

**SUMBER TEGANGAN DC VARIABEL
DENGAN MENGGUNAKAN SCR
SEBAGAI PENYEERAH**

TUGAS AKHIR

Disusun oleh :

**N A M A : TEDI SETIAWAN
N R P : 0 1 1 9 3 0 0 4 1
N I R M : 933206710250039
JURUSAN : TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS : TEKNOLOGI INDUSTRI**

**Tugas Akhir Ini Dajukan Untuk Memenuhi
Persyaratan Kurikulum Sarjana Strata Satu (S1)
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Indonesia**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
S E R P O N G
1 9 9 9**

LEMBAR PENGESAHAN

**SUMBER TEGANGAN DC VARIABEL
DENGAN MENGGUNAKAN SCR
SEBAGAI PENYEARAH**

TUGAS AKHIR


Disusun oleh :

N A M A : TEDI SETIAWAN
N R P : 0 1 1 9 3 0 0 4 1
N I R M : 933206710250039
JURUSAN : TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS : TEKNOLOGI INDUSTRI

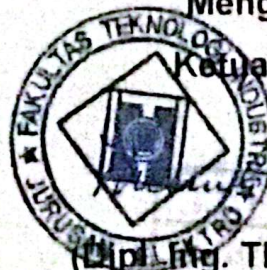
**Tugas Akhir Ini Diajukan Untuk Memenuhi
Persyaratan Kurikulum Sarjana Strata Satu (S1)
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Indonesia**

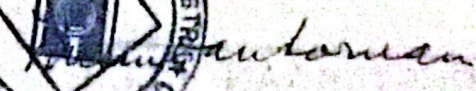
Serpong, 17 Januari 1999

Menyetujui :
Pembimbing,


(Ir. Sutisno, M.sc., MSTS)

Mengetahui :
Ketua Jurusan,




(Dipi Hng. Th. Lumbantoruan)

A B S T R A K

Pada tugas akhir ini, disajikan suatu perancangan alat, yang merupakan peralatan untuk menghasilkan tegangan DC variabel. Sebagai komponen utama rangkaian digunakan SCR. Untuk menghasilkan tegangan DC variabel, SCR yang berfungsi sebagai penyearah, dikontrol melalui elektroda gerbang (*gate*). Dengan memberikan pulsa pada saat yang tepat, maka harga tegangan keluaran dari rangkaian SCR dapat diatur.

SCR mengalirkan arus bila mendapat tegangan bias maju. Mengalirnya arus dari anoda ke katoda melalui SCR ini dimulai bila gerbang telah mendapat pacu (*trigger*) yang berupa pulsa. Sekali mendapat pulsa, maka arus akan mengalir terus (SCR aktif), meskipun pulsa telah dihentikan. Untuk meniadakan arus atau (membuat SCR off), dapat dilakukan dengan menurunkan arus sampai mencapai nilai arus penahan (*holding current*). Maka dengan mengatur waktu pemberian pulsa pada gerbang, yang berarti mengatur harga sudut pengapian, berarti tegangan keluaran rangkaian SCR yang berupa tegangan DC, dapat diubah-ubah harganya.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
KATA PENGANTAR	vii
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Tujuan Penulisan	1
1.2. Latar Belakang	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Sistematika Penulisan	4
BAB II : SILICON CONTROLLED RECTIFIERS	6
2.1. Pengenalan <i>Silicon Contolled Rectifiers</i>	6
2.2. Bahan dan Simbol SCR	8
2.3. Beberapa Aplikasi dari SCR	12
2.4. Percobaan Prinsip Kerja SCR	13

B A B III : KOMPONEN PADA SUMBER TEGANGAN DC	
VARIABEL YANG MENGGUNAKAN SCR	15
3.1. Optoisolator	15
3.2. Operational Amplifier	16
3.2.1. Penguat Operadional Ideal	17
3.2.2. Penguat Operadional Nyata	18
3.3. Rangkaian Dasar Penguat Operasional	19
3.4. Pembanding	21
3.5. Rangkaian Pewaktu Monostabil	22
3.6. Pentriggeran Melalui Optoisolator	24
B A B IV : RANGKAIAN LENGKAP, PERHITUNGAN,	
DAN HASIL PENGUKURAN	28
4.1. Rangkaian Sumber Tegangan DC Variabel	28
4.2. Harga Efektif dan Rata-Rata	30
4.3. Contoh Aplikasi	34
4.4. Hasil Pengamatan	35
K E S I M P U L A N	41
DAFTAR PUSTAKA	42
L A M P I R A N	43

D A F T A R G A M B A R

GAMBAR 2.1. Kombinasi dua transistor jenis PNP dan NPN, yang berfungsi sebagai SCR	7
GAMBAR 2.2. Empat lapisan bahan semikonduktor yang membentuk SCR	8
GAMBAR 2.3. SCR sebagai paduan dua transistor, masing-masing terdiri dari tiga lapis bahan semikonduktor	9
GAMBAR 2.4. Wujud fisik dari SCR	10
GAMBAR 2.5. Beberapa simbol SCR	11
GAMBAR 2.6. Rangkaian percobaan prinsip kerja SCR	13
GAMBAR 3.1. Rangkaian dasar penguat operasional	19
GAMBAR 3.2. Rangkaian pembanding	21
GAMBAR 3.3. Rangkaian pewaktu monostabil	23
GAMBAR 3.4. Rangkaian pentriggeran melalui optoisolator	25
GAMBAR 4.1. Diagram blok rangkaian sumber tegangan DC variabel dengan menggunakan SCR	29
GAMBAR 4.2. Rangkaian lengkap sumber tegangan DC variabel dengan menggunakan SCR	42

DAFTAR TABEL

TABEL 4.1.	Hasil pengukuran sudut pengaplan dan tegangan keluaran efektif	36
TABEL 4.2.	Perhitungn faktor <i>ripple</i>	38

KATA PENGANTAR

Penyusunan tugas akhir merupakan suatu tahapan yang sangat penting dalam rangka penyelesaian program pendidikan sarjana pada tingkat strata satu (S-1). Di samping itu, penulisan tugas akhir juga dapat dipandang sebagai latihan utama, di mana nantinya tentu sangat berguna bagi penyusunnya, bila sudah terjun di lapangan pekerjaan atau di lingkungan pengabdian masyarakat. Penyusunan tugas akhir, yang dilanjutkan dengan sidang sarjana ini, menandai berakhirnya studi strata satu yang penulis tempuh pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Indonesia. Pada kesempatan ini, penulis ucapkan terimakasih kepada yang terhormat :

1. Kedua orang tua penulis, yang telah memberikan doa dan dorongan moril yang sangat berguna,
2. Bapak Dipl. Ing. Th. Lumbantoruan, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro,

3. Ibu Dr. Ir. Fatimah Z.P., selaku Sekretaris Ketua Jurusan Teknik Elektro, merangkap Koordinator Tugas Akhir,
4. Bapak Ir. Sutisno, M.Sc., MSTS., selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini,
5. Seluruh staf Jurusan Teknik Elektro,
6. Rekan-rekan kuliah, terutama Elektro '93, yang telah banyak membantu dan memberikan semangat dalam penyusunan tugas akhir ini,
7. Semua kerabat dan handai taulan, yang telah banyak membantu, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya, mudah-mudahan tugas akhir ini bermanfaat bagi para pembaca, dan semoga dapat memberikan sumbangan, khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Serpong 26 Februari 1999

Penulis

B A B I

PENDAHULUAN

1.1. Tujuan Penulisan

Penulisan tugas akhir ini bertujuan merancang dan membuat alat, yang merupakan peralatan untuk menghasilkan tegangan DC (*direct current*, arus searah). Untuk menghasilkan tegangan DC variabel di sini, digunakan rangkaian yang memakai komponen semikonduktor yang berupa SCR (*silicon controlled rectifiers*, *solid-state controlled rectifiers*) sebagai komponen utama. Komponen SCR pada tugas akhir ini digunakan sebagai konverter atau penyearah, yang berfungsi untuk mengkonversikan dari tegangan AC (*alternating current*, arus bolak-balik) ke tegangan DC.

Di samping sebagai penyearah, SCR pada rancangan ini berfungsi pula sebagai komponen atur, yang memberikan kontrol

harga tegangan DC yang dikeluarkan. Ini adalah mirip dengan fungsi transistor biasa, hanya bedanya, pada transistor kontrol tegangan dilakukan dengan mengubah-ubah harga amplitudpo, sedangkan pada SCR amplitudo tetap, yang diatur adalah sudut pengapian.

Di samping perancangan dan pembuatan sumber tegangan DC variabel menggunakan SCR, pada tugas akhir ini dilakukan pula percobaan pengukuran. Pengukuran dilakukan untuk memperolah harga tegangan keluaran sebagai fungsi dari harga sudut pengapian.

1.2. Latar Belakang

Pada lampu penerangan, intensitas cahaya yang dihasilkan ditentukan oleh harga disipasi daya atau daya yang dibuang oleh bola lampu penerangan tersebut. Ini adalah sesuai dengan satuan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu tersebut, yaitu lomen, yang setara dengan satua daya pada lampu yaltu watt. Di mana satu watt adalah sama dengan lumen. Disipasi daya pada lampu listrik dirumuskan sebagai perbandingan antara kuadrat tegangan terhadap resitansi lampu. Jadi, dengan mengubah-ubah harga tegangan yang memberikan catu daya pada lampu, maka intensitas cahaya dapat diatur.

Untuk memberikan tegangan yang dapat diatur nilainya, dulu digunakan tahanan geser (*rheostat*), yang berfungsi sebagai pembagi tegangan. Ini pengaturan tegangan dengan tahanan geser ini dapat dilakukan untuk tegangan DC maupun AC. Tegangan yang

dihasilkan adalah sama atau lebih kecil daripada tegangan sumbernya. Alternatif lain untuk mengontrol tegangan, digunakan mesin statis yang berupa transformator. Cara ini hanya dapat digunakan untuk mengatur tegangan AC saja, akan tetapi dapat digunakan baik untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan.

Penggunaan trafo menimbulkan banyak masalah, antara lain ukuran yang besar dan berat, harga mahal, cepat rusak karena adanya geseran mekanik dan loncatan api, dan pemeliharaan yang relatif rumit. Sedangkan tahanan geser, selain besar dan berat, mahal, pemeliharaan sulit, dan cepat rusak, juga timbul kendala besarnya energi listrik yang terbuang berupa panas. Dengan digunakannya SCR, dengan unjuk kerja yang relatif baik tersebut, maka semua kendala tersebut boleh dikatakan hilang. (1)

Berkat beberapa sifat yang baik itu, penggunaan SCR sangat luas, antara lain pada pengaturan motor listrik, pemanas ruangan, lampu penerangan, mesin las listrik, dan peleburan logam. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini, dicoba untuk merancang sumber tegangan DC variabel, dengan menggunakan SCR.

1.3. Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini disajikan sistem sumber tegangan DC variabel dengan menggunakan komponen SCR. Pembahasan dan perancangan terbatas pada masalah peralatan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC yang dapat diubah-ubah nilainya, dengan menggunakan komponen semikonduktor SCR. Tegangan DC yang dihasilkan ini dapat digunakan untuk memberikan catu daya

pada motor DC lampu penerangan, pemanas ruangan, dan sebagainya. Berbagai macam beban ini adalah di luar cakupan dari penulisan tugas akhir ini, dan tidak semuanya dibahas dalam tulisan ini.

