

Aula 03 – Circuitos e Retificadores com diodos

Parte 1 - Retificadores monofásicos, trifásicos e polifásicos



Prof. Heverton Augusto Pereira
heverton.pereira@ufv.br

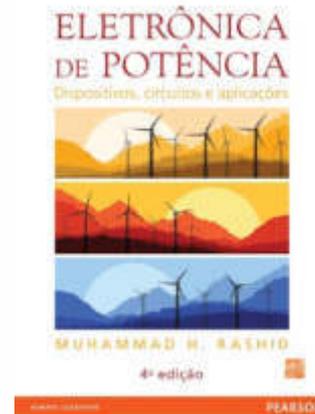


Introdução

		Tópicos
01	-	Introdução
02	-	Diodos de potência e circuitos RLC chaveados
03	-	Retificadores com diodos
04	-	Transistores de potência
05		Conversores CC-CC
06		Tiristores
07		Retificadores controlados
08	-	Conversores CC-CA
09	-	Controladores de tensão CA
10	-	Inversores de pulso ressonante

Capítulo 3 do Livro

M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014

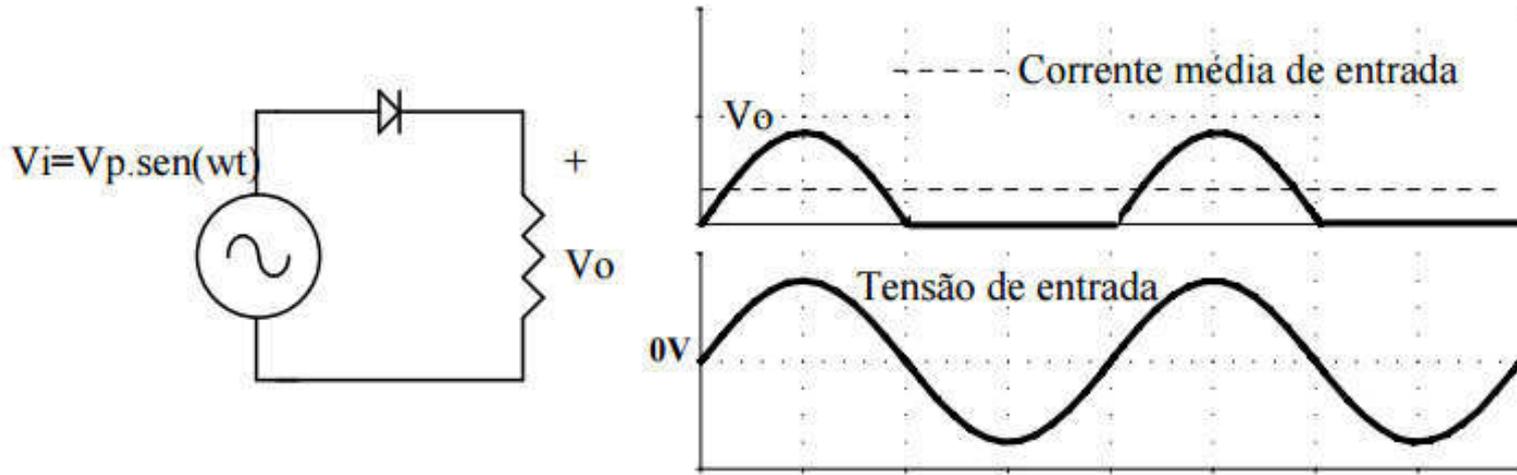


Introdução

- Um retificador é um circuito que converte um sinal CA em um sinal unidirecional, ou seja, é um conversor CA-CC.
- Dependendo do tipo de alimentação de entrada, os retificadores são classificados em:
 - monofásicos e
 - trifásicos.

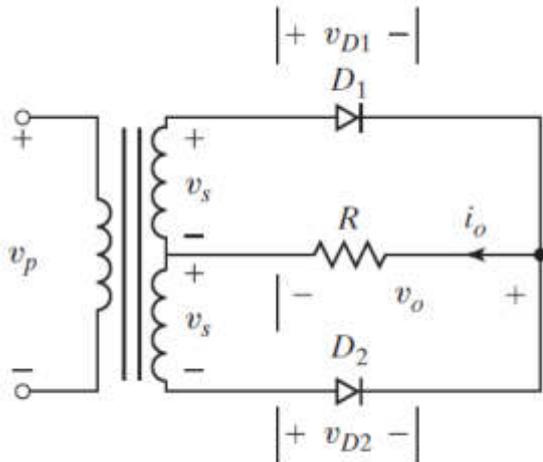
Retificadores monofásicos de meia onda

- Apenas um diodo.

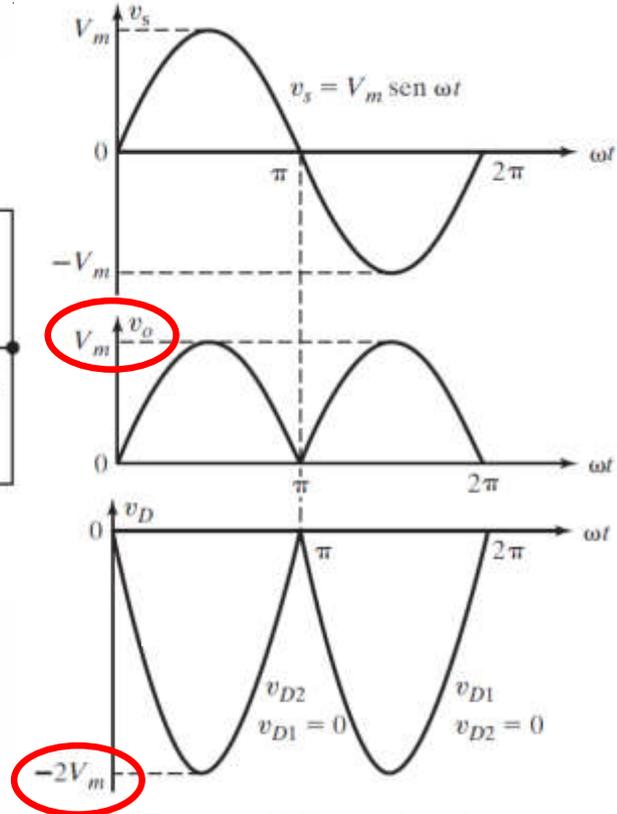


Retificadores monofásicos de onda completa

- Retificador de onda completa com transformador com derivação central:



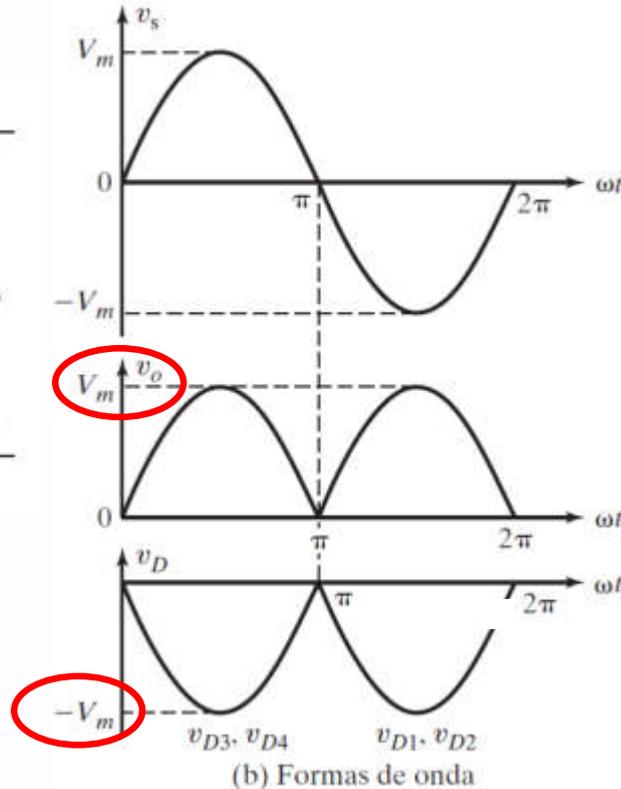
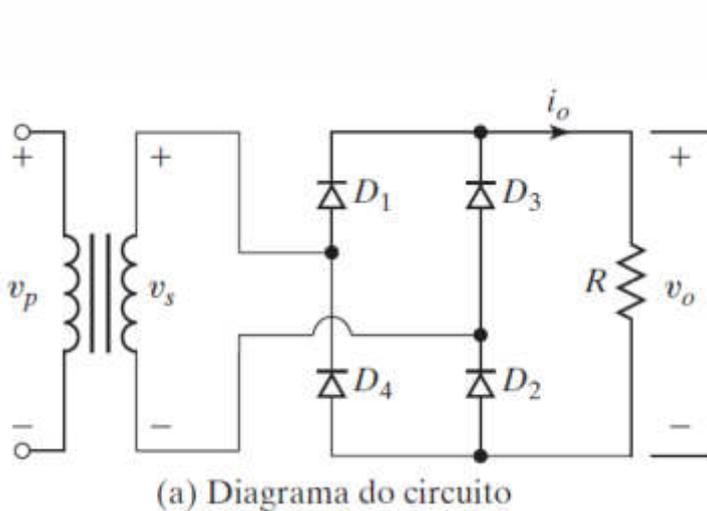
(a) Diagrama do circuito



