

ELETROTÉCNICA



Rodrigo Rodrigues



S719e Souza, Diogo Braga da Costa.

Eletrotécnica [recurso eletrônico] / Diogo Braga da Costa Souza, Rodrigo Rodrigues. – Porto Alegre : SAGAH, 2017.

Editedo como livro em 2017.
ISBN 978-85-9502-055-9

1. Eletrotécnica. 2. Engenharia elétrica. I. Rodrigues, Rodrigo. II. Título.

CDU 621.3

Catalogação na publicação: Poliana Sanchez de Araujo – CRB 10/2094

Transformadores

Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Relacionar as características de operação de transformadores.
- Escrever as relações de espiras, de tensão e de corrente de um transformador.
- Diferenciar os tipos e as aplicações de transformadores elétricos.

Introdução

Neste capítulo, você vai estudar as relações de tensão, corrente e potência dos transformadores em eletrotécnica. Você vai aprender mais sobre as características de operação dos transformadores, as perdas, as especificações e a importância dos transformadores nas redes de distribuição de energia.

Operação do transformador

Um transformador é um dispositivo estático (sem partes móveis) utilizado para transferir energia de um circuito CA para outro, o que pode envolver um aumento ou uma diminuição da tensão, permanecendo a mesma frequência em ambos os circuitos. Quando a transformação é realizada com um aumento da tensão, estamos diante de um **transformador elevador**. Quando a tensão é reduzida, estamos diante de um **transformador abaixador**. Essa mudança na tensão CA é feita com perdas muito baixas de potência.

Com os transformadores, é possível gerar energia em um nível de tensão conveniente, e logo elevar essa tensão para níveis bastante elevados, adequados à transmissão a longas distâncias. Em seguida, é possível abaixar novamente essa tensão para realizar a sua distribuição de forma prática e segura.

Um transformador básico (Figura 1) é constituído por duas bobinas enroladas (enrolamentos) em torno de um núcleo de ferro e ligadas entre si por meio do fluxo magnético. A corrente variável associada à energia CA é

necessária para produzir um fluxo magnético variável (no tempo) no núcleo de ferro, de modo que a energia elétrica de um enrolamento é induzida no outro. O enrolamento primário é o que recebe a energia da alimentação, e o secundário é o que fornece energia para a carga. Ao aplicar uma tensão CA sobre o enrolamento primário, o fluxo de corrente resultante estabelece um campo magnético que varia constantemente. À medida que esse campo aumenta e diminui (segundo as variações da corrente CA), ele induz uma tensão CA no enrolamento secundário, com a mesma frequência da tensão CA aplicada no primário.

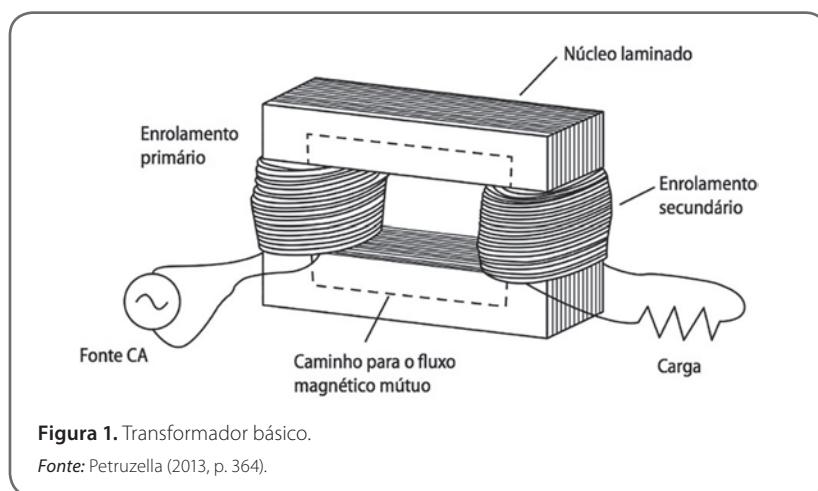


Figura 1. Transformador básico.

Fonte: Petruzella (2013, p. 364).

Segundo Petruzella (2013), o princípio de operação de um transformador tem como base a indução mútua. Ela ocorre quando o campo magnético, associado a um condutor, enlaça um segundo condutor e induz nele uma tensão. Ao agrupar os condutores na forma de bobinas e enrolá-los em um núcleo magnético comum, esse efeito é intensificado. Quando o enrolamento primário de um transformador está conectado a uma tensão alternada, haverá uma corrente no enrolamento primário chamada **corrente de excitação**, que estabelece um fluxo magnético alternado que enlaça as espiras e induz uma tensão em ambos os enrolamentos. A tensão autoinduzida no enrolamento primário é uma força contraeletromotriz, oposta em polaridade e quase igual em módulo à tensão aplicada, o que limita a corrente de excitação a um valor

relativamente baixo. A corrente de excitação primária está atrasada da tensão aplicada de aproximadamente 90°, porque o enrolamento é essencialmente indutivo e tem um baixo valor de resistência.

A indutância mútua resulta na tensão induzida no enrolamento secundário. Como um transformador de potência típico tem um fluxo enlaçado de praticamente 100% (ou seja, quase todo o fluxo é confinado ao núcleo magnético; poucas linhas de fluxo são dispersas para o meio no entorno do núcleo), basicamente a mesma tensão é induzida em cada espira do enrolamento secundário. Assim, a tensão induzida total será diretamente proporcional ao número de espiras dos enrolamentos primário e secundário (Figura 2).

