



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

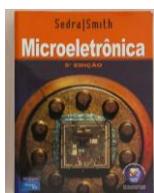


Aula 2

Bibliografia Básica



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



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

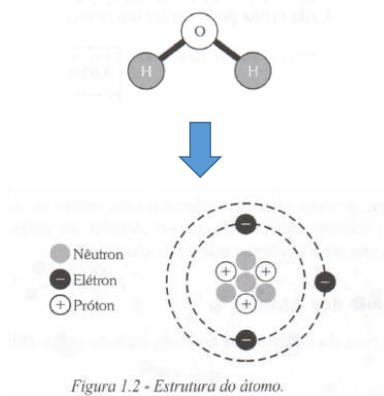
kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor (págs. 15 até 34)

Estrutura da Matéria



3

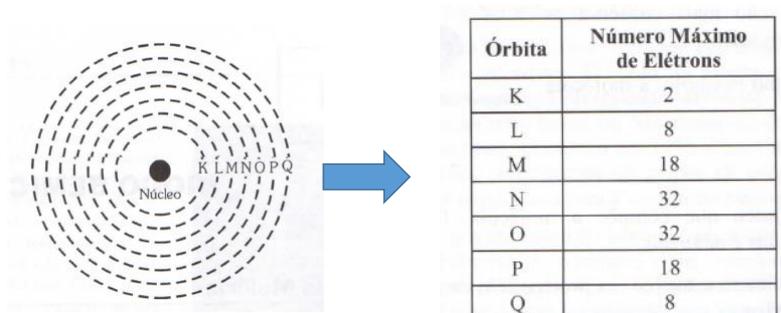
kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Estrutura da Matéria



4

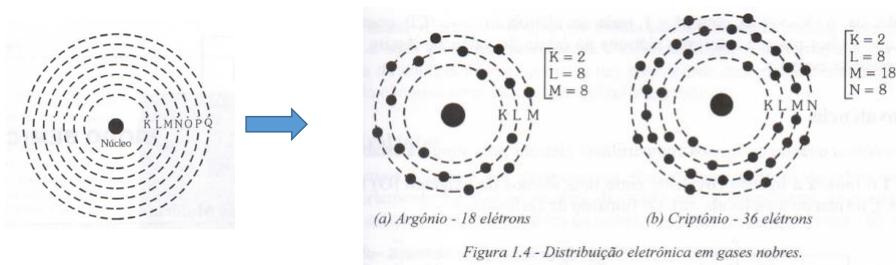
kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Estabilidade dos Átomos



5

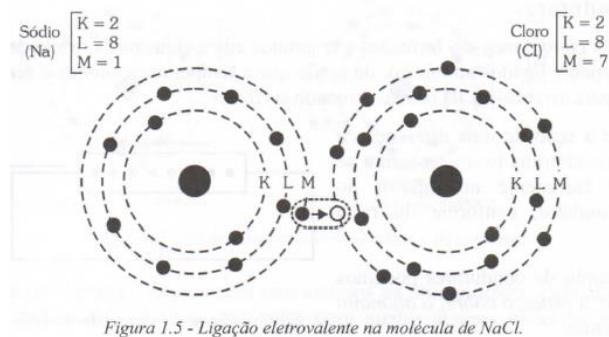
kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Eletrovalência- doa ou recebe definitivamente um elétron.



Sódio (Na) cede um elétron ao cloro (Cl), de modo que ambos tornam-se estáveis.

6

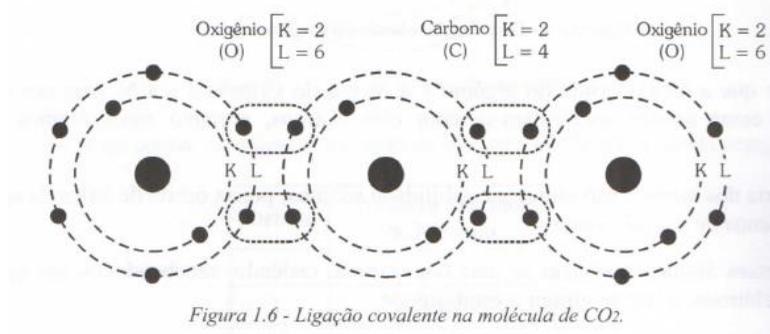
kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Covalência- compartilha elétrons para atingir a estabilidade.



