

Conceitos de Eletricidade

Aula 08 - Dispositivos Passivos em Circuitos Elétricos

Apresentação

Nesta aula, vamos complementar os estudos sobre dispositivos passivos usados em circuitos elétricos. Inicialmente, falaremos do resistor e posteriormente faremos a apresentação de capacitores e indutores, suas principais características, utilidades e como se comportam em circuitos elétricos de corrente contínua. Veremos, ainda, os efeitos que a passagem de corrente elétrica pode causar sobre condutores, dispositivos e corpos de seres vivos.

Objetivos

- Caracterizar o resistor como limitador de corrente elétrica, o capacitor como um dispositivo que se opõe às variações bruscas de tensão e o indutor como um dispositivo que se opõe às variações bruscas de corrente.
- Descrever os efeitos causados pela passagem da corrente elétrica pelo corpo de seres vivos ou por um dispositivo ou condutor elétrico.
- Calcular tensões e correntes em circuitos com resistores e capacitores e com resistores e indutores.
- Calcular a capacitância equivalente e a indutância equivalente em associações em série e em paralelo.

Resistores, Capacitores e Indutores

Até o momento, vimos apenas dois tipos de bipolos em circuitos elétricos: o resistor e a fonte de tensão. No entanto, quando trabalhamos com tensões ou correntes que variam no tempo, em particular com tensões e correntes alternadas, dois dispositivos eletrônicos ganham especial atenção: o capacitor e o indutor. Enquanto o resistor sempre se opõe à passagem da corrente, o indutor é um dispositivo elétrico que se opõe apenas às variações bruscas de corrente; já o capacitor é um dispositivo que se opõe apenas às variações bruscas de tensão como também serve como elemento de armazenamento de carga.

Que o resistor se opõe à passagem da corrente, isso é simples de entender, basta dar uma olhada num circuito com uma fonte de tensão U e um resistor R e lembrar-se da Lei de Ohm. Se $U = RI$ é uma constante e se a tensão U for mantida constante e igual a certo valor (10 V, por exemplo), quanto maior for o valor do resistor R , menor será a corrente sobre ele. Se R for igual a 10Ω , a corrente será de 1 A. Se R for de 1.000Ω , a corrente será 100 vezes menor. Fica claro, então, que o resistor se opõe à passagem de corrente, não é mesmo?

Mas e quanto a essa história de que o indutor e o capacitor se opõem às variações bruscas (o primeiro da corrente e o segundo da tensão)? Logo, logo voltaremos a explicar tudo isso.

Antes, quero fazer uma pequena reflexão sobre a importância da passagem da corrente elétrica através de um condutor elétrico, já que ela pode provocar diferentes efeitos, dependendo da natureza do condutor, do dispositivo de circuito ou até mesmo de corpos vivos e da intensidade da corrente.

Efeitos Causados pela Passagem da Corrente Elétrica em Diferentes Corpos

Dentre os efeitos causados pela passagem da corrente elétrica por um corpo, dispositivo ou condutor, podemos destacar: o térmico, o magnético, o luminoso e o fisiológico.

Efeito Térmico

O efeito térmico, também conhecido como efeito Joule – em homenagem ao físico britânico **James Prescott Joule** (1818-1889), que estudou o fenômeno em 1840 – é causado pelo choque dos elétrons livres contra os átomos de um condutor ou de um dispositivo elétrico, levando-os a apresentar um aquecimento. Quanto maior forem os impactos ou as vibrações causadas por esse movimento, maior será o aquecimento.

Saiba Mais!

James Prescott Joule foi um físico britânico que estudou os fenômenos de transformação e conservação da energia. Descobriu a relação entre o fluxo de corrente através de uma resistência elétrica e o calor dissipado pela mesma, relação posteriormente denominada de Efeito Joule ou de Lei de Joule. Para saber mais informações sobre ele e suas contribuições para a ciência, acesse o link: <http://pt.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule>.

Esse efeito pode ser constatado no projeto do chuveiro elétrico, que nada mais é do que uma resistência, fabricada com material especial, submetida a uma tensão elétrica. A passagem da corrente elétrica pela resistência provoca o efeito térmico desejado, aquecendo a água.

Atividade 01

1. Cite outros equipamentos que podem estar fazendo uso do efeito joule e que estão muito presentes no seu dia a dia.
-


Efeito Magnético

O efeito magnético, como você terá a oportunidade de constatar em aulas futuras, é um dos mais importantes efeitos causados pela passagem da corrente elétrica em diferentes corpos. Ele se manifesta pela criação de um campo magnético em torno do condutor por onde passa a corrente elétrica e se constitui na base que rege o princípio de funcionamento de muitos equipamentos elétricos, tais como motores e transformadores.

