PERANCANGAN *SWITCHING POWER SUPPLY* MENGGUNAKAN IC TL494 DENGAN TEGANGAN KELUAR 5-15 VOLT

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Disusun oleh :

Nama : Asep Rasim

No. Mahasiswa : 00 524 100

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2007

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PERANCANGAN *SWITCHING POWER SUPPLY* MENGGUNAKAN IC TL494 DENGAN TEGANGAN KELUAR 5-15 VOLT

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Asep Rasim

No. Mahasiswa : 00 524 100

Yogyakarta, Maret 2007

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Hj. Budi Astuti, MT	**Yusuf Aziz Amrullah, ST**

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PERANCANGAN *SWITCHING POWER SUPPLY* MENGGUNAKAN IC TL494 DENGAN TEGANGAN KELUAR 5-15 VOLT

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Asep Rasim

No. Mahasiswa : 00 524 100

Telah Dipertahankan Di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada Jurusan Teknik Elektro,
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Tim Penguji	Tanda tangan
1. **Ir. Hj. Budi Astuti, MT**	
2. **Yusuf Aziz Amrullah, ST**	
3. **Tito Yuwono, ST. M.Sc**	

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA ★ YOGYAKARTA ★ FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

(Tito Yuwono, ST. M.Sc)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kutujukan Tugas Akhir Ini Untuk:

Allah SWT Serta Nabi Muhammad SAW dan Para Pengikutnya.

Almarhum Ayahanda Sapin dan Ibunda Ijah Tercinta, Atas Do'a Kasih Sayang Serta Kepercayaannya Yang Telah Diberikan Kepadaku. Serta Belahan Jiwaku Rizza Ciptaningrum.

MOTTO

" Jadikanlah Sabar dan Sholat Sebagai Penolongmu. Dan Sesungguhnya Yang Demikian Itu Sungguh Berat, Kecuali Bagi Orang Orang Yang Khusyu"

(QS. Al. Baqarah : 45)

" Cukuplah Allah Menjadi Penolong Kamu dan Allah Sebaik Baik Pelindung"

(QS. Ali Imran : 173)

Sungguh, Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sampai mereka mengubah dirinya.

(QS. Ar Ra'd : 11)

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah mengetahui atas apa yang kamu kerjakan.

(Qs. Al Mujadalah : 11)

Barang siapa meletakkan pikiran mereka dan waktu Allah melimpahkannya pada jalan mereka sesuai kesadaran (HR)

KATA PENGANTAR

بسم الله الرحمن الرحيم

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, kami panjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **"PERANCANGAN *SWITCHING POWER SUPPLY* MENGGUNAKAN IC TL494 DENGAN TEGANGAN KELUAR 5-15 VOLT"** yang merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana S-1 dikalangan Universitas Islam Indonesia Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro.

Penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini bisa selesai tidak lepas dari saran-saran, bimbingan, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Tito Yuwono, ST, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam indonesia.
2. Ibu Ir.Hj.Budi Astuti, MT, selaku dosen pembimbing I, yang telah berkenan memberikan bimbingan selama berlangsungnya pembuatan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, ST, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengarahan, motivasi dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
5. Orang tua tercinta yang selalu memberi do'a, dukungan baik berupa materi maupun spiritual dan kepercayaannya.
6. Teman-teman Elektro Angkatan 2000.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini meskipun telah dikerjakan dengan sebaik-baiknya tetapi masih banyak kekurangan dan keterbatasan, maka penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun.

Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkan, sebagaimana yang diharapkan oleh penulis.

Wasalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, Maret 2007

Asep Rasim

ABSTRAKSI

Jenis power suplai di pasaran banyak sekali, salah satu klasifikasinya dapat dibedakan menurut cara kerjanya. Selama ini power suplai banyak dikenal oleh masyarakat dalam dua jenis yaitu menggunakan trafo berinti baja dan *switching power supply*. Perkembangan power suplai sekarang mengarah ke *switching power supply*, hal ini terjadi karena kelebihannya yang mempunyai berat yang lebih ringan dan efisiensi lebih tinggi serta dari sisi desain lebih flexibel. *Switching power supply* biasanya bekerja dikontrol menggunakan *SMPS Controller* (*Switch Mode Power Supply Controller*), salah satunya yang banyak beredar di pasaran adalah keluarga TL494. Pada rancangan ini sumber tegangan input berasal dari tegangan jala-jala listrik PLN 220 volt 50/60 hz, tegangan ac ini kemudian dirubah menjadi tegangan dc dengan menggunakan rangkaian *rectifier*/penyearah. Tegangan dc yang keluar dari penyearah ini kemudian dirubah ke tegangan dc sesuai yang diinginkan dengan rangkaian *dc to dc converter* dengan jalan mensaklar tegangan input dc sesuai dengan sinyal yang keluar dari *PWM Control Circuit* TL494 (pada blok *power switch*), sehingga menghasilkan tegangan yang diinginkan. Untuk mengontrol tegangan yang keluar maka dimasukkan *feedback* tegangan ke *error amplifier* 1 pada TL494, sedangkan untuk membatasi arus yang terjadi jika power suplai dibebani maka diperlukan *feedback* arus ke *error amplifier* 2 pada TL494. Dari hasil pengamatan dan pengukuran diperoleh efesiensi maksimum power suplai pada pembebanan yang menghasilkan arus sekitar 10 ampere yaitu sekitar 60%, efisiensi ini masih dibawah 10% dari target perancangan.

Keyword : *TL494, Switching Power Supply*

2.2.2 Penyearah Gelombang Penuh 9
2.3 Rangkaian Filter 10
2.3.1 Penggunaan Induktor Sebagai Filter 10
2.3.2 Penggunaan Kapasitor Sebagai Filter 11
2.3.3 Penggunaan L dan C Sebagai Filter 12
2.4 *Switching Regulator/Power Supply* 13
2.5 PWM *(Pulse Width Modulation)* 14
2.6 Pengubah Tegangan DC ke DC *(DC-DC Converter)* 15
2.6.1 *Flyback converter* 16
2.6.2 *Forward Converter* 17
2.6.2.1 *Single Transistor Forward Converter* 17
2.6.2.2 *Two-Transistor Forward Converter* 18
2.6.2.3 Perbandingan Tipe Konverter 18
2.7 Trafo *(Transformer)* 19
2.8 *Switching Transistor* 22
2.9 IC TL494 25
2.9.1 Regulator Tegangan Referensi 5 V 26
2.9.2 Osilator 27
2.9.3 *Dead-Time Control* 28
2.9.4 *Error Amplifier* 29
2.9.5 *Output-Control Logic* 30
2.9.6 *Output Transistor* 31

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1 Gambaran Umum Sistem 32

3.2 Penentuan Asumsi dan Data Perancangan 33

3.3 Pemilihan Jenis *DC-DC Converter* 34

3.4 Perancangan Penyearah Tegangan 35

3.5 Perhitungan Trafo Frekwensi Tinggi Pada *DC-DC Converter Flyback* 36

3.5.1 Induktansi Lilitan Primer Trafo (L_1) 36

3.5.2 *Center gap* 37

3.5.3 Gulungan N_1 Yang Dibutuhkan 37

3.5.4 Gulungan N_2 Yang Dibutuhkan 38

3.6 Pemilihan Sumber *Low Voltage* TL494 38

3.7 Perhitungan Osilator 39

3.8 Perhitungan *Soft-start* dan *Dead-Time* 40

3.9 Perhitungan *Error Amplifier* 41

3.10 Perhitungan *Rectifier* dan *Filter output* 42

3.11 Pemilihan *Transistor Switching* 43

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengamatan 44

4.1.1 Hasil Pengamatan AC *Input Section* 44

4.1.2 Hasil Pengamatan Suplai Tegangan TL494 45

4.1.3 Hasil Pengamatan *Control Section* TL494 45

4.1.4 Hasil Pengamatan Pada Bagian *Power Switching Section* 47
4.1.4.1 Hasil Pengamatan Dengan Beban Induktif ... 48
4.1.4.2 Hasil Pengamatan Dengan Beban Resistif 51
4.1.5 Hasil Pengamatan Pada Bagian Output Power Suplai 54
4.1.6 Hasil Pengamatan Riak Pada Output Power Suplai ... 54
4.1.7 Hasil Pengamatan Tegangan *Feedback* 55
4.1.8 Hasil Pengamatan Performansi Power Suplai 56
4.2 Pembahasan 58
4.2.1 Sistem Pengendalian 58
4.2.2 Mode Operasi *Flyback Converter* 60
4.2.3 Riak Output Power Suplai 60
4.2.4 Performansi Power Suplai 60

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 62
5.2 Saran 62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik jenis-jenis trafo	21
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Performansi Power Suplai	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Karakteristik Dioda	7
Gambar 2.2	Dioda Dengan Tegangan Maju	7
Gambar 2.3	Dioda Dengan Tegangan Balik	7
Gambar 2.4	Rangkaian Penyearah Setengan Gelombang	8
Gambar 2.5	Bentuk Gelombang Output Penyearah Setengah Gelombang	9
Gambar 2.6	Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh	9
Gambar 2.7	Bentuk Gelombang Output Penyearah Gelombnag Penuh	10
Gambar 2.8	Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang Dengan Filter Induktor	10
Gambar 2.9	Bentuk Gelombang Rangkaian Penyerah Setengan Gelombang Dengan Filter Induktor	11
Gambar 2.10	Rangkaian Penyearah Setengan Gelombnag Dengan Filter Kapasitor	12
Gambar 2.11	Bentuk Gelombnag Rangkaian Penyearah Setengan Gelombang Dengan Filter Kapasitor	12
Gambar 2.12	Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang Dengan Filter L dan C	13
Gambar 2.13	Bentuk Gelombang Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang Dengan Dengan Filter L dan C	13
Gambar 2.14	AC/DC Power Suplai Untuk CRT	14

Gambar 3.3	Contoh Sumber Tegangan AC 220 Volt Langsung Ke Penyearah Dilengkapi Dengan Filter	35
Gambar 3.4	Skema Trafo	36
Gambar 3.5	Rangkaian Sederhana *Low-Voltage-Supply*	39
Gambar 3.6	Rangkaian *Dead-Time*	40
Gambar 3.7	Konfigurasi *Error-Amplifier*	41
Gambar 3.8	*Isolation Barrier* Dengan TL431 Dan Optoisolator	42
Gambar 4.1	Pengamatan AC *Input Section*	44
Gambar 4.2	Bentuk Gelombang Pada Bagian *Input AC Section*	44
Gambar 4.3	Bentuk Gelombang Pada Bagian *Output AC Section*	45
Gambar 4.4	Bagian Kontrol TL494	46
Gambar 4.5	Bentuk Gelombang Pada Osilator Dan Transistor Output TL494 Sebelum Dihubungkan Ke FET	46
Gambar 4.6	Titik-Titik Pengujian Pada Bagian *Power Switch*	47
Gambar 4.7	Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 1 Motor DC	48
Gambar 4.8	Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 2 Motor DC	48
Gambar 4.9	Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 1 Motor DC	49
Gambar 4.10	Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 2 Motor DC	49
Gambar 4.11	Bentuk Sinyal Pada Bagian Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 1 Motor	50
Gambar 4.12	Bentuk Sinyal Pada Bagian Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 2 Motor	50
Gambar 4.13	Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 1 Lampu	51

Gambar 4.14 Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 6 Lampu 51

Gambar 4.15 Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 1 Lampu 52

Gambar 4.16 Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 6 Lampu 52

Gambar 4.17 Bentuk Sinyal Pada Bagian Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 1 Lampu..... 53

Gambar 4.18 Bentuk Sinyal Pada Bagian Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 6 Lampu..... 53

Gambar 4.19 Titik Pengamatan Bentuk Gelombang Bagian Output Power Suplai..... 54

Gambar 4.20 Bentuk Gelombang Pada Output Power Suplai..... 54

Gambar 4.21 Riak Pada Output Power Suplai 55

Gambar 4.22 Titik Pengamatan Bentuk Gelombang Bagian *Output Isolation Barier*..... 55

Gambar 4.23 Bentuk Gelombang Output *Isolation Barier* 56

Gambar 4.24 Skema Pengujian Performansi Power Suplai 57

Gambar 4.25 Grafik Hubungan Daya Keluar Vs Efisiensi 58

Gambar 4.26 *Voltage-Mode Control* Untuk *Boost Converter*..... 59

Gambar 4.27 *Pulse Width Modulator*..... 59

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ii

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iii

HALAMAN PERSEMBAHAN iv

HALAMAN MOTTO v

KATA PENGANTAR vi

ABSTRAKSI viii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Maksud dan Tujuan 3

1.5 Metodologi Penelitian 4

1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Catu Daya (*Power Supply*) 6

2.2 Penyearah Tegangan *(Rectifier)* 6

2.2.1 Penyearah Setengah Gelombang 8

Gambar 2.15 Tegangan DC Yang Disaklar Selama t_{on} dan Diputus Selama t_{off} 15
Gambar 2.16 Skema Sederhana *Flyback Converter* 16
Gambar 2.17 Skema Sederhana *Forward Converter* Satu Transistor 17
Gambar 2.18 Skema Sederhana *Forward Converter* Dua Transistor 18
Gambar 2.19 Contoh *Core* Trafo Jenis ETD atau EC 20
Gambar 2.20 Contoh Bentuk *Bobbin* 20
Gambar 2.21 Prinsip kerja trafo 21
Gambar 2.22 Lambang Transistor 22
Gambar 2.23 Karakteristik Transistor 22
Gambar 2.24 Salah Satu Cara Pemberian Tegangan Kerja Pada Transistor .. 23
Gambar 2.25 Pulsa Picu dan Tegangan output V_{ce} 24
Gambar 2.26 Rangkaian FET Sebagai Saklar 25
Gambar 2.27 Blok Diagram TL494 26
Gambar 2.28 Grafik Tegangan Referensi Vs Tegangan Input 27
Gambar 2.29 Contoh penggunaan *dead time* 28
Gambar 2.30 Grafik Tegangan Pada Penggunaan *Dead-Time* 28
Gambar 2.31 Konfigurasi *Error Amplifier-Bias* 29
Gambar 2.32 Rangkaian *current-limiting* 30
Gambar 2.33 Skema Masukan *Output-Control Logic* 30
Gambar 2.34 Skema Rangkaian Output Transistor TL494 31
Gambar 3.1 Rancangan Blok Diagram Power Suplai Dengan TL494 32
Gambar 3.2 Skema Sederhana *Topology Flyback* 35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Hampir semua produk terbaru elektronika kecuali yang menggunakan baterai menggunakan pengubah tegangan ac (220 volt 50 hz untuk Indonesia) ke tegangan dc untuk menjalankan produk tersebut, karena itu *converter* tegangan atau *regulator* yang difungsikan sebagai penyedia daya atau power suplai ini sangat penting peranannya dalam elektronika.

Power suplai merupakan rangkaian *buffer* yang berguna untuk menyesuaikan sumber daya primer sesuai karakteristik yang diperlukan oleh beban (Foutz, 2006). Contohnya adalah jika ada sebuah sumber daya ac 220 volt 50 hz, sedangkan beban mungkin sebuah rangkaian logika di dalam sebuah *personal computer* yang membutuhkan tegangan dc 5 volt. Power suplai di sini adalah rangkaian yang membuat sumber tegangan 220 volt ac dan beban 5 volt dc menjadi sesuai dengan mengkonversi tegangan 220 volt ac menjadi 5 volt dc.

Jenis power suplai dalam pasaran banyak sekali, salah satu klasifikasinya dapat dibedakan menurut cara kerjanya. Selama ini power suplai banyak dikenal oleh masyarakat dalam dua jenis menurut cara kerjanya yaitu menggunakan *step-down transformator* dan *switching power supply.*

Perkembangan power suplai sekarang mengarah ke *switching power supply*, hal ini terjadi karena kelebihannya yang mempunyai berat yang lebih ringan dan efisiensi lebih tinggi serta dari sisi desain lebih flexibel (ONSemiconductor, 1999). Kecenderungan ini kemudian diikuti oleh produsen IC untuk memproduksi IC dengan fungsi khusus untuk keperluan *switching power supply*. Power suplai jenis ini biasanya bekerja dikontrol menggunakan *SMPS Controller* (*Switch Mode Power Supply Controller*), salah satunya yang banyak beredar di pasaran adalah keluarga TL494.

Kebanyakan *switching power supply* yang beredar di pasaran adalah power suplai dengan keluaran tegangan yang tetap atau tidak dapat diatur, sehingga jika sudah merancang power suplai dengan keluaran tertentu dan suatu saat membutuhkan keluaran tegangan yang berbeda maka harus membeli atau merancang modul yang lain lagi. Dengan latar belakang inilah Tugas Akhir ini dibuat.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini akan dirancang suatu sistem *switching power supply* dengan input tegangan 220 volt 50 hz ac dan output tegangan 5-15 volt dc menggunakan *SMPS controller* TL494. Sehingga berdasarkan latar belakang yang dijelaskan di atas maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merancang sebuah *switching power supply* dengan tegangan input ac 220 volt dan tegangan output 5-15 volt dc.
2. Bagaimana unjuk kerja *switching power supply* yang dibuat.

1.3 Batasan masalah

Perancangan ini merupakan rancangan pertama yang pernah penulis lakukan yang mencoba merangkai suatu sistem power suplai dengan IC TL494 yang sederhana sesuai logika, referensi dan pengetahuan penulis. Perancangan ini diharapkan dapat berfungsi seperti yang direncanakan, untuk menghindari pembahasan yang meluas maka dibuat batasan-batasan sebagai berikut :

1. *SMPS controller* yang digunakan adalah keluarga TL494 dengan merk sesuai yang ada di pasaran.
2. Rencana tegangan keluar power suplai adalah antara 5 volt sampai 15 volt dc, V_{ripple} 20 mV, dan frekuensi *switching* 25 khz.
3. Pengujian akhir pada performansi power suplai yang meliputi tegangan keluar, daya dan efisiensi pada beban yang bersifat induktif yaitu motor dc dan beban yang bersifat resistif yaitu lampu.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari perancangan ini yaitu :

1. Membuat *switching power supply* dengan tegangan keluar antara 5 volt sampai 15 volt dc menggunakan IC TL494.
2. Dapat digunakan sebagai media belajar dan referensi bagi yang membutuhkannya.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam melakukan perancangan dan penulisan Tugas Akhir ini ini digunakan beberapa metode yaitu :

1. Dengan metode studi literatur yaitu melalui buku-buku yang telah tersedia serta membandingkan teori-teori yang digunakan.
2. Melakukan pengujian-pengujian dari peralatan yang ada.
3. Bimbingan dengan dosen.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang akan digunakan dalam penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab yaitu :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II : Dasar Teori

Bab ini akan diuraikan tentang teori-teori yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan peralatan.

BAB III : Perancangan Sistem

Bab ini menjelaskan perancangan sistem, prinsip kerja serta penjelasannya dan desain perangkat kerasnya.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab ini akan menjelaskan hasil pengujian alat beserta data-data hasil pengujian untuk dianalisa.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi kesimpulan-kesimpulan tentang kegiatan penelitian dan berisi saran-saran guna pengembangannya

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Catu Daya (*Power Supply*)

Sumber catu daya untuk menjalankan peralatan elektronika dapat diperoleh dari berbagai sumber, sumber yang banyak tersedia di Indonesia salah satunya adalah tegangan listrik bolak-balik dari PLN. Sumber ini mempunyai tegangan 220 volt ac, supaya tegangan ini bisa digunakan untuk menjalankan peralatan elektronika yang biasanya menggunakan spesifikasi input tegangan dc maka diperlukan konverter untuk merubah tegangan sumber menjadi tegangan yang diperlukan.

Catu daya dalam arti sempit diartikan sebagai alat untuk menyediakan daya suatu peralatan, mengkonversi tegangan sesuai keperluan menurut jenis dan ukuran tegangan yang diperlukan. Bagian-bagian dari catu daya terdiri dari transformator sebagai penurun tegangan, penyearah yang berfungsi menyearahkan tegangan dari ac ke dc, dan regulator tegangan yang berfungsi untuk menghaluskan keluaran tegangan serta mengubah tegangan sesuai tegangan yang dibutuhkan.

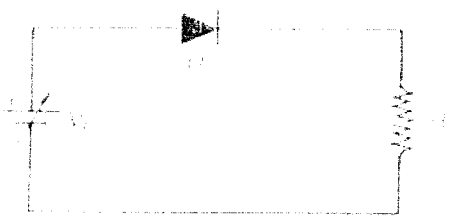
2.2 Penyearah Tegangan (*Rectifier*)

Penyearah tegangan seperti telah disebutkan pada sub bab sebelumnya berfungsi untuk menyearahkan tegangan ac ke dc. Komponen elektronika yang biasa digunakan adalah dioda. Dioda adalah suatu bahan semikonduktor (silikon)

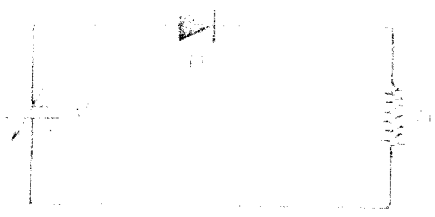
yang didesain sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan arus pada satu arah saja. Karakteristik tegangan versus arus bagi dioda ini dapat dilihat pada Gambar 2.1, apabila dioda diberi tegangan maju seperti pada Gambar 2.2 maka dengan tegangan yang kecil saja (umumnya kira-kira 0,6 volt) akan mengalir arus maju yang besar. Sebaliknya apabila dioda diberi tegangan balik seperti pada Gambar 2.3 maka untuk tegangan yang masih di bawah V_r (sesuai karakteristik dioda) arus tidak akan mengalir, tetapi di atas V_r akan mengalir arus balik yang besar. Tegangan V_r ini disebut tegangan tembus (*peak inverse voltage*).



