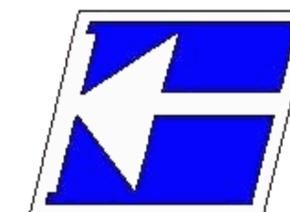




Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Eletrônica de Potência



Componentes Eletrônicos

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, julho de 2020.

Curso Básico de 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>



www.ProfessorPetry.com.br



<https://www.youtube.com>

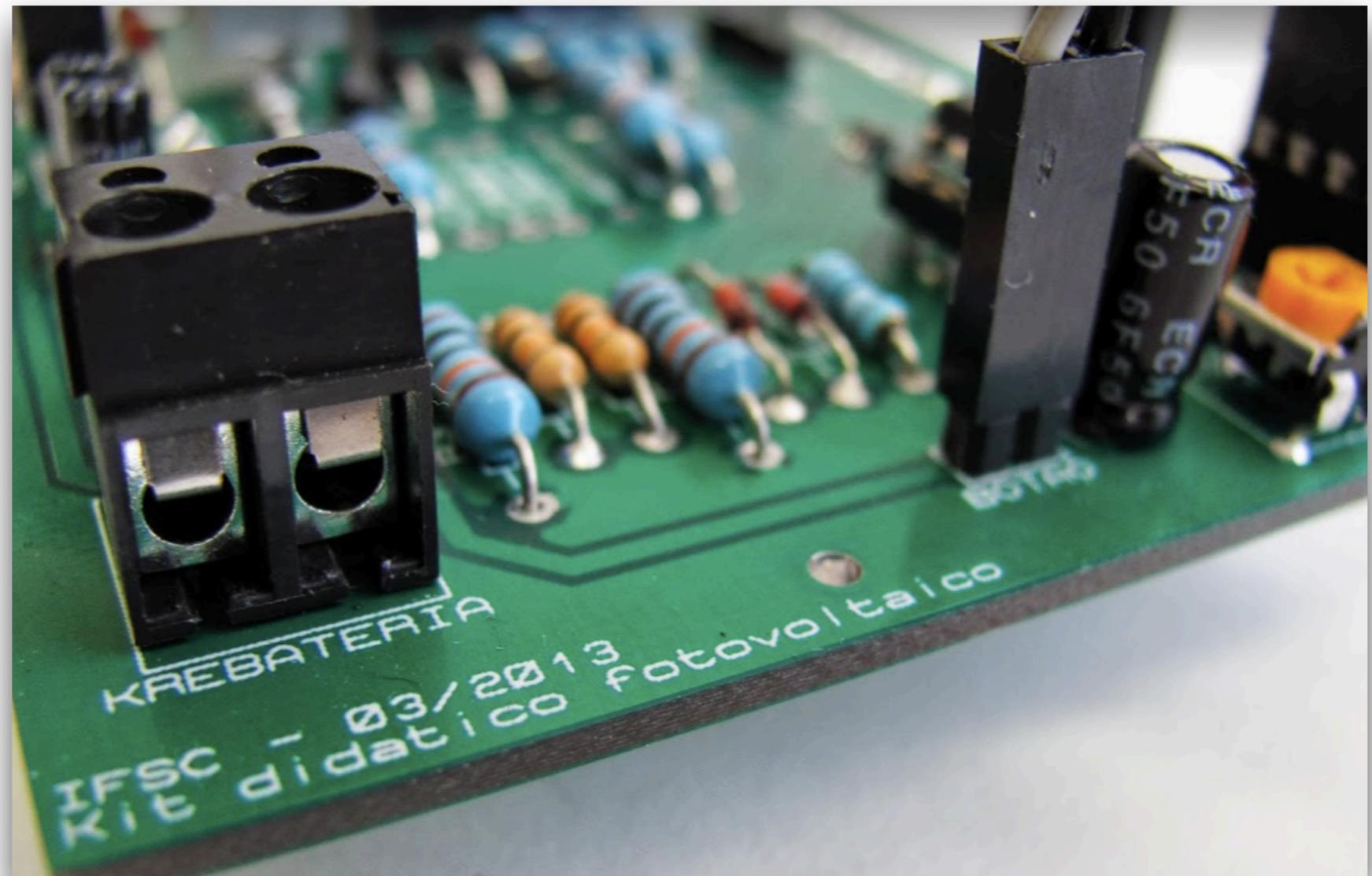
Agenda

Esta aula está organizada em:

1. Componentes eletrônicos;
 - Resistores, capacitores e indutores;
 - Diodos e tiristores;
 - Transistores.
2. Cálculo térmico;
 - Modelo térmico;
 - Exemplos.



