

## 7 *Indutores e Transformadores*

Os indutores são bastante usados em circuitos de radiofrequência (RF), como os usados em receptores de rádio, TV, FM. Na sua forma mais simples consistem de um pedaço de fio enrolado em uma forma (tubo) de material isolante como plástico, cerâmica ou fenolite ou mesmo sem forma (ar). Esse enrolamento simples é conhecido por bobina.

O indutor tem funções diferentes, dependendo do circuito onde ele é usado. Pode produzir sinais de corrente alternada (CA) de rádio e TV, quando usado nos circuitos osciladores. Pode bloquear uma frequência alta (CA) e deixar passar uma frequência baixa, quando usado nos filtros.

### 7.1 Características dos Indutores

Efeitos de Proximidade e Interferência - O campo magnético gerado pelos indutores e transformadores pode influenciar no funcionamento de outros componentes e/ou circuitos vizinhos. Da mesma forma, a proximidade de determinados materiais pode alterar os valores das indutâncias e conseqüentemente o funcionamento do dispositivo.

Normalmente, os indutores são constituídos com fios bons condutores (prata, cobre, cobre banhado a prata, etc) e tem suas espiras enroladas em forma cilíndrica, com várias camadas, uniformes e entrelaçadas. Existem bobinas de uma camada - tipo solenóide ou bobina de várias camadas em forma de panqueca.

- Indutor com núcleo de ar - O próprio fio mantém o formato de bobina e o fluxo se desenvolve no meio ar. Uma forma de cerâmica, baquelite, papelão, plástico, etc, pode ser usada a fim de suportar as espiras no caso de fios mais finos.
- Indutor com núcleo de material magnético - Maior indutância em razão de um aumento

de fluxo devido ao abaixamento da relutância do meio a ser percorrido pelo fluxo magnético. A natureza do núcleo pode ser de: ferro e silício; ferrite; e epóxi com esmalte vinílico.

## 7.2 Tipo de Indutor

Os indutores podem tomar uma grande variedade de formatos e é necessária certa prática para identificá-los e não confundi-los com outros componentes eletrônicos. O tamanho dos indutores é proporcional a sua indutância e quanto maior o número de espiras de um indutor, maior é a sua indutância em Henrys. A Figura 53 ilustra alguns dos tipos mais usados de indutores, com e sem núcleo, sendo alguns fixos e outros ajustáveis.

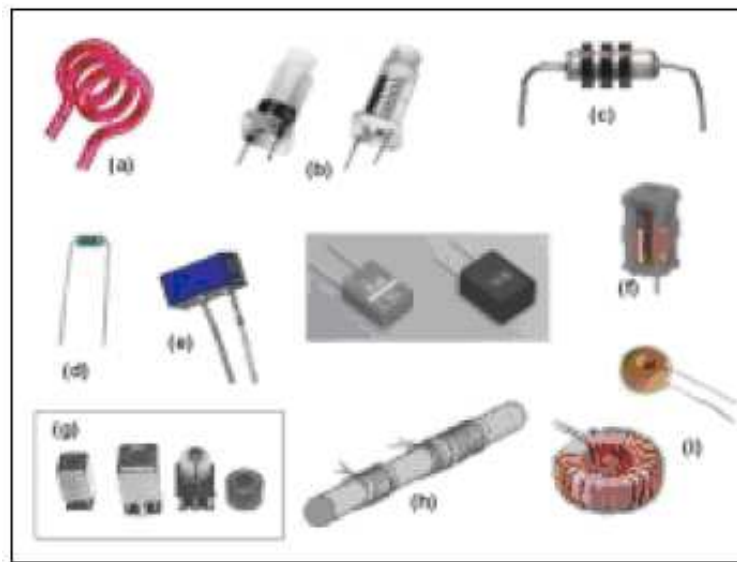


Figura 53: Formato físico dos indutores.

Como os resistores e capacitores, o indutor também pode ser encontrado em três tipos básicos: fixos, ajustáveis e variáveis. Os indutores variáveis são usados em casos especiais e nos circuitos eletrônicos comuns os mais usados são os fixos e os ajustáveis.