(b) Formas de onda

Retificadores monofásicos de onda completa

- Retificador de onda completa em ponte:



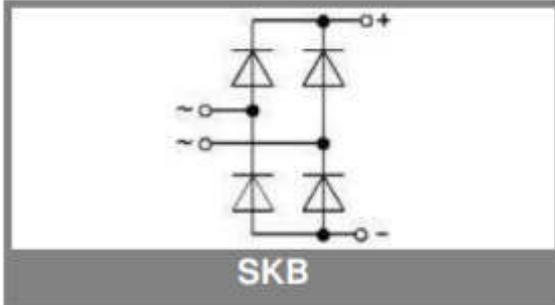
Retificadores monofásicos de onda completa



- SKB35

V_{RSM}^* V	V_{RRM} V	V_{VRMS} V	$I_D = 35 \text{ A } (T_c = 29 \text{ }^\circ\text{C})$ Types	C_{max} μF	R_{min} Ω
400		125	SKB 35/04		0,3
800		250	SKB 35/08		0,7
1200		400	SKB 35/12		1
1600		500	SKB 35/16		1,5

Symbol	Conditions	Values	Units
I_D	$T_a = 45 \text{ }^\circ\text{C}$, P1/120 black	22	A
	$T_a = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, chassis ²⁾	13,5	A
I_{DCL}	$T_a = 45 \text{ }^\circ\text{C}$, P1/120 black	18,5	A
	$T_a = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, chassis ²⁾	12	A
	$T_a = 45 \text{ }^\circ\text{C}$, isolated ¹⁾	3,9	A

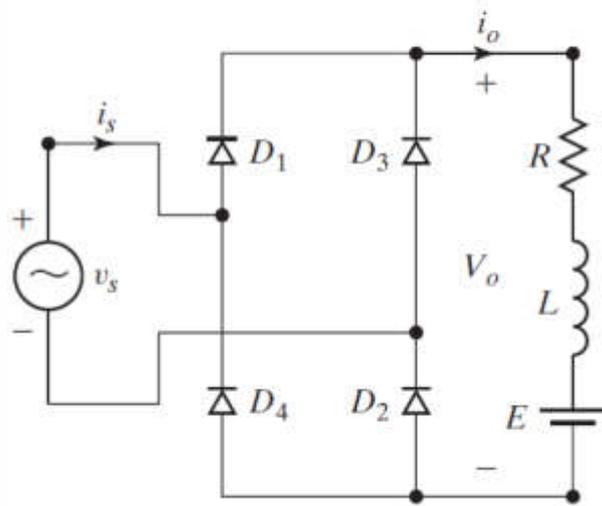


- <https://www.semikron.com/products/product-lines/rectifier-bridges.html>

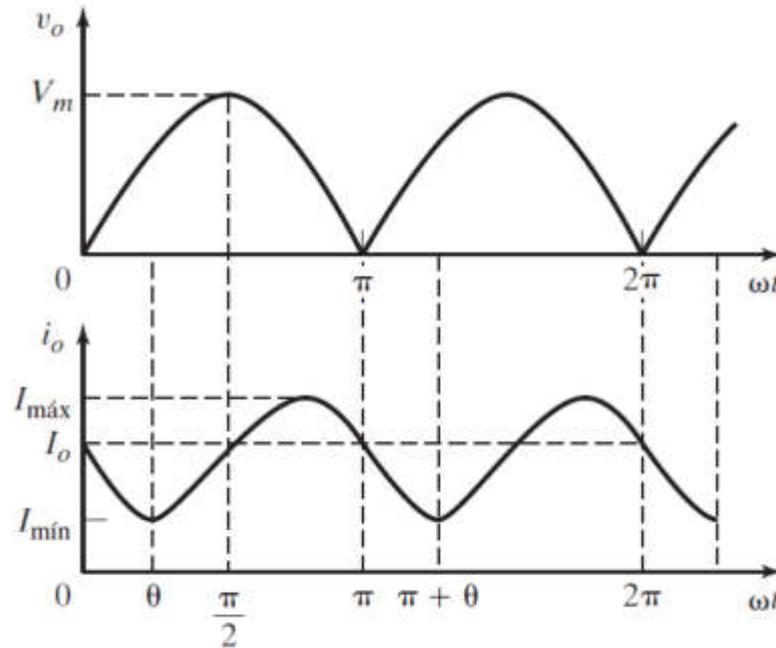
Retificadores monofásicos de onda completa com carga RL

2 condições:

- Modo contínuo
- Modo descontínuo

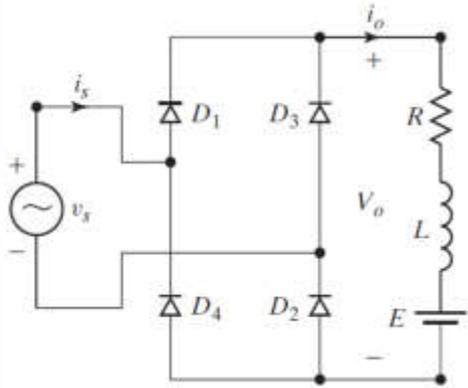


(a) Circuito



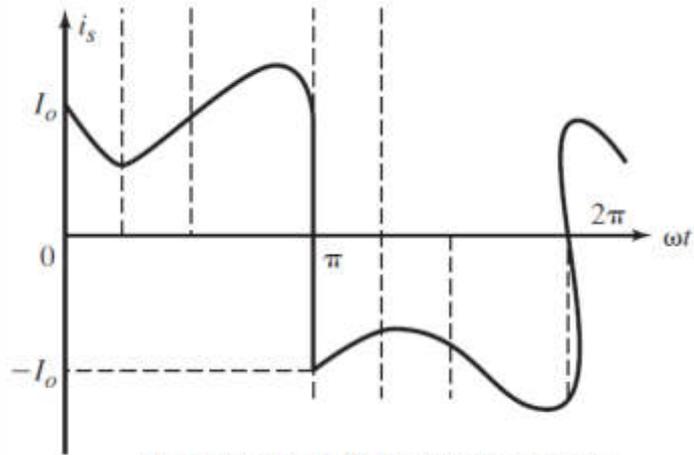
(b) Formas de onda

Retificadores monofásicos de onda completa com carga RL

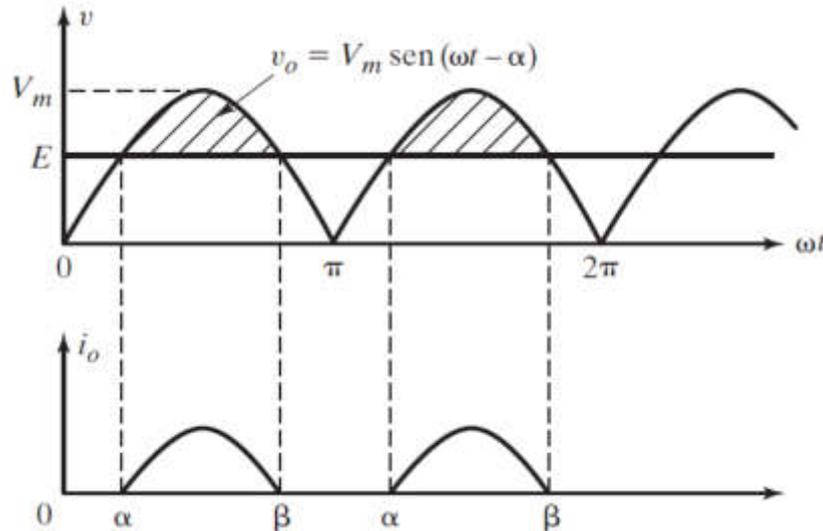


2 condições:

- Modo contínuo
- **Modo descontinuo**

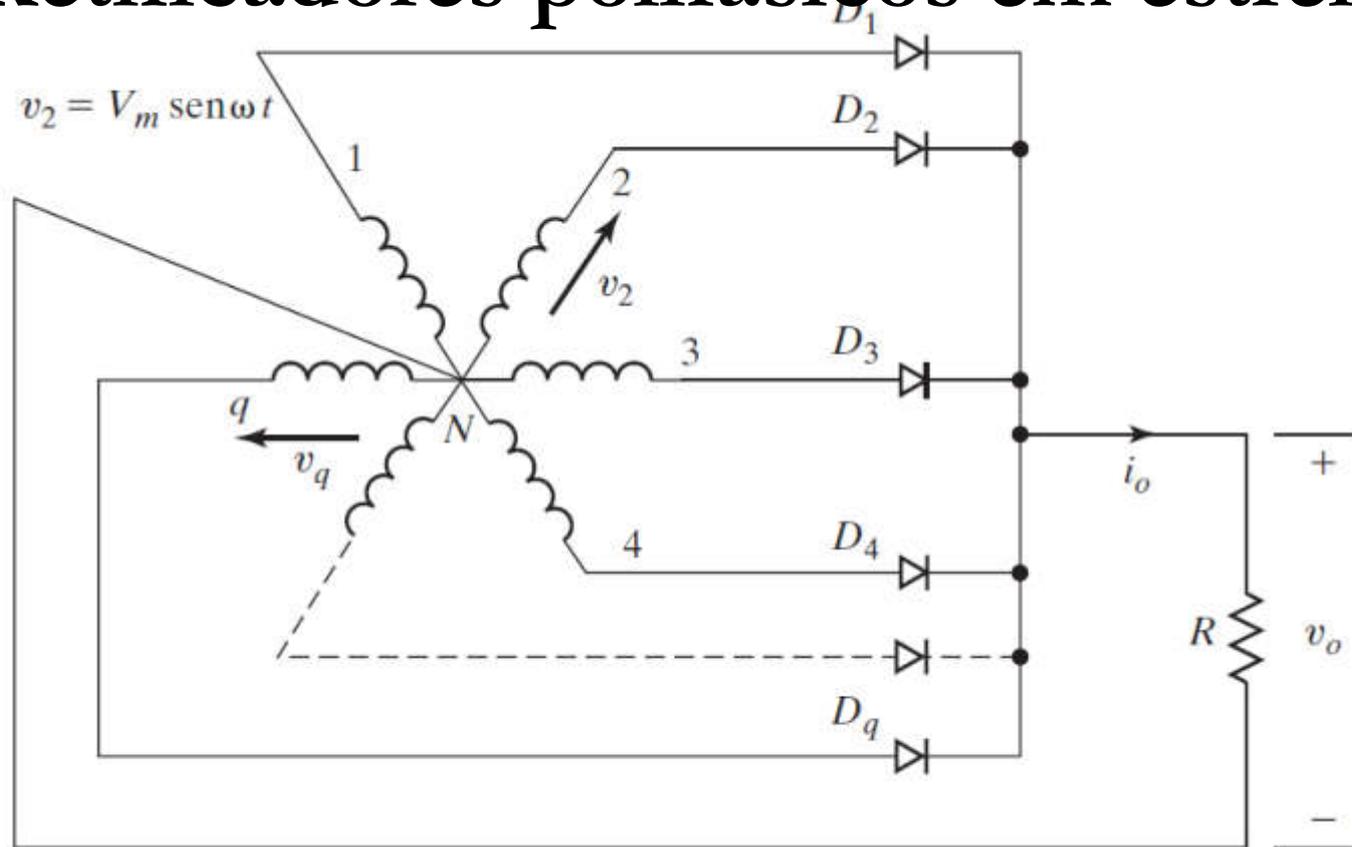


(c) Corrente da linha de alimentação



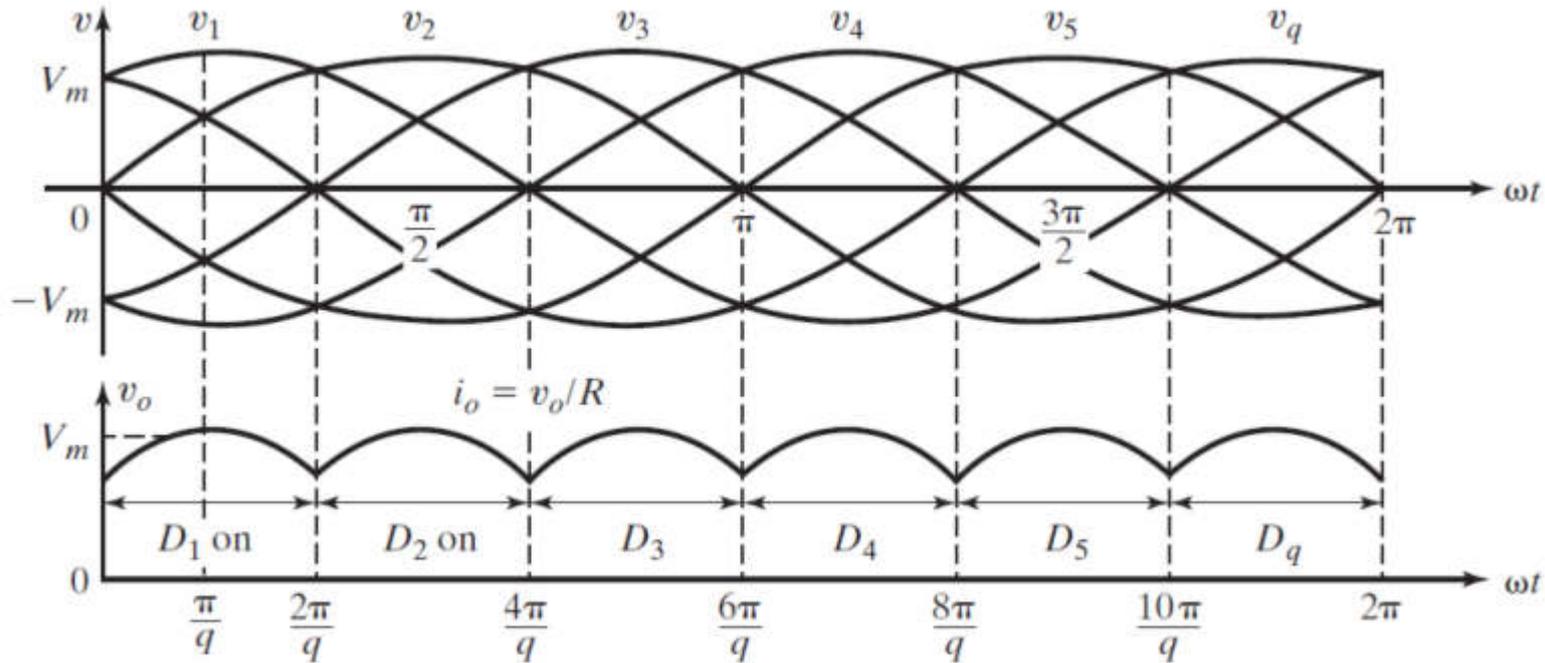
(d) Corrente descontinua

Retificadores polifásicos em estrela

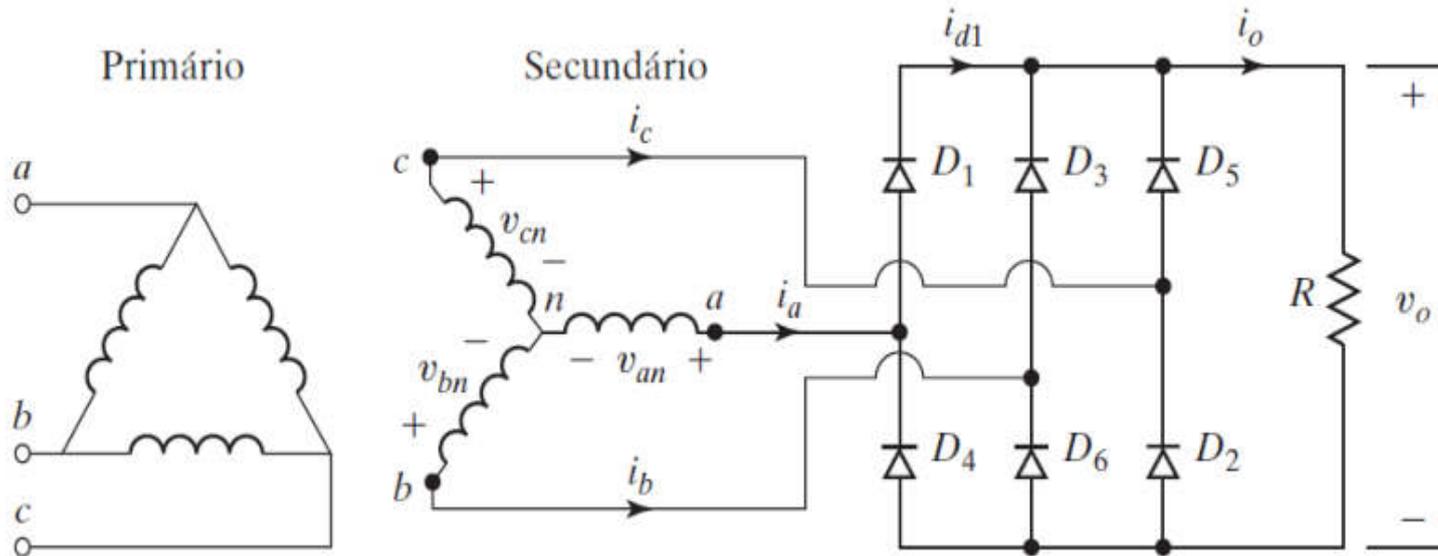