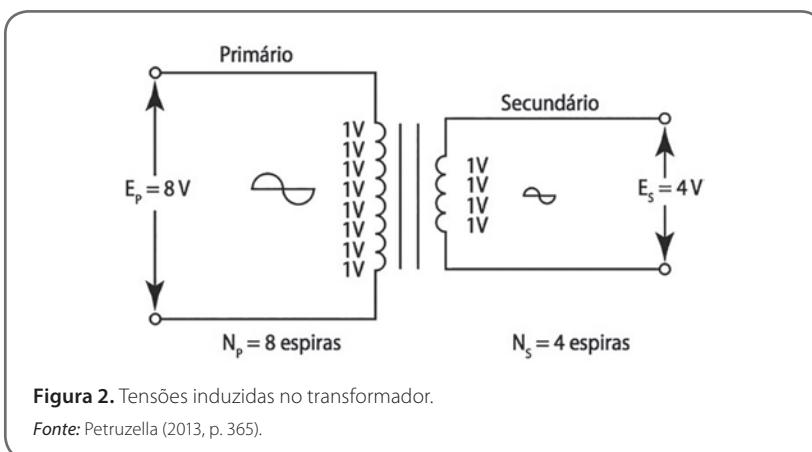
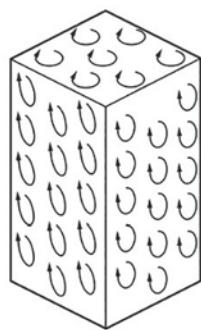


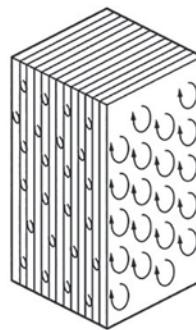
Figura 2. Tensões induzidas no transformador.

Fonte: Petruzella (2013, p. 365).

Os enrolamentos dos transformadores são envolvidos em núcleos feitos com pilhas, ou lâminas de chapas de aço. O núcleo garante uma boa “ligação magnética” entre os enrolamentos primário e secundário. Correntes parasitas são geradas pela corrente alternada que induz uma tensão no núcleo do próprio transformador. Como o núcleo de ferro é um condutor, a tensão nele induzida produz uma corrente. Laminando o núcleo, os caminhos para a circulação dessas correntes parasitas são bastante reduzidos, daí diminuindo as perdas de potência e o aquecimento do núcleo. As correntes parasitas são impedidas de fluir de uma lâmina para a outra por meio de uma camada fina de material isolante sobre as superfícies planas das lâminas (veja a Figura 3).



Correntes parasitas em um núcleo sólido

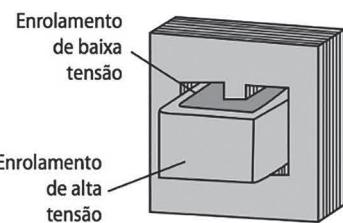


A laminação reduz o caminho para a circulação de correntes parasitas

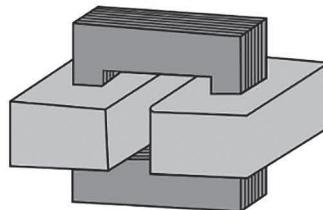
Figura 3. Correntes parasitas no núcleo de um transformador.

Fonte: Petruzella (2013, p. 366).

As correntes parasitas em um núcleo laminado são muito pequenas e representam a perda de energia dissipada na forma de calor no núcleo. O núcleo envolvente e o núcleo envolvido são as duas configurações gerais de núcleo e enrolamento (veja a Figura 4).



Transformador de núcleo envolvente



Transformador de núcleo envolvido

Figura 4. Configurações de núcleo e enrolamento de transformadores.

Fonte: Petruzella (2013, p. 366).

Em geral, os transformadores menores são do tipo núcleo envolvente. O núcleo envolve os enrolamentos, com o enrolamento de baixa tensão sendo colocado mais próximo do núcleo, e o de alta tensão sendo enrolado por

cima dele. Na configuração de transformador do tipo núcleo envolvido, os enrolamentos envolvem o núcleo e ambos os enrolamentos, primário e secundário, são colocados em cada perna do núcleo. Os transformadores de núcleo envolvido, por serem mais fáceis de isolar e refrigerar, são muito utilizados em transformadores de alta tensão maiores.

Relações de tensão, corrente e potência

Os transformadores, além de elevar e abaixar a tensão, ainda permitem que a tensão permaneça a mesma entre os enrolamentos primário e secundário, sem uma grande perda de potência. A potência de saída do transformador é igual à potência de entrada do transformador menos as perdas internas, e é igual ao produto da tensão pela corrente. Especificamos os transformadores em kVA nominal (em vez de kW), porque essa potência nominal independe do fator de potência. Atente para a relação de espiras dos enrolamentos primário e secundário de um transformador, pois é ela que vai estabelecer o fator pelo qual a tensão será elevada ou abaixada. Muitas vezes essa relação de espiras é denominada relação de transformação de um transformador e é assim definida (PETRUZELLA, 2013):

$$\text{Relação de espiras} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\text{Relação de espiras} = \text{Relação de tensão} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{E_p}{E_s}$$

Em que:

N_p é o número de espiras do enrolamento primário.

N_s é o número de espiras do enrolamento secundário.

E_p é a tensão no primário.

E_s é a tensão no secundário.

Podemos calcular qualquer um dos valores, desde que os outros três sejam conhecidos, simplesmente rearranjando a fórmula. A tensão aumenta ou abaixa por meio do transformador de forma proporcional à relação de espiras. Por exemplo, se o número de espiras do secundário for o dobro do número de espiras do primário, a tensão no secundário será duas vezes a tensão no primário. Do mesmo modo, se o número de espiras do primário for o dobro do número de espiras do secundário, a tensão no secundário será a metade da tensão no primário. Em um transformador elevador, a tensão de saída no enrolamento secundário é maior do que a tensão de entrada no enrolamento primário. Esse tipo de transformador tem mais espiras no enrolamento secundário do que no

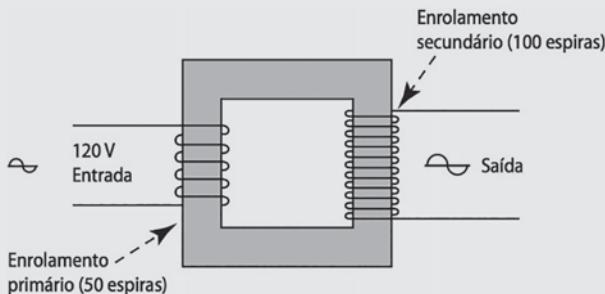
enrolamento primário. A relação entrada-saída de tensão do transformador é definida pela relação de espiras do primário para o secundário.



