
2 - Circuitos Basicos

Carlos Marcelo Pedroso

17 de abril de 2008

1 Introdução

A matéria é constituída por átomos, que por sua vez são compostos por 3 partículas fundamentais. Estas partículas são os prótons, com carga positiva, os elétrons, com carga negativa e os neutrons, sem carga alguma. Quando um material possui um desbalanceamento em relação ao número de prótons e elétrons ele estará carregado positiva ou negativamente. Normalmente, representamos por Q uma carga constante (não varia em função do tempo) e por q uma carga variável no tempo.

Corpos com cargas semelhantes repelem-se, enquanto corpos com cargas diferentes atraem-se devido ao campo elétrico. A força F de atração ou repulsão entre duas cargas punctiformes, q_1 e q_2 , é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância d entre elas.

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{d^2} \quad (1)$$

O fator k é uma constante dada por $k = 10^{-7} c^2$, onde c é a velocidade da luz no vácuo ($c = 2,99810^8 m.s^{-1}$).

A unidade fundamental de carga é chamada Coulomb, que é definida como segue:

“duas pequenas partículas, identicamente carregadas e separadas por um metro, no vácuo, se repelem uma a outra com uma força de $10^{-7} c^2$ newtons, possuem uma carga de um Coulomb”

Existe um campo elétrico E num dado ponto, se uma força F de origem elétrica atuar sobre um corpo carregado com carga q , colocado neste ponto, sendo uma grandeza vetorial. Assim,

$$E = \frac{F}{q} \quad (2)$$

de forma que E possui a mesma orientação de F (Figura 1).

A Figura 2 mostra a interação entre as linhas de campo elétrico de duas cargas carregadas próximas.

Na física, a diferença de potencial é a energia necessária para mover um objeto de um ponto para outro. Em eletricidade, é a energia necessária para mover uma carga elétrica de um ponto a outro. Em outras palavras, a diferença de potencial elétrica entre dois pontos é responsável pela movimentação de elétrons. O potencial elétrico mede a força que experimenta uma carga elétrica dentro de um

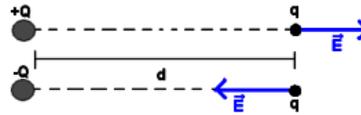


Figura 1: Campo Elétrico

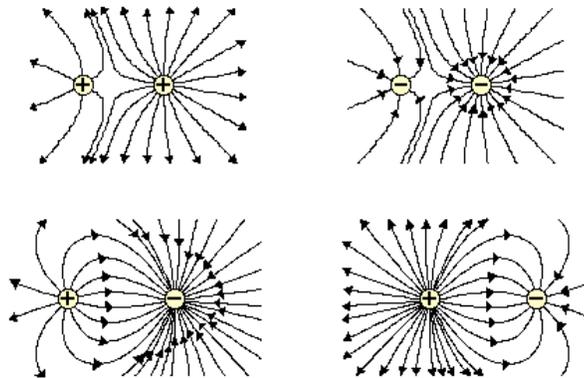


Figura 2: Campo Elétrico

campo elétrico, expressa na lei de Coulomb, pelo tanto a tensão é a tendência que tem uma carga de ir de um ponto a outro. A corrente é definida como a variação da carga através de uma área ao longo do tempo,

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (3)$$

2 Elementos Básicos de Circuitos Elétricos

É necessário realizar a leitura do roteiro “Materiais Elétricos” antes de iniciar esta seção.

2.1 Resistência

A resistência de um elemento é uma medida da oposição de um material ao fluxo de corrente elétrica. A resistência de um elemento depende da resistividade do material que a compõe, do seu comprimento e da área da seção, e pode ser dado por

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4)$$

onde

R Resistência, dada em Ohms (Ω);

A Área da seção (m^2);

l Comprimento (m);

ρ Resistividade do material(Ωm).

Podem ser encontrados resistores com valor de resistência fixa ou variável. Um resistor não armazena energia, dissipa-a na forma de calor.

