UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Docente: Rildo Afonso de Almeida

Eletrônica de Potência

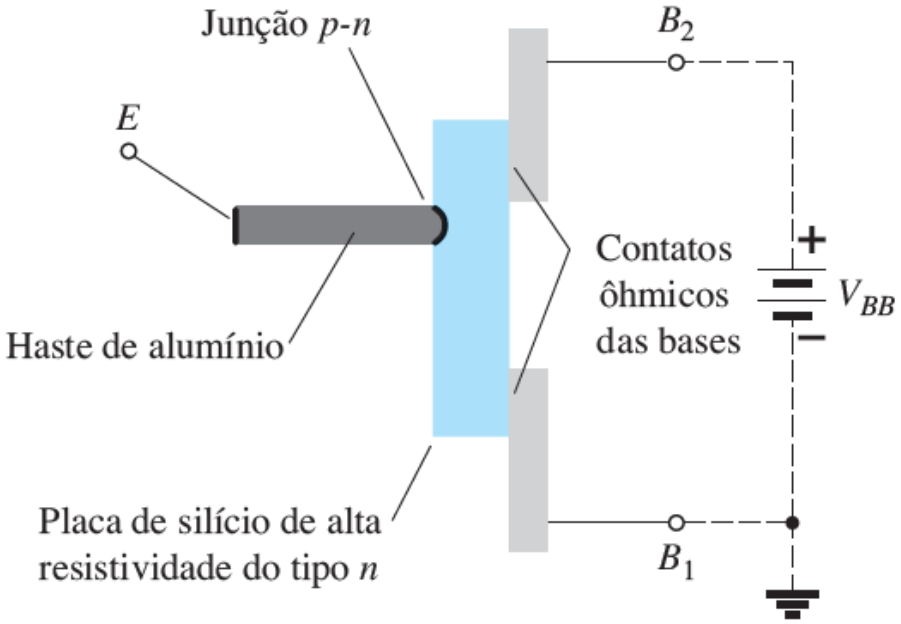
Transistor de unijunção

O recente interesse no transistor de unijunção (UJT), assim como para o SCR, tem aumentado a uma taxa extraordinária.

Embora tenha sido introduzido inicialmente em 1948, o dispositivo não esteve comercialmente disponível até 1952. O baixo custo por unidade, combinado às excelentes características do dispositivo, garantiu seu uso em uma ampla variedade de aplicações, entre elas osciladores, circuitos de disparo, geradores de dente de serra, controle de fase, circuitos de temporização, circuitos biestáveis e fontes reguladas de tensão ou corrente.

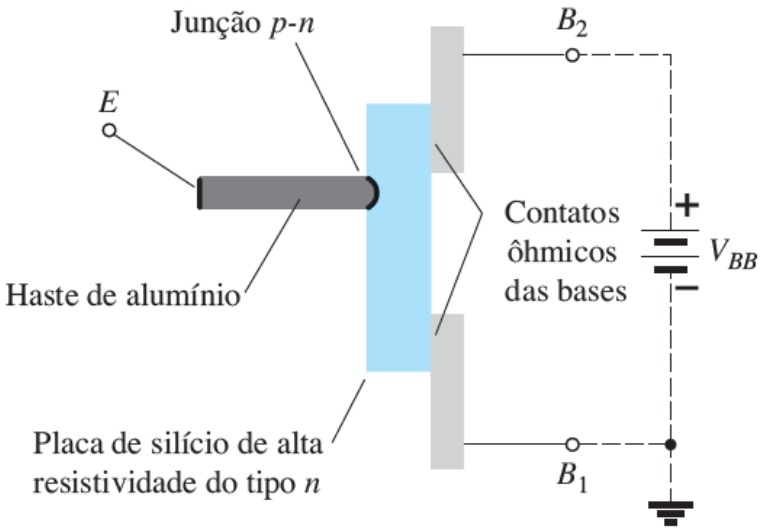
Transistor de unijunção

O UJT é um dispositivo de três terminais, com a construção básica da figura abaixo.



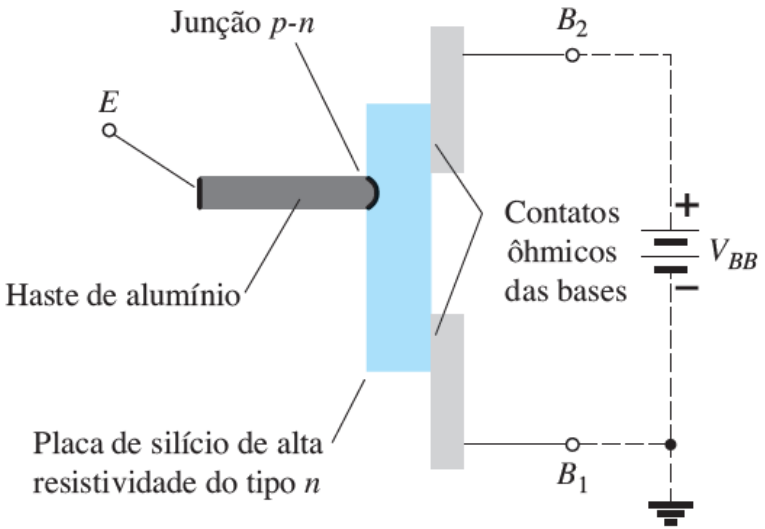
Transistor de unijunção

Uma placa de material de silício do tipo *n* levemente dopada (que proporciona uma característica de resistência elevada) tem dois contatos de base unidos a ambas as extremidades de uma superfície e uma haste de alumínio fundida à superfície oposta.



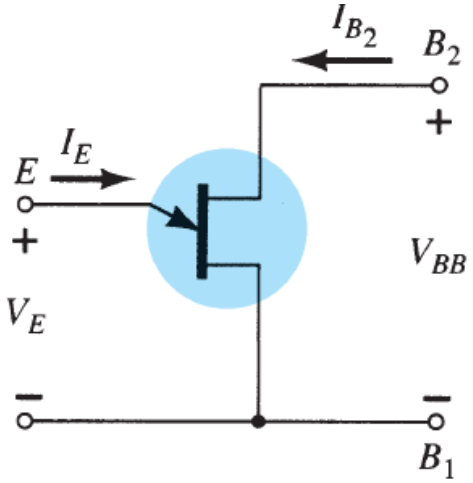
Transistor de unijunção

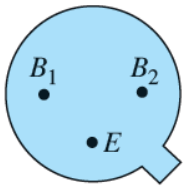
A junção *p-n* do dispositivo é formada entre a extremidade da haste de alumínio e a placa de silício do tipo *n*. A única junção *p-n* é responsável pela terminologia *unijunção*. Ele era chamado originalmente de diodo de base dupla devido à presença de dois contatos de base.