Efeito Luminoso

O efeito luminoso, assim como o térmico, é provocado por excitação de elétrons, mas, neste caso, pelo tipo de material utilizado em sua construção, é provocada a emissão de luz. Imagine só a nossa vida sem o devido aproveitamento desse efeito na construção de lâmpadas como as fluorescentes ou PL (Purpose Lamps - lâmpada com finalidade), tão presentes em nossas vidas. Além do que, elas são extremamente econômicas, reduzindo nossas contas de consumo de energia elétrica. Você sabe como é feito o cálculo da energia elétrica que pagamos? Esse também será assunto de uma próxima aula.

Efeito Fisiológico

Os efeitos fisiológicos são provocados pela ocorrência do que denominamos de choque elétrico, que nada mais é do que a passagem de corrente elétrica pelo corpo de um ser vivo, quando submetido a uma diferença de potencial elétrico. Os efeitos fisiológicos vão desde simples formigamentos, passando pelas contrações musculares (como as observadas por Galvani na musculatura da perna de uma rã), até a destruição total de tecidos, que pode levar à morte. Deve-se ter muito cuidado, porque os valores de corrente elétrica que podem levar à morte não são elevados. Uma intensidade de corrente de 1 mA (um [milampère](#)  (Um milampère é igual

a um milésimo de ampère, ou seja, 1mA = 0,001 A) já é suficiente para provocar formigamento. A presença de uma corrente de intensidade de 10 mA já provoca contrações musculares bruscas e descontroladas, o que pode causar a perda de controle dos músculos, tornando difícil a execução de gestos simples como, por exemplo, o abrir de uma mão, gesto este que o poderia livrar do contato com o elemento gerador de um choque elétrico, por exemplo. Já que de 10 mA até 3 A já são consideradas intensidades de corrente mortais.

Os mais perigosos efeitos fisiológicos observados após um choque elétrico são: a tetanização, que é a paralisia muscular provocada pela circulação de corrente através dos nervos que controlam os músculos; a parada respiratória, quando a tetanização envolve os músculos do sistema pulmonar inibindo a respiração; as queimaduras provocadas, por efeito Joule, pela circulação da corrente elétrica pelo corpo; e a fibrilação ventricular, quando a corrente elétrica atinge os músculos do coração.

Deve-se ter muito cuidado quando se trabalha com eletricidade. É uma atividade prazerosa, mas pode trazer consequências alarmantes e irreversíveis para o ser humano.

Nós voltaremos a falar sobre choque elétrico quando formos tratar de aterramento elétrico e da sua importância na proteção do homem ao trabalhar com equipamentos, condutores e dispositivos elétricos.

Após essas reflexões sobre a passagem da corrente elétrica por corpos de naturezas diversas, vamos retomar nossa conversa sobre capacitores e indutores e ver como eles se comportam em circuitos de corrente contínua.

O Capacitor

O princípio de construção de um capacitor é extremamente simples. Independente da forma, basicamente, ele se constitui de duas placas metálicas isoladas por um [dielétrico](#) (Dielétrico é sinônimo de isolante elétrico, ou seja, um

material que impõe uma alta resistência à passagem de corrente elétrica). Naturalmente, foi pensado como um dispositivo para armazenamento de carga, mas, para que ocorra esse carregamento, deve-se retirar certa quantidade de carga de uma das placas e depositá-la na outra, o que só é possível quando submetido a uma diferença de potencial.

Uma coisa interessante a se observar em um capacitor é que a relação entre a quantidade de carga e a tensão aplicada é sempre constante, ao que se denominou de capacitância, e que depende única e exclusivamente das áreas das placas e da distância entre elas, ou seja, de sua geometria.

Dielétrico	ϵ_r (valores médios)
Vácuo	1,0
Ar	1,0006
Teflon®	2,0
Papel parafinado	2,5
Borracha	3,0
Polistireno	3,0
Óleo	4,0
Mica	5,0
Porcelana	6,0
Baquelite®	7,0
Óxido de alumínio	7
Vidro	7,5
Óxido de tântalo	30
Cerâmica	20 – 7.500
Titanato de bário e estrôncio (cerâmica)	7.500,0

Tabela 1 - Permissividade relativa de algumas substâncias.

Fonte: Boylestad, 2011

Saiba Mais!

Michael Faraday, físico e químico inglês com importantes contribuições para o estudo da eletricidade e do magnetismo. Para saber mais informações sobre ele e suas contribuições, acesse o link: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday>.

