

**BIDANG PENDIDIKAN DAN PENGAJARAN**

**BERITA ACARA PERKULIAHAN**

**KULIAH ONLINE (LEARNING)**

**PERIODE SEMESTER GENAP 2021-2022**

**MATA KULIAH**

**ELEKTRONIKA DAYA**

*LAMPIRAN BERITA ACARA PERKULIAHAN*

- 1. SK DEKAN FTI SEMESTER GANJIL 2021-2022*
- 2. PRESENSI KEHADIRAN DOSEN DAN MATERI AJAR*
- 3. CONTOH HAND OUT MATERI AJAR*
- 4. NILAI KOMULATIF : KEHADIRAN, TUGAS, UTS DAN UAS*

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**



**YAYASAN PERGURUAN CIKINI  
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640  
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax. 021-7866955, hp: 081291030024  
Email : humas@istn.ac.id Website : www.istn.ac.id

**SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK**

Nomor : 148 / 03.1 – G / III / 2022

SEMESTER **GENAP**, TAHUN AKADEMIK 2021 / 2022

Nama : **Sugianto,Ir,MT** Status Pegawai : Edukatif Tetap / Tidak Tetap  
NIK : **186489** Program Studi : Teknik Elektro  
Jabatan Akademik : **Lektor**

Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam/ Minggu	Kinerja (sks)	Keterangan
<b>I PENDIDIKAN Dan PENGAJARAN</b>	<b>MENGAJAR DI KELAS ( KULIAH / RESPONSI DAN LABORATORIUM )</b>				
	1.Ekonomi Teknik ( Kls A )				
	2.Elektronika Daya ( Kls A )			2	Kamis,13.00-14.40
	3.Mesin Mesin Listrik ( Kls A )			2	Kamis,08.00-09.40
	4.Ekonomi Tehnik( Kls K )			3	Rabu, 10.00-12.30
	5. Transformator ( Kls A )			2	Jumat,19.00-20.40
	6.			2	Senin, 10:00 - 11.40
	7.				
	8.				
	9.				
	10.				
	11.				
	12.				
	13.				
	14.				
	15.				
	16.				
	17. Membimbing Skripsi / Tugas Akhir				1
18. Menguji Skripsi / Tugas Akhir				1	
<b>II PENELITIAN</b>	1. Penelitian Ilmiah				
	2. Penulisan Karya Ilmiah				
	3. Penulisan Diktat Kuliah				
	4. Menerjemahkan Buku				
	5. Pembuatan Rancangan Teknologi				
	6. Pembuatan Rancangan & Karya Pertunjukan				
<b>III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT</b>	1. Menduduki Jabatan di Pemerintahan				
	2. Pengembangan Hasil Pendidikan Dan Penelitian				
	3. Memberikan Penyuluhan/Pelatihan/Ceramah pada masyarakat				1
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat Umum				1
	5. Menulis Karya Pengabdian Pada Masyarakat yang tidak dipublikasikan				
	6. Komersial / Kesepakatan				
<b>IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG</b>	1. Jabatan Struktural				
	2. Penasehat Akademik				
	3. Berperan serta aktif dalam pertemuan ilmiah / seminar				
	4. Pengembangan program kuliah / Kelompok Ilmu Elektro				
	5. Menjadi anggota panitia / Badan pada suatu Perguruan Tinggi				
	6. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintah				
	7. Menjadi Anggota Organisasi Profesi				
	8. Mewakili PT / Lembaga Pemerintah duduk dalam Panitia antar Lembaga				
	9. Menjadi Anggota Delegasi Nasional ke Parlemen – Parlemen Internasional				
Jumlah Total				<b>15</b>	

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji / honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Penugasan ini berlaku dari tanggal **21 Maret 2022** sampai dengan tanggal **31 Agustus 2022**.



**Tembusan :**

1. Direktur Akademik – ISTN
2. Direktur Non Akademik – ISTN
3. Ka. Biro Sumber Daya Manusia – ISTN
4. Kepala Program Studi Fak. ....
5. Arsip



**BERITA ACARA PERKULIAHAN**  
(PRESENTASI KEHADIRAN DOSEN)  
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2021/2022  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S.1 & D.III –ISTN

Mata Kuliah : Elektronika Daya  
Dosen : Poedji Oetomo  
Hari : Rabu  
Jam : 08.00-09.40

Semester :  
SKS :  
Kelas : A (D-3)  
Ruang :

No.	TANGGAL	MATERI KULIAH	JML MHS HADIR	TANDA TANGAN DOSEN
1.	23/3/2022	Pendahuluan		
2.	30/3/2022	Pengantar elektronika daya	1	
3.	6/4/2022	Komponen semikonduktor		
4.	13/4/2022	Komponen semikonduktor (lanjutan)	2	
5.	20/4/2022	Penyearah daya	2	
6.	27/4/2022 (Bag 1)	Pemicu komponen semikonduktor	1	
7.	27/4/2022 (Bag 2)	Penyearah terkendali 1 fasa	1	
8.	11/5/2022	<b>UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS)</b>	2	

DOSEN PENGAJAR

( Poedji Oetomo )



