



kroton
paixão por educar

GRADUAÇÃO PRESENCIAL
1º semestre- 2016

Eletrônica I
Eng^a Elétrica– 4º/ 5ºsemestres

Prof^o. Ms.Cristiano Malheiro

cmalheiro@anhanguera.com
cmalheiro@aedu.com

<http://cristianotm.wix.com/aulas>

1



Aula 3

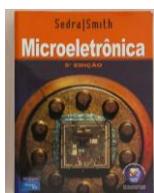
Bibliografia Básica



1. CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Eletrônica Aplicada**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Érica, 2013. (11 exemplares)

<http://187.86.214.60/pergamum/biblioteca/index.php?id=ANHAN>

5.	<input type="checkbox"/>	Eletrônica aplicada - 2 / 2008 - (E-book)
	on-line	CRUZ, Eduardo Cesar Alves. Eletrônica aplicada. 2. São Paulo Erica 2008 1 recurso online ISBN 9788536505367.
		Exemplares Marc



2. SMITH, Kenneth C.; SEDRA, Adel S. **Microeletrônica**. 5ª ed. São Paulo: Pearson- Prentice Hall, 2007, v. 1. (19 exemplares)



3. BOYLESTAD, Robert L. NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 12ª edição. São Paulo: Pearson, 2013. (17 exemplares)

2

kroton
paixão por educar

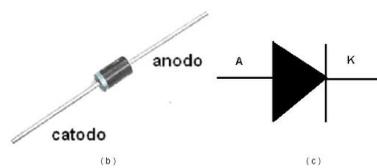
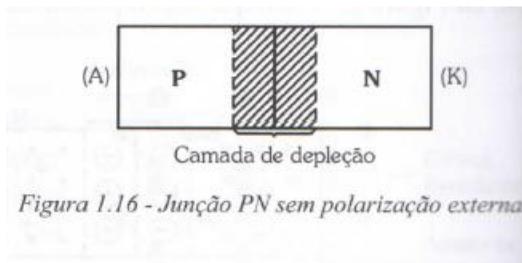


Aula 3

Diodo Semicondutor

Polarização do Diodo

Sem estar polarizado:



3

kroton
paixão por educar

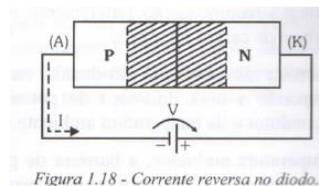
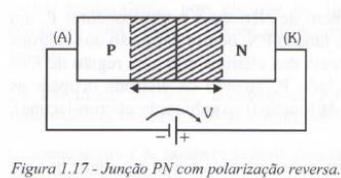


Aula 3

Diodo Semicondutor

Polarização do Diodo

Diodo Reversamente Polarizado: comporta-se como uma resistência muito alta, ou seja, circuito aberto.



Atua de forma a impedir a circulação de portadores majoritários de carga através da junção. Surge corrente reversa.

4

kroton
paixão por educar



Aula 3

Diodo Semicondutor

Polarização do Diodo

Diodo Diretamente Polarizado: comporta-se como uma resistência muito baixa, ou seja, curto-circuito.

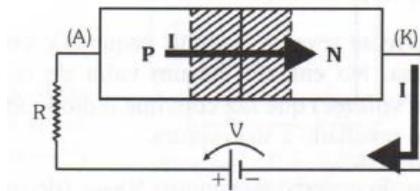


Figura 1.19 - Junção PN com polarização direta.

5

kroton
passão por educar

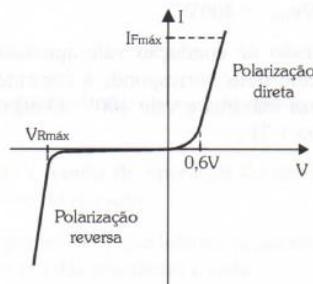


Aula 3

Diodo Semicondutor

Curva Característica do Diodo

No primeiro quadrante: I e V positivas- polarização direta;
No terceiro quadrante: I e V negativas- polarização reversa.



I_F - forward current- corrente direta máxima!

Figura 1.20 - Curva característica de um diodo de silício.

