

1. CONCEITOS DE ELETRÔNICA ANALÓGICA

Olá cursista! Seja bem vindo ao nosso primeiro capítulo de BCC265 – Eletrônica para Computação! Neste primeiro capítulo, dialogaremos sobre alguns conceitos básicos da eletrônica analógica. De início, você pode estar a se perguntar: mas, porque estudar eletrônica analógica se o curso é computação? Não seria útil ver somente a parte analógica? Apesar do curso ser de computação, às vezes é interessante sabermos o que acontece fisicamente nos níveis mais básicos para entendermos os mecanismos inerentes à parte digital. Também, dependendo da área de atuação, pode surgir a necessidade de implementarmos circuitos de acoplamento.

Neste capítulo, começaremos a conversar sobre as grandezas elétricas para que depois possamos aplicar sobre alguns componentes básicos tais como os resistores e capacitores. Após passarmos por tais componentes básicos, falaremos sobre os diodos e os transistores – que são componentes baseados em junções “PN”. O que vem a ser uma junção? Junção é quando temos a ligação entre dois materiais com características diferentes – no caso, um material com íons positivos e outro com íons negativos.

Sempre que possível, mencionaremos exemplos de circuitos baseados em tais componentes para que saibamos como aplicá-los. Alguns exemplos, inclusive, não possuem uma descrição mais detalhada pois serão alvo de conversas em nossos encontros virtuais.

Bom estudos!

1.1 Grandezas Elétricas

Antes de iniciarmos a nossa conversa sobre as grandezas elétricas, é interessante conversarmos sobre o que vem a ser a eletrônica. Eletrônica é uma ciência que estuda e aplica teorias e conceitos inerentes à movimentação de elétrons. Mas, aonde os elétrons se movimentam? Em linhas gerais, podemos falar que os elétrons se movimentam através de componentes formados por materiais condutores e semicondutores. Esses materiais são caracterizados pela sua resistividade à passagem de elétrons.

Sendo assim, os condutores, tais como cobre, ouro, ferro e prata, apresentam uma baixa resistividade em relação à passagem dos elétrons. Por sua vez, os semicondutores, tais como grafite, germânio, silício e arsenieto de gálio, apresentam uma resistividade intermediária. Podemos encontrar, ainda, nos componentes, materiais isolantes, tais como borracha, ar, papel e vidro.

Essa conversa, já nos remete às primeiras grandezas elétrica: corrente e resistência.

Corrente elétrica refere-se ao fluxo ordenado dos elétrons. Por analogia, podemos comparar a corrente com o fluxo de água percorrendo uma mangueira de jardim ou um cano de água. A corrente é medida em “Ampères” - por exemplo, um fusível de carro de 20 A (vinte ampères) significa que ele permite um fluxo máximo de corrente de intensidade 20 ampères. Por falar em carro e em amperagem, o que significa uma bateria de 50 Ah (ampère-hora)? Neste exemplo, significa que a bateria pode prover 50 A no período de uma hora.

Por sua vez, a resistência, medida em *ohms* (Ω), refere-se à dificuldade que o material oferece para a passagem da corrente. Fazendo uma analogia com a mangueira de água, podemos falar que quanto mais comprida for a mangueira ou quanto mais rugoso for o material do qual a mangueira for construída, maior será a resistência à passagem da água.

Uma outra grandeza elétrica bastante falada no nosso dia a dia é a voltagem – expressa em *volts* (V). A voltagem corresponde à diferença de potencial entre dois pontos. Por analogia aos sistemas hidráulicos, pode ser correspondida à pressão de água proporcionada pela altura de uma caixa de água. Por exemplo, uma bateria comum (pilha) AA tem uma diferença de potencial (ddp) de 1,5 V entre os seus polos positivo e negativo (corrente contínua); uma tomada residencial geralmente tem uma ddp de 127V entre os terminais fase e neutro (corrente alternada).

Na corrente contínua, o fluxo de elétrons procede em apenas um único sentido enquanto que, na corrente alternada, o sentido do fluxo varia em função do tempo. A figura a seguir ilustra os aspectos de onda inerentes às correntes contínua (a) e alternada (b).

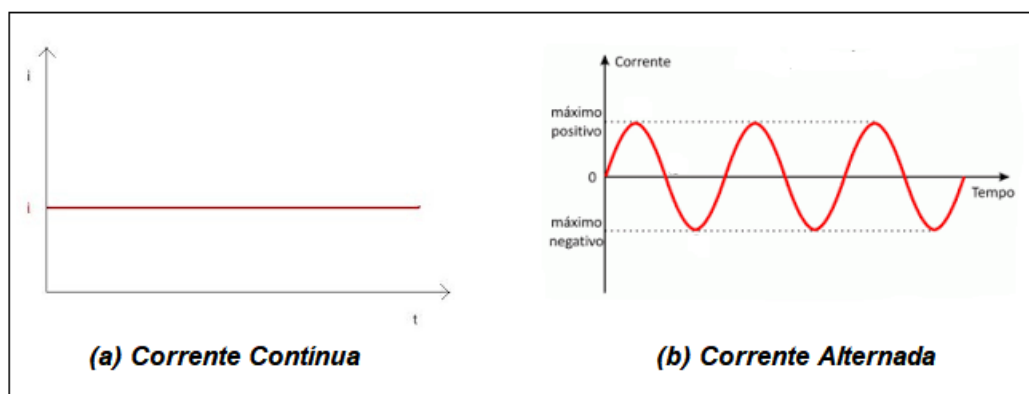


Figura 1 – Formas de ondas relativas à uma corrente contínua (a) e uma corrente alternada (b).

Na figura acima podemos notar, em (a), que o sentido da corrente permanece constante ao longo do tempo. Esse comportamento é diferente em relação à corrente alternada cujo sentido da corrente varia em função do tempo. Em função desta variação, temos os chamados pontos de defasagem – no caso da figura acima, a onda em (b) segue o comportamento de uma senóide (motivo esse de ser chamada onda senoidal), sendo assim, o ponto de máximo negativo encontra-

se defasado em 180° em relação ao ponto de máximo positivo. Ainda em relação a (b), podemos observar que a onda é composta pelos semiciclos positivos (valores superiores a 0) e pelos semiciclos negativos (valores menores que 0).

A partir da relação de voltagem, corrente e resistência, podemos também mencionar uma outra grandeza elétrica: potência. Potência refere-se à quantidade de energia que um dispositivo ou circuito consumiu ou gerou. No caso, podemos relacionar as demais grandezas mencionadas para se calcular a potência dissipada – em *Watts* (W):

$$P = V * I$$

$$P = R * I^2$$

Nas equações acima, temos a potência “P” em *watts*, a voltagem “V” em *volts*, a corrente “I” em *ampères* e a resistência “R” em *ohms*.

Voltando ao assunto de fluxo de elétrons, o que significa o termo analógico e qual a diferença da eletrônica digital? A digital também não vislumbra o fluxo de elétrons? Para sanar essa dúvida, vamos conversar um pouco sobre sinais analógicos e digitais. Antes de mais nada, vamos definir os termos de sinais contínuos e discretos.

A ideia de sinais contínuos e discretos pode ser associada à definição de continuidade de funções. Um sinal contínuo é aquele que apresenta um valores válidos entre dois pontos quaisquer. A figura a seguir mostra exemplos de sinais contínuos:

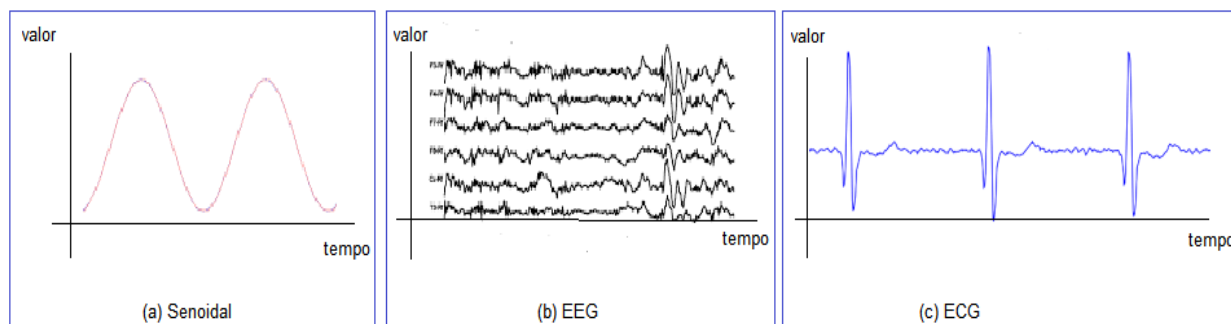


Figura 2 – Exemplos de sinais contínuos. Em (a) temos uma onda senoidal. No item (b), sinais de EEG (eletroencefalograma) e, em (c) um sinal de ECG (eletrocardiograma).

Nota-se, na figura acima, que todos os sinais apresentam uma continuidade de valores ao longo do tempo. Os sinais contínuos podem, ainda, ser classificados como sinais periódicos (ou cíclicos) e aperiódicos (acíclicos). Sinais periódicos são aqueles que apresentam um padrão bem definido que se repete ao longo do tempo, ou seja, são formados por ciclos. Sinais senoidais (a) e

ECG (c) são bons exemplos de sinais periódicos. Por sua vez, sinais de EEG são sinais aperiódicos – neste caso, não temos condições de determinar ciclos em sua representação.

Já os sinais discretos são aqueles que são formados por patamares de valores – não tendo valores intermediários entre dois patamares. Por exemplo, um sinal digital (que veremos melhor adiante) é um exemplo de sinal discreto. Essa noção pode ser observada na figura a seguir:

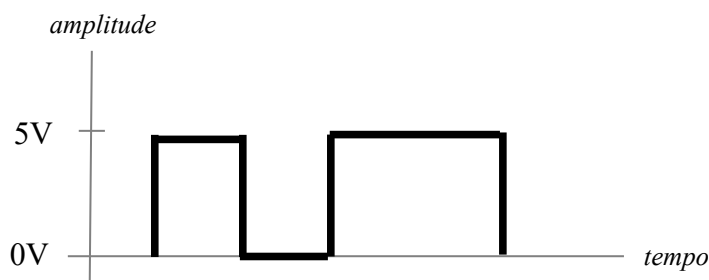


Figura 3 – Sinal discreto sendo exemplificado por um sinal digital.

Na figura acima, podemos observar que entre os níveis de amplitude representados por 0V e 5V não existem valores intermediários. Neste caso, os valores 0V e 5V representam os valores lógicos binários 0 e 1, respectivamente.

Mas, falamos apenas de sinais contínuos e discretos em função de seus valores. Essa ideia também pode ser aplicada em função do tempo. Sinais discretos em função do tempo são aqueles cujos valores são produzidos ou coletados a cada intervalo de tempo. Sendo assim, podemos converter um sinal contínuo em função do tempo para um valor discreto em função do tempo – a esse processo damos o nome de discretização do sinal. Por exemplo, um arquivo MP3 é formado por sinais de áudio discretizados em uma frequência F de amostragem (por exemplo, 256KHz).

A figura a seguir ilustra um processo de discretização de um sinal contínuo.

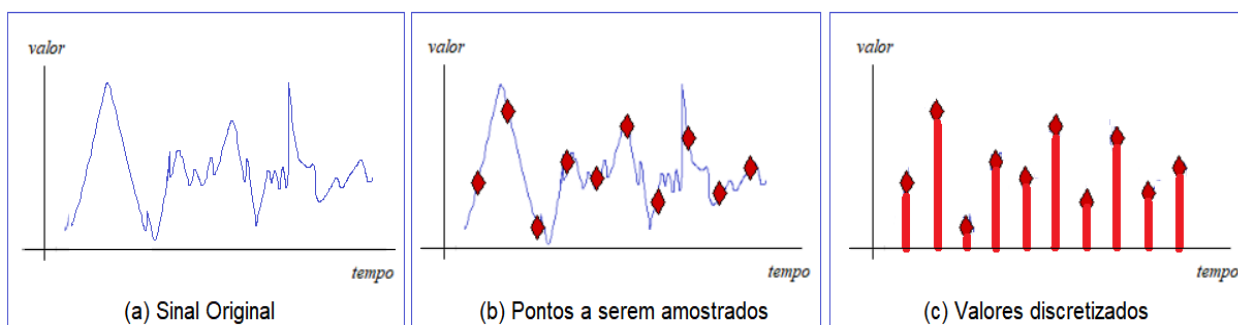


Figura 4 – Discretização de um sinal

Na figura acima podemos observar que, a partir do sinal exemplificado em (a), pontos foram coletados segundo uma frequência F de amostragem (b) para, finalmente, serem obtidos os

seus respectivos valores discretos em função do tempo (c).

Convém mencionar que para a manipulação de sinais, são necessárias várias etapas além da discretização de sinais. Entre as etapas, encontra-se, por exemplo, a aplicação de transformadas (por exemplo, Fourier, Laplace, wavelet, Z).

Uma onda senoidal da energia elétrica e uma onda sonora são exemplos de sinais analógicos e também exemplos de sinais contínuos. Após as suas respectivas discretizações, temos um sinal digital. Uma onda quadrada formada por zeros e uns é um clássico exemplo de um sinal digital. Mas, existem apenas os bits (“0” e “1”) como representantes de um sinal digital? Voltemos à figura anterior, mais precisamente no item (c).

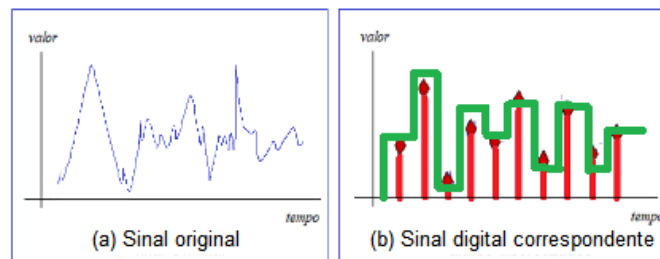


Figura 5 – Sinal digital obtido a partir de um sinal analógico

Na figura acima, vemos um sinal digital (b) obtido a partir de pontos amostrados a partir da onda referenciada em (a). Mas, como um sinal digital pode ter vários níveis discretos? Os únicos níveis discretos de um sinal digital não seriam apenas os níveis representados como “nível 0” e “nível 1” (representando um bit de informação)? Um sinal digital pode envolver mais do que um bit em sua representação. Por exemplo, pode envolver dois ou três bits (dibit e tribit, respectivamente). A figura abaixo ilustra as representações “bit” e “dibit”.