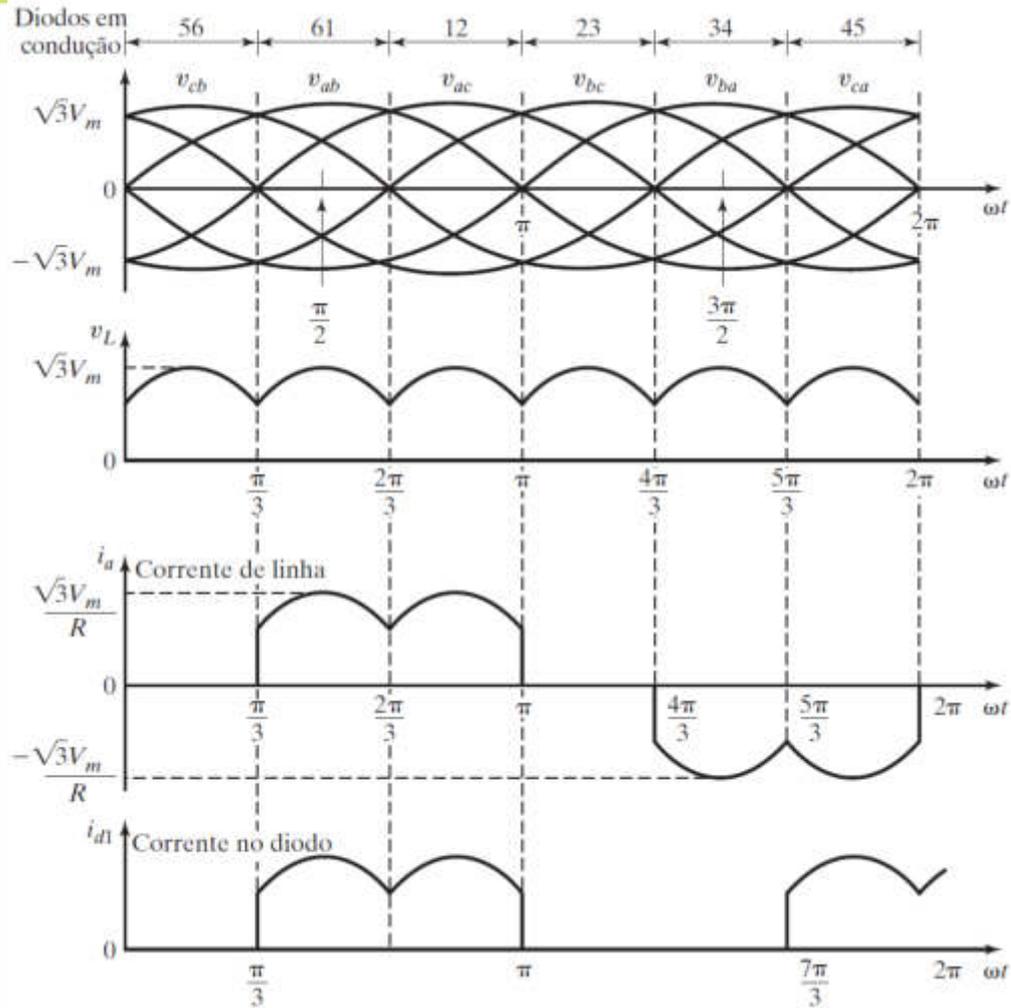
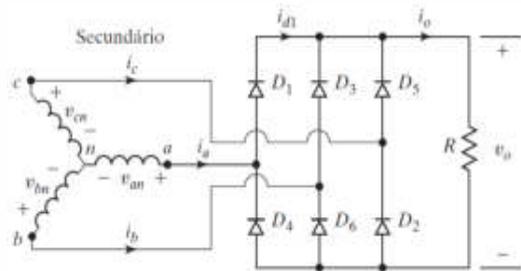
(a) Diagrama do circuito

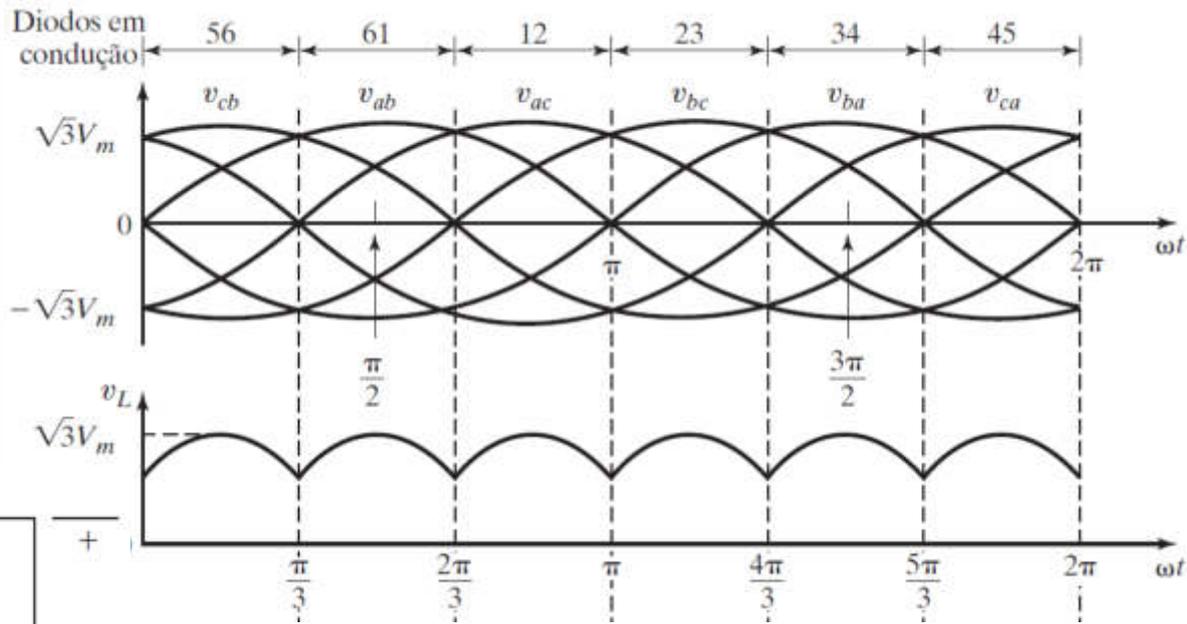
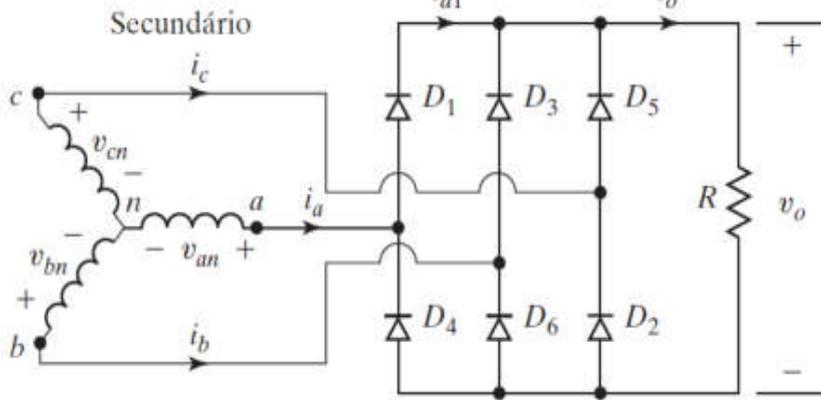
Retificadores polifásicos em estrela