Transistor de unijunção

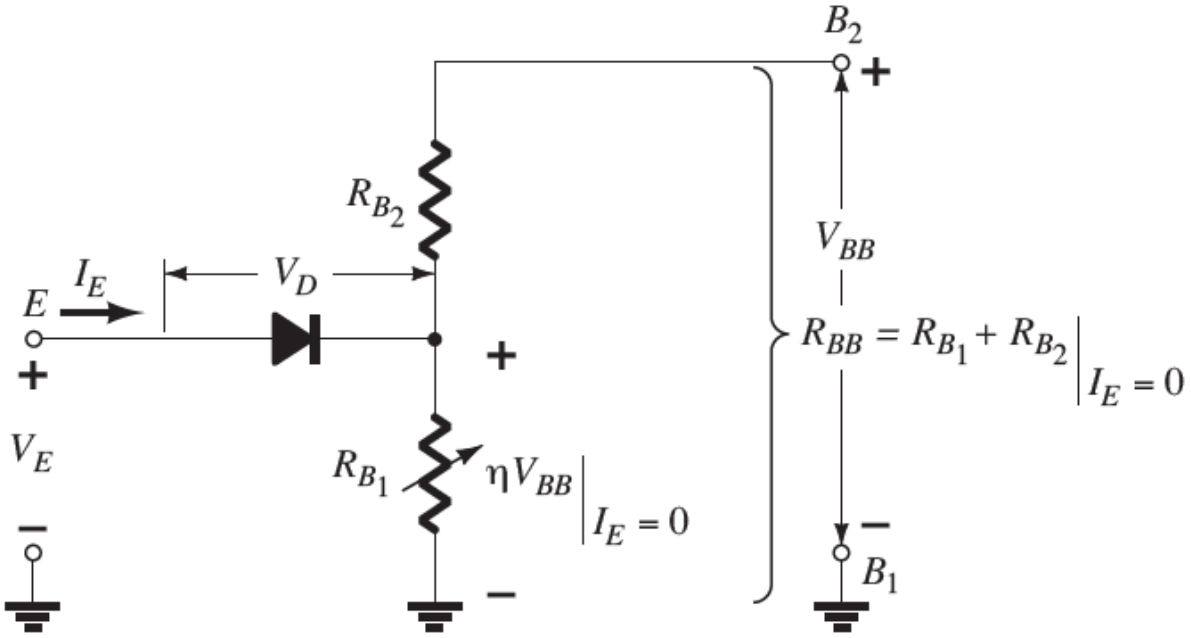
O símbolo do transistor de unijunção é mostrado na figura abaixo. Observe que o braço emissor é desenhado inclinado em relação à linha vertical, representando a placa de material do tipo *n*. A ponta da seta está voltada para a direção do fluxo de corrente convencional (lacunas) quando o dispositivo está polarizado diretamente, ativo ou em estado de condução.





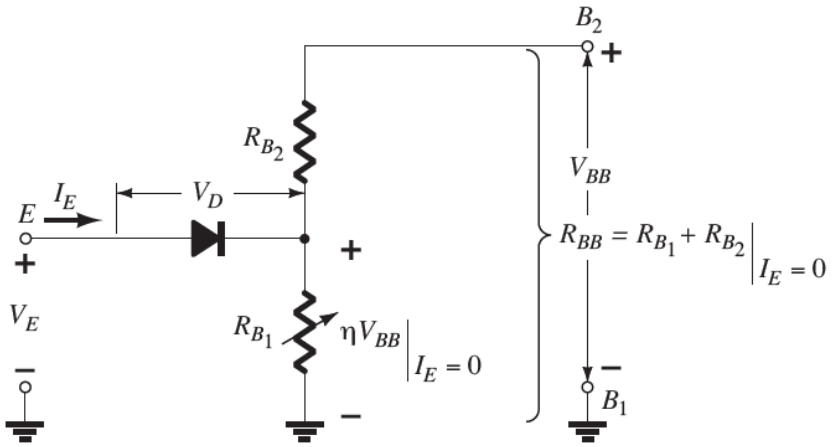
Transistor de unijunção

O circuito equivalente do UJT é mostrado na figura abaixo. Observe a relativa simplicidade desse circuito equivalente: dois resistores (um fixo, um variável) e um único diodo.



