

# **MODUL PRAKTIKUM ELEKTRONIKA DAYA LANJUT (NTEL 661)**



**LABORATORIUM KONVERSI ENERGI  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS  
TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI MALANG  
2017**

## DAFTAR ISI

<b>1. Percobaan 1 Karakteristik SCS .....</b>	<b>4</b>
<b>TUJUAN .....</b>	<b>4</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>4</b>
<b>PERALATAN YANG DIBUTUHKAN .....</b>	<b>10</b>
<b>LANGKAH KERJA.....</b>	<b>11</b>
<b>2. PERCOBAAN 2 SCS TRIGER SIRKUIT .....</b>	<b>16</b>
<b>TUJUAN .....</b>	<b>16</b>
<b>TEORI DASAR.....</b>	<b>16</b>
<b>Langkah Kerja .....</b>	<b>18</b>
<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>19</b>
<b>3. PERCOBAAN 3 : KONTROL FASA UJT-SCR .....</b>	<b>20</b>
<b>TUJUAN :</b> .....	<b>20</b>
<b>PEMBAHASAN :</b> .....	<b>20</b>
<b>ALAT YANG DIBUTUHKAN.....</b>	<b>36</b>
<b>LANGKAH KERJA.....</b>	<b>36</b>
<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>37</b>
<b>4. Percobaan 4 KONTROL DAYA PUT – SCR .....</b>	<b>38</b>
<b>TUJUAN .....</b>	<b>38</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
<b>PERALATAN YANG DIBUTUHKAN .....</b>	<b>39</b>
<b>LANGKAH KERJA.....</b>	<b>39</b>
<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>44</b>
<b>5. PERCOBAAN 5 SIRKUIT LAMPU REDUP OTOMATIS .....</b>	<b>45</b>
<b>TUJUAN :</b> .....	<b>45</b>
<b>PEMBAHASAN :</b> .....	<b>45</b>
<b>PERALATAN YANG DIBUTUHKAN .....</b>	<b>49</b>
<b>LANGKAH KERJA.....</b>	<b>50</b>
<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>54</b>
<b>6. DRAFT PERCOBAAN 6 Start Motor dan Kontrol Kecepatan .....</b>	<b>56</b>

<b>TUJUAN .....</b>	56
<b>PEMBAHASAN .....</b>	56
<b>PERALATAN YANG DIBUTUHKAN .....</b>	83
<b>PROSEDUR .....</b>	83
<b>KESIMPULAN .....</b>	85
<b>7. PERCOBAAN 7 Rangkaian Pemicu Sinyal Digital.....</b>	87
<b>Tujuan.....</b>	87
<b>Pembahasan.....</b>	87
<b>Peralatan Yang Dibutuhkan.....</b>	88
<b>Prosedur.....</b>	88
<b>Kesimpulan.....</b>	91
<b>8. PERCOBAAN 8 Inverter SCR.....</b>	93
<b>TUJUAN .....</b>	93
<b>PEMBAHASAN .....</b>	93
<b>PERALATAN YANG DIBUTUHKAN .....</b>	111
<b>PROSEDUR .....</b>	111
<b>KESIMPULAN .....</b>	115

# 1. Percobaan 1 Karakteristik SCS

## TUJUAN

1. Memahami konstruksi dan karakteristik SCS
2. Memahami pengoperasian rangkaian SCS.
3. Mengukur dan merencanakan kurva karakteristik SCS.

## PEMBAHASAN

Silicon-controlled switch (SCS) adalah perangkat semikonduktor empat terminal termasuk dua gerbang kontrol. SCS biasanya digunakan sebagai elemen kontrol dalam sistem kontrol daya rendah.

### Kontruksi dan Karakteristik SCS

Seperti SCR, konvensionalSCR, adalah perangkat PNPN empat lapis yang ditunjukkan pada Gambar. 8-1 (a). Keempat lapisan SCS tersedia karena penambahan gerbang anoda Ga. Gerbang tambahan memungkinkan perancang lebih fleksibel dalam kontrol turn-on dan turn-off daripada penambahan SCR konvensional. Bias yang tepat diterapkan pada gerbang anoda meningkatkan sensitivitas pemicu gerbang katoda. Gerbang katoda dapat digunakan sebagai terminal keluaran.

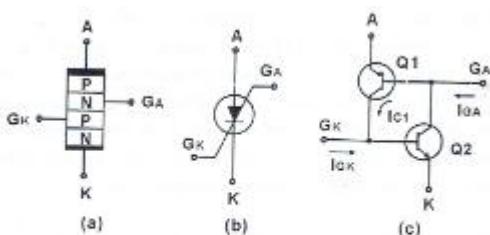


Fig.8-1 SCS. (a) PNPN structure, (b) circuit symbol, (c) two-transistor equivalent

Gambar 8.2 menunjukkan karakteristik anoda untuk SCS. Kita akan melihat kemiripannya dengan karakteristik anoda SCR. Dengan tidak adanya sinyal gerbang yang diarsipkan, ketika tegangan maju anode mencapai tegangan pemutus  $V_{BO}$ , SCS dinyalakan. Jika arus anoda berkurang di bawah arus penahan skrip dimatikan. Pada

kebanyakan aplikasi SCS biasanya dinyalakan atau dimatikan oleh sinyal gerbang dengan voltase operasi di bawah  $V_{BO}$

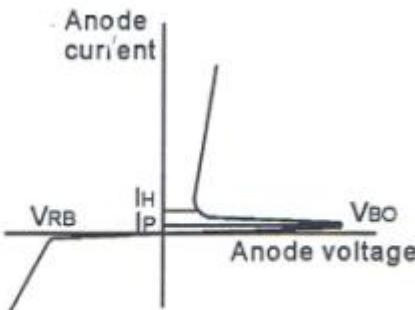


Fig.8-2 SCS anode characteristics

Bentuk rangkaian transistor ekuivalen yang ditunjukkan pada Gambar 8-1 (c) gerbang katoda  $G_K$  dari SCS berfungsi sebagai gate SCR. Gerbang anoda  $G_A$  dapat digunakan untuk menghidupkan SCS baik on atau off. Untuk menghidupkan perangkat, pulsa negatif harus diterapkan ke gerbang anoda  $G_A$ , sedangkan pulsa positif diperlukan untuk mematikan SCS

Sebuah pulsa negatif pada gerbang anoda akan meneruskan bias persimpangan base-to-emitor Q1 (PNP), menyalakannya. Hasil arus kolektor yang kuat akan menyalakan Q2 (NPN), menghasilkan aksi regeneratif dan keadaan pada perangkat SCS. Secara umum, pemicuan arus pada gerbang anoda lebih besar dari pada arus pada gerbang katoda. Untuk perangkat SCS yang khas, arus gerbang anoda pemicu adalah 1,5 mA sedangkan gerbang katoda yang dibutuhkan saat ini sekitar 1  $\mu$ A. Arus gerbang turn-on yang dibutuhkan di gerbang baik meliputi banyak faktor, seperti suhu operasi, anoda hingga tegangan katoda dan rangkaian rangkaian, dll.

Sebuah pulsa positif pada gerbang anoda akan membalikkan bias persimpangan base-to-emitor Q1, mematikannya, sehingga terjadi rangkaian terbuka dari keadaan perangkat SCS.

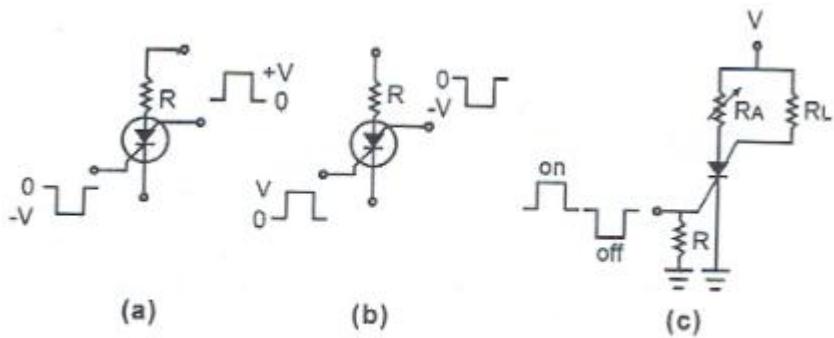


Fig.8-3 SCS gate turn-on and turn-off methods

Gambar. 8-3 menunjukkan tipe gate turn-on dan gate turn-off sirkuit SCS. Sebuah pulsa positif yang diaplikasikan pada  $G_A$  atau a negative pulse yang diterapkan pada  $G_K$ akan mematikan SCS seperti yang ditunjukkan pada gambar. 8-3 (a). 8-3 (b) menunjukkan bahwa dengan menerapkan pulsa negatif ke  $G_A$  atau menerapkan pulsa positif ke  $G_K$  dapat menghidupkan SCS.Sirkuit dari Gambar 8.3 (c) dapat dinyalakan atau dinyalakan dengan denyut nadi yang benar pada  $G_K$ .Karakteristik turn-off hanya mungkin digunakan jika nilai  $R_A$  sesuai.Ini akan mengendalikan jumlah umpan balik regeneratif, yang besarnya sangat penting untuk ditempatkan. Jenis sirkuit turn-off lain untuk SCS dapat dicapai dengan menghubungkan kolektor dan emitor transistor NPN ke anoda dan katoda SCS secara paralel.Ketika sebuah pulsa positif diterapkan pada basis, transistor melakukan gerakan berat, menghasilkan karakteristik impedansi rendah antara kolektor dan emitor.Cabang impedansi rendah ini mengalihkan arus anoda dari SCS, menjatuhkannya di bawah nilai holding dan akibatnya mematikannya.

#### Spesifikasi dan Karakteristik SCS

Keuntungan dari SCS di atas SCR mencakup peningkatan kontrol dan sensitivitas yang memicu dan situasi Itriggering yang flexible. Meskipun begitu, SCS dibatasi hanya untuk aplikasi daya rendah. Rentang maksimum arus anoda berkisar antara 100 sampai 300 mA dengan rentang daya yang hilang mulai dari 100 sampai 500 mW.

Keuntungan yang tersisa dari SCR di atas SCS yang sesuai adalah waktu turn-off yang berkurang, biasanya berkisar antara 1 sampai 10 $\mu$ s untuk SCS dan 5 sampai 30 $\mu$ s untuk SCR

Karakteristik alat semikonduktor sejenis, sangat sensitif terhadap variasi temperatur. Oleh karena itu panas tenggelam dan suhu operasi merupakan masalah penting dalam merancang rangkaian. Gambar. 8-4 dan 9-5 menunjukkan karakteristik pemicu katoda g untuk skrip 3N82. Kedua tegangan pemicu dan arus pemicu menurun saat suhu operasi dinaikkan.

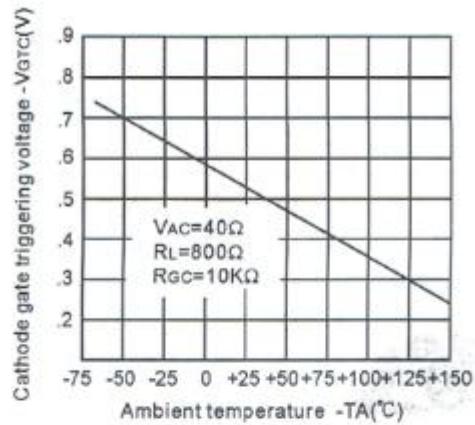


Fig.8-4  $G_K$  triggering voltage vs. temperature

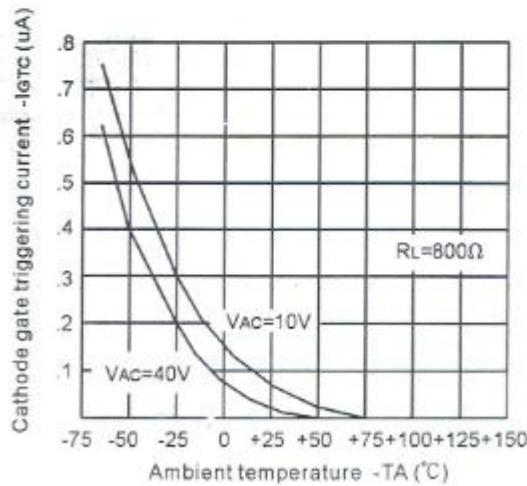
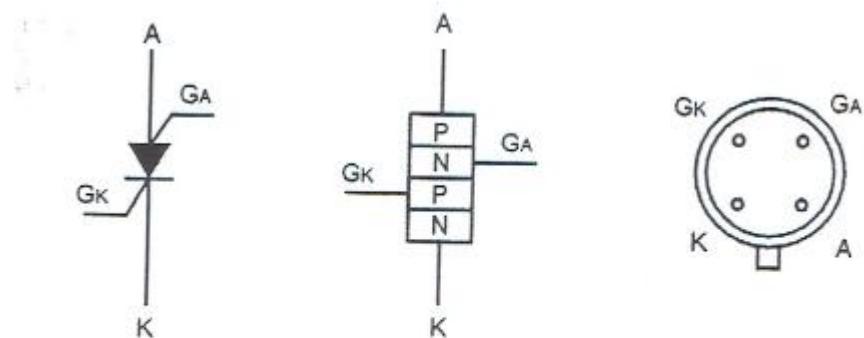


Fig.8-5  $G_K$  triggering current vs. temperature

## Menguji SCS dengan Ohmmeter

Anoda A dan gerbang anoda  $G_A$  dari terminal PN , yang ditunjukkan pada Gambar 8-6, sebagai tipe-p untuk A dan tipe N untuk  $G_A$ . Atur selektor VOM ke OHM.Hubungkan ujung hitam ohmmeter ke terminal A dan yang merah ke  $G_A$ . Hasil pembacaan resistansi harus menunjukkan resistansi yang rendah.. Jika polaritas dibalik, hasil pembacaan resistensi tak terbatas.



**Fig.8-6 Symbol, PNPN structure and terminal identification for SCS**

Terminal PN antara katoda K dan gerbang katoda GK mirip dengan terminal antara anoda dan gerbang anoda kecuali polaritasnya adalah kebalikannya. Hubungkan ujung hitam ohmmeter ke  $G_K$  dan ujung merah ke K, Pembacaan resistansi harus merupakan resistansi rendah., jika polaritas nya di balik maka resistensi yang ditunjukan tak terbatas.

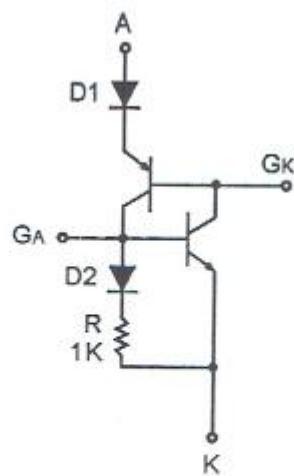
Resistansi antara  $G_A$  dan K atau antara A dan  $G_K$  selalu tak terhingga selalu tak terhingga.

Dengan kedua  $G_A$  dan  $G_K$  membuka dan menghubungkan timbal hitam ke K dan timbal merah ke K, pembacaan resistensi rendah harus ditunjukkan pada skala. Membalik polaritasnya, pembacaan resistansi harus tak terbatas. Menghubungkan A ke  $G_A$  secara langsung atau resistor kecil di antara keduanya, rasistance antara A dan K tak terbatas

meski polaritasnya. Results yang sama tersedia saat terminal A dan G<sub>K</sub> dihubungkan bersamaan atau resistor kecil terhubung di antara keduanya.

Mensimulasikan SCS dengan Dua Transistor.

SCS, seperti PUT dapat dibangun dengan menggunakan transistor NPN dan PNP yang terhubung seperti ditunjukkan pada Gambar 8.7. Dioda D1 digunakan untuk meningkatkan tegangan anoda terbalik. D2 dan R digunakan untuk menurunkan sensitivitas pemicu gerbang. Semakin kecil resistansi, semakin rendah sensitivitasnya



**Fig.8-7 Two transistors simulating an SCS**

#### Deskripsi Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan untuk karakteristik SCS ditunjukkan pada Gambar 8-8. Besar atau resistansi yang terhubung ke gerbang katoda G<sub>A</sub> menentukan sensitivitas pemicu gerbang katoda. Oleh karena itu kita menggunakan VR5 untuk memvariasikan gerbang yang memicu sensitivitas dalam eksperimen pengukuran karakteristik SCS. Saat R<sub>GA</sub> meningkat, sensitivitas memicu G<sub>K</sub> meningkat. Dengan kata lain, blok di atas tegangan dikurangi oleh peningkatan sensitivitas yang memicu sensitivitas pada kondisi Igk tertentu. Dengan G<sub>K</sub> membuka atau menghubungkan resistor kecil secara paralel dengan terminal G<sub>K</sub> dan K, operasi dari scs seperti PUT.

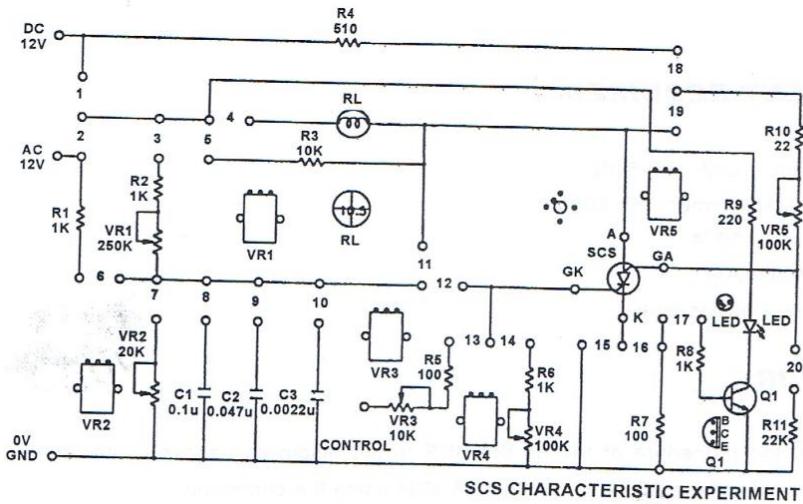


Fig.8-8 Experiment circuits

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mematikan SCS dalam kondisi. Metode yang digunakan pada sirkuit SCR tersedia di sirkuit SCS. Selain itu, pulsa yang sesuai bisa diaplikasikan ke gerbang matikan SCS. Seperti ditunjukkan pada Gambar 8-9, menerapkan pulsa negatif ke gerbang katoda atau pulsa positif ke gerbang anoda akan mematikan SCS. Ketika sebuah kapasitor dihubungkan secara paralel dengan anoda dan katoda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8-9 (c), pulsa negatif dapat menghasilkan putaran yang cepat juga.

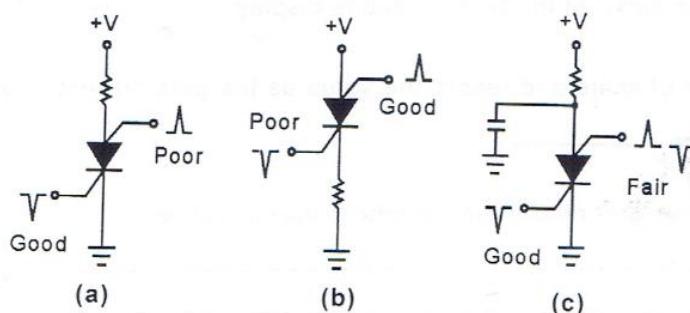


Fig.8-9 Comparison of gate triggering sensitivity to turn off the SCS

### PERALATAN YANG DIBUTUHKAN

1. Power supply type KL-51001
2. Transistor type KL-58002

3. Module KL-53004
4. Multimeter analog
5. Dual trace osiloskop

### **LANGKAH KERJA**

1. Lihat prosedur pengujian sks dalam pembahasan di atas. Identifikasi terminal sks pada Modul KL 53004 menggunakan ohmmeter
2. Hubungkan pasokan listrik AC12V dan DC12v dari Unit Power Supply KL 51001 KL 58002 ke Modul KL-53004. masukkan colokan sambungkan pada posisi 2, 4, 13, 15, dan 19. hubungkan masukan H osiloskop ke titik uji di ujung kiri RL, terminal GND ke anoda, dan masukan v dari ruang lingkup katoda dari SCS.
3. Atur osiloskop ke mode x-y. hubungkan ujung hitam ohmmeter ke terminal CONTROL dan mengarah merah ke GND. Sesuaikan kontrol lingkup untuk merencanakan kurva karakteristik  $V_{AK}$ - $I_{AK}$  pada SCS pada tampilan ruang lingkup.
4. Baca bacaan pada skala LI dan catat nilainya sebagai gerbang  $I_G$  saat ini dari SCS.

$$I_G = \dots \dots \dots$$

5. Atur VR3, amati dan catat perubahan kurva  $V_{AK}$ - $I_{AK}$
6. Atur VR5, amati dan catat perubahan kurva  $V_{AK}$ - $I_{AK}$
7. Atur VR5 pada  $1K \Omega$ . atur VR3 untuk mengatur voltase scs blockover menjadi  $10V$  . Ulangi langkah 4.

$$I_G =$$

8. Atur VR5 pada  $10K \Omega$  dan ulangi langkah 7.

$$I_G =$$

9. Dari langkah 7 dan 8, apakah gerbang memicu sensitivitas kenaikan atau penurunan GK saat VR5 meningkat?
10. Masukkan colokan sambungkan pada posisi 2, 4, 14, 15, dan 18. atur kontrol ruang lingkup untuk merencanakan kurva  $V_{AK}$ - $I_{AK}$  pada lingkup cakupan SCS.
11. Menyesuaikan VR4, mengamati dan mencatat perubahan kurva  $V_{AK}$ - $I_{AK}$

12. Menyesuaikan VR5, mengamati dan mencatat perubahan kurva  $V_{AK}$ - $I_{AK}$
13. Bandingkan perbedaan sensitivitas pemicu  $G_K$  pada nilai VR5 yang lebih tinggi dan lebih rendah
14. Sambungkan colokan sambungkan pada posisi 1, 5, 6, 7, 12, dan 15. Sesuaikan VR2 untuk mendapatkan dan voltase 3V melintasi VR2. Pada saat ini sirkuit scs bertindak sebagai rangkaian pemicu Schmitt. Menggunakan osiloskop, ukur dan catat bentuk gelombang voltase  $V_{AK}$  dan  $V_{IN}$  di Tabel 8-1.

Tabel 8-1

$V_{IN}$	$V_{AK}$

15. Menggunakan osiloskop, tentukan dan catat voltase atas dan bawah rangkaian pemicu Schmitt.

$$V_+ = V$$

$$V_- = V$$

Hubungkan gelombang sinus dengan masukan pemicu Schmitt. amati bentuk gelombang tegangan output. Apakah bentuk gelombang keluaran gelombang persegi?

16. Masukkan colokan sambungkan pada posisi 1, 3, 10, 11, 16, 17, 19, dan 20. Sesuaikan VR5 untuk mendapatkan  $V_{GA} = 5V$ . Sesuaikan VR1 untuk mendapatkan bentuk gelombang kapasitor yang terlihat pada tampilan ruang lingkup. Ukur dan catat bentuk gelombang voltase  $V_{GAK}$  dan  $V_K$  pada Tabel 8-2.

Tabel 8-2

$V_{GAK}$	$V_K$

17. Lepaskan steker penghubung dari posisi 10 dan kemudian masukkan di posisi 9. Sesuaikan VR1 untuk mendapatkan n bentuk gelombang kapasitor yang terlihat pada tampilan ruang lingkup. Ukur dan catat bentuk gelombang voltase  $V_{GAK}$  dan  $V_K$  pada Tabel 8.3.

Tabel 8-3

$V_{GAK}$	$V_K$

18. Lepaskan steker penghubung dari posisi 9 dan kemudian masukkan di posisi Sesuaikan VR1 untuk mendapatkan bentuk gelombang voltase kapasitor yang terlihat pada ruang lingkup. Ukur dan catat bentuk gelombang vuitage  $V_{GAK}$  dan  $V_K$  pada tabel 8.4

Table 8-4

$V_{GAK}$	$V_K$

19. Adalah operasi SCS yang mirip dengan PUT.

#### KESIMPULAN

Anda telah mempelajari karakteristik dari sc dan membangun beberapa sirkuit aplikasi scs.

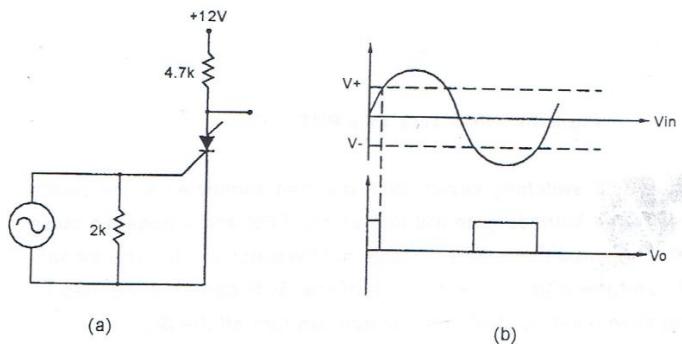
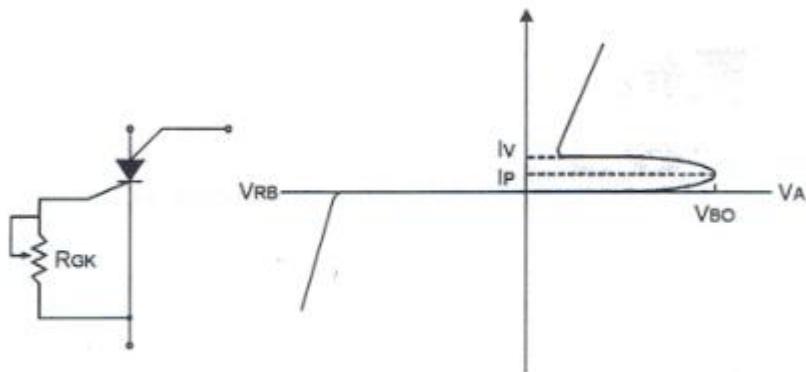


Fig.8-10 (a) SCS Schmitt trigger circuit,  
(b) input and output waveforms

Gambar 8-10 (a) menunjukkan rangkaian pemicu Schmitt scmitt dengan gerbang anoda terbuka. Saat sinyal input  $V_{in}$  adalah positif dan lebih besar dari tingkat

tegangan atas  $v_+$ , skrip menyala dan output tingkat rendah muncul di anoda. Jika sinyal input negatif dan lebih kecil dari level tegangan rendah  $V_{-Day}$ , SCS mati dan output tingkat tinggi muncul di anoda. Hubungan antara sinyal input dan output ditunjukkan pada Gambar 9-10 (b)

Scs dapat digunakan untuk mensimulasikan operasi PUT seperti ditunjukkan pada Gambar 8-11 (a). Ristor katoda rasmer  $R_{GK}$  digunakan untuk mengatur sensitivitas pemicu PUT. Seiring meningkatnya nilai  $R_{GK}$ , baik  $I_P$  dan  $I_V$  berkurang. Karakteristik SCS yang ditunjukkan pada Gambar 8-11 (b) dapat dianggap sebagai karakteristik PUT dengan  $I_P$  dan  $I_V$  yang dapat deprogram



**Fig.8-11 SCS acts as a PUT**

Gambar 8-12 (a) menunjukkan rangkaian switching scs. Dengan beban yang terhubung ke gerbang anoda, pulsa positif ke gerbang katoda dengan menghidupkan SCS dan pulsa negatif akan mematikan skalanya. Sirkuit ini berfungsi sebagai rangkaian multivibrator bistable. Jumlah holding current  $I_H$  dan sensitivitas pemicu dari scs dapat dikontrol dengan menyesuaikan  $R_A$ . Nadi negatif yang diaplikasikan ke anoda bisa mematikan SCS.

Rangkaian pada Gambar 8-12 (b) juga merupakan rangkaian multivibrator bistable. Beban dihubungkan antara katoda dan ground dan sinyal pemicu diterapkan pada anoda. Sebuah pulsa positif akan menyebabkan SCS menyala sementara pulsa

negatif mematikan SCS. Resistor seri ke gerbang anoda digunakan untuk mengendalikan arus pegang dan sensitivitas pemicu.

