



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Área de Conhecimento: Eletricidade e Instrumentação

Prof. Pedro Armando da Silva Jr.

ELETRICIDADE E INSTUMENTAÇÃO

1. CIRCUITOS ELÉTRICOS EM CORRENTE CONTÍNUA

1.1. Materiais Condutores e Isolantes

Os elétrons que orbitam a camada mais distante do núcleo atômico sofrem menos atração dos prótons, sendo denominada camada de valência o nível mais externo. Nesta região os elétrons possuem maior mobilidade.

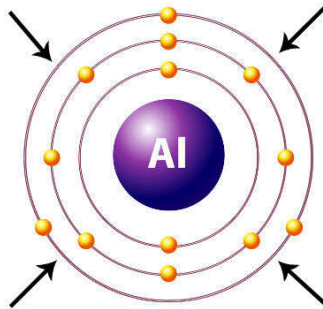


Figura 1.1 – Indicação da camada de valência do átomo de alumínio.
[Obtida de: <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/camada-valencia.htm>]

É na camada de valência que ocorrem normalmente as interações químicas dos elementos, com possibilidade de um átomo receber, fornecer ou partilhar elétrons com outro átomo. Os metais possuem elétrons livres na sua composição, fazendo com que estes elétrons possam fluir mais facilmente pelo material.

Sob o ponto de vista elétrico, os materiais podem ser divididos nas seguintes classes:

Condutores: Apresentam grande facilidade na liberação de elétrons, como a prata, o ouro, o cobre e o alumínio.

Isolantes (ou dielétricos): Apresentam extrema dificuldade na liberação de elétrons. Exemplo: plástico, borracha, vidro, madeira seca.

Semicondutores: São materiais onde são acrescentadas impurezas (dopagem), que são átomos estranhos a sua estrutura química, de forma a controlar a sua condutibilidade. Os semicondutores mais utilizados comercialmente são produzidos a base de germânio (Ge) e silício (Si) que são dopados com uma pequena quantidade de fósforo, arsênio, antimônio, boro, gálio etc.

A condutividade elétrica $[\sigma]$ é uma grandeza que expressa a capacidade de condução do material (ou do meio), sua unidade é o siemens por metro [S/m]. Assim, os materiais são classificados como condutores quando a sua condutividade é maior que 10^4 S/m, semicondutores se sua condutividade estiver no intervalo entre 10^{-10} S/m e 10^4 S/m e isolantes se sua condutividade for menor que 10^{-10} S/m.

A Tabela 1.1 apresenta alguns exemplos de materiais e suas condutividades.

Tabela 1.1 – Condutividade de materiais.

Material	Condutividade [S/m]	Material	Condutividade [S/m]
Prata	$6,1 \times 10^7$	Quartzo	$1,0 \times 10^{-17}$
Cobre	$5,7 \times 10^7$	Diamante	$1,0 \times 10^{-16}$
Ouro	$4,1 \times 10^7$	Mica	$1,0 \times 10^{-15}$
Alumínio	$3,5 \times 10^7$	Borracha	$1,0 \times 10^{-13}$
Ferro	$1,0 \times 10^7$	Vidro	$1,0 \times 10^{-12}$
Grafite	$1,0 \times 10^6$	Água destilada	$1,0 \times 10^{-6}$

1.2. Corrente Elétrica

Os prótons e os elétrons são partículas atômicas portadoras de uma propriedade que não pode ser criada nem destruída denominada carga elétrica, medida em coulomb [C], de igual valor para ambos ($1,6 \times 10^{-19}$ C), sendo uma do tipo positiva (próton) e outra do tipo negativa (elétron). A carga elétrica é a grandeza mais básica do estudo de circuitos elétricos.

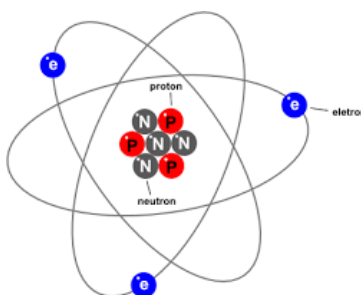


Figura 1.2 – Disposição simplificada de um átomo de lítio.
[Obtida de: <http://www.eletronpi.com.br/ce-007-carga-eletrica.aspx>]

Os seguintes pontos podem ser destacados em relação à carga elétrica:

- Em 1 C de carga existem $6,2 \times 10^{18}$ elétrons ($1/1,6 \times 10^{-19}$);
- A carga elétrica existente na natureza é sempre múltipla de $1,6 \times 10^{-19}$ C;
- Carga elétrica não pode ser criada ou destruída, apenas deslocada. Sendo assim, a soma algébrica de cargas em um sistema fechado não pode ser alterada.

Denomina-se corrente elétrica o movimento ordenado de portadores de carga elétrica. Nos condutores sólidos os portadores de carga são os elétrons.

As soluções eletrolíticas e os gases podem possuir portadores por meio de íons, átomos que perdem ou ganham elétrons durante reações. Os íons positivos são denominados cátions e os negativos ânions. Estes tipos de corrente não serão estudados nesta disciplina.

