

## Capítulo V

# Polaridade e relação em transformadores de potência

Por Marcelo Paulino\*

O objetivo deste capítulo é apresentar os conceitos de polaridade e defasamento angular de transformadores e as metodologias para a medição da relação de transformação de transformadores trifásicos (considerando-se todas as conexões padronizadas), a partir do conhecimento prévio de seu defasamento angular.

### Introdução

O conceito sobre polaridade de transformadores deve ser estabelecido como base para o entendimento do funcionamento do transformador, pois, com a instalação de dois ou mais transformadores em paralelo, as conexões dos secundários formarão uma malha. Se todos possuírem a mesma polaridade, as forças eletromotrizes anulam-se, ou seja, a tensão resultante será zero. Quando a soma das forças eletromotrizes resultarem em um valor diferente de zero, surgirá uma corrente de circulação com valores elevados, pois é limitada apenas pelas impedâncias secundárias. Assim, tem-se que umas das principais condições para estabelecer o paralelismo de transformadores é a de possuírem a mesma polaridade.

Nos circuitos de medição e proteção são utilizados transformadores de corrente (TC) e transformadores de potencial (TP). A inversão da polaridade nesses circuitos ocasionará a inversão

da corrente de circulação no secundário, promovendo uma atuação indevida da proteção ou leitura enganosa, principalmente em circuitos de medição de energia.

No caso de transformadores trifásicos, apenas o conceito de polaridade é insuficiente para apresentar uma relação definida entre as tensões induzidas nos enrolamentos primário e secundário. Isso se deve aos diversos tipos de conexões dos enrolamentos (delta, estrela ou zig-zague), como será abordado neste texto. Nestes casos, utiliza-se a diferença de fases (defasamento) ou deslocamento angular entre as tensões dos terminais de tensão inferior e tensão superior.

No caso da verificação da relação do número de espiras dos enrolamentos do transformador, o mantenedor disporá de um recurso valioso para se verificar a existência de espiras em curto-circuito, de falhas em comutadores de derivação em carga e ligações erradas de derivações.

Para determinar a correta relação do transformador, podem ser utilizados diversos métodos para execução do teste de relação de espiras ou relação de tensões, sendo que o método do transformador de referência de relação variável, conhecido como TTR, é o mais comum.

### Polaridade de um transformador

A polaridade de um transformador é a marcação existente nos terminais dos enrolamentos dos transformadores, indicando o sentido da circulação de corrente em um determinado instante em consequência do sentido do fluxo produzido. Em outras palavras, a polaridade é uma referência determinada pelo projetista, fabricante ou usuário para determinar a marcação da polaridade dos terminais dos enrolamentos e a condição dos enrolamentos conforme sua disposição, isto é, a relação entre os sentidos momentâneos das forças eletromotrizes nos enrolamentos primário e secundário.

Portanto, a polaridade depende de como são enroladas as espiras que formam os enrolamentos primário e secundário. O sentido da queda de tensão (força eletromotriz) será determinado pelo sentido do enrolamento e pela marcação realizada.

A Figura 1 mostra duas situações distintas para as tensões induzidas em um transformador monofásico. Na primeira figura, as tensões induzidas  $U_1$  e  $U_2$  dirigem-se para os bornes adjacentes  $H_1$  e  $X_1$ . Na outra figura, a marcação é feita de maneira contrária, sendo as tensões induzidas dirigidas para os bornes invertidos. Nota-se também que, na Figura 1a, as tensões possuem mesmo sentido (estão em fase) ou “mesma polaridade instantânea”. Na outra, elas estão em oposição (defasadas de  $180^\circ$ ) ou com polaridades opostas.