Atividade 02

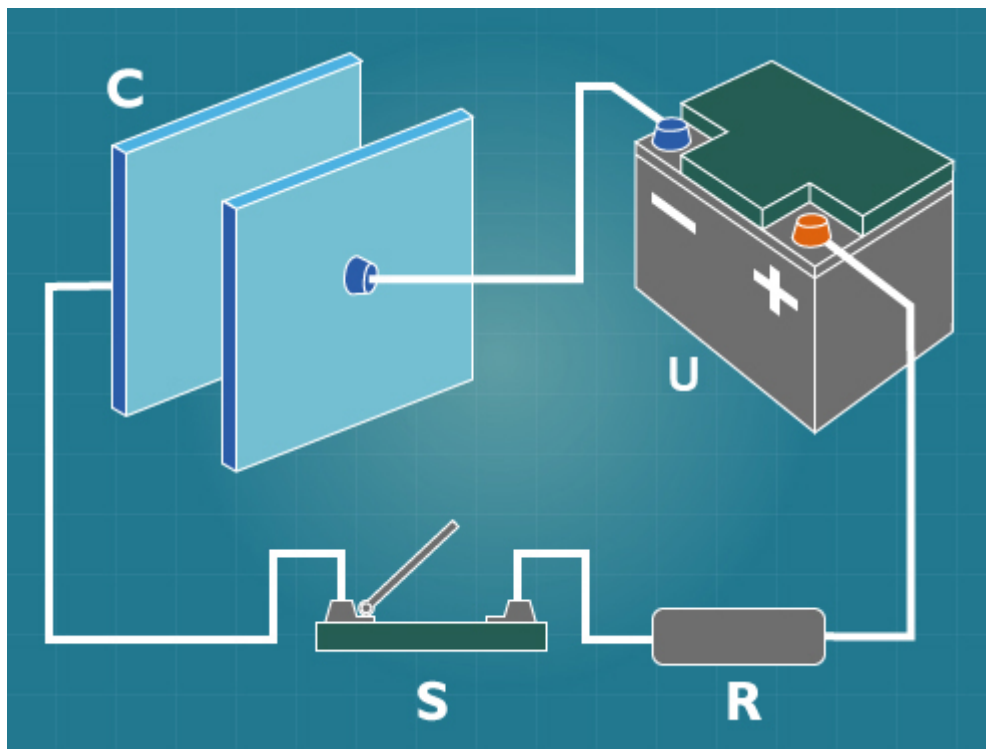
1. Pesquise na internet quais as frações de Farad mais usadas para caracterizar a capacitância de um capacitor.
2. Qual a quantidade de carga final em um capacitor de 0,0001 F quando submetido a uma tensão de 12 V?

Comportamento do Capacitor em um Circuito de Corrente Contínua

Para entendermos melhor o comportamento do capacitor em um circuito de corrente contínua, vamos observar o circuito elétrico mostrado na Figura 1b, representativo da montagem mostrada na Figura 1a, formado por uma bateria B, que fornece uma tensão U , uma chave S, um resistor de resistência R e um capacitor de capacitância C .

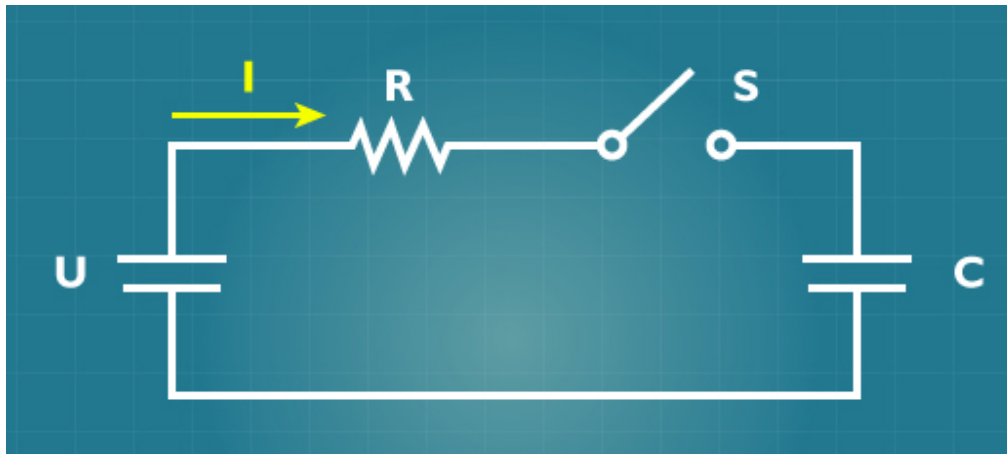
Inicialmente, com a chave S na posição desligada, não existe corrente no circuito, ou seja, $I = 0$.

Figura 01a - Conjunto chave, capacitor, bateria e resistência na montagem do circuito elétrico mostrado na Figura 1b.



Fonte: Autoria própria.

Figura 01b - Esquema elétrico representativo da montagem mostrada na Figura 1a.



Fonte: Autoria própria.

Quando a chave for fechada, a tensão no resistor será igual à tensão da bateria, já que o capacitor ainda está descarregado e a tensão sobre o mesmo é zero, ou seja, teremos corrente máxima no circuito nesse momento, dada por $I = U/R$.

Continuará a existir corrente no circuito até o momento em que o capacitor esteja totalmente carregado. O que significa que, à medida que o capacitor adquire carga, a corrente vai diminuindo, até tornar-se praticamente nula.

