



Escola Politécnica da USP  
Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos

# **Eletrônica Analógica**

## **Parte I**

*Prof. Dr. Diolino José dos Santos Filho*  
*Prof. Dr. Newton Maruyama*

São Paulo, Agosto de 2019

Todos os direitos reservados.  
É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem prévia autorização dos autores.

<b>1. Conceitos Básicos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Convenção do Gerador e do Receptor.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Bipolos Passivos.....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Resistores .....	7
1.2.2 Capacitores .....	8
1.2.3 Indutores.....	9
<b>1.3 Bipolos Ativos.....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Geradores de Tensão Contínua.....	11
1.3.2 Geradores de Corrente Contínua.....	12
<b>1.4 Métodos Básicos de Análise de Circuitos.....</b>	<b>13</b>
1.4.1 Análise de Malhas e Nodal .....	13
1.4.2 Teorema de Thevenin .....	15
<b>2. Diodos .....</b>	<b>19</b>
2.1 Aspectos básicos construtivos .....	19
2.2 Polarização de um diodo e sua representação.....	21
2.3 Curva $I_D \times V_D$ de um diodo.....	22
2.4 Modelos de um diodo.....	24
<b>3. Circuitos Retificadores a Diodos.....</b>	<b>26</b>
3.1 Sinais Alternados.....	26
3.2 Transformadores.....	28
3.3 Retificadores de meia-onda.....	29
3.4 Retificadores de Onda Completa.....	31
3.5 Retificadores em ponte.....	35
<b>4. Familiarização com Componentes e Instrumentos .....</b>	<b>39</b>
4.1 Procedimentos no Laboratório .....	39
4.2 Equipamentos e instrumentos.....	40
4.2.1 Multímetro .....	40
4.2.2 Osciloscópio .....	41
4.2.3 Fonte de alimentação .....	42
4.2.4 Gerador de onda (funções).....	42
4.2.5 Protoboard.....	43
4.2.6 Resistores .....	44
4.2.7 Capacitores .....	47
4.3 Atividades Práticas.....	48
4.3.1 Ligando o osciloscópio .....	48
4.3.8 Retificador em ponte .....	51
4.4 Lista de Materiais.....	52



## **1. Conceitos Básicos**

Em virtude do crescente desenvolvimento tecnológico das técnicas de fabricação de componentes eletrônicos, especialmente na área de microeletrônica e circuitos integrados em larga escala, houve uma crescente aplicação destes recursos em diversos ramos da Engenharia.

A contínua miniaturização destes elementos permitindo a compactação de complexos circuitos eletrônicos em pequenas pastilhas de semicondutores provocaram uma avalanche de aplicações destes dispositivos para a solução de problemas nas mais variadas áreas da sociedade. Atualmente, percebe-se a presença de dispositivos eletrônicos embarcados em inúmeros equipamentos existentes nos parques industriais, hospitais, bancos, comércio em geral e na maioria dos eletrodomésticos presentes em nossos lares.

De uma forma genérica pode-se dizer que o principal objetivo que caracteriza a Eletrônica é o estudo do movimento de cargas elétricas em circuitos. Dependendo da forma como se processa este movimento a Eletrônica subdividi-se em duas áreas fundamentais:

- Eletrônica Analógica e
- Eletrônica Digital.

A Eletrônica Analógica aborda o estudo de circuitos em que se manifestam sinais de natureza contínua, ou que variam continuamente no tempo. Por sua vez, a Eletrônica Digital trata sinais que variam de forma discreta no tempo, a partir de pulsos.

Nesta disciplina o objetivo é estudar os conceitos fundamentais de Eletrônica Analógica partindo do Teorema de Thevenin para análise de circuitos, diodos semicondutores retificadores, diodos zener, transistores bipolares, amplificadores de potência, amplificadores operacionais e filtros ativos.

Pretende-se desta forma abordar os princípios básicos dos dispositivos eletrônicos fundamentais em Eletrônica Analógica que fornecerão uma sólida visão de como se comportam os circuitos em que estes dispositivos estão presentes.

Desta forma, conquista-se o embasamento desejado para que o profissional participante deste processo de reciclagem esteja capacitado a adquirir novos conhecimentos na área de forma sistemática, além de aprimorar seus limites de compreensão em termos da realidade tecnológica do meio em que atua.

## 1.1 Convenção do Gerador e do Receptor

Como premissa básica, o sentido da corrente que circula nos circuitos que serão estudados corresponde ao sentido 'contrário' ao do movimento dos elétrons. Por sua vez, a indicação de tensão sobre um bipolo pode obedecer a duas convenções:

- Convenção do Gerador. O gerador tem potência  $P = v \cdot i$  positiva, de acordo com o esquema da Fig. 1.1.

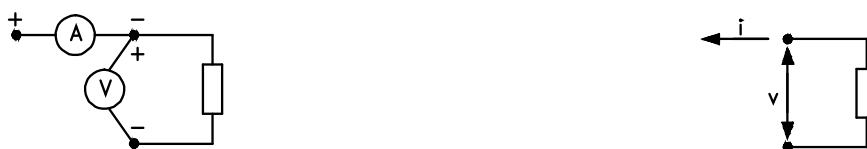


Fig. 1.1 Convenção do gerador

- Convenção do receptor. Neste caso, o receptor apresenta potência positiva, de acordo com o esquema da Fig. 1.2.



Fig. 1.2 Convenção do receptor

Durante o curso adotaremos a convenção do receptor, comumente utilizada nas diversas referências bibliográficas da área.

## 1.2 Bipolos Passivos

Constituem os elementos que não adicionam energia aos circuitos em que estão inseridos.

### 1.2.1 Resistores

São componentes que dissipam energia por efeito joule, observando-se a relação:

$$V = f(I) \quad (1.1)$$

Para o projeto e implementação de circuitos, utiliza-se em sua maioria resistores lineares que obedecem a Lei de Ohm:

$$V = R.I, (V, \Omega, A) \quad (1.2)$$

A simbologia adotada para a representação destes elementos em diagramas elétricos é a ilustrada na Fig.1.3.

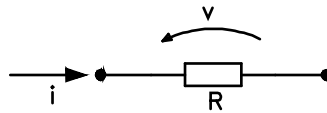


Fig.1.3 Diagrama elétrico de um resistor

A potência dissipada em um resistor linear em um determinado instante é dada por:

$$P = v.i = (Ri)i = r.i^2 = v \left( \frac{v}{R} \right) = \frac{v^2}{R} \quad (1.3)$$

Em várias situações costuma-se trabalhar com o inverso da resistência, denominada condutância  $G$ , obedecendo a relação:

$$I = G.V, (A, S, V) \quad (1.4)$$

## 1.2.2 Capacitores

São elementos capazes de armazenar cargas elétricas.

É comum utilizar-se capacitores lineares que obedecem a seguinte relação:

$$Q = C.v(C, F, V) \quad (1.5)$$

Diferenciando-se a equação 1.5 em relação ao tempo obtém-se:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(Cv) = C \frac{dv}{dt},$$
$$\therefore i = c. \frac{dv}{dt} \quad (1.6)$$

Para representar este elemento em um diagrama elétrico utiliza-se o símbolo da Fig.:

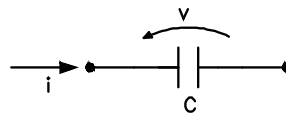


Fig. 1.4 Diagrama elétrico de um capacitor

A potência e a energia armazenadas em um capacitor podem ser calculadas da seguinte forma.

- A potência instantânea é dada por:

$$p = v.i = v \left( c \frac{dv}{dt} \right) = \frac{1}{2} C. \frac{d}{dt} (v^2) \quad (1.7)$$

- A energia armazenada é dada por

$$E = \int_T p dt = \frac{1}{2} C. \int_T d(v^2) = \frac{1}{2} C. Vef^2 \quad (1.8)$$



### 1.2.3 Indutores

São elementos capazes de armazenar energia magnética, oriunda da variação do campo magnético criado pelo fluxo de corrente variável. A Tabela 1.1 recorda os conceitos básicos de campo elétrico e campo magnético e suas fontes.

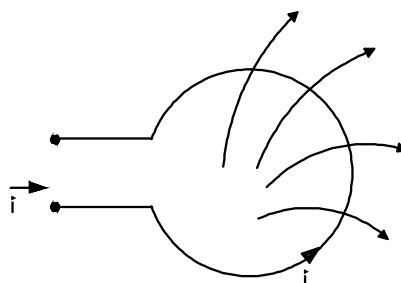
Tabela 1.1: Recordação de Campos Eletromagnéticos

Fonte	Campo
Distribuição de cargas elétricas estáticas	Cria um campo eletrostático
Cargas elétricas em movimento	Criam um campo magnético
Corrente $i$ em um condutor	Cria um campo magnético

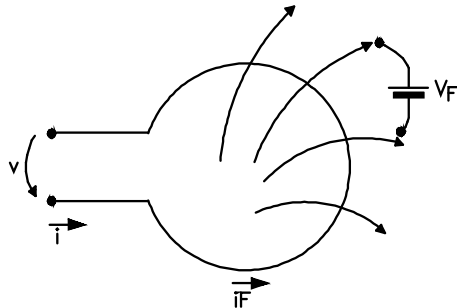
De acordo com a Lei de Faraday, variações no fluxo magnético originam variações de tensão de acordo com a seguinte equação:

$$v = \frac{d\phi}{dt} \quad (1.9)$$

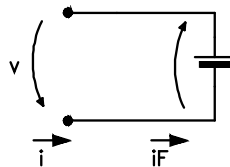
Pela convenção do receptor



Obs.: Recordação da Lei de Lenz:



- se o fluxo  $\phi$  diminui  $\Rightarrow$  pela Lei de Lenz surge  $i_F$  para tentar restabelecer o fluxo;
- $i_F$  surge graças à  $V_F$  originado.
- Portanto teremos o seguinte circuito:



$$\therefore v = -V_F \Rightarrow v < 0$$

$$\frac{d\phi}{dt} < 0$$

$$\therefore v = + \frac{d\phi}{dt}$$

Em um indutor linear vale a relação :

$$\phi = L \cdot I \quad (\text{wb, H, A}) \quad (1.10)$$

Onde:

$I$  é a corrente que circula pela espira.

$L$  é a indutância da espira.

$\phi$  é o fluxo concatenado

Voltando à equação (1.9) e considerando a equação (1.10) temos :

$$v = L \frac{dI}{dt} \quad (1.11)$$

A potência e a energia armazenada é calculada da seguinte forma. A potência instantânea é dada por:

$$p = vi = I.L \frac{dI}{dt} \Rightarrow p = \frac{1}{2} L. \frac{d}{dt} (I^2) \quad (1.12)$$

A energia armazenada é dada por

$$E = \int_T p dt = \frac{1}{2} L. I_e f^2 \quad (1.13)$$

### 1.3 Bipolos Ativos

Constituem os elementos que de alguma forma adicionam energia aos circuitos em que estão inseridos.