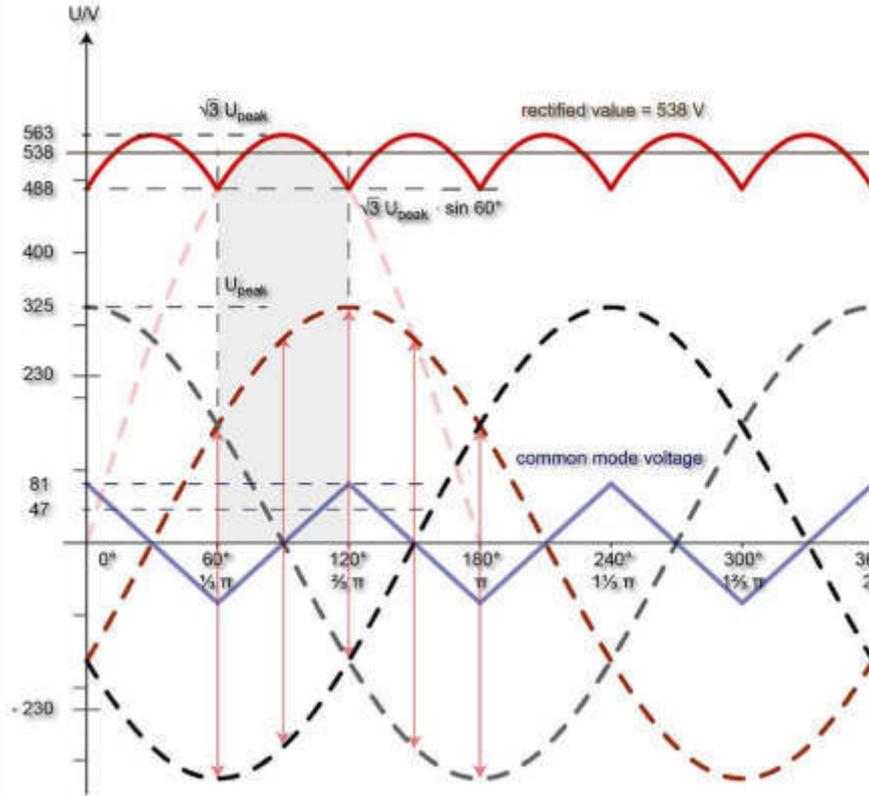
Retificadores trifásicos em estrela



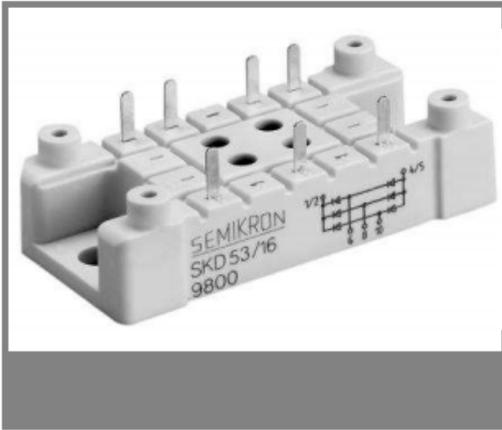




Retificadores 6 pulsos

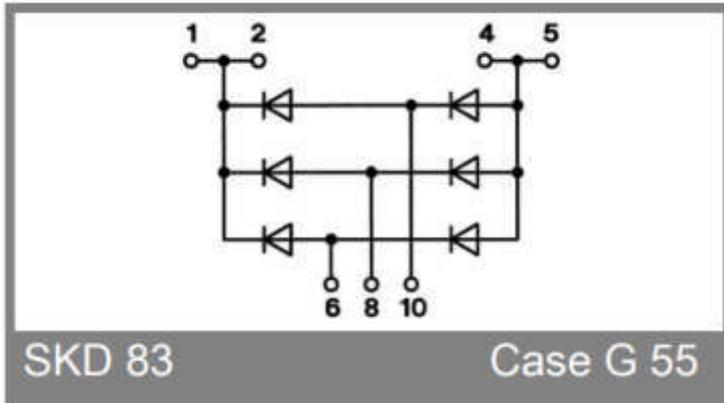


Retificadores monofásicos de onda completa



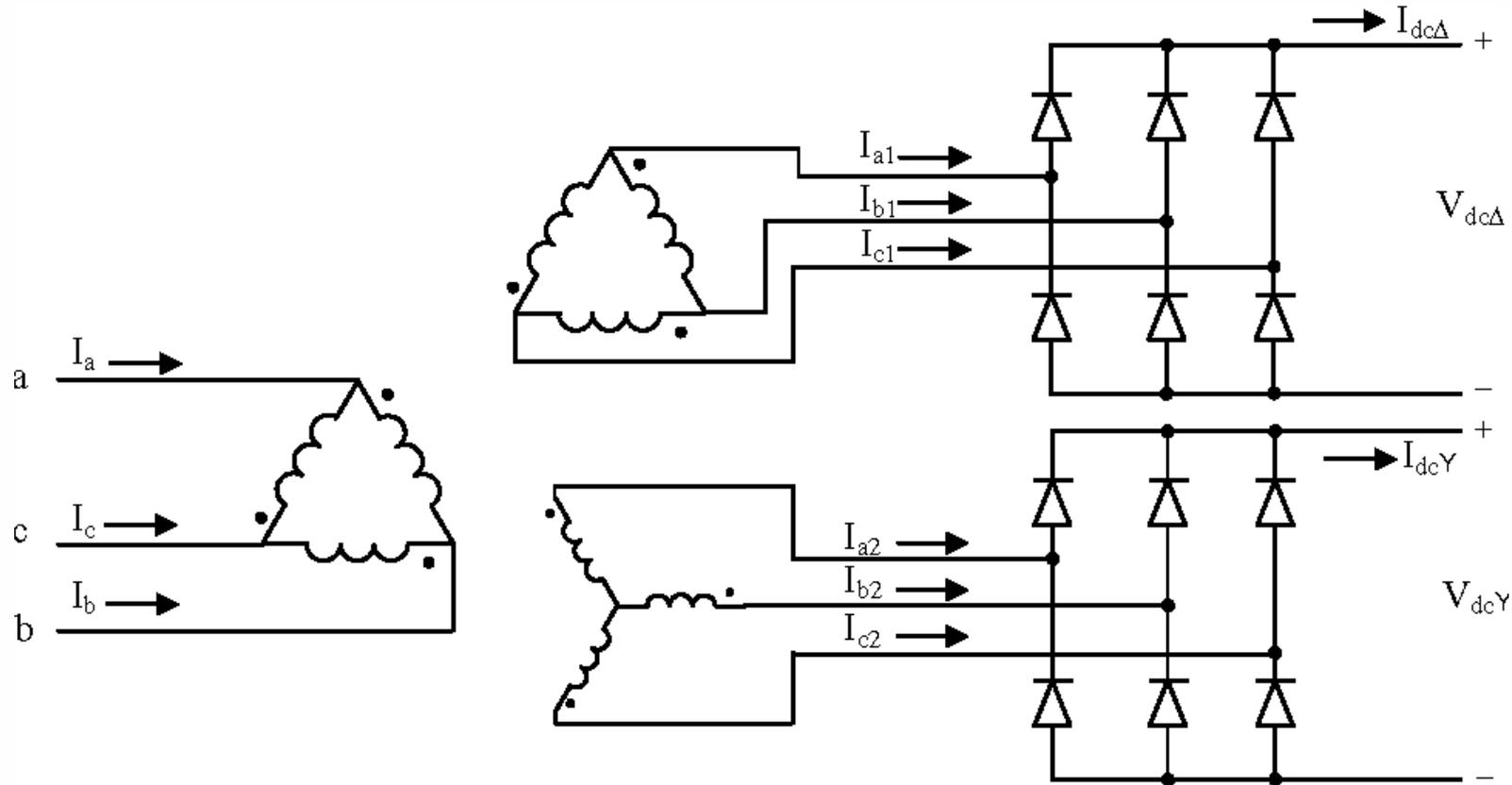
V_{RSM} V	V_{RRM}, V_{DRM} V	$I_D = 83$ A (full conduction) ($T_s = 95$ °C)
500	400	SKD 83/04
900	800	SKD 83/08
1300	1200	SKD 83/12
1600	1400	SKD 83/14
1700	1600	SKD 83/16
1900	1800	SKD 83/18

Symbol	Conditions	Values	Units
I_D	$T_s = 95$ °C	83	A
	$T_a = 45$ °C; isolated ¹⁾	4	A
	$T_a = 45$ °C; chassis ²⁾	20	A
	$T_a = 45$ °C; P5A/100 (R4A/120)	32 (34)	A
	$T_a = 35$ °C; P1A/120F	83	A