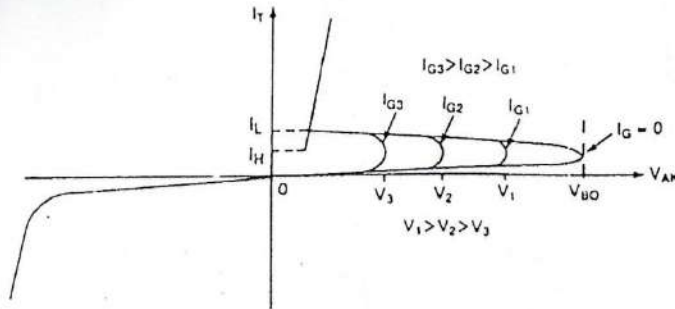
**BERITA ACARA PERKULIAHAN**  
(PRESENTASI KEHADIRAN DOSEN)  
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2021/2022  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S.1 & D.III –ISTN

Mata Kuliah	: Elektronika Daya	Semester	: Genap 2021/2022
Dosen	: Suganda ST,MT/Ir.Sugianto, MT	SKS	: 2
Hari	: Rabu	Kelas	: Program D3/A
Jam	: 08:00 s/d 09.40	Ruang	: On line

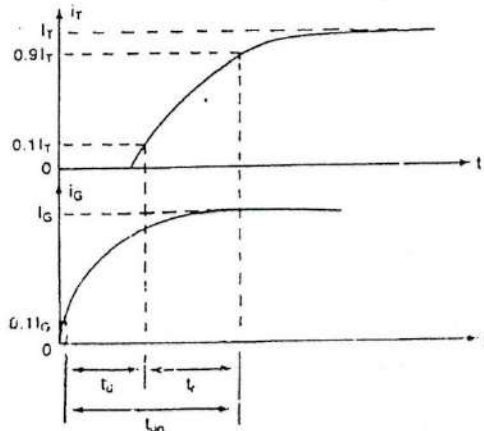
No.	TANGGAL	MATERI KULIAH	JML MHS HADIR	TANDA TANGAN DOSEN
1.	18-5-2022	Model Thyristor dua Transisto, Struktur Dasar dan Rangkaian Ekvialen	1	
2.	25-5-2022	Membuat Transistor Off, dan tipe-tipe Transistor	2	
3.	1-6-2022	Rangkaian Karakteristik , Turn Off Thyristor, Gerbang Turn off thyristor	2	
4.	8-6-2022	FET Controlled Thyristor, MOS Controlled Thyristor	2	
5.	15-6-2022	Thyristor di Operasikan Serial dan Contoh contoh soal	2	
6.	22-6-2022	Transistor Unit Junction, Programmable Uni Junction Transistor	2	
7.	29-6-2022	Prinsip Operasi Konverter Thyristor dan Penyearah Terkendali dan Contoh contoh soal.	2	
8.		<b>UJIAN AKHIR SEMESTER (UAS)</b>		

DOSEN PENGAJAR

( Ir. Sugianto, MT )



Gambar 4-6 Efek arus gerbang pada tegangan maju blocking



Gambar 4-7 Karakteristik turn-on

thyristor keadaan tunak ( $0,9I_T$ ).  $t_{on}$  adalah jumlah waktu tunda  $t_d$  dan waktu mulai  $t_r$ .  $t_d$  didefinisikan sebagai interval waktu antara 10% arus gerbang ( $0,1I_G$ ) dan 10% arus keadaan on thyristor ( $0,1I_T$ ).  $t_r$  adalah waktu yang diperlukan agar arus anode meningkat dari 10% arus keadaan on thyristor ( $0,1I_T$ ) ke 90% arus keadaan on thyristor ( $0,9I_T$ ). Semua waktu ini diperlihatkan pada Gambar 4-7.

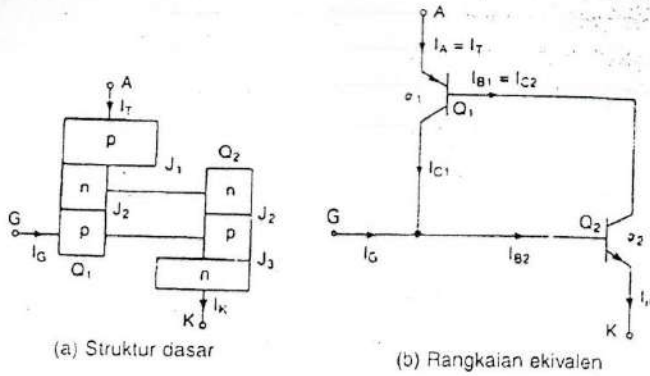
Beberapa hal berikut harus diperhatikan ketika merancang rangkaian kendali gerbang.

1. Sinyal gerbang harus dihilangkan setelah thyristor dihidupkan. Suatu sinyal penggerbangan kontinu akan meningkatkan daya yang terbuang di sambungan gerbang.
2. Ketika thyristor pada kondisi reverse bias, tidak boleh ada sinyal gerbang; jika ada sinyal gerbang, thyristor akan rusak karena peningkatan arus bocor.
3. Lebar pulsa gerbang  $t_G$  harus lebih lama dari waktu yang diperlukan untuk arus anode meningkat ke nilai arus holding  $I_H$ . Secara praktis, lebar pulsa  $t_G$  biasanya diambil lebih dari waktu turn-on  $t_{on}$  dari thyristor.