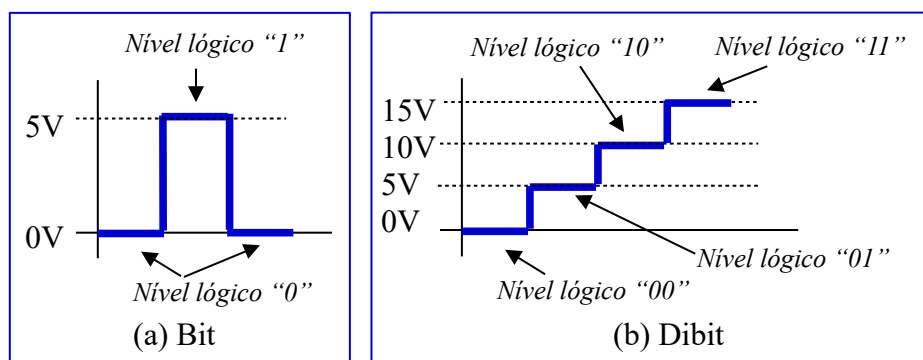


Figura 6 – Representações de um bit (a) e de um dibit (b)

Na figura acima, os valores de voltagem de cada nível são hipotéticos apenas para ilustrar aqui o que vem a ser uma representação “bit” e “dibit”. Podemos observar que, na configuração “dibit”, cada nível da amplitude de voltagem permite a abstração de uma palavra composta por dois dígitos (ou dois bits). Na representação “tribit”, teríamos oito níveis discretos de voltagem

para representar, em cada nível, uma palavra de três bits. A utilização de sinais que conseguem carregar, em um momento, uma palavra com mais bits é extremamente útil, por exemplo, em processos de comunicação – aumentando a taxa de comunicação do canal.

1.2 Resistores

Vamos, agora, conversar sobre um dos componentes mais simples da eletrônica: os resistores. Resistores tem o objetivo de dissipar energia, transformando a energia elétrica em energia térmica. Essa dissipação tem como consequência uma queda de tensão – porém a corrente permanece inalterada. Veremos, adiante, que o valor da resistência depende das dimensões e o tipo do material associado ao condutor.

A figura a seguir ilustra alguns resistores utilizados na prática.

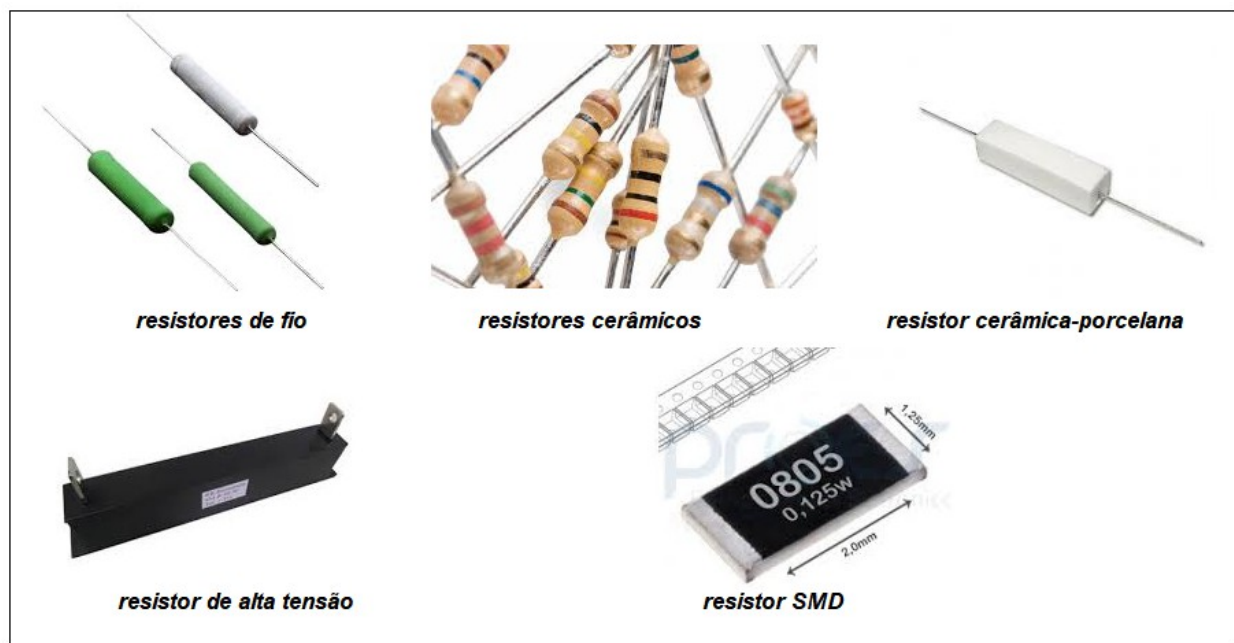


Figura 7 – Alguns tipos de resistores utilizados na prática.

Na figura acima temos os resistores associados ao material utilizado em sua construção ou à sua aplicação. No caso específico dos SMD (*Surface Mounted Device* – Dispositivos Montados na Superfície), assim como todos os demais componentes SMD, a utilização é realizada mediante a sua soldagem direta na placa, sem a necessidade de terminais – como ocorre nas placas dos computadores.

Como identificar o valor da resistividade nos resistores cerâmicos? Os valores são associados às faixas coloridas impressas no corpo do componente conforme detalha a tabela a

seguir.

Cor	Valor	Cor	Valor
Preto	0	Verde	5
Marron	1	Azul	6
Vermelho	2	Violeta	7
Laranja	3	Cinza	8
Amarelo	4	Branco	9

Tabela 1 – Valores associados às cores nos resistores cerâmicos.

Nos resistores cerâmicos, as duas primeiras faixas equivalem aos valores propriamente ditos enquanto que a terceira define a quantidade de zeros a serem acrescentados ao final. Em relação à terceira faixa, poderão aparecer, ainda, as cores dourado (multiplicador 0.1Ω) e prateado (multiplicador 0.01Ω). Por fim, temos a possibilidade de depararmos com uma quarta faixa – neste caso, indicando a tolerância da resistividade. Os valores para a tolerância são referenciados na tabela a seguir.

Cor	Tolerância
Sem cor	20%
Prata	10%
Dourado	5%
Vermelho	2%
Marrom	1%

Tabela 2 – Cores associadas aos valores de tolerância nos resistores cerâmicos.

Sendo assim, caso tenhamos, por exemplo, um resistor cujas faixas são: amarelo, violeta, vermelho e dourado então teremos um resistor de: amarelo = 4; violeta = 7; vermelho na terceira faixa = multiplicador por 100; dourado na quarta faixa = tolerância de 5%. Sendo assim, temos: $47 \cdot 100 = 4700\Omega$ ou $4.7K\Omega$ ou $4K7\Omega$.

Aos resistores é atribuída a “primeira lei de Ohm” (BOYLESTAD, 2012). Nessa lei, são correlacionadas as grandezas voltagem, corrente e resistência como ilustra a figura a seguir.

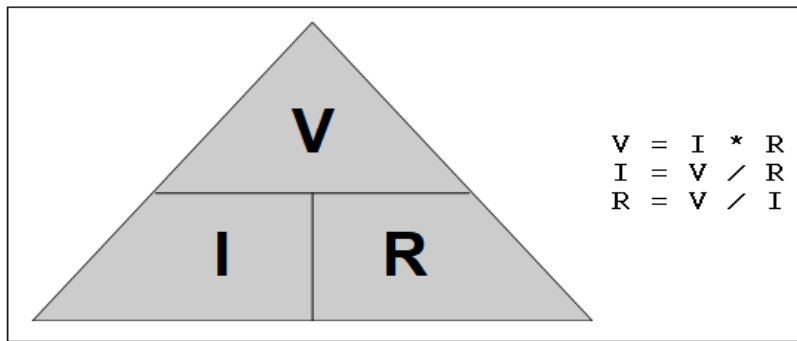


Figura 8 – Primeira Lei de Ohm, relacionando as grandezas voltagem, corrente e resistência.

Na figura acima temos o chamado “triângulo de Ohm” que permite uma maior memorização do correlacionamento das grandezas voltagem (em volts), corrente (em ampère) e resistência (em ohms). A partir do triângulo de Ohm podemos observar que a voltagem é diretamente proporcional ao produto da corrente pela resistência. Mas, como aplicar a primeira lei de Ohm? Vamos supor o circuito representado na figura a seguir.

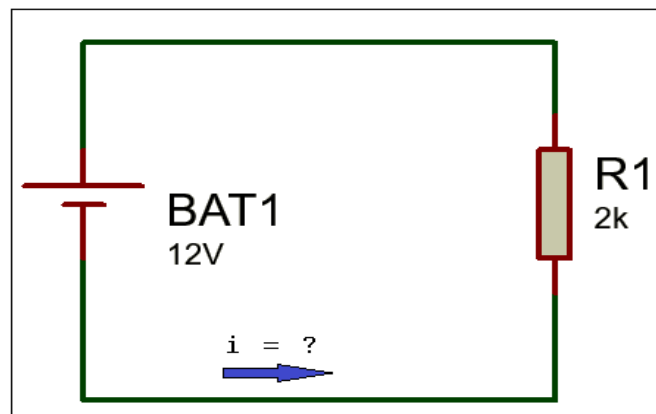


Figura 9 – Circuito contendo um resistor de 2 KΩ ligado em paralelo à uma bateria de 12V.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Na figura acima, temos o diagrama esquemático formado por uma fonte de alimentação de 12V ligada em paralelo com um resistor de 2 KΩ. Neste caso, qual o valor da corrente que trafega no circuito? Para respondermos a essa pergunta, utilizaremos a primeira lei de Ohm:

$$\begin{aligned} I &= V / R \\ I &= 12V / 2000\Omega \\ I &= 12 / (2*10^3) \\ I &= 6 * 10^{-3} \\ I &= 6 \text{ mA} \end{aligned}$$

Pela aplicação da primeira lei de Ohm no circuito da figura acima, podemos concluir que, no circuito, trafega uma corrente de 6mA (seis mili-ampères).

Além dos resistores com os valores fixos de suas resistividades, temos, também, os resistores variáveis. A sua variação pode ocorrer de forma mecânica (potenciômetros e trimpots) ou, por exemplo, através de variações ambientais, tal como a intensidade da incidência da luz (LDR – *Light Dependent Resistor* – Resistor Dependente da Luz) ou da variação da temperatura (termistores). A figura a seguir ilustra esses resistores variáveis assim como as suas representações esquemáticas.

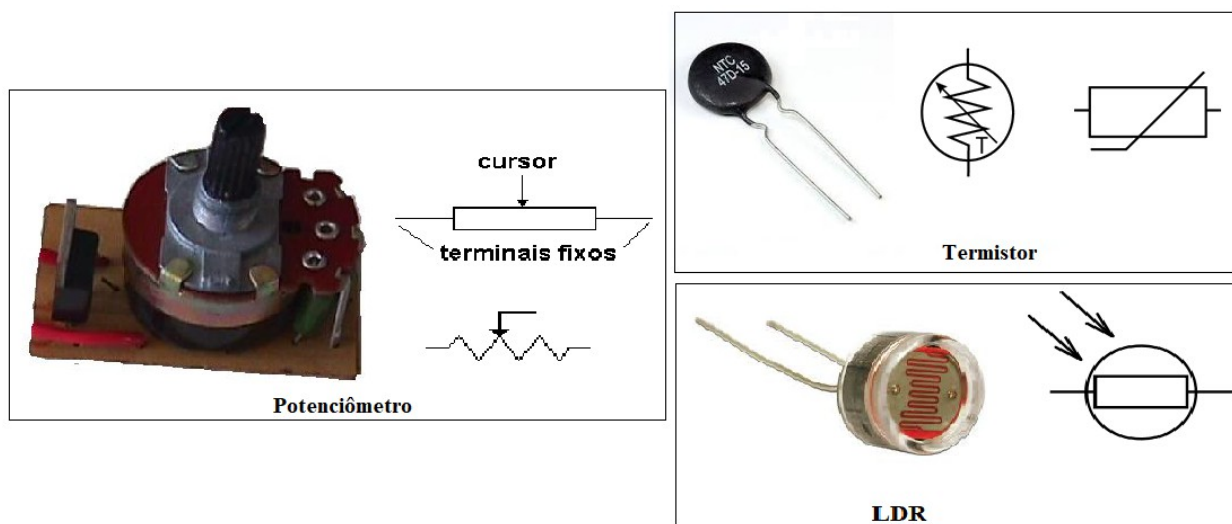


Figura 10 – Potenciômetro, termistor e LDR com as suas respectivas representações.

Mais especificamente em relação aos termistores, podemos classificá-los em PTC e NTC:

- PTC (Positive Temperature Coefficient): Resistência diretamente proporcional à temperatura.
- NTC (Negative Temperature Coefficient): Resistência inversamente proporcional à temperatura.

Quanto ao LDR, a sua resistência é reversamente proporcional à luminosidade, ou seja, quanto maior a incidência de luz, menor será a sua resistividade.

Conversamos sobre a primeira lei de Ohm, relacionando as grandezas resistência, corrente e voltagem. Mencionamos, também, o fato de que o valor resistividade está relacionada com o material do componente e com as suas dimensões físicas. Esse fato nos remete à segunda lei de Ohm, que afirma que: $R = (\rho * L) / S$; onde “L” representa o comprimento, “S” o diâmetro

da seção transversal do componente e “ ρ ” é a constante de permissividade do material.

A tabela a seguir ilustra a constante de permissividade de três materiais metálicos:

Material	P (Ohms.m)
Alumínio	$2.8 * 10^{-8}$
Cobre	$1.7 * 10^{-8}$
Prata	$1.6 * 10^{-8}$

Tabela 3 – Constantes de permissividade do alumínio, cobre e prata.

Observando-se a tabela acima, podemos notar que a prata, dentre os três, é o melhor material condutor pois apresenta a menor constante de permissividade.

Vamos praticar?

- 1) Se um resistor de 20Ω é submetido a uma tensão de 2V, qual será a intensidade da corrente que o percorrerá?
- 2) Qual o valor da tensão (em Volts) aplicada em um resistor de 100Ω se a corrente que o percorre tem intensidade de 200mA?
- 3) Quais os valores da resistências de acordo com a sequência das faixas a seguir?
 - a) Marrom, preto e marrom
 - b) Amarelo, violeta, vermelho
 - c) Vermelho, vermelho, amarelo
 - d) Verde, azul, preto

1.2.1 Associação de Resistores

Nos circuitos, podemos realizar associações de resistores para que tenhamos valores diferenciados ou comportamentos específicos, tal como um divisor de tensão (que veremos adiante). Com os resistores, podemos realizar associações em série ou em paralelo, conforme ilustra a figura a seguir.

