NORMA
BRASILEIRA

# ABNT NBR 5356-1

Segunda edição
20.08.2025

## Transformadores de potência
## Parte 1: Generalidades

*Power transformers*
*Part 1: General*

ICS 29.180

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 5356-1:2025
125 páginas

© ABNT 2025

© ABNT 2025
Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT
Rua Conselheiro Nebias, 1.131
01203-002 - São Paulo - SP
Tel.: + 55 11 3017-3600
abnt@abnt.org.br
www.abnt.org.br


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## Sumário

Página

Prefácio ..... ix
Introdução ..... xi
1 Escopo ..... 1
2 Referências normativas ..... 1
3 Termos e definições ..... 4
4 Condições de funcionamento ..... 16
4.1 Generalidades ..... 16
4.2 Condições normais de funcionamento ..... 16
5 Características nominais e requisitos gerais ..... 18
5.1 Potência nominal ..... 18
5.1.1 Geral ..... 18
5.1.2 Valores preferenciais para potência nominal ..... 19
5.1.3 Potência mínima para estágios de resfriamento alternativos ..... 19
5.1.4 Carregamento além da potência nominal ..... 19
5.2 Modo de resfriamento ..... 20
5.3 Rejeição de carga em transformadores diretamente conectados a geradores ..... 20
5.4 Tensão e frequências nominais ..... 20
5.4.1 Tensão nominal ..... 20
5.4.2 Frequência nominal ..... 20
5.4.3 Funcionamento a tensão superior à tensão nominal e/ou com variação de frequência ..... 20
5.5 Disposição para condições não usuais de funcionamento ..... 21
5.6 Tensão mais elevada para equipamentos $U_m$ e níveis de ensaios dielétricos ..... 22
5.7 Informações adicionais requeridas para solicitação de orçamento ..... 22
5.7.1 Classificação do transformador ..... 22
5.7.2 Conexão do enrolamento e número de fases ..... 22
5.7.3 Nível de ruído ..... 23
5.7.4 Transporte ..... 23
5.8 Componentes e materiais ..... 23
5.9 Características construtivas, componentes e acessórios ..... 24
6 Requisitos para transformadores com um enrolamento com derivação ..... 24
6.1 Generalidades – Notação para faixa de derivação ..... 24
6.2 Tensão de derivação – Corrente de derivação – Categorias normalizadas de variação de tensão de derivação – Derivação de tensão máxima ..... 25
6.3 Potência de derivação – Derivações a plena potência – Derivações de potência reduzida ..... 26
6.4 Especificação de derivações na especificação técnica e no pedido de compra ..... 27
6.4.1 Generalidades ..... 27
6.4.2 Especificação de projeto ..... 27
6.4.3 Especificação funcional ..... 28
6.5 Especificação da impedância de curto-circuito ..... 29

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

6.6 Perdas em carga e elevação de temperatura ..... 30
7 Marcações dos terminais e símbolos de ligação e deslocamento angular para transformadores trifásicos ..... 30
7.1 Marcação dos enrolamentos e dos terminais ..... 30
7.1.1 Enrolamentos ..... 30
7.1.2 Terminais ..... 30
7.1.3 Localização dos terminais H ..... 33
7.1.4 Terminal de neutro ..... 33
7.1.5 Localização dos terminais em transformadores monofásicos ..... 33
7.1.6 Localização dos terminais X ..... 33
7.1.7 Localização dos terminais Y e Z ..... 34
7.2 Ligação dos enrolamentos e indicação do deslocamento angular ..... 34
7.2.1 Enrolamentos não destinados a serem carregados ..... 40
7.2.2 Enrolamento religáveis ..... 41
8 Placas de identificação ..... 41
8.1 Generalidades ..... 41
8.2 Informações a serem fornecidas em todos os casos ..... 41
8.3 Informações suplementares a serem fornecidas quando aplicável ..... 42
9 Requisitos gerais, de segurança e ambientais ..... 44
9.1 Requisitos de segurança e ambientais ..... 44
9.1.1 Vazamentos de líquido ..... 44
9.1.2 Considerações de segurança ..... 44
9.2 Dimensionamento da conexão de neutro ..... 45
9.3 Sistema de preservação do líquido isolante ..... 45
9.4 Componentes de corrente contínua em circuitos do neutro ..... 45
9.5 Identificação do centro de gravidade ..... 46
10 Tolerâncias ..... 46
11 Ensaios ..... 48
11.1 Requisitos gerais para ensaios de rotinas, tipo e especiais ..... 48
11.1.1 Generalidades ..... 48
11.1.2 Ensaios de rotina ..... 49
11.1.3 Ensaios de tipo ..... 50
11.1.4 Ensaios especiais ..... 51
11.2 Medição da resistência dos enrolamentos ..... 52
11.2.1 Generalidades ..... 52
11.2.2 Transformadores do tipo seco ..... 52
11.2.3 Transformadores imersos em líquido isolante ..... 52
11.3 Medição da relação de transformação, polaridade e verificação do deslocamento angular e sequência de fase ..... 52
11.4 Medição da impedância de curto-circuito e das perdas em carga ..... 52
11.5 Medição de perdas em vazio e corrente de excitação ..... 53
11.6 Medição de impedância(s) de sequência zero em transformadores trifásicos ..... 54
11.7 Ensaios no comutador em carga ..... 55


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

11.8 Estanqueidade e resistência à pressão ..... 56
11.9 Vácuo interno ..... 56
11.10 Ensaio de deflexão sob pressão em transformadores imersos em líquido isolante ... 57
11.11 Ensaio em campo de deformação sob vácuo para transformadores imersos em líquido isolante ..... 58
11.12 Ensaio de isolação do núcleo e das ferragens ..... 58
11.13 Verificação do funcionamento dos acessórios ..... 58
11.14 Ensaio de isolamento dos circuitos auxiliares ..... 58
11.15 Resistência de isolamento dos enrolamentos ..... 58
11.16 Ensaios do líquido isolante ..... 58
11.17 Verificação da espessura e aderência da pintura das partes externa e interna ..... 59
11.17.1 Para transformadores com $U_m \geq 242$ kV ..... 59
11.17.2 Para transformadores com $U_m < 242$ kV ..... 59
11.18 Análise cromatográfica dos gases dissolvidos no líquido isolante ..... 59
11.19 Ensaio de nível de tensão de radiointerferência ..... 59
11.20 Medição das capacitâncias entre enrolamentos e a terra e entre os enrolamentos .... 59
11.21 Medição das características da tensão transitória transferida ..... 59
11.22 Determinação do nível de ruído audível ..... 59
11.23 Medição da potência absorvida pelos motores das bombas e dos ventiladores ..... 63
11.24 Medição do fator de potência do isolamento ..... 63
11.25 Medição da resposta em frequência ..... 63
11.26 Medição da impedância terminal ..... 63
11.27 Ensaio do grau de polimerização do papel ..... 63
11.28 Medição do ponto de orvalho ..... 63
11.29 Levantamento da curva de magnetização e medição da reatância em núcleo de ar ... 63
11.30 Medição de harmônicas da corrente de excitação ..... 64
12 Compatibilidade eletromagnética ..... 64
13 Transientes de alta frequência devido a chaveamento ..... 64
**Anexo A** (normativo) **Informações a serem fornecidas em especificações técnicas e pedidos de compra** ..... 65
A.1 Características nominais e requisitos gerais ..... 65
A.2 Operação em paralelo ..... 67
A.3 Folha de dados técnicos ..... 68
**Anexo B** (informativo) **Exemplos de especificações de transformadores com derivações** ..... 70
B.1 Exemplo 1 – Variação de tensão a fluxo constante (VTFC) ..... 70
B.2 Exemplo 2 – Variação de tensão a fluxo variável (VTFV) ..... 70
B.3 Exemplo 3 – Variação combinada de tensão (VCT) ..... 71
B.4 Exemplo 4 – Especificação funcional da derivação ..... 71
**Anexo C** (informativo) **Especificação de impedância de curto-circuito por limites** ..... 75
**Anexo D** (normativo) **Correção da temperatura nas perdas em carga** ..... 76
**Anexo E** (informativo) **Instalações para montagem futura de sistemas de monitoramento para transformadores** ..... 78
**Anexo F** (informativo) **Considerações ambientais e de segurança** ..... 80

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Anexo G** (normativo) **Métodos de ensaio** ..... 82
G.1 Generalidades ..... 82
G.2 Resistência elétrica dos enrolamentos ..... 82
G.3 Relação de transformação ..... 83
G.4 Resistência de isolamento ..... 85
G.5 Polaridade ..... 86
G.6 Deslocamento angular ..... 88
G.7 Sequência de fases para transformadores polifásicos ..... 91
G.8 Perdas em vazio e corrente de excitação ..... 91
G.9 Perdas em carga e impedância de curto-circuito ..... 96
G.10 Ensaios dielétricos ..... 101
G.11 Estanqueidade e resistência à pressão interna e estanqueidade a quente ..... 102
G.12 Fator de potência do isolamento ..... 102
G.13 Medição da impedância de sequência zero ..... 104
G.13.2.1 Ligação triângulo-triângulo Dd ..... 104
G.13.2.2 Ligação triângulo-estrela ou estrela-triângulo, respectivamente Dy ou Yd ..... 104
G.13.2.3 Ligação estrela-estrela Yy ..... 105
G.13.2.4 Transformadores com enrolamento ligado em zigue-zague ..... 106
G.13.3.1 Generalidades ..... 107
G.13.3.2 Ligação estrela-estrela-triângulo Yyd ..... 107
G.14 Acessórios ..... 110
G.15 Medição dos gases dissolvidos no líquido isolante ..... 112
G.16 Medição do nível de tensão de radiointerferência ..... 112
G.17 Ensaios de verificação da pintura externa e interna de transformadores ..... 112
G.18 Regulação e rendimento ..... 112
G.19 Ensaio de vácuo interno ..... 113
**Anexo H** (normativo) **Características construtivas, acessórios e componentes** ..... 115
H.1 Características construtivas ..... 115
H.2 Acessórios e componentes ..... 116
H.3 Componentes ..... 120
**Bibliografia** ..... 124

**Figuras**

Figura 1 – Diferentes tipos de variação de tensão ..... 26
Figura 2 – Marcação dos enrolamentos e terminais – Polaridade ..... 31
Figura 3 – Diagrama ilustrado dos símbolos de ligação ..... 35
Figura 4 – Ligações usuais – Exemplos de símbolos de ligação, marcação de terminais e diagramas fasoriais de tensão de transformadores trifásicos ..... 36
Figura 5 – Ligações adicionais – Exemplos de símbolos de ligação, marcação de terminais e diagramas fasoriais de tensão de transformadores trifásicos ..... 37
Figura 6 – Designação das ligações de transformadores trifásicos por meio de símbolos de ligação – Autotransformador Ya0 ..... 38


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Figura 7 – Exemplo de três transformadores monofásicos ligados para formarem um banco trifásico (símbolo de ligação Yd1) ..... 38
Figura 8 – Marcação dos terminais de transformadores e diagramas fasoriais da tensão, para ligações de transformadores ..... 40
Figura C.1 – Exemplo de especificação de impedância de curto-circuito por limites ..... 75
Figura G.1 – Diagrama de ligações para determinação da relação de tensões pelo método do transformador-padrão, com o voltímetro ligado para medir a diferença entre as duas tensões secundárias ..... 84
Figura G.2 – Diagrama de ligações para determinação da relação de tensões pelo método do transformador-padrão, com os voltímetros ligados para medir as duas tensões secundárias ..... 84
Figura G.3 – Diagrama de ligações para determinação da relação de tensões pelo método potenciométrico ..... 85
Figura G.4 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade por comparação com um transformador-padrão ..... 86
Figura G.5 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade por golpe indutivo, com corrente contínua (polaridade subtrativa) ..... 87
Figura G.6 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade por golpe indutivo, com corrente contínua (polaridade aditiva) ..... 87
Figura G.7 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade pelo emprego de corrente alternada ..... 88
Figura G.8 – Marcação dos terminais de transformadores e diagramas fasoriais de tensão, para ligações de transformadores trifásicos ..... 89
Figura G.9 – Marcação dos terminais de transformadores e diagramas fasoriais de tensão, para ligações de transformadores hexafásicos ..... 90
Figura G.10 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores monofásicos, sem transformadores para instrumentos ..... 91
Figura G.11 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores monofásicos, com transformadores para instrumentos ..... 92
Figura G.12 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores trifásicos, pelo método de dois wattímetros ..... 94
Figura G.13 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores trifásicos, de neutro acessível, pelo método de três wattímetros ..... 94
Figura G.14 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores trifásicos, de neutro acessível, pelo método de três wattímetros, usando um neutro de wattímetro artificial ..... 95
Figura G.15 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e correntes de excitação de transformadores trifásicos, pelo método de três wattímetros, usando um neutro artificial para os wattímetros com transformadores para instrumentos ..... 95
Figura G.16 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de transformadores monofásicos de dois enrolamentos ..... 96
Figura G.17 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de transformadores trifásicos ..... 99

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Figura G.18 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de autotransformadores monofásicos ..... 99
Figura G.19 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de autotransformadores trifásicos ..... 99
Figura G.20 – Transformadores com dois enrolamentos com neutro aterrado – Ligação do circuito de ensaio em triângulo-estrela ou estrela-triângulo ..... 105
Figura G.21 – Transformadores com dois enrolamentos com neutros aterrados – Ligação do circuito de ensaio em estrela-estrela ..... 106
Figura G.22 – Transformador com dois enrolamentos – Ligação do circuito de ensaio em zigue-zague ..... 106
Figura G.23 – Transformadores com dois enrolamentos – Ligação do circuito de ensaio em estrela-zigue-zague ou zigue-zague-estrela ..... 107
Figura G.24 – Circuito equivalente para transformadores com três enrolamentos ..... 108
Figura G.25 – Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{12}$ ..... 108
Figura G.26 – Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{13}$ ..... 109
Figura G.27 – Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{23}$ ..... 109

Tabelas

Tabela 1 – Tolerâncias ..... 47
Tabela 2 – Valores para ensaio de estanqueidade e resistência à pressão ..... 56
Tabela 3 – Valores de pressão absoluta no ensaio de vácuo ..... 56
Tabela 4 – Níveis de ruído para transformadores em líquido isolante,de potência nominal igual ou inferior a 500 kVA ..... 60
Tabela 5 – Níveis de ruído para transformadores em líquido isolante de potência nominal superior a 500 kVA ..... 60
Tabela 6 – Níveis de ruído para transformadores em líquido isolante de potência nominal superior a 500 kVA ..... 62
Tabela B.1 – Variação combinada de tensão (VCT) ..... 71
Tabela B.2 – Exemplo de especificação funcional com variação de tensão na AT ..... 73
Tabela B.3 – Exemplo de especificação funcional com variação de tensão na BT ..... 74
Tabela E.1 – Instalações para monitoramento ..... 78
Tabela G.1 – Ligações para ensaio de fator de potência do isolamento ..... 103
Tabela G.2 – Fatores de correção ..... 104
Tabela H.1 – Acessórios para transformadores ..... 118


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 5356-1 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), pela Comissão de Estudo de Transformadores de Potência (CE-003:014.001). O Projeto de Revisão foi submetido à Consulta Nacional no período de 06.05.2025 a 04.06.2025.

A ABNT NBR 5356-1:2025 cancela e substitui aABNT NBR 5356-1:2007 versão corrigida 2010, a qual foi tecnicamente revisada.

A ABNT NBR 5356, sob título geral "*Transformadores de potência*" tem previsão de conter as seguintes partes:

— Parte 1: Generalidades;

— Parte 2: Aquecimento;

— Parte 3: Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos em ar;

— Parte 4: Guia para ensaios de impulso atmosférico e de manobra para transformadores e reatores;

— Parte 5: Capacidade de resistir a curtos-circuitos;

— Parte 6: Reatores;

— Parte 7: Carregamento de transformadores;

— Parte 8: Guia de aplicação;

— Parte 9: Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção de transformadores e reatores de potência imersos em líquido isolante;

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

— Parte 10: Determinação dos níveis de ruído;

— Parte 11: Transformadores do tipo seco;

— Parte 12: Guia de carga para transformadores secos;

— Parte 13: Transformadores imersos em líquido autoprotegidos;

— Parte 14: Projeto e aplicação de transformadores imersos em líquido utilizando materiais de isolamento para alta temperatura;

— Parte 15: Transformadores isolados a gás;

— Parte 16: Transformadores para geradores eólicos;

— Parte 20: Eficiência energética.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 5356-1 é o seguinte:

## *Scope*

*This Part of ABNT NBR 5356 specifies requirements, nominal characteristics and operating conditions for power transformers.*

*This Part of ABNT NBR 5356, together with Parts 2, 3, 4 and 5, applies to three-phase and single-phase power transformers (including autotransformers), with the exception of certain categories of small transformers and special transformers, such as:*

— *single-phase transformers with rated power less than 1 kVA and three-phase transformers with rated power less than 5 kVA;*

— *transformers with windings with a voltage of less than 1 000 V;*

— *instrument transformers;*

— *transformers for static converters;*

— *traction transformers mounted on a rolling component;*

— *starting transformers;*

— *test transformers;*

— *welding transformers;*

— *explosion-proof transformers used in mining;*

— *submersible transformers for deep water applications.*

*When there are no specific Brazilian Standards for these categories of transformers, the ABNT NBR 5356 series is applicable in whole or in part.*


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## Introdução

A série ABNT NBR 5356 é aplicável a transformadores trifásicos e monofásicos (incluindo autotransformadores), exceto certas categorias de pequenos transformadores e transformadores especiais.

Para as categorias de transformadores de potência e reatores que dispõem de uma Norma Brasileira específica, partes da ABNT NBR 5356 são aplicáveis unicamente na medida em que é feita referência explícita em outra norma. Com o objetivo de facilitar o trabalho do usuário, a seguir é apresentada uma relação não exaustiva de normas nacionais e internacionais aplicáveis a estas categorias de transformadores e reatores:

— reatores em geral: ABNT NBR 5356-6;

— transformadores do tipo seco: ABNT NBR 5356-11;

— transformadores para geradores eólicos: ABNT NBR 5356-16

— transformadores autoprotegidos imersos em líquido: IEC 60076-13;

— transformadores isolados a gás: IEC 60076-15;

— transformadores e reatores para tração (aplicações ferroviárias): IEC 60310;

— transformadores conversores para aplicações industriais: IEC 61378-1;

— Incluir: transformadores de potência para aplicações de corrente contínua em alta tensão (HVDC): IEC/IEEE 60076-57-129.

Em algumas destas normas é recomendado que um acordo entre o fabricante e o comprador seja estabelecido em relação a soluções técnicas ou procedimentos adicionais.

É recomendado, portanto, que estas questões sejam identificadas e explicitadas no acordo entre as partes.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Transformadores de potência
# Parte 1: Generalidades

## 1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 5356 especifica os requisitos, as características nominais e as condições de funcionamento para transformadores de potência.

Esta Parte da ABNT NBR 5356, em conjunto com as Partes 2 a 5, é aplicável a transformadores de potência trifásicos e monofásicos (incluindo autotransformadores), exceto certas categorias de pequenos transformadores e transformadores especiais, como:

— transformadores monofásicos de potência nominal inferior a 1 kVA e transformadores trifásicos de potência nominal inferior a 5 kVA;

— transformadores com enrolamentos com tensão inferior a 1 000 V;

— transformadores para instrumentos;

— transformadores para conversores estáticos;

— transformadores de tração montados sobre componente rolante;

— transformadores de partida;

— transformadores de ensaios;

— transformadores de solda;

— transformadores à prova de explosão e utilizados em mineração;

— transformadores submersíveis para aplicações em águas profundas.

Quando não existirem Normas Brasileiras específicas para estas categorias de transformadores, a série ABNT NBR 5356 é aplicável no todo ou em partes.

## 2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5034, *Buchas para tensões alternadas superiores a 1 kV*

ABNT NBR 5356-2, *Transformadores de potência – Parte 2: Aquecimento*

ABNT NBR 5356-3:2007, *Transformadores de potência – Parte 3: Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos em ar*

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

ABNT NBR 5356-5, *Transformadores de potência – Parte 5: Capacidade de resistir a curto-circuito*

ABNT NBR 5356-7, *Transformadores de potência – Parte 7: Guia de carregamento para transformadores imersos em líquido isolante*

ABNT NBR 5356-8:2017, *Transformadores de potência – Parte 8: Guia de aplicação*

ABNT NBR 5356-9, *Transformadores de potência – Parte 9: Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção de transformadores e reatores de potência imersos em líquido isolante*

ABNT NBR 5356-11, *Transformadores de potência – Parte 11: Transformadores do tipo seco – Especificação*

ABNT NBR 5440, *Transformadores para redes aéreas de distribuição – Requisitos*

ABNT NBR 5458, *Transformadores de potência – Terminologia*

ABNT NBR 5590, *Tubos de aço-carbono com ou sem solda longitudinal, pretos ou galvanizados – Requisitos*

ABNT NBR 6648, *Bobinas e chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural – Especificação*

ABNT NBR 6650, *Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural – Especificação*

ABNT NBR 7036, *Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção de transformadores de distribuição, até a classe de tensão de 36,2 kV, imersos em líquido isolante*

ABNT NBR 7070, *Amostragem de gases e óleo mineral isolantes de equipamentos elétricos e análise dos gases livres e dissolvidos*

ABNT NBR 7277, *Transformadores e reatores – Determinação do nível de ruído*

ABNT NBR 8667-1, *Comutadores de derivação – Parte 1: Especificação e ensaios*

ABNT NBR 8667-2, *Comutadores de derivação – Parte 2: Guia de aplicação*

ABNT NBR 10443, *Pintura industrial – Determinação da espessura da película seca sobre superfícies metálicas ferrosas e não ferrosas*

ABNT NBR 10576, *Óleo mineral isolante de equipamentos elétricos – Diretrizes para supervisão e manutenção*

ABNT NBR 11003, *Pintura industrial – Determinação da aderência pelos métodos de cortes na pintura*

ABNT NBR 11388, *Sistemas de pintura para equipamentos e instalações de subestações elétricas – Especificação*

ABNT NBR 11888, *Bobinas e chapas finas a frio e a quente de aço-carbono e de aço de alta resistência e baixa liga – Requisitos gerais*

ABNT NBR 11889, *Bobinas e chapas grossas de aço-carbono e de aço de baixa liga e alta resistência – Requisitos*

ABNTNBR 15422, *Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos*


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

ABNT NBR 16126, *Projeto mecânico de transformadores e reatores para sistemas de potência*

ABNT NBR 16518, *Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos – Diretrizes para supervisão e manutenção*

ABNT NBR IEC 60060-1, *Técnicas de ensaios elétricos de alta-tensão – Parte 1: Definições gerais e requisitos de ensaio*

ABNT NBR IEC 60060-2, *Técnicas de ensaios elétricos de alta-tensão – Parte 2: Sistemas de medição*

ABNT NBR IEC 60529, *Graus de proteção providos por invólucros (Código IP)*

ABNT IEC/TS 60815 (todas as partes), *Seleção e dimensionamento de isoladores para alta-tensão para uso sob condições de poluição*

IEC 60214-1, *Tap-changers – Part 1: Performance requirements and test methods*

IEC 60068-3-3, *Environmental testing – Part 3-3: Guidance – Seismic test methods for equipment*

IEC 60076-2, *Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers*

IEC 60076-10, *Power transformers – Part 10: Determination of sound levels*

IEC 60076-12, *Power transformers – Part 12: Loading guide for dry-type power transformers*

IEC 60076-15, *Power transformers – Part 15: Gas-filled power transformers*

IEC 60137, *Insulated bushings for alternating voltages above 1000 V*

IEC 60721-3-4, *Classification of environmental conditions – Part 3-4: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at non-weather protected locations*

ISO 3, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

ISO 2178, *Non-magnetic coatings on magnetic substrates – Measurement of coating thickness – Magnetic method*

ISO 12944 (all parts), *Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*

ASTM D1014, *Practice for conducting exterior exposure tests of paints and coatings on metal substrates*

ASTM D1735, *Practice for testing water resistance of coatings using water fog apparatus*

ASTM D3455, *Test Methods for compatibility of construction material with electrical insulating oil of petroleum origin*

CISPR 16 (all parts), *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR 5458 e os seguintes.

### 3.1 Geral

**3.1.1**
**autotransformador**
transformador no qual pelo menos dois enrolamentos têm uma parte comum

NOTA Quando for necessário expressar que um transformador não é do tipo autotransformador (autoconectado), podem ser usados termos como transformador com enrolamentos separados ou transformador com enrolamento duplo (ver IEC 60050-421:1990, 421-01-13).

**3.1.2**
**sistema de preservação do líquido isolante**
sistema de um transformador imerso em líquido que absorve a expansão térmica do líquido isolante, podendo impedir ou diminuir o contato entre o líquido e o ar ambiente

**3.1.3**
**tensão máxima do equipamento $U_m$ que pode ser aplicada ao enrolamento do transformador**
maior valor de tensão eficaz (r.m.s), fase-fase, de um sistema trifásico para o qual o enrolamento de um transformador é projetado em relação a seu isolamento em regime permanente

**3.1.4**
**transformador de potência**
equipamento estático com dois ou mais enrolamentos que, por indução eletromagnética, transforma um sistema de tensão e corrente alternadas em outro sistema de tensão e corrente, de valores geralmente diferentes, mas à mesma frequência, com o objetivo de transmitir potência elétrica

**3.1.5**
**transformador de reforço (série)**
transformador no qual um enrolamento é ligado em série em um circuito, com o objetivo de modificar a tensão e/ou o deslocamento angular. O outro enrolamento é um enrolamento de excitação, alimentado por um outro circuito

**3.1.6**
**transformador do tipo seco**
transformador no qual o circuito magnético e os enrolamentos não são imersos em líquido isolante

**3.1.7**
**transformador imerso em líquido**
transformador no qual o circuito magnético e enrolamentos são imersos em líquido isolante

**3.1.8**
**valor de projeto**
valor calculado no projeto, por meio dos modelos técnicos ou teóricos aplicados

**3.1.9**
**valor especificado**
valor especificado pelo comprador no momento do pedido


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 3.2 Terminais e ponto de neutro

**3.2.1**
**ponto de neutro**
ponto de um sistema simétrico de tensões que está normalmente sob potencial zero

**3.2.2**
**terminais correspondentes**
terminais de enrolamentos diferentes de um transformador, marcados com o mesmo índice numérico e letras diferentes

**3.2.3**
**terminal**
elemento condutor destinado a conectar um enrolamento a condutores externos

**3.2.4**
**terminal de linha**
terminal destinado à conexão a um condutor de linha de uma rede

**3.2.5**
**terminal de neutro**
terminal destinado a ser conectado ao ponto de neutro de uma rede

## 3.3 Enrolamentos

**3.3.1**
**enrolamento**
conjunto de espiras que constituem um circuito elétrico associado a uma das tensões para as quais o transformador foi concebido

NOTA Para um transformador trifásico, "enrolamento" é o conjunto dos enrolamentos das fases (ver 3.3.10).

**3.3.2**
**enrolamentos autoconectados**
enrolamentos série e comum de um autotransformador

**3.3.3**
**enrolamento auxiliar**
enrolamento adicional previsto para uma carga baixa comparada à potência nominal do transformador

**3.3.4**
**enrolamento comum**
parte comum dos enrolamentos de um autotransformador

**3.3.5**
**enrolamento de alta-tensão**[1)]
enrolamento de tensão nominal mais elevada

---

1) O enrolamento que recebe potência ativa da fonte de alimentação em serviço é chamado de "enrolamento primário", e aquele que fornece potência ativa a uma carga é chamado de "enrolamento secundário". Estes termos não possuem significado quanto a qual dos enrolamentos possui maior tensão nominal e não podem ser utilizados, exceto no contexto da direção do fluxo de potência ativa. Um enrolamento suplementar no transformador, usualmente de menor valor de tensão nominal que o enrolamento secundário, é, então, frequentemente chamado de "enrolamento terciário" (ver também 3.3.8).

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**3.3.6**
**enrolamento de baixa tensão**[1)]
enrolamento de tensão nominal menos elevada

**3.3.7**
**enrolamento de derivação**
enrolamento tal que o número de espiras pode ser modificado em degraus

**3.3.8**
**enrolamento de estabilização**
enrolamento suplementar em triângulo, utilizado em um transformador com ligações estrela-estrela ou estrela-zigue-zague, com o objetivo de reduzir sua impedância de sequência zero (ver 3.7.2)

NOTA Um enrolamento somente é considerado um enrolamento de estabilização se não for destinado a ser conectado a um circuito externo por meio de ligações trifásicas.

**3.3.9**
**enrolamento de excitação**
enrolamento de um transformador de reforço (série) destinado a fornecer potência ao enrolamento série

**3.3.10**
**enrolamento de fase**
conjunto de espiras que formam uma fase de um enrolamento trifásico

NOTA Não é recomendado utilizar o termo "enrolamento de fase" para designar o conjunto de bobinas de uma determinada coluna.

**3.3.11**
**enrolamento de tensão intermediária**
em transformadores com mais de dois enrolamentos, é o enrolamento de tensão nominal intermediária entre a mais elevada e a mais baixa das tensões nominais

**3.3.12**
**enrolamento série**
parte do enrolamento de um autotransformador ou enrolamento de um transformador de reforço destinada a ser conectada em série com um circuito

## 3.4 Características nominais

**3.4.1**
**característica nominal**
conjunto de valores numéricos atribuídos às grandezas que definem o funcionamento de um transformador, nas condições especificadas nesta Norma, e que servem de base para os valores garantidos pelo fabricante e para os ensaios

**3.4.2**
**corrente nominal**
$I_n$
corrente que percorre um terminal de linha de um enrolamento, determinada a partir da potência nominal $S_n$ e da tensão nominal $U_n$ deste enrolamento

NOTA 1 Para um enrolamento trifásico, a corrente nominal $I_n$ é obtida pela seguinte equação:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n}$$


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

NOTA 2 Para os enrolamentos de transformadores monofásicos destinados a serem conectados em delta para formar um banco trifásico, a corrente nominal $I_n$ é obtida pela corrente de linha dividida por √3:

$$I_n = \frac{I_{linha}}{\sqrt{3}}$$

NOTA 3 Para transformadores monofásicos não interligados em um banco trifásico, a corrente nominal $I_n$ é obtida pela seguinte equação:

$$I_n = \frac{S_n}{U_n}$$

NOTA 4 Para enrolamentos abertos (ver 3.7.9) de um transformador, a corrente nominal do enrolamento aberto é a potência nominal dividida pelo número de fases e pela tensão nominal do enrolamento:

$$I_n = \frac{S_n}{\text{Número de fases} \times U_n}$$

onde

$I_n$ é a corrente nominal do enrolamento, expressa em ampères (A);

$S_n$ é a potência aparente nominal do enrolamento, expressa em volt-ampères (VA);

$U_n$ é a tensão nominal do enrolamento, expressa em volts (V).

**3.4.3**
**frequência nominal**
***$f_n$***
frequência para a qual o transformador é projetado para operar

**3.4.4**
**grandezas nominais**
grandezas (tensão, corrente etc.) cujos valores numéricos definem as características nominais

NOTA 1 Para transformadores com derivações, grandezas nominais são referidas à derivação principal (ver 3.5.10), exceto se houver alguma especificação em contrário. Grandezas correspondentes com significados análogos, referidas a outra derivação específica, são chamadas grandezas de derivação (ver 3.5.1).

NOTA 2 Tensões e correntes são expressas pelo seu valor eficaz, exceto se houver alguma especificação em contrário.

**3.4.5**
**potência nominal**
***$S_n$***
valor da potência aparente atribuída a um enrolamento, que juntamente com a tensão nominal desse enrolamento determina sua corrente nominal

NOTA 1 Os dois enrolamentos de um transformador com dois enrolamentos têm a mesma potência nominal, que, por definição, é a potência nominal do transformador.