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

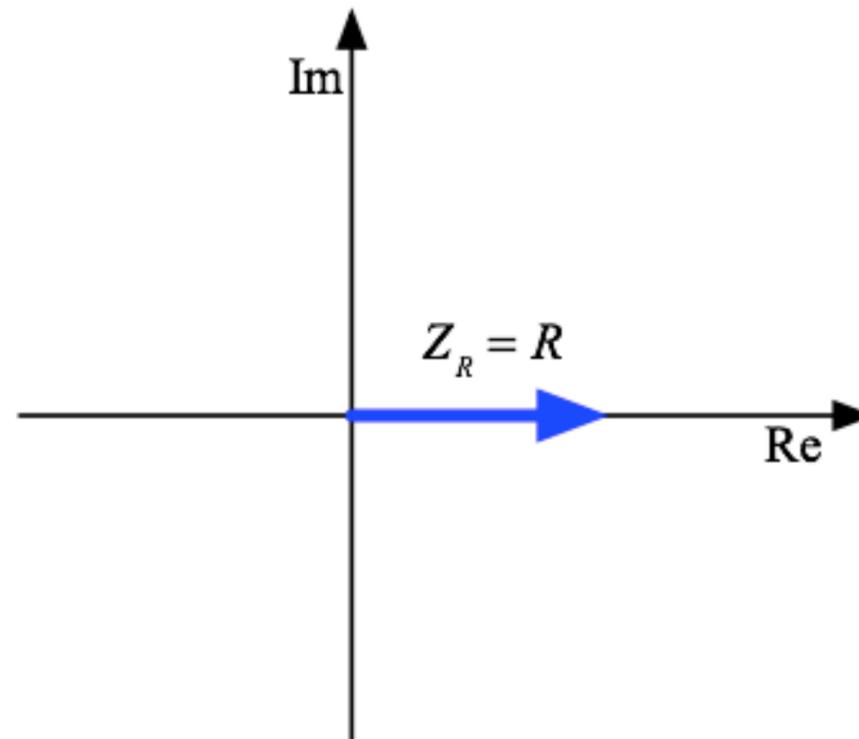


Diagrama fasorial

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

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

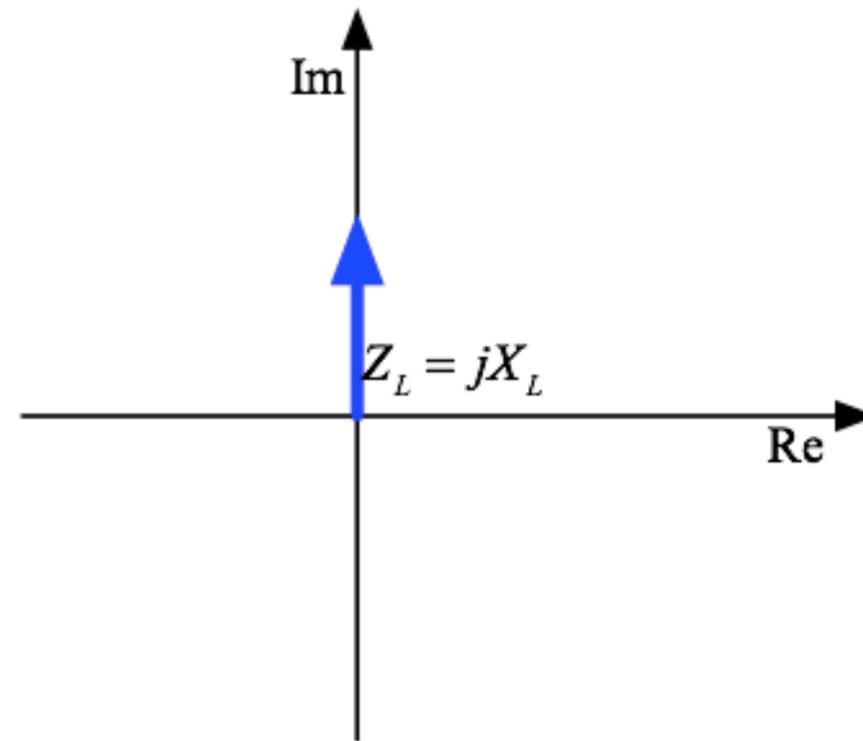


Diagrama fasorial

