Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
CST em Eletrônica Industrial
Circuitos Elétricos I

Circuitos em Paralelo

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, abril de 2020.

Biografia para Esta Aula

www.ProfessorPetry.com.br

Nesta Aula

Introdução
Resistores em paralelo
Potência em circuitos em paralelo
Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)
Divisão de corrente em circuitos paralelos
Fontes de tensão em paralelo
Efeito dos instrumentos de medição

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Leis_de_Kirchhoff

Introdução

Objetivos de estudar circuitos em paralelo:

- Familiarizar-se com as características de um circuito em paralelo e aprender como solucionar problemas relativos a tensão, a corrente e a potência de cada elemento.
- Desenvolver uma compreensão clara da lei de Kirchhoff para correntes e sua importância na análise de circuitos elétricos.
- Informar-se de como a corrente fornecida pela fonte se dividirá entre elementos paralelos e de como aplicar de maneira apropriada a regra do divisor de corrente.
- Entender o impacto de circuitos abertos e curtos-circuitos no comportamento de circuitos.
- Aprender a usar um ohmímetro, um voltímetro e um amperímetro para medir os importantes parâmetros de um circuito paralelo.

Figura 6.3 Combinação em paralelo de resistores.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Elementos em paralelo:

- O termo paralelo é usado com tanta frequência para descrever um arranjo físico entre dois elementos que a maioria dos indivíduos tem noção de suas características gerais.
- Em geral, dois elementos, ramos ou resistores estão em paralelo se tiverem dois pontos em comum.

Figura 6.1 (a) Resistores em paralelo; (b) R_1 e R_2 estão em paralelo; (c) R_3 está em paralelo com a combinação em série de R_1 e R_2.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Elementos em paralelo:

- O termo paralelo é usado com tanta frequência para descrever um arranjo físico entre dois elementos que a maioria dos indivíduos tem noção de suas características gerais.
- Em geral, dois elementos, ramos ou resistores estão em paralelo se tiverem dois pontos em comum.

Figura 6.2 Representações esquemáticas de três resistores em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total para resistores em paralelo:

- Para resistores em paralelo como os mostrados na figura a seguir, a resistência total é determinada a partir da seguinte equação:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_N}$$

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Condutância total para resistores em paralelo:

- Tendo em vista que G = 1/R, a equação também pode ser escrita em termos dos níveis de condutância como a seguir:

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots + G_N$$

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total para resistores em paralelo:

- Em geral, entretanto, quando a resistência total é desejada, o formato a seguir deve ser aplicado:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_N}}$$

Figura 6.3 Combinação em paralelo de resistores.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \left[ohms, \Omega \right]$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = 2\Omega$$

Figura 6.4 Resistores em paralelo para o Exemplo 6.1.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \left[ohms, \Omega \right]$$

O resistor de menor valor sobressai na resistência total.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{200} + \frac{1}{1k}} = 1{,}9763\Omega$$

$$R_T \cong R_1 = 2\Omega$$

Figura 6.5 Resistores em paralelo para o Exemplo 6.2.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \left[ohms, \Omega \right]$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5}} = 0{,}6897\,\Omega$$

Figura 6.6 Circuito a ser investigado no Exemplo 6.3.

Figura 6.7 Circuito da Figura 6.6 redesenhado.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \left[ohms, \Omega \right]$$

O resistor de 100 ohms interfere pouco na resistência total.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{100}} = 1{,}9608\Omega$$

$$R_T \cong \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = 2\Omega$$

Figura 6.8 Adição de um resistor de 100 Ω em paralelo ao circuito na Figura 6.4.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \left[ohms, \Omega \right]$$

Para resistores iguais, a resistência total será a resistência individual dividida pelo número de resistores.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{1}{12}} = 4\Omega$$

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{12}{3} = 4\Omega$$

Figura 6.9 Três resistores iguais em paralelo a serem investigados no Exemplo 6.5.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Resistência total:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}}\left[ohms,\Omega\right]$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}} = 0{,}5\Omega$$

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{2}{4} = 0{,}5\Omega$$

Figura 6.10 Configuração em paralelo para o Exemplo 6.6.

