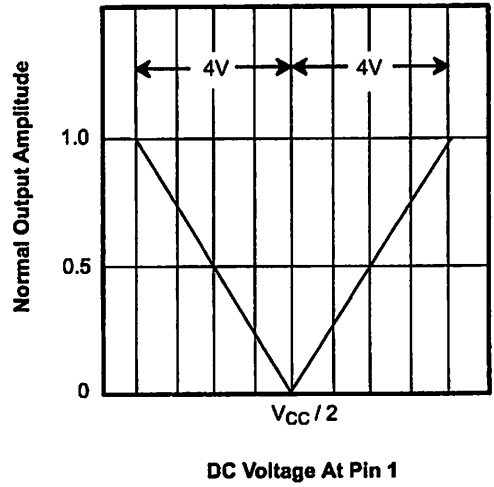


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

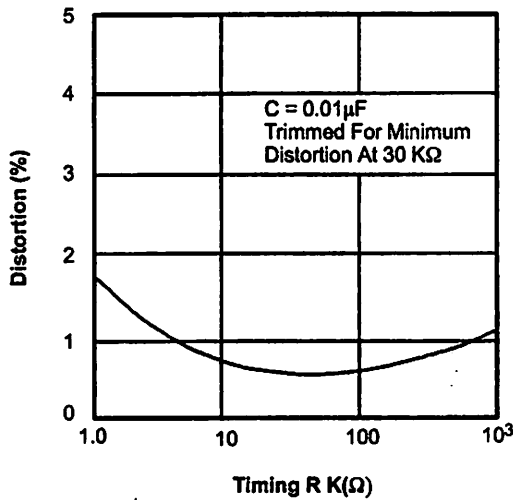


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

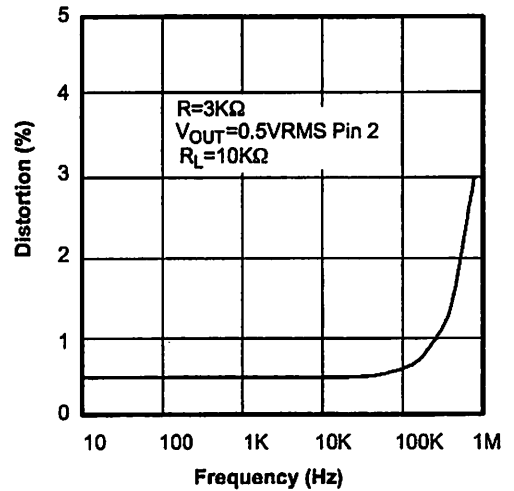


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

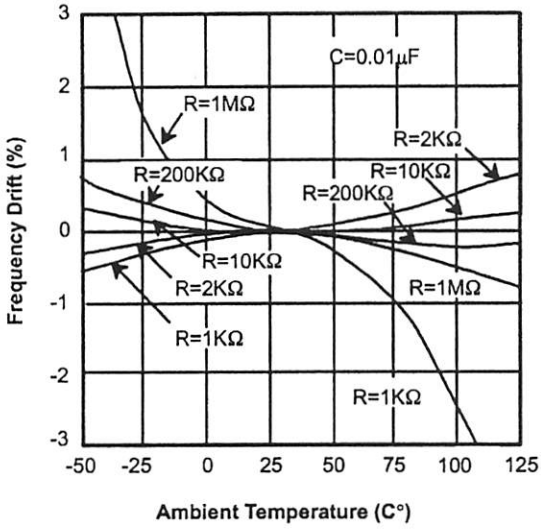


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