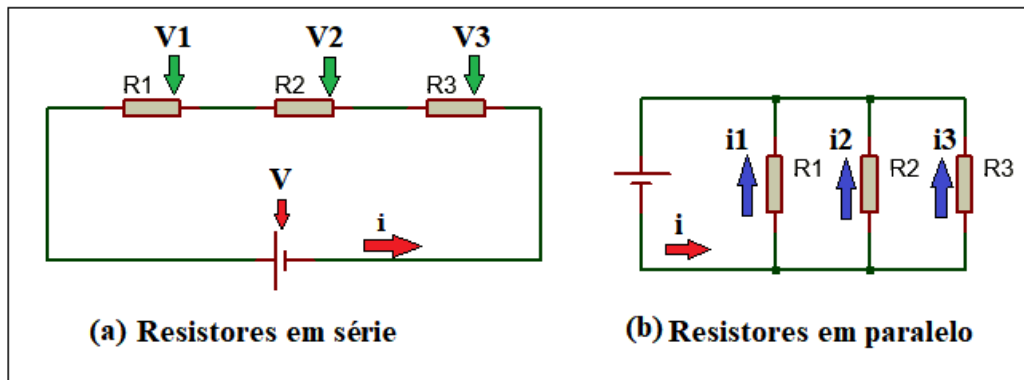


Figura 11 – Resistores ligados em série (a) e resistores ligados em paralelo (b).

Na figura acima, temos, em (a), a ligação dos resistores em série. Em tal configuração podemos falar que a corrente sobre cada resistor é a mesma, ou seja, a mesma corrente “i”. Por outro lado, cada resistor apresenta uma queda de tensão onde a somatória das quedas é igual à tensão fornecida pela bateria, ou seja, $V = V1 + V2 + V3$.

Ainda na figura anterior, em (b) temos a ligação dos resistores de forma paralela. Nesta configuração, a diferença de potencial de cada resistor é a mesma e é equivalente à tensão da bateria. Porém, a corrente é dividida entre cada ramo, ou seja, em cada resistor flui uma corrente específica. Sendo assim, pode-se falar que a somatória das correntes em cada resistor equivale à corrente total do circuito, ou seja, $i = i1 + i2 + i3$.

Mas, quando se aplica a associação em série ou em paralelo, gera-se um resistor equivalente. O valor da resistividade deste resistor equivalente pode ser assim calculada:

- associação em série: $R_{\text{equivalente}} = R1 + R2 + R3$
- associação em paralelo: $(1 / R_{\text{equivalente}}) = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3$

Como consequência da associação em série temos o nosso primeiro circuito prático: o divisor de tensão. Porque não aproveitar a queda de tensão diferenciada em cada resistor para alimentarmos circuitos que demandam tensões distintas? Voltando à figura anterior, vamos supor que $R1 = 1K\Omega$, $R2 = 2K\Omega$, $R3 = 3K\Omega$ e $V = 12$ volts. Como calcular a queda de tensão em cada resistor? Vamos ver cada passo.

Passo 1: calcular a resistência equivalente do circuito:

$$\begin{aligned} R_{\text{equivalente}} &= R1 + R2 + R3 \\ R_{\text{equivalente}} &= 1K\Omega + 2K\Omega + 3K\Omega \\ R_{\text{equivalente}} &= 6K\Omega \end{aligned}$$

Passo 2: achar a corrente “i”. Aplicando-se a primeira lei de Ohm, temos:

$$\begin{aligned}i &= V / R \\i &= 12V / 6K\Omega \\i &= 2mA\end{aligned}$$

Passo 3: como a corrente é a mesma em todos os resistores (2mA), então, aplicaremos, individualmente em cada resistor, a primeira lei de Ohm:

$$\begin{aligned}V &= i * R \\V1 &= 2mA * 1K\Omega \rightarrow V1 = 2V \\V2 &= 2mA * 2K\Omega \rightarrow V2 = 4V \\V3 &= 2mA * 3K\Omega \rightarrow V3 = 6V\end{aligned}$$

Podemos perceber que a somatória da queda de tensão associada a cada resistor é igual à tensão fornecida pela bateria (12V). Porém, convém comentar que para o cálculo real, deve-se levar em consideração o valor da resistividade do circuito a ser alimentado (todo circuito eletrônico pode ser representado por um “ R_L ” (*Resistor Load* – Resistor de Carga). Sendo assim, os cálculos realizados nessa exemplificação servem para os circuitos em aberto (aqueles que não estão conectados aos dispositivos que serão alimentados).

Através desta configuração de resistores ligados em série temos o “divisor de tensão” pois cada resistor pode derivar fios (de forma paralela aos seus terminais) para alimentarem circuitos externos.

1.2.2 Lei das Malhas (Lei de Kirchhoff)

Ao conversarmos sobre associações de resistores em série e em paralelo, já começamos a definir alguns conceitos envolvidos na lei das malhas. O primeiro conceito relaciona-se com o fato de que, na associação em série, a somatória das tensões dissipadas pelos resistores é igual à tensão gerada pela bateria. Sendo assim, podemos falar que: “a soma das tensões orientadas no sentido horário deve ser igual à soma das tensões orientadas no sentido anti-horário”.

No caso do divisor de tensão, podemos considerar as tensões dissipadas pelos resistores como sendo em um sentido e a tensão fornecida pela bateria como sentido inverso.

Mas, e a corrente que se divide na associação em paralelo? Existe uma outra regra, dentro da lei das malhas, que é aplicada neste contexto: a soma das correntes que chega à um nó deve

ser igual à soma das correntes que saem. No caso da associação em paralelo do nosso exemplo, a corrente “ i ” se divide em “ i_1 ”, “ i_2 ” e “ i_3 ”, sendo assim, $i = i_1 + i_2 + i_3$ (BOYLESTAD, 2012).

Mas, o que vem a ser uma malha e um nó para que possamos aplicar essas regras? Para respondermos a esse questionamento, vamos conceituar o que vem a ser ramo, nó e malha:

- Ramo: parte de um circuito constituído por dois ou mais componentes interligados;
- nó: intersecção de dois ou mais ramos;
- malha: toda parte do circuito no qual pode-se fazer um ciclo (saindo de um ponto e chegando no mesmo ponto).

Para uma melhor abstração, vamos considerar a figura a seguir.

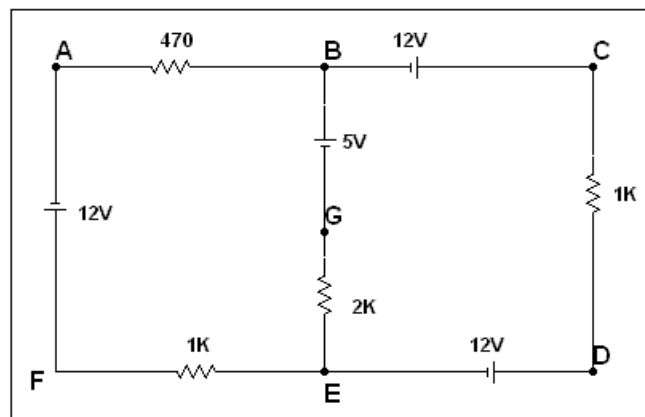


Figura 12 – Exemplificação de um circuito composto por malhas.

Na figura acima temos, como exemplo de ramo, o trecho do circuito entre os pontos “B” e “E” e, como nós, os pontos “E”. Podemos também identificar como malhas, os seguintes ciclos:

- malha 1: $A \rightarrow B \rightarrow G \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow A$
- malha 2: $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \rightarrow B$
- malha 3: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow A$

Mas, como calcular, por exemplo, o valor das correntes nos ramos? Todo circuito em malha gera um sistema de equações. Vamos pegar um exemplo mais simples para aplicar a lei de Kirchhoff como o ilustrado na figura a seguir.

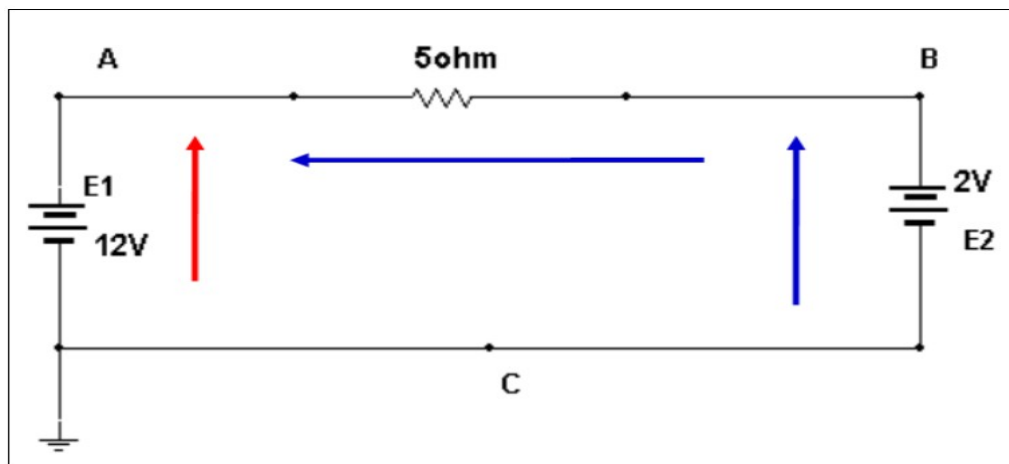


Figura 13 – Exemplo de um circuito em malha.

No exemplo da figura acima, temos duas fontes de alimentação e um resistor cuja função é limitar a energia da fonte de tensão maior para que “invada” a fonte menor. Então, podemos escrever o nosso sistema de equações da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 12V &= V_r + 2V \\
 12V &= 5 \cdot i + 2V \\
 5 \cdot i &= 12V - 2V \\
 i &= 10V / 2 \\
 i &= 2A
 \end{aligned}$$

Consequentemente, a ddp sobre os terminais do resistor vale: $V = 5\Omega \cdot i \rightarrow V = 5\Omega \cdot 2A \rightarrow V = 10 \text{ volts}$.

1.3 Capacitores

O segundo componente que conversaremos consiste no capacitor. Um capacitor (ou condensador) é formado por duas placas metálicas planas, colocadas de forma paralela e separadas por um material isolante (dielétrico). Essa configuração permite o armazenamento de energia elétrica na forma de um campo elétrico. A figura a seguir ilustra a constituição e simbologia de um capacitor básico.

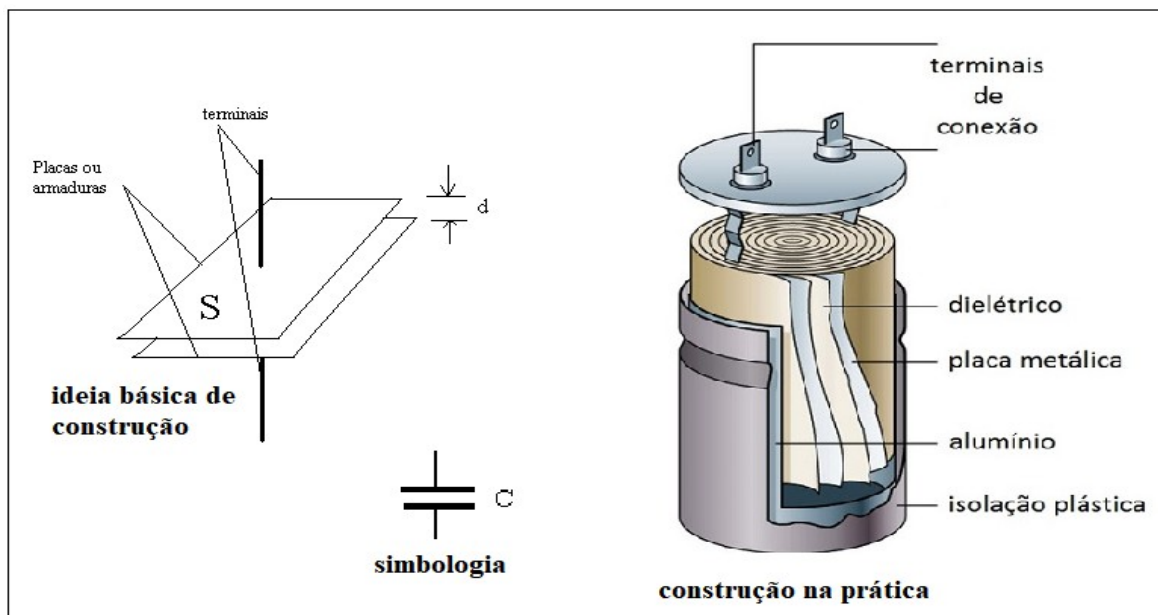


Figura 14 – Construção e simbologia de um capacitor básico.

Como podemos observar na figura acima, a simbologia de um capacitor retrata a sua ideia básica de construção. No caso da figura, o capacitor é não polarizado, ou seja, os seus terminais não distinguem em relação à ligação em referencial positivo ou negativo. Existem, por exemplo, os capacitores eletrolíticos que, em cuja ligação, os referenciais positivo e negativo deverão ser respeitados.

A figura abaixo mostra alguns tipos de capacitores encontrados comumente nos circuitos eletrônicos. Assim como nos capacitores, os nomes geralmente são derivados do material utilizado para a sua construção.