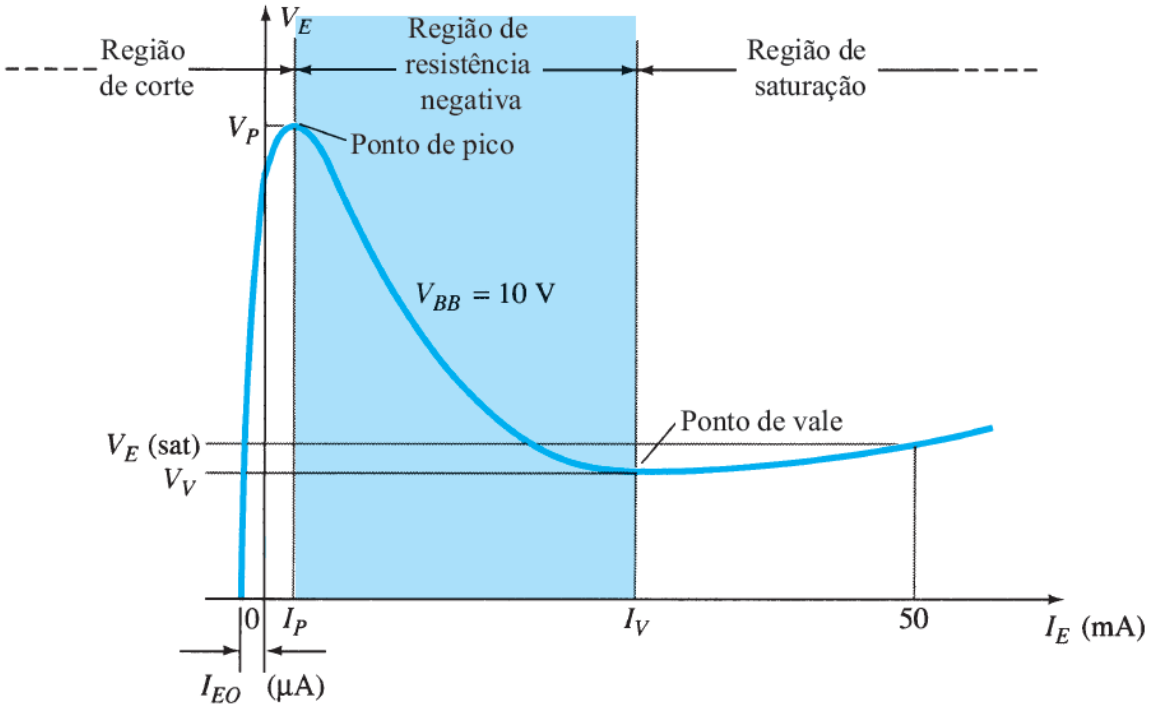
Transistor de unijunção

A resistência *RB*1 é mostrada como um resistor variável, uma vez que sua magnitude variará com a corrente *IE*. Na realidade, para um transistor de unijunção representativo, *RB*1 pode variar de 5 kΩ até 50 Ω para uma variação correspondente de *IE* entre 0 e 50 *μ*A. A resistência interbase *RBB* é a resistência do dispositivo entre os terminais *B*1 e *B*2 quando *IE* = 0.



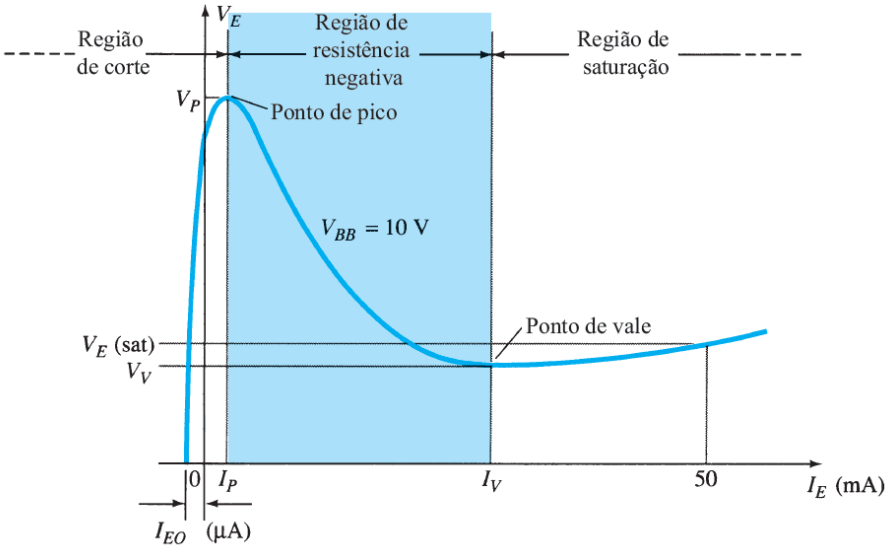
Transistor de unijunção

A curva característica de um transistor de unijunção representativo é mostrada para *VBB* = 10 V na figura.



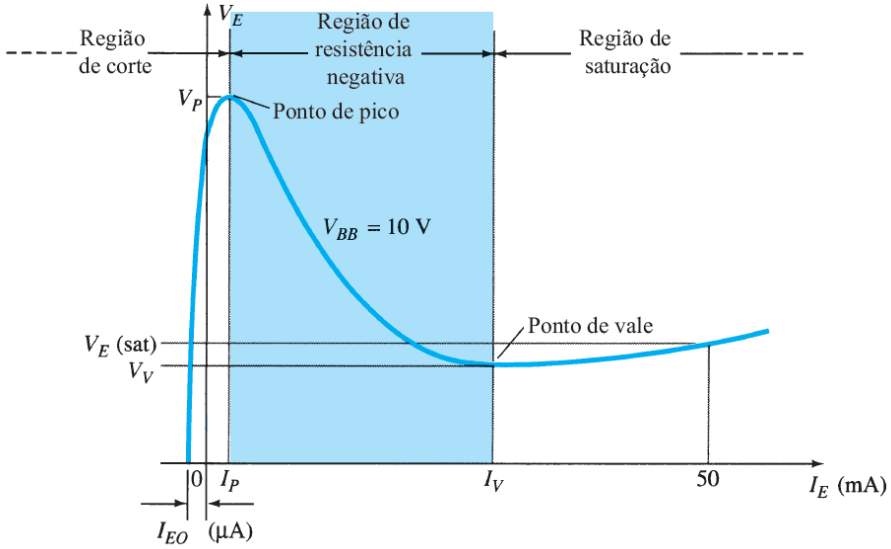
Transistor de unijunção

Observe que, para potenciais de emissor à esquerda do ponto de pico, o valor de I_E jamais é maior do que I_{EO} (medida em microampères). A corrente I_{EO} pode ser comparada à corrente de fuga reversa I_{CO} do transistor bipolar convencional.