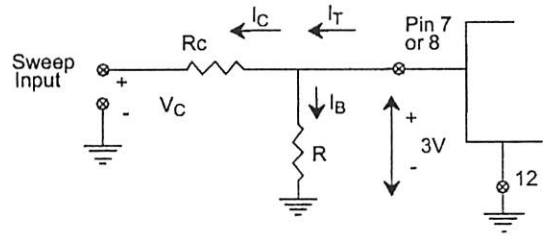


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

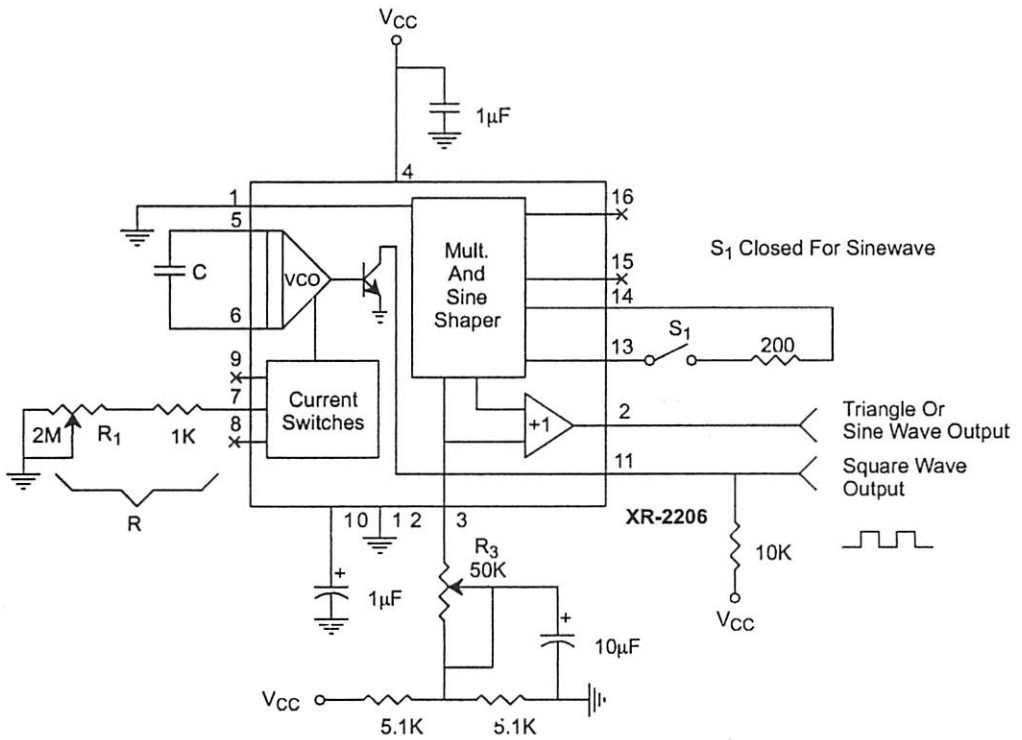


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 3 for Choice of R₃)

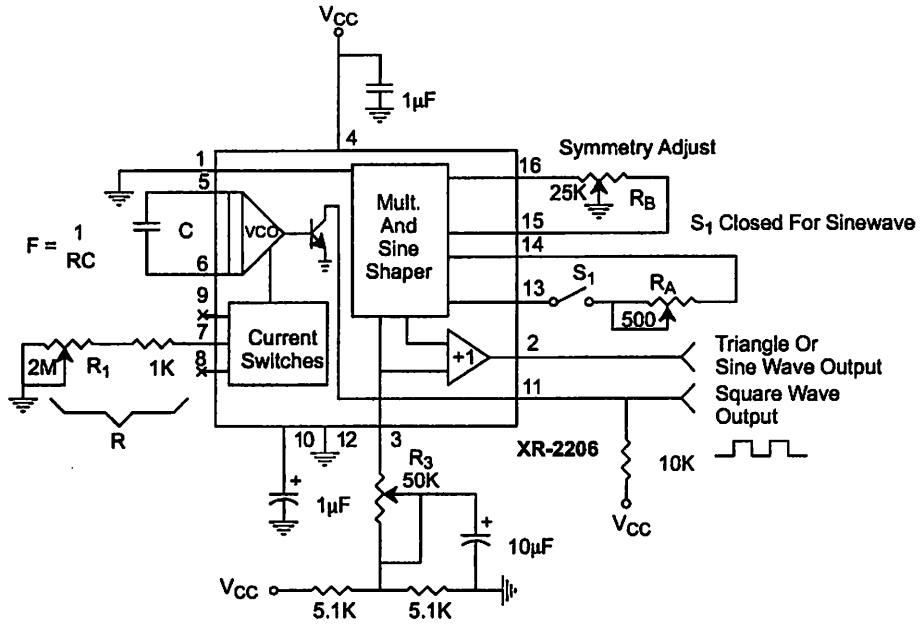


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. (R_3 Determines Output Swing - See Figure 3)