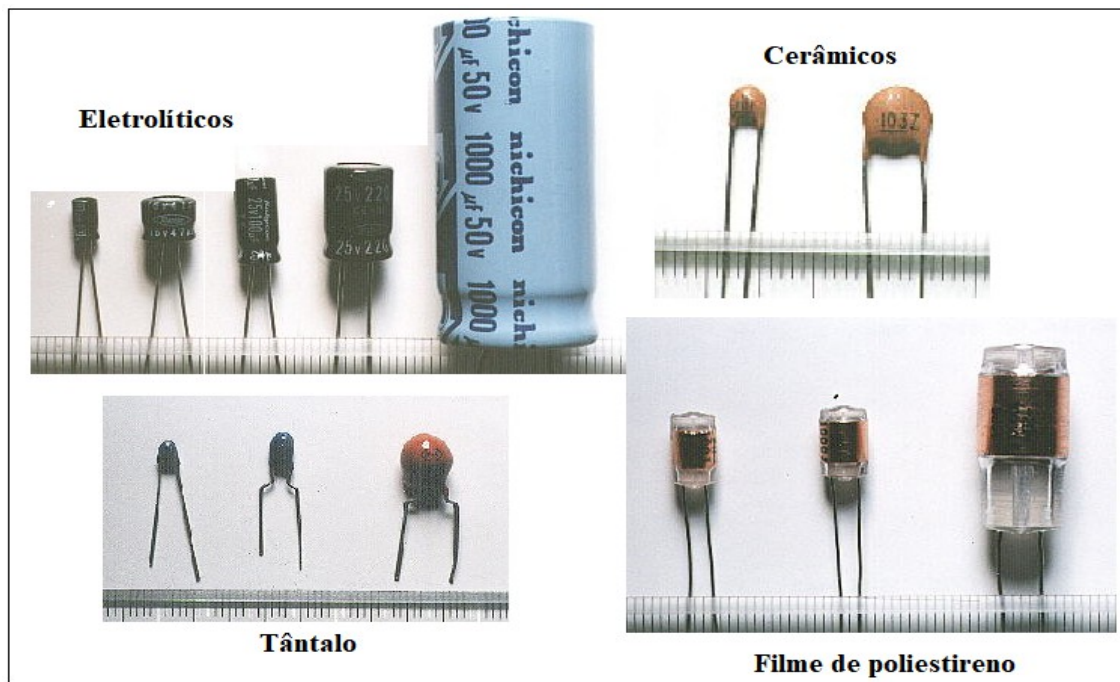


Figura 15 – Alguns exemplos de capacitores comumente utilizados.

Além dos tipos de capacitores ilustrados na figura acima, podemos encontrar, ainda, por exemplo: filme de poliéster, polipropileno e mica. Os capacitores podem ter as suas capacitâncias (medidas em *Farads* – F) de forma fixa ou variável (nos capacitores variáveis). Como exemplos de aplicações dos capacitores podemos citar:

- Partida em motores monofásicos (por exemplo, geladeiras);
- associados às bobinas de ignição motores à combustão (gasolina / álcool);
- isolamento elétrico em linhas de transmissão para transmissão de dados;
- circuitos de sintonia de rádio → filtros de frequência;
- circuitos de oscilação (em osciladores, também poderemos encontrar em uso os cristais de quartzo devido ao seu efeito piezoelétrico).

A capacitância de um capacitor pode ser calculada como:

$$C = (K * \epsilon_0 * S) / d$$

Onde:

C → capacitância em Farads;

K → constante dielétrica do material (no vácuo, K=1. O vidro tem k = 4.5);

$\epsilon_0 \rightarrow$ permissividade dielétrica do vácuo, tendo o valor 8.85 pF/m ;

$S \rightarrow$ área das placas;

$d \rightarrow$ espessura do dielétrico.

Assim como os resistores, podemos associar os capacitores em série ou em paralelo. Na associação em paralelo, o capacitor equivalente é igual à soma das medidas dos capacitores interligados. Por sua vez, na ligação em série, o inverso da capacitância do capacitor equivalente é igual à soma dos inversos dos capacitores encontrados na ligação.

1.3.1 – Energização dos capacitores em corrente contínua

Ao ser aplicada uma tensão (em corrente contínua) nos terminais de um capacitor, os elétrons se deslocarão de uma placa para outra enquanto houver ddp entre elas. Tal movimento dos elétrons se cessará quando a ddp entre as placas for igual à tensão aplicada. Neste caso, o capacitor estará carregado com uma carga Q e a sua resistência equivalerá ao valor infinito.

A carga Q é dada em Coulombs e pode ser calculada pela expressão: $Q = V * C$ ($Q \rightarrow$ Coulombs; $V \rightarrow$ Volts; $F \rightarrow$ Farads). A figura a seguir ilustra a sequência de etapas que descrevemos a pouco.

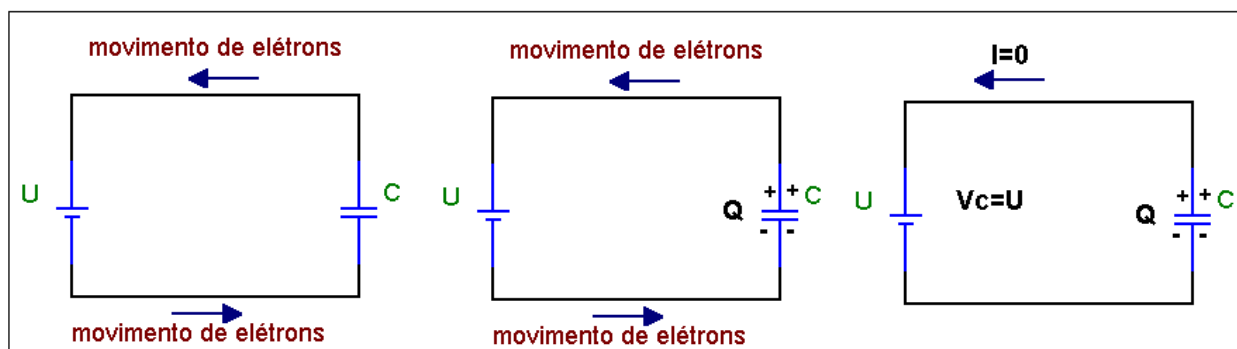


Figura 16 – Etapas para energização dos capacitores até atingir a carga Q .

O tempo de carga de um capacitor pode ser controlado através da introdução de um resistor como representado na figura a seguir.

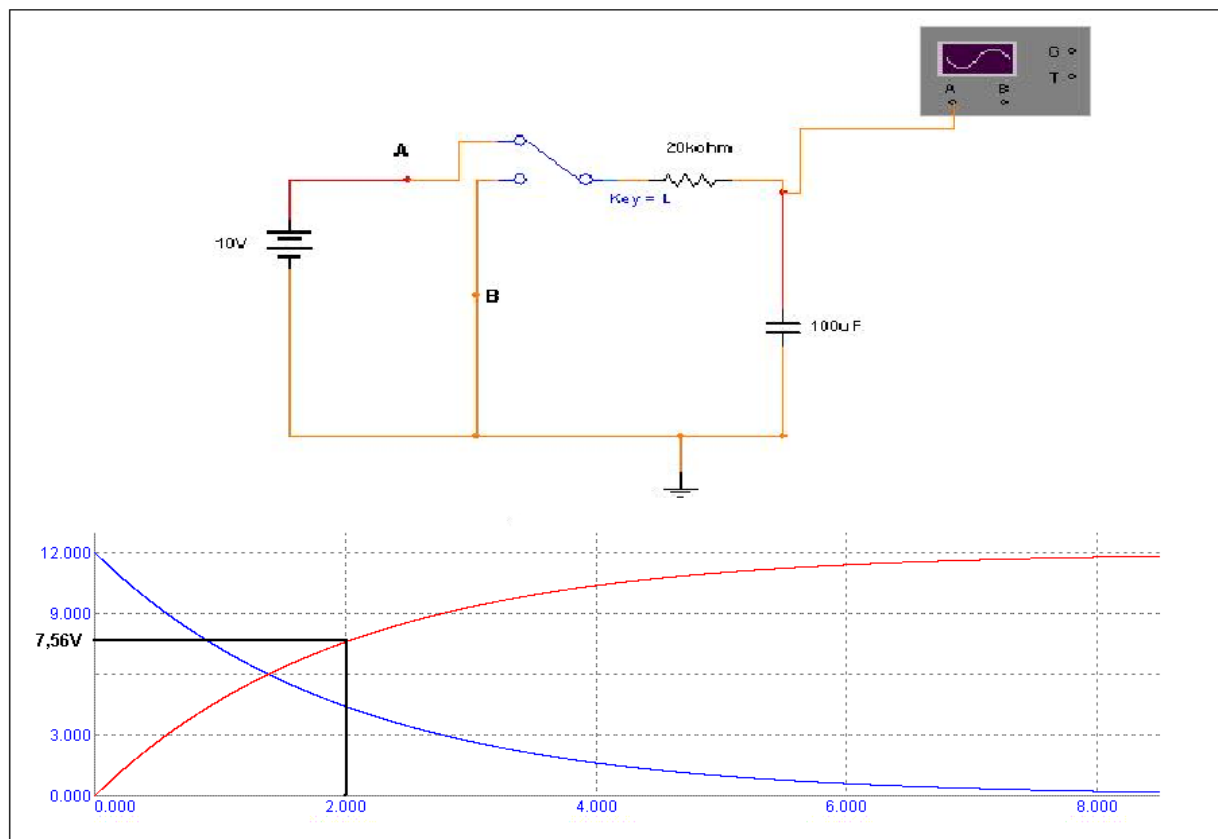


Figura 17 – Capacitor sendo carregado através do resistor de carga. A curva vermelha representa a tensão acumulada no capacitor e, a azul, denota a ddp sobre o resistor.

Na figura acima podemos observar que a carga do capacitor está sendo controlada pelo resistor. Sendo assim, o tempo para atingir o máximo da carga torna-se menor em relação caso estivesse sendo ligado diretamente à fonte de alimentação – este tipo de configuração é chamada como “circuito RC” (resistor-capacitor). O tempo de carga, em segundos, pode ser mensurada através da equação $T = R * C$ (T em segundo, R em ohms e C em farads). Fisicamente, uma constante de tempo é definido como sendo o tempo que a tensão leva para ir de zero até 63% da tensão da fonte ($0,63.VCC$).

Quando a chave da figura acima estiver conectada no ponto “B” ocorrerá a descarga do capacitor observando-se o tempo pela mesma equação $T = R * C$. A curva característica de descarga pode ser observada na figura a seguir.

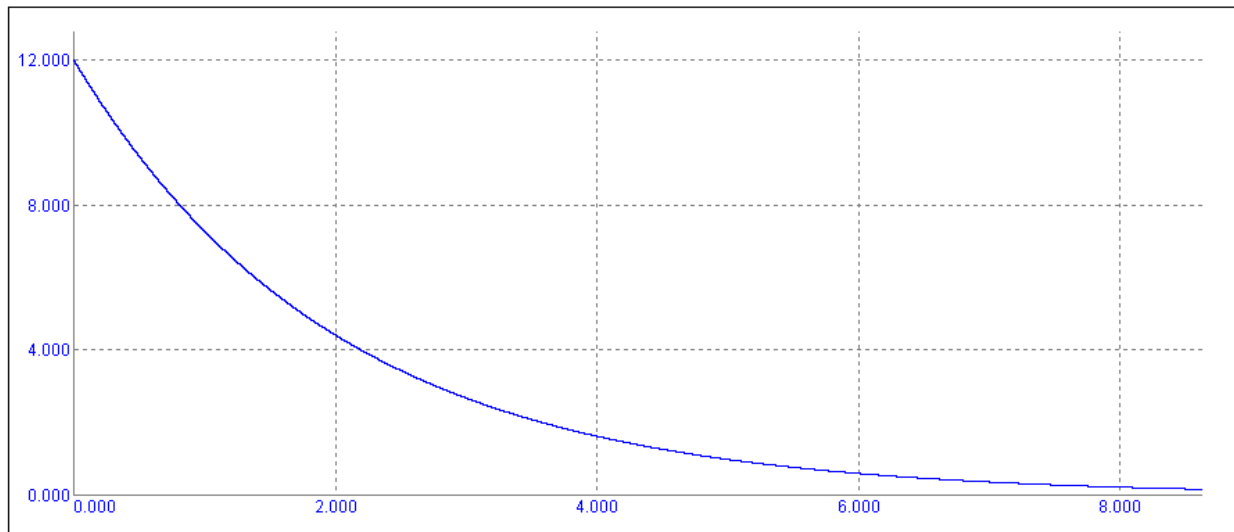


Figura 18 – Curva de descarga de um capacitor.

Na figura acima podemos observar a curva de descarga de um capacitor. Podemos observar que o comportamento de descarga segue o mesmo padrão em relação à curva de carga – porém trata-se de uma curva descendente.

1.3.2 – Energização dos capacitores em corrente alternada

Quando o capacitor é submetido à uma corrente alternada, os ciclos de carga e de descarga acompanha as inversões de fase da corrente. Desta forma, o capacitor sempre tende a acompanhar a polarização ditada pelo semiciclo corrente. A intensidade de carga depende da capacitância do capacitor e da frequência das inversões da corrente alternada. A figura a seguir permite uma melhor abstração da energização do capacitor em corrente alternada.

Esse acompanhamento tem como consequência o aparecimento da reatância capacitiva. Reatância significa a “resistência” à passagem da corrente alternada. Porque se forma isso? Imagine que, para o capacitor assumir a polaridade inversa àquela que havia sido carregada, deve se descarregar por completo. Essa carga prévia (de polarização oposta) funciona como uma barreira à nova polarização.

A reatância capacitiva pode ser calculada através da fórmula:

$$X_c = 1 / (2 * \pi * F * C)$$

Onde:

- $X_c \rightarrow$ reatância capacitiva (ohms);
- $F \rightarrow$ frequência da corrente alternada (hertz);
- $C \rightarrow$ capacitância (farads).

A figura a seguir retrata a curva da reatância capacitiva em função da frequência da corrente alternada.

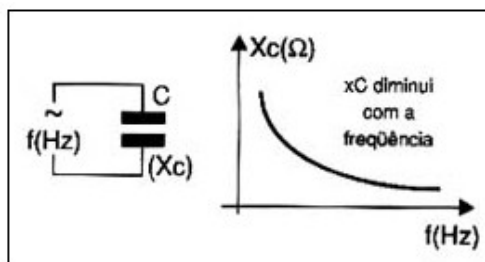


Figura 19 – Curva da reatância capacitiva em função da frequência da corrente alternada.

f (kHz)	1 uF	1,5 uF	2 uF	2,5 uF
10	159,236	106,157	79,618	63,694
20	76,618	53,079	39,809	31,848
30	53,079	35,836	26,539	21,232
40	39,809	26,540	19,905	14,924
50	31,847	21,230	15,924	12,740
60	26,539	17,693	13,270	10,616
70	22,748	15,165	11,374	9,098
80	19,905	13,270	9,953	7,962
90	17,693	11,795	8,847	7,078
100	15,924	10,615	7,962	5,370

Tabela 4 – Exemplos de valores de reatância capacitiva em função de valores de capacitância do capacitor e da frequência da corrente alternada.