#### Contoh 4-1

Kapasitansi dari sambungan  $J_2$  yang di-reverse-bias pada thyristor adalah  $C_{J2} = 20$  pF dan dapat diasumsikan bebas dari tegangan off-state. Nilai batas arus pengisiannya yang membuat thyristor on adalah 16 mA. Tentukan nilai kritis dari  $dv/dt$ .  
Solusi  $C_{J2} = 20$  pF dan  $i_{J2} = 16$  mA. Karena  $d(C_{J2})/dt = 0$ , kita dapat tentukan nilai kritis  $dv/dt$  dari Persamaan (4-6):

$$\frac{dv}{dt} = \frac{i_{J2}}{C_{J2}} = \frac{16 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-12}} = 800 \text{ V}/\mu\text{s}$$



Gambar 4-3 Model thyristor dua transi

Arus kolektor  $I_C$  dari thyristor secara umum berkaitan dengan arus emiter  $I_E$  dan arus sambungan kolektor- $I_{CBO}$ , sebagai

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad (4)$$

dan penguatan *arus common-base* yang didefinisikan sebagai  $\alpha \cong I_C / I_E$ . Untuk transistor  $Q_1$ , arus emiter adalah anode  $I_A$ , dan arus kolektor  $I_{C1}$  dapat diperoleh dari Persamaan (4-1):

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} \quad (4)$$

dengan  $\alpha_1$  adalah penguatan arus dan  $I_{CBO1}$  adalah arus bocor dari  $Q_1$ . Juga, untuk transistor  $Q_2$ , arus kolektor adalah

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \quad (4)$$

dengan  $\alpha_2$  adalah penguatan arus dan  $I_{CBO2}$  adalah arus bocor untuk  $Q_2$ . Dengan mengkombinasikan  $I_{C1}$  dan diperoleh:

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \quad (4)$$

Tetapi untuk suatu arus penggerbang  $I_G$ ,  $I_K = I_A + I_G$  dan dengan menggunakan Persamaan (4-4), diperoleh  $I_A$  se

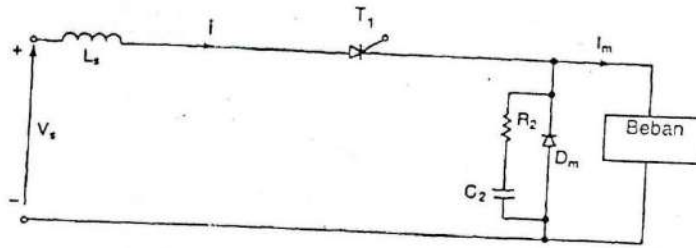
$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (4)$$

Penguatan arus  $\alpha_1$  bervariasi sesuai dengan  $I_A = I_E$ ; dan  $\alpha_2$  bervariasi sesuai dengan  $I_K = I_A + I_G$ . Variasi umum penguatan arus  $\alpha$  dengan arus emiter  $I_E$  diperlihatkan pada Gambar 4-4. Jika arus gerbang  $I_G$  tiba-tiba meningkat, misalnya dari 0 ke 1 mA, akan meningkatkan arus anode  $I_A$  secara tiba-tiba juga, selanjutnya  $\alpha_1$  dan akan meningkat.  $\alpha_2$  akan bergantung pada  $I_A$  dan  $I_G$ . Peningkatan nilai  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  akan meningkatkan lebih jauh. Sehingga terjadi efek regenerasi atau balikan positif. Jika  $(\alpha_1 + \alpha_2)$  cenderung akan menuju harga satu, penyel Persamaan (4-5) akan cenderung mendekati nol, yang menghasilkan nilai besar arus anode  $I_A$ , dan thyristor akan dihidupkan dengan arus gerbang kecil.

Pada kondisi transien, kapasitansi dari sambungan pn, seperti pada Gambar 4-5, akan mempengaruhi karakteristik thyristor. Jika suatu thyristor berada pada keadaan blocking, peningkatan dengan cepat tegangan yang diberikan ke panjang devais akan mengakibatkan aliran arus yang besar ke sambungan kapasitor. Arus melalui kapasitor  $C_{J2}$  dapat dinyatakan sebagai

$$i_{j2} = \frac{d(q_{j2})}{dt} = \frac{d}{dt}(C_{J2} V_{j2}) = V_{j2} \frac{dC_{J2}}{dt} + C_{J2} \frac{dV_{j2}}{dt} \quad (4-6)$$

dengan  $C_{J2}$  dan  $V_{j2}$  adalah kapasitansi dan tegangan dari sambungan  $J_2$ .  $q_{j2}$  adalah muatan pada sambungan tersebut. Jika kecepatan peningkatan tegangan  $dv/dt$  cukup besar, maka  $i_{j2}$  akan besar dan menghasilkan peningkatan arus bocor  $I_{CBO1}$  dan  $I_{CBO2}$ . Menurut Persamaan (4-5), nilai  $I_{CBO1}$  dan  $I_{CBO2}$  yang cukup besar dapat membuat  $(\alpha_1 + \alpha_2)$  mendekati ke nilai satu dan mengakibatkan thyristor on. Namun, arus besar yang melewati kapasitor sambungan akan merusak devais.



Gambar 4-8 Rangkaian chopper dengan induktor pembatas  $di/dt$

### PROTEKSI $di/dt$

Suatu thyristor memerlukan waktu minimum untuk menyebarkan kondisi tersambung ke semua sambungannya secara merata. Jika peningkatan arus anode lebih cepat dibandingkan kecepatan penyebaran dari proses turn-on, titik-titik pemanasan akan terjadi pada devais karena adanya daerah-daerah dengan kepadatan arus yang tinggi dan devais akan rusak sebagai hasil dari suhu yang berlebihan.