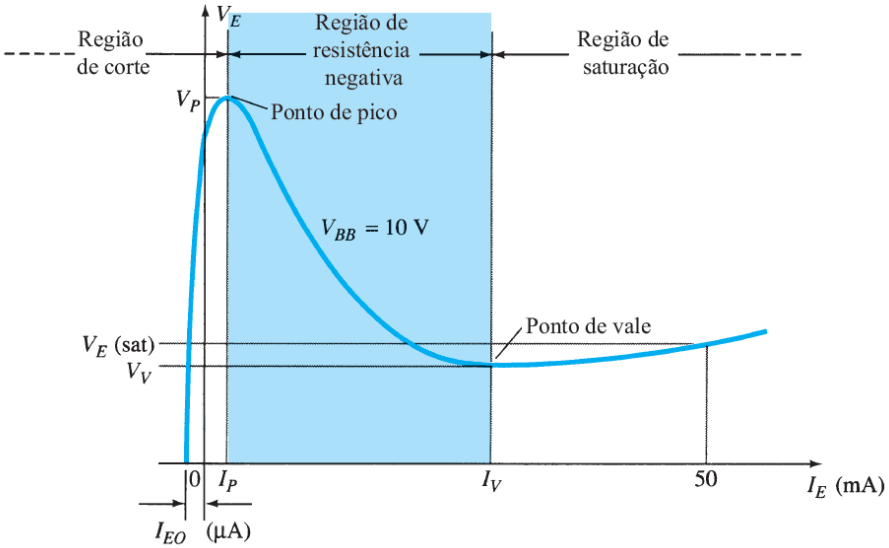
Transistor de unijunção

Essa região, como mostra a figura, é chamada de região de corte. Quando a condução é estabelecida em $V_E = V_P$, o potencial de emissor V_E cairá com o aumento em I_E. Isso corresponde ao decréscimo da resistência R_{B1} pelo aumento da corrente I_E, como discutido anteriormente.



Transistor de unijunção

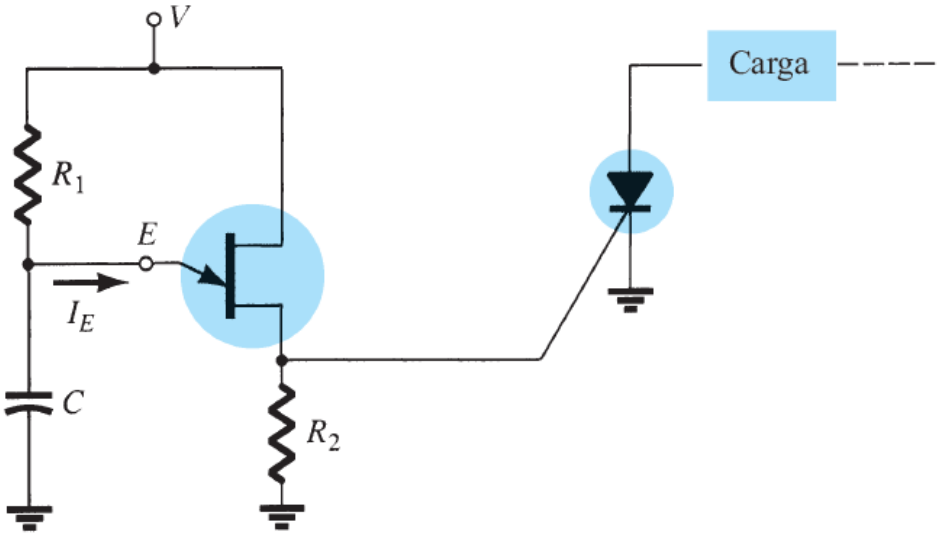
Esse dispositivo tem, portanto, uma região de *resistência negativa* que é estável o suficiente para ser usada com muita segurança nas áreas de aplicação já listadas.



Transistor de unijunção

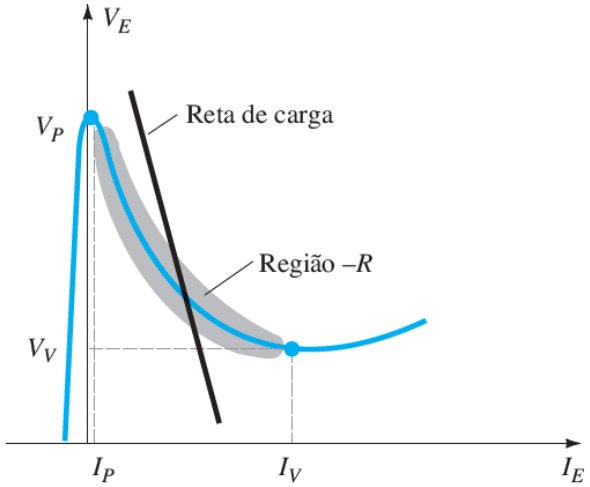
Disparo de SCR

Uma aplicação bastante comum do UJT consiste no disparo de outros dispositivos, como o SCR. Os elementos básicos desse circuito de disparo são mostrados na Figura.



Transistor de unijunção
Disparo de SCR

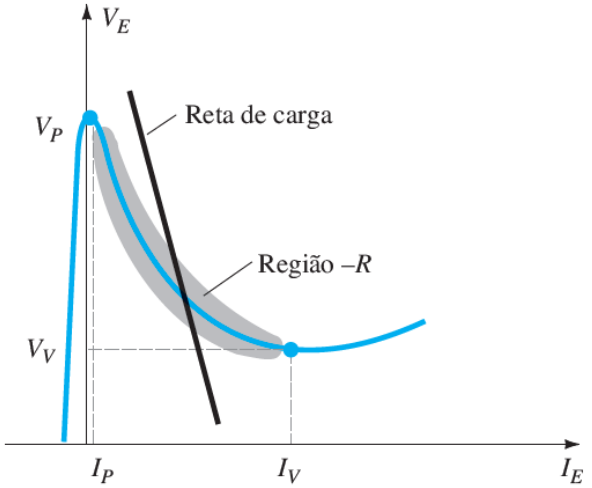
O resistor R_1 deve ser escolhido para assegurar que a reta de carga do circuito intercepte a curva do dispositivo na região de resistência negativa, isto é, à direita do ponto de pico, porém à esquerda do ponto de vale, como mostra a figura.



Transistor de unijunção
Disparo de SCR

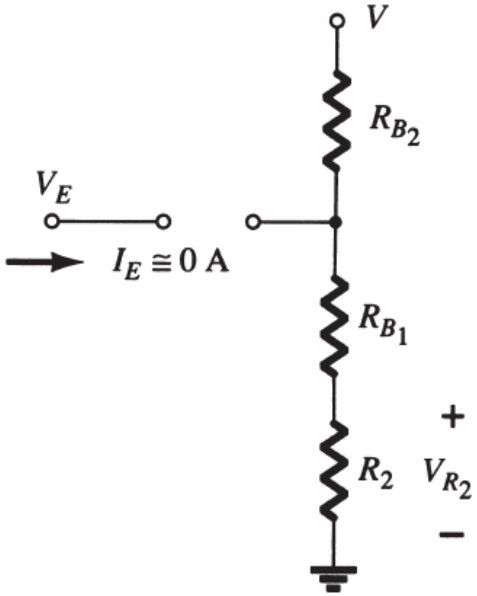
O resistor R_1 deve ser escolhido para assegurar que a reta de carga do circuito intercepte a curva do dispositivo na região de resistência negativa, isto é, à direita do ponto de pico, porém à esquerda do ponto de vale, como mostra a figura.

