

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Departamento Acadêmico de Eletrônica

Eletrônica de Potência



Componentes Eletrônicos (Diodos e Tiristores)

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, fevereiro de 2026.

Eletrônica de Potência

O material do curso está disponível em:

1. Moodle para os alunos matriculados na disciplina;
2. Página do professor;
3. Canal no youtube do professor.



<https://moodle.ifsc.edu.br>

ProfessorPetry
Conhecimento para uma vida plena

PRINCIPAL PROJETO PUBLICAÇÕES CONTATO



Bem vindo ao Website pessoal de Clovis Antonio Petry

O objetivo desta página é a divulgação de informações sobre eletrônica, em especial eletrônica de potência. Todos os materiais disponibilizados podem ser livremente utilizados, desde que citados os autores. As disciplinas do semestre corrente podem ser acessadas clicando na imagem da esquerda abaixo. Material didático pode ser encontrado clicando na imagem da direita abaixo.

Eventos

Outubro, 2020
SNCT 2020
Semana Nacional de Ciência e Tecnologia 2020, Florianópolis, SC.
[Acesse...](#)

Setembro, 2020
COBENGE 2020
XLVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) e III Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE, Bento Gonçalves, RS. [Acesse...](#)



www.ProfessorPetry.com.br



<https://www.youtube.com>

Agenda

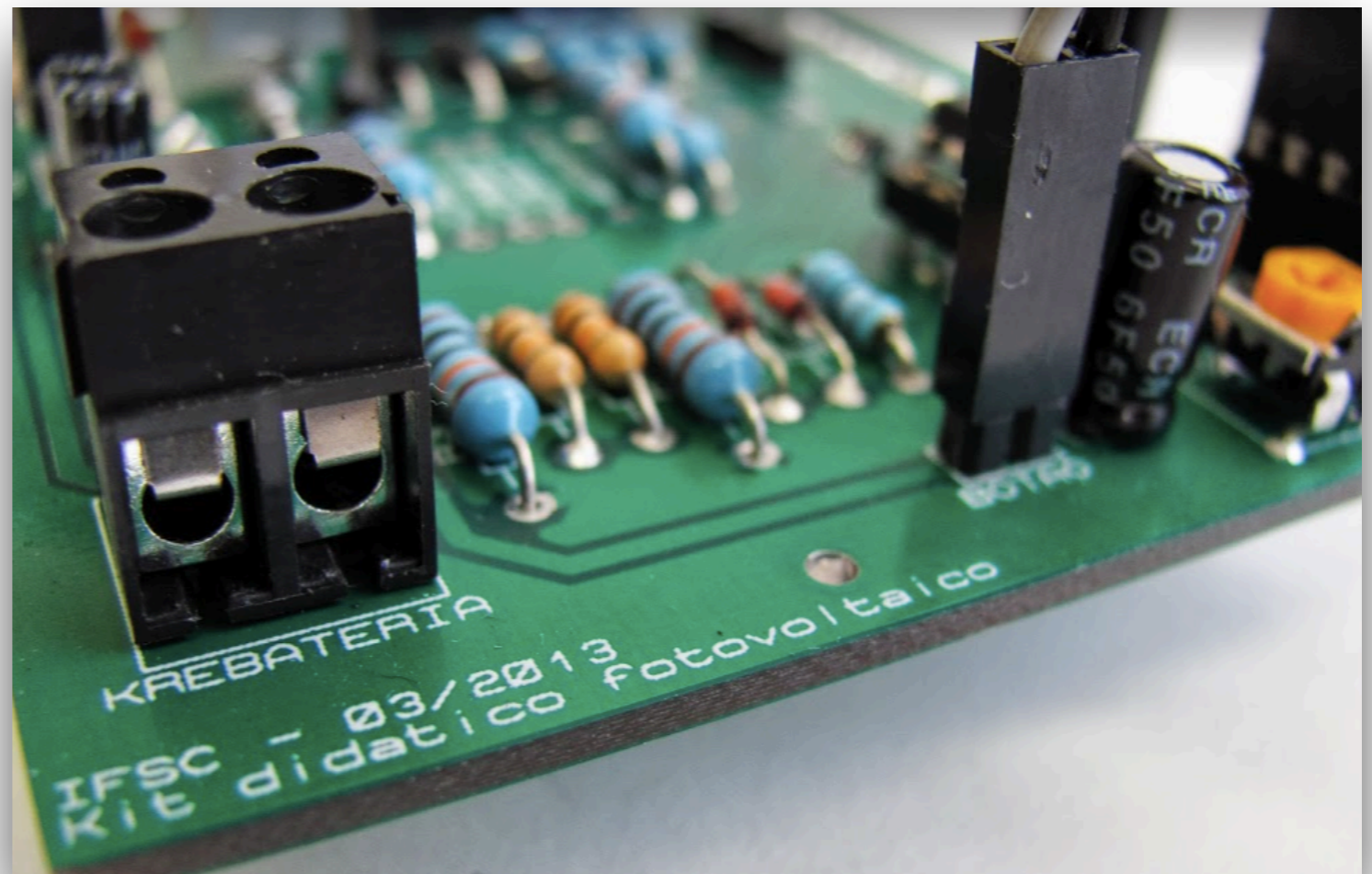
Esta aula está organizada em:

1. Componentes passivos:
 1. Resistores;
 2. Capacitores;
 3. Indutores.
2. Semicondutores:
 1. Diodos;
 2. Tiristores.



Motivação

Os equipamentos eletrônicos são
construídos a partir dos componentes
passivos e ativos.



Resistores

Definição de resistor:

- Os resistores são componentes que se comportam, em geral, de maneira linear quando submetidos a uma tensão elétrica, que fará circular uma corrente elétrica pelos mesmos. Lembrando que os resistores tem a propriedade de se opor a passagem da corrente elétrica, dissipando energia na forma de calor (efeito Joule).
- Resistores não provocam defasagem entre tensão e corrente, sendo que ambas estão em fase neste componente.



Símbolo

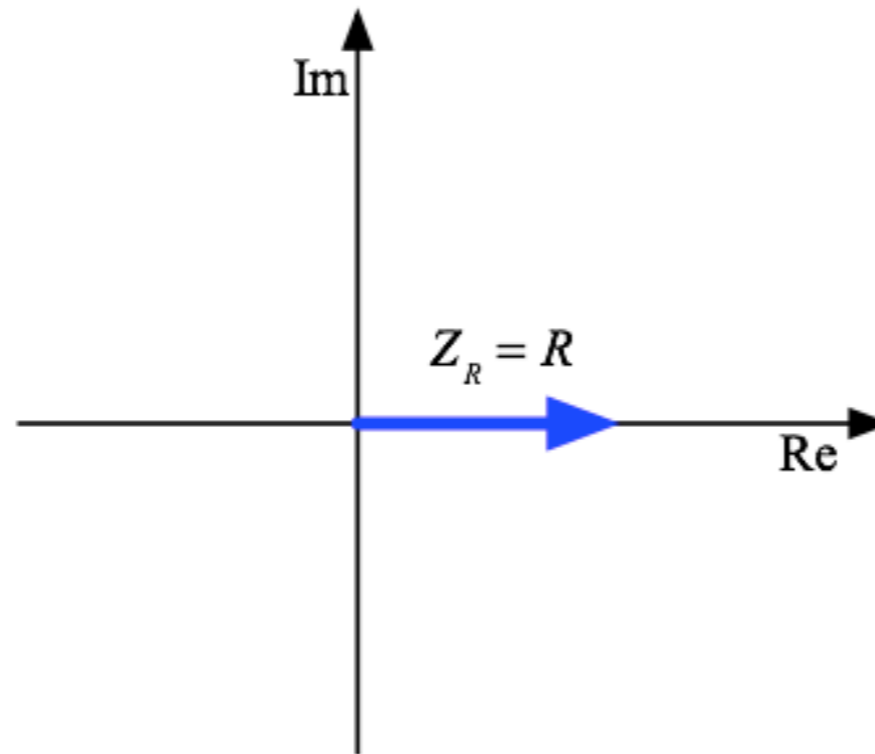


Diagrama fasorial

$$Z_R = R$$
$$i(t) = \frac{v(t)}{R}$$
$$I = \frac{V}{R}$$
$$\vec{I} = \frac{\vec{V}}{R}$$

Equações para o resistor

Indutores

Definição de indutor:

- Os indutores são componentes que se comportam, em geral, de maneira linear quando submetidos a uma tensão elétrica, que fará circular uma corrente elétrica pelos mesmos. No entanto, os indutores se opõem a variação da corrente elétrica, o que implica que os mesmos provocam defasagem da corrente em relação a tensão.
- Indutores provocam uma defasagem de 90° entre a tensão e a corrente, sendo que a corrente está atrasada em relação a tensão.



Símbolo

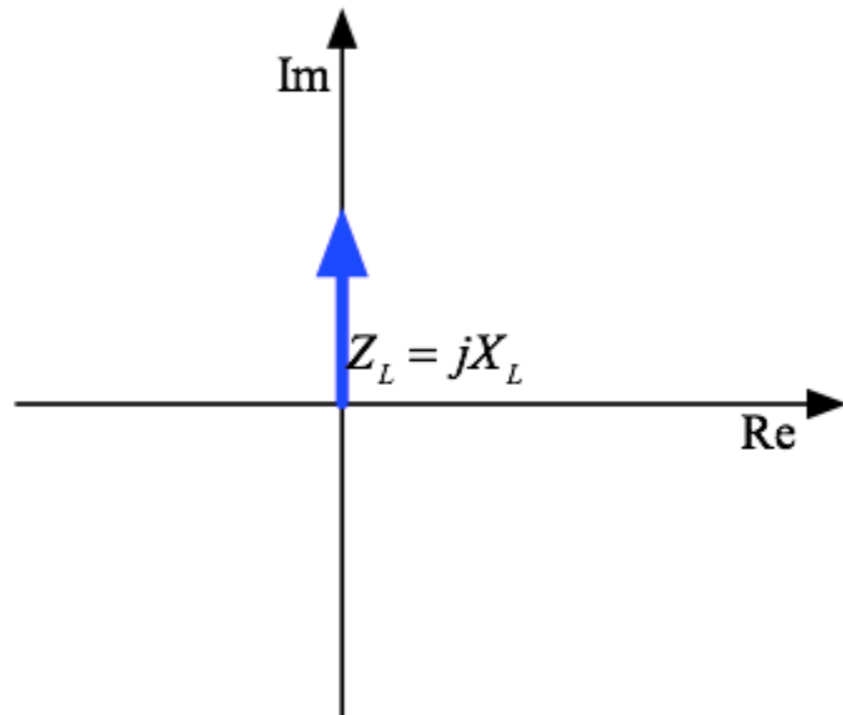


Diagrama fasorial

$$Z_L = j \cdot X_L \rightarrow Z_L = j \cdot \omega \cdot L = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot F \cdot L$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$V = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

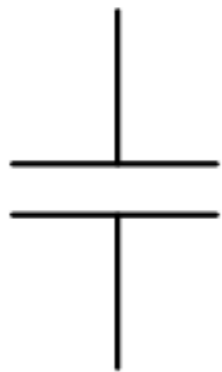
$$\vec{I} = \frac{\vec{V}}{Z_L}$$

Equações para o indutor

Capacitores

Definição de capacitor:

- Os capacitores são componentes que se comportam, em geral, de maneira linear quando submetidos a uma tensão elétrica, que fará circular uma corrente elétrica pelos mesmos. No entanto, os capacitores se opõem a variação da tensão elétrica, o que implica que os mesmos provocam defasagem da tensão em relação a corrente.
- Capacitores provocam uma defasagem de 90° entre a tensão e a corrente, sendo que a corrente está adiantada em relação a tensão.