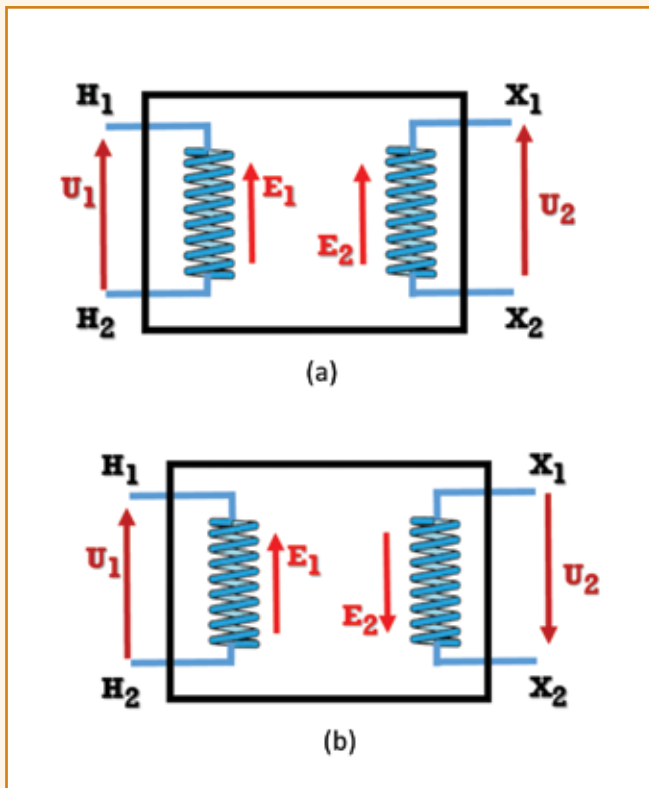


Figura 1 – Sentidos instantâneos nos terminais do enrolamento de um transformador monofásico.

Pelo exposto, a polaridade refere-se ao sentido relativo entre as tensões induzidas nos enrolamentos secundários e primários, ou à maneira como seus terminais são marcados. Quando ambos os enrolamentos possuem a mesma polaridade, o transformador é de polaridade subtrativa e, em caso contrário, polaridade aditiva.

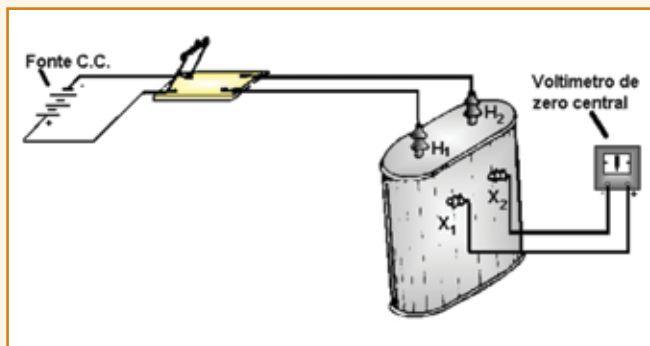
#### **Métodos de ensaios para determinação de polaridade**

De acordo com a ABNT NBR 5380, os métodos de ensaio usados para a determinação da polaridade de transformadores monofásicos são:

- Método do golpe indutivo com corrente contínua;
- Método da corrente alternada;
- Método do transformador padrão;
- Método do transformador de referência variável.

A disponibilidade de um instrumento de teste moderno que possibilite a medida do defasamento angular entre as tensões primárias e secundárias já possibilita a determinação da polaridade do transformador testado.

Descreveremos o método do golpe indutivo devido à sua maior aplicabilidade. O esquema de ligações para o método é indicado na Figura 2.



**Figura 2 – Determinação da polaridade pelo método do golpe indutivo.**

Observe que os terminais de tensão superior são ligados a uma fonte de corrente contínua. Instala-se um voltímetro de corrente contínua entre esses terminais, de modo a se obter uma deflexão positiva ao se ligar a fonte CC, ou seja, a polaridade positiva do voltímetro ligado no positivo da fonte e esses em  $H_1$ .

Em seguida, insere-se o positivo do voltímetro em  $X_1$  e o negativo em  $X_2$ . A chave é fechada, observando-se o sentido de deflexão do voltímetro. Quando as duas deflexões são em sentidos opostos, a polaridade é aditiva. Quando no mesmo sentido, é subtrativa. Tais conclusões baseiam-se na lei de Lenz.

O mesmo procedimento é aplicado a transformadores trifásicos, observando-se os terminais de conexão da fonte nos enrolamentos de AT e analisando-se os resultados observadas

nas buchas de BT.

### **Relação de transformação**

A medida da relação de transformação de um transformador é padronizada como ensaio de rotina e como teste básico em programas de manutenção preventiva em transformadores reparados ou submetidos a reformas ou, ainda, no comissionamento das unidades.