Nesse caso, tanto a tensão sobre o resistor quanto a tensão sobre o capacitor variam em função do tempo, uma vez que a corrente diminui gradativamente no tempo.

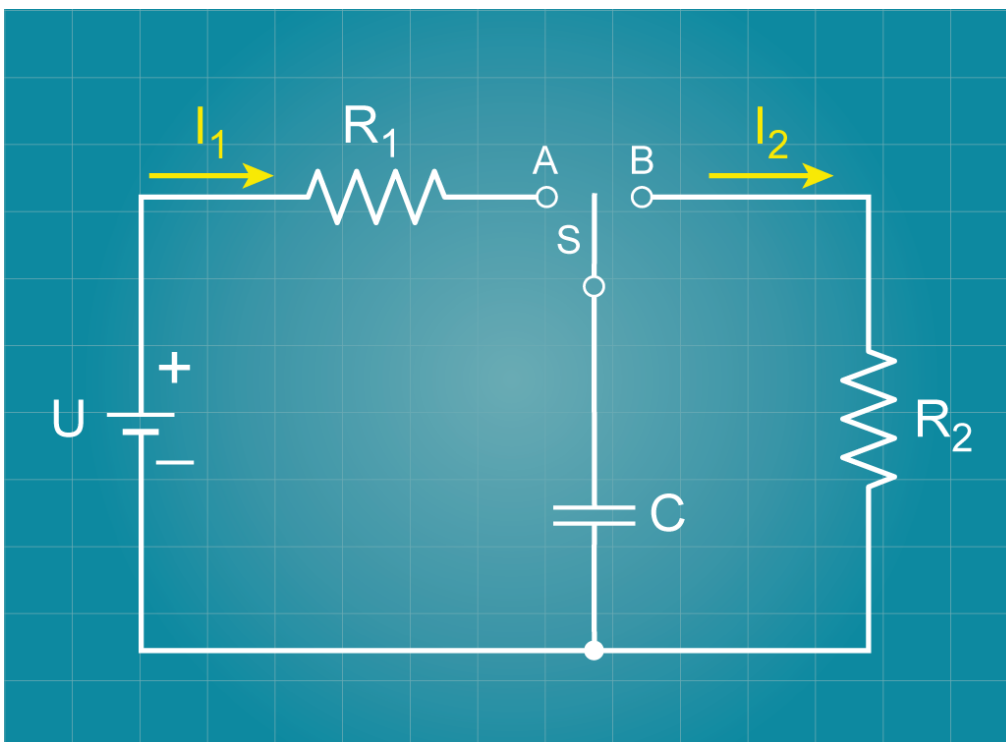
A tensão no capacitor, em um instante qualquer t , será dada pela equação:
$$U_c = U - Ue^{-t/RC}.$$

Onde e é uma função matemática chamada de exponencial e RC é a constante de tempo de carga do capacitor expressa em segundos.

Pela equação, no instante $t = 0$, $U_c = U(1 - e^0)$, $U_c = 0$ e, à medida que o tempo passa, a tensão U_c irá aumentando. Dependendo de t , ela pode chegar a valores bem próximos da tensão aplicada U , quando, então, a corrente no circuito será mínima.

Outra situação interessante de se ver pode partir da análise do circuito da Figura 2.

Figura 02 - Circuito elétrico para análise de carga/descarga em um capacitor.



Fonte: Autorial própria.

Imagine, por exemplo, que quando a fonte de tensão U for ligada, a chave S esteja na posição A . Essa situação já foi vista e já sabemos que a tensão sobre o capacitor, em função do tempo, será dada pela equação $U_c = U(1 - e^{-t/R_1C})$.

Suponha agora que após adquirir a máxima tensão, muito próxima ou, por assim dizer, quase U , a chave S seja mudada para a posição B . O que você acha que acontecerá?

Se você pensou que ocorrerá um fluxo de corrente sobre R_2 , tendendo a descarregar o capacitor C , está certíssimo.

Mas qual o valor da tensão do capacitor, em função do tempo, já que após descarregar totalmente, ele será zero (0)?

Considerando que a constante de tempo na descarga terá as mesmas características da constante de tempo na carga, teremos que a tensão sobre o capacitor será:

$$U_c = Ue^{-t/R_2C}$$

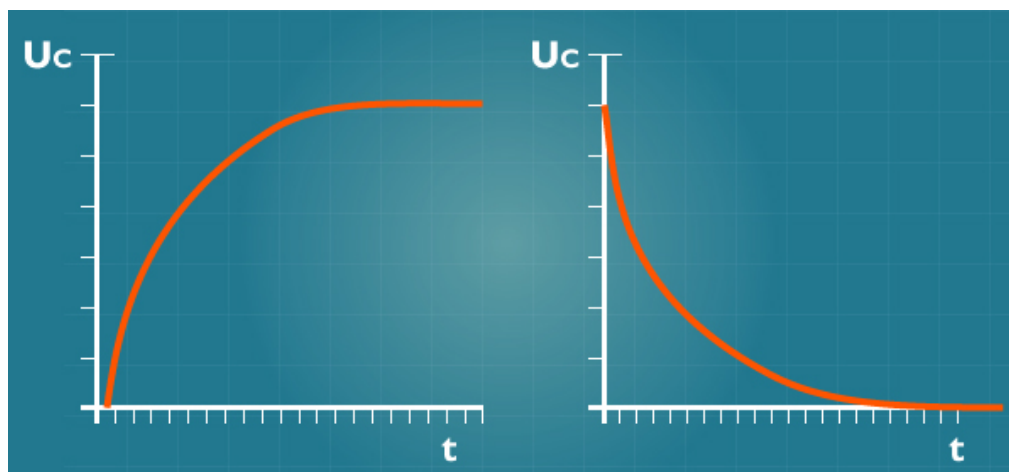
Atividade 03

1. Qual é a constante de tempo em um circuito como o da Figura 1b, considerando que $C = 5 \mu\text{F}$ e $R = 100 \text{ k}\Omega$?

Para encontrar a solução, faça o produto RC .

Através das equações de U_c , durante o tempo de carga e o tempo de descarga, é possível traçar curvas $U_c \times t$ que caracterizam o comportamento de um capacitor em função do tempo. Essas curvas têm um perfil de tensão em função do tempo, como mostrado no gráfico da Figura 3a, na carga, e como o mostrado no gráfico da Figura 3b, na descarga do capacitor.

Figura 03 - Curvas características da tensão U_c em função do tempo na carga e na descarga de um capacitor.



Fonte: Autoria própria.

É possível mostrar que num tempo t igual a constante de tempo R_1C do circuito da Figura 2, a tensão de carga U_c é exatamente igual a 63% da tensão aplicada U .

Da mesma forma, é possível também mostrar que num tempo t igual a constante de tempo R_2C do circuito da Figura 2, a tensão de descarga U_c é exatamente igual a 63% da tensão máxima alcançada na carga.

Atividade 04

1. Considerando que na Figura 2 a fonte de tensão fornece 12 V e que as resistências R_1 e R_2 são iguais a 1 k Ω , qual o valor de tensão no tempo t igual às constantes de tempo envolvidas no circuito, admitindo-se que na carga a máxima tensão no capacitor é igual à tensão de fonte?

Encontrou 7,56V e 4,44V? Então está ok!

2. Para concluirmos a análise do capacitor em corrente contínua, imagine que a fonte aplicada no circuito da Figura 1 apresenta a seguinte característica: num instante $t = 0$, ela é ligada; num instante $t = 10$ s, ela é desligada e num instante dado por $t = 20$ s, ela é novamente ligada.

Mostre graficamente como seria a variação da tensão sobre o capacitor em função de t . Essa representação não precisa ser exata. Caso deseje uma representação exata, que tal procurar simular o comportamento da tensão no

capacitor através do Microsoft Excel?

Associações Série e Paralela de Capacitores

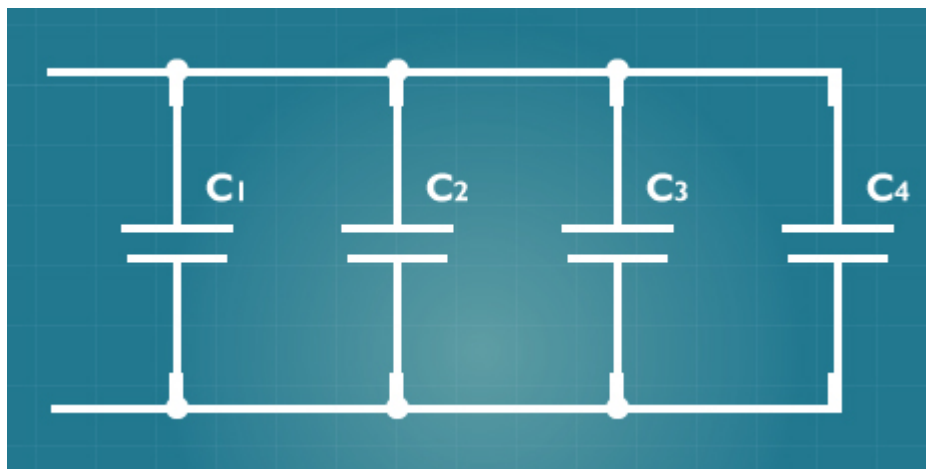
Da mesma forma que os resistores, como bipolos, os capacitores podem ser associados.

Numa associação de capacitores em paralelo, como a mostrada na Figura 4, a capacitância equivalente é dada por:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

Pode-se generalizar e dizer que a capacitância equivalente em associações de capacitores em paralelo tem valor igual à soma das capacitâncias de todos os capacitores envolvidos na associação.