A tabela acima ilustra o fato de que a reatância capacitiva é inversamente proporcional à capacitância e à frequência da corrente alternada.

1.4 Indutores

Os indutores, também conhecidos como bobinas, são componentes capazes de armazenar energia na forma de campo magnético. Em suma, são contruídos por um enrolamento de fios que podem estar em torno de algum material, como o ferro, ferrite ou, simplesmente, tendo o ar como o núcleo da bobina.

Como aplicações dos indutores, podemos citar:

- transformadores de energia;
- sistema de ignição dos veículos movidos a gasolina e álcool;
- microfones e alto-falantes;
- relés;
- filtros de frequência.

A figura a seguir ilustra a simbologia assim como a construções de alguns dispositivos baseados em indutores.

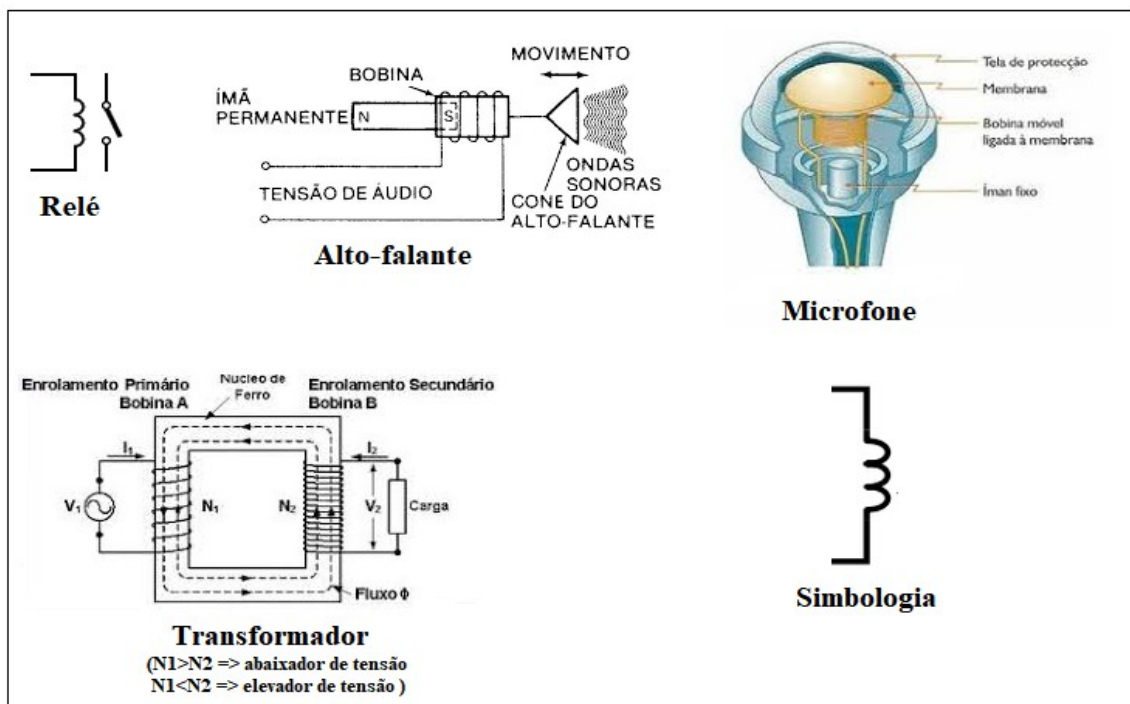


Figura 20 – Simbologia e exemplos de dispositivos baseados em indutores.

Na prática, nos indutores, a corrente não atinge sua intensidade máxima imediatamente devido ao tempo que a corrente leva para preencher toda a extensão da bobina. À medida que a bobina vai sendo preenchida pela corrente, um campo magnético é gerado onde as linhas de

força cortam as outras espiras do mesmo indutor. Portanto, ocorre uma indução de uma corrente que tende a se opor à corrente injetada, ou seja, indutor se opõe a uma variação rápida da intensidade da corrente.

Falando em oposição, assim como os capacitores, os indutores também apresentam uma reatância frente à corrente alternada – no caso, a reatância indutiva. Podemos descrever a reatância indutiva através da equação:

$$X_L = 2 * \pi * F * L$$

Onde:

- $X_L \rightarrow$ reatância indutiva (ohms);
- $F \rightarrow$ frequência da corrente alternada (hertz);
- $L \rightarrow$ indutância (Henry).

Para exemplificar, a tabela a seguir ilustra valores de reatância indutiva em função da valor da indutância e da frequência da corrente alternada.

f (kHz)	10 mH	20 mH	30 mH	40 mH
1	62,8	125,6	188,4	255,2
2	125,6	251,2	376,8	502,5
3	188,4	376,8	565,2	753,6
4	251,2	502,4	753,6	1004,8
5	314	628	942	1 256
6	376,8	753,6	1 130,4	1507
7	439,6	879,2	1 318,8	1 758,4
8	502,4	1 004,8	1 507,2	2 009,6
9	565,2	1 130,4	1 695,6	2 260,8
10	628	1 256	1 884	2 512

Tabela 5 – exemplos de valores da reatância indutiva em função da valor da indutância e da frequência da corrente alternada.

Uma aplicação típica, utilizando os preceitos da reatância capacitiva e da reatância indutiva, consiste nos filtros analógicos de frequência – o que veremos a seguir.

Você quer ler e ver?

Para saber um pouco mais sobre os capacitores você poderá acessar o artigo escrito por Henrique Mattede para o portal “Mundo da Elétrica” disponível através do *link* [<https://www.mundodaeletrica.com.br/capacitor-o-que-e-tipos-e-aplicacoes/>](https://www.mundodaeletrica.com.br/capacitor-o-que-e-tipos-e-aplicacoes/).

1.4.1 Filtros analógicos de frequência

Para resumir o que conversamos:

- Capacitores → baixa oposição à alta frequência
- Indutores → baixa oposição à baixa frequência

Então, podemos construir circuitos com indutores e capacitores cujo objetivo consiste em filtrar faixas de frequência: os chamados filtros analógicos de frequência. Como exemplos de aplicações dos filtros analógicos de frequência, podemos citar:

- Filtragem dos sinais da Internet nos telefones fixos conectados às linhas que possuem internet banda larga;
- separador de frequência para utilização de alto-falantes do tipo *tweeter*, *woofer* e *subwoofer*;
- circuitos de sintonia em aparelhos de rádio e televisão;
- equalizadores em mesa de som;
- instrumentação biomédica, como aparelhos de eletrocardiograma (ECG) e eletroencefalograma (EEG).

Os filtros podem ser classificados em quatro tipos, conforme referenciados a seguir:

- Passa-baixas → pouca oposição aos sinais de baixas frequências, ou seja, bloqueiam os sinais de altas frequências;
- Passa-altas → forte oposição aos sinais de baixas frequências, ou seja, deixam passar os sinais de altas frequências;
- Passa-faixas ou Passa-Bandas → deixam passar somente sinais dentro de uma faixa de frequência;

- Rejeitores → bloqueiam os sinais que estão dentro de uma certa faixa de frequência.

A figura a seguir ilustra exemplos de implementação de filtros analógicos de frequência do tipo passa-baixa e passa-alta.

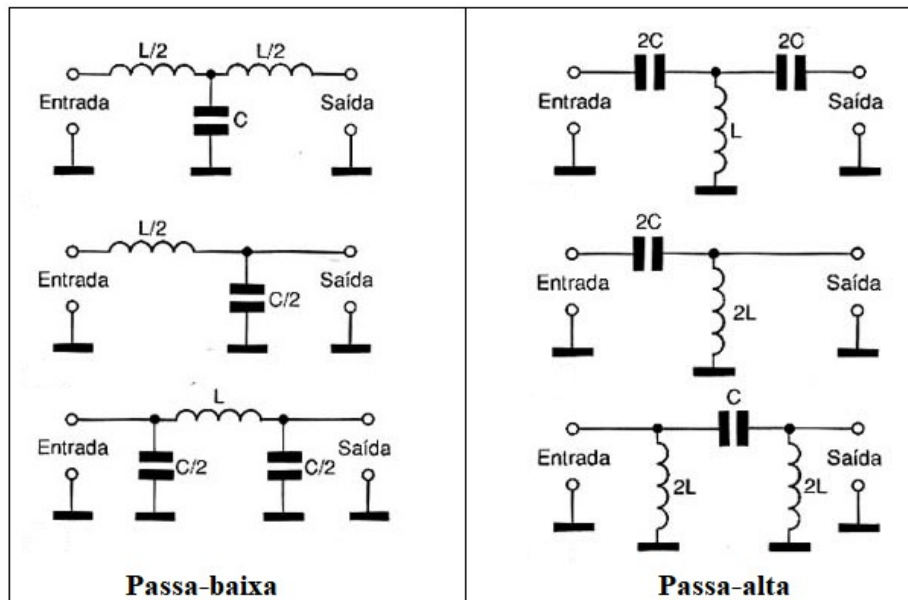


Figura 21 – Exemplos de construção de filtros analógicos de frequência do tipos passa-baixa e passa-alta.

Na figura acima temos exemplos de construção de filtros analógicos de frequência do tipos passa-baixa e passa-alta. Para a composição dos filtros passa-banda e rejeitores basta realizar a junção de filtros passa-baixa e passa-alta.

Você sabia?

Você sabia que os filtros podem ser implementados na forma digital? Os filtros digitais se mostram mais eficientes e flexíveis em relação ao seu equivalente analógico. Para saber um pouco sobre filtros digitais, acesse (EMBARCADOS, 2015), disponível em <<https://www.embarcados.com.br/filtros-digitais/>>.

1.5 Diodos e Transistores

Os próximos componentes sobre os quais conversaremos são os diodos e transistores. Porém, antes, deveremos falar sobre junções utilizando materiais semicondutores. Como

mencionamos anteriormente, os semicondutores são aqueles que apresentam uma condutibilidade média à corrente elétrica.

Para relembrar o conceito de corrente elétrica, vamos mencionar a estrutura de um material muito utilizado na eletrônica: o silício. O silício é um material tetravalente, ou seja, apresenta 4 elétrons na camada de valência como ilustrado na figura a seguir em (a) e em (b).

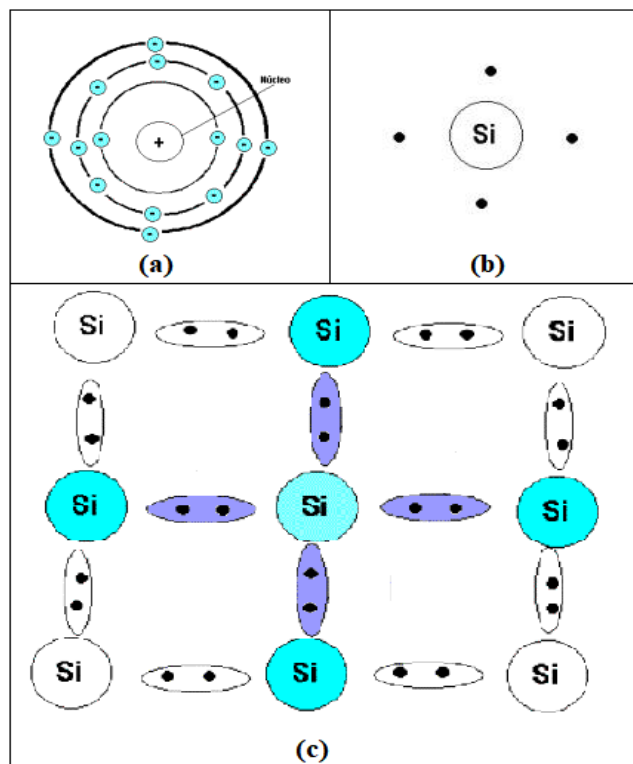


Figura 22 – Distribuição dos elétrons no silício (a) e o destaque de sua camada de valência (b).

Em (c) temos as ligações covalentes de um cristal de silício.

Na figura acima temos, em (a), a distribuição dos elétrons no silício e, em (b) o destaque de sua camada de valência. Em (c) temos as ligações covalentes de um cristal de silício quando em estabilidade, ou seja, sem aplicar energias externas para desestabilizar as ligações covalentes – por exemplo, quando o cristal a uma temperatura próxima a -273°C (neste caso, o silício é considerado como material isolante).

Porém, em temperaturas maiores, há o aparecimento de lacunas quando os elétrons se desprendem de sua camada de valência rompendo as ligações covalentes. Neste caso, há a formação de uma corrente elétrica através da movimentação dos elétrons livres e, conseqüentemente, das lacunas – conforme ilustra a figura a seguir.

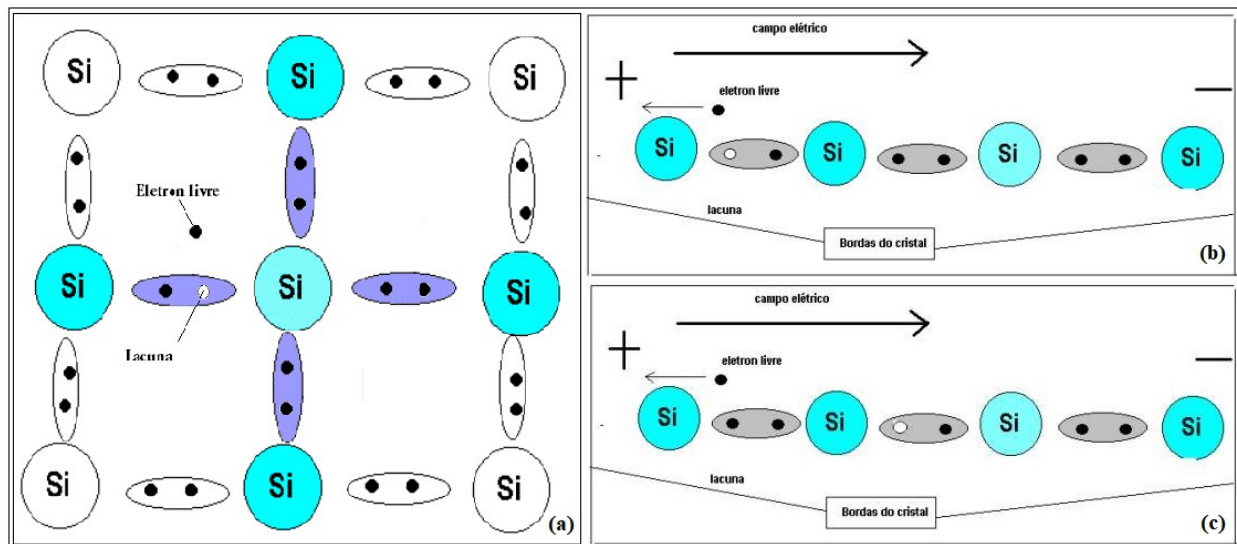


Figura 23 – Cristal de silício com elétrons livres (a). Fluxo da corrente e das lacunas – (b) e (c).