Exemplo

O transformador elevador (mostrado na figura abaixo) tem 50 espiras no enrolamento primário e 100 espiras no enrolamento secundário. Vamos determinar:

- a relação de espiras;
- a tensão no enrolamento secundário se a tensão no primário é 120V.



Fonte: Petruzella (2013, p. 367).

Solução:

$$(a) \text{ Relação de espiras} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{50}{100} = \frac{1}{2} \text{ ou } 1 : 2$$

Indicando a existência de uma espira no enrolamento primário para cada duas espiras no enrolamento secundário.

(b) Uma vez que a relação de espiras é 1:2, E_p é elevada por um fator de 2, igualando E_s a 240 V (2×120). Ou:

$$\begin{aligned} E_s &= E_p \times \frac{N_s}{N_p} \\ &= 120 \times \frac{100}{50} \\ &= 240 \text{ V} \end{aligned}$$

Já no transformador abaixador a tensão de saída no enrolamento secundário é menor do que a tensão de entrada no enrolamento primário. Esse tipo de transformador tem menos espiras no enrolamento secundário do que no enrolamento primário. Novamente, é a relação de espiras do primário para o secundário que estipula a relação entrada-saída de tensão do transformador.

Para atender às exigências de sua saída ou da corrente de carga, o transformador ajusta automaticamente sua corrente de entrada. Quando não há carga ligada ao seu enrolamento secundário, não flui corrente no primário, com exceção da corrente de excitação. A corrente de excitação (ou corrente de magnetização) é necessária para criar o fluxo no núcleo. Seu valor é determinado, principalmente, pela reatância indutiva do enrolamento primário, que pode ser bastante elevada e, ainda assim, não absorver muita potência ativa, porque a tensão e a corrente estão muito defasadas entre si (praticamente de 90°).

Ao energizar um transformador pela primeira vez, flui uma corrente de energização ou de partida transitória. O valor dessa corrente é tão elevado que pode ser até 15 vezes maior do que a corrente nominal, dependendo do estado magnético do núcleo e do ponto da forma de onda de tensão no qual o transformador é energizado. Essa corrente decai exponencialmente ao longo de vários ciclos até tender para o fluxo normal da corrente de magnetização. As características de operação se alteram quando uma carga é ligada por meio do secundário de um transformador. Veja a seguir uma breve descrição da série de eventos (PETRUZELLA, 2013):

- A tensão induzida no enrolamento secundário gera uma corrente de carga que flui por meio da carga e do enrolamento secundário.
- A corrente de carga fluindo por meio do enrolamento secundário cria um fluxo magnético no núcleo, que se opõe ao fluxo produzido pela corrente de magnetização no enrolamento primário (lei de Lenz).
- A f_{cem} (força contraeletromotriz) do primário, portanto, diminui, de modo que a corrente no primário se eleva (para compensar essa redução).
- O aumento da corrente primária corresponde ao necessário para fortalecer o campo magnético do enrolamento primário e superar os efeitos do fluxo magnético oposto do enrolamento secundário. Se o circuito do secundário do transformador torna-se um curto-círcuito, a corrente elevada resultante origina uma grande oposição ao fluxo do enrolamento primário. Assim, a f_{cem} do primário cai muito, e há um grande aumento da corrente primária. Isso explica por que um fusível ou um disjuntor conectado em série com o enrolamento primário protege tanto o circuito primário quanto o secundário contra correntes excessivas. Quanto ao primário, uma carga conectada por meio do enrolamento secundário do transformador parece ter uma resistência que não é necessariamente igual à resistência real da carga. A carga real se “reflete” para o primário de acordo com a relação de espiras. Essa carga refletida é o que a fonte de fato enxerga e acaba determinando o valor da corrente

no primário. A corrente nos dois enrolamentos segue uma proporção inversa à relação de tensão e/ou de espiras. Ou seja, o enrolamento com o valor mais elevado de tensão terá a corrente mais baixa – expresso em forma de equação, temos:

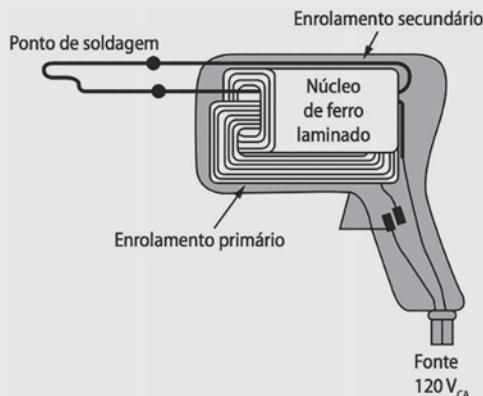
$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p}$$



Exemplo

O transformador abaixador da pistola de solda (mostrado na figura a seguir) tem uma relação de espiras de 200:1 e uma corrente de aquecimento no secundário de 400 A.

Determine: (a) o valor da corrente no primário; (b) o valor da tensão no secundário se o primário é alimentado por uma fonte CA de 120V.



Fonte: Petruzella (2013, p. 370).