Lei de Ohm: a queda de tensão no resistor é igual ao valor da resistência R multiplicada pela corrente i ,

$$v = R.i \quad (5)$$

A Condutância, G , é o inverso da resistência e sua unidade é o Siemens (S); é a medida da facilidade com que o material conduz eletricidade.

A potência P dissipada em um resistor é igual ao produto da tensão pela corrente. A unidade da potência é o Watt (W).

$$P = v.i = R.i^2 = \frac{v^2}{R} \quad (6)$$

2.1.1 Associação de Resistores

A associação em série de resistores possui resistência equivalente R_e igual a soma dos n resistores associados,

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (7)$$

A associação em paralelo de resistores possui resistência equivalente R_e igual ao inverso da soma dos inversos dos n resistores associados,

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (8)$$

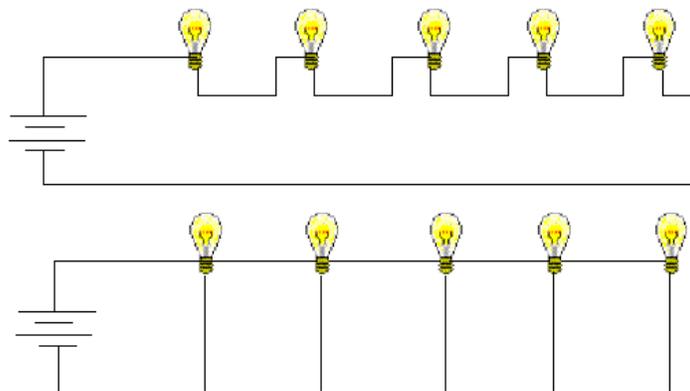


Figura 3: Exemplo - Lâmpadas

Exemplo 1: Qual das duas configurações apresentadas na Figura 3 é mais adequado para utilizar em uma casa? □

R. A conexão em paralelo é melhor pois a tensão da fonte está aplicada em todas as lâmpadas igualmente.

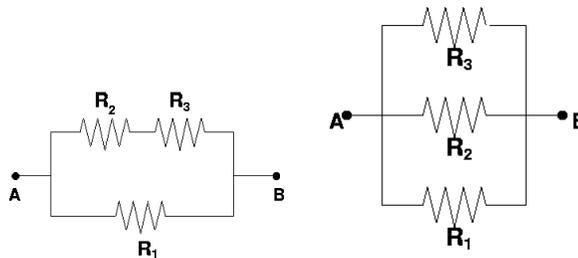


Figura 4: Exercício - Resistores

Exercício 1: Encontre a resistência equivalente para cada os circuitos apresentados na Figura 4 □

Exercício 2: Suponha que os circuitos da Figura 4 sejam conectados à uma fonte DC de 10V (entre os pontos A e B). Calcule a corrente em cada um dos resistores e a potência dissipada. □

Exercício 3: Um cabo de 60 metros necessita carregar uma corrente de 150A com uma queda de tensão não maior do que 0,5V. O cabo é feito de cobre, que possui resistividade $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega m$. Qual o diâmetro mínimo do cabo? □

2.2 Capacitor

Um capacitor é um dispositivo eletrônico que armazena energia na forma de *campo elétrico*. A capacitância de um capacitor é a medida da quantidade de carga armazenada entre duas placas para uma dada diferença de potencial (ou voltagem), que pode ser dada por $c = q/v$.

- Unidade no Sistema Internacional: Farad (F);
- Símbolo do componente: $\text{--}\text{||}\text{--}$;

- Tipos: fixo e variável;
- Material Dielétrico: papel, cerâmica, etc.
- Característica: Armazena energia na forma de campo elétrico.

2.2.1 Fase de Carga

Dado o circuito RC da Figura 5, a chave é levada para a posição 1 no momento $t = 0$. Considere que a chave anteriormente a $t = 0$ estava na posição 2 e o capacitor estava descarregado. Neste instante, o circuito tem o seguinte comportamento:

1. As cargas da fonte começam a migrar para o capacitor, gerando uma corrente. No momento em que a chave é fechada, o capacitor se comporta como um curto-circuito (corrente plena IC).
2. Esta transferência de cargas é muito rápida inicialmente, ficando mais lenta a medida que a diferença de potencial entre os terminais do capacitor se aproxima à tensão fornecida pela fonte.
3. Quando o capacitor for totalmente carregado, significa que a tensão no capacitor será igual à tensão na fonte e a corrente no circuito será nula (cessa a corrente).