Em eletricidade, a corrente elétrica é definida pela variação de carga que atravessa um condutor ao longo do tempo.

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad \text{Unidade: ampère [A]}$$

Um ampère equivale a 1 coulomb por segundo no SI. Ou seja, numa seção transversal de um fio condutor com corrente de 1 A a cada segundo circulam $6,2 \times 10^{18}$ elétrons.

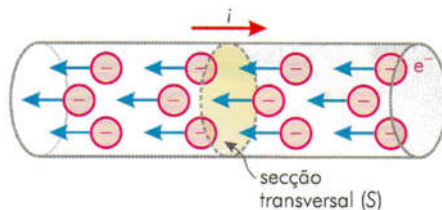


Figura 1.3 – Representação do deslocamento de elétrons em um condutor metálico.
[Obtida de: <http://engcomp.com.br/electronica/eletricidade/corrente-eletrica>]

O sentido da corrente indicado na Figura 3 é oposto ao sentido real de movimento dos elétrons. Esta convenção foi adotada quando se presumia que a corrente como o fluxo de cargas positivas.

Em circuitos elétricos não há necessidade de se preocupar com o movimento discreto dos elétrons, mas sim com o fluxo de corrente de uma forma contínua e a possibilidade de sua conversão em outras formas de energia.

A separação das cargas dá origem a uma força elétrica (tensão), de tração ou repulsão, e o seu movimento ao fluxo elétrico (corrente).

1.3. Efeitos Produzidos por uma Corrente Elétrica ¹

Ao passar por um condutor, a corrente elétrica pode produzir diferentes efeitos, dependendo da intensidade da corrente e da natureza do condutor.

1.3.1. Efeito Joule ou Efeito Térmico

É a transformação da energia elétrica em energia térmica. O aquecimento do condutor é provocado pela colisão dos elétrons livres com os átomos. Este efeito é o princípio de funcionamento dos aparelhos elétricos destinados a aquecer – ferro elétrico, chuveiro, estufa elétrica, torneira elétrica, lâmpada incandescente, torradeira etc. – e produzir luz – lâmpadas com filamento metálico incandescente.

Indesejavelmente, o aquecimento também ocorre em outros dispositivos de conversão de energia elétrica, tais como nos nossos aparelhos elétricos residenciais (ventiladores, rádios, televisores etc.).

1.3.2. Efeito Magnético

Todo condutor que é percorrido por uma corrente elétrica gera no espaço ao seu redor um campo magnético. Podemos comprovar esse efeito aproximando do condutor uma bússola. A agulha magnética se posicionará sempre perpendicular ao condutor.

1.3.3. Efeito Luminoso

Este é um fenômeno elétrico de nível molecular. Ao atravessar um gás, sob baixa pressão, a corrente elétrica provoca a excitação eletrônica nas moléculas do gás, o que pode provocar a emissão de radiação visível (emissão de luz). Esse efeito é aplicado nas lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de sódio etc.

1.3.4. Efeito Químico

São fenômenos elétricos que ocorrem nas estruturas moleculares. Por exemplo, quando uma solução iônica é atravessada por uma corrente elétrica, ocorre a separação dos íons nessa solução. Os cátions e ânions passam a se deslocar em sentidos contrários, para os polos negativo e positivo, respectivamente. Este efeito provoca a eletrólise da água e é aplicado na galvanização de metais (niquelagem, prateação e cromação de objetos).

1.3.5. Efeito Fisiológico

Ao atravessar um organismo animal, a corrente elétrica provoca contrações musculares. No nosso organismo, os impulsos nervosos são transmitidos através de estímulos elétricos.

As contrações musculares dependem da intensidade da corrente elétrica que atravessa o organismo, variando de efeitos quase imperceptíveis até a morte. Tais contrações são conhecidas por choque elétrico.

¹ Texto adaptado de Textos de Apoio ao Professor de Física. Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 17, n. 1.

1.4. Tensão Elétrica

Para que possa ocorrer o deslocamento de um elétron em uma determinada direção é necessário que haja um campo elétrico, o qual pode ser produzido, por exemplo, por uma carga positiva na extremidade deste condutor.

A Figura 4 ilustra a força (Lei de Lorentz) causada pelo campo elétrico \vec{E} sobre uma carga q entre duas placas paralelas com cargas de polaridades opostas.

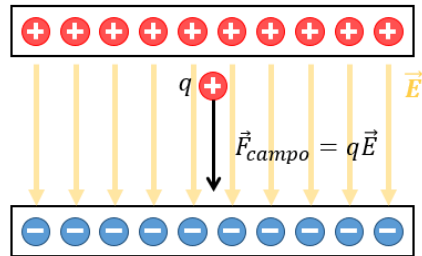


Figura 1.4 – Força causada sobre uma carga pelo campo elétrico.
[Obtida de: <http://www.energiaeletrica.net/tensao-eletrica/>]

No exemplo da figura anterior, haverá um gasto de energia para promover o deslocamento da carga q entre dois pontos no espaço. Sendo assim, **a tensão elétrica pode ser definida como a energia (w) que seria gasta neste deslocamento por unidade de carga.**

$$v(t) = \frac{dw}{dq} \quad \text{Unidade: volt [V]}$$

No sistema internacional de unidades, 1 V equivale a energia de 1 J gasta por uma carga de 1 C para o seu deslocamento.