1.4. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dimulai dengan pendahuluan, yang meliputi tujuan penulisan, latar belakang, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Ini semua disajikan pada bab pertama. Bab kedua dari tulisan ini mengutarakan mengenai *silicon controlled rectifiers* yang mencakup pengenalan *silicon controlled rectifiers*, bahan dan simbol SCR, beberapa aplikasi dari SCR, dan percobaan prinsip kerja SCR. Semua bahasan ini dilengkapi dengan gambar yang sesuai dengan pokok bahasan. Selanjutnya adalah bab tiga, yang mengetengahkan pembahasan komponen pada sumber tegangan DC variabel yang menggunakan SCR. Bab ini meliputi optoisolator, *operational amplifier*, penguat operasional ideal, penguat operasional nyata, rangkaian dasar penguat operasional, pembanding, dan rangkaian pewaktu monostabil. Sama seperti bab sebelumnya, pada bab tiga ini disajikan pula beberapa gambar untuk ilustrasi dari bahasan yang diberikan. Bab terakhir dari tulisan tugas akhir ini menyajikan tentang rangkaian sumber tegangan DC variabel dengan menggunakan SCR. Ini tercakup dalam bab empat, di mana pada bab ini disajikan bagian penting dari seluruh tulisan, yaitu *pentriggeran* melalui optoisolator, yang tentu saja yang dimaksud adalah *pentriggeran* SCR, dan rangkaian sumber tegangan DC variabel. Di samping gambar yang menunjukkan cara *pentriggeran* dengan melalui optoisolator, pada bab ini disajikan pula gambar

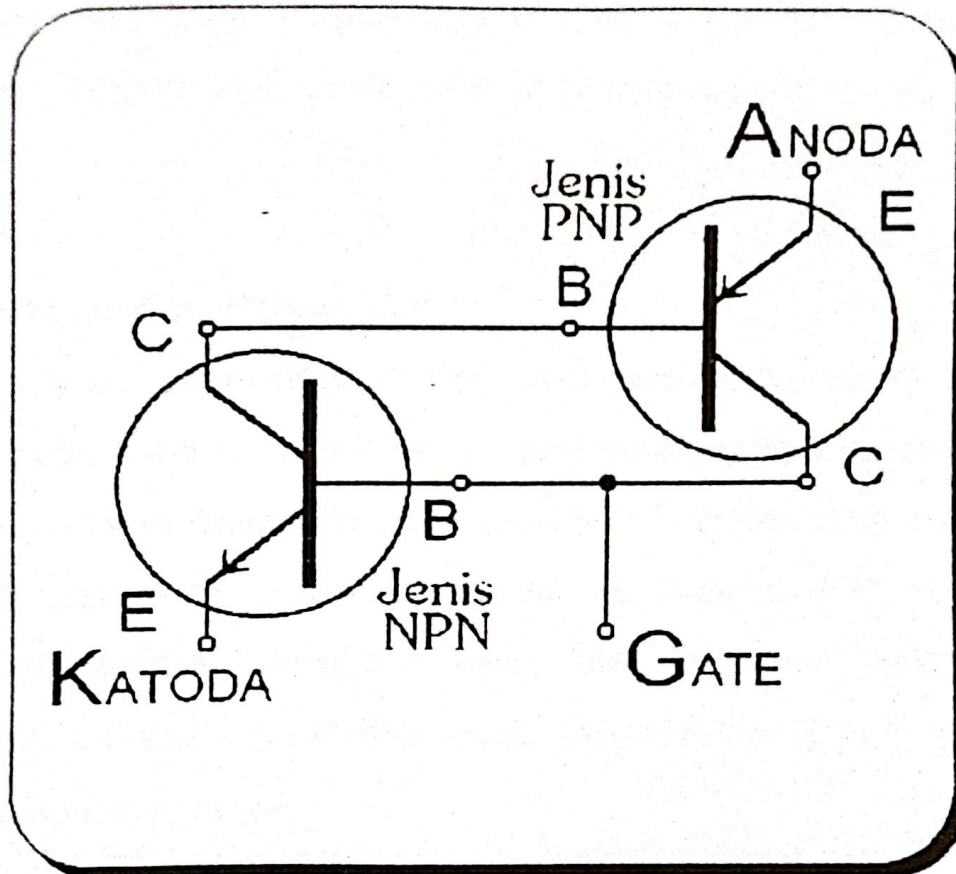
rangkaian dari peralatan yang dirancang dalam bentuk diagram blok. Bagian terakhir dari tulisan ini menyajikan beberapa kesimpulan yang dapat dipetik dari keseluruhan tulisan ini.

B A B II

SILICON CONTROLLED RECTIFIERS

2.1. Pengenalan *Silicon Contolled Rectifiers*

Untuk mengenal *Silicon Controlled Rectifiers* (SCR), dapat dijelaskan melalui kombinasi dua transistor, masing-masing jenis PNP dan NPN, seperti ditunjukkan pada gambar 2-1. Emiter dari transistor PNP berfungsi sebagai ANODA. Basis dari transistor PNP ini dihubungkan dengan kolektor dari transistor NPN. Sedangkan Kolektor dari transistor PNP dihubungkan dengan basis dari transistor NPN, di mana selanjutnya berfungsi sebagai GERBANG. Sisanya, yaitu emiter dari transistor NPN bertindak sebagai KATODA. Dengan demikian, gabungan dari transistor PNP dan NPN pada gambar 2-1 itu dapat menjalankan fungsi sebagai komponen SCR, dengan tiga elektroda, yaitu ANODA, KATODA, dan GERBANG (*gate*).



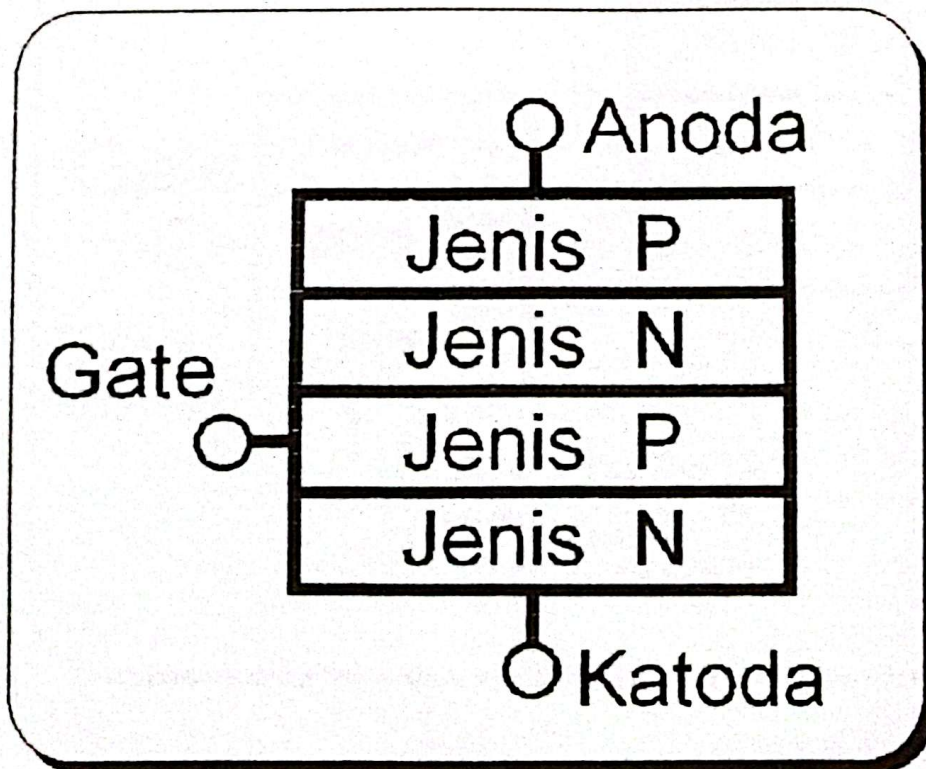
Gambar 2.1. Kombinasi dua transistor jenis PNP dan NPN, yang berfungsi sebagai SCR.

Bila basis transistor NPN sebagai GERBANG mendapat tegangan yang lebih positif daripada emitor transistor NPN sebagai KATODA, maka akan mengalir arus basis ke emitor dari transistor NPN. Akibat adanya arus basis ini, pada transistor NPN akan mengalir arus kolektor yang lebih besar menuju emiter. Oleh karena itu, tegangan basis transistor PNP akan turun, yang mengakibatkan pada transistor PNP akan mengalir arus emiter yang besar dari emiter sebagai ANODA. Arus ini akan tetap mengalir, meskipun pada GERBANG tidak diberikan tegangan dari luar lagi.

Arus ini akan berhenti bila harganya diturunkan sampai harga tertentu, harga arus ini pada SCR disebut arus penahan (*holding current*).

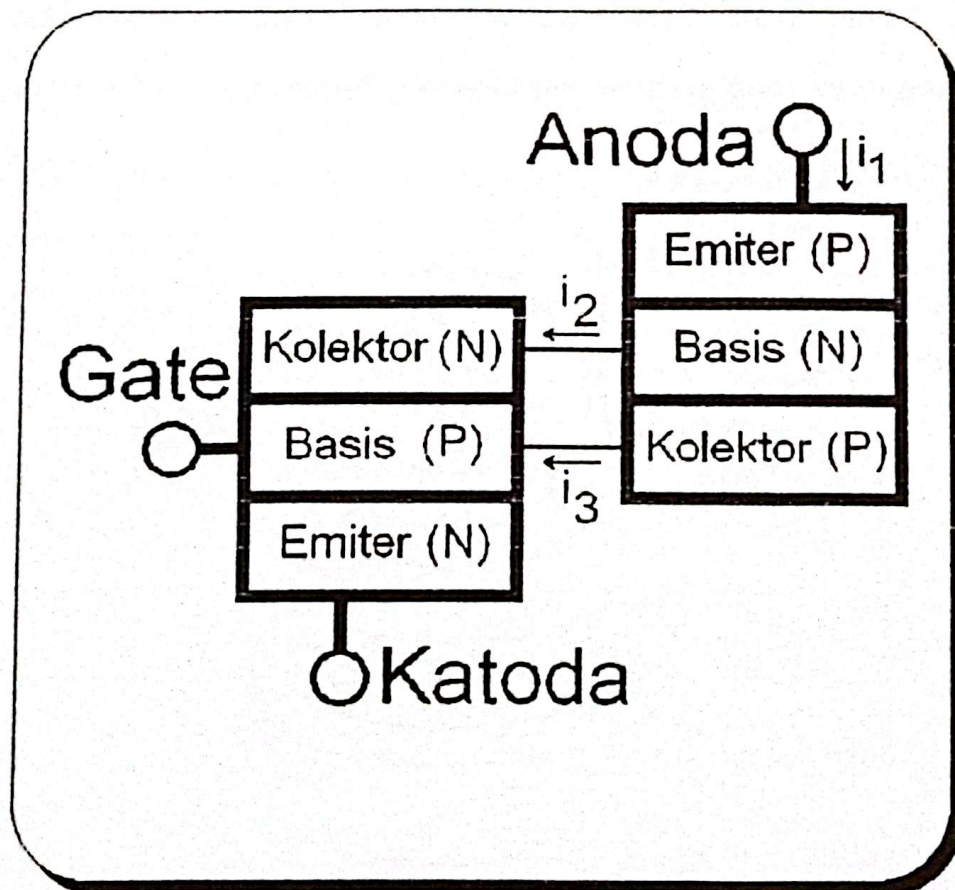
2.2. Bahan dan Simbol SCR

Silicon Controlled Rectifiers (SCR), terbuat dari empat lapis bahan semikonduktor jenis N dan P, masing-masing lapis bergantian jenisnya, seperti dipaparkan pada gambar 2.2. Bagian ujung adalah jenis P, dan ujung lainnya adalah jenis N. Ujung jenis P adalah elektroda ANODA, sedangkan ujung jenis N adalah elektroda KATODA. Elektroda GERBANG adalah semikonduktor jenis P yang berada di lapisan tengah.



Gambar 2.2. Empat lapisan bahan semikonduktor yang membentuk SCR.

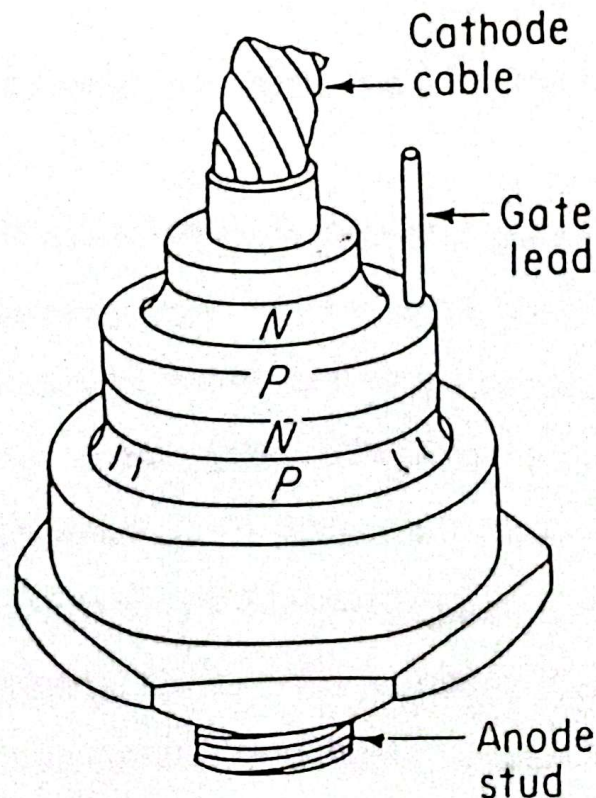
Empat lapisan semikonduktor yang menjadi komponen SCR ini adalah sesuai dengan penjelasan pengenalan SCR yang digambarkan menggunakan dua transistor gambar 2.1. Oleh karena transistor terdiri dari tiga lapis bahan semikonduktor, maka paduan dua transistor pada gambar 2.1 dapat diwujudkan dengan empat lapisan bahan semikonduktor. Ini ditunjukkan pada gambar 2.3, di mana SCR terdiri dari dua bagian yang masing-masing terdiri dari tiga lapis bahan semikonduktor.