6

kroton
passão por educar

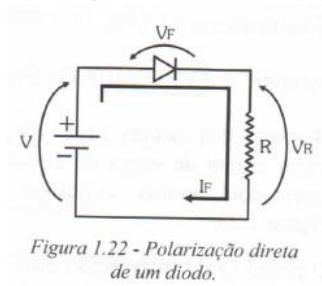


Aula 3

Diodo Semicondutor

Reta de Carga do Diodo

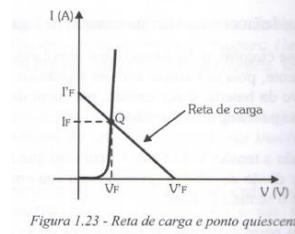
Determinação analítica do ponto de operação, por meio da reta de carga.



$V > 0,6V$; Logo $V_R = V - V_F$

Desta forma:

$$I_F = \frac{V_R}{R}$$



7

kroton
paixão por educar



Aula 3

Diodo Semicondutor

Reta de Carga do Diodo

Determinação gráfica do ponto de operação, por meio da reta de carga.

- Reta: traçar dois pontos, escolhe-se os pontos com grandezas nulas.
Primeiro ponto- Diodo em curto: corrente máxima (I'_F)

$$I'_F = \frac{V}{R} \text{ Diodo em curto!}$$

8

kroton
paixão por educar



Aula 3

Diodo Semicondutor

Reta de Carga do Diodo

Determinação gráfica do ponto de operação, por meio da reta de carga.

- Reta: traçar dois pontos, escolhe-se os pontos com grandezas nulas
Segundo ponto - Diodo em aberto: tensão máxima (V'_F)

$$V_R = V \text{ Diodo aberto!}$$

9



Aula 3

Diodo Semicondutor

Reta de Carga do Diodo

De posse destes dois valores, pode-se construir a reta de carga. O ponto Q entre a reta de carga e a curva característica do diodo é o ponto de operação ou ponto quiescente.

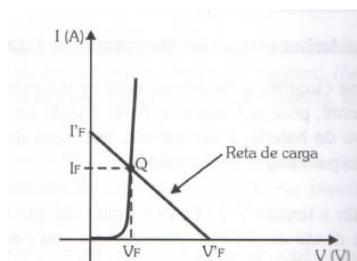


Figura 1.23 - Reta de carga e ponto quiescente

10





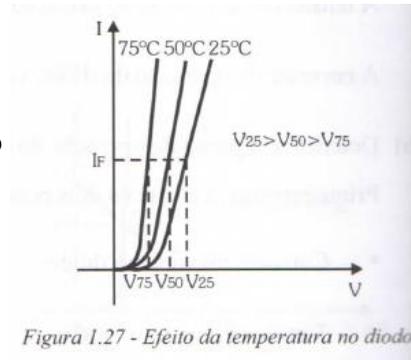
Aula 3

Diodo Semicondutor

Efeito da Temperatura no Diodo:

Sofre influência da Temperatura. A temperatura máxima do Si está por volta de 150°C e Ge (100°C)

Para cada aumento de 1°C na temperatura, A tensão direta no diodo diminui cerca de 2,5mV, ou seja, a taxa de variação da tensão em função da temperatura é de -2,5 mV/°C



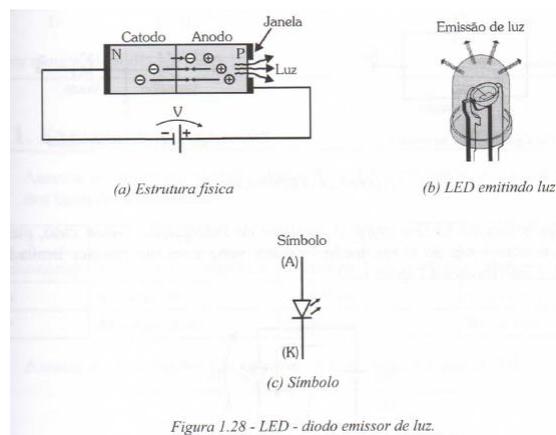
11



Aula 3

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:



12



Aula 3

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:

LED comuns: 3, 5 e 10mm, nas cores vermelha, verde e amarela.