Após o capacitor estar carregado, ele se comporta como um circuito aberto. Este comportamento pode ser observado pelos gráficos de tensão e corrente mostrado na Figura 5.

Se ao invés da chave passar para a posição 2 ela fosse aberta novamente, o capacitor manteria sua energia (carga) armazenada na forma de um campo elétrico por um período determinado apenas pela sua corrente de fuga. Logo, um capacitor carregado e isolado vai trabalhar, por um tempo, como uma bateria, armazenando energia).

2.2.2 Fase de Descarga

Colocando agora a chave na posição 2, o capacitor começa a se descarregar pelo resistor $R = 500\Omega$ até $V_c = 0$, acendendo o LED por um breve período de tempo. Neste caso, o capacitor torna-se uma bateria. Observe que o sentido da corrente é ao contrário da fase de carga. A corrente então vai se extinguindo até zero, quando toda a energia armazenada no capacitor se dissipa pelo resistor e pelo LED.

Portanto, a corrente que circula em um capacitor está associada a uma capacitância C e a variação de tensão em seus terminais (v_c) ao longo do tempo, de acordo com a relação

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad (9)$$

Desta forma, a queda de tensão no capacitor pode ser calculada por $v_c = 1/C \int i_c dt$.

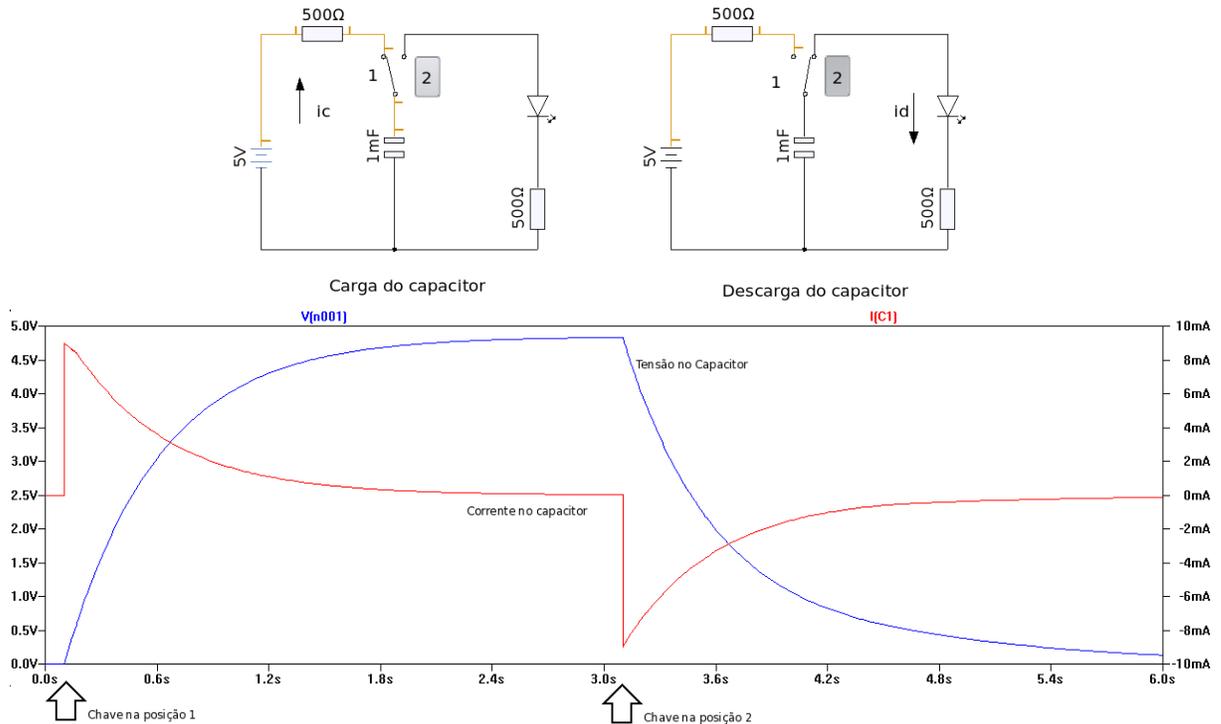


Figura 5: Circuito com capacitor

2.2.3 Associação de Capacitores

A associação em série de capacitores possui capacitância equivalente C_e igual ao inverso da soma dos inversos dos n capacitores associados,

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (10)$$

A associação em paralelo de capacitores possui capacitância equivalente C_e igual a soma dos n capacitores associados,

$$C_e = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (11)$$

2.3 Indutor