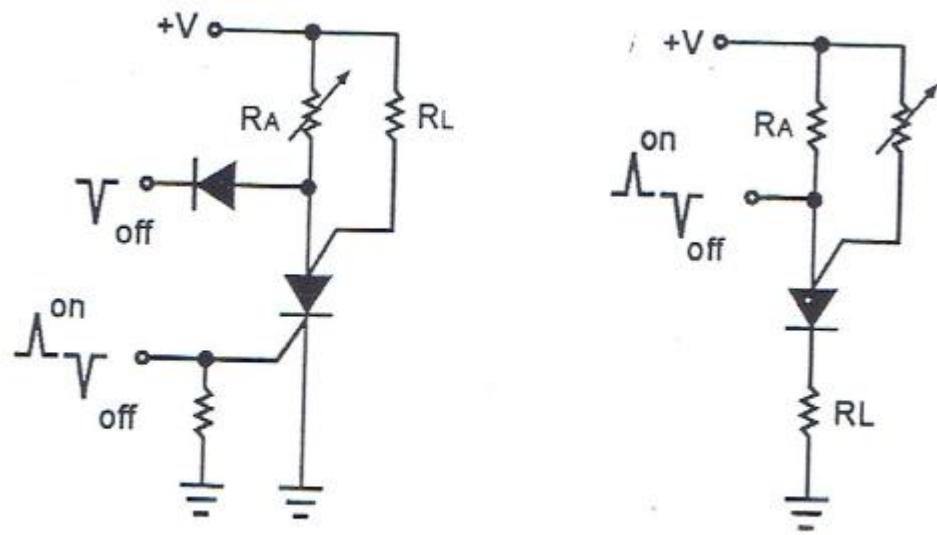


Fig.8-12 SCS bistable multivibrator circuits

## 2. PERCOBAAN 2 SCS TRIGER SIRKUIT

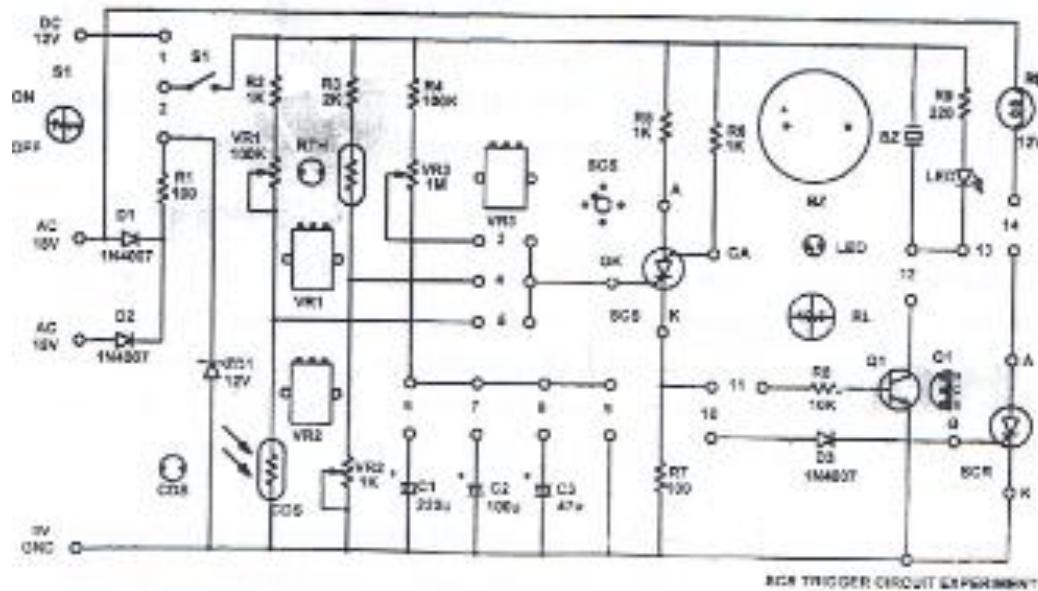
### TUJUAN

1. Memahami operasi rangkaian pemicu SCS.
2. Membangun dan mengukur sirkuit aplikasi SCS

### TEORI DASAR

Kami membahas karakteristik dan operasi SCS dalam diskusi sebelumnya. Dalam percobaan ini kita fokus pada trigger circuit untuk mengendalikan SCS.

Gambar 9-1 menunjukkan rangkaian pemicu SCS yang digunakan dalam percobaan ini. Prinsip operasi dasar dijelaskan sebagai berikut.



Gambar. 9-1 rangkaian percobaan

Sumber tegangan yang diberikan ke sirkuit adalah 12 Vdc dan 18 Vac dari catu daya. Tegangan 18 Vac adalah gelombang penuh yang disearahkan oleh dioda D1 dan D2 dan diikuti oleh dioda zener ZD1 untuk membatasi tegangan puncak ke 12V. Resistor R1 digunakan untuk membatasi arus sirkuit dalam batas aman.

Tiga komponen kapasitor, CDS, dan thermistor digunakan di *gate triggering circuit* (rangkaian pemicu kaki Gate) untuk menyalakan SCS pada kondisi tertentu. Dengan

kapasitor yang digunakan, rangkaian waktu tunda terbentuk. Dengan menambahkan CDS ke sirkuit gerbang membentuk rangkaian kontrol cahaya. Jika termistor digunakan, rangkaian ini akan beroperasi sebagai rangkaian alarm kebakaran. Karena arus pemicu yang dibutuhkan untuk gerbang anoda  $G_A$  sebesar  $1.5\text{mA}$ , Oleh karena itu arus pemicu rendah (sekitar  $1\mu\text{A}$ ) ke kaki gate katoda  $G_K$  lebih dipilih pada sebagian besar aplikasi.

Ketika tegangan  $12\text{ Vdc}$  diterapkan pada rangkaian, awalnya SCS berada dalam kondisi OFF sehingga tidak ada tegangan pada resistor katoda  $R7$ , sebuah LED dan buzzer OFF. Arus pengisian mengalir melalui  $VR3$  dan  $R4$  untuk mengisi kapasitor. Ketika tegangan kapasitor mencapai tegangan pemicu pada kaki gate katoda, SCS menyala ( ON ) dan kemudian keluaran berupa sinyal pulsa hadir pada  $R7$ . Transistor  $Q1$  menjadi ON menyalaakan beban LED dan BZ ke on. Interval waktu SCS dari off ke on disebut waktu tunda (delay time). Waktu tunda dihitung dengan persamaan  $T = (VR3 + R4) \times C$ .

Jika termistor NTC digunakan pada rangkaian gate seperti yang ditunjukkan pada gambar. 9-1, sirkuit akan bertindak sebagai sirkuit alarm kebakaran. Dengan mengatur  $VR2$ , tegangan gate tidak cukup untuk menghidupkan SCS pada suhu tertentu. Resistansi termistor akan menurun saat suhu meningkat. Bila tegangan di  $VR2$  naik ke nilai yang cukup untuk menyalaakan SCS, buzzer akan berbunyi dan lampu LED akan menyala.

Demikian pula jika CDS digunakan di sirkuit gate, sebuah rangkaian kontrol cahaya terbentuk. Pada tingkat cahaya normal, tegangan di CDS tidak cukup untuk menyalaakan SCS dengan mengatur  $VR1$ . Resistansi CDS meningkat saat tingkat cahaya berkurang. Bila tegangan pada CDS mencapai tingkat pemicu gate, SCS menyala. LED dan BZ menyala.

Sinyal keluaran berupa pulsa dari SCS dapat digunakan untuk memicu thyristor berdaya tinggi seperti, SCR untuk beban daya tinggi.

## Peralatan Yang Dibutuhkan

1. Satu unit power supply KL-51001
2. Satu unit transformator isolasi KL-58002
3. Modul KL-53004

### **Langkah Kerja**

1. Hubungkan +12Vdc dan 18V-0V-18Vac power supply dari unit catu daya (KL-51001-KL58002) ke modul KL-53004
2. Hubungkan pada posisi 1, 3, 8, 11, dan 12. Set switch S1 ke OFF.
3. Putar VR3 berlawanan arah jarum jam untuk mendapatkan nilai resistansi minimum. Hitunglah periode osilasi (time constant).

$$T = R4 \times C3 = 100 \text{ K}\Omega \times 47 \mu\text{F} = 100 \times 10^{-3}\Omega \times 47 \times 10^{-6} \text{ F} = 47 \times 10^{-1} \text{ s}$$

4. Hitung dan catat interval waktu dari pengaturan S1 ON sampai LED menyala.

$$T = 1 \text{ s}$$

Apakah yang diukur T sesuai dengan T yang dihitung pada langkah 3? Tidak

5. Putar VR3, amati dan catat perubahan keadaan LED.

Sama

Atur S1 ke posisi OFF. Amati dan catat keadaan LED dan SCS. Mati

6. Lepaskan steker koneksi dari posisi 9 dan kemudian masukkan kembali. Putar VR3 searah jarum jam secara penuh. Hitunglah periode.

$$T = (VR3 + R4) \times C3 = (10^6 + (100 \times 10^3)) \times 47 \times 10^{-6} = 47 + 4,7 = 51,7 \text{ s}$$

7. Atur S1 ke posisi ON dan mulai menghitung.

$$T = 0,85 \text{ s}, 1 \text{ s}, 2 \text{ s}$$

Apakah T yang diukur sesuai dengan T yang dihitung pada langkah 6? Tidak

- 
8. Atur S1 ke OFF. Lepaskan steker koneksi dari posisi 8 dan masukkan di posisi 7

9. Ulangi langkah 3 sampai 7

10. Atur S1 ke OFF. Lepaskan steker koneksi dari posisi 7 dan masukkan di posisi 6.

11. Ulangi langkah 3 sampai 7.

12. Atur S1 ke OFF. Pasang lampu di soket RL. Masukkan colokan sambungkan pada posisi 2, 4, 10, dan 14

13. Atur S1 ke ON. Sesuaikan VR2 dan berhenti pada saat SCS dan RL dihidupkan

14. Panaskan solder panas ke thermistor (RTH) sampai lampu menyala. Ukur dan catat voltase di gate katoda dan katoda dari SCS.

$$V_{gk} = 2 \text{ V} \quad V_{r7} = 1 \text{ V}$$

15. Lepaskan solder dari thermistor. Amati dan catat keadaan RL dan SCS.

---

16. Lepaskan steker koneksi dari posisi 4 dan masukkan di posisi 5. Atur VR1 dan hentikan saat SCS dan RL dinyalakan.

17. Tutup CDS dengan tangan Anda. Amati dan catat keadaan RL dan SCS.

RL tetap menyala

18. Lepaskan tangan Anda dari jendela CDS. Amati dan catat keadaan RL dan SCS.

## KESIMPULAN

Hasil nilai T yang diukur dan T harus mendekati atau sama. Jika ada kesalahan, hal ini disebabkan oleh penyimpangan komponen. Ketika SCS dinyalakan, variasi tegangan kapasitor dengan menyesuaikan VR3 tidak bisa mematikan SCS. Untuk mematikan SCS, pindah posisi saklar S1 ke posisi OFF.

Tegangan AC diaplikasikan ke sirkuit saat thermistor dan CDS digunakan di rangkaian gate. Kenyataanya bahwa kondisi SCS (on dan off) dapat dikendalikan dengan mengatur VR2. Hal ini disebabkan SCS akan OFF secara otomatis saat tegangan AC berkurang sampai 0V.

### **3. PERCOBAAN 3 : KONTROL FASA UJT-SCR**

#### **TUJUAN :**

1. Memahami konsep dari kontrol fasa
2. Memahami operasi dari sirkuit kontrol fasa RC
3. Mempelajari penerapan pemulih osilator UJT dalam kontrol fasa SCR

#### **PEMBAHASAN :**

Tujuan dasar dari kontrol industri elektronik adalah mengatur pengiriman tenaga dari sumber ke beban. Seperti sebuah las dari kontrol pengubah dari tenaga elektrik menjadi panas; mungkin menjadi kontrol motor ke pengubah kontrol dari energi elektrik menjadi gaya mekanis; atau mungkin menjadi alarm pengaman ke kontrol pengubah dari energi elektrik menjadi suara. Jika tenaga yang beralih adalah nilai konstan, maka kontrol mungkin jadi mudah seperti saklar ON-OFF. Seringkali diperlukan untuk menyesuaikan nilai energi yang beralih ke kontrol keluaran, seperti laju pada motor, kerasnya suara alarm, terangnya cahaya lampu.

Cara yang paling mudah untuk kontrol tingkat dari energi yang dikirim dari sumber ac adalah untuk mengontrol porsi dari siklus arus yang mengikuti aliran ke dalam beban. Yang dicapai dalam sirkuit SCR dan TRIAC menggunakan pengontrolan sudut fasa yang mana thyristor keadaan hidup selama masing-masing siklus dari tegangan ac. Cara ini disebut juga koontrol perubahan fasa.

#### **Dasar sirkuit kontrol fasa**

Ada banyak bentuk dari kontrol fasa yang tepat dengan thyristor, yang ditampilkan di gambar 10-1. Perubahan yang mudah adalah kontrol gelombang setengah dari gambar 10-1 (a) yang menggunakan satu SCR dari kontrol arus hanya dalam searah. Sirkuit ini digunakan untuk beban yang memerlukan kontrol daya dari nol, satu setengah, gelombang penuh maksimal dan yang juga membiarkan (atau memerlukan) mengarahkan arus. Selain dari satu diode penyuarah D, gambar 10-1 (b), menyediakan sebuah siklus setengah tetap dari daya yang bergeser dari jangkauan kontrol daya ke setengah daya minimum dan daya penuh maksimal tapi dengan komponen dc yang kuat. Gunakan 2 SCR, gambar 10-1 (c), kontrol dari 0 ke daya penuh dan memerlukan Gate sinyal yang terisolasi, baik 2 sirkuit kontrol atau pulsa transformator kopling dari sebuah kontrol tunggal. Sama dengan sudut pemicu dari dua SCR memproduksi sebuah keluaran gelombang simetrik dengan tidak menggunakan komponen dc. Keluaran setengah gelombang reversibel dc diperoleh menggunakan pengontrol simetri dari sudut pemicu.

Sebuah pengganti bentuk dari kontrol gelombang penuh ditampilkan di dalam gambar 10-1 (d). Sirkuit ini mempunyai keuntungan dari katoda biasa dan Gate sambungan dari 2 SCR. Sementara dua penyearah mencegah tegangan balik dari jarak yang muncul dari SCR, mereka mengurangi efisiensi sirkuit menggunakan rugi daya yang ditambah selama pengaliran.

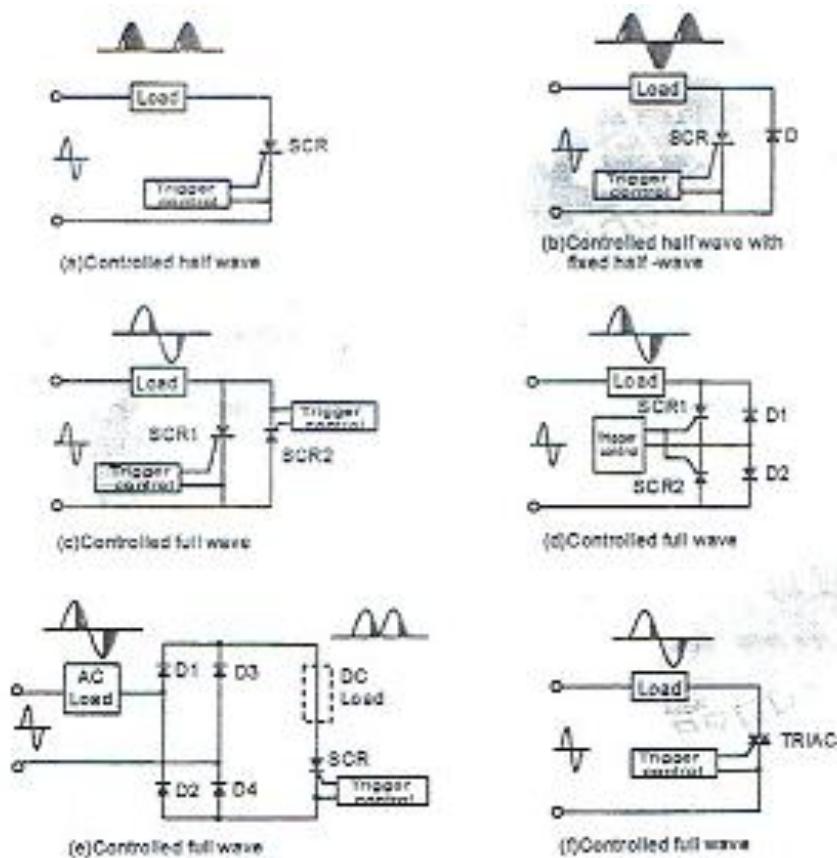


Fig.10-1 Basic types of AC phase control

Sirkuit yang paling fleksibel, gambar 10-1 (e), menggunakan satu SCR dalam sebuah

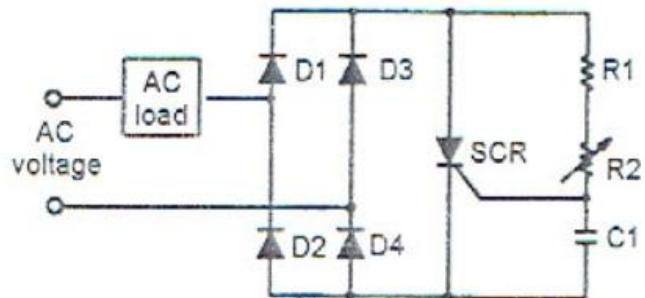


Fig.10-2 SCR power control with RC phase shift circuit

jembanan penyearah dan mungkin digunakan untuk kontrol salah satu ac atau gelombang penuh penyearah dc. Saat sebuah beban ac digunakan, itu harus jadi penyambung diantara tegangan ac dan jembatan penyearah. Jika sebuah beban dc diinginkan, itu harus menetap pada daerah putus-putus di gambar 10-1 (e). Rugi dalam penyearah, namun, paling tidak membuat efisiensi bentuk sirkuit, dan penggantian kadang-kadang bermasalah.

Sejauh yang paling sederhana, metode yang efisiensi dan terpercaya dari pengontrol daya ac digunakan dari thyristor triode dua arah, TRIAC, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 10-1 (f). Kita akan membahas operasi sirkuit ini dalam deskripsi dari percobaan bagian sirkuit.

Analisis dari kontrol geser fasa

1. Kontrol gelombang setengah

Gambar 10-3 menunjukkan tegangan pada beban resistif dalam SCR sirkuit kontrol gelombang setengah dari gambar 10-1 (a). Jumlah tegangan beban,  $E_{AVG}$ , diukur menggunakan pengontrol sudut tembakan dari SCR. Hubungan diantara  $E_{AVG}$  dan  $\alpha$  dapat ditunjukkan menggunakan,

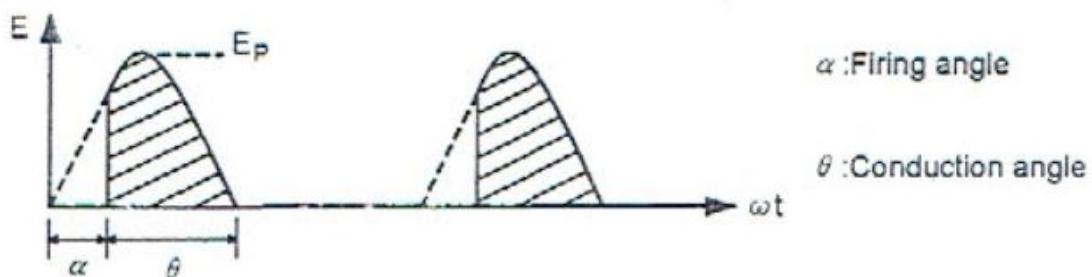


Fig.10-3 Load voltage of Fig.10-1(a)

$$E_{AVG} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} E_P \sin \omega t d\omega t$$

$$= \frac{E_P}{2\pi} [-\cos \omega t]_{-\pi}^{\pi}$$

$$= \frac{E_P}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad \dots \quad (10-1)$$

Dimana  $E_P$  adalah keluaran tertinggi tegangan dari beban. Nilai rms dihitung menggunakan

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} E_P \sin \omega t d\omega t}$$

$$= \sqrt{\frac{E_P^2}{2\pi}} \sqrt{\left[ \frac{1}{2}(\omega t) - \frac{1}{2} \sin 2\omega t \right]_0^{\pi}}$$

$$= \frac{E_P}{2\sqrt{\pi}} \left( \pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{----- (10-2)}$$

Menata ulang persamaan (10-1) daan (10-2), kita memperoleh

$$\frac{E_{AVG}}{E_P} = \frac{1 + \cos \alpha}{2\pi} \quad \dots \dots \dots \quad (10-3)$$

$$\frac{E_{RMS}}{E_P} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \left( \pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots \quad (10-4)$$

peersamaan. (10-3) dan (10-4) menunjukkan hubungan diantara  $\alpha$ ,  $E_{AVG}$ , dan  $E_{RMS}$  dalam sebuah kontrol fasa gelombang setengah SCR. Mereka sangat berguna dalam merancang sirkuit kontrol perpindahan fasa. Demi kenyamanan, penghubung dapat jadi indikasi pada grafik yang ditunjukkan dalam gambar 10-4.

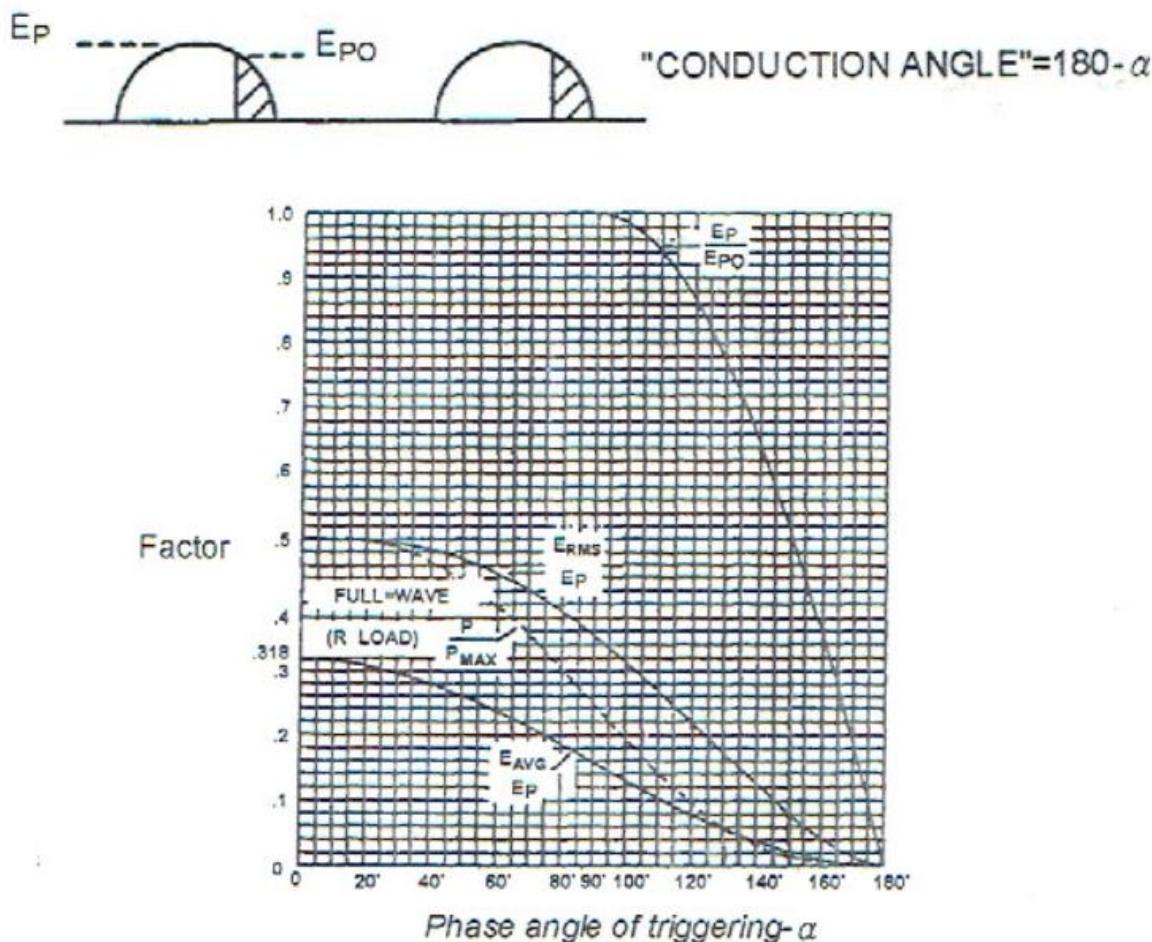


Fig.10-4 Chart for half-wave phase control analysis

Dalam gambar 10-4  $P/P_{MAX}$ , kurva menunjukkan rasio dari daya penuh disediakan dari sumber ac ke beban daya menerima daya resistif. Untuk contoh, sudut konduksi dari SCR adalah  $180^\circ$ , dan sudut pemicu adalah  $180^\circ - 90^\circ = 90^\circ$ , dengan demikian  $P/P_{MAX} = 0,5$ .

## 2. Kontrol gelombang penuh

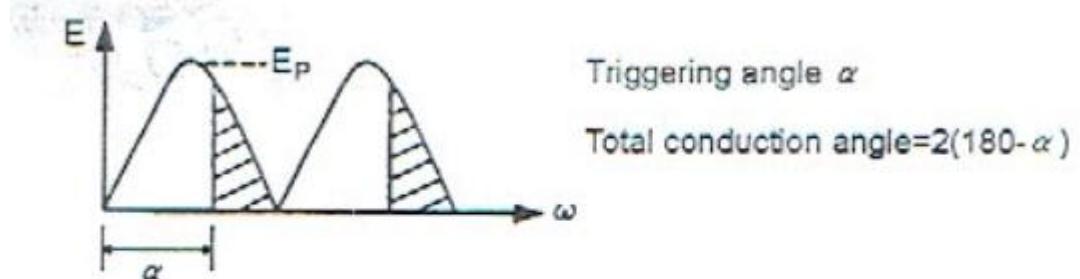


Fig.10-5 Load voltage of Fig. 10-1(e)

Gambar 10-5 menunjukkan tegangan dari daya resistif dalam sirkuit kontrol gelombang penuh SCR dari gambar 10-1 (e). Jumlah beban tegangan  $E_{AVG}$  dapat ditunjukkan seperti,

$$\begin{aligned}
 E_{AVG} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_P \sin \omega t d\omega t \\
 &= \frac{E_P}{\pi} \left[ -\cos \omega t \right]_0^{\pi} \\
 &= \frac{E_P}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad \text{----- (10-5)}
 \end{aligned}$$

Atau

$$\frac{E_{AVG}}{E_P} = \frac{1 + \cos\alpha}{\pi} \quad \text{----- (10-6)}$$

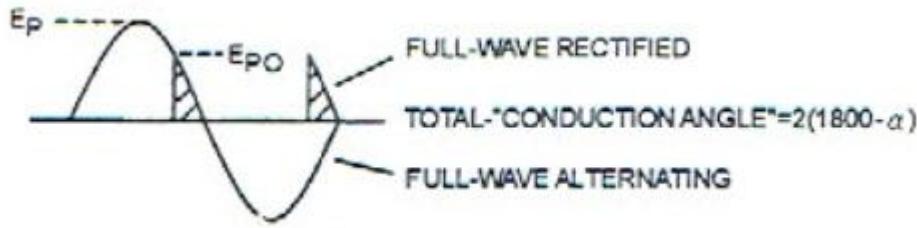
Karena itu nilai efektif dari beban tegangan dapat ditunjukkan menggunakan

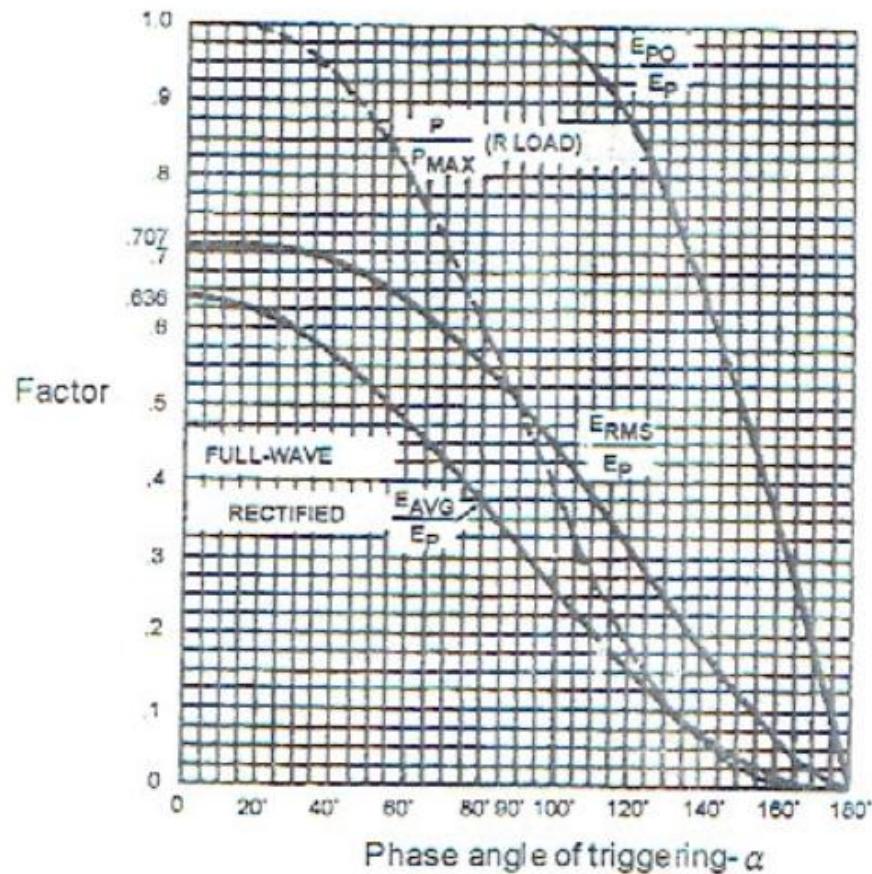
$$\begin{aligned}
 E_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} E_p^2 \sin^2 \omega t d\omega t} \\
 &= \sqrt{\frac{E_p^2}{2\pi} \sqrt{\left[ \frac{1}{2}(\omega t) - \frac{1}{2} \sin^2 \omega t \right]_{\alpha}^{\pi}}} \\
 &= \sqrt{\frac{E_p^2}{2\pi} \left( \pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)} \quad \text{----- (10-7)}
 \end{aligned}$$

Atau

$$\frac{E_{RMS}}{E_p} = \frac{\left( \pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \quad \text{----- (10-8)}$$

Persamaan (10-6) dan (10-8) dapat diindikasikan pada grafik dari gambar 10-6





**Fig.10-6 Chart for full-wave phase control analysis**

Gambar 10-7 menunjukkan tegangan pada beban resistif dalam sirkuit kontrol gelombang penuh simetrikal dari gambar 10-1 (c). Jumlah beban tegangan  $E_{AVG}$  adalah 0. Beban tegangan efektif  $E_{RMS}$  dapat juga dihitung menggunakan persamaan (10-7) dan (10-8).

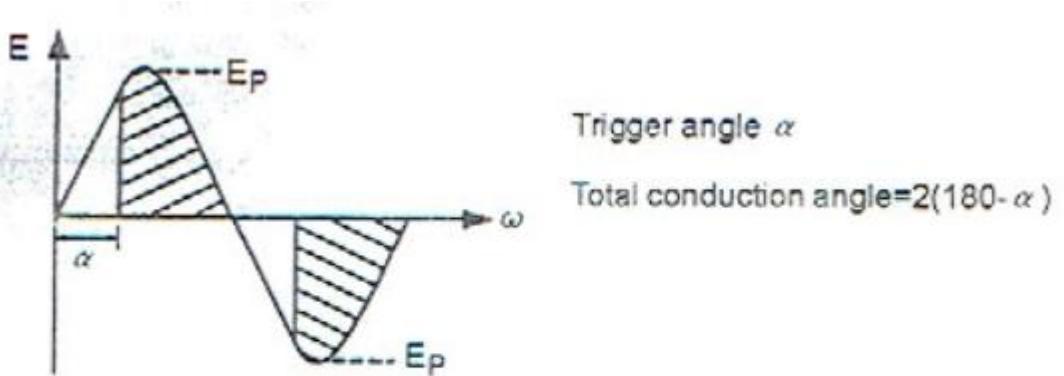


Fig.10-7 Load voltage of Fig. 10-1(c)

Dalam mempertemukan sirkuit SCR dari gambar 10-1 (e), gambar (10-6), jumlah beban tegangan pada  $113^\circ$ , adalah  $E_{AVG} = 0,194 \times 140 = 66V$  dan jumlah beban arus adalah  $66 / 12 = 5,5A$ . Jumlah arus yang melalui masing-masing penyearah  $5,5 / 2 = 2,75A$ .

Jika TRIAC digunakan, gambar 10-1 (f), arus rms akan menjadi 10A dengan sudut konduksi  $67^\circ$  masing-masing siklus setengah.

## Rancangan dari kontrol fasa AC

Kita mempunyai pembahasan banyak aplikasi dari sirkuit kontrol pergeseran fasa ac dan juga baik generator pulsa atau pergeseran fasa RC. Rancangan dari kontrol pergeseran fasa ac jadi cukup dimulai dalam tiga langkah.

- (1) Mengukur sudut penembakan dan konduksi berdasarkan persyaratan daya dari beban dan sumber tegangan.
  - (2) Mengukur sirkuit pergeseran fasa yang tepat.
  - (3) Mencocokan sirkuit perpindahan fasa ke persyaratan pemicu dari thyristor.

Tentu saja, test akhir dari berbagai rancangan adalah membangun sebuah model dan membuat penyesuaian dalam sirkuit memenuhi spesifikasi. Coba lihat pada masing-masing dari langkah didalam rancangan kontrol perpindahan fasa.



Dimana

$P_{AV}$  = jumlah daya yang diterima ke beban ditentukan sudut pemicu

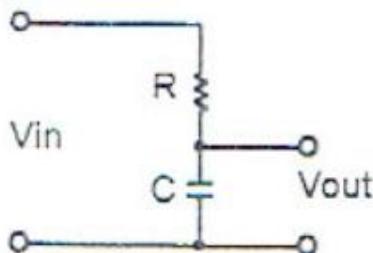
$E_{RMS}$  = tegangan RMS pada daya pada sebuah spesifik sudut pemicu

$R_L$  = daya resistif murni

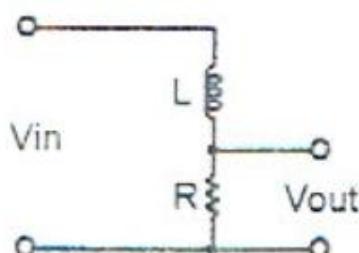
B. Menghitung sirkuit pergeseran sebenarnya

Seperti yang dibahas diatas, dasar sirkuit geser fasa digunakan sebagai sirkuit pemacu umumnya dibentuk menggunakan jaringan RC atau RL. Meskipun jaringan RC adalah sirkuit yang paling populer dalam aplikasi praktis.

Tipe dari sirkuit geser fasa yang digunakan tergantung dari nilai maksimal  $\alpha$ . Jika  $\alpha_{max}$  kurang dari  $90^\circ$ , mirip sebuah sirkuit pindah fasa RC da RL pada gambar 10-8 akan memenuhi syarat. Seperti  $\alpha_{max}$  pendekatan dan melebihi  $90^\circ$ , sebuah sirkuit jembatan RC mirip gambar 10-9 harus digunakan

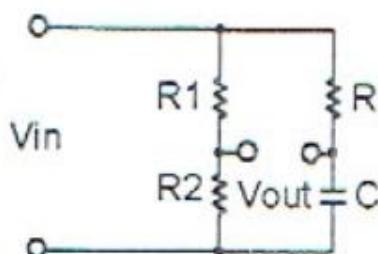


(a)RC

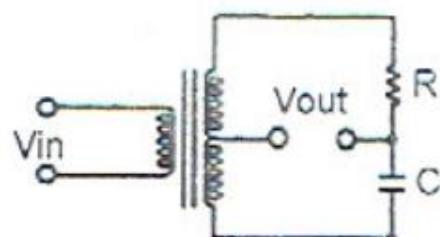


(b)RL

Fig.10-8 Simple phase shift circuits



(a)



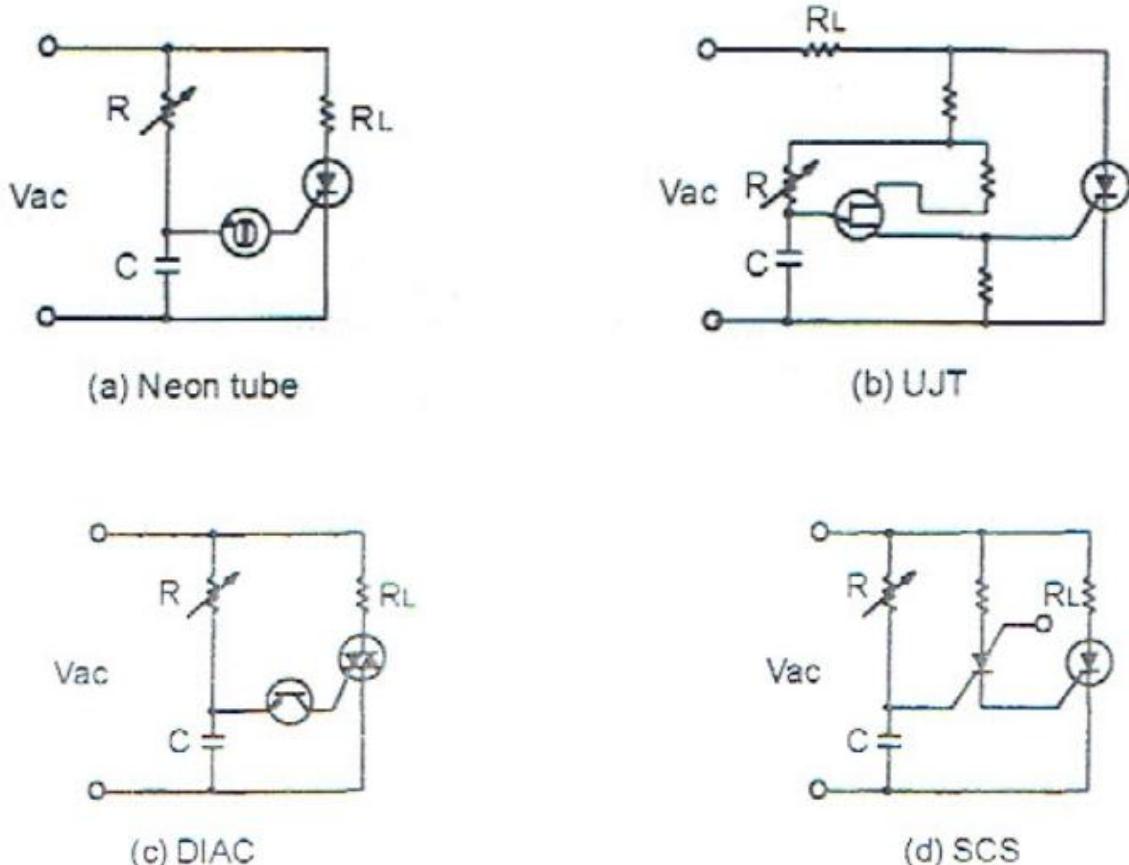
(b)

Fig.10-9 Bridged phase shift circuits

C. Pencocokan sirkuit pindah fasa ke persyaratan pemicu dari Thyristor

Dasar kontrol pindah fasa RC dari gambar 10-9 harus dimodifikasi untuk menunjukkan sebuah alat pemicu diantara sirkuit pindah fasa dan daya thyristor. Alat pemicu memungkinkan kita untuk mencocokkan sirkuit pindah fasa RC ke jangkauan yang luas dari thyristor tanpa menyesuaikan presisi untuk persyaratan yang spesifik

dari masing-masing thyristor.teknik yang biasa diikerjakan adalah menyimpan energi dalam kapasitor dan melepaskan kapasitor melalui alat peicu pada waktu yang tepat. Hasil pulsa dari energi biasanya cukup untuk lewat Gate tthyristor.

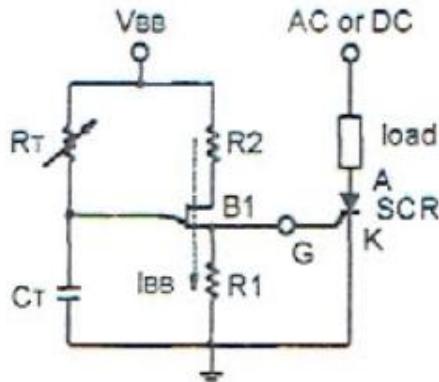


**Fig.10-10 Trigger devices used in AC phase controls**

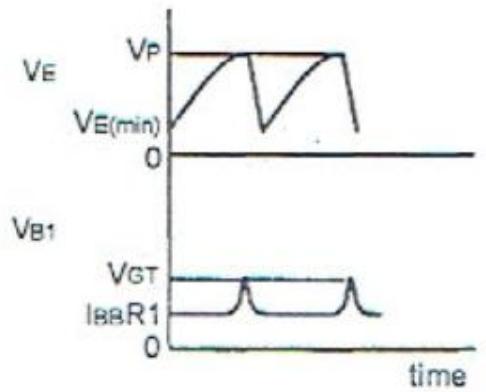
Tiap alat semikonduktor dengan karakteristik tahanan negatif dapat digunakan seperti alat pemicu. Gambar 10-10 menunjukan beberapa aplikasi dasar dari alat pemicu sering digunakan untuk SCR dan TRIAC.

#### Pemicu Gate SCR dengan osilator relaksasi UJT

Sirkuit pindah fasa yang mungkin sekali kita hadapi dalam kontrol fasa adalah osilator relaksasi UJT. Gambar 10-11 menunjukan osilator relaksasi UJT dalam kontrol fasa SCR. Kita bahas rancangan dari sirkuit osilator relaksasi UJT. Mengingat kembali frekuensi osilasi ditentukan menggunakan nilai dari pemilihan waktu  $C_T$  dan  $R_T$ , atau  $f \equiv 1/C_T R_T$ . Perubahan gelombang tegangan pada emitor,  $V_E$ , adalah sebuah gelombang gigi gergaji dan pada satu basis,  $V_{B1}$  adalah sebuah rangkaian pulsa positif seperti yang ditunjukan pada gambar 10-11 (b). Rangkaian pulsa dihubungkan ke Gate dari SCR untuk mengontrol daya yang diterima ke beban. Untuk pengoperasian yang benar, kita harus perhatikan dengan catatan berikut.



(a) Basic circuit



(b) Waveforms of  $V_E$  and  $V_{B1}$

Fig.10-11 UJT relaxation oscillator in SCR phase control

- (1) Waktu konstan ditentukan sudut konduksi dari SCR, waktu konstan  $R_T C_T$  secara langsung sebanding dengan sudut penembakan dari SCR, dan berbanding terbalik dengan daya beban.
- (2) Sebuah arus lemah  $I_{BB}$  mengalir melalui R1 akan menciptakan tegangan turun dari  $I_{BB} \times R_1$  saat UJT didalam keadaan mati
- (3) Untuk menghindari memicu SCR selagi UJT mati, nilai dari R1 harus terbatas untuk jarak yang sesuai
- (4) R2 untuk penggantian suhu

Nilai maksimal dari R1 mungkin ditentukan memicu Gate tegangan minimal dari SCR dan nilai  $I_{BB}$  dalam 10-11 (a) hubungan matematik :

$$R1 (\text{max}) \leq \frac{V_{GK} (\text{min})}{I_{BB}} \quad \dots \dots \dots \quad (10-10)$$

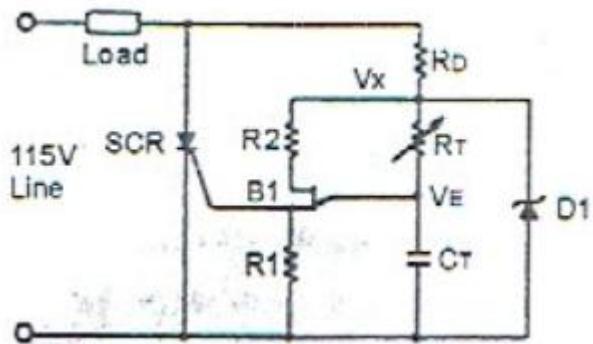
Dalam praktek, R1 dan R2 biasanya  $100\Omega$ . Karena

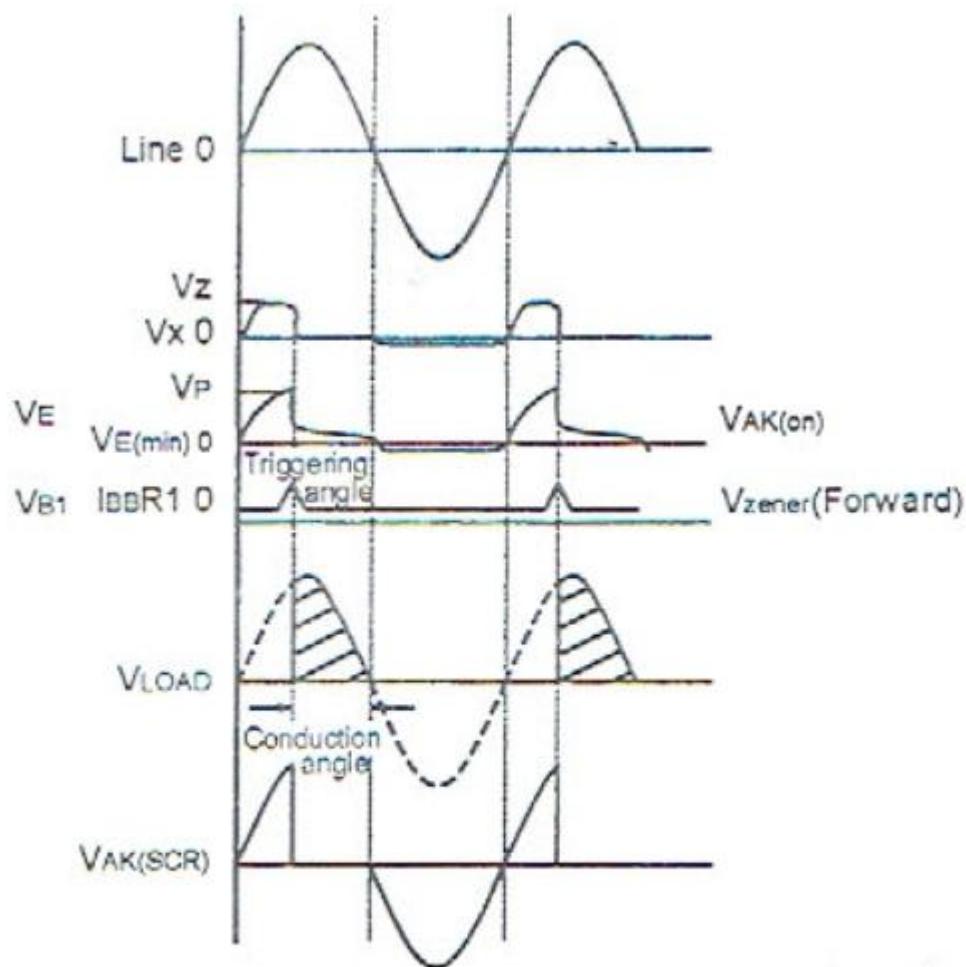
$$r_{BB} \gg R1 + R2 : I_{BB} \approx \frac{V_{BB}}{r_{BB}}$$

Mengganti persamaan (10-10)

$$R_1 \text{ (max)} \approx \frac{V_{CK} \text{ (min)}(r_{BB})}{V_{BB}} \quad \dots \dots \dots \quad (10-11)$$

Kelemahan utama dari sirkuit dari gambar 10-11 (a) gunakan persediaan daya retak. Sirkuit dari gambar 10-12 dan 10-13 tersedia untuk meningkatkan pasokan daya dalam kontrol fasa.





(b) Voltage wave forms

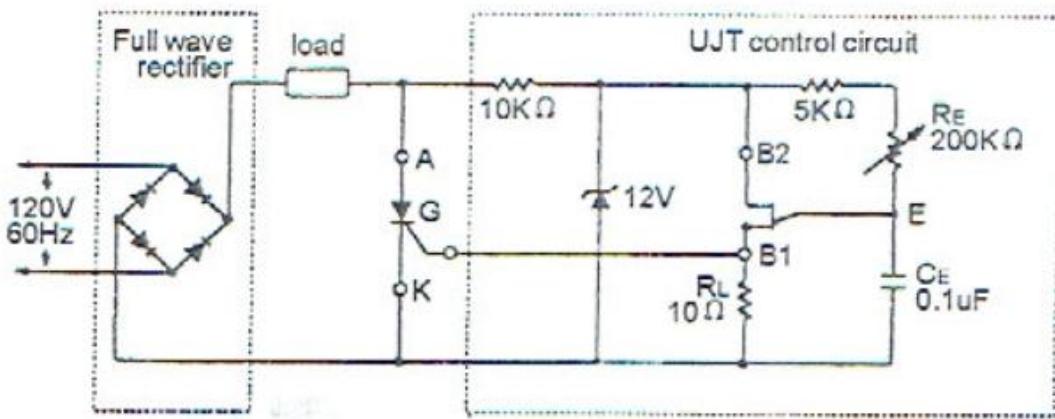
**Fig.10-12 UJT-SCR half-wave phase control**

Gambar 10-12(a) menunjukkan sebuah UJT-SCR sirkuit kontrol fasa setengah gelombang. Resistor RD da diode zener D1 mangatur jalur tegangan mempertahankan sebuah potensial tetap  $V_Z$  untuk osilator relaksasi UJT. Bentuk gelombang dalam sirkuit ditunjukan dalam gambar 10-12 (b). Operasi dari sirkuit ini mirip sirkuit dari gambar 10-1. Kita meringkas operasi sebagai berikut :

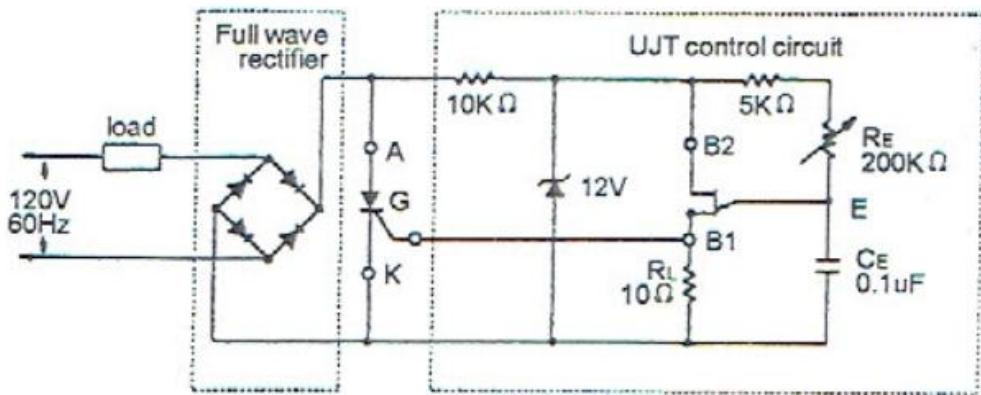
- (1) Dioda zener D1 menyediakan sebuah tegangan dc tetap untuk osilator relaksasi UJT dan menjaga UJT.
- (2) Tegangan emiiter adalah sebuah gelombang gigi gergaji dan tegangan pada barisan pulsa, lihat gambar 10-12 (b)

- (3) Perbandingan bentuk gelombang dari  $V_E$ ,  $V_{B1}$  dan  $V_{LOAD}$ , kita ihat  $R_T$  yang bervariasi waktu dari osilasi dari relaksasian osilasi bervariasi sudut fasa dari pemicu akan berbeda
  - (4) Sekali SCR dipicu ke konduksi selama setengah siklus positif. Pasokan tegangan ke sirkuit UJT akan menurunkan potensial sangat kecil oleh karena itu erjadi pulsa tanpa pemicu dalam porsi sisa dari siklus setengah.
  - (5) Saat SCR mati, arus zener masih mengalir melalui beban dan  $R_D$ . Arus zener harus dikecilkan menggunakan nilai tepat dari  $R_D$ , biasanya  $R_D \gg R_{LOAD}$ .

Sirkuit dari gambar 10-12 mungkin digunakan dengan sebuah jenis beban seperti motor, lampu dan pemanas elektrik. Mengambil efisiensi daya kedalam perhitungan, sirkuit kontrol fasa gelombang penuh ditunjukkan dalam gambar 10-13 tersedia dalam beban dc atau ac. Sirkuit dari gambar 10-13(a) adalah untuk beban dc dan gambar 10-13(b) untuk beban ac.



### (a) Phase control for dc load



(b) Phase control for ac load

Fig.10-13 AC phase control circuits

Deskripsi dari percobaan sirkuit

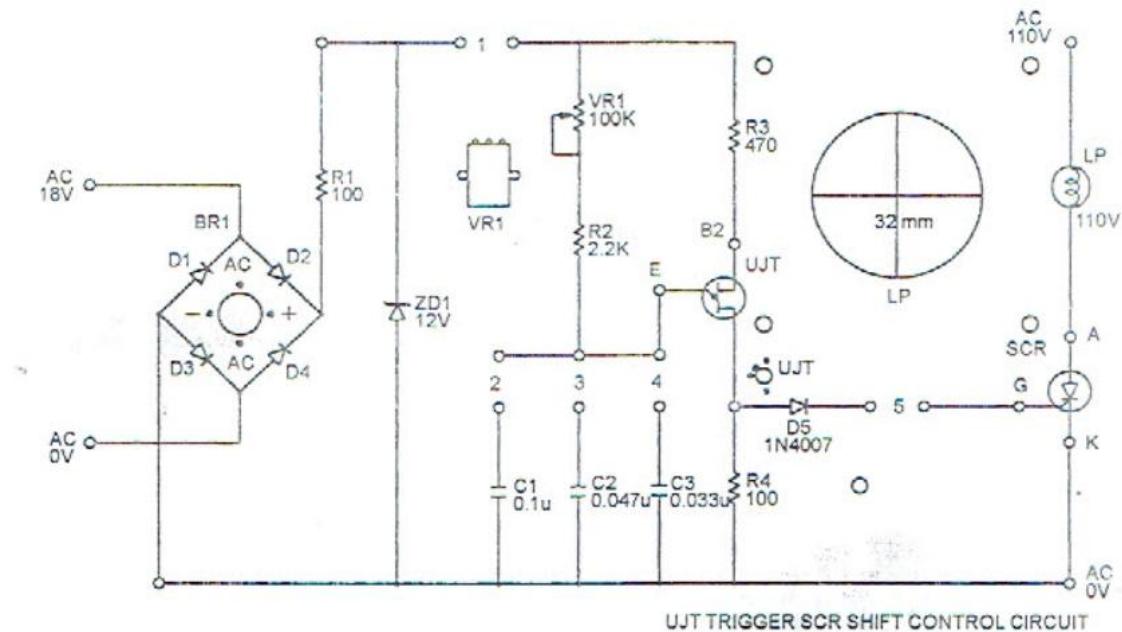


Fig.10-14 Experiment circuit

Gambar 10-14 menunjukkan UJT-SCR sirkuit fasa kontrol digunakan dalam percobaan ini. Jembatan penyearah, D1 ke D4 menyediakan sebuah denyut dc membentuk tegangan ac 18V. Klem diode zener ZD1 berdenyut tegangan dc 12V untuk relaksasi osilator. Resistor R1 melindungi zener dari kerugian kelebihan beban.

Saat Gate tidak memicu pulsaditerapkan ke Gate SCR, SCR dalam keadaan mati dan lampu mati. Apabila osilator relaksasi UJT beroperasi, pulsa pada basis satu akan dipicu konduksi SCR masing-masing setengah siklus positif, dengan demikian arus mengalir melalui lampu. Beban daya dikontrol menggunakan sudut konduksi daari SCR. Singkatnya, beban daya berbalik sebanding waktu pemicu tegangan.

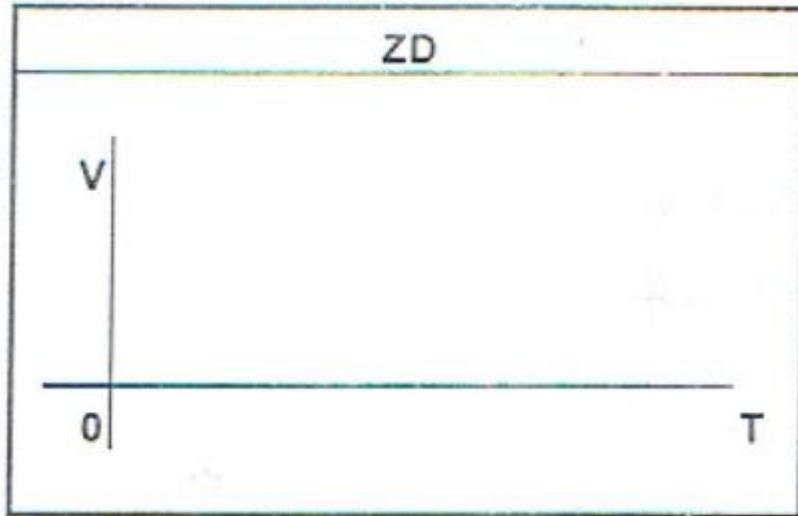
### ALAT YANG DIBUTUHKAN

- 1 – power supply KL – 51001
- 1 – isolasi transformator KL -58002
- 1 – modul KL -53005
- 1 – osiloskop

### LANGKAH KERJA

1. Mencari pemicu UJT sirkuit pindah SCR, ditunjukan dalam gambar 10-14, dalam modul KL -53005menggunakan tegangan AC 18V sirkuit ini dari power supply KL – 51001 KL – 58002
2. Jumpers secara pendek dalam posisi 1, 2 dan 5. Putar VR1 searah jarum jam untuk mendapatkan resistensi minimal
3. Gunakan osiloskop, ukur bentuk gelombang tegangan melewati diode zener ZD dan catat hasil di tabel 10-1.

Table 10-1



4. Gunakan osiloskop, ukur bentuk gelombang tegangan  $B_1$  dari UJT dan melewati anoda-katoda (A-K) dari SCR, dan catat hasil dalam tabel 10-2.  
Amati dan catat kecerahan lampu cerah

Table 10-2

A	B1
V 0 T	V 0 T

5. Siapkan VR1 ke posisi tengah. Ulangi langkah 4 dan catat hasil dalam tabel 10-3.  
Amati dan catat kecerahan lampu\_\_\_\_\_
6. Putar VR1 semaunya dan amati bentuk gelombang dari  $V_{AK}$  dan kecerahan lampu.  
Catat variasi kecerahan lampu dan sudut pemicu.
7. Lepas jumper pendek dari posisi 2 dan masukan di posisi 3. Ulangi langkah 4 dan 5.
8. Putar VR1 semaunya dan amati bentuk gelombang dari  $V_{AK}$  dan kecerahan lampu.  
Catat variasi dari kecerahan lampu dan sudut pemicunya.  
Bandingkan dan berikan komentari perbedaan antara hasil ini dan hasil langkah 6.
9. Lepas jumper pendek dari posisi 3 dan masukan dalam posisi 4, ulangi langkah 4 dan 5
10. Putar VR1 semaunya dan amati bentuk gelombang dari VAK dan kecerahan lampu.  
Catat variasi dari kecerahan lampu dan sudut pemicu

Bandingkan dan komentari perbedaan diantara hasil ini dan hasil langkah 8

### KESIMPULAN

Dalam percobaan ini kita menemukan seperti variasi VR1, waktu dari osilasi UJT relaksasi osilaor variasi jadi sudut konduksi dari SCR akan beragam. Dan tegangan emitor dari UJT gelombang gigi gergaji dan tegangan b1 adalah pulsa pemicu untuk SCR.

## 4. Percobaan 4 KONTROL DAYA PUT – SCR

### TUJUAN

1. Memahami operasi dari sirkuit kontrol daya PUT-SCR
2. Merancang dan mengukur sirkuit kontrol cahaya otomatis

### PEMBAHASAN

PUT mudah disesuaikan dan cocok untuk digunakan osilator pemulihan atau memperlambatkan sirkuit karena itu adalah parameter yang penting di sebuah pemograman. SCR adalah switch power ac yang ideal. Dengan teknik pemicu *Gate* yang sesuai, SCR menjalankan fungsi kontrol dengan sangat baik di dalam sirkuit power AC. Di percobaan ini, kita menggabungkan PUT dan SCR untuk membentuk sirkuit kontrol power AC.

Gambar 11-1 menunjukkan sirkuit kontrol power AC PUT-SCR. Daya yang dipergunakan osilator PUT adalah tegangan DC yang berupa pulsa yang nilai puncaknya dibatasi oleh diode zener. Tegangan pulsa yang muncul dari tegangan input 18-V AC dengan diikuti rangkaian penyuarah gelombang jembatan penuh D1-D4 digunakan untuk mensinkronisasi dengan tegangan input ac.

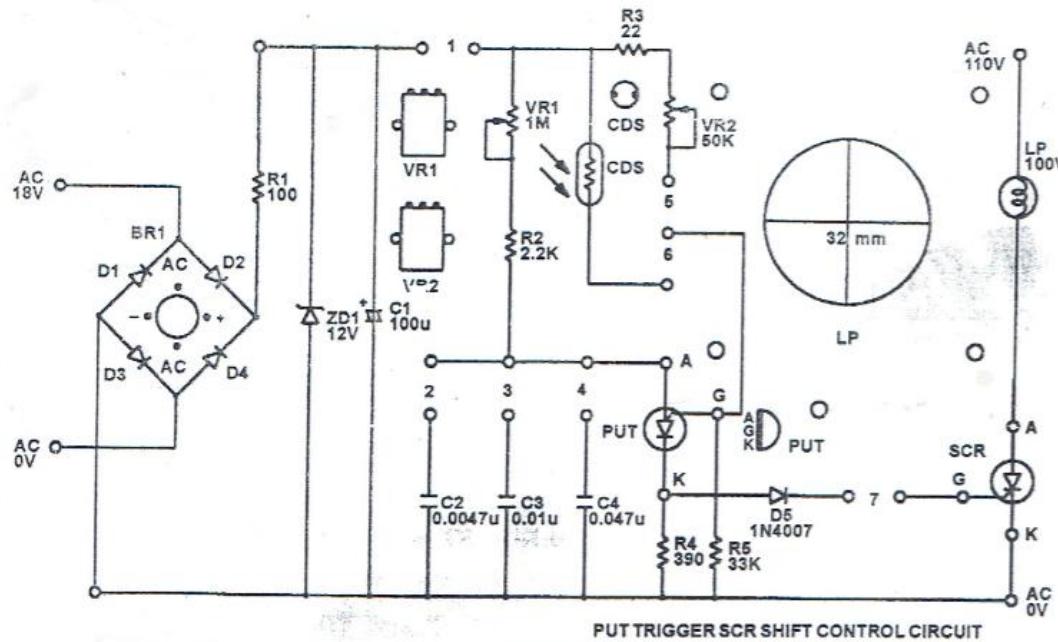


Fig.11-1 Experiment circuits

PUT berperan sebagai osilator pemulihan. Saat tegangan Gate  $V_G$  tetap, PUT beralih menjadi on jika tegangan anoda lebih besar dari  $V_G + V_T$ . Tegangan anoda ditentukan oleh tegangan kapasitor menggunakan pengisian arus dan konstanta waktu RC.

Pengisian kapasitor melalui R2 dan VR1. Saat tegangan kapasitor mencapai nilai dari  $V_P$ , PUT keadaan menyala dan saat pulsa positif timbul di R4. Pulsa positif diaplikasikan pada kaki gate SCR untuk memicu SCR.

Konstanta waktu RC menentukan periode osilasi, yang mengontrol sudut penyalakan SCR. Dengan kata lain, semakin besar konstanta waktunya, semakin besar sudut penyalanya. Karena beban yang digunakan adalah lampu, sudut konduksi dari SCR menentukan daya yang dikirim ke beban dan tingkat kecerahan lampu.

CDS yang terhubung pada gate PUT digunakan untuk mengatur tegangan gate sesuai tingkat pencahayaan. Saat CDS menunjukkan perbedaan tingkat cahaya, variasi tegangan gate menentukan variasi sudut penyalan dan selanjutnya tingkat kecerahan lampu dikontrol oleh tingkat pencahayaan.

---

### **PERALATAN YANG DIBUTUHKAN**

1 – power supply KL – 51001

1 – transformator isolasi KL – 58002

1 – modul KL – 53005

1 – osiloskop

1 – multimeter

1 – lampu 20W

### **LANGKAH KERJA**

1. Sambungkan power supply AC 18Vac dan 110Vac dari sumber daya (KL – 51001 – KL 53005) ke modul KL -53005.
  2. Pasang lampu 20W pada soket KL – 53005. Putar VR1 searah jarum jam. Masukan sambungan di posisi 1, 4, 5 dan 7.
  3. Amati dan catat keadaan dari LP \_\_\_\_\_ menggunakan multimeter, ukur dan catat jalur tegangan dari PUT.  $V_G =$  \_\_\_\_\_ V.
  4. Putar perlahan VR1 ke arah kiri, amati dan catat keadaan dari LP. \_\_\_\_\_
- 

Hentikan di titik tengah. Gunakan osiloskop, ukur dan catat bentuk gelombang tegangan pada anoda PUT di tabel 11-1.

Tabel 11-1

SCR A	PUT K
V 0	V 0
PUT A	
V 0	T

5. Ukur dan catat perubahan bentuk gelombang dari katoda PUT dan anoda SCR di tabel 11-2

Tabel 11-2

6. Putar VR1 berlawanan arah jarum jam. Amati dan catat pergantian nyala LP.

---

Ukur dan catat bentuk gelombang tegangan dari anoda PUT di tabel 11-3

SCR A	PUT K
V	V
0	T
PUT A	
V	
0	T

Tabel 11-3

7. Ukur dan catat bentuk gelombang tegangan dari katoda PUT dan anoda SCR di tabel 11-4

Tabel 11-4

8. Putar VR1 secara acak. Amati dan catat perubahan tingkat kecerahan LP.

SCR A	PUT K
V	V
0	T

\_\_\_\_\_ apakah daya pada beban dikendalikan oleh VR1?

---

9. Putar sepenuhnya VR1 searah jarum jam. Lepaskan sambungan dari posisi 4 dan kemudian masukan di posisi 3. Ulangi langkah 3 dan 4 dan catat hasil di tabel 11-5.

Tabel 11-5

PUT A
V 0 T

10. Ulangi langkah 5 dan catat hasil di tabel 11-6

Tabel 11-6

11. Ulangi langkah 6 dan catat hasil di tabel 11-7

SCR A	PUT K
V	V
0	T
PUT A	
V	
0	T

Tabel 11-7

12. Ulangi langkah 7 dan catat hasil di tabel 11-8.

Tabel 11-8

13. Putar sepenuhnya VR1 searah jarum jam. Lepaskan sambungan dari posisi 3 dan kemudian masukan diposisi 2. Ulangi langkah 3 sampai 7. Amati dan catat hubungan di antara bentuk gelombang.
- 
14. Dari langkah-langkah di atas, bagaimana hubungan antara kapasitor dan sudut konduksi dari SCR.
- 
15. Putar VR1 berlawanan jarum jam secara penuh. Lepaskan sambungan dari posisi 2 dan 4 dan masukan posisi 5 dan 6.
16. Buka CDS ke tingkat cahaya normal. Ukur dan catat tegangan gate dari PUT.  $V_G = \underline{\hspace{2cm}} V$ .

17. Tutupi jendela CDS dengan tangan. Bagaimanakah penyinaran lampu?

---

PUT dan SCR

(nyala atau mati)

18. Lepaskan tangan jendela CDS. Bagaimana penyinaran lampu?

---

PUT dan SCR

(nyala atau mati)

## KESIMPULAN

Pada percobaan ini osilator PUT digunakan untuk memicu SCR dengan menggunakan sinyal keluaran berupa pulsa. SCR mengendalikan daya ac yang dikirim ke beban dengan berbagai sudut konduksi. Sudut penyalaan dikontrol dengan rangkaian RC dalam sirkuit anoda dari PUT osilator. Pengaturan baik VR1 maupun kapasitansi dapat merubah konstanta waktu RC. Semakin lama periodenya, maka semakin kecil daya pada beban.

Sirkuit kontrol cahaya otomatis pada percobaan ini dibuat dengan menggunakan sensor CDS dan sirkuit kontrol daya PUT-SCR. CDS mengubah tegangan gate PUT dalam variasi tingkat pencahayaan. Oleh karena itu daya pada beban di kontrol secara otomatis berdasarkan tingkat pencahayaan.

## 5. PERCOBAAN 5 SIRKUIT LAMPU REDUP OTOMATIS

### TUJUAN :

1. Memahami operasi TRIAC dan fase kontrol SCR
2. Memahami operasi sirkuit fase kontrol DIAC-TRIAC
3. Cara kerja kontrol lampu redup otomatis.

### PEMBAHASAN :

#### Fase kontrol TRIAC

##### 1. Kontrol phasa RC

TRIAC seperti SCR, sering digunakan di sirkuit AC untuk mengontrol daya pada beban. TRIAC dapat beroperasi pada sirkuit fasa kontrol gelombang penuh sementara sebuah SCR dapat beroperasi sirkuit fase kontrol setengah gelombang. Walaupun tingkatan daya TRIAC kurang dari SCR, TRIAC lebih sesuai dipakai di aplikasi AC.

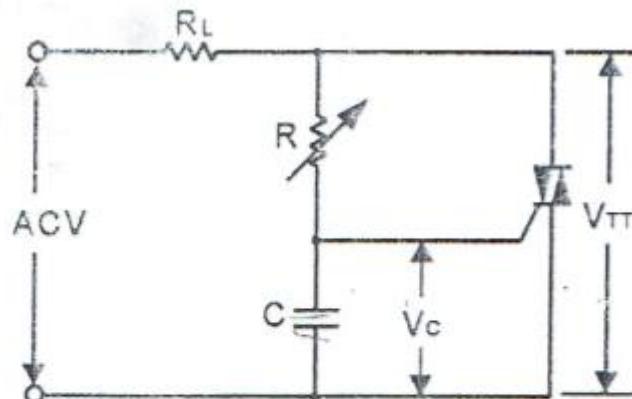


Fig.14-1 Basic RC phase control circuit

Gambar 14.1 menunjukkan sebuah fase kontrol sirkut RC dasar. Tegangan kapasitor  $V_c$  berada di belakang  $V_{TT}$ , sebuah sudut bergantung pada waktu konstan RC dan level penggerak *Gate* mengharuskan untuk menuju TRIAC sepeerti yang ditunjukkan pada gambar.

14-2 pada setengah siklus jalur tegangan positif, nilai positif dari  $V_c$  mencapai level pemicu  $t_1$  dan membuat TRIAC aktif. Sudut  $\alpha_1$  disebut sudut tembak atau sudut pemicu. Peoperasian ini dalam mode I+ ; yaitu, T2 positif dan gerbang pintu positif. Pada siklus setengah negatif, TRIAC dipicu  $t_3$  dengan

sudut pemicu  $\alpha_2$ . Mode ini adalah III-, atau T2 negatif dan gerbang negatif. Walaupun sensitifitas pemicu dalam mode I+ sama dengan mode III-, sedikit perbedaan muncul antara  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$ ,  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ .

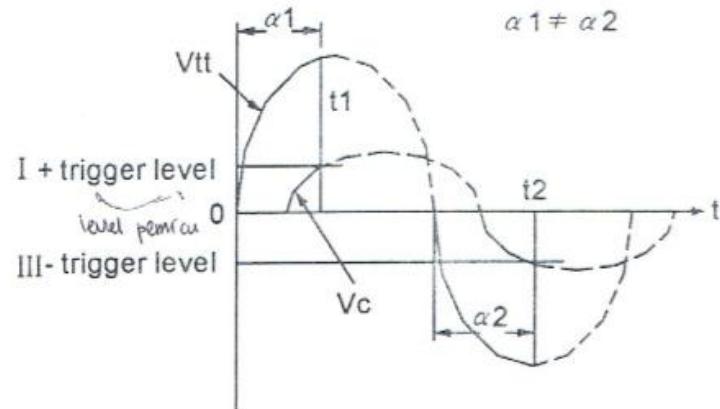


Fig.14-2 Relationship between  $V_c$  and  $V_{tt}$  in the circuit of Fig.14-1

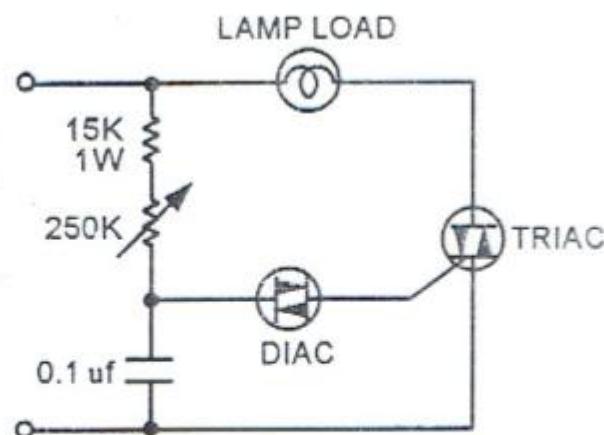


Fig.14-3 Basic DIAC-TRIAC phase control circuit

Bentuk paling dasar dari fase kontrol gelombang penuh adalah siruit TRIAC sederhana seperti gambar 14-3. Ketika tegangan kapasitor mencapai peredupan tegangan  $V_{BO}$ , DIAC menjadi aktif dan kemudian membuat TRIAC juga aktif. Karena nilai  $V_{BO+}$  dan  $V_{BO-}$  adalah hampir sama, maka sudut pemicu di siklus separuh positif dan negatif sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 14-4.

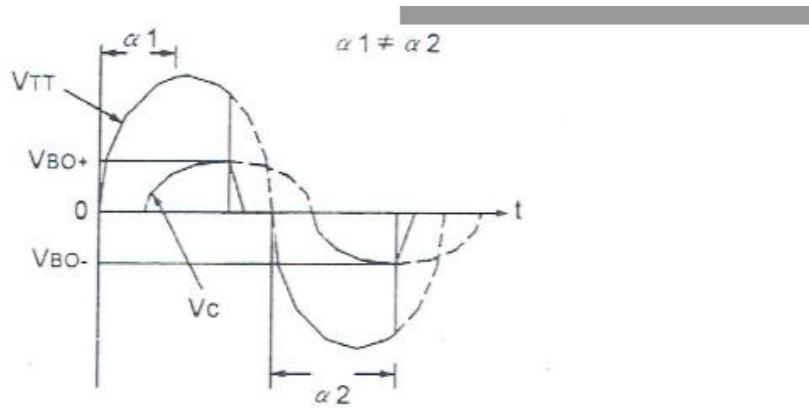


Fig.14-4 Relationship between  $V_c$  and  $V_{TT}$  in the circuit of Fig.14-3

Sirkuit dalam gambar 14-3 biasanya digunakan pada kontrol peredupan lampu dan sirkuit kontrol kecepatan kipas. Kelemahan dari sirkuit ini adalah jarak dari sudut tembak kurang dari  $180^\circ$

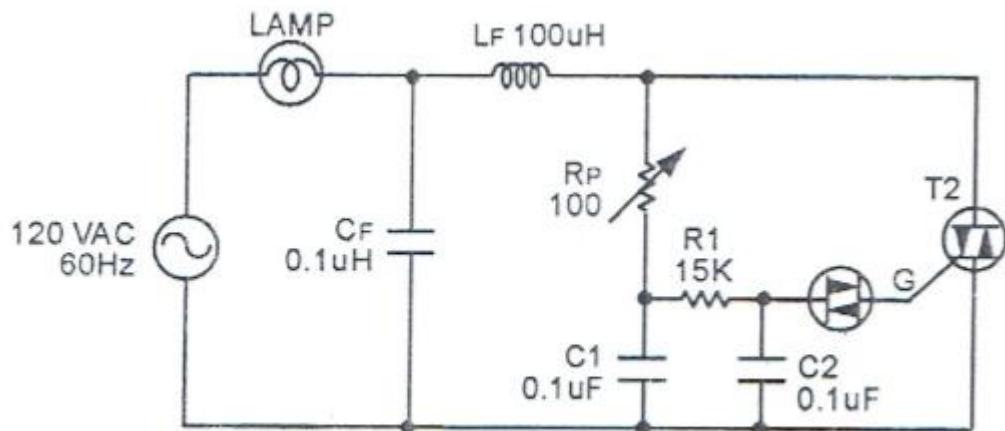


Fig.14-5 Extended range phase control circuit

Untuk memperpanjang jarak dari sudut tembak, ini adalah cara yang benar untuk menyambungkan 2 bagian dari jaringan RC fase yang berpindah dalam rangkaian seperti yang ditunjukkan pada gambar 14-5. Kapasitor  $C_F$  digunakan untuk membatasi nilai dari  $dv/dt$ , dan kapasitor  $C_F$  digunakan untuk membatasi nilai dari  $di/dt$ .

## 2. Fase kontrol dengan pemicu gelombang

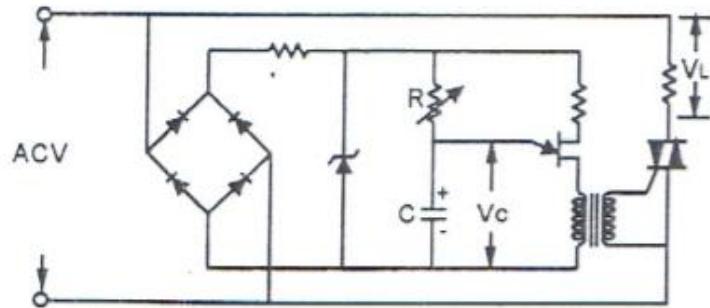
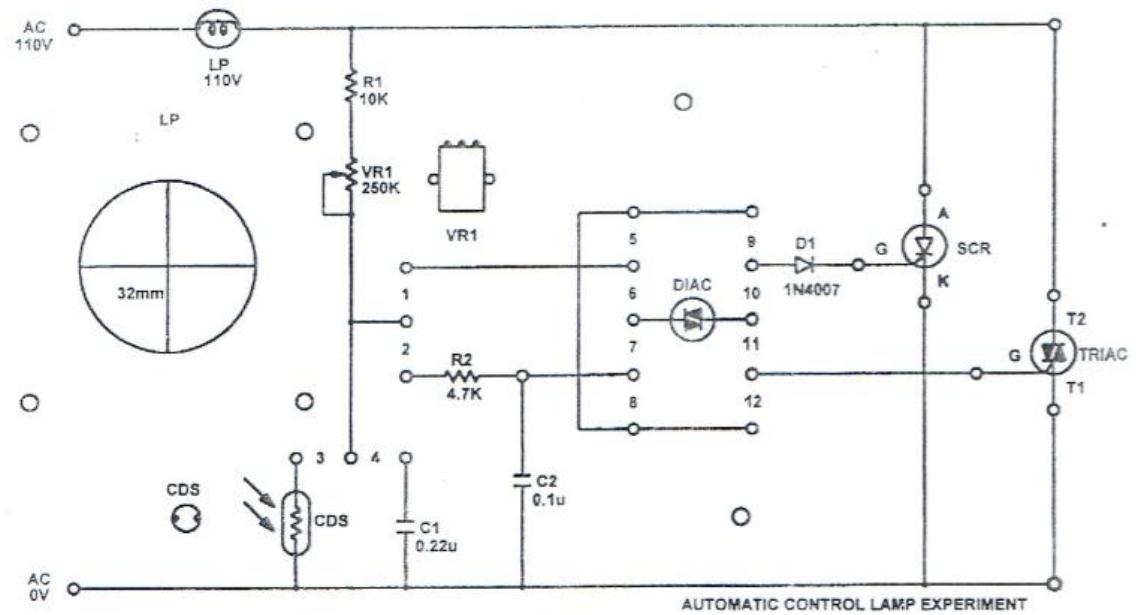


Fig.14-6 UJT relaxation oscillator in TRIAC phase control

Gambar 14-6 menunjukkan sebuah sirkuit pemicu gelombang untuk TRIAC. Pemicu gelombang dihasilkan oleh osilator relaksasi UJT dan dipasangkan dengan transformer ke gerbang TRIAC

### Diskripsi dari sirkuit penelitian

Sirkuit ada gambar 14-7 adalah siirkuit koontrol peredupan lampu yang digunakan dalam penelitian ini. Deskripsi singkat dibuat sebagai berikut



**Fig.14-7 Experiment circuit**

DIAC adalah alat pemicu untuk pengaplikasian kontrol daya TRIAC. Jika tegangan yang diaplikasikan melewati 2 terminal mencapai tegangan DIAC yang telah mati, hingga DIAC menjadi aktif. Sirkuit pada gambar 14-7, ketika jalur tegangan dipasang kapasitor C1 mengisi melalui R1 dan  $V_{R1}$  dan membangun tegangan yang cukup untuk memicu SCR atau TRIAC agar aktif dengan menyesuaikan  $V_{R1}$ , sudut konduksi dari SCR atau TRIAC dapat diganti agar mencapai fungsi kontrol lampu peredupan.

Demikian pula, jika DIAC digunakan dan C1 mengisi untuk mencapai tegangan DIAC yang mati, DIAC menjadi aktif dan memicu SCR atau TRIAC agar mengalir atau menyalurkan. Jaringan R2C2 digunakan untuk memperlebar jarak dari sudut tembak. Diode D1 untuk melindungi gerbang SCR dari pemicu gelombang negatif.

CDS digunakan untuk menampilkan fungsi dari kontrol peredupan lmpu otomatis. Didala level cahaya normal, potensi pemicu diatur di pada level rendah yang tidak bisa memicu DIAC menjadi aktif SCR atau TRIAC tersebut dan LP mati ketika sumber cahaya ditutup , peningkatan resistansi CDS mmenyebabkan potensi pemicu yang untuk membuat DIAC aktif SCR atau TRIAC kemudian dihidupkan dan LP hidup.

## **PERALATAN YANG DIBUTUHKAN**

1 – POWER SUPPLY KL – 51001

1 – TRANSFORMATOR ISOLASI KL – 58002

1 – MODUL KL – 53007

1 – OSiloskop

### LANGKAH KERJA

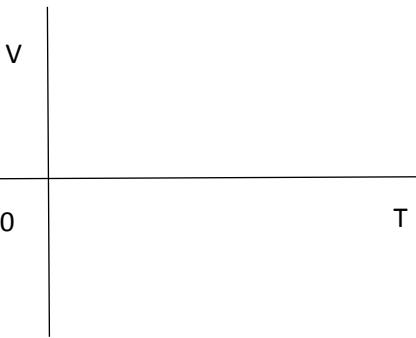
1. Sambungkan power supply 110VAC dari power supply KL – 51001 – KL – 58002 ke modul KL – 53007. Pasang lampu pada soket
2. Sambungkan penghubung di posisi 1, 4, 5 dan 9. Putar VR1 secara acak, amati dan catat perubahan cahaya lampu.
  - a. Apakah ada fenomena histeresis?
3. Atur VR1 di posisi tengah-tengah. Ukur dan catat perubahan gelombangan tegangan dari anoda SCR dan kapasitor C1 di dalam tabel 14 – 1.

Tabel 14-1

SCR A	$V_{C1}$
$V$ 0 T	$V$ 0 T

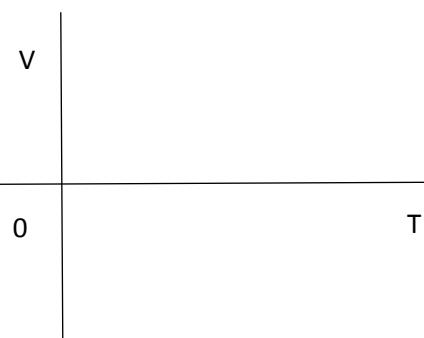
4. Lepas sambungan dari posisi 9 dan masukan di posisi 12. Ulangi langkah 2 dan 3. Catat hasil di tabel 14 – 2.

Tabel 14-2

SCR A	$V_{C1}$
	

5. Lepas semua sambungan dan masukan sambungan di posisi 1, 4, 6 dan 10.  
Ulangi langkah 2 dan 3. Catat hasil di tabel 14-3.

tabel 14-3

SCR A	$V_{C1}$
	

6. Lepaskan sambungan dari posisi 10 dan masukan di posisi 11. Ulangi langkah 2 dan 3. Catat hasil di tabel 14-4.

Tabel 14-4

The figure consists of two side-by-side graphs. The left graph is labeled 'SCR A' and the right graph is labeled  $V_{C1}$ . Both graphs have a vertical axis labeled 'V' and a horizontal axis labeled 'T'. In the SCR A graph, there is a horizontal line at a non-zero voltage value, with the label '0' at the origin. In the  $V_{C1}$  graph, there is also a horizontal line at a non-zero voltage value, with the label '0' at the origin.

7. Masukan sambungan di posisi 2, 4, 8 dan 9. Putar VR1, amati dan catat perubahan cahaya lampu.
    - a. Apakah ada fenomena histeresis?
  8. Atur VR1 di posisi tengah. Ukur dan catat perubahan gelombang tegangan dari anoda SCR dan kapasitor C2 di tabel 14-5

Tabel 14-5

The figure consists of two side-by-side graphs. The left graph is labeled "SCR A" and the right graph is labeled " $V_{C2}$ ". Both graphs have a vertical axis labeled "V" and a horizontal axis labeled "T". In the SCR A graph, there is a single curve starting at the origin (0,0) and increasing monotonically. In the  $V_{C2}$  graph, there are two curves: one starting at the origin (0,0) and increasing, and another parallel curve that starts at a positive voltage value on the vertical axis and increases. The horizontal axis is labeled "T" in both cases.

9. Lepaskan samungan dari posisi 9 dan masukan di posisi 12. Ulangi langkah 7 dan 8 dan catat hasil di tabel 14-6.

10. Masukan sambungan di posisi 2, 4, 7 dan 10. Ulangi langkah 7 dan 8 dan catat hasil di tabel 14-7.

Tabel 14-7

SCR A	$V_{C2}$
$V$   — 0	$V$   — 0

11. Lepas sambungan dari posisi 10 dan masukan di posisi 11. Ulangi langkah 7 dan 8. Catat hasil di tabel 14-8.

Tabel 14-8

SCR A	$V_{C2}$
$V$   — 0	$V$   — 0

12. Pemiiicu sirkuit yang mana yang paling baik?
  - a. Manakah Sirkuit kontrol daya yang mempunyai keluaran daya paling tinggi?
13. Masukan sambungan di posisi di posisi 1, 3, 6 dan 11. Buka CDS ke tingkat cahaya normal. Atur VR1 untuk menjaga TRIAC dalam kondisi mati sebelum melakukan.
14. Tutupi jendela CDS dengan tanganmu. Amati dan catat keadaan lampu, DIAC dan TRIAC.
15. Lepaskan tangan dari jendela CDS. Amati dan catat keadaan lampu, DIAC dan TRIAC.

## KESIMPULAN

Anda telah melakukan percobaan kontrol lampu redup otomatis. Sebagian dari kontrol fase RC akan bergeser mungkin karena sebuah fenomena histeresis. Efek ini dapat dihilangkan menggunakan menambahkan sebuah rangkaian seri RC.

SCR mengalirkan hanya selama setengah siklus positif dari garis tegangan, daya yang dilepaskan terhadap beban lebih kecil dari sirkuit kontrol TRIAC. Beban ini dapat ditunjukkan dengan menggunakan pengukuran beban tegangan dan pengamatan kecerahan lampu. Oleh karena itu sirkuit kontrol cahaya CDS dapat digunakan sebagai sirkuit kontrol penerangan cahaya jalan.



## **6. DRAFT PERCOBAAN 6 Start Motor dan Kontrol Kecepatan**

### **TUJUAN**

1. Memahami jenis dan karakteristik motor.
2. Mempelajari rangkaian kontrol kecepatan motor.
3. Melakukan start motor TRIAC dan rangkaian kontrol kecepatan.

### **PEMBAHASAN**

Motor adalah sumber utama tenaga mekanik di industri. Motor diklasifikasikan pertama berdasarkan tegangan operasi. Dua tipe umum adalah motor DC dan AC. Menurut tegangan AC, motor AC dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis: motor satu fasa, tiga fasa, dan polifasa. Desain rangkaian yang berhasil untuk pengendali motor listrik bergantung pada karakteristik kinerja motor yang sesuai dengan persyaratan beban mesin atau perangkat yang akan digerakkan.

Beberapa pertanyaan mendasar harus dijawab sebelum merancang rangkaian kontrol motor, seperti:

1. Berapa tenaga kuda yang dibutuhkan?
2. Berapa kecepatan atau kontrol kecepatan yang harus disediakan?
3. Berapa torsi yang dibutuhkan dan bagaimana hal itu bervariasi dengan kecepatan?
4. Apa persyaratan pengendalian dalam hal variasi kecepatan, urutan, dan arah rotasi?

Dengan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan ini, maka kita harus mencocokkan kebutuhan pelanggan dengan tipe dan ukuran motor dan kontrol elektronik yang tepat.

Dalam pembahasan ini kita akan mengulas secara singkat jenis motor yang tersedia dan karakteristiknya serta desain kontrol elektronik.

### **Motor dan Karakteristik**

Motor listrik bisa diklasifikasikan menurut rating tenaga kuda. Tiga kelas umum adalah:

- (1) Motor tenaga kuda mini biasanya diberi nilai dalam milihorsepower atau dalam ons output torsi.
- (2) Motor tenaga kuda pecahan dinilai kurang dari satu tenaga kuda seperti 1/6, 1/4, 1/2 atau 3/4 tenaga kuda.
- (3) Motor tenaga kuda Integral memiliki nilai output satu tenaga kuda atau lebih; motor tenaga kuda integral terbesar bernilai sebesar 10.000 tenaga kuda.

Tenaga kuda (hp) adalah satuan ukuran tingkat kerja. Satu tenaga kuda setara dengan mengangkat 33.000 pound sampai setinggi satu kaki dalam satu menit. Persamaan untuk menghitung tenaga kuda adalah

$$hp = \frac{\text{torsi} \times \text{kecepatan}}{5250} = \frac{T \times N}{5250}$$

..... (15-1)

dimana            T = torsi dalam foot-pounds

                      N = kecepatan dalam rotasi per menit

Mari kita lihat beberapa jenis motor yang tersedia dan karakteristik tipe kinerjanya:

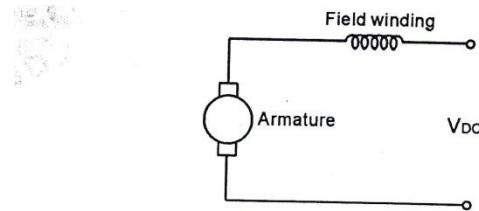
### **Motor Universal**

Motor universal dirancang untuk beroperasi pada tegangan AC atau DC. Kecepatan motor bisa dikontrol dengan menyesuaikan tegangan yang diberikan. Motor universal biasanya beroperasi pada kecepatan yang sangat tinggi dengan efisiensi yang baik. Kecepatan akan sangat bervariasi dengan pembebahan luar. Motor ini banyak digunakan di banyak peralatan konsumen seperti mesin jahit, penyedot debu, mixer, blender, alat berkebun, bor tangan, dan pemoles lantai.

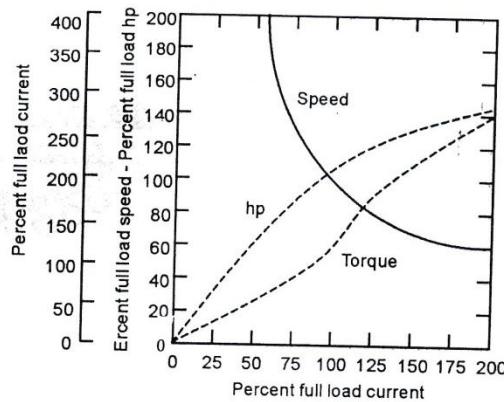
### **Motor DC Belitan Seri**

Motor DC belitan seri memiliki belitan medan secara seri dengan jangkar. tegangan DC diterapkan pada kombinasi seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15-1. Ketika kita mengatakan tegangan DC, kita tidak berbicara tentang filter yang sama, tegangan diatur digunakan untuk mengoperasikan rangkaian elektronik. Tegangan DC untuk

mengoperasikan motor dan peralatan berat industri lainnya biasanya merupakan tegangan AC yang disearahkan. Jika riak rendah diperlukan, tegangan tiga fasa disearahkan untuk memberikan eksitasi DC.



**Fig. 15-1 Series-wound DC motor**



**Fig. 15-2 Characteristics for a series-wound DC motor**

Motor DC belitan seri memiliki keunggulan torsi awal yang sangat tinggi. Gambar 15-2 menunjukkan tipe karakteristik kurva untuk motor DC belitan seri. perhatikan torsi hampir 300% dari beban penuh pada kecepatan rendah. Saat kecepatan motor meningkat, output torsi dan tenaga kuda turun. Ini bukan motor kecepatan konstan. motor DC sangat ideal untuk aplikasi di mana berbagai torsi dan kecepatan dibutuhkan, seperti crane, kerekan, lift, mobil troli, dan mobil kereta api. Kemampuan untuk mulai lamban dengan beban berat, beroperasi cepat dengan beban ringan, rem cepat, dan sebaliknya membuat motor DC sangat populer.

### **Motor DC Belitan Shunt**

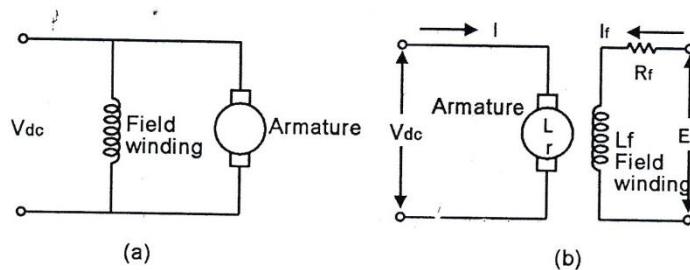
Motor DC memiliki medan belitan secara paralel dengan jangkar. Tegangan DC diaplikasikan pada kedua elemen pada waktu yang sama seperti ditunjukkan pada Gambar 15-3(a). Terkadang medan disuplai dari sumber tegangan DC yang sama sekali berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15-3(b). Ini tidak berpengaruh pada operasi motor namun memungkinkan untuk mengendalikan arus medan atau tegangan jangkar.

Tegangan jangkar yang diterapkan dapat dinyatakan oleh

dimana      r    = tahanan jangkar  
                 L    = induktansi jangkar  
                 Kv = koefisien tegangan  
                 n    = rotasi per menit  
                  $\phi$    = fluks magnetic

Pada kondisi normal, nilai  $dl/dt$  harus bernilai nol dan  $I_r$  sangat kecil dan dapat diabaikan, oleh karena itu Eq. (15-2) dapat disederhanakan menjadi

Dari persamaan diatas, Kita melihat bahwa kecepatan motor DC sebanding dengan tegangan jangkar. Dengan kata lain, kecepatan motor bisa dikontrol dengan cara mengubah-ubah tegangan jangkar.



**Fig. 15-3** Shunt-wound dc motor

Sistem kontrol kecepatan motor Ward Leonard dibuat dengan menggunakan prinsip ini. Tegangan DC yang diaplikasikan pada motor DC diubah dari sumber listrik AC dengan kontrol fasa dan penyaringan. Oleh karena itu kecepatan motor dikendalikan oleh kontrol fasa AC.

Merujuk pada rangkaian Gambar 15-3(b). Tegangan yang diaplikasikan pada gulungan medan dapat ditulis sebagai

$$E_f = R_f l_f + L_f \frac{dl_f}{dt} \quad \dots \dots \dots (15-4)$$

dimana  $E_f$  = tegangan medan terapan

$I_f$  = arus medan

$L_f$  = induktansi medan

$R_f$  = tahanan medan

Hubungan antara arus medan dan fluks dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$\phi_f = f(I_f) \quad \dots \dots \dots (15-5)$$

Dari persamaan diatas, kita menemukan bahwa kecepatan motor dapat dikendalikan dengan menyesuaikan arus medan  $I_f$ .

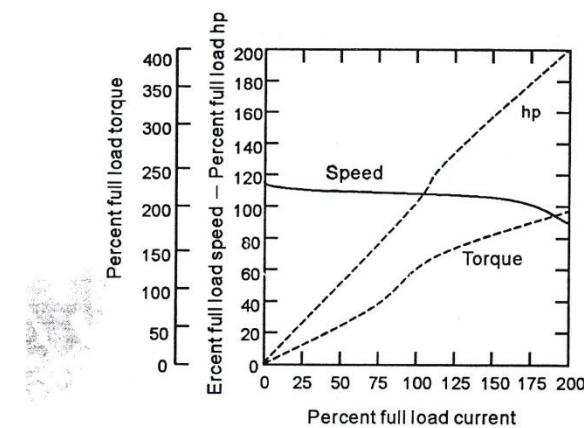


Fig. 15-4 Characteristics for a shunt-wound DC motor

Gambar 15-4 menunjukkan karakteristik motor DC belitan shunt. Tidak seperti motor DC belitan seri, kecepatan motor DC belitan shunt tetap relatif konstan diatas rantaing beban. Oleh karena itu motor DC adalah motor dengan kecepatan konstan dan output dayanya dan torsi akan meningkat saat arus jangkar meningkat.

Motor DC belitan shunt memiliki keunggulan mengendalikan kecepatan dengan memvariasikan arus medan atau tegangan jangkar. Berbagai mACam kontrol kecepatan dimungkinkan - perbandingan 20-ke-1 antara kecepatan maksimum dan minimum tidak jarang terjadi. Motor DC belitan shunt paling cocok untuk aplikasi yang membutuhkan berbagai mACam kemampuan operasi dengan kemampuan reversibilitas yang mudah dan penggereman yang baik. Aplikasinya adalah rolling mills, welders strip, mesin cetak, elevator, dan peralatan mesin. Jika kecepatan konstan diperlukan untuk rentang pemuatan, motor DC shunt juga bisa digunakan.

### **Motor DC Belitan Compound**

Kombinasi motor belitan seri, belitan shunt digunakan untuk mendapatkan karakteristik kecepatan-torsi antara Gambar 15-2 dan 15-4. Seperti motor disebut motor DC belitan compound seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15-5. MengACu pada karakteristik kecepatan-torsi yang ditunjukkan pada Gambar 15-6, variasi kecepatan pada motor DC belitan compound lebih kecil dari motor belitan seri dan variasi torsi lebih kecil dari motor shunt.

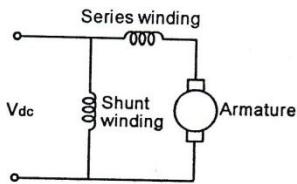


Fig. 15-5 Compound-wound dc motor

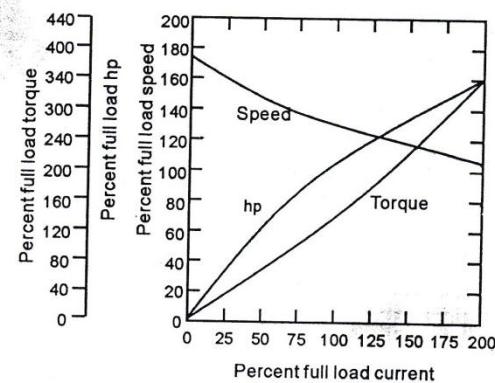


Fig. 15-6 Characteristics for a compound-wound dc motor

### Motor Induksi Split-Fasa

Motor Induksi Split-Fasa beroperasi pada tegangan AC satu fasa. Biasanya diberi nilai pada output tenaga kuda fraksional. Motor split-fasa memerlukan lilitan stator pembantu untuk memulai aksi motor saat beroperasi dari tegangan satu fasa. Gambar 15-7 menunjukkan sambungan belitan. Ketika motor mencapai 75 sampai 80% dari kecepatan puncak, saklar sentrifugal terbuka dan motor beroperasi pada gulungan stator utamanya di bawah tugas terus-menerus.

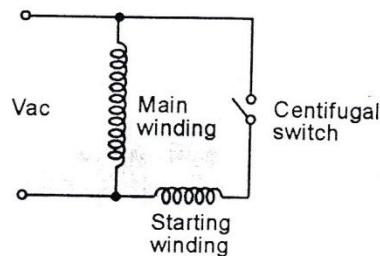
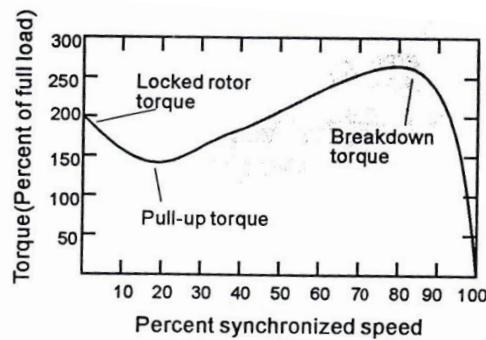
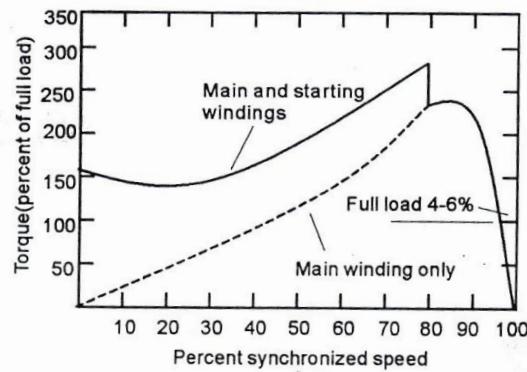


Fig. 15-7 Split-phase induction motor

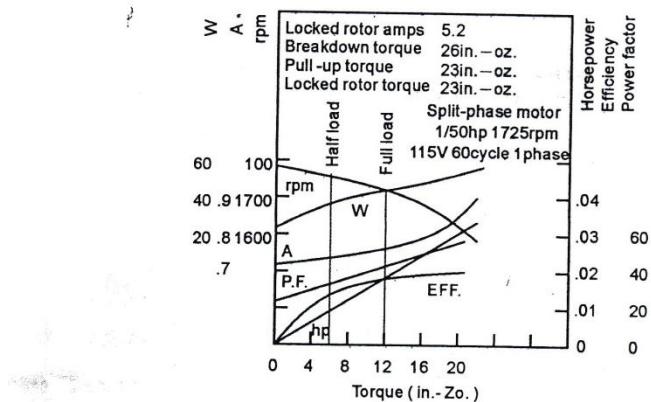


**Fig. 15-8 Speed torque definitions for induction motors**

Gambar 15-8 menunjukkan kurva karakteristik torsi kecepatan untuk tipe motor induksi split-fasa. Motor ini memiliki torsi awal yang relatif baik atau tinggi. Kecepatan cukup konstan di atas daerah operasi yang turun sekitar 4 sampai 6% saat beban meningkat. Torsi dinormalisasi dengan torsi eksternal beban penuh yang bisa diberikan motor. Gambar 15-9 menunjukkan definisi spesifikasi torsi yang biasanya disediakan oleh produsen motor. Gambar 15-10 menunjukkan kurva karakteristik untuk motor induksi split-fasa komersial.



**Fig. 15-9 Characteristics for split-phase induction motors**



**Fig. 15-10 Characteristics for fractional horsepower split-phase motor**

Kinerja motor AC dapat diperbaiki dengan menggunakan kapasitor pada lilitan bantu. Motor semacam ini disebut motor kapasitor. Ada tiga jenis motor kapasitor:

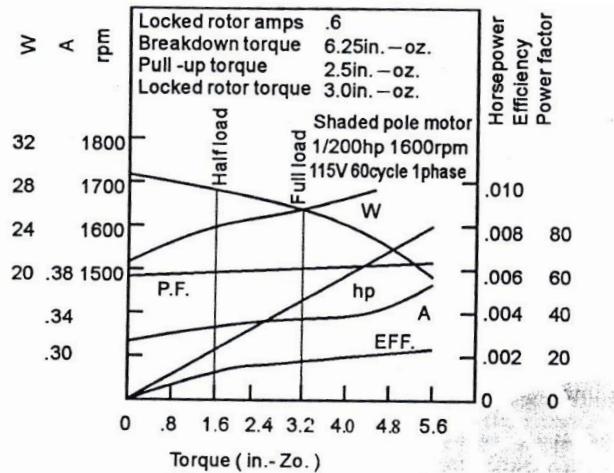
- (1) Motor kapasitor-start, yang menggunakan kapasitor pada lilitan bantu hanya pada saat mulai meningkatkan torsi awal.
- (2) Motor kapasitor split permanen, yang meninggalkan kapasitor pada lilitan pembantu saat start dan running.
- (3) Motor kapasitor dua nilai, yang menggunakan kapasitor berbeda pada lilitan bantu selama memulai dari pada saat bergerak.

Pada motor kapasitor split permanen dan motor kapasitor dua nilai, kapasitor start akan meningkatkan torsi awal sementara kapasitor yang sedang berjalan meningkatkan torsi maksimum dan efisiensi yang memungkinkan motor berjalan pada suhu yang lebih dingin. Motor jenis ini digunakan dalam mesin bisnis pecahan dan integral, kipas angin, blower, kalkulator meja, dan aplikasi lainnya di mana torsi awal yang rendah dan operasi yang sering diperlukan.

### **Motor Shade Pole**

Paling sederhana, biaya terendah motor satu fasa adalah motor shaded pole. Rating tenaga kuda biasanya berada pada kisaran terendah pecahan dan subfraksional. Rating hp 1/200 umum untuk motor jenis ini. Torsi awal, torsi berjalan, dan efisiensinya rendah. Motor shaded pole terkadang membutuhkan ventilasi udara agar tetap dingin.

Gambar 15-11 menunjukkan kurva karakteristik dari motor shaded pole. Kecepatannya relatif konstan tapi tidak sebagus split phase motor. Karakteristik yang dominan dari motor shaded pole adalah biayanya rendah.



**Fig. 15-11 Characteristics for shaded pole motor**

### **Motor Induksi Polyphase**

Motor AC tenaga kuda fraksional juga di desain untuk beroperasi pada tegangan saluran dua fasa atau tiga fasa. Motor ini umumnya sangat efisien dengan torsi awal dan berjalan yang tinggi. Kecepatan relatif konstan dari tidak ada beban sampai beban penuh.

Kurva karakteristik induksi polifasa sama dengan motor induksi satu fasa. Peralatan mesin industri, kompresor udara, dan pompa biasanya digerakkan oleh motor induksi tiga fasa.

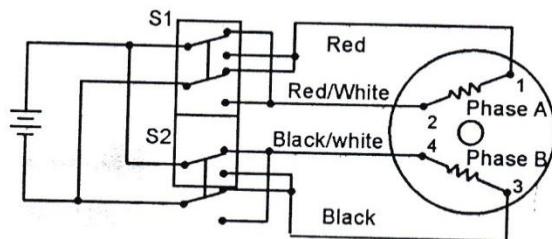
### **Motor Sinkron**

Motor sinkron digunakan pada fraksional sebaik motor tenaga kuda integral besar. Tegangan AC tiga fasa digunakan meskipun motor sinkron satu fasa tersedia. Kecepatan motor sinkron ditentukan oleh frekuensi tegangan saluran. Kecepatan tetap konstan terlepas dari beban yang diterapkan.

Motor Split-phase, kapasitor start, dan motor sinkron satu fasa shaded pole memiliki karakteristik yang serupa dengan motor induksi tipe yang sama. Efisiensi motor sinkron integral lebih tinggi daripada motor induksi yang sebanding. Salah satu kelemahan motor ini adalah torsi awal yang rendah. Torsi awal dari banyak motor sinkron kurang dari 75% torsi beban nominal. Motor sinkron umumnya tidak digunakan untuk operasi start-stop berat; mereka ideal untuk pabrik pengolahan terus menerus, kompresor, atau motor generator set. Motor sinkron tiga fasa digunakan untuk menggerakkan peralatan industri berat yang membutuhkan ratusan tenaga kuda.

### **Motor Stepper Digital**

Motor stepper digital adalah motor sinkron yang dirancang untuk beroperasi dengan pulsa tegangan masukan dan bukan tegangan AC kontinyu. Motor ini dirancang untuk menggerakkan poros output sejumlah derajat yang tetap setiap kali pulsa tegangan yang tepat diterapkan.



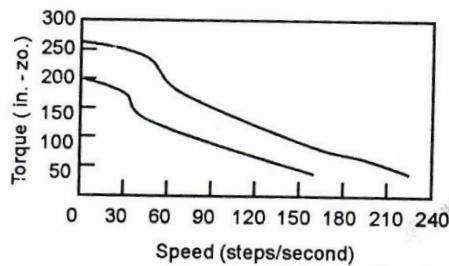
**Fig. 15-12 Connections for typical stepper motor**

Gambar 15-12 menunjukkan diagram koneksi untuk tipe motor stepper DC dua fasa. Urutan pulsa ditunjukkan dengan penggunaan sakelar mekanik S1 dan S2 pada terminal input. Tabel urutan ditunjukkan pada tabel 15-1. Urutan kontrol saklar mudah dicapai oleh rangkaian digital dalam aplikasi praktis. Gambar 15-13 menunjukkan karakteristik motor stepper DC.

**Table 15-1**

Step	Switch S1	Switch S2
1	up	up
2	up	down
3	down	down
4	down	up
1	up	up

Note : To reverse direction, read chart up from bottom



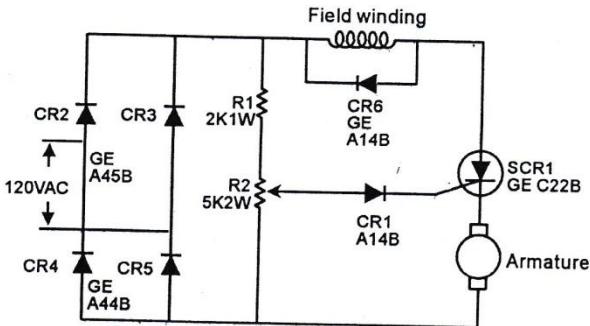
**Fig. 15-13 Characteristics for stepper motor**

Karena motor stepper beroperasi pada pulsa, kecepatan maksimum dibatasi oleh impedansi belitan dan sumber pulsa. Perhatian khusus harus diberikan pada pencocokan impedansi jika kecepatan tinggi tercapai. Motor stepper digunakan dalam sistem kontrol digital dimana sinyal perintah berasal dari komputer, programmer, tape reader, atau rangkaian logika digital. Aplikasi lainnya adalah remote control potensiometer, plotter dan drive perekam, fokus kamera, dan alat penggerak mesin.

Sebagian besar motor induksi dan sinkron tidak dirancang untuk kontrol kecepatan tegangan-sensitif. Seperti yang kita lihat dari kurva karakteristik tadi, kecepatan motor AC kebanyakan bergantung pada frekuensi tegangan saluran. Motor tenaga kuda fraksional kecil dan motor universal dapat disesuaikan dengan teknik kontrol fasa yang disebutkan sebelumnya untuk memvariasikan kecepatan operasi pada aplikasi tertentu. Mari kita lihat beberapa teknik yang digunakan dalam industri ini.

### **Kontrol Motor Universal**

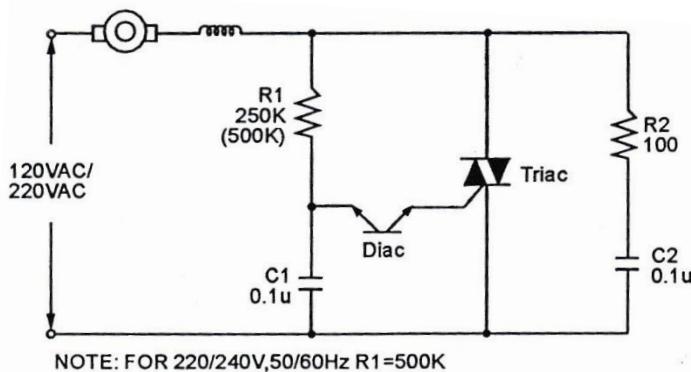
Seperti yang disebutkan di atas, kecepatan motor universal akan sangat bervariasi dengan beban eksternal. Untuk menjaga kecepatan konstan motor universal selama seluruh rentang beban, hal ini diperlukan untuk mengendalikan kecepatan dengan sistem umpan balik.



**Fig. 15-14 Full-wave universal series motor speed control**

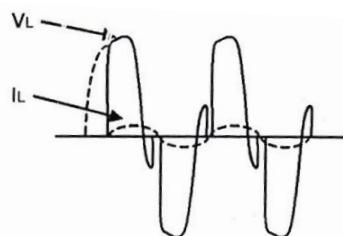
Gambar 15-14 menunjukkan rangkaian kontrol kecepatan motor seri gelombang penuh dengan umpan balik, yang mengharuskan sambungan terpisah tersedia untuk jangkar motor dan medan. Jembatan gelombang penuh CR2-CR5 memasok daya ke jaringan seri medan motor, SCR1 dan jangkar, R1 dan R2.

Pada dasarnya rangkaian ini menggunakan counter-emf jangkar sebagai sinyal umpan balik. Ketika motor mulai berjalan, SCR1 segera memicu tegangan referensi di lengan R2 melebihi drop forward CR1 dan gerbang ke drop katoda SCR1. Motor kemudian membangun kecepatan, dan saat counter-emf meningkat, kecepatan motor menyesuaikan setting R2. Rangkaian ini dibatasi oleh fakta bahwa SCR1 tidak dapat dinyalakan secara konsisten lebih dari 90°.



**Fig. 15-15 TRIAC control of a universal motor**

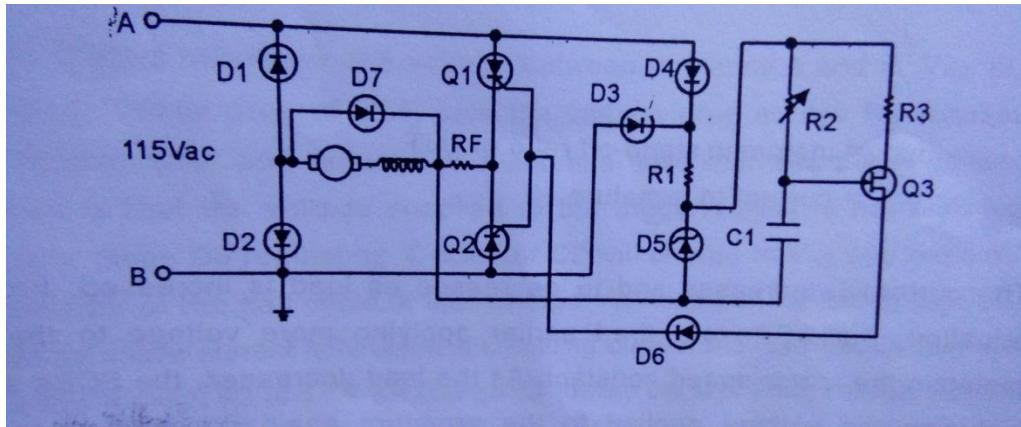
Gambar 15-15 menunjukkan rangkaian kontrol kecepatan gelombang penuh DIAC-TRIAC sederhana untuk motor universal. Tegangan breakover dari DIAC adalah antara 18 dan 35V. Ketika tegangan kapasitor mencapai tegangan breakover DIAC, DIAC konduksi, mengirimkan pulsa arus ke gerbang TRIAC. TRIAC konduksi, menerapkan tegangan pada jangkar motor. Pada akhir setiap setengah siklus, TRIAC terputus karena arus anoda turun di bawah level arus holding. Karena motor universal adalah beban induktif, arus anoda benar-benar akan mengalir sampai medan benar-benar gagal. Aliran arus melalui jangkar motor dan tegangan pada kombinasi medan jangkar ditunjukkan pada Gambar 15-16.



**Fig. 15-16 Load voltage and current waveforms in the circuit of Fig. 15-15**

Rangkaian snubber, jaringan penekan C2-R2, digunakan untuk melindungi TRIAC terhadap kerusakan dv / dt yang berlebihan pada beban induktif.

Salah satu karakteristik motor universal adalah kecepatan berkurang saat beban eksternal meningkat. Rangkaian Gambar 15-17 menggunakan umpan balik arus untuk mempertahankan kecepatan konstan motor universal selama seluruh rentang beban.



**Fig. 15-17 High torque motor speed control with current feedback**

Pada Gambar 15-17, dioda D1 dan D2 bersama dengan SCRs Q1 dan Q2 membentuk penyearah jembatan gelombang penuh untuk memasok arus jangkar untuk motor. Arus jangkar juga mengalir melalui resistor umpan balik RF. Anggaplah tegangan AC diterapkan pada terminal A pada saat tegangan sinusoidal melewati nol dengan kemiringan positif. SCRs Q1 dan Q2 keduanya tidak aktif. Dioda D1, D2, D3, dan D4 membentuk penyearah jembatan gelombang penuh untuk memasok tegangan DC pada rangkaian pemicu. Resistor R1 dan dioda zener D5 membentuk pengatur tegangan. Resistor R2 dan R3, kapasitor C1 dan UJT Q3 membentuk osilator relaksasi UJT dasar. Kapasitor C1 mengisi melalui D4, R1, R2, D2, dan rangkaian jangkar motor. Bila kapasitor C1 mengisi tegangan UJT, UJT Q3 melakukan. Arus mengalir melalui D6 untuk memicu SCR Q1. Saat Q1 melakukan, tegangan yang dipasok ke rangkaian pemicu tidak cukup tinggi untuk menjaga pengaturan dioda zener di D5. Kapasitor C1 akan mengisi nilai drop tegangan di Rf dan tetap bertahan untuk setengah siklus tegangan saluran. Pada akhir siklus setengah, SCR Q1 akan mematikan arus anodanya turun di bawah arus penahan yang diperlukan untuk mempertahankan konduksi. Tegangan AC pada terminal B sekarang akan positif dengan harapan ke terminal A. Aliran arus melalui D3, R1, dan R2 akan mengisi C1 ke tegangan penyalaan UJT; tapi

karena C1 sudah dibebankan ke tegangan di Rf, tegangan pemicu UJT akan lebih cepat. Sudut penyalaan SCR Q2 akan diteruskan dengan muatan awal pada C1. Persamaan yang berkaitan dengan variabel-variabel ini adalah:

$$t\alpha = R2 \cdot C1 \cdot \ln \frac{Vz}{Vz - \eta Vz + I_f R_f} \quad \dots \dots \dots \quad (15-3)$$

dimana

$t\alpha$  = waktu pengaktifan SCR

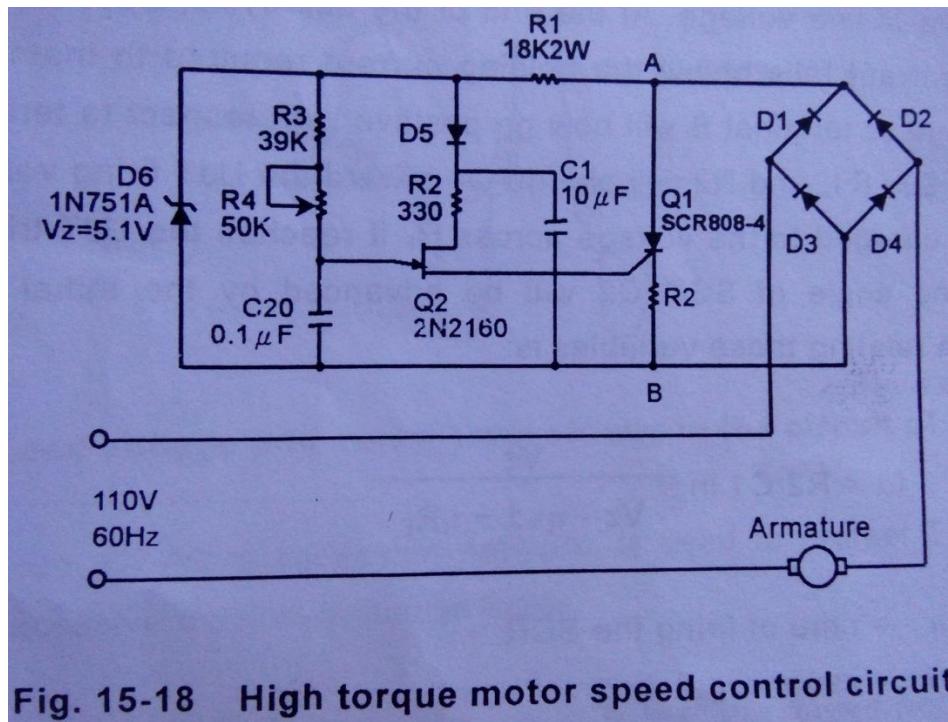
$Vz$  = tegangan regulasi zener

$\eta$  = rasio hambatan intrinsik UJT

$I_r$  = arus jangkar

Arus  $I_r$  meningkat dan  $t\alpha$  menurun karena beban meningkat. Dari persamaan di atas, SCRs diaktifkan terlebih dahulu menerapkan tegangan lebih ke jangkar untuk menjaga kecepatan motor konstan. Saat beban berkurang, SCRs diaktifkan kemudian, mengurangi tegangan yang diaplikasikan pada jangkar lagi dengan mempertahankan kecepatan motor konstan. Di rangkaian ini, sudut pengaktifan SCRs disesuaikan dengan jumlah arus yang mengalir di rangkaian jangkar motor.

Rangkaian kontrol kecepatan lain untuk motor torsi tinggi menggunakan satu SCR ditunjukkan pada Gambar 15-18. SCR dan R2 dihubungkan secara seri dengan jangkar motor melalui penyearah jembatan. Saat motor berjalan, arus dalam arus jangkar mengalir melalui R2 dan membangun tegangan di R2. Tegangan ini berfungsi sebagai tegangan umpan balik untuk mempertahankan kecepatan konstan motor pada seluruh rentang beban. Dioda D1, D2, D3, dan D4 membentuk penyearah jembatan gelombang penuh untuk mensuplai tegangan DC untuk osilator relaksasi SCR dan UJT. Selama SCR mati, kapasitor C2 mengisi tegangan zener, 5.1V. Bila tegangan kapasitor mencapai tegangan penyalaan dari UJT, UJT konduksi dan memicu SCR untuk konduksi. Waktu pengisian ditentukan oleh konstanta waktu  $(R3 + R4) C2$ .



**Fig. 15-18 High torque motor speed control circuit**

Saat Q1 SCR dinyalakan, tegangan antara terminal A dan B,  $V_{AB}$ , sama dengan penurunan tegangan forward SCR ditambah penurunan tegangan R2 (yang disebabkan oleh arus pada jangkar) dan mengurangi potensi kurang dari tegangan zener D6. Hasilnya adalah bahwa tegangan yang dipasok ke rangkaian pemicu tidak cukup tinggi untuk menjaga pengaturan dioda zener D6. Kapasitor C2 akan mengisi ke  $V_{AB}$  dan tetap terjaga untuk mempertahankan setengah siklus tegangan saluran. Pada akhir siklus setengah, SCR akan berubah saat arus anodanya turun di bawah arus penahan yang diperlukan untuk mempertahankan konduksi. Arus arus melalui R3 dan R4 akan membebankan C2 ke tegangan penyalaan UJT; tapi karena C2 sudah dibebankan ke tegangan  $V_{AB}$ , maka tegangan pemicu UJT lebih cepat. Sudut penyalaan SCR akan diteruskan dengan muatan awal pada C2. Seiring bertambahnya beban dan arus jangkar meningkat, SCR dipecah lebih cepat, meningkatkan tegangan yang diaplikasikan pada jangkar lagi dengan mempertahankan kecepatan motor konstan.

Di rangkaian ini, sudut penyalaan SCR disesuaikan dengan jumlah arus yang mengalir di rangkaian jangkar motor. Pemilihan resistor umpan balik R2 tergantung pada rating arus operasi motor dan arus UJT.

## Kontrol Motor DC Shunt

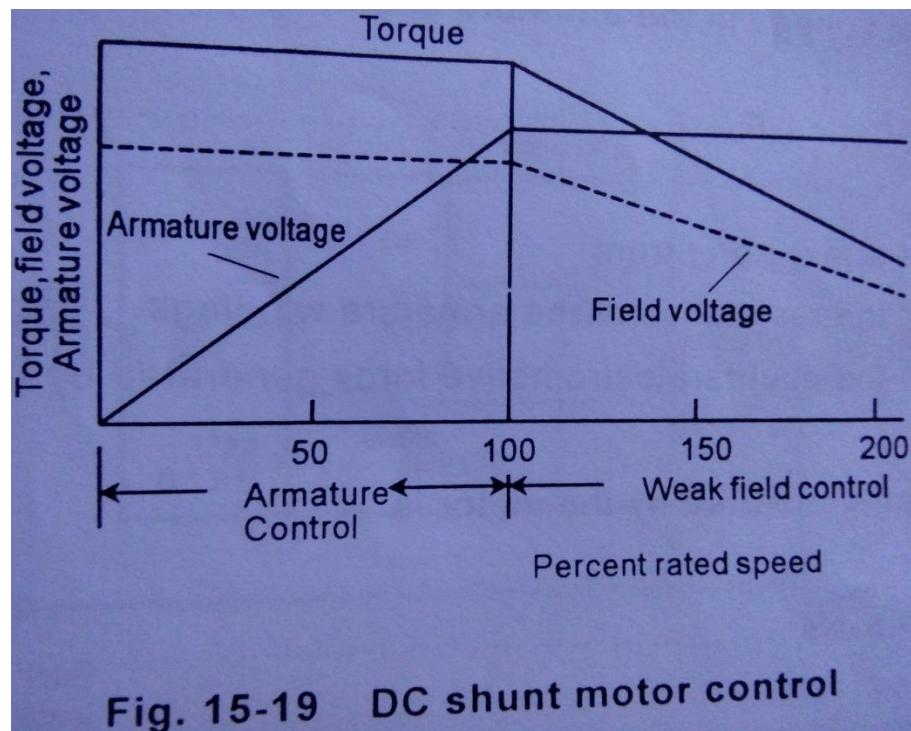
Tenaga kerja industri sejauh motor kecepatan disesuaikan adalah motor DC shunt. Kecepatan mudah dikendalikan dengan memvariasi tegangan jangkar atau arus medan. Hal ini dapat dilihat dengan memeriksa persamaan motor shunt. Tegangan total pada rangkaian jangkar adalah

Counter-emf yang dihasilkan oleh motor adalah

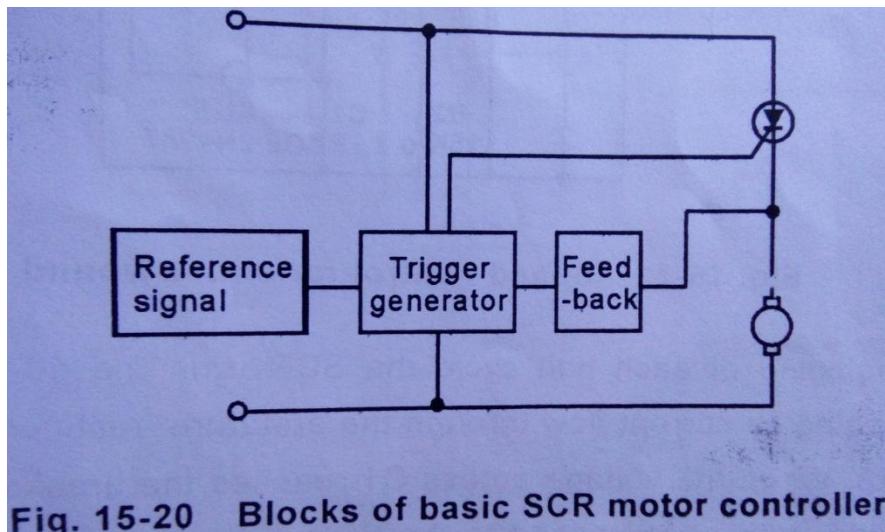
Tegangan diaplikasikan pada gulungan medan untuk menentukan nilai  $\phi$  sebelum motor dinyalakan. Bila tegangan jangkar diterapkan, kecepatan motor meningkat tapi begitu pula arus-ggl. Counter-emf akan meningkat sampai arus jangkar hanya cukup untuk mengatasi inersia dan kerugian pada motor. Saat beban eksternal diterapkan, arus jangkar akan meningkat untuk memberikan torsi yang diperlukan agar sesuai dengan beban sesuai dengan persamaan.

Counter-emf harus turun untuk menjaga keseimbangan dalam persamaan 15-9. Kecepatan motor menurun secara proporsional. Persamaan 15-9 dan 15-11 dapat dipecahkan secara simultan untuk kecepatan.

Kecepatan motor dapat dikontrol dengan memvariasikan VA atau  $\phi$ . Teknik yang biasa dilakukan adalah dengan mengubah tegangan jangkar VA untuk kontrol kecepatan hingga kecepatan pengenal dan untuk memvariasikan medan  $\phi$  untuk mengendalikan kecepatan di atas kecepatan pengenal motor. Gambar 15-19 menunjukkan rentang kontrol jangkar dan kontrol medan lemah.



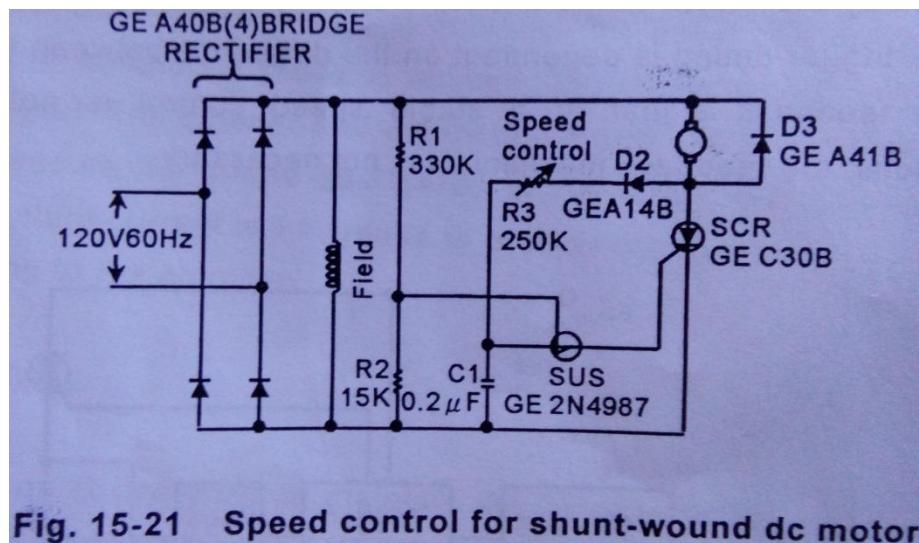
Elemen dasar dari kebanyakan kontrol motor DC elektronik adalah sinyal ACuan untuk mengatur kecepatan yang diinginkan, alat kontrol untuk memvariasikan tegangan jangkar atau medan, dan mekanisme umpan balik untuk membandingkan kecepatan motor dengan pengaturan referensi. Desain yang paling sederhana dan paling ekonomis adalah kontrol SCR pada Gambar 15-20. Counter-emf yang dihasilkan oleh motor atau arus jangkar berfungsi sebagai mekanisme umpan balik. Waktu pemicu SCR tergantung pada perbedaan antara pengaturan referensi dan sinyal umpan balik. Jika kontrol kecepatan stabil tidak diperlukan dalam beberapa aplikasi, mekanisme umpan balik tidak diperlukan.



**Fig. 15-20 Blocks of basic SCR motor controller**

Kontrol SCR fasa tunggal tidak menawarkan kontrol yang halus dan presisi yang diperlukan untuk beberapa aplikasi namun sangat umum untuk mengendalikan motor tenaga kerja fraksional. Motor besar menggunakan kontrol tiga fasa yang dikoreksi untuk mencapai kontrol kecepatan yang presisi dan halus di bawah beban berat. Prinsip dasar kontrol fasa tunggal dapat diperluas ke kontrol poliphase.

Gambar 15-21 menunjukkan kontrol kecepatan solid-state sederhana untuk motor DC shunt-wound. Rangkaian ini menggunakan penyearah jembatan untuk memberikan penyearah gelombang penuh pada suplai AC. Lengan medan terhubung secara permanen melintasi keluaran DC dari penyearah jembatan. Tegangan jangkar dipasok melalui SCR dan dikendalikan untuk memutar SCR pada setiap setengah siklus.



**Fig. 15-21 Speed control for shunt-wound dc motor**

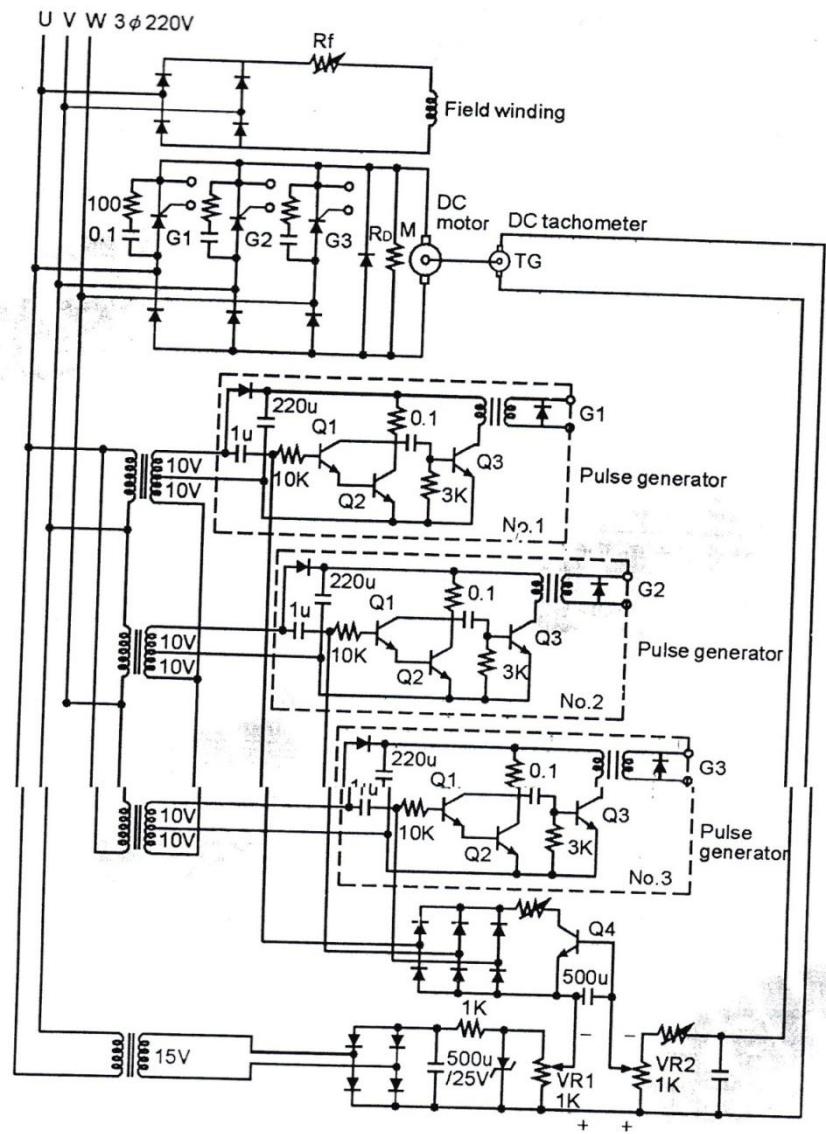
Pada awal setiap setengah siklus, SCR berada dalam kondisi off-state dan kapasitor C1 mulai mengisi arus vurrent melalui jangkar, rectifier D2, dan resistor yang dapat disesuaikan r3. Bila tegangan di C1 mencapai tegangan pemecah dioda pemicu sus, sebuah pulsa diaplikasikan ke gerbang belakang, menyalakan SCR dan memberi daya pada jangkar selama sisa setengah siklus itu. Waktu yang diperlukan untuk C1 untuk mencapai tegangan pemutus dari sus mengatur sudut fasa dimana SCR dinyalakan dan ini dikendalikan oleh themagnitude r3 dan tegangan di SCR.

Karena tegangan di SCR adalah penyearah jembatan dikurangi tegangan kontrol di seluruh jangkar, pengisian C1 sebagian bergantung pada penghitung-penghitung ini. Oleh karena itu berdasarkan jenis motornya. Jika motor disetel pada kecepatan yang lebih lambat. Counter-emf akan lebih rendah dan tegangan yang diaplikasikan ke rangkaian pengisian akan lebih tinggi. Hal ini mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk memicu sus dan SCR, sehingga meningkatkan daya yang dipasok ke jangkar dan dengan demikian mengkompensasi pemuatan pada motor.

Energi yang tersimpan dalam induktansi jangkar akan menghasilkan aliran arus melalui dioda d3 untuk waktu yang singkat pada awal setiap setengah siklus. Selama waktu ini, kontra-ganjil jangkare tidak dapat muncul, maka tegangan yang melintasi SCR sama dengan tegangan output dari penyearah jembatan yang dibutuhkan saat ini untuk mati dan karena dia akan muncul di seberang jangkar ditentukan oleh kecepatan dan arus

jangkar. Pada kecepatan rendah pada arus jangkar yang lebih tinggi, dioda d3 akan tetap berjalan untuk jangka waktu yang lebih lama pada awal setiap siklus, tindakan ini juga menyebabkan pengisian kapasitor lebih cepat dari C1. Oleh karena itu memberikan kompensasi yang sensitif terhadap arus jangkar dan kecepatan motor.

**Three-phase Rectified DC Motor Control**



**Fig. 15-22 DC motor speed control with three-phase voltage**

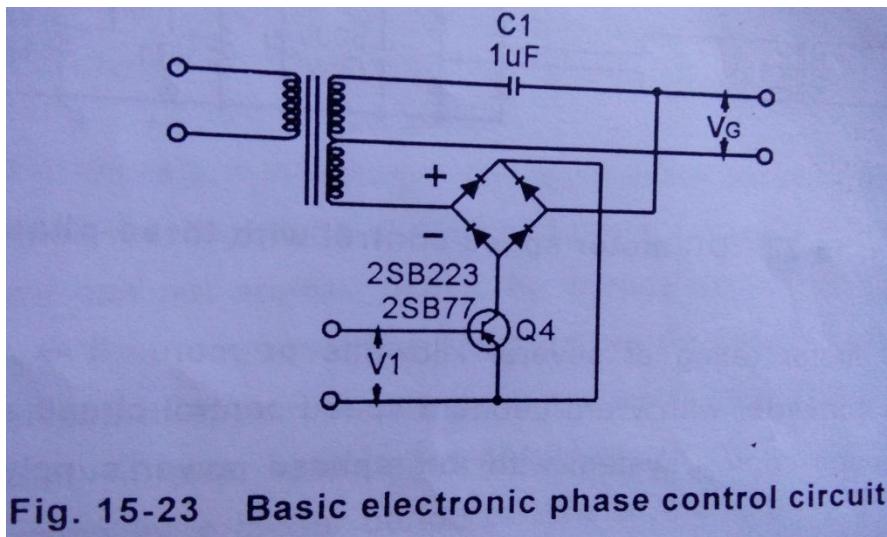
Untuk rating motor DC beberapa kilowatt atau lebih, sangat diharapkan untuk menggunakan konverter tiga fasa dengan rangkaian kontrol kecepatan Ward Leonard.

Gambar 15-22 menunjukkan sistem kontrol kecepatan motor DC dengan catu daya tiga fasa. Tegangan lilitan lapangan disediakan oleh penyearah jembatan. Tegangan jangkar disediakan oleh konverter tiga fasa semibridge yang terdiri dari tiga sks dan tiga dioda. Sudut penyalaan masing-masing SCR dikendalikan oleh output generator pulsa transistor yang sesuai.

Output memicu denyut nadi generator pulsa yang disinkronisasi dengan daya tiga fasa. Tegangan tiga fasa digabungkan ke input generator pulsa melalui transformator step-down. Sinyal AC diperkuat oleh pasangan Darlington q1-q2 dan kemudian diikuti oleh rangkaian pembeda yang terdiri dari kapasitor  $0,1 \mu\text{f}$  dan resistor 3K Ohm untuk menghasilkan pulsa pemicu untuk setiap SCR.

Dalam sistem ini, perangkat feedback kecepatan adalah generator tACHometer yang tegangan DC outputnya berbanding lurus dengan kecepatan motor. Tegangan umpan balik,  $E_r$ , ACriss  $v_{r2}$  dibandingkan dengan tegangan referensi  $E$ , di VR1. Perbedaan tegangan antara  $E_r$  dan  $E$ , mengendalikan resistans C-E transistor q4 dan kemudian mengubah frekuensi generator denyut nadi, untuk menjaga kecepatan konstanta motor DC di atas seluruh rentang beban.

Transistor q4 bertindak sebagai komparator tegangan dan rangkaian pergeseran fasa elektronik untuk memahami pengoperasian rangkaian ini, rangkaian diganti dengan Gambar. 15-23. Kapasitor C1 dan transistor q4 membentuk rangkaian kontrol fasa RC. Resistansi c-e q4 ditentukan oleh besarnya tegangan dasar  $v_1$ ; yaitu,  $V_1 = E_s - E_r$ . Dalam kasus ini, variasi  $v_1$  sekitar 0,2 V akan menghasilkan perubahan fasa antara  $70^\circ$  dan  $80^\circ$  VG output pada Gambar 15-23. Penyearah jembatan digunakan untuk menentukan tegangan DC untuk q4.



Pada Gambar 15-22, rangkaian snubber yang dihubungkan secara paralel dengan masing-masing SCR adalah untuk melindungi SCR terhadap kerusakan dv / dt.

### Kontrol Motor Stepper

Motor stepper memerlukan urutan dan amplitudo pulsa yang tepat pada gulungan motor untuk memajukan poros motor dengan benar. Sinyal perintah biasanya merupakan kereta pulsa energi rendah. Motor harus memajukan poros output satu langkah untuk setiap pulsa sinyal perintah. Pengontrol motor harus menerjemahkan setiap pulsa sinyal perintah ke eksitasi motor yang tepat. Gambar 15-24 menunjukkan diagram blok sistem. Pengontrol motor biasanya merupakan rangkaian kontrol digital. Gambar 15-25 (a) menunjukkan rangkaian kontrol digital sederhana untuk memberikan urutan pulsa yang tepat untuk menggerakkan motor ke depan. Tabel kebenaran ditunjukkan pada Gambar 15-25 (b) dengan koneksi motor yang ditunjukkan pada Gambar 15-25 (c).

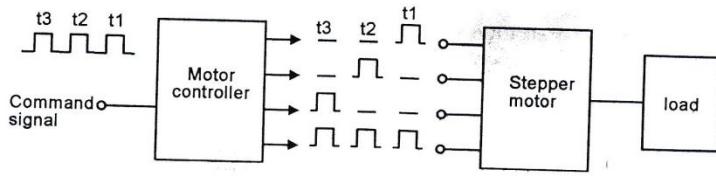
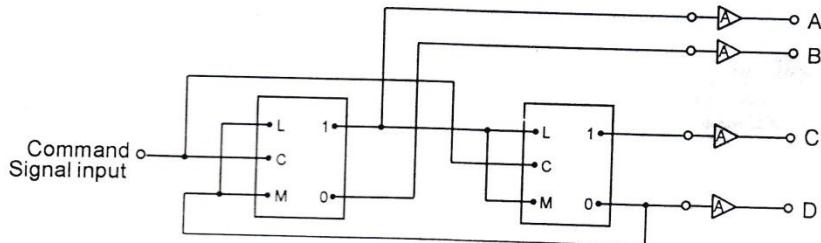


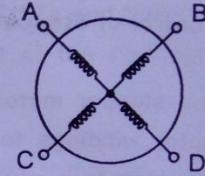
Fig. 15-24 Stepper motor drive system



(a)

Input pulse	A	B	C	D
0	0	1	0	1
1	1	0	0	1
2	1	0	1	0
3	0	1	1	0
4	0	1	0	1

(b)



(c)

Fig. 15-25 (a) Controller circuit, (b) truth table, (c) motor connection

D-type flip-flop digunakan untuk menyediakan digital gating. Input L dan M ke input ke flip-flop diikat bersamaan. Bila input jam diterapkan, terminal keluaran 1 akan menerima keadaan terminal L-M. Amplifier pada output flip-flop memberikan driver untuk motor. Gambar 15-26 menunjukkan bagaimana pengontrol dapat direvisi untuk mengoperasikan motor yang sama dalam putaran terbalik. Gambar 15-27 menunjukkan penggunaan gerbang tambahan untuk memungkinkan pemilihan putaran maju atau mundur dengan menerapkan pulsa yang tepat pada terminal F atau R. Sebuah osilator tegangan variabel ditambahkan pada input sehingga kecepatan motor diprogram dengan memvariasikan amplitudo sinyal perintah.

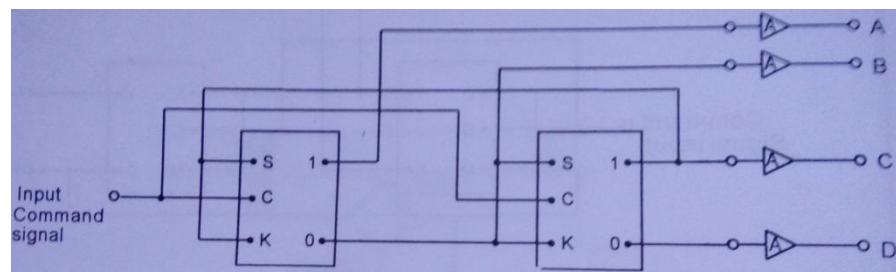


Fig. 15-26 Revision of Fig. 15-25(a) for reverse drive of the motor

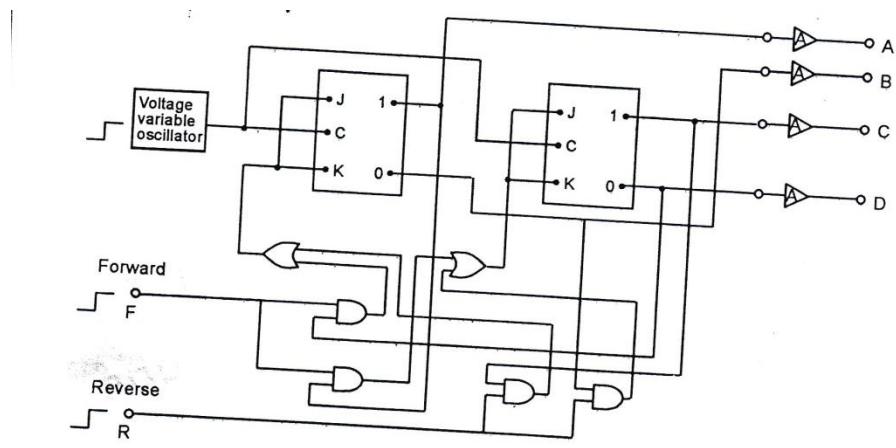


Fig. 15-27 Adjustable speed controller for motor of Fig. 15-25(c)

#### Description of Experiment Circuit

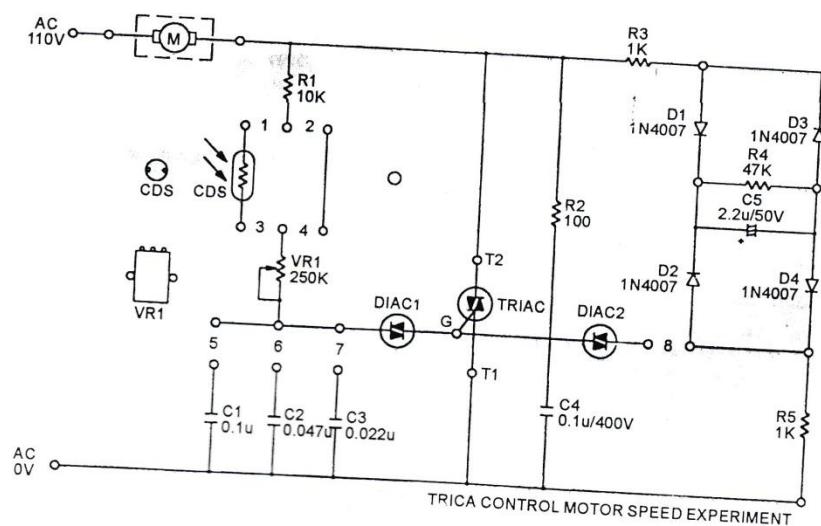


Fig. 15-28 Experiment circuit

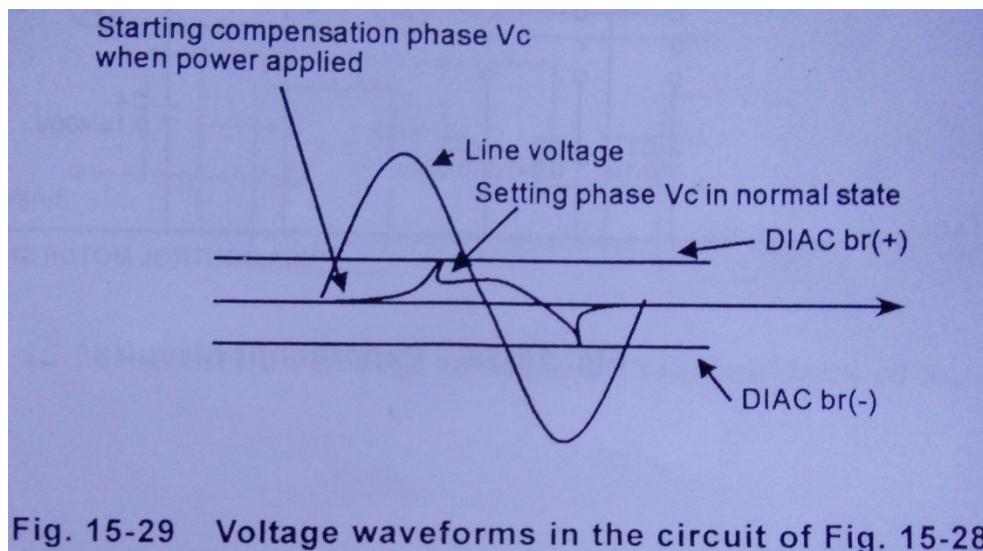
Gambar 15-28 menunjukkan rangkaian yang digunakan dalam percobaan ini. Motor adalah motor universal. Kontrol fasa DIAC-TRIAC digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor universal.

Rangkaian ini adalah rangkaian kontrol kecepatan dengan kompensasi awal untuk motor fasa tunggal. Kontrol fasa DIAC-TRIAC yang dijelaskan pada percobaan 15 digunakan dalam percobaan ini kecuali bahwa lampu diganti dengan motor universal. Kami sekarang fokus pada pengoperasian rangkaian kompensasi awal.

Rangkaian kompensasi awal terdiri dari resistor R3, R4 dan R4, kapasitor C5, DIAC2 dan penyearah jembatan D1-D4. Bila daya diterapkan, tegangan awal kapasitor (C1, C2 atau C3) adalah nol sehingga DIAC1 dimatikan. R5 membangun tegangan besar melalui R3, D1 dan D4. Tegangan di R5 memicu DIAC2 dan TRIAC untuk melakukan. Makanya motor mulai berlari.

Pada saat ini kapasitor (C1, C2 atau C3) mengenakan throygh R1 dan VR1 dan mencapai tegangan breakdown DIAC1. DIAC1 beralih ke. Pulsa pemicu dari DIAC2 tertinggal dari denyut nadi dari DIAC1 pada saat putaran tegangan R5 menurun saat tegangan kapasitor meningkat C5. Bila tegangan kurang dari tegangan breakdown dari DIAC2. DIAC2 dimatikan. Rangkaian kompensasi awal berhenti bekerja. Kontrol kecepatan dicapai dengan mengatur VR1. Bentuk gelombang tegangan di rangkaian ini ditunjukkan pada Gambar 15-29.

Resistor R2 dan kapasitor C2 membentuk rangkaian snubber untuk melindungi TRIAC terhadap kerusakan dv / dt.



**Fig. 15-29 Voltage waveforms in the circuit of Fig. 15-28**

### **PERALATAN YANG DIBUTUHKAN**

- 1 – Power Supply Unit KL-51001
- 1 – Isolation Transformer KL-58002
- 1 – Motor Module KL-58001
- 1 – Module KL-53007
- 1 – Oscilloscope
- 1 – Multimeter

### **PROSEDUR**

1. Hubungkan motor universal pada modul KL-58001 ke rangkaian eksperimen pada modul KL-53007 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15-28.
2. Hubungkan 110 pasokan VAC dari Unit Power Supply KL-51001. Modul KL-58002 ke KL-53007.
3. Balikkan VR1 sepenuhnya CW. Masukkan colokan sambung pada posisi 2, 4, 5, dan 8.
4. Menggunakan osiloskop dan hubungkan mengarah melintasi R5. Hidupkan kekuatan. Pada saat ini, apakah motornya berjalan?

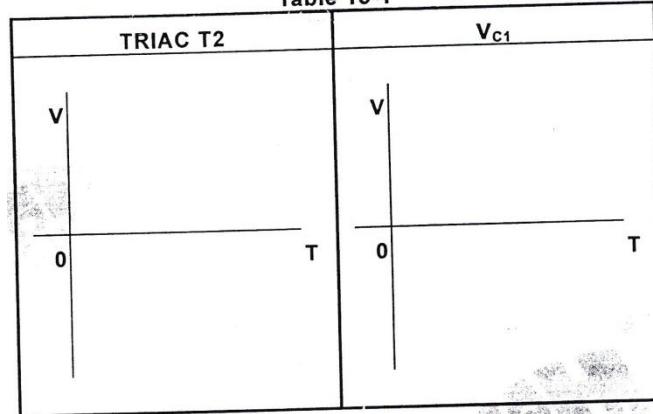
Amati dan catatlah perubahan VR5 dan motor.

5. Balikkan VR1, Amati dan catatlah perubahan kecepatan motor.
6. Balikkan VR1 untuk mengendalikan motor yang berjalan pada kecepatan yang sangat rendah. Matikan daya dan hidupkan kembali. Amati dan catat perubahan kecepatan motor.

Menggunakan osiloskop, Amati dan catat perubahan bentuk gelombang tegangan TRIAC T2.

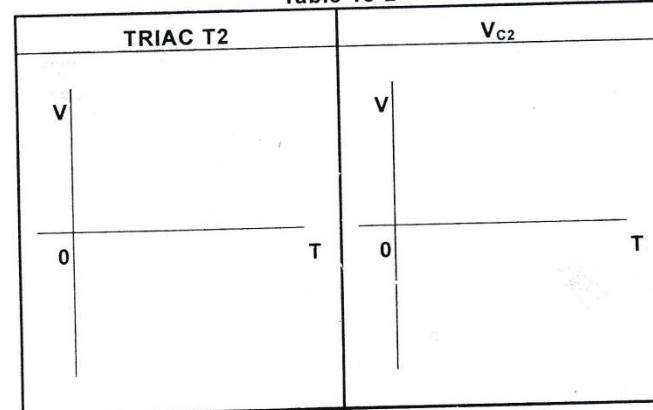
7. Atur VR1 ke posisi tengahnya. Menggunakan osiloskop, mengukur dan mencatat bentuk gelombang tegangan pada SCR T2 dan melintasi C1 pada Tabel 15-1.

**Table 15-1**



8. Matikan daya. Lepaskan steker penghubung dari posisi 5 dan masukkan di posisi 6. Balikkan VR1 sepenuhnya CW. Ulangi langkah 4 sampai 7. Catat hasilnya pada Tabel 15-2.

**Table 15-2**



9. Matikan daya. Lepaskan steker koneksi dari posisi 6 dan masukkan di posisi 7. Putar VR1 sepenuhnya CW. Ulangi langkah 4 sampai 7. Catat hasilnya di Tabel 15-3.

Table 15-3	
TRIAC T2	$V_{C3}$
$V$ 0 T	$V$ 0 T

10. Matikan daya. Masukkan colokan sambungkan pada posisi 1, 3, 5, dan 8. Hidupkan daya.

11. Balikkan VR1 untuk mengatur motor berjalan pada kecepatan normal saat CDS terkena tingkat cahaya normal. Tutupi jendela CDS dengan tangan Anda.

Apakah motornya berjalan?

Lepaskan tangan Anda dari jendela CDS. Apakah motor masih berjalan?

### KESIMPULAN

Anda telah mencoba rangkaian kontrol untuk memulai motor dan mengendalikan kecepatan motor. Jika VR1 disetel ke resistansi maksimal, DIAC1 tidak akan dinyalakan. Saat power diaplikasikan, rangkaian kompensasi awal beroperasi untuk menghidupkan motor dengan kecepatan tinggi.

Asumsikan motor berjalan dengan kecepatan sangat rendah. Jika daya dimatikan dan kemudian menyala, motor akan mulai dengan kecepatan tinggi karena rangkaian mulai beroperasi dan kemudian kembali pada kecepatan pengaturan.

Rangkaian ini dapat beroperasi sebagai stopkontak otomatis saat CDS ditambahkan ke rangkaian ini. Mengatur VR1 untuk mengatur motor berjalan pada kecepatan normal

saat CDS berada pada tingkat cahaya normal. Pada saat gelap, motor akan berhenti secara otomatis.

## 7. PERCOBAAN 7 Rangkaian Pemicu Sinyal Digital

### Tujuan

1. Memahami Pembangkitan sinyal digital
2. Memicu TRIAC dengan sinyal digital

### Pembahasan

Gambar. 22-1 Menunjukkan Rangkaian pada percobaan ini. Yang Terdiri dari 555 astable multivibrator, photocoupler, dan TRIAC. Berikut penjelasan singkatnya mengenai rangkaian ini.

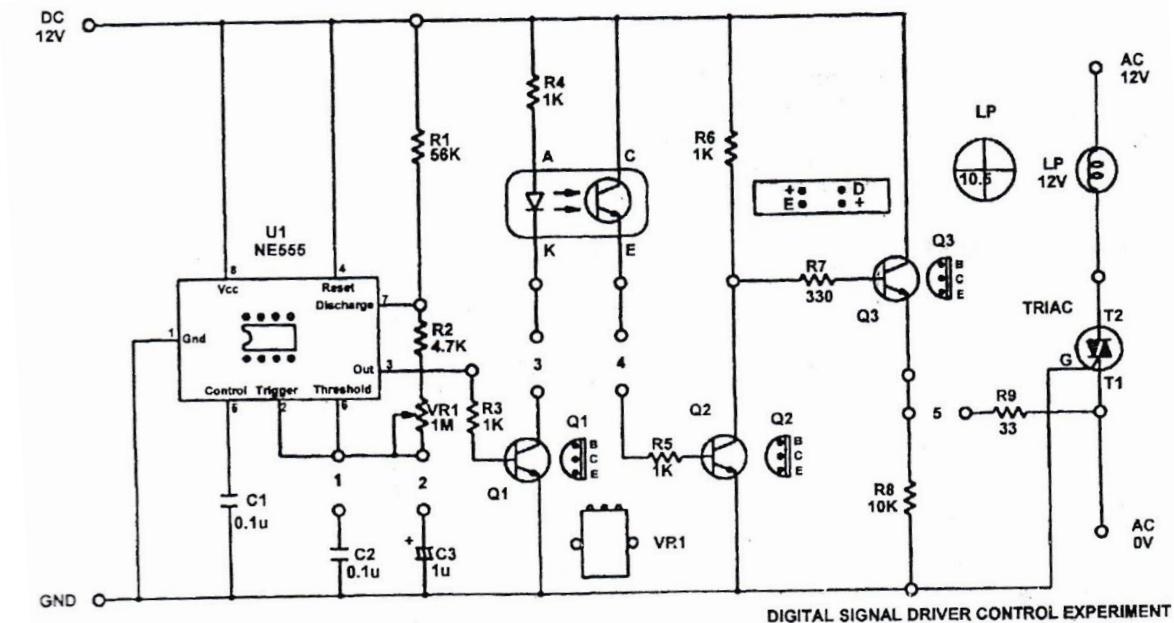


Fig.22-1 Experiment circuit

Timer IC, NE555, di rangkai sebagai astable multivibrator untuk menbangkitkan sinyal digital. Ketika dihubungkan ke sumber tegangan, tegangan kapasitor pada pin 2 bernilai kurang dari  $1/3 \text{ V}_{\text{cc}}$  dan terminal output atau keluaran (Pin 3) bernilai HIGH. Kapasitor (C1 atau C3) terisi melalui R1, R2 dan VR1 dari Vcc. Ketika tegangan kapasitor mencapai  $2/3 \text{ V}_{\text{cc}}$ , Transistor discharge bekerja dan output menjadi LOW. Kapasitor akan membuang muatan melalui VR1, R2, dan pin7 sampai kurang dari  $1/3 \text{ V}_{\text{cc}}$ . Komparator pada IC bekerja untuk memaksa output pada nilai HIGH. Keseluruhan siklus penuh berulang sehingga pulsa digital muncul pada terminal keluaran. Berikut perhitungan periode pengisiannya  $T_1 = 0.7 \times (R_1 + R_2 + VR_1) \times C_2$

dan periode pelepasannya  $T_2 = 0.7 \times (R_2 + V_{R1}) \times C_2$ . Sehingga periode osilasi T sama dengan  $(T_1 + T_2)$ .

Pulsa digital dari keluaran 555 dihubungkan oleh photocoupler melalui Q1. Ketika tegangan LOW diaplikasikan pada Base Q1, Q1 cut off dan LED mati. Phototransistor mati dan Q2 mati. Tegangan collector Q2 pada level HIGH untuk membuat Q3 konduksi. Arus konduksi memicu TRIAC menyala (ON), jika tegangan HIGH diaplikasikan pada Base, Q1 konduksi dan LED menyala dan menyebabkan phototransistor bekerja. Arus konduksi menyebabkan Q2 menyala. Emitter Q3 OFF karena Tegangan Collector ke Emitter pada Q2 rendah. Sehingga tidak ada arus untuk memicu TRIAC.

TRIAC pada rangkaian ini bekerja pada sumber tegangan AC. Jika dipicu untuk bekerja, TRIAC yang bekerja akan mati pada akhir dari setiap setengah siklus tegangan AC.

### **Peralatan Yang Dibutuhkan**

1 - Power Supply KL-51001

1 - Transformator isolasi

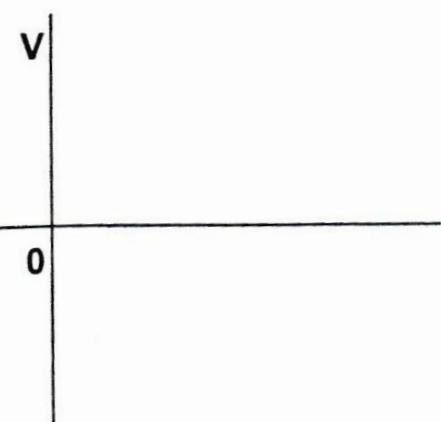
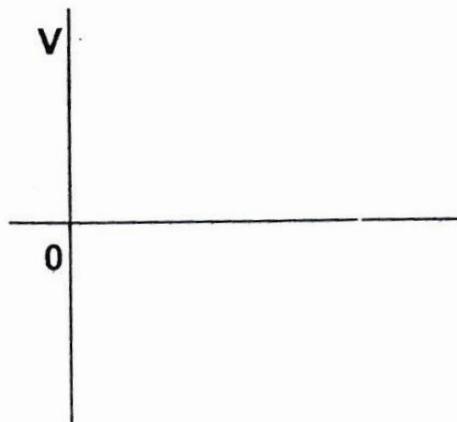
1 - Modul

1 – Oscilloscope

### **Prosedur**

1. Hubungkan 12VDC dan 12VAC Tegangan sumber dari unit Power Supply KL-53001, KL-58002 ke modul KL-53011.
2. Masukkan steker penghubung pada posisi 1. Putar VR1 ke posisi tengah. Dengan oscilloscope, ukur dan catat bentuk gelombang tegangan di keluaran 555 dan pada kapasitor C2 pada Tabel 22-1.  
(Jika rangkaian tidak bisa berisolasi, putar VR1 CCW perlahan.)

**Table 22-1**

$V_{OUT}$	$V_C$
	

3. Ketika memutra VR1, amati dan catat perubahan periode dari keluaran 555.

---



---

4. Putar VR1 penuh CCW. Hitung dan catat periode dari osilasi.

$T = \underline{\hspace{2cm}}$  detik.

Bandingkan dan hitung  $T$  dengan  $T$  hasil Ukur

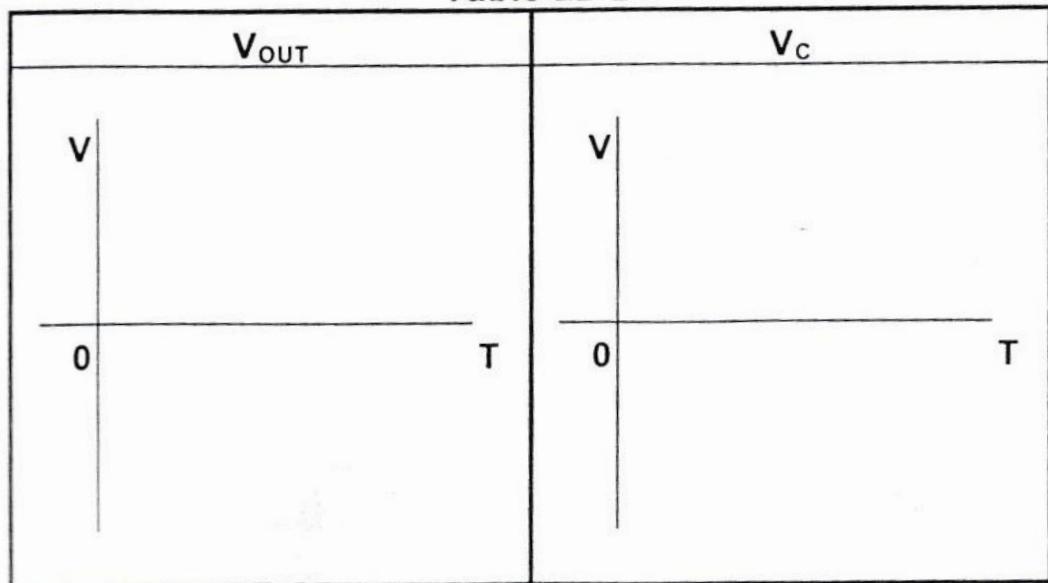
---



---

5. Lepaskan steker penghubung dari posisi 1 dan masukkan pada posisi 2. Puar VR1 ke posisi tengah nya. Dengan oscilloscope, ukur dan catat bentuk gelombang tegangan pada keluaran 555 dan pada kapasitor C2 pada table 22-2. (Jika rangkaian tidak bisa berisolasi, putar VR1 CCW perlahan.)

**Table 22-2**



6. Putar VR1 penuh CCW. Hitung dan catat periode dari osilasi.

$T = \underline{\hspace{2cm}}$  detik.

Bandingkan dan hitung  $T$  dengan  $T$  hasil Ukur

---



---

7. Masukkan steker penghubung pada posisi 1,3,4 dan 5. Apakah lampu diatur oleh sinyal digital ?
- 
- 

8. Putar VR1 kekanan, amati dan catat keadaan lampu.
- 
- 

9. Putar VR1 kekanan, amati dan catat keadaan lampu.
- 
- 

10. Dengan oscilloscope, ukur dan catat tegangan pada collector transistor.

$V_{c1} = \underline{\hspace{2cm}} V$ ;  $V_{c2} = \underline{\hspace{2cm}} V$ ;  $V_{c3} = \underline{\hspace{2cm}}$   
 $\underline{\hspace{2cm}} V$

11. Lepaskan steker penghubung dari posisi 1 dan kemudian masukkan pada posisi 2 ulangi langkah 7 sampai 10

---

---

---

---

12. Letakkan kertas tebal diantara LED dan Phototransistor untuk menghalangi cahaya. Apakah sinyal digital mengatur TRIAC dan lampu ?

---

---

13. Lepaskan kertas tebal dari photocoupler. Apakah sinyal digital mengatur TRIAC dan lampu ?

---

---

## Kesimpulan

Dari percobaan, kita telah mengetahui bahwa periode dari sinyal digital ditentukan oleh nilai dari VR1 dan kapasitansi.

Ketika kapasitor C2 digunakan,

- (1) Jika nilai VR1 minimum, maka

$$T_1 = 0.7 \times (56K + 4.7K) \times 0.1\mu F = 4.25 \text{ (mS)}$$

$$T_2 = 0.7 \times 4.7K \times 0.1 \mu F = 0.33 \text{ (mS)}$$

$$T = T_1 + T_2 = 4.58 \text{ (mS)}$$

- (2) Jika nilai VR1 Maximum, maka

$$T_1 = 0.7 \times (56K + 4.7K + 1M) \times 0.1\mu F = 74.25 \text{ (mS)}$$

$$T_2 = 0.7 \times (1M + 4.7K) \times 0.1 \mu F = 70.33 \text{ (mS)}$$

$$T = T_1 + T_2 = 0.14 \text{ (S)}$$

Ketika kapasitor C3 digunakan,

- (1) Jika nilai VR1 minimum, maka

$$T_1 = 0.7 \times (56K + 4.7K) \times 1\mu F = 42.5 \text{ (mS)}$$

$$T_2 = 0.7 \times 4.7K \times 1 \mu F = 3.3 \text{ (mS)}$$

$$T = T1 + T2 = 45.8 \text{ (mS)}$$

(2) Jika nilai VR1 Maximum, maka

$$T1 = 0.7 \times (56K + 4.7K + 1M) \times 1\mu\text{f} = 0.74 \text{ (S)}$$

$$T2 = 0.7 \times (1M + 4.7K) \times 0.1 \mu\text{f} = 0.7 \text{ (S)}$$

$$T = T1 + T2 = 1.44 \text{ (S)}$$

## 8. PERCOBAAN 8 Inverter SCR

### TUJUAN

1. Memahami operasi Inverter SCR
2. Menampilkan rangkaian Inverter SCR

### PEMBAHASAN

Sebuah inverter mengubah daya dc menjadi daya ac sehingga menghasilkan tegangan dan frekuensi keluaran. Ini banyak digunakan di bidang pasokan listrik stand by, pasokan listrik yang tidak pernah terputus (UPS), drive motor ac kecepatan variabel, pemanasan induksi, dan sebagainya.

Karena fitur drop tegangan kecil ke depan, turn-on dan turn-off time yang pendek, dan kehandalan tinggi, SCR biasa digunakan pada aplikasi inverter yang dijelaskan di atas. Inverter SCR tersedia dalam peringkat daya setinggi kilowatt dan tegangan masukan dc lebar mulai dari 24V sampai 800V.

Sirkuit inverter SCR biasanya dilakukan dengan menggunakan dua SCR's. Menurut konfigurasi rangkaian, inverter dapat diklasifikasikan ke dalam rangkaian dan inverter paralel. Sistem invereters seri dimana elemen reaktif ditempatkan secara seri dengan sirkuit beban untuk memberikan pergantian beban. Sebaliknya, inverter paralel adalah sistem inverter dimana elemen reaktif ditempatkan sejajar dengan rangkaian beban.

### Operasi Inverter Paralel

Gambar 24-1 menunjukkan rangkaian inverter paralel. Asumsikan SCR1 conduring dan SCR2 blocking. Arus dari arus suplai DC melalui terminal a dan b transformator primer. Oleh karena itu tegangan induksi pada suplai belitan sekunder ke beban. Tindakan autotransformer menghasilkan voltase  $2E$  pada anoda pengisian SCR2 C sampai  $2E$  volt dengan polaritas seperti ditunjukkan. Ketika SCR2 dipicu, katoda SCR1 naik menjadi sekitar  $2E$  volt, bias balik SCR1, dan mematikannya. Kapasitor C mempertahankan bias balik untuk waktu turn-off yang dibutuhkan. Kapan SCR1 dipicu lagi, inverter kembali ke keadaan semula. Dengan demikian arus suplai DC mengalir

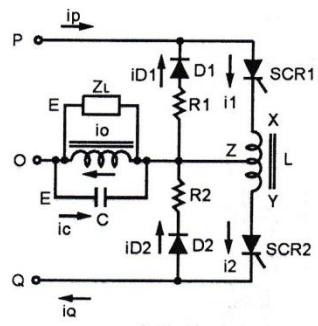
secara alternatif melalui masing-masing sisi primer transformator yang menghasilkan tegangan AC gelombang persegi di sekunder.

Gambar.24.2 menunjukkan bentuk gelombang tegangan dan arus dalam inverter paralel dengan beban resistif. Untuk memahami operasi seketika, bentuk gelombang diplot dengan mengasumsikan operasi inverter pada frekuensi tinggi resonansi. Dalam prakteknya, bentuk gelombang dari output harus hampir gelombang persegi.

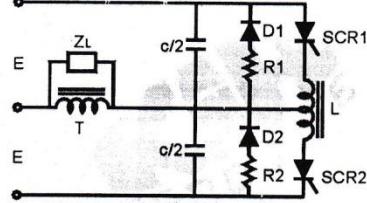
Induktor L dalam ar. 24-1 adalah induktor pembatas  $di / dt$  yang digunakan untuk memastikan bahwa waktu yang cukup disediakan agar SCR dimatikan saat commutating. Nilai L harus dipilih dengan tepat. Jika induktansi dipilih terlalu tinggi, inverter akan kehilangan kontrol dalam kasus variasi muatan yang tiba-tiba.

### **Inverter Paralel Dengan Peningkatan Komutasi**

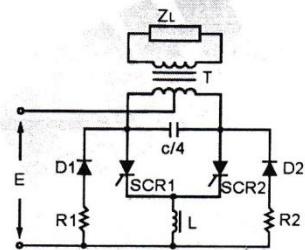
Kerugian dari inverter SCR yang dijelaskan di atas adalah bahwa SCR akan mengalami tegangan tinggi saat arus beban berkurang dan bentuk gelombang output berubah dari gelombang persegi ke segitiga. Oleh karena itu diperlukan batasan variasi beban.



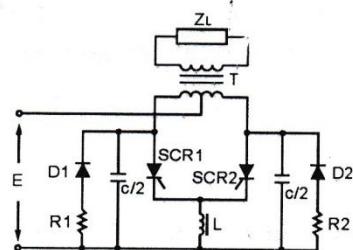
(a)



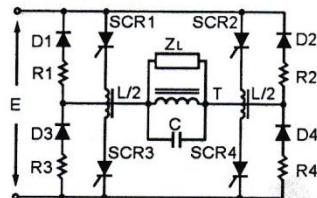
(b)



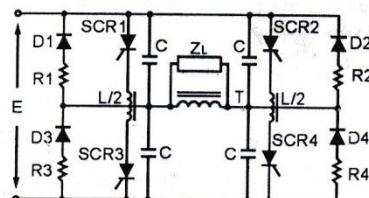
(c)



(d)



(e)

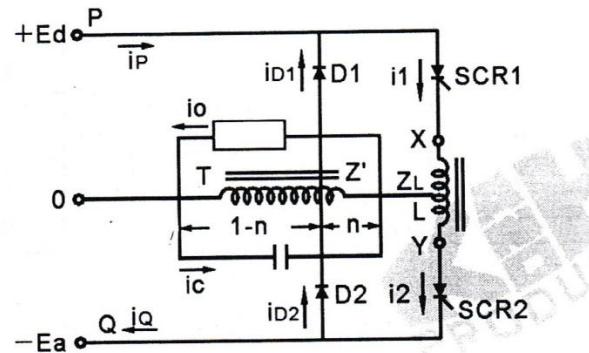


(f)

Fig.24-3 Commutation- improved inverters

Sirkuit pada Gambar 24-3 adalah inverter dengan pergantian yang lebih baik. Fitur rangkaian ini adalah bahwa daya beban diumpulkan melalui dioda kembali ke sumber dc. Hasilnya adalah kapasitor commutating yang lebih kecil dan inductor required. Dioda umpan balik membatasi voltase beban untuk mencapai voltase sumber. Bentuk gelombang tegangan keluaran selalu merupakan gelombang persegi di bawah kondisi beban apapun. Resistor yang dihubungkan secara seri dengan dioda umpan balik digunakan untuk menyerap energi tersimpan pada induktor komutasi.

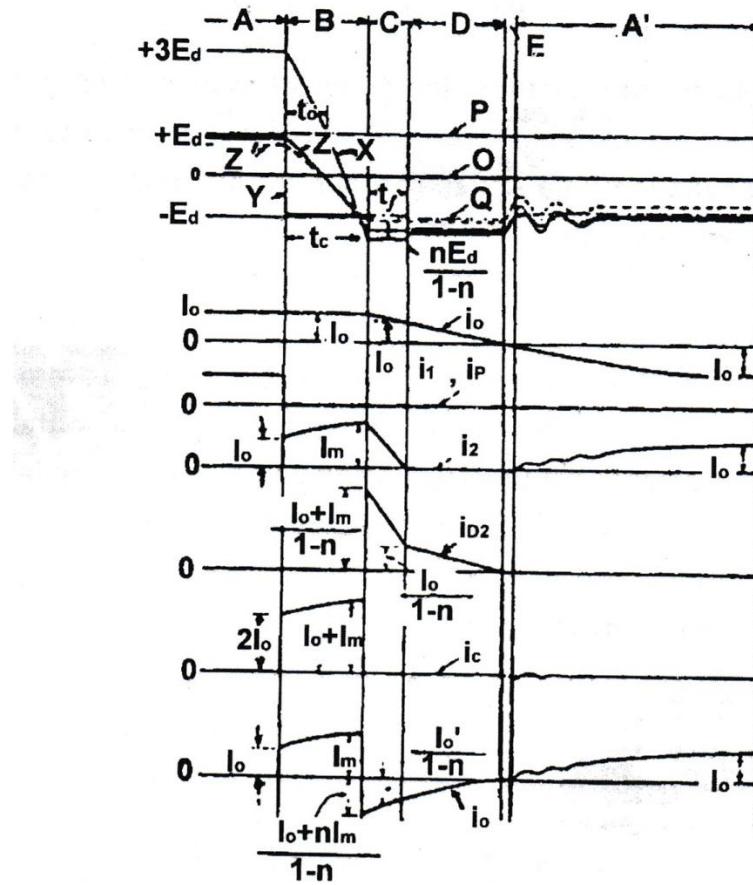
Untuk memahami pengoperasian inverter yang dimodifikasi dalam permutasi, kami menjelaskan inverter yang ditunjukkan pada Gambar 24-4 dengan berbagai beban sebagai berikut.



**Fig.24-4 Commutation-modified inverter**

### 1. Dengan Beban Induktif

Bentuk gelombang tegangan dan arus di sirkuit pada Gambar 24-4 dengan beban induktif ditunjukkan pada Gambar 24-5. Untuk tujuan analisis, kami menjelaskan operasi dengan enam interval berikut.



**Fig.24-5 Voltage and current waveforms in the circuit of Fig. 24-4 with inductive load**

(1) Interval A

Di sirkuit pada Gambar 24-4, asumsikan bahwa SCR1 aktif dan SCR2 tidak aktif. Jika nilai  $di / dt$  dalam beban tidak terlalu tinggi, potensi pada titik Z dan P dapat dianggap sama.

(2) Interval B

Ketika SCR2 dipicu, potensi pada titik Y dikurangi dengan cepat agar sama dengan potensial pada titik Q. karena tegangan kapasitor commutating C tidak dapat diubah secara instal, tegangan induksi  $2E_d$  melintasi induktor komutasi adalah SCR1 bias

balik ke matikan. Setelah waktu turn-off  $t_c$  dari SCR1, arus beban  $I_o$  dipasok oleh SCR2.

Pada awal waktu turn-off SCR1, potensi pada titik Z berkurang sejak kapasitor commutating dilepaskan. Bila voltase pada Z turun ke potensial pada titik Q, waktu pergantian akan berakhir. Arus di commutating induktor  $i_2$  menjadi nilai maksimal,  $I_m$ .

### (3) Interval C

$I_2$  arus di induktor komutasi sekarang mengurangi dari nilai maksimum  $I_m$ . Oleh karena itu, tegangan induksi dikembangkan antara Z dan Y dengan positive pada terminal Y. Bila titik atau potensial Z turun sama dengan potensial pada titik Q, dioda umpan balik D2 melakukan dan menyebabkan induktor komutasi L untuk Releaase energi yang tersimpan. melalui loop dari SCR2, D2, Z dan Z'. Waktu yang dihabiskan untuk menghilangkan energi induktansi diberikan oleh

$$t = \frac{LI_m(1-n)}{Edn}$$

Bila arus ini turun menjadi nol, energi beban akan memberi makan melalui D2 kembali ke catu daya dc. Ini karena sifat induktansi arus lagging voltage. Pada saat ini, tegangan balik  $nEd / (1-n)$  diinduksi antara Z dan Z'forces SCR2 untuk dimatikan.

### (4) Interval E

Karena arus umpan balik arus berkurang menjadi nol, dioda D2 bias balik dan oleh karena itu terputus.

### (5) Interval A'

Pada interval beban saat ini terbalik, D2 masih dalam keadaan off. Jika SCR2 dipicu oleh sinyal pemicu, SCR2 akan melakukan lagi. Pada akhir interval ini, arus beban adalah  $-I_o$ .

Interval B pada Gambar 24-5 disebut durasi komutasi. Periode inverter jauh lebih lama dari pada turn-off time SCR. Asumsikan bahwa SCR dihidupkan pada  $t = 0$  dan arus beban selama durasi komutasinya adalah  $I_o$ , maka

$$2E_d = L \frac{di_2}{dt} + \int \frac{i_2 + I_o}{C} dt \quad (24-1)$$

Memecahkan persamaan di atas, kita hasilkkan

$$i_2 = \frac{2E_d}{\omega L} \sin \omega t + I_o(2 \cos \omega t - 1) \quad (24-2)$$

Dimana

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Dimana

Bila tegangan pada induktor komutasi L berkurang menjadi 0, durasi komutasi,  $t_c$ , berakhir dan dinyatakan oleh

$$\tan \omega t_c = \frac{E_d}{\omega L I_o} \quad (24-3)$$

Atau

$$t_c = \sqrt{LC} \tan^{-1} \left( \frac{E_d}{I_o} \sqrt{\frac{C}{L}} \right) \quad (24-4)$$

Pada  $t = t_c$ , arus  $i_2$  sama dengan arus maksimum  $I_m$ .  $I_m$  bisa diturunkan dari Pers. (24-2)

$$I_m = 2 \sqrt{\frac{C}{L} E_d^2 + I_o^2 - I_o} \quad (24-5)$$

Rasio  $I_m$  ke  $I_o$  diberikan oleh

$$\frac{I_m}{I_o} = 2 \sqrt{x^2 + 1} - 1 = f(x) \quad (24-6)$$

$$\text{Dimana } x = \frac{E_d}{I_o} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

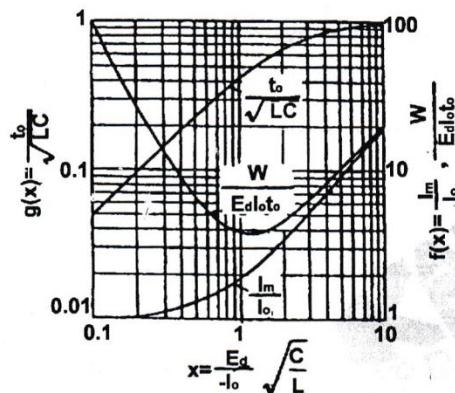
Pada  $t = t_0$ , tegangan balik pada SCR1 adalah nol.  $t_0$  dinyatakan sebagai

$$\frac{t_0}{\sqrt{LC}} = g(x) = \sin^{-1} \frac{x}{\sqrt{x^2+1}} - \sin^{-1} \frac{x}{2\sqrt{x^2+1}} \quad (24-7)$$

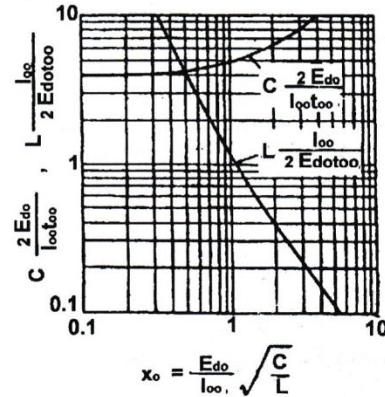
Dalam durasi komisioning  $t_c$ , energi  $W$  yang dilapisi dalam commutating inductor adalah

$$\frac{W}{E_d I_0 t_0} = \frac{[f(x)]^2}{2xg(x)} \quad (24-8)$$

Hubungan antara Persamaan. (24-6), (24-7) dan (24-8) ditunjukkan pada Gambar 24-6. Gambar 24-7 menunjukkan hubungan antara komutating capacitance, commutating inductance, dan  $x_0$ .



**Fig. 24-6 Relationship among Eqs. (24-6), (24-7) and (24-8)**



**Fig. 24-7 Relationship among commuting capacitance, commuting inductance, and  $x_0$**

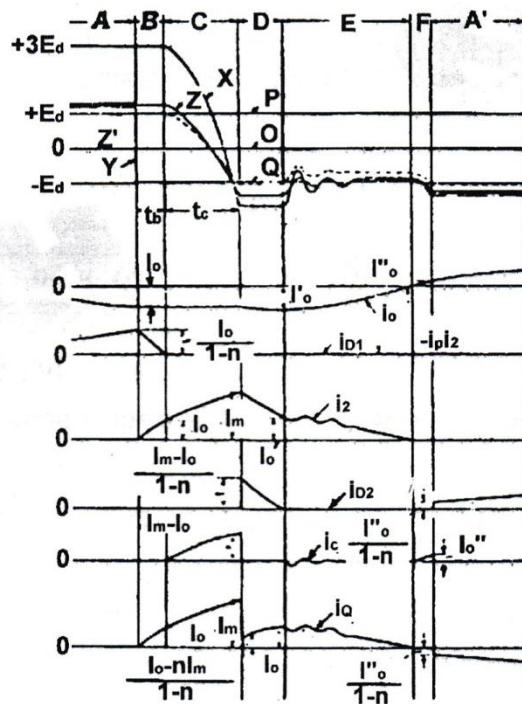
Pada Gambar 24-6, kehilangan pergantian minimum ditemukan pada kisaran dari  $x = 0,75$  sampai  $1,5$ . Pada kondisi beban maksimum, jika memilih  $x = 1$ , nilai kapasitor komutasi dan induktor dapat ditentukan oleh

$$C = \frac{t_0 I_0}{0,425 E_d} \quad (24-9)$$

$$L = \frac{t_0 I_0}{0,425 I_d} \quad (24-10)$$

## 2. Dengan Beban Kapasitif

Gambar 24-8 menunjukkan bentuk gelombang tegangan dan arus pada rangkaian inverter paralel pada Gambar 24-4 dengan beban kapasitif.



**Fig. 24-8 Voltage and current waveforms in parallel inverter with capacitance load**

#### (1) Interval A

Asumsikan SCR1 melakukan dan memasok arus beban  $i_o$ , D1 melakukan umpan energi tersimpan pada kapasitor kembali ke catu daya. Pada saat bersamaan, tegangan balik antara Z dan Z' ternyata SCR1 mati.

#### (2) Interval B

SCR2 dipicu untuk menyala. Tegangan pada titik Y mengalir dengan cepat ke potensial pada titik Q. Karena voltase kapasitor tidak dapat berubah seketika, tegangan balik  $2E_d / (1-n)$  yang diinduksi antara kekuatan X dan Z SCR1 untuk dimatikan. Waktu turn-off diberikan oleh

$$t_b = \frac{LI_0(1-n)}{E_d(2-n)} \quad (24-11)$$

(3) Interval C

Commutating kekuatan arus D1 untuk melakukan. Sama seperti B internal inverter dengan beban induktif.

(4) Interval D

Sama seperti interval C dari inverter dengan beban induktif.

(5) Interval E

Diode D2 berhenti melakukan dan beban arus i2 menurun.

(6) Interval F

Arus beban terbalik

(7) Interval A'

Dioda D2 konduksi lagi dan tegangan beban meningkat

Pada sirkuit inverter paralel, jika tidak ada pemicu singular hadir, SCR yang melakukan akan menyebabkan inti transformator beroperasi dalam saturasi saturasi satate. Jika periode pulsa pemicu tidak adil, dua SCRs akan melakukan ketidakseimbangan dan menghasilkan komponen harmonik dalam bentuk gelombang keluaran.

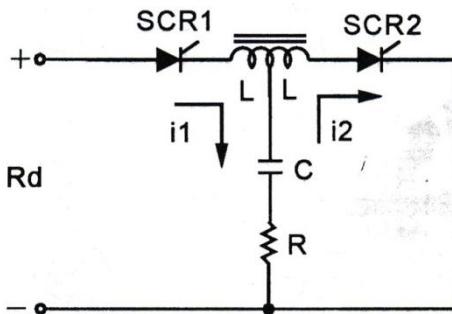
### **Inverter Seri**

Inverter seri adalah sistem inverter dimana elemen reaktif ditempatkan secara seri dengan rangkaian beban untuk memberikan komunikasi beban. Keuntungan dari inverter seri adalah sebagai berikut:

- (1) keandalan yang tinggi
- (2) umur panjang
- (3) Kecil dalam volume

(4) Efisiensi tinggi

(5) Bentuk gelombang keluaran mendekati gelombang sinus



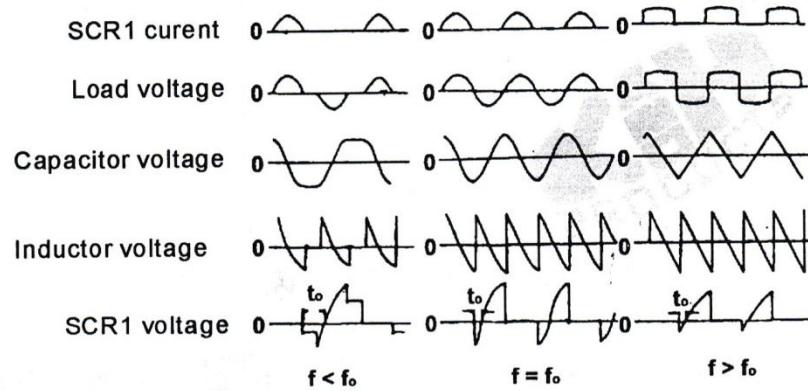
**Fig. 24-9 Basic series inverter circuit**

Rangkaian pada Gambar 24-9 mengilustrasikan inverter rangkaian dasar. Dua bagian dari induktor commutating sama dan diperkuat ditambah dengan dililitkan pada inti yang sama. Saat SCR1 dinyalakan, kapasitor C mengisi melalui L dan R dan membangun voltase positive. Saat SCR2 dipicu, kapasitor dilepaskan melalui SCR2 dan menghasilkan arus berdenyut terbalik pada beban. Pada saat ini, induktansi L kiri merupakan tegangan balik untuk mematikan SCR1. Siklus selesai dan diulang saat pulsa pemicu berikutnya datang .. maka, arus alternatif muncul saat beban.

Bentuk gelombang tegangan beban pada inverter seri tergantung pada jenis beban. Dengan kata lain, waktu konduksi SCR tergantung pada beban. Pengoperasian inverter seri dapat dibagi menjadi tiga wilayah: commutating natural, komutating kritis, dan komutating yang dipaksakan. Selama commutating natural, SCR yang dilakukan secara alami dimatikan. Selama komutasi kritis dan terpaksa, SCR yang dilakukan terpaksa dimatikan oleh tegangan induksi pada induktor komutator. Daerah mana inverter yang beroperasi tergantung pada hubungan antara frekuensi osilasi yang melekat pada jaringan LCR seri dan frekuensi inverter  $f_o$ . Jika  $f < f_o$ , inverter beroperasi dalam pergantian alami. Jika  $f = f_o$ , inverter beroperasi dalam pergantian kritis. Jika  $f > f_o$ , inverter beroperasi dalam pergantian paksa. Frekuensi operasi inverter dapat dihitung dengan

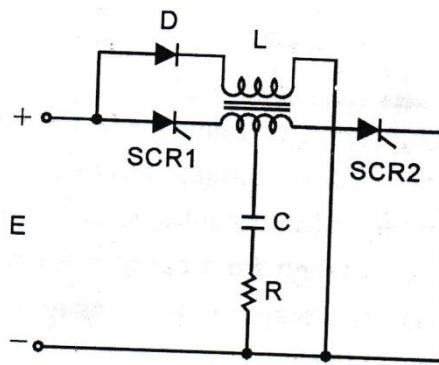
$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} \frac{R^2}{4L^2}} \quad (24-12)$$

Bentuk gelombang arus dan tegangan pada inverter seri dengan beban resistif ditunjukkan pada Gambar 24-10.



**Fig. 24-10 Voltage and current waveforms for the circuit of Fig. 24-9**

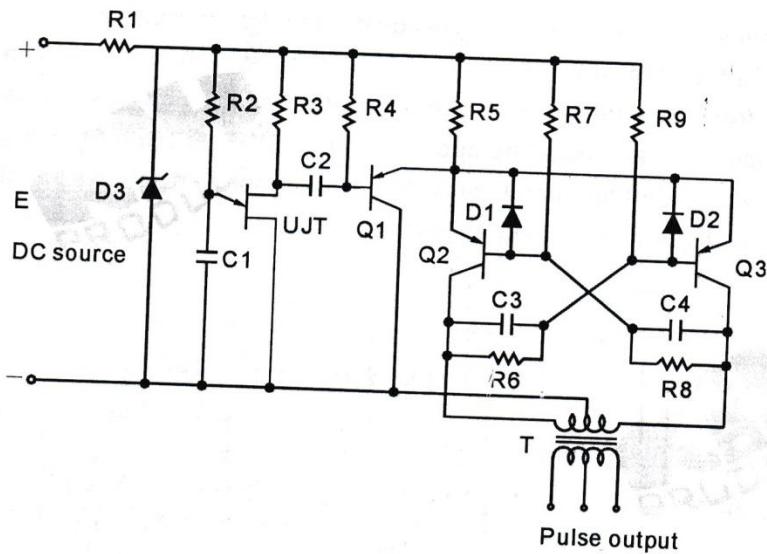
Bila inverter seri beroperasi pada kondisi beban overload atau shor-circuit, tegangan yang sangat tinggi akan diterapkan pada anoda masing-masing SCR. Untuk melindungi SCRs dengan tegangan tinggi, sirkuit pada Gambar 24-11 direkomendasikan. Di sirkuit ini, jika arus tinggi mengalir dalam beban, tegangan induksi tinggi di induktor L akan menyebabkan dioda D melakukan dan menjepit tegangan anoda SCR pada nilai yang diinginkan.



**Fig. 24-11 Voltage protection circuit of inverter**

### Inverter Pemicu Sumber

Pemicu pulsa ke gerbang SCRs in inverter require interval waktu yang tepat, amplitude yang cukup, dan short rise time. Untuk tujuan sumber pemicu biasanya dari keluaran multivibrator transistor, atau keluaran flip-flop dari UJT dan PUTs. Seperti ditunjukkan pada Gambar 24-12, generator sinyal pemicu dihitung oleh osilator relaxov UJT dan multivibrabor bistable transistor.

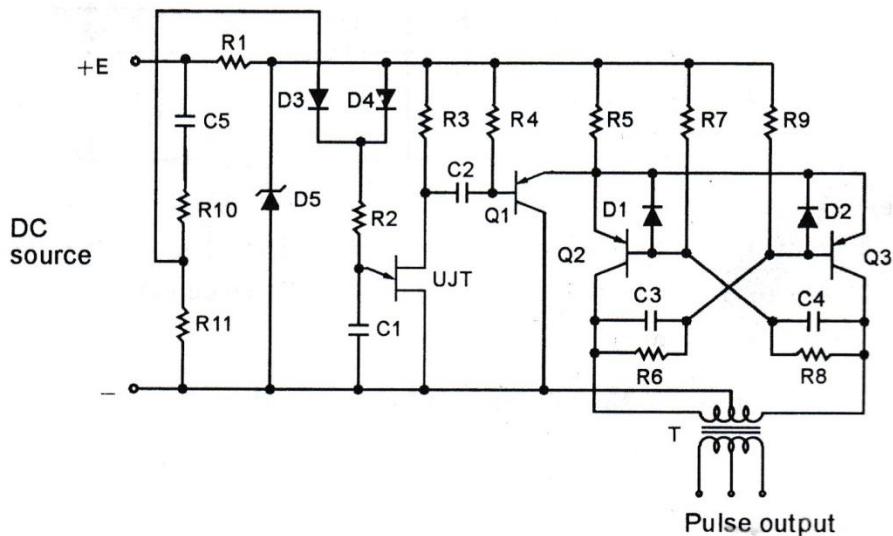


**Fig. 24-12 Trigger pulse generator**

Sirkuit pada Gambar 24-12 biasanya digunakan untuk memicu SCR dalam inverter yang dimodifikasi pergantian. Rangkaian ini sebenarnya adalah multivibrator bistable transistor dengan sinyal pemicu dari keluaran osilator relaksasi UJT. Pada rangkaian ini pulsa pemicu negatif diambil dari resistor R3 dan ditambah dengan kapasitor C2 ke basis transistor Q1. Pulsa output dari pengikat emitor memicu multivibrator bistable yang dibentuk oleh transistor Q2 dan Q3. Frekuensi multivibrator bistable harus di bawah setengah dari frekuensi inverter. Pulse transformator digunakan untuk beberapa keluaran pulsa flip-flop ke gerbang inverter SCRs. Setiap pulsa pemicu adalah gelombang persegi dengan polaritas positif dan negatif. Denyut nadi negatif digunakan untuk menghindari terjadinya pemicu kecelakaan pada SCR di negara bagian dan untuk memperpendek waktu turn-off.

Dengan menyesuaikan besarnya resistor pengisian R2, frekuensi osilator relaksasi UJT dan multivibrator bistable dapat berubah.

Untuk mencegah transformator terhadap saturasi pada saat inverter dimulai. Kesenjangan udara dipertimbangkan dalam merancang inti transformator untuk membatasi fluks maksimum pada inti dalam kisaran setengah fluks jenuh. Metode ini berguna dalam inverter frekuensi tinggi. Namun, trafo besar harus digunakan pada inverter yang beroperasi pada 60Hz. Sirkuit pada Gambar 24-13, generator pemicu denyut dengan rangkaian awal frekuensi tinggi, memberikan solusi yang baik untuk masalah ini. Operasi rangkaian ini dijelaskan sebagai berikut.



**Fig. 24-13 Trigger pulse generator with high-frequency starting circuit**

Pada Gambar 24-13, pada saat daya dc menerapkan penurunan voltase pada R11 kira-kira dua kali tegangan zener D5. Tegangan ini menyebabkan diode D3 melakukan dan pemblokiran D4. Dengan demikian kapasitor C1 dibebankan melalui D3 dan R4. Oleh karena itu frekuensi pulsa keluaran dua kali lipat.

Tegangan di R11 akan membusuk dengan konstanta waktu  $C_5 (R_{10} + R_{11})$ . Bila tegangan ini turun sama dengan voltase zener, pemblokiran dan penggerjaan D3 D4, rangkaian generator denyut nadi beroperasi dalam kondisi normal.

## Inverter Pengatur Tegangan

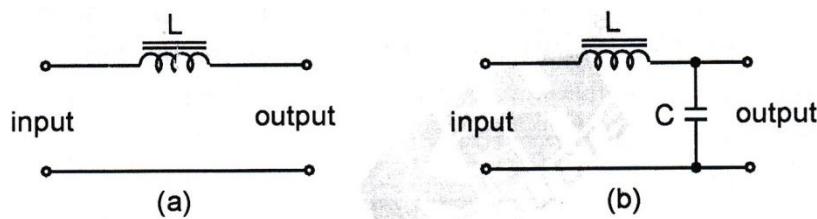
Terkadang inverter diperlukan untuk menahan tegangan output konstan yang bergantung pada variasi beban. Tentu saja, mengubah besarnya kapasitor komutasi dalam inverter paralel dapat mencapai perubahan pada tegangan keluaran; Namun, itu tidak praktis.

Tegangan keluaran inverter pada umumnya dapat dikontrol dengan metode berikut:

- (1) Mengatur output dari inverter: dengan menerapkan pengatur tegangan antara keluaran inverter dan beban.
- (2) Mengatur inverter: dengan menghubungkan beberapa inverter secara seri dan menggunakan kontrol fase.
- (3) Mengatur tegangan suplai DC ke inverter: dengan menggunakan konverter DC to DC yang diatur atau penyearah fase terkontrol.

## Memperbaiki Bentuk Gelombang Keluaran Inverter

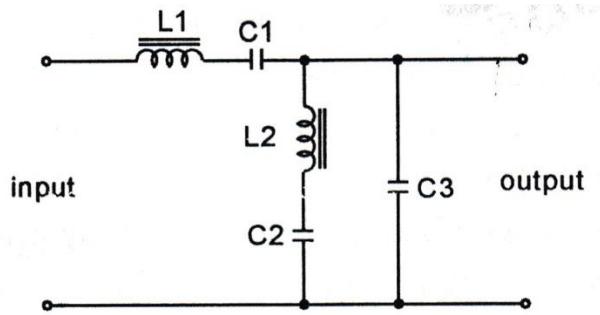
Gelombang keluaran inverter yang diperlukan tergantung pada aplikasi. Sebagai gelombang sinus diperlukan, filter low-pass biasanya digunakan untuk menyaring harmonika orde tinggi dari keluaran inverter. Filter sederhana tunggal ditunjukkan pada Gambar 24-14.



**Fig. 24-14 Basic LC filters for harmonics**

Dalam kasus variasi beban ekstrim ini, filter kompleks harus digunakan. Ada sejumlah faktor yang harus diperhatikan dalam merancang filter. Ini termasuk setidaknya variasi frekuensi dan kehilangan filter. Filter yang ditunjukkan pada Gambar 24-15 dapat beroperasi dalam variasi. Frekuensi resonansi jaringan seri L1-C1 dirancang untuk

menyamai frekuensi dasar inverter. Frekuensi resonansi jaringan seri L2-C2 sama dengan frekuensi harmonik ketiga inverter untuk memotong harmonisa ke-3. Capacitor C3 digunakan untuk menipiskan harmonisa yang lebih tinggi. Oleh karena itu output yang sangat baik dengan sinewave diperoleh.



**Fig. 24-15 LC filter with series resonance**

Gambar 24-16 menunjukkan filter LC dengan ressonansi paralel. Efek filter sama dengan rangkaian Gambar 24-15. Frekuensi resonansi dari jaringan paralel yang dibentuk oleh L1 dan C1 dirancang untuk menyamakan frekuensi harmonik ketiga dari inverter. L2 dan C2 membentuk filter low-pass untuk menipiskan harmonisa dengan orde tinggi \|. Frekuensi jaringan resonan paralel L3-C2 sama dengan frekuensi dasar inverter. Kapasitor C3 digunakan untuk mengkompensasi kehilangan filter.

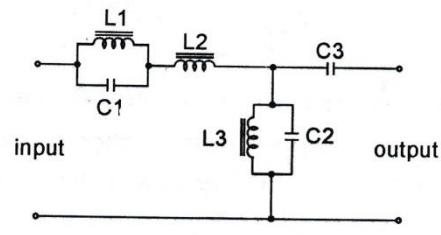


Fig. 24-16 LC filter with parallel resonance

#### Description of Experiment Circuit

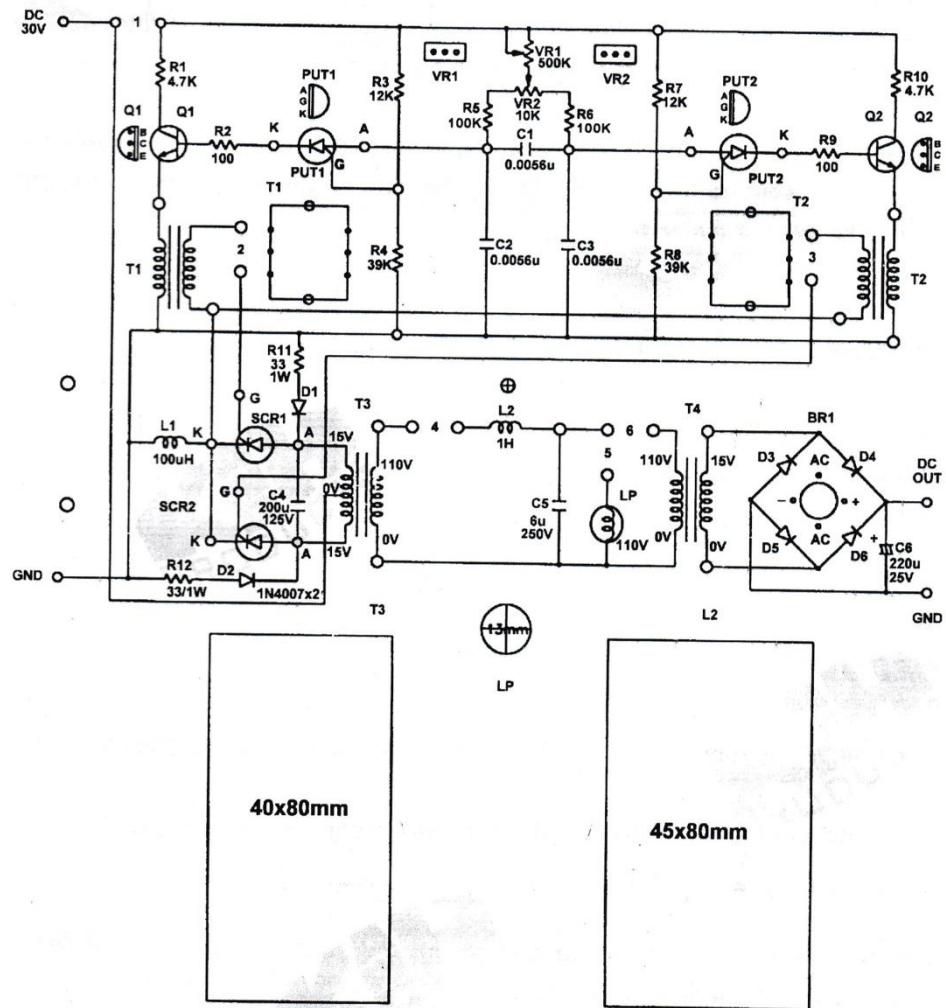


Fig. 24-17 Experiment circuit

#### Deskripsi Rangkaian Percobaan

Gambar 24-17 menunjukkan rangkaian inverter SCR dalam percobaan ini. Inverter pada dasarnya merupakan inverter paralel dengan pergantian yang ditingkatkan seperti ditunjukkan pada Gambar 24-3 (c). Pulsa pemicu dihasilkan oleh osilator relaksasi PUT. Kedua osilator relaksasi PUT ini sama. VR1 digunakan untuk mengatur frekuensi osilasi, dan VR2 adalah untuk mengendalikan simetri dua osilator ini.

SCR1 dan SCR2 membentuk inverter. C4 adalah kapasitor komutating dan L1 adalah The Commutating inductor. Bentuk gelombang output dari inverter paralel adalah gelombang persegi pada sekunder T3. Filter low pass yang terdiri dari L2 dan C5 digunakan untuk menyaring harmonisa untuk menghasilkan gelombang sinus pseudo sekitar 60Hz.

Penyearah gelombang penuh jembatan D3-D6 dan kapasitor c6 digunakan untuk mengubah tegangan ac inverter menjadi tegangan dc. Dalam pandangan sumber dc, konversi DC-ke-DC diketahui konverter.

### **PERALATAN YANG DIBUTUHKAN**

- 1- Module KL-53013
- 1- DC Power Supply (30V,3A)
- 1- Oscilloscope
- 1- Multimeter

### **PROSEDUR**

1. Atur catu daya dc ke 30V dan hubungkan ke Modul KL-53013.
2. Masukkan konektor sambung pada posisi 1. Ukur dan catat tegangan PUT1  $V_o = \underline{\hspace{2cm}}$  V, and PUT2  $V_o = \underline{\hspace{2cm}}$  V
3. Dengan menggunakan osiloskop, ukur dan catat bentuk gelombang tegangan dari anoda PUT1 dan anoda PUT2 pada tabel 24-1.

**Table 24-1**

PUT1 A	PUT2 A

4. Dengan menggunakan osiloskop, ukur dan catat voltase dasar transistor Q1 dan Q2 pada tabel 24-2.

**Table 24-2**

Q1B	Q2B

5. Dengan menggunakan osiloskop, ukur dan catat bentuk gelombang tegangan sekunder T1 sekunder dan T2 pada tabel 24-3

**Table 24-3**

T1	T2

6. Ubah VR1, amati dan catat perubahan bentuk gelombang di atas.
7. Putar VR2, amati dan catat hubungan antara pulsa T1 dan T2.
8. Matikan catu daya dc masukkan colokan di posisi 2 dan 3. Atur output saat ini maksimal. Nyalakan power.
9. Balikkan VR2 ke posisi tengahnya. Menggunakan multimeter, ukur dan catat tegangan terminal sekunder T3. Saat VR1 diputar CW sepenuhnya. Tegangan yang terukur adalah \_\_\_\_ V, ketika VR1 diputar CCW sepenuhnya, tegangan yang terukur adalah \_\_\_\_ V.
10. Aktifkan VR2, amati dan catat perubahan tegangan pada terminal sekunder.
11. Atur VR2 ke posisi tengahnya. Dengan menggunakan osiloskop, ukur bentuk gelombang tegangan sekunder T3 dan atur VR1 untuk mendapatkan frekuensi 60Hz. Catat hasilnya di tabel 24-4.
12. Masukkan steker sambungkan pada posisi 4. Ukur dan catat tegangan rms minimum dan maximum di kapasitor C5.

$V_{\max} = \underline{\hspace{2cm}}$ .  $V_{\min} = \underline{\hspace{2cm}}$ .

13. Dengan menggunakan osiloskop, ukur bentuk gelombang tegangan di C5 dan atur VR1 untuk mendapatkan frekuensi 60Hz. Catat hasilnya di tabel 24-4.

**Table 24-4**

T3	C5

14. Dengan menggunakan osiloskop, ukur dan catat tegangan anoda SCR1 dan SCR2 pada tabel 24-5.

**Table 24-5**

SCR1 A	SCR2 A

15. Masukkan steker sambungkan pada posisi 5. Balikkan VR1 dan amati keadaan lampu. Apakah lampu itu menyala?

16. Dengan menggunakan osiloskop, ukur bentuk gelombang tegangan pada beban LP. Bandingkan bentuk gelombang ini dengan bentuk gelombang sekunder T3 dan komentari perbedaannya.

17. Masukkan konektor sambungkan pada posisi 6. Lepaskan steker penghubung dari posisi 5. Balikkan VR1 untuk mendapatkan 110v Rms pada primer T4. Ukur dan catat tegangan sekunder T4 dan tegangan dc acroos C6.

$$V_{T4} = \underline{\hspace{2cm}} V. V_{T4} = \underline{\hspace{2cm}} V.$$

### **KESIMPULAN**

Anda telah bereksperimen dengan operatio inverter SCR. Frekuensi pulsa pemicu disesuaikan dengan VR1. VR2 digunakan untuk mengatur frekuensi dua osilator PUT sama, bentuk gelombang keluaran inverter adalah gelombang persegi. Untuk mendapatkan gelombang sinus, low pass filter L2 dan C5 harus ditambahkan. Mengatur VR1, tegangan keluaran inverter berubah dari 5V menjadi 120V. Output tegangan maksimum terjadi pada 60Hz.