

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



**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO
PADA LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN
TEKNIK MESIN S-1 ITN MALANG**

SKRIPSI

**Disusun Oleh :
HELMI BAHRIN
NIM : 02 12 008**

MARET 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN TEKNIK MESIN S-1 ITN MALANG

SKRIPSI

*Disusun Untuk Melengkapi dan Memenuhi Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

HELMI BAHRIN

NIM : 02 12 008



Mengetahui,
Dekan Jurusan Teknik Elektro

Ir.F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y.103 9500 274

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I,

Ir. H. Almizan Abdallah, MSEE
NIP. Y. 103 9000 208

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II,

Ir. Widodo (Pudji Muljanto), MT
Nip. Y. 1028 700 171

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

ABTRAKSI

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN TEKNIK MESIN S-1 INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

(Helmi Bahrin, Nim 02.12.008, Teknik Elektro/T.Energi Listrik S-1)
(Dosen Pembimbing : Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE
Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT)

Kata Kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, *governor*, *Inverter*, *MOSFET*, dan Transformator.

Pada Laboratorium Lapangan Jurusan Teknik Mesin S-1 ITN Malang terdapat PLTMH yang selanjutnya digunakan untuk studi skripsi ini, adapun dalam penyusunan skripsi ini membahas tentang perencanaan dan pembuatan *inverter*.

Perencanaan dan pembuatan *inverter* ditekankan pada empat hal, yakni : perencanaan catu daya, pengaturan frekuensi, *driver MOSFET*, dan perencanaan transformator. Namun yang ditekankan adalah pengaturan frekuensi karena *inverter* PLTMH ini digunakan untuk menggantikan *governor*.

Pengujian *inverter* ini dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian di laboratorium dan pengujian di lapangan yang mana dari hasil pengujian masih terdapat kekurangan pada *inverter*, untuk selanjutnya lebih disempurnakan lagi baik pada penyetabilan tegangan keluaran *inverter* maupun gelombang keluaran dari *inverter*.



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul :

**“PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO
PADA LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN TEKNIK MESIN S-1
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG”**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi program strata satu (S-1) jurusan Teknik Elektro/Program Studi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Sebelum dan selama penyusunan skripsi ini, penyusun telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE, selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT, selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro Energi Listrik.

5. Bapak, Ibu, dan seluruh keluargaku atas do`a restunya.
6. Teman-teman di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang, terutama angkatan 2002 dan teman-teman di laboratorium TDDE ITN Malang yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari sepenuhnya akan segala kekurangan yang ada dalam penyusunan skripsi ini, maka dengan kerendahan hati penyusun mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan skripsi ini.

Akhirnya penyusun berharap semoga dalam skripsi ini dapat membantu serta bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa pada Jurusan Teknik Elektro Energi Listrik.

Malang, Maret 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	HAL
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM).....	6
2.1.1. Hidrologi	7
2.1.2. Bangunan Sipil.....	8
2.2. Turbin Pelton Mikro	9
2.3. Nosel	10
2.4. Generator.....	10
2.4.1. Prinsip Kerja Generator.....	11
2.4.2. Reaksi Jangkar	11
2.4.3. Alternator Tanpa Beban	12
2.4.4. Alternator Berbeban	12
2.4.5. Penyearah Tegangan Bolak-balik.....	13
2.5. Inverter	15

2.6. Transformator	19
2.6.1. Transformator Berbeban	22
2.6.2. Prinsip Kerja Transformator	25
2.6.3. Bentuk Inti (Kern) Trafo	26
2.6.4. Perhitungan transformator	26
2.7. Resistor	29
2.8. MOSFET	31
2.8.1. Jenis MOSFET dan Karakteristiknya	33
2.9. Kapasitor	37
2.10. Dioda	38
2.11. Dioda Cahaya (LED)	40
BAB III PERENCANAAN DAN PEMBAUATAN ALAT.....	41
3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	41
3.2. Diagram Alir Cara Kerja PLTM ITN Malang	43
3.3. Diagram Alir Pembuatan Inverter PLTM ITN Malang	44
3.4. Perencanaan Inverter	45
3.5. Prinsip Kerja Inverter	49
BAB IV ANALISA PENGUJIAN ALAT.....	50
4.1. Data Hasil Pengujian Alat	50
4.2. Data Hasil Percobaan Osilator	56
BAB V PENUTUP	60
5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HAL
2.1. Turbin Pelton.....	8
2.2. Penampang Nosel	9
2.3. Rangkaian Alternator dan Bagiannya	10
2.4. Kurva Pemagnetan Alternator Tanpa Beban.....	11
2.5. Rangkaian dan Diagram Vektor Alternator Berbeban.....	13
2.6. Bentuk Gelombang Keluaran Penyearah	13
2.7. Belitan Alternator dengan Penyearah Gelombang Penuh.....	14
2.8. Inverter dengan Tipe Quasi Square Wave	16
2.9. Pulse Width Modulation Inverter	17
2.10. Pulsa PWM membentuk Sinusoida.....	17
2.11. Step Wave Inverter	18
2.12. Bagan Transformator	21
2.13. Transformator Berbeban	22
2.14. Bentuk Inti atau Kern Transformator.....	26
2.15. Kode Warna pada Resistor	30
2.16. MOSFET	31
2.17. Konstruksi Field Effect Transistor.....	32
2.18. Gerbang Positif dan Gerbang Negatif.....	33
2.19. Lengkung Penguras MOSFET, Kurva Transkonduktansi, Prategangan.....	34
2.20. MOSFET peningkatan, Struktur, Pembentukan Negatif Pembentukan Inversi Tipe n.....	35
2.21. Arus Penguras untuk MOSFET Jenis Peningkatan	36
2.22. Konstruksi Kapasitor.....	37
2.23. Bentuk dan Simbol Dioda	38
2.24. Simbol LED.....	40
3.1. Diagram Sistem PLTM ITN Malang.....	41
3.2. Diagram Alir Cara kerja PLTM ITN Malang	43

3.3. Diagram Alir Pembuatan PLTM ITN Malang	44
3.4. Rancangan Diagram Blok	45
3.5. Komponen pengatur Frekuensi dan Pembentuk Pulsa.....	50
3.6. MOSFET Driver	48
3.7. Rangkaian Inverter Secara Keseluruhan	49
4.1. Skema Pengujian Inverter	50
4.2. Rangkaian inverter dan beban	50
4.3. Rangkaian inverter pabrik.....	53
4.4. Gelombang keluaran inverter pada oscilloscope	56

DAFTAR TABEL

TABEL	HAL
2.1. Beberapa besi kern dan tegangannya, jumlah gulungan Per volt transformator tenaga, serta tebal kawat email Untuk gulungan primer	24
2.2. Diameter kawat email yang digunakan pada gulungan sekunder.....	25
2.3. ukuran kawat dan kemampuan hantar arus	27
2.4. Warna dari suatu resistor.....	30
4.1. Data hasil pengukuran V_{in} inverter	51
4.2. Data hasil pengukuran V_{out} inverter	51
4.3. Data hasil pengukuran I_{in} inverter.....	51
4.4. Data hasil pengukuran I_{Out} inverter.....	52
4.5. Data hasil pengukuran V_{in} inverter pabrik.....	54
4.6. Data hasil pengukuran V_{out} inverter pabrik	54
4.7. Data hasil pengukuran I_{in} inverter pabrik	54
4.8. Data hasil pengukuran I_{Out} inverter pabrik	55
4.9. Data hasil pengujian gelombang osilator	57



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik terdiri atas sejumlah unit-unit pembangkit yang letaknya terpisah dan dihubungkan satu sama lainnya dalam melayani beban pada daerah pelayanan melalui sistem jaringan tenaga listrik yang terinterkoneksi. Stasiun pembangkit umumnya terdiri lebih dari satu unit pembangkit, tergantung pada aspek teknis dan ekonomis setempat untuk mendukung pengoperasian yang optimal.

Pada laboratorium lapangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro jurusan Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang terdapat sebuah turbin pelton yang akan dimanfaatkan untuk melengkapi sebuah pembangkit hibrid kincir angin mikrohidro yang selanjutnya disebut PLTMH ITN Malang. Penggunaan kincir angin untuk menghasilkan energi listrik mempunyai kendala yaitu, energi angin besarnya tidak menentu sedangkan beban listrik mempunyai karakteristik tertentu. Untuk mengatasi kendala tersebut, maka ada suatu pemikiran untuk memanfaatkan energi angin tersebut dengan cara memompa air ke sebuah tandon air yang terletak di suatu ketinggian. Air tersebut dipompa oleh sebuah pompa air yang dijalankan oleh sebuah kincir angin. Karena energi angin selalu berubah dari waktu ke waktu, maka debit air yang dipompa juga akan berubah/menyesuaikan. Namun hal ini diatasi dengan menampung air yang dipompa tersebut terlebih dulu dalam tandon air, untuk selanjutnya dilepas ke turbin air yang menjalankan generator listrik sesuai kebutuhan beban. Namun,

karena pada PLTM ITN Malang sistem bagian depan (*front end*) : pompa – kincir angin, belum direalisasikan, maka dalam skripsi ini hanya akan di bahas sistem bagian belakang (*rear end*) : tandon – turbin – Alternator – *inverter* – beban – SCADA, yang terbagi atas 3 pokok bahasan, yaitu :

- a. **Perencanaan dan pembuatan AVR (*Automatic Voltage Regulator*).**
- b. **Perencanaan dan pembuatan *Inverter*.**
- c. **Perencanaan dan penerapan SCADA.**

Pada PLTM ini atas dasar pertimbangan ekonomi, tidak digunakan *governor*. *Governor* berfungsi mengatur kecepatan putar turbin agar tetap stabil, sehingga frekuensi tegangan keluaran generator dapat dijaga pada 50 Hz dengan batas toleransi sebesar 5 %. Fungsi pengaturan frekuensi ini dialihkan kepada *inverter*. Jadi fungsi *inverter* disamping untuk mengubah tegangan DC (yang diperoleh dari generator DC) menjadi AC, juga untuk mengendalikan frekuensi dan bentuk gelombang.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang timbul adalah:

- Dapatkah *inverter* menggantikan fungsi dari *governor* sebagai pengatur frekuensi.
 - Dapatkah *inverter* mengatur tegangan keluaran sehingga tegangan sistem tetap terjaga pada kisaran tegangan 220 V AC.
-

Dengan demikian, maka skripsi ini diberi judul :

**“Perencanaan dan Pembuatan Inverter Pembangkit Listrik Tenaga
Mikrohidro Pada Laboratorium Lapangan Jurusan Teknik Mesin S-1
Institut Teknologi Nasional Malang”**

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan dari studi skripsi ini adalah untuk :

Merancang *inverter* yang sesuai untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Laboratorium Lapangan Teknik Mesin S-1 ITN Malang dan sekaligus membuat *prototype*, sehingga tegangan searah yang masuk ke *inverter* dapat diubah menjadi tegangan sinusoida 220 volt pada frekuensi yang stabil yakni 50 Hz.

1.4. Batasan Masalah

Dalam pembahasan masalah ini ada asumsi yang merupakan batasan masalah agar tidak meluas, yaitu :

- 1) Sistem yang ditinjau adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang ada di ITN Malang.
 - 2) Merancang dan membuat mekanisme pengatur tegangan dan frekuensi pada beban.
 - 3) Membahas sistem bagian belakang dari PLTMH.
 - 4) Tidak membahas tentang pemompaan air.
-

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah :

1. Studi literatur, dari artikel, dan buku-buku referensi yang berhubungan dengan judul diatas yang berkaitan dengan *inverter*.
2. Studi lapangan, disertai dengan pengumpulan data-data pada tempat yang terkait. Adapun bentuk data yang diambil dan digunakan :
 - Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk perhitungan.
 - Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk gambar, bagan perencanaan ataupun grafik.
3. Melakukan perhitungan-perhitungan berdasarkan data-data yang didapatkan.
4. Perencanaan dan pembuatan *inverter*.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah dan tujuan penulisan.

2. BAB II LANDASAN TEORI

Membahas tentang Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dan komponen-komponen penting dari PLTMH dan *inverter*.

3. BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Berisikan tentang pembahasan perencanaan dan pembuatan *inverter* yang akan digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di ITN Malang.

4. BAB IV ANALISA HASIL PENGUJIAN ALAT

Berisikan tentang analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, analisa bentuk gelombang keluaran *inverter*, analisa pengaturan frekuensi dan tegangan keluaran *inverter*.

5. BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran dari skripsi.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM)

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Biasanya Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dan biasa dikatakan dengan sebutan "*energi putih*". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik.

2.1.1. Hidrologi

A. Debit sungai

Debit sungai merupakan data pokok untuk perencanaan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial air, sehingga debit harus diukur secara teliti dan dalam waktu yang sepanjang mungkin. Pengukuran debit sungai didasarkan pada debit andalan yakni pengukuran aliran sungai sepanjang tahun sehingga diperoleh data statistik debit sungai maksimum maupun minimum.

B. Menentukan debit andalan

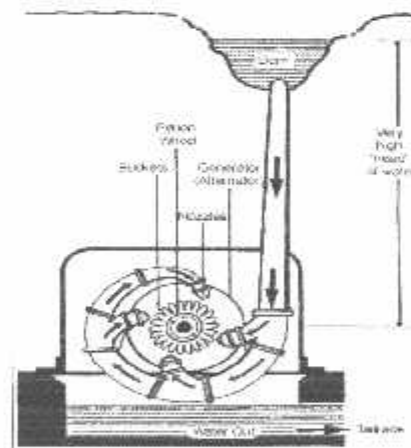
Duration curve adalah suatu grafik yang memperlihatkan debit sungai selama beberapa waktu tertentu dalam satu tahun, debit ini terdapat didalam sungai. Sehingga jelas bahwa debit minimum terdapat selama setahun penuh, sedangkan debit maksimum hanya terdapat selama beberapa jam. *Duration curve* digambarkan dari data-data debit, sekurang-kurangnya selama 10 tahun, agar dapat memberikan informasi yang bias digunakan.

Untuk menentukan besarnya debit sungai yang diharapkan dalam rangka merencanakan kapasitas turbin serta bangunan sipil lainnya yang diperlukan adalah suatu lengkung debit / *duration curve*, dari lengkung debit ini dapat diketahui sifat dari sungai tersebut, sehingga dapat diperkirakan besarnya debit andalan yang diharapkan.

2.2. Turbin Pelton Mikro

Turbin Pelton mikro adalah suatu instalasi turbin pelton yang kapasitasnya jauh lebih kecil dari pada turbin Pelton yang digunakan pada pembangkit tenaga listrik dengan skala yang lebih besar. Mekanisme dasar dari turbin Pelton mikro pada dasarnya sama dengan turbin pelton kapasitas besar. Pada turbin Pelton mikro terdapat kincir (*runner*) dan sudu, yang merupakan sebuah roda piringan yang dipasangi sudu-sudu berbentuk mangkok pada bagian keliling luar secara *uniform* (merata).

Karena sudu dipasang melingkar, maka sudu tersebut bergerak bersama-sama dengan kincir. Oleh sebab itu sudu tersebut disebut sudu gerak. Permukaan sudu dibuat halus dan rata. Untuk tinggi jatuh yang rendah sudu umumnya terbuat dari besi cor, tetapi untuk pemakaian tinggi jatuh yang tinggi, sudu dibuat dari *bronze* atau *stainless steel* atau paduan lainnya. Pemasangan sudu pada *runner* biasanya dilakukan dengan baut, tetapi terkadang sudu dan piringan dicor menjadi satu kesatuan, dengan anggapan seluruh sudu akan aus dalam waktu yang bersamaan.



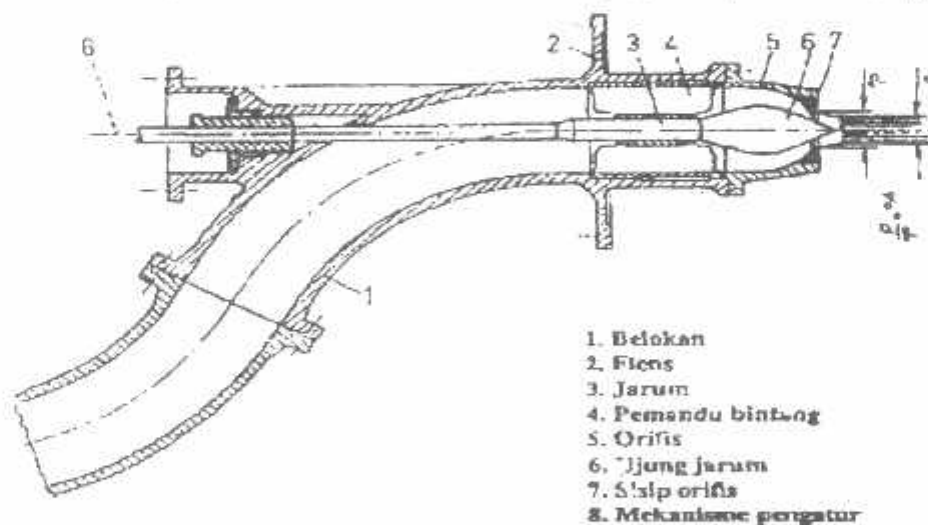
Gambar 2.1. Turbin Pelton dengan 4 Nosel

Sumber :internet

2.3. Nosel

Merupakan mekanisme pemancar air berbentuk lengkung yang mengarahkan air sesuai dengan arah aliran yang direncanakan dan mengatur aliran air. Aliran air dalam bentuk jet menumbuk *bucket* (mangkok). Sebuah jarum mekanis di bagian dalam nosel berfungsi untuk mengatur jumlah air yang dialirkan. Apabila jarum didorong ke arah nosel akan mengakibatkan jumlah air yang mengalir melalui nosel berkurang dan sebaliknya bila ditarik menjauhi nosel maka jumlah air yang mengalir melalui jet bertambah. Gerakan dari jarum diatur dengan tangan atau secara otomatis, sesuai dengan keperluan yang dikehendaki. Nosel diusahakan diletakkan sangat dekat dengan *bucket*, sebagai usaha untuk memperkecil kerugian akibat putaran.

Turbin Pelton mungkin dikonstruksi dengan nosel lebih dari sebuah. Pada poros mendatar dilengkapi satu atau dua buah nosel, sedang yang berporos tegak mempunyai sampai enam buah nosel. Untuk mencapai jumlah putaran tertentu,



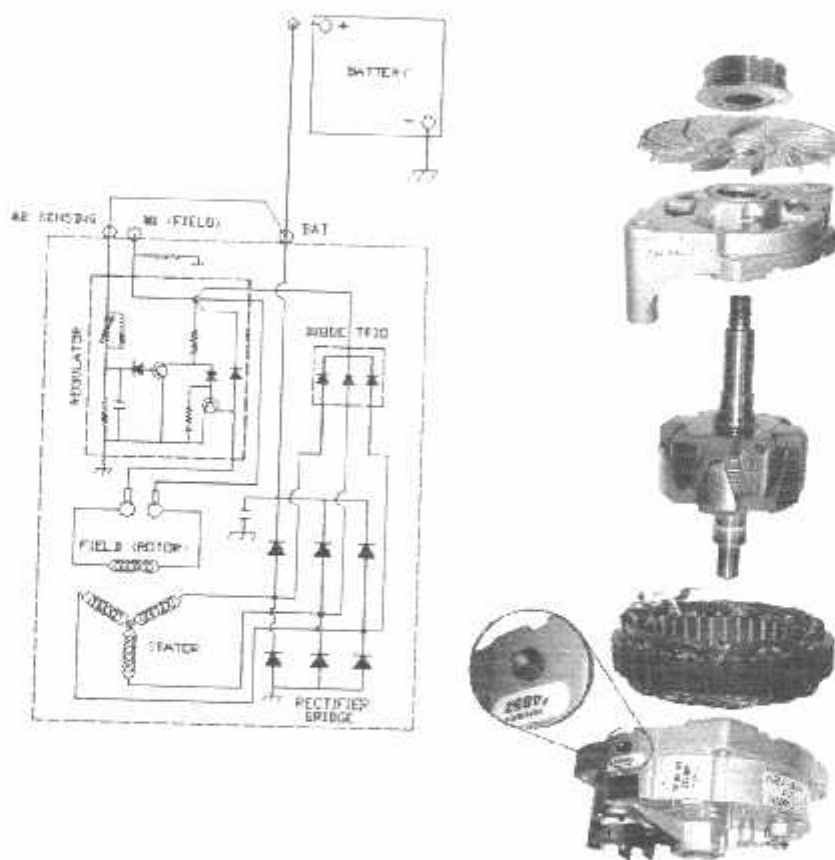
Gambar 2.2. Penampang Nosel

(Sumber : Markus Einsenring, M. Edi Sunarto, *Turbin Pelton Mikro*, hal 18)

2.4. Generator

2.4.1. Prinsip kerja Generator

Generator yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis Alternator. Alternator mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan pada mesin induksi sedangkan kumparan medan alternator dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Arus searah (d-c) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin.