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

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

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

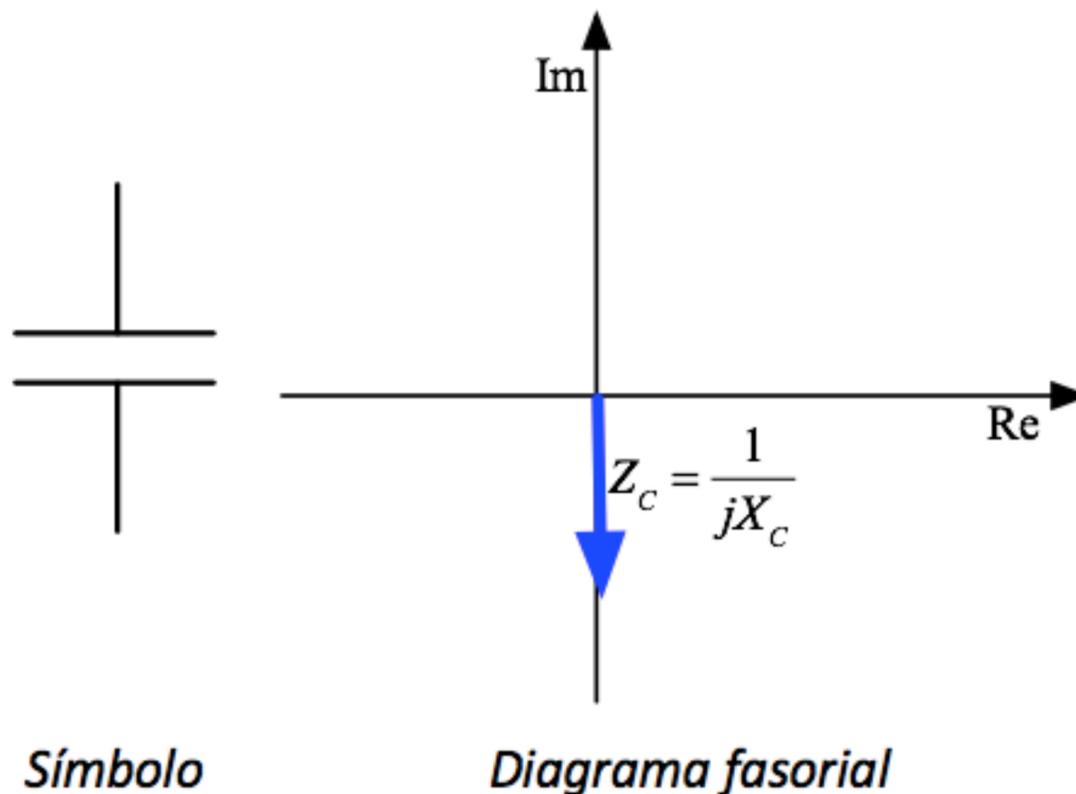
$$\vec{I} = \frac{\vec{V}}{Z_L}$$

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.