Figura 6.11 Circuito da Figura 6.10 redesenhado.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Caso especial para dois resistores em paralelo:

- Na vasta maioria dos casos, apenas dois ou três resistores em paralelo terão de ser combinados.
- Tendo isso em mente, uma equação foi derivada para dois resistores em paralelo, que é fácil de aplicar e acaba com a necessidade de continuamente se preocupar com dividir em relação à unidade e possivelmente errar a colocação da vírgula decimal.
- Para três resistores em paralelo, a equação a ser derivada aqui pode ser aplicada duas vezes, ou as equações gerais podem ser usadas.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \left[ohms, \Omega \right]$$

$$R_{T'} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \cdot 4}{1 + 4} = 0{,}8\Omega$$

$$R_T = \frac{R_{T'} \cdot R_3}{R_{T'} + R_3} = \frac{0{,}8 \cdot 5}{0{,}8 + 5} = 0{,}6897\Omega$$

Figura 6.12 Equivalente reduzido da Figura 6.7.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Caso especial para dois resistores em paralelo:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5}}\left[ohms,\Omega\right]$$

Figura 6.13 Circuito em paralelo para o Exemplo 6.9.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{6}+\frac{1}{9}+\frac{1}{6}+\frac{1}{72}+\frac{1}{6}} = 1{,}6\Omega$$

$$R_{T'} = \frac{R}{n} = \frac{6}{3} = 2\Omega$$

$$R_{T''} \cong R_2 = 9\Omega$$

$$R_T = \frac{R_{T'} \cdot R_{T''}}{R_{T'} + R_{T''}} = \frac{2 \cdot 9}{2+9} = 1{,}636\Omega$$

Figura 6.14 Circuito da Figura 6.13 (Exemplo 6.9) redesenhado.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Caso especial para dois resistores em paralelo:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \left[ohms, \Omega \right]$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_T}{R_1 - R_T} = \frac{12 \cdot 9}{12 - 9} = 36k\Omega$$

Figura 6.15 Circuito em paralelo para o Exemplo 6.10.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Caso especial para dois resistores em paralelo:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R}{n}\left[ohms, \Omega\right]$$

$$R = R_T \cdot n = 16k \cdot 3 = 48k\Omega$$

Figura 6.16 Circuito em paralelo para o Exemplo 6.11.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistores em Paralelo

Medição da resistência total:

- A resistência total de qualquer configuração pode ser medida simplesmente conectando um ohmímetro aos terminais de acesso.
- Tendo em vista que não há polaridade associada à resistência, qualquer um dos fios pode ser conectado ao ponto a, com o outro fio conectado ao ponto b.

Figura 6.17 Uso de um ohmímetro para medir a resistência total de um circuito em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Circuito cc (corrente contínua) em paralelo:

- Um circuito em paralelo pode agora ser estabelecido ao se conectar uma fonte através de um conjunto de resistores em paralelo, como mostra a figura ao lado.
- O terminal positivo da fonte é diretamente conectado ao topo de cada resistor, enquanto o terminal negativo é conectado à parte de baixo de cada resistor.

Figura 6.18 Circuito em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Circuito cc (corrente contínua) em paralelo:

- Em geral, a tensão é sempre a mesma através de elementos em paralelo.
- Portanto, lembre-se de que se dois elementos estão em paralelo, a tensão através deles deve ser a mesma. Entretanto, se a tensão através de dois elementos vizinhos é a mesma, os dois elementos podem ou não estar em paralelo.

Figura 6.18 Circuito em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Resistência total no circuito em paralelo.

Figura 6.18 Circuito em paralelo.

Figura 6.19 Substituição dos resistores em paralelo na Figura 6.18 pela resistência total equivalente.

Figura 6.20 Analogia mecânica para a Figura 6.18.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Dualidade do circuito série com o circuito paralelo:

- Para circuitos em paralelo de fonte única, a corrente fornecida pela fonte (Is) é sempre igual à soma das correntes de ramos individuais.