Gambar 2.3. Rangkaian Alternator dan Bagiannya

2.4.2. Reaksi jangkar

Apabila alternator melayani beban, maka pada kumparan jangkar stator mengalir arus, dan arus ini menimbulkan fluks jangkar. Fluks jangkar yang ditimbulkan arus (ϕ_A) akan berinteraksi dengan yang dihasilkan kumparan medan rotor (ϕ_F), sehingga menghasilkan fluks resultante (ϕ_R).

$$\phi_R = \phi_F + \phi_A; \text{ jumlah secara vektor.}$$

Adanya interaksi ini dikenal sebagai reaksi jangkar.

2.4.3. Alternator tanpa beban

Dengan memutar alternator pada kecepatan nominal dan rotor diberi arus medan (I_f), tegangan (E_0) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator.

$$E_0 = c.n.\phi$$

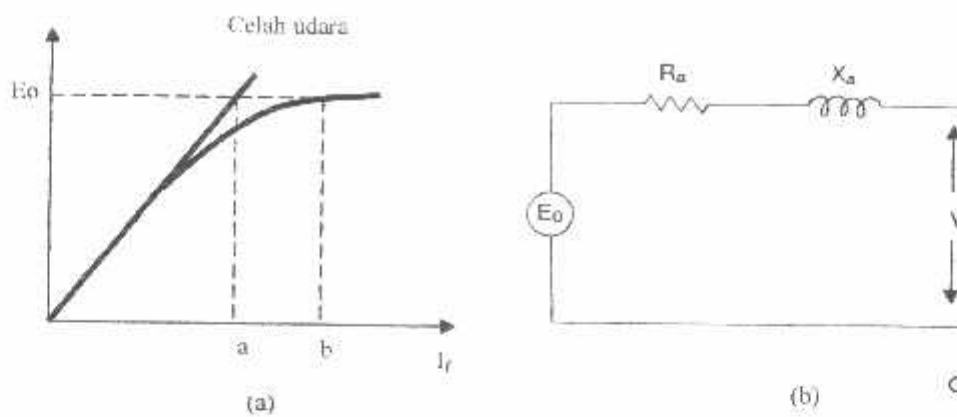
Dimana :

c = konstanta mesin

n = putaran nominal

ϕ = fluksi yang dihasilkan oleh I_f .

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Apabila arus medan (I_f) diubah-ubah harganya, akan diperoleh harga E_0 seperti yang terlihat pada kurva pemagnetan gambar 2.9a di bawah. Pada celah udara kurva pemagnetan merupakan garis lurus.



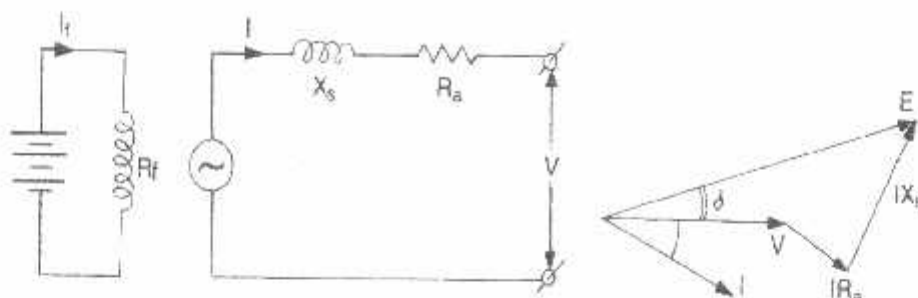
Gambar 2.4. Kurva pemagnetan alternator tanpa beban

Keterangan : ab = tambahan arus medan yang diperlukan untuk daerah jenuh
 R_a = tahanan stator
 X_a = Fluks bocor
 E_0 = V (keadaan tanpa beban)

(Sumber : Zuhul, *Dasar Tenaga Listrik*, hal 94)

2.4.4. Alternator berbeban

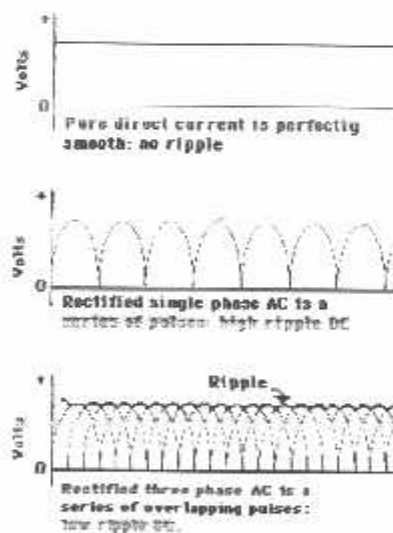
Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi dan disebut reaktansi pemagnet (X_m). Reaktansi pemagnet (X_m) ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s). Model rangkaian dan diagram vektor dari generator berbeban induktif (faktor kerja terbelakang) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 5. Rangkaian dan diagram vektor alternator berbeban
(Sumber : Zuhul, Dasar Tenaga Listrik, hal 95)

2.4.5. Penyearah Tegangan Bolak-Balik

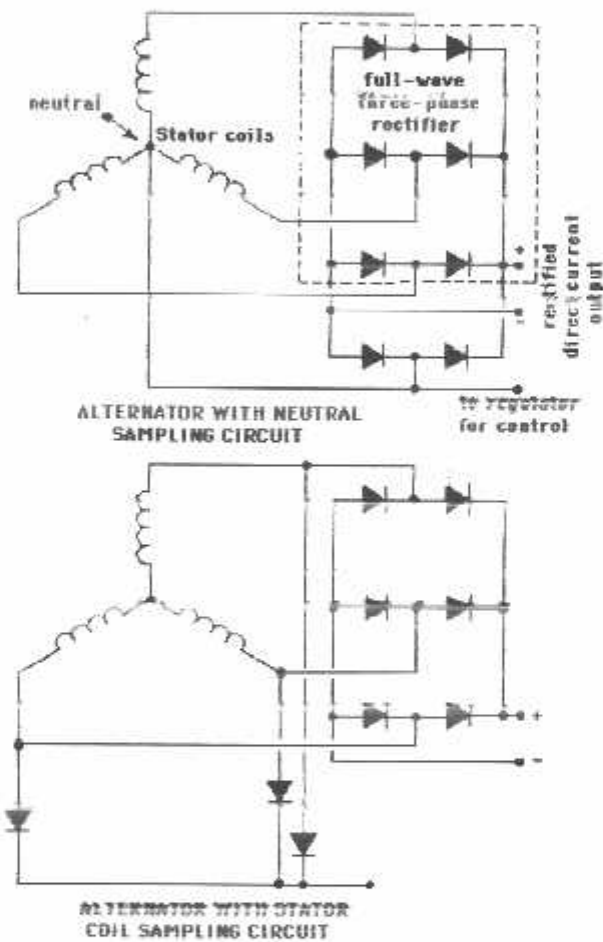
Sebuah alternator terdiri dari tiga buah belitan dengan jarak sudut antar masing-masing belitan sebesar 120 derajat. Bila dilihat pengaruh dioda pada arus bolak-balik satu fasa terlihat bahwa keluaran dari alternator berupa sederetan pulsa DC. Padahal arus searah yang baik adalah arus searah yang benar-benar rata. Keluaran dari dioda-dioda (penyearah AC) adalah berbentuk gelombang, dan ini dikatakan sebagai penunjuk riak.



Gambar 2.6. Bentuk Gelombang Keluaran Penyearah

(Sumber : Inersinet)

Pada saat penyearah DC ditambahkan pada setiap belitan tiga fasa maka hal ini akan menghasilkan gelombang keluaran DC yang bagus riaknya. Pada alternator setiap ujung dari belitan tiga fasa dihubungkan pada titik netral, sedangkan ujung lainnya dihubungkan dengan dioda-dioda. Masing masing belitan menggunakan dua dioda sehingga terdapat enam buah dioda di dalam sebuah alternator hal ini untuk memungkinkan keluaran dari alternator merupakan tegangan DC murni.



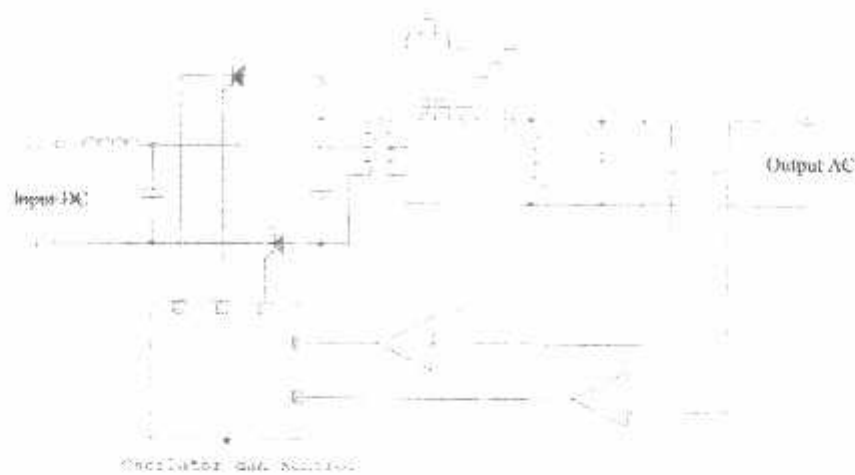
Gambar 2.7. Belitan Alternator dengan Penyearah Gelombang Penuh

Sumber : Internet

2.5. Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian yang dapat merubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Fungsi dari *inverter* pada PLTMH ini adalah untuk mengubah tegangan rata yang dihasilkan oleh alternator menjadi tegangan sinusoida dan menggantikan fungsi dari *governor* yakni sebagai pengatur frekuensi agar sistem tetap stabil serta untuk menjaga tegangan keluaran dari *inverter* yang menuju ke beban tetap stabil . Pengaturan frekuensi dilakukan oleh rangkaian-rangkaian yang ada disekitar IC pada *inverter*. Tegangan output yang dihasilkan harus stabil baik amplitudo tegangan maupun frekuensi tegangan yang dihasilkan, distorsi yang rendah, tidak terdapat tegangan transien serta tidak dapat diinterupsi oleh suatu keadaan.

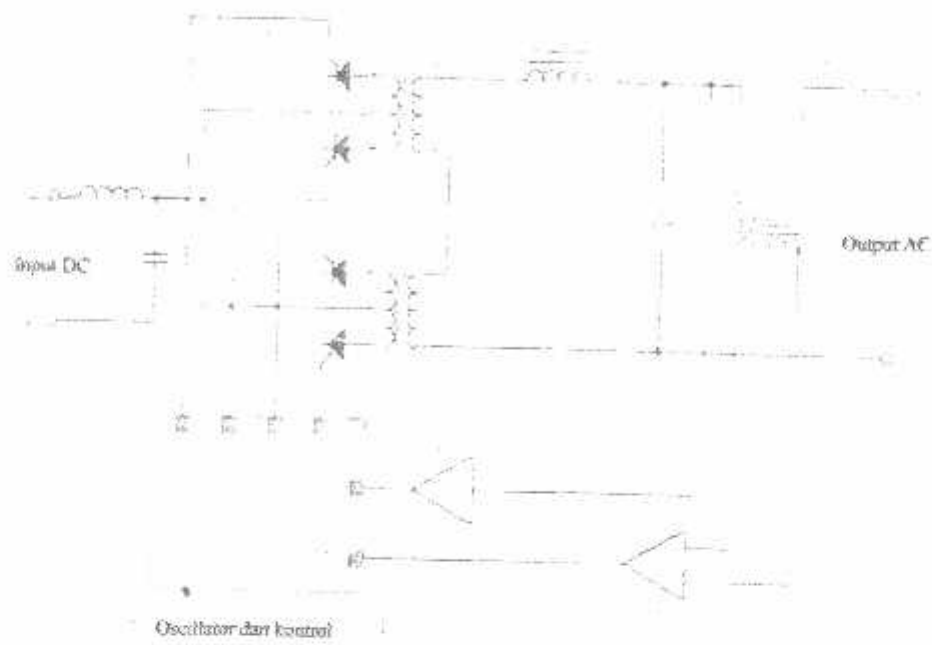
Sistem *inverter* yang biasa digunakan adalah sistem *Quasi-Square Wave inverter*. Sistem ini dapat menghasilkan sinyal dengan *duty cycle* yang bervariasi yang mana harus dilakukan pemfilteran dengan menggunakan rangkaian paralel L.C. Dengan adanya filter ini maka sistem *inverter* akan lambat dalam merespon adanya tegangan transient dan frekuensinyapun akan tetap. Dengan adanya rangkaian ini maka efisiensi *inverter* biasanya mencapai 75%. Selain itu perlu adanya *feedback* baik *feedback* berupa tegangan maupun berupa arus output.



Gambar 2.8. Inverter dengan tipe *Quasi-Square Wave*

Tipe *inverter quasi-square wave* ini hanya mempunyai efisiensi yang tidak terlalu tinggi yaitu 75% sehingga daya sebesar 25% terbuang untuk regulasi dan pengubahan tegangan DC menjadi AC. Dan di dalam blok *oscillator* dan kontrol tidaklah sederhana sehingga membutuhkan komponen yang banyak dan biaya pembuatannya menjadi mahal.

Tipe *inverter* yang lain adalah tipe *pulse width modulation*. Tipe *inverter* ini menghasilkan deretan pulsa-pulsa yang duty cyclenya bervariasi. Pulsa-pulsa ini setelah melalui filter akan dihasilkan sebuah sinyal sinusoida yang cukup baik. Tipe *inverter pulse width modulation* ini akan meningkatkan respon regulasi dan respon transien yang cukup baik. Walaupun demikian tipe *inverter* seperti ini masih kompleks namun jumlah penggunaan komponen untuk kontrol tidak terlalu banyak. Tipe *inverter* semacam ini digunakan pada *inverter* dengan daya yang besar, sekitar 50 KVA.



Gambar 2.9. Pulse Width Modulation Inverter

Inverter PWM ini dapat menghasilkan tegangan output yang baik dengan pengurangan komponen filter sehingga rangkaian filter menjadi lebih sederhana dan penurunan biaya pembuatan. Namun tipe *inverter* ini digunakan pada *inverter* dengan kapasitas daya yang besar.

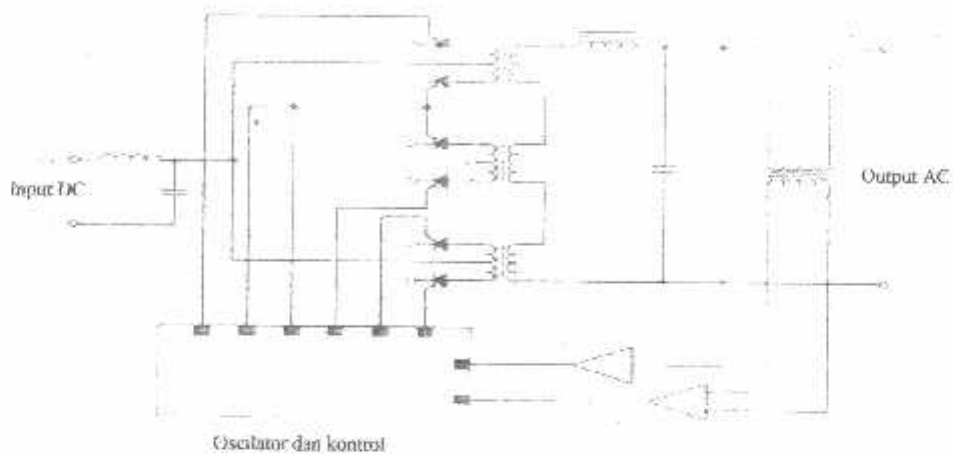
Setelah filter



Gambar 2.10. Pulsa PWM membentuk sinusoida

Tipe *inverter* yang lain adalah tipe *step wave inverter*. Pada rangkaian *step wave inverter* ini menggunakan *inverter* yang banyak untuk mendapatkan sinyal sinusoida yang baik dan pengurangan komponen filter.

Pada regulator tipe ini tegangan DC harus sudah teregulasi sebelum masuk pada bagian *inverter* agar tidak terjadi pergeseran kontak yang dihasilkan. *Inverter* ini mempunyai efisiensi sampai 85% pada beban penuh.



Gambar 2.11. Step Wave Inverter

Jumlah *inverter* yang digunakan dalam sebuah sistem biasanya 3 buah tetapi dapat pula berjumlah 6 bahkan 12 (kelipatan 3). Dengan banyaknya *inverter* akan menghasilkan step yang lebih halus sehingga fungsi filter dapat diminimalisasi. Penggunaan *inverter* tipe ini biasanya untuk aplikasi 3 fasa dengan kapasitas daya yang besar. Walaupun demikian kelemahan sistem *inverter* ini adalah sekalipun dengan banyaknya *inverter* yang digunakan akan menghasilkan sinyal sinus yang baik namun biaya yang dibutuhkan untuk membuat *inverter* menjadi berlipat-lipat tergantung dari jumlah *inverter* yang digunakan.

Yang menjadi titik berat pada tipe *inverter* ini adalah pada bagian osilator dan kontrolnya. Karena pada bagian ini akan menghasilkan trigger-trigger bagi SCR-SCR yang berfungsi sebagai *inverter* tersebut dengan perioda yang

disesuaikan antar yang satu dengan yang lainnya sehingga dapat membentuk sinyal *stair case up/down* dengan frekuensi yang sesuai dengan yang diinginkan.

2.6. Transformator

Transformator adalah alat yang dapat memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lain. Transformator tidak dapat digunakan pada rangkaian arus searah. Tegangan searah tidak dapat dinaikkan oleh transformator, karena tegangan searah tidak dapat menghasilkan tegangan induksi pada transformator.