LED: azul (alto brilho)

Há leds infravermelhos, por exemplo: transmissores de sinais em fibra óptica.



13

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores (Capítulo 2- pág. 35)

Definição:

Os circuitos retificadores são conversores estáticos de energia elétrica. Possuindo dois tipos de conversão:

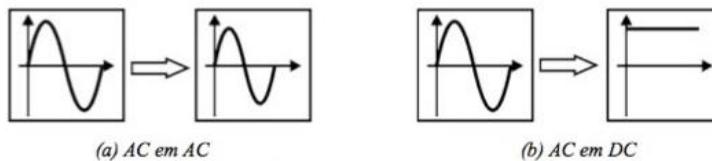


Figura 2.1 - Tipos de conversão de energia elétrica.

- (a) Transformadores: Aumenta ou reduzir a tensão.
- (b) Diodos Retificadores: AC-DC (1ª. Etapa de uma fonte de alimentação).

14

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Valor Médio de Sinal Periódico

O valor médio de uma função variável e periódica, considerando o intervalo de tempo equivalente ao período T , é um valor constante cuja área, para o mesmo intervalo de tempo, tem o mesmo valor da área do sinal periódico.

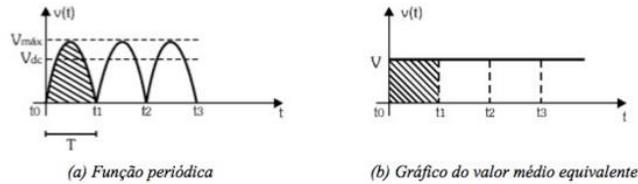


Figura 2.2 - Equivalência gráfica para valor médio.

Matematicamente, o valor médio de uma função periódica (tensão e corrente) pode ser obtido pelas expressões matemáticas seguintes:

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} v(t) dt \quad \text{e} \quad I_{dc} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} i(t) dt$$

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Valor Médio de Sinal Periódico

Sinal Senoidal	Sinal Retificado Meia Onda	Sinal Retificado Onda Completa
<p>Figura 2.3</p>	<p>Figura 2.4</p>	<p>Figura 2.5</p>
Tensões Médias		
$V_{dc} = 0$	$V_{dc} = \frac{V_{máx}}{\pi}$	$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_{máx}}{\pi}$
Correntes Médias		
$I_{dc} = 0$	$I_{dc} = \frac{I_{máx}}{\pi}$	$I_{dc} = \frac{2 \cdot I_{máx}}{\pi}$

16

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Valor Eficaz de um Sinal Periódico

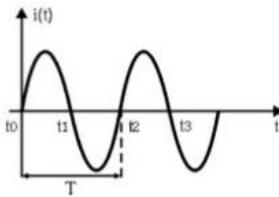


Figura 2.6 - Corrente senoidal.

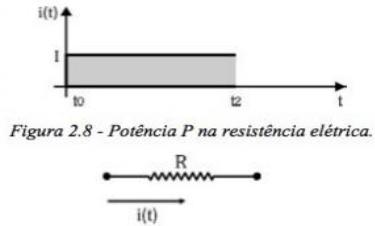


Figura 2.8 - Potência P na resistência elétrica.

Figura 2.7 - Resistência elétrica.

Imagine uma resistência R dissipando potência (P), o que se pode dizer é que o valor efetivo da corrente periódica $i(t)$ deve ser igual ao valor da corrente contínua I para que a potência dissipada em R seja a mesma.

17

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Valor Eficaz de um Sinal Periódico

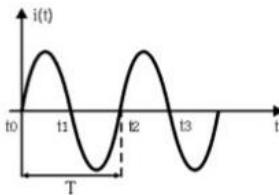


Figura 2.6 - Corrente senoidal.

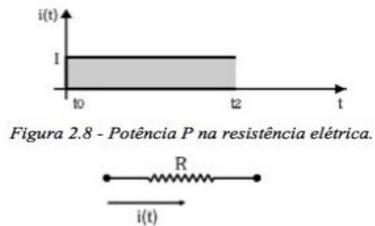


Figura 2.8 - Potência P na resistência elétrica.

Figura 2.7 - Resistência elétrica.