(a) Uma vez que a relação de espiras é 200:1, a corrente no primário será reduzida por um fator de 200, igualando I_p a 2 A ($400 \div 200$). Ou:

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{N_s}{N_p} \times I_s \\ &= \frac{1}{200} \times 400 \\ &= 2 \text{ A} \end{aligned}$$

(b) Uma vez que a relação de espiras é 200:1, a tensão no secundário (E_s) é abaixada por um fator de 200, igualando E_s a 0,6 V ($120 \div 200$).

A relação de espiras não influencia a potência ou os volt-ampères (VA) nos enrolamentos. A potência nominal de um transformador é igual ao produto da tensão nominal pela corrente nominal. No entanto, não expressamos o resultado em watts, pois nem todas as cargas são puramente resistivas. Assim, dependendo do tamanho do transformador, especificamos sua potência nominal em volt-ampères (VA) ou quilovolt-ampères (kVA). Apenas a resistência consome potência em watts, mas, na prática, o aumento de temperatura de um transformador está diretamente relacionado à potência aparente que atravessa os seus enrolamentos. Ou seja, um transformador de 250 kVA vai ficar tão quente alimentando uma carga indutiva de 250 kVA como ficaria alimentando uma carga resistiva de 250 kVA. Pressupondo perdas nulas para o transformador, a potência no secundário é igual à potência no primário: $EP \times IP = ES \times IS$.

Alguns transformadores são fabricados com derivações (taps) no enrolamento para permitir o ajuste da tensão do transformador para a tensão de entrada ou saída correta, ou a seleção de várias tensões para diversas aplicações. Veja na Figura 5 um enrolamento secundário com três terminais para a conexão da carga. Em operação normal, a chave conecta o terminal B à carga. Com essa conexão, suponha que a relação de espiras é 1:10. Se necessário, a chave pode conectar a derivação A à carga, mas isso vai mudar a relação de espiras, afinal, temos menos espiras no secundário para o mesmo número de espiras no primário e, com isso, a tensão é reduzida no secundário. Do mesmo modo, se a derivação C for conectada à carga, a relação de tensão se alterará, afinal, vamos ter mais espiras no secundário para o mesmo número de espiras no primário e, portanto, a tensão será aumentada no secundário.

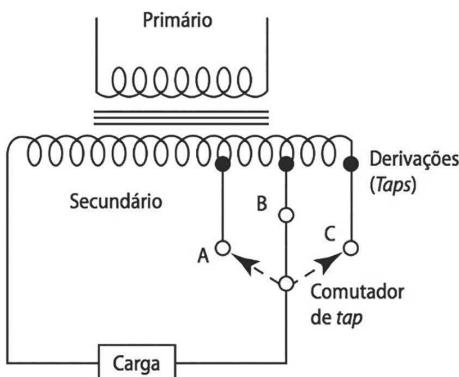


Figura 5. Transformador com derivações (*taps*) no secundário.

Fonte: Petruzella (2013, p. 373).

A maioria dos transformadores de pequeno e médio porte possui comutadores de derivação (tap) que operam apenas na condição sem carga. Ou seja, a alimentação precisa ser desligada e as derivações alteradas no transformador quando ele estiver desenergizado. Em transformadores de grande porte, ou em unidades especialmente projetadas, a mudança de derivação (tap) é feita automaticamente. Esse método, além de ser um tanto caro, normalmente não é empregado em transformadores de potência igual a 1000 kVA ou inferior.

Em um transformador de dois enrolamentos, os enrolamentos primário e secundário são isolados eletricamente um do outro. Por isso, toda a transferência de energia por meio do transformador é feita por ação transformadora. Os transformadores de isolação especiais em geral são empregados para fornecer correção de tensão pelas derivações do primário, para estabelecer um terra isolado no lado secundário, e para isolar eletricamente as linhas de energia de entrada das cargas conectadas no secundário. A isolação do primário para o secundário em um transformador de isolação auxilia na redução dos transitórios e dos ruídos de alta frequência à medida que eles tentam passar pelo transformador.

Veja na Figura 6 a aplicação de um transformador de isolação para instalar um terra flutuante isolado em uma peça de equipamento eletrônico. Essa configuração às vezes é utilizada em equipamentos eletrônicos para isolar os circuitos primário e secundário, sem mudar a corrente e a tensão

nominais. A relação de espiras do transformador é 1:1, sinalizando que não haverá mudança na tensão ou na corrente entre o primário e o secundário. Para isolar a carga da fonte de tensão, empregamos um transformador de isolamento, para que não haja a possibilidade de que o chassi porventura fique energizado devido a uma colocação inadequada da tomada.

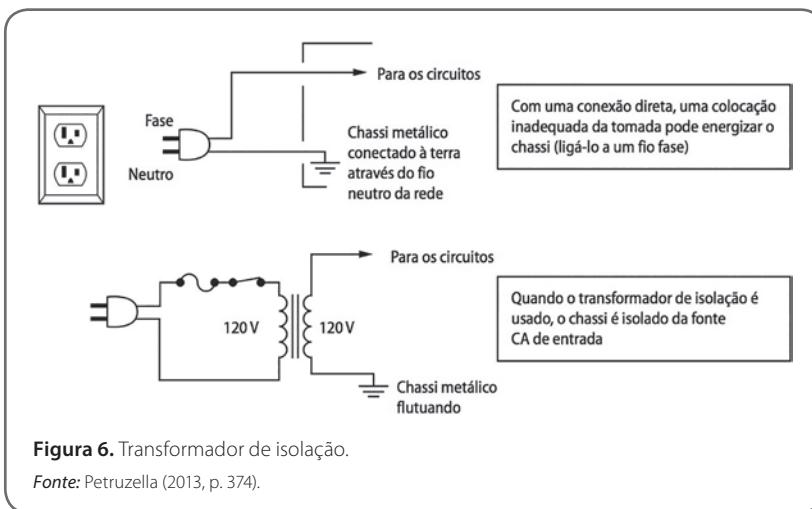


Figura 6. Transformador de isolamento.