NOTA 2 No caso de transformadores com mais de dois enrolamentos, dividindo-se por dois a soma aritmética das potências nominais de todos os enrolamentos (enrolamentos separados, não autoconectados), obtém-se uma estimativa da potência de um transformador com dois enrolamentos equivalentes.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**3.4.6**
**relação de tensões nominal**
relação entre a tensão nominal de um enrolamento e a de um outro enrolamento de tensão nominal inferior ou igual

**3.4.7**
**tensão nominal de um enrolamento**
$U_n$
tensão nominal a ser aplicada, ou desenvolvida, em vazio, entre os terminais de um enrolamento sem derivações, ou de um enrolamento com derivações ligado na derivação principal (ver 3.5.10). Para um enrolamento trifásico, é a tensão entre terminais de linha

NOTA 1 As tensões nominais de todos os enrolamentos surgem simultaneamente no funcionamento em vazio, quando a tensão aplicada a um deles tem seu valor nominal.

NOTA 2 No caso de transformadores monofásicos destinados a serem ligados em estrela para constituir um banco trifásico, a tensão nominal é indicada pela tensão entre fases dividida por $\sqrt{3}$, por exemplo, $U_n = 400/\sqrt{3}$ kV.

NOTA 3 Para o enrolamento série de um transformador de reforço trifásico, que é constituído por enrolamentos de fases independentes (ver 3.10.5), a tensão nominal é indicada como se o enrolamento estivesse ligado em estrela, por exemplo, $U_n = 23/\sqrt{3}$ kV.

## 3.5 Derivações

**3.5.1**
**característica de derivação**
conjunto de valores numéricos atribuídos às grandezas análogas e às grandezas nominais, correspondentes a outras derivações que não a derivação principal

NOTA Características de derivação existem para quaisquer enrolamentos de um transformador, não somente para os enrolamentos com derivações (ver 6.2 e 6.3).

As características de derivação são:

— tensão de derivação (análogo à tensão nominal, 3.4.7);

— potência de derivação (análogo à potência nominal, 3.4.5);

— corrente de derivação (análogo à corrente nominal, 3.4.2).

**3.5.2**
**comutador de derivações em carga**
dispositivo para mudança das derivações de um enrolamento, adequado à operação com o transformador energizado com ou sem carga

**3.5.3**
**comutador de derivações sem tensão**
dispositivo para mudança das derivações de um enrolamento, adequado à operação com o transformador desenergizado

**3.5.4**
**degrau de derivação**
diferença entre fatores de derivação de duas derivações adjacentes

NOTA O degrau de derivação é expresso em porcentagem (%).


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**3.5.5**
**derivação**
em um transformador com enrolamento de derivações, qualquer ponto de conexão desse enrolamento, que, em consequência, estabelece uma relação definida de espiras entre esse enrolamento e qualquer outro enrolamento que possua um número fixo de espiras

NOTA Uma das derivações é a derivação principal e as outras derivações são definidas em relação à derivação principal, em função de seus respectivos fatores de derivação. Ver definições destes termos a seguir.

**3.5.6**
**derivação de plena potência**
derivação cuja potência de derivação é igual à potência nominal

**3.5.7**
**derivação de potência reduzida**
derivação cuja potência de derivação é menor que a potência nominal

**3.5.8**
**derivação inferior**
derivação em que o fator de derivação é menor que 1

**3.5.9**
**derivação superior**
derivação em que o fator de derivação é maior que 1

**3.5.10**
**derivação principal**
derivação à qual se referem as grandezas nominais

**3.5.11**
**faixa de derivação**
faixa de variação entre os fatores de derivação extremos

NOTA 1 A faixa de derivação é expresso em porcentagem (%).

NOTA 2 Se os fatores de derivação extremos forem (100 + a) % e (100 – b) %, a faixa de derivação é + a %, – b % ou ± a % (quando a = b).

**3.5.12**
**fator de derivação (correspondente a uma dada derivação)**
as relações:

$\frac{U_d}{U_n}$ (Fator de derivação) ou $100\frac{U_d}{U_n}$ (Fator de derivação expresso em porcentagem)

onde

$U_n$ é a tensão nominal do enrolamento (ver 3.4.3);

$U_d$ é a tensão induzida em vazio entre os terminais do enrolamento, na derivação considerada, aplicando a tensão nominal do outro enrolamento ligado na sua derivação principal.

NOTA Esta definição não é apropriada em relação a enrolamentos série de um transformador de reforço (ver 3.1.5) e, neste caso, a notação porcentual refere-se à tensão do enrolamento de excitação ou do enrolamento do transformador associado.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**3.5.13**
**relação de tensões de derivação (de um par de enrolamentos)**

a) relação de tensões nominal multiplicada pelo fator de derivação de um enrolamento com derivações, se este for o de alta-tensão;

b) relação de tensões nominal dividida pelo fator de derivação de um enrolamento com derivações, se este for o de baixa tensão.

NOTA Enquanto a relação de tensão nominal é, por definição, no mínimo igual a 1, a relação de tensão de derivação pode ser menor que 1, para certas derivações, quando a relação de tensão nominal é próxima a 1.

**3.5.14**
**tensão máxima de derivação permitida em operação**
tensão à frequência nominal para a qual um transformador é projetado para suportar continuamente sem danos em qualquer derivação, em condição de operação

NOTA 1 Essa tensão é limitada por $U_m$.

NOTA 2 Essa tensão é normalmente limitada a 105 % da tensão de derivação a menos que uma tensão mais elevada seja requerida pela especificação do comprador para a derivação (ver 6.4) tanto explicitamente ou como resultado de uma especificação, conforme 6.4.2.

## 3.6 Perdas e corrente de excitação

NOTA Os valores se reportam à derivação principal, exceto se outra derivação for especificada.

**3.6.1**
**corrente de excitação**
valor eficaz da corrente que flui pelo terminal de linha de um enrolamento, quando a tensão nominal (tensão de derivação) à frequência nominal é aplicada a este enrolamento, com o(s) outro(s) enrolamento(s) em circuito aberto

NOTA Para um transformador trifásico, este valor representa a média aritmética dos valores das correntes nas três fases. A corrente de excitação de um enrolamento é frequentemente expressa em porcentagem da corrente nominal deste enrolamento. Para os transformadores de mais de dois enrolamentos, esta porcentagem é referenciada ao enrolamento de potência nominal mais elevada.

**3.6.2**
**perdas em carga**
potência ativa absorvida, relativa a um par de enrolamentos, à frequência nominal e à temperatura de referência (ver 11.1), quando a corrente nominal (corrente de derivação) flui pelo terminal de linha de um dos enrolamentos, e com os terminais do outro enrolamento curto-circuitados e os demais enrolamentos em circuito aberto

NOTA 1 Para um transformador com dois enrolamentos, existe apenas uma combinação de enrolamentos e um valor de perdas em carga. Para um transformador com mais de dois enrolamentos, existem vários valores de perdas em carga, correspondentes às diferentes combinações de dois enrolamentos. O valor de perdas em carga para o transformador completo corresponde a uma combinação determinada de cargas nos diferentes enrolamentos. Em geral, este valor não pode ser determinado por meio de ensaios diretos, mas é obtido por cálculo conforme apresentado no Anexo E.

NOTA 2 Quando os enrolamentos do par possuem potências nominais diferentes, as perdas em carga são referidas à corrente nominal do enrolamento com a menor potência nominal, mencionando-se a potência de referência.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**3.6.3**
**perdas em vazio**
potência ativa absorvida quando a tensão nominal (tensão de derivação) à frequência nominal é aplicada aos terminais de um enrolamento, com o(s) outro(s) enrolamento(s) em circuito aberto

**3.6.4**
**perdas totais**
soma das perdas em vazio e das perdas em carga

NOTA A potência consumida pelos equipamentos auxiliares não está inclusa nas perdas totais, sendo recomendado que seja indicada separadamente.

## 3.7 Impedância de curto-circuito, queda de tensão e impedância de sequência zero

**3.7.1**
**impedância de curto-circuito (de um par de enrolamentos)**
impedância série equivalente, $Z = R + jX$, à frequência nominal e à temperatura de referência, medida entre os terminais de um enrolamento, enquanto os terminais do outro enrolamento são curto-circuitados e os demais enrolamentos, caso existam, estão em circuito aberto;

NOTA 1 A impedância de curto-circuito é expressa em ohms.

NOTA 2 Para um transformador trifásico, a impedância é expressa como uma impedância de fase (ligação em estrela equivalente).

NOTA 3 Para um transformador com enrolamento de derivação, a impedância de curto-circuito é referida a uma derivação particular. Exceto se houver alguma especificação em contrário, esta derivação é a derivação principal.

NOTA 4 A impedância ($Z = R + jX$) pode ser expressa sob uma forma adimensional, em valor porcentual, como uma fração z da impedância de referência $Z_{ref}$ do mesmo enrolamento do par, conforme a seguinte equação:

$$z = 100 \times \frac{Z}{Z_{ref}}$$

onde

$$Z_{ref} = \frac{U^2}{S_n}$$

(Equação válida para transformadores trifásicos e monofásicos)

$U$ é a tensão (tensão nominal ou tensão da derivação) do enrolamento referente a $Z$ e $Z_{ref}$;

$S_n$ é o valor de referência da potência nominal.

O valor relativo também é igual ao quociente da tensão aplicada durante o ensaio de curto-circuito para se fazer circular a corrente nominal (ou corrente de derivação), pela tensão nominal (ou tensão de derivação). Esta tensão corresponde à tensão de curto-circuito do par de enrolamentos, e é normalmente expressa em porcentagem (%).

**3.7.2**
**impedância de sequência zero (de um enrolamento trifásico)**
impedância, à frequência nominal, entre os terminais de linha de um transformador trifásico conectado em estrela ou em zigue-zague ligados entre si e seu terminal de neutro

NOTA 1 A impedância de sequência zero é expressa em ohms por fase.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

NOTA 2 A impedância de sequência zero pode apresentar diversos valores, porque ela depende da forma que os outros enrolamentos são conectados, carregados e do tipo construtivo do transformador (monofásicos em banco trifásico).

NOTA 3 A impedância de sequência zero pode depender dos valores da corrente e da temperatura, em particular para transformadores sem enrolamentos conectados em triângulo.

NOTA 4 A impedância de sequência zero também pode ser expressa em valores relativos, da mesma forma que a impedância de curto-circuito (sequência positiva) (ver 3.7.1).

**3.7.3**
**queda ou elevação da tensão para uma condição especificada de carga (regulação)**
diferença aritmética entre a tensão em vazio de um enrolamento e a tensão em carga desenvolvida nos terminais do mesmo enrolamento para uma corrente de carga e fator de potência especificados, sendo a tensão aplicada ao(s) outro(s) enrolamento(s) igual:

a) ao seu valor nominal, se o transformador estiver conectado à derivação principal (a tensão em vazio do primeiro enrolamento é, portanto, igual ao seu valor nominal);

b) à tensão de derivação, se o transformador estiver conectado em outra derivação.

NOTA 1 Esta diferença se exprime geralmente sob a forma de porcentagem da tensão em vazio do primeiro enrolamento.

NOTA 2 Para transformadores de mais de dois enrolamentos, a queda ou a elevação de tensão depende não somente da carga e do fator de potência do enrolamento, mas também da carga e do fator de potência dos outros enrolamentos.

## 3.8 Ligações

**3.8.1**
**ligação em estrela**
**ligação Y**
ligação de enrolamentos na qual uma extremidade de cada enrolamento de fase de um transformador trifásico, ou de cada enrolamento de mesma tensão nominal de transformadores monofásicos que constituem um banco trifásico, é conectada a um ponto comum (ponto de neutro), estando a outra extremidade ligada ao terminal de linha correspondente

**3.8.2**
**ligação em triângulo**
ligação em delta
ligação D
ligação em série dos enrolamentos de fase de um transformador trifásico, ou de enrolamentos de mesma tensão nominal de transformadores monofásicos que constituem um banco trifásico, efetuado de modo a formar um circuito fechado

**3.8.3**
**ligação em triângulo aberto**
delta aberto
ligação em série de enrolamentos em que os enrolamentos de fase de um transformador trifásico, ou os enrolamentos de mesma tensão nominal de transformadores monofásicos que constituem um banco trifásico, são conectados em triângulo sem fechamento de um dos vértices


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**3.8.4**
**ligação V**
ligação entre si das extremidades de polaridades opostas dos enrolamentos de mesma tensão nominal, de dois transformadores monofásicos, de modo que o ponto comum e as duas extremidades livres formem o equivalente a uma ligação em triângulo

**3.8.5**
**ligação em zigue-zague**
ligação Z
ligação dos enrolamentos em que uma extremidade de cada enrolamento de fase de um transformador trifásico é ligada a um ponto comum (ponto de neutro) e na qual cada enrolamento de fase comporta duas partes nas quais são induzidas tensões defasadas

NOTA Estas duas partes são normalmente de mesmo número de espiras.

**3.8.6**
**enrolamentos abertos**
enrolamentos de fase de um transformador trifásico que não estão interconectados dentro do transformador

**3.8.7**
**enrolamento de fases independentes**
enrolamentos de fase de um transformador trifásico que não são interconectados no interior do transformador

**3.8.8**
**deslocamento angular**
diferença angular entre os fasores que representam as tensões entre o ponto de neutro (real ou fictício) e os terminais correspondentes de dois enrolamentos, quando um sistema de tensões de sequência positiva de tensões é aplicado aos terminais do enrolamento de mais alta-tensão, em ordem de sequência alfabética, se eles forem identificados por letras ou em sequência numérica, se identificados por números.

NOTA 1 Convenciona-se que os fasores giram no sentido anti-horário

NOTA 2 Ver subseção 7.1.

NOTA 3 O fasor do enrolamento de mais alta-tensão é tomado como referência, e a defasagem de todos os outros enrolamentos é expressa por uma indicação horária, isto é, a hora indicada pelo fasor do enrolamento, considerando que o fasor do enrolamento de mais alta-tensão está sobre a posição 12 h (quanto maior o número, maior a defasagem em atraso).

**3.8.9**
**símbolos de ligação**
símbolos convencionados que indicam as formas de ligação dos enrolamentos de alta-tensão, tensões intermediárias, se existentes, e de baixa tensão, e seus deslocamentos angulares.

NOTA Expressos como uma combinação de letras e indicações horárias

## 3.9 Ensaios

**3.9.1**
**ensaio de rotina**
ensaio realizado em todas as unidades de produção

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**3.9.2**
**ensaio de tipo**
ensaio realizado em um transformador que representa os outros transformadores, com o objetivo de demonstrar que estes transformadores atendem às condições especificadas não abrangidas pelos ensaios de rotina.

NOTA 1 Um transformador é considerado representativo em relação a outros, se for fabricado com o mesmo projeto, utilizando as mesmas técnicas e materiais na mesma fábrica.

NOTA 2 Ensaios de tipo podem ser considerados igualmente válidos, se forem efetuados em um transformador que apresente ligeiros desvios de valores nominais ou outras características.

NOTA 3 Alterações de projeto que sejam claramente irrelevantes para um tipo particular de ensaio não representam requisito para que esse ensaio seja repetido.

NOTA 4 Alterações de projeto que impliquem redução dos níveis e dos valores de estresse relevantes para um tipo particular de ensaio não representam requisito de que o ensaio seja repetido, desde que acordado entre fabricante e comprador.

NOTA 5 Para transformadores menores que 20 MVA e $U_m \leq$ 72,5 kV, mesmo alterações significativas de projeto podem ser consideradas aceitáveis desde que sustentadas por demonstração de atendimento aos requisitos do ensaio de tipo.

NOTA 6 Ensaios de tipo podem ser realizados em um projeto particular, desde que adquiridos pelo comprador.

**3.9.3**
**ensaio especial**
ensaio outro que não ensaio de tipo nem de rotina, realizado mediante acordo entre fabricante e comprador

NOTA Ensaios especiais podem ser realizados em um ou em todos os transformadores de um projeto particular, desde que especificado pelo comprador na etapa de cotação e de aquisição para cada ensaio especial.

## 3.10 Dados meteorológicos em relação ao resfriamento

**3.10.1**
**temperatura máxima**
temperatura máxima absoluta do meio de resfriamento, adotada como referência para temperaturas do transformador que não possam ser ultrapassadas em qualquer momento

**3.10.2**
**temperatura média anual**
média anual das temperaturas médias diárias do meio de resfriamento, adotada como referência para cálculo de vida útil

NOTA Os valores de temperatura média anual e máxima consideram o ambiente da subestação, majorados pelas condições locais.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 3.11 Outras definições

**3.11.1**
**componente harmônico de ordem par**
razão do valor efetivo de todos os componentes harmônicos pares em relação ao valor efetivo da fundamental ($E_1$, $I_1$)

$$\text{Componente harmônico de ordem par} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} E_{2i}^2}}{E_1} \quad \text{(Para tensão)}$$

$$\text{Componente harmônico de ordem par} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} I_{2i}^2}}{I_1} \quad \text{(Para corrente)}$$

onde

$E_i$ representa o valor de tensão r.m.s. do enésimo harmônico;

$I_i$ representa o valor de corrente r.m.s. do enésimo harmônico.

**3.11.2**
**corrente de carga**
valor r.m.s. da corrente em qualquer enrolamento em condições de operação

**3.11.3**
**distorção harmônica total**
razão do valor efetivo de todas as harmônicas em relação à fundamental ($E_1$, $I_1$)

$$\text{Distorção harmônica total} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} E_i^2}}{E_1} \quad \text{(Para tensão)}$$

$$\text{Distorção harmônica total} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} I_i^2}}{I_1} \quad \text{(Para corrente)}$$

onde

$E_i$ representa o valor de tensão r.m.s. do enésimo harmônico;

$I_i$ representa o valor de corrente r.m.s. do enésimo harmônico.

**3.11.4**
**elevação de temperatura**
diferença entre a temperatura da parte considerada e a temperatura do meio de resfriamento externo

**3.11.5**
**isolamento**
para definições relativas a isolamento, ver ABNT NBR 5356-3

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# 4 Condições de funcionamento

## 4.1 Generalidades

As condições de funcionamento estabelecidas em 4.2 representam a operação normal de um transformador especificado conforme esta Norma. Para quaisquer condições particulares de funcionamento, que requeiram considerações especiais no projeto do transformador, ver 5.5. Estas condições incluem altitudes elevadas, temperaturas máximas e mínimas extremas do meio de resfriamento, umidade elevada, atividade sísmica, ambientes agressivos, formas de onda de tensão ou corrente de carga não usuais, irradiação solar elevada e carregamento intermitente. Podem também ser consideradas condições de transporte, armazenamento e instalação, como limitações dimensionais ou de massa (ver Anexo A).

Requisitos suplementares para características nominais e ensaios são fornecidas nas seguintes publicações: elevação de temperatura e resfriamento em temperaturas elevadas do meio de resfriamento externo ou em altitudes elevadas: ABNT NBR 5356-2 para transformadores imersos em líquidos e ABNT NBR 5356-11 para transformadores do tipo seco; espaçamentos externos em altitude elevada: ABNT NBR 5356-3 para transformadores imersos em líquidos e ABNT NBR 5356-11 para transformadores do tipo seco.

## 4.2 Condições normais de funcionamento

Esta Norma contém prescrições detalhadas para transformadores destinados a serem utilizados nas condições seguintes (ver Anexo A):

a) altitude:

Altitude não superior a 1 000 m;

b) temperatura do meio de resfriamento:

Temperatura do ar de resfriamento na entrada do equipamento de resfriamento não superior a:

— 40 °C (quarenta graus Celsius positivos) máxima;

— 30 °C (trinta graus Celsius positivos) média anual;

E não inferior a:

— – 25 °C (vinte e cinco graus Celsius negativos) no caso de transformadores para instalações externas;

— 0 °C no caso em que o transformador e o equipamento de resfriamento são previstos para instalações internas.

Temperaturas máxima e média anual como definidos em 3.9;

— O comprador pode especificar uma temperatura mínima maior do meio de resfriamento, e, nesse caso, a temperatura mínima do meio de resfriamento deve ser indicada na placa de identificação.

— Para transformadores resfriados a água, a temperatura de entrada da água de resfriamento não superior a:

— 30 °C, máxima;

— 25 °C média anual;


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Temperaturas máxima e média anual como definidos em 3.9.

Limites suplementares com relação a resfriamento são fornecidos:

— para transformadores imersos em líquido isolante, na ABNT NBR 5356-2;

— para transformadores a seco, na ABNT NBR 5356-11;

NOTA 1 Para os transformadores com trocadores de calor ar/água e água/líquido, a temperatura do meio de resfriamento refere-se à temperatura ambiente do ar em vez da temperatura da água no circuito intermediário que pode exceder o valor normal.

NOTA 2 A temperatura aplicável é a da entrada ao equipamento de resfriamento em vez da temperatura de ar externa, isso implica em cuidado por parte do usuário pois, se a instalação criar condições em que a recirculação de ar da saída do equipamento de resfriamento possa ocorrer, que isso seja considerado quando da avaliação da temperatura do ar de resfriamento.

c) forma de onda da tensão de alimentação:

Uma tensão de alimentação senoidal com um fator de distorção harmônico total não superior a 5 %, e um conteúdo de harmônicas pares não superiores a 1 %;

d) conteúdo de harmônicas da corrente de carga

Conteúdo total de harmônicas da corrente de carga não superior a 5 % da corrente nominal;

NOTA 3 Convém que para os transformadores com conteúdo total de harmônicas da corrente de carga superior a 5 % da corrente nominal, ou transformadores especificamente destinados para alimentar cargas de retificador ou eletrônica de potência sejam especificados de acordo com a IEC 61378.

NOTA 4 Os transformadores podem operar sob corrente nominal sem perda excessiva de vida com um conteúdo de harmônicas de corrente inferior a 5 %, entretanto, convém observar se a elevação de temperatura aumenta para qualquer carga com harmônicas e se pode exceder a elevação de temperatura nominal.

e) simetria da tensão de alimentação trifásica

Para transformadores trifásicos, as tensões de alimentação trifásicas devem ser praticamente simétricas. As tensões são consideradas aproximadamente simétricas quando a maior tensão entre fases não é superior a 1 % da mais baixa tensão entre fases em regime permanente ou não superior a 2 % por períodos curtos (aproximadamente 30 min) sob condições excepcionais;

f) ambiente de instalação

Um ambiente com baixo nível de poluição (ver ABNT NBR 5034, IEC 60137 e ABNT IEC/TS 60815, Partes 1, 2 e 3) não requer considerações especiais em relação à isolação externa das buchas do transformador ou do próprio transformador.

Um ambiente não sujeito a abalos sísmicos não requer considerações especiais no projeto. (Considera-se nesse caso quando o nível de aceleração vertical do solo está abaixo de 2 $m.s^{-2}$ ou aproximadamente 0,2 g). Ver IEC 60068-3-3.

Quando o transformador for instalado separadamente do equipamento de resfriamento, em um invólucro não fornecido pelo fabricante do transformador, por exemplo, em um invólucro acústico, a temperatura máxima do ar ao redor do transformador, para condições normais de funcionamento, é considerada como não superior a 40 °C.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Condições ambientais devem ser conforme as seguintes definições de acordo com a IEC 60721-3-4:

— condição climática 4K2 com exceção de temperatura mínima do meio de resfriamento externo de -10 °C e intensidade de chuva, conforme a ABNT NBR IEC 60060-1;

— condição climática especial 4Z2, 4Z4, 4Z7;

— condição biológica 4B1;

— substâncias quimicamente ativas 4C2;

— substâncias mecanicamente ativas 4S3;

— condições mecânicas 4M4.

NOTA Para ensaios de buchas, com relação a precipitações pluviométricas, ver IEC 60137.

Para transformadores de instalação interna, algumas destas condições ambientais podem não ser aplicáveis.

# 5 Características nominais e requisitos gerais

## 5.1 Potência nominal

### 5.1.1 Geral

A potência nominal de cada enrolamento deve ser especificada pelo comprador ou este deve fornecer informações suficientes ao fabricante para determinar a potência nominal na etapa de cotação.

O transformador deve ter uma potência nominal atribuída para cada enrolamento, que deve ser incluída na placa de identificação. A potência nominal corresponde a um carregamento contínuo, e é um valor de referência para valores garantidos e ensaios de perdas em carga e elevação de temperatura.

Se valores diferentes de potência aparente forem atribuídos sob diferentes condições, por exemplo, com diferentes métodos de resfriamento, a potência nominal é aquela de maior valor.

Um transformador com dois enrolamentos tem somente um valor de potência nominal, idêntico para os dois enrolamentos.

Para um transformador com mais de dois enrolamentos, o comprador deve especificar as combinações de potência de carregamento, declarando quando for necessário as potências ativas e reativas de saída separadamente.

Quando a tensão nominal é aplicada ao enrolamento primário e a corrente nominal flui nos terminais do enrolamento secundário, o transformador recebe a potência nominal correspondente a este par de enrolamentos.

O transformador deve ser capaz de fornecer, em regime contínuo, a potência nominal (para um transformador com mais de dois enrolamentos, as combinações especificadas de potência nominal dos enrolamentos) nas condições apresentadas na Seção 4 e sem ultrapassar os limites de elevação de temperatura especificados na ABNT NBR 5356-2.

NOTA 1 A interpretação da potência nominal de acordo com este parágrafo implica tratar-se de uma potência aparente injetada no transformador, incluindo seu próprio consumo de potência ativa e reativa. A potência


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

aparente que o transformador fornece ao circuito conectado aos terminais do enrolamento secundário sob carga nominal difere da potência nominal. A tensão pelos terminais secundários difere da tensão nominal devido à queda (ou elevação) de tensão no transformador. A compensação da queda de tensão, considerando o fator de potência da carga, é considerada na especificação da tensão nominal e da faixa de derivação.

NOTA 2 Para um transformador com mais de dois enrolamentos, a metade da soma aritmética dos valores de potência nominal de todos os enrolamentos (enrolamentos separados, não autoconectados) fornece uma estimativa aproximada de seu tamanho físico, em comparação a um transformador com dois enrolamentos.

### 5.1.2 Valores preferenciais para potência nominal

Para transformadores de até 20 MVA, convém que valores de potência nominal conforme a série R10 definida na ISO 3:

(...100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1 000 etc.) kVA.

### 5.1.3 Potência mínima para estágios de resfriamento alternativos

Quando o usuário requer valores de potência mínima em estágios de resfriamento diferentes do nominal, essa informação deve ser definida no pedido de compra.

O transformador deve ser capaz de suportar, em funcionamento contínuo, a potência mínima especificada (para um transformador com mais de dois enrolamentos, a(s) combinação(ões) especificada(s) de potências nominais de enrolamento) nas condições apresentadas na Seção 4 e no estágio de resfriamento especificado, sem exceder os limites de elevação de temperatura especificadas na IEC 60076-2 para transformadores imersos em líquido.

EXEMPLO Um transformador opera com uma porcentagem especificada da potência nominal com sistema de resfriamento forçado fora de serviço (ONAN), podendo permitir a saída da alimentação auxiliar.

### 5.1.4 Carregamento além da potência nominal

Um transformador e seus componentes, de acordo com esta Norma, devem estar aptos sob algumas circunstâncias a suportar carregamentos além da potência nominal. O método para calcular o carregamento permissível é fornecido na ABNT NBR 5356-7, para transformadores imersos em líquido, e na IEC 60076-12, para transformadores a seco.

Qualquer solicitação específica para carregamento além da potência nominal, operação a temperaturas médias externas mais elevadas ou limites de elevação de temperatura reduzidos devem ser especificados pelo comprador na solicitação de orçamento e contrato. Quaisquer ensaios adicionais ou cálculos requeridos para verificar a conformidade com estas solicitações específicas também devem ser especificados.

NOTA 1 Convém que esta opção seja usada particularmente para oferecer uma base ao projeto e garantias relacionadas a situações temporárias de carregamento de emergência para transformadores de potência.

Buchas, comutadores, transformadores de corrente e outros equipamentos auxiliares devem ser selecionados de forma a não restringir a capacidade de carregamento do transformador.

NOTA 2 Para a capacidade de carregamento de componentes, convém consultar as normas aplicáveis, sendo a IEC 60137 para buchas e a IEC 60214-1 para comutadores.

Estes requisitos não se aplicam a transformadores para aplicações especiais, que não necessitam de uma capacidade de carregamento além da potência nominal. Para estes transformadores, se esta solicitação for requerida, ela deve ser especificada.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 5.2 Modo de resfriamento

O usuário deve especificar o meio de resfriamento (ar ou água).

Se o usuário tiver solicitações particulares para o método de resfriamento ou o equipamento de resfriamento, estas devem estar expostas na solicitação de orçamento.

Para informações adicionais, ver ABNT NBR 5356-2.

## 5.3 Rejeição de carga em transformadores diretamente conectados a geradores

Transformadores destinados a conexão direta a geradores podem estar sujeitos a condições de rejeição de carga e devem suportar 1,4 vez sua tensão nominal por 5 s nos terminais do transformador aos quais o gerador é conectado.

## 5.4 Tensão e frequências nominais

### 5.4.1 Tensão nominal

A tensão nominal deve ser especificada pelo comprador ou, para aplicações especiais, o comprador deve fornecer informações suficientes para o fabricante determinar a tensão nominal durante a etapa de proposta.

O transformador deve possuir uma tensão nominal especificada para cada enrolamento, que deve ser apresentada na placa de identificação do transformador.

### 5.4.2 Frequência nominal

A frequência nominal deve ser especificada pelo comprador como a frequência normal sem distúrbios da rede.

A frequência nominal é a base dos valores garantidos como perdas, impedância e nível de ruído.

### 5.4.3 Funcionamento a tensão superior à tensão nominal e/ou com variação de frequência

Métodos para a especificação dos valores adequados de tensão nominal e da faixa de derivação para lidar com diversos casos de carregamento (potência de carregamento, fator de potência e tensão fase-fase correspondente) estão descritos na ABNT NBR 5356-8.

Dentre os valores-limite prescritos de $U_m$, para os enrolamentos, um transformador deve ser capaz de operar continuamente a potência nominal sem danos sob condições de ‘sobre-excitação’ em que o valor da tensão dividido pela frequência (V/Hz) excede o correspondente valor da tensão nominal e da frequência nominal em não mais que 5 %, a menos que especificado de outra forma pelo comprador.

Em vazio, os transformadores devem ser capazes de uma operação contínua a uma relação V/Hz de 110 % da relação nominal V/Hz.

Em uma corrente K vezes a corrente nominal do transformador ($0 \leq K \leq 1$), a sobre-excitação deve ser limitada de acordo com a seguinte equação:

$$\frac{U}{U_r} \frac{f_r}{f} \times 100 \leq 110 - 5\,K \ \ (\%)$$

Se o transformador tiver que operar em uma relação V/Hz superior à estabelecida acima, isto deve ser especificado pelo comprador em fase de proposta.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 5.5 Disposição para condições não usuais de funcionamento

O comprador deve identificar no seu pedido de compra qualquer condição de serviço não abrangida pelas condições normais de funcionamento. Exemplos destas condições são:

a) temperatura média de resfriamento externo fora dos limites prescritos em 4.2;

b) ventilação limitada;

c) altitude acima dos limites prescritos em 4.2;

d) gases e fumaças danosos;

e) vapores;

f) umidade acima dos limites prescritos em 4.2;

g) condensação de água;

h) maresia;

i) poeira abrasiva e excessiva;

j) conteúdo de harmônicas da corrente de carga elevadas, acima dos requisitos de 4.2;

k) distorção da forma de onda da fonte de alimentação acima dos limites apresentados em 4.2;

l) transientes de chaveamento de alta frequência não usuais, ver Seção 13;

m) superposição de corrente contínua;

n) qualificação sísmica que exija considerações especiais no projeto, ver 4.2;

o) vibrações e choques mecânicos extremos;

p) radiação solar;

q) energizações regulares frequentes acima de 24 vezes por ano;

r) curtos-circuitos frequentes;

s) relação V/Hz acima do limite estabelecido em 5.4.3;

t) se um transformador elevador de gerador for utilizado, desconectado do gerador, de maneira a alimentar cargas no enrolamento de baixa tensão (abaixador) sem proteção deste lado;

u) proteção contra corrosão, conforme o tipo de instalação e as condições ambientais (ver 4.2), o comprador deve escolher a classe de proteção conforme a série ISO 12944 e a ABNT NBR 11388 ou por meio de acordo entre comprador e fabricante;

v) condições de rejeição de carga para transformadores elevadores de geradores mais severas do que as apresentadas em 5.3.