O valor efetivo da corrente $i(t)$ é denominado corrente RMS (Root Mean Square- Raiz Quadrada Média) ou simplesmente *corrente eficaz*.

18

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Valor Eficaz de um Sinal Periódico

Matematicamente, o valor eficaz de uma função periódica (tensão e corrente) pode ser obtido pelas expressões matemáticas abaixo:

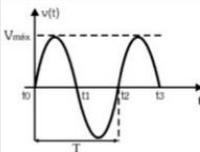
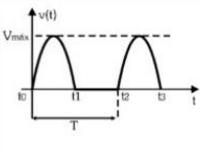
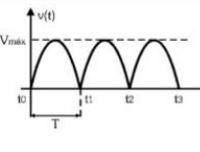
$$V_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_2} v(t)^2 dt} \quad \text{e} \quad I_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_2} i(t)^2 dt}$$

19



Aula 3

Circuitos Retificadores Valor Eficaz de um Sinal Periódico

Sinal Senoidal	Sinal Retificado Meia Onda	Sinal Retificado Onda Completa
 <p><i>Figura 2.9</i></p>	 <p><i>Figura 2.10</i></p>	 <p><i>Figura 2.11</i></p>
Tensões Eficazes		
$V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{máx}}}{\sqrt{2}}$	$V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{máx}}}{2}$	$V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{máx}}}{\sqrt{2}}$
Correntes Eficazes		
$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{máx}}}{\sqrt{2}}$	$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{máx}}}{2}$	$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{máx}}}{\sqrt{2}}$

20





Aula 3

Circuitos Retificadores Transformador

Transformador: responsável pelo aumento ou redução do valor da tensão para adequação de necessidades à um projeto

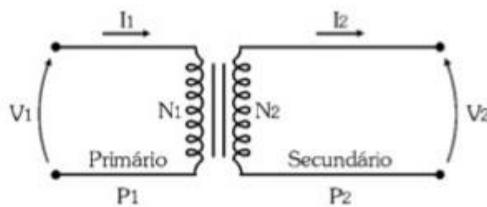


Figura 2.12 - Transformador.

- V1- tensão eficaz de alimentação
- V2- tensão eficaz desejada
- N1- numero de espiras do primário
- N2- número de espiras do secundário
- I1-corrente eficaz no primário
- I2- corrente eficaz no secundário
- P1- potência no primário
- P2- potência no secundário

21



Aula 3

Circuitos Retificadores Transformador

Ao aplicar ao primário do transformador uma tensão variável no tempo, produz-se uma corrente variável e um fluxo magnético variável. Esse fluxo induz uma tensão no secundário. Cuja amplitude pode ser maior, menor ou igual à amplitude da tensão do primário, dependendo unicamente da relação de espiras

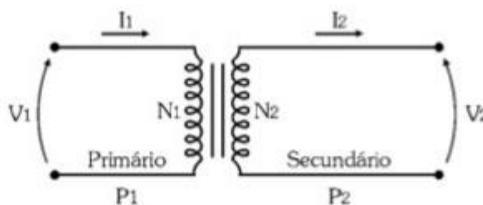


Figura 2.12 - Transformador.

- Obedece as seguintes leis:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

22





Aula 3

Circuitos Retificadores Transformador

No transformador ideal, como a potência do primário é igual à do secundário, se a tensão no primário for maior que a do secundário, a corrente no primário será menor que a do secundário.

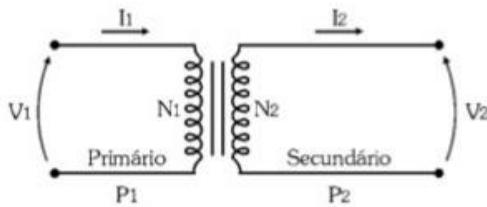


Figura 2.12 - Transformador.

- Obedece as seguintes leis:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

23

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Transformador

Nos reais, a potência que o primário transfere ao secundário é menor, devido a diversos tipos de perdas que ocorrem nos enrolamentos e no núcleo do transformador.

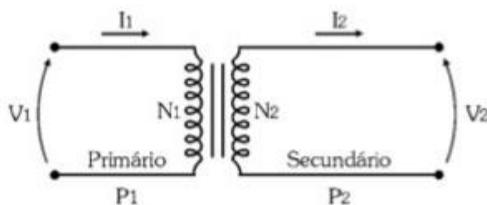


Figura 2.12 - Transformador.