#### 1.3.1 Geradores de Tensão Contínua

São geradores que, idealmente, fornecem uma tensão contínua constante, qualquer que seja a carga a ser alimentada.

Simbolicamente representa-se pelo diagrama elétrico da Fig 1.5.

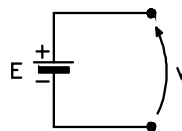


Fig. 1.5 Diagrama elétrico de uma fonte de tensão contínua

Entretanto, as fontes reais não são perfeitas, dissipando calor por efeito Joule. Estas perdas são representadas pela presença de uma resistência interna da fonte conforme descreve o modelo da Fig. 1.6.

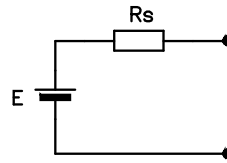


Fig. 1.6 Modelo de uma fonte de tensão com perdas

### 1.3.2 Geradores de Corrente Contínua

Idealmente, uma fonte de corrente é um dispositivo que fornece um valor de corrente constante, independente da carga. O símbolo para sua representação é dado na Fig. 1.7.

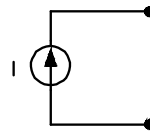


Fig. 1.7 Fonte de corrente ideal

Entretanto, as fontes de corrente reais sempre apresentam uma perda de corrente conforme aumenta-se o valor da resistência de carga. Neste contexto, adota-se o modelo ilustrado na Fig. 1.8 para representar uma fonte de corrente real.

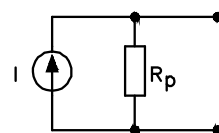
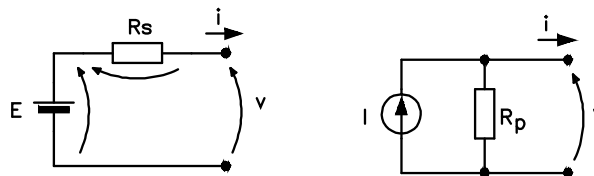


Fig. 1.8 Fonte de corrente com perdas

### 1.3.3 Transformação de fontes

Em muitos casos, para facilitar a análise de um circuito, é interessante transformar uma fonte de tensão em fonte de corrente ou vice-versa.

Dadas duas fontes - uma de tensão e outra de corrente - resta saber quando estas fontes serão equivalentes e o problema em questão estará resolvido.



(I) Fonte de Tensão

(II) Fonte de Corrente

Fig. 1.9 Fontes equivalentes

- Em (I) temos :  $v = E - R_S i$  (1.14)
- Em (II) temos :  $v = R_p \cdot (I - i) = R_p - R_p \cdot i$  (1.15)

Para que (1.14) e (1.15) sejam equivalentes, devemos ter:

$$E = R_p \cdot I \tag{1.16}$$

$$R_S = R_p \tag{1.17}$$

A partir das equações (1.16) e (1.17) obtêm-se as relações de transformação desejadas.

## 1.4 Métodos Básicos de Análise de Circuitos

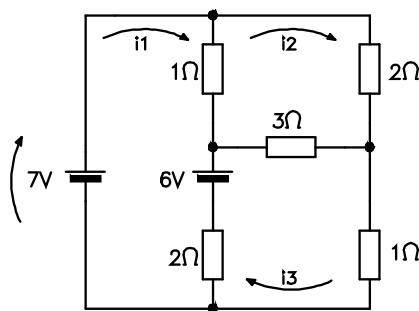
### 1.4.1 Análise de Malhas e Nodal

Para aplicar-se o critério de análise de malhas, basta seguir os seguintes passos fundamentais:

- divide-se o circuito nas várias malhas internas fundamentais;
- adota-se uma corrente de malha em cada uma das malhas;
- pela convenção do receptor, associa-se os sinais para os geradores e
- aplicando-se a 2a Lei de Kirchoff para cada malha (somatória das tensões é igual a zero) obtêm-se o sistema de equações desejado.

Exemplos:

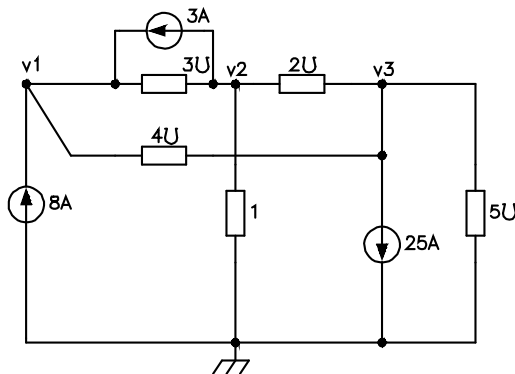
a) Análise de Malhas



- malha 1 :  $-7 + 1.(i_1 - i_2) + 6 + 2.(i_1 - i_3) = 0$
- malha 2 :  $1.(i_2 - i_1) + 2.i_2 + 3.(i_2 + i_3) = 0$
- malha 3 :  $2(i_3 - i_1) - 6 + 3(i_3 - i_2) + i_3 = 0$

Em seguida, basta resolver o sistema de equações formado pelas malhas.

b) Análise Nodal



- nó 1 :  $-8 + 3.(v_1 - v_2) + 4(v_1 - v_3) - 3 = 0$

- nó 2 :  $3 + 1.v_1 + 2(v_2 - v_3) + 3(v_2 - v_1) = 0$
- nó 3 :  $25 + 5v_3 + 2.(v_3 - v_2) + 4(v_3 - v_1) = 0$

A partir do exemplo de análise nodal apresentando, observa-se que o procedimento é dual em relação à análise de malhas, ou seja:

- referencia-se um nó do circuito como sendo o terra.
- associa-se tensões ao terra nos demais nós.
- pela convenção do receptor associa-se os sinais às correntes, aplicando-se a relação  $i = G.v$  sendo que as correntes que entram no nó são negativas.
- Aplicando-se a 1a Lei de Kirchoff aos vários nós, obtêm-se o conjunto de equações desejado.

#### 1.4.2 Teorema de Thevenin

À medida em que o número de malhas e nós cresce, os métodos de análise apresentados deixam de ser eficientes.

Nestes casos é que se aplica o Teorema de Thevenin que permite a redução de complexos circuitos formados por diversos geradores e bipolos passivos em um circuito constituído por uma única malha com  $V_{th}$ ,  $R_{th}$  e  $RL$ , isto é, um gerador com tensão  $V_{th}$  (Tensão de Thevenin) e resistência de Thevenin  $R_{th}$  equivalentes, alimentando uma carga  $RL$ .

Portanto, a aplicação deste Teorema contitue-se de dois passos:

a) Cálculo de  $V_{th}$

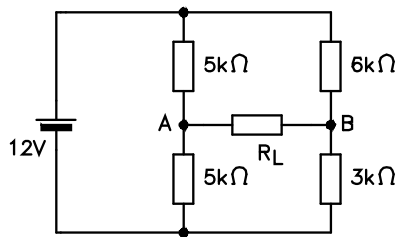
- retira-se a carga  $R_L$ ;
- calcula-se a tensão nestes terminais;
- se o circuito estiver em operação, basta medir a tensão nestes terminais com um voltímetro.

b) Cálculo de  $R_{th}$

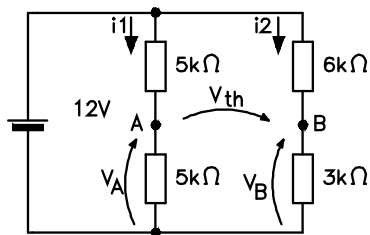
- inativa-se os **geradores de tensão**, substituindo-os por um **curto** e;

- inativa-se os **geradores de corrente**, substituindo-os por um circuito **aberto** nestes pontos;
- a seguir, basta calcular o resistor em série com  $R_L$ , equivalente á associação obtida após inativar os geradores.

Exemplo.



- Cálculo de  $V_{th}$



$$V_{th} = V_{BA} = V_B - V_A$$

$$i_1 = \frac{12}{5+5} = 1,2mA$$

$$V_A = 5K \cdot i_1 = 6V$$

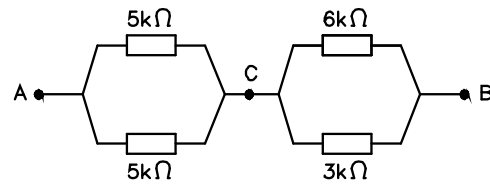
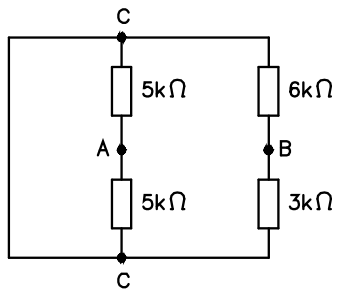
$$V_{th} = 4 - 6 = -2V$$

$$i_2 = \frac{12}{6+3} = \frac{4}{3}mA$$

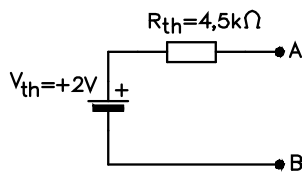
$$V_B = 3K \cdot i_2 = 4V$$

- Cálculo de  $R_{th}$

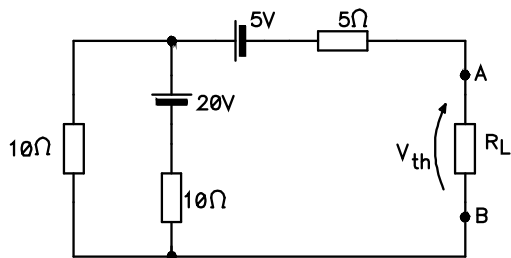




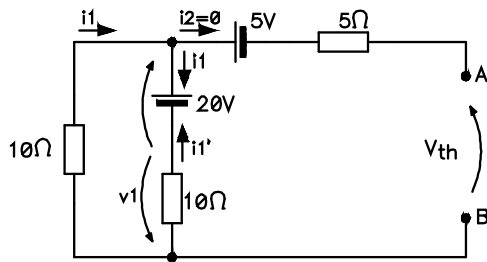
Portanto, obtém-se o seguinte modelo :



Exemplo 2.



- Cálculo de  $V_{th}$



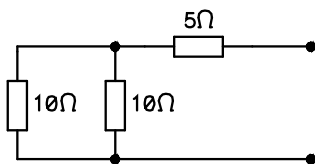
- na malha 1:  $10i_1 + 20 + 10i_1 = 0$

$$\therefore i_1 = -1A \quad (\text{sentido inverso ao adotado})$$

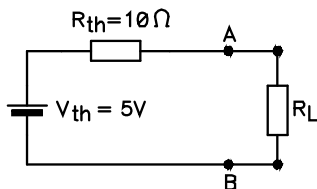
$$i_1' = 1A \quad (\text{ver circuito})$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{th} &= -v_1 + 20 - 5 \\ &= -10 + 20 - 5 \Rightarrow V_{th} = 5V \end{aligned}$$

- Cálculo de Rth



Portanto, obtêm-se o seguinte modelo:



Com isto conclui-se uma revisão dos conceitos básicos a serem aplicados durante o curso e que são fundamentais para a compreensão e análise dos diversos circuitos eletrônicos que serão estudados a partir do próximo capítulo.