Formação do CO_2 (Dióxido de Carbono)

7

kroton
paixão por educar



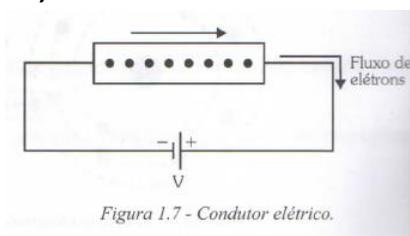
Aula 2

Diodo Semicondutor

Condutores e Isolantes

Condutores: são formados por elétrons que estão fracamente ligados ao núcleo, de modo que a temperatura ambiente tem energia suficiente para arrancá-lo da órbita, tornando-os livres.

Ex: ouro, prata, cobre, alumínio e outros metais.



8

kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Condutores e Isolantes

Isolantes: são formados por elétrons que estão fortemente ligados ao núcleo, de modo que a temperatura ambiente não tem energia suficiente para arrancá-lo da órbita, tornando-os livres.

Ex: borracha, madeira, porcelana.

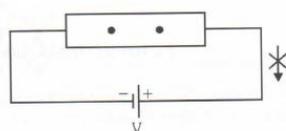


Figura 1.8 - Isolante elétrico.

9

kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Semicondutores

Semicondutores: os mais comuns são o silício (Si) e o germânio (Ge), apresentam uma forma de cristal, com átomos dispostos uniformemente. São tetravalentes.

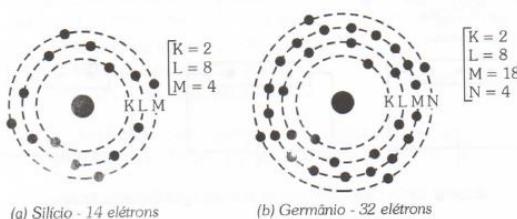


Figura 1.9 - Estruturas atômicas do silício e do germânio.

10

kroton
paixão por educar

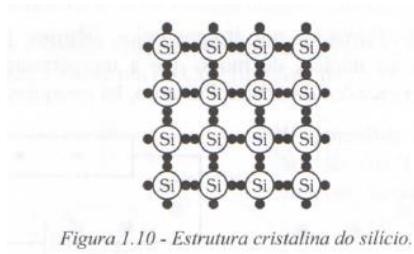


Aula 2

Diodo Semicondutor

Semicondutores

No caso do silício, é necessário à procura da estabilidade....para dar lugar à estrutura cristalina.



Em baixas temperaturas....

Para haver corrente, é necessário desestabilizar as ligações covalente, mediante o fornecimento de energia suficiente nas formas de luz, calor, etc.

11

kroton
paixão por educar

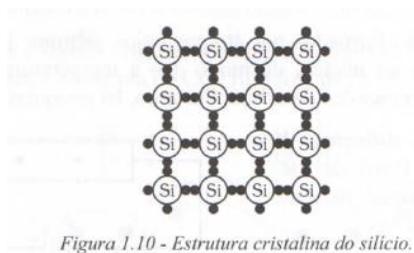


Aula 2

Diodo Semicondutor

Geração de Pares Elétron- Lacuna

Rompendo uma ligação covalente, libera-se um elétron e surge um espaço vazio (lacuna). Logo para cada rompimento temos a geração de um par elétron- lacuna.



A lacuna se comporta como carga positiva, pois seu sentido é sempre contrário ao movimento dos elétrons!

12

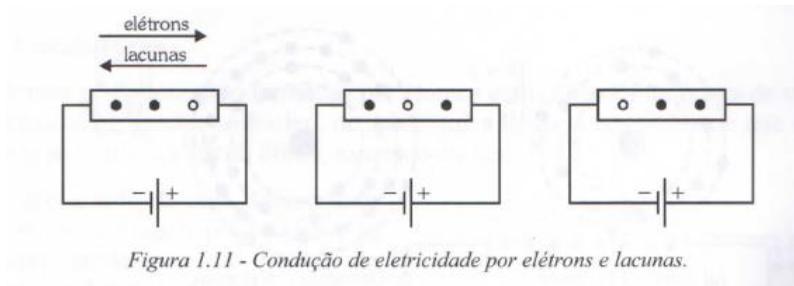
kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Geração de Pares Elétron- Lacuna



13



Aula 2

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-

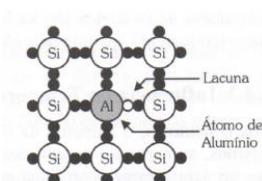


Figura 1.12 - Geração de lacuna por dopagem trivalente.

14



Aula 2

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.