Gambar 2.1 Karakteristik dioda



Gambar 2.2 Dioda dengan tegangan maju

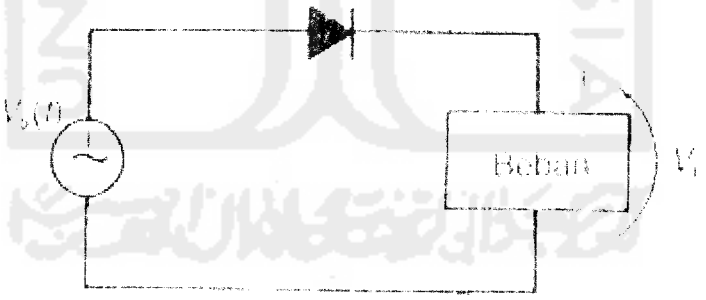


Gambar 2.3 Dioda dengan tegangan balik

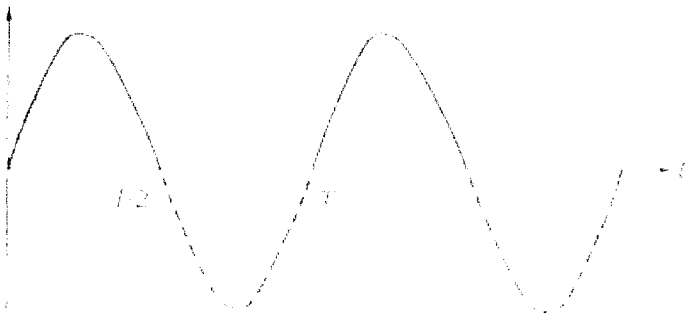
Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah, yang masing-masing jenis memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan dc yang keluar. Rangkaian penyearah secara garis besar dibedakan menjadi dua jenis yaitu penyearah gelombang penuh dan penyearah setengah gelombang.

2.2.1 Penyearah Setengah Gelombang

Rangkaian dasar penyearah seperti pada Gambar 2.4 menggunakan sebuah dioda. Dioda tersebut berfungsi mengalirkan arus hanya pada satu arah yaitu saat anoda positif dan katoda negatif. Sedangkan pada saat kebalikannya dioda menahan arus sehingga pada siklus setengah gelombang tidak dialirkan. Oleh karena itu rangkaian tersebut dinamakan penyearah setengah gelombang.



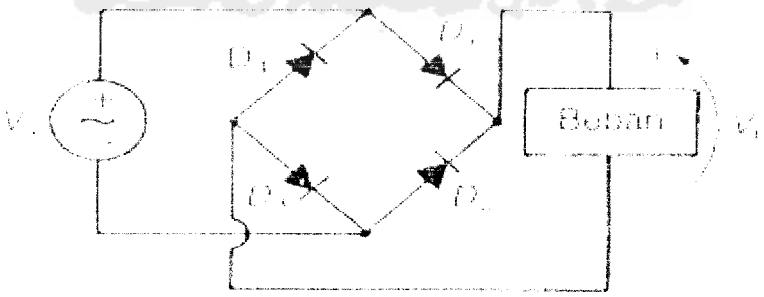
Gambar 2.4 Rangkaian penyearah setengah gelombang



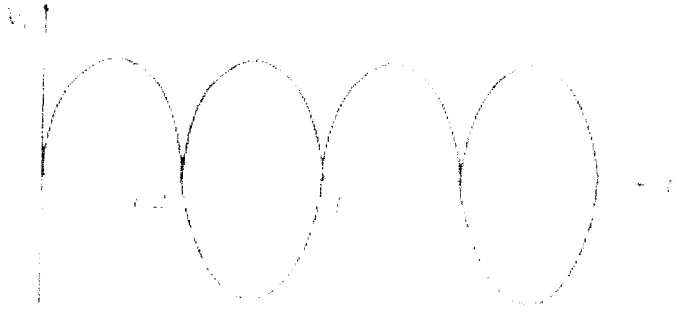
Gambar 2.5 Bentuk gelombang output penyearah setengah gelombang

2.2.2 Penyearah Gelombang Penuh

Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan menggunakan rangkaian jembatan (*bridge*) dapat dilihat pada Gambar 2.6. Bentuk gelombang yang terjadi pada output-nya dapat dilihat pada Gambar 2.7, terbentuknya tegangan dari penyearah gelombang penuh dengan menggunakan rangkaian jembatan ini dapat dijelaskan dengan memperhatikan Gambar 2.7. Pada penyearah gelombang penuh ini faktor *ripple*-nya lebih kecil daripada faktor-faktor pada penyearah setengah gelombang.



Gambar 2.6 Rangkaian penyearah gelombang penuh



Gambar 2.7 Bentuk gelombang output penyearah gelombang penuh

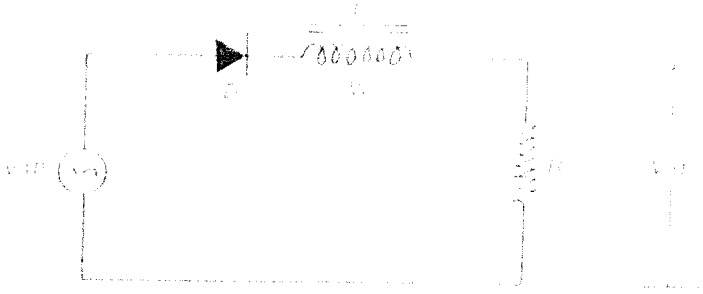
2.3 Rangkaian Filter

Rangkaian filter yang dimaksud adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengurangi faktor *ripple* yang terjadi pada suatu rangkaian penyearah. Umumnya komponen yang dipakai adalah :

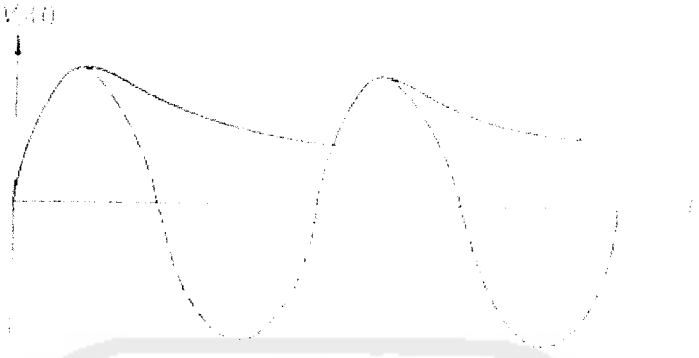
1. Kapasitor yang dihubungkan secara paralel pada terminal output penyearah.
2. Induktor yang dihubungkan secara seri pada penyearah.

2.3.1 Penggunaan Induktor Sebagai Filter

Contoh pemakaian induktor L pada rangkaian penyearah setengah gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter Induktor



Gambar 2.9 Bentuk gelombang rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter induktor

Bentuk gelombang yang terjadi pada output-nya dapat dilihat pada Gambar 2.9, pada saat $0<t<T/2$ terjadi penyimpanan energi elektromagnetik pada induktor, sebesar:

$$E = \int P(t)\, dt$$

kemudian pada saat $T/2<t<T$ dioda *cut*-off dan terjadi pembuangan muatan dari induktor L, berdasarkan sifat induktor yang menyatakan bahwa tegangan pada induktor tidak dapat berubah dengan tiba-tiba dan berdasarkan persamaan $V_{o(t)} = V_{s(t)}-V_{L(t)}$ maka diperoleh tegangan seperti terlihat pada Gambar 2.9.

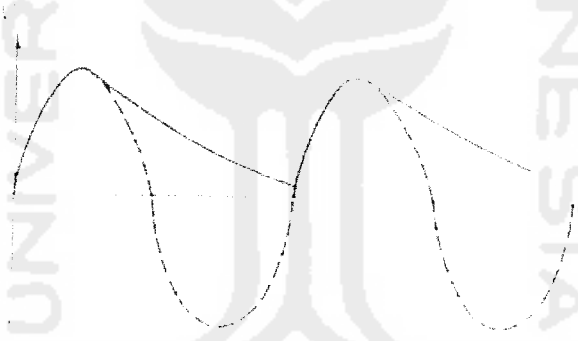
2.3.2 Penggunaan Kapasitor Sebagai Filter

Contoh penggunaan kapasitor C sebagai filter terlihat pada Gambar 2.10, pada keadaan $0<t<T/2$ dioda konduksi dan kapasitor akan terisi muatan. Pada $T/2<t<T$, dioda off dan kapasitor akan membuang muatan. Berdasarkan sifat

kapasitor yang menyatakan bahwa tegangan pada kapasitor tersebut tidak dapat berubah dengan tiba-tiba, maka diperoleh bentuk tegangan seperti Gambar 2.11.



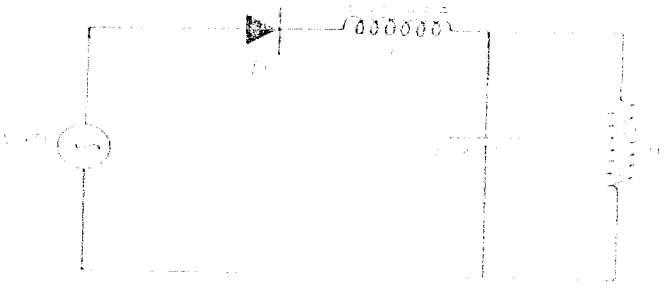
Gambar 2.10 Rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter kapasitor



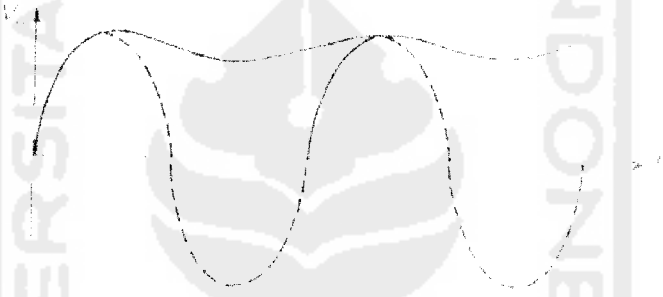
Gambar 2.11 Bentuk gelombang rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter kapasitor

2.3.3 Penggunaan L dan C Sebagai Filter

Gabungan pemakaian L dan C pada penyearah akan menyebabkan tegangan dc yang dihasilkan makin baik dengan faktor *ripple* sangat kecil. Adapun rangkaian dan bentuk tegangan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.



Gambar 2.12 Rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter L dan C

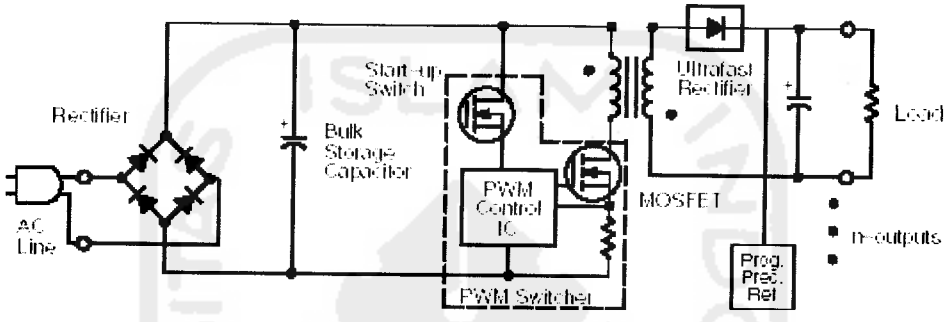


Gambar 2.13 Bentuk gelombang rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter L dan C

2.4 *Switching Regulator/Power Supply*

Sebelum metode *switching power supply* populer, metode baku *linear regulator* digunakan untuk membuat sebuah *regulator* tegangan. Metode ini dilakukan dengan menurunkan tegangan input yang lebih tinggi dengan jalan memasang beban secara seri, hal ini menyebabkan kerugian pada pengoperasian tegangan yang besar, kerugian ini biasa disebut *headroom loss* (V_{drop} . I_{load}) dan menyebabkan *linier regulator* ini hanya mempunyai efisiensi antara 30% sampai 50% (OnSemiconductor, 1999).

Switching regulator mengoperasikan komponen-komponen dayanya pada keadaan *full-on* dan *cut-off*, kebanyakan *switching power supply* memiliki efisiensi 70% sampai 90%, tidak tergantung masukan tegangan. Gambar 2.14 di bawah ini adalah salah satu contoh *switching power supply* untuk CRT.



Gambar 2.14 AC/DC power suplai untuk CRT

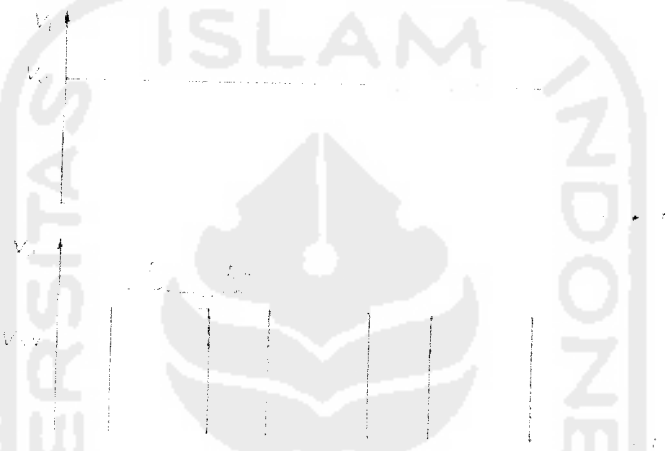
2.5 PWM (*Pulse-Width Modulation*)

Metode *Pulse-width modulation* adalah metode yang sering digunakan dalam *dc-dc converter* untuk mendapatkan perubahan tegangan yang diinginkan dengan jalan melakukan modulasi lebar pulsa agar memperoleh tegangan yang diinginkan.

Power suplai model *switching* tegangan keluarannya tergantung pada lebar pulsa masukannya. Oleh karena itu dibutuhkan adanya modulasi lebar pulsa sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan besarnya tegangan keluaran. Semakin besar lebar pulsa maka akan semakin besar tegangan keluarannya.

2.6 Pengubah Tegangan DC ke DC (*DC-DC converter*)

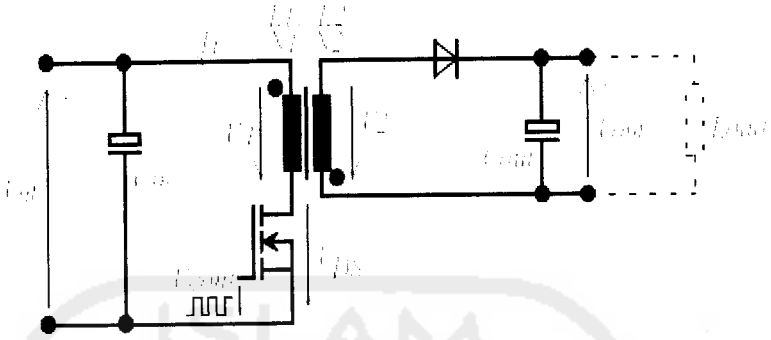
Pengubah tegangan dc ke dc ini lebih populer disebut sebagai *dc to dc converter* atau *chopper*. Prinsip untuk mendapatkan perubahan tegangan dc dari sumber tegangan yang juga dc adalah dengan memotong-motong sumber tegangan dc yang kontinyu. Hasil yang diharapkan dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Tegangan dc yang disaklar selama t_{on} dan diputus selama t_{off}

Switching power supply juga menggunakan metode yang sama, beberapa *topology dc to dc converter* yang selama ini telah digunakan ada banyak, semua mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Contoh *topology dc to dc converter* yang sering digunakan adalah *flyback converter* dan *forward converter*.

2.6.1 Flyback Converter

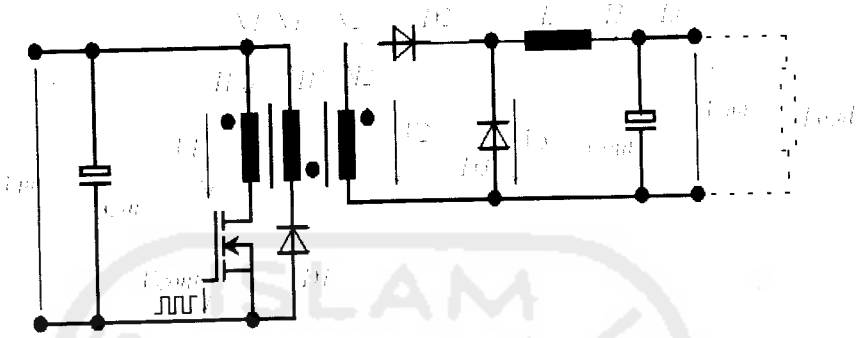


Gambar 2.16 Skema sederhana *flyback converter*

Gambar 2.16 menunjukkan *flyback converter.* Transistor bekerja sebagai saklar yang dibuat on dan off oleh *control* PWM V_{cont}. Selama transistor *on-time* maka tegangan V_1 transformator sama dengan tegangan input V_{in} serta menghasilkan arus sebesar I_1 bertambah secara linier, selama proses ini energi disimpan di *transformer-core,* sedangkan arus di bagian sekunder adalah nol karena di blok oleh dioda yang arah lilitan sekundernya berlawanan dengan lilitan primer. Ketika transistor dalam keadaan off maka I_1 diinterupsi dan tegangan transformator berbalik arah, sehingga dioda pada sisi sekunder menghantar dan energi bergerak dari batang trafo melalui dioda ke kapasitor C_{out}.

2.6.2 *Forward* Converter

2.6.2.1 *Single Transistor Forward* Converter



Gambar 2.17 Skema sederhana *forward converter* satu transistor

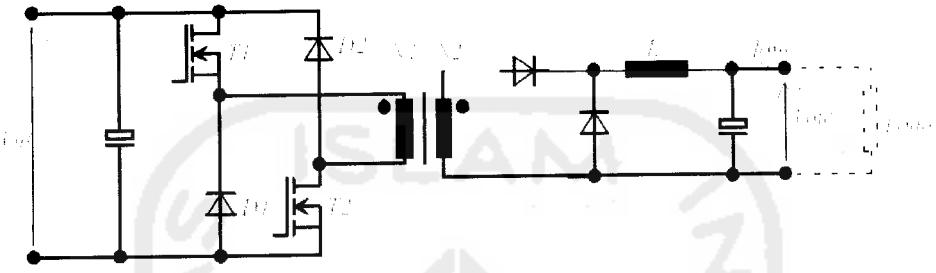
Pada konverter jenis ini energi di transfer pada waktu *on-time* transistor. Selama proses ini tegangan V_1 sama dengan tegangan V_{in}, gulungan trafo pada N_2 sama arahnya dengan N_1. Ketika transistor *on-time* maka tegangan V_2 di N_2 adalah :

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1}$$

Tegangan V_2 menghasilkan I_2 melalui dioda D_2 yang selama proses tersebut besarnya adalah sama dengan I_3 melalui L yang mengisi $C_{out.}$ Sewaktu transistor keadaan off, N_1 dan N_2 tanpa arus, Induktor L membuang arusnya ke dioda D_3. Nilai tegangan V_3 sama dengan nol (mengabaikan drop tegangan maju pada D_3). Selama transistor dalam keadaan off, flux magnet pada trafo berkurang ke nol. Inti trafo mengalami demagnetisasi dengan N^1_1 melalui D_1 ke V_1. Jumlah lilitan N1 dengan N^1_1 sama, sehingga dibutuhkan waktu demagnetisasi yang sama seperti selama waktu *on-time*. Untuk alasan ini maka minimum waktu *off-time*

harus sepanjang waktu *on-time*, karena ini menyebabkan maksimum siklus beban t_1/T adalah 0,5 (untuk *single transistor forward converter).*

2.6.2.2 Two-Transistor Forward Converter



Gambar 2.18 Skema sederhana *forward converter* dua transistor

Transistor T_1 dan T_2 disaklar pada waktu yang bersamaan. Selama transistor *on-time*, tegangan pada gulungan primer sama dengan tegangan input V_{in}. Selama transistor *off-time* trafo akan di demagnetisasi lewat dioda D_1 dan D_2 ke tegangan input V_{in}. Dibandingkan dengan yang tipe satu transistor adalah bahwa transistornya hanya digunakan untuk memblok tegangan masuk dan gulungan N^1_1 tidak diperlukan.

2.6.2.3 Perbandingan tipe konverter

Perbandingan tipe *Flyback, Single* dan *Two-Transistor Forward* Converter dapat dirangkum sebagai berikut :

1. *Single Transistor breakdown voltage* transistornya harus $V_{DS} > 2V_{in}$ sedangkan *two-transistor* $V_{DS} = V_{in}$, sedang tipe *flyback*

   $V_{DS} = V_{in} + V_{out}.N_1/N_2$

2. *Single transistor* maksimum *duty cycle* adalah

$$\frac{t_1}{T} = 0{,}5$$

3. *Two-transistor* bisa digunakan sampai daya beberapa kilo watt.
4. Dibandingkan dengan tipe *flyback*, jenis *single transistor forward* hanya bisa menghasilkan tegangan keluar satu buah.