Especificação do transformador para operação nas condições acima devem ser objeto de acordo entre comprador e fabricante.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Requisitos adicionais, dentro de limites definidos, para ensaios e valores nominais dos transformadores projetados para outras condições de serviços normais apresentadas na Seção 4, como temperatura elevada do meio de resfriamento ou altitude acima de 1 000 m, são fornecidos na ABNT NBR 5356-2.

## 5.6 Tensão mais elevada para equipamentos $U_m$ e níveis de ensaios dielétricos

Para terminais de linha, a menos que especificado pelo comprador, $U_m$ deve ser considerada o menor valor acima da tensão nominal de cada enrolamento especificado na ABNTNBR 5653-3.

Para transformadores com tensão mais elevada maior que 72,5 kV, o comprador deve especificar se o terminal de neutro dos enrolamentos pode ser diretamente aterrado em serviço ou não e, se não, especificar a tensão $U_m$ para os terminais de neutro.

A menos que especificado em contrário pelo comprador, os níveis de ensaios dielétricos devem ser considerados o menor valor aplicável correspondente a $U_m$, conforme a ABNT NBR 5356-3.

## 5.7 Informações adicionais requeridas para solicitação de orçamento

### 5.7.1 Classificação do transformador

O tipo de transformador deve ser especificado pelo usuário, por exemplo, transformador com enrolamentos separados, autotransformador ou transformadores série.

### 5.7.2 Conexão do enrolamento e número de fases

A conexão do enrolamento requerida deve ser especificada pelo usuário de acordo com a terminologia apresentada na Seção 7, de forma a atender a uma determinada aplicação.

Se um enrolamento de estabilização ligado em triângulo for necessário, este deve ser especificado pelo comprador. Para transformadores ou autotransformadores ligados em estrela-estrela, se o projeto tem um circuito magnético para circulação de sequência zero e se não for especificado enrolamento em triângulo, então esta especificação deve ser acordada entre fabricante e comprador (ver ABNT NBR 5356-8).

NOTA Transformador do tipo núcleo envolvente (*shell type*) e transformador do tipo núcleo envolvido (*core type*) com colunas sem enrolamentos (colunas de retorno) dispõem de circuito magnético fechado para circulação de sequência zero.

Se houver solicitações para limites altos e baixos de impedância de sequência zero, isto deve estar especificado pelo comprador e pode influenciar a configuração do núcleo e a necessidade de um enrolamento adicional em triângulo. Se a solicitação de sequência zero determinar o uso de um enrolamento adicional conectado em triângulo que não tenha sido especificado diretamente pelo comprador, isto deve estar claramente indicado pelo fabricante nos documentos de proposta.

O fabricante do transformador não pode usar um enrolamento de ensaio em conexão em triângulo se nenhum enrolamento em triângulo for especificado, a menos que formalmente acordado pelo comprador.

Se houver uma requisição particular para um banco de transformadores monofásicos ou unidades trifásicas, isto deve ser especificado pelo usuário; do contrário o fabricante deve claramente especificar o tipo de transformador ofertado em seus documentos de proposta.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### 5.7.3 Nível de ruído

Caso o comprador tenha uma exigência particular de um nível de ruído máximo garantido, isto deve ser solicitado no pedido de compra e convém que seja expresso como um nível de potência sonora.

Exceto se houver disposição em contrário, o nível de ruído deve ser medido com o transformador em vazio, com todos os equipamentos de resfriamento necessários para alcançar a potência nominal de operação em funcionamento. Se um estágio de resfriamento alternativo for especificado (ver 5.1.3), o nível de ruído para cada estágio alternativo pode ser indicado pelo comprador e, se indicado, este nível deve ser garantido pelo fabricante e medido em ensaio.

O nível de ruído em serviço é influenciado pela corrente de carga (ver IEC 60076-10). Caso o comprador necessite de um ensaio de medição de nível de ruído sob corrente de carga ou de uma garantia do nível total de ruído dos transformadores, incluindo ruído em carga, isto deve ser mencionado no pedido de compra.

O nível de som medido no ensaio, conforme a IEC 60076-10, não pode exceder o nível máximo de ruído garantido, as Tabelas 5 e 6 estabelecem os valores-limite. O nível máximo de ruído garantido é um limite sem tolerância.

### 5.7.4 Transporte

#### 5.7.4.1 Limitação de transporte

Se os limites de tamanho ou massa de transporte forem aplicáveis, estes devem ser especificados no pedido de compra.

Se outras condições especiais forem aplicáveis durante o transporte, estas devem ser especificadas no pedido de compra. Estas condições podem incluir a restrição no transporte com líquido isolante ou condições ambientais durante o transporte diferentes daquelas previstas para ocorrer em operação.

#### 5.7.4.2 Aceleração de transporte

O transformador deve ser projetado e fabricado para suportar uma aceleração constante de, no mínimo, 1 g em todas as direções (além da aceleração devido à gravidade na direção vertical) sem qualquer dano, comprovado por cálculos de força estática baseados em um valor constante de aceleração.

Se o fabricante não for responsável pelo transporte e a aceleração prevista for acima de 1 g durante o transporte, as acelerações e as frequências dos impactos devem ser definidas no pedido de compra. Se acelerações maiores forem especificadas pelo cliente, o fabricante deve demonstrar a conformidade por meio de cálculo e apresentado se solicitado pelo comprador.

Caso o transformador seja destinado a ser utilizado como transformador móvel, isto deve ser indicado no pedido de compra.

NOTA O uso de registradores de impacto ou de choque durante o transporte de grandes transformadores é uma prática comum.

## 5.8 Componentes e materiais

Todos os componentes e materiais usados na construção do transformador devem atender aos requisitos das normas pertinentes da ABNT quando estas existirem, exceto se houver acordo ou especificação em contrário. Especificamente, as buchas devem atender às ABNT NBR 5034 e IEC 60137, os comutadores de derivação devem atender às ABNT NBR 8667-1, ABNT NBR 8667-2

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

e IEC 60214-1, e o líquido isolante deve atender à ABNT NBR 10576, para óleo mineral, à ABNT NBR 15422, para óleo vegetal, ou conforme acordado, para outros líquidos.

### 5.9 Características construtivas, componentes e acessórios

As características construtivas, os componentes e os acessórios devem atender aos requisitos fornecidos no Anexo H.

## 6 Requisitos para transformadores com um enrolamento com derivação

### 6.1 Generalidades – Notação para faixa de derivação

Esta subseção é aplicável a transformadores nos quais somente um dos enrolamentos possui derivações.

Para transformadores com mais de dois enrolamentos, os requisitos se aplicam à combinação do enrolamento com derivações com um qualquer dos outros enrolamentos sem derivações.

Para autotransformadores, as derivações são eventualmente localizadas no neutro, o que significa que o número de espiras é alterado simultaneamente nos dois enrolamentos. Para estes transformadores, as particularidades relativas às derivações devem ser acordadas entre o fabricante e o comprador. É conveniente utilizar, na medida do possível, os requisitos desta subseção.

Exceto se houver especificação em contrário, a derivação principal está situada no meio da faixa de derivação. As outras derivações são identificadas pelo fator de derivação. O número de derivações e a variação da relação de tensão podem ser expressos pela diferença do fator de derivação porcentual com relação a 100 (para definição de termos, ver 3.5).

EXEMPLO Um transformador com derivações em um enrolamento de 160 kV com 21 derivações com faixa de ±15 %, dispostas simetricamente, é designado:

(160 kV ± 10 × 1,5 %) – 66 kV

Se por alguma razão a faixa de derivações for especificada assimetricamente em torno da tensão nominal, tem-se:

(160 kV + 12 × 1,5 %, – 8 × 1,5 %) / 66 kV

NOTA Esta forma de notação reduzida é somente uma descrição do arranjo do enrolamento com derivação e não implica variações reais da tensão aplicada nesse enrolamento em operação. Este assunto é tratado em 6.2 e 6.3.

Informações sobre a forma de apresentação na placa de identificação dos dados relativos às derivações são fornecidas na Seção 8.

Certas derivações podem tratar-se de “derivações de potência reduzida”, devido a restrições de tensão de derivação e corrente de derivação. As derivações extremas para as quais ocorrem estas restrições são chamadas “derivações de tensão máxima” e “derivações de máxima corrente” (ver Figura 1).


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 6.2 Tensão de derivação – Corrente de derivação – Categorias normalizadas de variação de tensão de derivação – Derivação de tensão máxima

A notação abreviada da faixa de derivação e degraus de derivação indicam a faixa de variação da relação do transformador. No entanto, os valores das grandezas de derivação não são completamente definidos por esta notação. Informações adicionais são necessárias. Estas podem ser fornecidas seja em forma tabular, contendo a potência de derivação, a tensão de derivação e a corrente de derivação para cada derivação, ou como texto, indicando "a categoria de regulação de tensão" e os limites eventuais da faixa de "derivações de plena potência".

As categorias de regulação de tensão de derivação são:

a) variação de tensão a fluxo constante (VTFC);

A tensão é constante em todos os enrolamentos sem derivações em toda a faixa de derivação dos demais enrolamentos. As tensões de derivação, nos enrolamentos com derivações, são proporcionais aos fatores de derivação. Ver Figura 1-a).

b) variação de tensão a fluxo variável (VTFV);

A tensão é constante no enrolamento com derivações. Nos enrolamentos sem derivações, as tensões de derivação são inversamente proporcionais aos fatores de derivação. Ver Figura 1-b);

c) variação combinada de tensão (VCT)

Em muitas aplicações e em particular para os transformadores com larga faixa de derivações, uma combinação dos dois princípios é aplicável a diferentes partes da faixa de derivação, e esta categoria é chamada de variação combinada de tensão (VCT). O ponto de descontinuidade é chamado "derivação de tensão máxima". Para esta categoria, tem-se:

VTFC se aplica às derivações com fatores de derivação abaixo do fator da derivação de tensão máxima;

VTFV se aplica às derivações com fatores de derivação acima do fator da derivação de tensão máxima. Ver Figura 1-c).

O ponto de descontinuidade é apresentado na faixa de regulação aditiva. Ambos constituem a derivação de tensão máxima ($U_A$) e a derivação de corrente máxima ($I_B$ constante, não ultrapassando o ponto de descontinuidade). Adicionalmente, é também apresentada uma derivação de corrente máxima opcional (em VCT).

Nas Figuras 1-a, 1-b e 1-c, a seguinte notação é utilizada:

$U_A$, $I_A$: Tensão e corrente de derivação nos enrolamentos com derivações;

$U_B$, $I_B$: Tensão e corrente de derivação nos enrolamentos sem derivações;

$S_{AB}$: Potência de derivação;

Abscissa: Fator de derivação, em porcentagem (indicando o número relativo de espiras efetivas do enrolamento com derivações);

1: Indica as derivações à plena potência na faixa de derivações;

2: Indica as "derivações de tensão máxima", as "derivações de corrente máxima" e a faixa de derivações com potência reduzida. Diferentes tipos de variação de tensão.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

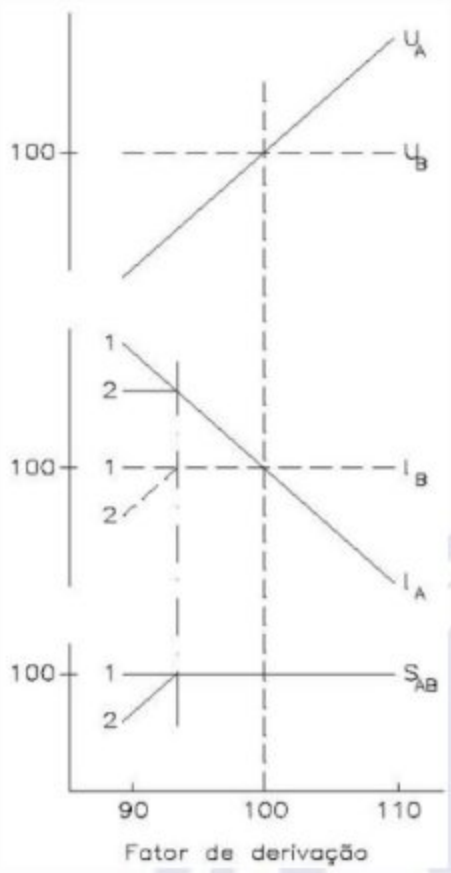



**Figura 1-a – Variação de tensão a fluxo constante (VTFC)**

**A linha 2 indica uma derivação opcional de máxima corrente**

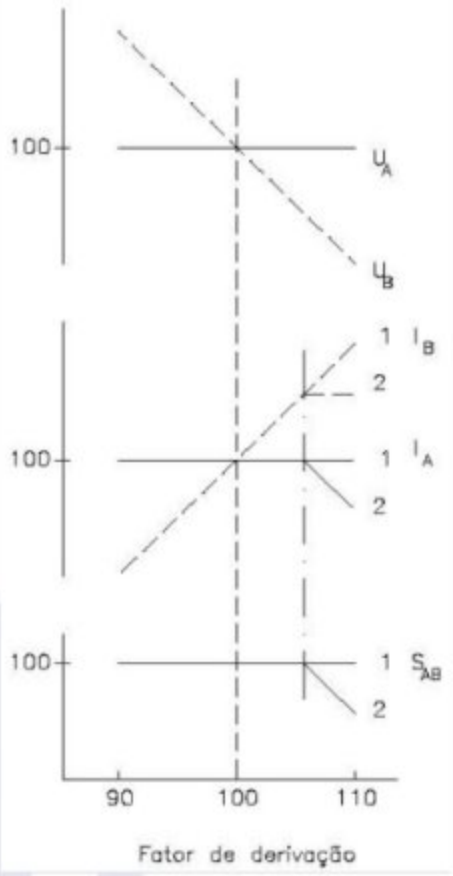



**Figura 1-b – Variação de tensão a fluxo variável (VTFV)**

**A linha 2 indica uma derivação opcional de máxima corrente**

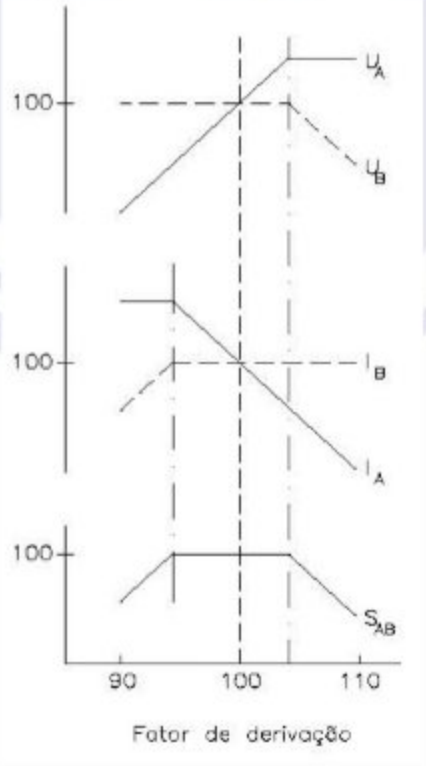



**Figura 1-C – Variação combinada de tensão (VCT)**

**Figura 1 – Diferentes tipos de variação de tensão**

## 6.3 Potência de derivação – Derivações a plena potência – Derivações de potência reduzida

Todas as derivações devem ser derivações a plena potência, exceto aquelas descritas nesta subseção.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Em transformadores de enrolamentos separados com uma faixa de derivações inferior a ±5 % e até 2 500 kVA, a corrente de derivação deve ser igual à corrente nominal para todas as derivações inferiores do enrolamento com derivações. Isto significa que a derivação principal é uma “derivação de máxima corrente”. Esta subseção descreve a seguir.

Em transformadores com faixa de derivação maior que ±5 %, pode-se especificar restrições sobre os valores de tensão ou corrente de derivação que, sem isso, ultrapassariam muito os valores nominais. Quando estas restrições são especificadas, as derivações concernentes são chamadas “derivações de potência reduzida”. Esta seção descreve estas disposições.

Quando o fator de derivação se desvia da unidade, a corrente de derivação das derivações a plena potência pode ultrapassar a corrente nominal em um dos enrolamentos. Conforme apresentado a Figura 1-a), isto se aplica às derivações inferiores para enrolamentos com derivações com regulação VTFC, e para as derivações superiores para enrolamentos com derivações com regulação VTFV (Figura 1-b)). Para evitar o sobredimensionamento do enrolamento em questão, é possível especificar uma derivação de máxima corrente. A partir desta derivação, os valores de corrente de derivação do enrolamento devem permanecer constantes, ou seja, as derivações restantes até a derivação extrema são derivações a potência reduzida (ver Figuras 1-a), 1-b) e 1-c)).

Exceto se for especificado em contrário, com uma regulação VCT, a “derivação de máxima tensão”, ponto de mudança entre VTFC e VTFV, deve ser igualmente uma derivação “de máxima corrente”, isto é, a corrente do enrolamento sem derivação permanece constante até a derivação extrema superior (Figura 1-c)).

## 6.4 Especificação de derivações na especificação técnica e no pedido de compra

### 6.4.1 Generalidades

O comprador deve especificar os requisitos para as derivações de acordo com 6.4.2 ou 6.4.3.

O comprador deve especificar se o(s) comutador(es) de derivações devem ser utilizados para operar em carga ou sem tensão.

Quando a variação de tensão a fluxo variável é utilizada, é normalmente possível somente definir duas posições ao longo da faixa de regulação para a relação de transformação definida em projeto. O comprador deve definir as derivações de transformação para o projeto, por exemplo, derivações extremas, derivações principal e máxima ou derivações principal e mínima. Se não for especificado, as duas derivações extremas devem ser utilizadas para a definir a relação de transformação.

A subseção 6.4.2 requer que o comprador especifique qual enrolamento possui derivações e as potências de cada derivação. A subseção 6.4.3 especifica os requisitos gerais relativos à tensão e à corrente e requer que o fabricante selecione qual(is) enrolamento(s) deve(m) ter derivações. Assim, a especificação pode resultar em uma variedade de possíveis projetos de transformador. A ABNT NBR 5356-8 fornece mais detalhes relativos à disposição das derivações e aos cálculos da regulação de tensão.

### 6.4.2 Especificação de projeto

Os seguintes dados são necessários para definir o projeto de um transformador:

a) qual é o enrolamento com derivações;

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

b) o número de degraus e o valor de cada degrau (ou a faixa de derivação e número de degraus). Exceto se for especificado em contrário, deve-se assumir que a faixa é simétrica em torno da derivação principal e que os degraus de derivação são iguais. Se por alguma razão o projeto necessitar de degraus diferentes, isto deve ser indicado na especificação técnica e no pedido de compra;

c) o tipo de regulação e, para regulações combinadas, o ponto de mudança (para derivação de tensão máxima, ver 6.2);

d) limite de corrente máxima (derivações à potência reduzida) e sobre quais derivações.

NOTA As alíneas c) e d) podem ser substituídas com vantagens por uma tabela do mesmo tipo daquela utilizada para a placa de identificação para os valores nominais (ver exemplo no Anexo B).

### 6.4.3 Especificação funcional

Este tipo de especificação é destinado a permitir ao comprador especificar requisitos operacionais e não a categoria da variação de tensão ou qual enrolamento deve ter derivações.

Este método de especificação não é aplicável a transformadores com enrolamentos separados acima e incluindo 2 500 kVA com a faixa de derivações não excedendo ±5 %.

A seguintes informações devem ser fornecidas pelo comprador no pedido de compra em adição à tensão nominal e à potência nominal definidas na Seção 5:

a) direção do fluxo de potência (pode ser em ambas direções);

b) número e tamanho do degrau de derivação, expressos em porcentagem da tensão nominal na derivação nominal. Se a faixa de derivação não é simétrica sobre a derivação principal, isto deve ser indicado. Se os degraus de derivação não são iguais ao longo da faixa, isto deve ser indicado.

NOTA 1 Pode ser que a faixa de derivação e o número de degraus seja mais importante que alcançar a tensão exata na derivação principal. Neste caso, a faixa de variação e o número de derivações podem ser especificados. Por exemplo, +5 % a -10 % em 11 degraus.

c) qual tensão deve variar com o propósito de definir a tensão de derivação nominal.

NOTA 2 A tensão de derivação nominal é necessária para determinar a base da impedância para cada derivação. Nos casos em que o método funcional de especificação for adotado, não utilizar a tensão de derivação nominal para determinar a potência nominal de derivação.

d) qualquer requisito para obter a relação de espiras entre dois enrolamentos em transformadores com mais de dois enrolamentos;

e) fator de potência mínimo à plena carga;

NOTA 3 Isto afeta a regulação de tensão do transformador

f) se alguma derivação ou faixa de derivações pode ser de potência reduzida.

O fabricante deve escolher o arranjo dos enrolamentos, o(s) enrolamento(s) que deve(m) ser de derivações. O transformador deve ser capaz de fornecer a corrente nominal no enrolamento secundário em todas as posições de derivações de acordo com as condições de operação a seguir, sem exceder os requisitos de elevação de temperatura especificados pela ABNT NBR 5356-2.

O transformador deve ser projetado para suportar sem danos as tensões e o fluxo provenientes das condições de carregamento especificadas acima (incluindo quaisquer condições de sobrecarga especificadas). Se solicitado, o cálculo apresentando o atendimento a esta condição deve ser fornecido ao comprador.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Um exemplo é apresentado no Anexo B (Exemplo 4).

Alternativamente, o comprador pode submeter um conjunto de condições de carregamento com valores de potência ativa e reativa (indicando claramente a direção do fluxo de potência), e as tensões de carga correspondentes. Convém que, para estas condições, os valores extremos de relação de tensão na potência plena e reduzida devem ser indicados (ver "o método dos seis parâmetros" da ABNT NBR 5356-8). Com base nesta informação, o fabricante, então, seleciona o enrolamento de derivação e especifica a quantidade nominal de derivações em sua oferta. Deve ser firmado um acordo entre fabricante e comprador para estabelecer a quantidade de derivações do projeto.

## 6.5 Especificação da impedância de curto-circuito

Para transformadores sem derivações que excedam uma variação de tensão de ±5 % da derivação principal, a impedância de curto-circuito de um par de enrolamentos deve ser especificada somente na derivação principal, em termos de ohms por fase Z ou em termos porcentuais z referido à potência nominal e à tensão nominal do transformador (ver 3.7.1). Alternativamente, a impedância pode ser especificada de acordo com um dos métodos desta subseção.

Para transformadores com derivações que excedam uma variação de tensão de ±5 % da derivação principal, os valores de impedância expressos em termos de Z ou z devem ser especificados para a derivação principal e as derivações extremas que excedam 5 %. Nestes transformadores, estes valores de impedância também devem ser medidos durante o ensaio de impedância de curto-circuito e de perdas de carga (ver 11.4) e devem estar sujeitos às tolerâncias indicadas na Seção 10. Se a impedância for expressa em termos porcentuais z, ela deve ser referida à tensão nominal da derivação (naquela derivação) e à potência nominal do transformador (na derivação principal).

NOTA 1 A seleção de um valor de impedância pelo usuário está sujeita a requisitos conflitantes: limitação de queda de tensão *versus* limitação de sobre corrente em condições de falha do sistema. Uma otimização econômica do projeto, considerando as perdas, determina uma certa faixa de valores de impedância. A operação em paralelo com um transformador existente requer compatibilidade das impedâncias (ver ABNT NBR 5356-8:2017, Seção 7).

NOTA 2 Se uma solicitação de oferta contiver uma especificação não só da impedância na derivação principal, mas também da sua variação em toda a faixa de derivações, isto pode impor uma restrição importante ao projeto do transformador (a disposição dos enrolamentos em relação uns aos outros e a suas geometrias). A especificação e o projeto do transformador também precisam considerar que grandes mudanças de impedância entre as derivações podem reduzir ou exagerar o efeito das derivações.

Alternativamente, as impedâncias máximas e mínimas em termos de z ou Z podem ser especificadas para cada derivação ao longo de toda a faixa de derivação. Isto pode ser feito com o auxílio de um gráfico ou uma tabela (Ver Anexo C). Os limites convêm que, na medida do possível, ser suficientemente espaçados para permitir que as tolerâncias estabelecidas na Seção 10 sejam aplicadas sobre o valor médio entre eles. Os valores medidos não podem exceder os limites extremos fixados, que são especificados sem tolerância.

NOTA 3 Convém que as impedâncias máximas e mínimas especificadas permitam uma tolerância de impedância pelo menos tão grande quanto as tolerâncias indicadas na Seção 10, mas, quando necessário, uma tolerância menor pode ser usada por acordo entre fabricante e comprador.

NOTA 4 Referindo a impedância na base de tensão nominal da derivação e da potência nominal do transformador na derivação principal significa que a relação entre ohms por fase Z e impedância porcentual z é diferente para cada derivação e depende de qual enrolamento a variação de tensão é especificada. É necessário um grande cuidado para assegurar que a impedância especificada esteja correta. Isto é particularmente importante para os transformadores especificados com potências de derivação diferentes da potência nominal na derivação principal.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### 6.6 Perdas em carga e elevação de temperatura

a) Se a faixa de derivação estiver dentro de ±5 % e a potência nominal não superar 2 500 kVA, as garantias de perdas em carga e a elevação de temperatura se referem apenas à derivação principal e o ensaio de elevação de temperatura é executado naquela derivação.

b) Se a faixa de derivação exceder ±5 % ou a potência nominal for superior a 2 500 kVA, as perdas garantidas devem ser indicadas na posição de derivação principal, exceto quando especificado pelo comprador na fase de solicitação de oferta. Se este requisito existir, deve ser indicado para quais derivações, além da derivação principal, as perdas em carga devem ser garantidas pelo fabricante. Estas perdas em carga são referidas aos valores das correntes das derivações. Os limites de elevação de temperatura são válidos para todas as derivações, na potência, tensão e corrente da derivação correspondente.

O ensaio de elevação de temperatura, se especificado, deve ser realizado em uma só derivação. Exceto se for especificado em contrário, o ensaio deve ser realizado na "derivação de máxima corrente" (que em geral é a derivação correspondente às maiores perdas em carga). As perdas máximas em qualquer derivação devem ser as utilizadas como a potência de ensaio aplicada para a determinação da elevação de temperatura do óleo durante o ensaio de elevação de temperatura, e a corrente da derivação de maior corrente deve ser a utilizada para a determinação da elevação de temperatura do enrolamento sobre o óleo. As informações em relação às regras e aos ensaios do ponto de vista da elevação de temperatura de transformadores imersos em líquido isolante são apresentadas na ABNT NBR 5356-2.

Em princípio, o ensaio de tipo de elevação de temperatura deve demonstrar que o sistema de resfriamento é suficiente para dissipar as perdas totais máximas em qualquer derivação e que a elevação de temperatura acima do ambiente de qualquer enrolamento, em qualquer derivação, não excede o valor máximo especificado.

NOTA 1 Para um autotransformador, a corrente máxima nos enrolamentos série e comum são geralmente em duas diferentes posições de derivação. Portanto, uma posição de derivação intermediária pode ser selecionada para ensaio para permitir que os requisitos da ABNT NBR 5356-2 sejam atendidos em ambos os enrolamentos durante o mesmo ensaio.

NOTA 2 Para alguns arranjos de derivação, o enrolamento de derivação não está conduzindo corrente máxima na posição de derivação de corrente máxima. Portanto, se a elevação de temperatura do enrolamento de derivação precisa ser determinada, outra derivação pode ser selecionada ou um ensaio extra pode ser acordado.

## 7 Marcações dos terminais e símbolos de ligação e deslocamento angular para transformadores trifásicos

### 7.1 Marcação dos enrolamentos e dos terminais

#### 7.1.1 Enrolamentos

Os terminais dos enrolamentos e suas respectivas ligações devem ser claramente identificados por meio de marcação constituída por algarismos e letras, a qual deve ser fielmente reproduzida no diagrama de ligações. Na placa de diagramática, a marcação deve ser feita com caracteres gravados em baixo relevo e pintados para efeitos de contraste.

#### 7.1.2 Terminais

Os terminais dos diversos enrolamentos devem ser marcados com as letras maiúsculas H, X, Y e Z. A letra H é reservada ao enrolamento de alta-tensão (exceto se este for o de seis fases nos

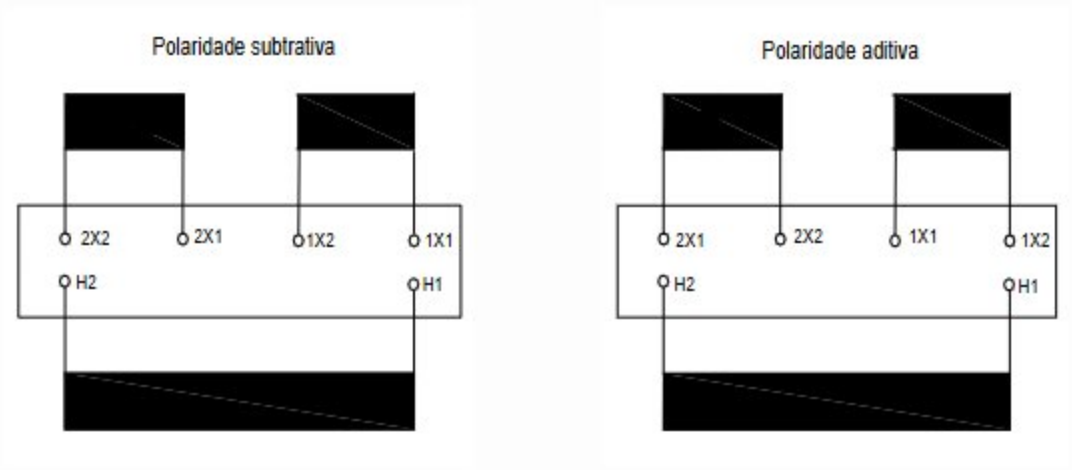

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

transformadores com três para seis fases). A sequência das demais letras deve ser baseada na ordem decrescente das tensões nominais dos enrolamentos. No caso de igualdade de tensões nominais e potências nominais, as letras devem ser as mesmas, e a diferenciação deve ser feita usando, antes de cada letra, um número de ordem que designa cada enrolamento. Estas letras devem ser acompanhadas por números 0, 1, 2, 3 etc. Para os terminais de neutro, utilizar o número 0, e para os terminais de fase e de derivação, de 1 em diante (ver exemplos na Figura 2).

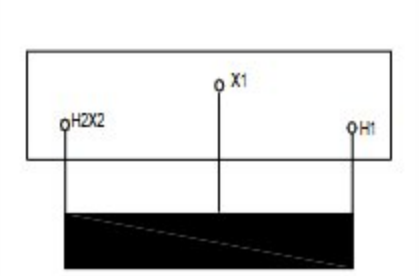
No caso de igualdade de tensões nominais, mas não de potências nominais, a diferenciação deve ser feita usando letras diferentes para os enrolamentos, na ordem decrescente das potências destes. Os terminais correspondentes de uma mesma fase devem ter a mesma polaridade.