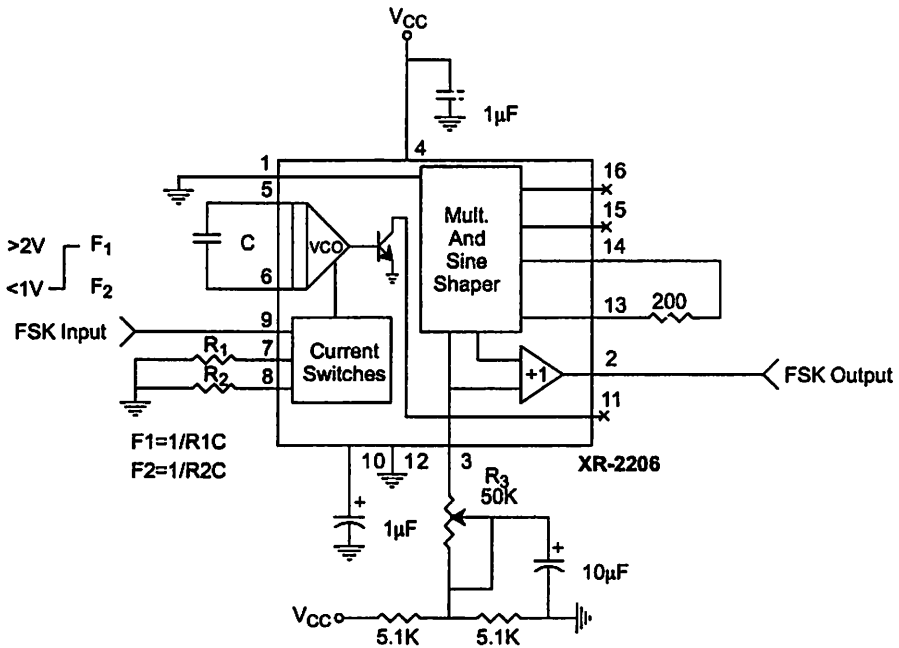


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

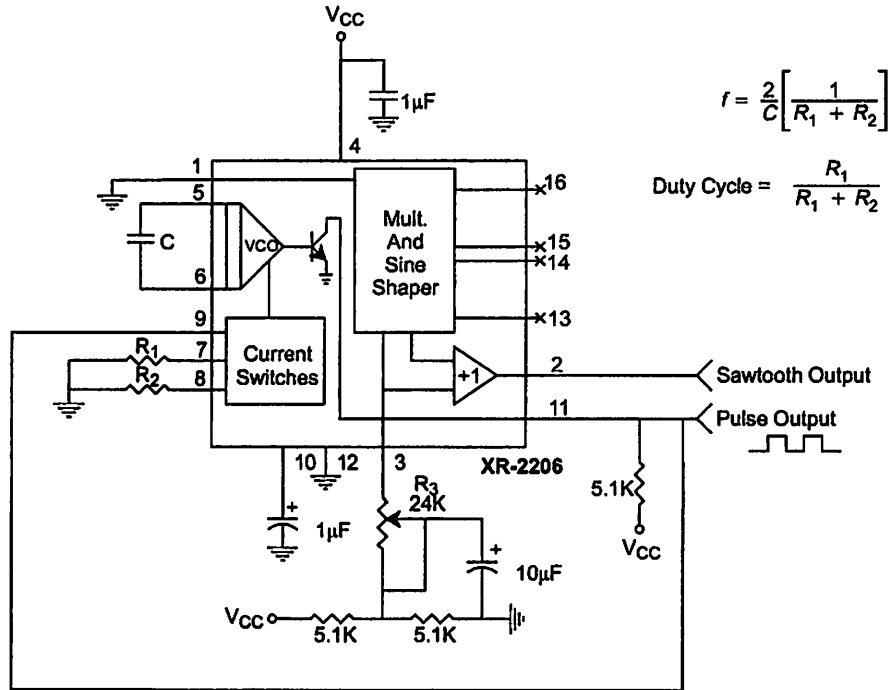


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

Frequency-Shift Keying

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2 , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 13. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage $\geq 2V$, only R_1 is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is $\leq 1V$, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels. f_1 and f_2 , as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to V^- .