Figura 04 - Associação de 4 capacitores em paralelo.

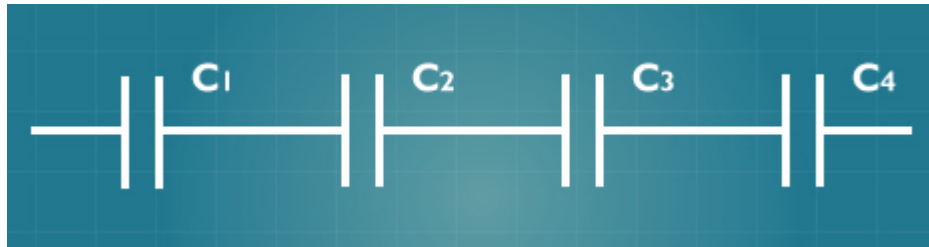


Fonte: Autoria Própria.

Observe que o cálculo da associação de capacitores em paralelo é idêntico ao cálculo da associação de resistores em série. Numa associação de capacitores em série, como a mostrada na Figura 5, a capacitância equivalente é dada por:

$$1/C_{eq} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4$$

Figura 05 - Associação de 4 capacitores em série.



Fonte: Autoria Própria.

Pode-se generalizar e dizer que o inverso da capacitância equivalente em associações de capacitores em série tem valor igual à soma dos inversos das capacitâncias de todos os capacitores envolvidos na associação.

Observe também que o cálculo da associação de capacitores em série é idêntico ao cálculo da associação de resistores em paralelo.

O Indutor

Um indutor é essencialmente um fio condutor enrolado em forma helicoidal, com ou sem núcleo. Os símbolos usados para representá-lo, mostrados na Figura 6, caracterizam bem isso.

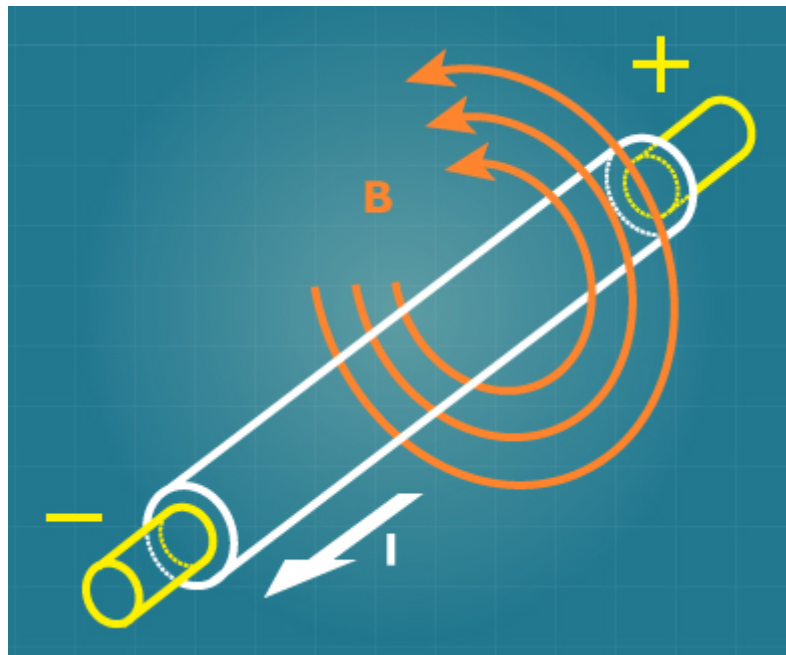
Figura 06 - Símbolos usados para representar o indutor.



Fonte: Autoria Própria.

Segundo a Lei de Ampère (Ah! Ampère é unidade de que? Você lembra?), quando uma corrente passa por um indutor, induz (daí o nome de indutor) um campo magnético ao seu redor, como bem representado na Figura 7.

Figura 07 - Representação do campo magnético B induzido pela passagem da corrente I por um fio condutor.



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Amp%C3%A8re> Acesso em: 1 set. 2011.

O campo magnético gerado acompanhará as variações temporais da corrente e atuará sobre as espiras (que são as espirais) do indutor de forma que teremos uma tensão induzida devido ao seu próprio campo magnético criado. Faraday descobriu que a diferença de potencial (d.d.p), ou tensão induzida U_L , é proporcional à variação da corrente num intervalo de tempo, ou seja, que:

$$U_L = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

O símbolo Δ (letra delta do alfabeto grego) representa uma variação e L é o fator de proporcionalidade ou a indutância característica do indutor, além disso, aponta a oposição que o indutor coloca às variações da corrente. Da mesma forma que a capacitância de um capacitor, a indutância de um indutor depende apenas da geometria do indutor e do meio onde ele se encontra ou, claro, que usa como núcleo.

A unidade da indutância recebeu o nome de Henry, símbolo H, em homenagem ao físico americano **Joseph Henry**. Na prática, são comuns indutores desde alguns milionésimos de Henry até centenas de Henry.