Se a reta de carga deixar de passar à direita do ponto de pico, o dispositivo não poderá ligar.



Transistor de unijunção
Disparo de SCR

A resistência R_2 escolhida deve ser pequena o suficiente para garantir que o SCR não seja ligado pela tensão V_{R2} da figura quando $I_E \cong 0$ A.

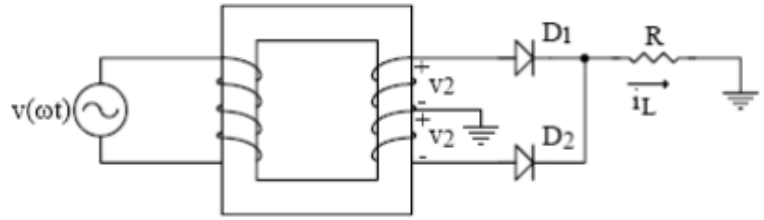


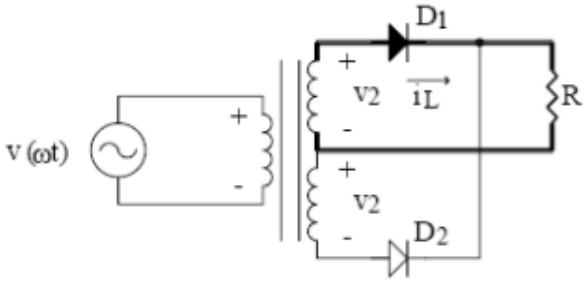
Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

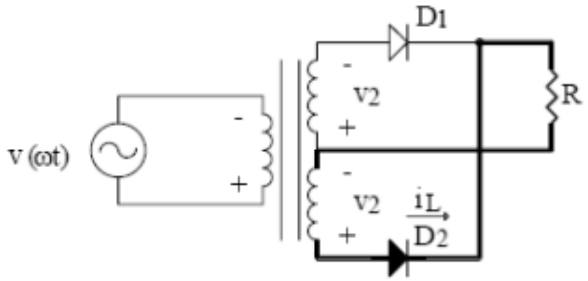
Carga resistiva pura:

Circuito do retificador





Primeira etapa de funcionamento

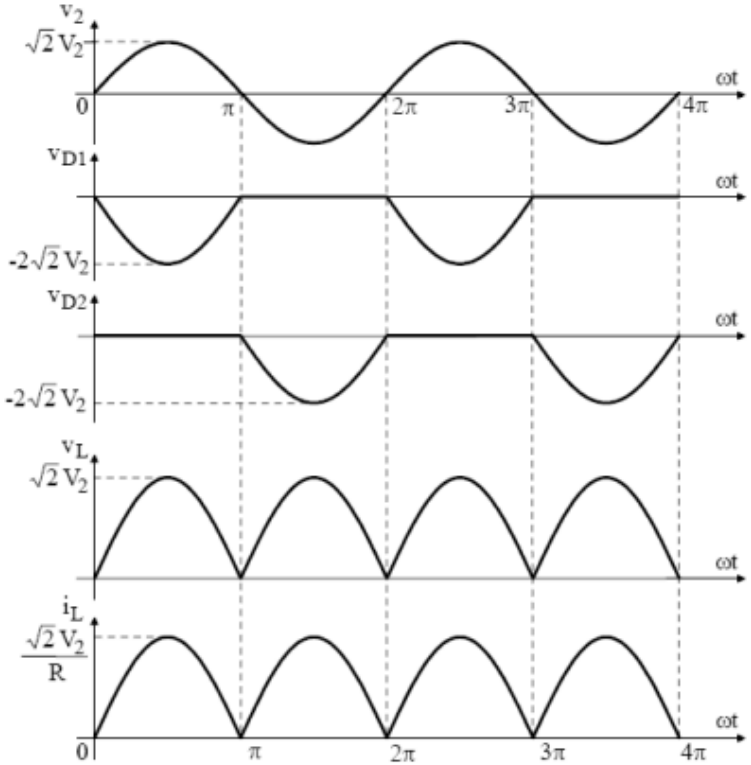


Segunda etapa de funcionamento

Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga resistiva pura:



Retificadores Monofásicos Não-Controlados

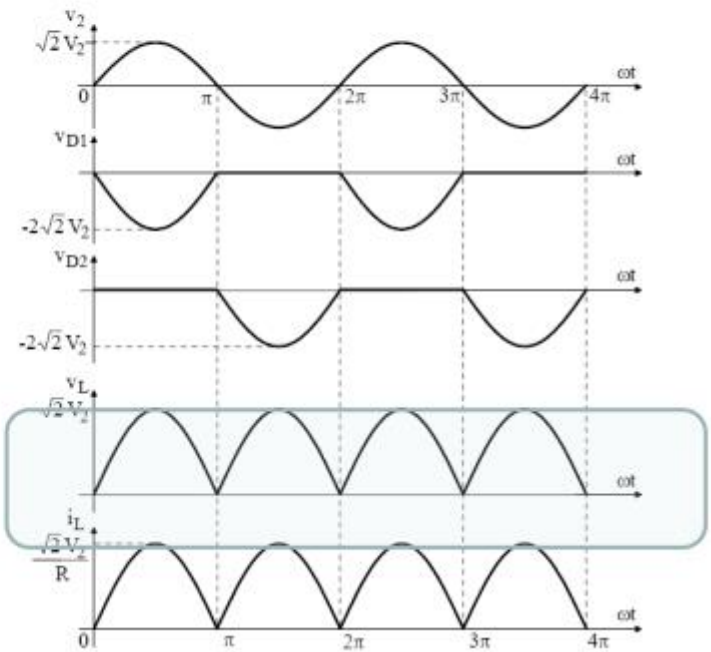
Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga resistiva pura:

Tensão média na carga:

$$v(\omega t) = \sqrt{2} \cdot V_2 \cdot sen(\omega t)$$

$$\boxed{V_{Lmed} = \frac{2\sqrt{2} \cdot V_2}{\pi} \cong 0{,}9 \cdot V_2}$$



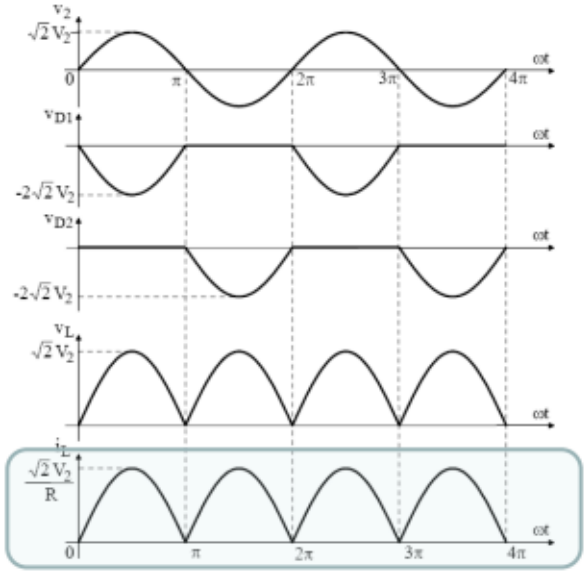
Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga resistiva pura:

Corrente média na carga:

$$I_{Lmed} = \frac{2\sqrt{2}\cdot V_2}{\pi \cdot R} \cong \frac{0{,}9\cdot V_2}{R} = \frac{V_{Lmed}}{R}$$



Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga resistiva pura:

Esforços nos diodos (em cada um):

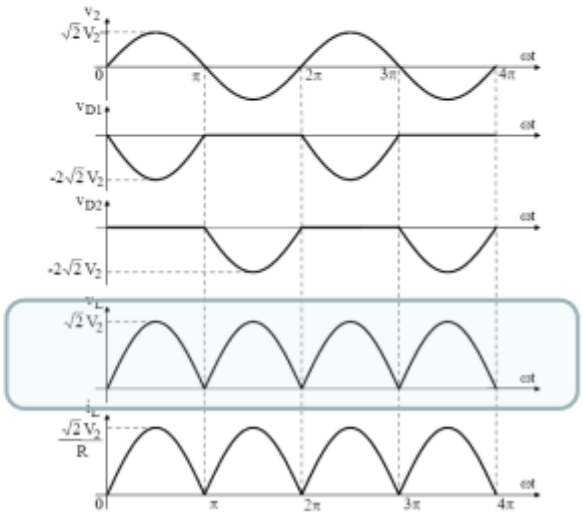
$$V_{Dp} = 2\sqrt{2} \cdot V_2$$

$$I_{Dp} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_2}{R}$$

$$I_{Dmed} = \frac{2\sqrt{2} \cdot V_2}{\pi \cdot R}$$

$$I_{Def} = \frac{V_2}{\sqrt{2} \cdot R} \cong 0,707 \frac{V_2}{R}$$

- Tensão de pico reversa;
- Corrente de pico;
- Corrente média;
- Corrente eficaz.



Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga resistiva pura:

Fator de potência:

$$FP = \frac{P}{S}$$

$$\text{Fator de potência} = \frac{\text{Potência ativa}}{\text{Potência aparente}}$$

$$S = V_{ef} \cdot I_{ef}$$

$$P = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos(\theta)$$

$$P = R \cdot I_{ef}^{2}$$

Fator de deslocamento

Demonstrar que:

$$FP = 1$$

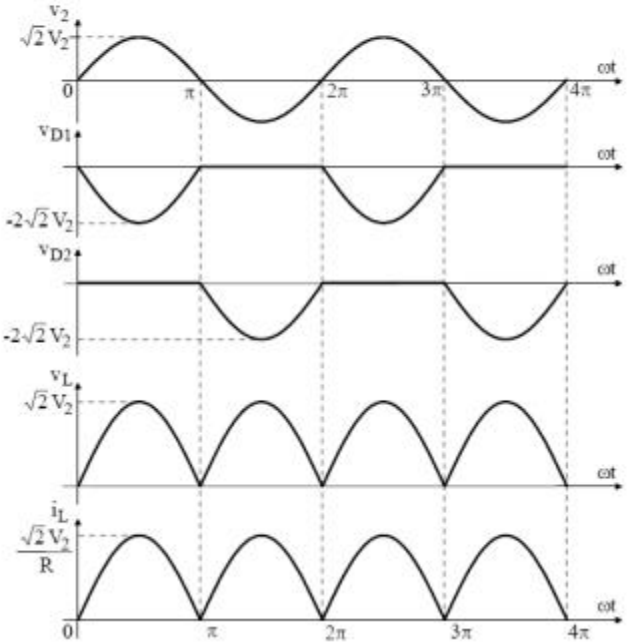
Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga resistiva pura:

Ângulo de condução dos diodos:

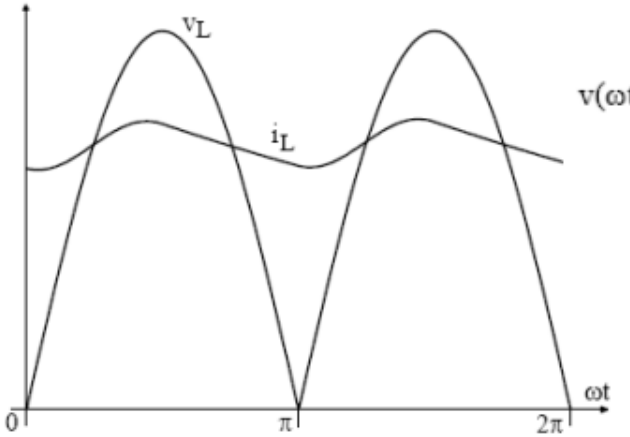
$$\beta = \pi = 180^o$$



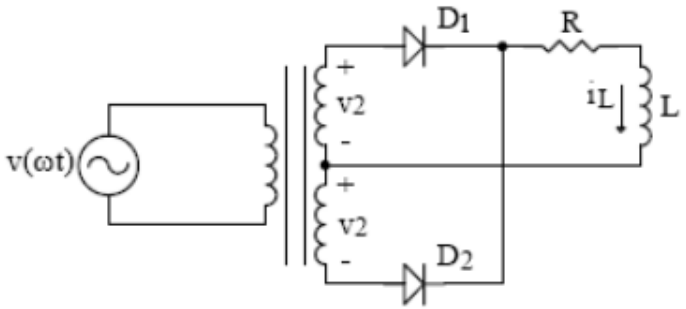
Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