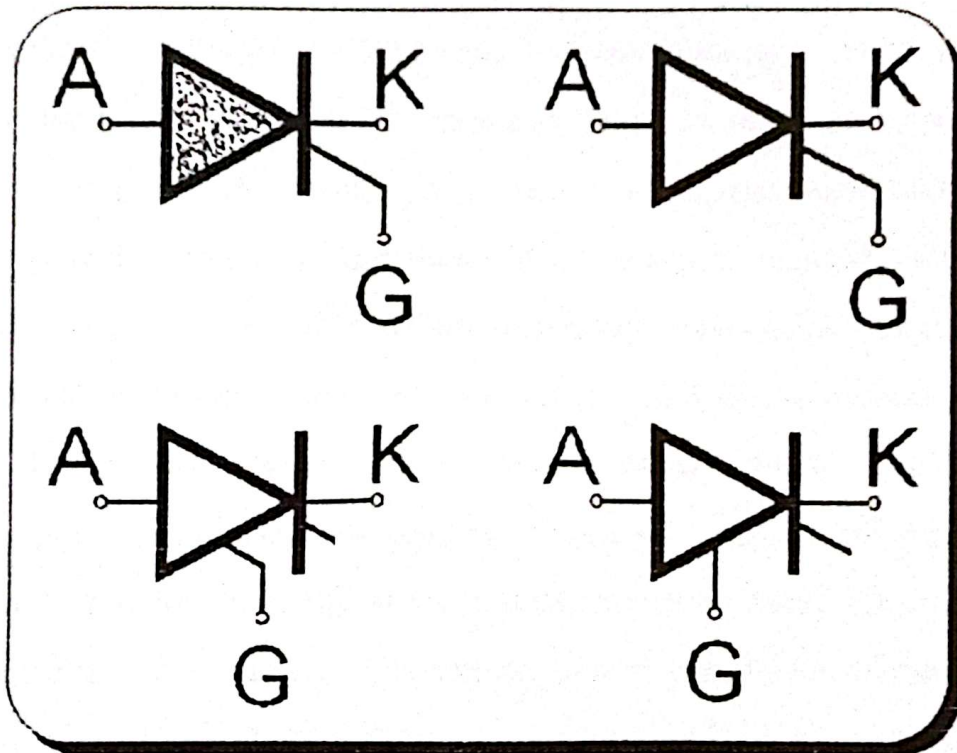
Gambar 2.3. SCR sebagai paduan dua transistor, yang masing-masing terdiri dari tiga lapis bahan semikonduktor.

Arus yang mengalir dari elektroda ANODA melalui SCR menuju KATODA, dinyatakan sebagai i_1 . Arus ini, pada gambar 2.3 digambarkan juga sebagai arus emitor dari transistor PNP. Arus i_2 adalah arus kolektor dari transistor NPN, sedangkan i_3 merupakan arus kolektor dari transistor PNP. Dari gambar itu terlihat persamaan : $i_1 = i_2 + i_3$

Wujud fisik dari suatu SCR diperlihatkan pada gambar 2.4. Bagian yang berupa kabel merupakan KATODA, sedangkan kasis (badan) SCR adalah sebagai ANODA. Lapisan semikonduktor jenis P di bawah katoda menjadi elektroda GERBANG. SCR seperti pada gambar 2.4 tersebut dapat mengalirkan arus sampai setengah kilo ampere.



Gambar 2.4. Wujud fisik dari SCR.



Gambar 2.5. Beberapa simbol SCR.

Simbol SCR dilukiskan pada gambar 2.5. di mana beberapa simbol sering digunakan seperti terlihat pada gambar, akan tetapi semuanya serupa dengan simbol semikonduktor dioda, yang diberi tambahan elektroda ketiga yaitu GERBANG. Ini benar, karena memang SCR merupakan suatu penyearah, sama halnya dengan semikonduktor dioda. Hanya pada semikonduktor dioda penyearahan terjadi secara langsung, artinya arus langsung mengalir setelah adanya tegangan bias maju. Ini berbeda dengan SCR, di mana penyearahan dapat dikontrol melalui elektroda GERBANG.

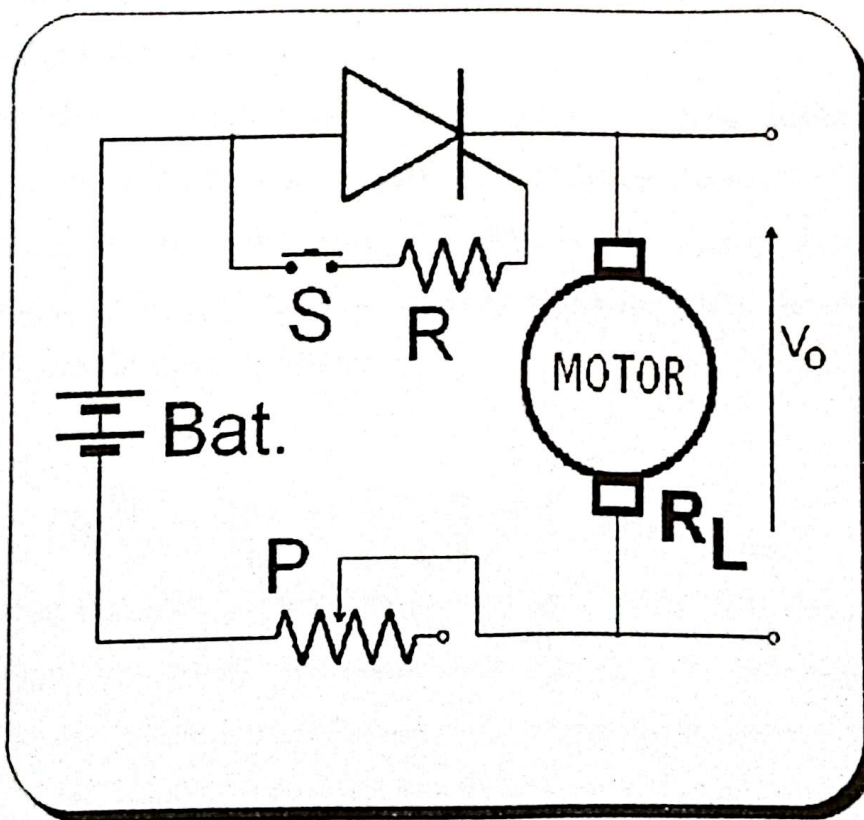
2.3. Beberapa Aplikasi dari SCR

Dengan kemajuan teknologi semikonduktor sehingga memungkinkan dibuatnya SCR dengan harga dasar arus dan tegangan yang relatif tinggi, yang dapat mencapai kiloampere maupun kilovolt, maka penggunaan SCR menjadi sangat luas. Penggunaan ini meliputi, baik dalam peralatan elektronika maupun peralatan sistem tenaga listrik. Secara umum, SCR dapat dikatakan sebagai komponen utama untuk tujuan penyearahan, saklar, penguat, atau graduator. Penggunaan sebagai penyearah jelas bahwa SCR adalah memang suatu penyearah (*rectifier*). Sebagai saklar karena SCR dapat digunakan untuk menghidup-matikan peralatan arus bolak balik. SCR dapat dianggap pula sebagai peralatan penguat karena dapat mengontrol daya atau arus melalui pengaturan sinyal gerbang (*gate*) yang relatif kecil. Sebagai graduator, SCR berfungsi untuk menaikturunkan intensitas nyala lampu, kecepatan motor DC dan sebagainya. Untuk tujuan ini, dulu digunakan transformator atau tahanan geser. Penggunaan trafo menimbulkan masalah ukuran yang besar dan berat, harga mahal, cepat rusak karena adanya geseran mekanik dan loncatan api, dan pemeliharaan yang relatif rumit. Sedangkan tahanan geser, selain besar dan berat, mahal, pemeliharaan sulit, dan cepat rusak, juga timbul kendala besarnya energi listrik yang terbuang berupa panas. Dengan digunakannya SCR, semua kendala tersebut boleh dikatakan hilang. Berkat beberapa sifat yang baik itu, penggunaan SCR sangat

luas, antara lain pada pengaturan motor listrik, pemanas ruangan, lampu penerangan, dan peleburan logam.

2.4. Percobaan Prinsip Kerja SCR

Prinsip dan cara kerja SCR dapat diilustrasikan pada rangkaian percobaan gambar 2.6.



Gambar 2.6. Rangkaian percobaan prinsip kerja SCR.

Bila SCR mendapat tegangan bias maju, yaitu terminal anoda mendapat tegangan positif terhadap terminal katoda, maka SCR dapat mengalirkan arus listrik. Mengalirnya arus ini baru mulai setelah elektroda gerbang mendapat pacu (*trigger*) yang berupa suatu pulsa positif. Mengalirnya arus ini ditandai dengan berputarnya

motor beban R_L pada rangkaian gambar 2.6. Motor ini akan berputar terus, meskipun elektroda gerbang tidak diberi pulsa lagi. Jadi hanya cukup satu kali pacu saja untuk mengalirkan arus. Sekarang, bagaimana untuk mematikan motor itu. Tentu saja kalau batere sumber tegangan diputus, tentu motor akan berhenti. Akan tetapi ternyata tidak perlu diputus, melainkan cukup dengan menurunkan arus sampai mencapai harga arus penahan (*holding current*) saja, maka arus akan berhenti. Penurunan arus ini dilakukan dengan mengeser potensiometer P.

Resistor R mempunyai harga tertentu, yang disesuaikan dengan arus dan tegangan gerbang terhadap terminal katoda. Misalnya arus gerbang adalah $I_G = 6$ mili ampere, tegangan gerbang - katoda adalah $V_{GK} = 0,6$ volt, dan tegangan masukan (batere) $V_{in} = 12$ volt, maka harga R adalah :

$$R = \frac{V_{in} - V_{GK}}{I_G} = \frac{12 - 0,6}{6 \times 10^{-3}} = 1,9 K\Omega$$

Harga tersebut adalah nilai maksimum R agar SCR dapat aktif (ON, mengalirkan arus). Semakin kecil nilai R, arus gerbang akan semakin besar. Untuk R bernilai nol, arus cerbang menjadi :

$$\frac{V_{in}}{V_{GK}} I_G = \frac{12}{0,6} \times 6 mA = 120 mA$$

Harga ini masih diperbolehkan, karena harga maksimum arus gerbang agar SCR tidak rusak biasanya kira-kira 2 ampere. Akan tetapi, untuk tegangan batere yang lebih besar, harga minimum R perlu diperhitungkan lagi.

B A B III
KOMPONEN PADA SUMBER TEGANGAN DC
VARIABEL YANG MENGGUNAKAN SCR

3.1. Optoisolator

LED (light emitting diode, dioda yang memancarkan sinar), merupakan peralatan yang dapat mengubah tenaga listrik ke cahaya dengan panjang gelombang tertentu. LED dapat memancarkan cahaya yang berwarna-warni, dengan berbagai macam bentuk, sesuai dengan kebutuhan, misalnya untuk lampu indikator, lampu disko, lampu dekorasi, dan sebagainya. Untuk itu dua warna atau lebih dapat digabungkan menjadi satu untuk menghasilkan warna yang lain. (4)

Di samping cahaya yang tampak, seperti untuk aplikasi artistik tersebut di atas, *LED* dapat pula memancarkan cahaya yang tak tampak mata, yaitu *LED* merah infra. Cahaya merah infra ini

seringkali digunakan untuk keperluan kontrol jauh (*remote control*), sensor jarak, sensor untuk alat pencacah, sensor obyek yang bergerak, dan sebagainya.