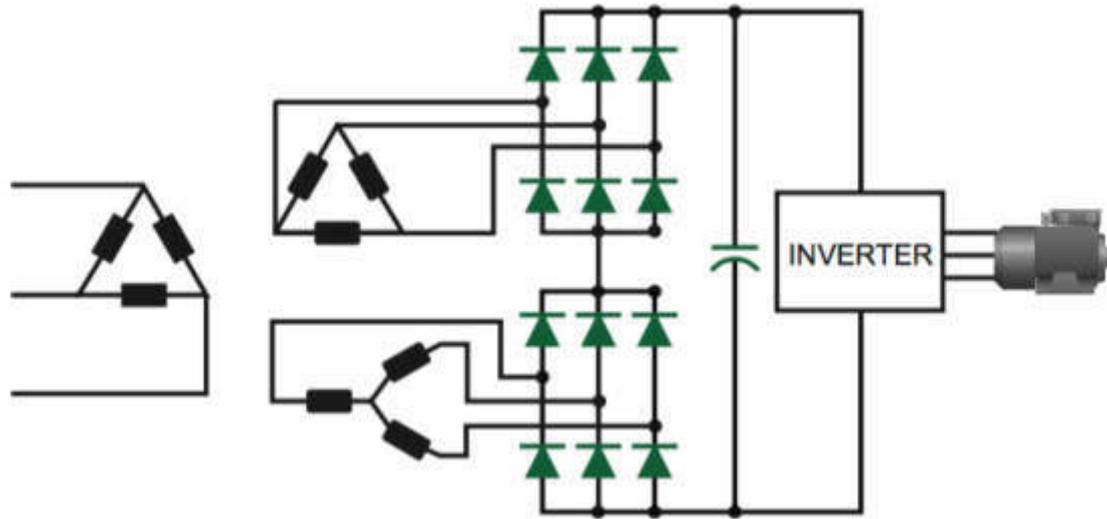


- <https://www.semikron.com/products/product-lines/rectifier-bridges.html>

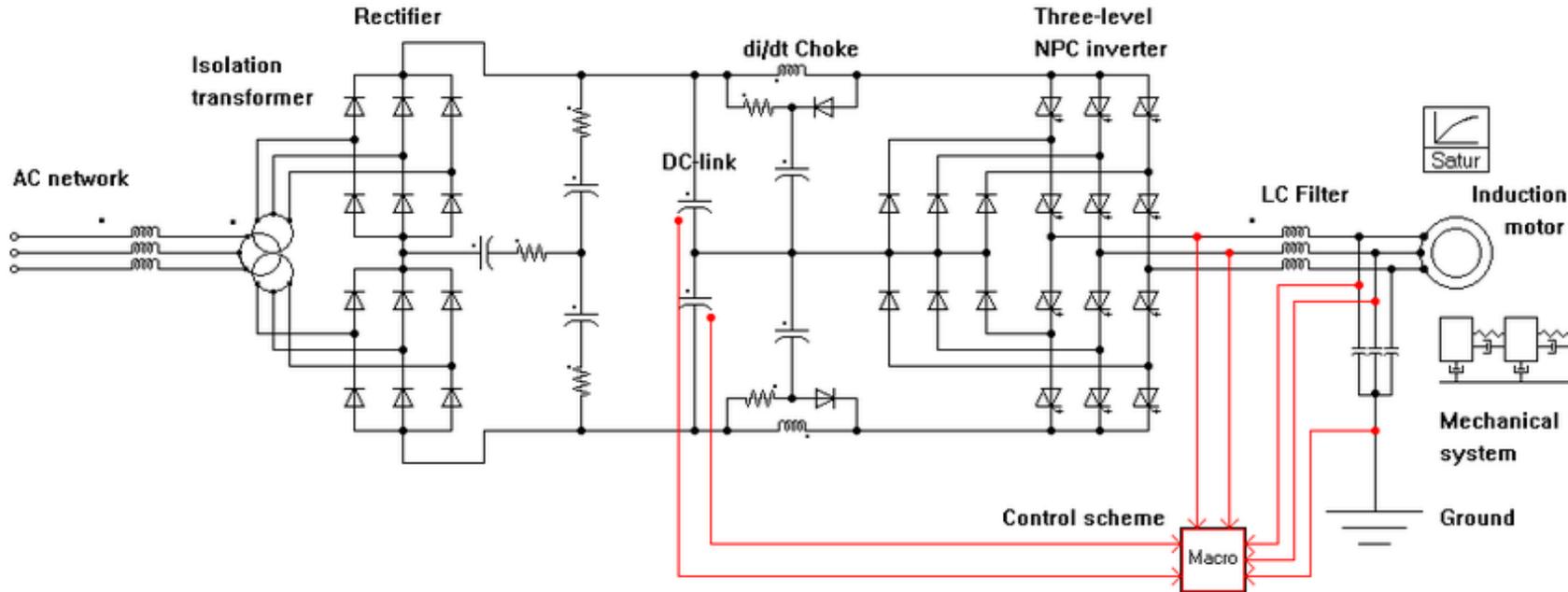
Retificadores 12 pulsos



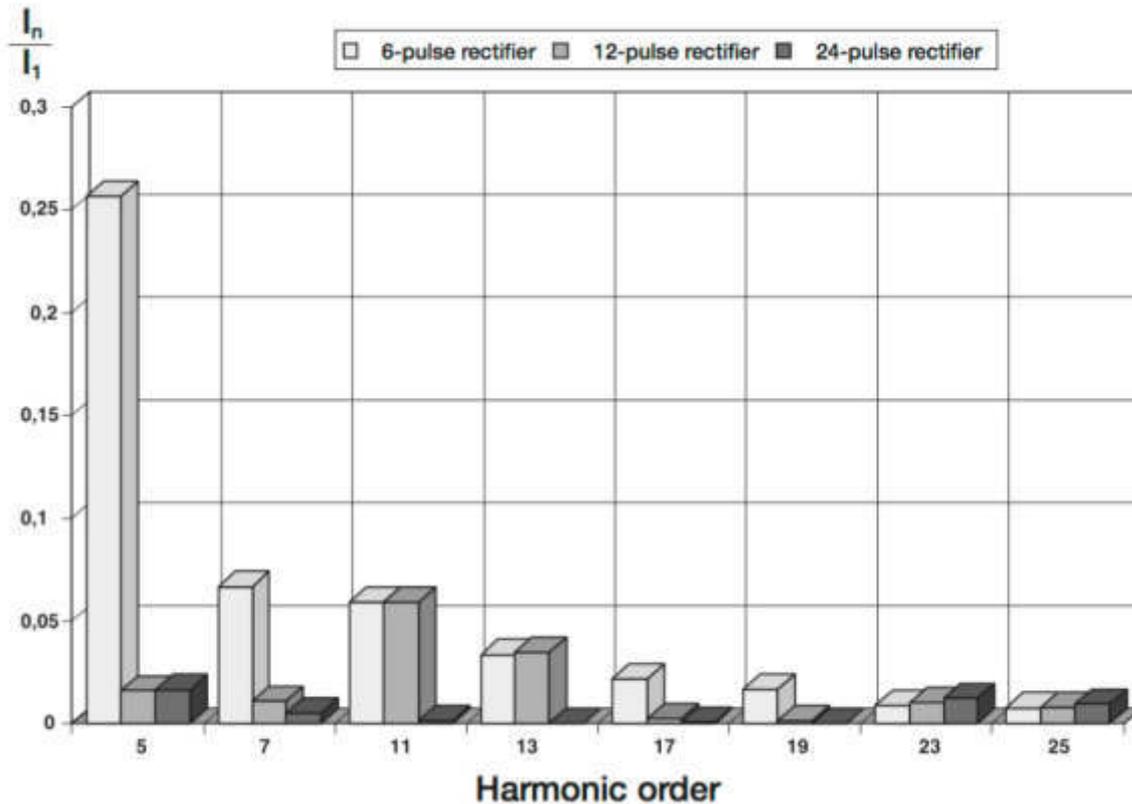
Retificadores 12 pulsos



Retificadores 12 pulsos



Comparação Retificadores





Abraço!

Heverton Augusto Pereira

Prof. Departamento de Engenharia Elétrica | UFV

Coordenador da Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência | Gesep

Membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica | PPGEL/CEFET-MG

E-mail: heverton.pereira@ufv.br

Aula 03 – Circuitos e Retificadores com diodos

Parte 2 - Parâmetros de performance de retificadores



Prof. Heverton Augusto Pereira
heverton.pereira@ufv.br



Parâmetros de desempenho

- O valor médio da tensão de saída (da carga), V_{CC}

$$V_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T v_{cc}(\theta) d\theta$$

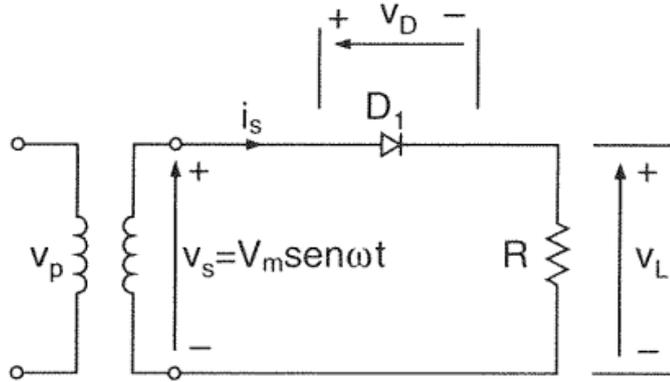
- O valor médio da corrente de saída (da carga), I_{CC}

$$I_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{cc}(\theta) d\theta$$

- A potência CC de saída:

$$P_{CC} = V_{CC} \times I_{CC}$$

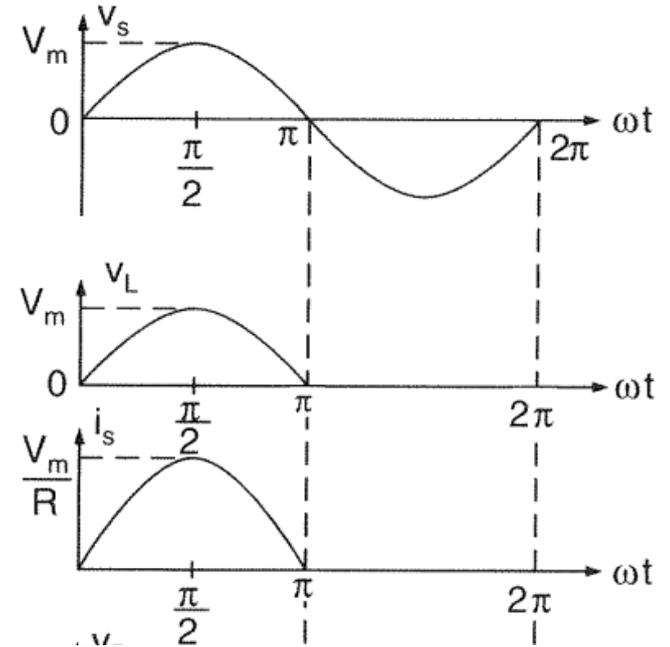
$$\theta = \omega t + \theta_0$$



Exemplo

$$v_L(t) = V_m \text{sen}(\theta)$$

$$i_s(t) = \frac{V_m}{R} \text{sen}(\theta)$$



$$V_L = \frac{1}{T} \int_0^T v_{cc}(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^\pi V_m \text{sen}(\theta) d\theta + \int_\pi^{2\pi} 0 d\theta \right]$$