- Obedece as seguintes leis:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

24

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Configurações Simples dos Transformadores

Transformador Simples

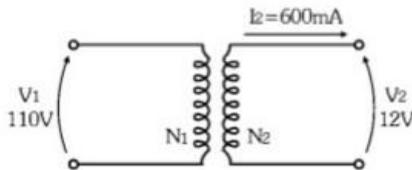


Figura 2.13 - Transformador simples.

- Obedece as seguintes leis:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

25

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Configurações Simples dos Transformadores

A partir do transformador construído, conforme especificações abaixo, determine:

- A potência máxima que pode fornecer a uma carga;
- Menor resistência que pode ser ligada no secundário;
- A corrente no primário na condição de máxima potência.

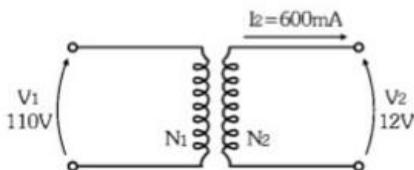


Figura 2.13 - Transformador simples.

- Relações:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Transformador com Derivação no Primário

Com a derivação podem ser aplicadas as tensões 110V ou 220V. A tensão de saída é sempre 12V.

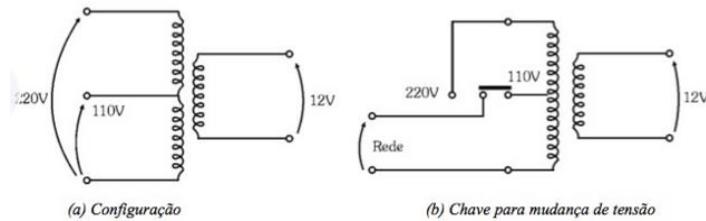


Figura 2.14 - Transformador com derivação no primário.

27

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Transformador com Derivação no Primário

Principal objetivo é converter a tensão AC proveniente do transformador em tensão DC.

Retificador de Meia Onda

Circuito retificador de meia onda com carga resistiva. Polarização direta.

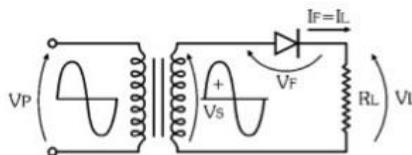


Figura 2.18 - Retificador de meia onda.

28

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Meia Onda

Circuito retificador de meia onda com carga resistiva. Polarização direta.

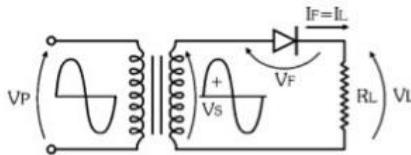


Figura 2.18 - Retificador de meia onda.

$$V_L = V_s - 0,6$$

- Durante o semiciclo, a corrente que circula pelo diodo (I_F) é a mesma que circula pela carga (I_L).
- O semiciclo positivo da tensão do secundário do transformador (V_s) transfere-se para a carga (V_L) nos intervalos de t_0 , t_1 , t_2 a t_3 etc.

Enquanto o diodo conduz, a queda de tensão sobre ele é da ordem de 0,6V. Assim, a tensão real na carga é:

29

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Meia Onda

Formas de Onda

- Neste caso foi desprezada a queda de tensão no diodo no diodo (0,6V).
- No semiciclo negativo, o diodo não conduz por estar reversamente polarizado, pois o seu anodo encontra-se com potencial negativo em relação ao do catodo.
- A partir disso, não há tensão na carga nem corrente circulando por ela, de modo que a tensão do secundário do transformador fica aplicada reversamente aos demais terminais do diodo.

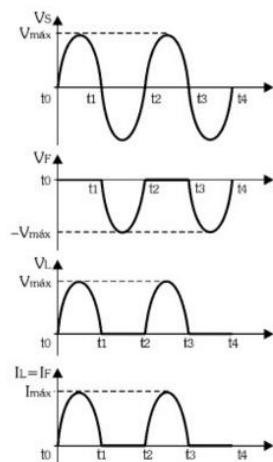


Figura 2.19 - Formas de onda no retificador de meia onda.