Figura 6.21 Demonstração da dualidade que existe entre circuitos em série e em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Exemplos de circuitos em paralelo.

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{9 \cdot 18}{9 + 18} = 6\Omega$$

$$I_s = \frac{E}{R_T} = \frac{27}{6} = 4{,}5A$$

$$V_1 = V_2 = E = 27V$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{27}{9} = 3A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{27}{18} = 1{,}5A$$

Figura 6.22 Circuito em paralelo para o Exemplo 6.12.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Exemplos de circuitos em paralelo.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{10}+\frac{1}{220}+\frac{1}{1,2k}} = 9,4896\Omega$$

$$I_s = \frac{E}{R_T} = \frac{24}{9,4896} = 2,529\,A$$

O resistor de menor valor sobressai na resistência total.

$$V_1 = V_2 = V_3 = E = 24V$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{24}{10} = 2,4\,A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{24}{220} = 0,109\,A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{24}{1200} = 0,02\,A$$

Figura 6.23 Circuito em paralelo para o Exemplo 6.13.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Exemplos de circuitos em paralelo.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4} - \frac{1}{10} - \frac{1}{20}} = 10\Omega$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = E = R_1 \cdot I_1 = 10 \cdot 4 = 40V$$

$$I_s = \frac{E}{R_T} = \frac{40}{4} = 10A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{40}{20} = 2A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{40}{10} = 4A$$

Figura 6.24 Circuito paralelo para o Exemplo 6.14.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Medições no circuito em paralelo.

Figura 6.25 Medição das tensões de um circuito CC em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Medições no circuito em paralelo.

Figura 6.26 Medição da corrente fornecida pela fonte de um circuito em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Medições no circuito em paralelo.

Figura 6.27 Medição da corrente através do resistor R_1.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Potência em um circuito em paralelo:

- Lembre-se do que aprendemos ao discutir os circuitos em série, que a potência aplicada a um circuito resistivo em série é igual à potência dissipada pelos elementos resistivos.
- O mesmo é verdade para circuitos resistivos em paralelo.
- Na realidade, para qualquer circuito composto de elementos resistivos, a potência aplicada pela bateria será igual àquela dissipada pelos elementos resistivos.

Figura 6.28 Fluxo de potência em um circuito em paralelo CC.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos em Paralelo

Potência em um circuito em paralelo:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} = \frac{1}{1,6k+20k+56k} = 1,4433k\Omega$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = E = 28V$$

$$I_s = \frac{E}{R_T} = \frac{28}{1,4433k} = 19,4mA$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{28}{1,6k} = 17,5mA$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{28}{20k} = 1,4mA$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{28}{56k} = 0,5mA$$

$$P_E = E \cdot I_s = 28 \cdot 19,4m = 543,2mW$$

$$P_{R_1} = V_1 \cdot I_1 = 28 \cdot 17,5m = 490mW$$

$$P_{R_2} = V_2 \cdot I_2 = 28 \cdot 1,4m = 39,2mW$$

$$P_{R_3} = V_3 \cdot I_3 = 28 \cdot 0,5m = 14mW$$

Figura 6.29 Circuito paralelo para o Exemplo 6.15.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC):

- No capítulo anterior, a lei de Kirchhoff para tensões foi introduzida, fornecendo uma relação muito importante entre as tensões de uma malha fechada.
- Kirchhoff também tem o crédito de ter desenvolvido a equação a seguir igualmente importante para a relação entre as correntes de um circuito, chamada de lei de Kirchhoff para corrente (LKC):
    - **A soma algébrica das correntes que entram e saem de uma região, sistema ou nó é igual a zero.**

Figura 6.30 Ilustração da lei de Kirchhoff para corrente.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC):

- A soma algébrica das correntes que entram e saem de uma região, sistema ou nó é igual a zero.

Figura 6.31 (a) Demonstração da lei de Kirchhoff para corrente; (b) analogia da água para a junção em (a).