Fonte: Petruzella (2013, p. 374).

Já os autotransformadores têm os seus enrolamentos primário e secundário ligados eletricamente um ao outro. Entre as vantagens dos autotransformadores estão o tamanho menor e o custo mais em conta. Entre as suas desvantagens está o fato de os enrolamentos do primário e do secundário estarem ligados entre si e as suas relações de tensão serem baixas. Com os dois enrolamentos ligados juntos, o enrolamento de baixa tensão fica sujeito a uma alta tensão no caso de ruptura da isolamento. Você precisa considerar essas questões de segurança quando for tomar a decisão de usar um autotransformador para uma determinada aplicação. Veja na Figura 7 um autotransformador com uma relação de tensão de 2:1. O enrolamento primário, entre L1 e L2, é alimentado com 120 V. Os terminais são marcados com as tensões obtidas a partir deles, para ambas as conexões elevadoras e abaixadoras.

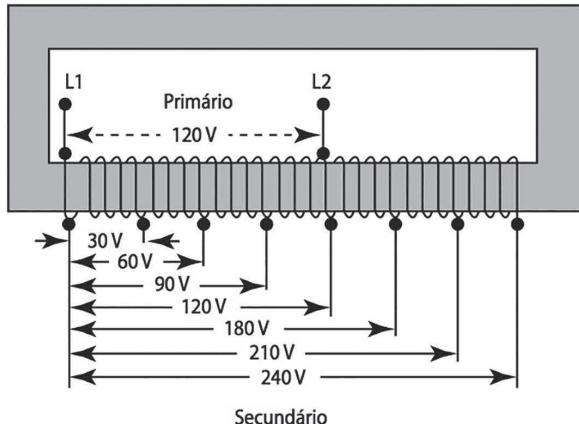


Figura 7. Autotransformador.

Fonte: Petruzella (2013, p. 374).

Perdas e eficiência de um transformador

De acordo com Gussow (2009), os transformadores reais apresentam perdas no cobre e perdas no núcleo. A **perda no cobre** é representada pela potência perdida nos enrolamentos do primário e do secundário devido à resistência ôhmica dos enrolamentos. A perda no cobre é dada em watts e é calculada por meio da fórmula:

$$\text{Perda no cobre} = I_p^2 PRP + I_s^2 SRS$$

Em que

I_p = corrente do primário (em A)

I_s = corrente do secundário (em A)

R_p = resistência do enrolamento do primário (em Ω)

R_s = resistência do enrolamento do secundário (em Ω)

As perdas no núcleo são ocasionadas por dois fatores: as perdas por histerese e as perdas por correntes parasitas. A perda por histerese ocorre quando a energia é perdida pela inversão do campo magnético no núcleo à medida que a corrente alternada de magnetização aumenta e diminui e muda de sentido. Já a perda por correntes parasitas ou correntes de Foucault é resultado das correntes induzidas que circulam no material do núcleo.

A perda no cobre dos dois enrolamentos é medida por meio de um wattímetro, que é inserido no circuito do primário do transformador enquanto o secundário

é curto-circuitado. A tensão aplicada ao primário é então aumentada até que a corrente especificada para a carga máxima flua pelo secundário em curto-círcuito. Neste ponto, o wattímetro indicará a perda total no cobre. A perda no núcleo também é verificada por meio de um wattímetro colocado no circuito do primário, aplicando-se a tensão especificada ao primário, com o circuito secundário aberto. A eficiência de um transformador real é expressa da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Ef} &= \frac{\text{potência de saída}}{\text{potência de entrada}} = \frac{P_s}{P_p} \\ &= \frac{\text{potência de saída}}{\text{potência+perda no cobre+perda do núcleo}} \\ \text{Ef} &= \frac{V_s I_s \times FP}{(V_s I_s \times FP) + \text{perda no cobre} + \text{perda no núcleo}} \end{aligned}$$



Exemplo

Um transformador abaixador de 10:1 de 5 kVA tem uma especificação para a corrente do secundário com carga máxima de 50 A. Em um teste de curto-círcuito, para determinar a perda no cobre com carga máxima, ele apresenta uma leitura no wattímetro de 100 W. Se a resistência do enrolamento do primário for de $0,6\Omega$, calculamos a resistência do enrolamento do secundário e a perda de potência no secundário da seguinte forma:

$$\text{Perda no cobre} = P_{PRP} + P_{SRS}$$

Para calcular I_p com carga máxima, utilizamos a seguinte equação:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

a partir do que

$$I_p = \frac{N_s}{N_p} I_s = \frac{1}{10} 50 = 5 A$$

Agora vamos determinar o valor de R_s , a partir da equação para a perda no cobre dada anteriormente.

$$\begin{aligned} I_s^2 R_s &= 100 - I_p^2 R_p \\ \frac{100 - I_p^2 R_p}{I_s^2} &= \frac{100 - 5^2 (0,6)}{50^2} = 0,034 \Omega \end{aligned}$$

Perda de potência no secundário = $P_s R_s = 502 (0,034) = 85W$ ou perda de potência no secundário = $100 - P_s R_s = 100 - 5^2 (0,6) = 85W$