**a) Enrolamentos H e X simples, com derivações – Transformador monofásico**

**b) Enrolamentos X série-paralelo, sem derivações – Transformador monofásico**



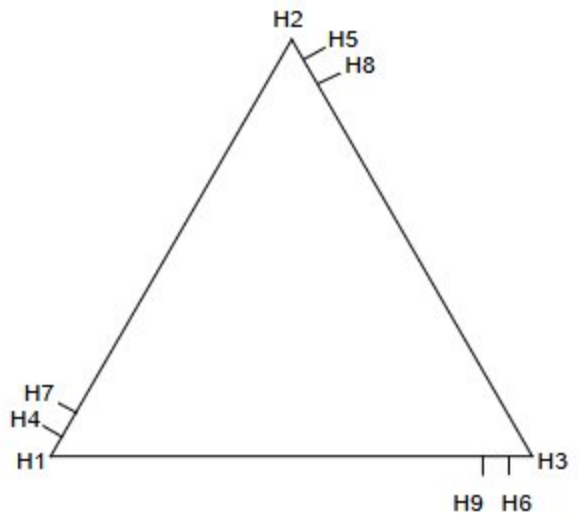

**c) Transformador monofásico – Enrolamentos X independentes (não passíveis de ligação série-paralelo)**

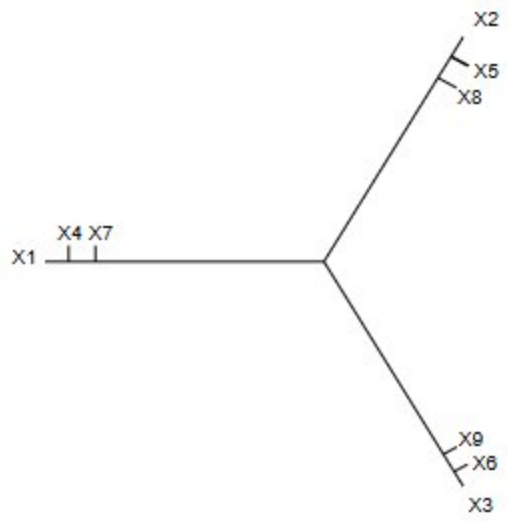



**d) Autotransformador monofásico**

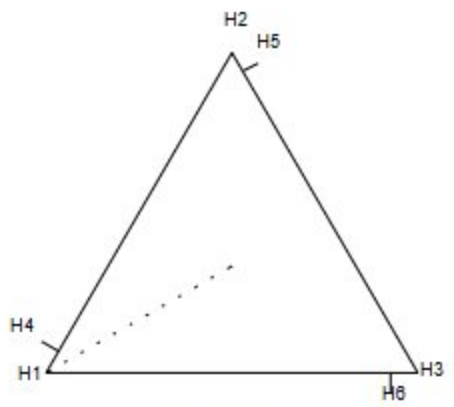
**Figura 2 – Marcação dos enrolamentos e terminais – Polaridade** (continua)

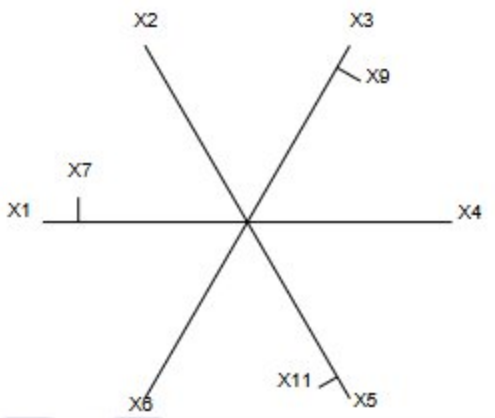
© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

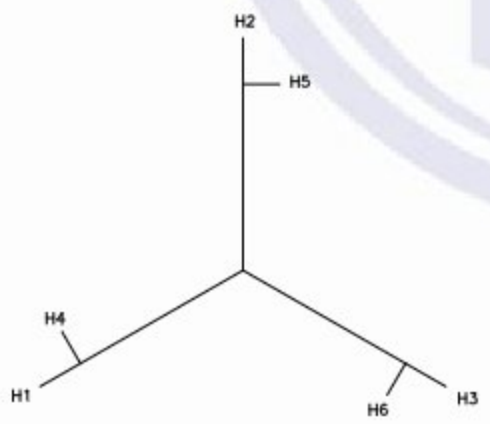


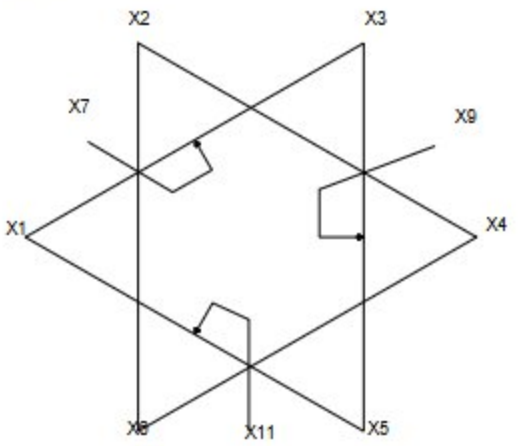




**e) Transformadores trifásicos com derivações**



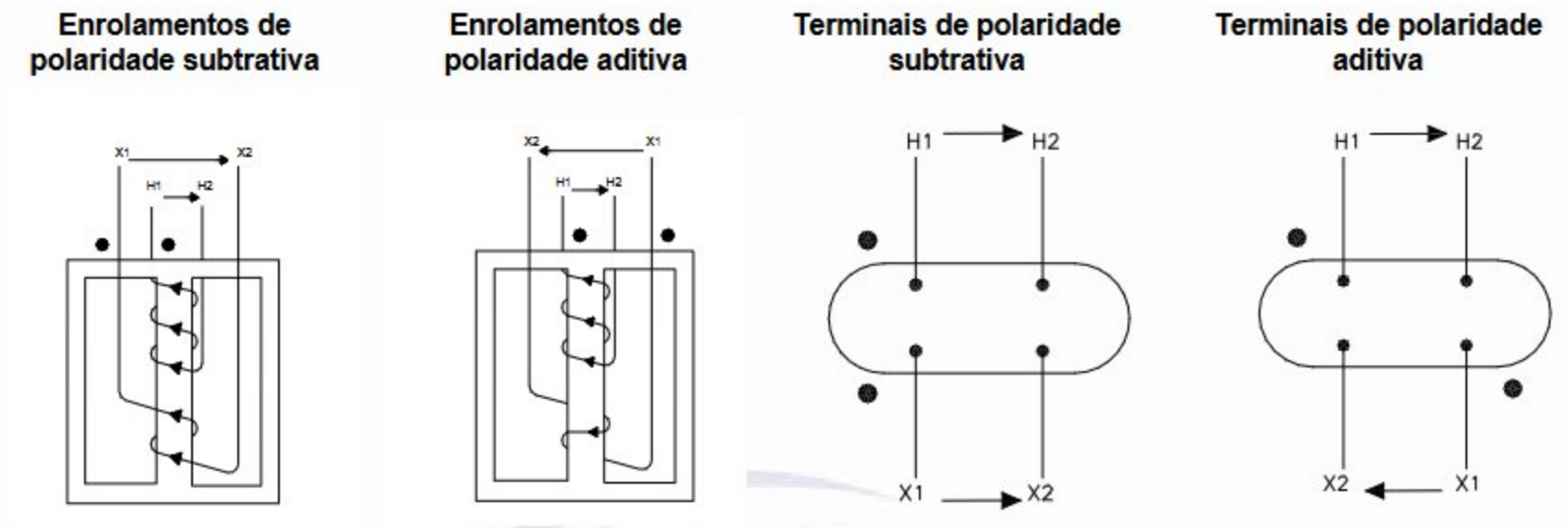




**f) Transformadores hexafásicos com derivações**

**Figura 2** (continuação)


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados




**g) Enrolamento e terminais**

**Figura 2** (conclusão)

### 7.1.3 Localização dos terminais H

Para localização dos terminais H, os seguintes procedimentos devem ser atendidos:

a) o terminal H1 deve ficar localizado à direita do grupo de terminais de alta-tensão, quando se olha o transformador do lado desta tensão. Os outros terminais H devem seguir a ordem numérica, da direita para a esquerda;

b) quando o enrolamento de alta-tensão, em transformadores monofásicos, possuir apenas um terminal acessível externamente, este é marcado com H1, e o outro terminal, aterrado internamente, é designado H2T;

c) quando, em transformadores monofásicos, os terminais do enrolamento de alta-tensão forem acessíveis, externamente, e existirem duas buchas com diferentes tensões nominais, a de maior tensão nominal é marcada com H1, e deve ser localizada de acordo com a alínea a);

d) para transformadores monofásicos de distribuição, os terminais devem ser localizados conforme previsto na ABNT NBR 5440.

### 7.1.4 Terminal de neutro

Todo terminal de neutro deve ser marcado com a letra correspondente ao enrolamento seguida do número zero. O terminal de neutro H0, se existir, convém, ser localizado no lado direito do terminal H1, quando se olha do lado desta tensão.

### 7.1.5 Localização dos terminais em transformadores monofásicos

Exceto se houver especificação diferente, os terminais correspondentes de um transformador monofásico devem estar adjacentes, no caso de polaridade subtrativa, e opostos, no caso de polaridade aditiva. Ver Figura 2.

### 7.1.6 Localização dos terminais X

O terminal X1 deve ficar localizado à esquerda do grupo de terminais de baixa tensão, quando se olha o transformador do lado desta tensão. Os outros terminais X devem seguir a ordem numérica, da esquerda para a direita. O terminal de neutro X0, se existir, convém, ser localizado no lado esquerdo do terminal X1, quando se olha do lado desta tensão.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### 7.1.7 Localização dos terminais Y e Z

Os terminais Y e Z, se existirem, devem ser numerados da mesma maneira que os terminais de baixa tensão.

## 7.2 Ligação dos enrolamentos e indicação do deslocamento angular

As ligações em estrela, em triângulo ou em zigue-zague de um conjunto de enrolamentos de fase de um transformador trifásico ou dos enrolamentos de mesma tensão de transformadores monofásicos associados em um banco trifásico, devem ser indicadas pelas letras maiúsculas Y, D ou Z para os enrolamentos de alta-tensão (AT) e as letras minúsculas y, d ou z para os enrolamentos de média-tensão (MT) e de baixa-tensão (BT).

Se o ponto de neutro de um enrolamento em estrela ou de um enrolamento em zigue-zague for acessível, as indicações devem ser, respectivamente, YN (yn) ou ZN (zn). Isso também se aplica aos casos em que as conexões de neutro para enrolamento de cada fase são acessíveis separadamente, mas são conectadas externamente para formar o ponto de neutro em serviço.

Em autotransformadores, nos quais dois enrolamentos têm uma parte em comum, o enrolamento de tensão nominal mais baixa deste par é indicado com a letra “a”, por exemplo, um autotransformador ligado em estrela, com neutro acessível, é designado por YNa.

O deslocamento angular é indicado no mostrador de um relógio, cujo ponteiro grande (minutos) encontra-se parado em 12 e coincide com o fasor da tensão entre o ponto de neutro (real ou imaginário) e um terminal de linha do enrolamento de alta-tensão, e cujo ponteiro pequeno (horas) coincide com o fasor tensão entre o ponto de neutro (real ou imaginário) e o terminal de linha correspondente do terminal considerado.

O fasor do enrolamento de alta-tensão é tomado como origem, e o enrolamento de menor tensão considerado determina o deslocamento angular pelo ponteiro de horas do relógio. A Figura 3 apresenta exemplos de diagramas fasoriais que demonstram o uso da indicação horária de fasores. As marcações dos terminais H1, H2, H3 e X1, X2, X3 são utilizadas nesta Figura apenas para fins de ilustração. O sentido das fases é anti-horário, resultando na sequência 1, 2, 3.

Em transformadores de mais de dois enrolamentos, o fasor do enrolamento de alta-tensão permanece como fasor de referência, sendo o símbolo destes enrolamentos indicado em primeiro lugar. Os demais símbolos seguem em sequência decrescente das tensões nominais dos outros enrolamentos. No caso de autotransformadores, nos quais dois enrolamentos têm uma parte em comum, a letra “a”, que corresponde ao enrolamento de mais baixa tensão do par, deve ser escrita depois da letra correspondente ao enrolamento de mais elevada tensão nominal do par, por exemplo, YNa0d11 (o par de enrolamentos com uma parte comum inclui o enrolamento de alta-tensão) ou Dyn11a11 (o par de enrolamentos com uma parte comum não inclui o enrolamento de alta-tensão).

NOTA 1 Na Figura 4, são apresentadas designações detalhadas de algumas ligações usuais de transformadores trifásicos e o correspondente deslocamento angular, não restringindo o uso de outras ligações.

NOTA 2 Na Figura 5, são apresentadas designações detalhadas de algumas ligações adicionais de transformadores trifásicos e o correspondente deslocamento angular.

NOTA 3 Em autotransformadores, observa-se que somente os deslocamentos angulares com indicações horárias 0, 4 e 8 são adequados para autotransformadores ligados em estrela. A Figura 6 está limitada ao símbolo de ligação Ya0.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

NOTA 4 A Figura 7 apresenta o diagrama do banco trifásico formado por três transformadores monofásicos a título de exemplo. As duas extremidades dos enrolamentos de cada transformador monofásico são acessíveis por ligação aos respectivos terminais marcados.

NOTA 5 Na prática, o uso somente de letras maiúsculas ou minúsculas não dá margem à interpretação errônea, devido, particularmente, às disposições precedentes.

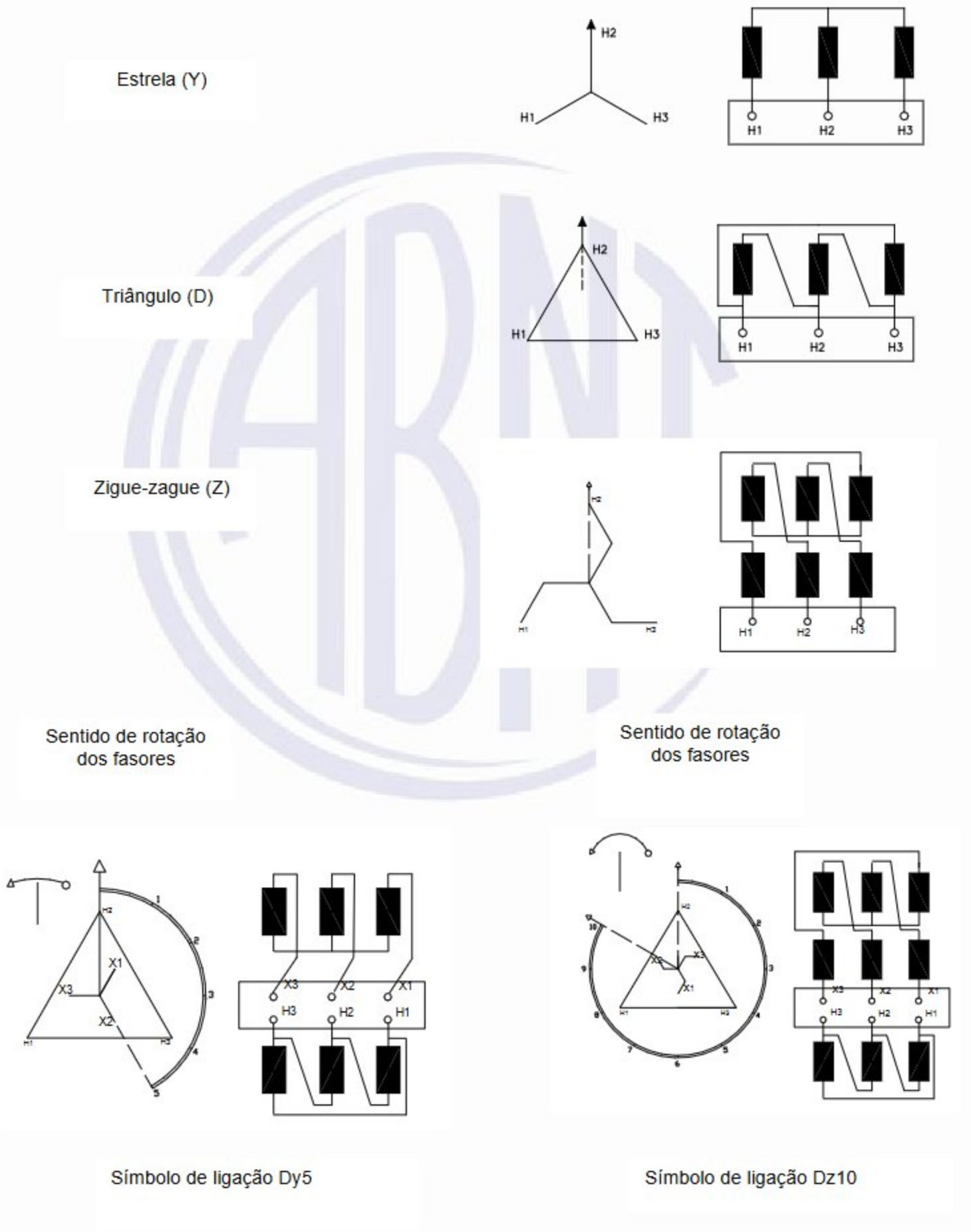



**Figura 3 – Diagrama ilustrado dos símbolos de ligação**

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

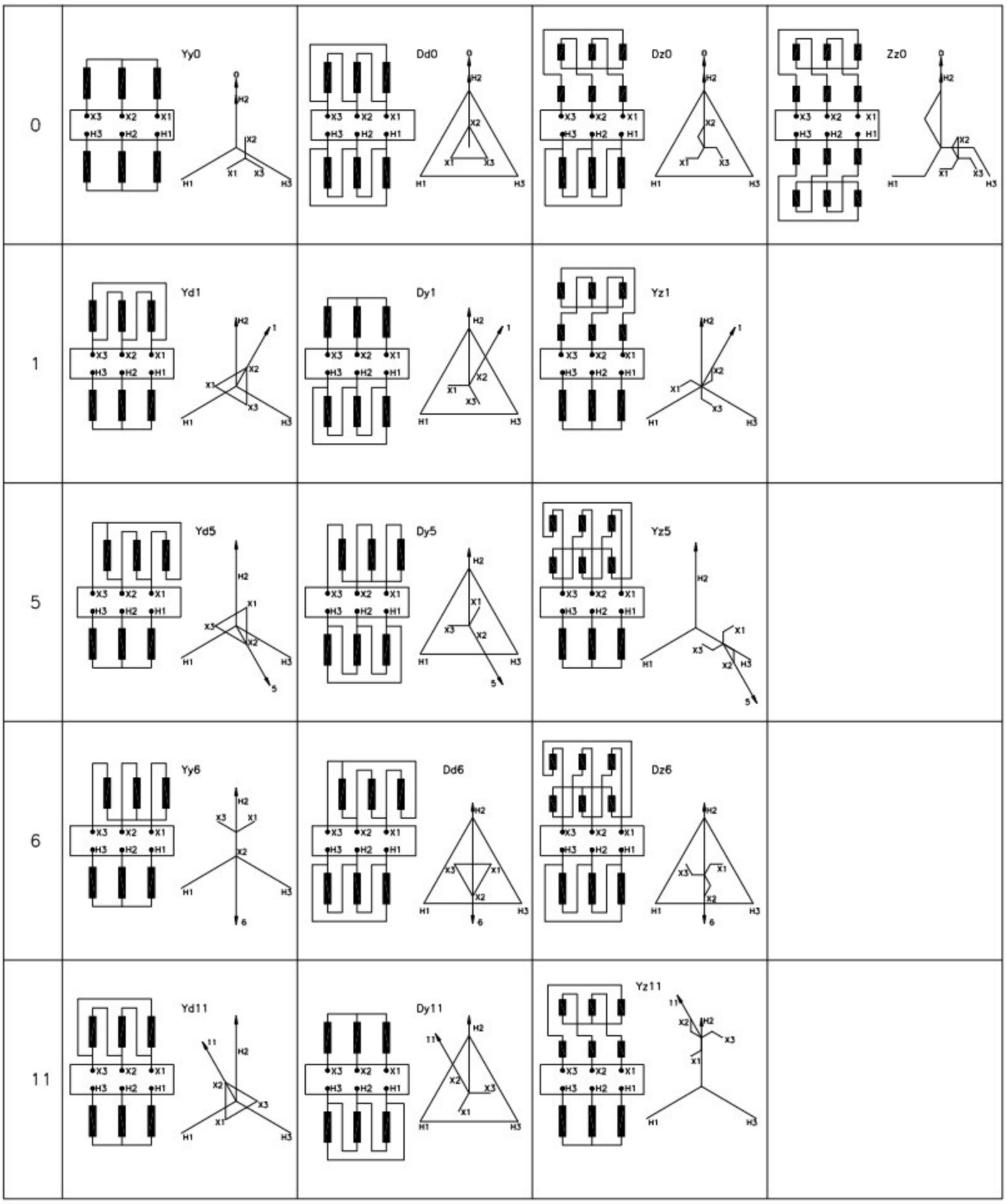



**Figura 4 – Ligações usuais – Exemplos de símbolos de ligação, marcação de terminais e diagramas fasoriais de tensão de transformadores trifásicos**


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

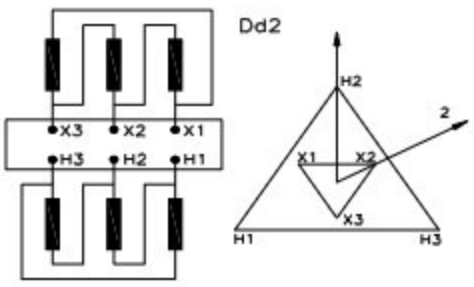
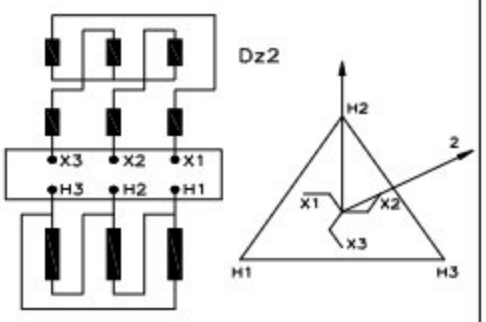
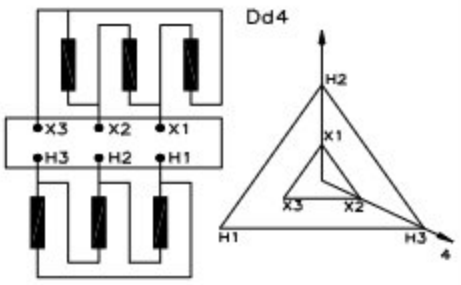
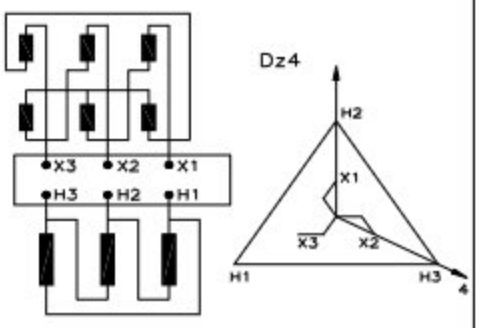
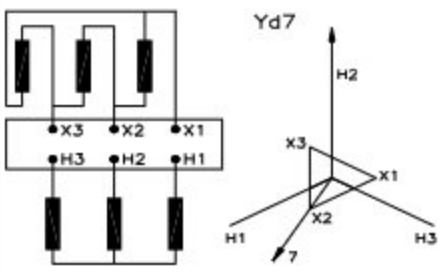
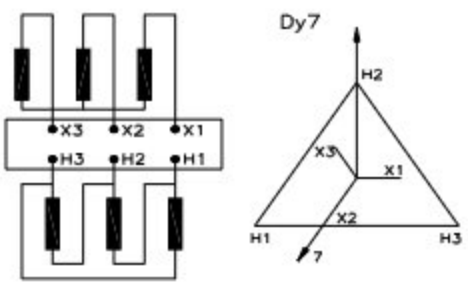
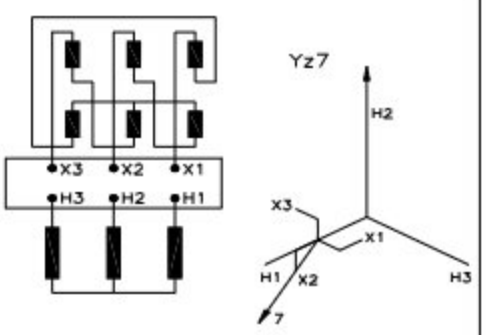
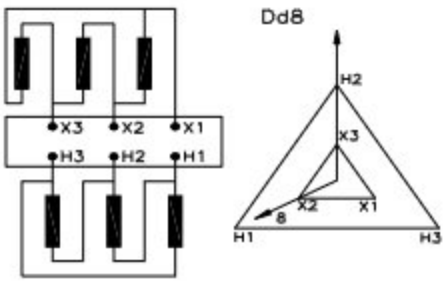
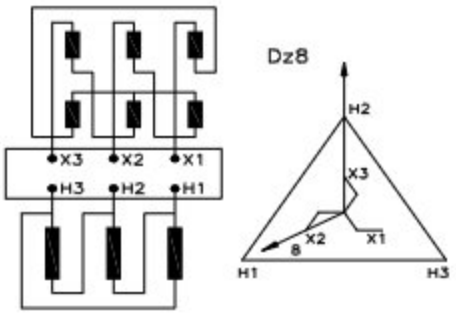
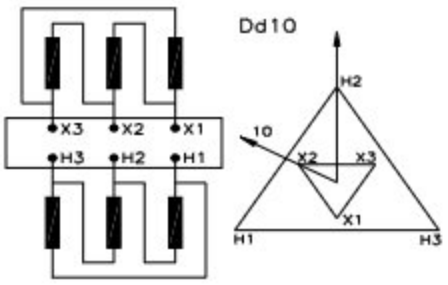
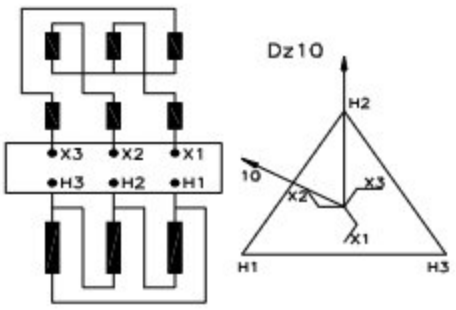
| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | |  |  |
| 4 | |  |  |
| 7 |  |  |  |
| 8 | |  |  |
| 10 | |  |  |

**Figura 5 – Ligações adicionais – Exemplos de símbolos de ligação, marcação de terminais e diagramas fasoriais de tensão de transformadores trifásicos**

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

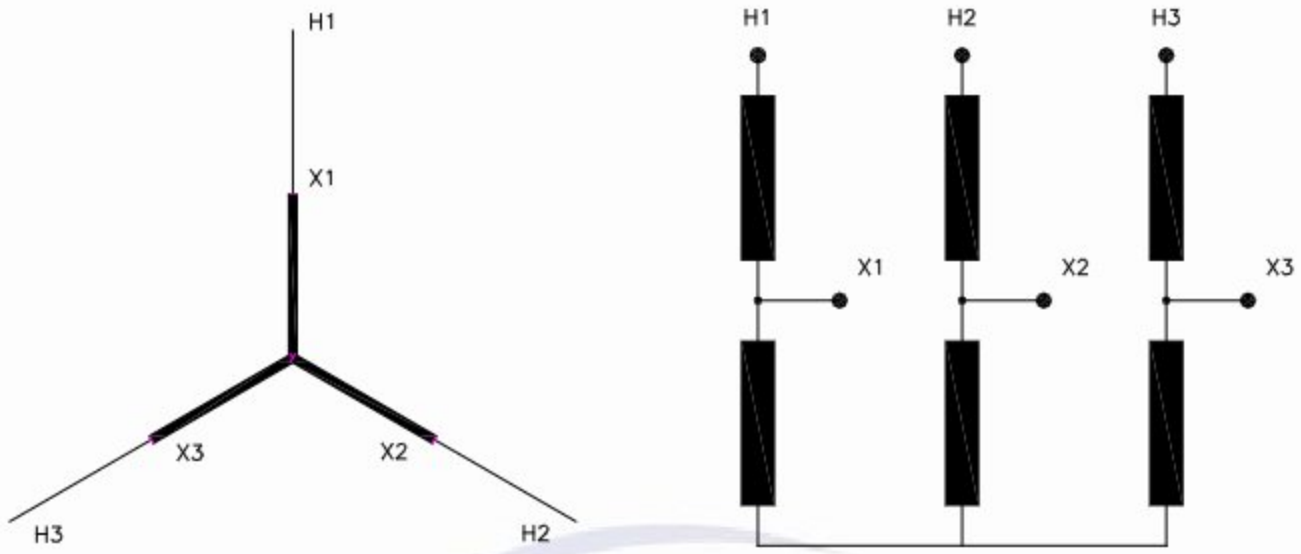



**Figura 6 – Designação das ligações de transformadores trifásicos por meio de símbolos de ligação – Autotransformador Ya0**

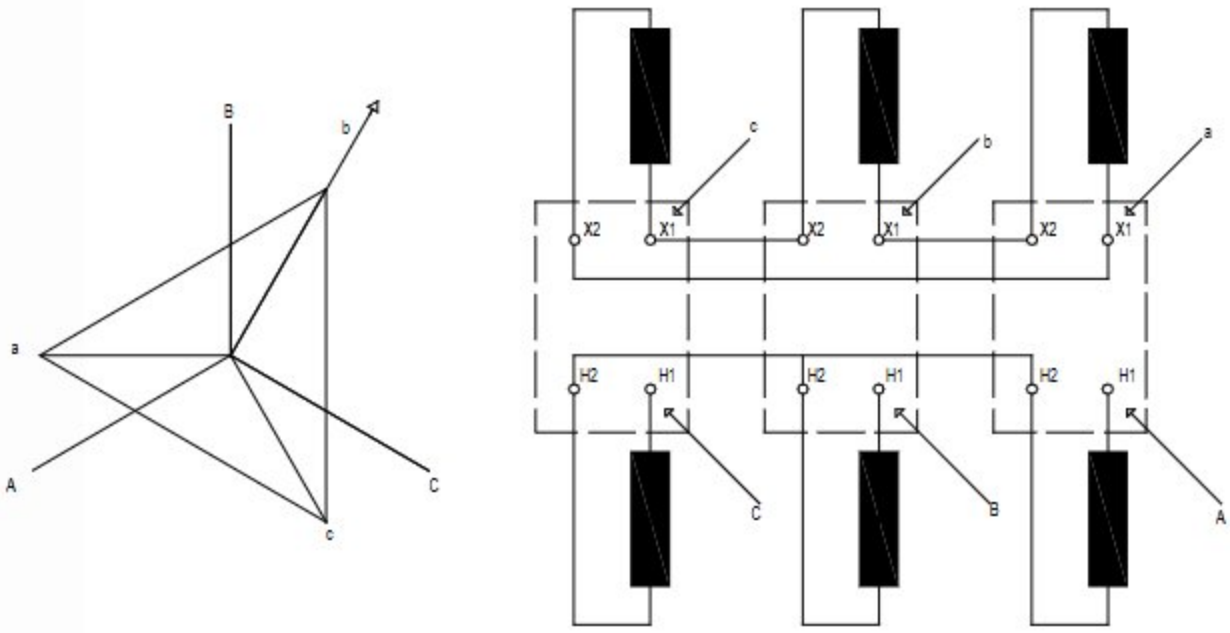



**Figura 7 – Exemplo de três transformadores monofásicos ligados para formarem um banco trifásico (símbolo de ligação Yd1)**

EXEMPLO 1 Um transformador com dois enrolamentos, como segue:

a) enrolamento em triângulo, com tensão nominal de 138 kV;

b) enrolamento em estrela, com neutro acessível e tensão nominal de 13,8 kV.

— A tensão do enrolamento ligado em estrela está adiantada em 30º sobre a tensão do outro enrolamento (indicação horária 11). O símbolo de ligação é Dyn11.

EXEMPLO 2 Um transformador com três enrolamentos, como segue:

a) enrolamento em estrela, com neutro acessível e tensão nominal de 138 kV;

b) enrolamento em estrela, com neutro acessível e tensão nominal de 34,5 kV;

c) enrolamento em triângulo, com tensão nominal de 13,8 kV.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

As tensões dos dois enrolamentos ligados em estrela estão em fase (indicação horária 0), e a tensão do enrolamento ligado em triângulo está adiantada em 30 ° sobre as outras tensões (indicação horária 11). O símbolo de ligação é YNyn0d11.

EXEMPLO 3 Um transformador com três enrolamentos, como segue:

a) enrolamento em estrela, com neutro acessível e tensão nominal de 525 kV;

b) enrolamento em estrela, com neutro acessível e tensão nominal de 345 kV;

c) enrolamento em ziguezague, com neutro acessível e tensão nominal de 13,8 kV.

As tensões dos dois enrolamentos ligados em estrela estão em fase (indicação horária 0), e a tensão do enrolamento ligado em zigue-zague está atrasada em 30º sobre as outras tensões (indicação horária 1). O símbolo de ligação é YNyn0zn1.