Kumparan primer dihubungkan pada sumber tegangan yang mengakibatkan arus primer membentuk medan bolak-balik dalam inti besi. Menurut gejala induksi akan terjadi suatu tegangan induksi pada kumparan sekunder, yang juga merupakan tegangan bolak-balik. Tegangan yang diinduksikan selalu berbanding lurus dengan banyaknya lilitan pada kumparan yang tegangannya diinduksikan, sehingga :

$$E_p : E_s = N_p : N_s \text{ atau } \frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

E_p = Tegangan pada kumparan primer

E_s = Tegangan pada kumparan sekunder

N_p = Jumlah lilitan pada kumparan primer

N_s = Jumlah lilitan pada kumparan sekunder

jika lilitan sekunder dihubungkan pada suatu hambatan (beban) maka terjadilah arus sekunder I_s , sehingga :

$$N_p \cdot I_p = N_s \cdot I_s \text{ atau } \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \dots\dots\dots (2,3)$$

Dimana :

I_p = Arus pada kumparan primer

I_s = Arus pada kumparan sekunder

Transformator disini difungsikan untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan melalui pulsa yang dibangkitkan oleh IC di dalam *inverter* yang dikontrol oleh MOSFET sebelum diteruskan ke transformator. Setiap transformator memiliki prinsip kerja yang sama yaitu :

- Arus bolak-balik dalam lilitan primer membangkitkan fluks dalam intinya.
- Garis-garis gaya magnet memotong lilitan primer dan lilitan sekunder.
- Tegangan (ggl) diinduksier dalam lilitan primer dan sekunder.
- $E_p = 4,44 \cdot \Phi_{maks} \cdot N_p \cdot f$: $E_s = 4,44 \cdot \Phi_{maks} \cdot N_s \cdot f$ Volt

Dimana :

E_p = Tegangan yang diinduksier pada lilitan primer

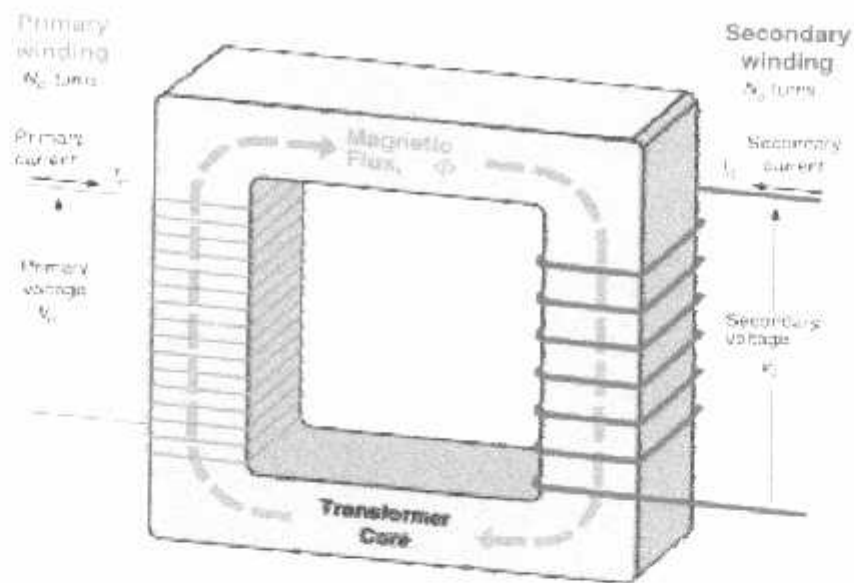
E_s = Tegangan yang diinduksier pada lilitan sekunder

Φ_{maks} = Fluks (garis-garis gaya magnet) Weber/m²

N_p = Lilitan primer

N_s = Lilitan sekunder

F = Frekuensi Hertz



Gambar 2.12. Bagan Transformator

Sesuai dengan fungsinya transformator dapat dibedakan antara lain :

- Step-Up Transformator
- Step-Down Transformator
- Transformator dengan bermacam-macam tegangan sekunder
- Transformator Kopling

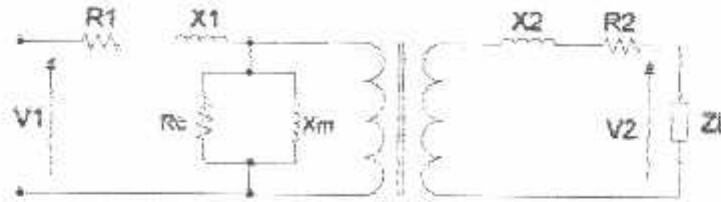
Transformator banyak sekali digunakan pada rangkaian listrik maupun elektronika misalnya pada pesawat radio, gardu-gardu listrik dan lain-lain.

Berdasarkan frekuensinya transformator dapat dibagi menjadi 3, yaitu :

- Transformator frekuensi rendah
- Transformator frekuensi menengah
- Transformator frekuensi tinggi

2.6.1. Transformator Berbeban

Apabila transformator diberikan tegangan maka gambar rangkaian ekivalennya dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.13. Transformator Berbeban

Sumber : Twofiq, *Perencanaan dan Pembuatan UPS*

Dimana :

R_1 : Tahanan Primer

R_2 : Tahanan Sekunder

X_1 : Reaktansi Primer

X_2 : Reaktansi Sekunder

R_C : Tahanan inti

X_M : Reaktansi Magnet

Impedansi belitan primer dinyatakan oleh :

$$Z_1 = R_1 + j X_1 \dots\dots\dots(2-4)$$

Impedansi belitan sekunder dinyatakan oleh :

$$Z_2 = R_2 + j X_2 \dots\dots\dots(2-5)$$

Tegangan induksi pada belitan primer :

$$E_1 = V_1 - (I_1 \cdot Z_1) \dots\dots\dots(2-6)$$

Tegangan induksi pada belitan sekunder :

$$E_2 = V_2 - (I_2 \cdot Z_2) \dots\dots\dots(2-7)$$

Perbandingan transformasi $E_1 : E_2$ dan perbandingan transformasi tegangan adalah $V_1 : V_2$.

Dalam praktek menggulung transformator, pada pemakaian rumus diatas sering terjadi penyimpangan. Kenyataan praktek membuktikan bahwa tidak semua medan elektromagnetis yang dibangkitkan oleh gulungan primer dipindahkan ke gulungan sekunder, hal ini terjadi karena adanya kerugian pada transformator.

Untuk transformator kecil sampai dengan 150 W, tenaga yang berhasil dipindahkan ke gulungan sekunder sekitar 70% sampai dengan 80%. Jadi bagian yang tidak berhasil dipindahkan merupakan kerugian karena panas pada inti besi. Kerugian ini sekitar 20% sampai 30% dari tenaga gulungan primer. Oleh sebab itu jika kita ingin merencanakan gulungan sekunder sebesar 100 Watt maka tenaga primernya harus lebih besar 20% sampai 25% dari tenaga sekundernya. Hal ini dilakukan agar transformator yang dibuat tahan terhadap panas.

Frekuensi P.I.N berkisar antara 50 Hz sampai dengan 60 Hz, oleh sebab itu untuk menghitung gulungan per volt dapat menggunakan rumus :

$$\frac{\text{circle per second}}{\text{keliling besi ker } n} \times 1 \text{ gulungan} \dots\dots\dots (2-8)$$

Ramus ini dapat digunakan untuk menghitung jumlah gulungan per volt pada transformator tenaga atau transformator step up dan step down.

Prosedur perencanaan transformator adalah sebagai berikut :

Jumlah gulungan per volt = { 56 / keliling besi kern } x 1 gulungan.

Sedangkan jumlah gulungan sekunder per volt biasanya lebih banyak dari pada jumlah gulungan primer per volt. Jumlah gulungan sekunder per volt harus lebih banyak 5 % sampai 10 %.

Dimana :

N / V primer : gulungan per volt primer

N / V sekunder: gulungan per volt sekunder

56 : daya hantar tembaga

Untuk memperbaiki transformator tenaga yang rusak sehingga dapat berfungsi dengan baik maka dapat dilihat pada tabel di bawah ini, beberapa ukuran-ukuran yang harus dipakai untuk memperbaiki transformator.

Tabel 2.1
Beberapa Besi Kern dan tegangannya, Jumlah Gulungan
Per volt Transformator Tenaga, Serta Tebal Kawat Email
Untuk Gulungan primer

No.	Tenaga Gulungan Primer dalam VA (Watt)	Besi Kern			Jumlah Gulungan Per volt (N / V)		Tebal Kawat Email Gulungan Primer
		Ukuran Tebal Dan Lebar (cm)		Kefiling (cm)	Primer (gul)	Sekunder (gul)	
		T	L				
1	100	2,8	2,8	11,2	5	5,25	0,60 mm
2	75	2,6	2,6	10,4	5,38	5,65	0,50 mm
3	50	2,4	2,4	9,6	5,8	6,09	0,48 mm
4	40	2,2	2,2	8,8	6,36	6,68	0,45 mm
5	25	2,0	2,0	8	7	7,35	0,35 mm
6	15	1,7	1,7	6,8	8,24	8,65	0,30 mm
7	6	1,4	1,4	5,6	10	10,5	0,20 mm

Sumber : Twofiq, *Perencanaan dan Pembuatan UPS*

Sedangkan untuk menentukan diameter kawat email gulungan sekunder dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2
Diameter (tebal) Kawat Email yang dipergunakan
Pada Gulungan Sekunder

Tebal Kawat Email Yang dipergunakan	Membangkitkan Arus Sebesar
1,30 mm	5 Ampere
1,10 mm	4 Ampere
1,00 mm	3 Ampere
0,90 mm	2 Ampere
0,60 mm	1 Ampere
0,45 mm	0,5 Ampere
0,35 mm	0,3 Ampere
0,30 mm	0,2 Ampere
0,30 mm	0,15 Ampere
0,25 mm	0,125 Ampere
0,20 mm	0,1 Ampere
0,20 mm	0,075 Ampere
0,15 mm	0,05 Ampere
0,15 mm	0,025 Ampere

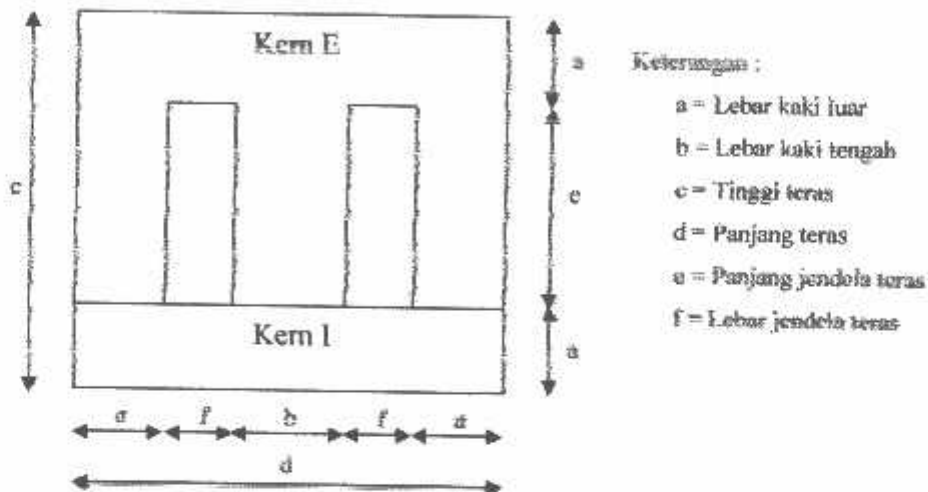
Sumber : Fwofiq, *Perencanaan dan Pembiayaan UPS*

2.6.2. 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 sehingga timbul fluksi, dan fluksi tersebut menginduksi kumparan sekunder dimana kumparan sekunder tersebut akan timbul tegangan atau tegangan induksi.

2.6.3. Gambar dan Bentuk Inti (kern) Trafo

Bahan yang dipakai untuk pembuatan kern atau inti transformator adalah bahan yang bersifat *feromagnetik*. Di bawah ini gambar bentuk dari inti atau kern yang dipakai pada transformator.



Gambar 2.14. Bentuk Inti atau Kern transformator

Sumber : *Elektra DIII ITN Malang, Buku Fundamen Praktikum Bengkel Elektromekanik*

2.6.4. Perhitungan transformator

Dalam perhitungan perencanaan transformator diperlukan parameter-parameter sebagai berikut :

1. Tegangan input dan tegangan output transformator (V_1 dan V_2).
2. Kapasitas maksimum transformator (Arus sekunder).

Setelah ditentukan parameter-parameternya, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan transformator, dengan urutan sebagai berikut :

1. Perhitungan daya sekunder (P_2) transformator, yaitu :

$$P_2 = 2 \times V_2 \times I_2 \dots\dots\dots(2-9)$$

Selanjutnya dari hasil daya sekunder dapat dihitung besarnya daya primer,

yaitu : $P_1 = 1,25 \times P_2 \dots\dots\dots(2-10)$

2. Perhitungan arus primer, dengan menggunakan rumus :

$$I_1 = \frac{P_1}{V_1} \dots\dots\dots(2-11)$$

3. Perhitungan besarnya diameter lilitan primer (d_{l1}) dan diameter lilitan sekunder (d_{l2}) yang digunakan dengan melihat tabel 2.3. dibawah.

Tabel 2.3.
Ukuran Kawat dan Kemampuan Hantar Arus

No	Diameter luar Kawat / dk (mm)	Diameter luar diselesaikan Maksimum / dl (mm)	Kemampuan Arus (A)
1	0,18	0,226	0,051 – 0,076
2	0,19	0,236	0,056 – 0,085
3	0,20	0,246	0,062 – 0,094
4	0,32	0,372	0,161 – 0,241
5	0,35	0,402	0,192 – 0,289
6	0,40	0,426	0,215 – 0,323
7	0,45	0,456	0,251 – 0,376
8	0,50	0,508	0,318 – 0,477
9	0,55	0,560	0,393 – 0,589
10	0,60	0,620	0,475 – 0,713
11	0,65	0,724	0,664 – 0,995
12	0,70	0,776	0,769 – 1,15
13	0,75	0,830	0,884 – 1,33
14	0,80	0,882	1 – 1,5
15	0,85	0,934	1,13 – 1,7
16	0,90	0,986	1,27 – 1,91
17	0,95	1,038	1,42 – 2,13
18	1	1,102	1,57 – 2,36
19	1,10	1,204	1,9 – 2,85
20	1,2	1,304	2,26 – 3,39
21	1,3	1,408	2,65 – 3,98

Sumber : Elektro DIII ITN Malang, Buku Panduan Praktikum Rengkel Elektromekanik

4. Perhitungan besarnya lebar kaki tengah inti besi (kern) yang digunakan, dengan rumus :

$$b = \sqrt{\frac{1,5 \times P_i}{9,9}} \dots\dots\dots(2-12)$$

Selanjutnya dari hasil perhitungan lebar kaki tengah inti besi (kern), dapat dihitung lebar jendela teras kern (f) dan panjang jendela teras kern (e), yaitu :

$$f = 0,5 \times b \dots\dots\dots(2-13)$$

$$e = 3 \times f \dots\dots\dots(2-14)$$

5. Perhitungan jumlah lilitan sekunder (N_2), dengan rumus :

$$N_2 = \frac{4 \times f_s \times e \times f}{\pi \left[\left[\frac{E_1}{E_2} \times d_1^2 \right] + \left[d_2^2 \right] \right]} \dots\dots\dots(2-15)$$

Dimana : f_s = Faktor ruang (0,3 – 0,5)

E_1 = Tegangan induksi lilitan primer

E_2 = Tegangan induksi lilitan sekunder

Selanjutnya dari hasil perhitungan jumlah lilitan sekunder dapat dihitung jumlah lilitan primer, dengan rumus sebagai berikut :

$$N_1 = \frac{E_1}{E_2} \times N_2 \dots\dots\dots(2-16)$$

6. Perhitungan tebal tumpukan inti besi (kern), dengan rumus :

$$T = \frac{220 \times 10^8}{4,44 \times f_p \times f_e \times h \times R \times N_i} \dots\dots\dots(2-17)$$

Dimana : f = Frekuensi jala-jala

f_c = Faktor teras kern (0,8 – 0,9)

b = lebar kaki tengah kern

B = Kepadatan fluks maksimum (1,2 Wb/m²)

7. Merencanakan tegangan lain pada sisi primer dan sekunder, yaitu :

$$\text{Sisi primer} = \frac{V_{\text{perencanaan}}}{V_{\text{maks primer}}} \times N_1 \dots\dots\dots(2-18)$$

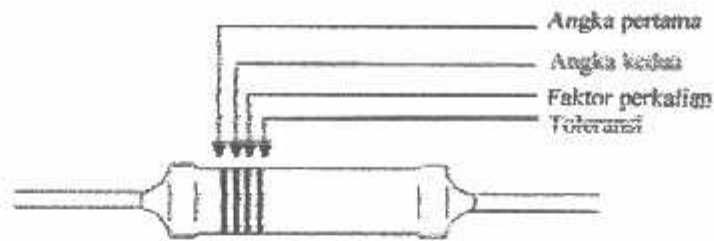
$$\text{Sisi sekunder} = \frac{V_{\text{perencanaan}}}{V_{\text{maks sekunder}}} \times N_2 \dots\dots\dots(2-19)$$

Setelah semua perhitungan selesai, maka dapat dilakukan pembuatan transformator.

2.7. Resistor

Resistor merupakan komponen pasif yang dibuat untuk mendapatkan hambatan tertentu. Resistor yang paling banyak digunakan terbuat dari karbon yang dilapiskan pada sebatang keramik. Resistor semacam ini disebut resistor film karbon.

Resistor karbon menggunakan sandi warna yang dicatkan pada badan resistor untuk menyatakan nilai hambatan. Untuk resistor dengan toleransi 10% dan 5% digunakan empat buah cincin, seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.15. Kode Warna pada Resistor

Sumber : Twofiq, Perencanaan dan Pembuatan UPS

Kode warna harus dibaca mulai dari ujung ke tengah-tengah tahanan dimana warna cincin pertama menunjukkan angka pertama dan warna cincin kedua menunjukkan angka kedua untuk warna cincin ketiga menunjukkan faktor perkalian sedangkan warna cincin terakhir menunjukkan toleransi dari resistor tersebut. Warna yang dipergunakan serta angka-angkanya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.4
Warna dari suatu Resistor

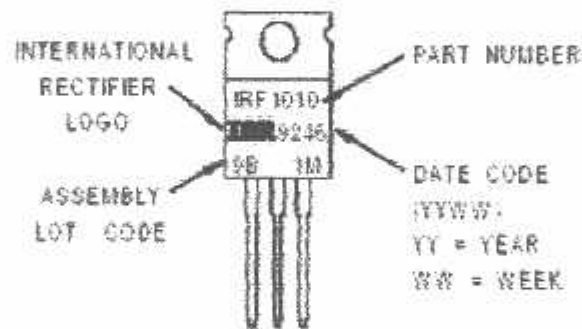
Warna	Angka ke 1 dan 2	Faktor Perkalian	Toleransi
Hitam	0	1	
Coklat	1	10	
Merah	2	10^2	
Jingga	3	10^3	
Kuning	4	10^4	
Hijau	5	10^5	
Biru	6	10^6	
Ungu	7	10^7	
Abu-abu	8	10^8	
Putih	9	10^9	
Emas	-	0,1	5 %
Perak	-	0,01	10 %
Non warna	-	-	20 %

Sumber : Twofiq, Perencanaan dan Pembuatan UPS

Resistor dibuat dengan ukuran badan yang mencerminkan kemampuan bertahan terhadap daya yang diterimanya jika dialiri arus listrik. Suatu resistor dengan hambatan (R) yang dialiri arus (I) akan menerima daya sebesar $P = I^2 R$. Daya ini akan menaikkan suhu resistor, dan jika melebihi kemampuan daya (power rating) yang ditentukan maka dapat menyebabkan kerusakan yang permanent, berupa perubahan terhadap nilai hambatan atau dapat membuat resistor hangus atau terbakar.

2.7. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

Pada alat *inverter* ini digunakan transistor jenis *MOSFET* (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) dimana bentuknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

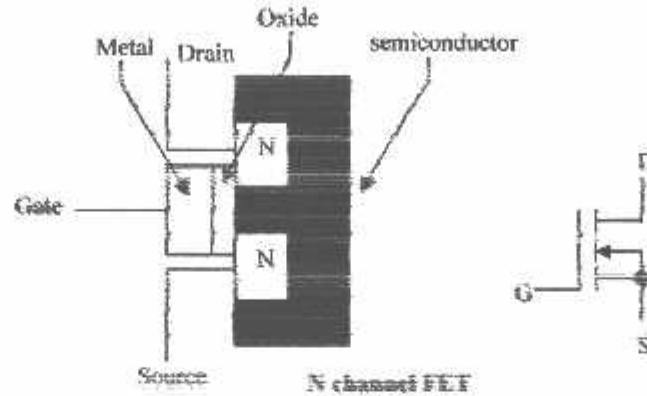


Gambar 2.16. MOSFET

Sumber : Internet

Mosfet (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - FET semikonduktor oksida logam) mempunyai *gate* (gerbang), *source* (sumber), dan *drain* (cerat), tegangan gerbang mengendalikan arus cerat. Perbedaan utama antar antara *JFET* dan sebuah *MOSFET* adalah bahwa kita dapat menggunakan tegangan gerbang positif dan pada dasarnya masih mempunyai arus gerbang nol.

Pada alat ini digunakan MOSFET kanal n dimana simbol skematiknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini dan simbol kanal n jika subtrat dihubungkan ke sumber.