Na figura acima, podemos observar que, quando instáveis as ligações covalentes, os elétrons se desprendem da camada de valência tornando-se livres (item “a” da figura). Ao se tornar livres, surgem as lacunas que deverão ser preenchidas com elétrons livres vizinhos. Essa sequência de movimentações de elétrons e lacunas (itens “b” e “c” da figura) geram as correntes elétricas. Mas como controlar melhor essa movimentação? Veremos esse assunto quando coversarmos sobre dopagem dos elementos.

1.5.1 Semicondutores extrínsecos

Semicondutores extrínsecos são aqueles cuja concentração de elétrons livres é diferente à de lacunas – tendo, portanto, um desequilíbrio das cargas. Esse desequilíbrio é proporcionado por intermédio da adição de impurezas, ou seja, outros materiais para que se possa obter semicondutores do tipo “N” e semicondutores do tipo “P”.

Os semicondutores do tipo “N” são obtidos adicionando-se impurezas pentavalentes ao material puro (semicondutor intrínseco) tal como o fósforo (P) ao silício (Si). Por sua vez, os semicondutores do tipo “P” são gerados pela adição de impurezas trivalentes ao material puro (semicondutor intrínseco) tal como o boro (B) ao silício.

A figura a seguir ilustra semicondutores “P” e “N” formados pela adição de fósforo e boro, respectivamente, ao silício.

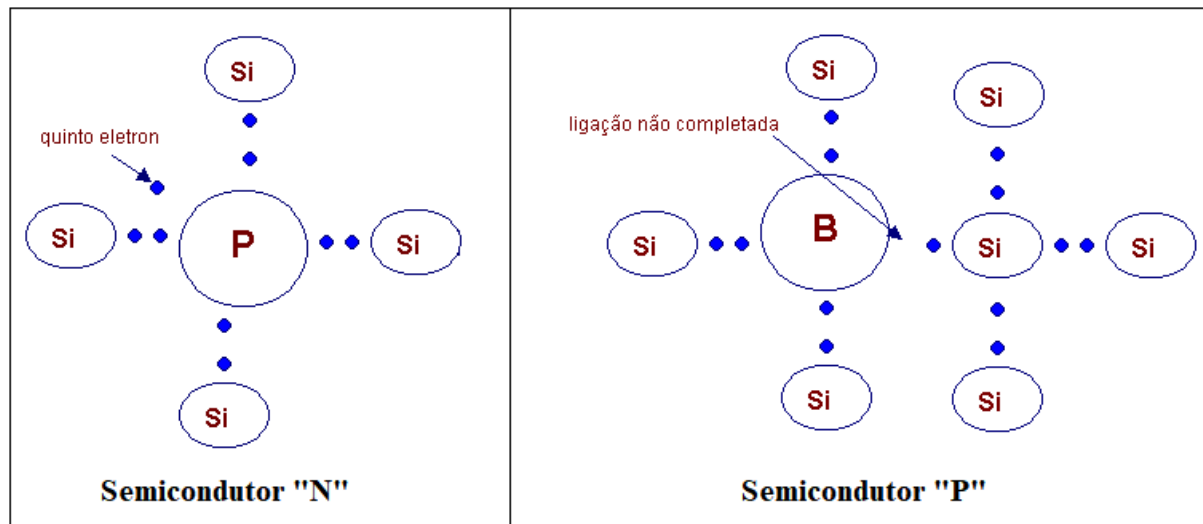


Figura 24 – Semicondutores “N” e “P” obtidos pela adição de fósforo (P) e boro (B), respectivamente.

Mas, como utilizar, na prática, os semicondutores “N” e “P”? Veremos a seguir, as junções “PN” – base para a construção de diodos e transistores.

1.5.2 Junções “PN”

As junções “PN” são obtidas através da união do material “P” ao material “N” (BOYLESTAD, 2012). Essa união tem como consequência a diferença de concentração de portadores de ambos os lados, ou seja, a difusão de elétrons livres do lado “N” indo para o lado “P” e a difusão de lacunas do lado “P” para o lado “N”. Essa difusão tem como consequência que, no lado “N” aparecerão íons positivos não neutralizados e, do lado “P”, íons negativos não neutralizados. Sendo assim, aparecerão uma região sem cargas livres – a chamada **região de depleção**. A distribuição de cargas cria uma barreira a qual se oporá à difusão de mais portadores majoritários, lacunas no lado “P” e elétrons livres no lado “N”. Essa corrente é representada por $I_{difusão}$.

Caso algum portador minoritário (aqueles gerados pela temperatura), elétron livre do lado “P” ou lacuna do lado “N”, se aproxime desta região, será acelerado pelo campo existente e passará para a outra região. Esse fluxo é representado por I_{deriva} . Após o equilíbrio, a soma das correntes através da junção é zero, isto é, I_{deriva} é igual a $I_{difusão}$. A figura a seguir ilustra essa região de depleção.

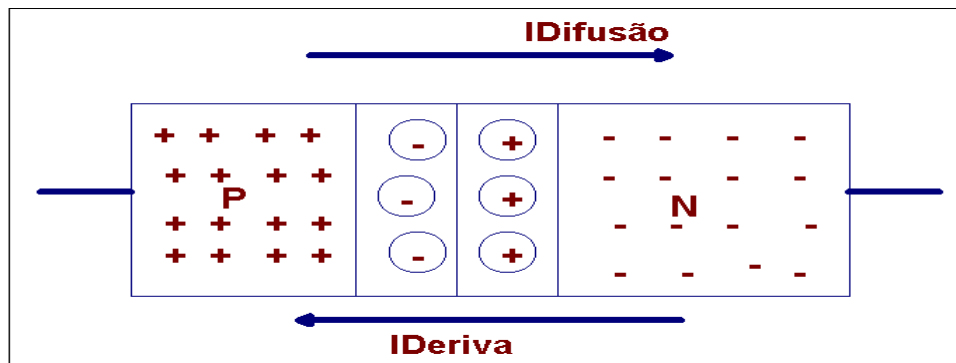


Figura 25 – Região de depleção em uma junção “PN”.

Podemos polarizar a junção “PN” de duas formas: polarização direta e polarização reversa. Na polarização direta, a largura da região de depleção aumentará, sendo assim, tem-se uma maior dificuldade para a passagem dos portadores majoritários de um lado da junção para o outro. Por outro lado, na polarização reversa, a largura da região de depleção diminuirá, tendo por consequência, uma maior facilidade para o deslocamento dos portadores majoritários de um lado da junção para o outro. A figura a seguir ilustra a polarização reversa (a) e a polarização direta (b).

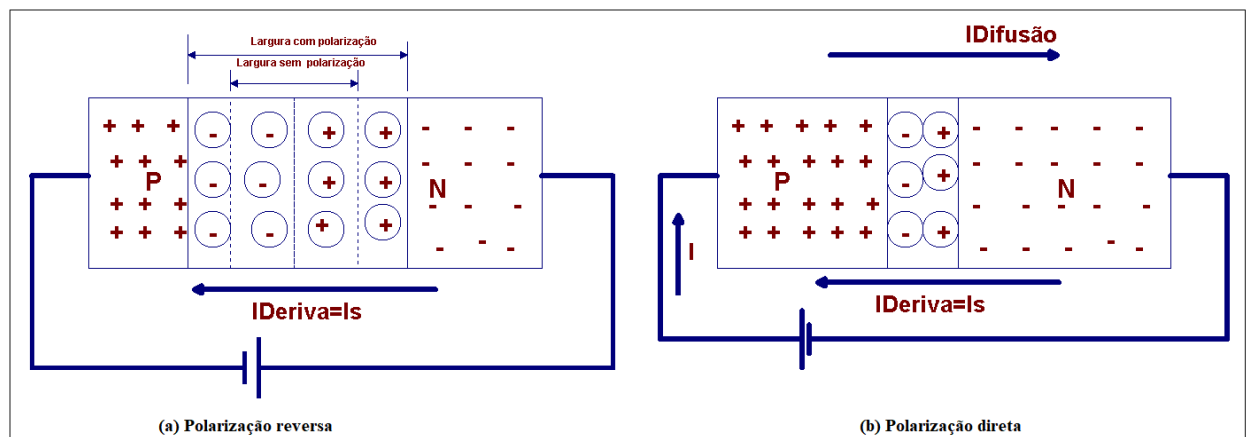


Figura 26 – Junção “PN” sendo polarizada reversamente (a) e diretamente (b).

Na polarização direta, à medida que a corrente aumenta, a tensão externa se distribui entre o material e a barreira. A partir desse ponto a corrente passa a ser controlada pela resistência direta do material (a corrente na junção passa a ter um comportamento aproximadamente linear com a tensão). A corrente só aumentará efetivamente quando a tensão aplicada entre os terminais exceder aproximadamente de 0,6V a 0,7V (para as junções de Si) – é quando a barreira de potencial será vencida.

Aonde encontramos as junções “PN”? A primeira utilização consiste nos diodos, que veremos a seguir.

1.5.3 Diodos

Diodos são componentes eletrônicos formados por junções “PN”. Sendo assim, os conceitos inerentes às junções “PN” são aplicadas aos diodos, ou seja, sumariamente podemos mencionar que (BOYLESTAD,2013):

- Apresenta baixa resistência quando **polarizado diretamente**;
- bloqueia a corrente quando **polarizado reversamente**.

A sua construção básica, simbologia e as polarizações direta e reversa poderão ser observadas na figura a seguir.

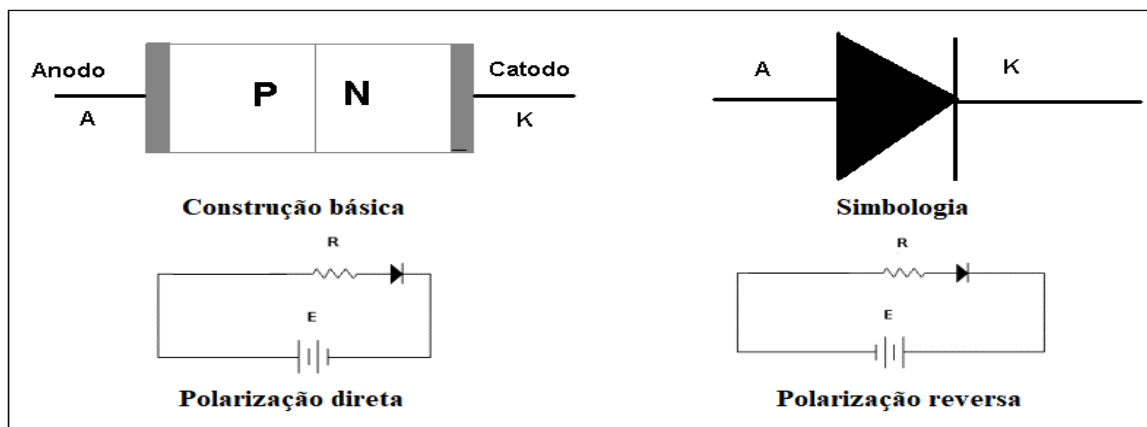


Figura 27 – Construção básica de um diodo, sua simbologia e suas polarizações direta e reversa.

Para o diodo conduzir, mesmo em polarização direta, é necessário que a tensão da bateria seja de pelo menos 0,7V (para vencer a barreira de potencial). Em condução um diodo apresenta uma queda de tensão de aproximadamente 0,7V(diodo de Si).

Com polarização reversa, a corrente no diodo será muito baixa (da ordem de nA para diodos de Si), ou seja, sob o ponto de vista prático, igual a 0. Esta corrente reversa, também chamada de corrente de fuga, só depende de aspectos construtivos (dopagem) e da temperatura (dobro de valor para cada 10 graus de aumento na temperatura). Quando polarizado reversamente, toda a tensão da fonte cairá entre os terminais do diodo, que deverá ter capacidade para suportar essa tensão reversa, caso contrário pode ocorrer um fenômeno chamado de avalanche o que pode levar à destruição do diodo.

A tabela a seguir referencia alguns tipos de diodos encontrados nos circuitos e as suas respectivas simbologias.

Descrição	Simbologia	Descrição	Simbologia
Diodo Retificador		Diodo Shottky	
Diodo Emissor de Luz (LED)		Diodo Túnel	
Fotodiodo		Diodo Varicap	
Diodo Zenner		Diodo Gunn	

Tabela 6 – Alguns tipos de diodos encontrados nos circuitos e as suas respectivas simbologias.

Ilustraremos, agora, a utilização dos diodos com alguns circuitos práticos. Os seus funcionamentos veremos em nossos encontros virtuais.

1.5.3.1 Retificação meia onda sem e com filtro capacitivo

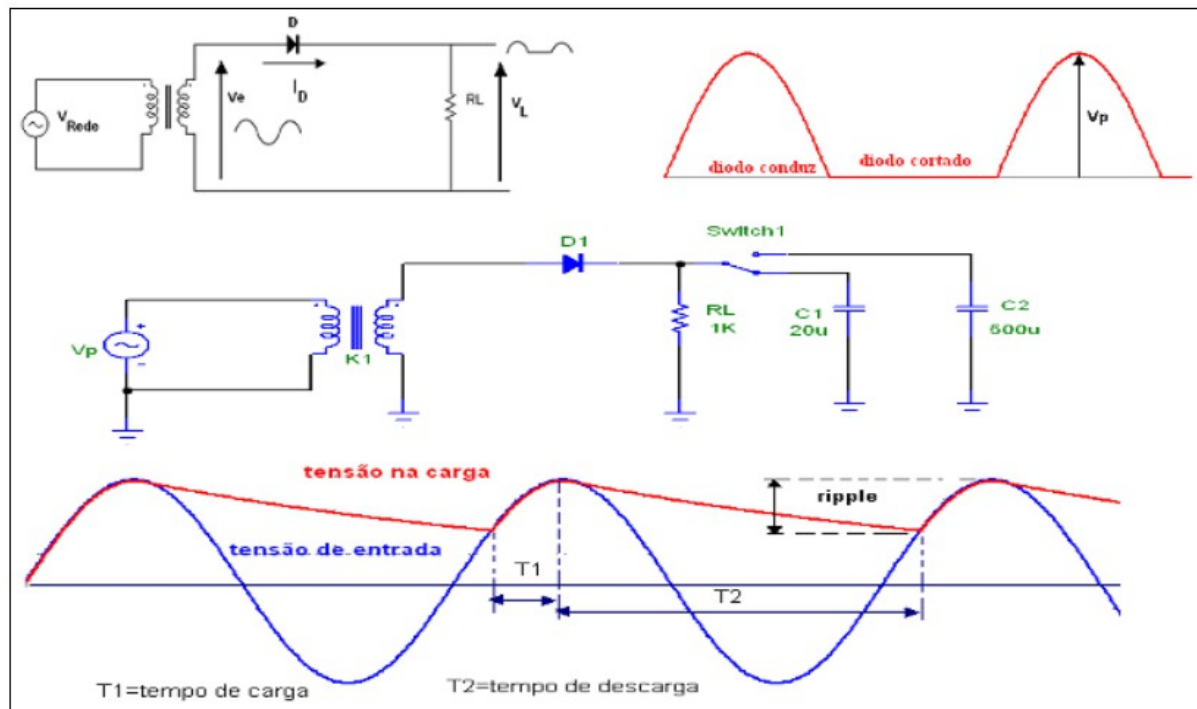


Figura 28 – Retificação meia onda sem e com filtro capacitivo.

1.5.3.2 Retificação onda completa

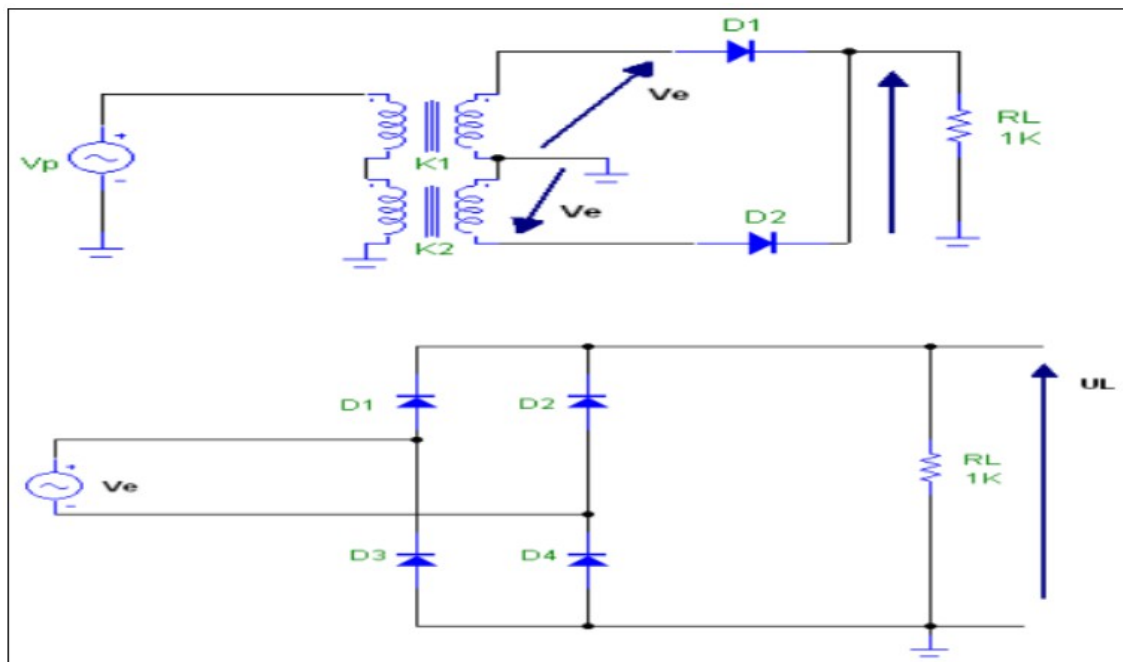


Figura 29 – Retificação onda completa.

1.5.3.3 Limitadores de tensão

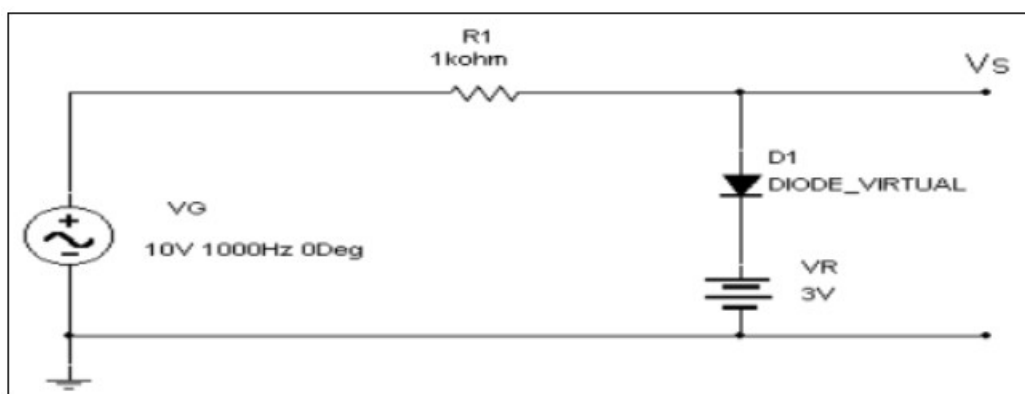


Figura 30 – Limitadores de tensão.

Um outro componente que utiliza, também, junções “PN” é o transistor – que veremos a seguir.

Você quer ler e ver?

Para saber um pouco mais sobre os diodos, acesse o material elaborado por Pedro Alves para o portal “Manual da Eletrônica” disponível através do [link](https://www.manualdaeletronica.com.br/diodo-o-que-e-qual-a-sua-aplicacao/) <<https://www.manualdaeletronica.com.br/diodo-o-que-e-qual-a-sua-aplicacao/>>.

1.5.4 Transistores

Os transistores são dispositivos formados por junções “PN” e podem atuar como chaves, elementos de amplificação, acoplamento e outras funcionalidades. Para iniciar o nosso contato, vamos conversar sobre o transistor bipolar cuja constituição e simbologia são apresentadas na figura a seguir.

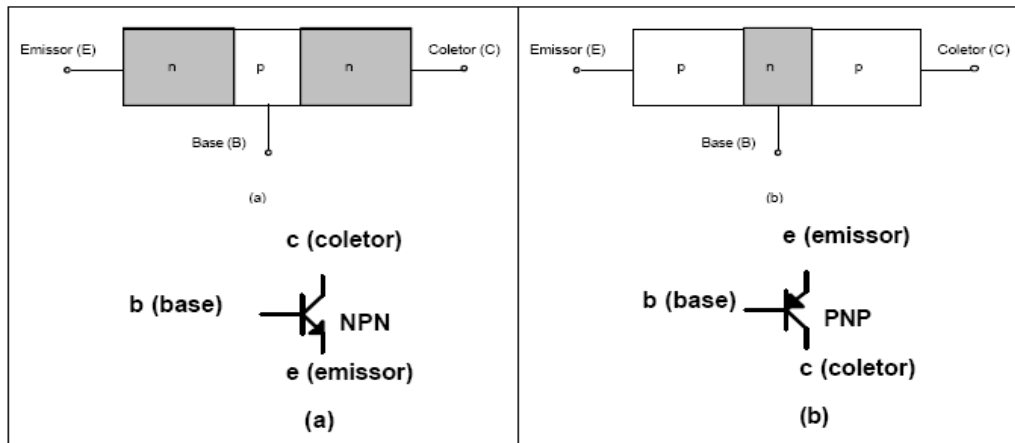


Figura 30 – Constituições e simbologias de transistores bipolares.

Na figura acima, temos a constituição e simbologia de um transistor bipolar NPN (a) e de um transistor bipolar PNP (b). A diferença entre os dois tipos consiste na polaridade de seus terminais – no NPN, a base é positiva e os outros dois terminais são negativos, invertendo-se as polaridades no PNP. Ambos os tipos são formados por junções “PN” e apresentam os terminais identificados como “emissor”, “base” e “coletor” (BOYLESTAD, 2013).

Assim como nos diodos, podemos realizar polarizações diretas e reversas nas junções do transistor conforme ilustra a figura a seguir.

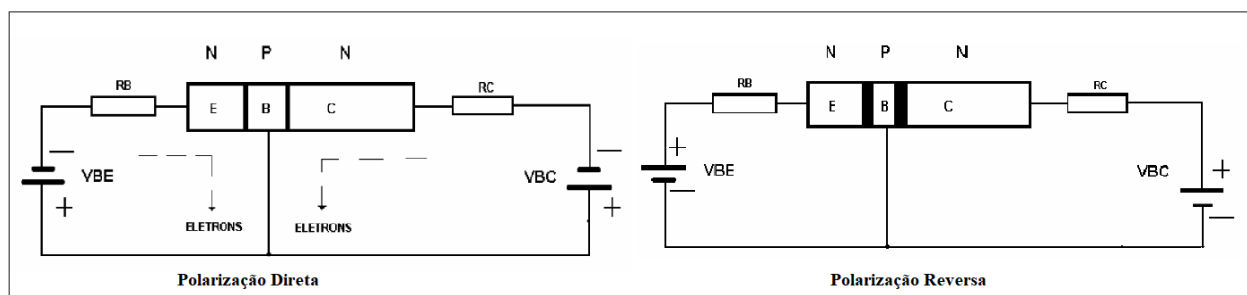


Figura 31 – Polarização direta e reversa nos transistores bipolares.

Na polarização direta, a tensão entre a base e o emissor vale 0.7V para os diodos de silício enquanto que a tensão entre coletor e a base é maior do que o limiar de 0.7V. Na polarização reversa, as junções PN apresentam suas regiões de depleção alargadas tendo,

portanto, uma alta resistividade.

Porém, a polarização mais usual é a chamada “polarização direta-reversa” como apresentada na figura abaixo.

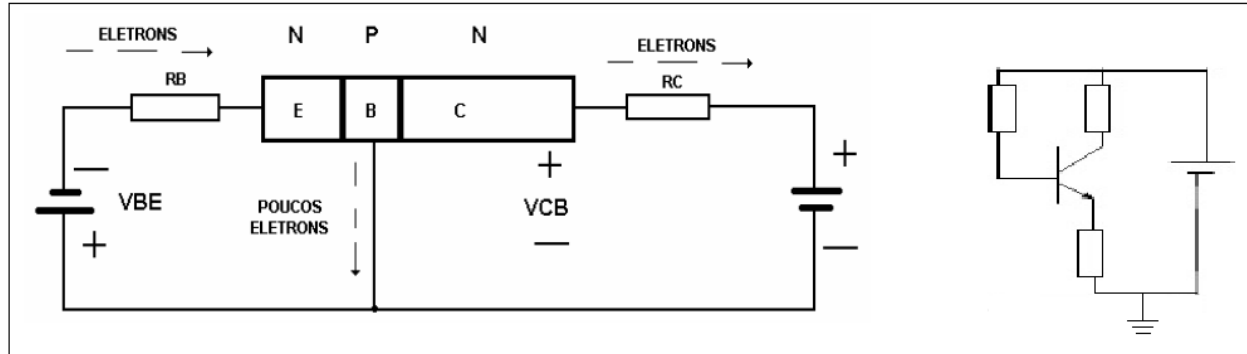


Figura 32 – Polarização direta-reversa.

Na polarização direta-reversa, a base serve como um elemento regulador da corrente que flui entre os terminais “emissor” e “coletor” - porém existe uma pequena corrente do emissor para a base. Por outro lado, existe uma forte corrente do emissor para o coletor. Cerca de 95% da corrente injetada no emissor fluem em direção ao coletor e apenas 5% da corrente de emissor flui em direção à base.

A relação entre a corrente de coletor e a corrente de emissor é conhecida por α_{cc} :

$$\alpha_{cc} = I_C / I_E$$

Um outro parâmetro que encontramos nas especificações de um transistor é denominado como β_{cc} . Essa métrica consiste na relação entre a corrente do coletor e a corrente da base:

$$\beta_{cc} = I_C / I_B$$

Mencionamos que, nesta configuração, o potencial fornecido à base (potencial positivo no caso dos transistores NPN ou potencial negativo para o caso dos PNP) regula o fluxo entre os terminais coletor e emissor. Sendo assim, o comportamento do transistor segue a curva inclusa na figura a seguir.

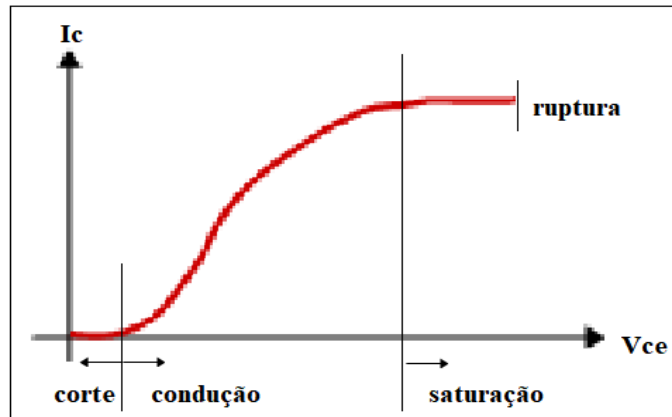


Figura 33 - Curva característica de um transistor NPN.

Na figura acima, podemos observar pontos de transições entre os estados assumidos por um transistor:

- corte: um transistor encontra-se cortado quando a polarização de base não for suficientemente positiva (para os NPN) ou negativa (para os PNP) para propiciar a condução entre os terminais coletor e emissor (V_{ce});
- condução: a condução de um transistor denota um fluxo V_{ce} controlado pela polarização de base;
- saturação: a partir deste ponto, o fluxo V_{ce} permanecerá constante mesmo que se aumente a polarização de base;
- ruptura: representa a própria danificação do transistor em função de um potencial de base além da capacidade do transistor.

Durante a condução do transistor, podemos destacar que:

- $I_e = I_c + I_b$;
- I_e é aproximadamente igual à I_c ;
- $I_b \ll I_e$ ou I_b .

Mencionamos que um transistor pode ser utilizado como chave, principalmente quando estamos lidando com elementos da eletrônica digital. A figura a seguir ilustra configurações básicas para a atuação do transistor como chave.