Output DC Level Control

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figure 11, Figure 12 and Figure 13, Pin 3 is biased midway between V^+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment

Figure 11 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_1 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is $< 2.5\%$. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 11 can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^- . For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to -0.5% by additional adjustments as shown in *Figure 12*. The potentiometer, R_A , adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set R_B at midpoint and adjust R_A for minimum distortion.
2. With R_A set as above, adjust R_B to further reduce distortion.

Triangle Wave Generation

The circuits of *Figure 11* and *Figure 12* can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 13 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors, R_1 and R_2 ; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V^- .

Pulse and Ramp Generation

Figure 14 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R_1 and R_2 . The values of R_1 and R_2 should be in the range of $1k\Omega$ to $2M\Omega$.

PRINCIPLES OF OPERATION

Description of Controls

Frequency of Operation:

The frequency of oscillation, f_0 , is determined by the external timing capacitor, C , across Pin 5 and 6, and by the timing resistor, R , connected to either Pin 7 or 8. The frequency is given as:

$$f_0 = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either R or C . The recommended values of R , for a given frequency range, as shown in *Figure 5*. Temperature stability is optimum for $4k\Omega < R < 200k\Omega$. Recommended values of C are from $1000pF$ to $100\mu F$.

Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current, I_T , drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320I_T(mA)}{C(\mu F)} \text{ Hz}$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at +3V, with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with I_T , over a wide range of current values, from $1\mu A$ to $3mA$. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C , to the activated timing pin as shown in *Figure 10*. The frequency of oscillation is related to V_C as:

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_C} \left(1 - \frac{V_C}{3} \right) \right) \text{ Hz}$$

where V_C is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain, K , is given as:

$$K = \partial f / \partial V_C = -\frac{0.32}{R_C C} \text{ Hz/V}$$

CAUTION: For safety operation of the circuit, I_T should be limited to $\leq 3mA$.

Output Amplitude:

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor, R_3 , connected to Pin 3 (see Figure 3). For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per $k\Omega$ of R_3 ; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per $k\Omega$ of R_3 . Thus, for example, $R_3 = 50k\Omega$ would produce approximately 13V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance

at Pin 1 is approximately 100k Ω . Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within 14 volts of $V_{CC}/2$ as shown in Figure 6. As this bias level approaches $V_{CC}/2$, the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55dB.

CAUTION: AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of V_{CC} .