## **2. Diodos**

### **2.1 Aspectos básicos construtivos**

Na atualidade, os dispositivos eletrônicos são constituídos em sua maioria por material semicondutor, havendo raras exceções a essa regra. O material semicondutor em questão pode ser Si ou Ge puros, que não conduzem corrente elétrica em seu estado intrínseco.

Para tornar uma pastilha de Si útil para o desenvolvimento de componentes eletrônicos, o primeiro passo foi realizar um processo de dopagem de outros elementos químicos no substrato de semicondutor que constitui a pastilha em si. Neste sentido, realizou-se dois tipos de dopagem; gerando duas naturezas de materiais:

- Materiais do tipo P.
- Materiais do tipo N.

O Si como material intrínseco, na temperatura ambiente, apresenta diversos elétrons livres e lacunas. Por lacuna entende-se como sendo as vagas anteriormente ocupados pelos elétrons livres e que momentaneamente estão em trânsito.

Frequentemente, elétrons ganham energia suficiente para libertarem-se de seus respectivos átomos - um dos quatro elétrons disponíveis na camada de valência - originando novos elétrons livres, ao mesmo tempo em que surgem os respectivos lugares vagos ou lacunas.

Por outro lado, vários elétrons livres em trânsito perdem energia com os choques que vão sofrendo e acabam se recombinando com os átomos que possuem lacunas.

Este processo permanente de geração e recombinação de portadores não é suficiente para provocar correntes significativas, sendo este o motivo pelo qual os semicondutores em seu estado intrínseco não serem capazes de conduzir correntes elétricas.

O artifício de realizar-se processos de dopagem sobre um material intrínseco de Si objetiva ampliar artificialmente o número de elétrons livres, ou o número de lacunas presente nestes materiais.

Um material é dito ser do tipo P se for um substrato de Si ou Ge que foi dopado artificialmente com Boro, Gálio ou Índio, que são elementos trivalentes e, portanto, receptores de elétrons. Desta forma, em um material do tipo P os portadores majoritários passam a ser as lacunas, em número muito maior quando comparado ao dos elétrons livres.

Um material é dito ser do tipo N se for um substrato de Si ou Ge que foi dopado com nitrogênio ou fósforo, que são elementos pentavalentes e, portanto, doadores de elétrons. Desta forma, os portadores majoritários em um material do tipo N serão os elétrons livres.

Um diodo é um elemento que representa um bipolo capaz de conduzir corrente em apenas um sentido. Para a sua construção juntou-se um substrato do tipo P e outro do tipo N. A partir do momento em que se junta estes dois substratos, surge uma corrente de difusão em virtude da diferença de concentração de portadores majoritários entre estes dois materiais. Estes trânsito de portadores causa a formação de uma camada de cargas onde há o contato dos dois materiais, denominada zona de depleção que origina um campo elétrico contrário à corrente de difusão (Fig. 2.1).

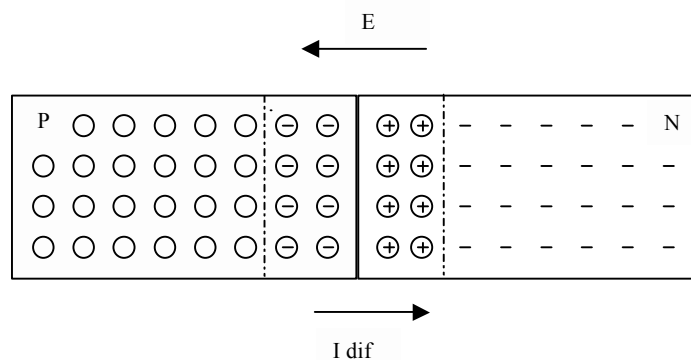


Fig. 2.1 Junção de materiais P e N

## 2.2 Polarização de um diodo e sua representação

A representação de um diodo em um diagrama elétrico está ilustrada na Fig. 2.2.

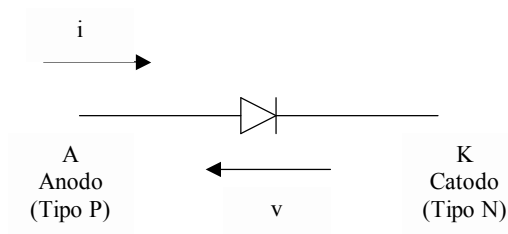


Fig. 2.2 Diagrama elétrico de um diodo

Há duas formas de se polarizar um diodo:

- polarização direta e
- polarização reversa.

A polarização direta consiste em fornecer um potencial positivo ao lado P de forma a mantê-lo a um maior potencial que o lado N. Neste caso, este procedimento gera um campo elétrico externo que fornece energia aos portadores para que atravessem a zona de depleção.

Portanto, a polarização direta permite a passagem de correntes elevadas, limitadas por um resistor  $R_s$  colocado em série com o diodo, baseada na corrente de portadores majoritários.

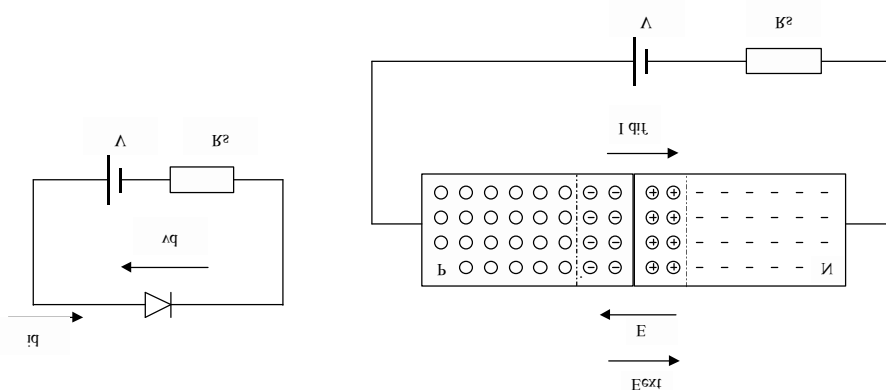


Fig. 2.3 Diodo polarizado diretamente

Por sua vez, a polarização reversa aumenta a largura da zona de depleção e só haverá corrente de portadores minoritários, ou seja, a corrente neste sentido será desprezível (Fig. 2.4).

Portanto, podemos afirmar que o comportamento de um diodo é semelhante ao de uma chave.

- diodo polarizado diretamente  $\Rightarrow$  chave fechada;
- diodo polarizado reversamente  $\Rightarrow$  chave aberta.

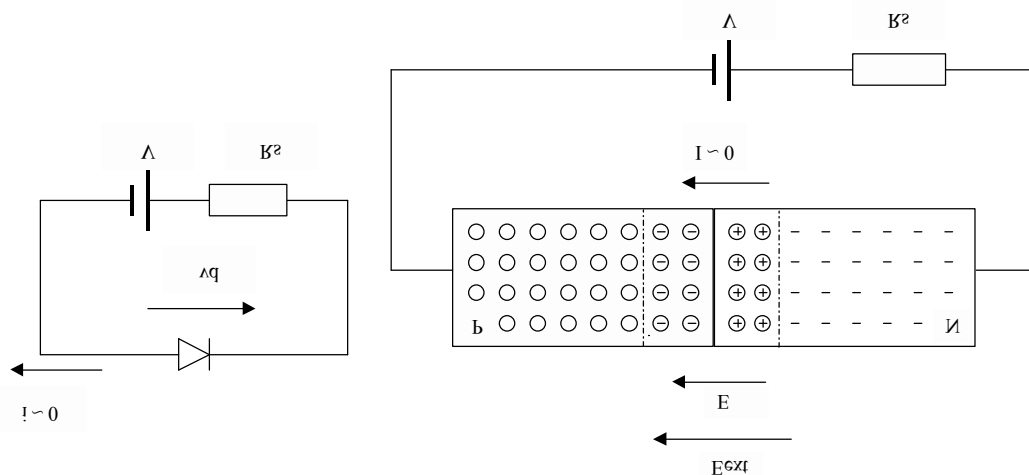


Fig. 2.4 Diodo polarizado reversamente

### 2.3 Curva $I_D \times V_D$ de um diodo

O gráfico apresentado na Fig. 2.5 representa as características de um diodo real, em que se observa quatro regiões fundamentais.

a) Região linear

O comportamento  $I_d \cdot V_d$  é uma reta o que significa que está presente um efeito resistivo no diodo, que corresponde à resistência de corpo do diodo  $R_c$  (aproximadamente  $10 \Omega$ ).

b) Região exponencial

Corresponde à região em que, apesar do diodo estar polarizado diretamente, em virtude da zona de depleção, a corrente ainda é muito pequena, até que se atinja a tensão de 0,7 V denominada tensão de joelho.

c) Região de polarização reversa

Corresponde a região em que o diodo se encontra polarizado reversamente, em que há correntes desprezíveis (nA), sem haver ruptura. Esta corrente denomina-se corrente de fuga.

d) Região de ruptura

Corresponde à tensão de ruptura que começa a arrancar os elétrons da estrutura cristalina danificando o material.

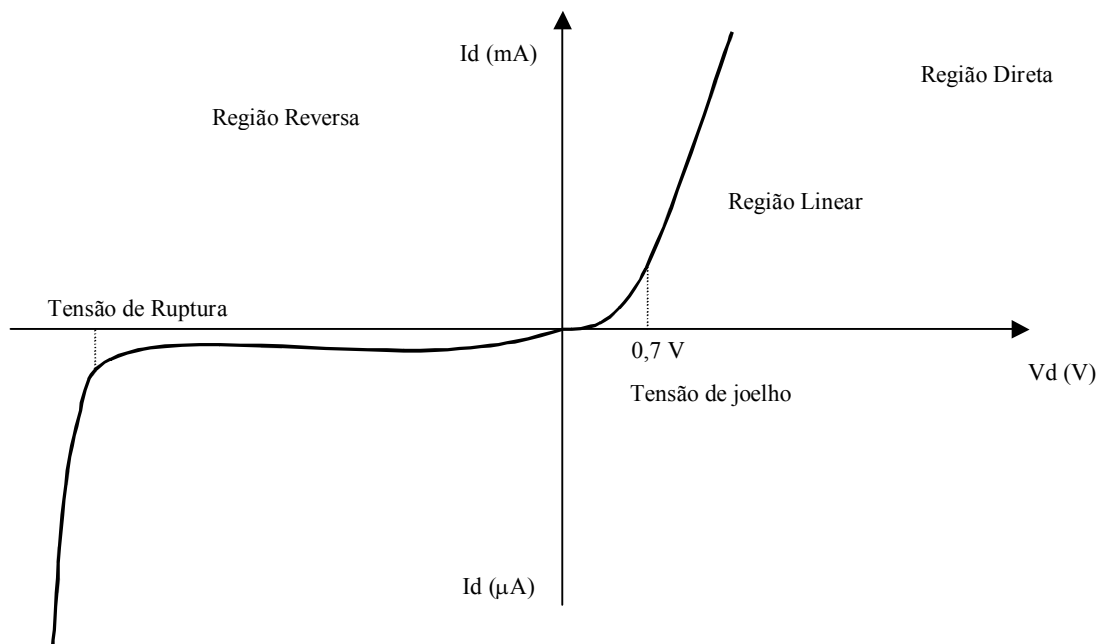


Fig. 2.5 Curva de polarização do diodo

## 2.4 Modelos de um diodo

Para analisar-se um sistema, o primeiro passo é sempre adotar um modelo. Isto se aplica também, aos diodos.