$$V_L = \left[\frac{V_m \cos(\theta)}{2\pi} \right]_0^\pi \rightarrow V_L = \frac{V_m}{\pi}$$

$$I_S = \frac{V_m}{\pi R}$$

$$P_{CC} = \frac{V_m^2}{\pi^2 R}$$

Parâmetros de desempenho

- O valor eficaz (rms) da tensão de saída, V_{rms}

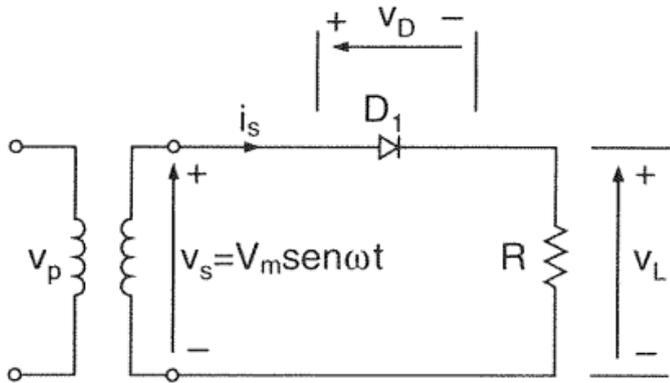
$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_{ca}^2(\theta) d\theta}$$

- O valor eficaz (rms) da corrente de saída, I_{rms}

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{ca}^2(\theta) d\theta}$$

- A potência CA de saída

$$P_{CA} = V_{rms} I_{rms}$$



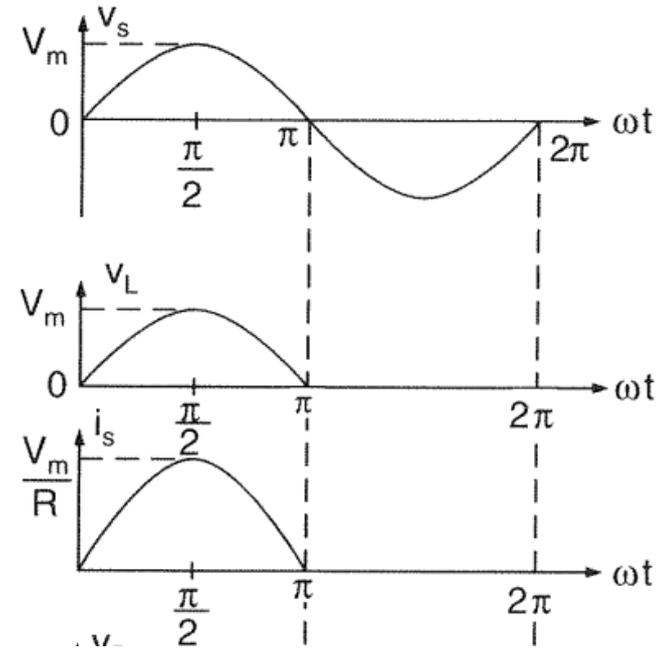
Exemplo

$$v_L(t) = V_m \text{sen}(\theta)$$

$$i_s(t) = \frac{V_m}{R} \text{sen}(\theta)$$

$$V_L = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_{ca}^2(\theta) d\theta} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m^2 \text{sen}^2(\theta) d\theta}$$

$$V_L = \sqrt{\left[\frac{V_m^2 \left(\theta + \frac{\text{sen}(2\theta)}{2} \right)}{4\pi} \right]_0^\pi} \rightarrow \boxed{V_L = \frac{V_m}{2}} \quad \boxed{I_S = \frac{V_m}{2R}}$$



$$P_{CA} = \frac{V_m^2}{4R}$$

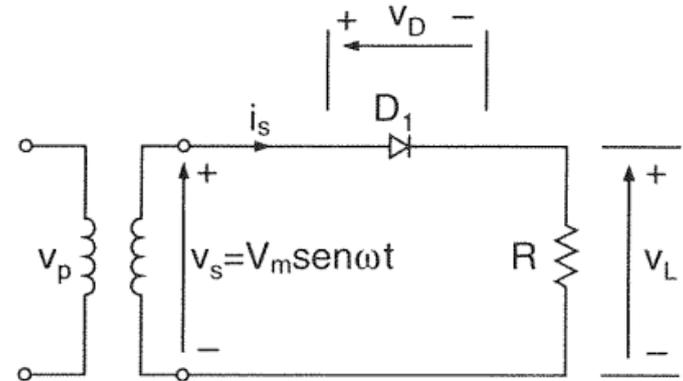
Parâmetros de desempenho

- A eficiência (ou razão de retificação) de um retificador, que é uma figura de mérito e nos permite comparar a eficácia:

$$\eta = \frac{P_{CC}}{P_{CA}}$$

$$P_{CC} = \frac{V_m^2}{\pi^2 R}$$

$$P_{CA} = \frac{V_m^2}{4R}$$



$$\eta = \frac{\frac{V_m^2}{\pi^2 R}}{\frac{V_m^2}{4R}} = \frac{4}{\pi^2} = 40,5\%$$

Parâmetros de desempenho

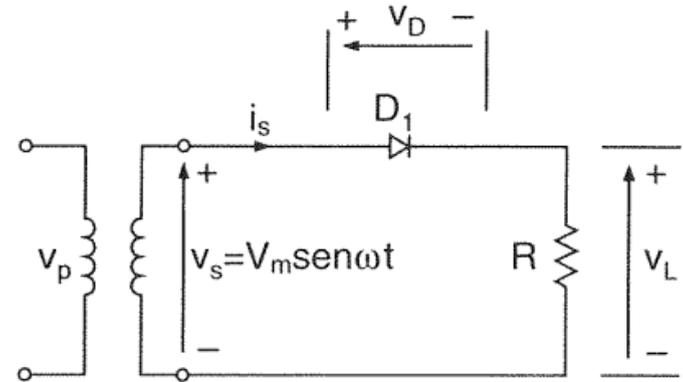
- O valor eficaz (rms) da componente CA da tensão de saída é:

$$V_{CA} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{CC}^2}$$

$$V_{CC} = \frac{V_m}{\pi}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{2}$$

$$V_{CA} = \sqrt{\left(\frac{V_m}{2}\right)^2 - \left(\frac{V_m}{\pi}\right)^2} = 0,385V_m$$



Parâmetros de desempenho

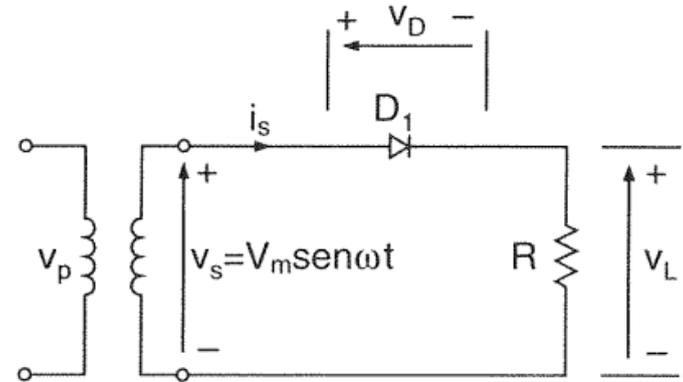
- O fator de forma, que é uma medida da forma da tensão de saída, é:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{CC}}$$

$$V_{CC} = \frac{V_m}{\pi}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{2}$$

$$FF = \frac{\frac{V_m}{2}}{\frac{V_m}{\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1,57$$