Um indutor armazena energia na forma de *campo magnético* quando uma corrente elétrica circula através de uma bobina condutora. O campo magnético criado é proporcional a corrente - alterações nesta corrente criam alterações no fluxo magnético que, por sua vez, geram uma força (FEM, Força Eletro Motriz), que age em oposição a esta corrente. A indutância é a medida da FEM gerada por alterações na corrente. Por exemplo, um indutor com uma indutância de 1 Henri produz uma FEM

de 1 volt quando a corrente através do indutor se altera na taxa de 1 ampere por segundo. O fluxo magnético pode ser aumentado pela utilização de um núcleo altamente permeável magneticamente.

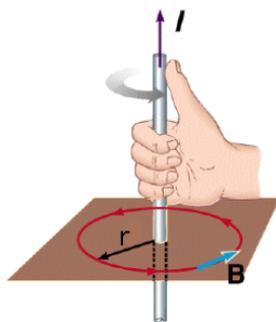


Figura 6: Campo magnético criado por uma corrente e regra da mão direita

A Figura 6 ilustra a criação do campo magnético criado por uma corrente elétrica e ilustra a regra da mão direita para recordar o sentido do campo criado. A Figura 7 ilustra o campo magnético provocado pela corrente circulando em uma bobina. Note o sentido do campo magnético criado.

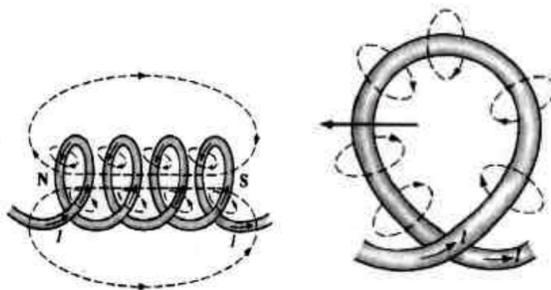


Figura 7: Campo magnético ao redor de uma bobina

Um campo magnético variável pode produzir um uma tensão v num circuito indutivo próximo. Esta tensão é proporcional a razão da variação da corrente produtora do campo magnético com o tempo. Variando-se a intensidade da corrente percebe-se uma constante de proporcionalidade com a tensão. Esta constante é a indutância L , dada por

$$v_l = L \frac{di_l}{dt}. \quad (12)$$

Portanto, a *variação de corrente* ao longo do tempo numa bobina, provoca uma tensão induzida nos terminais da própria bobina. É como se fosse a "queda de tensão" devido a indutância da bobina.

Caso não haja variação na corrente, a bobina comporta-se como um curto circuito; neste caso ela nada mais é do que um fio enrolado.

2.3.1 Fase de Carga

Seja o circuito RL mostrado na Figura 8. Fechando a chave na posição 1 em $t = 1$ ms estaremos alimentando o indutor com corrente contínua da fonte. Já sabemos que para fonte CC a bobina torna-se um curto-circuito ($V_L = 0$). Logo, a corrente no circuito será $i_L = v/R$.