O deslocamento angular, nos transformadores trifásicos ligados em triângulo-triângulo, em estrela-estrela, em triângulo-zigue-zague e zigue-zague-zigue-zague, deve ser de 0º (ver Figura 4, ligações Dd0, Yy0, Dz0 e Zz0 respectivamente), exceto em casos especiais.

O deslocamento angular, nos transformadores trifásicos ligados em triângulo-estrela, em estrela-triângulo ou em estrela-zigue-zague, deve ser de 30º, com as fases de baixa-tensão atrasadas com relação às correspondentes de alta-tensão (ver Figura 4, ligações Dy1, Yd1 e Yz1, respectivamente), exceto em casos especiais.

O diagrama de ligações deve ser constituído de um esquema dos enrolamentos, apresentando as ligações permanentes, bem como todas as derivações e os terminais, com as letras ou os números indicativos (ver Figura 8). Deve conter também uma tabela apresentando separadamente as ligações dos diversos enrolamentos, com a disposição e a identificação de todas as buchas, bem como as ligações no painel ou a posição do comutador para a tensão nominal e as tensões de derivação. As tensões expressas em volts devem constar no diagrama, não sendo, porém, necessário escrever esta unidade.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

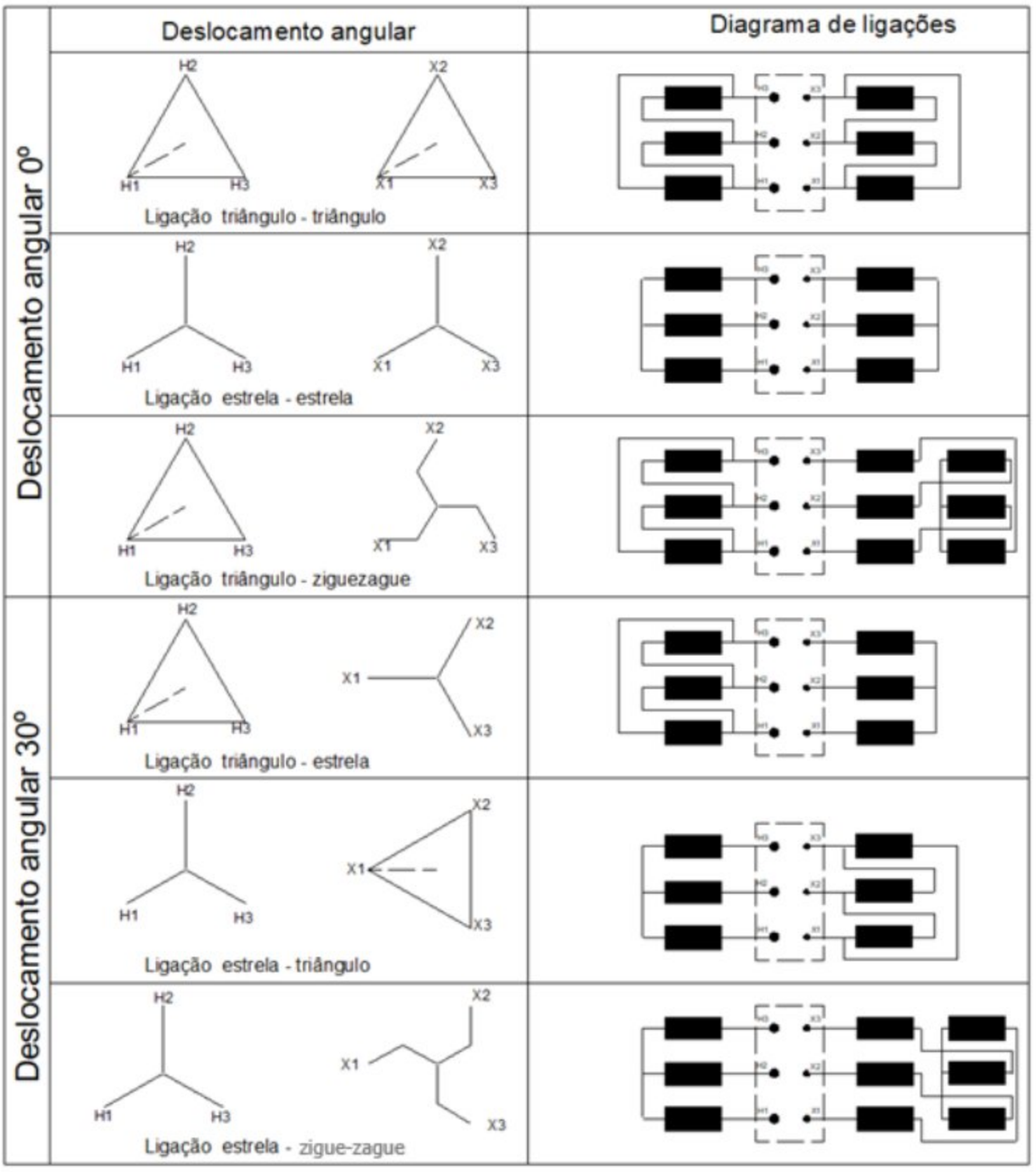



**Figura 8 – Marcação dos terminais de transformadores e diagramas fasoriais da tensão, para ligações de transformadores**

### 7.2.1 Enrolamentos não destinados a serem carregados

Quando a existência de um enrolamento de estabilização ou de ensaio (um enrolamento em triângulo ou em estrela que não seja acessível para carregamento trifásico externo) é indicada, após os símbolos dos enrolamentos com carga, com o símbolo '+d' ou '+y' de acordo com sua conexão, como nos exemplos a seguir:

Símbolo: YNa0+d. ou YNa0+y.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### 7.2.2 Enrolamento religáveis

Se um transformador for especificado com uma conexão de enrolamento religável, a tensão de conexão alternativa (menor tensão) é marcada entre parênteses após a maior tensão, conforme indicado nos seguintes exemplos:

Se AT for de 220 kV ou 110 kV (dupla tensão), e a conexão de estrela for requerida para ambas as tensões e a BT estiver conectada em 10,5 kV triângulo:

Símbolo: YNd11 220 (110) / 10,5 kV

Se a BT for de 11 kV em estrela e 6,35 kV em triângulo e a AT com conexão em estrela de 110 kV:

Símbolo: YNy0 (d11) 110 / 11 (6,35) kV

Se a AT for de 138 kV em estrela e 80 kV em triângulo e a BT com conexão em triângulo de 13,8 kV:

Símbolo: YN(D)d1(d0) 138 (80) / 13,8 kV

Se o grupo vetorial de BT for religável sem alterar as tensões nominais (11 kV neste exemplo) e o transformador for entregue em d11 e a AT for conectada em estrela de 110 kV:

Símbolo: YNd11 (d1) 110 / 11 kV

Quando estiver disponível a ligação em múltiplas tensões, o transformador deve ser entregue na maior tensão, ou conforme a solicitação do comprador.

# 8 Placas de identificação

## 8.1 Generalidades

O transformador deve possuir uma placa de identificação resistente às intempéries, fixada em posição visível e apresentando as informações indicadas nos itens 8.2 e 8.3. As inscrições devem ser marcadas de forma indelével.

## 8.2 Informações a serem fornecidas em todos os casos

a) tipo de transformador (por exemplo, transformador, autotransformador, transformador série ou de reforço etc.);

b) número desta Norma;

c) nome do fabricante, país e cidade onde o transformador foi fabricado;

d) número de série do fabricante;

e) ano de fabricação;

f) número de fases;

g) potência nominal (em kVA ou em MVA). Para os transformadores com mais de dois enrolamentos, convém que a potência nominal de cada um deles seja fornecida. Deve-se indicar igualmente as

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

combinações de cargas, exceto se a potência nominal de um dos enrolamentos for igual à soma das potências nominais dos outros enrolamentos;

h) frequência nominal (Hz);

i) tensões nominais (em V ou kV) e faixa de derivações;

j) correntes nominais (em A ou kA);

k) diagrama e símbolo de ligação;

l) impedância de curto-circuito, valor medido em porcentagem. Para os transformadores com mais de dois enrolamentos, fornecer as impedâncias correspondentes às diferentes combinações de dois enrolamentos, com os respectivos valores de potência de referência. Para os transformadores com um enrolamento com derivações, ver também 6.5 e 8.3 alínea b);

m) sistema de resfriamento (se o transformador tiver vários estágios de resfriamentos, as potências correspondentes podem ser expressas em porcentagem da potência nominal, por exemplo, ONAN/ONAF 70/100 %);

n) massa total;

o) massa e tipo do líquido isolante;

p) limite de elevação de temperatura;

q) massa da parte ativa;

r) número do manual de instruções;

s) vazão, para transformadores resfriados à água;

t) potência ou corrente máxima de curto-circuito do sistema usada para determinar a suportabilidade do transformador, se não for infinita;

u) polaridade, no caso de transformadores monofásicos;

v) relações adicionais, se o transformador tiver mais de um conjunto de relações, dependendo de diferentes conexões de enrolamentos que foram especificamente empregadas no projeto. Estas relações adicionais devem ser indicadas na placa de identificação ou em placas adicionais, que devem ser instaladas para cada conjunto.

## 8.3 Informações suplementares a serem fornecidas quando aplicável

As informações listadas a seguir devem ser incluídas na placa de identificação, quando for aplicável, para um transformador em particular.

a) para os transformadores com um ou mais enrolamentos com “tensão máxima admissível do equipamento”, $U_m$, maior ou igual a 3,6 kV:

b) notação abreviada dos níveis de isolamento (tensões suportáveis), como descrito na ABNT NBR 5356-3:2007, Seção 5;


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

c) designação das derivações

d) para transformadores com a maior tensão nominal menor ou igual a 72,5 kV e com potência nominal menor ou igual a 20 MVA (trifásicos) ou 6,7 MVA (monofásicos), com uma faixa de derivação não superior a ±5 %: tensões de derivação no enrolamento de derivação, para todas as derivações;

e) para todos os outros transformadores

— uma tabela indicando a tensão de derivação, e a tensão de serviço de derivação máxima admissível, corrente de derivação, potência de derivação e ligação interna para todas as derivações,

— uma tabela apresentando os valores de impedância de curto-circuito para a derivação principal e, pelo menos, para as derivações extremas, em porcentagem, com a potência de referência.

f) Elevações de temperatura máxima garantidas do topo do óleo e dos enrolamentos (se não forem os valores normalizados)

Quando um transformador é destinado a instalação acima de 1 000 msnm, a altitude, a potência e a elevação da temperatura a essa altitude devem ser indicadas na placa de identificação, juntamente com uma das seguintes informações:

g) se o transformador for projetado para instalação acima de 1 000 msnm, a elevação de temperatura (reduzida) para potência nominal, sob condições normalizadas de temperatura do meio de resfriamento externo;

h) se o transformador for projetado para condições normalizadas de temperatura de resfriamento do meio externo, a potência nominal para elevação de temperatura garantida sob condições normalizadas de temperatura do meio de resfriamento externo;

i) diagrama de ligação (nos casos em que o símbolo de ligação não fornece informações completas sobre as ligações internas). Se as ligações puderem ser alteradas no interior do transformador, isso deve ser indicado na mesma placa, em uma placa separada ou em placas de identificação duplicadas ou reversíveis. A ligação interna para entrega deve ser indicada. Quando são utilizados resistores não lineares ou fusíveis dentro do transformador, a localização e a ligação destes elementos devem ser apresentadas no diagrama de ligação na placa com a marcação dos terminais. Quaisquer transformadores de corrente incorporados, quando houver, devem ser apresentados no diagrama;

j) massa de transporte (se diferente da massa total);

k) massa para retirada da parte ativa (ou exposição), para transformadores superiores a 5 t de massa total;

l) capacidade de resistir ao vácuo do tanque, do conservador, dos comutadores e dos equipamentos de resfriamento;

m) qualquer restrição de carregamento simultâneo dos enrolamentos, para transformadores com mais de dois enrolamentos;

n) localização, relação(ões), classe de precisão e carga nominal (potência em VA) dos transformadores de corrente, para todos os transformadores de corrente instalados dentro do transformador;

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

o) temperatura mínima de resfriamento, se for diferente de -5 °C para transformadores de instalação interna ou -25 °C para transformadores de instalação externa.

Adicionalmente à placa de identificação principal com as informações listadas acima, o transformador deve também possuir placas com identificações e características de equipamentos auxiliares de acordo com as normas destes componentes (buchas, comutadores, equipamento de resfriamento especial).

Placas com identificação e características dos equipamentos auxiliares de acordo com as normas para estes componentes (buchas, comutadores, transformadores de corrente, equipamentos de resfriamento especiais) devem ser fornecidas nos próprios componentes ou no transformador.

# 9 Requisitos gerais, de segurança e ambientais

## 9.1 Requisitos de segurança e ambientais

### 9.1.1 Vazamentos de líquido

Fabricantes de transformadores devem considerar a contenção eficaz do fluido isolante do transformador e tomar medidas eficazes para evitar vazamentos. Deve ser considerado o desempenho de longo prazo de itens, como:

a) projeto de vedações;

b) materiais de vedação;

c) soldas;

d) prevenção à corrosão.

Transformadores devem ser projetados para ser isentos de vazamentos, e qualquer vazamento encontrado em campo no final do comissionamento deve ser corrigido.

### 9.1.2 Considerações de segurança

O fabricante deve considerar a segurança dos operadores e do pessoal de manutenção no projeto do transformador, em particular nos seguintes aspectos:

a) acesso às partes quentes;

b) acesso às partes energizadas;

c) acesso às partes móveis;

d) meios para içamento e manuseio;

e) acesso para manutenção, onde for necessário;

f) trabalho em altura.

Nos casos em que a instalação interferir com qualquer alínea acima, instruções adequadas devem ser fornecidas com o transformador.

NOTA Quando escadas, plataformas e meios de acesso similares são fornecidos com o transformador, recomenda-se que a legislação vigente seja consultada, assim como a série ISO 14122.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 9.2 Dimensionamento da conexão de neutro

O condutor e o terminal de neutro dos transformadores destinados a alimentar uma carga localizada entre fase e neutro (por exemplo, transformadores de distribuição) devem ser dimensionados para a corrente de carga adequada e a corrente de falta à terra (ver ABNT NBR 5356-8).

O condutor e o terminal de neutro dos transformadores não previstos para alimentar uma carga localizada entre fase e neutro devem ser dimensionados para a corrente de falta à terra como se o transformador estivesse aterrado diretamente.

## 9.3 Sistema de preservação do líquido isolante

Para transformadores imersos em líquido isolante, o tipo de sistema de preservação pode ser especificado no pedido de compra. Se não for especificado, o fabricante deve indicar o sistema de preservação na proposta. Distinguem-se os seguintes tipos:

a) sistema de respiração livre, no qual há comunicação entre o ar ambiente e um volume de expansão cheio de ar acima da superfície do líquido isolante, no tanque ou em um reservatório de expansão separado (conservador). Um secador de ar é montado na conexão do reservatório com a atmosfera;

b) sistema de preservação tipo diafragma, no qual existe um volume de expansão do ar sobre o líquido isolante, mas isolado do óleo por uma membrana ou bolsa flexível. Um respirador com secador de ar é montado na conexão com a atmosfera;

c) sistema de pressão de gás inerte, no qual um volume de expansão acima do óleo é completado por gás inerte seco com ligeira sobrepressão, sendo conectado a uma fonte de pressão controlada ou a uma bolsa elástica;

d) sistema de tanque selado com colchão de gás, no qual um volume de gás localizado acima da superfície do óleo, em um tanque rígido, absorve a expansão do óleo, com a variação de pressão.

e) sistema selado de enchimento integral, no qual a expansão do óleo é absorvida por movimentos elásticos do tanque ou radiadores permanentemente selados, geralmente corrugados.

O tamanho do conservador ou do sistema de expansão deve ser suficiente para acomodar a variação no volume de líquido isolante do ambiente mais frio quando o transformador está desenergizado até a temperatura média mais alta do óleo atingida quando o transformador está carregado com a condição mais alta permitida pelas disposições do guia de carregamento na ABNT NBR 5356-7 para óleo mineral ou conforme especificado, para um líquido de arrefecimento alternativo.

NOTA Convém que seja prevista uma tolerância para a variação do coeficiente de expansão térmica que pode ser encontrado para diferentes líquidos do mesmo tipo.

## 9.4 Componentes de corrente contínua em circuitos do neutro

Um transformador com neutro aterrado pode ser influenciado por componentes de corrente contínua que fluem pelo neutro. Por exemplo, as componentes de corrente contínua podem ser geradas por:

a) sistema de tração em corrente contínua;

b) sistema de proteção catódica;

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

c) sistema de retificadores;

d) correntes induzidas geomagneticamente.

Quando um transformador é submetido a correntes contínuas no neutro, resulta uma polarização de magnetização por corrente contínua do circuito magnético. A corrente de magnetização torna-se fortemente assimétrica e tem uma alta componente harmônica. As possíveis consequências são:

a) aumento do nível de ruído;

b) mau funcionamento do relé e falsos alarmes ou desligamentos;

c) sobreaquecimento pelo fluxo de dispersão;

d) aumento significativo da corrente de magnetização;

e) aumento das perdas em vazio

O fenômeno depende da capacidade da componente de corrente contínua para magnetizar o núcleo e do seu projeto. Os efeitos resultantes são uma função da magnitude e duração da componente de corrente contínua, do tipo de núcleo e das características gerais de projeto do transformador.

Se um transformador estiver sujeito a componentes de corrente contínua, os níveis destas correntes devem ser indicados pelo comprador na especificação técnica, juntamente com quaisquer limites requeridos como consequências destes níveis. Ver também ABNT NBR 5356-8.

### 9.5 Identificação do centro de gravidade

Para transformadores com uma massa de transporte superior a 5 t, o centro de gravidade na configuração de transporte deve ser marcado permanentemente em pelo menos dois lados adjacentes.

## 10 Tolerâncias

Principalmente em grandes transformadores com múltiplos enrolamentos e com tensões nominais relativamente baixas, nem sempre é possível ajustar com grande precisão as relações de espiras correspondentes às relações de transformação nominais especificadas. Existem também outras grandezas que não são obtidas precisamente no momento de cotação ou estão sujeitas a incertezas de fabricação ou de medição.

Por conseguinte, podem ser necessárias tolerâncias particulares em relação aos valores especificados e de projeto.

Considera-se que um transformador atende a este quesito quando as grandezas sujeitas a tolerâncias não estão fora dos limites fornecidos na Tabela 1. Quando um limite em uma direção é omitido, não há restrição nesta direção.

Esta Seção é apenas para efeitos de aceitação ou rejeição e não substitui as garantias especificadas pelos compradores para fins de avaliação econômica (por exemplo, penalidades sobre perdas). Esta Seção não tem precedência sobre quaisquer limites especificados na fase de oferta.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela 1 – Tolerâncias** (continua)

| Item | Tolerâncias |
|---|---|
| 1.a) Perdas totais. Ver Nota 1<br>b) Componentes de perdas medidas. Ver Nota 1 (em vazio e em carga) | +10 % das perdas totais<br>+15 % de cada componente de perda, desde que a tolerância para perdas totais não seja excedida |
| 2. Relação de tensão medida, sem carga, na derivação principal para um primeiro par de enrolamentos especificado ou as derivações extremas, se especificado | O menor dos seguintes valores:<br>a) ±0,5 % da proporção especificada<br>b) ±1/10 da impedância porcentual medida na derivação principal |
| Relação de tensão medida em outras derivações, mesmo par de enrolamentos | ±0,5 % do valor de cálculo da relação de espiras |
| Relação de tensão medida para pares de enrolamentos adicionais | ±0,5 % do valor de cálculo da relação de espiras |
| 3. Impedância de curto-circuito medida para:<br>– um transformador com dois enrolamentos, ou<br>– o primeiro par de enrolamentos de um transformador com enrolamentos múltiplos | |
| a) Derivação principal | Quando o valor de impedância é ≥10 % ±7,5 % do valor especificado<br>Quando o valor de impedância é <10 % ±10 % do valor especificado |
| b) Qualquer outra derivação deste par de enrolamentos | Quando o valor de impedância é ≥10 % ±10 % do valor especificado<br>Quando o valor de impedância é <10 % ±15 % do valor especificado |
| Ver Notas 2 e 3 | |
| 4. Impedância de curto-circuito medida para:<br>– um par de enrolamentos de um autotransformador, ou<br>– um segundo par de enrolamentos em um autotransformador com enrolamentos múltiplos | |
| a) Derivação principal | ±10 % do valor especificado |
| b) qualquer outra derivação deste par de enrolamentos | ±10 % do valor do projeto para aquela derivação |
| – Outros pares de enrolamentos | A ser acordado entre fabricante e o comprador, porém, não menor que ±15 % |
| Ver Notas 2 e 3 | |

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela 1** (conclusão)

| Item | Tolerâncias |
|---|---|
| 5. Corrente de excitação (sem carga) medida | +30 % do valor especificado (ou garantido) |
| NOTA 1 As tolerâncias de perdas de transformadores de enrolamentos múltiplos aplicam-se a cada par de enrolamentos, a menos que o especificado indique que eles se aplicam a uma determinada condição de carga.<br>NOTA 2 Para certos autotransformadores e transformadores série, o valor baixo da sua impedância pode justificar uma tolerância maior. Os transformadores com grandes faixas de regulação, particularmente se a faixa é assimétrica, também podem requerer uma consideração especial. Por outro lado, por exemplo, quando um transformador for conectado em paralelo com unidades previamente existentes, pode ser justificado especificar e acordar uma tolerância de impedância mais estreita. Convém que quaisquer tolerâncias especiais sejam indicadas na solicitação de oferta e quaisquer tolerâncias revisadas sejam acordadas entre o fabricante e o comprador.<br>NOTA 3 Para autotransformadores e transformadores de mesmo projeto, convém que os valores das tolerâncias para as impedâncias, comparativa entre equipamentos do mesmo lote, sejam os mesmos valores indicados no item 3. Convém que quaisquer tolerâncias especiais sejam indicadas na solicitação de oferta e quaisquer tolerâncias revisadas sejam acordadas entre o fabricante e o comprador. | |

# 11 Ensaios

## 11.1 Requisitos gerais para ensaios de rotinas, tipo e especiais

### 11.1.1 Generalidades

Os transformadores devem ser submetidos aos ensaios descritos nesta subseção:

Com exceção do ensaio de elevação de temperatura, todos os ensaios devem ser efetuados a uma temperatura externa do meio de resfriamento entre 10 °C e 40 °C. Ver ABNT NBR 5356-2 para ensaios de elevação de temperatura.

Os ensaios devem ser efetuados nas instalações do fabricante, exceto se houver um acordo entre o fabricante e o comprador.

Todos os componentes e os acessórios externos que possam afetar o desempenho do transformador durante o ensaio devem estar instalados.

Se o transformador não puder ser montado no ensaio nas suas condições de funcionamento previstas (por exemplo, se o transformador estiver equipado com canecos e buchas de ensaio ou o equipamento de resfriamento não puder ser montado na posição de serviço durante o ensaio de fábrica), deve ser estabelecido um acordo entre o fabricante e o comprador antes do início dos ensaios. Se existirem limitações conhecidas na fase da proposta, estas devem ser esclarecidas pelo fabricante.

Se um transformador se destina a ser fornecido com buchas óleo/$SF_6$, mediante um acordo entre o fabricante e o comprador, o ensaio pode ser realizado com buchas óleo/ar equivalentes, desde que no ensaio a extremidade da bucha imersa no óleo seja idêntica à da bucha de serviço. Nesta condição, os ensaios devem ser, pelo menos, nos mesmos níveis submetidos ao transformador.

Os enrolamentos com derivação devem estar conectados na sua derivação principal, exceto se for especificado de outra forma nesta Norma ou por acordo entre o fabricante e o comprador.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Para todas as características excetuando-se as de isolamento, os ensaios são baseados em condições nominais, exceto se for especificado de outra forma nesta Norma ou por acordo entre o fabricante e o comprador.

Todos os sistemas de medição utilizados para os ensaios devem ser certificados, com precisão conhecida e rastreável, e serem submetidos à calibração periódica. Requisitos específicos sobre a precisão e a verificação dos sistemas de medição são descritos nas ABNT NBR IEC 60060-1, ABNT NBR IEC 60060-2 e ABNT NBR 5356-8.

Quando for requerido que os resultados do ensaio sejam corrigidos para uma temperatura de referência, esta deve ser:

a) para os transformadores secos, a temperatura de referência deve ser conforme os requisitos gerais para os ensaios da ABNT NBR 5356-11;

b) para transformadores imersos em líquido isolante, a temperatura de referência é a elevação da temperatura média nominal dos enrolamentos adicionados de 20 °C.

NOTA 1 Para projetos existentes, as perdas em diferentes temperaturas de referência são obtidas por cálculo. Não é necessário que se repita quaisquer ensaios de tipo, incluindo o ensaio de elevação de temperatura.

NOTA 2 As perdas reais apresentadas no transformador em serviço dependem do perfil de carga e da temperatura do meio de resfriamento.

Os transformadores imersos em líquido isolante devem ser ensaiados com o mesmo tipo e a mesma especificação do líquido isolante a ser utilizado em serviço. Isto é necessário para que os resultados dos ensaios representem o desempenho do transformador em serviço.

Quando forem necessário ensaios e medições com fonte à frequência industrial, esta deve variar no máximo 1 % da frequência nominal do transformador. A forma de onda da tensão de alimentação deve ser tal que o teor harmônico total não exceda 5 %. Se esta condição não for atendida, o efeito da forma de onda no parâmetro medido deve ser avaliado pelo fabricante e sujeito à aprovação pelo comprador. As medições de perdas não podem ser corrigidas para baixo para considerar harmônicos na tensão de alimentação, exceto conforme permitido em 11.5. Quando for utilizada uma alimentação trifásica, a tensão de alimentação deve ser simétrica. A tensão máxima em cada enrolamento de fase em ensaio não pode diferir da tensão mínima em mais de 3 %.

A não capacidade do fabricante para efetuar o ensaio ou a medição à frequência nominal deve ser indicada pelo fabricante na fase da proposta, e fatores de conversão adequados devem ser acordados.

Os ensaios listados no item 11.1.2 não estão em qualquer ordem específica. Se o comprador requerer que os ensaios sejam realizados em uma determinada ordem, isto deve ser especificado.

### 11.1.2 Ensaios de rotina

#### 11.1.2.1 Ensaios de rotina para todos os transformadores

a) medição da resistência dos enrolamentos (ver 11.2);

b) medição da relação de transformação, polaridade, verificação do deslocamento angular e sequência de fases (ver 11.3);

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

c) medição da impedância de curto-circuito e das perdas em carga (ver 11.4);

d) medição das perdas em vazio e corrente de excitação (ver 11.5);

e) ensaios dielétricos de rotina (ver ABNT NBR 5356-3);

f) ensaios de comutador de derivações em carga, quando aplicável (ver 11.7);

g) estanqueidade e resistência à pressão para transformadores imersos em líquido isolante (ensaio de estanqueidade) (ver 11.8);

h) ensaios de estanqueidade e resistência à pressão para transformadores isolados a gás (ver IEC 60076-15);

i) verificação da relação de transformação e polaridade dos transformadores de corrente incorporados;

j) verificação do isolamento do núcleo e de sua estrutura-suporte para transformadores imersos em líquido isolante (ver 11.12);

k) verificação do funcionamento dos acessórios (ver 11.13);

l) ensaios do líquido isolante (ver 11.16).

#### 11.1.2.2 Ensaios de rotina adicionais para transformadores com $U_m$> 72,5 kV

a) determinação das capacitâncias entre cada enrolamento para terra e entre os enrolamentos (ver 11.20);

b) medição da resistência de isolamento CC entre cada enrolamento para terra e entre enrolamentos (ver 11.15);

c) medição do fator de dissipação (tan δ) das capacitâncias do sistema de isolamento;

d) medição de gases dissolvidos no líquido isolante em cada compartimento separado de líquido isolante, exceto no compartimento do comutador;

e) medição das perdas em vazio e corrente de excitação em 90 % e 110 % da tensão nominal (ver 11.5);

f) verificação da espessura e aderência da pintura da parte externa.

### 11.1.3 Ensaios de tipo

a) ensaio de elevação de temperatura (ver ABNT NBR 5356-2);

b) ensaios dielétricos de tipo (ver ABNT NBR 5356-3);

c) determinação do nível de ruído audível (ver IEC 60076-10) para cada estágio de resfriamento para o qual o nível de ruído estiver especificado;

d) medição da potência absorvida pelos ventiladores e bombas de refrigeração;

e) medição das perdas em vazio e corrente de excitação em 90 % e 110 % da tensão nominal com $U_m$≤ 72,5 kV;

f) ensaio de elevação de temperatura em sobrecarga (ver ABNT NBR 5356-7).


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### 11.1.4 Ensaios especiais

a) ensaios dielétricos especiais (ver ABNT NBR 5356-3)

b) medição da elevação de temperatura do ponto mais quente do enrolamento;

c) determinação das características da tensão transitória transferida (ver ABNT NBR 5356-3:2007, Anexo B);

d) medição do fator de dissipação (tan δ) das capacitâncias do sistema de isolamento com $U_m \leq 72{,}5$ kV;

e) medição de harmônicas da corrente de excitação (ver 11.30);

f) medição da(s) impedância(s) de sequência zero em transformadores trifásicos (ver 11.6);

g) ensaio de suportabilidade a curto-circuito (ver ABNT NBR 5356-5);

h) medição da resistência de isolamento CC entre cada enrolamento e a terra e entre os enrolamentos com $U_m \leq 72{,}5$ kV;

i) ensaio de deformação a vácuo em transformadores imersos em líquido isolante (ver 11.9).

j) ensaio de deformação à pressão em transformadores imersos em líquido isolante (ver 11.10).

k) ensaio de estanqueidade em campo em transformadores imersos em líquido isolante (ver 11.11).

l) medição da resposta em frequência (ver 11.25).

m) medição da impedância terminal (ver 11.26).

n) verificação da pintura externa (ver ISO 2178 e ISO 2409 ou conforme especificado) com $U_m \leq 72{,}5$ kV (ver 11.18);

o) medição de gases dissolvidos em líquido isolante com $U_m \leq 72{,}5$ kV;

p) ensaio mecânico ou avaliação da adequação do tanque ao transporte (conforme especificação do comprador);

q) determinação da massa do transformador disposto para transporte, para transformadores até 1,6 MVA através de medição. Para transformadores maiores, através de medição ou cálculo conforme acordado entre fabricante e comprador.

Outros ensaios podem ser definidos nos documentos de especificação para transformadores do tipo seco, autoprotegido e outros grupos.

Se os métodos não estiverem descritos nesta Norma, ou se forem especificados outros ensaios que não os mencionados nesta subseção, estes métodos de ensaio estão sujeitos a acordo entre fabricante e comprador.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 11.2 Medição da resistência dos enrolamentos

### 11.2.1 Generalidades

A resistência de cada enrolamento, os terminais entre os quais ela for medida e a temperatura dos enrolamentos devem ser registrados. A medição deve ser efetuada em corrente contínua.

Em todas as medições de resistência, cuidados devem ser tomados para reduzirem ao mínimo os efeitos de autoindutância.

### 11.2.2 Transformadores do tipo seco

Antes de cada medição o transformador do tipo seco deve permanecer pelo menos 3 h desenergizado e em repouso em temperatura ambiente.

A resistência e a temperatura do enrolamento devem ser medidas simultaneamente. A temperatura do enrolamento deve ser medida por meio de sensores localizados em posições representativas, de preferência dentro dos enrolamentos, por exemplo, em um poço ou um canal entre os enrolamentos de alta-tensão e baixa tensão.

### 11.2.3 Transformadores imersos em líquido isolante

Antes de cada medição, deve-se manter o transformador imerso em líquido isolante, desenergizado durante pelo menos 3 h. Após este período, determina-se a temperatura média do óleo e considera-se que a temperatura do enrolamento é igual à temperatura média do óleo.

A temperatura média do óleo é adotada como a média das temperaturas do óleo nas partes superior e inferior do tanque (topo e fundo do tanque).