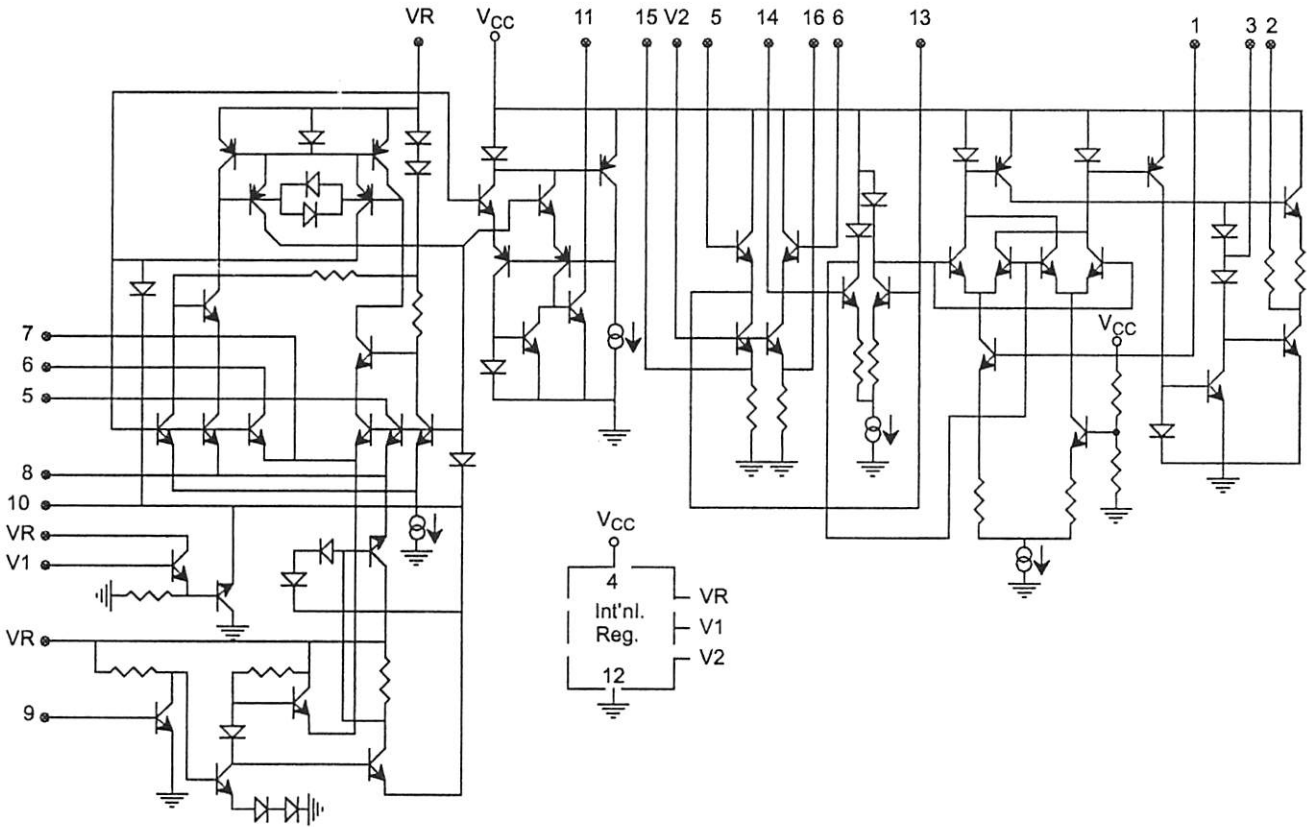
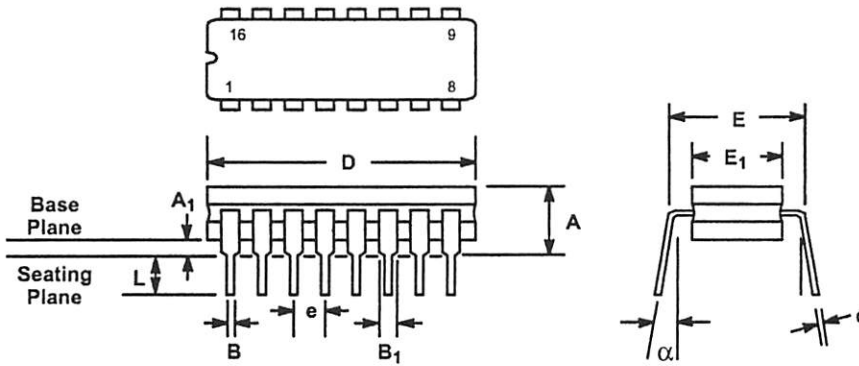


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

**16 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL CDIP)**

Rev. 1.00

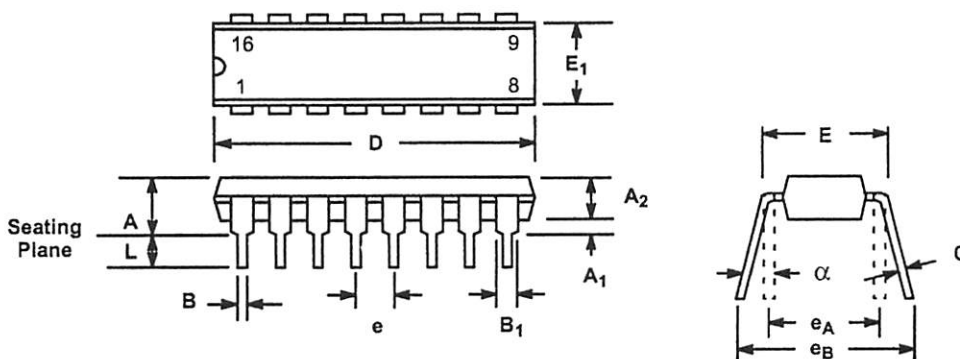


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A ₁	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.026	0.36	0.66
B ₁	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.740	0.840	18.80	21.34
E ₁	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	0.125	0.200	3.18	5.08
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