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{1J}{1C} = 1V$$

Abaixo, outras definições de tensão elétrica:

- A tensão elétrica entre dois pontos A e B de um sistema elétrico é a razão entre o trabalho de uma força externa para deslocar uma carga de B até A e o valor da carga deslocada.
- Tensão elétrica é a capacidade de produção de corrente elétrica.

Diferença de potencial elétrico (ddp), força eletromotriz (fem) ou, simplesmente, potencial elétrico são outras formas de denominação da tensão elétrica.

A tensão elétrica pode ser causada por campos elétricos estáticos, por uma corrente elétrica sob a ação de um campo magnético, por campo magnético variante no tempo ou uma combinação de todos os três.

Como pode ser concluído, quanto maior o campo elétrico maior será a tensão elétrica e, uma vez que a corrente elétrica esteja estabelecida, maior será também o valor desta grandeza.

1.5. Resistor e Resistência Elétrica

Quando a corrente elétrica circula por um meio metálico (um condutor sólido), um número extremamente grande de elétrons se desloca. Naturalmente, estes elétrons colidem entre si e também com átomos do material. Esta relativa dificuldade à circulação da corrente é denominada resistência elétrica.

O resultado dessas colisões é que parte da energia elétrica é convertida em energia térmica que é dissipada em forma de calor. Este efeito não é de interesse em um condutor, todavia é desejável para a construção de aquecedores.

O valor da resistência elétrica de um condutor depende da espessura, do comprimento e da condutividade elétrica do material que é constituído o condutor.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad \text{Unidade: ohms } [\Omega]$$

Onde: ρ – resistividade do material ou resistência específica [$\Omega \cdot m$]
 l – comprimento do condutor em metros [m]
 S – área da seção transversal do condutor [m²]

A resistividade é o inverso da condutividade, portanto depende do material e também da temperatura. Logo, a resistência elétrica também varia com a temperatura. Na maioria dos materiais condutores o aumento da temperatura provoca o aumento da resistência elétrica, uma vez que a agitação térmica propicia o aumento das colisões entre as partículas em deslocamento, mas há exceções como o carbono.

A Figura 1.5 mostra o comportamento da condutividade elétrica com a variação da temperatura em alguns metais.

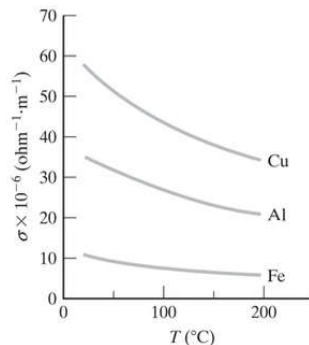


Figura 1.5 – Variação da condutividade elétrica com a temperatura para alguns metais. [Obtida de: *Electrical and Magnetic Properties of Metals*. J. K. Stanley. Ohio: American Society for Metals, 1963]

Pode-se concluir que a corrente circulante em um condutor metálico provoca um aumento de temperatura no material, que por sua vez acarreta em um aumento de sua resistência elétrica.

Um resistor elétrico é um componente que tem a finalidade de se opor à passagem da corrente elétrica, ou seja, de propiciar um determinado valor de resistência elétrica. Na Figura 1.6 tem-se as formas de representação mais utilizadas deste componente.



Figura 1.6 – Formas de representação de resistores elétricos.

Para ficar bem claro os conceitos, resistência elétrica é a grandeza física cuja unidade é Ω , o resistor é o componente que pode ser confeccionado de diversos materiais, sendo mais comum de carbono ou fio enrolado. O resistor não armazena energia, somente a dissipa em forma de calor.

Na maioria das aplicações, o valor da resistência elétrica dos fios condutores pode ser considerada zero ($R_{Fio} = 0 \Omega$).

1.6. Associação de Resistores

Os resistores elétricos podem ser ligados de diversas formas. Uma associação de resistores pode ser simplificada em um único valor de resistência que produza o mesmo efeito desta associação, o que passa a ser denominada **resistência equivalente**.

1.6.1. Associação em Série

Na associação em série a corrente é a mesma em todos os elementos do circuito. A figura a seguir é um exemplo desta associação.

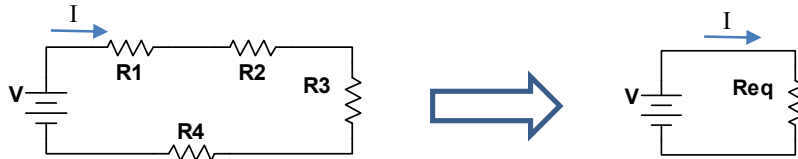


Figura 1.7 – Circuito série.

A resistência equivalente (ou resistência total) de um circuito série é dada por:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$$

Como pode ser observado da equação anterior, em uma associação em série a resistência equivalente é igual à soma das resistências de todos os resistores.

Em uma associação em série a resistência equivalente será sempre maior que o valor da maior resistência do circuito.

