



kroton
paixão por educar

GRADUAÇÃO PRESENCIAL
1º semestre- 2016

Eletrônica e Instrumentação
Eng^a Mecânica– 6º/ 7ºsemestres

Prof^o. Ms.Cristiano Malheiro

cmalheiro@anhanguera.com
cmalheiro@aedu.com

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

1



Aula 4

Bibliografia Básica

Link Biblioteca:

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

10.  Instrumentação Industrial conceitos, aplicações e análises - 7 / 2010 - (E-book)

 FIALHO, Arivelto Bustamante. Instrumentação industrial : conceitos, aplicações e análises. 7. São Paulo Érica 2010 1 recurso online ISBN 9788536505190.

[Exemplares](#) | [Marc](#)

1. FIALHO, Arivelto B. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 3ª edição. São Paulo: Érica, 2010. (**E-Book**)

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

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





Aula 4

Diodo Semicondutor

Processo de Dopagem dos Semicondutores

Dopagem: processo utilizado para a adição de outros elementos químicos de forma reduzida à algum elemento, como o silício.

Semicondutor Tipo P

Portadores majoritários:

p^+

Portadores minoritários:

e^-

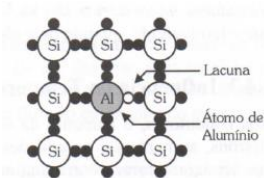


Figura 1.12 - Geração de lacuna por dopagem trivalente.

3

kroton
paixão por educar



Aula 4

Diodo Semicondutor

Processo de Dopagem dos Semicondutores

Dopagem: processo utilizado para a adição de outros elementos químicos de forma reduzida à algum elemento, como o silício.

Semicondutor Tipo N

Portadores majoritários:

e^-

Portadores minoritários:

p^+

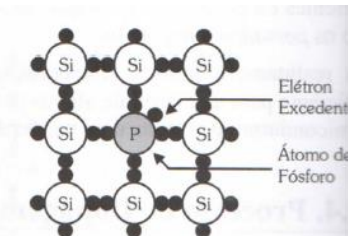


Figura 1.13 - Geração de elétron livre por dopagem pentavalente.

4

kroton
paixão por educar



Aula 4

Diodo Semicondutor

Junção PN- Diodo

Cristal único da união de um semicondutor P com um N. Desta forma, temos um diodo de junção ou ainda diodo.

Semicondutor Tipo N + Semicondutor Tipo P:

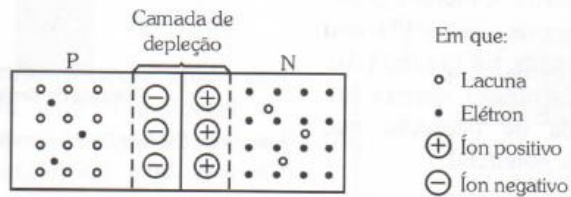


Figura 1.14 - Junção PN e a barreira de potencial.

5

kroton
paixão por educar

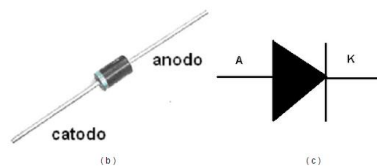
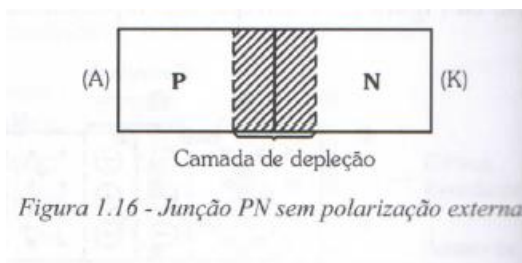


Aula 4

Diodo Semicondutor

Polarização do Diodo

Sem estar polarizado:



6

kroton
paixão por educar

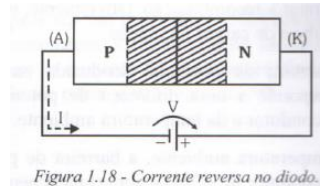
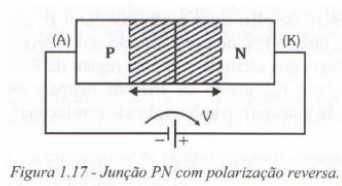


Aula 4

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.