Modernamente os indutores usados nos circuitos eletrônicos são do tipo miniatura e podem ser encontrados em valores normais da série "E12", para baixas correntes. O projetista muitas vezes precisa construir seus próprios indutores, com fio esmaltado enrolados em formas de plástico ou papelão. Nem sempre o valor desejado é disponível comercialmente e quase todos os artigos técnicos de livros e revistas especializadas dão os dados construtivos

dos indutores usados. Os dispositivos magnéticos ou eletromagnéticos são preferencialmente evitados de serem utilizados em circuitos eletrônicos devido a:

- Serem, por sua própria natureza, pesados e volumosos;
- Apresentarem faixa de resposta de frequência e linearidade bastante estreitas;
- Os modelos descritivos de seus comportamentos não serem satisfatórios para amplas faixas de aplicações.

Ainda hoje não contamos com uma padronização efetiva para fabricação e especificação de indutores e transformadores. Para pequenos valores de indutâncias, com núcleo de ar, têm-se no mercado alguns valores e encapsulamentos aproximadamente comuns, isto é, quase padronizados. Nas aplicações de eletro-eletrônica, os dispositivos eletromagnéticos podem ser separados em duas categorias:

- De Potência - na qual a potência dissipada, a tensão de ruptura e a saturação do núcleo, se houver, apresentam-se como fatores preponderantes;
- De Sinais - (ou de comunicações) na qual, as perdas internas, as capacitâncias distribuídas e a linearidade são mais importantes.

Quanto à leitura do valor do indutor, há indutores que se assemelham aos resistores e outros que são semelhantes a pequenas caixas azuis. No primeiro caso, o valor pode ser obtido através do mesmo código de cores dos resistores. No outro caso, o valor vem escrito no componente.

## 7.3 Transformadores

Um transformador é um dispositivo destinado principalmente a transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito à outro, transformando tensões e correntes. Trata-se de um dispositivo de corrente alternada que opera baseado nos princípios eletromagnéticos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz.

O uso do transformador permitiu a grande expansão no transporte, distribuição e utilização da energia elétrica e, juntamente com o motor de corrente alternada, mostrou o grande

interesse da utilização da corrente alternada, numa época em que se confrontavam idéias sobre a melhor maneira de se usar a energia elétrica, se sob a forma de corrente contínua ou sob a forma de corrente alternada.

O transformador consiste de duas ou mais bobinas de múltiplas espiras enroladas no mesmo núcleo magnético, isoladas deste. Tal núcleo forma um “caminho”, ou circuito magnético, que acopla essas bobinas e é constituído por um material ferromagnético, como aço, a fim de produzir um caminho de baixa relutância para o fluxo gerado. Geralmente o núcleo de aço dos transformadores é laminado para reduzir a indução de correntes parasitas ou de correntes de Foucault no próprio núcleo, já que essas correntes contribuem para o surgimento de perdas por aquecimento devido ao efeito Joule. Em geral se utiliza aço-silício com o intuito de se aumentar a resistividade e diminuir ainda mais essas correntes parasitas.

Há uma variedade de transformadores com diferentes tipos de circuito, mas todos operam sobre o mesmo princípio de indução eletromagnética. Os transformadores mais generalizados são o monofásico e o trifásico. No transformador monofásico existe um núcleo de ferro em torno do qual estão montadas duas bobinas, uma para receber a tensão (o primário) e outra para fornecer a tensão (o secundário). O transformador trifásico funciona de forma similar ao monofásico, mas tem três bobinas no primário e três no secundário. Em alguns casos, cada bobina do secundário está dividida em duas.



Figura 54: Transformadores monofásicos.

Existe também um tipo de transformador denominado autotransformador, no qual o enrolamento secundário possui uma conexão elétrica com o enrolamento do primário. A principal vantagem dos autotransformadores é serem menos volumosos, mais eficientes e terem melhor regulação. Entretanto sua desvantagem é de não apresentarem isolamento elétrico entre o primário e o secundário.

