

CAPÍTULO 8

TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

8.1 CONCEITO

O transformador, representado esquematicamente na Figura 8.1, é um aparelho estático que transporta energia elétrica, por indução eletromagnética, do primário (entrada) para o secundário (saída). Os valores da tensão e da corrente são alterados, porém, a potência, no caso do transformador ideal¹, e a frequência se mantêm inalterados.

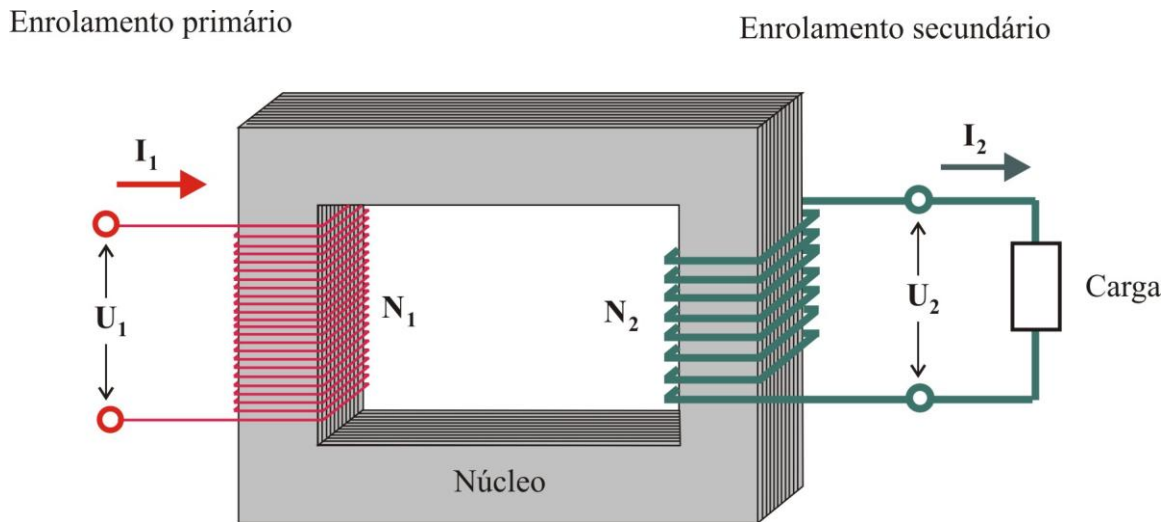


Figura 8.1 – Representação esquemática de um transformador.

As principais variáveis que definem o dimensionamento de um transformador são a bitola dos condutores (corrente) e o material isolante utilizado (tensão).

Os enrolamentos de alta tensão (AT) são constituídos por várias espiras de fio fino, sendo que os enrolamentos de baixa tensão (BT) possuem um menor número de espiras com bitola maior.

A razão entre as tensões do primário e do secundário, bem como entre os respectivos números de espiras dos seus enrolamentos, definem a *relação de transformação* (a) de um transformador. Assim,

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (8.1)$$

Se $a > 1$, o transformador é *rebaixador*; se $a < 1$, o mesmo será *elevador*.

¹ Considera-se transformador ideal àquele em que $S_1 = S_2$, onde S_1 representa a potência aparente do primário e S_2 a potência aparente do secundário.

Considerando-se que as potências aparentes na entrada e na saída são iguais ($S_1=S_2$), as correntes obedecem à seguinte relação:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \quad (8.2)$$

portanto

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (8.3)$$

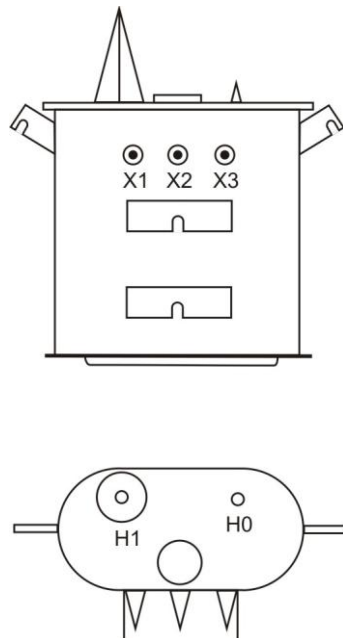
Assim, fica definida a *equação fundamental de transformação*

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (8.4)$$

8.2 NORMALIZAÇÕES

Como o estudo dos transformadores envolve as principais grandezas elétricas, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabeleceu normas nacionais de operação, construção, manutenção e uso dos mesmos. Segundo a NBR 5440, as potências padronizadas para transformadores de distribuição, em kVA, são:

- Transformador monofásico instalado em poste: 3 ; 5 ; 10 ; 15 ; 25 ; 37,5 ; 50 ; 75 ; 100
- Transformador trifásico instalado em poste: 15 ; 30 ; 45 ; 75 ; 112,5 ; 150
- Transformador trifásico instalado em plataforma: 225 ; 300 ; 500 ; 750 ; 1000



Os bornes externos são numerados com a utilização das letras “H” para a AT e “x” para BT (Figura 8.2). A ordem cronológica dos coeficientes é feita da esquerda para a direita, a partir do posicionamento frontal à BT.

Figura 8.2 – Vista externa

8.3 COMPONENTES CONSTRUTIVOS

Os transformadores são constituídos, basicamente, de uma parte ativa e de acessórios complementares.

8.3.1 Parte ativa

Compreende as bobinas (enrolamentos do primário e do secundário) e o núcleo ferromagnético. Para que haja um funcionamento eficaz, é necessário que seus componentes sejam prensados e devidamente calçados, a fim de suportarem as mais diferentes condições ambientais a que são submetidos.

Os enrolamentos são constituídos de fios de cobre, de seção retangular ou circular, isolados com esmalte ou papel. Os enrolamentos de BT e AT (Figura 8.3) normalmente são concêntricos, onde a BT ocupa a parte interna e a AT a parte externa, sendo estes fracionados em bobinas de menor número de espiras, chamadas “panquecas”, por motivo de isolamento, facilidade de manutenção e retirada das derivações para conexão ao comutador.



Figura 8.3 – Enrolamentos de um transformador: (a) BT; (b) AT

O núcleo é constituído de lâminas de material ferromagnético, contendo em sua composição o *silício*, que possui excelentes características de magnetização (temporário), baixas perdas por histerese e por mudança de temperatura. O empilhamento das lâminas, isoladas entre si e do núcleo, é feito para minimizar a ação das correntes parasitas provenientes da variação de fluxo ocorridos sobre o material, que é condutor.

8.3.2. Acessórios complementares

a) Tanque

Mostrado na Figura 8.4, serve de invólucro da parte ativa e do líquido isolante. Nele encontramos os suportes para fixação em postes, ganchos e olhais de suspensão, tampa de inspeção, conector de aterramento, fios de passagem das buchas, placa de identificação, radiadores, dispositivos de drenagem e amostragem do líquido isolante, visor de nível do óleo, etc.

b) Buchas

São dispositivos que permitem a passagem dos condutores constituintes dos enrolamentos para o meio externo (redes elétricas), mostrados na Figura 8.5. São

constituídos de corpo isolante (porcelana), condutor passante (cobre ou latão), terminal (bronze ou latão) e vedações (borracha e papelão).

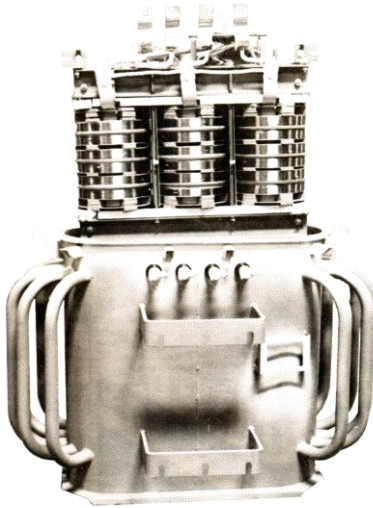


Figura 8.4 – Tanque de um transformador

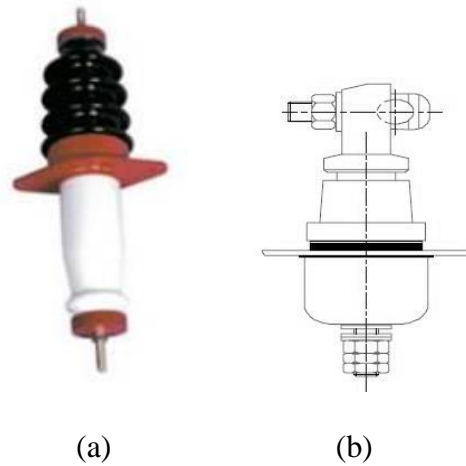


Figura 8.5 – Buchas: (a) vista externa; (b) corte.

c) Radiadores

O calor gerado na parte ativa se propaga pelo óleo, sendo dissipado na tampa e laterais do tanque (Figura 8.6). Em casos especiais (potência elevada e ventilação insuficiente) os transformadores são munidos de radiadores, que aumentam a área de dissipação, ou adaptados com ventilação forçada.

d) Comutador

É um dispositivo mecânico que permite variar o número de espiras dos enrolamentos de alta tensão, como mostra a Figura 8.7. Sua finalidade é corrigir o desnível de tensão existente nas redes de distribuição, devido à queda de tensão ocorrida ao longo das mesmas.



Figura 8.6 – Radiador

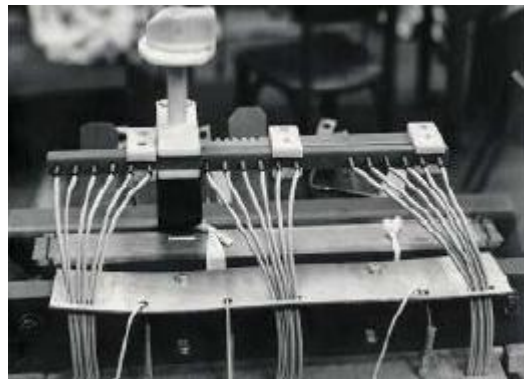


Figura 8.7 - Comutador

e) Placa de identificação

Construída em alumínio ou aço inoxidável, onde constam todas as informações construtivas resumidas e normatizadas do aparelho, conforme exemplo da Figura 8.8.

Entre as informações fornecidas pela placa encontram-se:

- nome e dados do fabricante;
- numeração da placa;
- indicação das NBR;
- potência (kVA);
- impedância equivalente (%);
- tensões nominais (AT e BT);
- tipo de óleo isolante;
- diagramas de ligações;
- diagrama fasorial;
- massa total (kg);
- volume total do líquido (l).

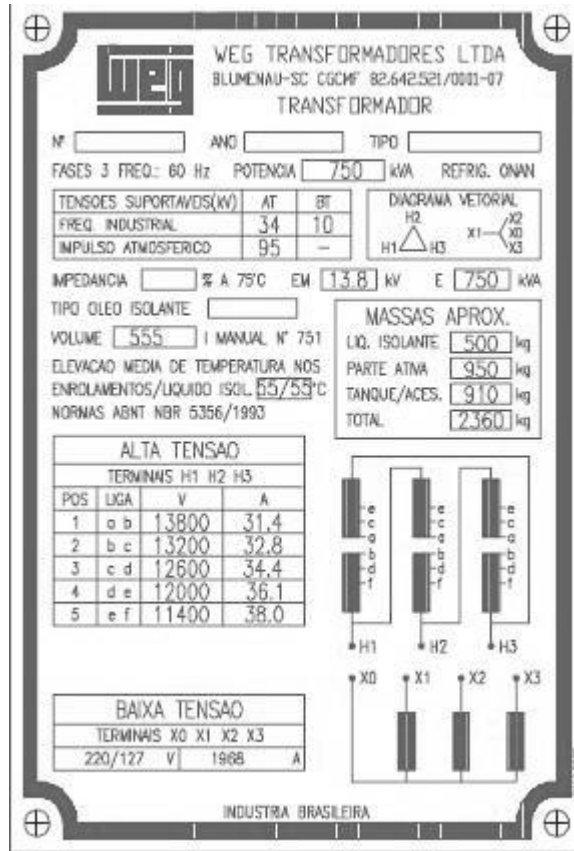


Figura 8.8 – Exemplo de placa de identificação de transformador.

8.4 TENSÃO DE CURTO-CIRCUITO

É o valor da tensão que se deve aplicar nos enrolamentos de AT para se obter nos enrolamentos de BT, curto-circuitados, a corrente nominal (I_n) de funcionamento a plena carga do transformador. O método prático utilizado pelos fabricantes para a obtenção deste valor é mostrado na Figura 8.9

A razão porcentual entre a tensão de curto-circuito e a tensão nominal de operação no AT, denomina-se “impedância equivalente (Z_e)” deste transformador. Assim,

$$Z_e = \frac{U_{CC}}{U_1} \times 100 \quad (8.5)$$

onde U_{CC} é a tensão de curto-circuito e U_1 é a tensão nominal de operação em AT.

O módulo desta impedância tem uma importância significativa na participação de cada transformador num paralelismo (banco de transformadores).

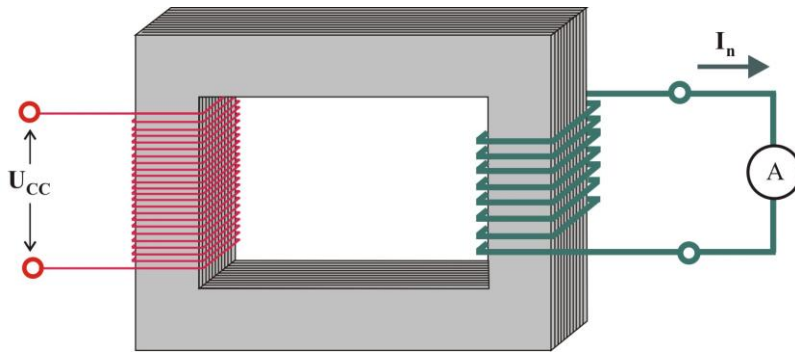


Figura 8.9 – Método prático para obtenção da tensão de curto-circuito.

8.5 POLARIDADE

É a defasagem existente entre as tensões induzidas no primário e no secundário de um transformador monofásico. Se os sentidos destas tensões forem iguais, diz-se que o transformador possui polaridade *subtrativa* (Figura 8.10a); caso sejam contrárias, a polaridade é *aditiva* (Figura 8.10b).

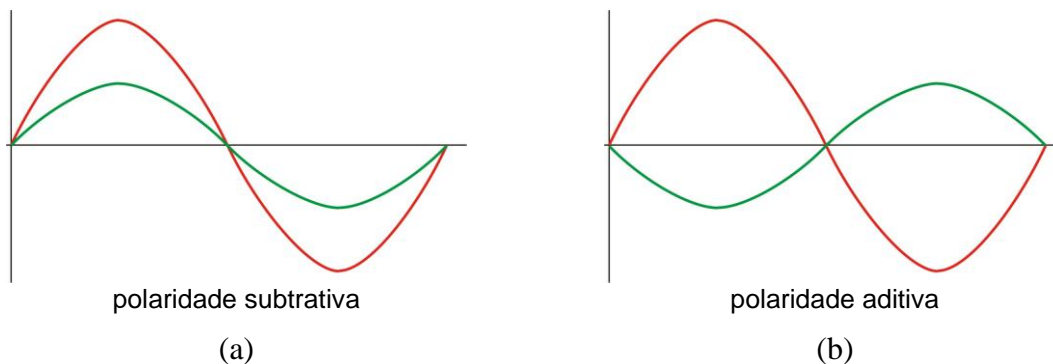


Figura 8.10 – Polaridade de transformadores monofásicos.

A ABNT estabelece que os transformadores construídos no Brasil sejam de polaridade *subtrativa*. A polaridade depende do sentido dos enrolamentos das bobinas e das ligações internas das mesmas.

8.6. DESLOCAMENTO ANGULAR

É o ângulo que existe entre a posição recíproca do triângulo das tensões concatenadas do primário e o triângulo das tensões concatenadas do secundário de um transformador trifásico. Este deslocamento angular depende da polaridade do transformador e do esquema de agrupamento das fases. A Figura 8.11 mostra representação sinusoidal do deslocamento angular dos transformadores com polaridade subtrativa em duas situações: 0° e 30° .

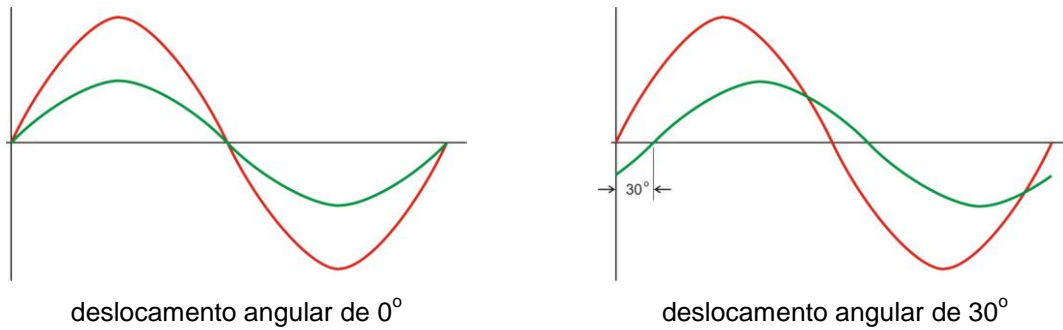


Figura 8.11 – Deslocamento angular

Segundo a ABNT, o triângulo das tensões é construído tomando-se como referencial o vetor de final dois (2) orientado para cima e o ângulo de deslocamento pela comparação dos dois vetores traçados a partir do centro geométrico de cada figura com a extremidade do vetor um (1). Considerando que no Brasil só operamos com transformadores de polaridade subtrativa, os deslocamentos angulares possíveis são de 0° e 30° .

Na Figura 8.12 mostra-se um exemplo de formatação gráfica do deslocamento angular de um transformador trifásico agrupado em triângulo no primário e em estrela no secundário.

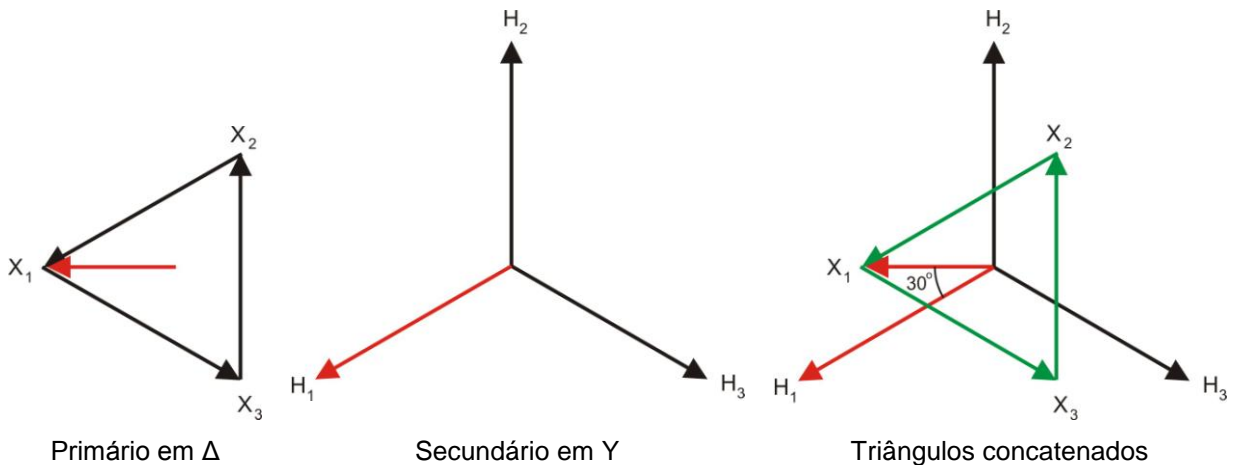


Figura 8.12 – Exemplo de formatação gráfica do deslocamento angular.

8.7. BANCO DE TRANSFORMADORES

É a ligação de dois ou mais transformadores em paralelo entre si, conectados a uma única rede de alimentação, conforme o esquema mostrado na Figura 8.13.

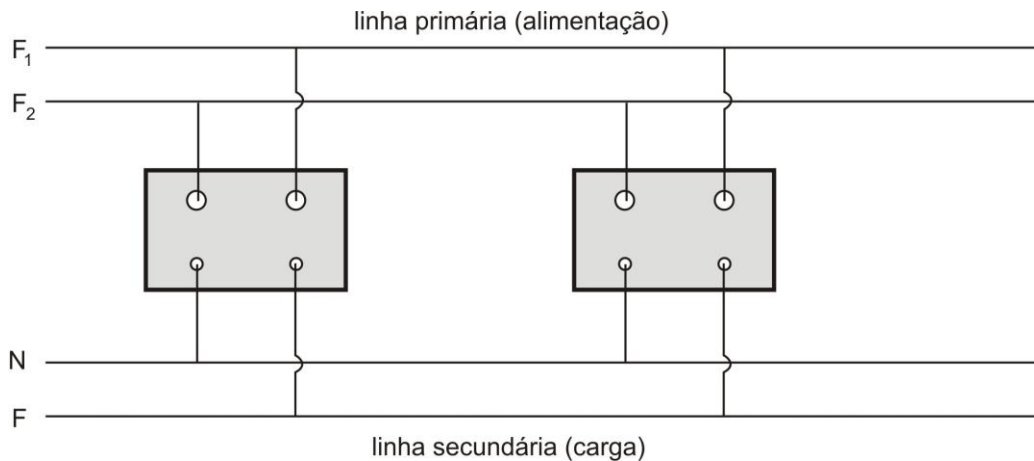


Figura 8.13 – Transformadores em paralelo

A utilização do paralelismo é recomendada nas seguintes situações:

- quando houver a necessidade de aumentar a potência disponível, sem alterar consideravelmente a distribuição interna de uma instalação;
- nos casos de necessidade de manutenção de um transformador sem o corte do fornecimento de energia elétrica;
- alimentação de cargas sazonais.

Para a ligação de transformadores trifásicos em paralelo é necessário que:

- tenham a mesma tensão de entrada;
- tenham a mesma relação de transformação;
- possuam a mesma polaridade;
- pertençam a um mesmo grupo de deslocamento angular;

Considerando que todos os transformadores alimentarão a mesma rede de distribuição, a participação de cada um, em relação à corrente total solicitada, será diretamente proporcional à sua potência (S) e inversamente à sua impedância equivalente (Z_e), de acordo com as relações que se seguem:

$$I = \frac{S}{U} \quad (8.6)$$

$$e \quad I = \frac{U}{Z_e} \quad (8.7)$$

8.8 INSTRUÇÕES PARA INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO

- Verificar se os dados da placa de características estão de acordo com a linha à qual o transformador será ligado. (*taps de ligação através da tampa de inspeção; apertar as porcas*).

- Verificar a ocorrência de vazamento de óleo. (*limpar o local com benzina e colocar talco ou pó de giz*).
- Verificar o nível do óleo. (*interna ou externamente*).
- Verificar o estado e a limpeza das buchas. (*se sujas, limpar com estopa embebida em benzina; se estiverem trincadas, proceder à substituição*).
- Verificar a existência de água condensada sob a tampa de inspeção. (*se houver, secar a tampa e antes de fechar, secar também a parte ativa; se persistir, realizar a desidratação do óleo*).
- Medir o valor da rigidez dielétrica do óleo. (*não deve ser inferior a 22 kV/polegada; após o tratamento, não deve ser inferior a 38 kV/polegada, na temperatura de 20°C*).
- Verificar a continuidade elétrica dos circuitos através de um megômetro. (*entre os terminais da AT e depois entre os terminais da BT*).
- Verificar a resistência de isolamento através de um megômetro. (*entre os terminais de AT e BT; entre os terminais de AT e a carcaça; entre os terminais de BT e a carcaça*).