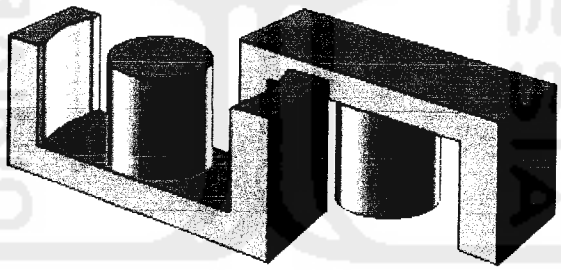
2.7 Trafo (*Transformer*)

Trafo merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk merubah tegangan dengan prinsip induksi magnet. Tegangan dapat dinaikan (*stepped*-up) (tegangan skunder lebih besar dari tegangan primer) atau diturunkan (*stepped-down*) (tegangan skunder lebih kecil dari tegangan primer) karena tidak dimungkinkan adanya kenaikan tegangan (trafo adalah komponen pasif seperti halnya resistor, kapasitor, dan induktor), kenaikan tegangan sekunder hanya dapat dicapai denga akibat berkurangnya arus sekunder, demikian pula sebaliknya (pada kenyataannya, daya primer sebagai akibat adanya rugi-rugi (*loses*) di dalam trafo).

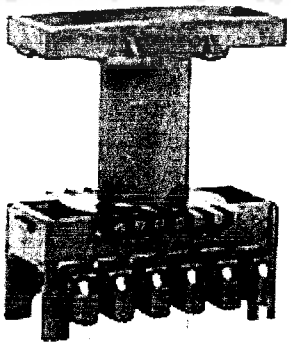
Sepesifikasi dari sebuah trafo umumnya mencakup rating tegangan dan arus primer maupun sekunder. Rating daya yang dibutuhkan (yaitu daya maksimum, biasanya dinyatakan dalam volt-ampere, VA) yang dapat secara terus-menerus diberikan oleh trafo pada kondidi-kondisi tertentu. Kisaran frekuensi untuk komponen (biasanya dinyatakan sebagai batas atas dan batas bawah dari frekuensi kerja), dan pengaturan dari trafo (biasanya dinyatakan sebagai persentase dari beban penuh). Sepesifikasi yang terakhir ini merupakan ukuran

kemampuan trafo untuk mempertahankan tegangan output yang dirating dalam kondisi beban.

Jenis trafo berbagai macam menurut jenis bahan dan kegunaannya. Tabel 2.1 merangkum sifat-sifat tiga jenis umum trafo.Untuk daerah frekwensi kerjanya trafo biasanya dibedakan dalam dua kelompok yaitu trafo frekwensi rendah dan frekwensi tinggi. Perbedaan fisik yang biasanya terlihat adalah pada ukuran dan bahan *core*-nya, trafo frekwensi rendah sebagai contoh adalah trafo *step-down* untuk catu daya biasanya *core* terbuat dari lempengan-lempengan besi, sedangkan contoh trafo frekwensi tinggi adalah trafo untuk power suplai *swithcing*, *core* yang digunakan untuk trafo ini biasanya terbuat dari inti *ferrit*. Contoh berntuk-bentuk *core* trafo dapat dilihat pada Gambar 2.19 dan Gambar 2.20.



Gambar 2.19 Contoh *core* trafo jenis ETD atau EC



Gambar 2.20 Contoh bentuk bobbin

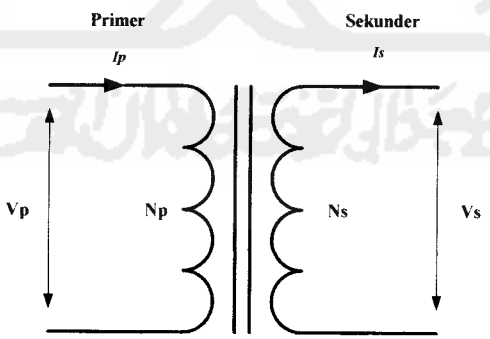
Table 2.1 Karakteristik jenis-jenis umum trafo

Parameter	Jenis trafo		
	Inti ferit	Inti besi	Inti besi
Rating daya tipikal	Kurang dari 10 W	100 mW – 50 W	3 VA – 500 VA
Kisaran frekuensi tipikal (Hz)	I k hingga 10 M	50 Hz – 20 kHz	45 Hz – 400 Hz
Aplikasi tipikal	Rangkaian pulsa, amplifier daya RF	Amplifier AF	Catu daya

Prinsip kerja trafo diilustrasikan dalam Gambar 2.21. Lilitan primer dan sekunder dililitkan pada sebuah inti magnetik reluktansi-rendah yang sama. Fluks bolak-balik yang di timbulkan oleh lilitan primer dialirkan ke lilitan sekunder (sangat sedikit fluks yang hilang akibat kebocoran). Arus sinusoidal yang mengalir pada lilitan primer akan menghasilkan fluks yang sinusoidal. Pada setiap saat fluks pada trafo diberika oleh persamaan:

$$\phi = \phi_{maks} \sin(2\pi ft)$$

Dimana ϕ_{maks} adalah nilai fluks maksimum (dalam Weber), f adalah frekuensi dari arus yang diberikan (dalam hertz), dan t adalah waktu dalam detik.



Gambar 2.21 Prinsip kerja trafo

Maka

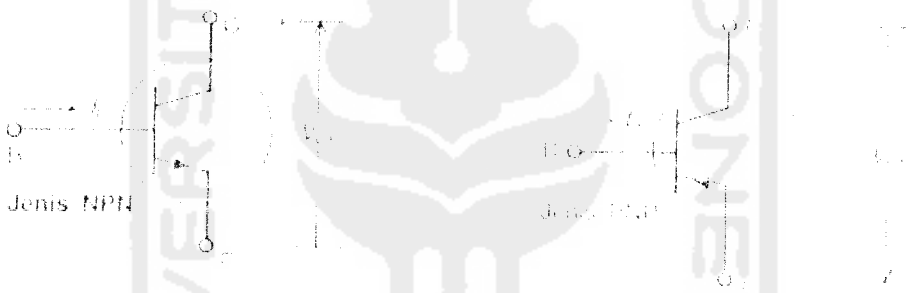
$$V_P/N_S = I_S/I_P \text{ dan } I_S/I_P = N_P/N_S$$

Akhirnya, akan lebih mudah bila kita mengacu pada rating lilitan-per-volt (*turns-per-volt*/t.p.v.) dari sebuah trafo. Rating ini diberikan oleh:

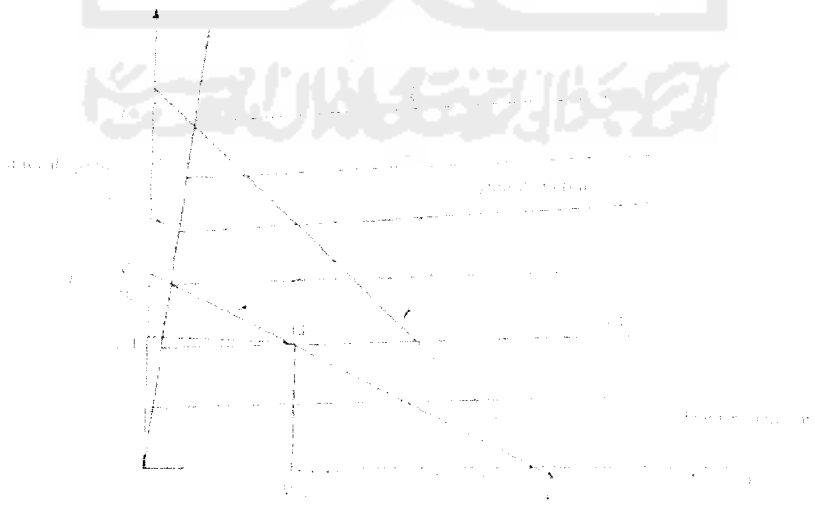
t.p.v = $N_P/V_P = N_S/V_S$

2.8 *Switching* Transistor

Simbol untuk transistor dapat dilihat pada Gambar 2.22, sedangkan karakteristik transistor dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.23.



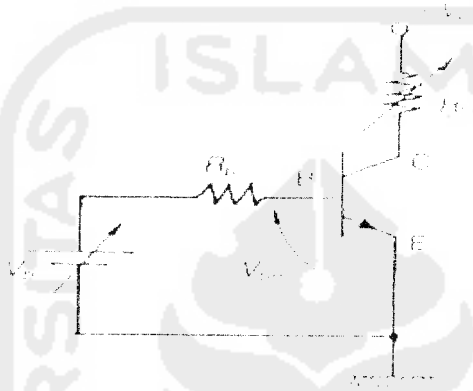
Gambar 2.22 Lambang transistor



Gambar 2.23 Karakteristik transistor

Salah satu cara pemberian tegangan kerja dari transistor adalah seperti pada Gambar 2.24 yang untuk jenis NPN, tegangan V_{ce}-nya positif sebesar V_{ce1}, dan titik Q dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

Persamaan garis beban = $Y = V_{ce} = V_{cc} - I_c \times R_L$



Gambar 2.24 Salah satu cara pemberian tegangan kerja pada transistor

Jadi untuk $I_c = 0$, maka $V_{ce} = V_{cc}$ dan untuk $V_{cc} = 0$ diperoleh $I_c = V_{cc}/R_L$. Apabila harga-harga untuk I_c dan V_{cc} sudah diperoleh, maka dengan menggunakan karakteristik transistor yang bersangkutan akan diperoleh titik Q.

Pemakaian transistor pada sistem tenaga masih sering digunakan. Pada umumnya transistor pada pemakaian disini berfungsi sebagai suatu saklar (kontak *on-off*). Adapun kerja transistor yang berfungsi sebagai saklar ini selalu berada pada daerah jenuh (saturasi) dan daerah *cut-off*. Agar transistor bekerja pada daerah jenuh dan daerah *cut-off* dapat dilakukan dengan mengatur tegangan basis (V_b), tahanan basis (R_b), dan juga tahanan beban (R_L). Untuk mendapatkan *on-off*

yang bergantian dengan periode tertentu dapat dilakukan dengan memberikan tegangan V_b yang berupa pulsa, seperti Gambar 2.25.

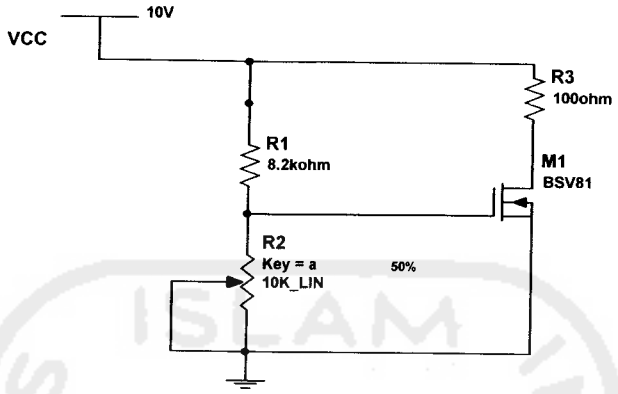


Gambar 2.25 Pulsa picu dan tegangan output V_{ce}

Apabila $V_b = 0$ maka transistor off, sedangkan apabila $Vb = V_1$ dan dengan mengatur R_b dan R_1 sedemikian rupa sehingga menghasilkan arus I_b yang akan menyebabkan transistor dalam keadaan jenuh. Pada keadaan ini V_{ce} yang terjadi kira-kira sama dengan nol ($V_{sat} = 0{,}2$ volt). Bentuk output V_{ce} yang terjadi (Gambar 2.25). Untuk mendapatkan arus I_c yang cukup besar pada rangkaian *switching* ini, umumnya R_L didesain sedemikian rupa sehingga R_L mempunyai tahanan yang kecil.

Pada rangkaian saklar elektronik dikenal pula komponen transistor efek medan atau FET (*Field Effect Transistor*), pada penggunaan normalnya FET disambungkan di dalam rangkaian dengan cara yang sama dengan transistor pada umumnya (jenis BJT). Terminal *source* adalah terminal yang paling negatif dan terminal *drain* adalah yang paling positif. FET seperti transistor BJT dapat

dipergunakan untuk membentuk sebuah rangkaian saklar transistor sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.26.

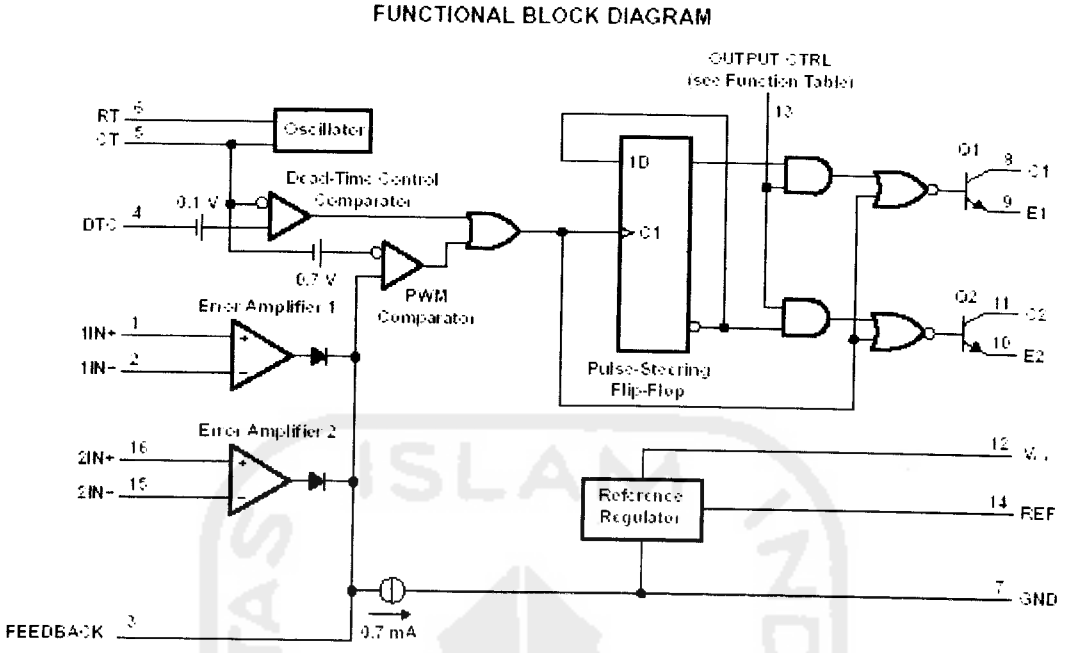


Gambar 2.26 Rangkaian FET sebagai saklar

Transistor diaktifkan oleh tegangan output dari bagian rangkaian pembagi tegangan, ketika tegangan pada R2 melebihi tegangan ambang FET maka transistor mulai bekerja. Nilai tegangan ambang FET cukup beragam tergantung jenis FET yang bersangkutan, namun pada umumnya berkisar antara 2 sampai 4 volt.

2.9 IC TL494

Salah satu produsen IC TL494 adalah Texas Instrument, TL494 digunakan untuk rangkaian kontrol *PWM switching regulator*. IC ini memiliki rangkaian tegangan referensi 5V, *error amplifier*, *flip-flop*, sebuah rangkaian *output control, PWM Comparator*, *dead-time comparator* dan sebuah osilator. IC ini dapat dioperasikan pada frekuensi *switching* 1 khz sampai 300 khz. *Internal block* diagramnya dapat dilihat pada Gambar 2.27.



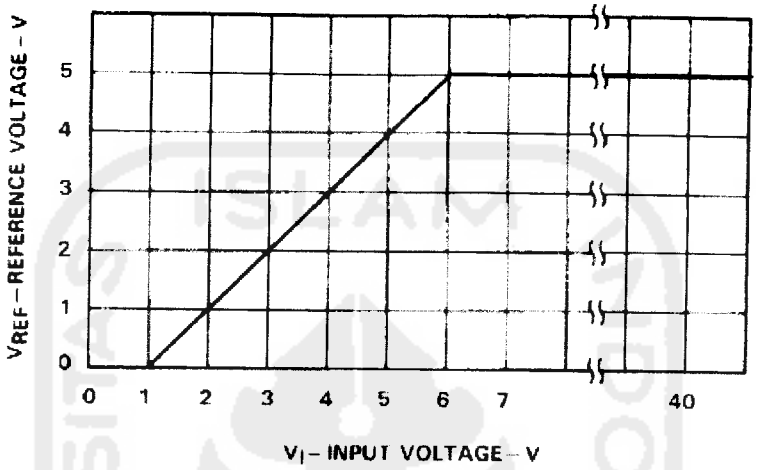
Gambar 2.27 Blok diagram TL494

TL494 adalah rangkaian kontrol PWM dengan frekwensi tetap. Modulasi pulsa keluar didapat dari membandingkan gelombang gergaji yang dihasilkan oleh osilator *internal* dengan sinyal kontrol. Keluaran akan *enable* selama tegangan gelombang gergaji lebih besar dari tegangan kontrol.

2.9.1 Regulator Tegangan Referensi 5 V

Regulator tegangan referensi 5 volt pada TL494 digambarkan pada blok diagram TL494 Gambar 2.27, tegangan ini digunakan untuk mensuplai *output-control logic*, *pulse-steering*, *flip-flop*, osilator, *dead-time control*, dan *PWM comparator*.

Tegangan referensi ini secara internal diprogram untuk ketelitian ±5% dan stabil paling tidak dengan kesalahan 25 mV terhadap tegangan input antara 7 volt sampai 40 volt, karakteristiknya dapat dilihat pada grafik Gambar 2.28.



Gambar 2.28 Grafik tegangan referensi vs tegangan input

2.9.2 Osilator

Digunakan untuk membangkitkan sinyal gergaji, dibangkitkan dengan kapasitor C_T dan resistor R_T di kaki TL494, jika osilator dioperasikan 20 khz maka untuk TL494 perhitungannya :

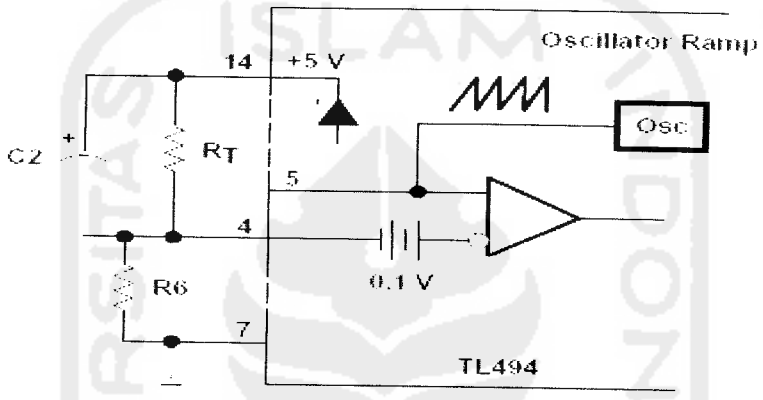
$$f_{OSC} = 1/(R_T \times C_T)$$

Diambil $C_T = 0.001\mu F$, maka R_T :

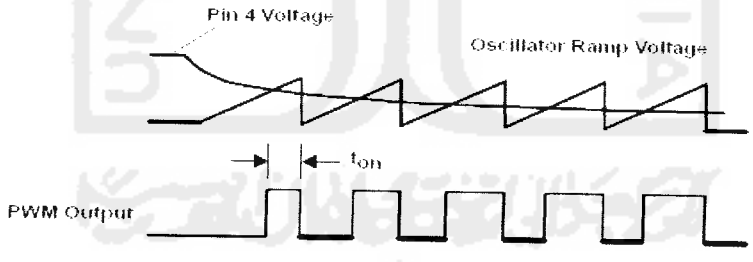
$$R_T = 1/(f_{OSC} \times C_T) = 1/\left[(20\times10^3)\times(0.001\times10^{-6})\right] = 50\,\mathrm{K\Omega}$$

2.9.3 *Dead-Time Control*

Untuk mengurangi tegangan pada waktu *start-up* maka pulsa *start-up* yang terjadi dari kapasitor filter harus dikurangi. Rangkaian *soft-start* akan menghasilkan lebar pulsa pada keluaran sehingga bertambah secara pelan-pelan, hal ini bisa dilakukan dengan memberikan bentuk gelombang yang menurun pada *input control dead-time* pin 4.



Gambar 2.29 Contoh penggunaan *dead-time*



Gambar 2.30 Grafik tegangan pada penggunaan *dead-time*

Kapasitor C_2 pada waktu permulaan *start* memaksa *dead-time control input* mengikuti 5 volt referensi, sehingga mematikan output (100% *dead time*). Kemudian kapasitor mengisi R_6 sehingga *dead-time control* semakin kecil, dan

lebar pulsa keluar perlahan membesar. Dengan rasio resistor 1:10 untuk R_6:R_7, tegangan pada pin 4 setelah *start-up* adalah 0,1x5 V atau 0,5V.