Símbolo

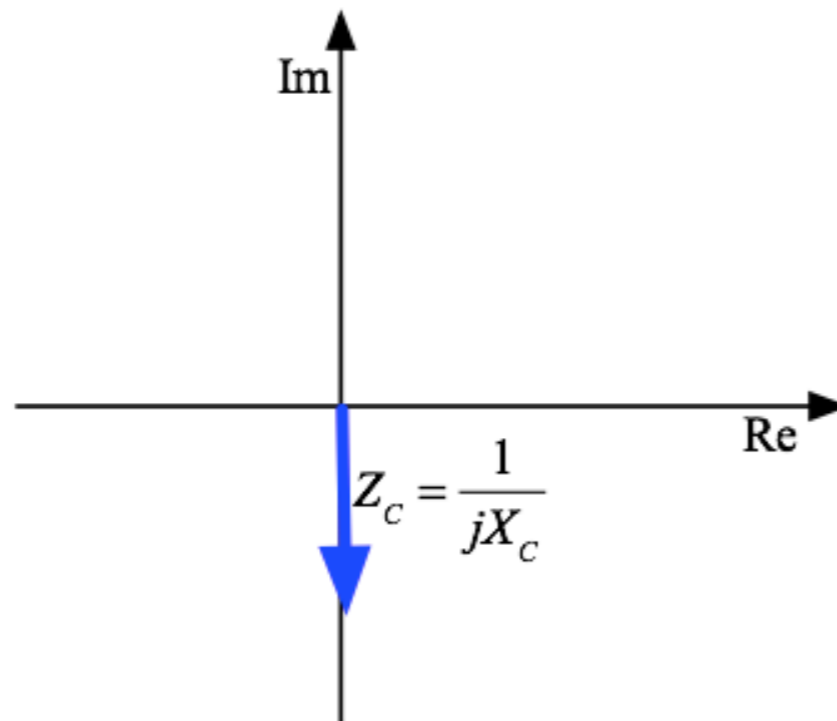


Diagrama fasorial

$$Z_C = \frac{1}{j \cdot X_C} \rightarrow Z_L = \frac{-j}{\omega \cdot C} = \frac{-j}{2 \cdot \pi \cdot F \cdot C}$$

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

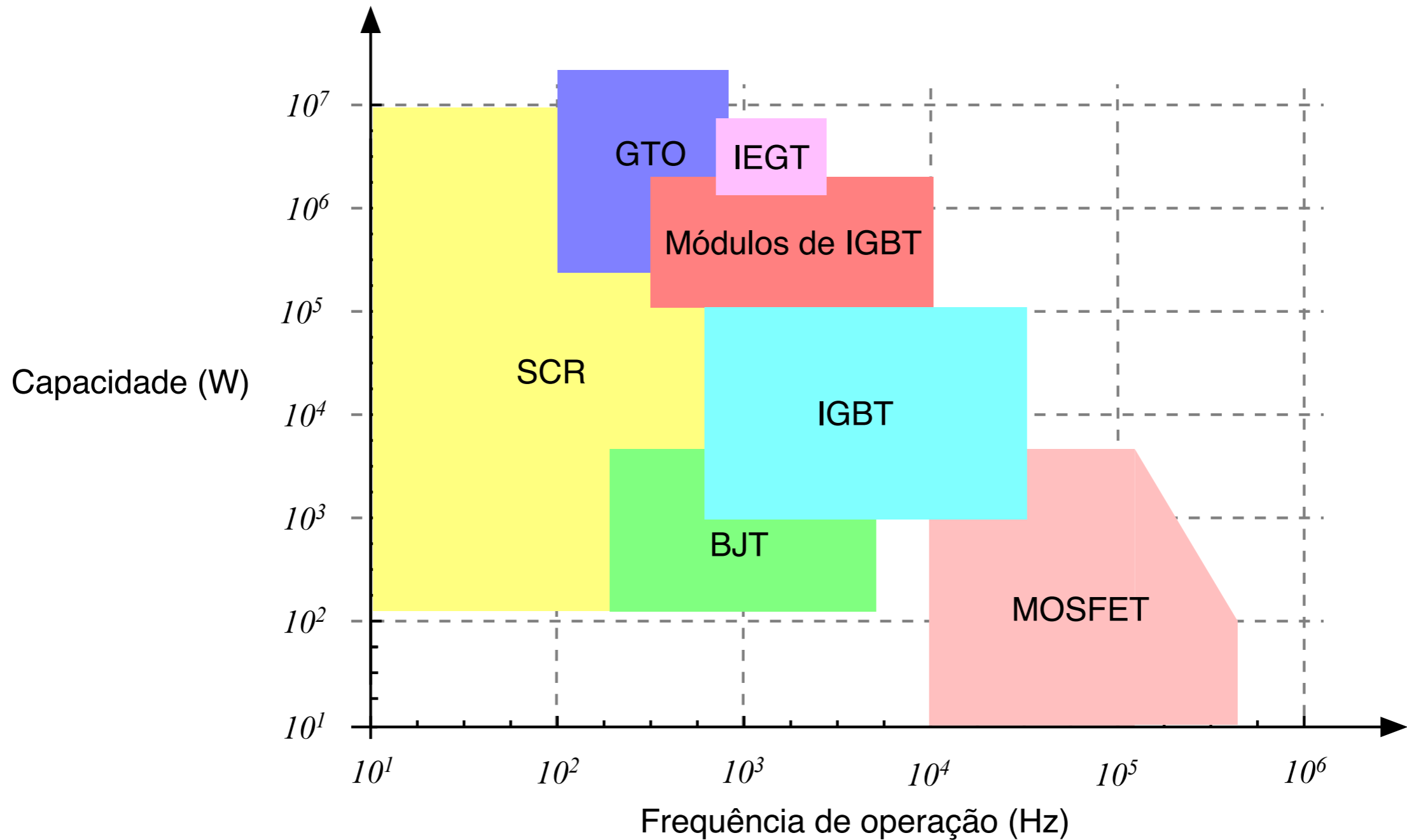
$$I = C \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\vec{I} = \frac{\vec{V}}{Z_C}$$

Equações para o capacitor

Semicondutores de potência

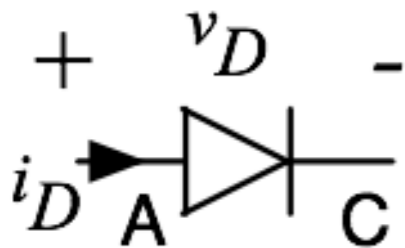
Semicondutores aplicados à eletrônica de potência:



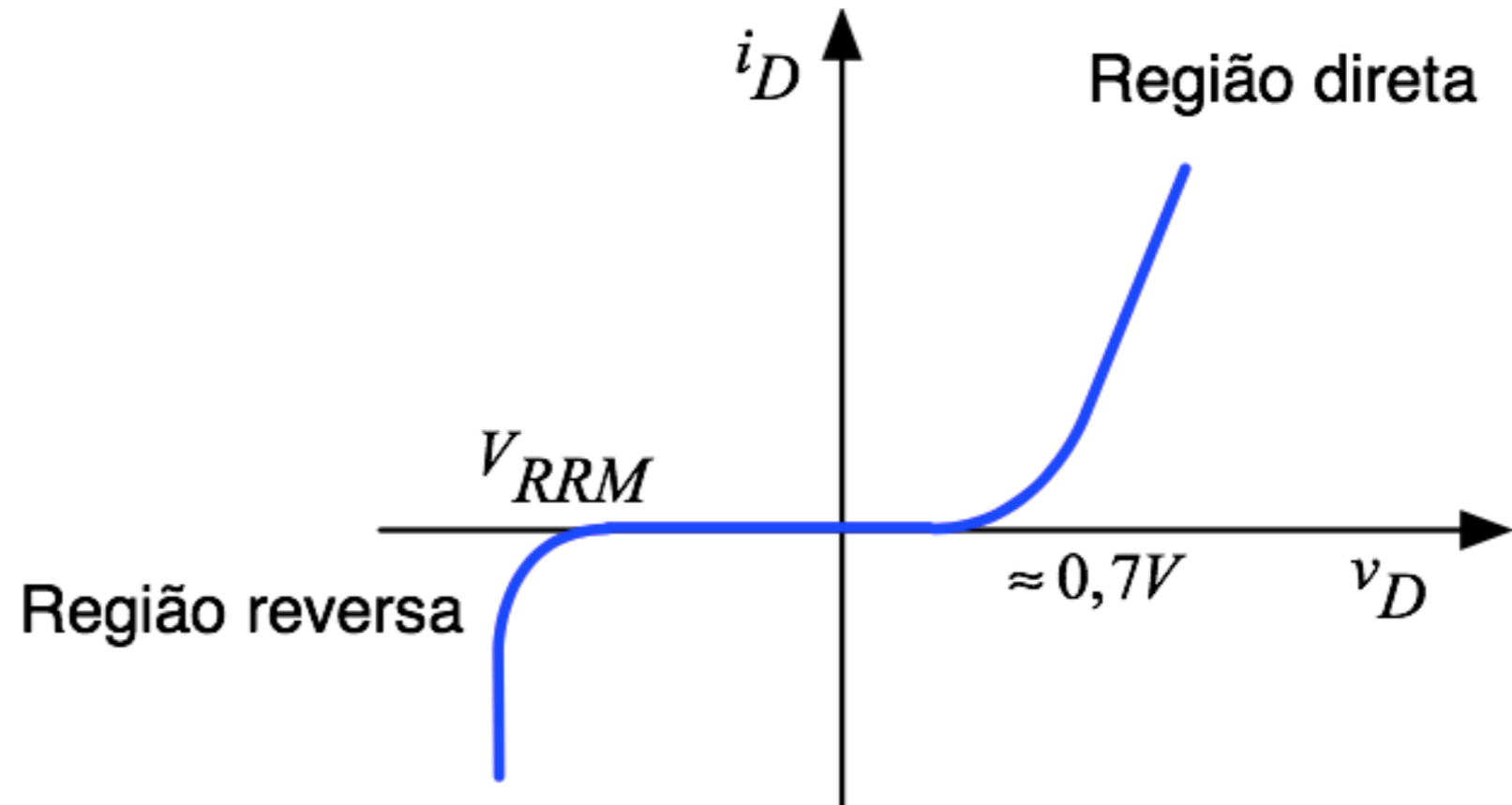
Diodeo semiconductor

Definição de diodo:

- Os diodos semicondutores são componentes não-lineares construídos a partir da junção de materiais do tipo p (falta de elétrons) e n (excesso de elétrons).
- Na região direta o diodo entra em condução quando a tensão direta for da ordem de 0,7 V. Já na região reversa o diodo não deve entrar em condução, a não ser que seja atingida a tensão reversa máxima (V_{RRM}). Ao entrar em condução na região reversa, o diodo pode ser danificado por excesso de calor.