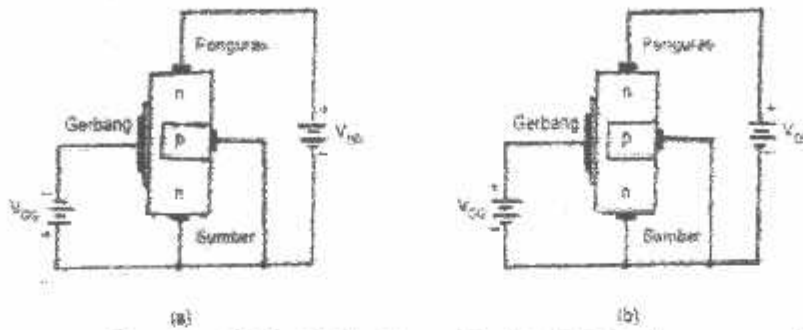
Gambar 2.17. Konstruksi Field Effect Transistor

Sumber : Internet

Dimana *field effect transistor* di atas merupakan jenis tipe berisi (*Enhancement type*) kanal N. terminal gerbang isolasi dari kanalnya oleh suatu lapisan silikon dioksida, dan terminal subtrat dihubungkan dengan terminal sumber, untuk mempertahankan kanal subtrat pertemuan P-N pada kondisi terpanjar terbalik. Dapat terlihat bahwa kanal tak terjadi diantara sisi sumber N dan cerat, dengan demikian arus cerat yang mengalir saat tegangan gerbang sumber sama dengan nol adalah sangat kecil. Tegangan gerbang yang positif akan menarik elektron menuju sisi di bawah gerbang dan menghasilkan kanal tipe-N terlihat pada gambar diatas, yang memungkinkan adanya arus cerat. Tegangan positif yang harus dikenakan pada gerbang untuk menghasilkan kanal maya, disebut sebagai tegangan ambang yang pada umumnya sekitar 2 volt. Setelah kanal maya terbentuk, arus cerat yang mengalir tergantung pada magnituda tegangan-tegangan gerbang-sumber dan cerat-sumber.

2.7.1. Jenis MOSFET dan Karakteristiknya

a. MOSFET peningkatan-pengosongan



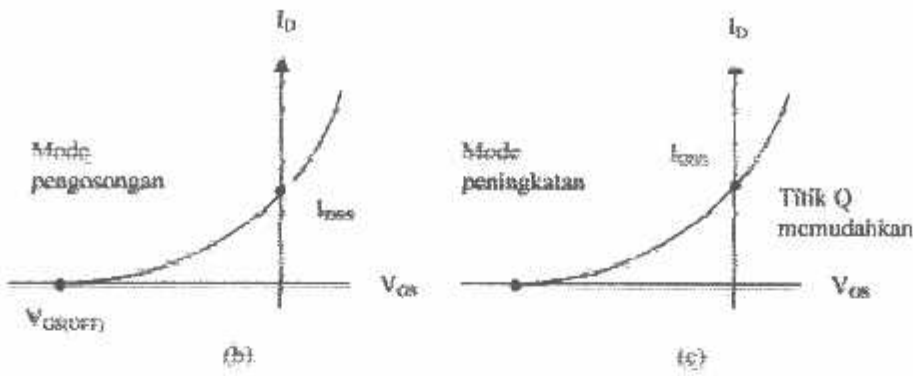
Gambar 2.18. (a) Gerbang Positif (b) Gerbang negatif

Sumber : Twofiq, Perencanaan dan Pembuatan UPS

Pengoperasian MOSFET peningkatan-pengosongan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu mode pengosongan dan mode peningkatan. Dimana tegangan gerbang dapat mengendalikan resistansi kanal dan dikarenakan gerbang terisolasi terhadap kanal maka dapat digunakan tegangan positif atau negatif.



(a)



**Gambar 2.19. (a) Lengkung Penguras MOSFET
(b) Kurva Transkonduktansi
(c) Prategangan**

Sumber : *Teori dan Perancangan dan Pembuatan LSP*

Pada kurva penguras Gambar 2.19a, dari MOSFET kanal n, pada saat V_{GS} positif, memberi operasi mode peningkatan. Pada saat V_{GS} negatif, memberi operasi mode pengosongan dan saat $V_{GS} = V_{GS(off)}$, tegangan gerbang negatif yang menyebabkan arus penguras terputus.

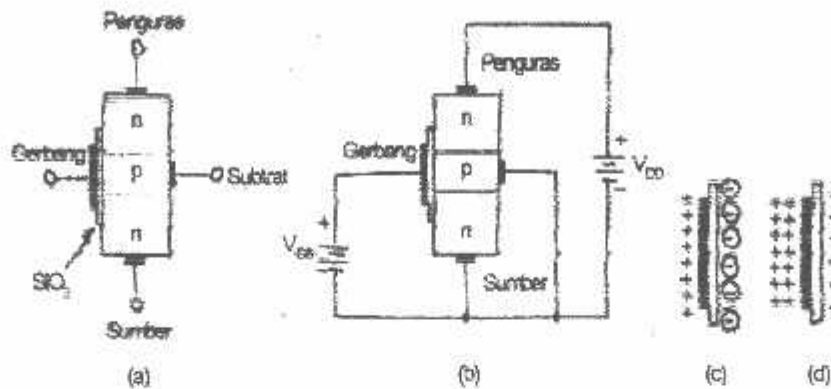
Pada kurva transkonduktansi Gambar 2.19b, pada saat $V_{GS} = V_{GS(off)}$ arus penguras = 0 dan pada saat $V_{GS} = 0$, arus penguras disebut I_{DSS} atau arus penguras pada saat gerbang short/hubung singkat. Sedangkan pada saat mode pengosongan dan mode peningkatan kurva transkonduktansi merupakan parabolik dengan persamaan :

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right]^2 \dots\dots\dots(2-20)$$

MOSFET peningkatan-pengosongan ini dapat dioperasikan pada mode pengosongan, mode peningkatan dan pada saat $V_{GS} = 0$, karena pada saat $V_{GS} = 0$ MOSFET ini bersifat menghantarkan arus, maka disebut MOSFET *normally on*.

b. MOSFET peningkatan

MOSFET peningkatan adalah MOSFET yang beroperasi pada mode peningkatan dan sangat penting dalam rangkaian digital.



Gambar 2.20. (a) MOSFET peningkatan (b) Struktur

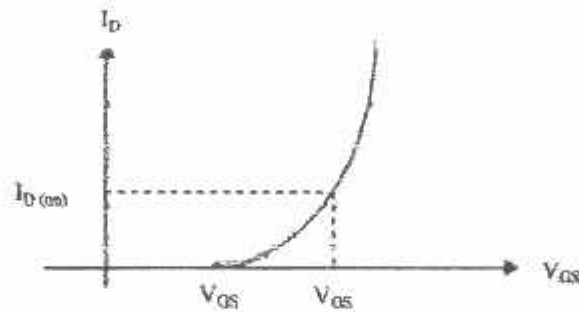
(c) Pembentukan Negatif (d) Pembentukan lapisan inversi tipe n

Sumber : Twofiq, Perencanaan dan Pembuatan UPS

Gambar 2.20a. memperlihatkan berbagai bagian dari MOSFET jenis peningkatan. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa subtrat menguler sampai pada dioda silikon. Oleh karenanya, tidak ada lagi saluran n diantara sumber dan penguras.

Gambar 2.20b. memperlihatkan polaritas pemberian tegangan normal. Apabila $V_{GS} = 0$, sumber V_{DD} tidak sanggup untuk mengalirkan arus antara penguras-sumber maka MOSFET peningkatan disebut MOSFET *normally off*. Untuk mengalirkan arus penguras-sumber maka gerbang harus dibias positif yang cukup. Gerbang dan subtrat bekerja sebagai kapasitor, sehingga bila gerbang diberi tegangan positif maka pada subtrat p timbul induksi muatan negatif sehingga akan mengisi hole pada subtrat p. Bila tegangan gerbang positif ditambah terus, maka timbul lapisan tipis pada sekitar oksida logam yang

memiliki ion negatif (elektron bebas), sehingga dapat mengalirkan arus antar penguras-sumber. Lapisan tipis tersebut bekerja sebagai semikonduktor tipe n, yang disebut lapisan inverse jenis n (n type inversion layer). Tegangan minimum gerbang-sumber yang menimbulkan lapisan inverse disebut tegangan ambang ($V_{GS(th)}$). Jadi bila $V_{GS} < V_{GS(th)}$ tidak ada arus penguras-sumber. $V_{GS} \geq V_{GS(th)}$ tidak ada arus penguras-sumber. Dimana $V_{GS(th)}$ berkisar 1 s/d 5 volt.



Gambar 2.21. Arus Penguras untuk MOSFET jenis peningkatan

Sumber : *Fotofab, Perencanaan dan Pembuatan UPS*

Gambar 2.21. memperlihatkan suatu kumpulan dari kurva-kurva penguras dari MOSFET jenis peningkatan. Lengkungan yang paling bawah adalah kurva $V_{GS(th)}$. Apabila V_{GS} kurang dari $V_{GS(th)}$, arus penguras secara ideal sama dengan nol dan MOSFET tersebut berada dalam keadaan terputus. Apabila V_{GS} lebih besar dari $V_{GS(th)}$ arus penguras akan muncul.

Gambar 2.21. mempunyai persamaan transkonduktansi yang berbentuk parabola yaitu :

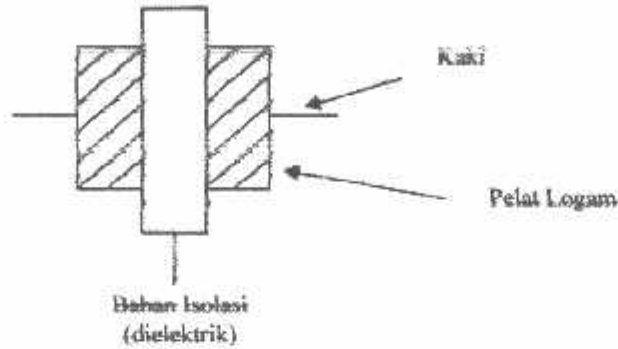
$$I_D = K[V_{GS} - V_{GS(th)}]^2 \dots\dots\dots(2-21)$$

Keterangan :

K : konstanta yang harganya tergantung pada jenis MOSFET

2.8. Kapasitor

Kapasitor atau kondensator adalah dua buah konduktor yang dipisahkan oleh bahan isolator atau dielektrik, kondensator dapat menyimpan muatan listrik. Kemampuan untuk menyimpan muatan listrik disebut *kapasitas kondensator*.



Gambar 2.22. Konstruksi Kapasitor

Sumber : Twafiq, *Perencanaan dan Pembuatan UPS*

Kondensator yang netral (kosong) bekerja seperti sakelar yang ditutup (hubungan sibuk). Kondensator yang bermuatan bekerja sebagai sakelar yang dibuka. Tidak ada arus yang mengalir melalui dielektrik (bahan isolasi).

Kemampuan untuk menyimpan muatan disebut *kapasitansi (C)*, semakin besar kapasitansi dari kapasitor maka makin banyak muatan yang dapat disimpannya. Kondisi ini agak mirip dengan tangki air, makin besar kapasitas tangki air maka makin banyak air yang dapat ditampung. Kapasitas diukur dalam farad (F), farad adalah satuan kapasitas besar. Satuan yang lebih sering dipakai adalah :

$$\text{Micro farad } \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$\text{Nano farad } \text{nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

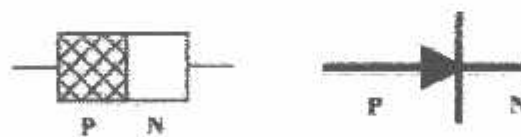
$$\text{Piko farad } \text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Kondensator yang nilainya kecil dapat dipakai untuk menahan tegangan yang benar-benar tinggi. Potensial kerja 250 V_{DC} bahkan 750 V_{DC} adalah biasa. Nilai-nilai referensi untuk kondensator adalah 0,01 μ F; 0,47 μ F; dan 1,0 μ F.

2.9. Dioda

Dioda adalah semikonduktor yang dapat menghantarkan arus listrik, sifat daya hantarnya (*conductivity*) ialah antara bahan konduktor dan bahan isolator (bukan bahan penghantar).

Dioda dibuat dibuat dari bahan semikonduktor, pada mulanya dioda dibuat dari germanium karena bahan ini lebih mudah dipakai untuk memurnikan bahan dasar bila dibandingkan dengan silikon. Namun, semua peralatan germanium memiliki kelemahan, yaitu akan rusak bila suhu naik. Setelah mencapai tingkat yang dibutuhkan, peralatan silikon mulai muncul. Sekarang pasaran semikonduktor benar-benar dikuasai oleh silikon. Dioda merupakan alat dengan dua terminal dan terbentuk dengan dua jenis semikonduktor (silikon jenis P dan jenis N) yang tersambung. Dioda dibuat dari dua jenis bahan-bahan semikonduktor, bahan P (bahan positif), dan bahan N (bahan negatif), dimana bahan P dinamakan anoda dan bahan N dinamakan katoda.



Gambar 2.23. Bentuk dan Simbol Dioda

Sumber : Twofiq, Perencanaan dan Pembuatan UPS

Dioda hanya menghantar listrik apabila anoda positif terhadap katoda, untuk arus listrik sebuah dioda bekerja sebagai katup (*valve, ventiel*). Alat ini mampu dialiri arus secara selektif mudah dalam satu arah, tetapi akan sukar dalam arah kebalikannya.

Tanda anak panah dalam simbol, menunjukkan arah yang dapat dialiri oleh arus secara mudah. Aturan ini berlaku bagi semua simbol sirkuit peralatan semikonduktor.

Dioda dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran serta amat berguna. Apabila sebuah dioda dipasang pada suatu rangkaian, maka akan terjadi periode positif dari tegangan input akan memberikan bias *forward* pada dioda sehingga dioda akan konduksi selama setengah periode positif, tetapi untuk periode negatif, dioda bisa *reverse* dan terjadi arus *reverse* kecil yang mengalir.

Dioda yang dibias *forward* kondisinya baik, sedangkan dioda yang dibias *reverse* kondisinya jelek. Jika arus konvensional searah dengan anak panah dioda artinya dioda dibias *forward* sedangkan jika arus konvensional berlawanan arah dengan anak panah dioda maka dioda dibias *reverse*.

Dioda yang lebih besar yang mampu untuk daya yang lebih besar, dapat dibuat dengan kenop sebagai salah satu terminalnya. Oleh karena itu, ia dapat dihubungkan langsung ke alat penyerap panas. Karena terdapat berbagai cara untuk memasang dioda, kadang-kadang katoda seluruh dioda dan anoda dari dioda lain bersama-sama dihubungkan ke sebuah penyerap panas. Dengan begitu terbentuklah jenis kenop dan anoda. Bila simbol tidak terlihat, ujilah dioda itu untuk memastikan jenisnya sebelum dipasang dalam sirkuit.

2.16. Dioda Cahaya (LED)

LED ini biasanya juga disebut dioda cahaya, yaitu sejenis dioda yang apabila diberi *forward bias voltage*, maka akan terjadi rekombinasi disekitar *P-N junction*. Pada saat rekombinasi tersebut elektron-elektron yang melepaskan energi akan menghasilkan panas.

LED tidak terbuat dari germanium atau silikon tetapi terbuat dari bahan gallium (Ga), arsen (As), dan fosfor (P) atau disingkat GaAsP. Dimana simbolnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



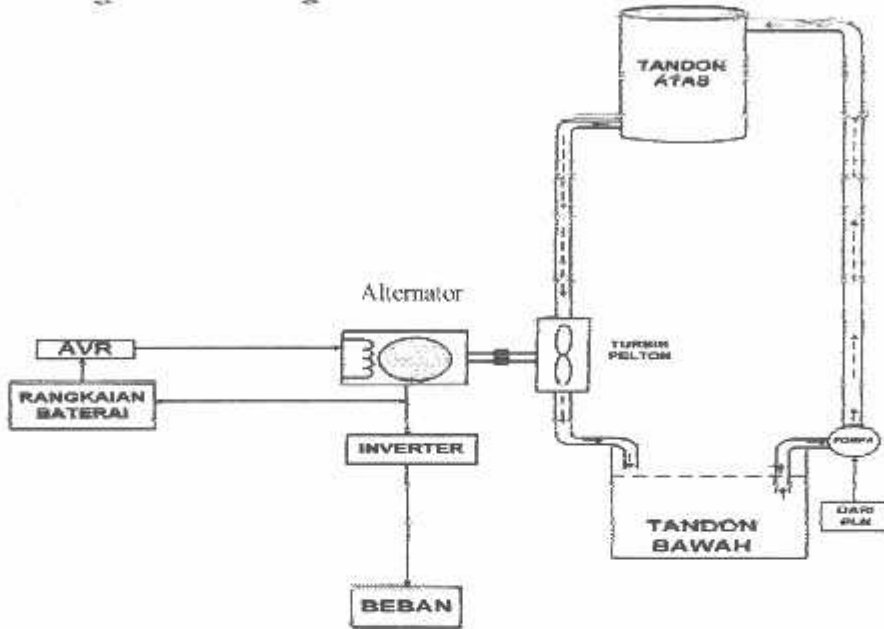
Gambar 2.24. Simbol LED

Sumber : Tirofaj, Perencanaan dan Pembuatan UPS

Tegangan maju antara katoda anoda berkisar antara 1,5 – 2,4 volt. Arus maju antara 5 – 50 mA tergantung dari tipe dioda. Dua dioda akan dapat dideretkan guna mendapatkan cahaya yang lebih mencolok.

BAB III
PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro PLTMH.



Gambar 3.1. Diagram Sistem PLTMH ITN Malang

Sumber : Perencanaan PLTMH

Pada dasarnya prinsip kerja dari keseluruhan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah sebagai berikut : air dari tandon atas dialirkan ke bawah melalui pipa, selanjutnya air dimasukkan ke turbin air sehingga turbin berputar dan setelah itu air menuju tandon bawah lalu di pompa kembali ke tandon atas.

Poros tubin air dikopel dengan poros Alternator, sehingga pada saat turbin berputar maka Alternator juga ikut berputar, untuk menghasilkan energi listrik Alternator diberi arus eksitasi yang berasal dari baterai, dan untuk menjaga kestabilan tegangan eksitasi yang masuk ke Alternator yang dipengaruhi oleh kebutuhan beban maka dipasang AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

Setelah itu keluaran dari Alternator di paralel, yang satu dimasukkan ke baterai, yang bertujuan untuk menyimpan energi listrik dan selanjutnya dihubungkan dengan *inverter*. Sedangkan keluaran yang lainnya dihubungkan ke *inverter* guna untuk mengubah tegangan yang DC dihasilkan dari Alternator menjadi tegangan AC, setelah itu dihubungkan ke beban.