Os métodos mais frequentemente empregados para a sua obtenção são:

- Método do voltímetro – medida da relação de tensões entre os enrolamentos de AT e BT, obedecendo-se o fechamento do transformador;
- Método do TTR – medida da relação de espiras por meio de um equipamento construído especificamente para este fim.

Qualquer método utilizado deve oferecer valores suficientemente precisos para que seja válido. Para avaliar um transformador, os resultados do teste, independentemente do método aplicado ou dos instrumentos de medição utilizados, devem possibilitar medidas com variação máxima admissível é  $\pm 0,5\%$ , em todos os tapes de comutação.

O erro percentual é calculado em função da relação medida e da relação nominal do transformador, sendo:

$$E\% = \frac{R_{med} - R_{nom}}{R_{nom}} \times 100$$

Em que:

- $E\%$  é o erro percentual;
- $R_{med}$  é a relação medida, ou seja, o resultado do teste;
- $R_{nom}$  é a relação teórica ou relação nominal do transformador.

#### **Relação de transformação (tensões) e relação de espiras**

Conforme já descrito em capítulos anteriores, a relação do número de espiras ( $K_N$ ) e a de transformação ou de tensões ( $K$ ) nos transformadores monofásicos são iguais numericamente, em termos práticos.

Entretanto, nos transformadores trifásicos podem diferir conforme as conexões dos enrolamentos envolvidas, ou seja, como mostrado na Tabela 1.

Assim, qualquer medição da relação do número de espiras para se obter a de transformação nos transformadores trifásicos deve considerar tais valores.

#### **Determinação da relação de transformação**

O ensaio de relação de tensões realiza-se aplicando a um dos

**TABELA I – VALORES DE K EM FUNÇÃO DE  $K_N$  PARA AS DIVERSAS CONEXÕES**

Ligação	Dd	Dy	Dz	Yy	Yd	Yz
$K =$	$K_N$	$\frac{K_N}{\sqrt{3}}$	$\frac{2}{3} K_N$	$K_N$	$\sqrt{3} K_N$	$\frac{2}{\sqrt{3}} K_N$

enrolamentos uma tensão igual ou menor que a sua tensão nominal, bem como a frequência igual ou maior que a nominal.

Para transformadores trifásicos, apresentando fases independentes e com terminais acessíveis, opera-se indiferentemente, usando-se corrente monofásica ou trifásica. No caso da utilização de um teste com correntes monofásicas, o fechamento do transformador deve ser observado para realização das conexões de teste, conforme já exposto.

Os métodos usados para o ensaio de relação de tensões são:

- Método do voltímetro;
- Método do transformador padrão;
- Método do resistor potenciométrico;
- Método do transformador de referência de relação variável.

A ABNT NBR 5356 estabelece que este ensaio deve ser realizado em todas as derivações, o que se constitui uma boa prática, principalmente na recepção do transformador. Observa-se que as tensões deverão ser sempre dadas para o transformador em vazio.

A citada norma admite uma tolerância igual ao menor valor entre 10% da tensão de curto-circuito ou  $\pm 0,5\%$  do valor da tensão nominal dos diversos enrolamentos, se aplicada tensão nominal no primário.

A seguir são apresentados os métodos do voltímetro e do transformador de referência de relação variável, por serem os mais utilizados.

#### Método do voltímetro

O princípio deste método é alimentar o transformador com certa tensão e medi-la juntamente com a induzida no secundário. A leitura deve ser feita de forma simultânea com dois voltímetros. Se necessário devem-se utilizar transformadores de potencial. No caso do uso de instrumentação manual, sem automatismos, recomenda-se que se faça um grupo de leituras, permutando-se os instrumentos visando compensar seus eventuais erros. A média das relações obtidas desta forma é considerada como a do transformador.

Observe que, em geral, por facilidade e segurança, a alimentação do transformador é feita pelo lado de AT com níveis reduzidos de tensão em relação nominal do tap considerado.

Tal prática, entretanto, resulta em dois problemas fundamentais,

a saber:

- A fonte, em grande parte dos casos, apresenta tensões desequilibradas, mascarando os resultados das medições;
- Se aplicados, por exemplo, três níveis distintos de tensões, mesmo balanceadas, podem resultar em três valores diferentes de relação de transformação.