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC):

- Na área de eletroeletrônica o termo nó é normalmente usado para se referir a uma junção de dois ou mais ramos.

Figura 6.32 Configuração de dois nós para o Exemplo 6.16.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC):

Nó a:

$$+I - I_1 - I_2 = 0$$

$$I_1 = I - I_2 = 5 - 4 = 1A$$

Nó b:

$$+I_1 - I_3 = 0$$

$$I_3 = I_1 = 1A$$

Nó c:

$$+I_2 - I_4 = 0$$

$$I_4 = I_2 = 4A$$

Nó d:

$$+I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

$$I_5 = I_3 + I_4 = 1 + 4 = 5A$$

Figura 6.33 Configuração de quatro nós para o Exemplo 6.17.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC):

Nó a:

$$+I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 4 + 3 = 7\,A$$

Nó b:

$$+I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$I_5 = I_3 - I_4 = 7 - 1 = 6\,A$$

Figura 6.34 Circuito para o Exemplo 6.18.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC):

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} = \frac{1}{2k+1,6k+0,8k} = 0,8k\Omega$$

Nó a:

$$+I_s - 8m - 10m - 2m = 0$$

$$I_s = 8m + 10m + 2m = 20mA$$

Figura 6.36 Circuito redesenhado na Figura 6.35.

$$V_1 = V_2 = V_3 = E = R_1 \cdot I_1 == 2k \cdot 8m = 16V$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{16}{10m} = 1,6k\Omega$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{16}{2m} = 8k\Omega$$

$$R_T = \frac{E}{I_s} = \frac{16}{20m} = 0,8k\Omega$$

Figura 6.35 Circuito em paralelo para o Exemplo 6.19.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC):

No CI, considerando I_1 entrando:

$$+I_1 - 5m + 10m + 4m - 4m + 8m - 2m - 6m = 0$$

$$I_1 = +5m - 10m - 4m + 4m - 8m + 2m + 6m = -5mA$$

Figura 6.37 Circuito integrado para o Exemplo 6.20.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

- Para os circuitos em série, temos a poderosa regra do divisor de tensão para descobrir a tensão através de um resistor em um circuito em série.
- Introduzimos agora a igualmente poderosa regra do divisor de corrente, usada para descobrir a corrente através de um resistor em um circuito em paralelo.
- Em geral:
  - No caso de dois elementos em paralelo com resistências iguais, a corrente se dividirá igualmente.
  - Se os elementos em paralelo tiverem resistências diferentes, o elemento de menor resistência será percorrido pela maior fração da corrente.
  - A razão entre os valores das correntes nos dois ramos será inversamente proporcional à razão entre suas resistências.

Figura 6.38 Discussão sobre como a corrente se dividirá entre três ramos paralelos de valores resistivos diferentes.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

$$I_X = \frac{R_T}{R_X + R_T} I_T$$

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Current_division_example.svg

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

$$V_1 = V_2 = V_3 = E = R_2 \cdot I_2 = 3 \cdot 2m = 6mV$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{6m}{6} = 1mA$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{6m}{1} = 6mA$$

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 = 1m + 2m + 6m = 9mA$$

O valor da corrente é inversamente proporcional à resistência do elemento.

Figura 6.39 Circuito paralelo para o Exemplo 6.21.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

Reduzindo o circuito para 2 resistores apenas:

$$R_{T'} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10k \cdot 22k}{10k + 22k} = 6{,}875k\Omega$$

$$I_1 = I_T \cdot \frac{R_{T'}}{R_1 + R_{T'}} = 12m \cdot \frac{6{,}875k}{1k + 6{,}875k} = 10{,}476mA$$

Observe também que para um circuito em paralelo, a corrente através do menor resistor será muito próxima da corrente total de entrada se os outros elementos em paralelo da configuração forem muito maiores em valor absoluto.