Símbolo

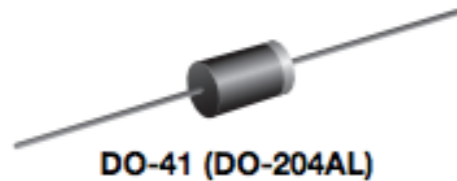


Curva $I \times V$

Diodo semiconductor

Principais características dos diodos:

- Corrente direta média - é a corrente que o diodo suporta, em condução contínua (valor médio);
- Corrente direta máxima - é a corrente que o diodo suporta, por exemplo ao se ligar uma fonte, é muito superior à corrente média;
- Tensão direta - é a queda de tensão que o diodo provoca ao estar inserido no circuito e conduzindo;
- Tensão reversa máxima - é a máxima tensão que pode ser aplicada no sentido reverso, a partir da qual o diodo entra em condução também na região reversa.



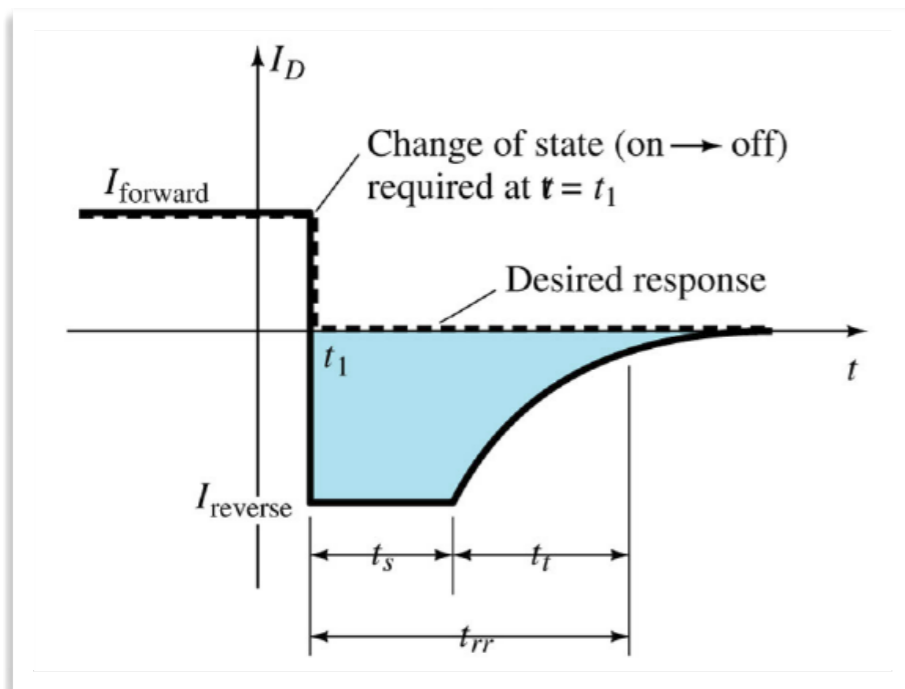
PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
V_{RRM}	50 V, 100 V, 200 V, 400 V, 600 V, 800 V, 1000 V
I_{FSM} (8.3 ms sine-wave)	30 A
I_{FSM} (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
V_F	1.1 V
I_R	5.0 μ A
T_J max.	150 °C
Package	DO-41 (DO-204AL)
Circuit configuration	Single

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)										
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_A = 75$ °C	$I_{F(AV)}$	1.0							A	
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	30							A	
Non-repetitive peak forward surge current square waveform $T_A = 25$ °C (fig. 3)	I_{FSM}	$t_p = 1$ ms							45	A
		$t_p = 2$ ms							35	
		$t_p = 5$ ms							30	
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length $T_L = 75$ °C	$I_{R(AV)}$	30							μ A	
Rating for fusing ($t < 8.3$ ms)	I^2t (1)	3.7							A ² s	
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	-50 to +150							°C	

Diodes semicondutor

Tipos de diodos considerando a recuperação reversa:

- Recuperação padrão (standard recovery) - são os diodos convencionais, com recuperação reversa típica de diodos de silício;
- Recuperação suave (soft recovery) - são diodos que minimizam o efeito da recuperação reversa, implicando em aumento no tempo de comutação;
- Recuperação rápida (fast recovery) - são diodos com tempo de comutação pequeno, mas alto pico de corrente reversa;
- Sem recuperação reversa - são diodos com carbeto de silício (silicon carbide) que praticamente eliminam a recuperação reversa.



www.infineon.com

www.cree.com

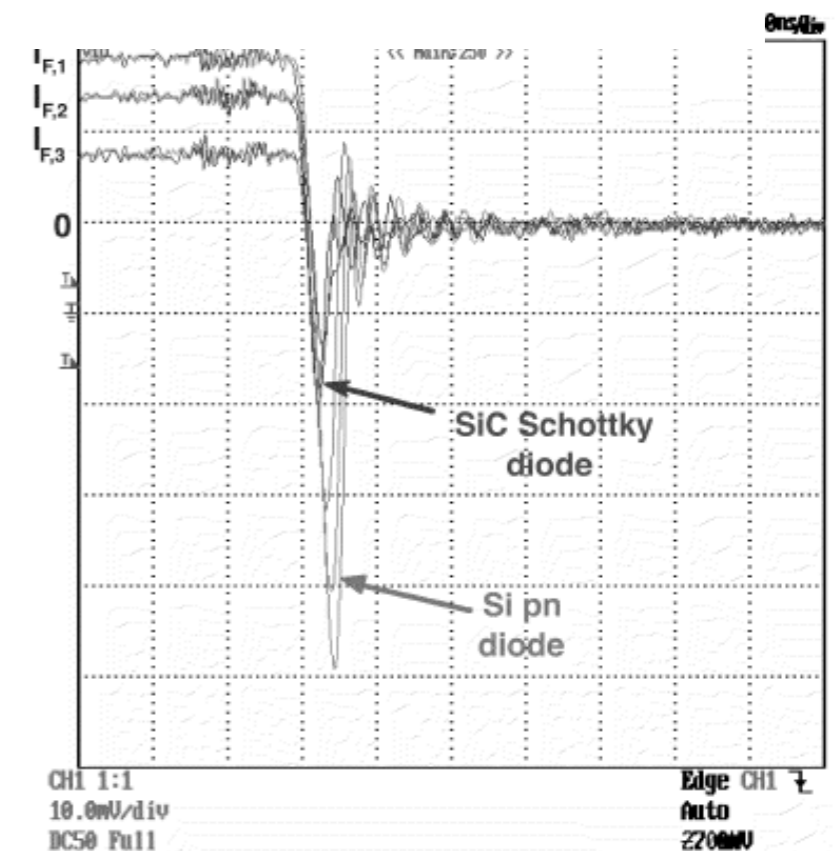


Fig. 5. Typical reverse recovery waveforms of the Si pn and SiC Schottky diode for three different forward currents (2 A/div.).

http://powerelec.ece.utk.edu/pubs/pels_letters_SiC_june_2003.pdf

Diode semiconductor

Tipos de diodos considerando a recuperação reversa:

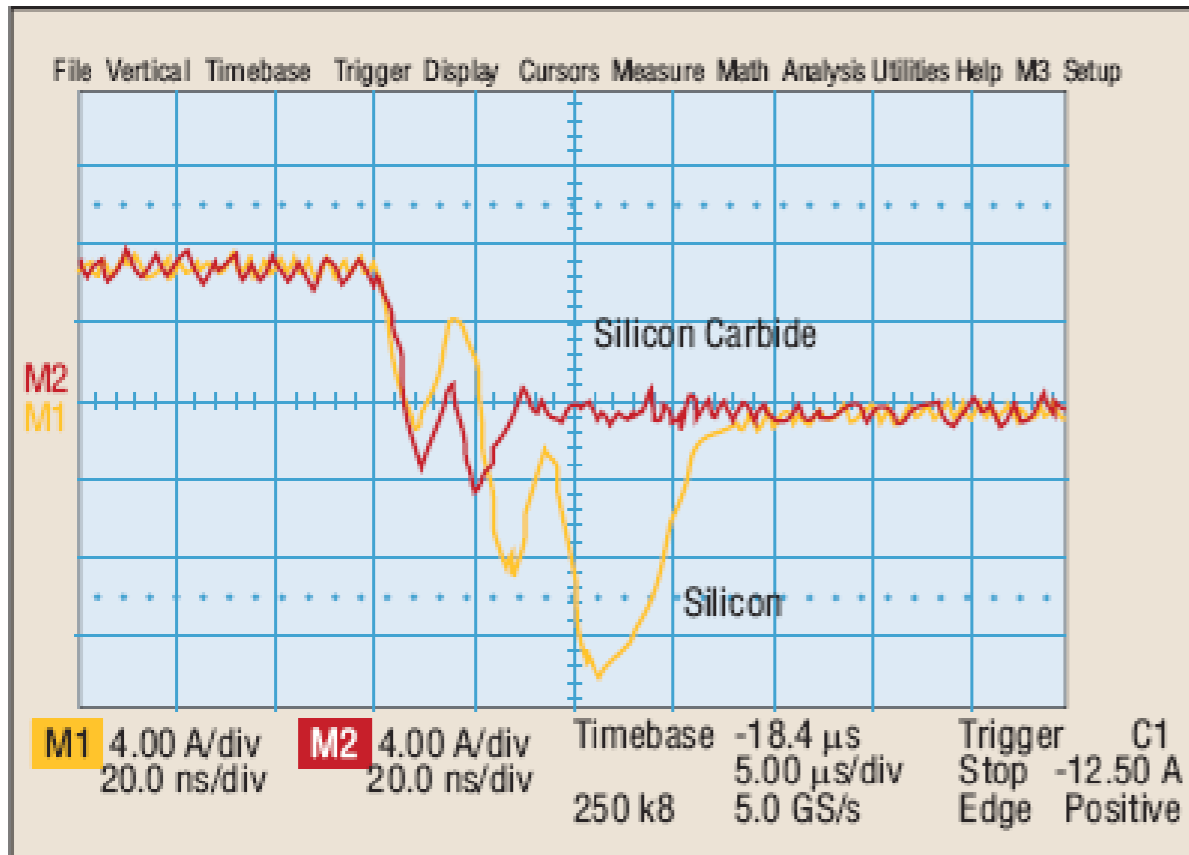


Fig. 4. Low-line diode recovery currents in PFC front-end converter.