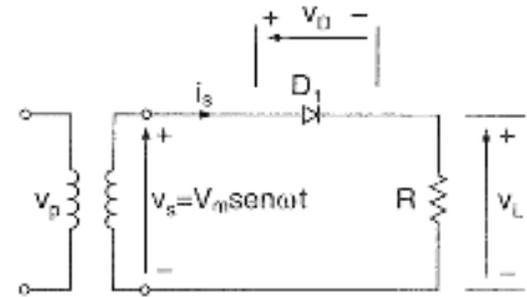
Parâmetros de desempenho

- O fator de ondulação ou fator de *ripple*, que é uma medida do conteúdo de ondulação:

$$FR = \frac{V_{CA}}{V_{CC}}$$

- O fator de ondulação pode ser expresso como:

$$FR = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{CC}}\right)^2 - 1} = \sqrt{FF^2 - 1}$$



$$V_{CA} = 0,15V_m$$

$$V_{CC} = \frac{V_m}{\pi}$$

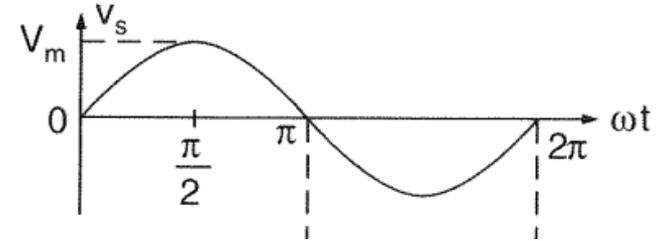
$$FR = \frac{0,15V_m}{\frac{V_m}{\pi}} = 1,21$$

Parâmetros de desempenho

- O fator de utilização do transformador é definido como:

$$FUT = \frac{P_{CC}}{V_s I_s}$$

$$v_s(t) = V_m \text{sen}(\theta)$$



$$P_{CC} = \frac{V_m^2}{\pi^2 R}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m^2 \text{sen}^2(\theta) d\theta} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_s = \frac{V_m}{2R}$$

$$FUT = \frac{\frac{V_m^2}{\pi^2 R}}{\frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{V_m}{2R}} = 0,286$$

Parâmetros de desempenho

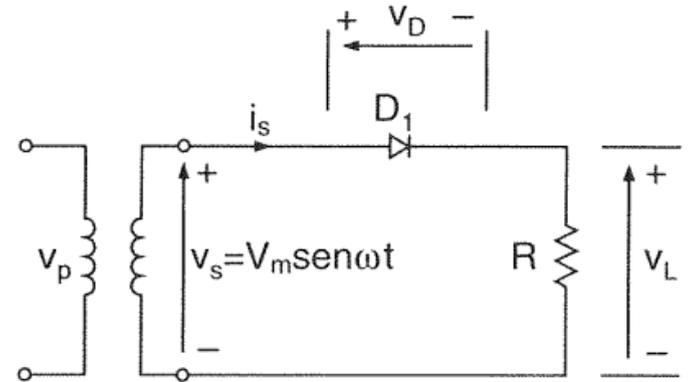
- O fator de potência pode ser indicado como:

$$FP = \frac{P_{CA}}{V_s I_s}$$

$$P_{CA} = \frac{V_m^2}{4R}$$

$$V_s = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_s = \frac{V_m}{2R}$$



$$FP = \frac{\frac{V_m^2}{4R}}{\frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{V_m}{2R}} = 0,709$$

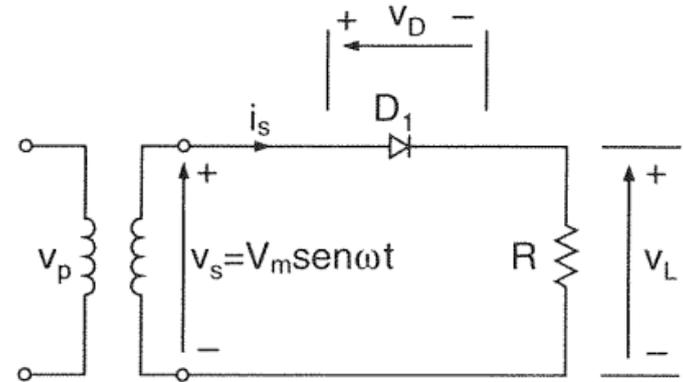
Parâmetros de desempenho

- O fator de crista, muitas vezes, é de interesse para especificar as capacidades de corrente dos dispositivos e componentes.
- O fator de crista da corrente de entrada é definido como a relação entre os valores máximo e eficaz dessa corrente:

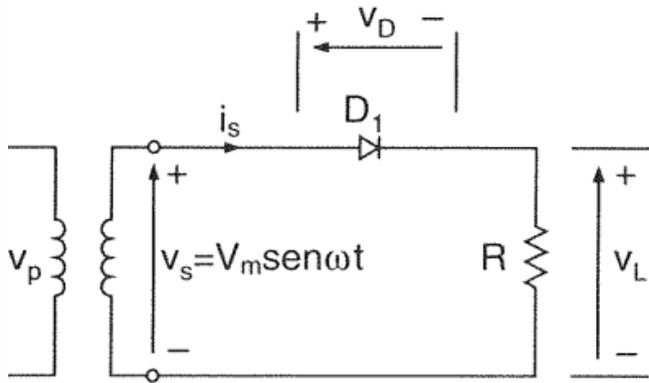
$$FC = \frac{I_s(\text{pico})}{I_s}$$

$$i_s(t) = \frac{V_m}{R} \text{sen}(\theta) \quad I_s(\text{pico}) = \frac{V_m}{R} \quad I_s = \frac{V_m}{2R}$$

$$FC = \frac{\frac{V_m}{R}}{\frac{V_m}{2R}} = 2$$



Parâmetros de desempenho: Comparação



$$\eta = 40,5\%$$

$$V_{CA} = 0,385V_m$$

$$FUT = 0,286$$

$$FF = 1,57$$

$$FR = 1,21$$

$$FP = 0,709$$

$$\eta = 99,8\%$$

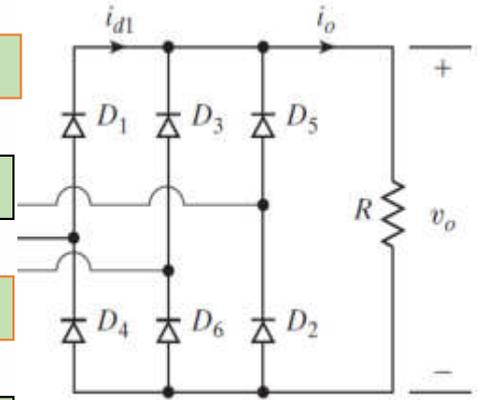
$$V_{CA} = 0,07V_m$$

$$FUT = 0,954$$

$$FF = 1,0009$$

$$FR = 0,04$$

$$FP = 0,956$$

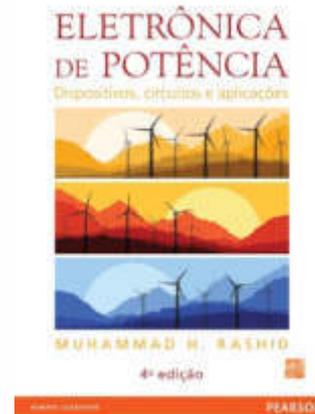


Agora é com vocês!



Capítulo 3 do Livro

M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014





Abraço!

Heverton Augusto Pereira

Prof. Departamento de Engenharia Elétrica | UFV

Coordenador da Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência | Gesep

Membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica | PPGEL/CEFET-MG

E-mail: heverton.pereira@ufv.br

Considerações práticas para a seleção de indutores e capacitores

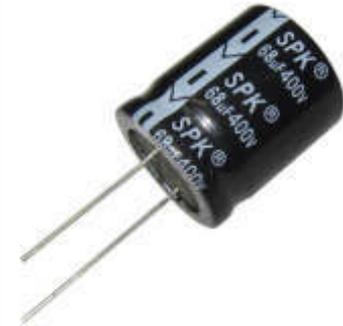
- Os capacitores CA de filme usam um filme de polipropileno metalizado.
- Oferecem capacitância com tolerância pequena, correntes de fuga muito baixas e pequena variação da capacitância com a temperatura.
- Possuem baixas perdas, onde uma resistência série equivalente (ESR) e um fator de dissipação muito baixo permitem uma densidade de corrente relativamente alta.
- Combinação de alta capacitância e baixo FD, o que permite altas correntes CA.



Fonte:
<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Capacitores-e-Correcao-do-Fator-de-Potencia/Capacitores-de-Polipropileno>

Considerações práticas para a seleção de indutores e capacitores

- Os **capacitores cerâmicos** são capacitores de uso geral, especialmente em CIs com tecnologia de montagem em superfície. Destaca-se seu baixo custo.
- Um **capacitor eletrolítico** de alumínio são construídos com placas embebidos em eletrólito líquido, conectadas a terminais e selados em uma lata.
- Esses capacitores geralmente oferecem valores de capacitância de $0,1 \mu\text{F}$ a 3 F e faixas de tensão de 5 V a 750 V .



Considerações práticas para a seleção de indutores e capacitores

- Os **capacitores de tântalo sólido** são dispositivos polarizados (tensão reversa máxima de 1 V) com terminais distintos, positivo e negativo, e são oferecidos em vários estilos.
- Os valores típicos de capacitância são de 0,1 μF , a 1000 μF , e as faixas de tensão vão de 2 V a 50 V.
- Os **supercapacitores** oferecem valores extremamente elevados de capacitância (farads) em várias opções de encapsulamento que satisfazem as exigências de perfil baixo, montagem de superfície through hole e alta densidade.