Figura 6.41 Uso da regra do divisor de corrente para calcular a corrente I_1 no Exemplo 6.22.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

$$V_T = I_T \cdot R_T$$

$$V_1 = V_2 = V_T$$

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_T}{R_1} = \frac{R_T \cdot I_T}{R_1} = \frac{I_T}{R_1} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = I_T \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{V_T}{R_2} = \frac{R_T \cdot I_T}{R_2} = \frac{I_T}{R_2} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = I_T \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Figura 6.42 Derivação da regra do divisor de corrente para o caso especial de apenas dois resistores em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

$$I_2 = I_T \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 6 \cdot \frac{8k}{4k + 8k} = 4A$$

Figura 6.43 Uso da regra do divisor de corrente para determinar a corrente I_2 no Exemplo 6.23.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

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

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

$$R_1 = \frac{I \cdot R_2}{I_1} - R_2$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{I}{I_1} - 1 \right)$$

$$R_1 = 7 \cdot \left(\frac{27m}{21m} - 1 \right) = 2\Omega$$

Figura 6.44 Problema de design para dois resistores em paralelo (Exemplo 6.24).

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Lei de Kirchhoff para correntes (LKC)

Divisor de corrente:

$$I_1 = I_2 = \frac{I_T}{2}$$

$$I_1 = 2I_2$$

$$I_1 = \left(\frac{6}{2}\right) I_2 = 3I_2$$

$$I_1 = 6I_3$$
$$I_1 = 3I_2$$
$$I_2 = \left(\frac{6}{3}\right) I_3 = 2I_3$$

Figura 6.45 Demonstração de como a corrente se divide através de resistores em paralelo iguais e desiguais.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Fontes de Tensão em Paralelo

Fontes de tensão em paralelo:

- Devido ao fato de a tensão ser a mesma através de elementos em paralelo, fontes de tensão podem ser colocadas em paralelo somente se elas tiverem a mesma tensão.
- A razão fundamental para se colocar duas ou mais baterias ou fontes em paralelo é aumentar a especificação de corrente acima daquela de uma única fonte.

Figura 6.46 Demonstração do efeito de colocar duas fontes ideais da mesma tensão em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Fontes de Tensão em Paralelo

Fontes de tensão em paralelo:

- Se por alguma razão duas baterias de diferentes tensões forem colocadas em paralelo, ambas se tornarão ineficientes ou serão danificadas, pois a bateria com a tensão mais elevada vai ser descarregada rapidamente pela bateria com a tensão terminal mais baixa.

Figura 6.47 Exame do impacto de colocar duas baterias de chumbo-ácido de diferentes tensões terminais em paralelo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

- Os circuitos abertos e os curtos-circuitos podem, com frequência, causar mais confusão e dificuldades na análise de um sistema do que as configurações em série e em paralelo.
- Um circuito aberto consiste simplesmente em dois terminais isolados sem qualquer conexão entre si, como vemos na figura abaixo.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

- Como não existe um caminho fechado para a condução, a corrente associada a um circuito aberto é sempre nula.
- Entretanto, a diferença de potencial entre os terminais de um circuito aberto pode ter qualquer valor, dependendo do sistema a que os terminais estão conectados.
- Assim, em resumo, em um circuito aberto podemos ter uma diferença de potencial (tensão) qualquer um de seus terminais, mas o valor da corrente será sempre zero.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

Figura 6.48 Definição de um circuito aberto.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

Figura 6.49 Exemplos de circuitos abertos.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

- Um curto-circuito é uma conexão direta de resistência muito baixa entre dois terminais de um circuito.
- Resumindo, portanto, um curto-circuito pode carregar uma corrente de um nível determinado pelo circuito externo, mas a diferença de potencial (tensão) através de seus terminais é sempre zero volts.

Figura 6.50 Definição de um curto-circuito.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

- Um curto-circuito é uma conexão direta de resistência muito baixa entre dois terminais de um circuito.