Quando se mede a resistência a frio, com o propósito de determinar a elevação de temperatura, é necessário envidar esforços especiais para determinar com precisão a temperatura média do enrolamento. Portanto, a diferença entre as temperaturas do óleo das partes superior e inferior do tanque deve ser menor que 5 K. A fim de acelerar o processo de equalização de temperaturas, pode-se utilizar uma bomba para circulação do líquido isolante.

## 11.3 Medição da relação de transformação, polaridade e verificação do deslocamento angular e sequência de fase

Mede-se a relação de transformação em cada derivação. Deve-se verificar a polaridade de transformadores monofásicos e o diagrama fasorial para transformadores trifásicos.

## 11.4 Medição da impedância de curto-circuito e das perdas em carga

A impedância de curto-circuito e as perdas em carga para um par de enrolamentos devem ser medidas à frequência nominal, aplicando uma tensão senoidal aos terminais de um enrolamento e mantendo os terminais do outro enrolamento curto-circuitados. Os demais enrolamentos, se existirem, devem estar em circuito aberto (para a escolha da derivação para ensaio, ver 6.5 e 6.6). A corrente de alimentação deve ser pelo menos igual a 50 % da corrente nominal (corrente de derivação). As medidas devem ser feitas rapidamente para que as elevações de temperatura não introduzam erros significativos. A diferença de temperatura do óleo entre as partes superior e inferior do tanque não pode exceder 5 K para permitir a determinação da temperatura média, com a precisão requerida. Se o sistema de resfriamento for OF (ou KF) ou OD (ou KD), pode-se fazer circular óleo por uma bomba para misturar o óleo.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

O valor de perdas em carga medido deve ser multiplicado pelo quadrado da relação entre a corrente nominal (corrente de derivação) e a corrente utilizada no ensaio. O valor obtido deve ser corrigido à temperatura de referência (ver 11.1). As perdas por efeito Joule $I^2R$ ($R$ sendo a resistência à corrente contínua) variam conforme a resistência do enrolamento e as outras perdas são inversamente proporcionais à resistência. A resistência deve ser determinada conforme 11.2. O método de correção da temperatura é fornecido no Anexo G.

A impedância de curto-circuito é representada por uma reatância e uma resistência em corrente alternada em série. O valor de impedância deve ser corrigido à temperatura de referência, assumindo-se que a reatância é constante e que a resistência em corrente alternada calculada à partir das perdas em carga varia, como visto acima.

Para transformadores com um enrolamento com derivações com faixa de derivações não excedendo ± 5 %, a impedância de curto-circuito deve ser medida apenas na derivação principal. Para transformadores com um enrolamento com derivações com faixa de derivações excedendo ± 5 %, a impedância de curto-circuito deve ser medida na derivação principal e nas derivações extremas.

Se a variação de derivação é assimétrica e se especificada pelo comprador, medições devem ser feitas também na derivação central.

Para transformadores com três enrolamentos, as medições são feitas para os três pares de enrolamentos.

Os resultados são recalculados considerando as impedâncias e as perdas de cada enrolamento (ver Anexo E e ABNT NBR 5356-8). As perdas totais para casos de carregamentos específicos dos enrolamentos são determinadas como consequência.

NOTA 1 Para transformadores com dois enrolamentos secundários com mesma potência nominal, mesma tensão nominal e mesma impedância em relação ao primário (algumas vezes chamados transformadores "com secundário duplo"), pode ser acordado estudar a simetria da carga em um ensaio suplementar colocando simultaneamente os dois enrolamentos secundários em curto-circuito.

NOTA 2 A medição de perdas em carga para grandes transformadores requer muitos cuidados e equipamentos de medição adequados, devido ao baixo fator de potência e às altas correntes de ensaio. É necessário corrigir erros de medição devidos aos transformadores de medição ou à resistência das conexões utilizadas durante os ensaios, exceto se estas forem consideradas desprezíveis (ver Anexo E e ABNT NBR 5356-8).

## 11.5 Medição de perdas em vazio e corrente de excitação

As perdas em vazio e a corrente de excitação devem ser medidas em um dos enrolamentos à frequência nominal e com tensão igual à tensão nominal, se o ensaio for realizado na derivação principal, ou igual à tensão de derivação apropriada, se o ensaio for realizado em outra derivação. Os demais enrolamentos devem ser deixados em circuito aberto e quaisquer enrolamentos que podem ser conectados em triângulo aberto devem ter o triângulo fechado. Conforme indicado em 11.1.2 e 11.1.3, a medição deve ser feita também em 90 % e 110 % da tensão nominal (ou à tensão de derivação apropriada).

O transformador deve estar aproximadamente à temperatura ambiente da fábrica.

Para um transformador trifásico, a escolha do enrolamento e a conexão à fonte de potência de ensaio devem ser feitas de modo a permitir que as tensões nas três fases sejam tão simétricas e senoidais quanto possível.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

A tensão de ensaio deve ser ajustada por um voltímetro que mede o valor médio da tensão, mas que é graduado de modo a fornecer o valor eficaz de uma tensão senoidal com o mesmo valor médio. O valor lido por este voltímetro é $U'$.

Simultaneamente, um voltímetro medindo o valor eficaz da tensão deve estar conectado em paralelo com o voltímetro de valor médio, e a tensão $U$ que ele indica deve ser registrada.

Quando um transformador trifásico é ensaiado, as tensões devem ser medidas entre os terminais de fase, se um enrolamento triângulo for energizado, e entre os terminais de fase e neutro, se um enrolamento YN ou ZN for energizado.

Tensões fase-fase podem ser derivadas das medições fase-terra, mas tensões fase-neutro não podem ser derivadas das medições da tensão fase-fase.

A forma de onda da tensão de ensaio é satisfatória se $U'$ e $U$ forem iguais com desvio máximo de 3 %. Se a diferença das leituras entre os voltímetros for maior que 3 %, a validade do ensaio deve ser objeto de acordo. Uma diferença maior pode ser aceitável em tensões maiores que a nominal, a menos que esta medição seja garantida.

NOTA 1 As condições mais severas de carga para a exatidão da fonte de tensão de ensaio são geralmente impostas pelos grandes transformadores monofásicos.

As perdas em vazio medidas são $P_m$, e as perdas em vazio corrigidas são tomadas iguais a:

$$P_o = P_m(1 + d)$$

$$d = \frac{U' - U}{U'} \text{ (habitualmente negativo)}$$

O valor eficaz da corrente de excitação e o valor das perdas são medidos simultaneamente. Para um transformador trifásico, toma-se a média dos valores das três fases.

As perdas em vazio não podem ser corrigidas para qualquer efeito de temperatura.

NOTA 2 Para decidir a ordem de execução do ensaio de perdas em vazio dentro da sequência completa dos ensaios, é conveniente considerar que as perdas em vazio medidas antes dos ensaios de impulso e/ou elevação de temperatura são geralmente representativas do nível de perdas médias em serviço prolongado, assumindo que o núcleo não está pré-magnetizado. Se este ensaio for feito depois dos outros, pode-se eventualmente medir valores maiores devido a pequenos arcos que se produzem entre as bordas das chapas do núcleo durante os ensaios de impulso etc. Estas medidas podem ser menos representativas para as perdas em serviço.

## 11.6 Medição de impedância(s) de sequência zero em transformadores trifásicos

A impedância de sequência zero é medida à frequência nominal entre os terminais de linha reunidos conjuntamente e o neutro de um enrolamento conectado em estrela ou zigue-zague. Ela é expressa em ohms por fase e é determinada por $3\,U/I$, onde $U$ é a tensão de ensaio e $I$ a corrente de ensaio.

A corrente de ensaio $I/3$ em cada fase deve ser indicada no relatório de ensaios.

Deve-se assegurar que a corrente na conexão de neutro é compatível com sua capacidade de condução.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

No caso de um transformador com um enrolamento adicional conectado em triângulo, o valor da corrente de ensaio deve ser tal que a corrente no enrolamento conectado em triângulo não seja excessiva, considerando a duração da aplicação.

Se a condição de equilíbrio de ampères-espiras não for atendida no sistema de sequência zero, por exemplo, em um transformador estrela-estrela sem um enrolamento em triângulo, a tensão aplicada não pode exceder a tensão nominal entre fase-neutro. As correntes do neutro e a duração da aplicação devem ser limitadas, a fim de evitar temperaturas excessivas nas partes metálicas construtivas.

No caso de transformadores com mais de um enrolamento estrela com terminal de neutro, a impedância de sequência zero depende das ligações (ver 3.7.2) e os ensaios a efetuar devem ser objeto de acordo entre o fabricante e o comprador.

Para autotransformadores e transformadores estrela-estrela, há algumas combinações de ensaios a serem realizadas. Para transformadores estrela-delta, a impedância de sequência zero é medida somente do lado estrela. Para mais detalhes sobre as medições, ver Anexo E.

Os autotransformadores com um terminal de neutro destinado a aterramento permanente devem ser tratados como transformadores normais de dois enrolamentos conectados em estrela. Desta forma, o enrolamento série e o enrolamento comum formam um único circuito de medição e o enrolamento comum sozinho forma o outro. As medições são efetuadas com uma corrente que não exceda a diferença entre as correntes nominais dos lados de baixa tensão e alta-tensão.

NOTA 1 Quando não existir o equilíbrio de ampère-espira entre os enrolamentos, a relação entre tensão e a corrente é geralmente não linear. Neste caso, várias medições com valores diferentes de corrente podem fornecer informações úteis.

NOTA 2 A impedância de sequência zero depende da disposição física dos enrolamentos e das partes magnéticas, e as medições sobre diferentes enrolamentos podem, por este motivo, ser discordantes. Em particular, para transformadores em zigue-zague, a impedância de sequência zero medida entre os terminais de linha conectados juntos e o neutro podem resultar em um valor diferente daquele obtido quando uma tensão trifásica simétrica é aplicada e um dos terminais de linha é conectado ao neutro.

NOTA 3 Para informações adicionais, ver ABNT NBR 5356-8.

## 11.7 Ensaios no comutador em carga

Com o comutador de derivações completamente montado no transformador, a sequência de operações seguinte deve ser efetuada sem nenhuma falha:

a) oito ciclos completo de funcionamento, com o transformador desenergizado (um ciclo de funcionamento vai de um extremo da faixa de derivação ao outro extremo, retornando em seguida);

b) um ciclo completo de funcionamento, com o transformador desenergizado, com 85 % da tensão nominal de alimentação dos auxiliares;

c) um ciclo completo de funcionamento com o transformador energizado, em vazio, à tensão e frequência nominais;

d) com um enrolamento em curto-circuito e com a corrente mais próxima possível da corrente nominal no enrolamento com derivações, dez ciclos de operações de mudança de derivações entre dois degraus de cada lado da posição onde o seletor de reversão de derivações opera, normalmente na derivação central.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 11.8 Estanqueidade e resistência à pressão

Este ensaio deve ser realizado antes do início ou após o término dos ensaios dielétricos. No caso de ser efetuada a análise cromatográfica dos gases dissolvidos no líquido isolante, o ensaio de estanqueidade deve ser realizado antes da retirada da primeira amostra ou após a retirada da amostra cromatográfica que se segue aos ensaios dielétricos, evitando desvios nos resultados DGA em função da lei de Henry. Os transformadores devem suportar as pressões manométricas de ensaio especificadas na Tabela 2, durante o tempo especificado nesta mesma tabela.

**Tabela 2 – Valores para ensaio de estanqueidade e resistência à pressão**

| Tipo do transformador | Pressão manométrica<br>MPa | Tempo de aplicação<br>h |
|---|---|---|
| Selado com colchão de ar ou gás | 0,07[a] | 1 |
| Selado de enchimento integral | 0,01 | 1 |
| Não selado, com tensão máxima do equipamento superior a 72,5 kV ou potência nominal superior a 10 MVA | 0,05[b] | 24 |
| Não selado, com tensão máxima do equipamento inferior a 72,5 kV ou potência nominal inferior a 10 MVA | 0,03[b] | 24 |
| Transformadores subterrâneos | 0,05[c] | 8 |

[a] Para sistema selado com colchão de ar ou gás que utiliza painel corrugado como radiador, aplicar pressão manométrica de 0,035 MPa, durante 1 h.

[b] Aplicada no conservador.

[c] Devem ser ensaiados a quente.

O ensaio de estanqueidade e resistência à pressão para os transformadores não incluídos na alínea h) de 11.1.2.1 deve ser realizado por amostragem e mediante acordo entre fabricante e comprador.

## 11.9 Vácuo interno

Este ensaio só é aplicável a transformadores imersos em líquido isolante, com potência igual ou superior a 750 kVA. O tanque, os radiadores e os demais acessórios, exceto o comutador, devem suportar pleno vácuo. O transformador sem líquido isolante deve ser submetido a vácuo no seu interior, de modo que a pressão de ensaio seja como indicada na Tabela 3 por um período de 4 h.

**Tabela 3 – Valores de pressão absoluta no ensaio de vácuo**

| Potência nominal do transformador (*P*) | Pressão |
|---|---|
| 750 kVA <P< 10 000 kVA | 268 Pa (2 mm Hg) |
| P> 10 000 kVA | 134 Pa (1 mm Hg) |

O limite máximo para deslocamento residual, medido conforme G.11 deve ser:

$D_r = H/400$

$D_r$ = deslocamento residual, expresso em milímetros (mm).

$H$ = altura da parede do tanque, expressa em milímetros (m).


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 11.10 Ensaio de deflexão sob pressão em transformadores imersos em líquido isolante

Onde especificado, a deflexão de um tanque quando uma pressão for aplicada e a deflexão permanente do tanque devem ser medidas quando submetido a pressão. Este ensaio não é aplicado para tanques especificamente projetados para serem flexíveis para expansão de líquidos (tipo corrugado).

O ensaio deve ser realizado no transformador completamente montado e com líquido isolante, com todos os requisitos aplicáveis para o ensaio. O ensaio deve ser realizado em todos os compartimentos separados que contenham líquido isolante.

Exceto se for especificado em contrário, a pressão de ensaio deve ser de 35 kPa a 40 kPa acima da pressão atmosférica 101,3 kPa. Caso o transformador tenha dispositivos de alívio de pressão, a pressão aplicada durante os ensaios deve exceder os limites de operação do dispositivo de alívio de pressão em, pelo menos, 10kPa. Os dispositivos de alívio de pressão devem ser desconectados ou bloqueados durante o ensaio.

NOTA A sobrepressão especificada pode, convenientemente, ser aplicada por ajuste na altura da coluna do líquido (por exemplo, elevando por um guindaste, um conservador separado).

Antes da pressão ser aplicada, enquanto o tanque estiver com o líquido em seu nível normal de operação, um ponto de referência, fixado rigidamente ao local de ensaio ou ao piso, posicionado o mais próximo possível ao ponto no tanque onde a máxima deflexão é esperada, deve ser medida e anotada a distância entre o ponto de referência e a parede do tanque, no sentido perpendicular.

Seguindo a aplicação adicional de pressão, a distância entre o ponto de referência e a parede do tanque deve ser medida novamente, em sentido perpendicular à parede do tanque. A deflexão sob pressão é a diferença entre esta e a primeira medida.

Um método alternativo de medição pode ser utilizado, e medidas adicionais do lado oposto do transformador podem ser necessárias para compensar o movimento do tanque durante o ensaio.

A pressão deve ser reduzida ao nível de pressão original, e uma terceira medição deve ser feita entre o ponto de referência e a parede do tanque em sentido aproximadamente perpendicular à parede do tanque. A deformação permanente é a diferença entre esta medida e a primeira realizada.

Normalmente, os valores de deflexão esperada sob pressão e de deflexão permanente devem ser calculados e declarados pelo fabricante antes do ensaio. Alternativamente, os seguintes valores devem ser utilizados:

a) transformadores entre 20 MVA e 100 MVA:

b) deflexão permanente após sobrepressão: 1 mm;

c) transformadores (com paredes lisas), acima de 100 MVA:

d) deflexão permanente após sobrepressão: 5 mm.

Se os valores esperados forem excedidos, o ensaio deve ser repetido para averiguar se as dimensões do tanque se estabilizaram. Caso contrário, ações corretivas devem ser tomadas, como, por exemplo, adicionar reforços ao tanque.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 11.11 Ensaio em campo de deformação sob vácuo para transformadores imersos em líquido isolante

Este ensaio é aplicado em transformadores projetados para transporte sem líquido isolante e preenchidos em campo sob vácuo. Após a montagem em campo e antes do preenchimento com líquido isolante, o requisito de preenchimento sob vácuo ou outras operações em campo sob vácuo, sem admitir a entrada de ar, deve ser demonstrado da seguinte maneira:

Um vácuo, para o mais alto nível requerido para a operação em campo, deve ser aplicado por um período de 2 h ou até obter-se um nível estável. O transformador deve ser selado, e a bomba de vácuo deve ser desligada.

O vácuo dentro do transformador deve ser monitorado, utilizando um medidor de vácuo adequado, até observar-se uma estabilidade na leitura, ou seja, o aumento de pressão deve ser menor que 0,2 kPa por hora de medição, observado por período mínimo de 30 min.

## 11.12 Ensaio de isolação do núcleo e das ferragens

Este ensaio deve ser realizado em todos os transformadores imersos em líquido isolante que possuam isolamento para separação entre o núcleo e as ferragens e/ou entre as ferragens e o tanque.

Para transformadores em que as conexões de terra do núcleo e das ferragens não estão acessíveis quando o transformador está cheio de líquido isolante, o isolamento deve ser ensaiado a 500 VCC por 1 min, sem ruptura, antes que a parte ativa seja instalada no tanque.

Para transformadores em que as conexões de terra do núcleo e das ferragens estão acessíveis quando o transformador está cheio de líquido isolante, o isolamento deve ser ensaiado a 2 500 VCC por 1 min, sem ruptura.

## 11.13 Verificação do funcionamento dos acessórios

Os critérios de aceitação dos acessórios são os apresentados nas normas específicas. Os ensaios funcionais devem ser realizados de acordo com o Anexo E.

## 11.14 Ensaio de isolamento dos circuitos auxiliares

Com o painel de acionamento do comutador de derivações montado no transformador, um ensaio de tensão suportável na frequência industrial deve ser aplicado aos circuitos auxiliares, como especificado na ABNT NBR 5356-3.

## 11.15 Resistência de isolamento dos enrolamentos

As resistências de isolamento de cada enrolamento para terra e entre enrolamentos devem ser medidas antes da realização dos ensaios dielétricos. Os valores das resistências de isolamento não são critérios para aprovação ou rejeição do transformador.

## 11.16 Ensaios do líquido isolante

Os critérios de aceitação do líquido isolante, após contato com o equipamento e antes da energização, devem atender à ABNT NBR 10576 para óleo mineral isolante, e à ABNT NBR 16518 para óleo vegetal isolante.

NOTA Para fins de verificação das características, considera-se óleo novo, após contato com o equipamento, aquele amostrado do transformador, depois do primeiro enchimento, antes dos ensaios de fábrica e após no mínimo 24 h de repouso.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 11.17 Verificação da espessura e aderência da pintura das partes externa e interna

Os métodos e os critérios de aceitação destes ensaios estão referenciados na ABNT NBR 11388.

### 11.17.1 Para transformadores com $U_m \geq 242$ kV

Os ensaios devem ser realizados conforme o seguinte:

a) espessura: a espessura especificada deve ser medida em pelo menos três pontos do tanque principal e em um ponto da tampa do transformador;

b) aderência: a aderência especificada na ABNT NBR 11388 deve ser verificada pelo método do corte em grade ou pelo método do corte em X, de acordo com a ABNT NBR 11003. Para sistemas de pinturas especiais (pintura sobre galvanização etc.), deve ser usado o método do corte em X.

### 11.17.2 Para transformadores com $U_m < 242$ kV

Os ensaios são realizados por amostragem e conforme os procedimentos de 11.17.1.

## 11.18 Análise cromatográfica dos gases dissolvidos no líquido isolante

A retirada de amostra de óleo para esse ensaio deve ser feita:

a) antes do início dos ensaios;

b) após os ensaios dielétricos;

c) após o ensaio de elevação de temperatura, caso seja realizado.

Os critérios de aceitação dos valores medidos devem ser objeto de acordo entre fabricante e comprador, com exceção do ensaio de elevação de temperatura com óleo mineral isolante, para o qual os limites de geração de gases estão estabelecidos na ABNT NBR 5356-7.

## 11.19 Ensaio de nível de tensão de radiointerferência

O procedimento de medição e os critérios de aceitação devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador.

## 11.20 Medição das capacitâncias entre enrolamentos e a terra e entre os enrolamentos

O procedimento de medição e os critérios de aceitação devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador.

## 11.21 Medição das características da tensão transitória transferida

O procedimento de medição e os critérios de aceitação devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador (ver ABNT NBR 5356-3:2017, Anexo B).

## 11.22 Determinação do nível de ruído audível

A medição do nível de ruído deve ser realizada conforme a ABNT NBR 7277. Os níveis de ruído não podem exceder os níveis especificados nas Tabelas 4 a 6, considerando os transformadores em vazio, com tensão nominal e com todos os equipamentos de refrigeração ligados. Os valores destas Tabelas não se aplicam aos transformadores equipados com comutadores sob carga, durante a operação destes e durante a operação de relés auxiliares e chaves de controle associadas a esta operação.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Caso especificado limites de nível de ruído para transformador na condição em carga e/ou sobrexcitado, os valores devem ser informados na requisição de compra.

Para transformadores de potências e tensões não classificadas nas Tabelas 4 a 6, os níveis médios de ruído devem ser objeto de acordo entre fabricante e comprador.

**Tabela 4 – Níveis de ruído para transformadores em líquido isolante,de potência nominal igual ou inferior a 500 kVA**

| **Nível médio de ruído**<br>dB | **Potência nominal do transformador equivalente com dois enrolamentos**<br>kVA |
|---|---|
| 48 | 1 a 50 |
| 51 | 51 a 100 |
| 55 | 101 a 300 |
| 56 | 301 a 500 |

**Tabela 5 – Níveis de ruído para transformadores em líquido isolante de potência nominal superior a 500 kVA** (continua)

| **Nível de ruído médio** | **Potência nominal do transformador equivalente com dois enrolamentos** [a]<br>kVA | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **I.A. até 350 kV** [b] | | | **I.A. de 380 kV a 650 kV** [b] | | | **I.A. de 750 kV a 850 kV** [b] | | |
| dB | **(1)** | **(2)** | **(3)** | **(1)** | **(2)** | **(3)** | **(1)** | **(2)** | **(3)** |
| 57 | 700 | | | | | | | | |
| 58 | 1 000 | | | | | | | | |
| 59 | – | | | 700 | | | | | |
| 60 | 1 500 | | | 1 000 | | | | | |
| 61 | 2 000 | | | | | | | | |
| 62 | 2 500 | | | 1 500 | | | | | |
| 63 | 3 000 | | | 2 000 | | | | | |
| 64 | 4 000 | | | 2 500 | | | | | |
| 65 | 5 000 | | | 3 000 | | | | | |
| 66 | 6 000 | | | 4 000 | | | 3 000 | | |
| 67 | 7 000 | 6 250 [c] | | 5 000 | 3 750 [c] | | 4 000 | 3 125 [c] | |
| 68 | 10 000 | 7 500 | | 6 000 | 5 000 | | 5 000 | 3 750 | |
| 69 | 12 500 | 9 375 | | 7 500 | 6 250 | | 6 000 | 5 000 | |
| 70 | 15 000 | 12 500 | | 10 000 | 7 500 | | 7 500 | 6 250 | |
| 71 | 20 000 | 16 667 | | 12 500 | 9 375 | | 10 000 | 9 375 | |
| 72 | 25 000 | 20 000 | 20 800 | 15 000 | 12 500 | | 12 500 | 9 375 | |
| 73 | 30 000 | 26 667 | 25 000 | 20 000 | 16 667 | | 15 000 | 12 500 | |


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela 5** (conclusão)

| Nível de ruído médio dB | Potência nominal do transformador equivalente com dois enrolamentos [a] kVA | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I.A. até 350 kV [b] | | | I.A. de 380 kV a 650 kV [b] | | | I.A. de 750 kV a 850 kV [b] | | |
| | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| 74 | 40 000 | 33 333 | 33 333 | 25 000 | 20 000 | 20 800 | 20 000 | 16 667 | |
| 75 | 50 000 | 40 000 | 41 667 | 30 000 | 26 667 | 25 000 | 25 000 | 20 000 | 20 800 |
| 76 | 60 000 | 53 333 | 50 000 | 40 000 | 33 333 | 33 333 | 30 000 | 26 667 | 25 000 |
| 77 | 80 000 | 66 667 | 66 667 | 50 000 | 40 000 | 41 667 | 40 000 | 33 333 | 33 333 |
| 78 | 100 000 | 80 000 | 83 333 | 60 000 | 53 333 | 50 000 | 50 000 | 40 000 | 41 687 |
| 79 | | 106 667 | 100 000 | 80 000 | 66 667 | 66 667 | 60 000 | 53 333 | 50 000 |
| 80 | | 133 333 | 133 333 | 100 000 | 80 000 | 83 333 | 80 000 | 66 667 | 66 667 |
| 81 | | | 166 667 | | 106 667 | 100 000 | 100 000 | 80 000 | 83 333 |
| 82 | | | 200 000 | | 133 337 | 133 333 | | 106 667 | 100 000 |
| 83 | | | 250 000 | | | 166 667 | | 133 333 | 133 333 |
| 84 | | | 300 000 | | | 200 000 | | | 166 667 |
| 85 | | | 400 000 | | | 250 000 | | | 200 000 |
| 86 | | | | | | 300 000 | | | 300 000 |
| 87 | | | | | | 400 000 | | | 350 000 |
| 88 | | | | | | | | | 400 000 |

[a] Potência nominal do transformador equivalente com dois enrolamentos: é a metade da soma das potências nominais aparentes nos terminais de todos os enrolamentos do transformador.

[b] *IA*: Tensão suportável a impulso atmosférico.

[c] 67 dB para todas as potências nominais até este valor.

NOTA 1 Tipo de resfriamento:

(1) ONAN, OFWF, ODWF.

(2) ONAF, OFAF, ODAF, com primeiro estágio de resfriamento em funcionamento.

(3) OFAF, ODAF, com trocador de calor, ONAF, OFAF, ODAF com segundo estágio de resfriamento em funcionamento.

NOTA 2 Para valores intermediários de potência, usar o nível médio de ruído superior mais próximo.

NOTA 3 Nas colunas (2) e (3), os níveis de ruído são considerados com o equipamento de resfriamento auxiliar em funcionamento.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela 6 – Níveis de ruído para transformadores em líquido isolante de potência nominal superior a 500 kVA**

| Nível de ruído médio dB | Potência nominal do transformador equivalente com dois enrolamentos [a] kVA | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *I.A.* de 950 kV a 1 050 kV [b] | | | *I.A.* 1 175 kV [b] | | | *I.A.* de 1 300 kV a 2 100 kV [b] | | |
| | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| 73 | 12 500 | | | | | | | | |
| 74 | 15 000 | | | 12 500 | | | | | |
| 75 | 20 000 | 16 667 | | 15 000 | | | 12 500 | | |
| 76 | 25 000 | 20 000 | 20 800 | 20 000 | 16 667 | | 15 000 | | |
| 77 | 30 000 | 26 667 | 25 000 | 25 000 | 20 000 | 20 800 | 20 000 | 16 667 | |
| 78 | 40 000 | 33 333 | 33 333 | 30 000 | 26 667 | 25 000 | 25 000 | 20 000 | 20 800 |
| 79 | 50 000 | 40 000 | 41 667 | 40 000 | 33 333 | 33 333 | 30 000 | 26 667 | 25 000 |
| 80 | 60 000 | 53 333 | 50 000 | 50 000 | 40 000 | 41 667 | 40 000 | 33 333 | 33 333 |
| 81 | 80 000 | 66 667 | 66 667 | 60 000 | 53 333 | 50 000 | 50 000 | 40 000 | 41 667 |
| 82 | 100 000 | 80 000 | 83 333 | 80 000 | 66 667 | 66 667 | 60 000 | 53 333 | 50 000 |
| 83 | | 106 667 | 100 000 | 100 000 | 80 000 | 83 333 | 80 000 | 66 667 | 66 667 |
| 84 | | 133 333 | 133 333 | | 106 667 | 100 000 | 100 000 | 80 000 | 83 333 |
| 85 | | | 166 667 | | 133 333 | 133 333 | | 106 667 | 100 000 |
| 86 | | | 200 000 | | | 166 667 | | 133 333 | 133 333 |
| 87 | | | 250 000 | | | 200 000 | | | 166 667 |
| 88 | | | 300 000 | | | 250 000 | | | 200 000 |
| 89 | | | 400 000 | | | 300 000 | | | 250 000 |
| 90 | | | | | | 400 000 | | | 300 000 |
| 91 | | | | | | | | | 400 000 |

[a] Potência nominal do transformador equivalente com dois enrolamentos: é a metade da soma das potências nominais aparentes nos terminais de todos os enrolamentos do transformador.

[b] *IA*: Tensão suportável a impulso atmosférico.

NOTA 1 Tipo de resfriamento:

(1) ONAN, OFWF, ODWF.

(2) ONAF, OFAF, ODAF, com primeiro estágio de resfriamento em funcionamento.

(3) OFAF, ODAF, com trocador de calor, ONAF, OFAF, ODAF com segundo estágio de resfriamento em funcionamento.

NOTA 2 Para valores intermediários de potência, usar o nível médio de ruído superior mais próximo.

NOTA 3 Nas colunas (2) e (3), os níveis de ruído são considerados com o equipamento de resfriamento auxiliar em funcionamento.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## 11.23 Medição da potência absorvida pelos motores das bombas e dos ventiladores

O procedimento de medição e os critérios de aceitação devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador.

## 11.24 Medição do fator de potência do isolamento

Este ensaio deve preceder os ensaios dielétricos e pode ser repetido após estes, desde que solicitado pelo comprador, para efeito de comparação com os valores anteriormente obtidos. Pode ser executado juntamente com a medição da capacitância dos enrolamentos.

## 11.25 Medição da resposta em frequência

Esta medição deve ser realizada no transformador montado após conclusão dos ensaios dielétricos e de aquecimento e após a conclusão da montagem em campo. A comparação entre as medições pode indicar possíveis danos internos ocorridos durante as movimentações. Caso especificado, também pode-se realizar os ensaios na fábrica na configuração de transporte e repetidos no campo no momento do recebimento ainda na configuração de transporte, no local de instalação dos equipamentos, utilizando a mesma metodologia e a mesma instrumentação de ensaio.

A relação de transformação do transformador de potência é medida variando a frequência, ao menos entre 20 Hz e 1 MHz, aplicando uma tensão senoidal a um dos enrolamentos do transformador e medindo a transferência desta tensão ao outro enrolamento. O procedimento de medição e os critérios de aceitação devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador.

## 11.26 Medição da impedância terminal

Esta medição deve ser realizada no transformador montado após conclusão dos ensaios dielétricos e de aquecimento, ao menos antes da realização do transporte e após a conclusão da montagem em campo. A comparação entre as medições pode indicar possíveis danos internos ocorridos durante as movimentações.

A impedância nos terminais do transformador de potência é medida variando a frequência, ao menos entre 20 Hz e 1 MHz, com aproximadamente 200 pontos de medição. O procedimento de medição e os critérios de aceitação devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador.

## 11.27 Ensaio do grau de polimerização do papel

Os valores de referência e os critérios de aceitação para o grau de polimerização devem ser conforme a ABNT NBR 5356-7. O número de amostras deve ser estabelecido em comum acordo entre fabricante e comprador.

## 11.28 Medição do ponto de orvalho

O procedimento de medição e os critérios de aceitação devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador.

## 11.29 Levantamento da curva de magnetização e medição da reatância em núcleo de ar

O levantamento da curva de magnetização é realizado para a derivação central, sem conexão do enrolamento de regulação, se existir. A medição da reatância em núcleo de ar é realizada com o objetivo de extrapolar a curva de magnetização para a região de saturação.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

O procedimento de medição e os critérios para levantamento da curva devem ser estabelecidos em comum acordo entre fabricante e comprador.