Pada prakteknya, devais harus diproteksi terhadap  $di/dt$  yang tinggi. Sebagai contoh kita perhatikan Gambar 4-8. Pada keadaan tunak,  $D_m$  tersambung ketika thyristor  $T_1$  off. Jika  $T_1$  dihidupkan (fired) ketika  $D_m$  masih tersambung  $di/dt$  akan sangat tinggi dan terbatas hanya oleh induktansi stray dari rangkaian.

Dalam prakteknya,  $di/dt$  dibatasi dengan menambahkan suatu induktor seri  $L_s$ , seperti pada Gambar 4-8.  $di/dt$  forward akan

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s}{L_s} \quad (4-7)$$

dengan  $L_s$  adalah induktansi seri yang mencakup sembarang induktansi stray.

### PROTEKSI $dv/dt$

Jika saklar  $S_1$  pada Gambar 4-9a tertutup pada  $t = 0$ , suatu tegangan step akan diberikan sepanjang thyristor  $T_1$  dan  $dv/dt$  akan cukup tinggi untuk membuat devais on.  $dv/dt$  dapat dibatasi dengan menambahkan kapasitor  $C_s$ , seperti pada Gambar 4-9a. Ketika thyristor  $T_1$  dihidupkan, arus pembuangan dari kapasitor dibatasi oleh resistor  $R_s$  seperti pada Gambar 4-9b.

Dengan rangkaian  $RC$  yang dikenal sebagai rangkaian snubber, tegangan pada thyristor akan meningkat secara eksponensial seperti pada Gambar 4-9c dan rangkaian  $dv/dt$  dapat diberikan secara pendekatan sebagai

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0.632V_s}{\tau} = \frac{0.632V_s}{R_s C_s} \quad (4-8)$$

Nilai konstanta waktu rangkaian snubber  $\tau = R_s C_s$  dapat ditentukan dari Persamaan (4-8) untuk nilai  $dv/dt$  yang diketahui. Nilai  $R_s$  diperoleh dari nilai arus pengosongan  $I_{TD}$

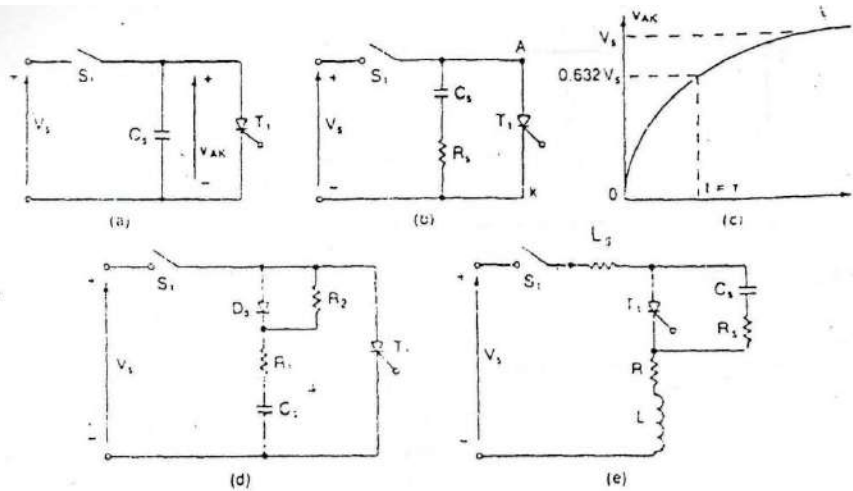
$$R_s = \frac{V_s}{I_{TD}} \quad (4-9)$$

Mungkin kita menggunakan lebih dari satu resistor untuk  $dv/dt$  dan pengosongan, seperti terlihat pada Gambar 4-9. Nilai  $dv/dt$  dibatasi oleh  $R_1$  dan  $C_s$ , ( $R_1 + R_2$ ) membatasi arus pengosongan sehingga

$$I_{TD} = \frac{V_s}{R_1 + R_2} \quad (4-10)$$

Beban dapat membentuk rangkaian seri dengan rangkaian snubber seperti pada Gambar 4-9e. Dari Persamaan (3-2) dan (3-24), rasio redaman  $\delta$  dari persamaan orde dua adalah

$$\delta = \frac{\alpha}{\omega_0} = \frac{R_s + R}{2} \sqrt{\frac{C_s}{L_s + L}} \quad (4-11)$$



Gambar 4-9 Rangkaian proteksi  $dv/dt$ .

dengan  $L_s$  adalah induktansi stray,  $L$  dan  $R$  adalah induktansi dan resistansi beban.

Untuk membatasi tegangan puncak overshoot yang terjadi sepanjang thyristor, rasio damping yang digunakan harus berada pada daerah 0.5 sampai dengan 1,0. Jika induktansi beban tinggi,  $R_s$  dapat dibuat tinggi dan  $C_s$  dapat dibuat kecil untuk membuat rasio damping berada pada daerah yang diinginkan. Nilai  $R_s$  yang tinggi akan mengurangi arus pengosongan, dan nilai  $C_s$  yang rendah akan mengurangi daya hilang pada rangkaian snubber. Rangkaian pada Gambar 4-9 harus secara keseluruhan dianalisis untuk menentukan nilai rasio damping yang dikehendaki untuk membatasi  $dv/dt$  ke nilai yang diinginkan. Begitu rasio damping diketahui,  $R_s$  dan  $C_s$  dapat ditentukan. Rangkaian snubber RC yang sama biasanya digunakan baik untuk proteksi  $dv/dt$  maupun untuk menekan tegangan transien karena waktu pemulihan balik. Peredaman tegangan transien akan dianalisis pada Bagian 15-4.