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

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

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

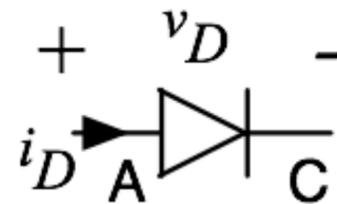
$$\vec{I} = \frac{\vec{V}}{Z_C}$$

Equações para o capacitor

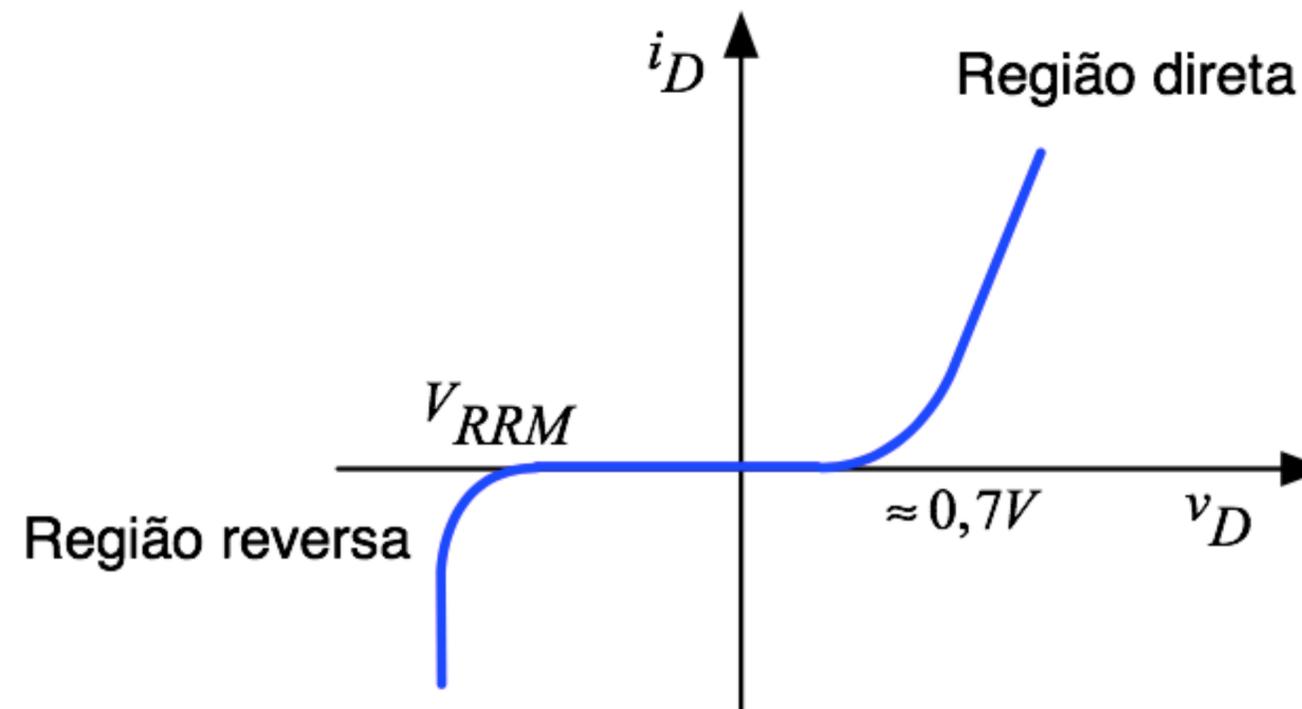
Diodo semicondutor

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.



DO-41 (DO-204AL)

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	

Diodo semiconductor

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.