### 11.30 Medição de harmônicas da corrente de excitação

As componentes harmônicas da corrente de excitação nas três fases são medidas, e as amplitudes das harmônicas são expressas em porcentagem da componente fundamental.

## 12 Compatibilidade eletromagnética

Transformadores de potência devem ser considerados elementos passivos em relação à emissão e à imunidade a distúrbios eletromagnéticos.

NOTA 1 Alguns acessórios podem ser suscetíveis à interferência eletromagnética.

NOTA 2 Elementos passivos não são responsáveis por causar distúrbios eletromagnéticos e seu desempenho não está sujeito a ser afetado por estes distúrbios.

## 13 Transientes de alta frequência devido a chaveamento

Chaveamento de transformadores com baixo carregamento e/ou baixo fator de potência (cargas indutivas), com disjuntores a vácuo e $SF_6$ podem submeter o transformador a tensões transientes potencialmente prejudiciais com frequências de até MHz e amplitudes de tensão que excedem a suportabilidade a impulso do transformador. As medidas de mitigação, embora não façam parte do transformador, podem incluir meios para aumentar o amortecimento por meio de supressores resistivo-capacitivos, disjuntores com resistores de pré-inserção ou chaveamento sob carga. Se especificado pelo comprador, o fabricante deve fornecer detalhes das frequências ressonantes naturais e/ou parâmetros do modelo de alta frequência do transformador.

NOTA Mais informações estão disponíveis na IEEE C57.142 *Guide to describe the occurrence and mitigation of switching transients induced by transformer, switching device, and system interaction*.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo A
(normativo)

# Informações a serem fornecidas em especificações técnicas e pedidos de compra

## A.1 Características nominais e requisitos gerais

### A.1.1 Condições normais

As seguintes informações devem ser fornecidas em todos os casos:

a) requisitos especiais aos quais o transformador deve atender;

b) tipo de transformador, por exemplo, transformador com enrolamentos separados, autotransformador ou transformador de reforço;

c) transformadores monofásicos ou trifásicos;

d) número de fases da rede;

e) frequência;

f) transformador tipo seco ou imerso em líquido isolante. Para transformador do tipo imerso em líquido isolante, indicar se é óleo mineral, vegetal ou outro tipo de líquido isolante. Para transformador do tipo seco, indicar o grau de proteção (ver ABNT NBR IEC 60529);

g) tipo exterior ou interior;

h) tipo de sistema de resfriamento;

i) potência nominal de cada enrolamento e, no caso em que a faixa de derivação ultrapassa 5 %, a derivação de máxima corrente, se aplicável.

j) Se o transformador for especificado com mais de um sistema de resfriamento, é necessário fornecer os níveis de potência para os diferentes sistemas de resfriamento juntamente com a potência nominal (que corresponde ao sistema de resfriamento mais eficaz);

k) tensão nominal para cada enrolamento;

l) para transformador com derivações:

   1) qual o enrolamento com derivações, o número de derivações, a faixa de derivações ou o degrau de derivação;

   2) se o comutador é do tipo “comutador de derivações em carga” ou “comutador de derivações sem tensão”;

   3) se a faixa de derivação é superior a ± 5 %, o tipo de regulação e a posição da derivação de máxima corrente, se aplicável;

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

4) a direção do fluxo de potência (podendo ser nas duas direções);

5) em qual enrolamento deve ser instalado o comutador com o objetivo de controlar a tensão;

6) fator de potência mínimo para a potência nominal do transformador.

m) tensão máxima do equipamento ($U_m$) de cada enrolamento do transformador (para as características do isolamento, ver ABNT NBR 5356-3);

n) condições de aterramento do sistema (para cada enrolamento);

o) nível de isolamento, para cada enrolamento e terminais de neutro (ver ABNT NBR 5356-3);

p) diagrama de ligação e requisitos dos terminais de neutro, para cada enrolamento;

q) particularidades de instalação, de montagem, de transporte e de manutenção. Limitações quanto a dimensões e massa. Para requisitos de transporte e instalação, ver ABNT NBR 7036 ou ABNT NBR 5356-9, a que for aplicável;

r) dados sobre tensão de alimentação dos serviços auxiliares (bombas e ventiladores, comutador de derivações, alarmes etc.);

s) acessórios requeridos e indicação do local de instalação dos instrumentos, indicadores de nível de óleo, placas de identificação etc.;

t) tipo de sistema de preservação de líquido isolante;

u) para transformadores com mais de dois enrolamentos, as combinações de carga requeridas, indicando separadamente, quando necessário, suas componentes ativas e reativas, notadamente no caso de autotransformadores de mais de dois enrolamentos;

v) informações da máxima elevação de temperatura garantida;

w) condições de serviço não usuais;

x) detalhes de tipo e arranjo de terminais, por exemplo, buchas óleo-ar, óleo $SF_6$, conexão por cabos etc.;

y) detalhes de aterramento do núcleo e ferragens internas.

### A.1.2 Condições particulares

As seguintes informações adicionais podem ser necessárias:

a) indicação se um ensaio de impulso atmosférico de onda plena e/ou onda cortada é necessário (ver ABNT NBR 5356-3);

b) indicação se é requerido um enrolamento de estabilização e, neste caso, indicação do método de aterramento;

c) impedância de curto-circuito ou faixa de variação da impedância (ver Anexo C). Para transformadores com mais de dois enrolamentos, as impedâncias que são especificadas para os pares de enrolamentos (com as derivações e as potências de referência se os valores forem fornecidos em porcentagem);


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

d) tolerâncias sobre as relações de transformação e as impedâncias de curto-circuito sujeitas a acordo, conforme a Tabela 2, ou caso sejam diferentes dos valores fornecidos na Tabela 2;

e) se o transformador deve ser conectado a um gerador diretamente ou por meio de um equipamento de conexão, e se ele deve estar sujeito a condições de rejeição de carga;

f) se um transformador deve ser conectado diretamente ou por meio de uma linha aérea curta a um barramento blindado isolado a gás;

g) altitude acima do nível do mar, se esta ultrapassar 1 000 m;

h) condições particulares de temperatura ambiente, ou restrições à circulação do ar de resfriamento;

i) atividade sísmica presumida no campo que deve requerer consideração especial;

j) limites dimensionais particulares que podem ter consequências sobre as distâncias de isolamento e a posição dos terminais do transformador;

k) se a forma de onda da corrente de carga pode ser fortemente distorcida ou se uma carga trifásica desequilibrada é prevista. Nos dois casos, devem ser fornecidos detalhes;

l) se os transformadores são submetidos a sobrecorrentes frequentes, por exemplo, transformadores de fornos ou de tração;

m) detalhes de sobrecargas cíclicas regulares previstas (para permitir o estabelecimento de especificações de acessórios do transformador);

n) outras condições de operação excepcionais;

o) se o transformador tiver alternativas de ligações dos enrolamentos, como elas devem ser alteradas e qual ligação é requerida ao sair da fábrica;

p) características de curto-circuito da rede (dados pela potência ou a corrente de curto-circuito, ou dados de impedância da rede) e eventuais limites que afetem a concepção do transformador (ver ABNT NBR 5356-5);

q) se as medições de ruído audível devem ser realizadas;

r) suportabilidade a vácuo do tanque do transformador e, se possível, do conservador, se um valor específico for requerido;

s) todo ensaio especial que possa ser requerido;

t) perdas em carga, perdas em vazio e perdas totais, corrigidas à temperatura de referência apropriada para uma ou várias derivações, alternativamente pode ser especificada fórmula de capitalização das perdas.

## A.2 Operação em paralelo

Se for prevista a operação em paralelo com transformadores existentes, é necessário fornecer as seguintes informações sobre os transformadores existentes:

a) potência nominal;

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

b) relação de transformação nominal;

c) relação de transformação correspondente às derivações outras que não a derivação principal;

d) perdas em carga à corrente nominal na derivação principal, corrigidas à temperatura de referência apropriada;

e) impedância de curto-circuito sobre a derivação principal e pelo menos sobre as derivações extremas, se a faixa de derivações do enrolamento com derivações ultrapassar ±5 %;

f) diagrama fasorial, símbolo de ligação ou ambos;

g) diagramas elétricos de comando do acionamento motorizado e esquema do paralelismo.

NOTA Informações suplementares são geralmente necessárias para transformadores com mais de dois enrolamentos.

## A.3 Folha de dados técnicos

Este modelo de folha de dados técnicos é sugerido para registrar as características nominais e valores garantidos ou informativos de transformadores a serem utilizados em ofertas ou propostas técnicas.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## FOLHA DE DADOS - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO

| | | | |
|---|---|---|---|
| CLIENTE: | | PROPOSTA N | |
| ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA: | | REVISÃO | |
| NORMAS: | | DATA: | |

**1. CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO**

| | | | |
|---|---|---|---|
| TIPO | | LIMITES DE TEMPERATURA | |
| NÚMERO DE FASES | | AMBIENTE MÁXIMO | °C |
| FREQÜÊNCIA | Hz | | |
| LÍQUIDO ISOLANTE | | | |
| | | ELEVAÇÃO TOPO DO ÓLEO | °C |
| DIAGRAMA FASORIAL | | ELEVAÇÃO ENROLAMENTO MÉDIO | °C |
| ALTITUDE INSTALAÇÃO | msnm | ELEVAÇÃO PONTO MAIS QUENTE | °C |

| TERMINAL | POTÊNCIA NOMINAL MVA / SISTEMA DE RESFRIAMENTO | | | TENSÃO NOMINAL kV | TENSÃO MÁXIMA DO EQUIPAMENTO kV | LIGAÇÃO | TIPO DE COMUTAÇÃO / PAINEL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**2. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO**

| REFERÊNCIAS | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.1 | Potência de referência | | kVA | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | Tensões de referência | | kV | | | | | | | | | | | |
| 2.3 | Impedância de seqüencia positiva a | °C | % | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | Perdas em vazio a | %Vn | kW | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | Perdas em carga a | °C | kW | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | Perdas totais a | °C | kW | | | | | | | | | | | |
| 2.7 | Corrente de excitação a | %Vn | % | | | | | | | | | | | |
| 2.8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.9 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.10 | Nível de ruído | %Vn | dB | | | | | | | | | | | |

**3. DIMENSÕES E PESOS APROXIMADOS**

| Dimensões aproximadas | mm | | Massas aproximadas | kg |
|---|---|---|---|---|
| | Montado | Transporte | Parte ativa | |
| Altura | | | Tanque e acessórios | |
| Comprimento | | | Óleo mineral | |
| Largura | | | Massa total | |
| | | | Para transporte | |
| | | | | |

**4. RENDIMENTO E REGULAÇÃO**

| Base | | | kVA | Relação | | | kV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP | %kVA | Rend. | Reg. | FP | %kVA | Rend. | Reg. |
| | | | | | | | |
| | 100 | | | | 100 | | |
| 1.0 | 75 | | | 0.8 | 75 | | |
| | 50 | | | | 50 | | |
| | 25 | | | | 25 | | |

**5. NÍVEIS DE ISOLAMENTO**

| ENSAIOS | | | TERMINAIS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| Impulso atmosférico | Onda plena | kV | | | | | | |
| | Onda cortada | kV | | | | | | |
| Impulso de manobra | | kV | | | | | | |
| Tensão aplicada | | kV | | | | | | |
| Tensão induzida de curta duração | | kV | | | | | | |
| Tensão induzida de longa duração | | kV | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

**Notas:**

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo B
(informativo)

# Exemplos de especificações de transformadores com derivações

## B.1 Exemplo 1 – Variação de tensão a fluxo constante (VTFC)

Transformador trifásico de 66 kV/20 kV, 40 MVA, com derivações no enrolamento 66 kV, faixa ±10 % em 11 posições de regulação.

| | |
|---|---|
| Notação abreviada: | (66 ± 5 × 2 %) / 20 kV |
| Categoria de regulação: | VTFC |
| Potência nominal: | 40 MVA |
| Tensões nominais: | 66 kV / 20 kV |
| Enrolamento com derivações: | 66 kV (faixa de derivação ±10 %) |
| Número de posições: | 11 |

Se o transformador deve ter derivações com potência reduzida, a partir da derivação - 6 %, acrescentar, por exemplo:

| | |
|---|---|
| Derivação de máxima corrente: | derivação - 6 % |

A corrente de derivação do enrolamento AT é, portanto, limitada a 372 A a partir da derivação - 6 % até a derivação extrema - 10 %, onde a potência de derivação é reduzida a 38,3 MVA.

## B.2 Exemplo 2 – Variação de tensão a fluxo variável (VTFV)

Transformador trifásico de 66 kV/6 kV, 20 MVA, com derivação no enrolamento de AT, faixa + 15 %, - 5 %, mas tendo uma tensão de derivação constante para o enrolamento de AT e variável para o enrolamento de BT entre:

6/0,95 = 6,32 kV e 6/1,15 = 5,22 kV

| | |
|---|---|
| Categoria de regulação: | VTFV |
| Potência nominal: | 20 MVA |
| Tensões nominais: | 66 kV/6 kV |
| Enrolamento com derivações: | 66 kV (faixa de derivações +15 %, - 5 %) |
| Número de derivações: | 13 |


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Tensões de derivação do enrolamento 6 kV: 6,32 kV, 6 kV, 5,22 kV

Se o transformador deve ter derivações de potência reduzida, acrescentar por exemplo:

Derivação de máxima corrente: derivação + 5 %.

A corrente de derivação do enrolamento sem derivações (BT) é, portanto, limitada a 2 020 A da derivação + 5 % até a derivação extrema + 15 %, onde a potência de derivação é reduzida a 18,3 MVA.

## B.3 Exemplo 3 – Variação combinada de tensão (VCT)

Transformador trifásico 160 kV/20 kV, 40 MVA com derivações no enrolamento 160 kV com faixa de ± 5 %. O ponto de descontinuidade (derivação de máxima tensão) é a derivação + 6 %, e a derivação de máxima corrente na categoria de regulação VTFC é a derivação - 9 %:

Tensão nominal: 160 kV, faixa ± 10 × 1,5 %

Demais grandezas: conforme a Tabela B.1.

**Tabela B.1 – Variação combinada de tensão (VCT)**

| Derivações | Relação de transformação | Tensão de derivação | | Corrente de derivação | | Potência de derivação |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $U_{AT}$ kV | $U_{BT}$ kV | $I_{AT}$ A | $I_{BT}$ A | $S$ MVA |
| 1 (+15 %) | 9,20 | 169,6 | 18,43 | 125,6 | 1 155 | 36,86 |
| 7 (+6 %) | 8,48 | 169,6 | 20 | 136,2 | 1 155 | 40 |
| 11 (0 %) | 8 | 160 | 20 | 144,4 | 1 155 | 40 |
| 17(-9 %) | 7,28 | 145,6 | 20 | 158,7 | 1 155 | 40 |
| 21 (-15 %) | 6,80 | 136 | 20 | 158,7 | 1 080 | 37,4 |

NOTA 1 Completando-se com dados de derivações intermediárias, esta Tabela pode ser utilizada na placa de identificação.

NOTA 2 Comparar esta especificação com as especificações VTFC, que seriam:(160 ± 15 %) / 20 kV – 40 MVA.

A única diferença é que a tensão de derivação AT não ultrapassa a "tensão máxima da rede" do lado de AT, que é, no exemplo, 170 kV. O valor da "tensão máxima do equipamento", que caracteriza o isolamento dos enrolamentos, é também de 170 kV (ver ABNT NBR 5356-3).

## B.4 Exemplo 4 – Especificação funcional da derivação

O princípio da especificação funcional de um transformador com derivações, de acordo com 6.4.3, é fornecer uma estrutura para a especificação dos requisitos operacionais, sendo responsabilidade do fabricante os detalhes de projeto do enrolamento e dos arranjos das derivações.

Os três requisitos que devem ser devidamente definidos são:

a) tensão de operação;

b) capacidade de corrente de carga para cada derivação;

c) impedância.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Exceto se houver especificação em contrário, a tensão de operação máxima deve ser considerada em qualquer derivação e é o limite superior da tensão de todos os enrolamentos simultaneamente. Por exemplo, um transformador abaixador com derivação BT de +15 % e tensão de operação máxima especificada de +10 % da tensão nominal, não é utilizado em vazio na derivação de BT +15 % com tensões de AT que excedam -5 % da tensão nominal, mas em carga, as derivações podem ser usadas em tensões AT mais elevadas para compensar a queda de tensão no transformador. Podem ser necessários curtos períodos de operação a uma tensão BT mais elevada em situações de rejeição de carga.

A corrente no lado da carga é determinada pela potência nominal dividida pela tensão nominal (na derivação principal). Um transformador especificado de acordo com 6.4.3 deve ser capaz de fornecer esta corrente de carga em todas as posições de derivação. Alternativamente, a capacidade da corrente de carga deve ser especificada para cada derivação.

Deve ser dada particular atenção à especificação da impedância em termos porcentuais, e as bases em termos de tensão e potência devem ser explicitas ou seguir a convenção de que a impedância para uma derivação em particular é baseada na potência nominal da derivação principal e a tensão desta derivação em particular. Por esta razão apenas, a variação de tensão deve ser determinada sobre a AT ou a BT.

Exemplos destas especificações e o transformador resultante são fornecidos em B.4.1 e B.4.2.

### B.4.1 Exemplo 4.1 – Transformador especificado com variação de tensão na AT

Transformador adequado para operar como abaixador

| | |
|---|---|
| Potência nominal $S_n$: | 70 MVA na derivação principal |
| Tensões nominais: | 220 kV / 90 kV |
| Tensão de operação máxima: | + 10 % |
| Número de derivações: | 26 |
| Degrau da derivação: | 1 % |
| Variação de tensão na AT: | + 10 % - 15 % |
| Impedância: | 10 % em todas as derivações na base 70 MVA |

Fator de potência mínimo a plena carga:0,8


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela B.2 – Exemplo de especificação funcional com variação de tensão na AT**

| Derivações | Relação de tensão a vazio | Tensão de derivação nominal | | Máxima tensão contínua (sob carga) | | Corrente de derivação nominal | | Potência de derivação | Impedância de curto-circuito | | Corrente curto-circuito disponível na BT em 220 kV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | UAT kV | UBT kV | AT kV | BT kV | IAT A | IBT A | Stap MVA | Z%a | ZAT Ω/ Fase | kA |
| 1 (+10 %) | 2,69 | 242 | 90 | 242 | 99 | 167 | 449 | 70 | 10 | 84 | 4,08 |
| 7 (+5 %) | 2,57 | 231 | 90 | 242 | 99 | 175 | 449 | 70 | 10 | 76 | 4,28 |
| 11 (0 %) | 2,44 | 220 | 90 | 242 | 99 | 184 | 449 | 70 | 10 | 69 | 4,49 |
| 17 (-5 %) | 2,32 | 209 | 90 | 242 | 99 | 193 | 449 | 70 | 10 | 62 | 4,73 |
| 21 (-10 %) | 2,20 | 198 | 90 | 242 | 99 | 204 | 449 | 70 | 10 | 56 | 4,99 |
| 27 (-15 %) | 2,08 | 187 | 90 | 242 | 99 | 216 | 449 | 70 | 10 | 50 | 5,28 |

[a] Referido a 70 MVA.

NOTA 1 A corrente de curto-circuito disponível nos terminais de BT com 220 kV aplicado nos terminais de AT é calculada da seguinte forma, considerando que não há impedância na rede do sistema.

$$I_{CC} = \frac{220}{U_{AT}} \times I_{BT} \times \frac{100}{Z} \times \frac{S_n}{S_{tap}}$$

NOTA 2 Neste exemplo, a impedância Z, para simplificar, é constante em todas as derivações. Esta não é necessariamente uma situação real.

NOTA 3 A impedância do transformador em ohms por fase é calculada da seguinte forma:

$$Z_{AT} = \frac{Z}{100} \times \frac{U_{AT}^2}{S_n}$$

### B.4.2 Exemplo 4.2 – Transformador especificado com variação de tensão na BT

Transformador adequado para operar como abaixador

Potência nominal $S_n$: 70 MVA na derivação principal

Tensões nominais: 220 kV / 90 kV

Tensão de operação máxima: + 10 %

Número de derivações: 26

Degrau da derivação: 1 %

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Variação de tensão na BT: + 10 % - 15 %

Impedância: 10 % em todas as derivações na base 70 MVA

Fator de potência mínimo a plena carga: 0,8

NOTA A especificação é a mesma do exemplo 4.1, exceto pela mudança da variação de tensão da AT para variação de tensão da BT. Exceto na derivação principal, quando comparado com o transformador do exemplo 1, este transformador tem impedâncias ôhmicas diferentes e, portanto, diferentes correntes de curto-circuito estão disponíveis na BT, mesmo quando a tensão da AT e a posição da derivação são as mesmas.

**Tabela B.3 – Exemplo de especificação funcional com variação de tensão na BT**

| Derivações | Relação de tensão a vazio | Tensão de derivação nominal | | Máxima tensão contínua (sob carga) | | Corrente de derivação nominal | | Potência de derivação | Impedância de curto-circuito | | Corrente curto-circuito disponível na BT em 220 kV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | UAT kV | UBT kV | AT kV | BT kV | IAT A | IBT A | Stap MVA | Z%a | ZAT Ω/ Fase | kA |
| 1 (+10 %) | 2,72 | 220 | 81 | 242 | 99 | 165 | 449 | 63 | 10 | 69 | 4,99 |
| 7 (+5 %) | 2,57 | 220 | 85,5 | 242 | 99 | 175 | 449 | 66,5 | 10 | 69 | 4,73 |
| 11 (0 %) | 2,44 | 220 | 90 | 242 | 99 | 184 | 449 | 70 | 10 | 69 | 4,49 |
| 17 (–5 %) | 2,33 | 220 | 94,5 | 242 | 99 | 193 | 449 | 73,5 | 10 | 69 | 4,28 |
| 21 (–10 %) | 2,22 | 220 | 99 | 242 | 99 | 202 | 449 | 77 | 10 | 69 | 4,08 |
| 27 (–15 %) | 2,13 | 220 | 103,5 | 242 | 99 | 211 | 449 | 80,5 | 10 | 69 | 3,90 |

[a] Referido a 70 MVA.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo C
(informativo)

## Especificação de impedância de curto-circuito por limites

A Figura C.1 apresenta um exemplo de especificação de impedância de curto-circuito por limites.

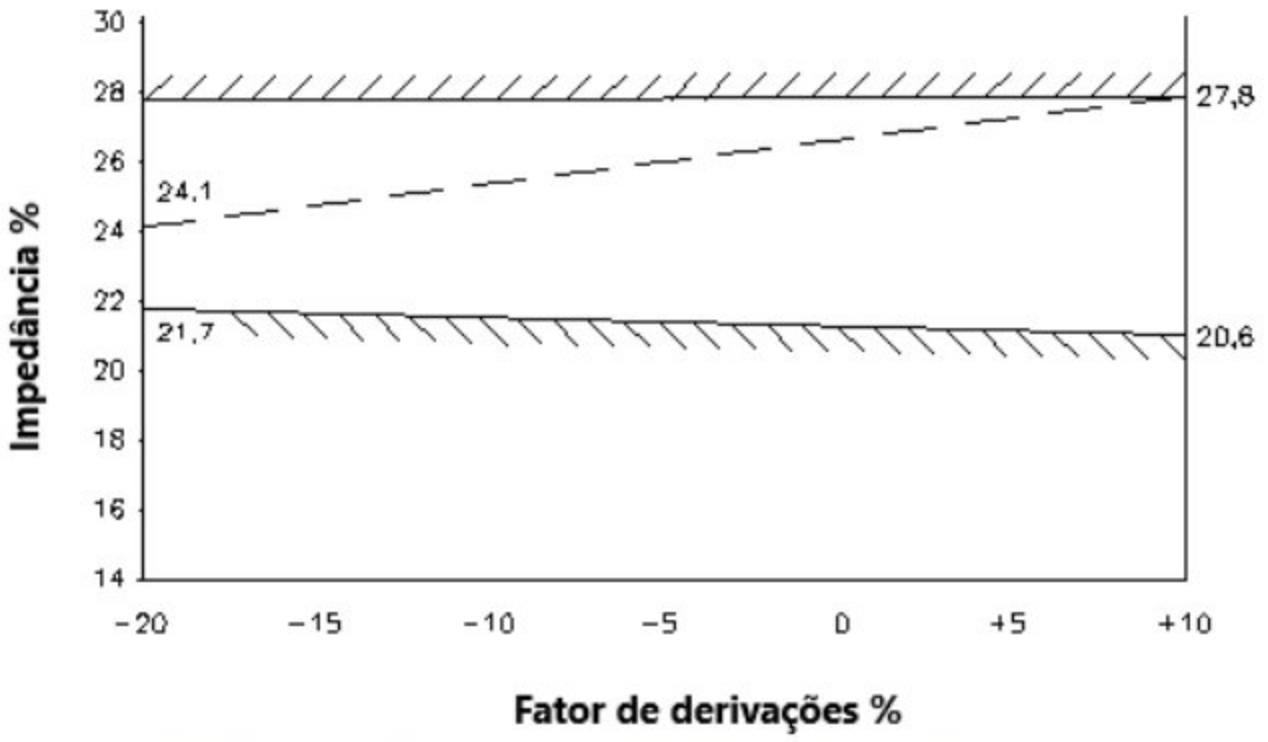



**Figura C.1 – Exemplo de especificação de impedância de curto-circuito por limites**

O limite superior é um valor constante de impedância de curto-circuito em porcentagem, que é determinado pela queda de tensão admissível para uma certa carga e um fator de potência especificado.

O limite inferior é determinado pela sobrecorrente permitida no lado secundário, durante um curto-circuito franco.

A linha tracejada é um exemplo de curva de impedância de curto-circuito de um transformador que atende a especificação de impedância por curto-circuito por limites.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo D
(normativo)

## Correção da temperatura nas perdas em carga

Lista de símbolos:

Índice 1: refere-se às medidas de “resistência a frio do enrolamento” (ver 11.2);

Índice 2: indica condições durante as medições de perdas em carga (ver 11.4);

$r$ : Indica condições à “temperatura de referência” (ver 11.1);

$R$ : Resistência;

$\theta$ : Temperatura do enrolamento, em graus Celsius (°C);

$P$ : Perdas em carga;

$I$ : Corrente de carga especificada para determinar as perdas (corrente nominal, corrente de derivação, outros valores especificados correspondentes a casos de cargas particulares);

$P_a$ : “Perdas suplementares“;

A medição da resistência do enrolamento é feita à temperatura $\theta_1$;

O valor medido é $R_1$;

As perdas em carga são medidas a uma temperatura média de enrolamento igual a $\theta_2$. As perdas medidas $P_2$ correspondem à corrente $I$. Estas perdas correspondem às “perdas por efeito Joule“: $I^2R_2$ e às “perdas suplementares” $P_{a2}$:

$$R_2 = R_1 \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1} \text{ (cobre)} \qquad R_2 = R_1 \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1} \text{ (alumínio)}$$

$$P_{a2} = P_2 - I^2 R_2$$

$\sum I^2 R_2$ é o somatório das perdas resistivas CC em todos os enrolamentos.

A temperatura de referência $\theta_r$, a resistência do enrolamento é $R_r$, as perdas suplementares $P_{ar}$ e as perdas totais em carga $P_r$:

$$R_r = R_1 \frac{235 + \theta_r}{235 + \theta_1} \text{ (cobre)} \qquad R_r = R_1 \frac{225 + \theta_r}{225 + \theta_1} \text{ (alumínio)}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_r} \qquad P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_r}$$


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Para os transformadores imersos em líquido isolante, com temperatura de referência de 75 °C, as equações tornam-se:

$$R_r = R_1 \frac{310}{235 + \theta_1} \text{ (cobre)} \qquad R_r = R_1 \frac{300}{225 + \theta_1} \text{ (alumínio)}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{310} \qquad P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{300}$$

Finalmente: $P_r = I^2 R_r + P_{ar}$

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo E
(informativo)

## Instalações para montagem futura de sistemas de monitoramento para transformadores

Quando se pretende fornecer as instalações necessárias para futura montagem de um sistema de monitoramento para um transformador, devem ser considerados, no mínimo e se aplicável, os seguintes sensores e instalações, conforme a Tabela E.1. Os sensores e as instalações fornecidos efetivamente devem ser acordados entre o fabricante e o comprador e dependerão do tamanho e da criticidade do transformador.

Outras orientações estão contidas na CIGRE 343.

**Tabela E.1 – Instalações para monitoramento** (continua)

| Parâmetro a ser monitorado | Preparação sugerida para monitoramento |
|---|---|
| Temperatura do topo do óleo | Sensor e/ou poço para instalação de sensor |
| Temperatura inferior do óleo | Sensor e/ou poço para instalação de sensor |
| Conteúdo de gás (ou gases) no óleo | Válvula(s) flangeada(s) para instalação de sensor |
| Umidade no óleo | Válvula flangeada para instalação de sensor |
| Nível de óleo do conservador | Contato de alarme ou sensor para medição |
| Sensor de descarga parcial | Instalação para adequar sensor |
| Corrente contínua de neutro | Instalação para adequar sensor |
| Circuito magnético | Conexão de terra externa ao tanque |
| Temperatura do meio de resfriamento externo | Sensor e/ou poço para instalação de sensor |
| Operação do sistema de resfriamento externo | Sensor de fluxo ou contato auxiliar |
| Temperatura de entrada do óleo no sistema de resfriamento | Sensor e/ou poço para instalação de sensor |
| Temperatura de saída do óleo do sistema de resfriamento | Sensor e/ou poço para instalação de sensor |
| Tensão na derivação da bucha | Derivação de potencial na bucha e instalação para adequar transdutor |
| Corrente de carga | Transformador de corrente |
| Pressão do óleo da bucha | Instalação para adequar sensor |
| Posição da derivação do comutador de derivação em carga | Dispositivo |
| Consumo de potência ativa do acionamento motorizado | Instalação para adequar transdutor |


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela E.1** (conclusão)

| Parâmetro a ser monitorado | Preparação sugerida para monitoramento |
|---|---|
| Temperatura do óleo da chave de carga do comutador de derivação em carga | Sensor e/ou poço para instalação de sensor |
| Nível de óleo do comutador de derivação em carga | Contato de alarme ou sensor para medição |
| Supervisão da comutação do comutador de derivação em carga | Contatos auxiliares no comutador de derivação em carga |
| Temperatura do ponto mais quente do enrolamento (direta) | Sensor e placa de interface |

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo F
(informativo)

## Considerações ambientais e de segurança

O impacto ambiental do transformador deve ser considerado tanto pelo fabricante quanto pelo usuário durante sua vida útil projetada desde o projeto até o descarte. Os seguintes fatores devem ser considerados, e esforços devem ser dedicados para minimizar os impactos da produção, da utilização e do descarte do transformador.

As matérias-primas do transformador devem ser avaliadas de acordo com os seguintes critérios:

a) consumo de energia durante a extração, a preparação e a produção;

b) desperdício de produtos e poluição durante a extração, a preparação e a produção;

c) toxicidade ou outros efeitos a saúde dos trabalhadores pelos materiais ou processos durante a extração, a preparação e a produção;

d) impacto ambiental dos materiais.

A especificação e o projeto do transformador devem considerar:

a) segurança das pessoas durante produção, instalação, operação, manutenção e descarte;

b) consumo de energia durante a vida útil do transformador;

c) uso sustentável de matérias-primas no transformador;

d) eliminação ou minimização do uso de materiais perigosos ou prejudiciais ao meio ambiente;

e) contenção de quaisquer materiais perigosos ou prejudiciais ao meio ambiente;

f) descarte do transformador, eliminando ou minimizando o uso de materiais ou misturas de materiais difíceis ou impossíveis de se reutilizar ou reciclar.

Em relação à fase de produção, o cliente deve considerar na especificação e o fabricante deve considerar durante a produção do transformador:

a) uso de um sistema de gerenciamento ambiental;

b) uso eficiente de energia e recursos;

c) eliminação ou redução de emissões e resíduos prejudiciais ao meio ambiente;

d) reuso ou reciclagem de resíduos;

e) saúde e segurança dos trabalhadores.