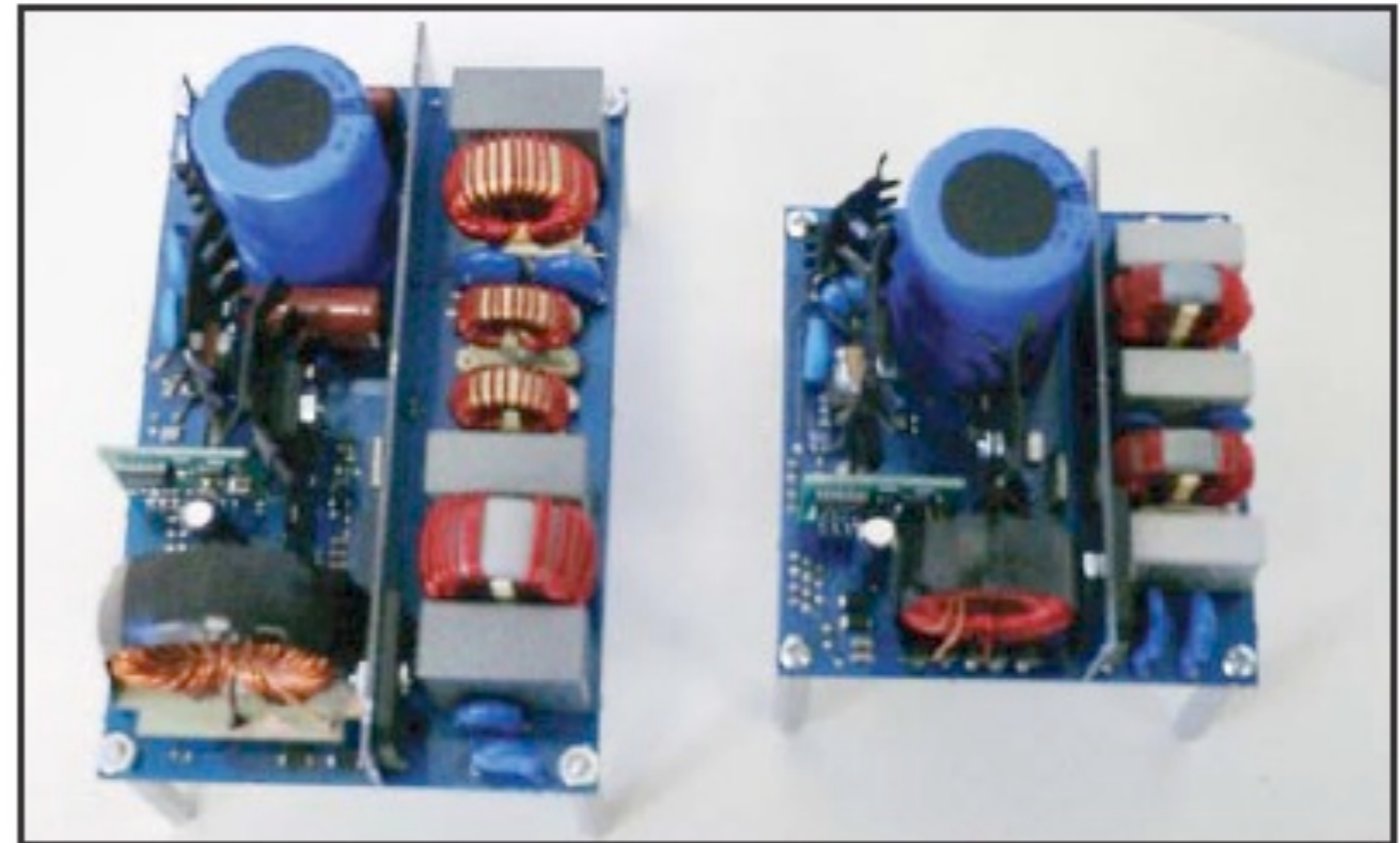


Fig. 8. A size comparison of an 80-kHz PFC front-end built with Si rectifiers (left) and a 200-kHz PFC front-end with SiC rectifiers.

Perdas no diodo semiconductor

Classificação das perdas:

1. Condução;

$$P = V_{(TO)} \cdot I_{Dmed} + r_T \cdot I_{Def}^2$$

2. Comutação:

- Entrada em condução;

Por simulação

- Bloqueio.

Por simulação



Características dos diodos comerciais

Tipos de diodos:

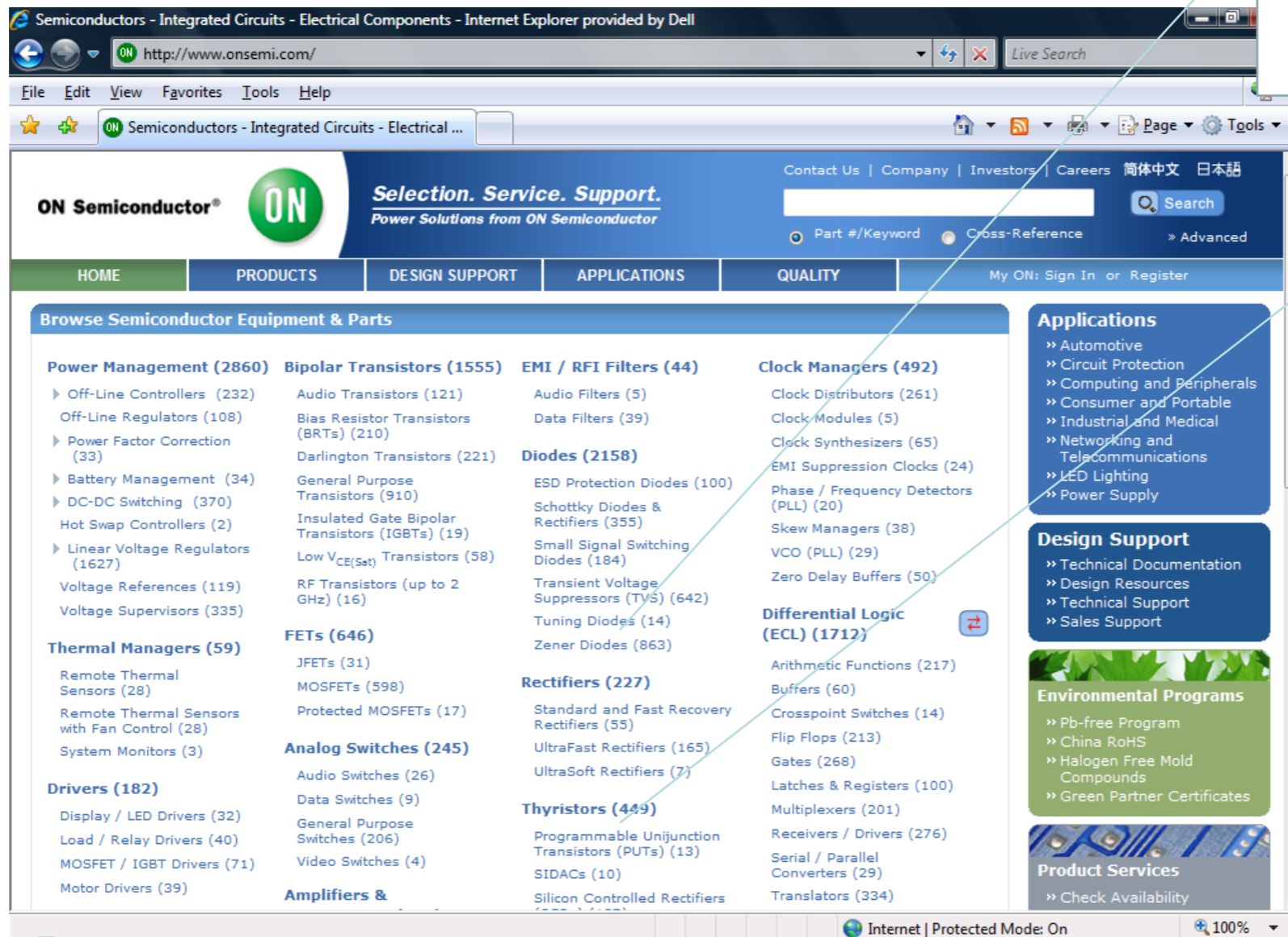
1. Standard and fast recovery;
2. Ultrafast rectifiers;
3. Ultrasoft rectifiers;
4. Silicon carbide (zero recovery).

Rectifiers (227)

Standard and Fast Recovery Rectifiers (55)

UltraFast Rectifiers (165)

UltraSoft Rectifiers (7)

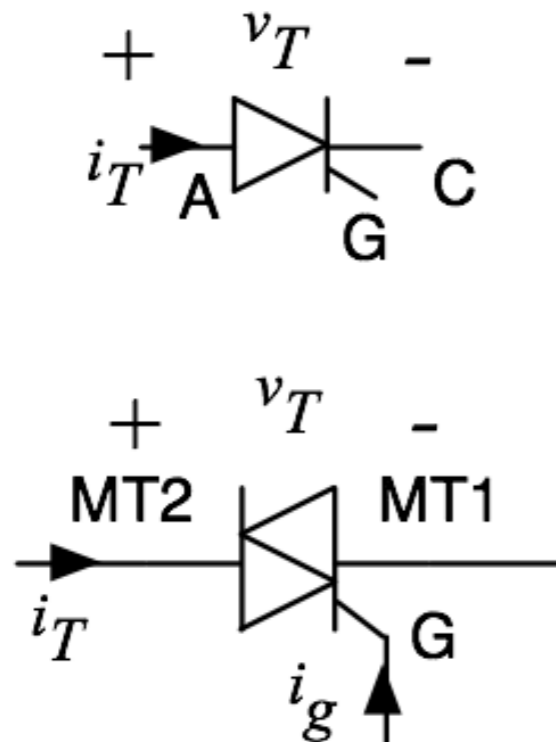


The screenshot shows the ON Semiconductor website interface. The main navigation bar includes 'HOME', 'PRODUCTS', 'DESIGN SUPPORT', 'APPLICATIONS', and 'QUALITY'. Below this, there's a 'Browse Semiconductor Equipment & Parts' section with a grid of product categories. The 'Diodes (2158)' category is expanded, showing sub-categories: Rectifiers (227), Thyristors (449), and Silicon Controlled Rectifiers. The 'Rectifiers (227)' sub-category is further detailed with: Standard and Fast Recovery Rectifiers (55), UltraFast Rectifiers (165), and UltraSoft Rectifiers (7). Other categories visible include Power Management (2860), Bipolar Transistors (1555), EMI / RFI Filters (44), Clock Managers (492), FETs (646), Analog Switches (245), and Amplifiers & Drivers (182).