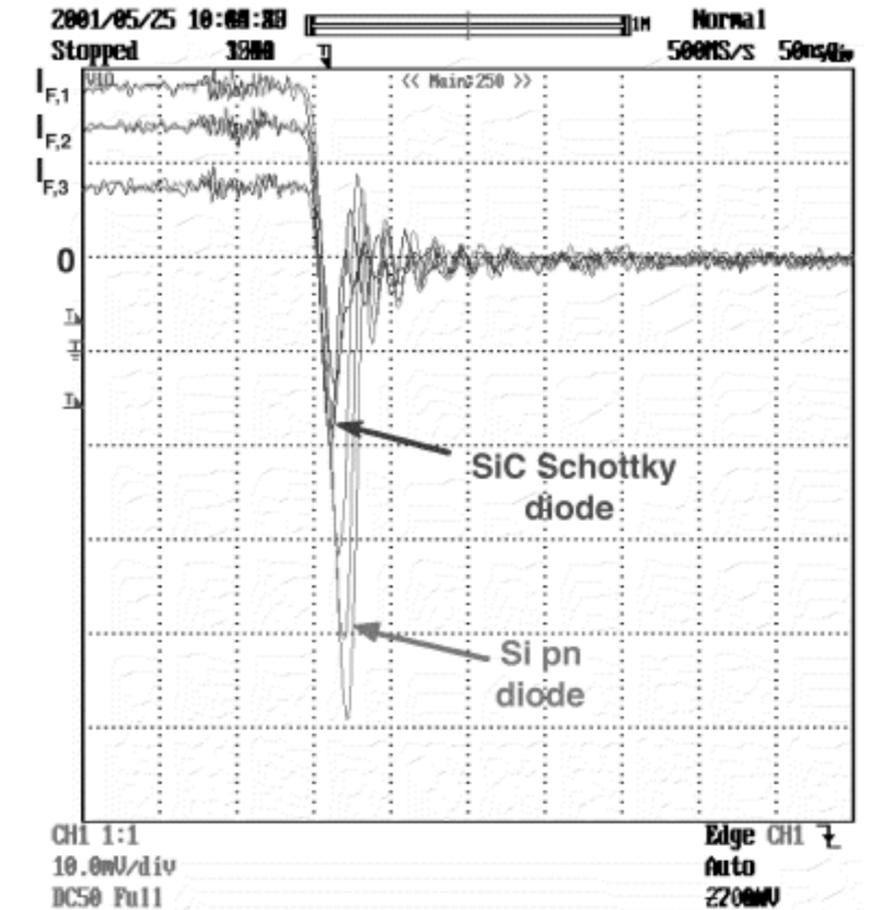
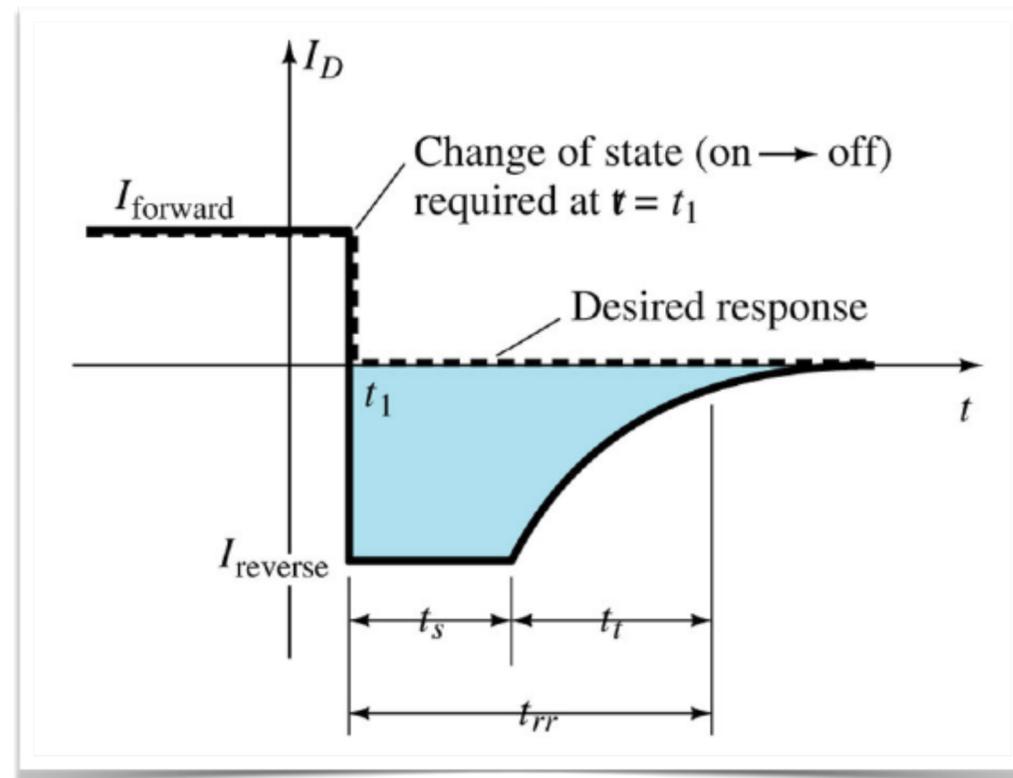


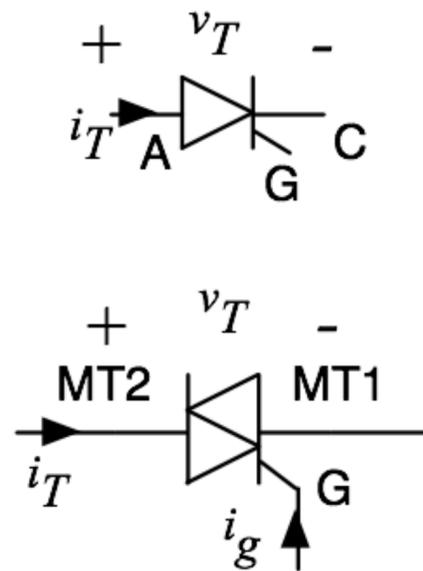
Fig. 5. Typical reverse recovery waveforms of the Si pn and SiC Schottky diode for three different forward currents (2 A/div.).