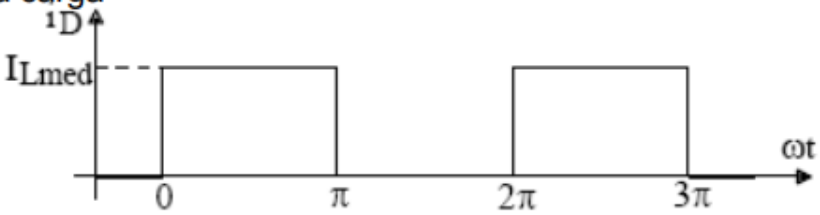
Carga RL:



Tensão e corrente na carga



Circuito do retificador



Corrente nos diodos

Retificadores Monofásicos Não-Controlados

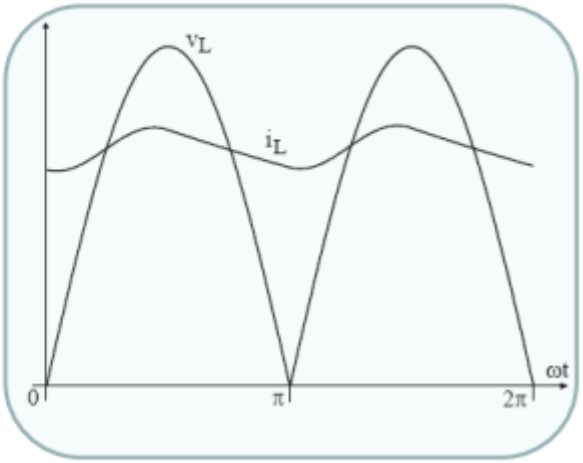
Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga RL:

Tensão média na carga:

$$v(\omega t) = \sqrt{2} \cdot V_2 \cdot sen(\omega t)$$

$$\boxed{V_{Lmed} = \frac{2\sqrt{2} \cdot V_2}{\pi} \cong 0{,}9 \cdot V_2}$$



Retificadores Monofásicos Não-Controlados

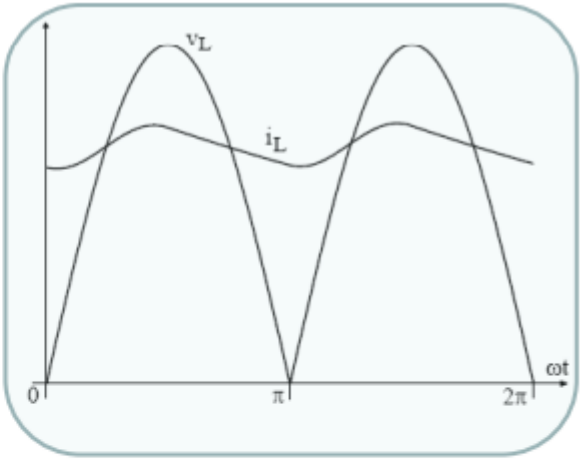
Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga RL:

Corrente média na carga e em cada diodo:

$$I_{Lmed} = \frac{2\sqrt{2}\cdot V_2}{\pi \cdot R} = \cong 0{,}9\frac{V_2}{R} = \frac{V_{Lmed}}{R}$$

$$I_{Dmed} = \frac{0{,}45\cdot V_2}{R}$$



Se a condução for contínua e a corrente possuir pouca ondulação, ou seja, a constante de tempo do circuito for muito grande, então pode-se considerar:

$$I_{Lef} \approx I_{Lmed}$$

Retificadores Monofásicos Não-Controlados

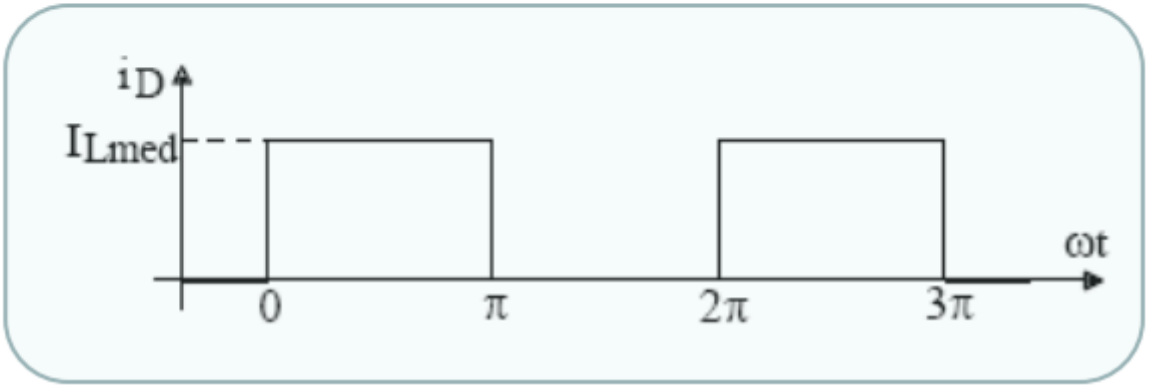
Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga RL:

Corrente eficaz em cada diodo:

$$I_{Def} = 0,707 \cdot I_{Lmed}$$

Para condução contínua e corrente com pouca ondulação, ou seja, se a constante de tempo do circuito for muito grande.