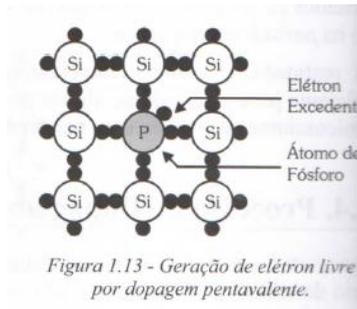
Semicondutor Tipo N

Portadores majoritários:

e^-

Portadores minoritários:

p^+



15

kroton
paixão por educar



Aula 2

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:

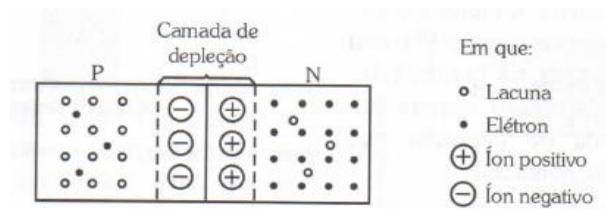


Figura 1.14 - Junção PN e a barreira de potencial.

16

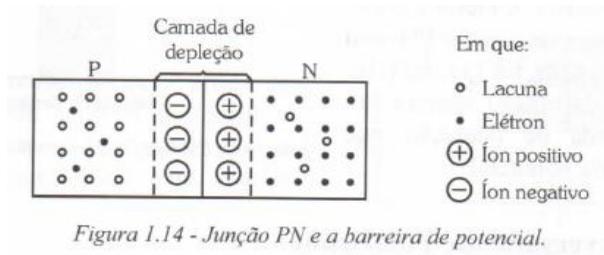
kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Junção PN- Diodo



Processo de difusão de cargas com deslocamento de cargas de regiões de elevada concentração para regiões de baixa concentração.

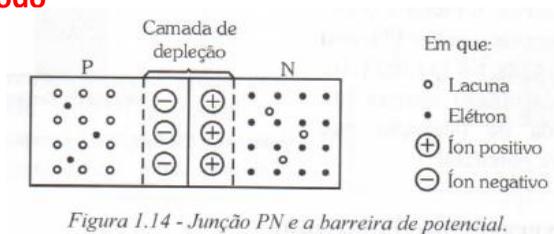
17



Aula 2

Diodo Semicondutor

Junção PN- Diodo



Nesse processo, os e- do lado N vão para o P, esses e- criam regiões de íons positivos (cátions) próximos a junção.

No lado P, quando os elétrons ocupam as lacunas que também se encontram próximas da junção (recombinação elétron- lacuna), eles criam íons negativos (ânions).

18





Aula 2

Diodo Semicondutor

Junção PN- Diodo

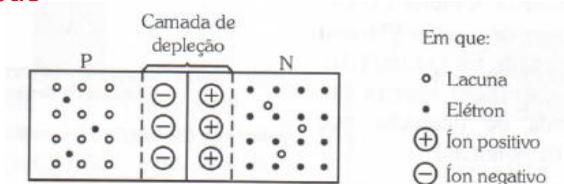


Figura 1.14 - Junção PN e a barreira de potencial.

A região com a formação dos íons, passa a ter características especiais pois ficam livres de portadores de carga (elétrons e lacunas), e é chamada de camada de depleção, pois formam uma barreira de potencial.

À temperatura ambiente, a barreira de potencial vale aproximadamente 0,6V para o semicondutor silício e aproximadamente 0,3V para o germânio.

19



Aula 2

Diodo Semicondutor

Junção PN- Diodo

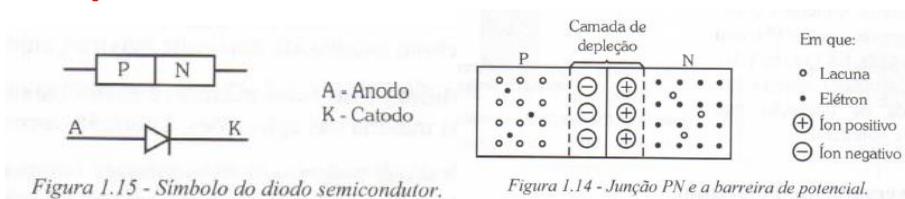


Figura 1.15 - Símbolo do diodo semicondutor.

Figura 1.14 - Junção PN e a barreira de potencial.