16 LEAD PLASTIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL PDIP)

Rev. 1.00

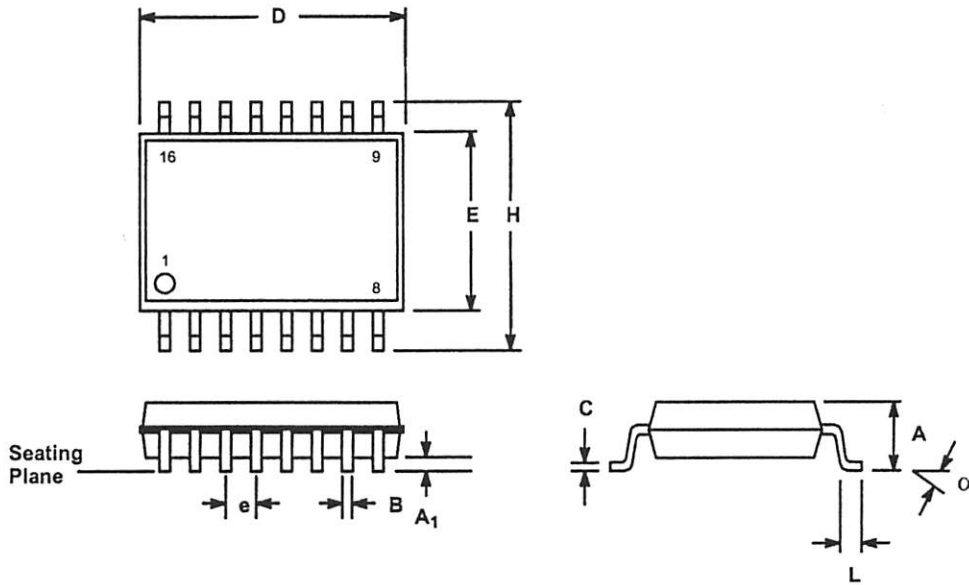


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A ₁	0.015	0.070	0.38	1.78
A ₂	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.36	0.56
B ₁	0.030	0.070	0.76	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	0.745	0.840	18.92	21.34
E	0.300	0.325	7.62	8.26
E ₁	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e _A	0.300 BSC		7.62 BSC	
e _B	0.310	0.430	7.87	10.92
L	0.115	0.160	2.92	4.06
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

**16 LEAD SMALL OUTLINE
(300 MIL JEDEC SOIC)**

Rev. 1.00



SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.093	0.104	2.35	2.65
A ₁	0.004	0.012	0.10	0.30
B	0.013	0.020	0.33	0.51
C	0.009	0.013	0.23	0.32
D	0.398	0.413	10.10	10.50
E	0.291	0.299	7.40	7.60
e	0.050 BSC		1.27 BSC	
H	0.394	0.419	10.00	10.65
L	0.016	0.050	0.40	1.27
α	0°	8°	0°	8°

Note: The control dimension is the millimeter column

NOTICE

EXAR Corporation reserves the right to make changes to the products contained in this publication in order to improve design, performance or reliability. EXAR Corporation assumes no responsibility for the use of any circuits described herein, conveys no license under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. Charts and schedules contained here in are only for illustration purposes and may vary depending upon a user's specific application. While the information in this publication has been carefully checked; no responsibility, however, is assumed for inaccuracies.

EXAR Corporation does not recommend the use of any of its products in life support applications where the failure or malfunction of the product can reasonably be expected to cause failure of the life support system or to significantly affect its safety or effectiveness. Products are not authorized for use in such applications unless EXAR Corporation receives, in writing, assurances to its satisfaction that: (a) the risk of injury or damage has been minimized; (b) the user assumes all such risks; (c) potential liability of EXAR Corporation is adequately protected under the circumstances.

Copyright 1972 EXAR Corporation
Datasheet June 1997

Reproduction, in part or whole, without the prior written consent of EXAR Corporation is prohibited.

**LEMBAR PERBAIKAN TUGAS AKHIR**

Nama : Agustaf Wahyu Mardiko
Nim : 06.52.005
Program Studi : Teknik Elektro D-III
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Hari, Tanggal : Jum'at, 2-10-2009

NO.	Tanggal	MATERI PERBAIKAN	Paraf
1		Permasalahan dipisah dari latar belakang	
2		Kesimpulan diambil dari percobaan, dilengkapi	
3		BAB II ditambahkan teori tentang Op-Amp	
4		Karakteristik MOSFET dan perencanaannya	
5		Trafo digambar diagram skematik, bukan fotonya	

Menyetujui:**Penguji I**

Irmalia Suryani Faradisa, ST, MT
NIP. P 103 0000 365

Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y 101 8800 190

Mengetahui:**Dosen Pembimbing**

Ir. H. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y 101 8700 151