Komponen opto yang digunakan sebagai pasangan dari *LED* adalah peralatan yang peka cahaya. Peralatan ini digunakan untuk mendeteksi cahaya atau sebagai sensor untuk pengukur kuat cahaya. Berbagai peralatan digunakan untuk keperluan ini, misalnya foto dioda, foto transistor, sel surya, *LDR (light dependent resistor)*, dan sebagainya, di mana komponen ini dapat disebut sebagai fotodetektor. Pada perancangan alat pada tugas akhir ini, digunakan pasangan *LED - fotodetektor*, yang terpadu menjadi satu kesatuan, yang disebut *optoisolator* atau *optokopler*, di mana komponen ini langsung berhubungan dengan *SCR*.

3.2. Operational Amplifier

Biasanya, penguat operasional (*OPAMP, operational amplifier*) dibuat dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan serbaguna. Penguatannya sangat tinggi, dapat digunakan sebagai penguat DC dengan masukan deferensial (dua masukan yang berimbang) dan keluarannya berujung tunggal (satu keluaran), serta dapat menggunakan umpan balik luar untuk mengontrol karakteristik tanggapannya.

Di dalam daerah batas kemampuannya, *opamp* dapat dipandang sebagai penguat yang benar-benar universal (serbaguna).

Opamp adalah komponen yang sangat ekonomis dalam pemenuhan berbagai macam kebutuhan, misalnya untuk penyaluran sinyal, pembangkitan sinyal, penyaring aktif, pembanding, penguat tegangan, pengukuran, dan pengontrolan secara elektronik, maupun untuk fungsi perhitungan matematik tradisional. (3)

3.2.1. Penguat Operasional Ideal

Penguat operasional ideal mempunyai beberapa sifat sebagai berikut :

- Penguatan gelung terbuka tak terhingga,
- Impedansi masukan tak terhingga,
- Impedansi keluaran nol,
- Tegangan *offset* nol,
- Lebar jalur (*bandwidth*) tak terhingga,
- Waktu tanggap (*respons*) nol,
- Variasi karakteristik nol terhadap perubahan input komon-mode,
- Variasi karakteristik nol terhadap perubahan tegangan catu daya,
- Variasi karakteristik nol terhadap temperatur.

3.2.2. Penguat Operasional Nyata

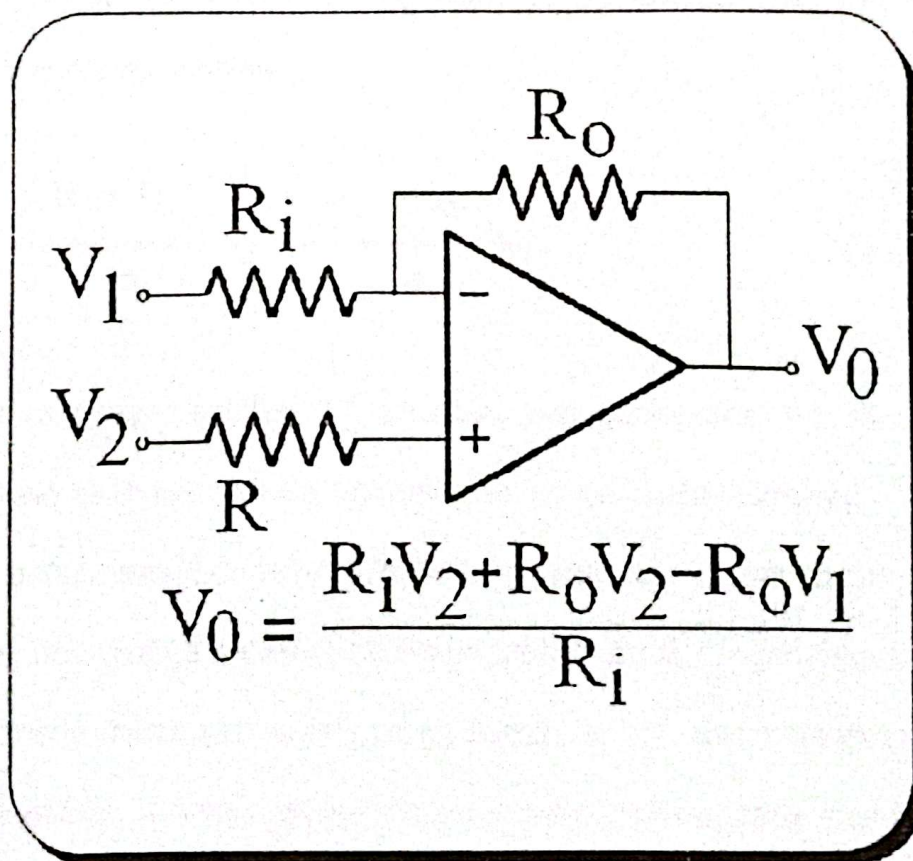
Opamp nyata (riil, yang sesungguhnya), ternyata tidak dapat menghasilkan karakteristik tak terhingga dan nol tersebut. Namun dewasa ini telah tersedia tipe-tipe yang karakteristiknya makin mendekati batas ideal, sehingga pada kebanyakan penerapan dalam *opamp* komersil, SR_{\min} bisa terletak antara $0,02 \text{ V}/\mu\text{S}$. Untuk penerapan *switching*, pabrik mengeluarkan juga jenis tertentu yang dapat digolongkan sebagai *high slew rate* (dengan SR_{\min} antara 3 dan $30 \text{ V}/\mu\text{S}$ dan dalam tabel diberi kode HSR = *High Slew Rate*) atau : *extra high slew rate* (dengan SR_{\min} di atas $30 \text{ V}/\mu\text{S}$ dan dalam tabel diberi kode XSR = *Xtra-high Slew Rate*). Karakteristik *opamp* yang penting untuk beberapa penerapan tertentu adalah kemampuannya menghasilkan tegangan puncak pada frekuensi tinggi. Ini ditentukan oleh *power bandwidth* atau *full power respons*nya, f_p . Bila *opamp* dirancang khusus untuk memperkuat gelombang sinus frekuensi audio, *power bandwidth* dinyatakan dalam lembar datanya. Akan tetapi, bila tidak dicantumkan, dapat dihitung dari SR_{\min} melalui hubungan $f_p = SR/(2TE_{op})$, di mana E_{op} adalah tegangan puncak output penguat. Karakteristik *switching opamp* lainnya adalah *settling time* (waktu menetap), yaitu waktu yang dibutuhkan *output* untuk menetap pada suatu nilai yang berada dalam persentase tertentu dari nilai akhirnya sebagai tanggapan terhadap loncatan (*step*) tegangan *input*.

Blasanya lembar data tidak mencantumkan batasan *settling time*, sehingga para ahli telah sepakat untuk menggunakan *slew rate*

dan *power bandwidth* sebagai patokan untuk memperkirakan unjuk kerja *settling time* relatif dalam membandingkan arau memilih penguat. Penyimpangan tersebut tidak terlalu berpengaruh dalam penggunaan penguat operasional.

3.3. Rangkaian Dasar Penguat Operasional

Rangkaian dasar untuk penguat operasional terdiri dari rangkaian terpada OPAMP dan tiga resistor, seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Rangkaian dasar penguat operasional.

Sebagaimana rumus dasar untuk rangkaian yang menggunakan penguat operasional, tegangan keluaran untuk rangkaian dengan masukan yang dihubungkan kepada masukan terbalik (inverting) dapat dituliskan sebagai :

$$V_o = - \frac{R_o}{R_1} V_1 \quad (3-1)$$

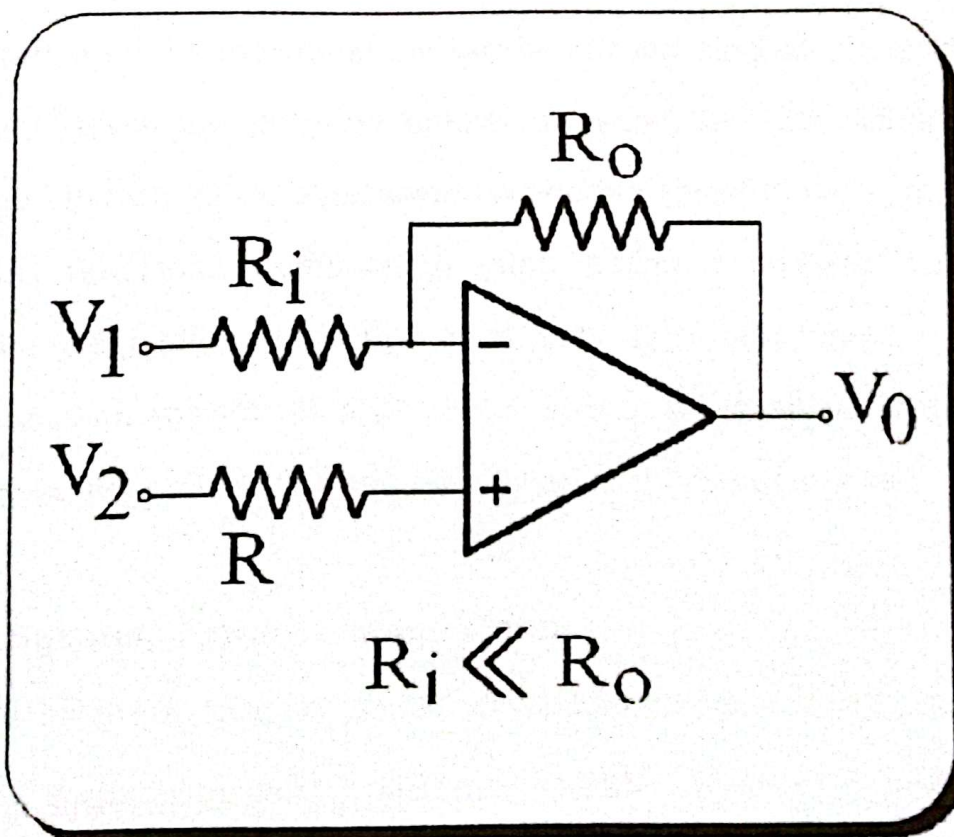
Hal ini berlaku bila V_2 ditanahkan, yaitu $V_2 = 0$, dan masukan diberikan pada terminal masukan terbalik. Sedangkan bila masukan dihubungkan pada masukan langsung, dan V_1 ditanahkan, yaitu $V_1 = 0$, keluaran masukan tak terbalik (non inverting) menjadi :

$$V_o = \frac{R_1 + R_o}{R_1} V_2 = \left(1 + \frac{R_o}{R_1} \right) V_2 \quad (3-2)$$

Pada rangkaian gambar 3.1 tersebut, dari persamaan 3-1, terlihat bahwa keluaran akan menjadi nol bila masukan nol dan / atau hambatan $R_o = 0$. Pada persamaan 3-2, tampak bahwa keluaran bernilai nol hanya jika masukan V_2 nol. Harga keluaran minimum adalah sama dengan tegangan masukan, dimana dalam hal ini penguatan adalah $A_v = 1$, dan ini terjadi bila $R_o = 0$. Penguatan minimum dengan masukan dimasukkan pada masukan langsung ini, digunakan sebagai rangkaian penyangga (*buffer*). Pada rangkaian penyangga, tegangan masukan tidak diperkuat, tetapi arus bisa diperkuat.

3.4. Pembanding

Pembanding dirancang dengan menggunakan komponen utama yang berupa penguat operasional. Fungsi pembanding di sini adalah membandingkan antara level dua tegangan masukan. Ini adalah sesuai dengan komponen penguat operasional yang di gunakan, di mana OPAMP mempunyai dua terminal masukan yaitu masukan langsung (*non inverting input*) dan masukan terbalik (*inverting input*). Jadi, pembanding membandingkan level antara masukan langsung dan masukan terbalik. Rangkaian pembanding ini seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rangkaian pembanding.