Terminal P- ânions- íons negativos – ânodo;

Terminal N- cátions- íons positivos- cátodo

20



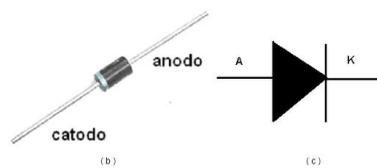
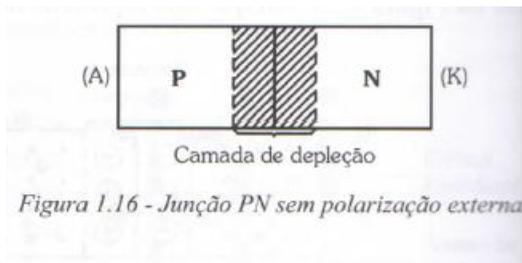


Aula 2

Diodo Semicondutor

Polarização do Diodo

Sem estar polarizado:



21

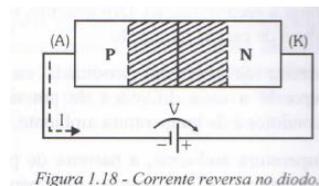
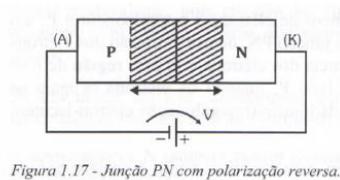


Aula 2

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.

22



Aula 2

Diodo Semicondutor

Polarização do Diodo

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

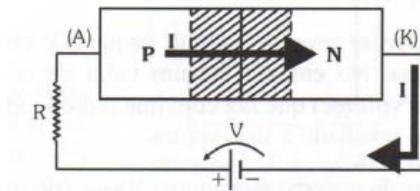


Figura 1.19 - Junção PN com polarização direta.

23

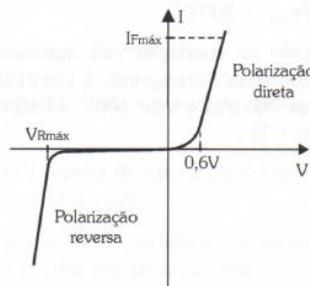


Aula 2

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.

24





Aula 2

Diodo Semicondutor

Curva Característica do Diodo

Exercício: Esboce a curva característica do diodo 1N4004, sabendo que ele é de silício e que suas principais especificações, obtidas em um manual são:

- $I_{FMÁX} = 1A$;
- $V_{RMÁX} = 400V$

25



Aula 2

Diodo Semicondutor

Curva Característica do Diodo

Exercício: Esboce a curva característica do diodo 1N4004, sabendo que ele é de silício e que suas principais especificações, obtidas em um manual são:

- $I_{FMÁX} = 1A$;
- $V_{RMÁX} = 400V$

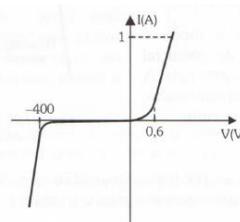


Figura 1.21 - Esboço da curva característica do diodo 1N4004.

26



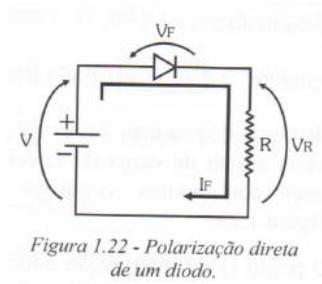


Aula 2

Diodo Semicondutor

Reta de Carga do Diodo

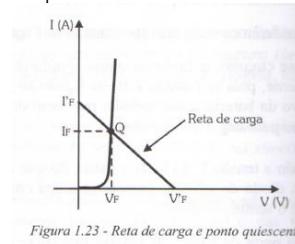
Determinação analítica do ponto de operação, por meio da reta de carga.



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

Desta forma:

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



27

kroton
paixão por educar



Aula 2

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)

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

28

kroton
paixão por educar



Aula 2

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)

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

29



Aula 2

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.

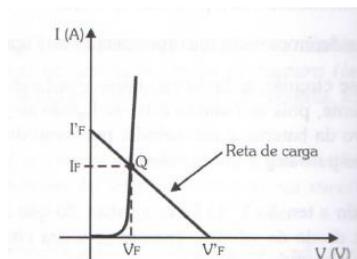


Figura 1.23 - Reta de carga e ponto quiescente

30



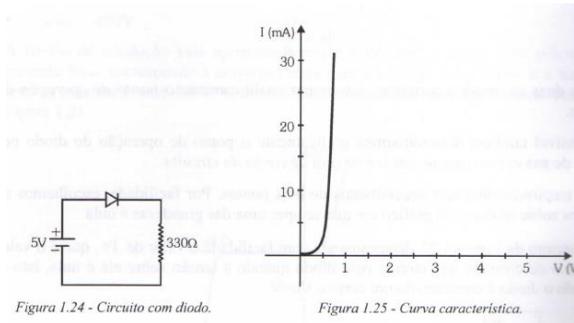


Aula 2

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.