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

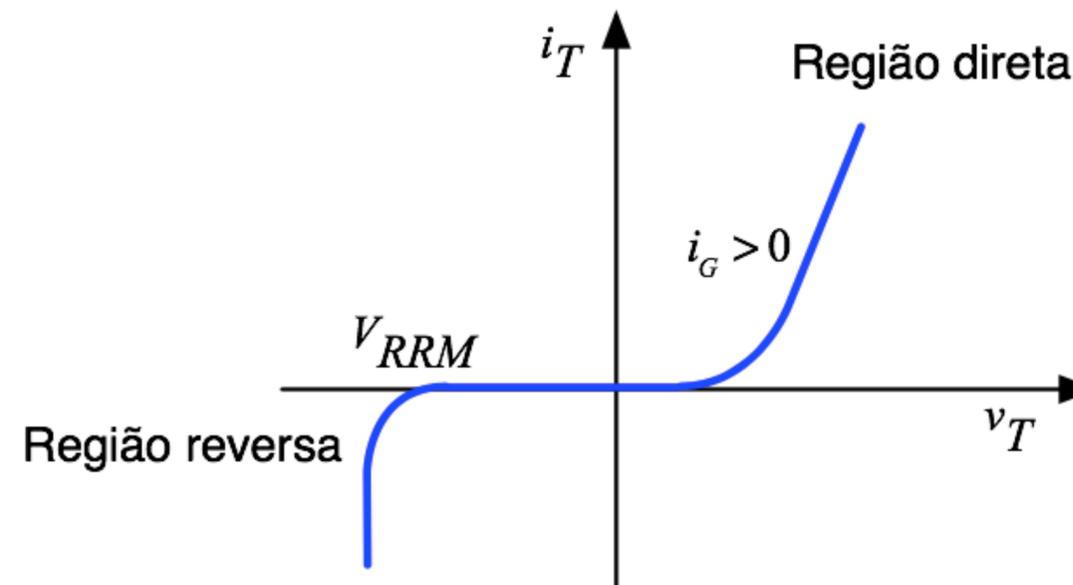
Tiristores

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 x V

Transistores

Regiões de operação dos transistores:

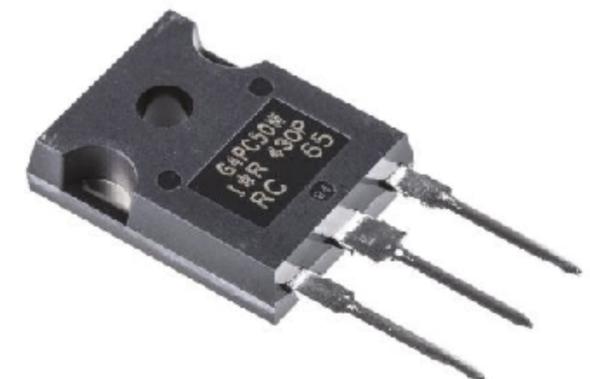
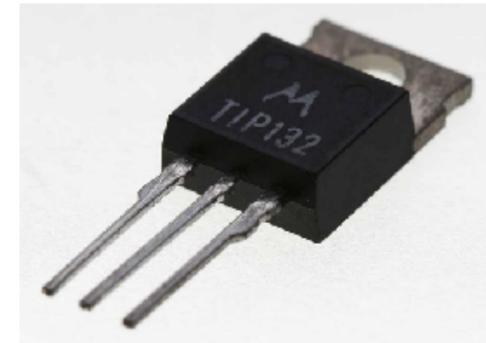
- Corte - é a região em que o transistor não está conduzindo, sua corrente é nula e a tensão sobre o mesmo, em geral, é igual a da fonte de alimentação. Nesta região de operação o transistor não tem perdas, isto é, não processa (dissipa) potência;
- Ativa - é a região de operação em que a corrente de saída varia linearmente com a corrente ou tensão de entrada, por isso é usada para amplificação. Nesta região se tem altas perdas, pois a potência no transistor é o produto da corrente pela queda de tensão no mesmo;
- Saturação - é a região onde o transistor está conduzindo plenamente, com alta corrente. Por outro lado, a queda de tensão é a menor possível, o que implica em perdas menores do que na região ativa.