1.6.2. Associação em Paralelo

Na associação em paralelo a tensão é a mesma em todos os elementos do circuito. A figura a seguir é um exemplo desta associação. Nesta configuração a corrente da fonte se divide pelos caminhos formados pelos resistores.

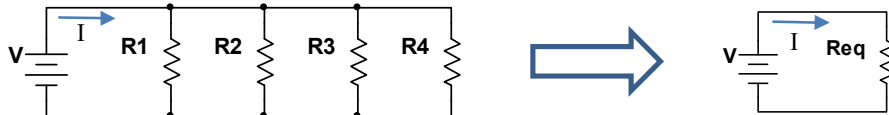


Figura 1.8 – Circuito paralelo.

A resistência equivalente de um circuito paralelo é dada por:

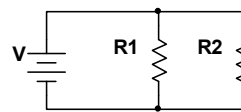
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Em uma associação em paralelo o inverso da resistência do resistor equivalente é igual à soma dos inversos das resistências dos resistores associados. Neste tipo de arranjo, a resistência equivalente será sempre menor que o valor da menor resistência do circuito.

Casos particulares:

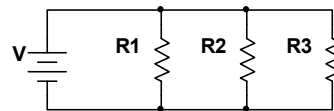
Associação de apenas dois resistores:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



Associação de apenas três resistores:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

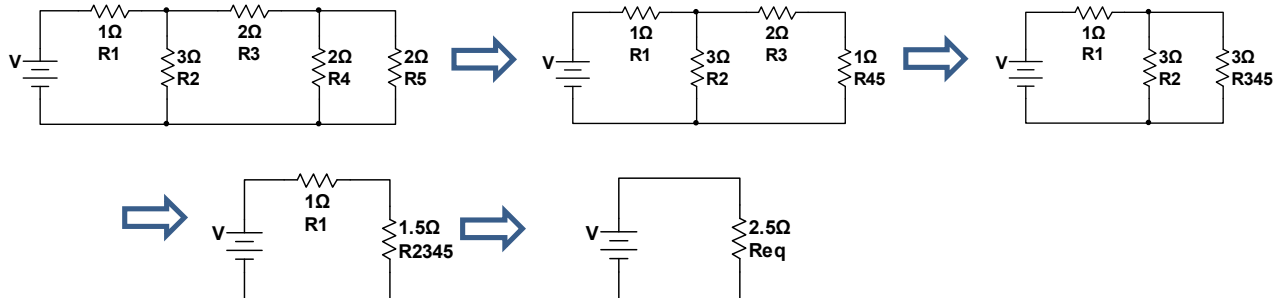


Destaca-se que no caso de dois ou mais resistores **iguais em paralelo**, a resistência equivalente pode ser obtida pela divisão do valor da resistência pela quantidade existente de

resistores iguais. Por exemplo, três resistores iguais de $12\ \Omega$ ligados em paralelo terão resistência equivalente igual a $12/3 = 4\ \Omega$.

1.6.3. Associação Mista

Em circuitos elétricos é comum ocorrer que conjuntos de resistores estejam associados em série e outros em paralelo. Nestes casos deve-se resolver por partes, como no exemplo apresentado a seguir.



1.6.4. Transformações Estrela/Triângulo

Existem situações nas quais os resistores não estão ligados em série nem em paralelo e, nestes casos, não se pode utilizar diretamente estes conceitos para a determinação da resistência equivalente. A transformação Y- Δ , também chamada delta-Y ou estrela-triângulo, ou ainda, teorema de Kennelly, é uma técnica matemática usada para simplificar a análise de circuitos elétricos.

A figura a seguir apresenta as formas das conexões Δ -Y e na sequência as fórmulas de transformação. Ao se transformar um circuito de Δ para Y ou vice-versa, geralmente, os resistores resultantes da transformação poderão ser associados mais facilmente em série ou paralelos com os demais resistores do circuito.

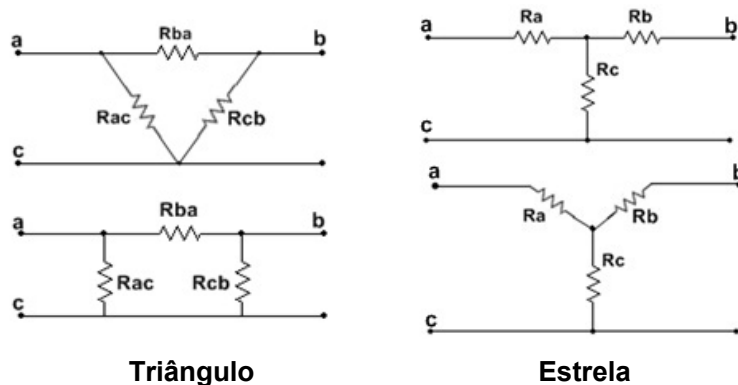


Figura 1.9 – Configurações de resistores em triângulo e estrela.