7

kroton
paixão por educar

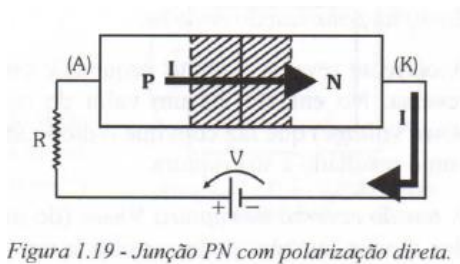


Aula 4

Diodo Semicondutor

Polarização do Diodo

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



8

kroton
paixão por educar

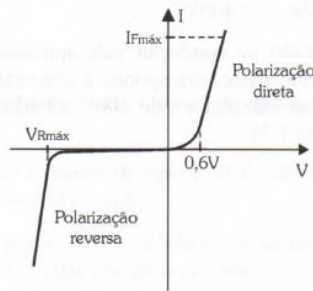


Aula 4

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.

9

kroton
paixão por educar



Aula 4

Diodo Semicondutor

Reta de Carga do Diodo

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

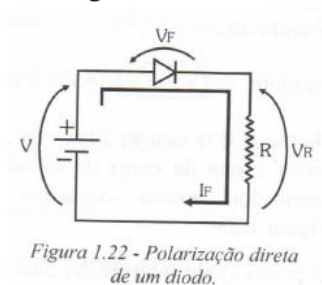


Figura 1.22 - Polarização direta de um diodo.

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

Desta forma:

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

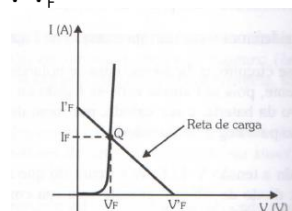


Figura 1.23 - Reta de carga e ponto quiescente

10

kroton
paixão por educar



Aula 4

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)

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

11



Aula 4

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'_R)

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

12



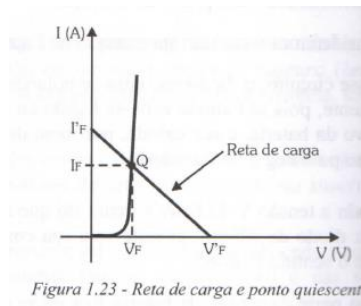


Aula 4

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.



13

kroton
paixão por educar

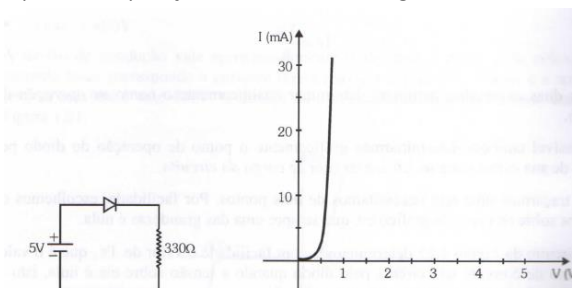


Aula 4

Diodo Semicondutor

Exercício: Considere o circuito e a curva característica do diodo:

- Determine o ponto de operação do diodo de forma analítica.
- Determine o ponto de operação do diodo de forma gráfica.



14

kroton
paixão por educar



Aula 4

Diodo Semicondutor

Exercício: Considere o circuito e a curva característica do diodo:

- a) Determine o ponto de operação do diodo de forma analítica.

Solução:

$$V_F = 0,6V;$$

$$V_R = 4,4V;$$

$$I_F = 13,33mA$$

15



Aula 4

Diodo Semicondutor

Exercício: Considere o circuito e a curva característica do diodo:

- b) Determine o ponto de operação do diodo de forma gráfica.