No instante do fechamento da chave a corrente era zero e passado um curtíssimo espaço de tempo ela foi para E/R . Portanto, houve então uma variação de corrente no circuito (de zero para v/R). Mesmo sendo de curtíssimo tempo, esta variação de corrente provocou na bobina uma tensão V_L . Esta tensão na bobina provoca o armazenamento de energia, na forma de um campo magnético.

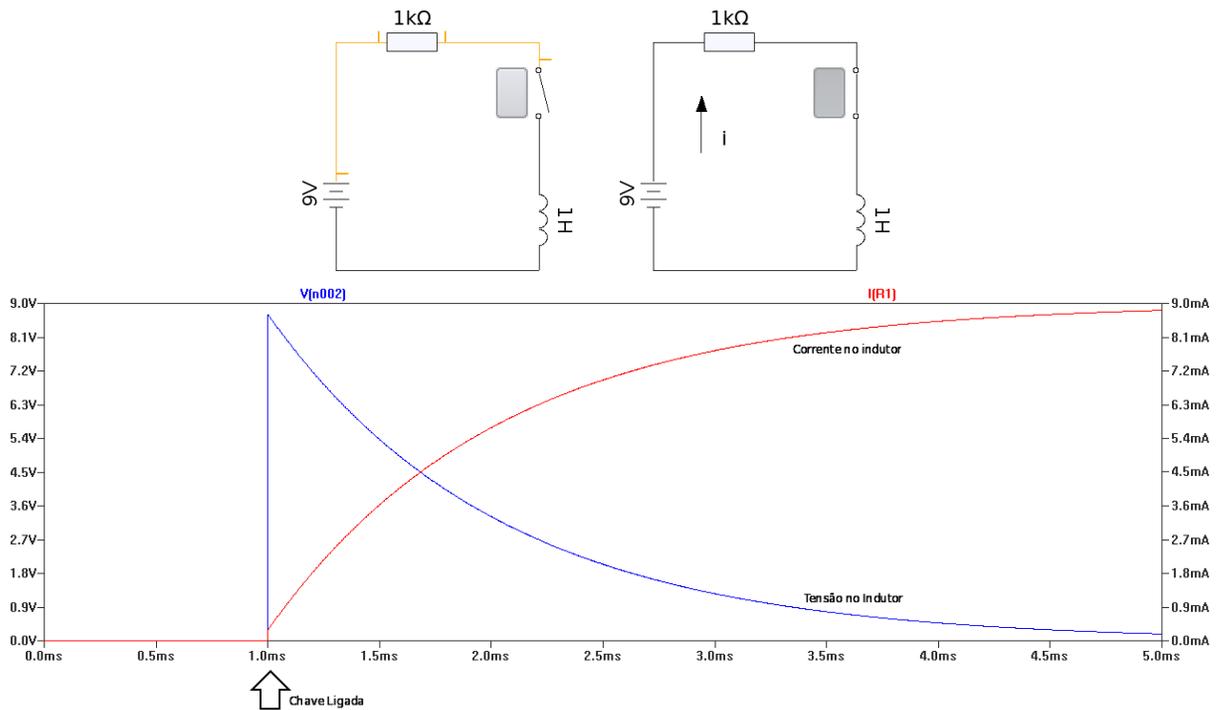


Figura 8: Circuito com Indutor

2.3.2 Fase de Descarga

Quando a fonte de alimentação é retirada, toda a energia armazenada na bobina será descarregada a partir do momento que não houver mais corrente no circuito. Convém lembrar que a energia é armazenada em um campo magnético, este campo por sua vez é gerado por uma corrente. Com o fim da alimentação, a energia armazenada na forma de campo não permitirá que a corrente circulante na bobina cesse. Desta forma, surgirá um grande potencial entre os contatos da chave com um possível rompimento do dielétrico e o surgimento de uma corrente durante um curto período de tempo (faísca) - diferentemente da capacitância, onde a energia armazenada se sustenta durante um período de tempo.