Transformação de Triângulo para Estrela (Δ -Y):

$$R_a = \frac{R_{ac} \cdot R_{ba}}{R_{ac} + R_{ba} + R_{cb}}$$

$$R_b = \frac{R_{cb} \cdot R_{ba}}{R_{ac} + R_{ba} + R_{cb}}$$

$$R_c = \frac{R_{cb} \cdot R_{ac}}{R_{ac} + R_{ba} + R_{cb}}$$

Transformação de Estrela para Triângulo (Y- Δ):

$$R_{ac} = \frac{R_a \cdot R_b + R_b \cdot R_c + R_c + R_a}{R_b}$$

$$R_{ba} = \frac{R_a \cdot R_b + R_b \cdot R_c + R_c + R_a}{R_c}$$

$$R_{cb} = \frac{R_a \cdot R_b + R_b \cdot R_c + R_c + R_a}{R_a}$$

1.7. Notação Científica e Critérios de Arredondamento

Para o desenvolvimento dos conteúdos da disciplina serão utilizados múltiplos e submúltiplos do sistema internacional de unidades e adotados alguns critérios para arredondamento de números.

1.7.1. Notação Científica

A notação científica é uma maneira de expressar números muito grandes ou muito pequenos em uma forma matemática que seja de melhor entendimento e que se possa realizar operações mais facilmente. Por exemplo, você saberia dizer rapidamente que número é este? 151000000000, ou este? 0,0000000000847.

A forma adotada é baseada na potência de 10 e tem o seguinte modelo:

$m \cdot 10^e$ Onde: m é um número denominado mantissa e e a ordem da grandeza.

O objetivo da notação científica é representar um número com poucos algarismos. Exemplos:

Para um número grande deve-se acrescentar uma vírgula deslocando-a para esquerda. A ordem da grandeza (e) será o número de casas deslocadas com o expoente sendo positivo:

$$151\ 000\ 000\ 000, \Rightarrow 151,000\ 000\ 000 \cdot 10^9 \Rightarrow 151 \cdot 10^9$$

No caso de um número pequeno a vírgula é deslocada para direita e o expoente é negativo:

$$0,000\ 000\ 000\ 084\ 7 \Rightarrow 0,000\ 000\ 000\ 084\ 7 \cdot 10^{-12} \Rightarrow 84,7 \cdot 10^{-12}$$

O expoente (ou ordem da grandeza) pode assumir qualquer número inteiro. Porém, existe a notação de engenharia, na qual no expoente são utilizados apenas múltiplos de 3 com prefixos (múltiplos e submúltiplos) acrescentados à unidade, possibilitando a retirada da potência de 10.

O quadro geral de prefixos mais utilizados em eletricidade está apresentado a seguir:

Tabela 1.2 – Prefixos com notação de engenharia.

Múltiplos		Submúltiplos	
Prefixo	Valor associado	Prefixo	Valor associado
quilo (k)	10^3	mili (m)	10^{-3}
mega (M)	10^6	micro (μ)	10^{-6}
giga (G)	10^9	nano (n)	10^{-9}
tera (T)	10^{12}	pico (p)	10^{-12}

Alguns exemplos da conversão de números para a notação de engenharia estão apresentados na Tabela 1.3. A opção nesta tabela foi representar os números convertidos com duas casas decimais.

Tabela 1.3 – Exemplos de conversão com notação de engenharia.

Múltiplos		Submúltiplos	
Número	Conversão	Número	Conversão
686.483,09	686,48 k	0,034 890 105	34,89 m
79.9194.993,8	79,92 M	0,000 007 879 03	7,88 μ
9.009.101.448,56	9,01 G	0,000 000 068 691 3	68,69 n

A Tabela 1.4 mostra alguns exemplos da notação de engenharia associadas com unidades de grandezas.

Tabela 1.4 – Exemplos de notação com unidades grandezas elétricas.

Notação		
Engenharia	Exponencial	Convencional
138 kV	$138 \cdot 10^3$ V	138.000 V
38 mA	$38 \cdot 10^{-3}$ A	0,038 A
5 pF	$5 \cdot 10^{-12}$ F	0,000 000 000 005 F
40 MW	$40 \cdot 10^6$ W	40.000.000 W

1.7.2. Critérios de Arredondamento

Na apresentação final dos resultados de uma operação matemática devem ser empregados as seguintes regras estabelecidas pela Resolução nº 886/66 do IBGE para arredondamento de dados:

Existem regras estabelecidas pela Resolução nº 886/66 do IBGE para arredondamento de dados. Na apresentação final dos resultados de uma operação matemática, sendo n o algarismo a ser descartado, devem ser empregados os seguintes critérios:

Tabela 1.5 – Critérios de arredondamento com exemplo para resultados com duas casas decimais.

Condição	Procedimento	Exemplo
$n < 5$	O último algarismo a permanecer fica inalterado.	53,242 \Rightarrow 53,24 21,394 \Rightarrow 21,39
$n > 5$	Aumenta-se de uma unidade o algarismo a permanecer.	42,877 \Rightarrow 42,88 25,086 \Rightarrow 25,09 53,999 \Rightarrow 54,00
$n = 5$	Se ao 5 seguir em qualquer casa um algarismo diferente de zero, aumenta-se uma unidade no algarismo a permanecer.	2,3352 \Rightarrow 2,34 25,60501 \Rightarrow 25,61 76,2250002 \Rightarrow 76,23
	Se o 5 for o último algarismo ou se ao 5 só seguirem zeros, o último algarismo a ser conservado só será aumentado de uma unidade se for ímpar.	4,675 \Rightarrow 24,68 24,365 \Rightarrow 24,36 24,17500 \Rightarrow 24,18 24,16500 \Rightarrow 24,16

1.8. A Lei de Ohm

Para iniciar o estudo de circuitos elétricos serão empregados apenas geradores de energia (ou fontes) em corrente contínua e constante. Nestes circuitos a corrente elétrica flui somente em uma direção e o seu valor não varia no tempo.