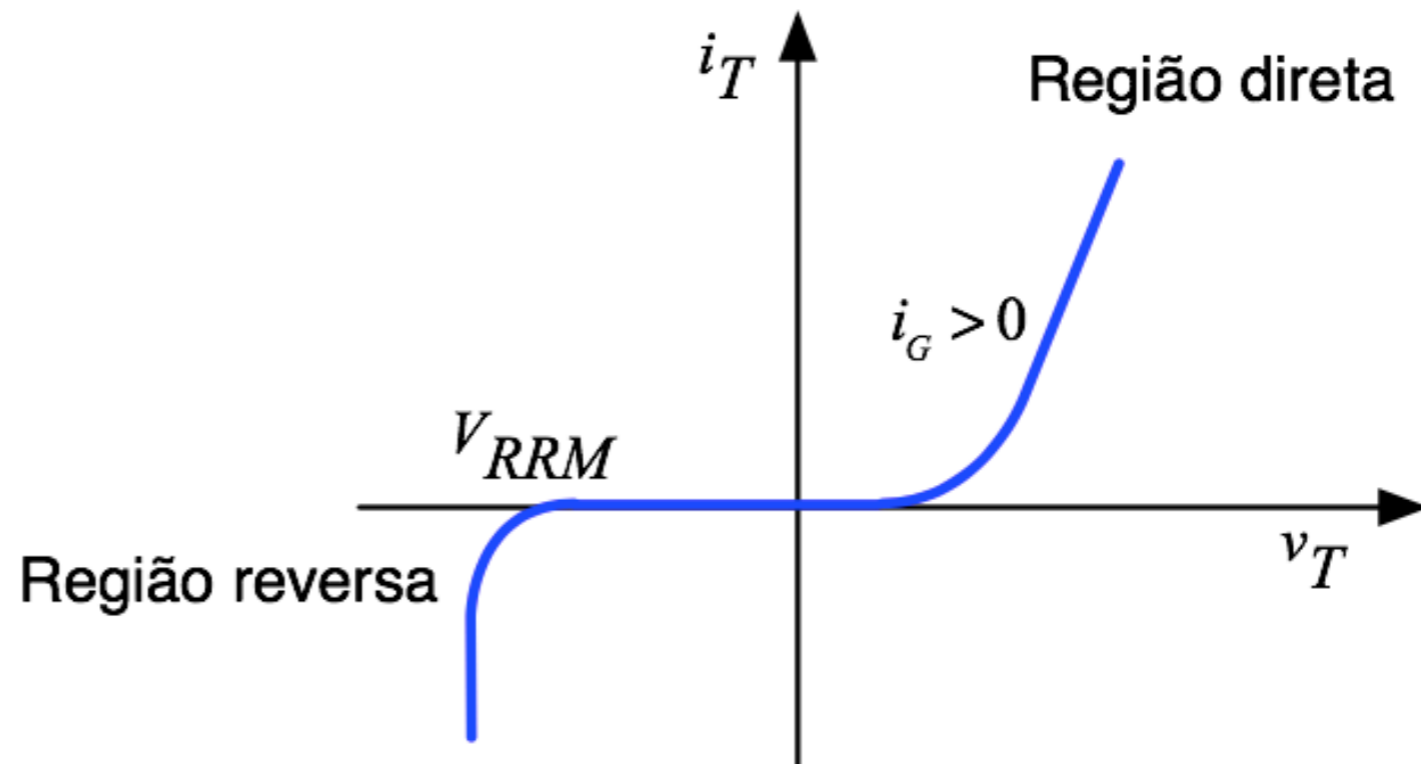
Tiristores

Exemplos de tiristores:

- SCR - diodo retificador de silício; é um diodo unidirecional em corrente com terminal de controle (gatilho);
- TRIAC - é um tiristor bidirecional, mas com apenas um terminal de controle, usado em conversores para corrente alternada, pois pode conduzir no semiciclo positivo e negativo da tensão;
- DIAC ou SIDAC - são diodos para corrente alternada, utilizados nos circuitos de disparo de SCRs ou TRIACs.



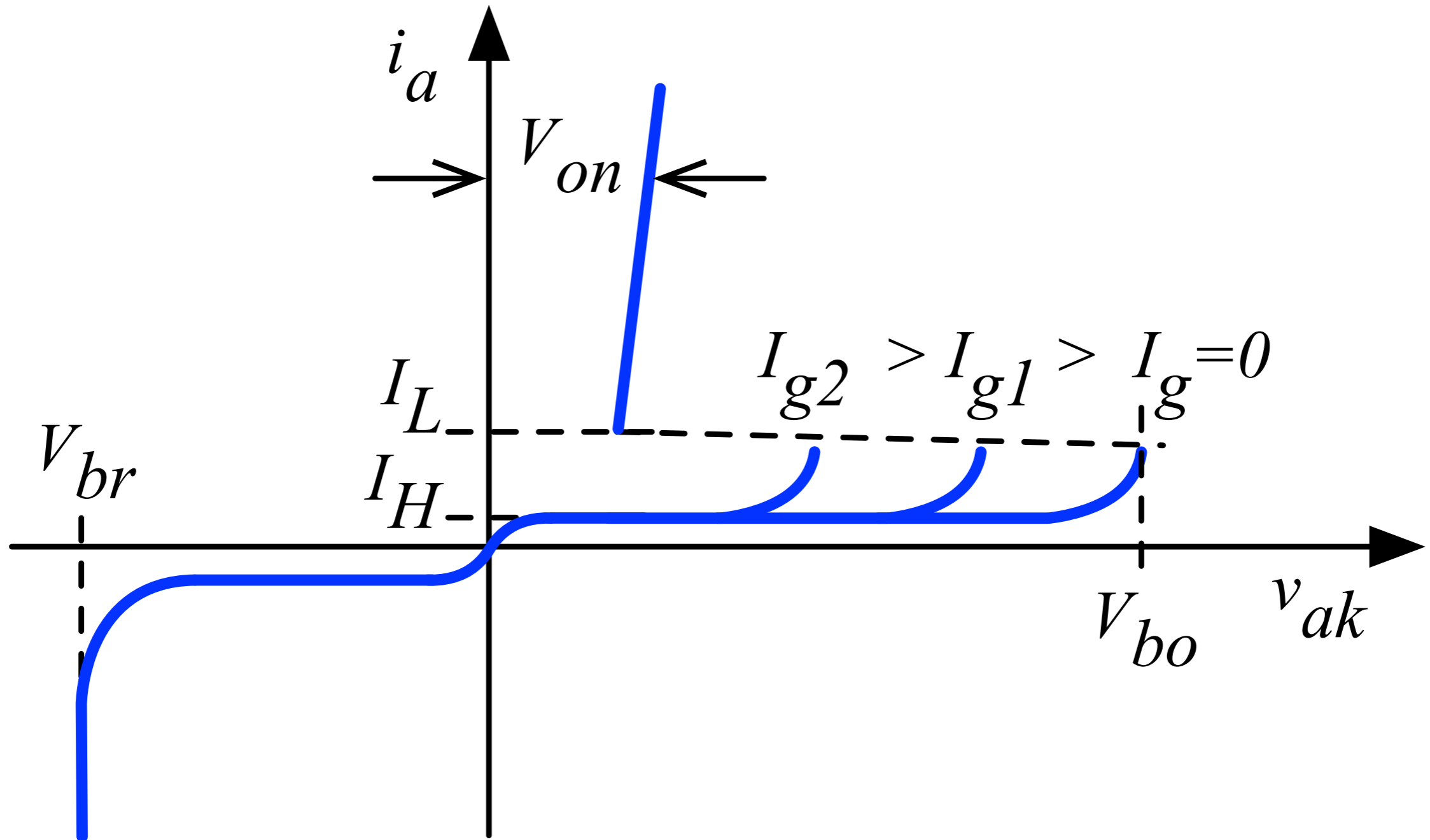
Símbolo do SCR e do TRIAC



Curva $I \times V$

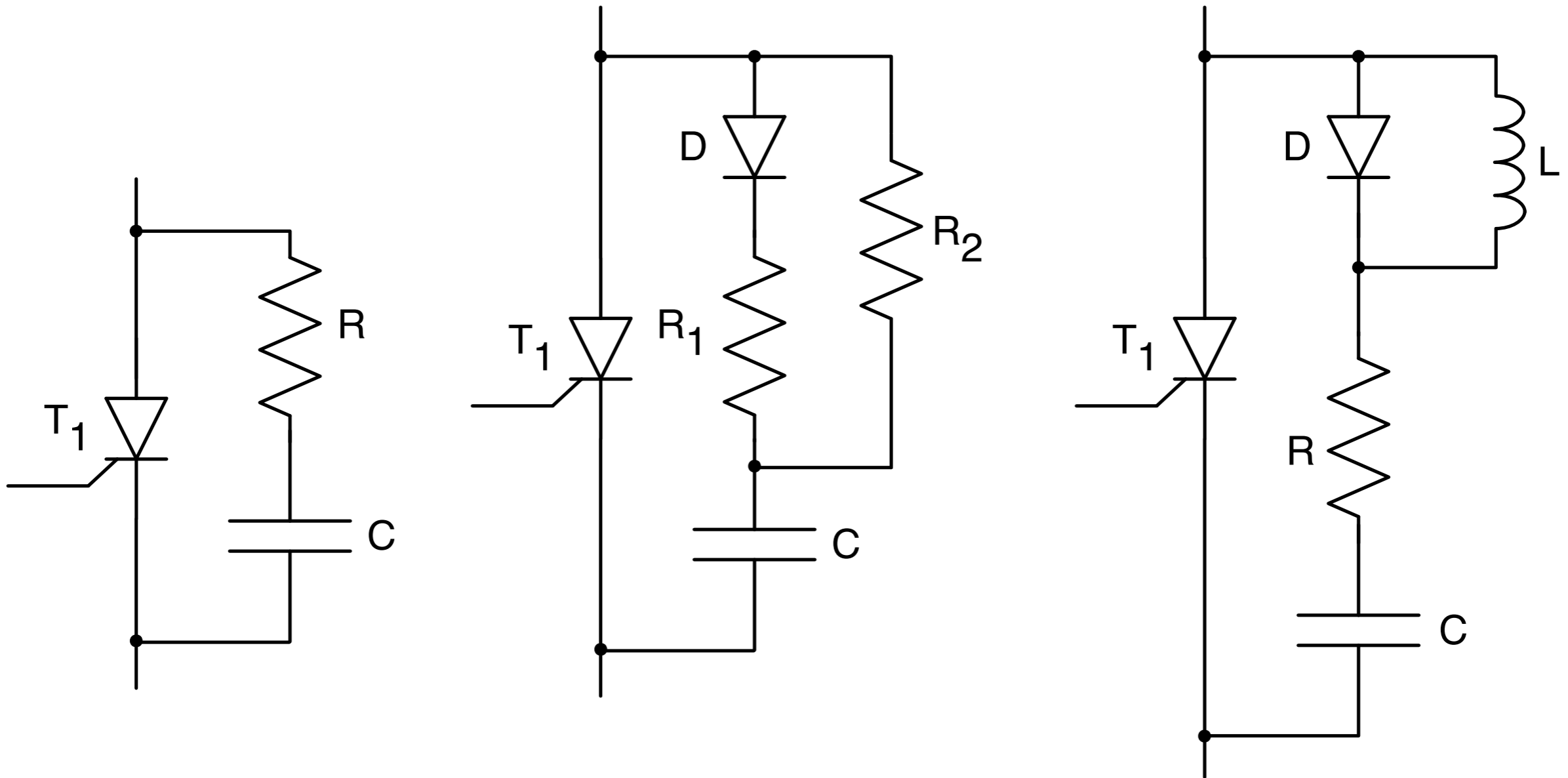
Funcionamento dos tiristores

Característica $V \times I$:



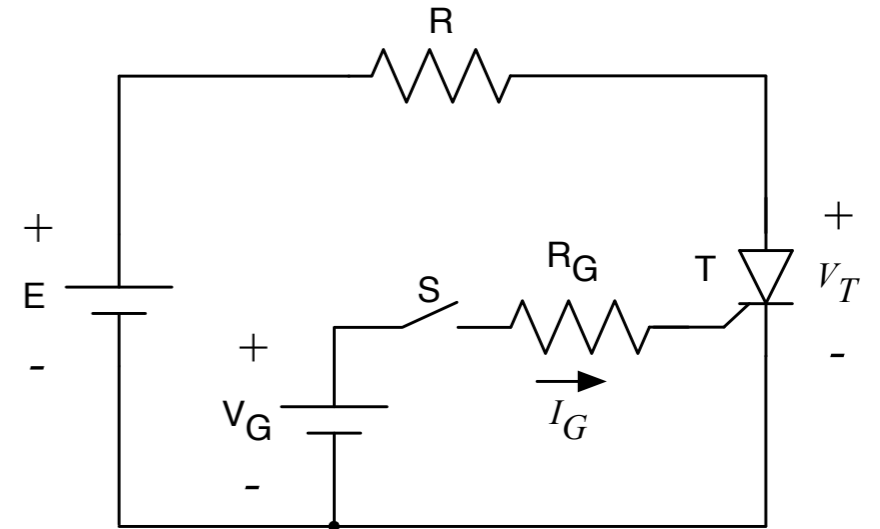
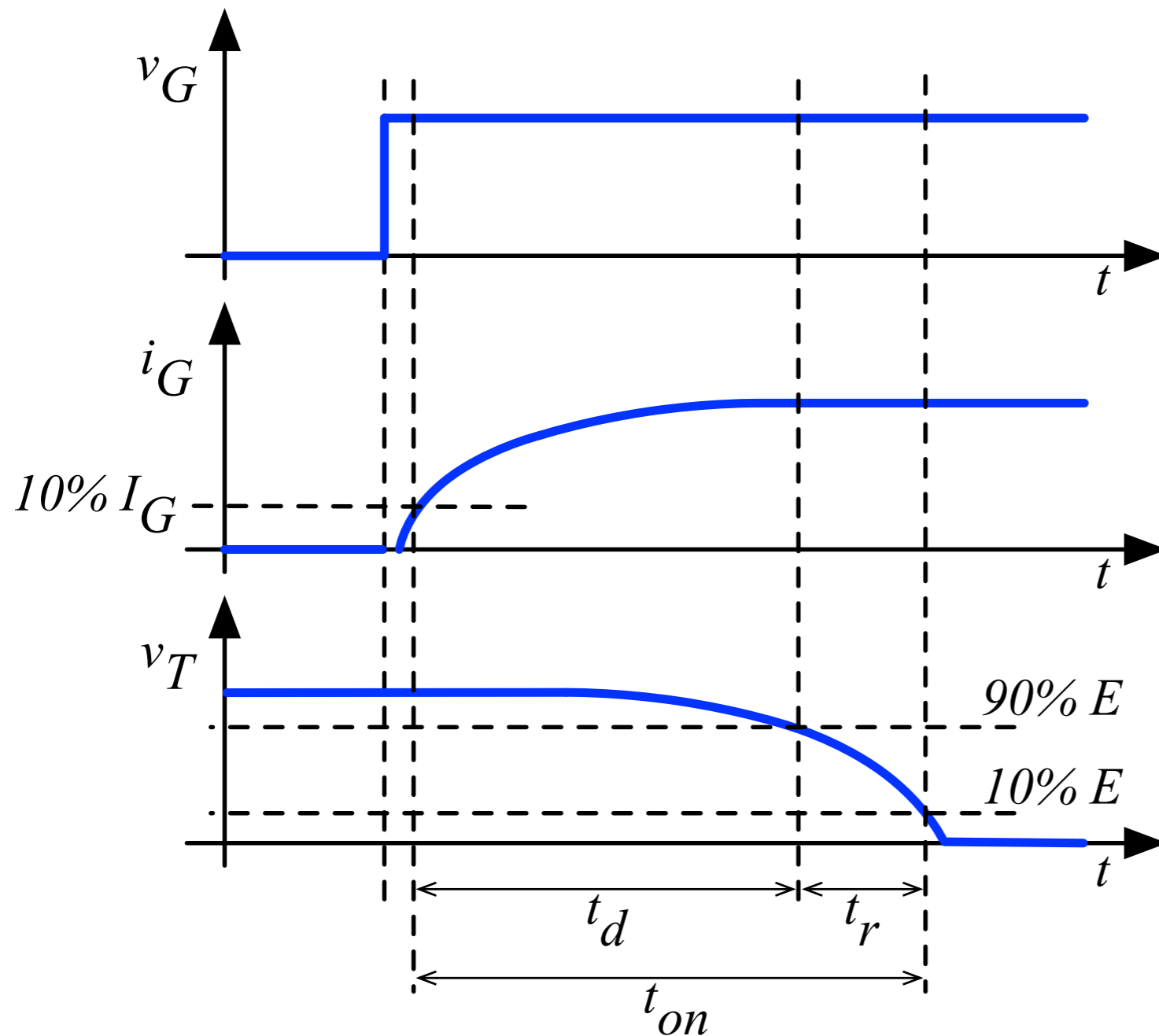
Funcionamento dos tiristores

Circuitos para auxiliar na proteção de tiristores e evitar disparos intempestivos:



Comutação dos tiristores

Disparo:

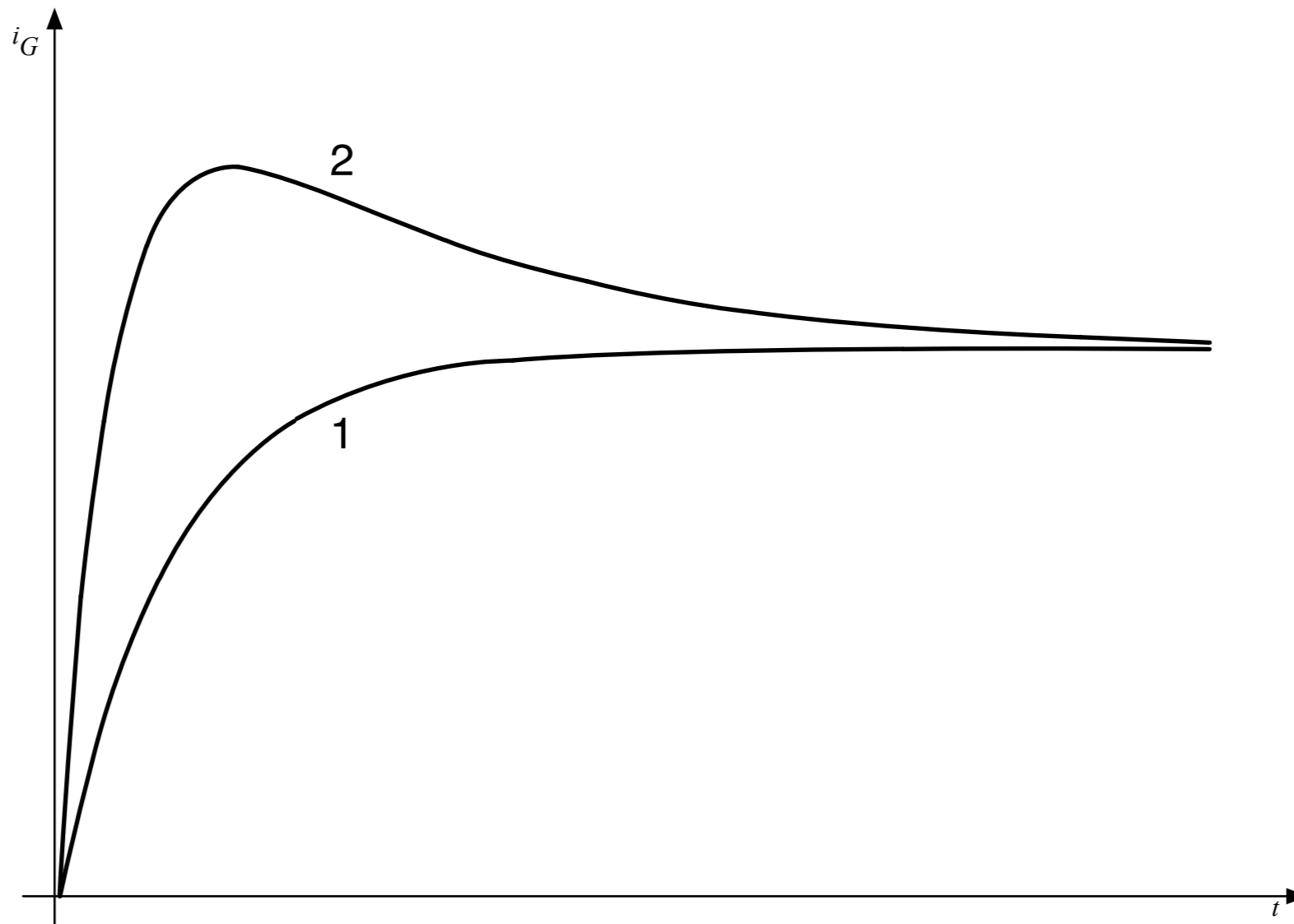


Comutação dos tiristores

Disparo:

- t_{on} - tempo de fechamento;
- t_d - tempo de retardo;
- t_r - tempo de descida da tensão anodo-catodo.

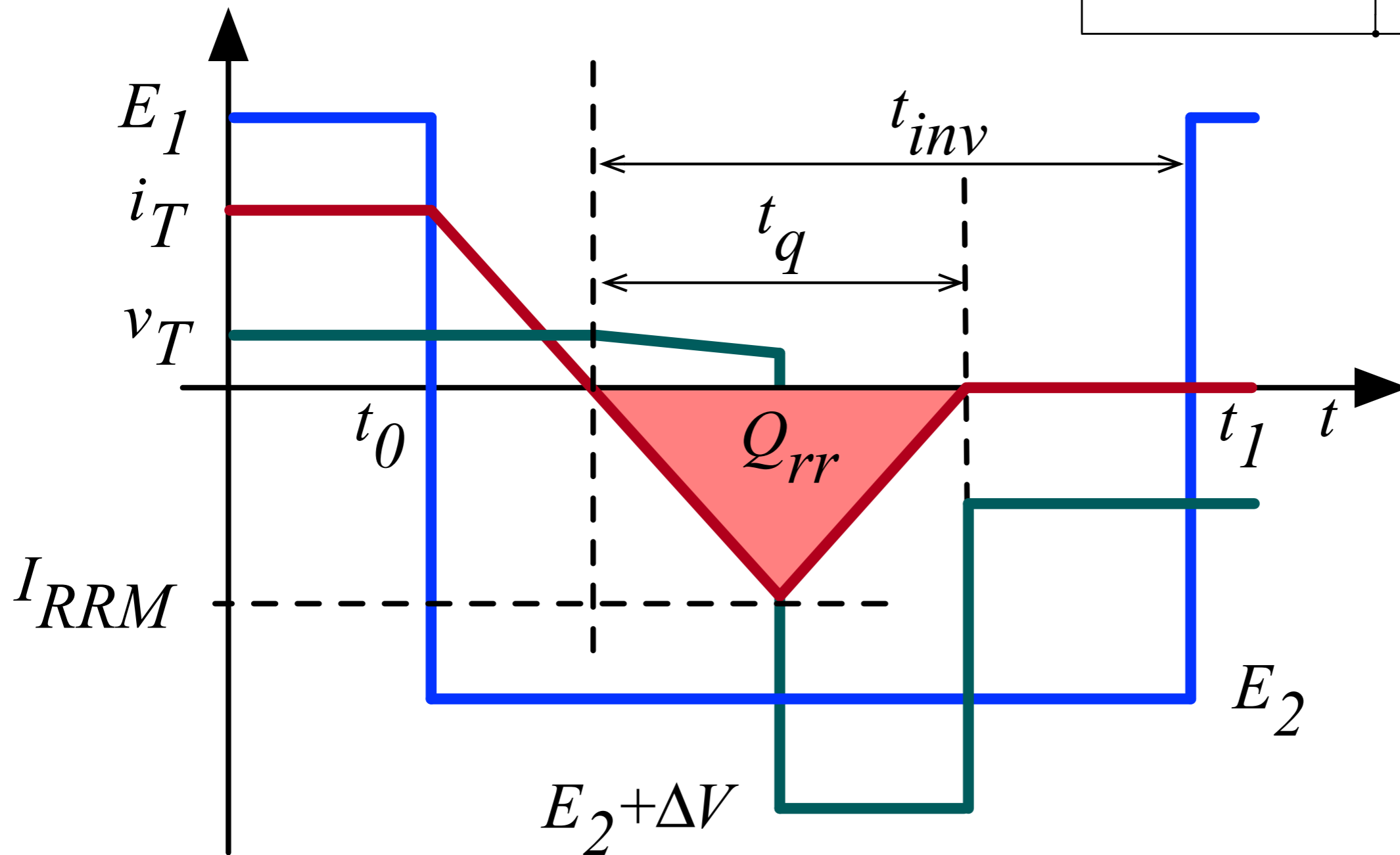
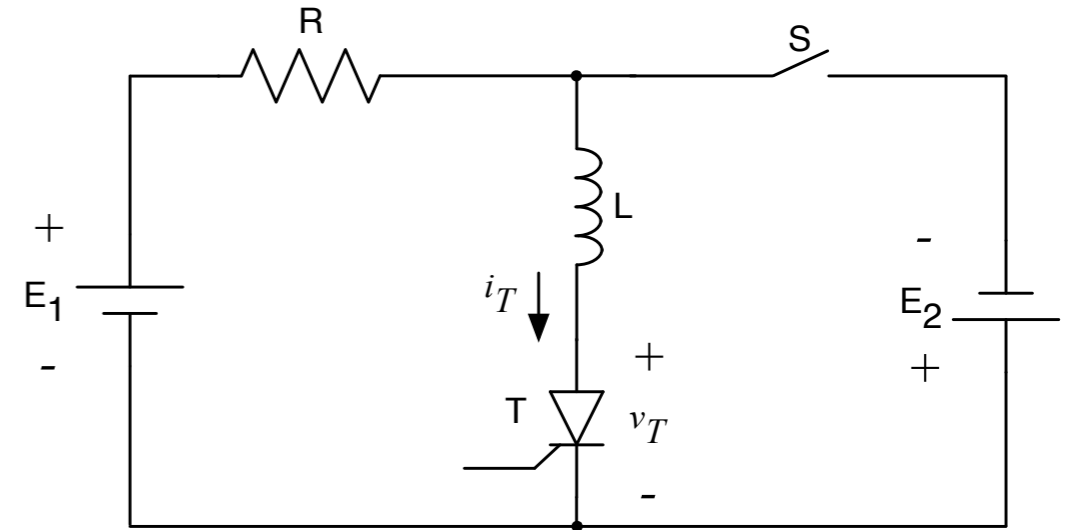
$$t_{on} = t_d + t_r$$



Influência da corrente de gatilho no tempo de retardo

Comutação dos tiristores

Bloqueio:



Perdas no tiristor

Classificação das perdas:

1. Condução;

$$P = V_{(T_o)} \cdot I_{T(\text{med})} + r_T \cdot \left(I_{T(\text{ef})} \right)^2$$

2. Comutação:

- Entrada em condução;

Por simulação

- Bloqueio.

Por simulação



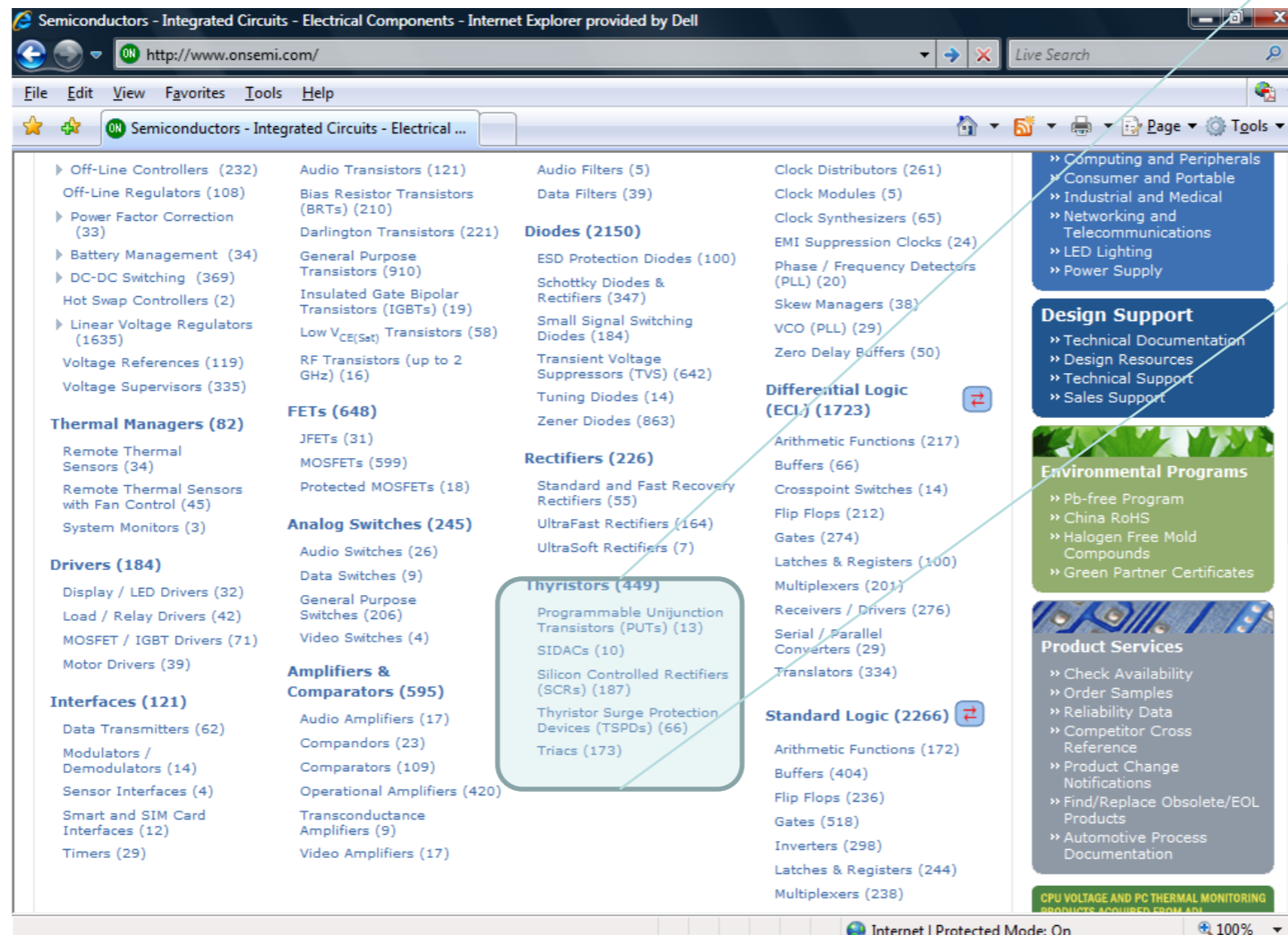
Características dos tiristores comerciais

Tipos de tiristores de potência:

1. SCR;
2. Triac;
3. Sidac;
4. Para proteção, etc.

Thyristors (449)

- Programmable Unijunction Transistors (PUTs) (13)
- SIDACs (10)
- Silicon Controlled Rectifiers (SCRs) (187)
- Thyristor Surge Protection Devices (TSPDs) (66)
- Triacs (173)



Semiconductors - Integrated Circuits - Electrical Components - Internet Explorer provided by Dell

http://www.onsemi.com/

File Edit View Favorites Tools Help

Semiconductors - Integrated Circuits - Electrical ...

- Off-Line Controllers (232)
- Off-Line Regulators (108)
- Power Factor Correction (33)
- Battery Management (34)
- DC-DC Switching (369)
- Hot Swap Controllers (2)
- Linear Voltage Regulators (1635)
- Voltage References (119)
- Voltage Supervisors (335)
- Thermal Managers (82)**
 - Remote Thermal Sensors (34)
 - Remote Thermal Sensors with Fan Control (45)
 - System Monitors (3)
- Drivers (184)**
 - Display / LED Drivers (32)
 - Load / Relay Drivers (42)
 - MOSFET / IGBT Drivers (71)
 - Motor Drivers (39)
- Interfaces (121)**
 - Data Transmitters (62)
 - Modulators / Demodulators (14)
 - Sensor Interfaces (4)
 - Smart and SIM Card Interfaces (12)
 - Timers (29)
- Audio Transistors (121)
- Bias Resistor Transistors (BRTs) (210)
- Darlington Transistors (221)
- General Purpose Transistors (910)
- Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) (19)
- Low $V_{CE(sat)}$ Transistors (58)
- RF Transistors (up to 2 GHz) (16)
- FETs (648)**
 - JFETs (31)
 - MOSFETs (599)
 - Protected MOSFETs (18)
- Analog Switches (245)**
 - Audio Switches (26)
 - Data Switches (9)
 - General Purpose Switches (206)
 - Video Switches (4)
- Amplifiers & Comparators (595)**
 - Audio Amplifiers (17)
 - Companadors (23)
 - Comparators (109)
 - Operational Amplifiers (420)
 - Transconductance Amplifiers (9)
 - Video Amplifiers (17)
- Audio Filters (5)
- Data Filters (39)
- Diodes (2150)**
 - ESD Protection Diodes (100)
 - Schottky Diodes & Rectifiers (347)
 - Small Signal Switching Diodes (184)
 - Transient Voltage Suppressors (TVS) (642)
 - Tuning Diodes (14)
 - Zener Diodes (863)
- Rectifiers (226)**
 - Standard and Fast Recovery Rectifiers (55)
 - UltraFast Rectifiers (164)
 - UltraSoft Rectifiers (7)
- Thyristors (449)**
 - Programmable Unijunction Transistors (PUTs) (13)
 - SIDACs (10)
 - Silicon Controlled Rectifiers (SCRs) (187)
 - Thyristor Surge Protection Devices (TSPDs) (66)
 - Triacs (173)
- Clock Distributors (261)
- Clock Modules (5)
- Clock Synthesizers (65)
- EMI Suppression Clocks (24)
- Phase / Frequency Detectors (PLL) (20)
- Skew Managers (38)
- VCO (PLL) (29)
- Zero Delay Buffers (50)
- Differential Logic (ECL) (1723)**
 - Arithmetic Functions (217)
 - Buffers (66)
 - Crosspoint Switches (14)
 - Flip Flops (212)
 - Gates (274)
 - Latches & Registers (100)
 - Multiplexers (201)
 - Receivers / Drivers (276)
 - Serial / Parallel Converters (29)
 - Translators (334)
- Standard Logic (2266)**
 - Arithmetic Functions (172)
 - Buffers (404)
 - Flip Flops (236)
 - Gates (518)
 - Inverters (298)
 - Latches & Registers (244)
 - Multiplexers (238)
- Computing and Peripherals
 - Consumer and Portable
 - Industrial and Medical
 - Networking and Telecommunications
 - LED Lighting
 - Power Supply
- Design Support**
 - Technical Documentation
 - Design Resources
 - Technical Support
 - Sales Support
- Environmental Programs**
 - Pb-free Program
 - China RoHS
 - Halogen Free Mold Compounds
 - Green Partner Certificates
- Product Services**
 - Check Availability
 - Order Samples
 - Reliability Data
 - Competitor Cross Reference
 - Product Change Notifications
 - Find/Replace Obsolete/EOL Products
 - Automotive Process Documentation

Internet | Protected Mode: On 100%

Características dos tiristores comerciais

MCR12DCM, MCR12DCN

Preferred Device

Silicon Controlled Rectifiers

Reverse Blocking Thyristors

Designed for high volume, low cost, industrial and consumer applications such as motor control; process control; temperature, light and speed control.

Features

- Small Size
- Passivated Die for Reliability and Uniformity
- Low Level Triggering and Holding Characteristics
- Epoxy Meets UL 94 V-0 @ 0.125 in
- ESD Ratings: Human Body Model, 3B > 8000 V
Machine Model, C > 400 V
- Pb-Free Packages are Available



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

SCRs
12 AMPERES RMS
600 – 800 VOLTS



Características dos tiristores comerciais

2N6344A, 2N6348A, 2N6349A

Preferred Device

Triacs

Silicon Bidirectional Thyristors

Designed primarily for full-wave AC control applications, such as light dimmers, motor controls, heating controls and power supplies; or wherever full-wave silicon gate controlled solid-state devices are needed. Triac type thyristors switch from a blocking to a conducting state for either polarity of applied anode voltage with positive or negative gate triggering.

Features

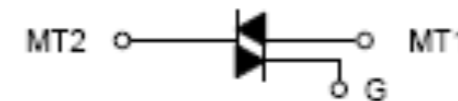
- Blocking Voltage to 800 V
- All Diffused and Glass Passivated Junctions for Greater Parameter Uniformity and Stability
- Small, Rugged, Thermowatt Construction for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation and Durability
- Gate Triggering Guaranteed in all Four Quadrants
- For 400 Hz Operation, Consult Factory
- 8.0 A Devices Available as 2N6344 thru 2N6349
- Pb-Free Packages are Available*



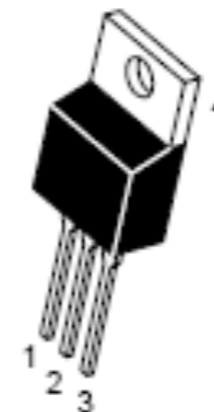
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

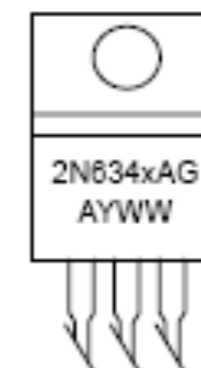
TRIACS
12 AMPERES RMS
600 thru 800 VOLTS

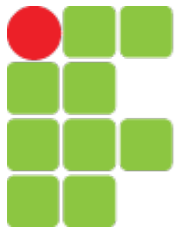


**MARKING
DIAGRAM**



TO-220AB
CASE 221A
STYLE 4





INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Características dos tiristores comerciais

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR



6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (600 Volts Peak)

The MOC3061, MOC3062 and MOC3063 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to monolithic silicon detectors performing the functions of Zero Voltage Crossing bilateral triac drivers.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115/240 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 115/240 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dV/dt of 1500 V/μs Typical, 600 V/μs Guaranteed
- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V_{RR}	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	80	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/°C

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	600	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μs, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.78	mW/°C

TOTAL DEVICE

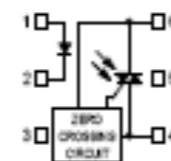
Isolation Surge Voltage(1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/°C
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T_s	260	°C

MOC3061
MOC3062
MOC3063



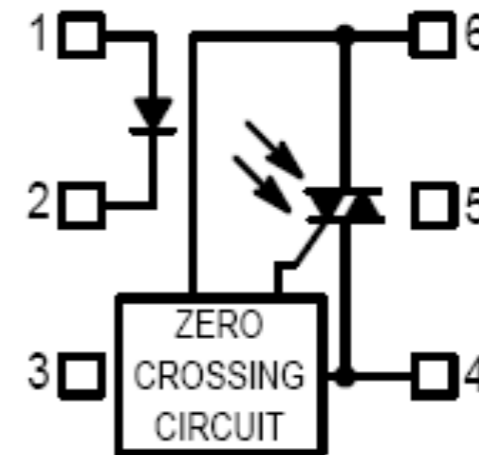
STANDARD THRU HOLE

COUPLER SCHEMATIC

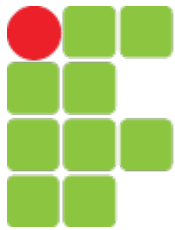


1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

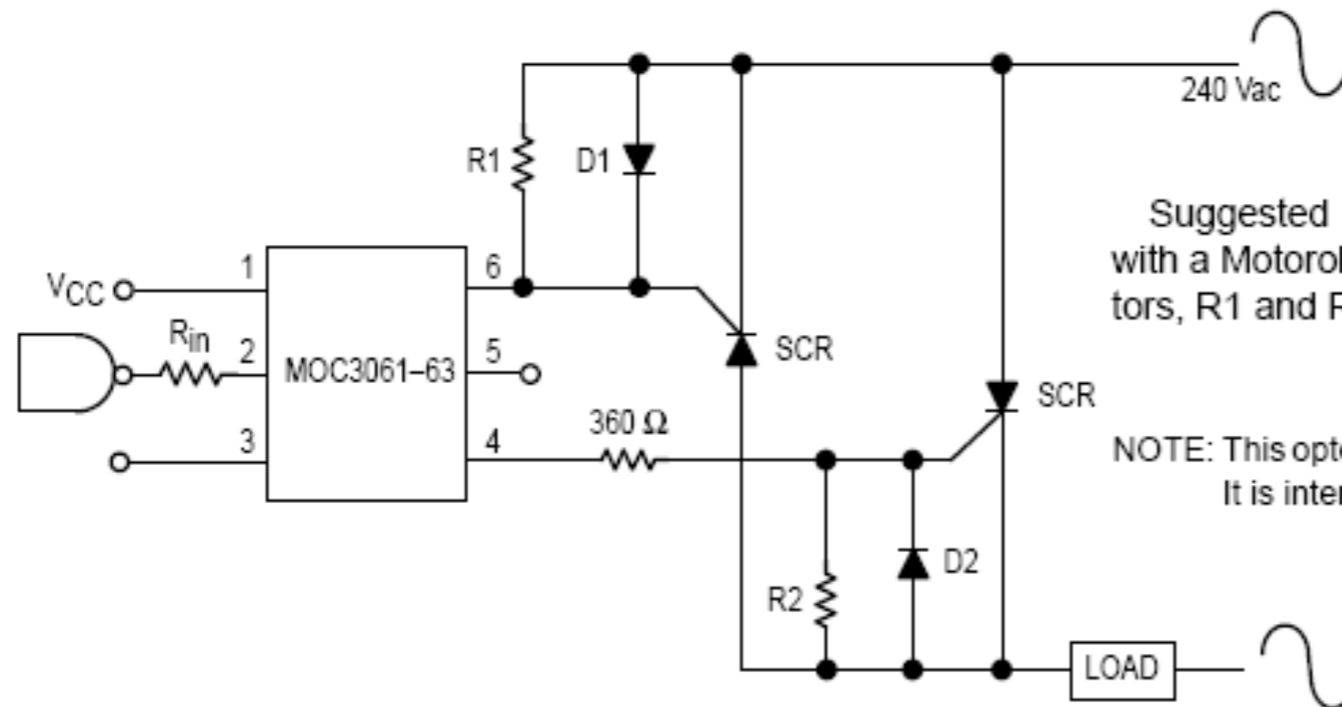
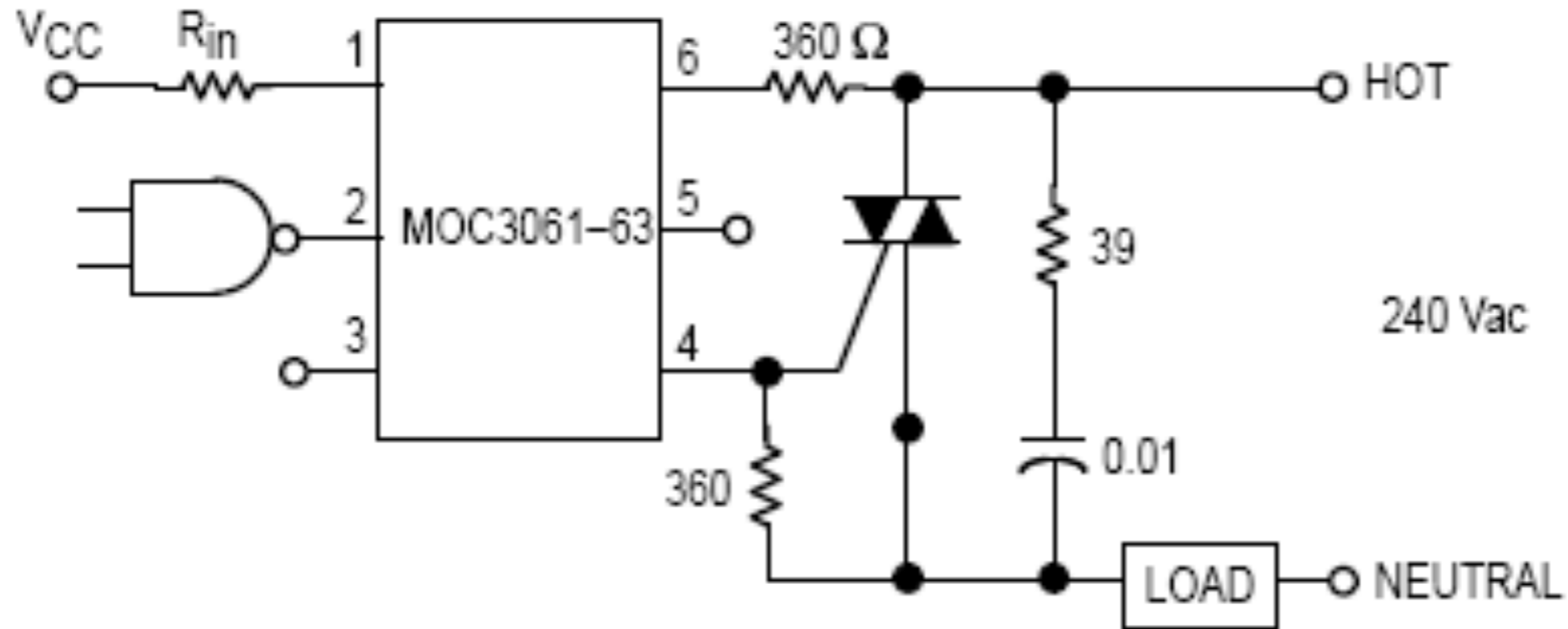
COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL



Acionamento de tiristores



Suggested method of firing two, back-to-back SCR's, with a Motorola triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohms.

NOTE: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Próxima Aula

Componentes Semicondutores:

- BJT, MOSFET e IGBT.