Especificações dos transformadores

Preste atenção: a instalação de um transformador com uma tensão, corrente ou potência nominal incorreta pode causar danos ou ferimentos graves. Para utilizar um transformador em um determinado circuito, você precisa levar em consideração as especificações de tensão, corrente e potência nos enrolamentos primário e secundário do transformador, pois elas representam o ponto médio dos respectivos valores máximo e mínimo. Determinamos a tensão máxima que pode ser aplicada com segurança a qualquer enrolamento pelo tipo e pela espessura do isolamento utilizado. Se a isolação usada entre os enrolamentos for de melhor qualidade, podemos aplicar uma tensão maior aos enrolamentos. Estabelecemos a corrente máxima que pode circular pelo enrolamento de um transformador pela seção do fio usado no enrolamento. Se a corrente é excessiva em um enrolamento, uma quantidade de potência maior do que a normal será dissipada no enrolamento na forma de calor. É possível que esse calor seja suficientemente elevado para provocar a ruptura do isolamento em torno do fio. Por isso, para manter a temperatura do transformador em um nível aceitável, é necessário definir limites, tanto para a tensão aplicada como para a corrente absorvida pela carga. A especificação dos transformadores é em volt-ampères (VA) ou quilovolts-ampères (kVA). Isso significa que o enrolamento primário e o enrolamento secundário são projetados para suportar a potência aparente (em VA ou kVA) indicada na placa de identificação do transformador. Geralmente não são dadas as correntes à plena carga do primário e do secundário, mas podemos calculá-las a partir da potência nominal (VA ou kVA) conforme a seguir:

Monofásico: Corrente a plena carga = $\frac{VA}{Tensão}$
Corrente a plena carga = $\frac{kVA \cdot 1000}{Tensão}$

Trifásico: Corrente a plena carga = $\frac{kVA \cdot 1000}{1,73 \cdot Tensão}$



Exemplo

Considere um transformador monofásico com uma tensão no primário de 480 V e uma tensão no secundário de 120 V. Supondo que o transformador possui potência nominal de 25 kVA, vamos determinar:

- a corrente à plena carga do primário;
- a corrente à plena carga do secundário.

Solução:

$$\begin{aligned} \text{(a) Corrente a plena carga do primário} &= \frac{\text{kVA} \cdot 1000}{\text{Tensão}} \\ &= \frac{25 \cdot 1000}{480} \\ &= 52 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) Corrente a plena carga do secundário} &= \frac{\text{kVA} \cdot 1000}{\text{Tensão}} \\ &= \frac{25 \cdot 1000}{120} \\ &= 208 \text{ A} \end{aligned}$$

Veja na Figura 10 uma típica placa de identificação de transformador. Suas informações são normalizadas (normas da ABNT) e representam um resumo das características do equipamento. Algumas das principais informações que devem constar na placa são:

- Nome do fabricante
- Potência nominal em kVA
- Frequência nominal
- Impedância de curto-círcuito em porcentagem
- Tipo de óleo isolante e volume necessário, em litros
- Designação do método de resfriamento
- Diagrama de ligações, contendo todas as tensões nominais e de derivações (com identificação das derivações)
- Limite de elevação de temperatura dos enrolamentos

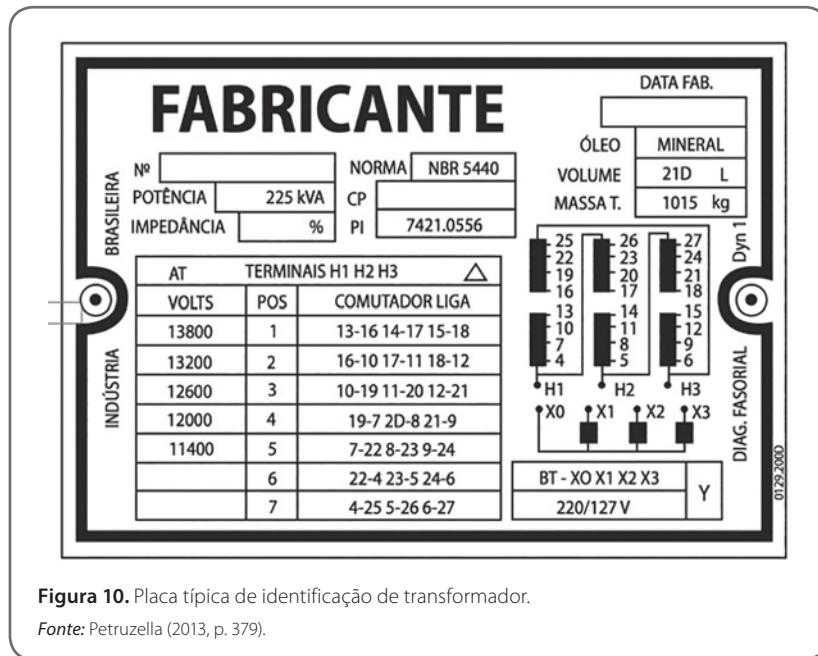


Figura 10. Placa típica de identificação de transformador.

Fonte: Petruzella (2013, p. 379).

Conforme Petruzella (2013), a principal causa de falhas nos transformadores é a elevação excessiva da temperatura. O calor gerado na operação do transformador eleva a temperatura nas estruturas internas do transformador. Os transformadores mais eficientes costumam ter um aumento menor da temperatura. A elevação da temperatura do transformador é definida como o aumento médio da temperatura dos enrolamentos acima da temperatura ambiente, quando o transformador está carregado com a sua potência nominal especificada na placa de identificação. Esse valor em geral tem como base uma temperatura ambiente de 40°C.

Uma refrigeração adequada deve ser garantida a fim de evitar a deterioração dos materiais de isolamento dentro de um transformador e permitir a sua expectativa de vida longa. Os transformadores são resfriados utilizando ar, água, óleo ou convecção natural ou forçada. Basicamente, temos dois tipos de transformadores: a seco e a óleo (Figura 11).