A Figura 1.9 mostra o comportamento de uma fonte de tensão contínua de 3,5 V ao longo do tempo. Exemplos de geradores de corrente contínua são as baterias, as pilhas, as células fotovoltaicas e os circuitos retificadores (constituídos por componentes eletrônicos).

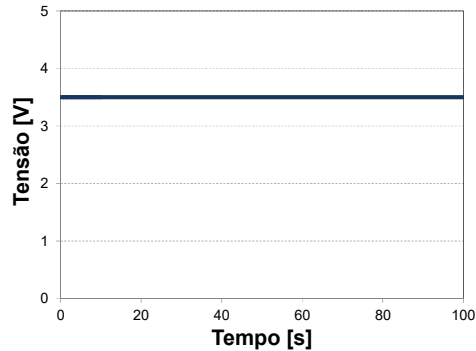


Figura 1.9 – Comportamento de uma fonte de tensão contínua e constante ao longo do tempo.

O gerador é o elemento fundamental do circuito, pois fornecerá a energia elétrica necessária para que haja a conversão na energia requerida: térmica, luminosa, mecânica ou mesmo em elétrica em uma outra frequência ou nível de tensão. Os geradores podem ser fontes de tensão ou corrente. Os símbolos destes elementos estão apresentados na Figura 1.10.

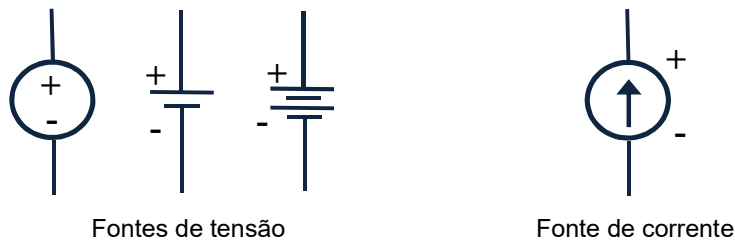


Figura 1.10 – Símbolos de fontes de tensão de corrente.

A seguir são representados alguns símbolos adotados para representar o ponto comum de um circuito, ponto de referência ou terra.



Figura 1.11 – Símbolos de terra (referência).

O circuito elétrico elementar é composto por uma fonte, os fios condutores e uma carga (a resistência elétrica). Em um desenho esquemático, considera-se a resistência dos condutores como nula, desta forma o circuito pode ser representado pela Figura 1.12.

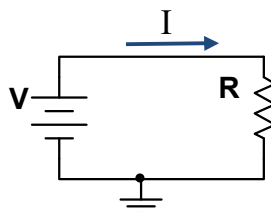


Figura 1.12 – Circuito elétrico elementar.

A Lei de Ohm define a relação entre a tensão, a corrente e a resistência do circuito e é expressada por:

$$V = R \cdot I \quad \text{ou} \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{ou} \quad R = \frac{V}{I}$$

Uma das formas de descrever a Lei de Ohm é:

Em um resistor mantido à temperatura constante, a corrente circulante é diretamente proporcional à tensão aplicada.

Uma outra forma de interpretar esta lei é considerando que o valor da resistência elétrica do resistor não varie com a temperatura, neste caso este componente é denominado “resistor ôhmico”. Na prática, variações de poucas dezenas de graus Celsius na temperatura de resistores comuns não afetam significativamente o valor da sua resistência.

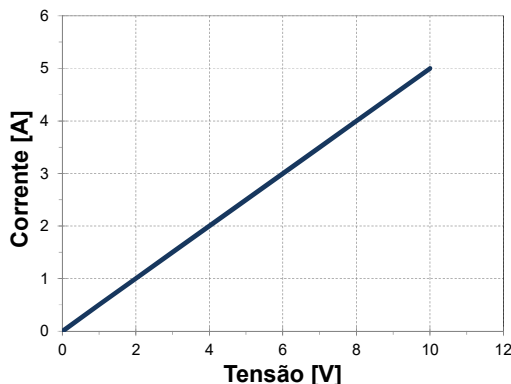


Figura 1.12 – Comportamento da tensão e corrente em um resistor ôhmico.

Nos circuitos analisados no âmbito desta disciplina todos os resistores serão considerados ôhmicos.