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Meia Onda

Formas de Onda

Assim, no *circuito retificador de meia onda*, temos:

Tensão média na carga:

$$V_{dc} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

Corrente média na carga e no diodo:

$$I_{dc} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

Tensão eficaz na carga:

$$V_{ef} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{2}$$

Corrente eficaz na carga e no diodo:

$$I_{ef} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{2}$$

As *especificações do diodo* para assegurar o seu correto funcionamento devem ser:

$$I_{Fm\acute{a}x} > \frac{I_{m\acute{a}x}}{\pi} \quad \text{e} \quad V_{Rm\acute{a}x} > V_{m\acute{a}x}$$

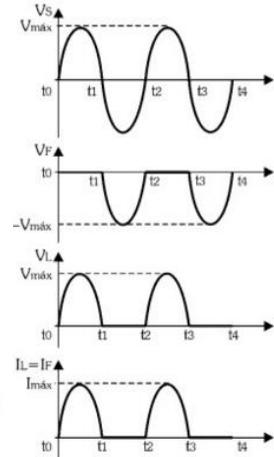


Figura 2.19 - Formas de onda no retificador de meia onda.

proteção por resistor



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Circuito

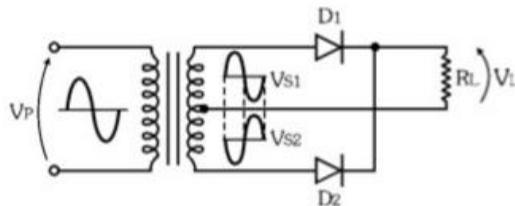


Figura 2.20 - Retificador de onda completa com ponto neutro.



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Circuito

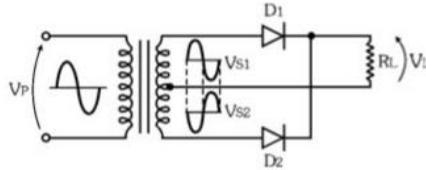


Figura 2.20 - Retificador de onda completa com ponto neutro.

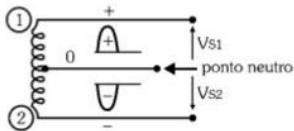


Figura 2.21 - Semiciclo positivo.

Ligando a derivação central do secundário ao potencial zero do circuito (*ponto neutro*) e estando a tensão do primário no semiciclo positivo, o ponto 1 do secundário tem potencial positivo em relação ao ponto neutro. O ponto 2 tem potencial negativo, como mostra a Figura 2.21.

33

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Circuito

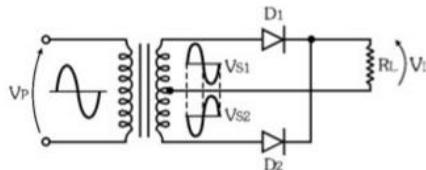


Figura 2.20 - Retificador de onda completa com ponto neutro.

Quando a polaridade da tensão do primário muda para negativa, o ponto 1 do secundário passa a ter potencial negativo em relação ao ponto neutro e o ponto 2 passa a ter potencial positivo, conforme a Figura 2.22.

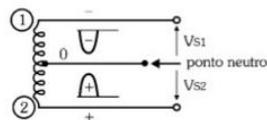


Figura 2.22 - Semiciclo negativo.

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Logo pode-se concluir que as formas de onda V_{S1} e V_{S2} têm o mesmo valor eficaz, mas estão sempre defasadas de 180° entre si.

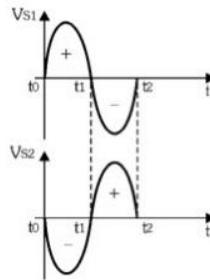


Figura 2.23 - Formas de onda no secundário do transformador com ponto neutro.

35

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Análise

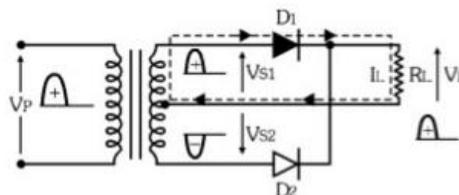


Figura 2.24 - Semiciclo positivo no primário.