#### Contoh 4-2

Tegangan masukan dari Gambar 4-9 adalah  $V_s = 200$  V dengan resistansi beban  $R = 5 \Omega$ . Induktansi stray dan induktansi beban diabaikan dan thyristor beroperasi pada frekuensi  $f_s = 2$  KHz. Jika diperlukan  $dv/dt = 100$  V/ $\mu$ s dan arus pengosongan dibatasi hingga 100 A, tentukan (a) nilai  $R_s$  dan  $C_s$ , (b) daya hilang di rangkaian snubber, (c) rating daya dari resistor snubber.

Solusi  $dv/dt = 100$  V/ $\mu$ s,  $I_{T1} = 100$  A,  $R = 5 \Omega$ ,  $L = L_s = 0$ , dan  $V_s = 200$  V

(a). Dari Gambar 4-9e arus pengisian dari kapasitor snubber dapat diberikan sebagai

$$V_s = (R_s + R) \int i dt + v_c(t=0)$$

Dengan kondisi awal  $v_c(t=0) = 0$ , arus pengisian dinyatakan dengan

$$i(t) = \frac{V_s}{R_s + R} e^{-t/\tau} \quad (4-12)$$

dengan  $\tau = (R_s + R)C_s$ . Tegangan forward sepanjang thyristor adalah

$$v_T(t) = V_s - \frac{RV_s}{R_s + R} e^{-t/\tau} \quad (4-13)$$

Pada  $t = 0$ ,  $v_T(0) = V_s - RV_s/(R_s + R)$  dan pada  $t = \tau$ ,  $v_T(\tau) = V_s - 0,368RV_s/(R_s + R)$ :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v_T(\tau) - v_T(0)}{\tau} = \frac{0,632RV}{C_s(R_s + R)^2} \quad (4-14)$$



Dari Persamaan (4-9),  $R_s = V_s / I_{T1} = 200 / 100 = 2 \Omega$ . Persamaan (4-14) memberikan

$$C_s = \frac{0,632 \times 5 \times 200 \times 10^{-6}}{(2 + 5)^2 \times 100} = 0,129 \mu\text{F}$$

(b) Daya hilang pada rangkaian snubber

$$P_s = 0,5 C_s V_s^2 f$$

$$= 0,5 \times 0,129 \times 10^{-6} \times 200^2 \times 2000 = 5,2 \text{ W} \quad (4-15)$$

(c) Dengan mengasumsikan semua energi yang tersimpan di  $C_s$  didisipasikan di  $R_s$ , rating daya resistor snubber adalah 5,2 W.

## MEMBUAT THYRISTOR OFF

Thyristor yang berada dalam keadaan on dapat dimatikan dengan mengurangi arus maju ke tingkat di bawah arus holding  $I_H$ . Ada beberapa variasi teknik untuk membuat thyristor off, yang akan dibahas pada Bab 7. Pada semua teknik komutasi, arus anode dipertahankan di bawah arus holding cukup lama, sehingga semua kelebihan pembawa muatan pada keempat layer dapat dikeluarkan.

Akibat dua sambungan pn,  $J_1$  dan  $J_3$ , karakteristik turn-off akan mirip dengan pada diode, berkaitan dengan waktu pemulihan reverse  $t_{rr}$  dan arus pemulihan reverse puncak  $I_{RR}$ .  $I_{RR}$  dapat lebih besar daripada arus bloking baik nominal,  $I_R$ . Pada rangkaian konverter line-commutated yang tegangan masukannya bersifat bolak-balik seperti pada Gambar 4-10a, tegangan balik muncul pada thyristor seketika setelah arus maju menuju ke nol. Tegangan balik ini akan mengakselerasi proses turn-off, dengan membuang semua kelebihan muatan dari sambungan pn  $J_1$  dan  $J_3$ . Persamaan (2-6) dan (2-7) dapat diaplikasikan untuk menghitung  $t_{rr}$  dan  $I_{RR}$ .

Sambungan pn dalam  $J_2$  akan memerlukan waktu yang dikenal sebagai *recombination time*  $t_{re}$  untuk merekombinasi kelebihan pembawa muatan, tegangan balik negatif akan dapat mengurangi waktu rekombinasi ini.  $t_{re}$  bergantung pada magnituda dari tegangan balik. Karakteristik turn-off diperlihatkan pada Gambar 4-10a dan b untuk rangkaian line-commutated dan forced-commutated.

Waktu turn-off  $t_q$  adalah jumlah dari reverse recovery time  $t_{rr}$  dan recombination time  $t_{re}$ . Pada akhir masa turn-off, lapisan depleksi terbentuk sepanjang sambungan  $J_2$  dan thyristor memperoleh kembali kemampuan untuk tahan terhadap tegangan forward. Dalam semua teknik komutasi pada Bab 7, tegangan balik diterapkan pada thyristor selama proses turn-off.

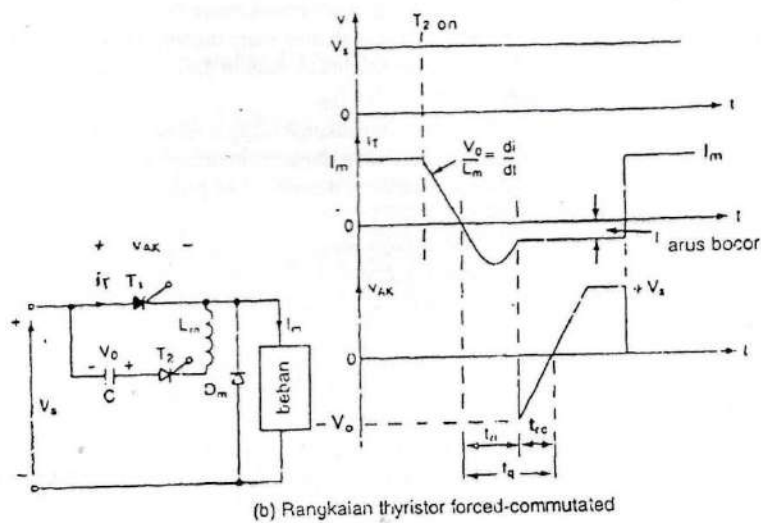
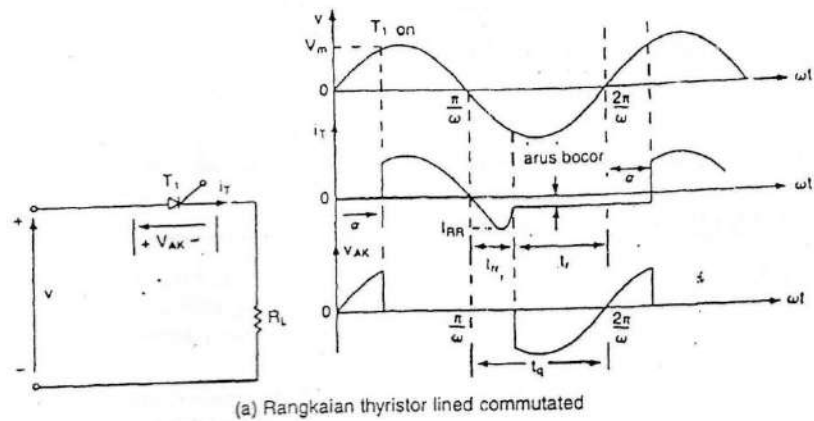
Waktu turn-off  $t_q$  merupakan interval waktu minimum ketika arus keadaan on berkurang menjadi nol dan ketika thyristor dapat menahan tegangan forward tanpa menjadi on.  $t_q$  bergantung pada nilai puncak dari arus keadaan on dan tegangan keadaan on sesaat.

Reverse recovered charge  $Q_{RR}$  adalah besar muatan yang harus dicukupi lagi selama proses turn-off. Nilainya ditentukan dari daerah yang dicakup oleh aliran arus pengisian balik. Nilai  $Q_{RR}$  bergantung pada kecepatan turun arus keadaan on dan nilai puncak arus keadaan on sebelum turn-off.  $Q_{RR}$  merupakan sebab dari kehilangan energi dalam devais.

## IPE-TIPE THYRISTOR

Thyristor dibuat hampir seluruhnya dengan proses difusi. Arus anode memerlukan waktu tertentu untuk menyebar ke seluruh daerah dari sambungan tertentu, dari suatu titik dekat gerbang ketika sinyal gerbang yang diberikan untuk membuat thyristor on. Pabrik pembuat thyristor menggunakan banyak struktur gerbang untuk mengendalikan  $di/dt$ , waktu turn-on dan waktu turn-off. Tergantung pada konstruksi fisiknya, dan perilaku turn-on dan turn-off, thyristor dapat secara umum diklasifikasikan menjadi sembilan kategori:

1. Phase-control thyristor (SCR)
2. Fast-switching thyristor (SCR)
3. Gate-turn-off thyristor (GTO)
4. Bidirectional triode thyristor (TRIAC)
5. Reverse-conducting thyristor (RCT)
6. Static induction thyristor (SITH)
7. Light-activated silicon-controlled rectifier (LASCR)
8. FET-controlled thyristor (FET-CTH)
9. MOS-controlled thyristor (MCT)

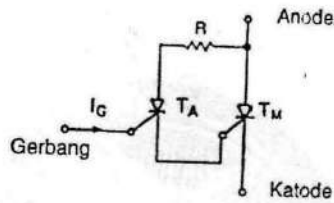


Gambar 4-10 Karakteristik turn-off

#### 4-8.1 Phase-Control Thyristor (Thyristor kontrol fase).

Tipe thyristor ini secara umum beroperasi pada line-frequency dan dimatikan dengan komutasi natural. Turn off time  $t_{rr}$  berada dalam orde 50 sampai 100  $\mu s$ . Devais ini sangat cocok untuk aplikasi pensaklaran kecepatan rendah dan biasa dikenal sebagai *thyristor konverter*. Karena thyristor sebenarnya devais yang dikontrol yang dibuat dari silikon akibatnya thyristor jenis ini dikenal sebagai *silicon-controlled rectifier (SCR)*.

Tegangan keadaan on,  $V_T$ , bervariasi di sekitar 1,15 V untuk devais 600 V hingga 2,5 V untuk device 4000 V; untuk thyristor 5500 A, 1200 V, sekitar 1,25 V. Thyristor modern biasanya menggunakan penguat gerbang, dengan thyristor auxiliary  $T_A$  memiliki gerbang yang merupakan gerbang thyristor keseluruhan dan keluaran  $T_A$  yang sudah diatikan itu diberikan sebagai sinyal gerbang untuk thyristor utama  $T_M$ . Hal ini terlihat seperti pada Gambar 4-10. Penguat gerbang menghasilkan karakteristik dinamik yang umum  $dv/dt$  sebesar 1000 V/ $\mu s$  dan  $di/dt$  sebesar 500 A/ $\mu s$  dan menyederhanakan perancangan rangkaian dengan mengurangi atau meminimisasi induktor pembatas  $di/dt$  rangkaian proteksi  $dv/dt$ .



Gambar 4-11 Thyristor penguat gerbang

#### 4-8.2 Fast-Switching Thyristor

Biasanya thyristor ini digunakan pada penerapan teknologi pensaklaran kecepatan tinggi dengan forced-commutation (misalnya, chopper pada Bab 9 dan inverter pada Bab 10). Thyristor jenis ini memiliki waktu turn off yang cepat, umumnya dalam daerah 5 sampai 50  $\mu\text{s}$  bergantung pada daerah tegangannya. Tegangan jatuh forward pada keadaan on bervariasi kira-kira seperti fungsi invers dari turn-off time  $t_q$ . Tipe thyristor ini juga dikenal sebagai *thyristor inversi*.

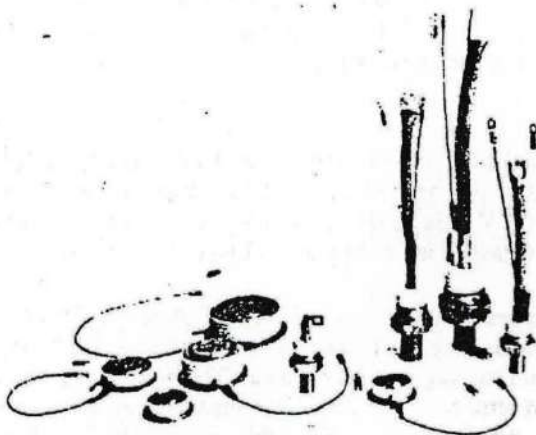
Thyristor ini memiliki  $dv/dt$  yang tinggi biasanya 1000 V/ $\mu\text{s}$  dan  $di/dt$  sebesar 1000 A/ $\mu\text{s}$ . Turn-off yang cepat dan  $di/dt$  yang tinggi akan sangat penting untuk mengurangi ukuran dan berat dari komponen rangkaian reaktif dan/atau commutating. Tegangan keadaan on dari thyristor 2200 A, 1800 V biasanya sekitar 1,7 V. Thyristor inverter dengan kemampuan reverse blocking sangat terbatas, kira-kira 10 V, dan waktu turn-off sangat cepat, sekitar 3 sampai 5  $\mu\text{s}$ , biasa dikenal sebagai *asymmetrical thyristor (ASCR)*. Fast-switching thyristor dalam berbagai ukuran diperlihatkan pada Gambar 4-12.

#### 4-8.3 Gerbang-Turn-Off Thyristor

Gerbang-Turn-Off Thyristor (GTO) seperti SCR dapat dihidupkan dengan memberikan sinyal gerbang positif. Akan tetapi GTO dapat dimatikan dengan memberikan sinyal gerbang negatif. GTO juga merupakan devais latching dan dapat dibangun dengan rating arus dan tegangan yang mirip dengan SCR. GTO dihidupkan dengan memberikan sinyal pulsa pendek positif pada gerbang dan dimatikan dengan memberikan sinyal pulsa pendek negatif di gerbang. GTO memiliki beberapa keuntungan dibandingkan SCR: (1) eliminasi komponen commutating pada forced-commutation yang menghasilkan pengurangan biaya, berat dan volume; (2) pengurangan usikan akustik dan elektromagnetik karena hilangnya commutation chokes; (3) turn-off yang cepat, memungkinkan frekuensi pensaklaran yang tinggi; dan (4) meningkatkan efisiensi konverter.

Pada aplikasi daya rendah, GTO memiliki keuntungan-keuntungan dibandingkan bipolar transistor: (1) kemampuan blocking tegangan yang lebih tinggi; (2) rasio arus puncak yang dapat dikontrol dengan arus rata-rata yang tinggi; (3) rasio arus surge puncak terhadap arus rata-rata tinggi, umumnya 10 : 1; (4) penguatan keadaan on tinggi (arus anode/arus gerbang), umumnya 600; dan (5) durasi sinyal gerbang pulsa pendek. Pada kondisi surge, GTO cenderung akan masuk ke saturasi lebih dalam karena adanya aksi regeneratif. Sedangkan, bipolar transistor cenderung akan keluar dari keadaan saturasi.

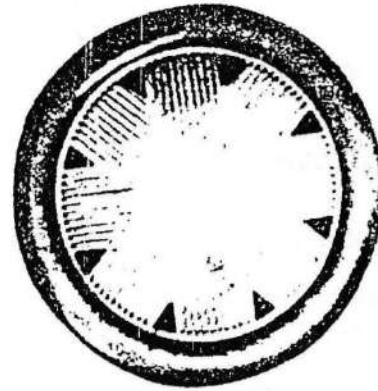
GTO memiliki penguatan rendah selama turn-off umumnya 6; dan memerlukan pulsa arus negatif yang relatif besar untuk turn-off. Tegangan jatuh saat or juga relatif lebih besar dibanding SCR. Tegangan keadaan on untuk rata-rata GTO 550 A, 1200 V besarnya 3,4 V. GTO tipe 160 PTF untuk 160 A, 200 V yang diberikan pada Gambar 4-13 dan sambungar dari GTO ini diberikan pada Gambar 4-14.



Gambar 4-12 Thyristor Fast-switching (atas izin dari Powerex, Inc.)



Gambar 4-13 GTO 160 A, 200 V (atas kebaikannya International Rectifier)



Gambar 4-14 Junction dari GTO 160 A pada Gambar 4-13 (atas kebaikannya International Rectifier)

*Controllable peak on-state current*  $I_{TCO}$  adalah nilai puncak dari arus keadaan on yang dapat dimatikan oleh kontrol gerbang, tegangan off-state diberikan seketika setelah turn-off dan  $dv/dt$  hanya akan dibatasi oleh kapasitansi snubber. Begitu GTO dimatikan, arus beban  $I_L$ , yang dialirkan melalui dan mengisi kapasitor snubber, menentukan  $dv/dt$  yang terjadi

$$\frac{dv}{dt} = \frac{I_L}{C_s}$$

dengan  $C_s$  adalah kapasitansi snubber.

#### 4-8.4 Bidirectional Triode Thyristor

TRIAC dapat bersifat konduktif dalam dua arah dan biasanya digunakan untuk pengendalian fasa ac (contohnya: kontroler tegangan ac pada Bab 6). Hal tersebut dapat dianggap sebagai dua buah SCR tersambung secara antiparalel dengan koneksi gerbang seperti pada Gambar 4-15a. Karakteristik  $v-i$  dari TRIAC diberikan pada Gambar 4-15c.

Karena TRIAC merupakan devais bidirectional, terminalnya tidak dapat ditentukan sebagai anode/katode. Jika terminal  $MT_2$  positif terhadap terminal  $MT_1$ , TRIAC dapat dimatikan dengan memberikan sinyal gerbang positif antara gerbang  $G$  dan  $MT_1$ . Jika terminal  $MT_2$  negatif terhadap  $MT_1$ , maka TRIAC akan dapat dihidupkan dengan memberikan sinyal pulsa negatif antara gerbang  $G$  dan terminal  $MT_1$ . Tidak perlu untuk memiliki kedua sinyal gerbang positif dan negatif dan TRIAC dapat dihidupkan baik oleh sinyal gerbang positif maupun negatif. Dalam prakteknya, sensitivitas bervariasi antara satu kuadran dengan kuadran lain, dan TRIAC biasanya beroperasi di kuadran  $I^+$  (tegangan dan arus gerbang positif) atau kuadran  $III^-$  (tegangan dan arus gerbang negatif).

#### 4-8.5 Reverse-Conducting Thyristor (RCT)

Pada banyak rangkaian chopper atau inverter, diode antiparalel dihubungkan sepanjang SCR untuk memperbolehkan aliran arus reverse karena beban induktif dan untuk meningkatkan kinerja saat turn-off dari rangkaian commutation. Diode memotong tegangan balik blocking dari SCR ke-1 atau 2 V pada kondisi tunak. Akan tetapi, pada kondisi transien, tegangan balik dapat meningkat hingga 30 V karena tegangan induksi pada rangkaian karena induktansi stray dalam devais.

Suatu RCT dapat dipandang sebagai suatu kompromi antara karakteristik devais dan kebutuhan dari rangkaian; RCT dapat dianggap sebagai suatu thyristor dengan built-in diode antiparalel seperti pada Gambar 4-16. RCT juga dikenal sebagai asymmetrical thyristor (ASCR). Tegangan forward blocking bervariasi antara 400 sampai dengan, 2000 V dan rating arus bergerak hingga 500 A. Tegangan blocking reverse biasanya sekitar 30 sampai dengan, 40 V. Karena rasio arus maju yang melalui thyristor terhadap arus reverse dari diode tetap untuk suatu devais, aplikasinya dibatasi oleh perancangan rangkaian tertentu.

## DAFTAR NILAI

### SEMESTER GENAP REGULER TAHUN 2021/2022

Program Studi : Teknik Elektro D3

Matakuliah : Elektronika Daya

Kelas / Peserta : A

Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng Indah

Dosen : Poedji Oetomo, ST.,MT

Hal. 1/1

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	20%	30%	40%	0%	0%		
1	20430001	<b>Mochammad Ilhaq Nuhaidir Melih</b>	88	60	66	60	0	0	64.6	<b>C+</b>
2	20430002	<b>Firdan Maulana Gibrani</b>	63	60	70	60	0	0	63.3	<b>C+</b>

Rekapitulasi Nilai							
A	0	B+	0	C+	2	D+	0
A-	0	B	0	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta, 27 July 2022

Dosen Pengajar

**Poedji Oetomo, ST.,MT**

**Sugiarto.Ir.MT**