Em ambas as situações, os erros e as incertezas descaracterizam os objetivos de se medir a relação de transformação.

Atualmente, equipamentos de teste microprocessados têm oferecido soluções adequadas para o teste de relação de transformação, com tensões estabilizadas e medidas precisas. Entretanto, cabe ao mantenedor e responsável pelo teste a avaliação de tal instrumentação, antes da realização dos ensaios.

A Figura 3 mostra uma aplicação com um equipamento microprocessado multifuncional (CPC100 Omicron), realizando um ensaio de relação de transformação utilizando uma fonte de tensão alternada e um voltímetro. Adicionalmente, a corrente de excitação é medida em amplitude. Também é obtida a diferença de fase entre as tensões primária e secundária.

#### TTR

A sigla TTR (iniciais de Transformer Turn Ratio) tornou-se sinônimo de equipamentos para medição da relação de transformação. Em sua concepção original, incorpora um transformador monofásico padrão com número de espiras variáveis, que é posto em paralelo com o que se quer medir. Na atualidade, esse modelo tradicional

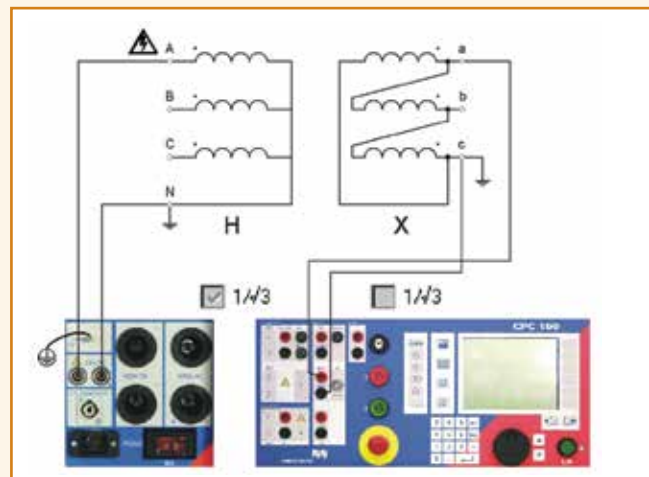


Figura 3 – Medida da relação de tensões com CPC100 Omicron.



**Figura 4 – TTR, (a) analógico monofásico (MEGGER), (b) trifásico digital (RAYTECH).**

é chamado de TTR “monofásico”, pois existem os “trifásicos” e os eletrônicos.

No TTR monofásico, quando a relação de seu transformador monofásico com número de espiras variáveis se iguala à do que se quer medir, não há diferença de potencial em seus secundários, nem corrente de circulação. Assim, o valor correto pode ser verificado em um indicador (microamperímetro) nulo.

A conexão do equipamento às buchas do transformador a ser testado é executada por meio de quatro conectores, sendo dois conectores, normalmente do tipo “sargento” para serem ligados aos enrolamentos de baixa tensão e dois conectores do tipo “jacaré” para serem ligados aos enrolamentos de alta tensão. As polaridades destas bobinas possuem grande importância, pois, se estiverem invertidas, o TTR não fornecerá leitura.

Apesar de a finalidade básica do TTR ser a de fornecer a relação do número de espiras ( $K_N$ ) com precisão, pode ser empregado para a obtenção da relação de tensões dos transformadores trifásicos. Nesse caso, como nem sempre  $K$  e  $K_N$  são iguais, é necessário que se aplique os fatores da Tabela 1.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. T. L.; PAULINO, M. E. C. *Manutenção de transformadores de potência. Curso de Especialização em Manutenção de Sistemas Elétricos – Unifei, 2012.*

---

\* MARCELO EDUARDO DE CARVALHO PAULINO é engenheiro electricista e especialista em manutenção de sistemas elétricos pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI). Atualmente, é gerente técnico da Adimarco |mecpaulino@yahoo.com.br.

### Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em  
[www.asetoreletrico.com.br](http://www.asetoreletrico.com.br)

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail  
[redacao@atituedeeditorial.com.br](mailto:redacao@atituedeeditorial.com.br)