31

kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

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

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

Solução:

$$V_F = 0,6V;$$

$$V_R = 4,4V;$$

$$I_F = 13,33mA$$

32

kroton
paixão por educar



Aula 2

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: $I_F = \frac{V}{R} = \frac{5}{330} \Rightarrow I_F \cong 15\text{mA}$
- Tensão máxima no diodo: $V_F = V \Rightarrow V_F = 5\text{V}$

33



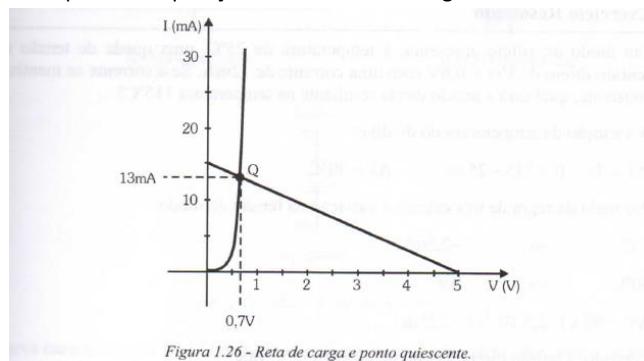
 paixão por educar


Aula 2

Diodo Semicondutor

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

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



34



 paixão por educar



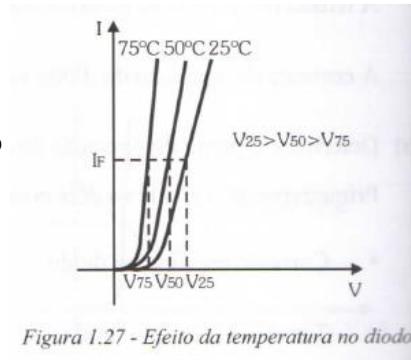
Aula 2

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



35



Aula 2

Diodo Semicondutor

Exercício:

Um diodo de silício apresenta, à temperatura de 25°C, uma queda de tensão no sentido direto de **VF1=0,6V** com uma corrente de 12mA. Se a corrente se mantiver constante, qual será a tensão direta resultante na temperatura 115°C?

Resposta: **VF2=0,375V.**

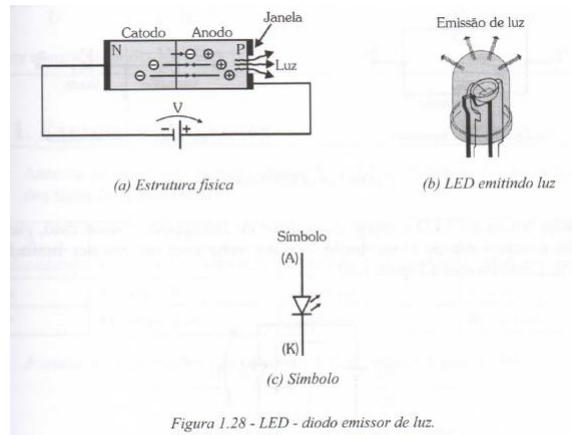
36



Aula 2

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:



37



Aula 2

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), arsênico (As) e o fósforo (P).

Tensão de condução= 2V;
Ifmáx- dezenas de miliampéres;
Vrmáx- dezenas de volts

38



Aula 2

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.



39

kroton
paixão por educar



Aula 2

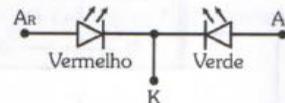
Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:

LED bicolor: fabricado com dois e três terminais.



(a) LED de dois terminais



(b) LED de três terminais

40

kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:

LED: usado para sinalização:

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

41



Aula 2

Diodo Semicondutor

Diodo Emissor de Luz- LED:

LED: usado para sinalização:

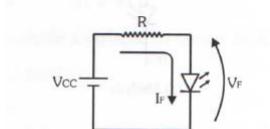


Figura 1.30 - Polarização do LED.

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

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

42

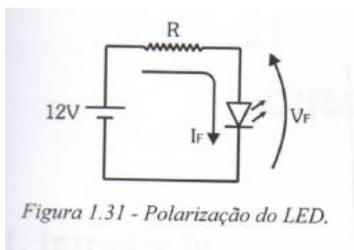




Aula 2

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

43

kroton
paixão por educar



Aula 2

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 |

44

kroton
paixão por educar



Aula 2

Diodo Semicondutor

Lista 1 de Exercícios:

Realizar os exercícios propostos: 1.1 à 1.3 página 33 e 1.4 à 1.6 página 34. Enunciado + respostas à mão, individual e na folha padrão.

Entrega: 07/03/2015 até as 20hs.

45



Bibliografia desta aula:

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

46