Basicamente, é possível trabalhar com três modelos diferentes para representar o comportamento de um diodo.

### a) Modelo ideal

Resolve a maioria dos casos e o modelo correspondente a uma chave analógica ideal conforme ilustra a Fig. 2.6.

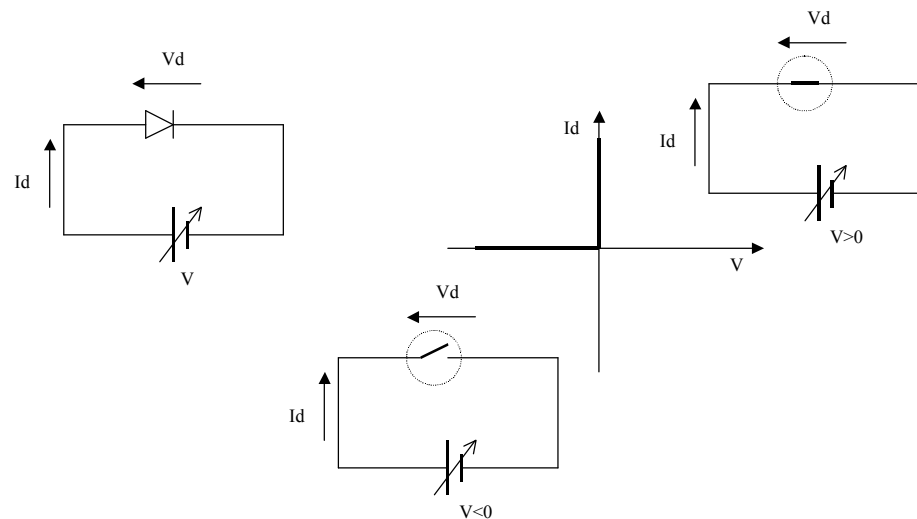


Fig. 2.6 Modelo de um diodo ideal



b) Modelo com tensão de joelho (Fig. 2.7)

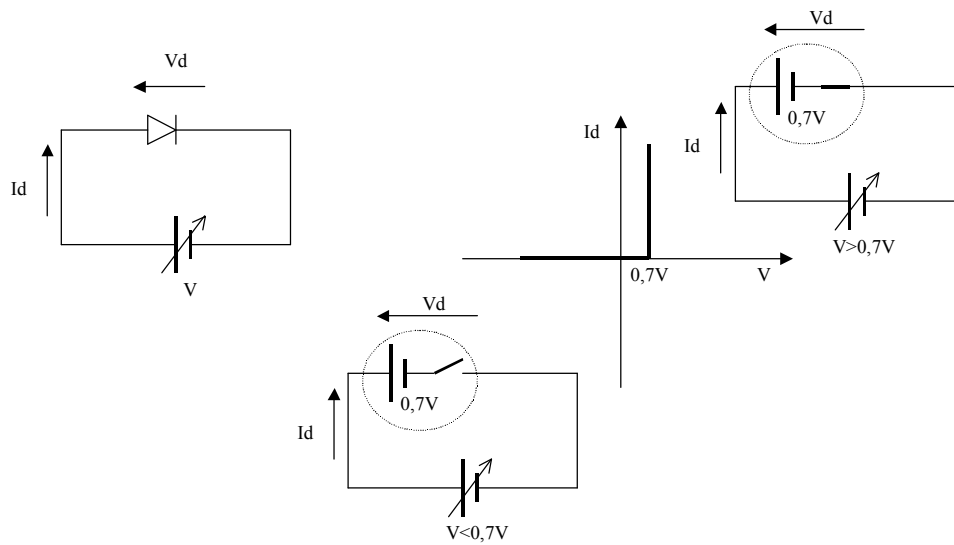


Fig. 2.7 Modelo de um diodo com tensão de joelho

c) Modelo com tensão de joelho e resistência de corpo (Fig. 2.8)

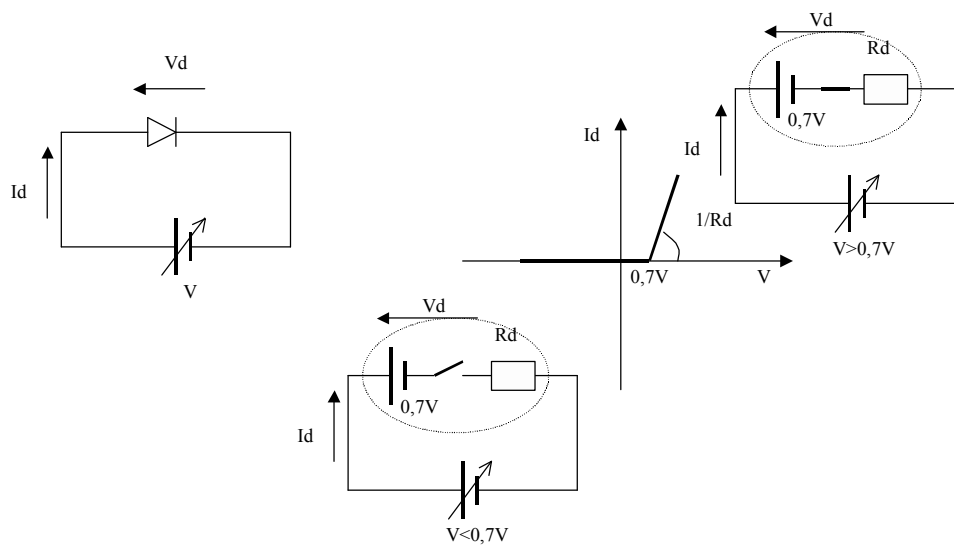


Fig. 2.8 Modelo de um diodo com tensão de joelho e resistência de corpo

### 3. Circuitos Retificadores a Diodos

#### 3.1 Sinais Alternados

As tensões de linha disponíveis, para alimentação dos diversos equipamentos eletroeletrônicos são sinais alternados que podem ser representados por uma senóide.

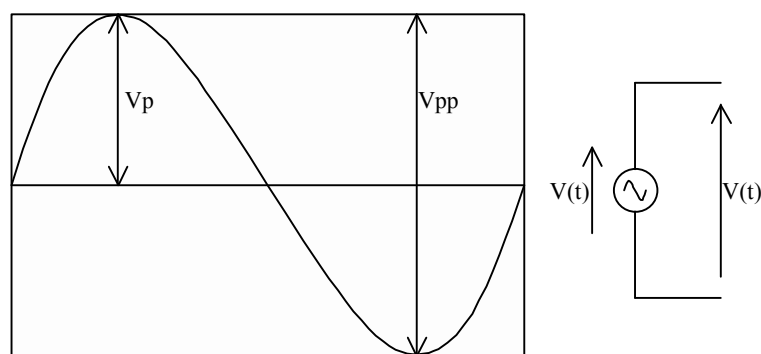


Fig. 3.1 Forma de onda de um gerador senoidal

A partir da Fig. 3.1 observa-se que:

- $V_p$  = valor de pico
- $V_{pp} = 2V_p$  = Valor de pico a pico
- $v(t) = V_p \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$

Entretanto, a maioria dos dispositivos que compõem os circuitos eletrônicos, devem ser alimentados por sinais de tensão contínua. Portanto, no sentido de transformar-se sinais alternados em sinais contínuos, o ponto de partida é estudar retificadores.

Antes de abordar-se circuitos retificadores, é importante conceituar o que vem a ser o valor eficaz de uma grandeza: **a tensão eficaz de uma tensão alternada corresponde ao valor equivalente de tensão contínua que fornece a mesma potência a uma determinada carga.**

Portanto, para o caso de um sinal senoidal conforme ilustrado na Fig. 3.1, podemos calcular a potência média fornecida a um resistor RL da seguinte forma (Fig. 3.2):

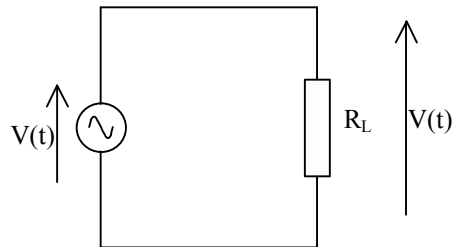


Fig. 3.2 Fonte senoidal alimentando carga resistiva

$$P_m = \frac{1}{T} \int_T \frac{v^2}{R_L} dt \quad (3.1)$$

$$P_m = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_p^2}{R_L} \text{sen}^2(\omega t) dt = \frac{V_p^2}{R_L} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T \text{sen}^2(\omega t) dt$$

onde:

$$\text{sen}^2 \omega t = \frac{\text{sen} 2\omega t + 1}{2},$$

$$P_m = \frac{V_p^2}{R_L} \cdot \frac{1}{T} \left( \int_0^T \frac{\text{sen} 2\omega t}{2} dt + \int_0^T \frac{dt}{2} \right),$$

$$P_m = \frac{V_p^2}{R_L} \cdot \frac{1}{T} \left( \frac{T}{2} \right) \Rightarrow P_m = \frac{V_p^2}{2R_L} \quad (3.2)$$

Aplicando-se a definição de valor eficaz de uma grandeza temos:

$$P_m = \frac{V_{ef}^2}{R_L} \quad (3.3)$$

De (3.2) e (3.3) temos que:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (3.4)$$

Portanto, este é o valor eficaz de uma onda senoidal genérica do tipo  $V_p \text{sen} \omega t$ .

### 3.2 Transformadores

Esquemáticamente, podemos representar um transformador em um circuito elétrico conforme ilustra a Fig. 3.3.

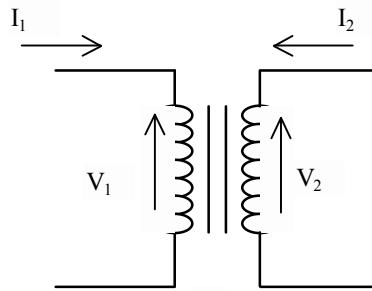


Fig. 3.3 Representação de um transformador

Nos transformadores utilizados e disponíveis no mercado, estão presentes perdas no cobre (referentes a perdas por efeito Joule) e perdas no ferro (referentes a perdas provocadas por correntes induzidas de Foucault e Histerese). Entretanto, na maioria das situações o modelo de transformador ideal é suficiente para a análise de circuitos eletrônicos.