Data pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) ITN Malang:

1. Generator

- Type : Alternator mobil
- Daya : Max 450 Watt
- Tegangan : + 12 Volt – DC
- Putaran : 1500 rpm

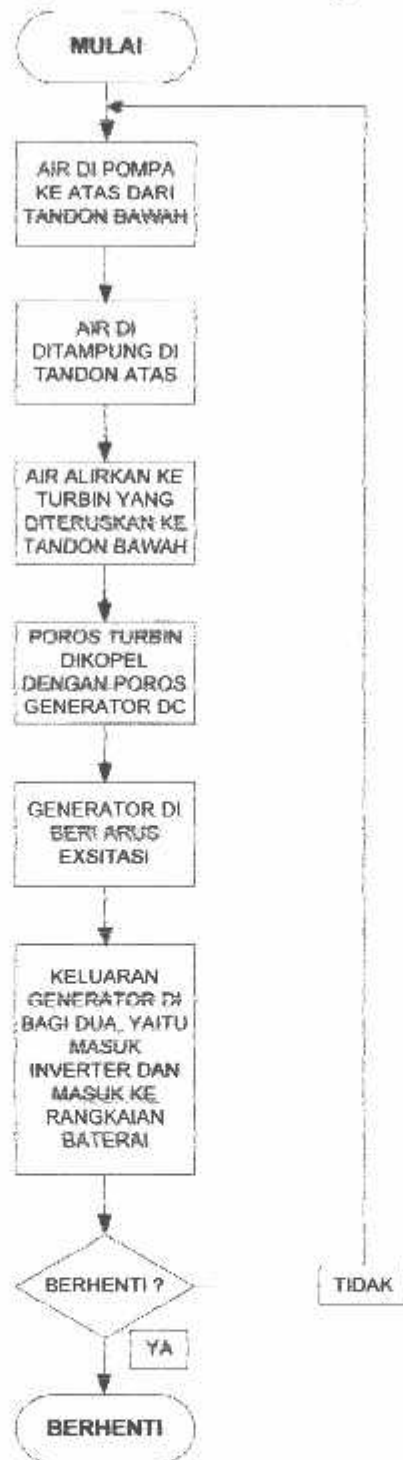
2. Inverter

- Daya : Max 100 Watt
- Tegangan
 - Input : + 12 Volt DC
 - Output : 220 Volt AC
- Frekuensi : 50 Hz

3. Turbin

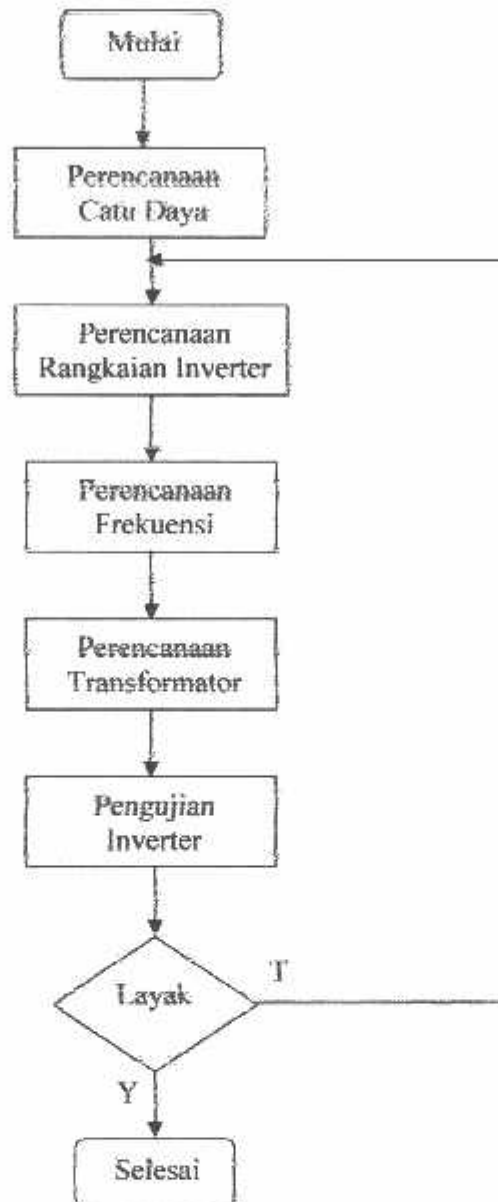
- Type : Turbin Pelton Mikro.
 - Daya : 77,479 Watt
 - Putaran : 364 rpm
 - Debit : 0.000718 m³/det
-

3.2. Diagram Alir Cara Kerja PLTMH ITN Malang



Gambar 3.2. Diagram Alir Cara Kerja PLTMH ITN Malang

3.3. Diagram Alir Pembuatan *Inverter* PLTMH ITN Malang



Gambar 3.3. Diagram Alir Pembuatan *Inverter* PLTMH ITN Malang

3.4. Perencanaan *Inverter*

Dalam perencanaan ini didasari oleh teori dengan mempertimbangkan komponen-komponen yang akan digunakan. Dalam rangkaian *inverter* ini dibagi dalam beberapa bagian. Dengan demikian akan memudahkan dalam membaca rangkaian dan mempermudah dalam perencanaan dan pembuatan alat ini. Bagian-bagian tersebut terdiri dari beberapa, antara lain :



Gambar 3.4. Rancangan Diagram Blok

Fungsi dari setiap blok dijelaskan di bawah ini :

1. Sumber tegangan DC 12 volt, sebagai tegangan inputan untuk menjalankan rangkaian *inverter* yang mana tegangan ini didapat dari alternator pada PLTM ITN Malang.
2. *Inverter*, untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC.
3. Beban, sebagai bebannya adalah sebuah unit penerangan (lampu).

➤ Perencanaan Catu Daya.

Setiap rangkaian memerlukan catu yang cukup untuk menjalankan rangkaian. Dalam rangkaian *inverter* ini catu daya yang diperlukan adalah alternator dengan tegangan 12 V DC. Untuk memperhitungkan kemampuan *inverter* dalam memikul beban maksimum adalah sebagai berikut.

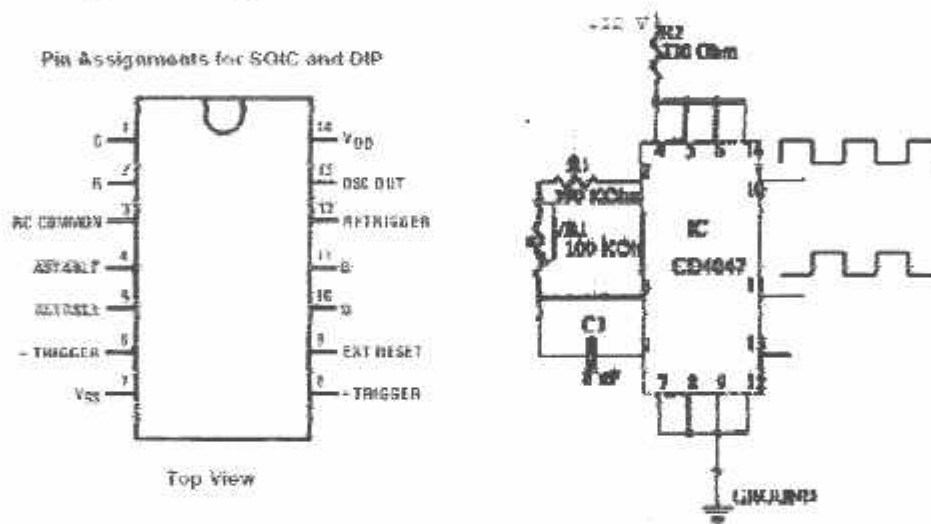
Beban maksimum *inverter* : 100 VA.

Tegangan Output *inverter* : 220 Volt.

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan maksimum } (V_{\max}) \text{ inverter} &= V_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2} \\
 &= 12 \cdot \sqrt{2} \\
 &= 16,97 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Arus maksimum } (I_{\max}) \text{ inverter} &= \frac{P}{V} \\
 &= \frac{100}{16,97} \\
 &= 5,89 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

- **Perencanaan Rangkaian Inverter**
- **Rangkaian Pengatur Frekuensi dan Pembentuk Pulsa**



Gambar 3.5. Komponen Pengatur Frekuensi dan Pembentuk Pulsa

Pada perencanaan rangkaian *inverter* ini digunakan sebuah IC CD4047 dimana IC tersebut mampu beroperasi sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC yang melalui beberapa komponen disekitar IC tersebut. IC CD 4047 dapat dioperasikan baik pada mode *monostable* maupun *astable*. IC ini memerlukan sebuah kapasitor di luar untuk dihubungkan antara pin 1 dan 3, dan sebuah

resistor untuk dihubungkan antara pin 2 dan 3 untuk menghasilkan pulsa keluaran pada mode *monostable*, dan frekuensi keluaran pada mode *astable*.

Operasi *astable* didapatkan baik dengan level yang tinggi maupun level yang rendah pada masukan *astable*. Frekuensi keluaran (pada 50% *duty cycle*) pada keluaran Q dan \bar{Q} dihasilkan dengan komponen-komponen pewaktu.

Operasi *monostable* didapatkan pada saat peralatan dipicu dengan transisi *low to high* pada inputan + trigger atau transisi *high to low* pada inputan - trigger. Peralatan juga dapat dipicu kembali dengan transisi *low to high* secara terus-menerus pada kedua inputan + trigger dan retrigger.

Perubahan dalam frekuensi dilaksanakan dengan penyambungan dalam harga-harga dua tahanan yang berbeda dari dua tahanan yang identik (V_{R1} dan R_1)

I Pada saat R_{maks} yaitu :

$$V_{R1} = 100 \text{ K}\Omega, R_1 = 390 \text{ K}\Omega, C = 8 \text{ nF}$$

$$\begin{aligned} R_{maks} &= V_{R1} + R_1 \\ &= 490 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

$$F = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$F = \frac{1}{2,314 \cdot 490000 \cdot 8 \cdot 10^{-9}}$$

$$F = \frac{10^9}{24617600}$$

$$F = 40,62 \text{ Hz}$$

2 Pada saat R_{min} yaitu :

$$V_{R1} = 0 \text{ K}\Omega, R_1 = 390 \text{ K}\Omega, C = 8 \text{ nF}$$

$$R_{min} = V_{R1} + R_1$$

$$= 390 \text{ K}\Omega$$

$$F = \frac{1}{2\pi.R.C}$$

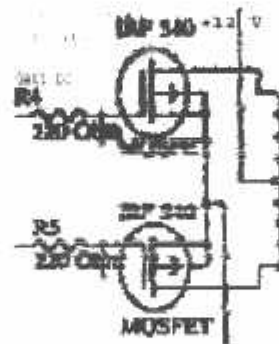
$$F = \frac{1}{2.3.14.390000.8.10^{-9}}$$

$$F = \frac{10^9}{19593600}$$

$$F = 51,03 \text{ Hz}$$

Untuk mendapatkan frekuensi yang diinginkan dapat dengan cara merubah nilai kapasitor, untuk mendapatkan frekuensi yang tinggi, dapat mengganti kapasitor dengan nilai yang rendah dan begitu pula sebaliknya jika menginginkan frekuensi yang kecil.

➤ *MOSFET Driver*

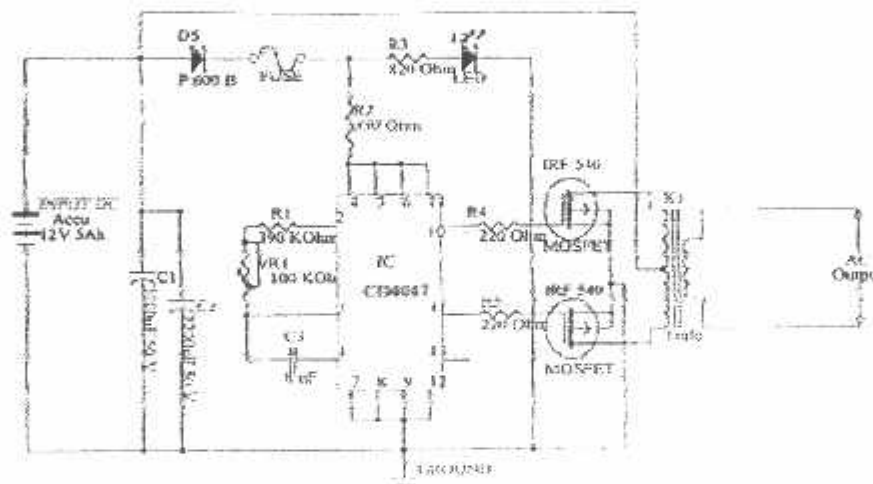


Gambar 3.6. MOSFET Driver

MOSFET driver berfungsi sebagai pengatur tegangan yang masuk ke MOSFET untuk menghidupkan MOSFET tersebut, pengaturan tegangan ini

disesuaikan dengan besar pulsa yang dihasilkan oleh IC 4047 apakah pulsa tersebut high atau low. Apabila pulsa yang dihasilkan oleh IC 4047 high maka arus akan mengalir melalui MOSFET yang berada di atas dan menghasilkan tegangan sebesar +12 V untuk diteruskan pada transformator dan sebaliknya apabila pulsa yang dihasilkan oleh IC 4047 low maka arus akan mengalir melalui MOSFET yang berada di bawah dan menghasilkan tegangan sebesar -12 V untuk diteruskan pada transformator.

3.5. Prinsip Kerja Inverter



Gambar 3.7. Rangkaian Inverter Secara Keseluruhan

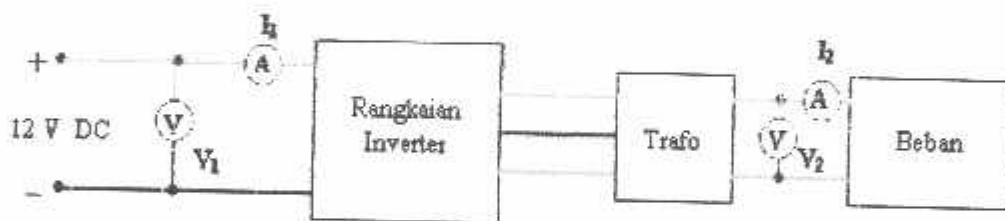
Rangkaian *inverter* digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Dengan menggunakan catu daya atau inputannya adalah alternator mobil dimana tegangan keluarannya sebesar 12 V DC, dan akan diubah menjadi tegangan bolak-balik sebesar 220 V, 50 Hz, 100 W.

BAB IV
ANALISA HASIL PENGUJIAN ALAT

4.1. Data Hasil Pengujian Alat



Gambar 4.1. Rangkaian *Inverter* dan Beban



Gambar 4.2. Skema Pengujian *Inverter*

Setelah dilakukan pengujian *inverter* dengan beberapa beban yang berubah-ubah dari lampu pijar dengan tegangan input 12V DC dengan susunan rangkaian seperti pada Gambar 4.2 maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data Hasil Pengukuran V_{in} Inverter (Volt), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54
1-2	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20	12,20
1-2,3-4	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96
1-2,3-4,5-6	11,69	11,69	11,69	11,69	11,69	11,69

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt
 - Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt
 - Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Tabel 4.2. Data Hasil Pengukuran V_{out} Inverter (Volt), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	215	215	215	215	215	215
1-2	166	166	166	166	166	166
1-2,3-4	127,6	127,6	127,6	127,6	127,6	127,6
1-2,3-4,5-6	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt
 - Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt
 - Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Tabel 4.3. Data Hasil Pengukuran I_m Inverter (Ampere), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
1-2	3,52	3,52	3,52	3,52	3,52	3,52
1-2,3-4	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87
1-2,3-4,5-6	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56	5,56

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt
 - Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt
 - Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Tabel 4.4. Data Hasil Pengukuran I_{out} Inverter (Ampere), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	0	0	0	0	0	0
1-2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1-2,3-4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
1-2,3-4,5-6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt

- Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt

- Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Dari data hasil percobaan *inverter* tersebut, maka dapat dihitung efisiensi dari *inverter*, dimana :

1. Pada kondisi beban 20 Watt.

$$\eta_1 = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_1 = \frac{166,0,1}{12,20,3,52} \times 100\%$$

$$\eta_1 = \frac{16,6}{42,944} \times 100\%$$

$$\eta_1 = 38,65 \%$$

2. Pada kondisi beban 40 Watt

$$\eta_2 = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_2 = \frac{127,6,0,2}{11,96,4,87} \times 100\%$$

$$\eta_2 = \frac{25,52}{58,2452} \times 100\%$$

$$\eta_2 = 43,81\%$$

3. Pada kondisi beban 60 Watt

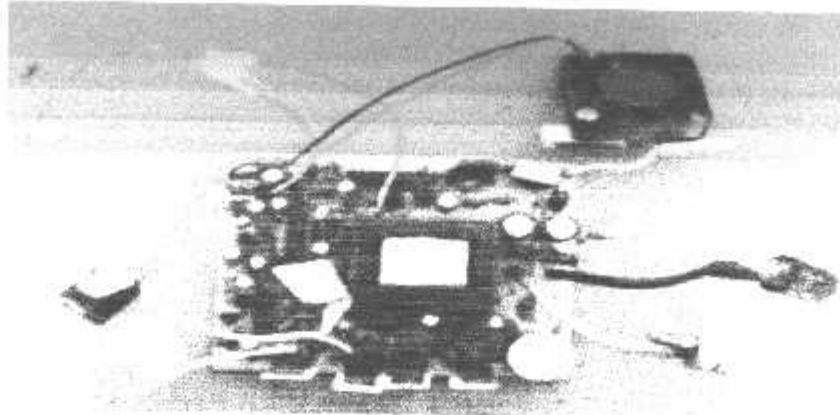
$$\eta_3 = \frac{V_{out} I_{out}}{V_m I_m} \times 100\%$$

$$\eta_3 = \frac{95,70,3}{11,69,5,56} \times 100\%$$

$$\eta_3 = \frac{28,71}{64,996} \times 100\%$$

$$\eta_3 = 44,17\%$$

Dari hasil pengujian *inverter* dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan keluaran yang cukup besar pada setiap penambahan beban, hal ini disebabkan karena tidak adanya rangkaian penstabil tegangan dengan umpan balik, oleh karena itu untuk menjaga agar tegangan keluaran dari *inverter* tetap stabil pada 220 V AC dengan toleransi 5% maka pada *inverter* ini perlu ditambahkan rangkaian penstabil tegangan dengan umpan balik sehingga tidak terjadi penurunan tegangan yang cukup besar.



Gambar 4.3. Rangkaian *Inverter* Pabrik

Sedangkan data hasil percobaan *inverter* buatan pabrik dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4.5. Data Hasil Pengukuran V_{in} *Inverter* Pabrik (Volt), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	12,26	12,26	12,26	12,26	12,26	12,26
1-2	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78
1-2,3-4	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52
1-2,3-4,5-6	11,44	11,41	11,41	11,41	11,41	11,41

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt
 - Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt
 - Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Tabel 4.6. Data Hasil Pengukuran V_{out} *Inverter* Pabrik (Volt), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	217	217	217	217	217	217
1-2	203,8	203,8	203,8	203,8	203,8	203,8
1-2,3-4	200,4	200,4	200,4	200,4	200,4	200,4
1-2,3-4,5-6	194,3	194,3	194,3	194,3	194,3	194,3

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt
 - Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt
 - Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Tabel 4.7. Data Hasil Pengukuran I_{in} Inverter Pabrik (Ampere), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
1-2	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29
1-2,3-4	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
1-2,3-4,5-6	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt

- Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt

- Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Tabel 4.8. Data Hasil Pengukuran I_{out} Inverter Pabrik (Ampere), $F = 50$ Hz

Posisi Beban	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Rata-rata
Tanpa Beban	0	0	0	0	0	0
1-2	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
1-2,3-4	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
1-2,3-4,5-6	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22

Keterangan : - Beban 1-2 = Lampu pijar 20 Watt

- Beban 1-2,3-4 = Lampu pijar 40 Watt

- Beban 1-2,3-4,5-6 = Lampu pijar 60 Watt

Dari data hasil percobaan *inverter* pabrik tersebut, maka dapat dihitung efisiensi dari *inverter*, dimana :

1. Pada kondisi beban 20 Watt.

$$\eta_1 = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_1 = \frac{203,8.0,13}{11,78.2,29} \times 100\%$$

$$\eta_1 = \frac{26,494}{26,9762} \times 100\%$$

$$\eta_1 = 98,21 \%$$

2. Pada kondisi beban 40 Watt

$$\eta_2 = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_2 = \frac{200,4.0,19}{11,52.3,46} \times 100\%$$

$$\eta_2 = \frac{38,076}{39,859} \times 100\%$$

$$\eta_2 = 95,53 \%$$

3. Pada kondisi beban 60 Watt

$$\eta_3 = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in}} \times 100\%$$