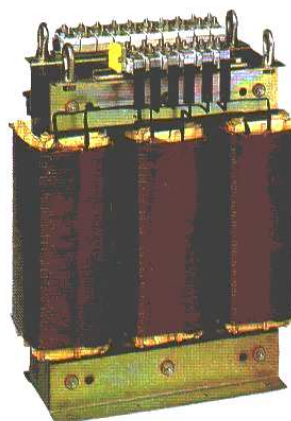


Figura 55: Transformador trifásico.

O transformador tem inúmeras aplicações e existem transformadores para muitas potências e tensões. Os transformadores de potência são utilizados no transporte e distribuição de energia elétrica, subindo os valores no início do transporte e diminuindo estes valores próximo dos utilizadores. Ainda na central de produção e antes de iniciar o transporte, realiza-se primeiramente a transformação da tensão e das correntes operando com altos valores de potência, de forma a elevar o valor da tensão e conseqüentemente reduzir o valor da corrente. Este procedimento, que reduz os valores das correntes, permite reduzir as perdas por efeito Joule e a queda de tensão nos condutores ao longo do caminho, além de possibilitar o uso de fios condutores de bitolas menores e, portanto, menos pesados e menos custosos para a transmissão de energia. Ao se aproximar dos centros consumidores o valor da tensão é gradativamente reduzido para o atendimento da população.

Outras aplicações típicas dos transformadores são a sua utilização na maioria das aparelhagens domésticas e industriais, em que é preciso alterar o valor da tensão da rede de alimentação para adaptá-lo aos valores nos quais os aparelhos funcionam.

### 7.3.1 Funcionamento básico do transformador ideal

Considere um transformador monofásico conforme mostrado na Figura 56. Normalmente os dois enrolamentos (primário e secundário) são colocados juntos, abraçando o mesmo fluxo. Entretanto, para maior clareza, representa-se na figura os enrolamentos separados.

Uma tensão variável aplicada à bobina de entrada (primário) provoca o fluxo de uma corrente variável, criando assim um fluxo magnético variável no núcleo. Este fluxo magnético

variável, por sua vez, induz uma tensão variável na bobina de saída (ou secundário). Não existe conexão elétrica entre a entrada e a saída do transformador e embora o fluxo magnético seja o mesmo para o primário e o secundário, as tensões em cada um destes enrolamentos são diferentes devido às diferenças entre o número de espiras de cada lado.

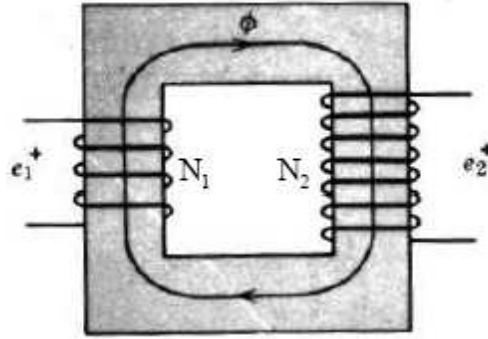


Figura 56: Transformador ideal.

Considerando o transformador ideal e sendo o fluxo total  $\Phi$  o mesmo em ambas as bobinas, além de se desprezarem os fluxos dispersos, as tensões ou f.e.m.'s,  $e_1$  e  $e_2$ , induzidas nessas bobinas escrevem-se como:

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (7.1)$$

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (7.2)$$

Dividindo-se  $v_1$  por  $v_2$  chega-se à relação de tensões entre primário e secundário.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (7.3)$$

Esta relação é denominada relação de espiras ou relação de transformação. Esta é a primeira propriedade do transformador que é a de transferir ou refletir as tensões de um lado para outro segundo uma constante  $\frac{N_1}{N_2}$ .

Convencionando-se  $N_1$  como a espira acoplada ao primário tem-se: para  $N_1 > N_2$  um abaixador de tensão e para  $N_1 < N_2$  um elevador de tensão.