Waktu *soft-start* umumnya dibuat 25-100 *clock cycles*, maka waktu *soft-start* adalah :

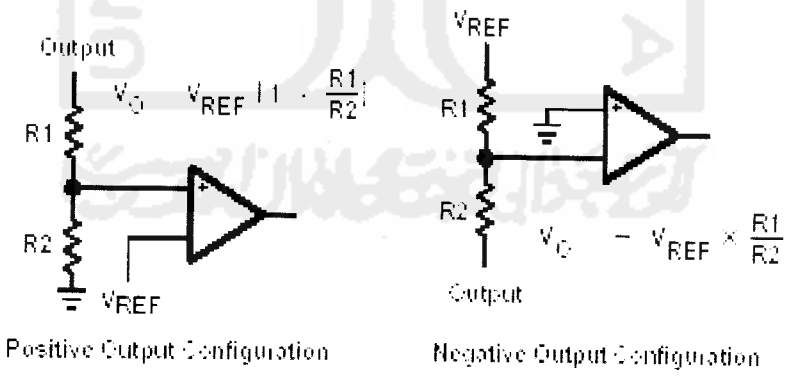
$$t = \frac{1}{f}$$

Nilai kapasitor yang dipakai

$$C_2 = \frac{soft - start \quad time}{R_6}$$

2.9.4 *Error Amplifier*

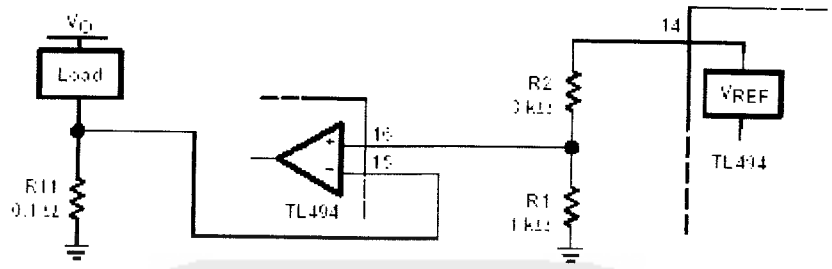
Error amplifier pada TL494 ada dua buah, satu untuk mengontrol tegangan dan yang lainnya untuk mengontrol arus. Untuk *error amplifier* 1 biasanya digunakan untuk membandingkan *feedback* tegangan output dengan referensi, contoh rangkaian umumnya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.31 Konfigurasi *error-amplifier-bias*

Dari gambar di atas kita bisa menentukan besarnya Vout tergantung besarnya Vref dan R1 serta R2.

Sedangkan *error amplifier* 2 biasanya digunakan sebagai *current-limitting amplifier*, contoh rangkaian yang umum digunakan adalah :



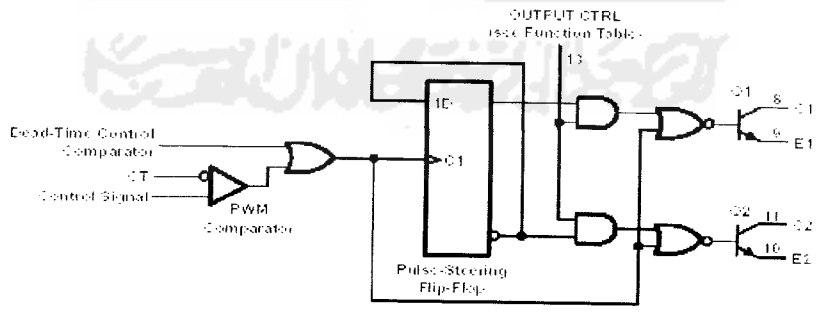
Gambar 2.32 Rangkaian *current-limiting*

Contoh perhitungannya misalnya sistem didesain dengan arus beban maksimal adalah 10 A, maka jika R1 diset sehingga tegangannya 1 V maka :

R11 = 1V/10A = 0,1 Ω

2.9.5 *Output-Control Logic*

Output-control menentukan transistor output yang beroperasi paralel atau *push-pull.* Skema blok diagramnya dapat dilihat pada Gambar 2.33.

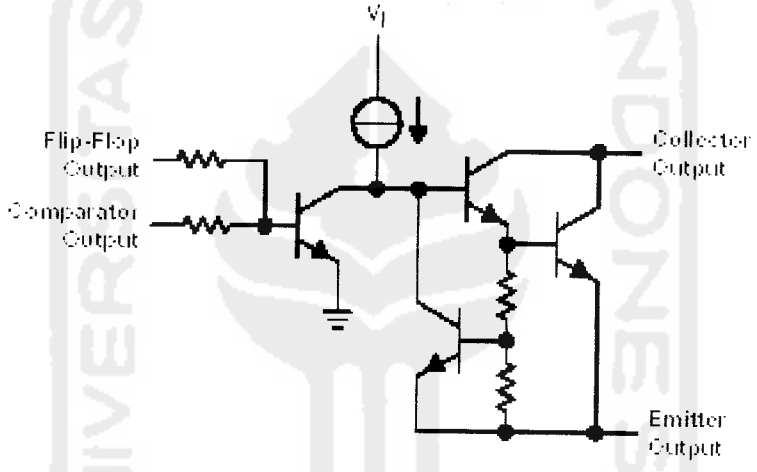


Gambar 2.33 Skema masukan *output-control logic*

Untuk pengoperasian paralel maka masukan *control-input* harus di-*ground*kan, hal ini menonaktifkan *pulse-steering* flip-flop dan mencegah

keluarannya. Pada mode ini pulsa terlihat pada saat keluaran dari *dead-time control* atau *PWM comparator* ditransmisikan oleh kedua transistor output secara paralel. Untuk operasi dalam *push-pull*, masukan *control-input* harus disambungkan ke tegangan 5 volt referensi. Pada keadaan ini tiap output transistor *enable* bergantian sesuai *pulse-steering* flip-flop.

2.9.6 *Output Transistor*



Gambar 2.34 Skema rangkaian output transistor TL494

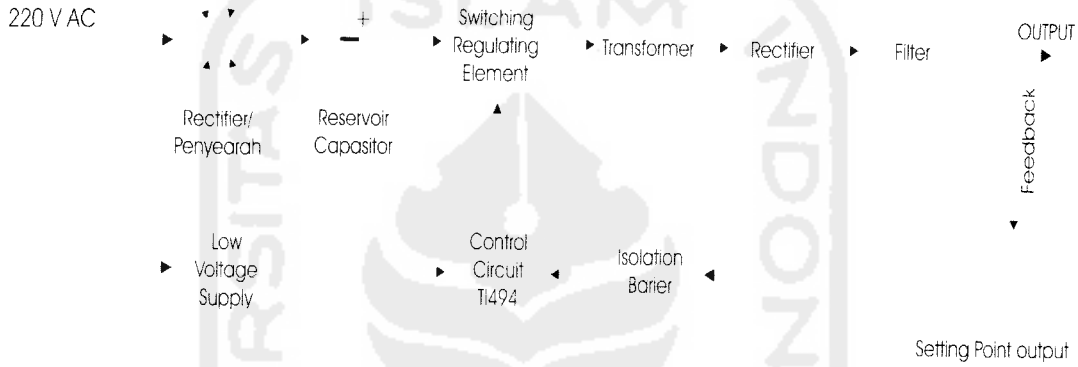
Ada dua buah transistor output pada TL494. Struktur rangkaiannya dapat dilihat pada Gambar 2.34. Transistor dikonfigurasi dalam *open colector* dan emitor, masing-masing mampu mengeluarkan arus maksimal 200 mA, tegangan saturasinya 1,3 volt pada *common-emiter* dan kurang dari 2,5 volt pada *emiter-follower.*

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1 Gambaran Umum Sistem

Rancangan sistem power suplai *switching* ini dibuat seperti diagram blok pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rancangan blok diagram power suplai dengan TL494

Sumber tegangan input berasal dari tegangan jala-jala listrik PLN 220 volt 50/60 hz. Tegangan ac ini kemudian dirubah menjadi tegangan dc dengan menggunakan rangkaian penyearah/*rectifier*. Tegangan dc yang keluar dari penyearah ini kemudian dirubah ke tegangan dc sesuai yang diinginkan dengan rangkaian *dc-dc converter* dengan jalan mensaklar tegangan input dc sesuai dengan sinyal yang keluar dari *PWM Control Circuit* TL494, sehingga menghasilkan deretan pulsa yang berfrekuensi (*switching frequency*) tinggi sekitar 20 kHz sampai 500 kHz, kemudian diteruskan ke transformer yang tentunya juga berfrekuensi tinggi, hingga pada akhirnya ke filter untuk hasil keluaran akhir. Untuk mengontrol tegangan yang keluar maka dimasukkan *feedback* tegangan ke

error amplifier 1 pada TL494, sedangkan untuk membatasi arus yang terjadi jika power suplai dibebani maka diperlukan *feedback* arus ke *error amplifier* 2 pada TL494.

3.2 Penentuan Asumsi dan Data Perancangan

1. Tegangan keluar 5-15 volt, perhitungan perancangan optimum dengan tegangan 12 volt, dengan asumsi banyak alat yang menggunakan tegangan 12 volt.
2. Daya keluar 120 watt, atau dengan arus max 10 ampere.
3. Frekwensi osilator TL494 25 KHz, dipakai satu output, sehingga *power switching*-nya 25 Khz.
4. Tegangan masuk rata-rata :

   $V_{in_avg} = 220.\sqrt{2}$ volt 50 Hz atau 311 volt

   $V_{in_min} = 200.\sqrt{2}$ volt = 283 volt

   $V_{in_max} = 240.\sqrt{2}$ volt. = 339 volt

5. Efisiensi yang direncanakan adalah 75%.

Semua perhitungan perancangan dibuat untuk efisiensi 100%, ini sebenarnya tidak realistis untuk *flyback converter*. Hal pokok yang mempengaruhi efisiensi konverter ini adalah lilitan pada trafo-nya, semakin kecil perbandingan N_1/N_2 maka efisiensi semakin kecil. Untuk mendekati keadaan sebenarnya dari I_1 dan L_1 maka sebaiknya I_{out} untuk perhitungan dikalikan dengan faktor efisiensi yang direncanakan yaitu 1/75%.

$$I_{out} = I \times \frac{1}{75\%}$$
$$= 10 \times \frac{1}{75\%} \quad A = 13{,}3 \quad A$$

$$I_{in} = \frac{P_{out}}{\eta \cdot V_{in}}$$
$$= \frac{120}{0{,}75 \cdot 311}$$
$$= 0{,}51A$$

3.3 Pemilihan Jenis *DC-DC Converter*

Perbandingan tipe konverter *Flyback, Single* dan *Two-Transistor Forward Converter* :

- *Single transistor breakdown voltage* transistornya harus $V_{DS} > 2V_{in}$ sedangkan *two-transistor* $V_{DS} = V_{in}$, sedang tipe *flyback*

  $V_{DS} = V_{in} + V_{out} \cdot N_1/N_2$

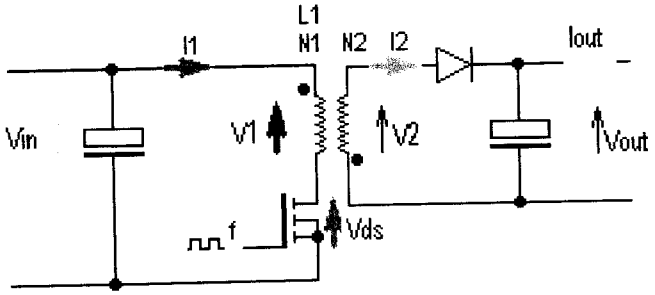
- *Single transistor maksimum duty cycle*-nya adalah

  $\frac{t_1}{T} = 0{,}5$

- *Two-transistor* bisa digunakan sampai daya beberapa kilo watt

- Dibandingkan dengan tipe *flyback*, jenis *single transistor forward* hanya bisa menghasilkan tegangan keluar satu buah.

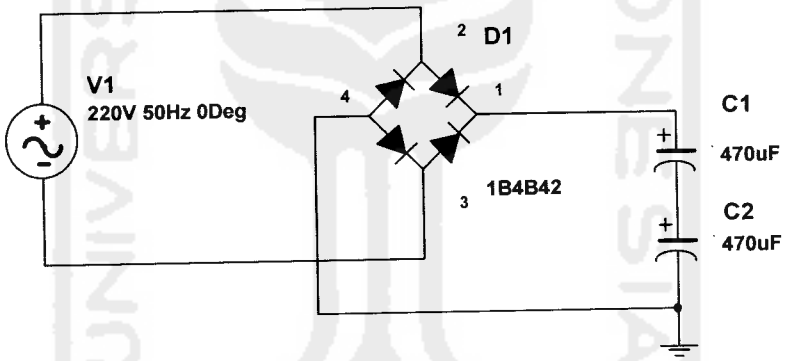
Dengan pertimbangan karena sederhana, dan untuk pembelajaran yang pertama dipilih *topology flyback.*



Gambar 3.2 Skema sederhana *topology flyback*

3.4 Perancangan Penyearah Tegangan

Berfungsi untuk menyearahkan sumber tegangan ac. Beberapa contoh rangkaian penyearah adalah sebagai berikut :



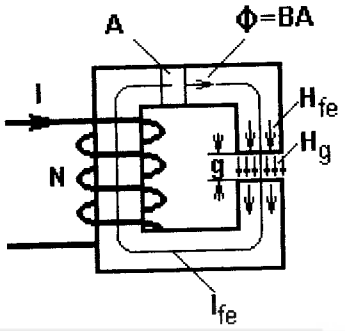
Gambar 3.3 Contoh sumber tegangan ac 220 volt langsung ke penyearah dilengkapi dengan filter

Contoh dasar perhitungan untuk menentukan tegangan dc keluaran penyearah adalah :

$$V_{rectifier} = V_{input-rms} x\sqrt{2}$$

Jika $V_{input\text{-}rms} = 220$ V maka $V_{rectifier} = 220.\sqrt{2}$ Volt $\approx 311{,}1$ Volt

3.5 Perhitungan Trafo Frekwensi Tinggi Pada *DC-DC Converter Flyback*



Gambar 3.4 Skema trafo

Persamaan energinya :

$$W = \frac{1}{2}\int \vec{H}\cdot\vec{B}\,dv = \underbrace{\frac{1}{2}\vec{H}_{Fe}\cdot\vec{B}_{Fe}\cdot V_{Fe}}_{\text{Energy in Ferrite}} + \underbrace{\frac{1}{2}\vec{H}_{\delta}\cdot\vec{B}_{\delta}\cdot V_{\delta}}_{\text{Energy in Air-gap}}$$

$$W = \frac{1}{2}\cdot\frac{B^2}{\mu_0}\cdot\left(\frac{l_{Fe}}{\mu_r}+\delta\right)\cdot A$$

3.5.1 Induktansi Lilitan Primer Trafo (L_1)

Ada beberapa rumus yang bisa digunakan untuk menentukan induktansi primer trafo untuk operasi *discontinuous*, beberapa contohnya adalah :

$$L_{pri} = \frac{V_{in_\min}^2 \times t_{on}^{\ 2}}{2.5 \times t \times P_{out}} \times 0{,}9$$

t_{on} adalah waktu transistor *switching on*, untuk perancangan ini dibuat *duty cycle* = 0,4 sehingga :

$$t_{on} = dutycycle \times t = 0{,}4 \times \frac{1}{25\cdot 10^3}$$
$$= 16 \times 10^{-6} \quad s$$

Jadi :

$$L_{pri} = \frac{V_{in_\min}^2 \times t_{on}^{\ 2}}{2.5 \times t \times P_{out}} \times 0,9$$

$$= \frac{283^2 \times (16.10^{-6})}{2,5 \cdot \left(\frac{1}{25.10^3}\right) \cdot 120} \times 0,9$$

$$= 154 \quad \mu H$$

3.5.2 Center Gap

Untuk mencari *center gap* terlebih dulu dicari I_{peak} bagian primer.

$$I_{peak} = \frac{5.5 \times P_{out}}{V_{in_\min}}$$

$$= 2,33 \quad A$$

Rumus *center gap* :

$$I_{gap} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot L_{pri} \cdot I_{pk}^2 \cdot 10^8}{A_e \cdot B_{\max}^2}$$

Core yang dipakai adalah ETD-39 dengan data

A_e = 125 mm^2 = 1,25 cm^2

B_{max} = 1300 gauss = 130 militesla

Sehingga :

$$I_{gap} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot L_{pri} \cdot I_{pk}^2 \cdot 10^8}{A_e \cdot B_{\max}^2}$$

$$= 0,049 cm$$

3.5.3 Gulungan N_1 Yang Dibutuhkan

Untuk menentukan ukuran, jumlah lilitan dan besaran lainnya harus dipilih dulu jenis *core*-nya, dalam perancangan ini dipilih *core* jenis ETD39 :

A_L/nH = 326

$$N_1 = \frac{B_{\max} \cdot l_{gap}}{0{,}4 \cdot \pi \cdot I_{peak}}$$
$$\approx 30$$

Jika kepadatan arus pada kabel yang digunakan adalah S = 3A/mm^2 maka :

$$A_{wire} = \frac{I}{S}$$
$$= \frac{0{,}51}{3}$$
$$= 0{,}17 \quad mm^2$$

$$d_{wire} = \sqrt{4 \cdot \frac{I_{rms}}{S \cdot \pi}}$$
$$\approx 0{,}55 \quad mm$$

Dari data di atas bisa dipilih daftarnya dari tabel data kawat.

3.5.4 Gulungan N_2 Yang Dibutuhkan

$$N_2 = \frac{N_1(V_{out} + V_{diode})(1 - D_{\max})}{(V_{in_\min})D_{\max}}$$
$$\approx 4$$

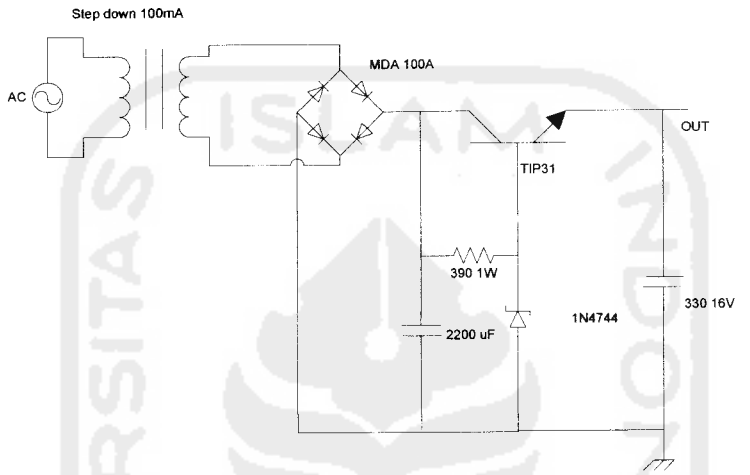
$$A_{wire} = \frac{I}{S}$$
$$= \frac{13{,}3}{3}$$
$$= 4{,}43 \quad mm^2$$

$$d_{wire} = \sqrt{4 \cdot \frac{I_{rms}}{S \cdot \pi}}$$
$$\approx 2{,}8 \quad mm$$

3.6 Pemilihan Sumber *Low Voltage* Tl494

Ada berbagai alternatif yang dapat digunakan, tapi yang paling sederhana adalah menggunakan sumber tegangan sendiri dari adaptor sehingga tanpa

terpengaruh adanya beban. Sebagai contoh adalah rangkaian di bawah ini yang dapat menghasilkan tegangan sekitar 14,3 volt, trafo yang digunakan adalah trafo *step-down* untuk arus kecil sebagai contoh 100 mA atau 350 mA.