Portanto, um transformador ideal não apresenta perda de potência por efeito Joule e nem perdas de fluxo de campo magnético. Neste contexto, podemos equacionar as seguintes relações:

$$\phi_1 = \phi_2 \Rightarrow N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \quad (3.5)$$

$$P_1 = P_2 \Rightarrow V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \quad (3.6)$$

De (3.5) e (3.6) temos:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3.7)$$

A equação (3.7) representa as relações básicas para um trafo ideal

### 3.3 Retificadores de meia-onda

O circuito mais simples de um retificador está ilustrado na Fig. 3.4. Observe que em circuitos com o objetivo de retificar sinais é comum haver um transformador com os objetivos básicos de isolar circuitos de alimentação de alta potência dos circuitos em questão e de permitir uma adequação dos níveis de tensão (primário/secundário) conforme a necessidade.

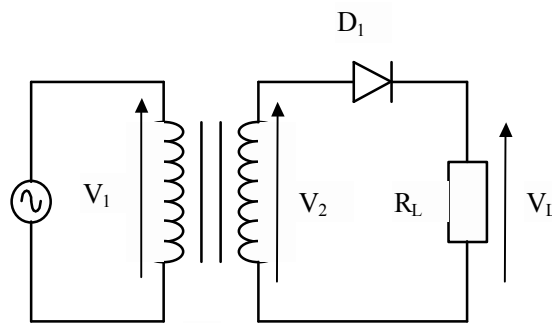


Fig. 3.4 Retificador de meia onda

A forma de onda obtida em  $V_L$  é mostrada na Fig. 3.5.

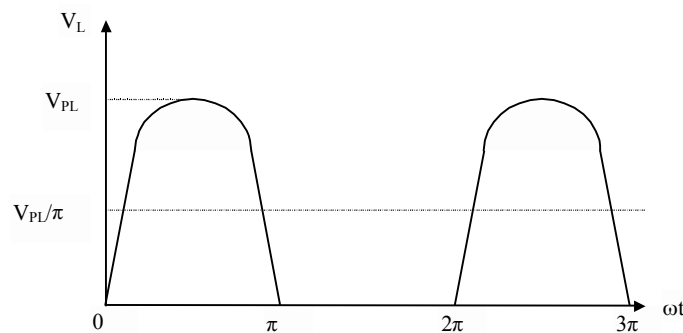


Fig. 3.5 Forma de onda na Carga  $R_L$

De acordo com o circuito proposto, se  $V_2$  assume valores negativos, o diodo corta (pois fica reversamente polarizado) e se desprezarmos a corrente de fuga no diodo, teremos  $I_L=0 \Rightarrow V_L=0$  durante o semiciclo negativo de  $V_2(t)$ .

O sinal retificado obtido em RL possui o seguinte valor médio, equivalente à medida de um voltímetro DC.

$$V_{CCL} = \frac{1}{2} \int_0^T V_{PL} \text{sen} \omega t dt \quad (3.8)$$

$$V_{CCL} = \frac{1}{T} V_{PL} \left[ -\frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{T/2} = \frac{V_{PL}}{T\omega} \left[ -\cos \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} + \cos 0 \right]$$

$$\therefore V_{CCL} = \frac{V_{PL}}{2\pi} \cdot 2 \Rightarrow V_{CCL} = \frac{V_{PL}}{\pi} \quad (3.9)$$

A corrente média na carga será:

$$I_{CCL} = \frac{V_{CCL}}{R_L} \Rightarrow I_{CCL} = \frac{V_{PL}}{\pi \cdot R_L} \quad (3.10)$$

Se considerarmos o diodo como sendo um diodo ideal, teremos  $V_{PL} = V_{P2}$  pois  $V_D = 0$  quando o diodo conduz.

Para a especificação de diodos, é importante calcular-se a corrente média no diodo (especificada como  $I_0$  = corrente média máxima nos manuais e catálogos de fabricantes). No caso do circuito visto, temos:

$$I_D = I_{CCL} \quad (3.11)$$

Outro parâmetro importante é a tensão de pico reversa - PIV - aplicada no diodo. Em nosso caso, considerando o modelo de diodo ideal que se comporta como uma chave aberta quando reversamente polarizado, teremos:

$$\text{PIV} = V_{P2} \quad (3.12)$$

Outra medida importante, refere-se ao valor eficaz da onda retificada, que pode ser calculado da seguinte forma:

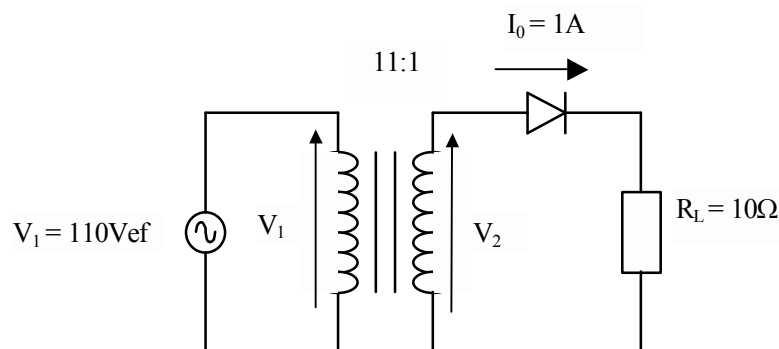
$$\frac{V_{efL}^2}{R_L} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_{PL}^2}{R_L} \text{sen}^2 \omega t dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_{PL}^2}{R_L} \left( \frac{1 + \text{sen} 2\omega t}{2} \right) dt$$

$$\therefore V_{efL} = \frac{V_{PL}}{4} \Rightarrow V_{efL} = \frac{V_{PL}}{2} \quad (3.13)$$

Este resultado era esperado pois, uma vez que, em relação a onda senoidal  $V_2$  houve uma perda dos semiciclos negativos, o sinal  $V_L$  possui a metade da potência do sinal  $V_2$

e, portanto,  $V_{efL}^2 = \frac{V_{ef2}^2}{2}$ .

Exemplo:



$$V_1 = 110V_{ef} \Rightarrow V_{2ef} = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_1 = \frac{110}{11} = 10V_{ef}$$

$$\therefore V_{2p} = 10\sqrt{2} \cdot V = V_{LP} \quad (\text{diodo ideal})$$

$$\therefore V_{CCL} = \frac{V_{PL}}{\pi} \Rightarrow V_{CCL} = \frac{10\sqrt{2}}{\pi} \cdot V$$

$$I_{CCL} = \frac{V_{CCL}}{R_L} = \frac{10\sqrt{2}}{10\pi} \Rightarrow I_{CCL} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} < I_0 = 1.0A$$

$$PIV = V_{2p} = 10\sqrt{2}V$$

### 3.4 Retificadores de Onda Completa

Um aprimoramento no circuito retificador apresentado anteriormente pode ser realizado, resultando no circuito da Fig. 3.6.

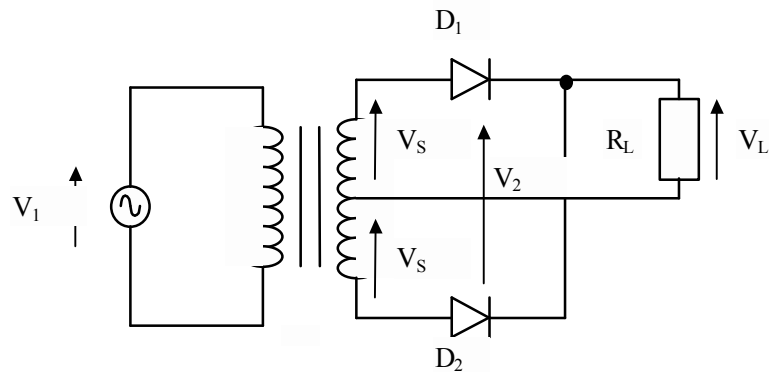


Fig. 3.6 Retificador de onda completa

A diferença fundamental reside no fato de utilizarmos um transformador com "Center Tap"- derivação central-no secundário. Desta forma temos:

$$V_2(t) = V_S(t) + V_S(t) = 2V_S(t) \quad (3.14)$$

O comportamento dinâmico deste circuito é equivalente à associação de dois retificadores de meia onda: cada um retifica o sinal  $V_S(t)$  sendo que o circuito superior (formado por D1 e  $R_L$ ) retifica os semiciclos negativos e o circuito inferior (formado por D2 e  $R_L$ ) retifica os semiciclos positivos.

a) Comportamento do retificador no semiciclo positivo (Fig. 3.7)

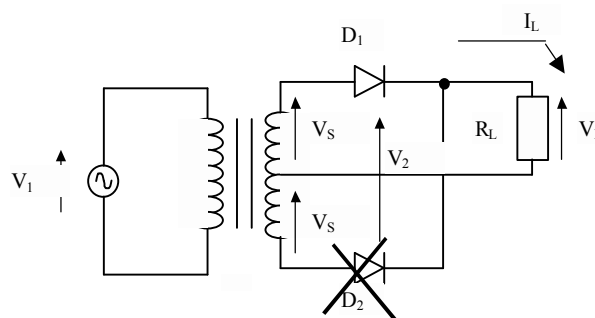


Fig. 3.7 Retificador de onda completa no semiciclo positivo

b) comportamento do retificador no semiciclo negativo (Fig. 3.8)



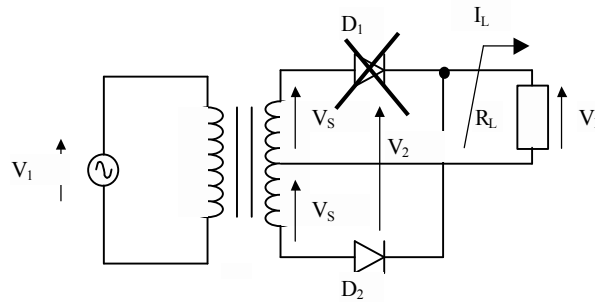


Fig. 3.8 Retificador de onda completa no semiciclo negativo

Portanto, a forma de onda resultante na carga é dada pela Fig. 3.9.

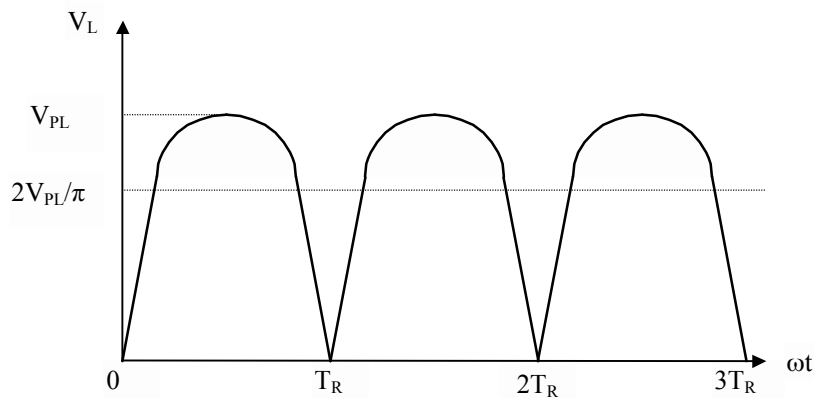


Fig. 3.9 Forma de onda na saída de um retificador de onda completa

A primeira observação importante é que a frequência da onda retificada dobrou ( $T_R = T/2$ ).