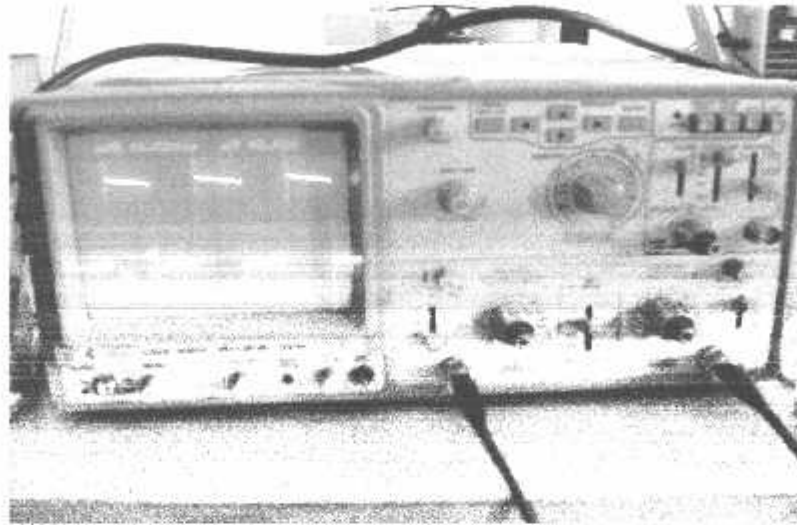
$$\eta_3 = \frac{194,3.0,22}{11,41.4,23} \times 100\%$$

$$\eta_3 = \frac{42,746}{48,264} \times 100\%$$

$$\eta_3 = 88,57 \%$$

4.2. Data Hasil Pengujian Ossilator

Gelombang keluaran dari *inverter* dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Gelombang Keluaran *Inverter* Pada *Oscilloscope*

Pada gambar dapat kita lihat bahwa gelombang keluaran dari *inverter* masih berbentuk kotak, hal ini dikarenakan tidak digunakannya rangkaian pembentuk gelombang sinusoida pada *inverter* ini atas dasar pertimbangan bahwa PLTMH ini tidak dimaksudkan untuk memasok beban elektronik yang memerlukan tingkat harmonisa yang rendah. Dimana dari pengujian gelombang osilator tersebut didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.9. Data Hasil Pengujian Gelombang Osilator

V_{in}	T/div	T_{max}	T_{min}
12 Volt	5 ms	21ms	18 ms

- Pada saat T_{\max} berarti V_R max.

$$F = \frac{1}{T}$$

$$F = \frac{1}{21 \cdot 10^{-3}}$$

$$F = \frac{1000}{21}$$

$$F = 47,62 \text{ Hz}$$

- Pada saat T_{\min} berarti V_R min.

$$F = \frac{1}{T}$$

$$F = \frac{1}{18 \cdot 10^{-3}}$$

$$F = \frac{1000}{18}$$

$$F = 55,55 \text{ Hz}$$

- Prosentase Kesalahan Perencanaan frekuensi

Dari hasil pengujian gelombang osilator dengan data seperti pada tabel 4.9 maka dapat dihitung prosentase kesalahannya, yaitu :

➤ Pada saat V_R maks, maka :

$$\% \text{ error} = \frac{47,62 - 40,62}{47,62} \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \frac{7}{47,62} \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = 14,69 \%$$

➤ Pada saat V_R min, maka :

$$\% \text{ error} = \frac{55,55 - 51,03}{55,55} \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \frac{4,52}{55,55} \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = 8,14\%$$

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

- Tegangan keluaran dari alternator pada PLTMH Institut Teknologi Nasional Malang sebesar 12 V DC yang digunakan selain untuk melayani beban juga untuk pengisian akumulator.
- Dari hasil pengujian alat didapatkan data sebagai berikut :

Pada saat kondisi tanpa beban tegangan keluaran *inverter* sebesar 215 V, setiap penambahan beban maka tegangan keluaran *inverter* akan semakin kecil yakni mencapai 95,7 pada saat kondisi beban 60 Watt. Hal ini dikarenakan tidak adanya rangkaian penstabil tegangan dengan umpan balik pada *inverter*, oleh karena itu untuk menjaga agar tegangan keluaran dari *inverter* tetap stabil pada 220 V AC dengan toleransi 5% maka pada *inverter* ini perlu ditambahkan rangkaian penstabil tegangan dengan umpan balik sehingga tidak terjadi penurunan tegangan yang cukup besar.
- Dari hasil pengujian gelombang osilator dapat dilihat bahwa gelombang keluaran dari *inverter* masih berbentuk kotak, hal ini dikarenakan tidak digunakannya rangkaian pembentuk gelombang sinusoida pada *inverter* ini atas dasar pertimbangan bahwa PLTMH ini tidak dimaksudkan untuk memasok beban elektronik yang memerlukan tingkat harmonisa yang rendah.

- Frekuensi *inverter* pada saat V_R max sebesar 47,62 Hz. Dan pada saat V_R min sebesar 55,55 Hz. Dengan prosentase kesalahan pada saat V_R maks sebesar 14,69 % dan pada saat V_R min sebesar 8,14 %.

5.2. Saran-saran

- Sebagai Penyempurnaan dari *inverter* ini hendaknya *inverter* ditambahkan rangkaian pembentuk gelombang sinusoida agar gelombang yang dihasilkan oleh *inverter* dapat berupa gelombang sinusoida.
 - Untuk menjaga agar tegangan keluaran *inverter* tetap stabil 220 V AC dengan toleransi 5 % maka *inverter* ini harus diberi rangkaian penyetabil tegangan dengan umpan balik sehingga tegangan keluaran tetap stabil.
 - Dalam aplikasi di lapangan hendaknya digunakan *inverter* pabrik karena dilihat dari hasil pengujian *inverter* pabrik mempunyai efisiensi yang baik dari pada *inverter* buatan sendiri.
-

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsudi, Djiteng. Ir, *Pembangkitan Energi Listrik*, Jakarta, ISTN,1990.
 - [2] Gunawan, Hanapi, Malvino, *Prinsip-Prinsip Elektronika*, edisi 2, Jakarta, PT. Erlangga,1994.
 - [3] Gunawan, Hanapi, Malvino, *Prinsip-Prinsip Elektronika*, edisi 3, Jakarta, PT. Erlangga,1994.
 - [4] Vithayathil, Joseph, *Power Electronics : Principles and Application*, International Edition, New york, Mc Graw-Hill Inc, 1995.
 - [5] Bose, B. K, *Power Electronics And AC Drives*, New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986.
 - [6] Twofiq, *Perencanaan dan Pembuatan Inverter*, Elektro D III, Institut Teknologi Nasional Malang, 2004.
 - [7] Elektro D III, *Buku Panduan praktikum Bengkel Elektromekanik*, Institut Teknologi Nasional Malang, 2005.
-

LAMPIRAN





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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. **Nama** : HELMI BAHRIN
2. **NIM** : 02.12.008
3. **Jurusan** : Teknik Elektro S-1
4. **Konsentrasi** : Teknik Energi Listrik
5. **Judul Skripsi** : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIRO
PADA LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN
TEKNIK MESIN S-1 ITN MALANG

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

Hari : Rabu
Tanggal : 21 Maret 2007
Dengan Nilai : 77 (B+) *Yud*



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. Teguh Herbasuki, MT
Penguji Pertama

Ir. Junior Siahaan
Penguji Kedua



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu
Tanggal : 21 Maret 2007

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : HELMI BAHRIN
2. NIM : 02.12.008
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA
LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN TEKNIK MESIN S-1
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	desainnya pengujian dilakukan minimal lima kali	✓
2.	error perencanaan efisiensi dihitung.	✓

Dosen Pembimbing I,

Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE

Dosen Pembimbing II,

Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT

Dosen Penguji I,

Ir. Teguh Herbasuki, MT

Dosen Penguji II,

Ir. Junior Siahaan



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : HELMI BAHRIN
 Nim : 02.12.008
 Masa Bimbingan : 20 Juli 2006 s/d 20 Januari 2007
 Judul Skripsi : **PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN TEKNIK MESIN S-1 INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	05-08-06	Bab I : 1. Perbaikan keabsahhan 2. Cantumkan judul yang dipelajari pada Rumusan Masalah.	
2.	23-08-06	Bab II : i. Perbaiki penjelasan prinsip kerja sistem yang dipelajari, kelengkapan gambar pada Journal yg diajarkan. Bab III : i. Perbaiki uraian prinsip kerja PLTMH yang ditanyakan. Ambil dari bahan yang sudah ada.	
3.			
4.	01-03-07	Bab IV : Perbaiki percobaan, lakukan juga 2 macam : 1. menggunakan inverter pasif 2. selanjutnya dituntut analisis hasil Buatlah sendiri	
5.	03-03-07	Bab IV : Perbaiki penjelasan bahwa terjadi permasalahan karena kelengkapan yang benar bila dibelari.	
6.	05-03-07	Revisi	
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang,
 Dosen Pembimbing,

Ir. H. Almizan Abdullah, MSEE
 Nip. Y. 103 9000 208

Form. S-4b



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : HELMI BAHRIN
 Nim : 02.12.008
 Masa Bimbingan : 20 Juli 2006 s/d 20 Januari 2007
 Judul Skripsi : **PERENCANAAN DAN PEMBUATAN INVERTER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA LABORATORIUM LAPANGAN JURUSAN TEKNIK MESIN S-1 INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	20/07/06	Bag 1 : Review skripsi model	
2.	21/07/06	Bag 2 : bab 1 proposal	
3.	20/08/06	bag 2 : perancangan inverter bag 3 : perancangan transformator	
4.	8/09/06	bag 2 : perancangan inverter bag 3 : perancangan transformator	
5.	2/10/06	bag 2 : perancangan inverter	
6.	12/10/06	bag 2 : perancangan inverter	
7.	14/10/06	bag 2 : perancangan inverter	
8.	15/10/06	bag 2 : perancangan inverter	
9.	16/10/06	ACC ujian	
10.			

Malang,
 Dosen Pembimbing.

Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT
 Nip. Y. 1028 700 171

Form.S-4b



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO


Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

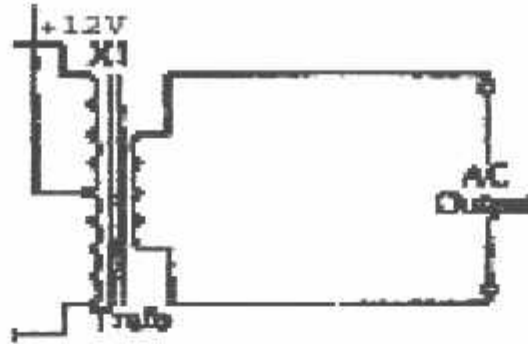
NAMA : Helmi Bahrain
NIM : 0212008
Perbaikan meliputi :

~. Seyogyanya freq. output di inverter diuji kemudian mestinya freq. diuji dan dibandingkan dg. perhitungan, shg error nya terlihat.

Malang,

()

➤ **Perencanaan Transformator**



Gambar Transformator CT

Dalam perencanaan transformator perlu diperhatikan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan tegangan nominal primer dan sekunder (E_1 dan E_2).
 2. Menentukan kapasitas transformator yang akan dibuat (arus maksimum).
 3. Menentukan daya transformator yang akan dibuat.
 4. Menentukan diameter kawat kumparan (sisi primer dan sekunder).
 5. Menentukan besarnya kaki tengah inti (kern) transformator.
 6. Menentukan jumlah lilitan/kumparan primer dan sekunder.
 7. Menentukan tebal tumpukan inti (kern) transformator.
 8. Menentukan tegangan perencanaan yang lain.
- Menentukan tegangan nominal primer dan sekunder (E_1 dan E_2)
- Tegangan primer : 10 volt dan 12 volt
- Tegangan sekunder : 110 volt dan 220 volt
- Menentukan kapasitas transformator yang akan dibuat (arus maksimum).
- Arus transformator : 2 A
- Menentukan daya transformator yang akan dibuat.

Besar daya pada sisi primer :

$$\begin{aligned} P_1 &= V_1 \cdot I_1 \\ &= 12 \cdot 2 \\ &= 24 \text{ VA} \end{aligned}$$

Besar daya pada sisi sekunder :

$$P_2 = \frac{P_1}{1,25}$$

$$P_2 = \frac{24}{1,25}$$

$$P_2 = 19,2 \text{ VA}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{2V_2} \quad \text{dan} \quad I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{19,2}{2.220}$$

$$I_2 = 0,0436 \text{ A}$$

➤ Menentukan diameter kawat kumparan (sisi primer dan sekunder).

Tabel 3.1
Ukuran Kawat dan Kemampuan Hantar Arus

No	Diameter luar Kawat / dk (mm)	Diameter luar diselesaikan Maksimum / dl (mm)	Kemampuan Arus (A)
1	0,18	0,226	0,051 – 0,076
2	0,19	0,236	0,056 – 0,085
3	0,20	0,246	0,062 – 0,094
4	0,32	0,372	0,161 – 0,241
5	0,35	0,402	0,192 – 0,289
6	0,40	0,426	0,215 – 0,323
7	0,45	0,456	0,251 – 0,376
8	0,50	0,508	0,318 – 0,477
9	0,55	0,560	0,393 – 0,589
10	0,60	0,620	0,475 – 0,713
11	0,65	0,724	0,664 – 0,995
12	0,70	0,776	0,769 – 1,15
13	0,75	0,830	0,884 – 1,33
14	0,80	0,882	1 – 1,5
15	0,85	0,934	1,13 – 1,7

16	0,90	0,986	1,27 - 1,91
17	0,95	1,038	1,42 - 2,13
18	1	1,102	1,57 - 2,36
19	1,10	1,204	1,9 - 2,85
20	1,2	1,304	2,26 - 3,39
21	1,3	1,408	2,65 - 3,98

Sumber : Elektro DIII ITN Malang, Buku Panduan Praktikum Bengkel Elektromekanik

Dari tabel diatas didapatkan nilai dl_1 dan dl_2 sebagai berikut :

$$I_1 = 2 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad dl_1 = 1,204 \text{ mm}$$

$$I_2 = 0,0436 \quad \longrightarrow \quad dl_2 = 0,226 \text{ mm}$$

➤ Menentukan besarnya kaki tengah inti (kern) transformator.

$$b = \sqrt[3]{\frac{1,5 \times P_1}{9,9}}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{1,5 \times 24}{9,9}}$$

$$b = 1,538 \text{ cm} = 15,38 \text{ mm}$$

$$f = 0,5 \cdot b$$

$$f = 0,5 \cdot 15,38$$

$$f = 7,69 \text{ mm}; \text{ dan}$$

$$e = 3 \cdot f$$

$$e = 3 \cdot 7,69$$

$$e = 23,07 \text{ mm}$$

➤ Menentukan jumlah lilitan/kumparan primer dan sekunder.

$$N_1 = \frac{4 \times f_s \times e \times f}{\pi \left[\left[\frac{E_1}{E_2} \times dl_1^2 \right] + [dl_2^2] \right]}$$

$$N_2 = \frac{4 \times 0,4 \times 23,07 \times 7,69}{3,14 \left[\left[\frac{12}{220} \times 1,204^2 \right] + [0,226^2] \right]}$$

$$N_2 = \frac{4 \times 0,4 \times 23,07 \times 7,69}{3,14 \left[\left[\frac{12}{220} \times 1,449 \right] + [0,051] \right]}$$

$$N_2 = \frac{283,85}{0,4083}$$

$$N_2 = 695,19$$

Jadi banyaknya lilitan pada sisi skunder = 695 lilitan.

$$N_1 = \frac{E_1}{E_2} \times N_2$$

$$N_1 = \frac{12}{220} \times 695$$

$$N_1 = 37,91$$

Jadi banyaknya lilitan pada sisi primer = 38 lilitan.

- Menentukan tebal tumpukan inti (kern) transformator.

$$T = \frac{12 \times 10^6}{4,44 \times fr \times fe \times b \times B \times N_1}$$

$$T = \frac{12 \times 10^6}{4,44 \times 50 \times 0,9 \times 15,38 \times 1,2 \times 38}$$

$$T = \frac{12 \times 10^6}{140125334,4}$$

$$T = 8,56 \text{ mm}$$

- Menentukan tegangan perencanaan yang lain.

- Jumlah lilitan untuk masing-masing tegangan pada sisi primer :

$$\text{Untuk tegangan 12 V} = \frac{V_{\text{Perencanaan}}}{V_{\text{Maks primer}}} \times N_1$$

$$= \frac{12}{12} \times 38$$

$$= 38 \text{ lilitan}$$

$$\text{Untuk tegangan 10 V} = \frac{V_{\text{Perencanaan}}}{V_{\text{Maks primer}}} \times N_1$$

$$= \frac{10}{12} \times 38$$

$$= 23,33$$

$$= 23 \text{ lilitan}$$

$$\text{Untuk tegangan 0 V} = \frac{V_{\text{Perencanaan}}}{V_{\text{Maks primer}}} \times N_1$$

$$= \frac{0}{12} \times 38$$

$$= 0 \text{ lilitan}$$

- Jumlah lilitan untuk masing-masing tegangan pada sisi sekunder :

$$\text{Untuk tegangan 220 V} = \frac{V_{\text{Perencanaan}}}{V_{\text{Maks sekunder}}} \times N_2$$

$$= \frac{220}{220} \times 695$$

$$= 695 \text{ lilitan}$$

$$\text{Untuk tegangan 110 V} = \frac{V_{\text{Perencanaan}}}{V_{\text{Maks sekunder}}} \times N_2$$

$$= \frac{110}{220} \times 695$$

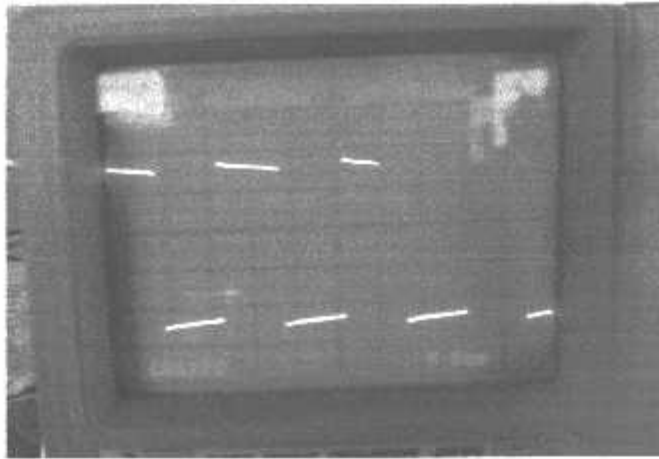
$$= 347,5$$

$$= 348 \text{ lilitan}$$

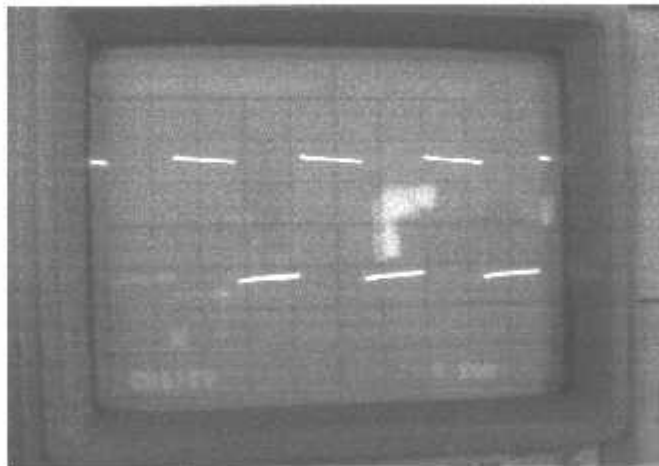
$$\text{Untuk tegangan 0 V} = \frac{V_{\text{Perencanaan}}}{V_{\text{Maks sekunder}}} \times N_2$$