Quando a tensão no primário está no semiciclo positivo, a tensão V_{S1} do secundário também está, de modo que o diodo $D1$ tem seu anodo positivo e, assim, conduz.

Simultaneamente, a tensão V_{S2} está negativa, polarizando reversamente o diodo $D2$, fazendo com que ele se comporte como um CA.

36

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Análise

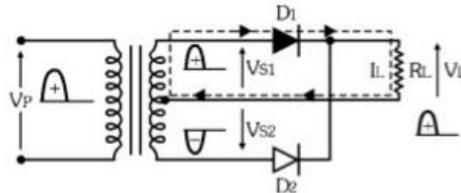


Figura 2.24 - Semiciclo positivo no primário.

Quando a tensão no primário passa para o semiciclo negativo, a tensão V_{S1} do secundário também está negativa, polarizando reversamente D1 e comportando-se como um CA, ou seja, não conduzindo.

Simultaneamente, a tensão V_{S2} está positiva, fazendo com que o diodo D2 esteja com anodo positivo e, portanto, conduzindo.

37

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Análise

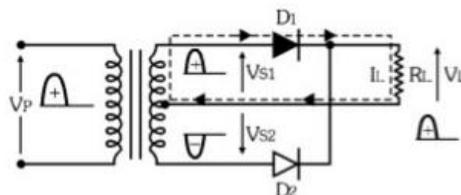


Figura 2.24 - Semiciclo positivo no primário.

Neste circuito, a tensão na carga é 0,6V menor que a do secundário do transformador, portanto a tensão real na carga é:

$$V_L = V_{S1} - 0,6 = V_{S2} - 0,6$$

38

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Em síntese

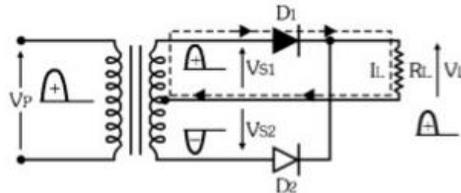


Figura 2.24 - Semiciclo positivo no primário.

Neste circuito, cada diodo conduz somente meio ciclo de onda, exatamente como no retificador de meia onda. A carga conduz corrente nos dois semiciclos e no mesmo sentido de modo que, nela, a tensão e a corrente são contínuas, e não mais alternadas, porém pulsantes.

39

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Tensão reversa sobre os Diodos

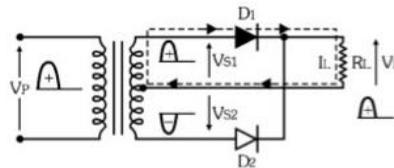


Figura 2.24 - Semiciclo positivo no primário.

A tensão reversa de pico sobre cada diodo é o dobro da tensão de pico de cada metade do secundário, isto é, $V_{R1m\acute{a}x} = V_{R2m\acute{a}x} = 2 \cdot V_{s1m\acute{a}x} = 2 \cdot V_{s2m\acute{a}x}$.

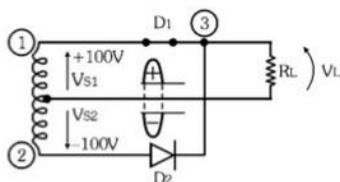


Figura 2.26 - Tensão reversa nos diodos.

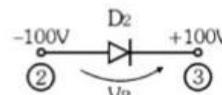


Figura 2.27 - Tensão reversa em D2.

40

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Formas de Onda

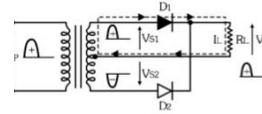
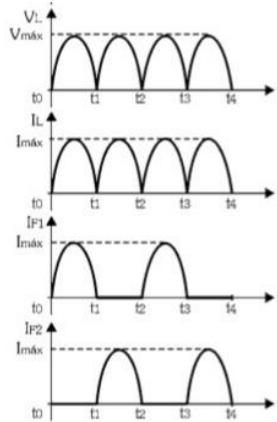
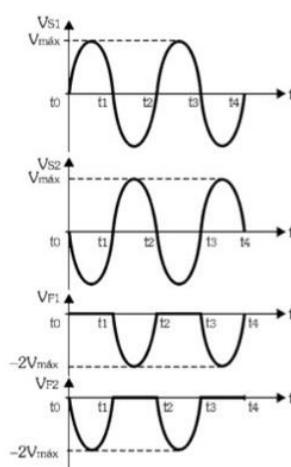


Figura 2.24 - Semiciclo positivo no primário.