Quando os dois terminais de uma fonte de tensão são conectados diretamente através de um fio condutor ($R_{Fio} \approx 0 \Omega$) a corrente desta fonte atinge valores altíssimos. Pela Lei de Ohm, quando a resistência tende a zero a corrente do circuito tenderá ao infinito:

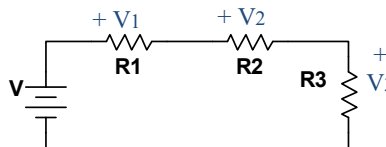
$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0} \Rightarrow \infty$$

Na prática sempre haverá alguma resistência, seja de contato dos terminais da fonte e o condutor do próprio condutor ou uma resistência interna da fonte (por esta não ser ideal), fazendo com que a corrente não seja infinita mas muito elevada. Nestes casos há a denominação de corrente de curto circuito.

1.9. Regra do Divisor de Tensão e do Divisor de Corrente

Em um circuito com resistores em série a tensão total da fonte se divide proporcionalmente de acordo com o valor nominal das resistências. Para calcular a queda de tensão em um resistor específico basta utilizar as expressões a abaixo, não sendo necessário determinar a corrente total do circuito.

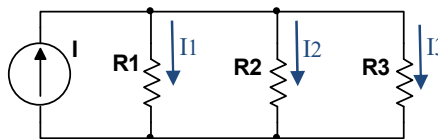
$$V_1 = \frac{R_1 \cdot V}{R_{eq}} \quad V_2 = \frac{R_2 \cdot V}{R_{eq}} \quad V_3 = \frac{R_3 \cdot V}{R_{eq}}$$



De forma análoga, em circuitos com resistores em paralelo a corrente total da fonte se divide proporcionalmente de acordo com o valor nominal das resistências. Para calcular a

corrente em um resistor específico basta utilizar as expressões a abaixo, não sendo necessário determinar a tensão total do circuito

$$I_1 = \frac{R_{eq} \cdot I}{R_1} \quad I_2 = \frac{R_{eq} \cdot I}{R_2} \quad I_3 = \frac{R_{eq} \cdot I}{R_3}$$



Caso particular de divisor de corrente com apenas dois resistores:

$$I_1 = \frac{R_2 \cdot I}{R_1 + R_2} \quad I_2 = \frac{R_1 \cdot I}{R_1 + R_2}$$

1.10. Leis de Kirchhoff

Para compreender as leis de Kirchhoff dois conceitos devem ser estabelecidos:

- Nó – é um ponto onde se conectam dois ou mais elementos do circuito.
- Malha – é qualquer caminho fechado ao longo do circuito elétrico.

1.10.1. Lei de Kirchhoff da Corrente ou Lei dos Nós

Esta lei estabelece que:

A soma algébrica das correntes em um nó é sempre igual a zero.

Matematicamente: $\sum_{i=1}^n I_i = 0$

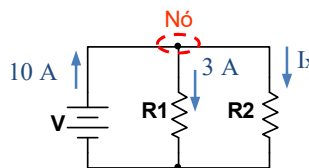
Pode-se convencionar que as correntes que entram em um nó sejam positivas e as que saem negativas. Assim, a Lei dos Nós também pode ser interpretada por:

A soma das correntes que entram em um nó é sempre igual à soma das correntes que saem deste nó.

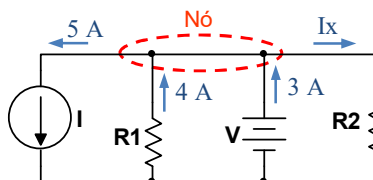
Matematicamente: $\sum_{i=1}^n I_{i \text{ entram}} = \sum_{j=1}^n I_{j \text{ saem}}$

Exemplos de aplicações

$$\begin{aligned} 10 - 3 - I_x &= 0 \\ I_x &= 10 - 3 \\ I_x &= 7 \text{ A} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} 4 + 3 - 5 - I_x &= 0 \\ I_x &= 4 + 3 - 5 \\ I_x &= 2 \text{ A} \end{aligned}$$



1.10.2. Lei de Kirchhoff da Tensão ou Lei das Malhas

A Lei das Malhas estabelece que:

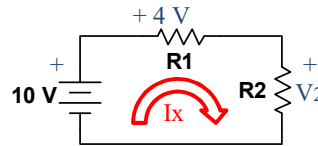
A soma algébrica das tensões em um caminho fechado é sempre igual a zero.

Matematicamente: $\sum_{i=1}^n V_i = 0$

Os sinais das tensões nos elementos da malha são determinados a partir da convenção do sentido da corrente resultante, como mostram os exemplos a seguir.

$$-10 + 4 + V_2 = 0$$

$$V_2 = 10 - 4 = 6V$$



Malha de I_x :

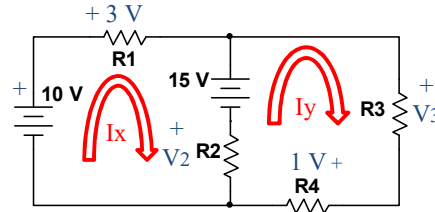
$$-10 + 3 + 15 + V_2 = 0$$

$$V_2 = 10 - 15 - 3 = -8V$$

Malha de I_y :

$$-V_2 - 15 + V_3 + 1 = 0$$

$$V_3 = -8 + 15 - 1 = 6V$$



1.11. Energia e Potência Elétrica

Em um gerador, existindo diferença de potencial entre os seus terminais e estabelecida uma corrente no circuito, haverá transformação da corrente elétrica em outras formas de energia: calor, luz, movimento etc.