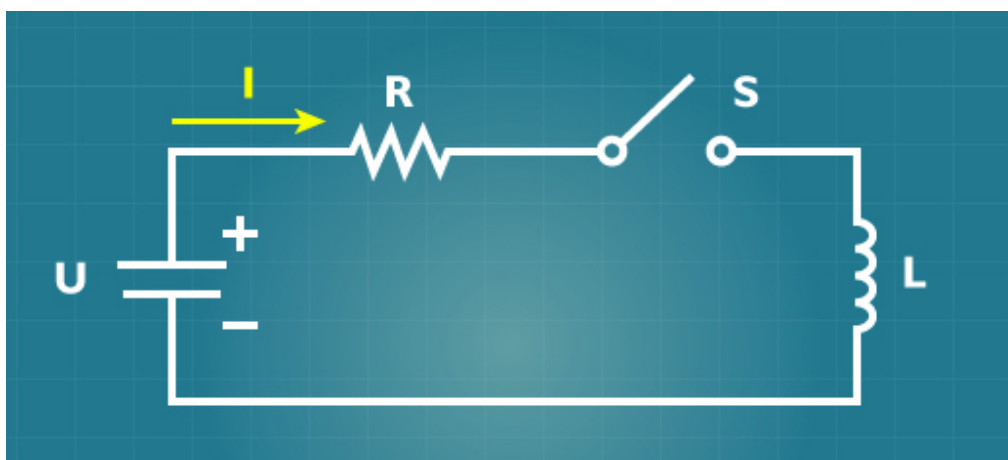
Lembrete!

Joseph Henry foi um cientista estadunidense, estudioso do eletromagnetismo e descobridor do fenômeno de indução eletromagnética. Se quiser saber mais sobre este cientista, acesse o link: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_Henry>

Comportamento do Indutor em um Circuito de Corrente Contínua

Para entendermos melhor o comportamento do indutor em um circuito de corrente contínua, vamos observar o circuito elétrico mostrado na Figura 8, constituído de uma bateria, que fornece uma tensão U , um resistor de resistência R e um indutor de indutância L .

Figura 08 - Circuito para análise do comportamento de um indutor em corrente contínua.



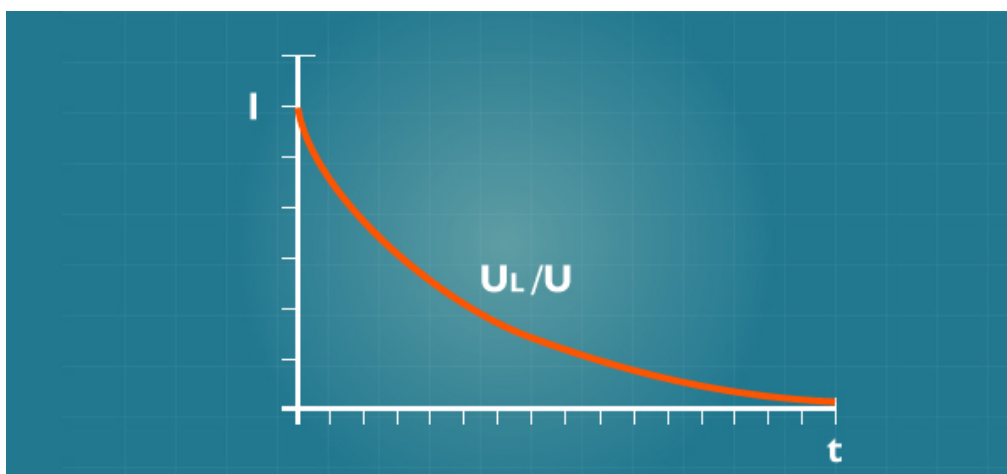
Fonte: Autoria Própria.

Inicialmente, com a chave S na posição desligada, não existe corrente no circuito, ou seja, $I = 0$. Ao ligarmos a chave, como o indutor se opõe às variações de corrente, a corrente I permanece igual a 0 (zero). Mas como isso se dá? Instantaneamente, sobre o indutor, gera-se uma diferença de potencial ou tensão U_L de mesmo valor da tensão da fonte U , mas de sentido contrário. Dessa forma, se $U - U_L = 0$, pela Lei de Ohm, $RI = 0$, ou seja, $I = 0$.

A corrente, então, inicialmente é zero, não havendo assim variação brusca. A reação do indutor, caracterizada por U_L , passa a diminuir acarretando um aumento da corrente gerada pela fonte de tensão e, conseqüentemente, passa a existir uma queda de tensão sobre o resistor. Por conseguinte, isso leva U_L a diminuir ainda mais o seu valor. Essa seqüência continua até que a corrente atinja o seu valor máximo, aproximadamente igual a U/R , momento em que U_L é aproximadamente 0 (zero). Esse decaimento da tensão U_L é proporcional a uma constante de tempo dada por L/R . O gráfico da Figura 9 mostra a relação da variação da tensão U_L sobre U em função tempo t .