Quanto ao valor médio, é evidente que será o dobro do valor comparado ao retificador de meia onda, ou seja:

$$V_{CCL} = 2 \frac{V_{PL}}{\pi} \quad (3.15)$$

Em relação à corrente média na carga, tem-se:

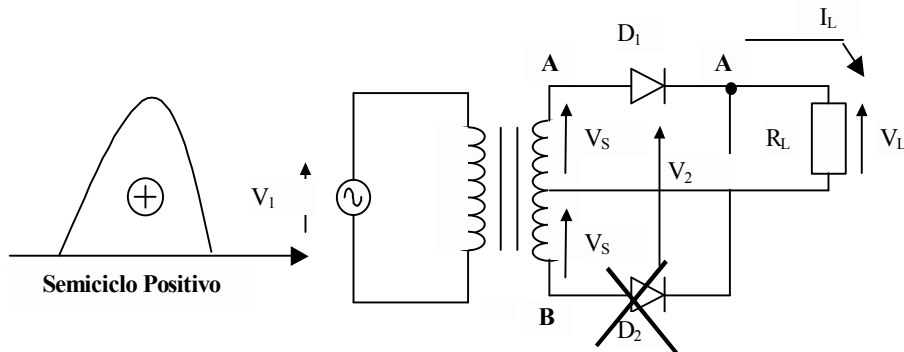
$$I_{CCL} = \frac{V_{CCL}}{R_L} = 2 \frac{V_{PL}}{\pi \cdot R_L} \quad (3.16)$$

No sentido de especificar-se o diodo, a corrente média no mesmo será:

$$I_{DM} = \frac{I_{CCL}}{2} \quad (3.17)$$

Esta expressão justifica-se pelo fato de apenas um dos diodos conduzir a cada semiciclo.

A tensão de pico inversa aplicada em cada diodo será:



$$\therefore PIV = V_A - V_B = V_2 = 2V_S \quad (3.18)$$

Exemplo: cálculo da tensão de pico inversa no retificador de onda completa sendo em  $D_1$  e  $D_2 \Rightarrow (I_0=1A)$  de acordo com a Fig. 3.10.

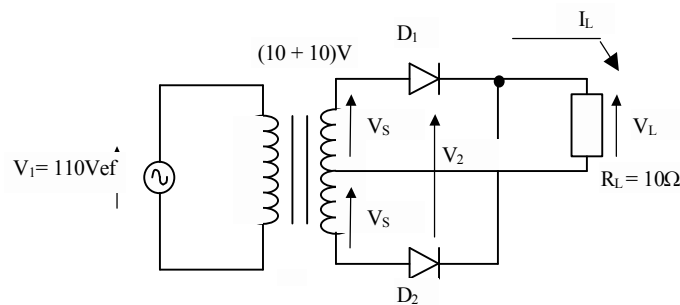


Fig. 3.10 Cálculo do PIV

Temos que  $V_{SEF} = 10V_{EF} \Rightarrow V_{SP} = 10\sqrt{2} \cdot V$

Portanto, teremos na carga, considerando diodos ideais:

$$V_{CCL} = 2 \frac{V_{PL}}{\pi},$$

$$\therefore V_{CCL} = 2 \cdot \frac{10\sqrt{2}}{\pi} \Rightarrow V_{CCL} = 20 \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V$$

$$I_{CCL} = \frac{V_{CCL}}{R_L} = \frac{20\sqrt{2}/\pi}{10} \Rightarrow I_{CCL} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} A$$

$$I_{DM} = \frac{I_{CCL}}{2} \Rightarrow I_{DM} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} A$$

$$PIV = 2V_{SP} = 2 \cdot 10 \cdot \sqrt{2} \Rightarrow PIV = 20\sqrt{2} V$$

### 3.5 Retificadores em ponte

O grande inconveniente de utilizar-se o retificador de onda completa apresentado reside no fato de necessitar-se de transformadores com derivação central. neste sentido, foi proposto o retificador em ponte de acordo com o circuito da Fig. 3.11.

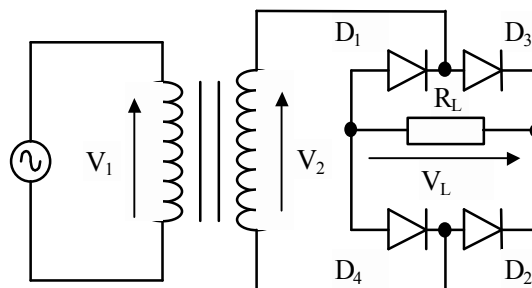
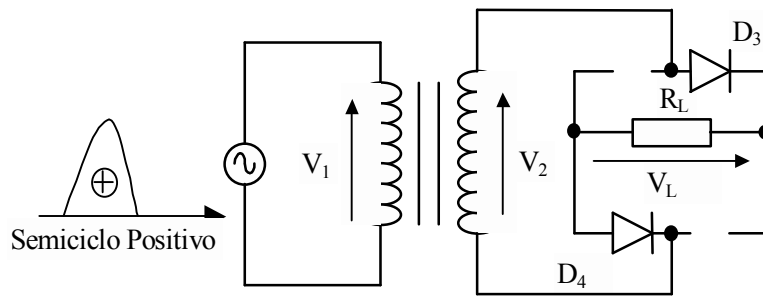


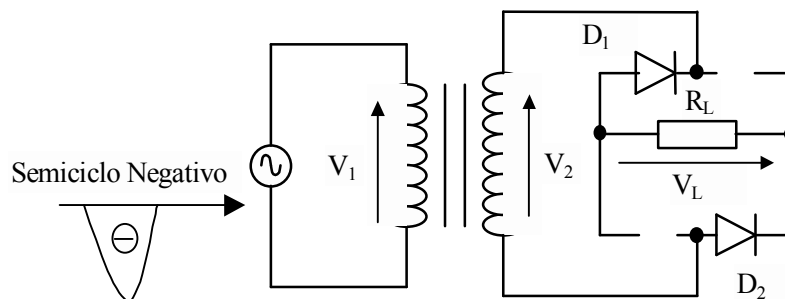
Fig. 3.11 Retificador em ponte

Analisando o comportamento deste circuito temos:

- a)  $V_2$  positivo ( $D_1$  e  $D_2$  estarão cortados)



b)  $V_2$  negativo ( $D_3$  e  $D_4$  estarão cortados)



Portanto, a forma de onda resultante na carga  $R_L$  está ilustrada na Fig. 3.12.

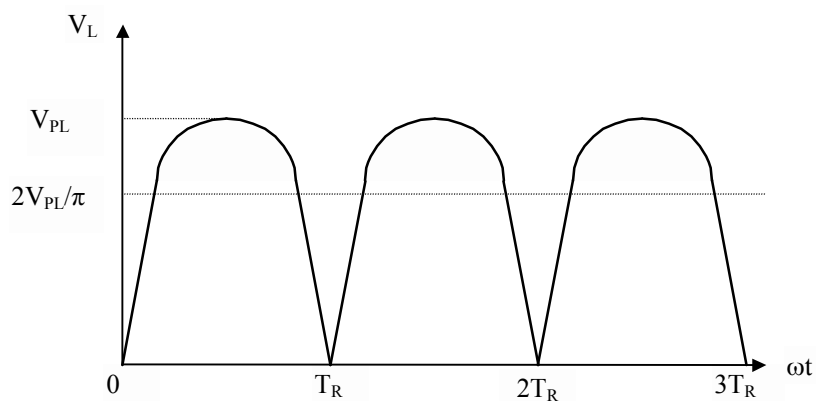


Fig. 3.12 Forma de onda na saída de um retificador em ponte

Se considerarmos diodos ideais, teremos  $V_{PL} = V_{2P}$ . Entretanto, como agora existe sempre um par de diodos conduzindo a cada semiciclo, em várias situações é

conveniente considerar-se uma queda de tensão de 1,4V (0,7 em cada diodo) no valor de pico  $V_{PL}$  em relação a  $V_{2P}$ .

Os valores de  $V_{CCL}$ ,  $I_{CCL}$  e  $I_{DM}$  serão equivalentes, ou melhor, a expressão para o cálculo destas medidas serão equivalentes às especificadas anteriormente para o retificador de onda completa, ou seja,

$$V_{CCL} = 2 \frac{V_{PL}}{\pi} \quad (3.19)$$

$$I_{CCL} = \frac{V_{CCL}}{R_L} \Rightarrow I_{CCL} = 2 \frac{V_{PL}}{\pi \cdot R_L} \quad (3.20)$$

$$I_{DM} = \frac{I_{CCL}}{2} \quad (3.21)$$

Dado que cada par conduz durante um semiciclo.

A tensão de pico reversa é dada por:

$$PIV = V_{2P} \quad (3.22)$$

Como exercício, mostre que o valor declarado para o PIV em (3.22) está correto.

A Tabela 2.1 descreve uma comparação entre os retificadores discutidos. Observa-se na última linha da tabela uma comparação entre a tensão CC na saída e o valor eficaz da onda no secundário do transformador.

Verifica-se que para os retificadores em ponte, a tensão média é 0,9 vezes a tensão eficaz, ou seja, o dobro dos outros tipos. Este fato se traduz em um melhor aproveitamento da potência entregue pelo transformador, resultando em um transformador com tamanho físico menor. Devido a essa melhoria no desempenho, os retificadores em ponte são bastante utilizados em altas potências.

Tabela 3.1 Comparação entre os retificadores

	Meia Onda	Onda Completa	Ponte
Número de diodos	1	2	4
Tensão de pico na carga	$V_{sp}$	$0,5V_{sp}$	$V_{sp}$
Tensão CC na carga	$0,318V_{sp}$	$0,318V_{sp}$	$0,636V_{sp}$
Corrente CC no diodo	$I_o$	$0,5I_o$	$0,5I_o$

## **4. Familiarização com Componentes e Instrumentos**

Uma vez estudado os primeiros conceitos básicos, antes de prosseguir na abordagem de circuitos de filtros R-C aplicados aos retificadores, vamos realizar uma aula experimental para que haja uma familiarização com os principais componentes, equipamentos e instrumentos disponíveis no laboratório, comumente utilizados em Eletrônica Analógica.

O sucesso na execução das experiências subsequentes depende do uso correto dos equipamentos o que implica no conhecimento do modo de operação e interpretação dos dados coletados com os instrumentos. Portanto, é de grande importância a familiarização com os instrumentos e equipamentos que serão utilizados no laboratório.

Leia com atenção as instruções sobre a utilização dos equipamentos e dos componentes e, caso haja dúvidas teóricas, consulte o seu professor. Este capítulo dedica-se a descrição de uma experiência cujo objetivo é definir um roteiro de atividades que deve ser seguido com a finalidade de garantir um nível indispensável de familiarização com o Laboratório.

### **4.1 Procedimentos no Laboratório**

Ao utilizar os instrumentos do Laboratório, seja cuidadoso. Em primeiro lugar, é necessário agir sempre com segurança. Neste sentido, é fundamental seguir os procedimentos abaixo.