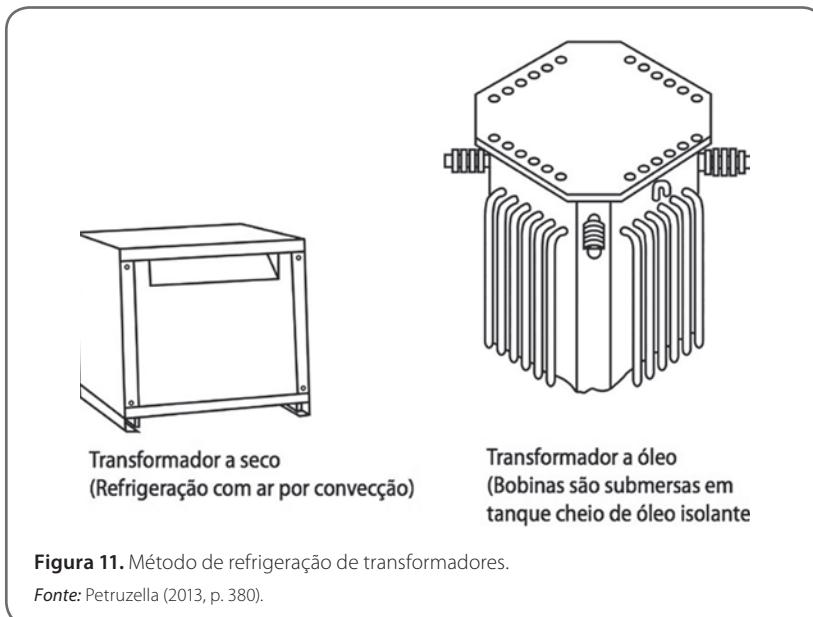


Figura 11. Método de refrigeração de transformadores.

Fonte: Petruzella (2013, p. 380).

Para seu pleno funcionamento, os transformadores a seco precisam da circulação de ar sobre ou através do seu invólucro. Os transformadores a óleo têm os enrolamentos e o núcleo do transformador submersos em um líquido isolante, normalmente um óleo mineral ou sintético para fins de refrigeração. Segundo as normas, os transformadores têm de ser instalados de modo que as aberturas projetadas para fins de resfriamento não sejam bloqueadas ou obstruídas. Além disso, é obrigatório marcar os transformadores com uma distância mínima da parede ou de outras obstruções para facilitar a dissipação de calor. Veja agora os métodos mais utilizados para remover o calor provocado por perdas no núcleo e perdas no cobre:

- Disponibilizar um fluxo normal de ar em volta do invólucro do transformador.
- Instalar tubos ou aletas adicionais na montagem do invólucro para aumentar a área da superfície de resfriamento.
- Utilizar furos de ventilação para transformadores refrigerados a ar.
- Fazer a circulação forçada de ar (ventiladores).
- Utilizar enrolamentos e núcleo submersos em um líquido isolante, tal como um óleo mineral ou um fluido sintético.

- Disponibilizar circulação natural de óleo com refrigeração à água.
- Oferecer circulação forçada de óleo por meio de um trocador de calor.

Definimos como **impedância** de um transformador as suas características de limitação de corrente. Normalmente expressamos a impedância como uma porcentagem, que é a tensão nominal primária normal a ser aplicada ao transformador para provocar a circulação da corrente nominal no secundário curto-circuitado.



Saiba mais

Assim como outros dispositivos eletromagnéticos, os transformadores produzem um “zumbido” quando energizados. Esse zumbido ocorre devido às vibrações geradas no interior da estrutura do núcleo de aço laminado.

O desenvolvimento de equipamentos elétricos e eletrônicos tem como base a operação com tensão de alimentação padrão. Quando a tensão está muito baixa ou muito alta (em geral mais do que $\pm 5\%$), de modo constante, o equipamento não terá eficiência máxima no seu funcionamento. Os seguintes tópicos vão guiá-lo na seleção de um transformador para cumprir os requisitos de uma instalação específica (PETRUZELLA, 2013):

- A tensão de alimentação nominal corresponde à tensão nominal do enrolamento primário do transformador.
- A tensão do secundário do transformador condiz com as exigências de tensão da carga.
- A potência (VA ou kVA) nominal do transformador é igual ou maior do que a potência exigida pela carga que será alimentada por ele.

Transformadores trifásicos versus monofásicos

Utilizar um único transformador trifásico, em vez de três transformadores monofásicos, traz as seguintes vantagens. A primeira delas é a operação mais eficiente de um transformador trifásico em comparação às três unidades monofásicas necessárias para o seu lugar. A segunda é a maior facilidade de instalação e a menor complexidade em termos de disposição da estrutura de barramento, dos comutadores e da fiação para um transformador trifásico em comparação a um banco de transformadores constituído por três transformadores monofásicos. A terceira vantagem é que os transformadores trifásicos pesam menos e exigem menos espaço em relação às três unidades monofásicas. E, por fim, em termos de custos, um único transformador trifásico é mais barato, porque menos material de núcleo é necessário para a potência nominal (kVA nominal), o que equivale a três unidades monofásicas.

Sistemas de distribuição

A existência de um sistema de energia CA depende da disponibilidade de transformadores. Sem eles, o sistema de energia não poderia operar. De um modo mais amplo, o sistema de distribuição de energia elétrica refere-se à forma como a energia elétrica é transmitida dos geradores para os diversos pontos de utilização. Ou seja, o sistema de distribuição diz respeito às redes e aos circuitos pelos quais a energia passa ao longo das ruas das cidades ou das estradas rurais em direção ao consumidor final.

A transmissão de energia na tensão de utilização é conhecida como distribuição secundária. O sistema de linhas e circuitos alimentando o sistema de distribuição secundário é o sistema de distribuição primário ou principal. O elo entre o sistema de distribuição primário e o secundário é o “transformador de distribuição”: ele permite aumentar a tensão alternada e reduzir a corrente e as perdas. Sem os transformadores, a ampla transmissão e distribuição de energia elétrica não seria possível.