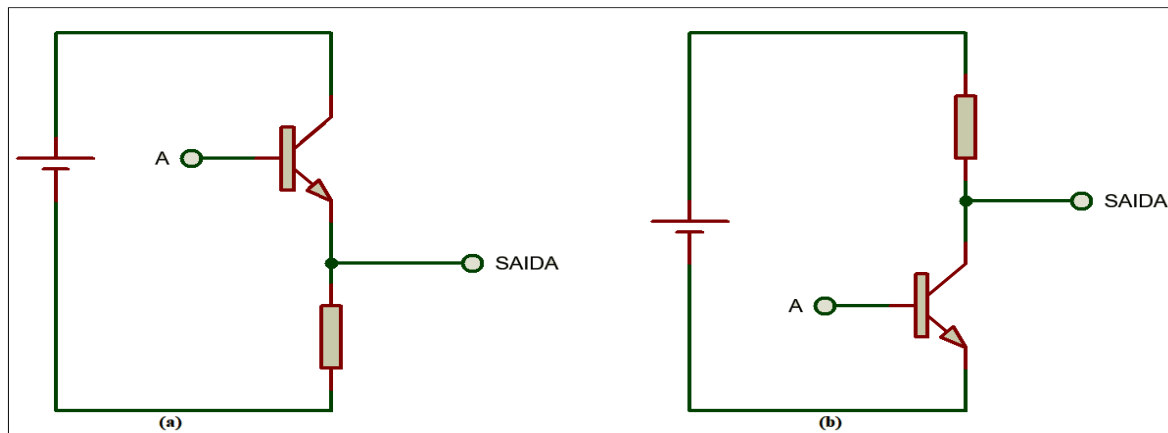


Figura 34 – Configurações básicas de utilização de transistor como chave.

Na figura acima, temos, em (a), a saída recebendo o valor $+V_{cc}$ quando a base do transistor for polarizada. Por outro lado, em (b), a saída terá um potencial negativo caso a base do transistor for polarizada. Essa configuração pode ser utilizada, também, em circuitos de casamento de potência onde a entrada “A” representa uma entrada de pequena potência para ativar um circuito que demande mais energia acoplado no ponto denotado por “saída”.

Algumas outras configurações de ligação dos transistor, como indicadas na figura seguinte, podem ser encontradas em diversos outros circuitos.

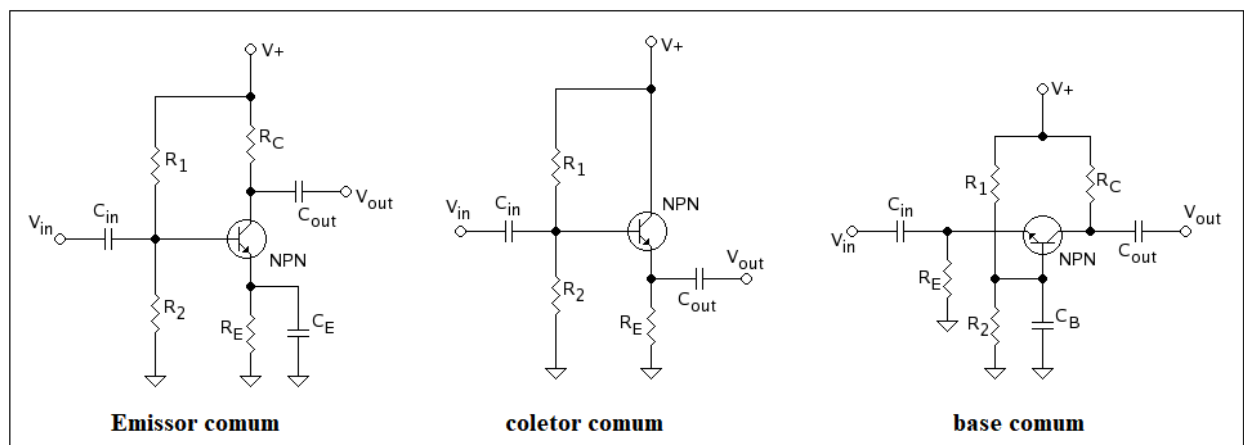


Figura 35 – Outras configurações básicas de ligações de transistores bipolares.

Os circuitos de emissor comum são utilizados para amplificar sinais de baixa voltagem, como os sinais de rádios fracos captados por uma antena, para amplificação de um sinal de áudio ou vídeo. Podemos ressaltar como principais características:

- Impedâncias de entrada e de saída médias (entre $10K\Omega$ e $100K\Omega$);

- amplificação de corrente varia de 10 a 100 vezes;
- amplificação de tensão varia de 100 a 1000 vezes;
- defasagem de 180 graus entre as tensões de entrada e de saída.

A configuração coletor comum pode ser encontrada em, por exemplo, circuitos de saída de amplificadores. Apresenta as seguintes características básicas:

- Impedância de entrada: de $100\text{K}\Omega$ a $1\text{M}\Omega$;
- impedância de saída: de 50Ω a $5\text{K}\Omega$;
- amplificação de corrente: de 10 a 100 vezes;
- amplificação de tensão: menor do que 1;
- amplificação de potência: de 10 a 100 vezes;
- relação de fase: não há desfasamento entre a tensão do sinal de saída e a tensão do sinal de entrada.

Por fim, a configuração de base comum pode ser encontrada em pré-amplificadores de microfones, amplificadores de sinais VHF e UHF. Apresenta as seguintes características básicas:

- Impedância de entrada: entre 10Ω e 100Ω ;
- impedância de saída: entre $100\text{ k}\Omega$ e $1\text{m}\Omega$;
- amplificação de corrente: é um pouco inferior a 1;
- amplificação de tensão: entre 500 e 5.000 vezes;
- amplificação de potência: entre 100 e 1.000 vezes;
- relação de fase: não há defasagem entre a tensão do sinal de saída e a tensão do sinal de entrada.

A figura a seguir ilustra outros tipos de transistores encontrados nos circuitos eletrônicos.

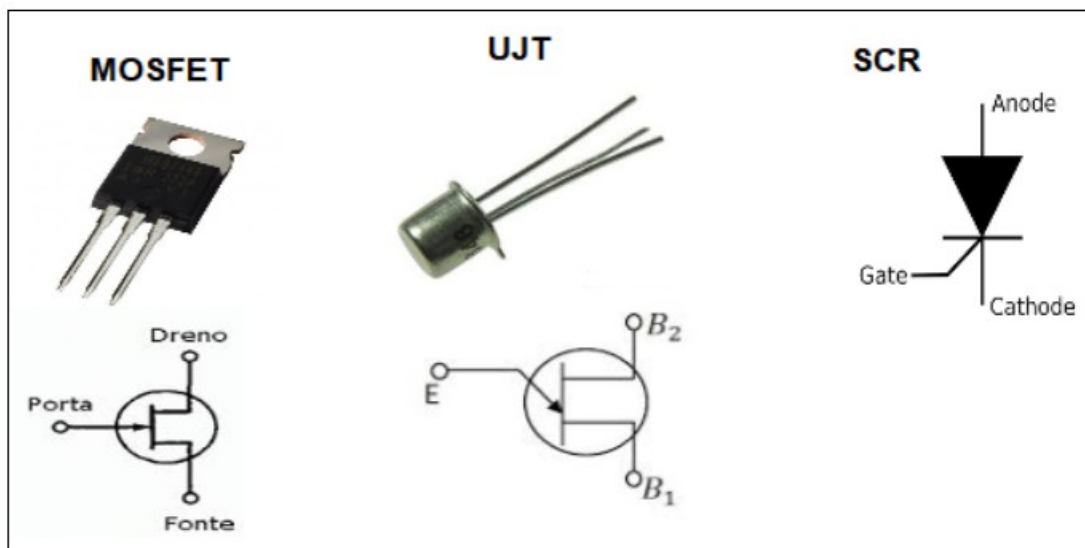


Figura 36 – Alguns outros tipos de transistores encontrados.

Você quer ler e ver?

Para saber um pouco mais sobre transistores, você poderá acessar os materiais produzidos pelos portais “Techtudo”, “Mundo da Elétrica” e “Manual da Eletrônica” disponíveis através dos *links*:

<<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/07/transistores-para-principiantes.html>>,

<<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-um-transistor-e-qual-a-sua-aplicacao/>> e

<<https://www.manualdaeletronica.com.br/transistor-o-que-e-funcionamento-aplicacoes/>>.

Para finalizar nossa conversa sobre transistores, a seguir temos três circuitos que serão discutidos em nossos encontros virtuais.

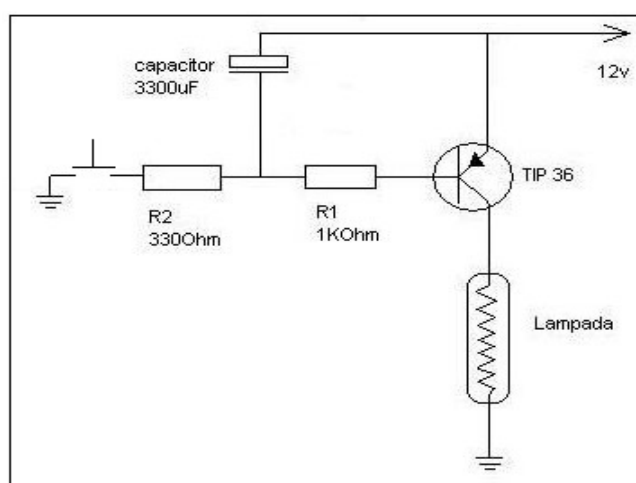


Figura 37 – Exemplo 1

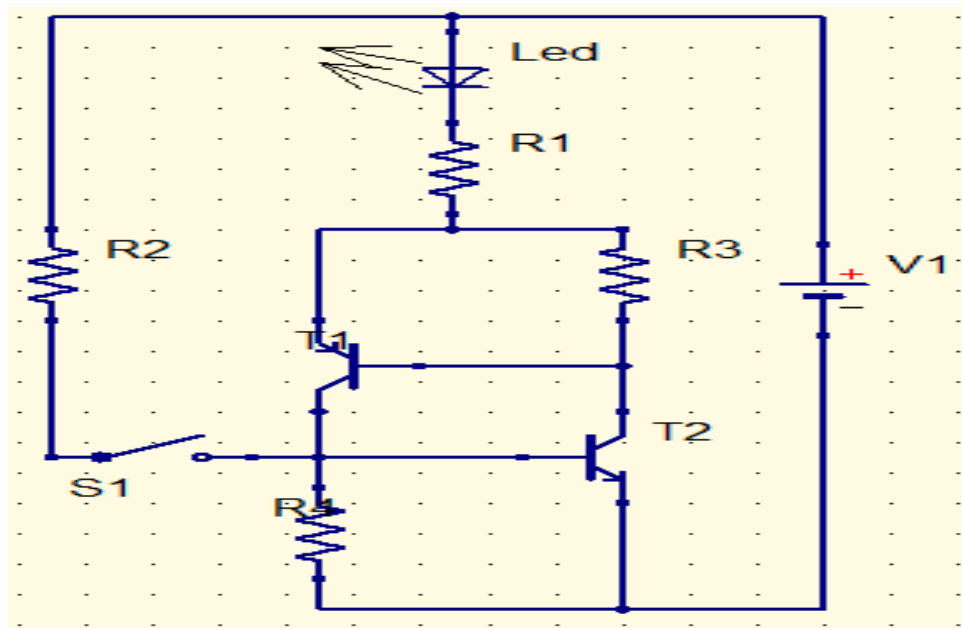


Figura 38 – Exemplo 2

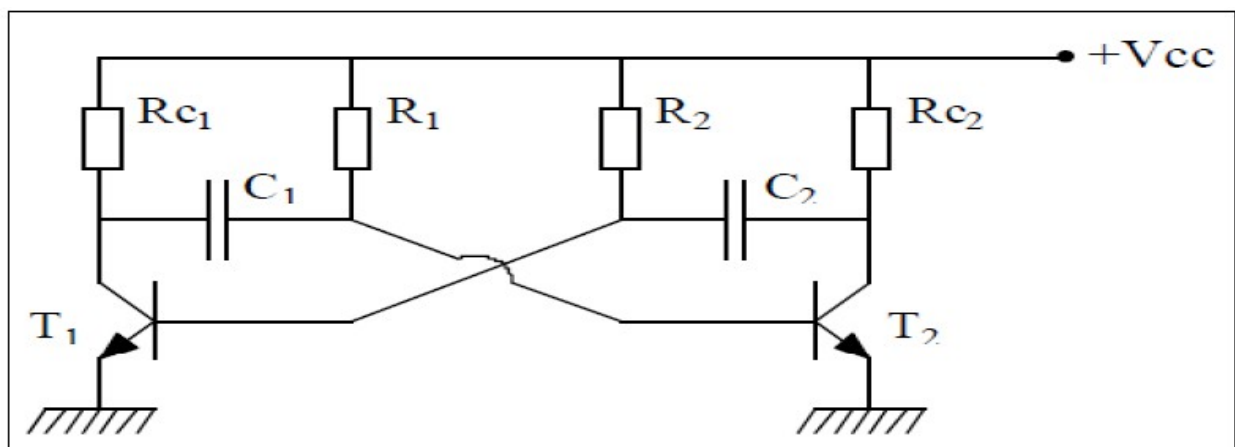


Figura 39 – Exemplo 3

Síntese

Chegamos ao final de nosso primeiro capítulo de Eletrônica para Computação. Neste capítulo, conversamos sobre alguns conceitos básicos acerca do mundo da eletrônica analógica. Passamos por componentes básicos tais como os resistores, capacitores, diodos e transistores. Sobre esses componentes, falamos sobre aspectos de construção e funcionamento assim como suas simbologias e aplicabilidades.

Neste capítulo você teve a oportunidade de:

- ter um contato inicial com o mundo da eletrônica analógica;
- diferenciar os componentes básicas da eletrônica analógica;
- aplicar os componentes básicos na construção de circuitos eletrônicos;
- analisar circuitos básicos envolvendo os componentes básicos da eletrônica analógica.

Bibliografia

EMBARCADOS. Filtros Digitais. Publicado em 05/12/2015. Disponível em <<https://www.embarcados.com.br/filtros-digitais/>>. Acessado em 25/12/2020.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012. (Disponível na Biblioteca Virtual Pearson – Acesso via “Minha UFOP” / E-Books Bvirtual Pearson).

BOYLESTAD, Robert L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. (Disponível na Biblioteca Virtual Pearson – Acesso via “Minha UFOP” / Ebooks BVirtual Pearson).