A energia elétrica é a capacidade da corrente em realizar trabalho pela carga envolvida.

Trabalho é energia, então, retomando a equação que define tensão elétrica:

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{E}{Q} \Rightarrow E = V \cdot Q$$

Para melhor compreensão pode-se exemplificar que em uma bateria de 10 V fornece uma energia de 10 J a cada 1 C de carga circulante.

A potência elétrica é definida como a taxa de fornecimento de energia em função da variação do tempo, ou simplesmente a velocidade na qual a energia é dissipada ou fornecida.

$$p = \frac{dw}{dt} \quad \text{Unidade: watts [W]}$$

Multiplicando e dividindo uma parcela de carga nesta equação chega-se a:

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{dq}{dq} = \left(\frac{dw}{dq} \right) \cdot \left(\frac{dq}{dt} \right) = v \cdot i$$

Ou seja, em uma fonte ou gerador a potência elétrica é calculada pelo produto da tensão pela corrente.

Em um resistor, substituindo-se adequadamente a Lei de Ohm na equação anterior, obtém-se:

$$P = V \cdot I \Rightarrow P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow P = R \cdot I^2$$

Da definição de potência pode-se também obter uma outra forma de conceituar energia: **energia elétrica é igual ao produto entre a potência e o tempo considerado.**

$$E = P \cdot t \quad \text{Unidade: joule [J] – no SI}$$

quilowatt hora [kWh] – usual em eletricidade

Como o número de cargas circulantes em um circuito é extremamente alto, resultando em valores em joule também elevados, a unidade de medida utilizada em eletricidade é o quilowatt-hora (kWh).

1.12. Associação de Fontes Ideais

1.12.1. Fontes de Tensão Associadas em Série

Fontes de tensão em série podem ser associadas livremente, independente da polarização ou nível de tensão. Geralmente este tipo de arranjo é utilizado para se obter um valor de tensão no circuito maior que o disponível nos produtos comerciais, por exemplo, obter 3 V a partir de duas pilhas de 1,5 V.



Figura 1.13 – Associação de fontes de tensão em série.

1.12.2. Fontes de Tensão Associadas em Paralelo

Fontes de tensão em paralelo somente poderão ser associadas se tiverem a mesma polaridade e o mesmo nível de tensão. Este tipo de arranjo é utilizado quando uma fonte não tem capacidade de fornecer toda a corrente necessária ao circuito. Diferentes polaridades e ou níveis de tensão ocasionariam curto-circuito.

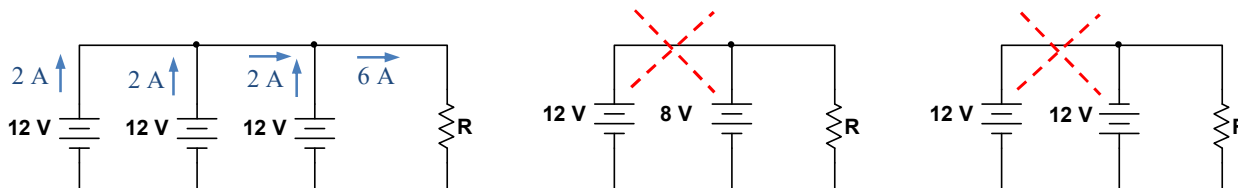


Figura 1.14 – Associação de fontes de tensão em paralelo.

1.12.3. Fontes de Corrente Associadas em Paralelo

Fontes de corrente em paralelo podem ser associadas livremente, independente da polarização ou nível de corrente. Como no caso das fontes de tensão em série, este tipo de arranjo pode ser utilizado para se obter um valor de corrente na carga maior que o disponível nos produtos comerciais.

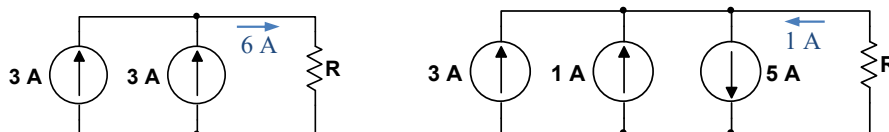


Figura 1.15 – Associação de fontes de corrente em paralelo.

1.12.4. Fontes de Corrente Associadas em Série

Fontes de corrente em série podem ser associadas somente se tiverem a mesma polaridade e o mesmo nível de corrente, caso contrário criariam valores de tensão elevados, comprometendo os elementos do circuito.

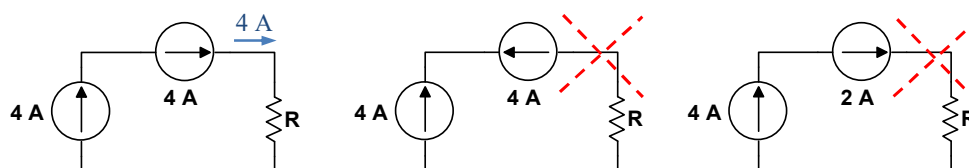


Figura 1.16 – Associação de fontes de corrente em série.