$$= \frac{0}{220} \times 695$$

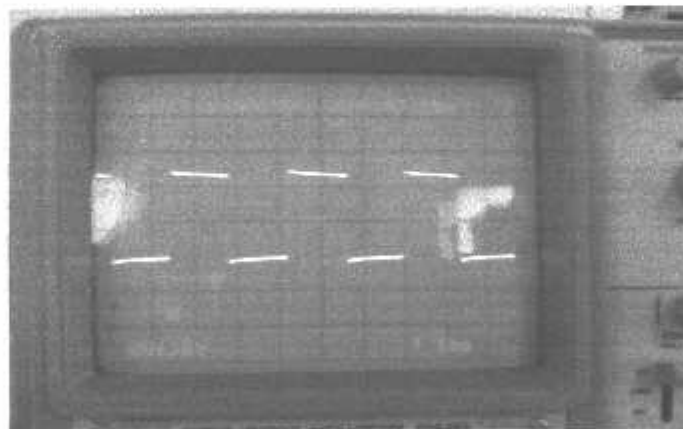
$$= 0 \text{ lilitan}$$



Gelombang Keluaran Inverter Beban 20 W

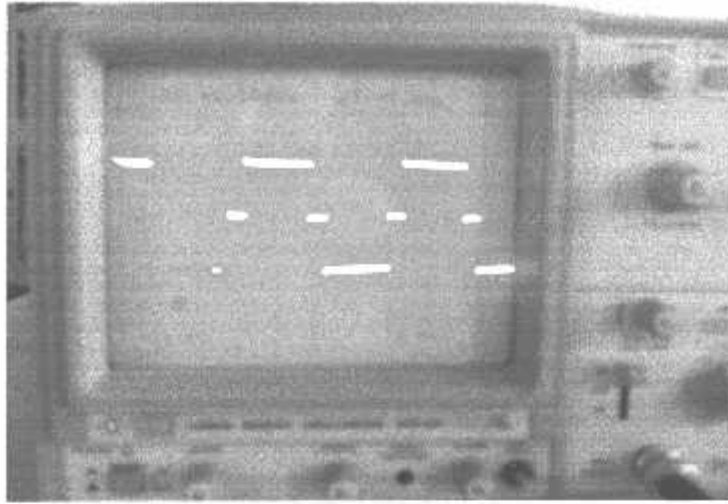


Gelombang Keluaran Inverter Beban 40 W

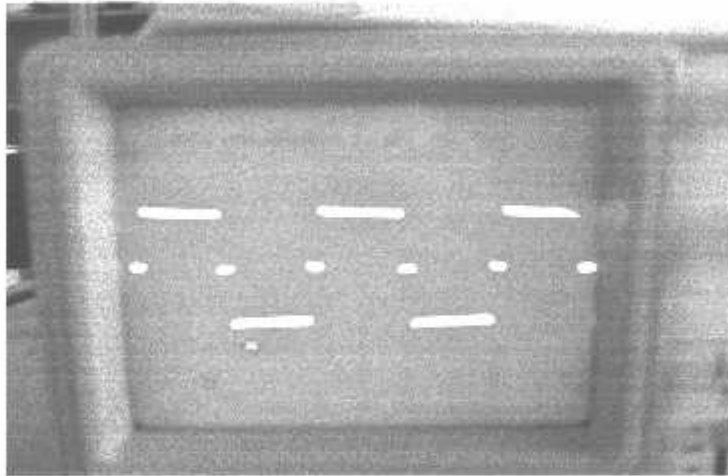


Gelombang Keluaran Inverter Beban 60 W

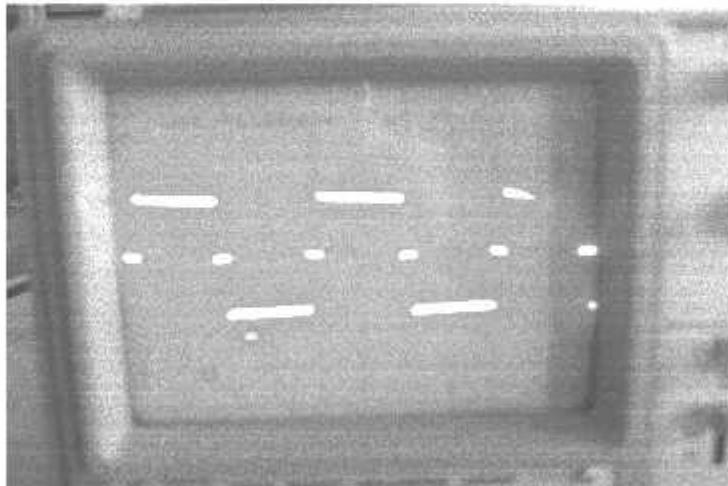
Lampiran - 1



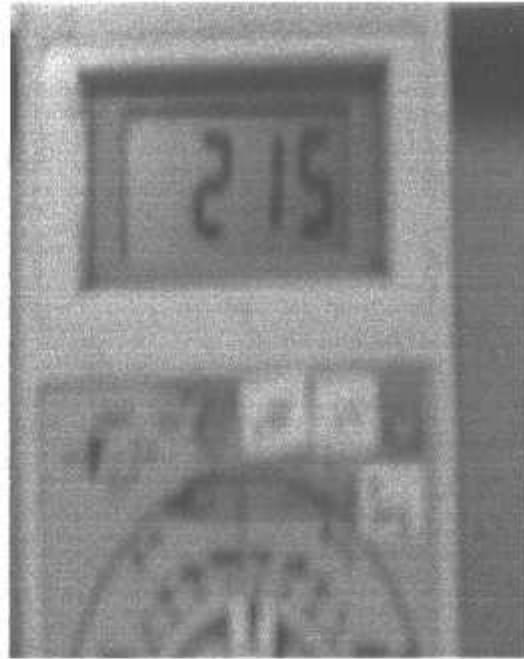
Gelombang Keluaran Inverter Pabrik Beban 20 W



Gelombang Keluaran Inverter Pabrik Beban 40 W



Gelombang Keluaran Inverter Pabrik Beban 60 W

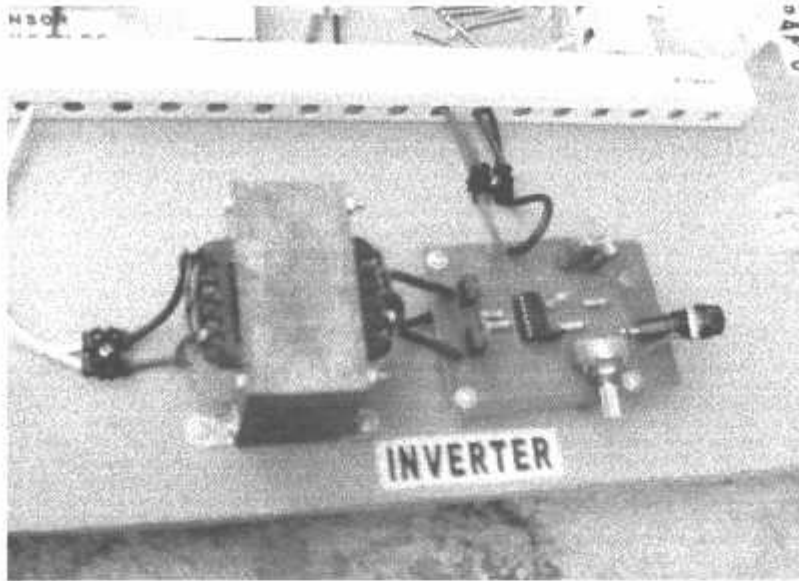


Pengukuran Tegangan

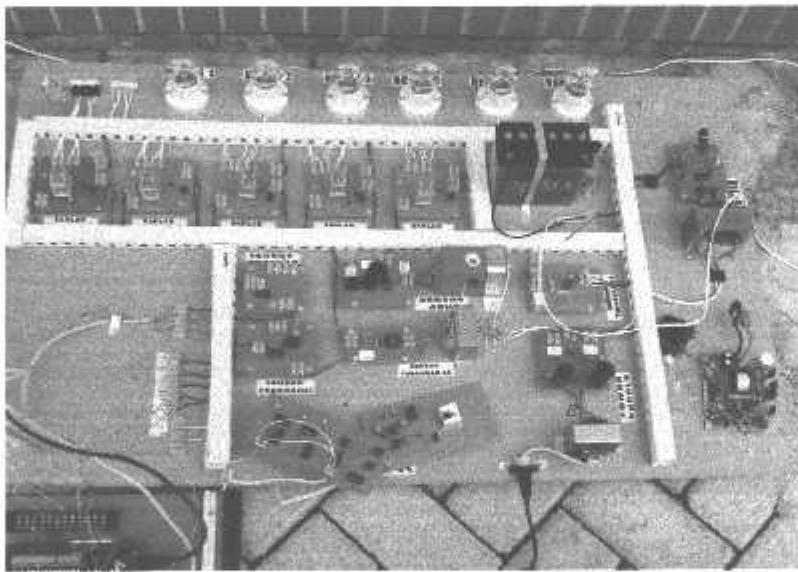


Pengukuran Arus

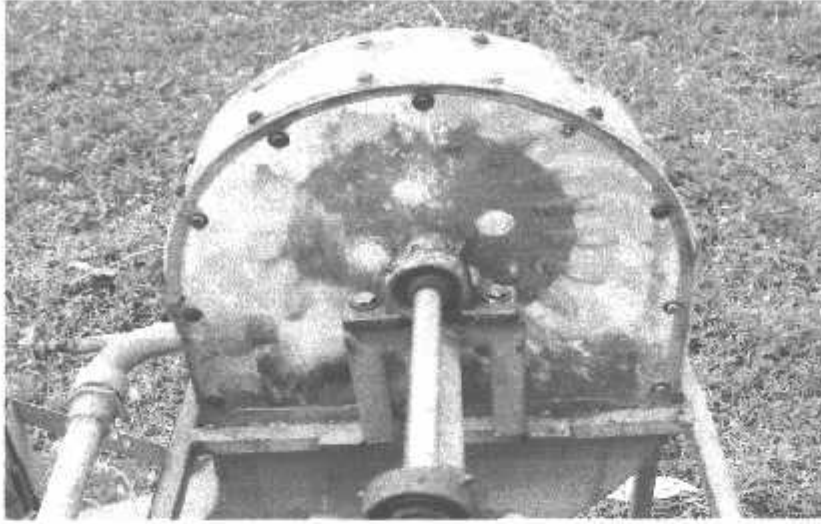
Lampiran - 3



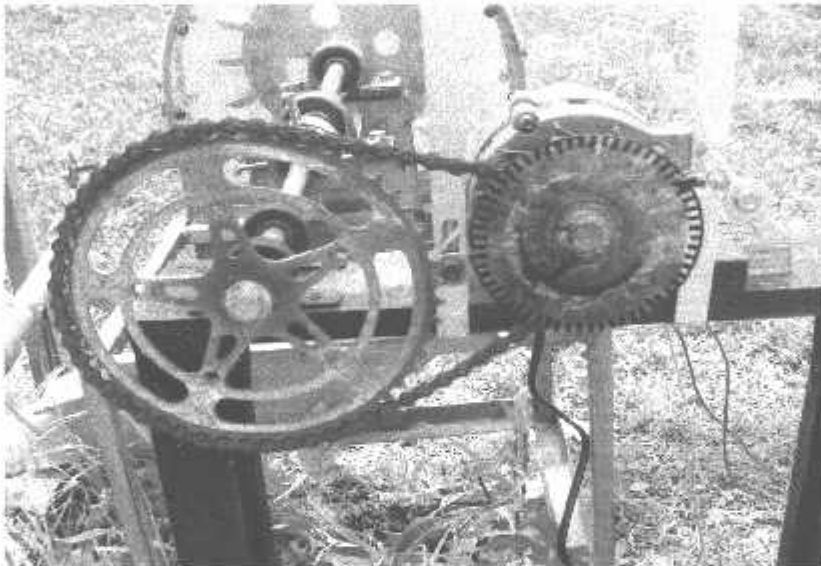
Rangkaian Inverter



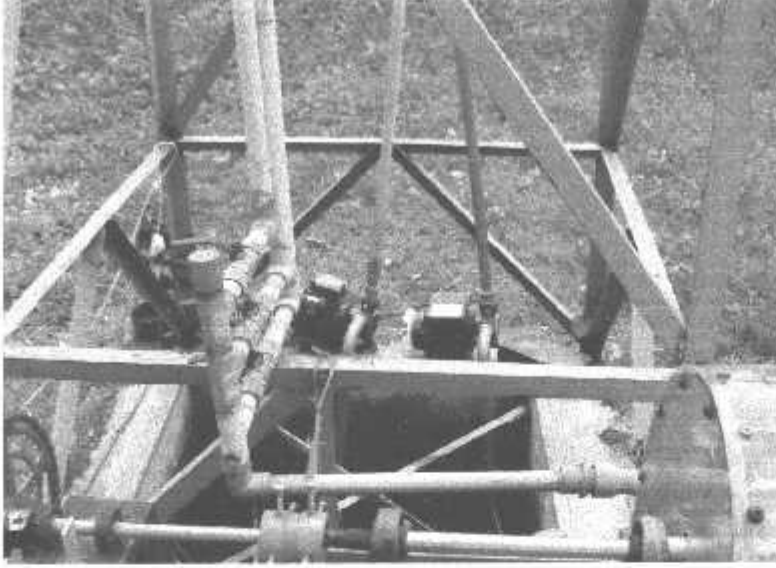
Sistem PLTMH ITN Malang



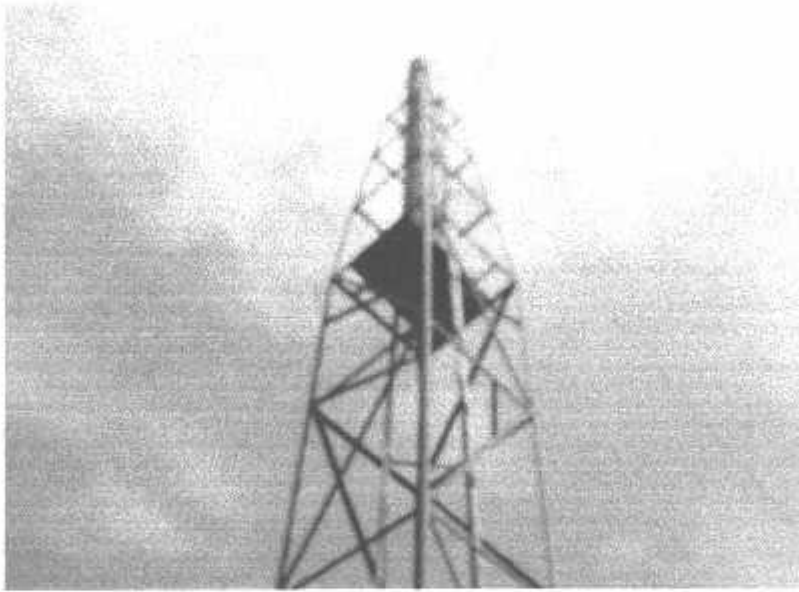
Turbin Pelton dan Nosel



Generator dan Gear Box

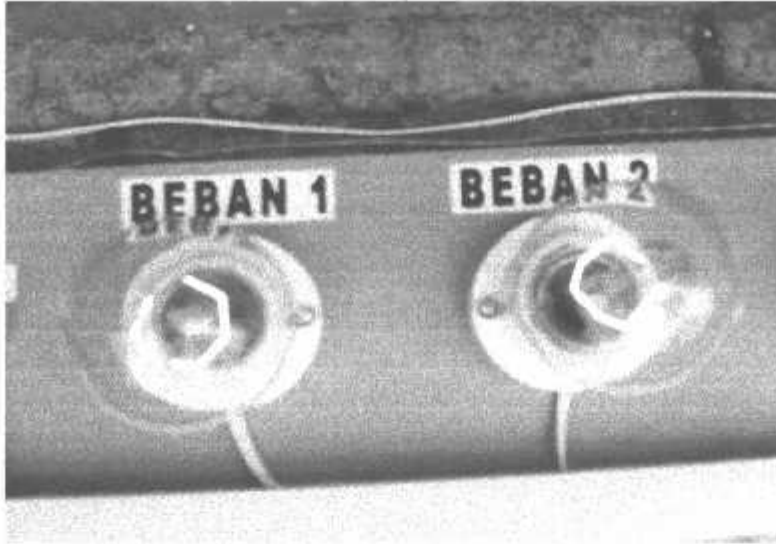


Tandon Bawah

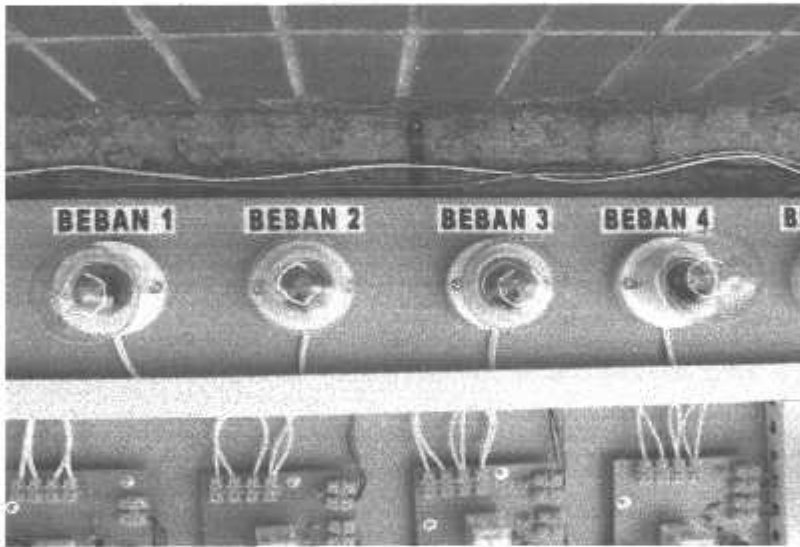


Tandon Atas

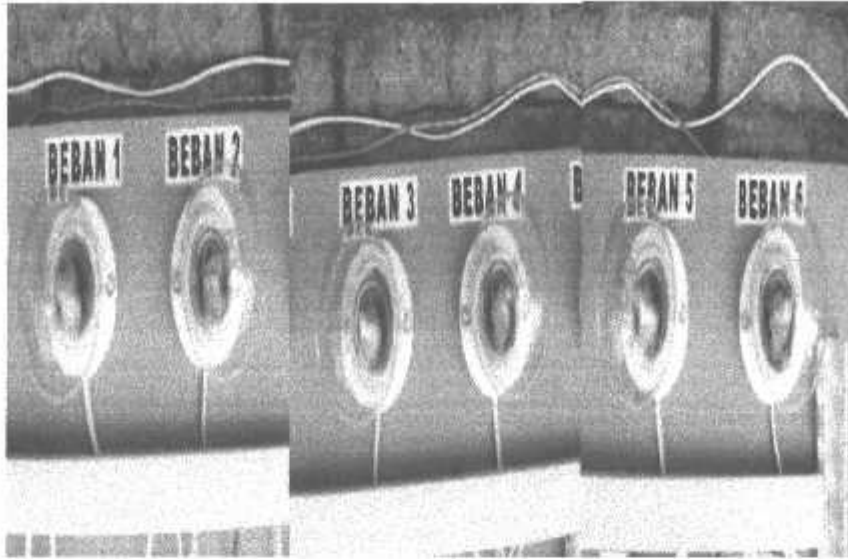
Lampiran - 6



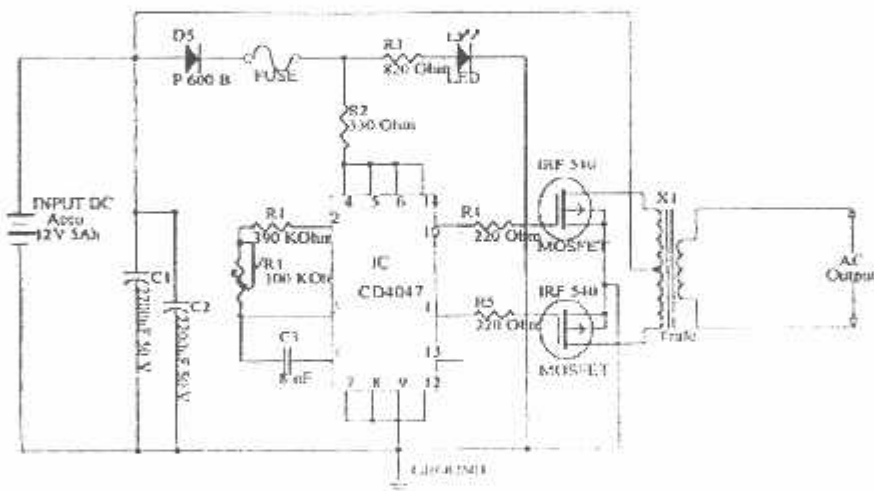
Beban 1 dan 2



Beban 1 sampai dengan 4



Beban 1 sampai dengan 6



Rangkaian Inverter secara keseluruhan

CD4047BC Low Power Monostable/Astable Multivibrator

General Description

The CD4047B is capable of operating in either the monostable or astable mode. It requires an external capacitor (between pins 1 and 3) and an external resistor (between pins 2 and 3) to determine the output pulse width in the monostable mode, and the output frequency in the astable mode.