Gambar 3.5 Rangkaian sederhana *Low-voltage-supply*

3.7 Perhitungan Osilator

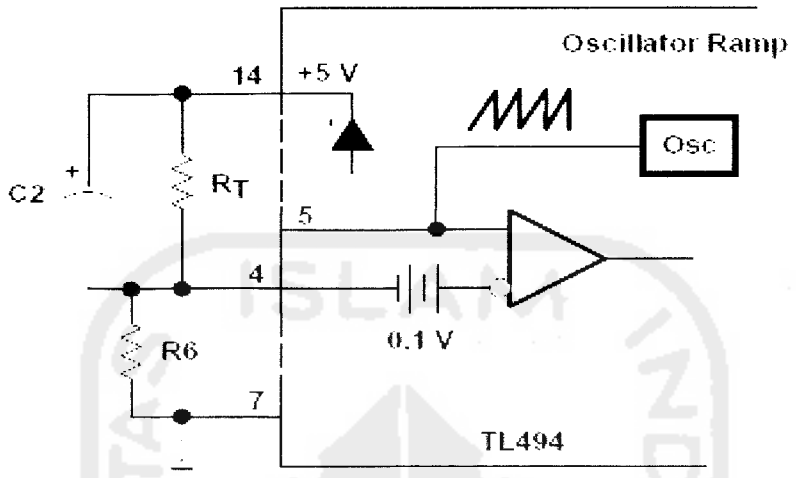
Digunakan untuk membangkitkan sinyal gergaji, dibangkitkan dengan kapasitor C_T dan resistor R_T di kaki 5 dan 6 IC TL494, jika osilator dioperasikan 25 khz maka untuk TL494 perhitungannya :

$$f_{osc} = 1/(R_T \times C_T)$$

Dipilih $C_T = 0{,}001$ µF sehingga R_T dihitung :

$$\begin{aligned} R_T &= 1/(f_{osc} \times C_T) \\ &= 1/((25\times10^3)\times(0{,}001\times10^{-6})) \\ &= 40\,k\Omega \end{aligned}$$

3.8 Perhitungan *Soft-Start* dan *Dead-Time*



Gambar 3.6 Rangkaian *dead-time*

Waktu *soft-start* umumnya dibuat 25-100 *clock cycles*, jika kita memilih 50 *clock cycles* pada 25 khz *switching* maka waktu *soft-start* adalah :

Nilai kapasitor yang dipakai

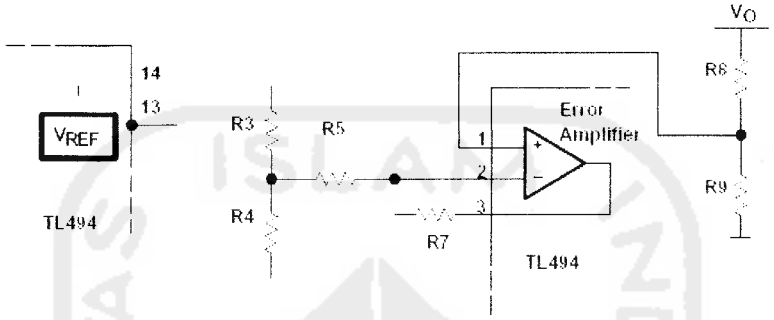
$$C_2 = \frac{soft-start \quad time}{R_6}$$

$$= \frac{20\mu s}{1 \quad k\Omega} \times 50 \; cycles$$

$$= 1 \quad \mu F$$

3.9 Perhitungan *Error Amplifier*

Error amplifier pada TL494 ada dua buah, Untuk *error amplifier* 1 biasanya digunakan untuk membandingkan *feedback* tegangan output dengan referensi, contoh rangkaian umumnya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.7 Konfigurasi *error-amplifier*

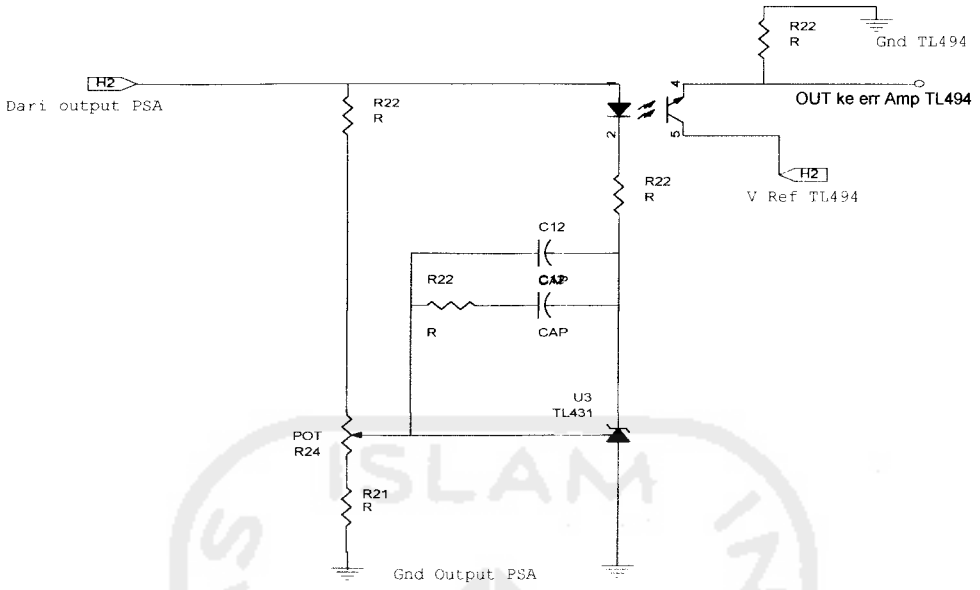
Dari Gambar 3.7 bisa menentukan besarnya Vout, tergantung besarnya Vref dan R_8, R_9, R_3 serta R_4. V_{ref} pada TL494 adalah 5 volt dibagi menjadi 2,5 volt oleh R_3 dan R_4, sehingga jika kita menginginkan output 15 volt maka jika R_9 kita tentukan 5,1 kΩ :

$$15\ Volt = 2{,}5\ Volt \times \left(1 + \frac{R_8}{R_9}\right)$$

$$R_8 = 5 \times 5{,}1 \quad k\Omega$$

$$= 25{,}5 \quad k\Omega$$

Pada *feedback* tegangan ini diperlukan adanya *isolation barrier*. Rangkaian ini diperlukan untuk memisah ground antara output dan kontrol TL494 yang menjadi satu dengan input tegangan tinggi dc yang bisa menyebabkan manusia tersetrum, dengan adanya isolasi ini maka akibat setrum dapat ditiadakan. Adapun rancangan rangkaiannya menggunakan komponen optoisolator dan TL431, rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Isolation barrier* dengan TL431 dan optoisolator

3.10 Perhitungan *Rectifier* dan *Filter Output*

Untuk dioda penyearah pada output digunakan dioda dengan jangkauan frekwensi tinggi, sedang batasan *reverse-voltage* dioda adalah :

$$V_R = V_{out} + V_{in} \cdot \frac{N_2}{N_1}$$
$$\approx 2V_{out}$$
$$\approx 30 \quad volt$$

Untuk C filter, jika V_{ripple} kita tentukan 0,1 volt maka :

$$C_o = \frac{I_{out_max}}{f \cdot V_{ripple}}$$
$$= \frac{13{,}3}{25 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1}$$
$$= 2858 \quad \mu F$$

Bisa dipilih 3300 µF 25 Volt.

3.11 Pemilihan Transistor *Switching*

Transistor/FET yang dipilih adalah yang mempunyai *breakdown-voltage*

$$V_{DS} = V_{in} + V_{out} \cdot \frac{N_1}{N_2}$$
$$\approx 2 \quad V_{in}$$
$$\approx 650 \quad volt$$

Dari data sheet sebagai contoh dapat dipilih 2SK2847 atau 2SK2915.

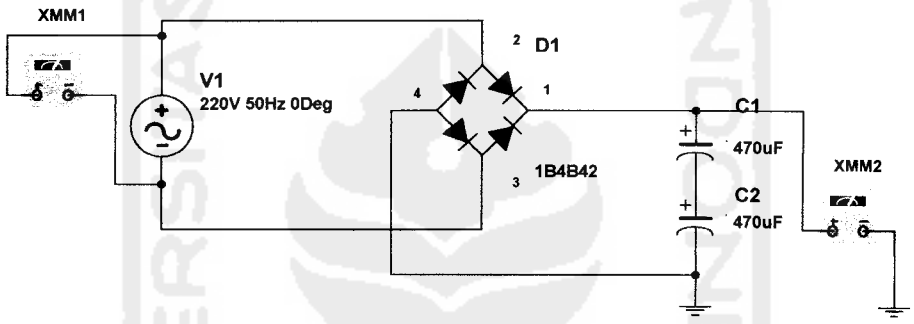
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

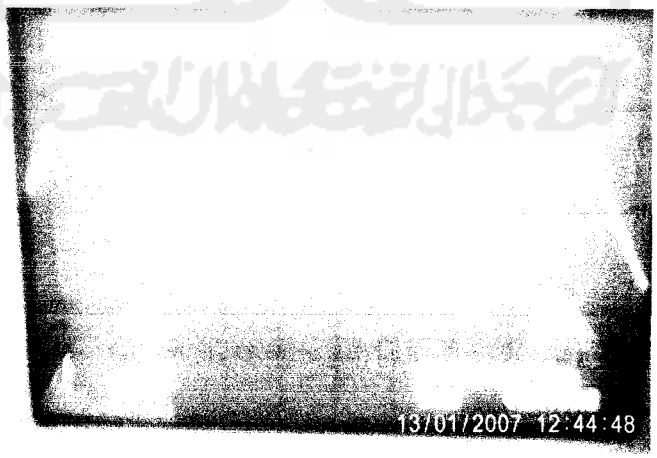
4.1 Hasil Pengamatan

4.1.1 Hasil Pengamatan AC *Input Section*

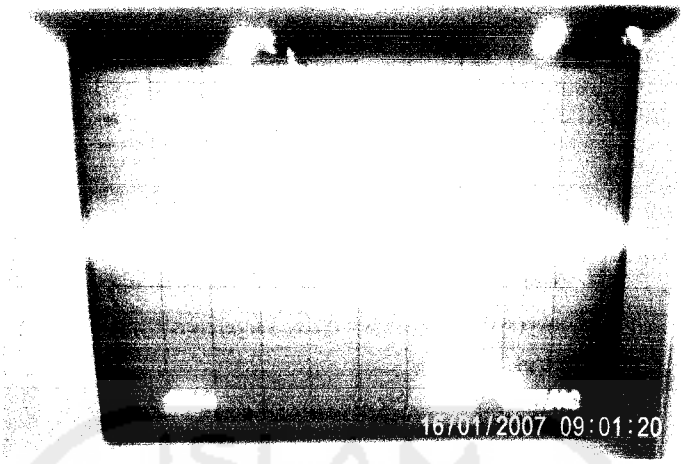
Hasil pengamatan dengan menggunakan multimeter pada bagian input ac menghasilkan input tegangan ac 210 volt ac, sedangkan output dc 281 volt dc.



Gambar 4.1 Pengamatan AC *input section*



Gambar 4.2 Bentuk gelombang pada bagian *input ac section*



Gambar 4.3 Bentuk gelombang pada bagian *output ac section*

Gambar 4.2 menunjukkan bentuk gelombang sumber tegangan ac 210 volt/50 hz dari jala-jala listrik sebagai input power suplai, bentuk gelombangnya berbentuk sinus. Sedangkan Gambar 4.3 adalah tegangan dc yang keluar dari penyearah pada ac *input section* sehingga bentuknya lurus.

4.1.2 Hasil Pengamatan Suplai Tegangan TL494

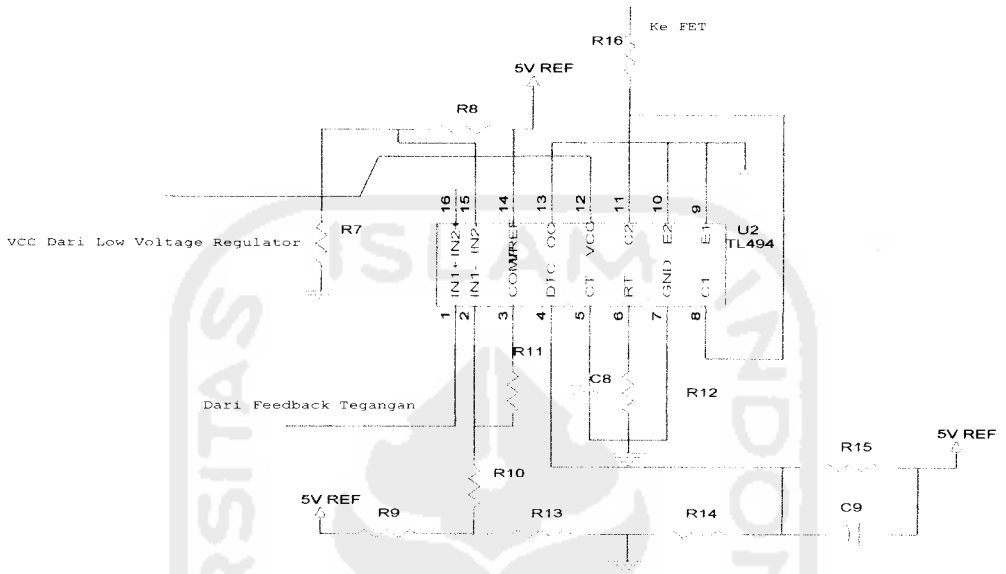
Hasil pengukuran menggunakan multimeter yang dilakukan pada output bagian ini menghasilkan pembacaan 12 volt, tegangan ini digunakan untuk mencatu IC TL494 atau Vcc pada TL494.

4.1.3 Hasil Pengamatan *Control Section* TL494

Hasil Pengamatan menggunakan multimeter bagian *control* sec*tion* atau IC TL494 adalah sebagai berikut :

- VCC (pin 12 TL 494) = 12 volt

- V_{ref} (pin 14 TL494) = 4,99 volt
- DTC (pin 4 TL494) = 2,3 volt



Gambar 4.4 Bagian kontrol TL494

Di bawah ini adalah hasil pengamatan bagian osilator pada kaki no 5 pada TL494 dan bagian output transistor kaki no 11 yang menuju ke *gate* bagian FET.



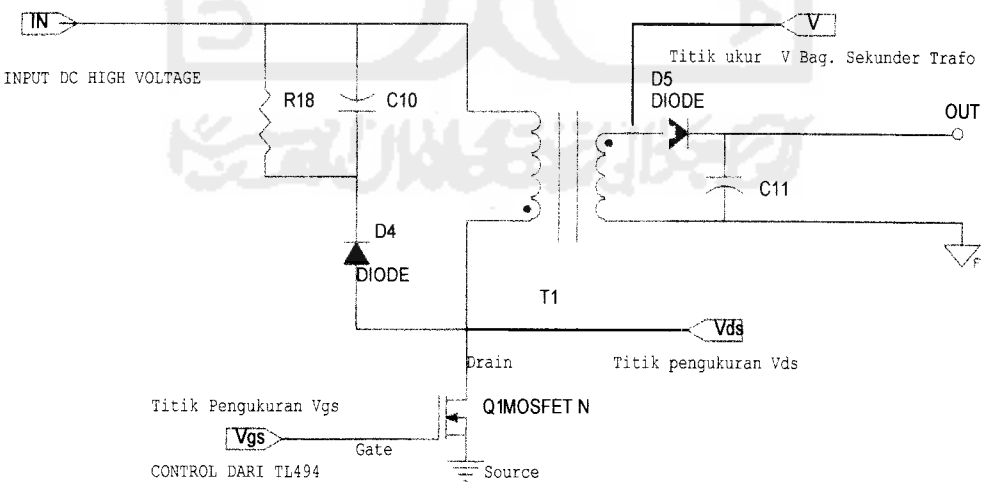
Gambar 4.5 Bentuk gelombang pada osilator dan transistor output TL494 sebelum dihubungkan ke FET

Pada Gambar 4.5 bagian osilator ditunjukkan pada bentuk gelombang segitiga dengan frekwensi 25 Khz atau t = 40 μs, sedangkan gelombang yang berbentuk persegi adalah gelombang output transistor yang digunakan untuk memicu FET pada bagian *switching*. Lebar pulsa *on-time* maksimal yang ditunjukkan Gambar 4.5 adalah sekitar 30% sesuai dengan perancangan pada pengaturan *dead-time control*.

4.1.4 Hasil Pengamatan Pada Bagian *Power Switching Section*

Pada bagian ini yang diamati adalah bentuk gelombang pada bagian gate dan drain FET serta bentuk gelombang pada output trafo switching. Pengamatan dilakukan pada saat power suplai diberi beban, sedangkan beban yang dipilih ada dua kategori yaitu yang bersifat induktif yaitu motor dc dan beban yang bersifat resistif yaitu lampu.

Skema dan titik-titik pengujian dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini



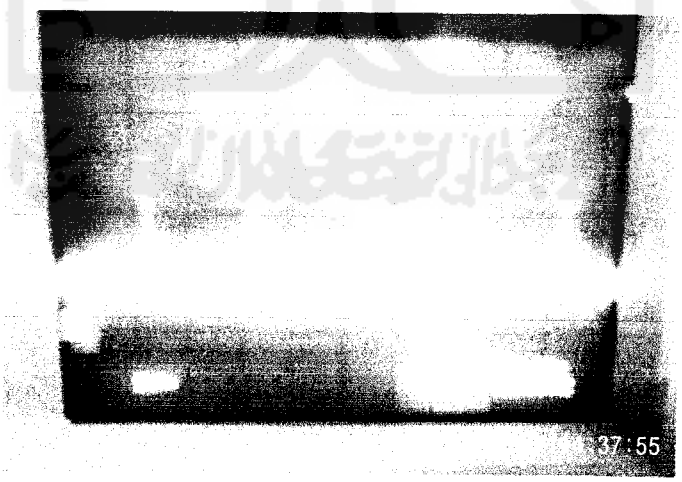
Gambar 4.6 Titik-titik pengujian pada bagian *power switch*

4.1.4.1 Hasil Pengamatan Dengan Beban Induktif

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 di bawah ini merupakan bentuk gelombang yang terjadi pada titik *gate* FET saat power suplai diberi beban motor dc, perbedaan diantara keduanya hanya terletak pada waktu *switch on* saja yang tergantung dari arus yang dikeluarkan, semakin besar arus yang dikeluarkan maka lebar *on-time* semakin besar.

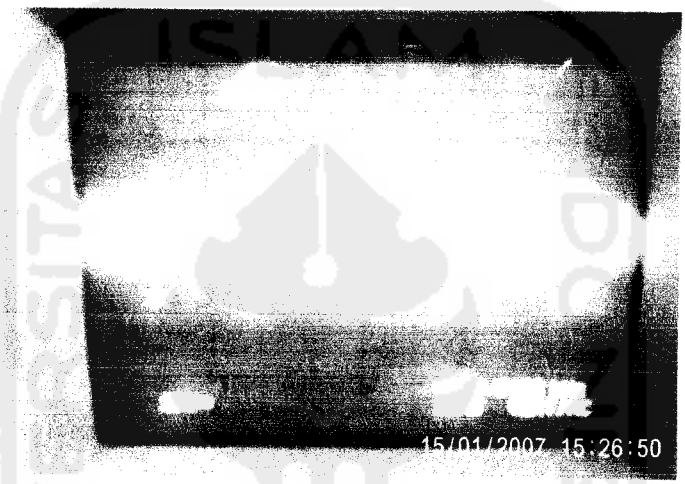


Gambar 4.7 Bentuk sinyal *gate* FET pada pembebanan 1 motor dc

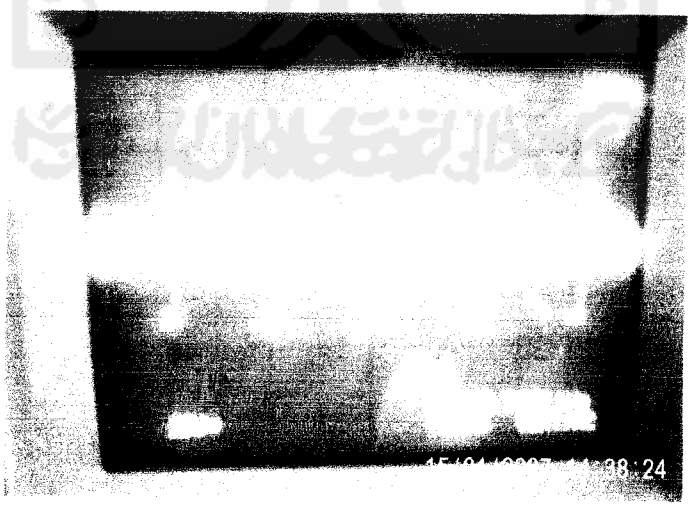


Gambar 4.8 Bentuk sinyal *gate* FET pada pembebanan 2 motor

Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 di bawah ini menggambarkan bentuk sinyal yang terjadi pada titik *drain* FET saat power suplai diberi beban motor dc. Saat FET on maka tegangan V_{ds} nol kemudian sesaat setelah FET off maka tegangan V_{ds} melonjak sekitar 2 kali tegangan input dan kemudian berosilasi sampai trafo *reset* dan diulangi kembali pada saat FET on lagi.

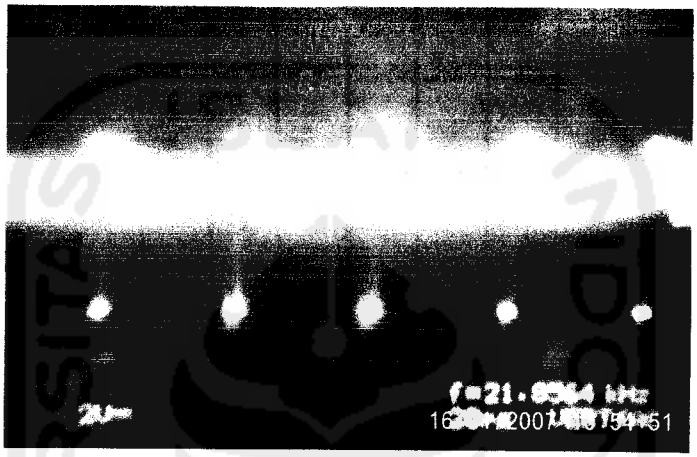


Gambar 4.9 Bentuk sinyal *drain* FET pada pembebanan 1 motor dc



Gambar 4.10 Bentuk sinyal *drain* FET pada pembebanan 2 motor dc

Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 di bawah ini menggambarkan bentuk sinyal yang terjadi pada bagian sekunder trafo, saat power suplai diberi beban motor dc. Bentuk sinyal yang terjadi pada bagian ini mirip dengan yang terjadi pada bagian V_{ds} hanya berbeda amplitudonya, karena tegangan disalurkan dari kumparan primer ke sekunder dengan perbandingan N.



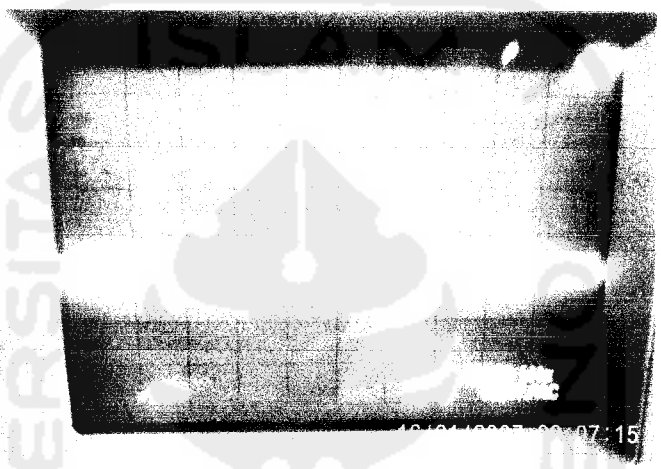
Gambar 4.11 Bentuk sinyal pada bagian sekunder trafo *switching* pada pembebanan 1 motor



Gambar 4.12 Bentuk sinyal pada bagian sekunder trafo *switching* pada pembebanan 2 motor

4.1.4.2 Hasil Pengamatan Dengan Beban Resistif

Pada pengamatan yang dilakukan pada pembebanan lampu ini langkah-langkahnya sama dengan pembebanan menggunakan motor dc. Bentuk-bentuk sinyal yang didapat dari pembebanan 1 lampu dan 6 lampu digambarkan pada gambar-gambar di bawah ini yang pada prinsipnya mirip pada pembebanan induktif, sedangkan untuk pembebanan yang lain diikutkan di lampiran.