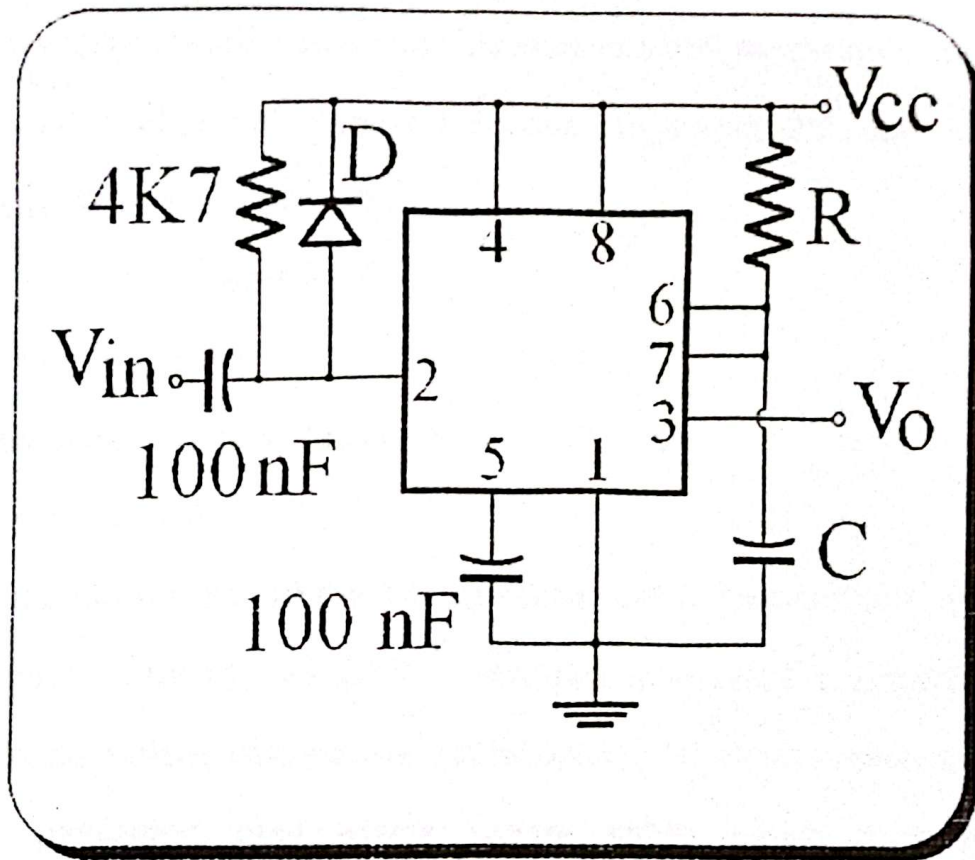
Kalau kita bandingkan antara gambar 3.1 dan gambar 3.2, terlihat bahwa rangkaian pembanding sebenarnya sama dengan rangkaian dasar penguat operasional. Akan tetapi pada rangkaian pembanding terdapat persyaratan bahwa $R_0 \gg R_i$. Secara ideal, persyaratan itu dapat dipenuhi dengan mudah dengan tiga cara, yaitu :

1. $R_0 = \infty$, dan $R_i = \text{sembarang}$,
2. $R_i = 0$, dan $R_0 = \text{sembarang}$,
3. $R_i = 0$, dan $R_0 = \infty$.

Dalam hal ini resistansi nol berarti hubung singkat, sedangkan resistansi tak-hingga (*infinity*) berarti rangkaian terbuka. Untuk dua harga itu, berarti tidak diperlukan komponen resistor lagi. Dengan demikian, rangkaian pembanding yang paling sederhana adalah rangkaian yang memenuhi cara pada butir 3 di atas, yaitu hanya diperlukan satu resistor R saja. Satu resistor ini kalau perlu dapat diberi harga nol, sehingga tidak diperlukan resistor sama sekali.

3.5. Rangkaian Pewaktu Monostabil

Suatu pulsa tunggal dapat dihasilkan dengan menggunakan rangkaian terpadu pewaktu, misalnya IC-555. Rangkaian pewaktu monostabil yang menggunakan IC-555 ini dapat diperlihatkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Rangkaian pewaktu monostabil.

Masukan ambang kaki 6 disatukan dengan keluaran *discharge* (pengosongan) kaki 7. Gabungan dua kaki ini dihubungkan dengan *ground* (bumi) melalui kapasitor C, dan dihubungkan dengan *Vcc* melalui resistor R. Masukan ambang kaki 2 dihubungkan dengan *Vcc* melalui dioda paralel dengan resistor 4K7, sehingga kaki 2 selalu tinggi dalam keadaan normal. Masukan pulsa negatif pada masukan ambang kaki 2 akan menyebabkan keluaran kaki 7 memberikan impedansi tinggi sehingga kapasitor C mulai diisi (*charged*) oleh *Vcc*

melalui resistor R. Periode pulsa yang dihasilkan oleh rangkaian monostabil ini adalah waktu yang diperlukan untuk pengisian C mulai dari kosong atau nol sampai mencapai tegangan $2/3$ dari V_{cc} , sehingga diperoleh hubungan :

$$2/3 = 1 - \exp(-T/RC)$$

$$\exp(-T/RC) = 1/3$$

Periode pulsa monostabil menjadi :

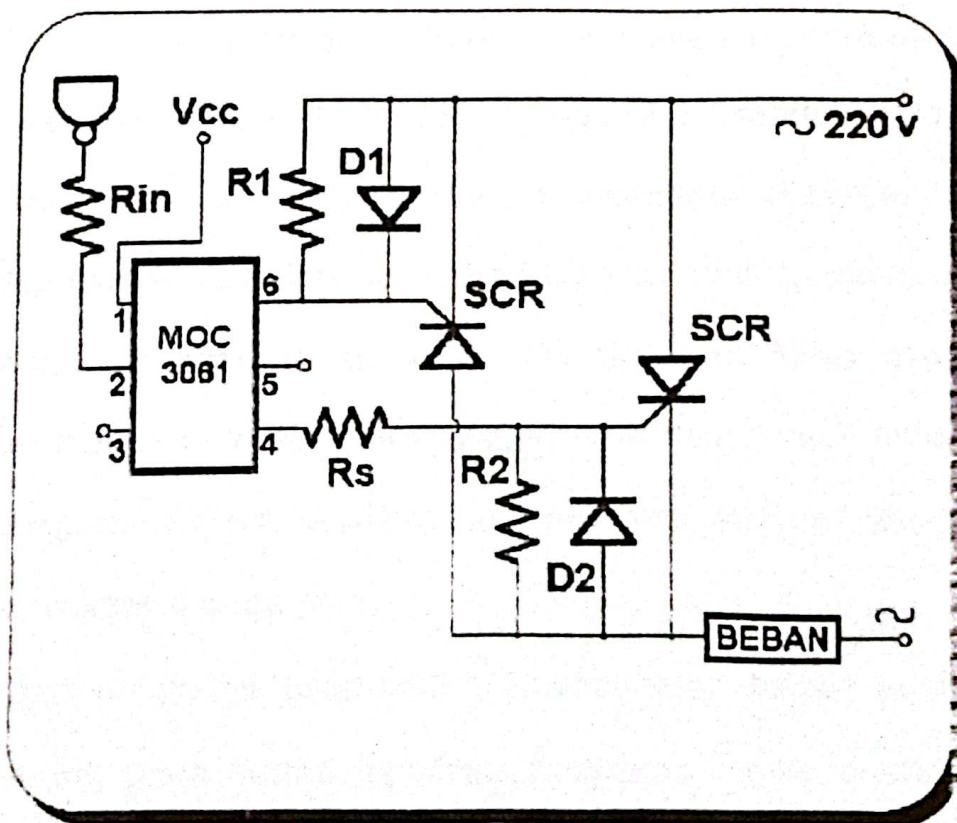
$$T = RC \ln 3 \quad (2)$$

Rangkaian monostabil ini digunakan untuk memberikan pulsa pacu pada gerbang dari SCR. Keluaran monostabil memberikan pulsa pacu melalui optoisolator (optokopler). Ini dimaksudkan agar terjadi pemisahan atau isolasi secara listrik antara rangkaian elektronik dengan rangkaian tegangan 220 volt pada SCR. Jadi antara rangkaian monostabil dengan rangkaian pada SCR dihubungkan (dikopel) melalui sinyal optis.

3.6. Pentriggeran Melalui Optoisolator

Optoisolator di sini digunakan untuk tujuan pengisolasian antara rangkaian bagian elektronik dengan bagian tenaga. Bagian tenaga meliputi rangkaian dengan arus dan tegangan yang relatif lebih besar daripada rangkaian bagian elektronik. Oleh karena itu, agar bagian elektronik tidak rusak akibat terkena tegangan yang lebih tinggi tersebut, maka perlu adanya pengisolasian secara listrik

antara rangkaian bagian elektronk dan bagian tenaga. Secara konvensional, pengisolasiam tersebut dilakukan dengan menggunakan transformator. Setelah adanya optoisolator atau optokopler, maka untuk pengisolasiian digunakan optoisolator. Di dalam tugas akhir ini, digunakan optoisolator jenis MOC3061, di mana rangkaiannya diberikan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Rangkaian pentriggeran melalui optoisolator.

Bila LED dari optoisolator mendapat tegangan bias maju, yaitu anoda pada kaki 1 mendapat tegangan positif terhadap katoda pada kaki 2, maka LED akan menyala (mengeluarkan sinar merah infra). Kondisi ini merupakan keadaan aktif (*On-state*) di mana arus akan mengalir pada bagian fotodetektor. Pada keadaan aktif ini, resistansi internal dari fotodetektor menjadi relatif rendah, yaitu sebesar : $R_d = 3\Omega + \frac{1,5\text{volt}}{I_{TM}}$, di mana bila harga $I_{TM} = 0,1$ ampere maka harga resistansi internal ini menjadi $R_d = 18$ ohm.

Sebaliknya, bila LED dari optoisolator mendapat tegangan bias balik, yaitu anoda pada kaki 1 mendapat tegangan negatif terhadap katoda pada kaki 2, maka LED akan mati (padam). Kondisi ini merupakan keadaan tertahan (*Off-state*) di mana arus akan berhenti mengalir, yaitu hanya tinggal arus bocor kecil seharga 60 nano ampere. Dalam keadaan ini, resistansi internal fotodetektor menjadi sekitar 4 gega ohm.

Dari rangkaian gambar 3.4 terlihat jelas bahwa pentrigeran SCR terjadi pada waktu keluaran rangkaian logika rendah, yaitu keluaran gerbang NAND rendah (*L, Low*). Pada rangkaian tersebut diberikan harga $R_1 = R_2 = 330$ ohm, $R_3 = 27$ ohm, dioda D_1 dan D_2 adalah 1N4001, sedangkan nilai R_{in} diatur disesuaikan dengan gerbang NAND sedemikian rupa sehingga diperoleh arus maju (*forward current*) sebesar $I_f = 30$ mili ampere pada waktu keadaan aktif. Kalau diperhatikan, sebenarnya rangkaian sumber tegangan

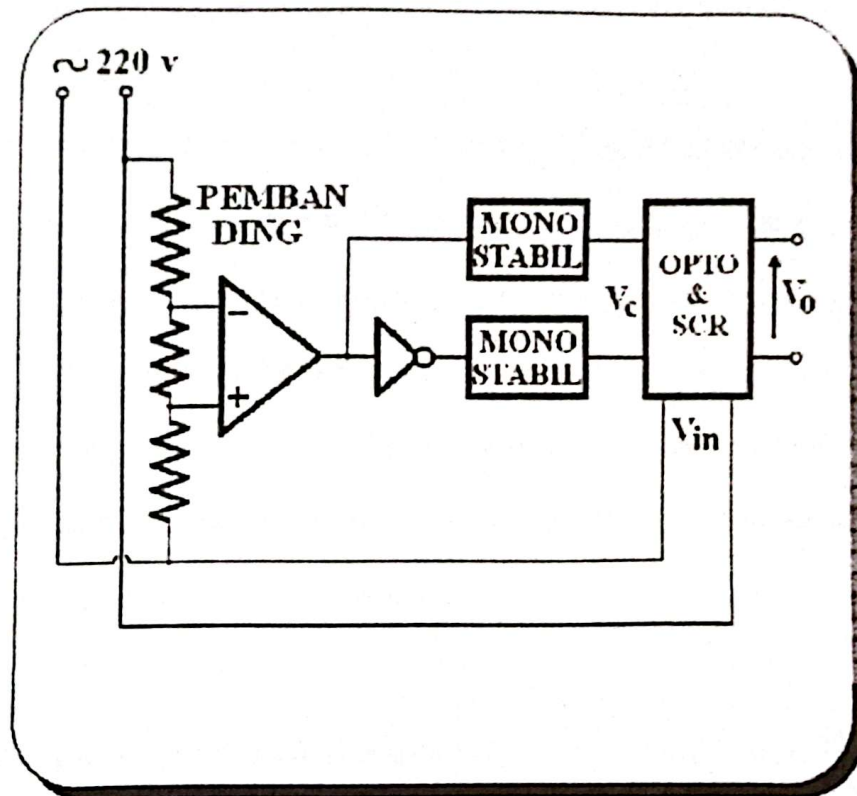
pada gambar 3.4 tersebut menghasilkan arus bolak-balik (AC, *alternating current*) karena adanya dua SCR dengan arah yang berlawanan satu sama lain. Akan tetapi, untuk menghasilkan sumber tegangan DC tidak ada kesulitan, tinggal mengambil salah satu SCR, misalnya SCR yang menghadap ke bawah yang dibuang. Dioda D_2 dan resistor R_2 masih diperlukan, akan tetapi kedua-duanya dapat pula dihubung singkat, sehingga tidak diperlukan lagi. Untuk mendapatkan sinyal logika yang tepat, maka gerbang NAND harus digantikan dengan gerbang OR. Pada tugas akhir ini, dua SCR tetap dipergunakan, sehingga keluaran tetap AC. Untuk mendapatkan tegangan DC, dipergunakan rangkaian dioda jembatan (*bridge*), sehingga merupakan penyearah gelombang penuh. Dibandingkan satu SCR, pada rangkaian dua SCR ini menghasilkan tegangan maksimum yang lebih besar. Ini disebabkan karena gelombang yang digunakan adalah satu lingkaran (*cycle*) penuh.

B A B IV

RANGKAIAN LENGKAP, PERHITUNGAN, DAN HASIL PENGUKURAN

4.1. Rangkaian Sumber Tegangan DC Variabel

Beberapa rangkaian yang digunakan pada perancangan peralatan sumber tegangan DC variabel ini telah dipaparkan pada bab 3, yaitu antara lain rangkaian pembanding, monostabil, dan pentriggeran dengan menggunakan SCR. Untuk mewujudkan rangkaian sumber tegangan DC variabel dengan menggunakan SCR sebagai penyearah, dapat disimak terlebih dulu diagram blok pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram blok rangkaian sumber tegangan DC variabel dengan menggunakan SCR.

Prinsip kerja dari rangkaian sumber tegangan DC tersebut adalah, dengan membandingkan tegangan antara dua kawat yang bertegangan 220 volt ac, akan diperoleh gelombang segitempat (gelombang persegi, *square wave*). Dua rangkaian monostabil digunakan untuk menghasilkan satu pulsa (*one shot*) pada masing-masing keluarannya. Masukan monostabil diperoleh dari gelombang persegi, di mana salah satunya dibalik (*inverted*) terlebih dulu menggunakan Inverter. Dalam prakteknya, Inverter ini terbuat

dari rangkaian penguat transistor NPN dalam konfigurasi emiter komon. ⁽⁵⁾

Keluaran dua monostabil ini, yang merupakan masukan kontrol V_c digunakan sebagai masukan gerbang OR sebagaimana dijelaskan pada bab 3.6. Keluaran gerbang OR ini digunakan sebagai sinyal kontrol, yang akan mengatur saat pengapian dari SCR, sehingga dihasilkan tegangan DC variabel, setelah terlebih dulu disearahkan menggunakan rangkaian jembatan dioda. Rangkaian lengkap dari alat ini dapat dilihat pada Lampiran.

4.2. Harga Efektif dan Rata-Rata

Harga efektif seringkali langsung disangkutkan dengan arus bolak-balik. Dalam kehidupan sehari-hari, untuk listrik bolak-balik biasanya hanya dikenal satu harga, yaitu harga tegangan efektif, meskipun sebenarnya masih ada nilai lain, yaitu nilai rata-rata, dan nilai puncak. Misalnya jaringan listrik di rumah (atau jaringan distribusi), langsung dinyatakan dengan harga 220 volt. ⁽¹⁾

Harga 220 volt untuk jaringan listrik ini merupakan harga efektif atau harga tegangan *rms* (*root mean square*). Dikatakan harga efektif karena memang harga ini adalah yang digunakan untuk perhitungan dalam menentukan daya yang dihasilkan. Misalkan digunakan kompor untuk memasak, yang menggunakan elemen dengan hambatan R tertentu. Energi yang dikeluarkan oleh kompor

tersebut adalah sama dengan kuadrat tegangan dibagi dengan R. Tegangan yang digunakan di sini adalah tegangan efektif, bukan tegangan puncak dan bukan rata-rata. Jadi energi yang dikeluarkan adalah fungsi dari tegangan efektif (untuk R konstan). Harga tegangan puncak dan harga tegangan rata-rata sama sekali tidak menentukan.

Untuk bentuk gelombang sinusoid, harga tegangan efektif adalah :

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (4-1)$$

Pada keluaran penyearah yang menggunakan rangkaian jembatan dioda, yaitu penyearah gelombang penuh, harga tegangan efektif adalah sama dengan pada tegangan bolak-balik seperti pada persamaan (4-1).

Persamaan (4-1) berlaku pula untuk penyearah setengah gelombang, karena harga perioda tetap sama dengan 2π . Akan tetapi, gelombang tegangan hanya eksis (ada) selama setengah siklus (*cycle*) saja, sehingga bila digunakan untuk penyearah setengah gelombang, persamaan (4-1) menjadi :

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \frac{V_m}{2} \quad (4-2)$$

Persamaan (4-1) dan (4-2), dua-duanya adalah untuk penyearah yang menggunakan dioda, baik tabung maupun semikonduktor. Untuk penyearah yang menggunakan SCR sebagai penyearah utama, permulaan perhitungan harga efektif tidak dihitung dari nol, melainkan mulai dari nilai sudut pengapian, α . Dengan demikian maka persamaan (4-1), bila menggunakan dua SCR menjadi :

$$\begin{aligned}
 V_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} \\
 V_{eff} &= V_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [1 - \cos 2\omega t] d\omega t} \\
 V_{eff} &= V_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\omega t - \frac{\sin 2\omega t}{2} \right]_{\alpha}^{\pi}} \\
 V_{eff} &= V_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]} \tag{4-3}
 \end{aligned}$$

Sedangkan bila digunakan satu SCR, yaitu setengah gelombang, maka persamaan (4-2) menjadi :

$$\begin{aligned}
 V_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} \\
 V_{eff} &= V_m \sqrt{\frac{1}{4\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [1 - \cos 2\omega t] d\omega t} \\
 V_{eff} &= V_m \sqrt{\frac{1}{4\pi} \left[\omega t - \frac{\sin 2\omega t}{2} \right]_{\alpha}^{\pi}} \\
 V_{eff} &= \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]} \tag{4-4}
 \end{aligned}$$

Harga rata-rata lebih banyak merepresentasikan untuk gelombang tegangan DC. Untuk tegangan DC yang rata, harga efektif adalah sama dengan harga tegangan rata-rata. Harga rata-rata dari gelombang tegangan dinyatakan dengan persamaan :

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad (4-5)$$

di mana V_{av} adalah harga tegangan rata-rata dan T adalah perioda.

Untuk gelombang sinusoid, harga T adalah 2π radian, sehingga harga rata-rata menjadi :

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \sin \omega t d\omega t \quad (4-6)$$

Persamaan (4-6) akan menghasilkan nilai rata-rata sama dengan nol. Oleh karena itu, untuk gelombang sinusoid telah disepakati bahwa tegangan rata-rata adalah :

$$V_{av} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{2V_m}{\pi} \quad (4-7)$$

Harga pada persamaan (4-7) tersebut di atas adalah sama dengan harga rata-rata dari tegangan keluaran penyearah gelombang penuh. Persamaan (4-7) berlaku pula untuk penyearah setengah gelombang, karena harga perioda tetap sama, yaitu 2π . Akan tetapi, gelombang tegangannya hanya eksis selama setengah siklus saja, sehingga bila digunakan untuk penyearah setengah gelombang, persamaan (4-7) menjadi :

$$V_{av} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{V_m}{\pi} \quad (4-8)$$

Kalau disimak, terlihat bahwa tegangan rata-rata dapat bernilai positif atau negatif. Sedangkan tegangan efektif selalu bernilai positif.

4.3. Contoh Aplikasi

Sebagai contoh dari penggunaan peralatan sumber tegangan DC variabel ini, dapat diberikan suatu solder listrik 100 watt. Misalkan solder itu terlalu panas bila digunakan untuk menyolder rangkaian terpadu. Ini dapat dilatasi dengan menggunakan sumber tegangan DC variabel seperti rancangan dalam tugas akhir ini. Bila digunakan SCR untuk penyearah gelombang penuh, maka tegangan keluaran dapat diatur dengan mengubah-ubah harga sudut pengaplan SCR. Misalnya harga sudut pengaplan diatur sebesar 80° , maka daya pada solder dapat berkurang dari 100 watt, dan dapat dihitung dengan mencari tegangan keluaran sumber tegangan DC tersebut :

Sudut pengaplan : $\alpha = 80^\circ = 1,4$ radian

Tegangan Keluaran :

$$V_o = V_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]}$$
$$V_o = 220\sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - 1,4 + \frac{\sin 2,8}{2} \right]}$$
$$V_o = 171,5 \text{ volt}$$

Sehingga daya keluaran adalah :

$$P_{80} = \left[\frac{171,5}{220} \right]^2 100 = 60,8 \text{ watt}$$

Dalam perhitungan di atas digunakan nilai tegangan keluaran efektif. Jelas dari perhitungan dan contoh aplikasi tersebut bahwa

nilai tegangan efektif sangat sering digunakan, baik pada sistem DC maupun AC.

4.4. Hasil Pengamatan

Pada percobaan pengukuran ini diamati harga tegangan keluaran efektif dari sumber tegangan DC variabel ini, bila nilai sudut pengapian diubah-ubah. Pengukuran sudut pengapian dilakukan menggunakan visualisasi gelombang tegangan dengan peralatan osiloskop. Harga sudut pengapian ini dikonversikan dari pengukuran waktu pengapian dalam satuan mili detik. Pengukuran pertama diawali dengan pengesetan waktu pengapian sebesar 1 mili detik, kemudian dinaikkan sampai maksimum dengan kenalkan masing-masing sebesar 0,5 mili detik. Tegangan efektif keluaran diukur menggunakan rms voltmeter. Hasil pengukuran ditabelkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran sudut pengapian dan tegangan keluaran efektif.

PENGUKURAN KE :	WAKTU PENGAPIAN [mill detik]	TEGANGAN EFEKTIF [volt]
1	1	218,3
2	1,5	216,9
3	2	212,3
4	2,5	207,6
5	3	203,2
6	3,5	190,6
7	4	183,4
8	4,5	170,8
9	5	155,6
10	5,5	136,0
11	6	120,4
12	6,5	104,4
13	7	85,4
14	7,5	64,9
15	8	50,1
16	8,5	33,2
17	9	14,8
18	9,5	7,9

Dari tabel 4.1 di atas terlihat bahwa tegangan keluaran akan turun dengan naiknya sudut pengapian. Sedangkan dari perhitungan yang diberikan pada bab 4.3 terlihat bahwa untuk hambatan beban yang konstan, daya keluaran akan berbanding lurus dengan kuadrat dari tegangan keluaran efektif.

4.5. Hasil Perhitungan

Dari hasil pengukuran tegangan keluaran efektif dengan mengubah-ubah sudut pengapian, yang ditabelkan pada tabel 4.1, dapat diperoleh faktor *ripple* dari keluaran sumber tegangan tersebut. Faktor *ripple* merupakan rasio antara tegangan keluaran efektif terhadap tegangan keluaran rata-rata. Hasil perhitungan ini ditabelkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Perhitungan faktor ripple.

WAKTU PENG. [mS]	α [deg]	TEG. EF. [volt]	TEG. RT. [volt]	F. RIPPLE [%]
1	18	218,3	193,2	112,0
1,5	27	216,9	187,3	115,8
2	36	212,3	179,2	118,5
2,5	45	207,6	169,1	122,8
3	54	203,2	157,2	129,2
3,5	63	190,6	144,0	132,4
4	72	183,4	129,6	141,5
4,5	81	170,8	144,5	149,1
5	90	155,6	99,0	157,1
5,5	99	136,0	83,5	163,8
6	108	120,4	68,4	176,0
6,5	117	104,4	54,1	192,9
7	126	85,4	40,8	209,3
7,5	135	64,9	29,0	223,7
8	144	50,1	18,9	265,0
8,5	153	33,2	10,8	307,4
9	162	14,8	4,8	308,3
9,5	171	7,9	1,2	658,3

Dari perhitungan pada tabel 4.2 terlihat bahwa sudut pengapian minimum adalah 18° . dengan waktu pengapian 1 mill detik. Pada harga sudut pengapian minimum ini diperoleh tegangan efektif 218,3 volt. Terjadinya penurunan dari tegangan masukan efektif sebesar 220 volt menjadi 218,3 volt ini disebabkan antara lain karena :

- 1) Sudut pengapian minimum tidak mencapai nol karena adanya resistor yang dihubungkan seri dengan potensiometer,
- 2) Adanya tegangan jatuh pada jembatan dioda sebesar 0,6 volt.

Terlihat pula bahwa terjadi penurunan tegangan efektif dan rata-rata seiring dengan kenaikan sudut pengapian. Sedangkan faktor ripple naik dengan kenaikan sudut pengapian. Ini berarti bahwa gelombang tegangan semakin tidak rata dengan kenaikan sudut pengapian.

Pada rangkaian tugas akhir ini, digunakan dua jenis penyearah, yaitu SCR dan jembatan dioda. SCR di sini lebih digunakan sebagai pengatur tegangan variabel. Oleh karena digunakan dua SCR maka tegangan yang dihasilkan menjadi bolak-balik (AC). Baru kemudian tegangan AC ini disearahkan menggunakan jembatan dioda. Penggunaan SCR bersama-sama dioda ini disebabkan :

1. Kalau digunakan dioda saja, maka tegangan keluaran tidak dapat variabel.
2. Kalau digunakan SCR saja, maka untuk satu SCR, akan dihasilkan tegangan yang lebih rendah dari tegangan dasar motor. Bila digunakan dua SCR maka tegangan yang dihasilkan adalah tegangan AC. Bila digunakan empat SCR maka biaya menjadi lebih mahal, yaitu diperlukan tambahan dua SCR lagi lengkap dengan perangkat pengatur sudut pengaplan.

Untuk menghasilkan tegangan variabel, dapat digunakan trafo atau tahanan geser. Penggunaan tahanan geser akan mengakibatkan pemborosan energi listrik. Ini terutama karena masalah disipasi daya yang relatif besar, yang terbuang berupa kalori, pada tahanan geser. Penggunaan trafo juga masih kurang efisien. Di samping itu, trafo mempunyai ukuran fisik yang relatif lebih besar daripada SCR, dan harganya pun relatif mahal dibandingkan penggunaan SCR.

K E S I M P U L A N

Sebagai kesimpulan, dapat dicatat beberapa hal sebagai berikut :

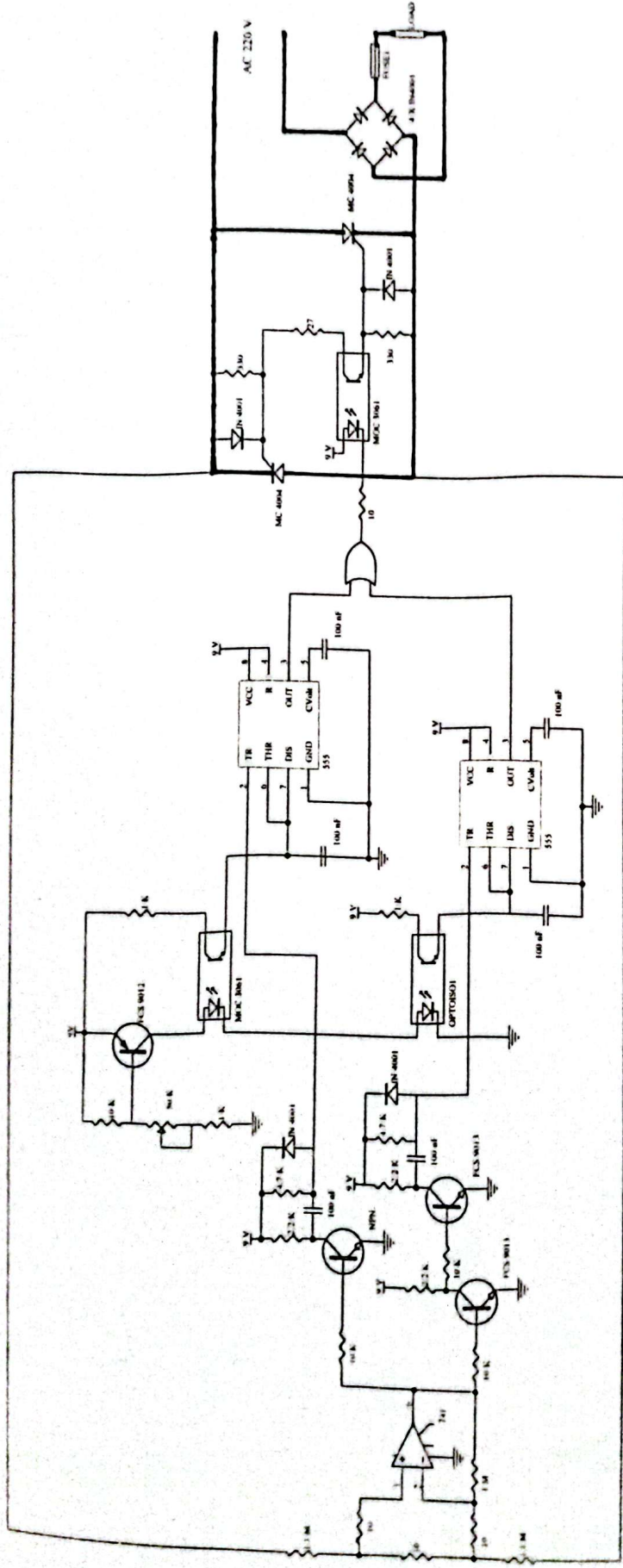
- a) Untuk berbagai keperluan, sering diperlukan adanya catu daya DC variabel,
- b) Secara konvensional, catu daya dengan tegangan variabel dapat diperoleh dengan menggunakan peralatan yang berupa transformator,
- c) Pada penggunaan transformator untuk menghasilkan tegangan variabel ini dijumpai banyak kendala atau kelemahan,
- d) Begitu pula penggunaan tahanan geser untuk menghasilkan tegangan variabel sudah jarang digunakan lagi. Ini terutama karena masalah disipasi daya yang relatif besar, yang terbuang berupa kalori,
- e) SCR merupakan jawaban atas berbagai kendala yang dijumpai dalam menghasilkan tegangan variabel yang menggunakan transformator dan tahanan geser.
- f) Harga faktor ripple naik dengan kenaikan sudut pengapian, yang berarti gelombang semakin tidak rata.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bimbhra, P.S., "Electrical Machinery", Khanna Publishers, Delhi-6, 1979.
2. BINATRONIKA, "Proyek Menggunakan IC 555".
3. Hughes, Frederick W, Ignatius Hartono : *Panduan OPAMP*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1990.
4. MOTOROLA, "Optoelectronics Device Data", Motorola Inc., USA, 1989.
5. Sutisno, "Rangkaian Digital dan Rancangan Logika", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989.
6. Sutisno, "Rangkaian Elektronika, Edisi SI (METRIK)", Penerbit Erlangga, Jakarta 1995.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1
SKEMA RANGKAIAN ALAT



No	Revisi	Uraian	Tgl
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

LAMPIRAN 2

FOTO ALAT



FOTO ALAT KESELURUHAN



FOTO INSTALASI PEMASANGAN ALAT

LAMPIRAN 3

DATA SHEET

LM 741/LM 741A/LM 741C/LM 741E

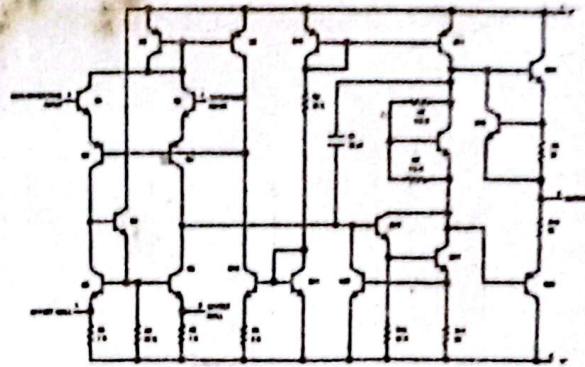
Penguat Operasi (Operational Amplifier)

Penjelasan umum

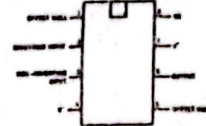
Seri LM 741 adalah penguat operasi untuk keperluan umum yang penampilannya lebih baik dari standar industri seperti LM 709. Mereka dalam banyak penerapan dapat dengan langsung menggantikan LM 709C, LM 201, MC 1439 dan 748.

Penguat-penguat itu memiliki sifat-sifat yang membuat penerapannya hampir tak dapat gagal: proteksi beban-lebih di masukan maupun di keluaran, tidak macet kalau jangkah ragam tunggal dilampaui, dan juga tidak akan berguncang.

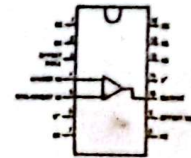
LM 741C/LM 741E adalah identik dengan LM 741/LM 741A terkecuali bahwa LM 741C/LM 741E penampilannya terjamin dalam jelajahan suhu antara 0° C hingga +70° C, dan tidak dalam -55° C hingga +125° C.



Kemasan Baris-berdua (DIL)



Kemasan Baris-berdua (DIL)



Tarif Maksimum Mutlak

	LM 741A	LM 741E	LM 741	741
Tegangan catu	±22 V	±22 V	±22 V	±18 V
Borosan daya	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Tegangan masukan diferensial	±30 V	±30 V	±30 V	±30 V
Tegangan masukan lama hubungsingkat keluaran	±15 V	±15 V	±15 V	±15 V
Jelajahan suhu operasi	-55° C hingga +125° C	0° C hingga +70° C	-55° C hingga +125° C	0° C hingga +70° C
Jelajahan suhu simpan	-65° C hingga +150° C	-65° C hingga +150° C	-65° C hingga +150° C	300° C
Suhu timah (Penyolderan 10 detik)	300° C	300° C	300° C	300° C

Karakteristik elektrik

PARAMETER	CONDITIONS	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	TA = 25°C										mV
	RS = 10kΩ			0.8	3.0	1.0	5.0	2.0	8.5		mV
	RS = 50Ω										mV
Average Input Offset Voltage Shift	TAMIN < TA < TAMAX										mV
	RS < 50Ω										mV
	RS = 10kΩ							6.0	7.5		mV
Input Offset Voltage Adjustment Range	TA = 25°C VS = -20V	-10				15					mV
Input Offset Current	TA = 25°C		3.0	3.0		2.0	2.0		2.0	2.0	nA
	TAMIN < TA < TAMAX			7.0		9.5	5.0		3.0	3.0	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							nA/°C
Input Bias Current	TA = 25°C		3.0	8.0		8.0	5.0		8.0	5.0	nA
	TAMIN < TA < TAMAX			0.210			1.5		0.8	0.8	nA
Input Resistance	TA = 25°C VS = -20V	1.0	8.0		0.3	2.0		0.3	2.0		MΩ
	TAMIN < TA < TAMAX	0.5									MΩ
Input Voltage Range	TA = 25°C							11.2	11.3		V
	TAMIN < TA < TAMAX					1.2	1.3				V
Large Signal Voltage Gain	TA = 25°C RL = 2kΩ		50								V/mV
	VS = -20V VO = +15V					50	7.0		2.0	2.0	V/mV
	VS = -15V VO = +10V										V/mV
	TAMIN < TA < TAMAX										V/mV
	RL = 2kΩ		3.2								V/mV
	VS = -20V VO = +15V					2.5			1.6		V/mV
Output Voltage Swing	VS = -20V										V
	RL = 10kΩ		1.6								V
	RL = 2kΩ		1.5								V
	VS = -15V										V
	RL = 10kΩ				1.2	1.4		1.2	1.4		V
	RL = 2kΩ				1.0	1.3		1.0	1.3		V
Output Short Circuit Current	TA = 25°C	1.0	2.5	3.5		2.5			2.5		mA
	TAMIN < TA < TAMAX	1.0		4.0							mA
Common Mode Rejection Ratio	TAMIN < TA < TAMAX					7.0	8.0		7.0	8.0	dB
	RS = 10kΩ VCM = -12V										dB
Supply Voltage Rejection Ratio	TAMIN < TA < TAMAX										dB
	VS = -20V to VS = -15V										dB
	RS < 50Ω		8.6	9.8							dB
Transient Response	TA = 25°C Unity Gain										μs
	Rise Time		0.25	0.8		0.3			0.3		μs
Overshoot			6.0	2.0		5			5		%
	Bandwidth	TA = 25°C	0.437	1.5							MHz
Slew Rate	TA = 25°C Unity Gain		0.3	0.7		0.5			0.5		V/μs
	Supply Current	TA = 25°C				1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	TA = 25°C										mW
	VS = -20V		8.0	15.0		8.0	8.5		8.5	8.5	mW
LM741A	VS = -20V										mW
	TA = TAMIN			16.5							mW
LM741E	TA = TAMAX			13.5							mW
	VS = -20V			1.5							mW
LM741	TA = TAMIN			1.5							mW
	TA = TAMAX			1.5							mW
LM741C	VS = -15V					8.0	10.0				mW
	TA = TAMIN					4.5	7.5				mW
	TA = TAMAX										mW

NE/SE 555 Pewaktu (Timer)

Penjelasan Umum

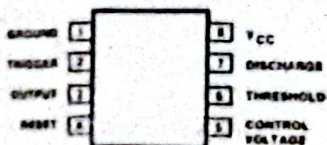
Rangkaian pewaktu monolit NE SE 555 adalah pengatur yang mantap yang mampu membangkitkan tundaan waktu atau pun guncangan yang cermat. Ada terminal-terminal tambahan guna penyulutan atau pengondisian-ulang (*reset*), kalau diinginkan.