De maneira análoga ao que fizemos com o capacitor, é possível também mostrar que se a corrente estiver em seu valor máximo e a fonte for desligada, ela permanece no seu valor máximo e vai decaindo até zero de acordo com uma proporcionalidade de tempo dada também por L/R .

Figura 09 - Relação da variação da tensão U_L sobre U em função do tempo t .



Fonte: Autoria Própria.

Associações Série e Paralela de Indutores

Os indutores têm as mesmas características de associação dos resistores.

Por analogia, pode-se generalizar e dizer que:

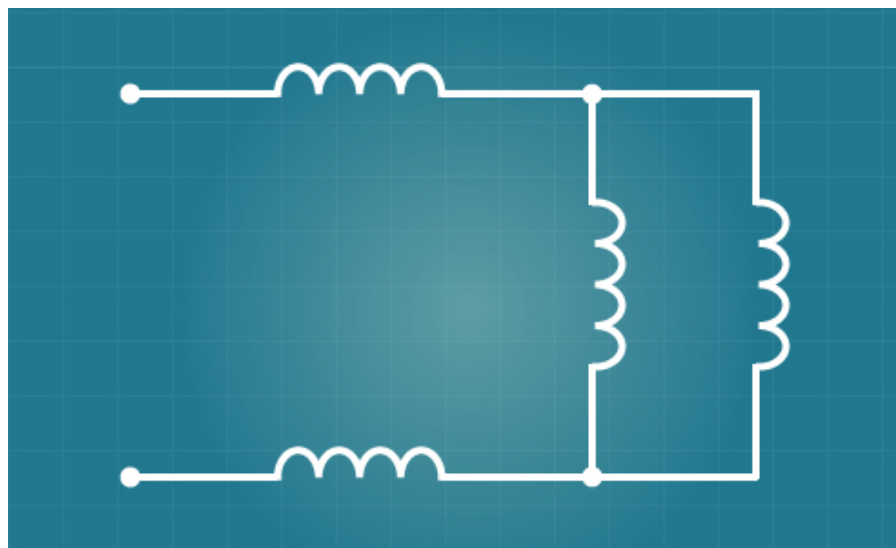
- a indutância equivalente em associações de indutores em série tem valor igual à soma das indutâncias de todos os indutores envolvidos na associação;

- o inverso da indutância equivalente em associações de indutores em paralelo tem valor igual à soma dos inversos das indutâncias de todos os indutores envolvidos na associação.

Atividade 05

1. Qual o valor da indutância equivalente na associação de indutores mostrada na Figura 10? Considere que todos os indutores apresentam indutância igual a 10 mH.

Figura 10 - Circuito sugerido para a Atividade 7.



Fonte: Autoria Própria.

Resumo

Nesta aula, foram complementados os estudos sobre dispositivos passivos usados em circuitos elétricos. Inicialmente, falou-se do resistor e, posteriormente, dos capacitores e indutores. Foram apresentadas suas principais características, utilidades e foi visto como se comportam em circuitos elétricos de corrente contínua. Graficamente, foram mostradas as variações de tensões sobre capacitores e indutores. Foram citados também os efeitos causados pela passagem de corrente elétrica sobre condutores, dispositivos e corpos de seres vivos.

Autoavaliação

1. Por que o resistor se caracteriza como um limitador de corrente elétrica?
2. A que se opõe o capacitor? Justifique sua resposta.
3. A que se opõe um indutor? Justifique sua resposta
4. Descreva um efeito benéfico causado pela passagem da corrente elétrica por um condutor ou dispositivo elétrico.
5. Quais os males causados pela passagem de corrente elétrica pelo corpo de um ser vivo?
6. Que intensidades de correntes são mortais para o homem?
7. Para qual valor de constante de tempo a carga de um capacitor é de aproximadamente 63% da tensão de fonte aplicada? Como é feito esse cálculo?
8. Como se calcula a capacitância equivalente em associações de capacitores em série? E em paralelo?
9. Como se calcula a indutância equivalente em associações de indutores em série? E em paralelo?

10. Caracterize a curva da tensão sobre um capacitor em períodos de carga num circuito, com um resistor em série com um capacitor, alimentado por uma bateria.

Referências

MARIZ, Jaime. **Apostila Eletrotécnica Básica**. Natal: UFRN, [2003?].

SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez. **Curso de formação de operadores de refinaria física aplicada**: eletricidade básica. Equipe Petrobrás. 2002.

SANTOS, Antonio. **Eletricista de força e controle**: conceitos básicos de eletricidade – Petrobrás, Apostila Cefet – Ba, [20--?]

SERRALHEIRO, Werthe. **Apostila de Eletricidade**. CEFET/SC. [2008?].