Primeiramente, calcule os dois pontos para traçar a reta de carga:

- Corrente máxima no diodo: $I'_F = \frac{V}{R} = \frac{5}{330} \Rightarrow I'_F \cong 15mA$
- Tensão máxima no diodo: $V'_F = V \Rightarrow V'_F = 5V$

16



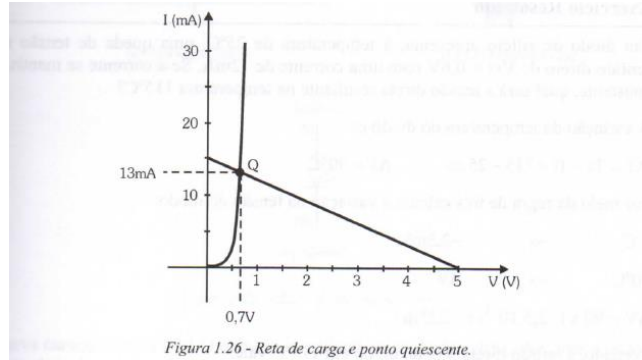


Aula 4

Diodo Semicondutor

Exercício: Considere o circuito e a curva característica do diodo:

b) Determine o ponto de operação do diodo de forma gráfica.



17

kroton
paixão por educar



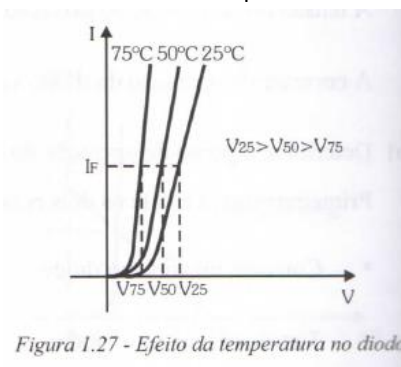
Aula 4

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



18

kroton
paixão por educar



Aula 4

Diodo Semicondutor

Exercício:

Um diodo de silício apresenta, à temperatura de 25°C, uma queda de tensão no sentido direto de **$V_{F1}=0,6V$** com uma corrente de 12mA. Se a corrente se mantiver constante, qual será a tensão direta resultante na temperatura 115°C?

Resposta: **$V_{F2}=0,375V$** .

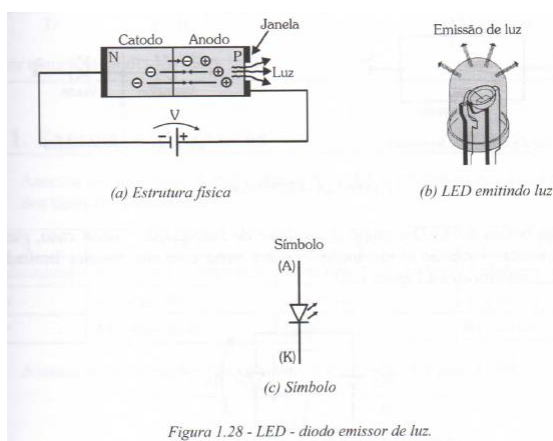
19



Aula 4

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:



20





Aula 4

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:

LED é a sigla Light Emitting Diode, é um dispositivo optoeletrônico, pois emite luz quando é polarizado diretamente.

Baseia-se na irradiação (energia eletromagnética, produzindo luz), com gálio (Ga), arsênio (As) e o fósforo (P).

Tensão de condução= 2V;

Ifmáx- dezenas de miliampéres;

Vrmáx- dezenas de volts

21



Aula 4

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.



22





Aula 4

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:

LED bicolor: fabricado com dois e três terminais.



23

kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:

LED: usado para sinalização:

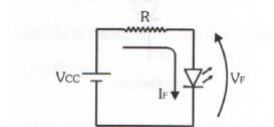


Figura 1.30 - Polarização do LED.

O resistor limitador de corrente R pode ser determinado a partir das especificações de operação do LED e da fonte V_{cc} .

$$R = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F}$$

24

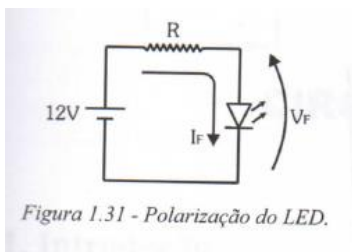
kroton
paixão por educar



Aula 4

Diodo Semicondutor

Exercício Resolvido: Determine o resistor R para polarizar o LED, conforme o circuito em seguida:



Especificações do LED:

- Cor: vermelha
- Diâmetro: 5 mm
- Operação: $V_F = 1,7 \text{ V @ } I_F = 10 \text{ mA}$
- $I_{F\text{máx}} = 50 \text{ mA}$
- $V_{R\text{máx}} = 5 \text{ V}$

25

kroton
paixão por educar



Aula 4

Diodo Semicondutor

Exercício Resolvido: Determine o resistor R para polarizar o LED, conforme o circuito em seguida:

Resposta:

$$R = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} \Rightarrow R = \frac{12 - 1,7}{10 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R = 1030 \Omega$$

Valor comercial adotado: $R = 1 \text{ k}\Omega$

1R0	10R	100R	1K0	10K	100K	1M0	10M
1R2	12R	120R	1K2	12K	120K	1M2	n/a
1R5	15R	150R	1K5	15K	150K	1M5	n/a
1R8	18R	180R	1K8	18K	180K	1M8	n/a
2R2	22R	220R	2K2	22K	220K	2M2	n/a
2R7	27R	270R	2K7	27K	270K	2M7	n/a
3R3	33R	330R	3K3	33K	330K	3M3	n/a
3R9	39R	390R	3K9	39K	390K	3M9	n/a
4R7	47R	470R	4K7	47K	470K	4M7	n/a
5R6	56R	560R	5K6	56K	560K	5M6	n/a
6R8	68R	680R	6K8	68K	680K	6M8	n/a
8R2	82R	820R	8K2	82K	820K	8M2	n/a

26

kroton
paixão por educar



Aula 4

Circuitos Retificadores (Capítulo 2- pág. 35)

Definição:

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

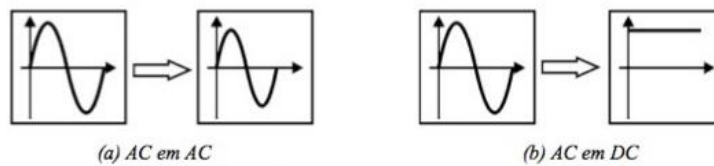


Figura 2.1 - Tipos de conversão de energia elétrica.

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

27



Aula 4

Circuitos Retificadores Transformador

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

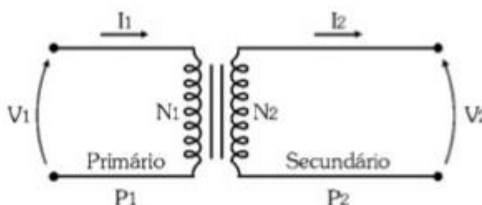


Figura 2.12 - Transformador.

- V_1 - tensão eficaz de alimentação
- V_2 - tensão eficaz desejada
- N_1 - numero de espiras do primário
- N_2 - número de espiras do secundário
- I_1 -corrente eficaz no primário
- I_2 - corrente eficaz no secundário
- P_1 - potência no primário
- P_2 - potência no secundário

28





Aula 4

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. Cujas amplitude pode ser maior, menor ou igual à amplitude da tensão do primário, dependendo unicamente da relação de espiras

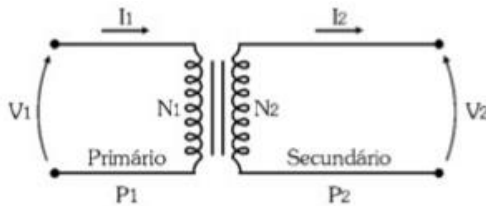


Figura 2.12 - Transformador.

- Obedece as seguintes leis:

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

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

29

kroton
paixão por educar



Aula 4

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.

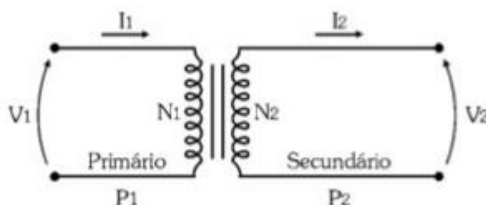


Figura 2.12 - Transformador.

- Obedece as seguintes leis:

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

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

30

kroton
paixão por educar



Aula 4

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.