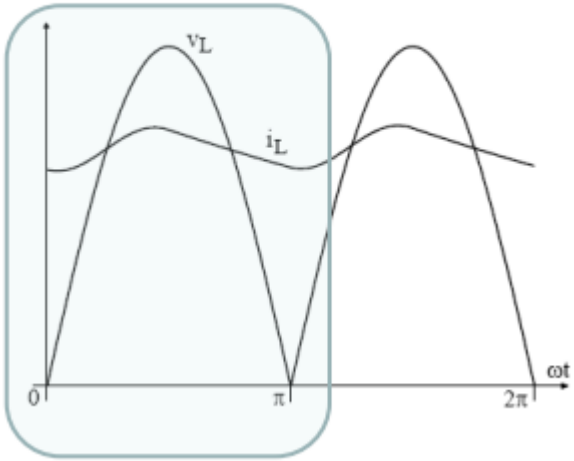
Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa com ponto médio

Carga RL:

Ângulo de condução dos diodos:

$$\beta = \pi = 180^o$$

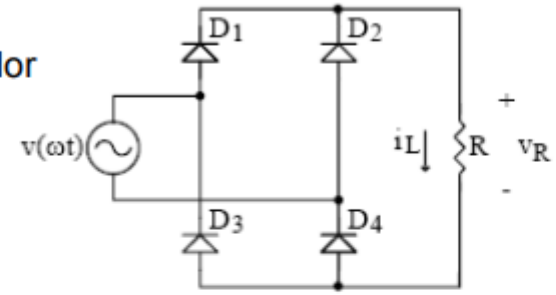


Retificadores Monofásicos Não-Controlados

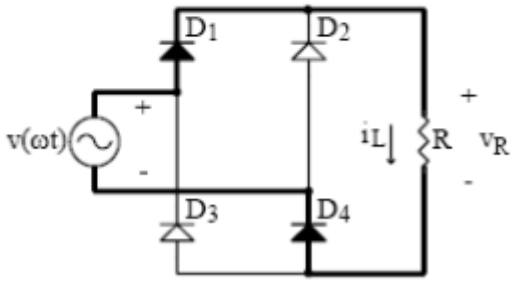
Retificador 1Φ de onda completa em ponte

Carga resistiva:

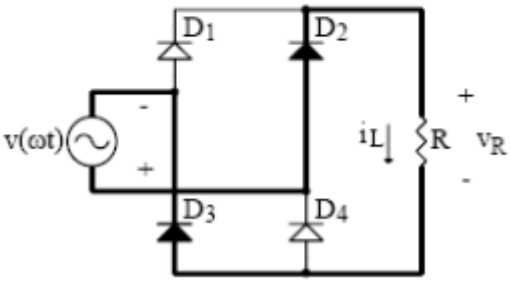
Circuito do retificador



(a)



(b)



(c)

Etapas de operação

Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa em ponte

Carga resistiva:

Tensão e corrente média na carga:

$$V_{Lmed} = \frac{2\sqrt{2} \cdot V_2}{\pi} \cong 0{,}9 \cdot V_2$$

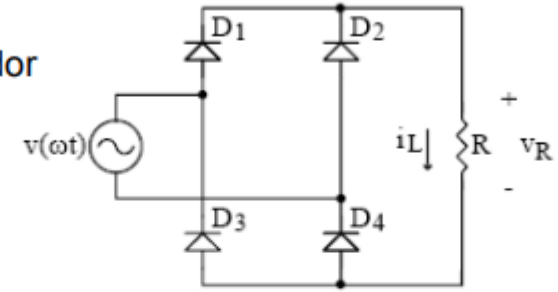
$$I_{Lmed} = \frac{2\sqrt{2} \cdot V_o}{\pi R} \cong \frac{0{,}9 \cdot V_o}{R}$$

Retificadores Monofásicos Não-Controlados

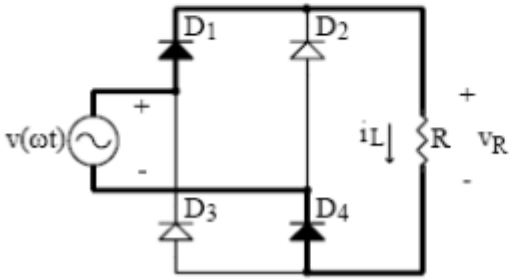
Retificador 1Φ de onda completa em ponte

Carga RL = Carga resistiva pura:

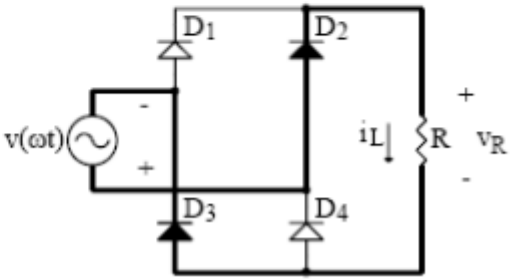
Circuito do retificador



(a)



(b)



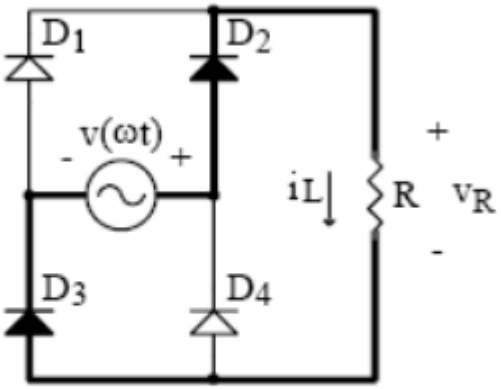
(c)

Retificadores Monofásicos Não-Controlados

Retificador 1Φ de onda completa em ponte

Tensão de pico reversa nos diodos:

$$V_{Dp} = \sqrt{2} \cdot V_2$$



Bibliografia Básica

1 - LANDER, C. W. Eletrônica Industrial – Teoria e Aplicações. São Paulo: McGraw Hill,1988.
2 - RASHID, M. H. Eletrônica de Potência – Circuitos, dispositivos e aplicações. Makron Books, 1999.
3 - RASHID, M. H. Eletrônica de Potência. Pearson, 1999.

Bibliografia Complementar

1 - BARBI, I. Eletrônica de Potência. 2. ed. Universidade Federal de Santa Catarina, Série Didática, 2000.
2 - AHMED, A. Eletrônica de Potência. Pearson, 2000.
3 - GIMENEZ, S. P.; ARRABAÇA, D. A. Eletrônica de Potência. Conversores de Energia CA/CC. Teoria, Prática e Simulação. Érica/ Saraiva, 2015.
4 - HART, D. W. Eletrônica de Potência - Análise e Projetos de Circuitos. Mc Graw Hill. Amgh Editora.
5 - ERICSON, R. W.; MAKSIMOVIC, Dragan. Fundamentals of Power Electronics. 2nd Edition, eBook
6 - BARBI, I. Eletrônica de Potência. 2. ed. Universidade Federal de Santa Catarina, Série Didática, 2000.