Figura 2.28 - Formas de onda no retificador de onda completa com ponto neutro.

41

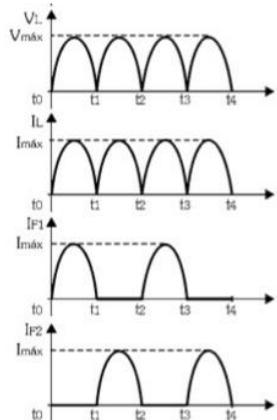
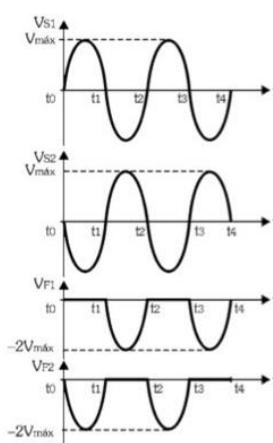
kroton
passão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Formas de Onda



Assim, no circuito retificador de onda completa com ponto neutro, temos:

Tensão média na carga:
$$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

Corrente média na carga:
$$I_{dc} = \frac{2 \cdot I_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

Tensão eficaz na carga:
$$V_{ef} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

Corrente eficaz na carga:
$$I_{ef} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

Corrente média nos diodos:
$$I_{dc} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

Observe que como cada diodo conduz apenas em um semiciclo, a sua corrente média é a metade da corrente média na carga.

Figura 2.28 - Formas de onda no retificador de onda completa com ponto neutro.

42

kroton
passão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Formas de Onda

Assim, no *circuito retificador de onda completa com ponto neutro*, temos:

Tensão média na carga: $V_{dc} = \frac{2 \cdot V_{m\acute{a}x}}{\pi}$

Corrente média na carga: $I_{dc} = \frac{2 \cdot I_{m\acute{a}x}}{\pi}$

Tensão eficaz na carga: $V_{ef} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$

Corrente eficaz na carga: $I_{ef} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$

Corrente média nos diodos: $I_{dc} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\pi}$

$$I_{Fm\acute{a}x} > \frac{I_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

e

$$V_{Rm\acute{a}x} > 2 \cdot V_{m\acute{a}x}$$

Observe que como cada diodo conduz apenas em um semiciclo, a sua corrente média é a metade da corrente média na carga.

43

kroton
paixão por educar



Aula 3

Circuitos Retificadores

2.7. Exercícios Propostos

2.1) Considere um transformador simples especificado para operar com tensão de 110V no primário, com relação de espiras $N_1/N_2 = 18$ e determine:

- a) Tensão eficaz no secundário (V_{ef});
- b) Tensão máxima no secundário ($V_{m\acute{a}x}$).

44

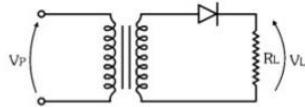
kroton
paixão por educar



Aula 3

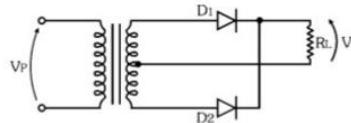
Circuitos Retificadores

2.2) Associe as informações das colunas I, II, III e IV referentes aos circuitos retificadores mostrados nas Figuras 2.61 e 2.62.



Transformador = 110V / 12V

Figura 2.61 - Retificador de meia onda.



Transformador = 110V / 12V + 12V

Figura 2.62 - Retificador de onda completa com ponto neutro.

I	II	III	IV
Retificador	Tensão média na carga (V_{dc})	Tensão eficaz na carga (V_{ef})	Tensão reversa de pico sobre os diodos ($V_{r\max}$)
a) Meia Onda	a) 5,2V	a) 11,6V	a) 34V
b) Onda Completa (ponto neutro)	b) 10,4V	b) 8,2V	b) 17V

45

kroton
paixão por educar



kroton
paixão por educar

Bibliografia desta aula:

CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Eletrônica Aplicada**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Erica, 2013.

46