Transistores

Tecnologias de transistores para eletrônica de potência:

- BJT - transistor bipolar de junção. São os transistores clássicos do tipo NPN ou PNP, acionados pela corrente de base, isto é, a corrente de coletor depende diretamente (ganho) da corrente na base do transistor;
- MOSFET - são transistores mais rápidos, com diferentes tecnologias de fabricação e que conduzem ou não pela aplicação de uma tensão no gatilho (gate), que por intermédio do campo elétrico, proporcionará a abertura ou fechamento do canal e, portanto, a condução ou não do transistor;
- IGBT - são componentes construídos a partir da tecnologia BJT e MOSFET, incorporando características de ambos. São acionados por tensão como os MOSFETs, mas possuem perdas semelhantes ao BJT.
- Silicon Carbide FET - são transistores de efeito de campo, mas que utilizam a tecnologia de carbeto de silício para diminuir os problemas da recuperação reversa, permitindo a operação com frequências mais altas;
- GaN - transistores de nitreto de gálio (gallium nitride) que possuem características melhores que os transistores de silício, operando com frequências mais altas e tendo menores perdas, por possuírem resistência interna menor.

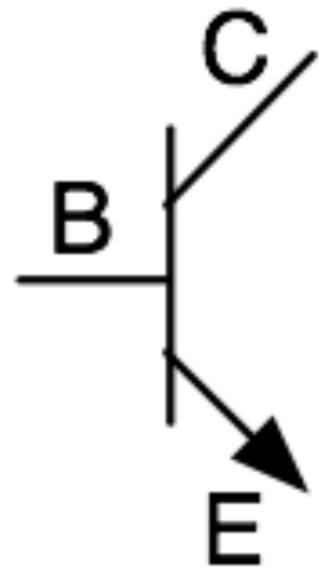


Transistores

Acionamento e perdas dos transistores:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

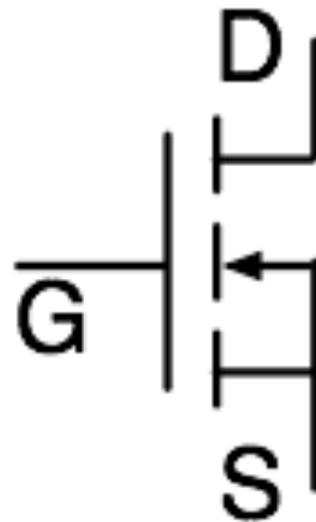
$$P_{BJT} = V_{CE(sat)} \cdot I_C$$



BJT

$$I_D = K \cdot V_G$$

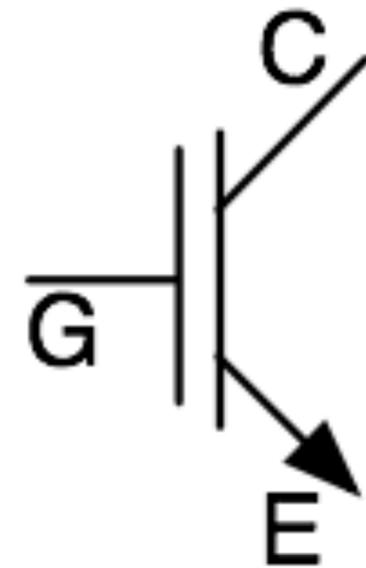
$$P_{MOSFET} = R_{DS(on)} \cdot I_D^2$$



MOSFET

$$I_C = K \cdot V_G$$

$$P_{IGBT} = V_{CE(sat)} \cdot I_D$$

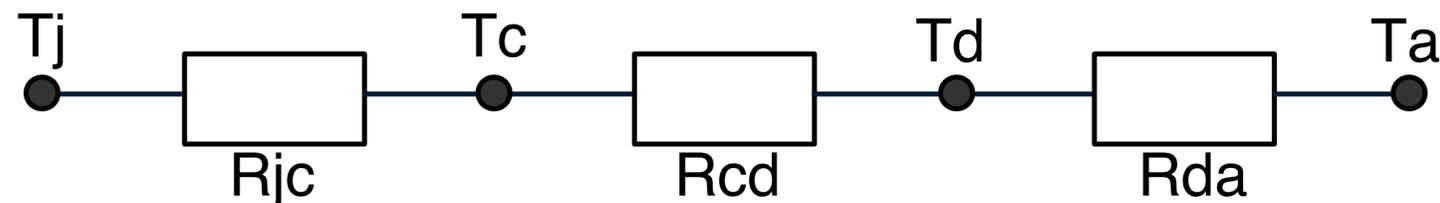


IGBT

Cálculo térmico

Elementos do modelo térmico:

- T_j - temperatura na junção em graus Celsius;
- T_c - temperatura na cápsula em graus Celsius;
- T_d - temperatura no dissipador em graus Celsius;
- T_a - temperatura ambiente em graus Celsius;
- R_{jc} - resistência térmica entre junção e cápsula, em $^{\circ}C/W$;
- R_{cd} - resistência térmica entre cápsula e dissipador, em $^{\circ}C/W$;
- R_{da} - resistência térmica entre dissipador e ambiente, em $^{\circ}C/W$.



modelo térmico

$$T_j - T_a = R_{ja} \cdot P$$

Exemplo:

- Diodo 1N4007, queda de tensão de 1,1 V, corrente de 0,9 A, temperatura de 30 graus Celsius, resistência térmica entre junção e ambiente de 50 $^{\circ}C/W$. Sabendo que a temperatura máxima é de 175 $^{\circ}C$. Será preciso usar dissipador?

$$P_D = V_D \cdot I_D = 1,1 \cdot 0,9 = 0,99W$$

$$T_j = T_a + R_{ja} \cdot P = 30 + 50 \cdot 0,99 = 79,5^{\circ}C$$

Como 79,5 $^{\circ}C$ é menor do que 175 $^{\circ}C$, não precisa dissipador.

Cálculo térmico

Exemplo:

- MOSFET IRF540 conduzindo 20 A, temperatura ambiente com 40 °C, resistência térmica entre junção e ambiente de 62 °C/W e resistência de 44 mΩ e temperatura máxima na junção de 175 °C. Verificar se precisa dissipador.

$$P_{MOSFET} = R_{DS(on)} \cdot I_D^2 = 44m \cdot 20^2 = 17,6W$$

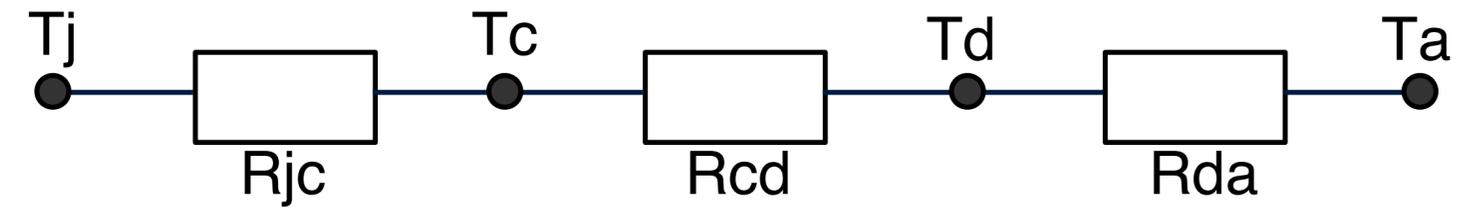
$$T_j = T_a + R_{ja} \cdot P = 40 + 62 \cdot 17,6 = 1131,2^\circ C$$

Como 1131,2 °C é maior do que 175 °C, então precisa dissipador.

$$R_{ja(max)} = \frac{T_j - T_a}{P_{BJT}} = \frac{175 - 40}{17,6} = 7,67^\circ C / W$$

$$R_{ja(max)} = R_{jc} + R_{cd} + R_{da} \rightarrow R_{cd} = 1^\circ C / W$$

$$R_{da} = R_{ja(max)} - R_{jc} - R_{cd} = 7,67 - 1 = 6,67^\circ C / W$$



modelo térmico

$$T_j - T_a = R_{ja} \cdot P$$

Próxima Aula

Conversores ca-cc