2.3.3 Associação de Indutores

A associação em série de indutores possui indutância equivalente L_e igual a soma dos n indutores associados,

$$L_e = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (13)$$

A associação em paralelo de indutores possui indutância equivalente R_e igual ao inverso da soma dos inversos dos n indutores associados,

$$\frac{1}{L_e} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (14)$$

3 Leis de Kirchhoff

As Leis de Kirchhoff são um conjunto de leis que tratam da conservação de cargas e de energia em circuitos elétricos, que foram primeiramente descritas por Gustav Kirchhoff em 1845. O uso das leis é a base para a análise de circuitos elétricos.

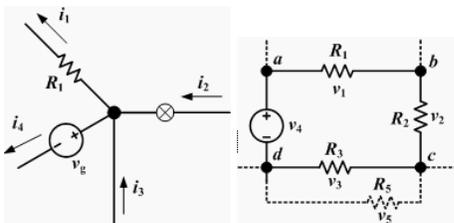


Figura 9: Leis de Kichhoff: à esquerda, lei dos nós; à direita, lei das malhas

Lei das malhas O somatório das quedas de tensão em uma malha fechada deve ser nulo (lei de conservação de energia). Convenciona-se que quando uma bateria é percorrida do terminal - para o terminal +, a voltagem é considerada positiva e a queda de tensão em um resistor ou outro elemento percorrido pela corrente i é considerada negativa.

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad (15)$$

Por exemplo, na Figura 9, à direita, $v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 0$.

Lei dos nós Um ponto onde dois ou mais elementos tem uma conexão comum é chamdo de nó. O somatório das correntes chegando e saindo de um nó deve ser zero (lei da conservação das cargas).

$$\sum_{k=1}^n v_k = 0 \quad (16)$$

Por exemplo, na Figura 9, à esquerda, $i_1 + i_4 = i_2 + i_3$.

Exemplo 2:

Encontre o valor da corrente em todos os resistores da Figura 10.

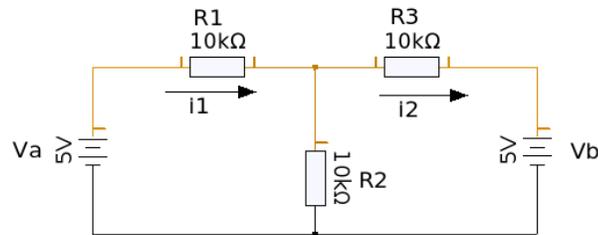


Figura 10: Exercício

Utilizando a lei das malhas, encontramos:

$$v_a + R_1 i_1 + (i_1 - i_2) R_2 = 0$$

$$-v_b + R_3 (i_2 - i_1) + R_2 i_2 = 0$$

Utilizando a lei dos nós, encontramos:

□

Resolvendo a equação, utilizando $V_a = 5$, $V_b = 5$, $R_1 = R_2 = R_3 = 10K\Omega$, obtemos $i_1 = 166\mu A$ e $i_2 = -166\mu A$. A corrente circulando em R_2 será de $(i_1 - i_2) = 333\mu A$.

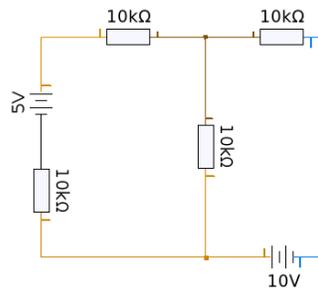


Figura 11: Exercício

Exercício 4: Encontre as quedas de tensão e corrente em todos os resistores do circuito da Figura 11. □

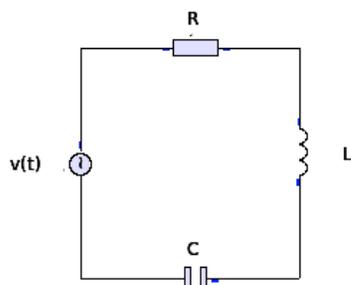


Figura 12: Exercício

Exercício 5: Encontre a equação de malha para o circuito da Figura 12, em função dos valores da tensão da fonte $v(t)$, da corrente i e dos valores do capacitor C e do indutor L . Encontre a expressão em função da carga q e compare a equação com a equação de resposta do sistema massa-mola-amortecedor e estabeleça uma relação entre os dois sistemas (exercício avançado). □