*\* Antes de manipular qualquer circuito, certifique-se de que a fonte de alimentação está desligada.*

*\* Uma vez implementado um determinado circuito, antes de alimentá-lo, verifique se a polarização de todos os componentes está correta para evitar-se danos que podem prejudicar enormemente o andamento da experiência.*

\* *Cada grupo é responsável pelos equipamentos disponíveis em sua bancada. Se algum equipamento não estiver operando corretamente, em virtude de uso incorreto, a responsabilidade é da equipe que os estiver manuseando. Há uma série de manuais fornecidos pelos fabricantes que podem ser consultados. Qualquer anormalidade deve ser comunicada imediatamente ao professor!*

\* *Todos os cabos e fios encontram-se organizados e devem ser mantidos desta forma ao término de cada experiência. Qualquer problema deve ser comunicado de imediato ao professor!*

## 4.2 Equipamentos e instrumentos

### 4.2.1 Multímetro

Trata-se de um instrumento de laboratório para a medição de tensões, correntes e resistências. As tensões e correntes podem ser medidas tanto em valor contínuo (CC) como em alternado (CA). Em geral, o multímetro possui uma chave seletora de escalas, podendo medir-se tensões com valores da ordem de milivolts até centenas de volts, ou então, correntes de microamperes à amperes, ou ainda, resistências de unidades de ohm à megohms.

Basicamente há dois tipos de multímetros. Os multímetros eletrônicos contendo elementos ativos, ou então, os multímetros contendo simplesmente elementos passivos. A grande diferença entre os dois é a impedância de entrada que é muito maior no eletrônico (da ordem de dezenas de megohms). Por sua vez, os multímetros eletrônicos podem ser analógicos, isto é, são monitorados através de um ponteiro, ou digitais, apresentando um display numérico para a leitura.

Os multímetros, em geral, nas escalas de medição de corrente ou tensão alternada, são calibrados para mostrar valores eficazes de formas de ondas senoidais. A medição de outras formas de onda produzirá valores que não representam o valor eficaz da grandeza, e neste caso devem ser corrigidos pelo fator de forma.



Note que apesar da alta impedância de entrada dos multímetros eletrônicos, este valor é finito e influi na medida que está sendo realizada. Portanto, deve-se ter muito cuidado ao se interpretar os dados de leitura do instrumento.

Como exemplo, considere um multímetro do tipo digital, com uma chave seletora para escalas e funções. Nessa chave existe uma posição para teste de diodos e transistores. Se a junção semicondutora de um diodo ou transistor estiver funcionando, a leitura no mostrador será aproximadamente 0,7 , quando polarizado diretamente, indicando o valor nominal da barreira de potencial presente na junção na presente condição de operação.

#### 4.2.2 Osciloscópio

O osciloscópio é um dos instrumentos mais versáteis em eletrônica. Este equipamento possui um tubo de raios catódicos que permite a monitoração de sinais a partir do controle do feixe de elétrons que inside na tela. Com esse instrumento é possível visualizar e medir a frequência ou período de sinais periódicos, bem como a sua amplitude e defasagem entre sinais. Utilizando-se esse instrumento adequadamente, é possível também a visualização de sinais não periódicos.

Existem ainda osciloscópios com memória, analógicos ou digitais, especiais para a visualização de transitórios e sinais não periódicos.

Apresenta-se a seguir algumas das funções básicas fundamentais pertinentes ao modo de operação deste instrumento.

- **Alt** Apresentação dos dois canais alternadamente.
- **Chop** Apresentação dos dois canais ao mesmo tempo, chaveados.
- **CRT** Tubo de raios catódicos.
- **Slope** Borda de disparo.
- **Sweep** Varredura no tempo.
- **Trigger** Disparo.

### 4.2.3 Fonte de alimentação

A fonte de alimentação geralmente é uma fonte de tensão/corrente que, por exemplo, pode oferecer os seguintes recursos:

$5V @ 3A$  (fixa)

$+15 - 0 - -15V, 3 - 0 - 3A$  (variável)

Para ajuste das tensões variáveis, podem existir voltímetros/amperímetros digitais instalados no painel frontal. A tensão e corrente podem ser ajustadas através de botões, normalmente um para ajuste grosso e outro para ajuste fino, e o instrumento pode ser selecionado para amperímetro ou voltímetro através de chave seletora.

**Atenção! Antes de ligar a fonte, sempre ponha os ajustes grossos de corrente no mínimo. Este procedimento evitará que fusíveis internos se queimem.**

### 4.2.4 Gerador de onda (funções)

Geralmente um gerador de funções fornece as seguintes formas de onda: rampa, triangular, senoidal, quadrada, pulso. As frequências geradas podem variar de 0,1Hz até 100KHz ou mais. Esse tipo de gerador serve para injetar sinais periódicos em circuitos eletrônicos de modo que seja possível testá-los em regime permanente.

O Painel desses geradores apresenta controles que basicamente correspondem aos seguintes:

- **DIAL** Seleciona o valor da frequência, a escala gravada neste dial vai de 1 a 10 Hz e que geralmente pode ser multiplicada pelo valor de uma chave seletora do **MULTIPLICADOR** para se obter a frequência de saída desejada.
- **MULTIPLICADOR** Seleciona o fator de multiplicação do valor marcado no dial.
- **FUNÇÃO** Seleciona o tipo da forma de onda: rampa, triangular, senoidal, quadrada, pulso.
- **LARG. DO PULSO** Com a chave de **FUNÇÃO** em pulso, seleciona a sua largura, isto é, varia o tempo em que o pulso está em nível alto e em nível baixo.

- **NÍVEL** Regula a amplitude de saída do sinal.
- **OFFSET** Adiciona um componente DC ao sinal de saída NORMAL e COMPLEMENTAR, ambos do tipo BNC e um conector de terra do chassis, do tipo plug banana.

#### 4.2.5 Protoboard

Geralmente é constituído por uma placa com trilhas que conectam 5 furos entre si, com um espaçamento padrão de 0,1 polegadas entre os furos e entre trilhas, conforme ilustra a Fig. 4.1.

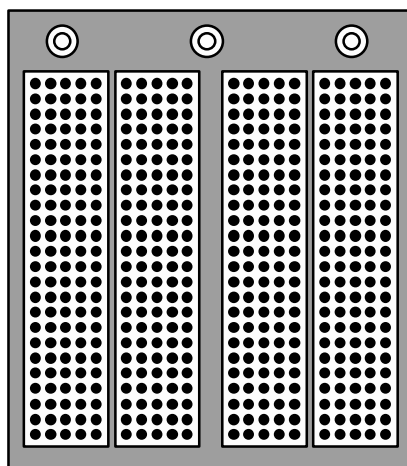


Fig. 4.1 Esquema de um protoboard

Nessa placa podem ser encaixados circuitos integrados e componentes discretos, de maneira temporária para testes iniciais de circuitos eletrônicos. O protoboard disponível no laboratório é composto por três unidades básicas para montagem e quatro bornes para conexão de com alimentação. Na unidade básica, uma fenda central mais profunda divide-a em duas metades. Ao longo desta fenda estão dispostas trilhas horizontais. Nas bordas externas, trilhas verticais correm ao longo desta unidade básica. Os circuitos integrados em encapsulamento DIL (Dual In Line) devem ser encaixados no meio desta unidade, sendo que as ligações com outros componentes devem ser feitas usando-se os furos restantes das trilhas correspondentes a cada pino do integrado. Outros tipos de componentes podem ser colocados em qualquer posição, com o devido cuidado de usar, para cada terminal, trilhas horizontais adjacentes ou trilhas horizontais consecutivas

contidas em metades diferentes. As trilhas laterais são destinadas a alimentação e sinais de entrada e saída. Todas as ligações entre componentes devem ser feitas com fio rígido de espessura 0,4mm.

#### 4.2.6 Resistores

##### A) Código de Cores

O ohm é a unidade de resistência. O símbolo para o ohm é  $\Omega$ . Os valores de resistência são indicados por um código de cores adotado por todos os fabricantes de resistores. Esse código usa bandas coloridas marcadas no corpo do resistor de acordo com a Fig. 4.2. As cores e seus valores numéricos são mostrados na Tabela 4.1. Esse código é usado para resistores nas seguintes potências: 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W, 1 W, 2 W, 3 W.

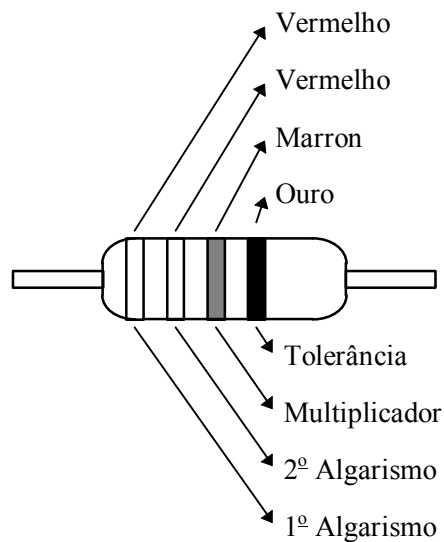


Fig. 4.1: Resistor Típico

Tabela 4.1: Código de Cores para Resistores

Cor	Algarismos significativos	Multiplicador	Tolerância (%)
Preto	0	1	1
Marrom	1	10	2
vermelho	2	100	
Laranja	3	1.000	
Amarelo	4	10.000	
Verde	5	100.000	
Azul	6	$10^6$	
Violeta	7	$10^7$	
Cinza	8	$10^8$	
Branco	9	$10^9$	
Prata		0,1	10
Ouro		0,01	5
sem cor			20

Um resistor típico é mostrado na Fig. 4.1, com uma representação do código de cores. A cor da primeira banda representa o valor do algarismo mais significativo. A cor da segunda banda representa o valor do segundo algarismo. A cor da terceira banda representa o valor do fator de multiplicação, isto é, o número de zeros a ser adicionado aos outros dois algarismos. A quarta banda é usada para designar a tolerância do resistor, que pode ser 5% (ouro) ou 10% (prata).

Na Fig. 4.1, o resistor possui o seguinte código de cores: vermelho, vermelho, marrom, ouro. Portanto o seu valor seria  $220 \Omega$ , com 5% de tolerância.

Notar que para valores de resistência inferiores a  $1 \Omega$ , a banda correspondente ao multiplicador é cor ouro e para valores entre  $1 \Omega$  e  $10 \Omega$  esta banda é cor prata, ou seja, se a terceira banda for ouro, o valor final do resistor fica dividido por 100, e se a terceira banda for prata, o valor final fica dividido por 10.

Existem ainda resistores de precisão com mais um algarismo significativo, isto é, esses resistores possuem uma banda adicional, com três bandas para os algarismos, uma banda para o fator multiplicador e uma banda para a tolerância. Nessa banda de tolerância as cores usadas são o marrom para 1% e o vermelho para 2%.

Os resistores disponíveis comercialmente são restritos a alguns valores padrão, determinados de maneira abrangerem toda faixa de valores possíveis. Por exemplo, os valores padrão para resistores de 10% são: 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2.

## B) Tecnologias de fabricação

Os resistores disponíveis são fabricados com processos adequados para atender os requisitos de precisão e estabilidade com a temperatura e dissipação.

Resistores de carbono, para uso geral, são fabricados por um processo de deposição de um filme de carbono sobre um copo de cerâmica e recoberto por um verniz para proteção elétrica e climática. São encontrados numa faixa de valores entre 1  $\Omega$  e 10 M $\Omega$  com tolerâncias de 2%, 5% e 10%.

Resistores de filme metálico, são utilizados em aplicações nas quais se requer precisão, estabilidade e baixo coeficiente de temperatura. O processo de fabricação consiste no depósito de um filme homogêneo de níquel cromo sobre um corpo cerâmico. Esses resistores estão disponíveis numa faixa de valores entre 1  $\Omega$  e 10 M $\Omega$ , com tolerâncias de 1% e 2%, com coeficiente de temperatura de 50 e 100 ppm/oC.

Outros exemplos de tecnologias de fabricação são:

- Standard Film. De uso geral, com boas características de estabilidade, ruído e resistência mecânica.
- Filme metálico. Não inflamável, para aplicações onde os requisitos de segurança, são críticos. Este tipo de resistor se interrompe quando submetido a sobrecarga, sem causar o risco de fogo.
- Meta-Glazed. Para aplicações onde são necessários altos valores resistivos (1M $\Omega$ ), com grande estabilidade, confiabilidade e tensões elevadas.

## C) O reostato

O reostato é um tipo de resistor que pode ter sua resistência variada mecanicamente. Medindo-se entre seus dois extremos, teremos a medida do valor de sua resistência máxima, e medindo-se de um terminal extremo até o terminal correspondente ao cursor, teremos o valor da resistência determinada pela posição do cursor em relação a este terminal. Em geral, o valor nominal da resistência e a potência do reostato estão indicados no corpo do mesmo. Observe sempre estas características, quando utilizar este componente. A Fig. 4.2 apresenta o diagrama do reostato.

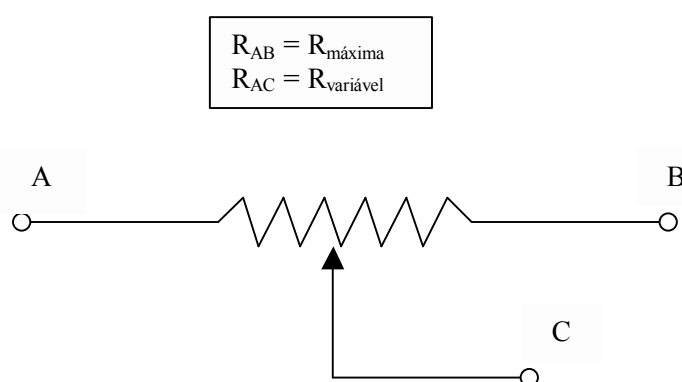


Fig. 4.2 Modelo de um reostato

#### 4.2.7 Capacitores

Os capacitores podem ser produzidos com diversas tecnologias que ditam algumas de suas características, que devem ser ponderadas na hora de sua escolha para determinada aplicação. Listamos abaixo os tipos mais comuns e algumas de suas características:

- Mica. Com valores entre 1pF e 0,01 $\mu$ F, tensão máxima entre 100V e 600V, boa precisão, perdas baixas, bom para aplicações em circuitos de Rádio Frequência.
- Cerâmico. Com valores entre 1pF e 1 $\mu$ F, tensão máxima entre 50kV e 30kV, baixa precisão de valores, baixa estabilidade com temperatura, perdas moderadas, pequeno, baixo custo, para aplicações gerais.
- Poliéster (Mylar). Com valores entre 0,001 $\mu$ F e 50 $\mu$ F, tensão máxima entre 50V e 600V, boa precisão, baixa estabilidade com temperatura, poucas perdas, baixo custo para aplicações gerais.

- Teflon. Com valores entre 1000pF e 2 $\mu$ F, tensão máxima entre 50V e 200V, excelente precisão, ótima estabilidade com temperatura, pouquíssimas perdas, baixíssima absorção dielétrica, ótima qualidade.
- Tântalo. Com valores entre 0,1 $\mu$ F, tensão máxima entre 6V e 100V, baixa precisão, baixa estabilidade com temperatura, alta capacitância, polarizado, tamanho reduzido, baixa indutância.
- Eletrolítico. Com valores entre 0,1F e 1.6F, tensão máxima entre 3V e 600V, péssima precisão, pouca estabilidade com temperatura, altas perdas, polarizado, vida curta, uso recomendável somente como filtro de fontes de alimentação.

### 4.3 Atividades Práticas

#### 4.3.1 Ligando o osciloscópio

- (a) Ligar o osciloscópio e realizar a operação de autosestabelecimento para os dois canais.
- (b) Realizar a compensação das pontas de prova se for necessário.
- (c) Executar a rotina de auto-calibração.
- (d) Qual a finalidade de cada um destes procedimentos?

#### 4.3.2 Medidas com o osciloscópio.

- (a) Ligar o osciloscópio diretamente na saída do gerador de funções.
- (b) Colocar o gerador de funções em onda senoidal, numa frequência arbitrária, usando a escala do dial do gerador de funções para determinar a frequência.
- (c) Ajustar os controles do osciloscópio para estabilizar o sinal na tela.
- (d) Compare os valores medidos com o osciloscópio com os valores fornecidos pelo gerador de funções.
- (e) Ajuste uma onda triangular de 1KHz e 4,0Vpp com offset nulo no CH1 e conecte o sinal de saída TTL do gerador de funções no CH2. Faça um gráfico cotado com as formas de onda geradas quando se realiza as operações:
  - CH1-CH2
  - CH1+CH2

#### 4.3.3 Medida de tensão com o multímetro e o osciloscópio



- (a) Ligar a fonte de alimentação de sua bancada e ajustar a seção master para 5,0 V, utilizando para isto o próprio multímetro digital do painel da fonte.
- (b) Medir a tensão na saída da fonte com o multímetro. Para isto, ligue o multímetro e coloque o seu seletor na escala adequada para medir os 5,0 V. Anotar a escala escolhida.
- (c) Ligar o gerador de funções. Em seguida ligar o osciloscópio e colocar uma onda senoidal com 2,0 V de pico a pico com tensão de offset nula e frequência de 1KHz. Medir com o multímetro em uma escala adequada o valor da tensão disponível na saída do gerador de funções.
- Qual escala você utilizou?
  - Qual a relação entre o valor lido no multímetro e a tensão de pico a pico indicada no osciloscópio?

#### 4.3.4 Efeito da impedância do multímetro na medição.

- (a) Montar os circuitos da Fig. 4.3 no protoboard.

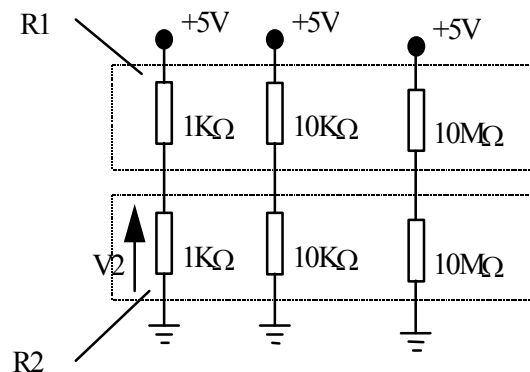


Figura 4.3 Divisores Resistivos

- (b) Qual a tensão esperada  $V_2$  sobre todos os resistores R2, considerando a tensão de alimentação de 5,0V?
- Meça as tensões com o Multímetro.
  - Verifique e justifique as discrepâncias encontradas.

- Adote um modelo adequado para representar o multímetro e avalie a impedância de entrada do mesmo.
- (c) Repita os ensaios do item (b) utilizando o osciloscópio. Discuta a respeito dos resultados encontrados, adote um modelo para o osciloscópio para avaliar sua impedância de entrada e estabeleça uma relação com os resultados obtidos com o multímetro.

#### **4.3.5 Medida de resistência com o Multímetro.**

- (a) Realize a medida de todas as resistências R2 com o multímetro. Quais os cuidados que se deve tomar para realizar estas medições?
- (b) Determinar o valor de cada resistor R2 do item anterior a partir do seu código de cores. Os valores medidos no item anterior estão dentro da precisão especificada pelo fabricante dos resistores?

#### **4.3.6 Teste de diodos com multímetro.**

- (a) Ligar o multímetro e colocar a chave seletora na posição de teste de diodos.
- (b) Colocar as pontas de prova nos terminais do diodo e anotar o valor mostrado no display do multímetro.
- (c) Inverter a polaridade do diodo, isto é, trocar as pontas de prova de posição em relação aos terminais do diodo. Anotar o valor lido.
- (d) Sabendo-se que a ponta de prova positiva (vermelha) apresenta uma diferença de potencial positiva em relação a ponta de prova negativa (preta), qual das leituras acima corresponde ao diodo polarizado diretamente? Faça o esboço do diodo indicando o seu anodo e o seu catodo e a polarização que foi aplicada em cada caso.

#### **4.3.7 Retificador de meia onda**

Monte um retificador de meia onda. Utilize um diodo retificador e como carga um resistor de  $1k\Omega/5W$ . Pede-se:

(a) Anote as formas de onda da tensão no secundário e na carga, e complete a Tabela 4.2.

(b) Anote os seguintes parâmetros e/ou realize os seguintes procedimentos:

- Tensão de pico no secundário e na carga. Há uma diferença ? Justifique.
- Período da tensão retificada. Qual a relação com o período da onda no secundário ?
- Calcule a tensão retificada na carga a partir da medida da tensão no secundário e compare os resultados.
- Tensão de pico inversa no diodo.
- Calcule a corrente média no diodo.

#### 4.3.8 Retificador em ponte

Monte um retificador em ponte com quatro diodos. Pede-se:

(a) Complete a Tabela 4.2.

(b) Anote os seguintes parâmetros e/ou realize os seguintes procedimentos:

- Tensão de pico no secundário e na carga. Há uma diferença ? Justifique.
- Período da tensão retificada. Qual a relação com o período da onda no secundário ?
- Calcule a tensão retificada na carga a partir da medida da tensão no secundário (utilize a medida do item anterior se desejar) e compare os resultados.
- Tensão de pico inversa nos diodos.
- Calcule a corrente média em cada um dos diodos.

Tabela 4.2: Anotações para os retificadores

	Meia-onda		Onda Completa.		Ponte	
	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
Tensão de pico na carga						
Tensão de pico inversa						

Tensão eficaz no Sec.						
Tensão CC na saída						
Corrente CC na saída						
Freq. de ondulação						

#### 4.4 Lista de Materiais

Fonte de tensão

Gerador de funções

Osciloscópio

Multímetro

1 Diodo retificador

2 resistores de  $1K\Omega$

2 resistores de  $10K\Omega$

2 resistores de  $100K\Omega$

2 resistores de  $1M\Omega$

2 resistores de  $10M\Omega$

1 Reostato de  $2K\Omega$

4 Diodos

1 Resistor  $1k\Omega/5W$