Gambar 4.13 Bentuk sinyal *gate* FET pada pembebanan 1 lampu

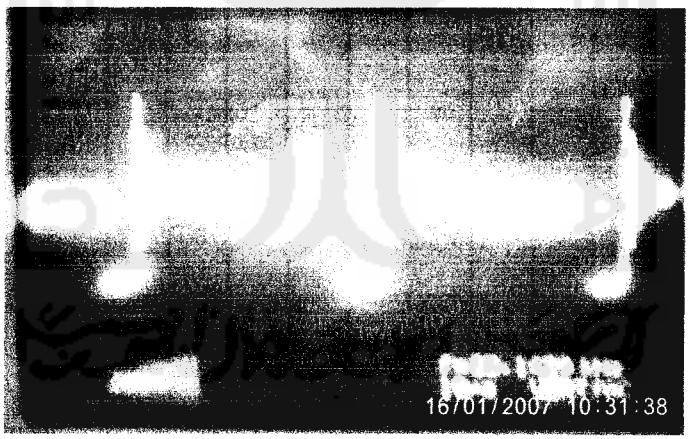


Gambar 4.14 Bentuk sinyal *gate* FET pada pembebanan 6 lampu

Dari Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 di atas dapat dilihat adanya perbedaan waktu *on-time* antara pembebanan 1 lampu dan 6 lampu, pembebanan lebih besar akan menghasilkan *on-time* lebih lama.



Gambar 4.15 Bentuk sinyal *drain* FET pada pembebanan 1 lampu

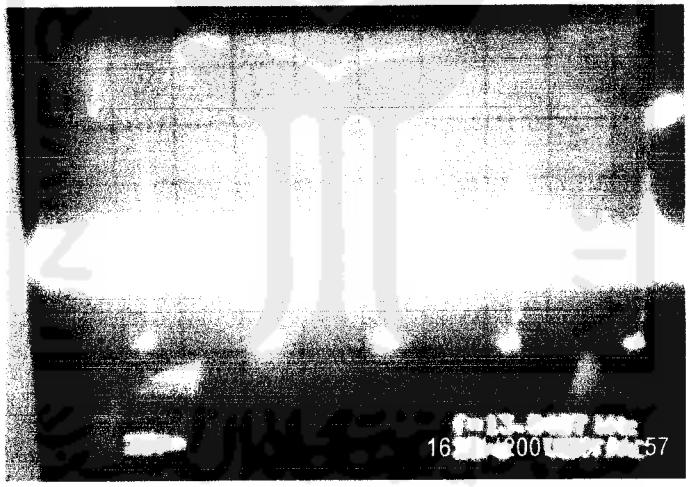


Gambar 4.16 Bentuk sinyal *drain* FET pada pembebanan 6 lampu

Dari Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 dapat dilihat dengan adanya perbedaan waktu *on-time* pada *swithcing* akan mempengaruhi pula bentuk panjang *on-time* di V_{ds}.



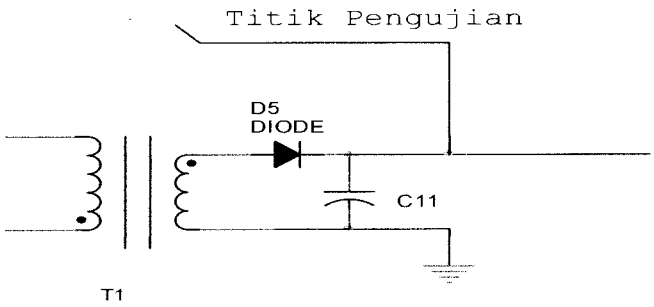
Gambar 4.17 Bentuk sinyal pada bagian sekunder trafo *switching* pada pembebanan 1 lampu



Gambar 4.18 Bentuk sinyal pada bagian sekunder trafo *switching* pada pembebanan 6 lampu

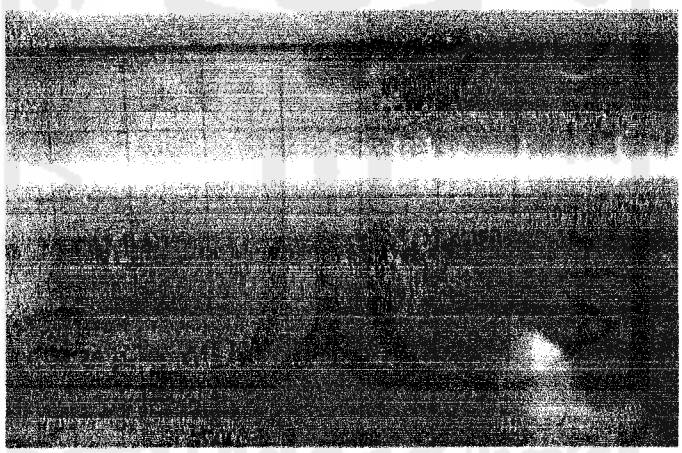
Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 menunjukkan tegangan yang terjadi pada bagian sekunder trafo *switching*. Untuk pembebanan 1 lampu dan 6 lampu pada prinsipnya bentuknya sama, hanya berbeda panjang bagiannya saja.

4.1.5 Hasil Pengamatan Pada Bagian Output Power Suplai



Gambar 4.19 Titik pengamatan bentuk gelombang bagian output power suplai

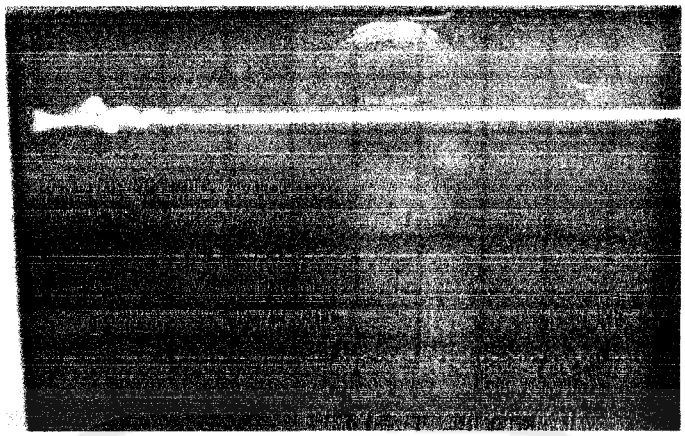
Bagian yang diuji pada bagian ini adalah bagian setelah penyearah dan pada output kondensator. Bentuk gelombang pada bagian ini merupakan bentuk gelombang output dari power suplai.



Gambar 4.20 Bentuk gelombang pada output power suplai

4.1.6 Hasil Pengamatan Riak Pada Output Power Suplai

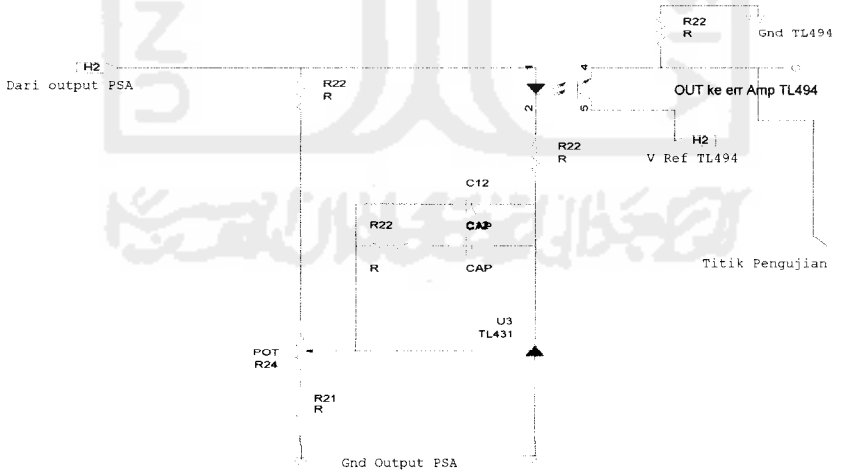
Riak yang terjadi pada tegangan keluar power suplai ditunjukkan oleh Gambar 4.21 dengan jalan membesarkan tampilan gelombang output power suplai.



Gambar 4.21 Riak pada output power suplai

Pada Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa riak yang terjadi pada awal siklus satu gelombang sangat besar bisa mencapai 2 volt, sedangkan setelah itu riak yang terjadi sangat kecil.

4.1.7 Hasil Pengamatan Tegangan *Feedback*



Gambar 4.22 Titik pengamatan bentuk gelombang bagian *output isolation barier*

Gambar 4.22 menunjukkan titik tempat pengamatan tegangan *feedback* yang keluar dari *isolation barier*, tegangan ini kemudian masuk ke *error amplifier.* Bentuk gelombang yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.23 di bawah ini.



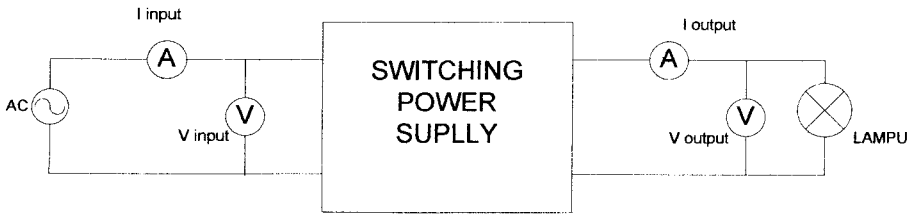
Gambar 4.23 Bentuk gelombang output *isolation barier*

4.1.8 Hasil Pengujian Performansi Power suplai

Untuk mengetahui unjuk kerja dari power suplai dilakukan pengamatan performansinya dengan jalan memberikan beban yang berbeda-beda pada power suplai, kemudian dicatat tegangan dan arus yang terjadi pada bagian input dan output, kemudian dihitung daya yang masuk dan keluar sesuai rumus dan terakhir dicari efisiensinya.

$P_{in} \approx V_{in} \times I_{in}$ dan $P_{out} \approx V_{out} \times I_{out}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$



Gambar 4.24 Skema pengujian performansi power suplai

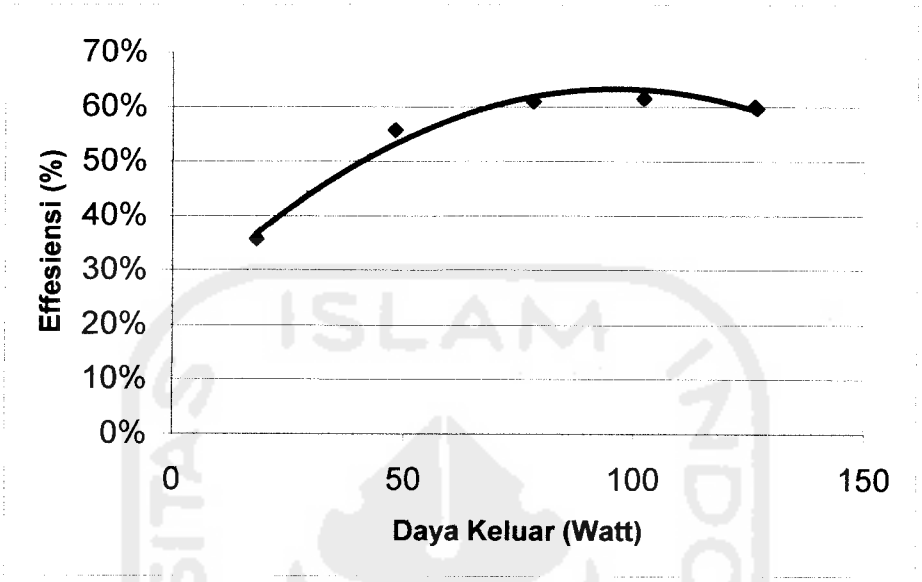
Tabel 4.1 Hasil pengujian performansi power suplai

No.	V_{out} (volt)	I_{out} (A)	P_{out} (watt)	V_{in} (volt)	I_{in} (A)	P_{in} (watt)	η %
1	12	1,5	18	210	0,24	50,4	35,71%
2	12	4	48	210	0,41	86,1	55,75%
3	12	6,5	78	210	0,61	128,1	60,89%
4	12	8,5	102	210	0,79	165,9	61,48%
5	12	10,5	126	210	1	210	60,00%
6	11	11,5	126,5	210	1,01	212,1	59,64%

Pada pengamatan beban pertama yang menghasilkan arus 1,5 ampere power suplai menghasilkan efisiensi sebesar 35,71%, sedangkan pada pengujian ke-5 yang menghasilkan arus 10,5 ampere menghasilkan efisiensi 60%. Hal lain yang dapat dilihat adalah pada pengujian no 6 yang menghasilkan arus 11,5 ampere akan menyebabkan efisiensi turun menjadi 59,64% dan terjadi drop tegangan pada output.

Hubungan antara daya output dan efisiensi power suplai digambarkan pada grafik Gambar 4.25 di bawah ini. Dari gambar grafik tersebut dapat dilihat efisiensi naik sesuai kenaikan beban sampai nilai tertentu dan kemudian turun

lagi. Nilai maksimum efisiensi power suplai dicapai pada arus sesuai perancangan yaitu sekitar 10 ampere.

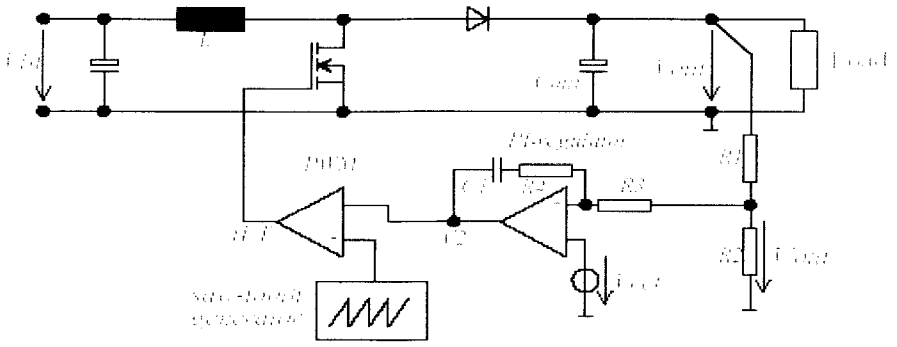


Gambar 4.25 Grafik hubungan daya keluar vs efisiensi

4.2 Pembahasan

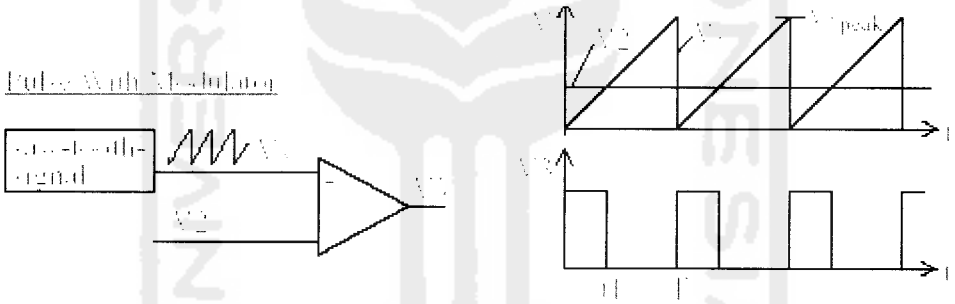
4.2.1 Sistem Pengendalian

Sistem pengendalian output tegangan pada *power supply switching* ada dua jenis yaitu *voltage-mode control* dan *current-mode control*. Pada perancangan ini digunakan *voltage-mode control*, salah satu contoh skema umumnya ditunjukkan oleh Gambar 4.26 di bawah ini.



Gambar 4.26 *Voltage-mode control* untuk *boost converter*

Tegangan keluar dibandingkan dengan tegangan referensi dan dikuatkan dengan PI-regulator pulsa. PWM mengkonversi tegangan keluar PI-Regulator pulsa dengan lebar t_1/T seperti yang terlihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 *Pulse width modulator*

Kontrol dapat diterangkan sebagai berikut, jika tegangan keluar V_{out} rendah, tegangan V^1_{out} akan lebih rendah dibandingkan dengan tegangan referensi. Hal ini menyebabkan tegangan output pada V_2 PI-regulator naik. Pada *PWM circuit* V_2 dibandingkan dengan sinyal gigi gergaji dan *duty cycle* akan dinaikkan yang menyebabkan tegangan keluar tambah sampai $V^1_{out} = V_{ref}$.

4.2.2 Mode Operasi *Flyback Converter*

Mode operasi pada *flyback converter* ada dua tergantung dari induktansi pada lilitan primer trafo ter-demagnetisasi secara penuh atau tidak. Ada dua mode operasi yang dikenal yaitu mode operasi *continuous* dan *discontinuous.* Pada mode operasi *continuous* induktansi pada lilitan primer trafo ter-demagnetisasi secara menyeluruh sedangkan pada mode *discontiuous* terjadi sebaliknya. (Wuidart, 2006).

Dari Gambar 4.16 bentuk gelombang pada drain FET dapat disimpulkan bahwa mode operasi *flyback converter* yang dibuat adalah *discontinuous*, hal ini dapat terjadi karena waktu *on-time* yang terjadi pada bagian *switching* jauh dibawah 50%.

4.2.3 Riak Output Power Suplai

Salah satu kerugian dari tipe *flyback converter* dengan mode operasi *discontinuous* adalah riak yang besar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.21 hasil pengamatan. Untuk menanggulangi riak yang besar pada mode operasi ini biasanya digunakan kondensator dengan ukuran kapasitas yang besar dan digunakan filter LC (Wuidart, 2006).

4.2.4 Performansi Power Suplai

Dari hasil pengujian performansi power supli dapat dilihat jika power suplai dibebani jauh dari beban penuh akan menghasilkan efisiensi yang rendah

yaitu sekitar 35% pada daya output 18 watt (dari tabel 4.1), sedangkan efisiensi tertinggi dicapai sekitar 60% pada pembebanan penuh yaitu pada arus output sekitar 10 ampere (dari grafik Gambar 4.25). Efisiensi ini masih di bawah efisiensi yang diharapkan 75%, hal ini kemungkinan terjadi karena efisiensi trafo yang rendah yang disebabkan pemilihannya berdasarkan yang ada di pasaran bukan berdasarkan kebutuhan serta perakitan yang kurang sempurna.

Hal pokok yang mempengaruhi efisiensi power suplai ini terletak pada bagian dc-dc konverternya terutama pada trafo (ON Semiconductor, 1999). Semakin kecil perbandingan lilitan maka efisiensi semakin kecil, selain trafo hal lain yang mempengaruhi efisiensi adalah disipasi daya yang terjadi pada komponen aktif FET, dioda serta komponen pasif *snubber* dan filter.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perancangan, pengujian dan analisa, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kestabilan pengontrolan power suplai sangat tergantung dari pemilihan jenis mode kontrol yang digunakan dan perancangannya.
2. Performansi power suplai akan mencapai efisiensi maksimum pada kondisi beban penuh dengan arus output 10 ampere sesuai yang digunakan pada saat perancangan.
3. Efisiensi maksimum power suplai hasil rancangan sekitar 60% pada arus beban sekitar 10 ampere.
4. Efisiensi pada power suplai sangat tergantung pada efisiensi trafo.

5.2 Saran

1. Untuk memperbesar kemampuan arus yang ada maka dapat digunakan transistor yang mempunyai kapasitas menghantar arus lebih besar dan perancangan ulang trafonya.
2. Untuk menghasilkan kontrol yang lebih bagus sebaiknya digunakan *current-mode control.*
3. Suara berisik pada trafo dapat dihilangkan dengan pemilihan *core* yang lebih sesuai dan di cor dengan bahan cairan cor trafo.

DAFTAR PUSTAKA

Clive Braithwaite, Jeffrey Hall, Paul Fay, Roy Pickup, 1985, *Pengantar Ilmu Teknik Elektronika*, PT Gramedia, Jakarta.

Foutz, J., 2006, *Switching-Mode Power Supply Design Simple Dissipative Topologies,* http://www.smpstech.com/tutorial/ to2top.html, diakses tanggal 24 juli 2006.

Griffith, P., 2005, *Designing Switching Voltage Regulator with TL494*, Texas Instrument.

Malvino, A., P., P.hd., 1987, *Prinsip-prinsip Elektronika Jilid I*, Erlangga, Jakarta.

Malvino, A., P., P.hd., 1996, *Prinsip-prinsip Elektronika Jilid II*, Erlangga, Jakarta.

ONSemiconductor, 1999, *Switchmode Power Supply Reference Manual*, http://onsemi.com, diakses tanggal 24 juli 2006.

Rozenblat. P., 2006, *Topology Selection of The Output Converter in an Offline Switching Power Supply (SMPS)*, http://www.smps.us, diakses tanggal 10 agustus 2006.

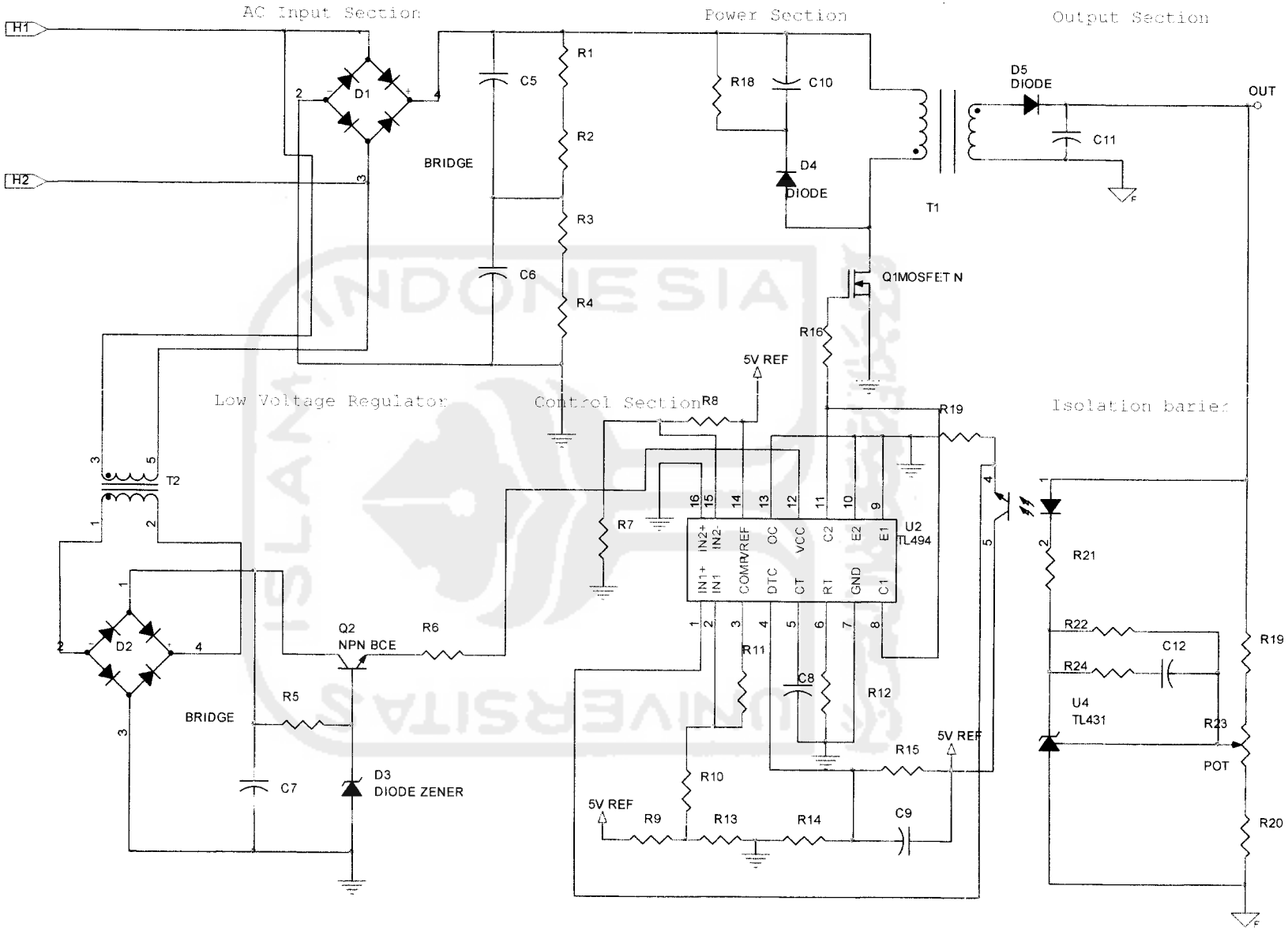
S., Wasito, 1997, *Data Sheet Book 1*, PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta.

Tooley, M., 2003, Rangkaian Elektronik Prinsip Dan Aplikasi, Ed. 2, Editor, Lemeda Simarmata, Erlangga, Jakarta.

Wasito, 1994, *Vademekum Elektronika*, Gramedia, Jakarta.

Wuidart, L., 2006, *Topologies For Switched Mode Power Supply*, http://www.st.com, diakses tanggal 10 agustus 2006.

LAMPIRAN


AC Input Section
Power Section
Output Section
H1
H2
D1
BRIDGE
C5
R1
R2
R3
C6
R4
R18
C10
D4
DIODE
T1
D5
DIODE
C11
OUT
Q1MOSFET N
R16
5V REF
Low Voltage Regulator
Control Section
R8
R19
Isolation barier
T2
R7
U2
TL494
IN2+
IN2-
COMP/REF
OC
VCC
C2
E2
E1
IN1+
IN1-
DTC
CT
RT
GND
C1
R21
R22
C12
R24
U4
TL431
R23
POT
R19
R20
D2
BRIDGE
Q2
NPN BCE
R6
R5
R11
C8
R12
5V REF
R15
R10
5V REF
R9
R13
R14
C9
C7
D3
DIODE ZENER

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	–	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	–	–	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	–0.3	–	V_{CC} – 2.0	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	–	–	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	–	–	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	kΩ
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μF
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ, unless otherwise noted.)

For typical values T_A = 25°C, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
REFERENCE SECTION					
Reference Voltage (I_O = 1.0 mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation (V_{CC} = 7.0 V to 40 V)	Reg_{line}	–	2.0	25	mV
Load Regulation (I_O = 1.0 mA to 10 mA)	Reg_{load}	–	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current (V_{ref} = 0 V)	I_{SC}	15	35	75	mA
OUTPUT SECTION					
Collector Off–State Current (V_{CC} = 40 V, V_{CE} = 40 V)	$I_{C(off)}$	–	2.0	100	μA
Emitter Off–State Current V_{CC} = 40 V, V_C = 40 V, V_E = 0 V)	$I_{E(off)}$	–	–	–100	μA
Collector–Emitter Saturation Voltage (Note 2.)					V
Common–Emitter (V_E = 0 V, I_C = 200 mA)	$V_{sat(C)}$	–	1.1	1.3	
Emitter–Follower (V_C = 15 V, I_E = –200 mA)	$V_{sat(E)}$	–	1.5	2.5	
Output Control Pin Current					μA
Low State (V_{OC} ≤ 0.4 V)	I_{OCL}	–	10	–	
High State (V_{OC} = V_{ref})	I_{OCH}	–	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time	t_r				ns
Common–Emitter (See Figure 12)		–	100	200	
Emitter–Follower (See Figure 13)		–	100	200	
Output Voltage Fall Time	t_f				ns
Common–Emitter (See Figure 12)		–	25	100	
Emitter–Follower (See Figure 13)		–	40	100	

2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ, unless otherwise noted.)
For typical values T_A = 25°C, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ERROR AMPLIFIER SECTION					
Input Offset Voltage ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	V_{IO}	–	2.0	10	mV
Input Offset Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	I_{IO}	–	5.0	250	nA
Input Bias Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 2.5 V)	I_{IB}	–	–0.1	–1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range (V_{CC} = 40 V, T_A = 25°C)	V_{ICR}	–0.3 to V_{CC}–2.0			V
Open Loop Voltage Gain (ΔV_O = 3.0 V, V_O = 0.5 V to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	A_{VOL}	70	95	–	dB
Unity–Gain Crossover Frequency (V_O = 0.5 V to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	f_{C-}	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity–Gain (V_O = 0.5 V to 3.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	ϕ_m	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio (V_{CC} = 40 V)	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio (ΔV_{CC} = 33 V, V_O = 2.5 V, R_L = 2.0 kΩ)	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current ($V_{O\ (Pin\ 3)}$ = 3.5 V)	I_O+	2.0	–4.0	–	mA
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{(Pin\ 3)}$ = 0.7 V)	I_{I-}	0.3	0.7	–	mA
DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V to 5.25 V)	$I_{IB\ (DT)}$	–	–2.0	–10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push–Pull Mode ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V, C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ) ($V_{Pin\ 4}$ = 0 V, C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	DC_{max}	 45 –	 48 45	 50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{th}	 – 0	 2.8 –	 3.3 –	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency (C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	f_{osc}	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* (C_T = 0.001 μF, R_T = 30 kΩ)	σf_{osc}	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage (V_{CC} = 7.0 V to 40 V, T_A = 25°C)	Δf_{osc} (ΔV)	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature (ΔT_A = T_{low} to T_{high}) (C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ)	Δf_{osc} (ΔT)	–	–	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn–On Threshold (V_{CC} increasing, I_{ref} = 1.0 mA)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref}, All other inputs and outputs open) (V_{CC} = 15 V) (V_{CC} = 40 V)	I_{CC}	 – –	 5.5 7.0	 10 15	mA
Average Supply Current (C_T = 0.01 μF, R_T = 12 kΩ, $V_{(Pin\ 4)}$ = 2.0 V) (V_{CC} = 15 V) (See Figure 12)		 –	 7.0	 –	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} (X_n - \bar{X})^2}{N-1}}$

TABEL UKURAN KAWAT
DAN BATASAN ARUS
(AWG dan METRIC)

Sumber : www.powerstream.com/Wire_Size.htm

AWG (American Wire Gauge) ,

AWG gauge	Diameter Inches	Diameter mm	Ohms per 1000 ft	Ohms per km	Maximum amps for chassis wiring	Maximum amps for power transmission
OOOO	0.46	11.684	0.049	0.16072	380	302
OOO	0.4096	10.40384	0.0618	0.202704	328	239
OO	0.3648	9.26592	0.0779	0.255512	283	190
0	0.3249	8.25246	0.0983	0.322424	245	150
1	0.2893	7.34822	0.1239	0.406392	211	119
2	0.2576	6.54304	0.1563	0.512664	181	94
3	0.2294	5.82676	0.197	0.64616	158	75
4	0.2043	5.18922	0.2485	0.81508	135	60
5	0.1819	4.62026	0.3133	1.027624	118	47
6	0.162	4.1148	0.3951	1.295928	101	37
7	0.1443	3.66522	0.4982	1.634096	89	30
8	0.1285	3.2639	0.6282	2.060496	73	24
9	0.1144	2.90576	0.7921	2.598088	64	19
10	0.1019	2.58826	0.9989	3.276392	55	15
11	0.0907	2.30378	1.26	4.1328	47	12
12	0.0808	2.05232	1.588	5.20864	41	9.3
13	0.072	1.8288	2.003	6.56984	35	7.4
14	0.0641	1.62814	2.525	8.282	32	5.9
15	0.0571	1.45034	3.184	10.44352	28	4.7
16	0.0508	1.29032	4.016	13.17248	22	3.7
17	0.0453	1.15062	5.064	16.60992	19	2.9
18	0.0403	1.02362	6.385	20.9428	16	2.3
19	0.0359	0.91186	8.051	26.40728	14	1.8

20	0.032	0.8128	10.15	33.292	11	1.5
21	0.0285	0.7239	12.8	41.984	9	1.2
22	0.0254	0.64516	16.14	52.9392	7	0.92
23	0.0226	0.57404	20.36	66.7808	4.7	0.729
24	0.0201	0.51054	25.67	84.1976	3.5	0.577
25	0.0179	0.45466	32.37	106.1736	2.7	0.457
26	0.0159	0.40386	40.81	133.8568	2.2	0.361
27	0.0142	0.36068	51.47	168.8216	1.7	0.288
28	0.0126	0.32004	64.9	212.872	1.4	0.226
29	0.0113	0.28702	81.83	268.4024	1.2	0.182
30	0.01	0.254	103.2	338.496	0.86	0.142
31	0.0089	0.22606	130.1	426.728	0.7	0.113
32	0.008	0.2032	164.1	538.248	0.53	0.091
Metric 2.0	0.00787	0.200	169.39	555.61	0.51	0.088
33	0.0071	0.18034	206.9	678.632	0.43	0.072
Metric 1.8	0.00709	0.180	207.5	680.55	0.43	0.072
34	0.0063	0.16002	260.9	855.752	0.33	0.056
Metric 1.6	0.0063	0.16002	260.9	855.752	0.33	0.056
35	0.0056	0.14224	329	1079.12	0.27	0.044
Metric 1.4	.00551	.140	339	1114	0.26	0.043
36	0.005	0.127	414.8	1360	0.21	0.035
Metric 1.25	.00492	0.125	428.2	1404	0.20	0.034
37	0.0045	0.1143	523.1	1715	0.17	0.0289
Metric 1.12	.00441	0.112	533.8	1750	0.163	0.0277
38	0.004	0.1016	659.6	2163	0.13	0.0228
Metric 1	.00394	0.1000	670.2	2198	0.126	0.0225
39	0.0035	0.0889	831.8	2728	0.11	0.0175
40	0.0031	0.07874	1049	3440	0.09	0.0137

TOSHIBA FIELD EFFECT TRANSISTOR SILICON N CHANNEL MOS TYPE (π-MOSIII)

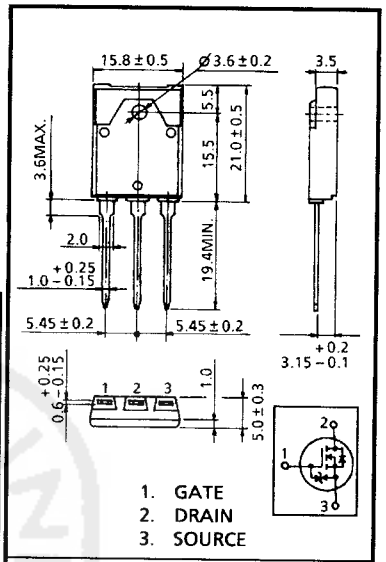
2SK2847

HIGH SPEED, HIGH CURRENT SWITCHING APPLICATIONS

DC-DC CONVERTER AND MOTOR DRIVE APPLICATIONS

INDUSTRIAL APPLICATIONS

Unit in mm



JEDEC	—
EIAJ	—
TOSHIBA	2-16F1B

Weight : 5.8g (Typ.)

- Low Drain-Source ON Resistance : $R_{DS\,(ON)}=1.1\Omega$ (Typ.)
- High Forward Transfer Admittance : $|Y_{fs}|=7.0S$ (Typ.)
- Low Leakage Current : $I_{DSS}=100\mu A$ (Max.) ($V_{DS}=720V$)
- Enhancement-Mode : $V_{th}=2.0\sim4.0V$ ($V_{DS}=10V$, $I_D=1mA$)

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Drain-Source Voltage		V_{DSS}	900	V
Drain-Gate Voltage ($R_{GS}=20k\Omega$)		V_{DGR}	900	V
Gate-Source Voltage		V_{GSS}	±30	V
Drain Current	DC	I_D	8	A
	Pulse	I_{DP}	24	A
Drain Power Dissipation (Tc=25°C)		P_D	85	W
Single Pulse Avalanche Energy**		E_{AS}	799	mJ
Avalanche Current		I_{AR}	8	A
Repetitive Avalanche Energy*		E_{AR}	8.5	mJ
Channel Temperature		T_{ch}	150	°C
Storage Temperature Range		T_{stg}	−55~150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MAX.	UNIT
Thermal Resistance, Channel to Case	$R_{th\,(ch-c)}$	1.47	°C / W
Thermal Resistance, Channel to Ambient	$R_{th\,(ch-a)}$	41.6	°C / W

Note ;

* Repetitive rating ; Pulse Width Limited by Max. junction temperature.

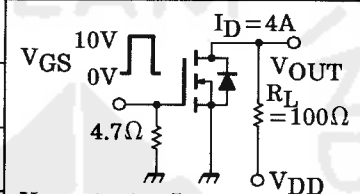
** $V_{DD}=90V$, Starting $T_{ch}=25°C$, $L=22.9mH$, $R_G=25\Omega$, $I_{AR}=8A$

This transistor is an electrostatic sensitive device.
Please handle with caution.

961001EAA2

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

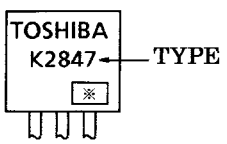
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Gate Leakage Current		I_{GSS}	$V_{GS}=\pm30V$, $V_{DS}=0V$	—	—	±10	μA
Gate-Source Breakdown Voltage		$V_{(BR)GSS}$	$I_G=\pm10\mu A$, $V_{DS}=0V$	±30	—	—	V
Drain Cut-off Current		I_{DSS}	$V_{DS}=720V$, $V_{GS}=0V$	—	—	100	μA
Drain-Source Breakdown Voltage		$V_{(BR)DSS}$	$I_D=10mA$, $V_{GS}=0V$	900	—	—	V
Gate Threshold Voltage		V_{th}	$V_{DS}=10V$, $I_D=1mA$	2.0	—	4.0	V
Drain-Source ON Resistance		$R_{DS(ON)}$	$V_{GS}=10V$, $I_D=4A$	—	1.1	1.4	Ω
Forward Transfer Admittance		$\|Y_{fs}\|$	$V_{DS}=15V$, $I_D=4A$	3.0	7.0	—	S
Input Capacitance		C_{iss}	$V_{DS}=25V$, $V_{GS}=0V$, f = 1MHz	—	2040	—	pF
Reverse Transfer Capacitance		C_{rss}		—	45	—	
Output Capacitance		C_{oss}		—	190	—	
Switching Time	Rise Time	t_r		—	25	—	ns
	Turn-on Time	t_{on}		—	60	—	
	Fall Time	t_f		—	20	—	
	Turn-off Time	t_{off}		—	95	—	
Total Gate Charge (Gate-Source Plus Gate-Drain)		Q_g	$V_{DD}\fallingdotseq400V$, $V_{GS}=10V$, $I_D=8A$	—	58	—	nC
Gate-Source Charge		Q_{gs}		—	32	—	
Gate-Drain ("Miller") Charge		Q_{gd}		—	26	—	

SOURCE-DRAIN DIODE RATINGS AND CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Continuous Drain Reverse Current	I_{DR}	—	—	—	8	A
Pulse Drain Reverse Current	I_{DRP}	—	—	—	24	A
Diode Forward Voltage	V_{DSF}	$I_{DR}=8A$, $V_{GS}=0V$	—	—	−1.9	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$I_{DR}=8A$, $V_{GS}=0V$	—	1650	—	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{rr}	$dI_{DR}/dt=100A/\mu s$	—	21	—	μC

MARKING



※ Lot Number

□□ — Month (Starting from Alphabet A)

— Year (Last Number of the Christian Era)

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
Industrial (LM431xI)	−40°C to +85°C
Commercial (LM431xC)	0°C to +70°C
Soldering Information	
Infrared or Convection (20 sec.)	235°C
Wave Soldering (10 sec.)	260°C (lead temp.)
Cathode Voltage	37V
Continuous Cathode Current	−10 mA to +150 mA
Reference Voltage	−0.5V
Reference Input Current	10 mA
Internal Power Dissipation (Notes 3, 4)	
TO-92 Package	0.78W
SO-8 Package	0.81W
SOT-23 Package	0.28W
micro SMD Package	0.30W

Operating Conditions

	Min	Max
Cathode Voltage	V_{REF}	37V
Cathode Current	1.0 mA	100 mA

LM431 Electrical Characteristics

T_A = 25°C unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Units
V_{REF}	Reference Voltage	$V_Z = V_{REF}$, I_I = 10 mA LM431A *(Figure 1)*		2.440	2.495	2.550	V
		$V_Z = V_{REF}$, I_I = 10 mA LM431B *(Figure 1)*		2.470	2.495	2.520	V
		$V_Z = V_{REF}$, I_I = 10 mA LM431C *(Figure 1)*		2.485	2.500	2.510	V
V_{DEV}	Deviation of Reference Input Voltage Over Temperature (Note 5)	$V_Z = V_{REF}$, I_I = 10 mA, T_A = Full Range *(Figure 1)*			8.0	17	mV
$\frac{\Delta V_{REF}}{\Delta V_Z}$	Ratio of the Change in Reference Voltage to the Change in Cathode Voltage	I_Z = 10 mA *(Figure 2)*	V_Z from V_{REF} to 10V		−1.4	−2.7	mV/V
			V_Z from 10V to 36V		−1.0	−2.0	
I_{REF}	Reference Input Current	R_1 = 10 kΩ, R_2 = ∞, I_I = 10 mA *(Figure 2)*			2.0	4.0	µA
$\propto I_{REF}$	Deviation of Reference Input Current over Temperature	R_1 = 10 kΩ, R_2 = ∞, I_I = 10 mA, T_A = Full Range *(Figure 2)*			0.4	1.2	µA
$I_{Z(MIN)}$	Minimum Cathode Current for Regulation	$V_Z = V_{REF}$ *(Figure 1)*			0.4	1.0	mA
$I_{Z(OFF)}$	Off-State Current	V_Z = 36V, V_{REF} = 0V *(Figure *NO TARGET FOR fi*)*			0.3	1.0	µA
r_Z	Dynamic Output Impedance (Note 6)	$V_Z = V_{REF}$, LM431A, Frequency = 0 Hz *(Figure 1)*				0.75	Ω
		$V_Z = V_{REF}$, LM431B, LM431C Frequency = 0 Hz *(Figure 1)*				0.50	Ω

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

Note 3: $T_{J\,Max}$ = 150°C.

Note 4: Ratings apply to ambient temperature at 25°C. Above this temperature, derate the TO-92 at 6.2 mW/°C, the SO-8 at 6.5 mW/°C, the SOT-23 at 2.2 mW/°C and the micro SMD at 3mW/°C.

Note 5: Deviation of reference input voltage, V_{DEV}, is defined as the maximum variation of the reference input voltage over the full temperature range.

EC, ETD, EER and ER Core Data (ungapped)

Any practical gap available. See pages 1.4-1, 1.

PART	CORE TYPE	FIG.	MECHANICAL DIMENSIONS A	B	C	D MIN	E	T	S	F	F
0_40906EC	**ER 9.5**	**3**	9.5 + 0, -.3	2.45 ± .05	5 + 0, -.2	1.6+.15-0	7.5 + .25, -0	3.50 + 0, -.2	-	-	-
0_43434EC	**ETD 34**	**2**	35 + .0, -1.6	17.3 ± .2	11.1 + 0, -.6	11.8+.6,-0	25.6+1.4,-0	11.1 + 0, -.6	-	-	-
0_43517EC	**EC 35**	**1**	34.5 ± .8	17.3 ± .15	9.5 ± .3	12.3 ± .4	22.75 ± .55	9.5 ± .3	-	2.75 ± .25	28.5 ± .8
0_43521EC	**EER 35L**	**2**	35 ± .65	20.7 ± .20	11.4 ± .35	14.75 ± .35	26.15 ± .55	11.3 ± .25	-	-	-
0_43939EC	**ETD 39**	**2**	40 + 0, -1.8	19.8 ± .2	12.8 + 0, -.6	14.2+.8,-0	29.3 + 1.6, -0	12.8 + 0, -.6	-	-	-
0_44119EC	**EC41**	**1**	40.6 ± 1.0	19.5 ± .15	11.6 ± .3	13.9 ± .4	27 + .8, -.7	11.6 ± .3	-	3.25 ± .25	33.6 ± 1.0
0_44216EC	**EER 42**	**2**	42.10 ± .81	21.60 ± .20	14.70 ± .30	15.60	31 ± .58	14.70 ± .30	-		
			1.659 ± .032	.850 ± .008	.579 ± .012	0.614	1.220 ± .023	.579 ± .012	-	-	-
0_44444EC	**ETD 44**	**2**	45 + .0, -.2	22.30 ± .20	15.2 + .0, -.6	16.10	32.5 + 1.6, -0	15.2 + 0, -.6	-	-	-
			1.732 ± .040	.878 ± .008	.583 ± .015	0.635	1.311 ± .032	.583 ± .015	-	-	-
0_44949EC	**ETD 49**	**2**	49.8 + 0, -2.2	24.7 ± .20	16.7 + 0, -.6	17.7+.8,-0	36.1 + 0, -1.8	16.7 + 0, -.6	-		
0_45032EC		**2**	49.80 ± .76	15.90 ± .25	13.20 ± .38	9.50	39.10 ± .51	14.50 ± .25	-		
			1.960 ± .030	.625 ± .010	.520 ± .015	0.373	1.540 ± .020	.570 ± .010	-	-	-
0_45224EC	**EC52**	**1**	52.2 ± 1.3	24.2 ± .15	13.4 ± .35	15.9 ± .4	33 ± .9	13.4 ± .35	-	3.75 ± .25	44 ± 1.3
0_45959EC	**ETD 59**	**2**	59.80 ± 1.30	31 ± .20	21.65 ± .45	22.10	44.70 ± 1.09	21.65 ± .45	-	-	-
			2.354 ± .051	1.220 ± .008	.852 ± .018	0.87	1.760 ± .043	.852 ± .018	-	-	-
0_47035EC	**EC70**	**1**	70 ± 1.7	34.5 ± .15	16.4 ± .4	22.75 ± .45	44.5 ± 1.2	16.4 ± .4	-	4.75 ± .25	59.6 ± 1.7
0_47054EC		**2**	68.58 ± 1.52	54 ± .38	20 ± .38	41.80	54.10 ± 1.27	20 ± .38	-	-	-
			2.700 ± .060	2.125 ± .015	.787 ± .015	1.647	2.130 ± .050	.787 ± .015	-	-	-

To order, add material code to part number.

FIGURE 1

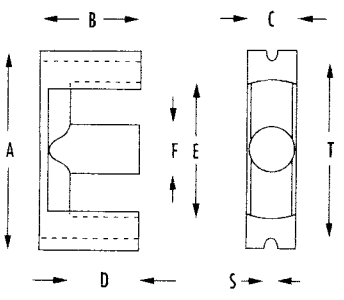
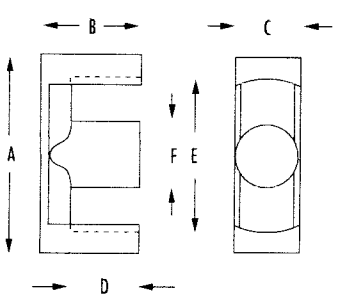


FIGURE 2



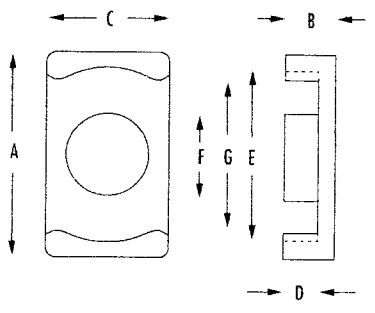
EC, ETD, EER and ER Core Data (ungapped)

A_L (nH/1000T)

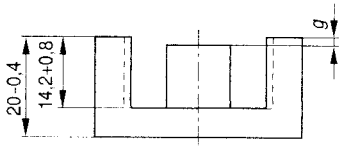
POWER MATERIALS			HIGH PERMEABILITY MATERIALS		MAGNETIC DATA					
R	P	F	I	W	l_e (mm)	A_e (mm^2)	A_{min} (mm^2)	V_e (mm^3)	CORE WEIGHT (grams)	W_eA_e (cm^4)
730	790	1270	1550	2520	14.2	8.47	7.6	120	0.6	.0026
2030	2200	3600	-	-	78.6	97.1	91.6	7640	40	1.21
1660	1800	3000	-	-	77.4	84.3	71	6530	36	0.833
2020	2220	3550	-	-	90.8	107.0	100.0	9710	49	1.91
2230	2420	4050	-	-	92.2	125	123	11500	60	2.21
2210	2400	3700	-	-	89.3	121	106	10800	52	1.67
2880	3130	5000	-	-	98.7	175.0	166.0	17300	106	3.55
2750	3000	4950	-	-	103	173	172.0	17800	94	3.75
3070	3330	5400	-	-	114.0	211	209	24000	124	5.83
3010	3270	5230	7160	-	84.7	161.0	156.0	13640	66	2.75
2900	3150	5040	-	-	105	180	141	18800	111	3.87
4310	4680	7500	9320	-	139.0	368.0	368.0	51200	248	13.7
3310	3600	5760	-	-	144	279	211	40100	253	13.4
2440	2650	4240	-	-	231.0	339.0	314.0	78600	396	34

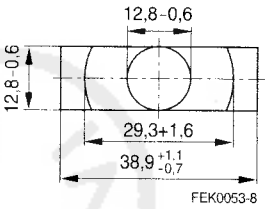
AVAILABLE HARDWARE: STANDARD BOBBIN; PRINTED CIRCUIT BOBBIN; MOUNTING CLAMP; SURFACE MOUNT BOBBIN

FIGURE 3



In accordance with IEC 61185
Quality assurance per UTE 83313-002/
CECC 25 301-002 (material N27)
For SMPS transformers with optimum
weight/performance ratio at small volume
ETD cores are supplied as single units





Magnetic characteristics (per set)

$\Sigma l/A$ = 0,74 mm^{-1}
l_e = 92,2 mm
A_e = 125 mm^2
A_{min} = 123 mm^2
V_e = 11 500 mm^3

Approx. weight 60 g/set

Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	A_{L1min} nH	P_V W/set	Ordering code
N27	2550 + 30/– 20 %	1500	2140	< 2,22 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B66363-G-X127
N87	2700 + 30/– 20 %	1600	2140	< 6,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B66363-G-X187
N97[1)]	2800 + 30/– 20 %	1650	2140	< 5,10 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B66363-G-X197

Gapped

Material	g mm	A_L value approx. nH	μ_e	Ordering code ** = 27 (N27) = 87 (N87)
N27, N87	0,10 ± 0,02	1062	622	B66363-G100-X1**
	0,20 ± 0,02	639	374	B66363-G200-X1**
	0,50 ± 0,05	326	191	B66363-G500-X1**
	1,00 ± 0,05	196	115	B66363-G1000-X1**

The A_L value in the table applies to a core set comprising one ungapped core (dimension $g = 0$) and one gapped core (dimension $g > 0$).

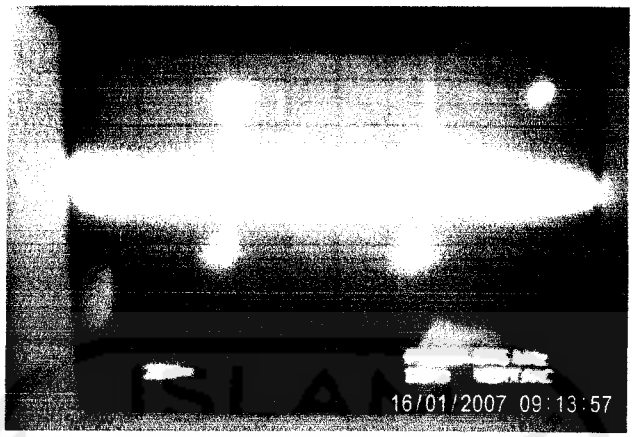
1) Preliminary data

Calculation factors (for formulas, see *"E cores: general information"*, page 382)

Material	Relationship between air gap – A_L value		Calculation of saturation current			
	K1 (25 °C)	*K2* (25 °C)	*K3* (25 °C)	*K4* (25 °C)	*K3* (100 °C)	*K4* (100 °C)
N27	196	– 0,734	308	– 0,847	287	– 0,865
N87	196	– 0,734	300	– 0,796	280	– 0,873

Validity range: *K1*, *K2*: 0,10 mm < s < 3,00 mm
K3, *K4*: 90 nH < A_L < 850 nH

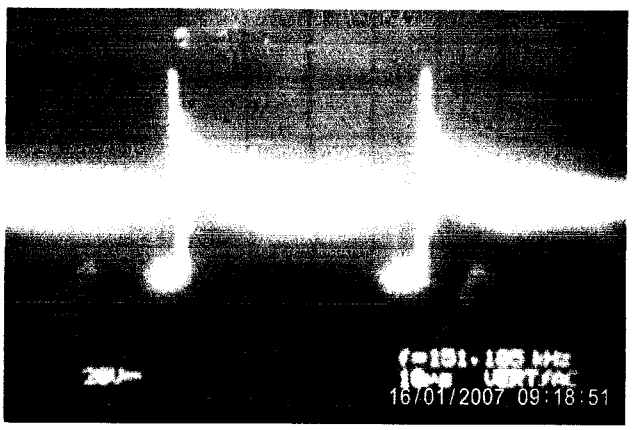
Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 1 Lampu (1,5 A)



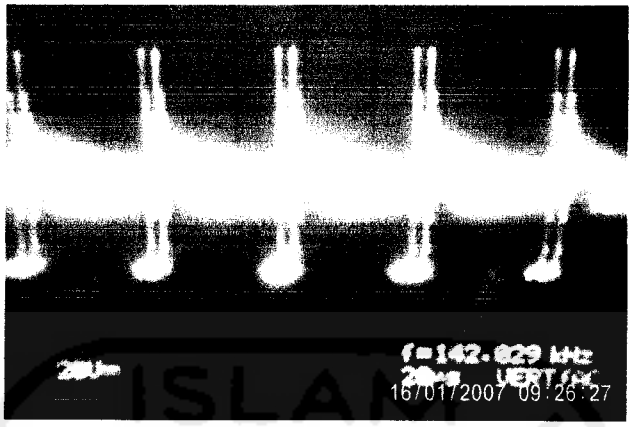
Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 2 Lampu (3 A)



Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 3 Lampu (4,5 A)



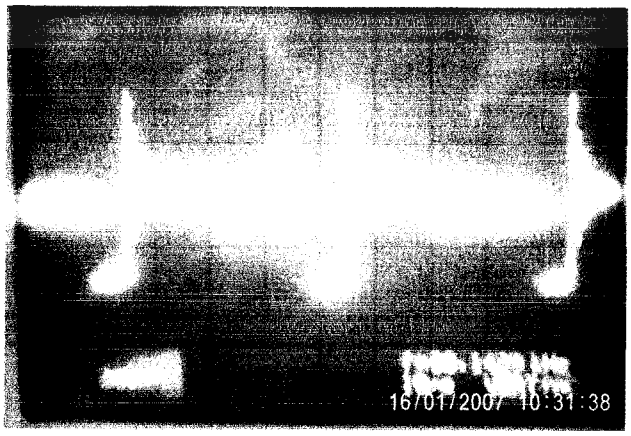
Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 4 Lampu (6 A)



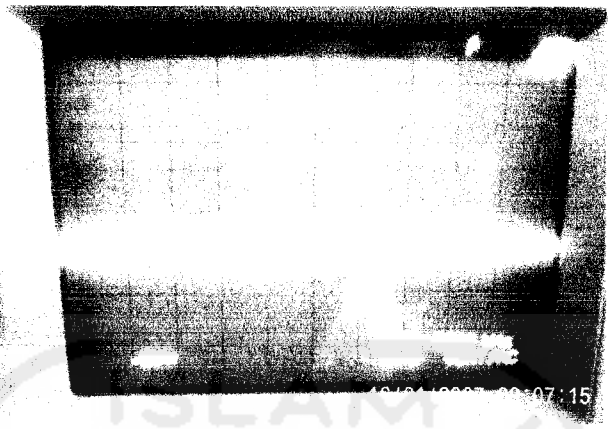
Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 5 Lampu (7,5 A)



Bentuk Sinyal *Drain* FET Pada Pembebanan 6 Lampu (9 A)



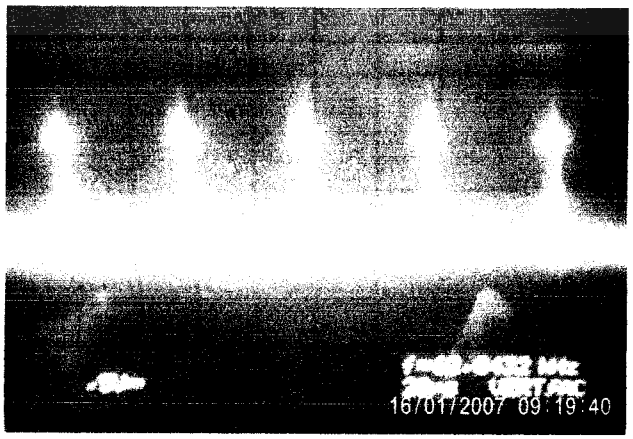
Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 1 Lampu (1,5 A)



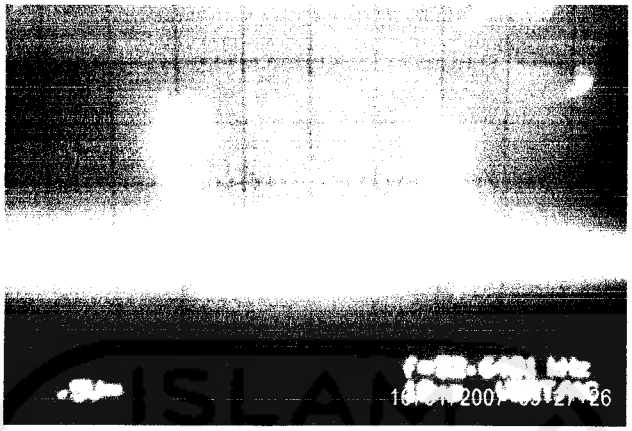
Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 2 Lampu (3 A)



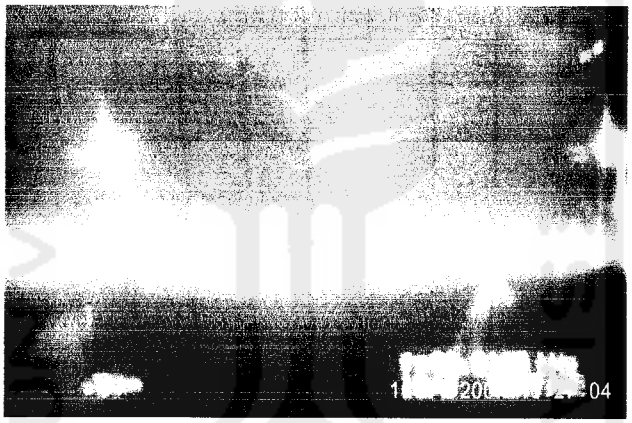
Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 3 Lampu (4,5 A)



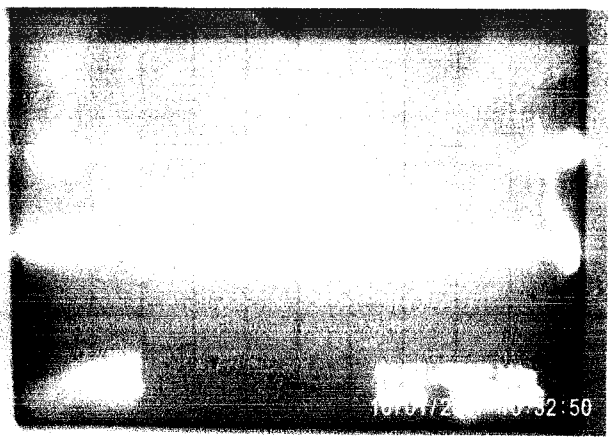
Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 4 Lampu (6 A)



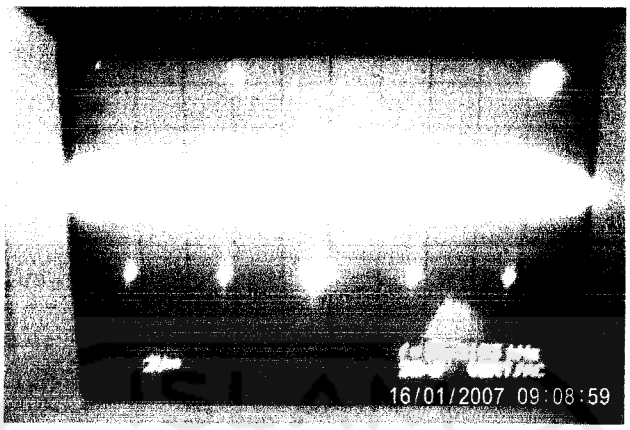
Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 5 Lampu (7,5 A)



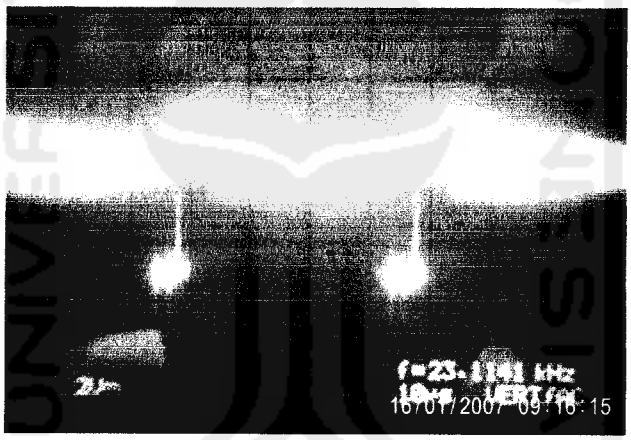
Bentuk Sinyal *Gate* FET Pada Pembebanan 6 Lampu (9 A)



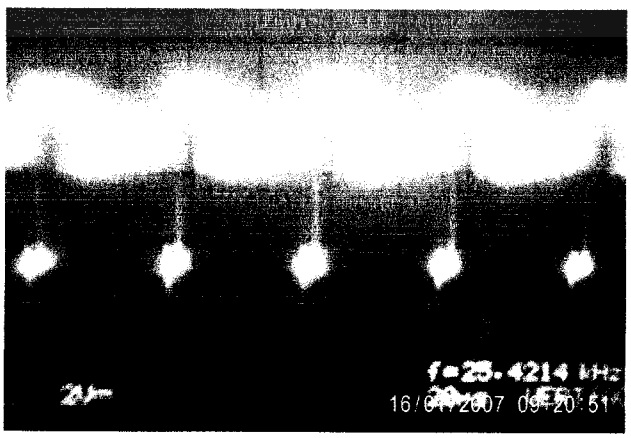
Bentuk Sinyal Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 1 Lampu (1,5 A)



Bentuk Sinyal Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 2 Lampu (3 A)



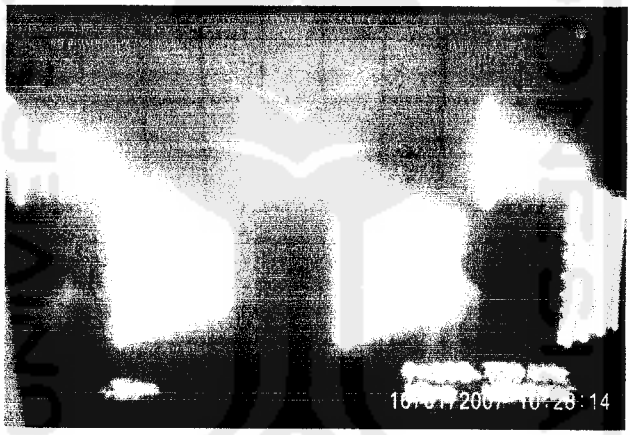
Bentuk Sinyal Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 3 Lampu (4,5 A)



Bentuk Sinyal Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 4 Lampu (6 A)



Bentuk Sinyal Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 5 Lampu (7,5 A)



Bentuk Sinyal Sekunder Trafo *Switching* Pada Pembebanan 6 Lampu (9 A)