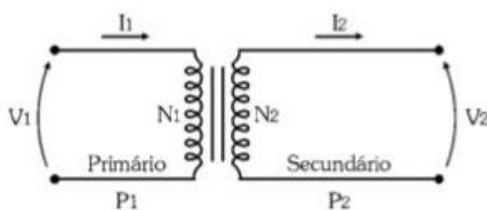


Figura 2.12 - Transformador.

- Obedece as seguintes leis:

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

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

31

kroton
paixão por educar



Aula 4

Circuitos Retificadores Configurações Simples dos Transformadores

Transformador Simples

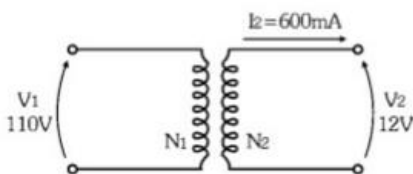


Figura 2.13 - Transformador simples.

- Obedece as seguintes leis:

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

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

32

kroton
paixão por educar



Aula 4

Circuitos Retificadores Configurações Simples dos Transformadores

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

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

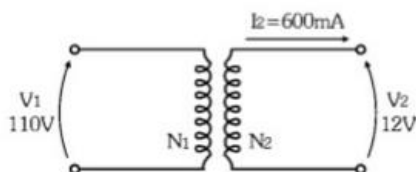


Figura 2.13 - Transformador simples.

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

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

kroton
paixão por educar



Aula 4

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.

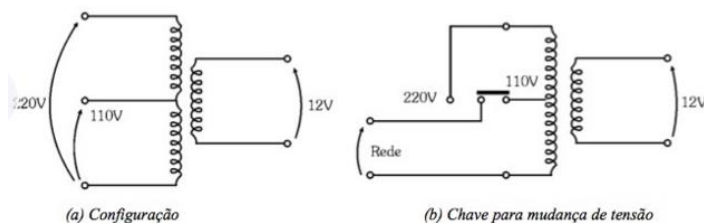


Figura 2.14 - Transformador com derivação no primário.

kroton
paixão por educar



Aula 4

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.

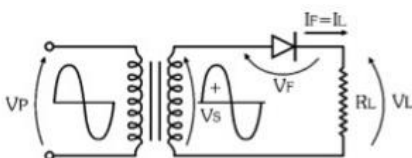


Figura 2.18 - Retificador de meia onda.

35

kroton
paixão por educar



Aula 4

Circuitos Retificadores Retificador de Meia Onda

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

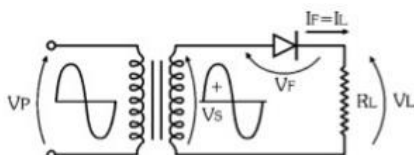


Figura 2.18 - Retificador de meia onda.

- 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.

$$V_L = V_S - 0,6$$

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

36

kroton
paixão por educar



Aula 4

Circuitos Retificadores Retificador de Meia Onda

Formas de Onda

- Neste caso foi desprezada a queda de tensão 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.

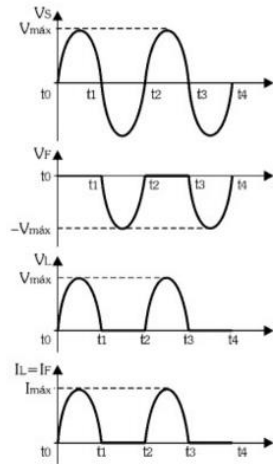


Figura 2.19 - Formas de onda no retificador de meia onda.

kroton
paixão por educar



Aula 4

Circuitos Retificadores Retificador de Onda Completa

Circuito

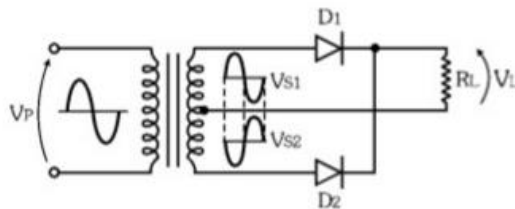


Figura 2.20 - Retificador de onda completa com ponto neutro.

kroton
paixão por educar



Bibliografia desta aula:

1. FIALHO, Arivelto B. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 3ª edição. São Paulo: Érica, 2010.

39



40