Astable operation is enabled by a high level on the astable input or low level on the monostable input. The output frequency (at 50% duty cycle) at Q and \bar{Q} outputs is determined by the timing components. A frequency twice that of Q is available at the Oscillator Output, a 50% duty cycle is not guaranteed.

Monostable operation is obtained when the device is triggered by LOW-to-HIGH transition at + trigger input or HIGH-to-LOW transition at - trigger input. The device can be retriggered by applying a simultaneous LOW-to-HIGH transition to both the + trigger and retrigger inputs.

A high level on Reset input resets the outputs Q to LOW, \bar{Q} to HIGH.

Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- High noise immunity: $0.45 V_{DD}$ (typ.)
- Low power TTL compatibility: Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS

Special Features

- Low power consumption: special CMOS oscillator configuration
- Monostable (one-shot) or astable (free-running) operation
- True and complemented buffered outputs
- Only one external R and C required

Monostable Multivibrator Features

- Positive- or negative-edge trigger
- Output pulse width independent of trigger pulse duration
- Retriggerable option for pulse width expansion
- Long pulse widths possible using small RC components by means of external counter provision
- Fast recovery time essentially independent of pulse width
- Pulse-width accuracy maintained at duty cycles approaching 100%

Astable Multivibrator Features

- Free-running or gatable operating modes
- 50% duty cycle
- Oscillator output available
- Good astable frequency stability
typical= $\pm 2\% + 0.03\%/^{\circ}\text{C}$ @ 100 kHz
frequency= $\pm 0.5\% + 0.015\%/^{\circ}\text{C}$ @ 10 kHz
deviation (circuits trimmed to frequency $V_{DD} = 10V$ $\pm 10\%$)

Applications

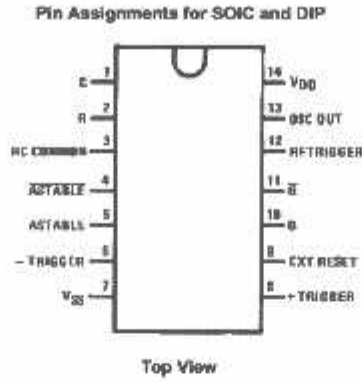
- Frequency discriminators
- Timing circuits
- Time-delay applications
- Envelope detection
- Frequency multiplication
- Frequency division

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4047BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4047BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

Function	Terminal Connections			Output Pulse From	Typical Output Period or Pulse Width
	To V _{DD}	To V _{SS}	Input Pulse To		
Astable Multivibrator					
Free-Running	4, 5, 6, 14	7, 8, 9, 12		10, 11, 13	$t_H(10, 11) = 4.40 RC$
True Gating	4, 6, 14	7, 8, 9, 12	5	10, 11, 13	$t_H(13) = 2.20 RC$
Complement Gating	6, 14	5, 7, 8, 9, 12	4	10, 11, 13	
Monostable Multivibrator					
Positive-Edge Trigger	4, 14	5, 6, 7, 9, 12	8	10, 11	
Negative-Edge Trigger	4, 8, 14	5, 7, 9, 12	6	10, 11	$t_H(10, 11) = 2.48 RC$
Retriggerable	4, 14	5, 6, 7, 9	8, 12	10, 11	
External Countdown (Note 1)	14	5, 6, 7, 8, 9, 12	Figure 1	Figure 1	Figure 1

Note 1: External resistor between terminals 2 and 3. External capacitor between terminals 1 and 3.

Typical Implementation of External Countdown Option

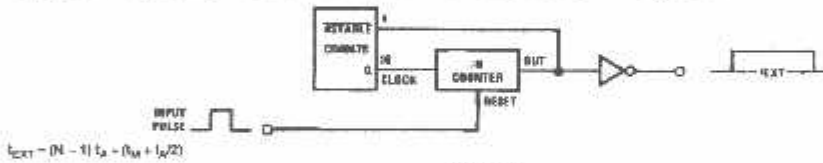
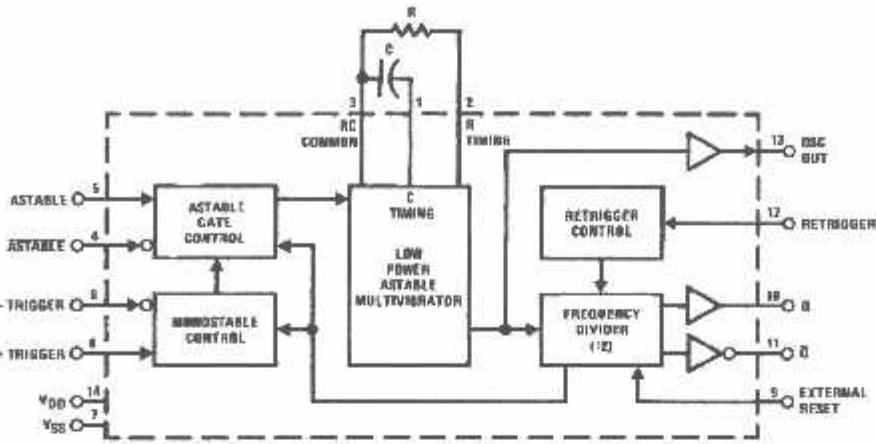
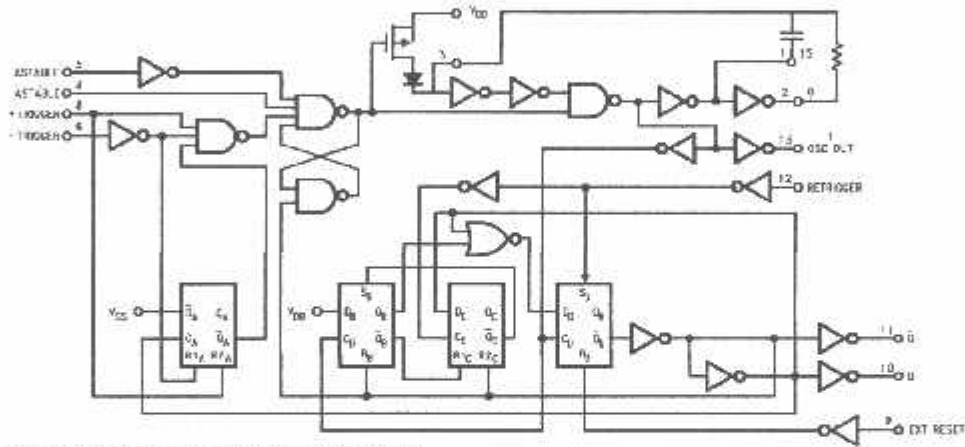


FIGURE 1.

Block Diagram



Logic Diagram



*Special input protection circuit to permit larger input-voltage swings.

Absolute Maximum Ratings(Note 2)

(Note 3)

DC Supply Voltage (V_{DD})	0.5V to +18V _{DC}
Input Voltage (V_{IH})	-0.5V to V_{DD} +0.5V _{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 3)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3V to 15V _{DC}
Input Voltage (V_{IH})	0 to V_{DD} V _{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	-55°C to +125°C

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 3: $V_{DD} = 0V$ unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		25°C			125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$		5 10 20			5 10 20		150 300 800	μA
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$ I_{OL} < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$		0.05 0.05 0.05	0	0	0.05		0.05 0.05 0.05	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$ I_{OH} < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$	4.95 9.95 14.95		4.95 9.95 14.95	5 10 15		4.95 9.95 14.95		V
V_{IL}	LOW Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V $V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V		1.5 3.0 4.0		2.25 4.5 6.75	1.5 3.0 4.0		1.5 3.0 4.0	V
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V $V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V	3.5 7.0 11.0		3.5 7.0 11.0	2.75 5.5 8.25		3.5 7.0 11.0		V
I_{OL}	LOW Level Output Current (Note 4)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$ $V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$ $V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	0.64 1.6 4.2		0.51 1.3 3.4	0.88 2.25 6.8		0.38 0.9 2.4		mA
I_{OH}	HIGH Level Output Current (Note 4)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.8V$ $V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$ $V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-0.64 -1.6 -4.2		-0.51 -1.3 -3.4	-0.88 -2.25 -6.8		-0.38 -0.9 -2.4		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IH} = 0V$ $V_{DD} = 15V, V_{IH} = 15V$		-0.1 0.1		-10^{-5} 10^{-5}		-0.1 0.1		μA

Note 4: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

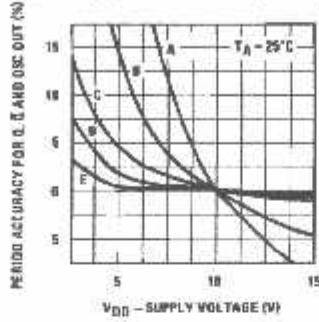
AC Electrical Characteristics (Note 5)
 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 200\text{ k}\Omega$, Input $t_r = t_f = 20\text{ ns}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{PDL} , t_{PLH}	Propagation Delay Time Astable, Astable to Osc Out	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		200 100 80	400 200 160	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Astable, Astable to \bar{Q} , \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		500 250 200	900 500 400	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	+ Trigger, - Trigger to \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		700 300 240	1200 800 480	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	+ Trigger, Retrigger to \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		300 175 150	600 300 250	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Reset to \bar{Q} , \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		300 125 100	600 250 200	ns
t_{rL} , t_{fLH}	Transition Time \bar{Q} , \bar{Q} , Osc Out	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		100 50 40	200 100 80	ns
t_{WU} , t_{WH}	Minimum Input Pulse Duration	Any Input $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		500 200 160	1000 400 320	ns
t_{RCL} , t_{FCL}	+ Trigger, Retrigger, Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$			15 5 5	μs
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF

Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

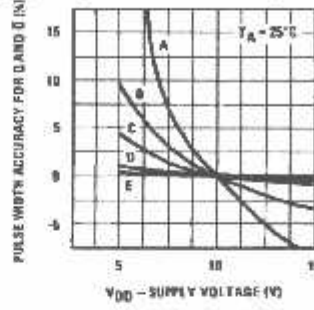
Typical Performance Characteristics

Typical \bar{Q} , \bar{Q} , Osc Out Period Accuracy vs Supply Voltage (Astable Mode Operation)



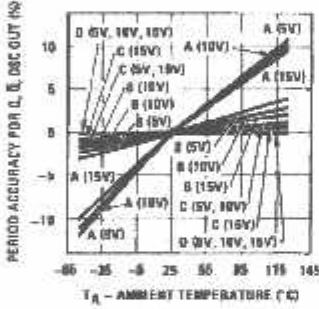
$f_{Q, \bar{Q}}$	R	C
A 1000 kHz	22k	10 pF
B 100 kHz	22k	100 pF
C 10 kHz	220k	100 pF
D 1 kHz	220k	1000 pF
E 100 Hz	2.2M	1000 pF

Typical \bar{Q} , \bar{Q} , Pulse Width Accuracy vs Supply Voltage Monostable Mode Operation



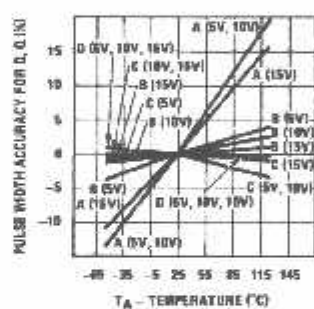
$t_{W, \bar{Q}}$	R	C
A 2 μ s	22k	10 pF
B 7 μ s	22k	100 pF
C 60 μ s	220k	100 pF
D 550 μ s	220k	1000 pF
E 5.5 ms	2.2M	1000 pF

Typical \bar{Q} , \bar{Q} and Osc Out Period Accuracy vs Temperature Astable Mode Operation



$f_{Q, \bar{Q}}$	R	C
A 1000 kHz	22k	10 pF
B 100 kHz	22k	100 pF
C 10 kHz	220k	100 pF
D 1 kHz	220k	1000 pF

Typical \bar{Q} and \bar{Q} Pulse Width Accuracy vs Temperature Monostable Mode Operation



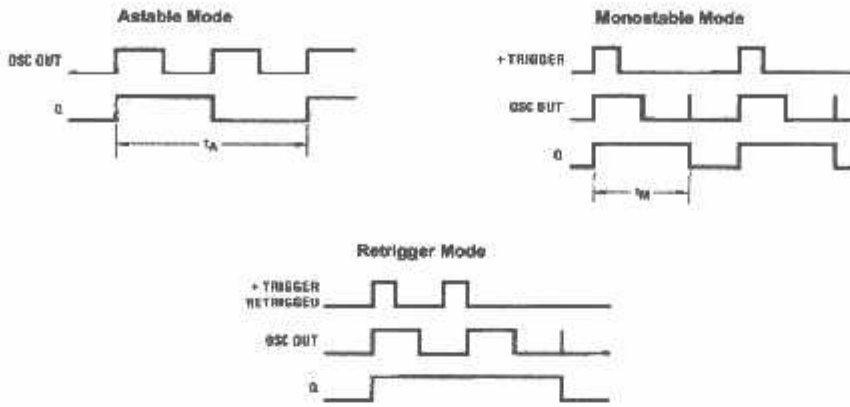
$t_{W, \bar{Q}}$	R	C
A 2 μ s	22k	10 pF
B 7 μ s	22k	100 pF
C 60 μ s	220k	100 pF
D 550 μ s	220k	1000 pF

Note: Minimum Value of R: 10 K Ω
 Maximum Value of R: 1 Meg Ω
 Minimum Value of C for Astable Mode: 100 pF
 Minimum Value of C for Monostable Mode: 1000 pF

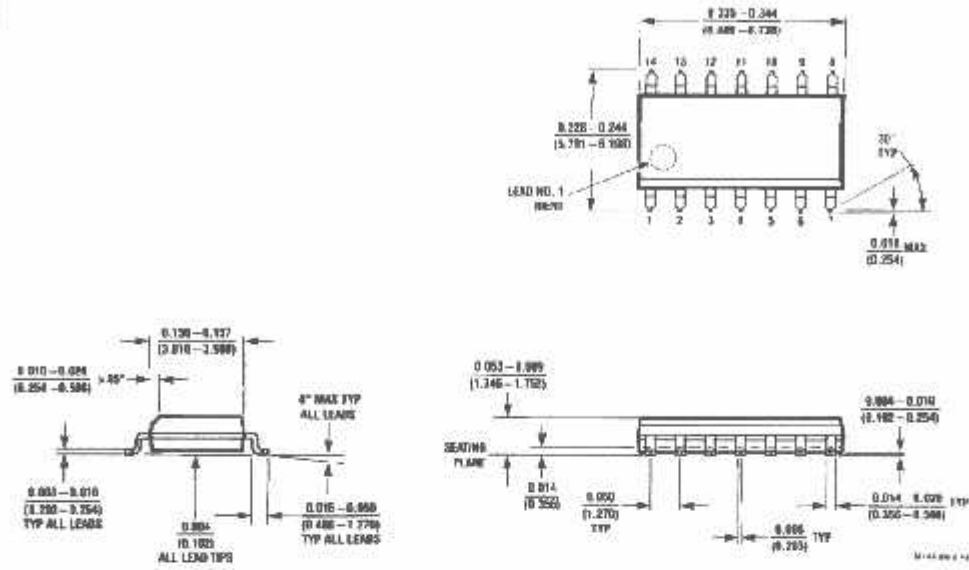
Typical Performance Characteristics (Continued)

CD4047BC

Timing Diagrams

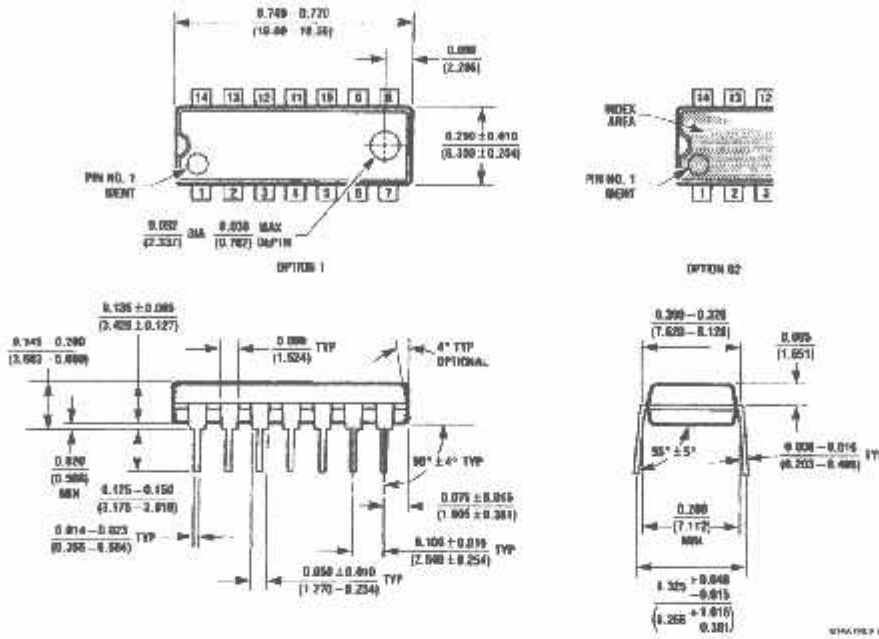


Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
Package Number M14A

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



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
Package Number N14A

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

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 to 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.

www.fairchildsemi.com

1N4001 - 1N4007

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41

COLOR BAND DENOTES CATHODE

General Purpose Rectifiers

Absolute Maximum Ratings* $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current, .375" lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

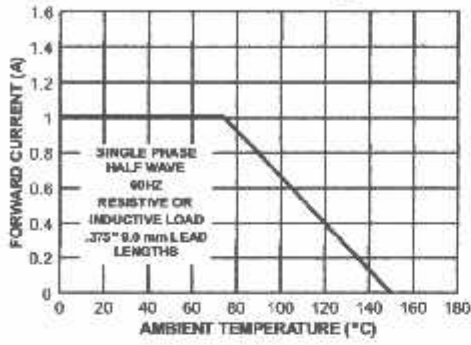
Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

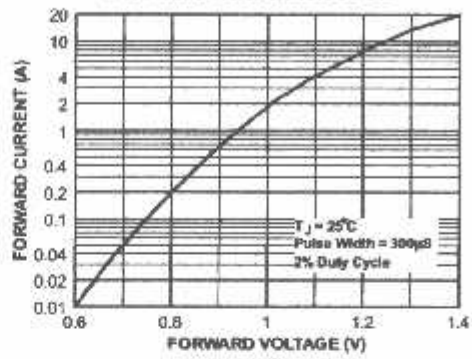
Symbol	Parameter	Device							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_F	Forward Voltage @ 1.0 A	1.1							V
I_r	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^\circ\text{C}$	30							μA
I_R	Reverse Current @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	5.0 500							μA μA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$	15							pF

Typical Characteristics

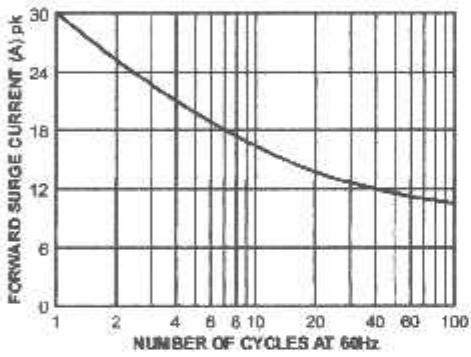
Forward Current Derating Curve



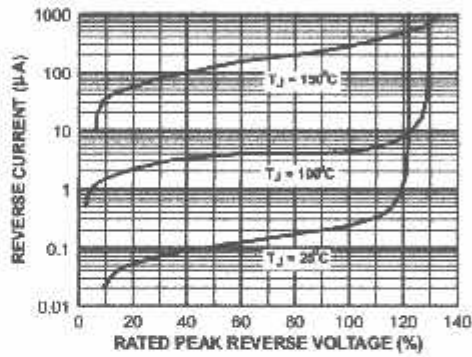
Forward Characteristics



Non-Repetitive Surge Current



Reverse Characteristics



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.

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

DISCLAIMER

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

LIFE SUPPORT POLICY

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

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

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