Dalam ragam operasi tundaan waktu, waktu dikemudikan dengan teliti dengan sebuah resistor dan kondensator ekstern. Untuk beroperasi takmantap sebagai osilator, frekuensi bebas, dan daur aktif (*duty cycle*) dikemudikan dengan teliti oleh dua resistor dan satu kondensator ekstern.

Rangkaiannya akan dapat disulut dan di-*reset* pada bentukgelombang yang sedang jatuh, dan susunan keluarannya akan dapat merupakan sumber ataupun benaman (*sink*) sampai 200 mA ataupun dapat menggerakkan rangkaian-rangkaian TTL.

RC 555 dapat beroperasi dalam jelajahan suhu dari 0° C hingga +70° C. RM 555 tahan terhadap suhu lebih tinggi, dan beroperasi dalam -55° C hingga +125° C.

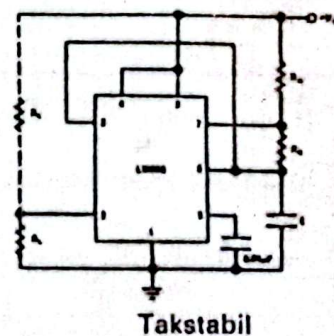
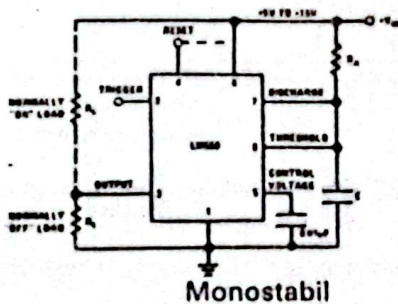
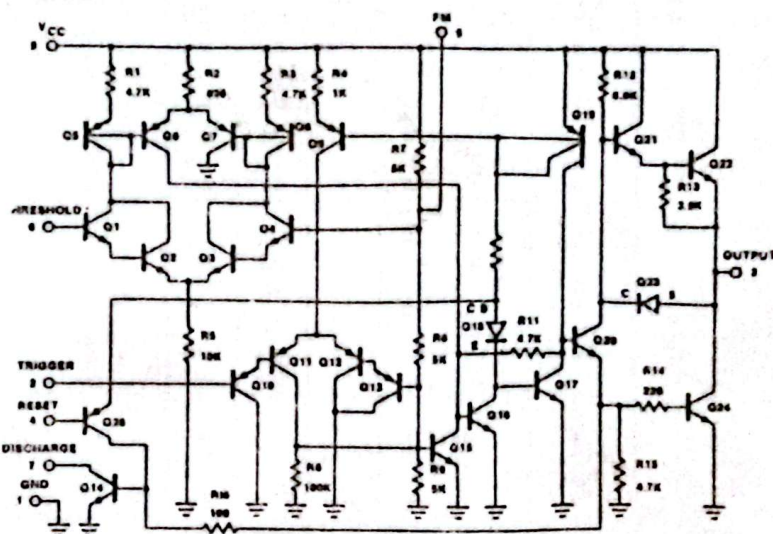
Diagram koneksi



Tarif Maksimum Mutlak

Parameter	Tarif	Satuan
Tegangan catu SE555	+18	V
NE555 SE555C	+16	V
Borosan daya	600	mW
Jelajahan suhu operasi NE555	0 s/d +70	°C
SE555, SE555C	-55 s/d +125	°C
Jelajahan suhu simpan	-65 s/d +150	°C
Suhu timah (penyolderan 60 detik)	300	°C

Skema



Sifat-sifat

- Waktu mati (*off*) kurang dari 12 µdet
- Frekuensi operasi tertinggi besar dari 500 kHz
- Pewaktuan (*timing*) dari mikrodetik hingga jam
- Beroperasi dalam ragam takstabil dan monostabil
- Arus keluaran tinggi
- Daur aktif (*duty cycle*) dapat distel
- Serba-cocok dengan TTL
- Kemantapan suhu 0,005% per °C

Karakteristik Elektrik DC $T_A = 25^\circ \text{C}$, $V_{CC} = +5 - +15 \text{V}$ kecuali kalau dinyatakan lain.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE555			NE555/SE555C			UNIT
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply voltage		4.5		16	4.5		16	V
Supply current (low static) ¹	$V_{CC} = 5\text{V } R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V } R_L = \infty$		3 10	5 12		3 10	8 16	mA mA
Timing error (monostabil) initial accuracy ² Drift with temperature Drift with supply voltage	$R_A = 2\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$		0.5 30 0.05	2.0 100 0.2		1.0 50 0.1	3.0 — 0.5	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Timing error (astabil) initial accuracy ² Drift with temperature Drift with supply voltage	$R_A, R_B = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$ $V_{CC} = 15\text{V}$		1.5 90 0.15	— — —		2.25 150 0.3	— — —	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Control voltage level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9.6 2.9	10.0 3.33	10.4 3.8	9.0 2.6	10.0 3.33	11.0 4.0	V V
Threshold voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9.4 2.7	10.0 3.33	10.6 4.0	8.8 2.4	10.0 3.33	11.2 4.2	V V
Threshold current ³			0.1	0.25		0.1	0.25	μA
Trigger voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	4.8 1.45	5.0 1.67	5.2 1.9	4.5 1.1	5.0 1.67	5.6 2.2	V V
Trigger current	$V_{TRIG} = 0\text{V}$		0.5	0.9		0.5	2.0	μA
Reset voltage ⁴		0.4	0.7	1.0	0.4	0.7	1.0	V
Reset current			0.1	0.4		0.1	0.4	mA
Reset current	$V_{RESET} = 0\text{V}$		0.4	1.0		0.4	1.5	mA
Output voltage (low)	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SINK} = 10\text{mA}$ $I_{SINK} = 50\text{mA}$ $I_{SINK} = 100\text{mA}$ $I_{SINK} = 200\text{mA}$ $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SINK} = 8\text{mA}$ $I_{SINK} = 5\text{mA}$		0.1 0.4 2.0 2.5	0.15 0.5 2.2 —		0.1 0.4 2.0 2.5	0.25 0.75 2.5 —	V V V V V V V
Output voltage (high)	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SOURCE} = 200\text{mA}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$ $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	13.0	12.5 13.3	— —	12.75	12.5 13.3	— —	V V V
Turn off time ⁵	$V_{RESET} = V_{CC}$		0.5	2.0		0.5	—	μs
Rise time of output			100	200		100	300	ns
Fall time of output			100	200		100	300	ns
Discharge leakage current			20	100		20	100	ns

CATATAN

1. Arus catu bila keluaran tinggi, lumrahnya 1 mA atau kurang
2. Diuji pada $V_{CC} = 5\text{V}$ dan $V_{CC} = 15\text{V}$
3. Ini akan menentukan harga maksimum $R_A + R_B$, untuk pengoperasian pada 15 V, total maksimum $R = 10\text{M}\Omega$, untuk pengoperasian pada 5 V, total maks. $R = 3,4\text{M}\Omega$
4. Ditentukan dengan masukan sulut tinggi
5. Waktu terukur dari denyut mengarah ke positif dari 0 hingga $0,8 \times V_{CC}$ ke ambang, sampai keluaran jatuh dari tinggi ke rendah.

Penerapan

Monostabil:

$$t = 1,1 \times R_A \times C$$

Takstabil:

$$t_1 = 0,7 \times (R_A + R_B) \times C$$

$$t_2 = 0,7 \times R_B \times C$$

$$T = t_1 + t_2$$

- Pewaktuan (*timing*) dengan cermat
- Pembangkit denyut
- Pewaktuan sekuensi
- Pembangkitan tundaan waktu
- Pemodulasian lebar denyut
- Pemodulasian posisi denyut
- Detektor denyut hilang

DIODES

type	material	Blocking voltage V	Peak forward current mA	Peak current mA	Max. dissipation mW	Typical forward voltage		Typical blocking current	
						in V	at mA	in μ A	at V
AA 112	Ge	15	30	200	-	0,22	0,1	22	15
AA 116	Ge	20	24	200	-	0,18	0,1	90	20
AA 117	Ge	90	50	500	-	0,18	0,1	40	75
AA 119	Ge	30	35	200	-	0,23	0,1	35	30
BA 127	Si	60	100	200	250	0,97	100	0,02	60
BA 147	Si	25	150	500	-	1	50	0,05	25
BA 204	Si	50	200	2000	-	1	100	0,1	30
BAX 13	Si	50	48	250	500	1,53	75	0,2	50
1N914	Si	100	75	-	500	1	10	25 n	20
1N4148	Si	75	75	500	400	1	10	25 n	20
1N4150	Si	50	200	-	-	1	200	0,1	50
1N4151	Si	50	200	2000	500	0,88	50	14 n	50
1N4448	Si	75	150	-	500	1	100	25 n	20

type	Blocking voltage V	Peak forward current mA	Peak current A	Typical forward voltage		Typical blocking current		case
				in V	at A	in μ A	at V	
BY 126	650	1	40	1,2	1	-	-	I
BY 127	1250	1	40	1,2	1	-	-	I
BYX 71/350	300	7	60	1,25	5	-	-	II
BYX 71/600	500	7	60	1,25	5	-	-	II
1N3879	50	6	75	1,4	6	3	50	III
1N3880	100	6	75	1,4	6	15	100	III
1N3881	200	6	75	1,4	6	15	200	III
1N3882	300	6	75	1,4	6	15	300	III
1N3883	400	6	75	1,4	6	15	400	III
1N3884	50	12	140	1,4	12	3	50	III
1N3885	100	12	140	1,4	12	3	100	III
1N3886	200	12	140	1,4	12	3	200	III
1N3887	300	12	140	1,4	12	3	300	III
1N3888	400	12	140	1,4	12	3	400	III
1N3889	50	12	140	1,4	12	25	50	III
1N4001	50	1	50	1,3	1	10	50	I
1N4002	100	1	50	1,3	1	10	100	I
1N4003	200	1	50	1,3	1	10	200	I
1N4004	400	1	50	1,3	1	10	400	I
1N4005	600	1	50	1,3	1	10	600	I
1N4006	800	1	50	1,3	1	10	800	I
1N4007	1000	1	50	1,3	1	10	1000	I
1N5400	50	3	100	1,1	3	20	50	III
1N5401	100	3	100	1,1	3	20	100	III
1N5402	200	3	100	1,1	3	20	200	III
1N5403	300	3	100	1,1	3	20	300	III
1N5404	400	3	100	1,1	3	20	400	III
1N5405	500	3	100	1,1	3	20	500	III
1N5406	600	3	100	1,1	3	20	600	III
1N5407	800	3	100	1,1	3	20	800	III
1N5408	1000	3	100	1,1	3	20	1000	III