Figura 6.51 Demonstração do efeito de um curto-circuito sobre os níveis de corrente.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

Como o circuito está aberto, a corrente é nula:

$$I = 0$$

$$V_{R1} = R_1 \cdot I = 0$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I = 0$$

Então:

$$V_{AB} = E - V_{R1} - V_{R2}$$

$$V_{AB} = 20 - 0 - 0 = 20V$$

Figura 6.53 Circuito para o Exemplo 6.25.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

Como o circuito está aberto, a corrente é nula:

$$I = 0$$

$$V_{R1} = R_1 \cdot I = 0$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I = 0$$

Então:

$$V_{AB} = E_1 - V_{R1} = 10 - 0 = 10V$$

Usando LKT:

$$+V_{AB} - V_{R2} - V_{CD} - E_2 = 0$$

$$V_{CD} = V_{AB} - V_{R2} - E_2$$

$$V_{CD} = 10 - 0 - 30 = -20V$$

Figura 6.54 Circuito para o Exemplo 6.26.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

Curto-circuito:

$$V = 0$$

$$I_{R1} = \frac{V}{R_1} = 0$$

$$I_{R2} = \frac{V}{R_2} = 0$$

Então:

$$I = I_T = 12mA$$

Circuito aberto:

$$I = 0$$

$$V_{R1} = R_1 \cdot I = 0$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I = 0$$

Então:

$$V = E = 22V$$

Figura 6.56 Circuitos para o Exemplo 6.27.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Circuitos Abertos e Curto-circuitos

Circuitos abertos e curto-circuitos:

Parte do circuito está aberta, mas não todo o circuito.

Assim:

$$V_{R2} = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6 \cdot \frac{10}{2+10} = 5V$$

Como a malha de R_3 está aberta:

$$I = 0$$

$$V_{R3} = R_3 \cdot I = 0$$

$$V = V_{R2} - V_{R3} = 5 - 0 = 5V$$

Figura 6.58 Circuito para o Exemplo 6.28.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Efeito dos Instrumentos de Medição

Efeito de carga de um voltímetro:

- Quando você insere um amperímetro, na realidade, está introduzindo uma resistência adicional em série com o ramo no qual está medindo a corrente.
- Geralmente, isso não é um problema sério, mas ele pode ter um efeito perturbador em suas leituras, de maneira que é bom ter consciência dessa questão.
- Voltímetros também têm uma resistência interna que aparece entre os dois terminais de interesse quando uma medição está sendo feita.
- Enquanto o amperímetro coloca uma resistência adicional em série com o ramo de interesse, o voltímetro coloca uma resistência adicional em paralelo com o elemento.

Figura 6.60 Carga de voltímetro.

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Efeito dos Instrumentos de Medição

Efeito de carga de um voltímetro:

- Tendo em vista que ele aparece em paralelo com o elemento de interesse, o nível ideal para a resistência interna de um voltímetro seria infinitos ohms, da mesma maneira que zero ohm seria o ideal para um amperímetro.
- Infelizmente, a resistência de qualquer voltímetro não é infinita, e muda de um tipo de medidor para o outro.
- A maioria dos voltímetros digitais pode ser usada em circuitos com resistências que chegam à alta faixa de kilohms sem que haja preocupação com o efeito da resistência interna sobre a leitura.
- Para determinar a resistência Rm de qualquer escala de um VOM, simplesmente multiplique a tensão máxima da escala escolhida pela especificação ohm/volt (Ω/V), que normalmente aparece na parte de baixo da face do medidor.

$$V_{med} = E \cdot \frac{R_{mult}}{R + R_{mult}}$$

$$V_{med} = 20 \cdot \frac{11M}{1M + 11M} = 18{,}3V$$

Figura 6.61 (a) Medição de uma tensão de circuito aberto com um voltímetro; (b) determinação do efeito do uso de um voltímetro digital com uma resistência interna de 11 MΩ na medida de uma tensão de circuito aberto (Exemplo 6.29).

Fonte: Capítulo 6– Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Demonstrações

Exemplos:

- Exemplos e problemas do capítulo 6 – Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Tarefas

Durante e após a aula:

- Ler o capítulo 6 – Circuitos em paralelo do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Próxima Aula

Circuitos em série-paralelo (misto).

Fonte: https://eletricafacil.com.br/