Exercícios

- 1.** Os transformadores elétricos são utilizados para:

 - a)** Converter CC em CA.
 - b)** Aumentar ou diminuir a tensão CC.
 - c)** Aumentar ou diminuir a tensão CA.
 - d)** Converter o nível de tensão CC
 - e)** Nenhuma das alternativas anteriores.
- 2.** Autotransformador é um tipo de transformador que:

 - a)** Tem um só enrolamento e tomadas (*taps*) de derivação.
 - b)** É um adaptador de impedâncias.
 - c)** Tem primário e secundário separados.
 - d)** Tem relação de espiras definida.
 - e)** É um isolador de tensões.
- 3.** Para uso em linhas de transmissão de energia elétrica, por que são usados transformadores?

 - a)** Permitem tensões menores.
 - b)** Permitem maior segurança contra-choques elétricos.
 - c)** Permitem transformar CA em CC.
 - d)** Permitem maior velocidade de envio.
 - e)** Permitem aumentar a tensão alternada e reduzir a corrente e as perdas.
- 4.** Na construção de um transformador, o que permite aumentar ou diminuir a tensão?

 - a)** Tamanho do secundário.
 - b)** Relação de espiras do primário ou secundário.
 - c)** Número de fases do transformador.
 - d)** Bitola dos fios do primário e secundário.
 - e)** Nenhuma das alternativas anteriores.
- 5.** Por que temos transformadores trifásicos nas redes?

 - I. Transformadores trifásicos têm melhor rendimento.
 - II. Os motores industriais e as cargas na sua maioria são trifásicos, melhor rendimento.
 - III. Rede trifásica tem menor fiação e maior rendimento.
 - a)** Somente a I.
 - b)** Somente a II.
 - c)** Somente a III.
 - d)** Todas as alternativas estão corretas.
 - e)** Nenhuma das alternativas anteriores.

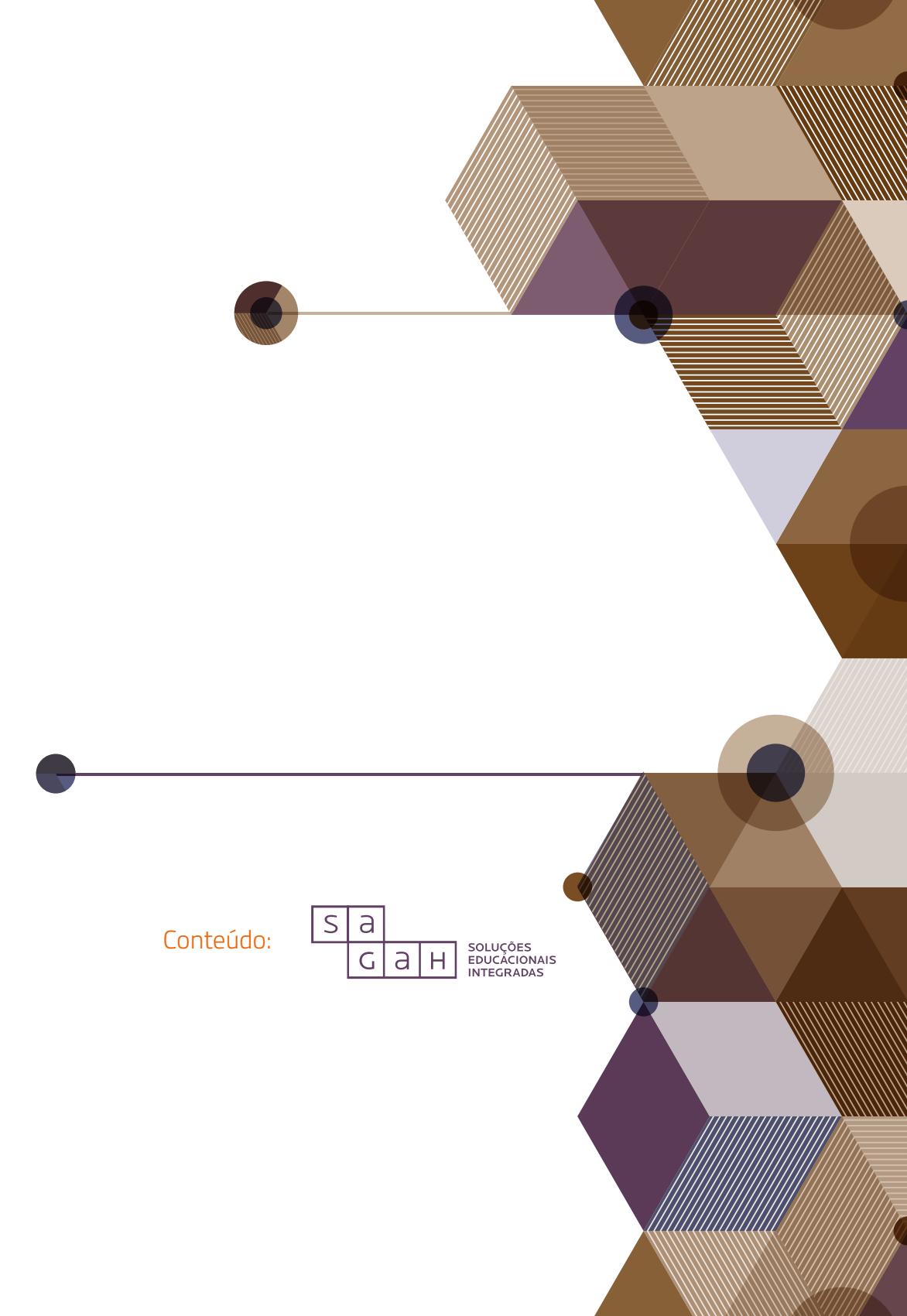


Referências

GUSSOW, M. *EletRICIDADE bÁSICA*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. (Coleção Schaum).

PETRUZELLA, F. D. *Eletrotécnica II*. Porto Alegre: AMGH, 2013. (Série Tekne).

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.



Conteúdo:



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS