



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA

CURSO TÉCNICO INTEGRADO DE ELETRÔNICA

Eletrônica de Potência



---

# GUIA DE ESTUDO

---

**- OBJETIVO DE APRENDIZAGEM -**  
**COMPONENTES ELETRÔNICOS**

---

## **COMPONENTES ELETRÔNICOS**

### **Objetivo de Aprendizagem**

Conhecer os componentes passivos e semicondutores utilizados em eletrônica de potência, cálculo térmico e projeto de dissipadores de calor.

### **Objetivos parciais**

- Conhecer os principais componentes passivos utilizados em eletrônica de potência;
- Conhecer os semicondutores aplicados a eletrônica de potência;
- Realizar cálculo térmico e dimensionamento de dissipadores de calor.

### **Capítulos e aulas relacionadas**

Este objetivo de aprendizagem está relacionado aos capítulos 02, 03 e 04 da apostila e com as aulas 02, 03 e 04 da disciplina.

### **Pré-requisitos**

Ter estudado e obtido êxito no Objetivo de Aprendizagem 01 – Introdução à Eletrônica de Potência.

### **Continuidade dos Estudos**

O próximo objetivo de aprendizagem será estudar os conversores ca-cc (retificadores).

### **Roteiro para estudos**

Os estudos referentes a este objetivo de aprendizagem consistem em:

1. Estudar este documento resumo, realizando as atividades propostas no mesmo;
2. Responder o quiz relacionado a este objetivo de aprendizagem;
3. Caso perceba necessidade, estudar a apresentação deste assunto ou ler os capítulos da apostila da disciplina;
4. Realizar os exercícios deste tópico da matéria;
5. Realizar a avaliação final para progredir ao próximo conteúdo.

### **Referências**

- Material disponibilizado para a disciplina de Eletrônica de Potência I – 2020/1. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.
- Capítulos da apostila de eletrônica de potência, disponível em [www.ProfessorPetry.com.br](http://www.ProfessorPetry.com.br).

---

## Check-list

Caro estudante, verifique se você completou as atividades deste objetivo de aprendizagem e obteve êxito para continuar seus estudos.

Assinale as atividades realizadas:

Estudo do documento resumo:

- Leitura do documento resumo;
- Exercícios do documento resumo;
- Atividade avaliativa do documento resumo.
- Obtive êxito e entendi o conteúdo deste documento;
- Ainda não entendi bem o conteúdo e estudarei o mesmo com mais profundidade.

Estou com dúvidas, irei estudar com mais detalhes este conteúdo:

- Assistir a apresentação relacionada ao conteúdo (apresentação 02);
- Ler os capítulos deste conteúdo na apostila (capítulos 02, 03 e 04).

Ainda estou com dúvidas:

- Entrarei em contato com o professor.

Obtive êxito, então seguirei em frente:

- Responder ao quiz deste conteúdo no Moodle;
- Informar ao professor que estou avançando com o conteúdo.

Parabéns, continue estudando com afinco e vamos em frente!!

---

# CONTEÚDO

---

**- OBJETIVO DE APRENDIZAGEM -  
COMPONENTES ELETRÔNICOS**

## 1 Introdução

O conteúdo a ser estudado neste tópico da disciplina está relacionado aos componentes passivos (resistor, indutor e capacitor) e aos principais semicondutores utilizados em eletrônica de potência. Este conteúdo foi estudado nas aulas presenciais, servindo este material como revisão e fixação da matéria e também como reposição de estudos.

### 1.1 Conteúdo – O que irei estudar

Estudaremos neste tópico:

- Componentes passivos (resistor, indutor e capacitor);
- Diodos semicondutores;
- Tiristores;
- Transistores;
- Cálculo térmico e projeto de dissipadores de calor.

### 1.2 Metodologia – O que devo fazer e como fazer

Leia com atenção o conteúdo a seguir. Ao final deste tópico são apresentados exercícios resolvidos. Após são apresentados alguns exercícios propostos.

Ao realizar estas atividades e se sentir confiante para progredir, siga os passos indicados na primeira página deste documento.

Espera-se que após estudar este assunto, você consiga:

- Explicar o comportamento de resistores, indutores e capacitores;
- Entender o funcionamento de semicondutores (diodos, tiristores e transistores);
- Realizar o cálculo térmico de semicondutores;
- Dimensionar dissipadores de calor.

A atividade avaliativa deste objetivo de aprendizagem consistirá em apresentar ao estudante um circuito com semicondutores, diodos por exemplo, e solicitar que verifique se o componente utilizado está especificado corretamente para o circuito em questão.

Exemplo de atividade avaliativa:

1. Determinar a corrente em um circuito com diodo em corrente contínua.
2. Calcular a potência sobre um diodo ou transistor em corrente contínua
3. Verificar se determinado modelo de diodo ou transistor irá operar corretamente em um circuito de corrente contínua específico.
4. Calcular a potência e escolher um dissipador para um semicondutor em cc.

## 2 Componentes Passivos

### 2.1 Introdução

Os componentes passivos (resistores, indutores e capacitores) foram estudados ao longo de todo o curso de eletrônica. De todo modo, a título de revisão e destacando alguns pontos de interesse, apresentamos aqui uma breve revisão sobre estes componentes.

### 2.2 Resistores

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).

O símbolo do resistor fixo é mostrado na Figura 1, juntamente com a expressão da Lei de Ohm neste componente, mostrada para variação no tempo, em corrente contínua e em corrente alternada. A impedância de um resistor é igual a sua resistência, sem inserção de defasagem, como mostrado no diagrama fasorial da figura.

A tensão e a corrente em um resistor estão em fase, isto é, o resistor não altera a forma e nem a fase.

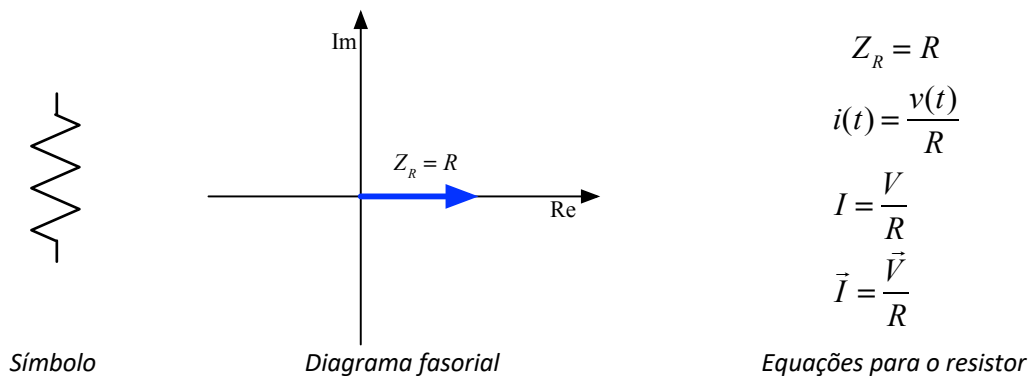


Figura 1 – Símbolo do resistor e suas principais características.

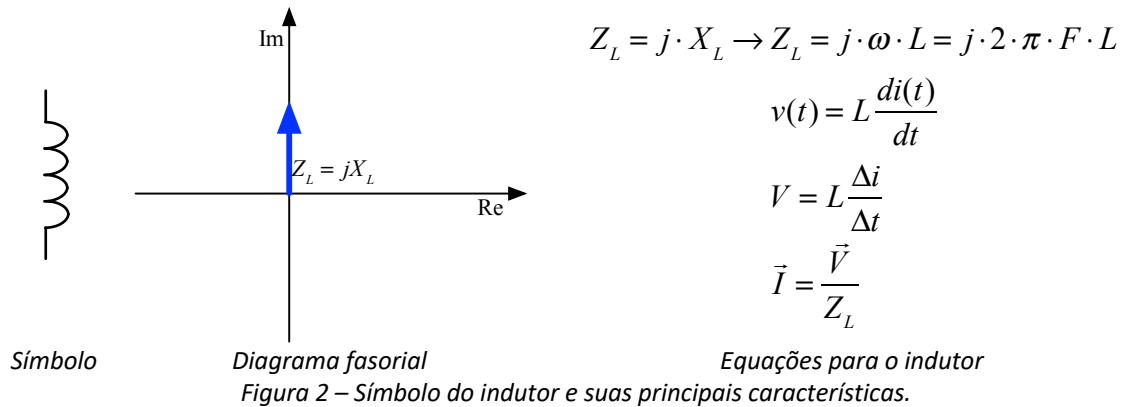
### 2.1 Indutores

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.

O símbolo do indutor é mostrado na Figura 2, juntamente com a expressão da Lei de Ohm neste componente, mostrada para variação no tempo, em corrente contínua e em corrente

alternada. A impedância de um indutor é igual a sua reatância indutiva, com a inserção do ângulo de defasagem, como mostrado no diagrama fasorial da figura.

A tensão e a corrente em um indutor não estão em fase, isto é, o indutor atrasa a corrente elétrica em 90° em relação a tensão elétrica.

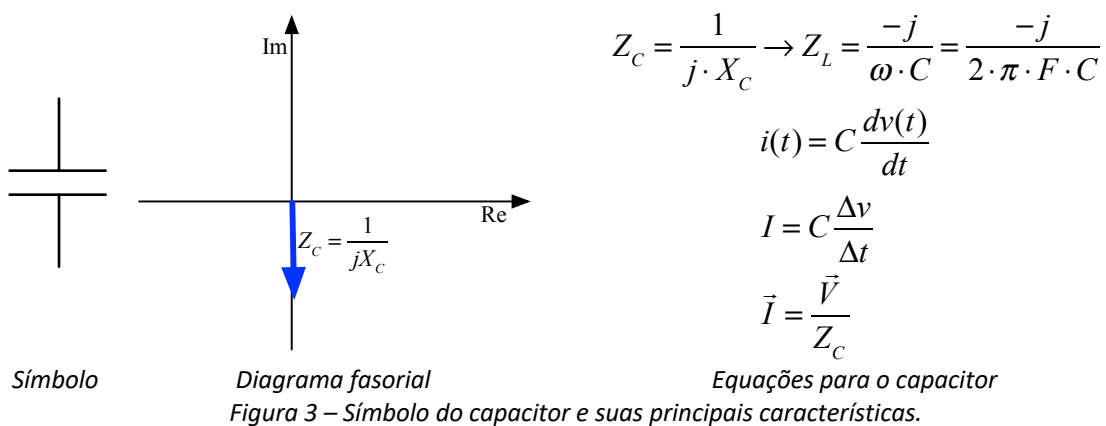


## 2.1 Capacitores

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.

O símbolo do capacitor é mostrado na Figura 3, juntamente com a expressão da Lei de Ohm neste componente, mostrada para variação no tempo, em corrente contínua e em corrente alternada. A impedância de um capacitor é igual a sua reatância capacitiva, com a inserção do ângulo de defasagem, como mostrado no diagrama fasorial da figura.

A tensão e a corrente em um capacitor não estão em fase, isto é, o capacitor adianta a corrente elétrica em 90° em relação a tensão elétrica.



## 3 Semicondutores

### 3.1 Introdução

Os semicondutores, de modo idêntico aos componentes passivos, também são estudados nos cursos de eletrônica. No entanto, alguns aspectos específicos dos componentes para eletrônica de potência não foram ressaltados naquelas disciplinas, por isso serão explicitados aqui.

### 3.2 Diodo Semicondutor

O diodo semicondutor, construído a partir de uma junção PN, é mostrado na Figura 4. A curva de resposta da corrente em função da tensão é mostrada na figura, onde se nota que um diodo tem a região de operação direta e reversa. 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.

As principais características que devem ser observadas ao escolher um diodo são:

- 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.

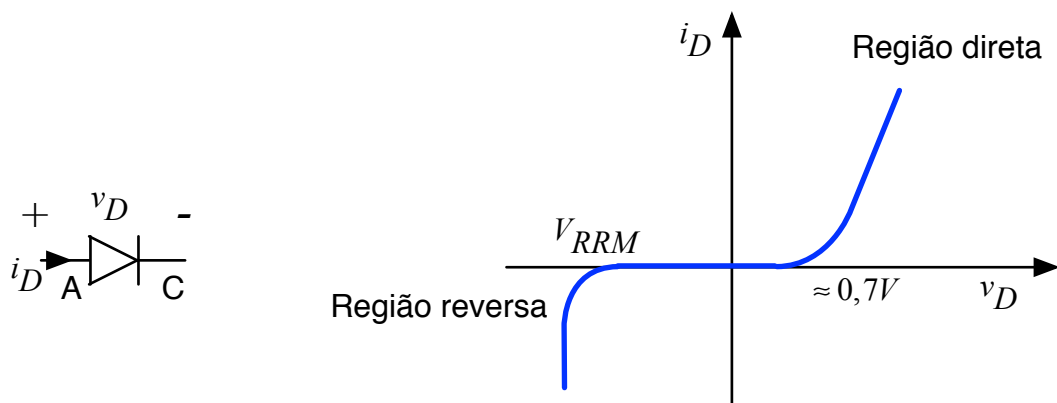
É importante ressaltar que um diodo bloqueia apenas quando a corrente no mesmo for nula. Em outras palavras, um diodo entra em condução quando estiver polarizado diretamente; mas bloqueia (deixa de conduzir) apenas se a corrente no circuito se tornar zero.

Além disso, os semicondutores possuem atrasos para entrar em condução e para bloqueiar, representados pelos tempos de comutação dos mesmos. Em especial com relação ao bloqueio de um diodo, devido as características construtivas dos mesmos, no momento do bloqueio a barreira de potencial precisa ser reconfigurada, isto é, os portadores de carga irão circular pelo diodo e pelo circuito para aumentar e inverter a tensão da barreira de potencial, da tensão direta até a tensão reversa, em geral igual a tensão da fonte. Este fenômeno é conhecido como



recuperação reversa de um diodo, sendo representado pela corrente de recuperação reversa, que pode atingir centenas de ampères, conforme o modelo de diodo. Em resumo, termos de recuperação reversa, os diodos podem ser classificados em:

- 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 (*silicone carbide*) que praticamente eliminam a recuperação reversa.



Símbolo

Curva I x V

Figura 4 – Símbolo do diodo semiconductor e suas principais características.

As perdas de condução de um diodo são calculadas por:

$$P_D = V_D \cdot I_D.$$

### 3.3 Tiristor

Os diodos semicondutores são componentes sem terminal de controle, isto é, entram em condução quando polarizados diretamente e bloqueiam quando a corrente nos mesmos se torna nula.

Os tiristores são componentes construídos a partir dos diodos de junção PN, mas com terminal de controle, chamado de gatilho (*gate*).

Os principais tipos de tiristores são:

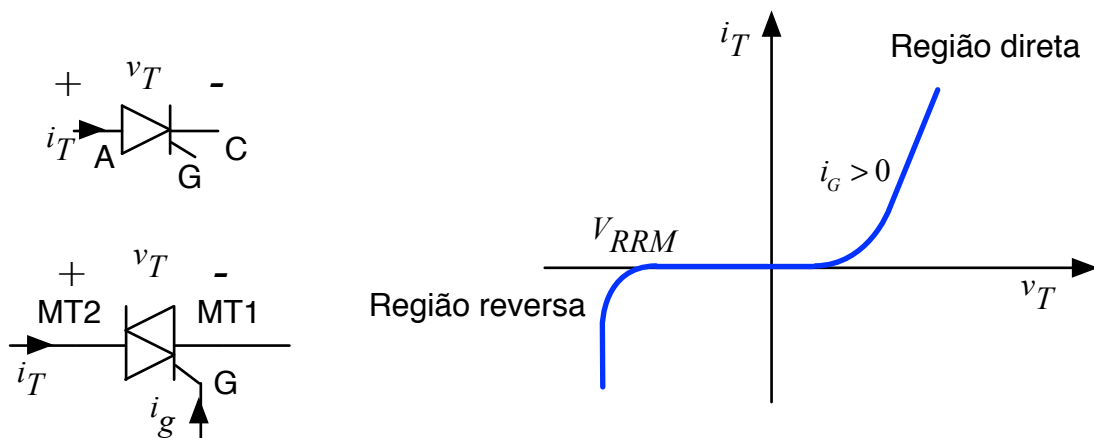
- SCR – diodo retificador de silício; é um diodo unidirecional em corrente com

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.

Os tiristores do tipo SCR ou TRIAC entram em condução quando diretamente polarizados e com corrente no terminal de controle (gatilho); sendo que bloqueiam quando sua corrente se anula. Isso significa que um tiristor necessita apenas de um pulso de corrente no gatilho para entrar em condução, pois assim permanecerá até a corrente zerar.

As características técnicas dos tiristores são semelhantes as dos diodos.



Símbolo do SCR e do TRIAC

Curva I x V

Figura 5 – Símbolo do diodo semiconductor e suas principais características.

As perdas de condução de um tiristor são calculadas por:

$$P_T = V_T \cdot I_T$$

### 3.4 Transistores

Os transistores foram os componentes que mais impactaram a área de eletrônica quando de sua invenção e comercialização, em virtude de permitirem construir equipamentos mais leves e com menor volume e operarem com baixas tensões e correntes, permitindo que fossem alimentados com baterias.

É importante destacar que os transistores possuem três regiões de operação:

- 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.

Assim, em eletrônica de potência se utilizam os transistores nas regiões de corte e saturação, para minizar as perdas e conseqüentemente a necessidade de uso de dissipador de calor.

Em eletrônica de potência se utilizam em maior escala três tecnologias de transistores, descritas a seguir:

- 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.

Os transistores bipolares de junção ainda são utilizados em algumas aplicações, mas perderam muito mercado após o desenvolvimento dos transistores de efeito de campo. A desvantagem dos transistores bipolares de junção é o fato de sua corrente de coletor ser controlada pela corrente de base, o que implica em altas correntes na entrada quando forem circuitos de alta potência. Por isso estes transistores deixaram de ser utilizados em eletrônica de potência.

Assim, para os transistores bipolares se tem:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

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

A tensão de saturação do transistor é  $V_{CE(sat)}$  e varia muito pouco com o aumento da corrente. Assim, a perda em um BJT é diretamente proporcional a corrente de coletor.

O transistor de efeito de campo (FET) foi a base para o desenvolvimento da tecnologia MOSFET, sendo este acionado por tensão no gatilho. Em termos de comportamento na parte de potência, o MOSFET é representado por uma resistência entre os terminais de dreno e da fonte (source), denominada de  $R_{DS}$ . Esta resistência tenderá a infinito quando o transistor está na região de corte (não condução) e cairá rapidamente para alguns ohm ou miliohm quando se ultrapassar a tensão de limiar (*threshold voltage*). Assim, se tem:

$$I_D = K \cdot V_G$$

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

Importante notar que a corrente no dreno depende da tensão de gatilho, independente de ser um transistor para baixa ou alta corrente. Esta é a principal vantagem do transistor MOSFET, pois simplifica o circuito de acionamento do mesmo. Já em termos de dissipação de potência, o MOSFET tem um comportamento ruim, visto que sua potência dependerá da corrente de dreno ao quadrado, ou seja, na medida que a corrente aumentar, a potência aumentará exponencialmente.

Em virtude disso foi desenvolvido o transistor IGBT, que é acionado por tensão e tem perdas determinadas de modo idêntico ao BJT:

$$I_C = K \cdot V_G$$

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

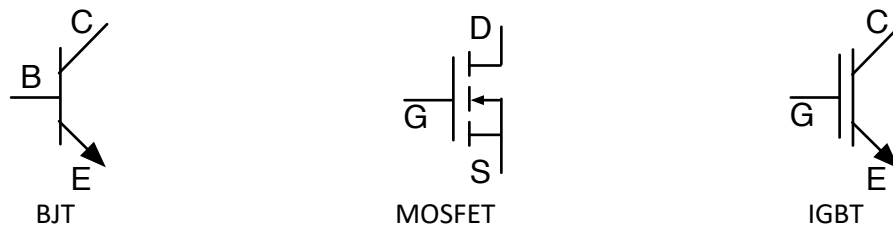


Figura 6 – Símbolo dos transistores.

Por fim, cabe comentar que em termos de velocidade de comutação, resultando na frequência de chaveamento do circuito, os transistores MOSFETs operam com valores muito superiores aos transistores IGBT e BJT, sendo portanto preferidos para desenvolvimento de equipamentos de baixo volume e peso. Por outro lado, na medida que a frequência de

chaveamento aumenta, também aumentam as perdas por comutação, necessitando de mais dissipadores, por exemplo.

## 4 Cálculo Térmico

### 4.1 Introdução

O cálculo térmico de semicondutores é fundamental para o correto e seguro funcionamento dos circuitos eletrônicos. Neste item do documento será apresentado, de maneira simplificada, o procedimento para verificar a necessidade de dissipador e seu dimensionamento.

### 4.2 Modelo Térmico

O modelo térmico utilizado para o cálculo térmico nos semicondutores está mostrado na Figura 7. As resistências mostradas são resistências térmicas, que representam a dificuldade de se retirar o calor da junção do componente. Os elementos deste modelo são:

- $T_j$  – temperatura na junção em graus Celsius;
- $T_c$  – temperatura na capsula 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 °C/W;
- $R_{cd}$  – resistência térmica entre cápsula e dissipador, em °C/W;
- $R_{da}$  – resistência térmica entre dissipador e ambiente, em °C/W.

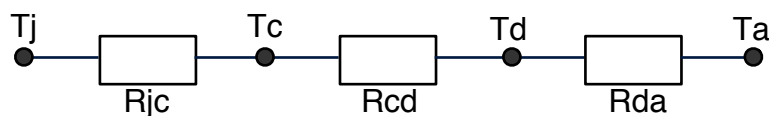


Figura 7 – Modelo térmico.

A principal expressão para o modelo apresentado na figura é:

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

Esta expressão mostra que a diferença de temperatura entre o ambiente e a junção é provocada pela potência processada no componente multiplicada pela resistência entre o ambiente e a junção.

## 4.1 Cálculo Térmico

A partir do modelo apresentado na Figura 7, pode-se calcular a temperatura na junção do semicondutor por:

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

Se o valor calculado for maior do que a temperatura suportada pelo componente, então será necessário empregar dissipador ou substituir o componente por outro.

Por exemplo, considerando um diodo 1N4007 com queda de tensão de 1,1 V, corrente de 0,9 A, temperatura ambiente de 30 °C; verifica-se que a temperatura na junção, para uma resistência térmica entre junção e ambiente de 50 °C/W será:

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

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

Neste caso, como o componente suporta 175 °C em sua junção, estaria tudo certo com o funcionamento do circuito e do diodo.

Por outro lado, considere um transistor 2N3055, pelo qual está circulando uma corrente de 10 A, com tensão de saturação entre coletor e emissor de 1,1 V, temperatura ambiente de 50 °C; verifica-se que a temperatura na junção, para uma resistência térmica entre junção e cápsula de 1,52 °C/W, e considerando que a cápsula estará com a mesma temperatura que o ambiente, será:

$$P_{BJT} = V_{CE(sat)} \cdot I_C = 1,1 \cdot 10 = 11W$$

$$T_j = T_c + R_{jc} \cdot P = 50 + 1,52 \cdot 11 = 66,72^\circ C$$

Esta temperatura é inferior a suportada pelo componente, que é de 200 °C.

Já se este componente estivesse operando na região ativa, nas mesmas condições, mas agora com tensão entre coletor e emissor de 5 V, por exemplo, então:

$$P_{BJT} = V_{CE(sat)} \cdot I_C = 10 \cdot 10 = 100W$$

$$T_j = T_c + R_{jc} \cdot P = 50 + 1,52 \cdot 100 = 202^\circ C$$

Neste caso se precisa usar dissipador ou ventilação, pois a temperatura na junção é superior a suportada pelo componente.

Por fim, considere um MOSFET IRF540 conduzindo uma corrente de 20 A, em um ambiente com 40 °C de temperatura. A resistência térmica entre junção e ambiente deste MOSFET é 62 °C/W e sua resistência entre dreno e fonte é de 44 mΩ. Inicialmente verifica-se a necessidade de dissipador:

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

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

Precisa-se usar dissipador, pois 1.1131,2 °C é muito superior aos 175 °C suportados pelo componente. Assim, considerando a resistência entre junção e cápsula como 1,15 °C/W, se tem:

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

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

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

Esta será a resistência térmica máxima do dissipador, que deverá ser escolhido com apropriada para resultar em uma temperatura na junção inferior a 175 °C.

## 5 Exercícios

### Exercícios Resolvidos

**ER 01.** Explique a diferença em termos de defasagem entre tensão e corrente para resistores, capacitores e indutores?

Os resistores não provocam defasagem entre a tensão e corrente elétrica. Os indutores atrasam a corrente em 90° em relação à tensão; já os capacitores adiantam a corrente em 90° em relação à tensão.

**ER 02.** Explique como um diodo entra em condução e como bloqueia.

Os diodos entram em condução quando diretamente polarizados e bloqueiam quando a corrente nos mesmos se anula.

**ER 03.** Qual a principal diferença de um tiristor para um diodo?

O tiristor tem um terminal de controle, sendo que o diodo não possui controle, entrando em condução quando estiver diretamente polarizado. Já o tiristor precisa estar diretamente polarizado

e ter corrente no gatilho.

**ER 04.** Em termos de velocidade de comutação, compare os transistores BJT, MOSFET e IGBT.

Os transistores com tecnologia MOSFET apresentam os menores tempos de chaveamento, então podem operar em altas velocidades, isto é, altas frequências. Após se tem o IGBT e por último o BJT, que é o componente mais lento dos transistores estudados.

**ER 05.** Qual a função de um dissipador de calor?

O dissipador de calor reduz a resistência térmica entre a junção (ponto mais quente) e o ambiente (ponto mais frio), fazendo com que a temperatura na junção fique dentro dos limites permitidos pelo componente.

## Exercícios Propostos

**EP 01.** O que é recuperação reversa de um diodo?

**EP 02.** Comente sobre a comutação dos tiristores, explicando como o mesmo entra em condução e como bloqueia.

**EP 03.** Qual a principal vantagem do MOSFET em relação ao BJT?

**EP 04.** Por que o IGBT e BJT são melhores que o MOSFET em termos de perdas?

**EP 05.** Explique como é escolhido um dissipador para um determinado semicondutor.

## 6 Atividade Avaliativa

### 6.1 Introdução – O que preciso saber

Ao final deste objetivo de aprendizagem são apresentadas cinco questões, que devem ser respondidas sem consultar o material. Se você conseguir responder as questões e conferir as respostas com o gabarito abaixo, parabéns, você concluiu com êxito este tópico. Caso tenha errado alguma questão, revise o conteúdo relacionado com a mesma e refaça a questão, procurando se concentrar mais desta vez, para acertar a mesma e fixar bem o conteúdo.

**AA 01.** Calcule a potência dissipada em um diodo com tensão direta de 1 V e pelo qual circula uma corrente de 1,5 A.

**AA 02.** O que são diodos de carbeto de silício (*silicon carbide*)?

**AA 03.** Por que os transistores BJT deixaram de ser usados em eletrônica de potência?



**AA 04.** Qual a diferença entre um SCR de um TRIAC?

**AA 05.** O que é resistência térmica?

AA 01. A potência será de  $1\text{ V} \times 1,5\text{ A} = 1,5\text{ W}$ .  
AA 02. Diodos de carbeto de silício são diodos que praticamente não tem recuperação reversa.  
AA 03. Em virtude da corrente de coletor ser proporcional a corrente de base; então para altas potências, se tem correntes de base muito elevadas.  
AA 04. O SCR é unidirecional em corrente, enquanto o TRIAC pode operar em corrente alternada.  
AA 05. É a dificuldade para retirar o calor da junção para o ambiente.