Outras considerações incluem:

a) uso de energia e impacto ambiental do transporte para o local de instalação;


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

b) descarte ou reuso de materiais de embalagem;

c) impacto ambiental ou sanitário de quaisquer substâncias que possam ser geradas por potenciais condições de falha;

d) potencial liberação de materiais prejudiciais ao meio ambiente durante operação anormal ou falha.

O ciclo de vida do transformador pode ser considerado em termos de materiais e energia utilizados na produção e de resíduos gerados após descarte.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo G
(normativo)

# Métodos de ensaio

Enquanto não vigorarem Normas Brasileiras aplicáveis especificamente aos transformadores não abrangidos pela série ABNT NBR 5356 ou a outros transformadores especiais, estes métodos de ensaios podem ser aplicados.

## G.1 Generalidades

Os ensaios devem ser realizados nas instalações do fabricante, exceto se houver acordo diferente entre este e o comprador. Os ensaios devem ser realizados conforme com os requisitos gerais de 9.1.

## G.2 Resistência elétrica dos enrolamentos

**G.2.1** Neste ensaio, devem ser registrados:

a) a resistência elétrica de cada enrolamento;

b) os terminais entre as quais é medida a resistência elétrica;

c) a temperatura dos enrolamentos.

**G.2.2** A medição deve ser efetuada com corrente contínua por um método de ponte ou pelo método de queda de tensão. Quando a corrente nominal do enrolamento for inferior a 1 A, deve ser utilizado um método de ponte.

**G.2.3** A corrente utilizada no ensaio não pode ser superior a 15 % da corrente nominal do enrolamento considerado.

**G.2.4** No método da queda de tensão, se forem utilizados instrumentos de deflexão, devem ser feitas leituras com alguns valores diferentes de corrente, de forma a demonstrar a constância dos valores de resistência calculados dessas leituras. Demonstrado isto, as demais leituras devem ser feitas com um único valor de corrente.

**G.2.5** Na medição da resistência a frio, o tempo até a estabilização da corrente de medição deve ser registrado e utilizado para orientação ao efetuar medições de resistência a quente, após o desligamento da alimentação no ensaio de elevação de temperatura.

**G.2.6** Deve-se observar que o desligamento da fonte de corrente contínua pode produzir sobretensões consideráveis, podendo danificar os instrumentos de medição.

**G.2.7** Para transformadores secos, a temperatura registrada deve ser a média das leituras de pelo menos três sensores localizados em posições representativas, de preferência dentro dos enrolamentos, por exemplo, em um poço ou um canal entre os enrolamentos de alta-tensão e baixa tensão. Antes de cada medição, o transformador deve permanecer pelo menos 3 h em repouso em temperatura ambiente. A resistência e a temperatura do enrolamento devem ser medidas simultaneamente. A temperatura do enrolamento, medida por termômetro, deve ser aproximadamente igual à do meio circulante.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**G.2.8** Para transformadores imersos em líquido isolante, a temperatura dos enrolamentos a frio pode ser considerada igual à temperatura média do líquido isolante, desde que o transformador tenha estado desenergizado e em um ambiente de temperatura, tanto quanto possível, estável durante pelo menos 3 h para que haja equilíbrio térmico. A temperatura do líquido isolante é, então, medida por meio de um ou mais termômetros ou pares termoelétricos imersos no líquido isolante.

A temperatura média do óleo é tomada como a média das temperaturas no topo e no fundo do óleo.

Em transformadores de potência nominal igual ou inferior a 5 000 kVA, a diferença entre as temperaturas do óleo do topo e do fundo pode ser desprezível, sendo suficiente, neste caso, medir a temperatura do topo do óleo.

Ao medir a resistência a frio para fins de elevação de temperatura, deve-se tomar cuidado especial para uma determinação precisa da temperatura média do enrolamento. Para isto, a diferença entre as temperaturas do óleo no topo e no fundo deve ser pequena, não podendo ultrapassar 5 °C. Para alcançar esta condição mais rapidamente, pode-se fazer circular o óleo por meio de bomba.

**G.2.9** Os valores de resistência, medidos a frio, são convertidos para a temperatura de referência estabelecida em 11.1 e conforme o Anexo D.

## G.3 Relação de transformação

### G.3.1 Generalidades

O ensaio de relação de transformação deve ser realizado aplicando a um dos enrolamentos uma tensão igual ou inferior à tensão nominal deste enrolamento, e com frequência igual ou superior à nominal.

Para transformadores trifásicos, apresentando fases independentes e com terminais acessíveis, procede-se, indiferentemente, usando corrente monofásica ou trifásica, como for mais conveniente. Se o enrolamento no qual a tensão é aplicada estiver ligado em estrela com neutro inacessível, usa-se corrente trifásica, procedendo-se como para transformadores monofásicos.

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

a) método do voltímetro;

b) método do transformador-padrão;

c) método do transformador de referência de relação variável;

d) método potenciométrico

### G.3.2 Método do voltímetro

Usar dois voltímetros (com transformadores de potencial, se necessário); um para medir a tensão do enrolamento de alta-tensão, e o outro para o de baixa tensão. Os dois voltímetros devem ser lidos simultaneamente.

Deve ser feito um novo grupo de leituras com os dois voltímetros permutados. Tomar a média das relações obtidas nos dois grupos de medidas, a fim de compensar os erros dos voltímetros.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Quando se ensaiam vários transformadores de iguais características, o trabalho pode ser simplificado, aplicando este ensaio a apenas um transformador e comparando os outros transformadores com este, considerado padrão, de acordo com o método do transformador-padrão, especificado em G.3.3.

### G.3.3 Método do transformador-padrão

Excitar o transformador a ser ensaiado e um transformador-padrão da mesma relação nominal, ligados em paralelo, de acordo com a Figura G.1, inserindo em uma das ligações do secundário um voltímetro ou outro dispositivo indicador de tensão. Este indica a diferença de tensão, se houver.

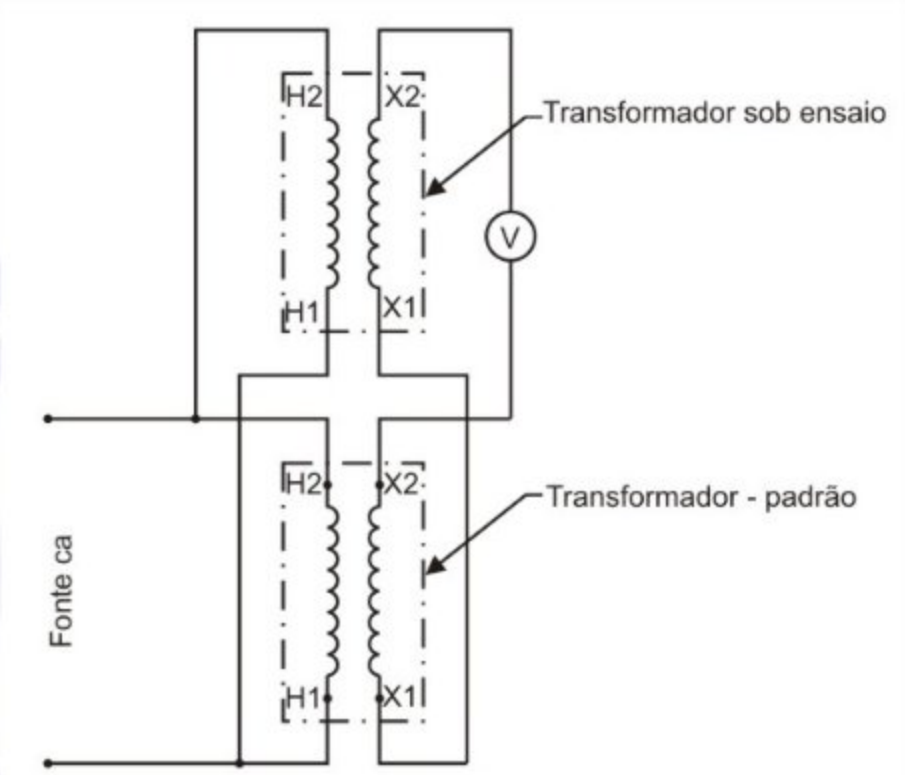



**Figura G.1 – Diagrama de ligações para determinação da relação de tensões pelo método do transformador-padrão, com o voltímetro ligado para medir a diferença entre as duas tensões secundárias**

Outra modalidade deste método consiste em excitar o transformador a ser ensaiado e o transformador-padrão da mesma relação nominal ligados em paralelo, do lado da fonte, de acordo com a Figura G.2, e medir as tensões secundárias com dois voltímetros. Em seguida, permutar os voltímetros e repetir o ensaio. Adotar média dos valores obtidos para o valor da relação.

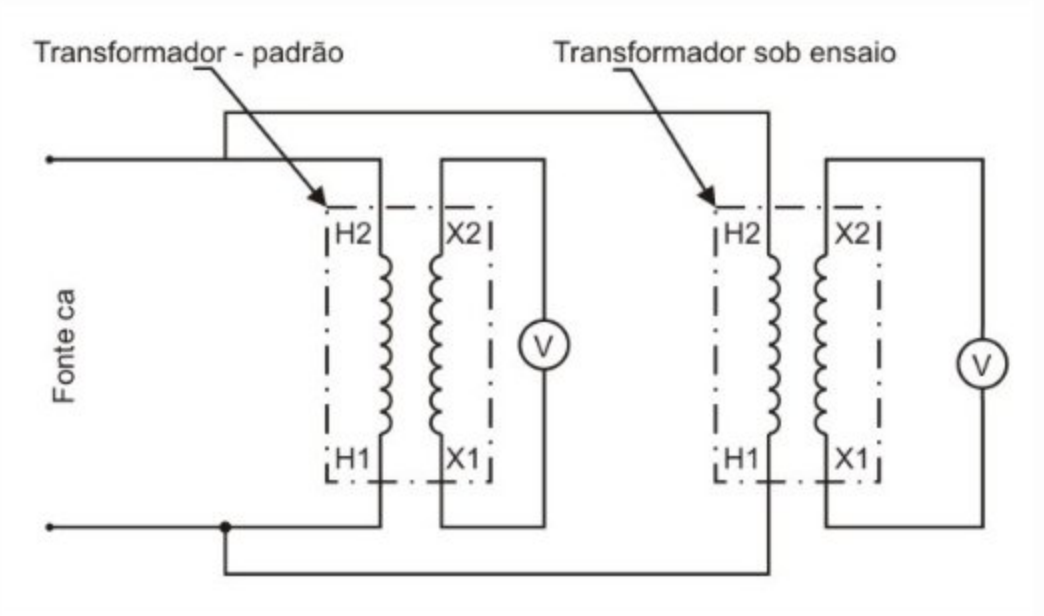



**Figura G.2 – Diagrama de ligações para determinação da relação de tensões pelo método do transformador-padrão, com os voltímetros ligados para medir as duas tensões secundárias**


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### G.3.4 Método do transformador de referência de relação variável

Usar um equipamento especialmente construído, o qual incorpora um transformador de relação variável e um indicador de tensão. A escala do equipamento indica a relação quando o indicador de tensão registra deflexão nula.

NOTA Quando se utiliza este método, pode-se também verificar a polaridade, o deslocamento angular e a sequência de fases dos enrolamentos.

### G.3.5 Método potenciométrico

Ligar um resistor de valor adequado, conforme a Figura G.3. Deslocar o contato móvel ao longo do resistor até que o indicador de tensão registre deflexão nula. Neste ponto, medir as resistências $R_1$ e $R_2$, cuja relação exprime a relação de tensões do transformador.

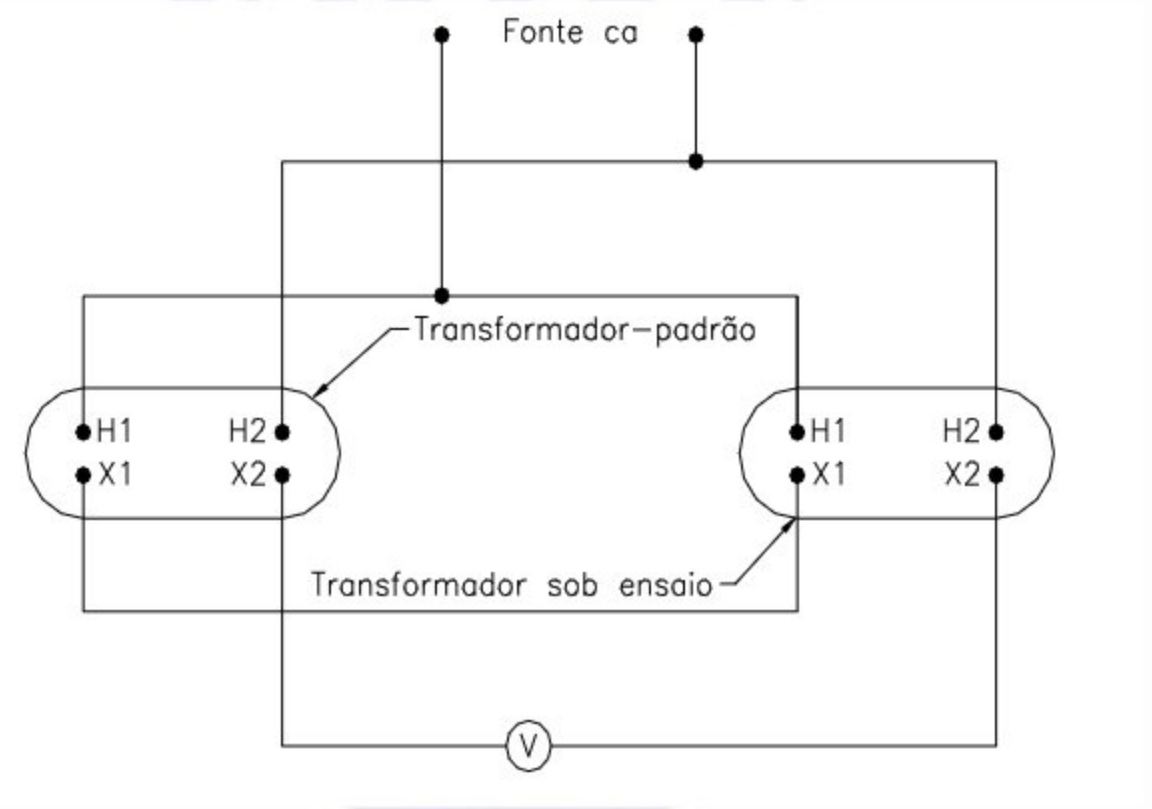



**Figura G.3 – Diagrama de ligações para determinação da relação de tensões pelo método potenciométrico**

## G.4 Resistência de isolamento

Medir a resistência de isolamento com um megaohmímetro de 1 000 V no mínimo, para enrolamentos de tensão máxima do equipamento igual ou inferior a 72,5 kV, e de 2 000 V no mínimo, para enrolamentos de tensão máxima do equipamento superior àquela.

Curto-circuitar os terminais de cada enrolamento do transformador sob ensaio. Fazer as medições nas mesmas ligações indicadas para o ensaio de fator de potência do isolamento (ver G.12.2). Ligar o megaohmímetro, mantendo a tensão constante durante no mínimo 1 min e fazer a leitura.

Anotar nessa leitura a tensão do megaohmímetro utilizado e a temperatura do enrolamento sob ensaio. Para esta última leitura, o transformador deve estar em equilíbrio térmico com a temperatura ambiente.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## G.5 Polaridade

Os métodos usados para a verificação da polaridade de transformadores monofásicos são os seguintes:

a) método do transformador-padrão;

b) método do golpe indutivo de corrente contínua;

c) método de corrente alternada;

d) método do transformador de referência de relação variável.

O método do transformador-padrão consiste em comparar o transformador a ensaiar com um transformador-padrão de polaridade conhecida, que tenha a mesma relação de tensões nominais, de acordo com a Figura G.4

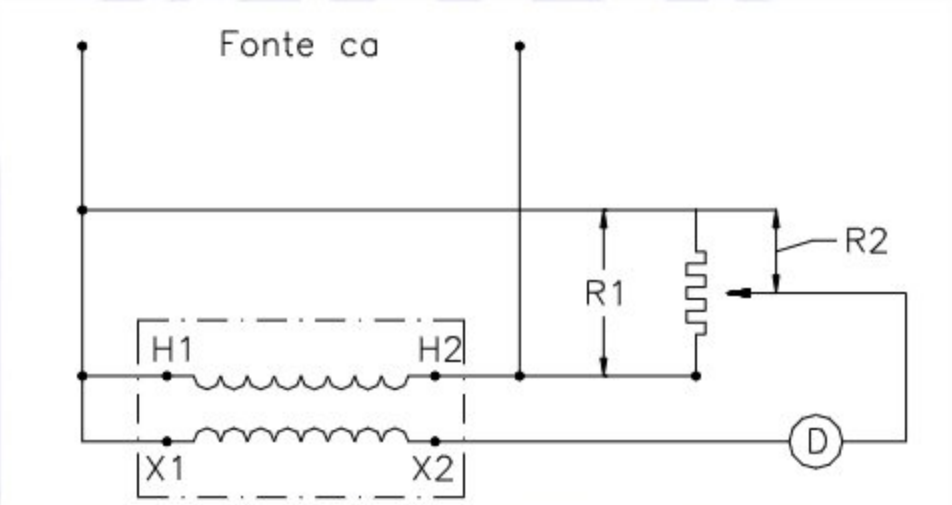



**Figura G.4 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade por comparação com um transformador-padrão**

Ligar em paralelo os enrolamentos de alta-tensão dos dois transformadores, tendo o cuidado de ligar entre si os terminais marcados como de mesma polaridade.

Ligar entre si, na baixa tensão, os terminais da esquerda de quem olha pelo lado da baixa tensão, deixando livres os da direita. Aplicar uma tensão reduzida no enrolamento de alta-tensão e medir o valor da tensão entre os dois terminais livres. Se este valor for nulo, ou praticamente nulo, os dois transformadores têm a mesma polaridade.

Para o método do golpe indutivo com corrente contínua, ligar os terminais de alta-tensão a uma fonte de corrente contínua. Instalar um voltímetro de corrente contínua entre esses terminais, de modo a obter uma deflexão positiva no instante do golpe. Transferir cada terminal do voltímetro para o terminal de baixa tensão diretamente adjacente (por exemplo, na Figura G.5, o terminal do voltímetro ligado a H1 é transferido para X1, e o que estiver ligado a H2 é transferido para X2; na Figura G.6, o terminal do voltímetro ligado a H1 é transferido para X2, e o que estiver ligado a H2 é transferido para X1). Desligar, em seguida, a corrente de alimentação, observando o sentido de deflexão do voltímetro. Quando as duas deflexões são em sentidos opostos, a polaridade é subtrativa (ver Figura G.5). Quando as duas deflexões são no mesmo sentido, a polaridade é aditiva (ver Figura G.6).

Para o método de corrente alternada, ligar entre si os terminais adjacentes, um de alta-tensão e outro de baixa tensão; os terminais da esquerda, conforme apresentados na Figura G.7.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Aplicar uma tensão alternada conveniente aos terminais de alta-tensão, ler as indicações de um voltímetro, ligado primeiramente entre os terminais de alta-tensão e depois entre os terminais adjacentes livres (os terminais da direita, por exemplo: H2, X2). Se a primeira leitura for maior que a segunda, a polaridade é subtrativa; caso contrário, a polaridade é aditiva.

Este método é praticamente limitado a transformadores cuja relação de tensões nominais é no máximo 30:1, para que as diferenças das leituras dos voltímetros possam ser devidamente apreciadas, a não ser que se empreguem transformadores de potencial.

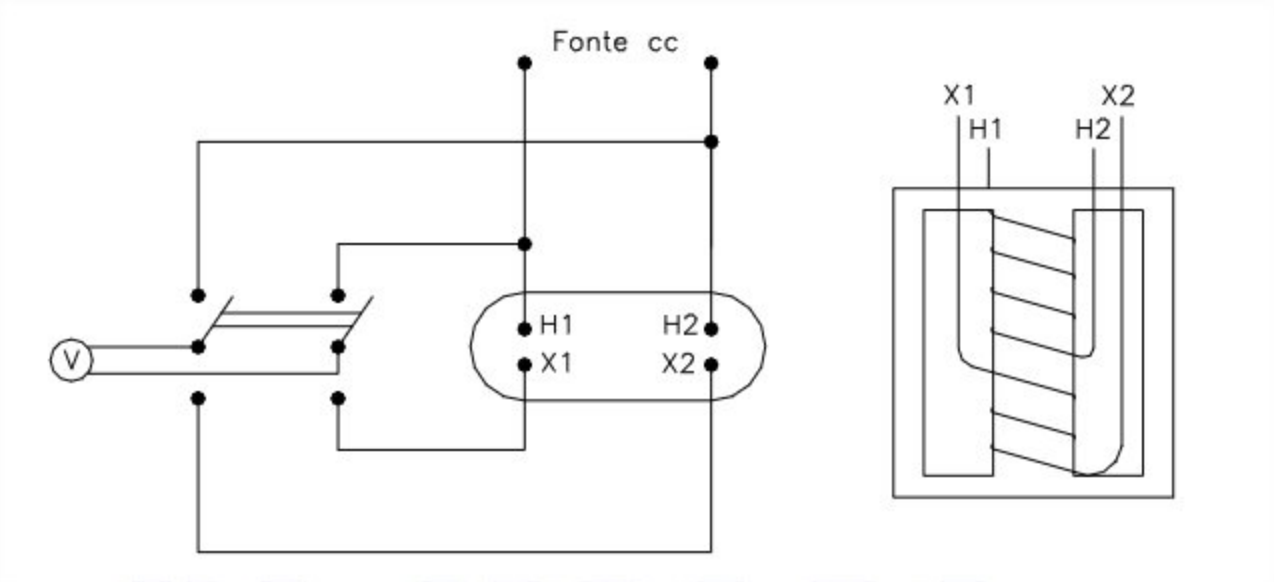



**Figura G.5 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade por golpe indutivo, com corrente contínua (polaridade subtrativa)**

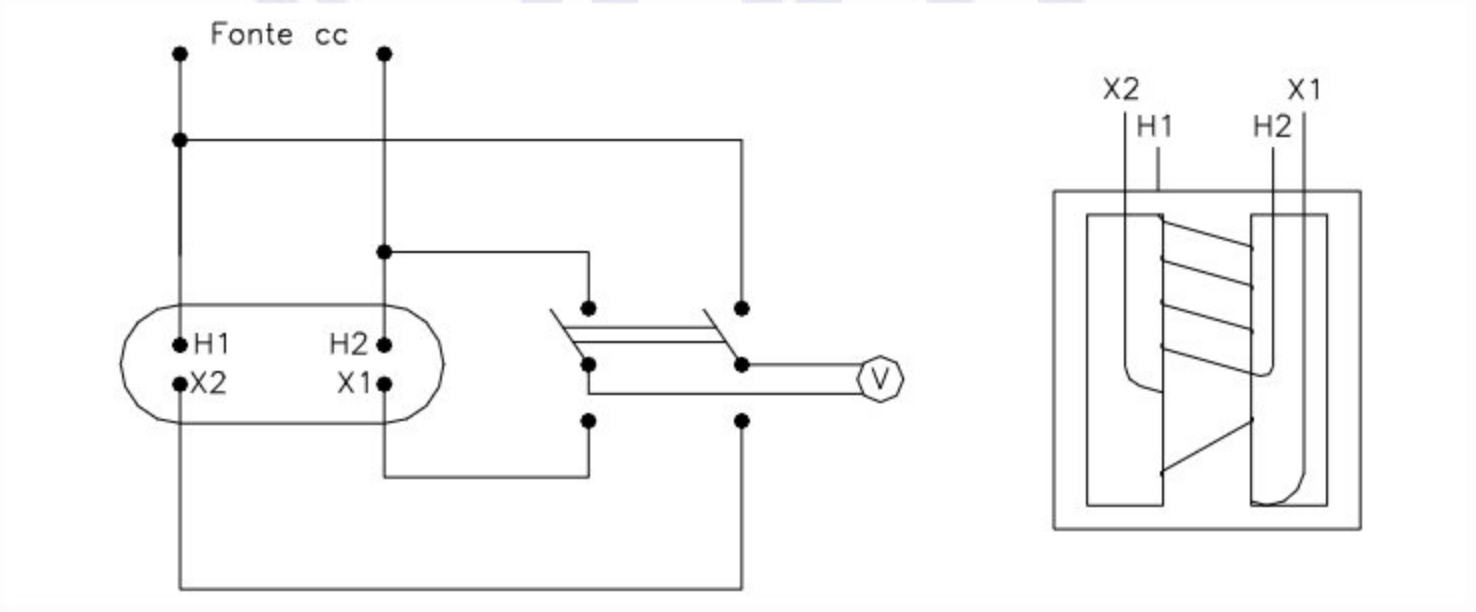



**Figura G.6 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade por golpe indutivo, com corrente contínua (polaridade aditiva)**

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

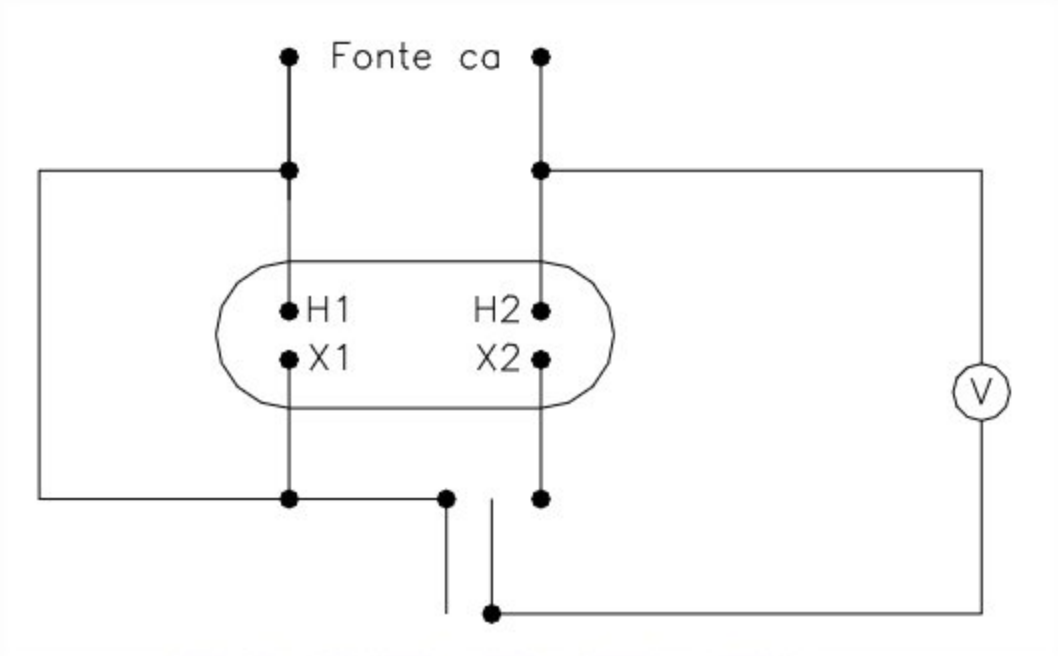



**Figura G.7 – Diagrama de ligações para determinação da polaridade pelo emprego de corrente alternada**

Para o método do transformador de referência de relação variável, usar um equipamento especialmente construído, o qual incorpora um transformador de relação variável e um indicador de tensão. Quando o indicador de tensão indicar deflexão nula, a polaridade é a mesma do instrumento.

A polaridade correspondente a cada fase de um transformador polifásico pode ser verificada da mesma forma que para os transformadores monofásicos.

## G.6 Deslocamento angular

Este ensaio permite a obtenção dos elementos, para verificação do diagrama fasorial das ligações do transformador.

Ligar os terminais de alta-tensão a uma fonte de tensão reduzida.

Ligar entre si os terminais H1 e X1.

Medir as tensões entre vários pares de terminais, de acordo com os exemplos das Figuras G.8 e G.9.

Observar que, no caso de transformadores com relação de tensões nominais superior a 30:1, as leituras dos voltímetros não podem ser devidamente apreciadas, a não ser que se empreguem transformadores de potencial.

NOTA Existe ainda a possibilidade de medição do deslocamento angular com osciloscópio.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

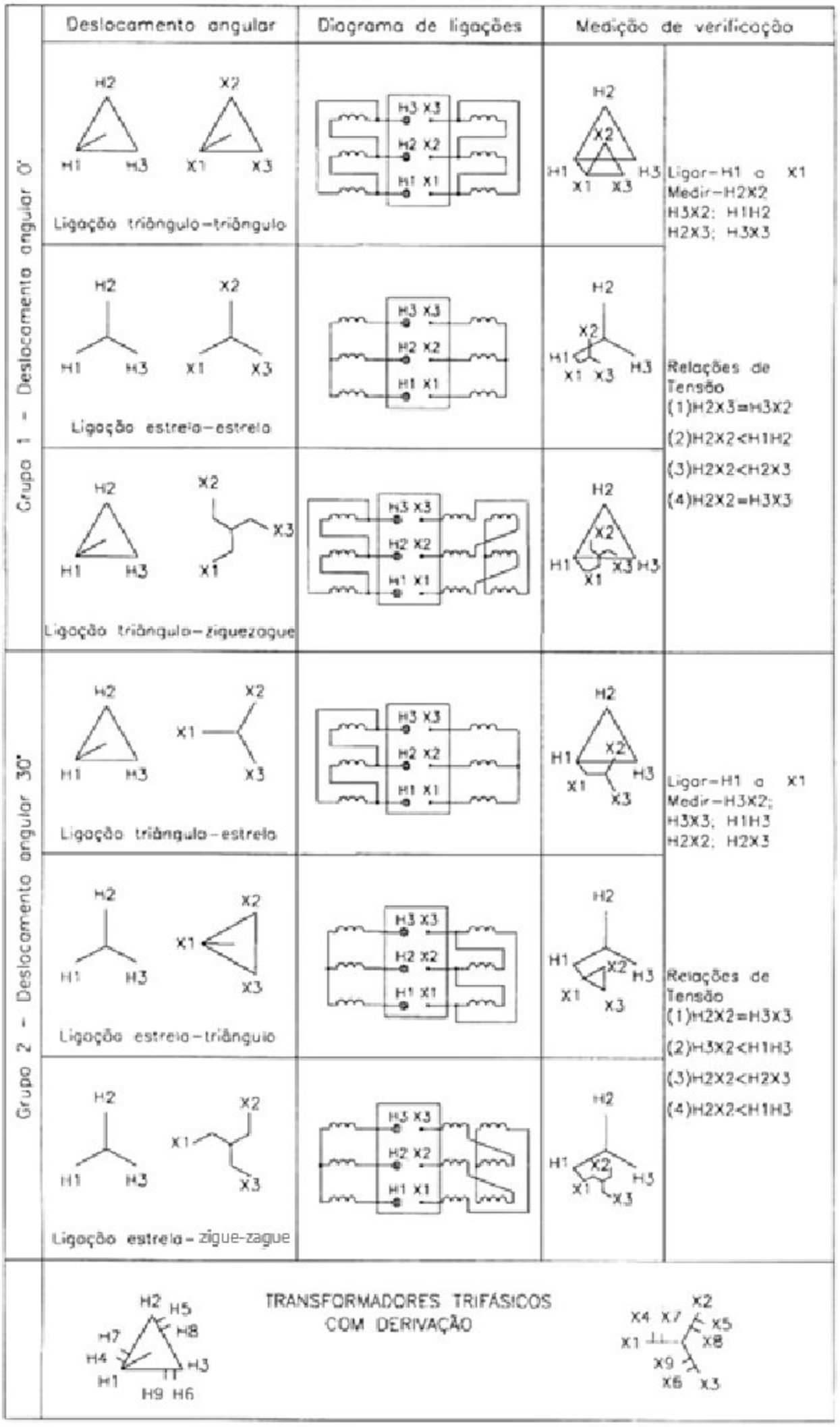



**Figura G.8 – Marcação dos terminais de transformadores e diagramas fasoriais de tensão, para ligações de transformadores trifásicos**

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

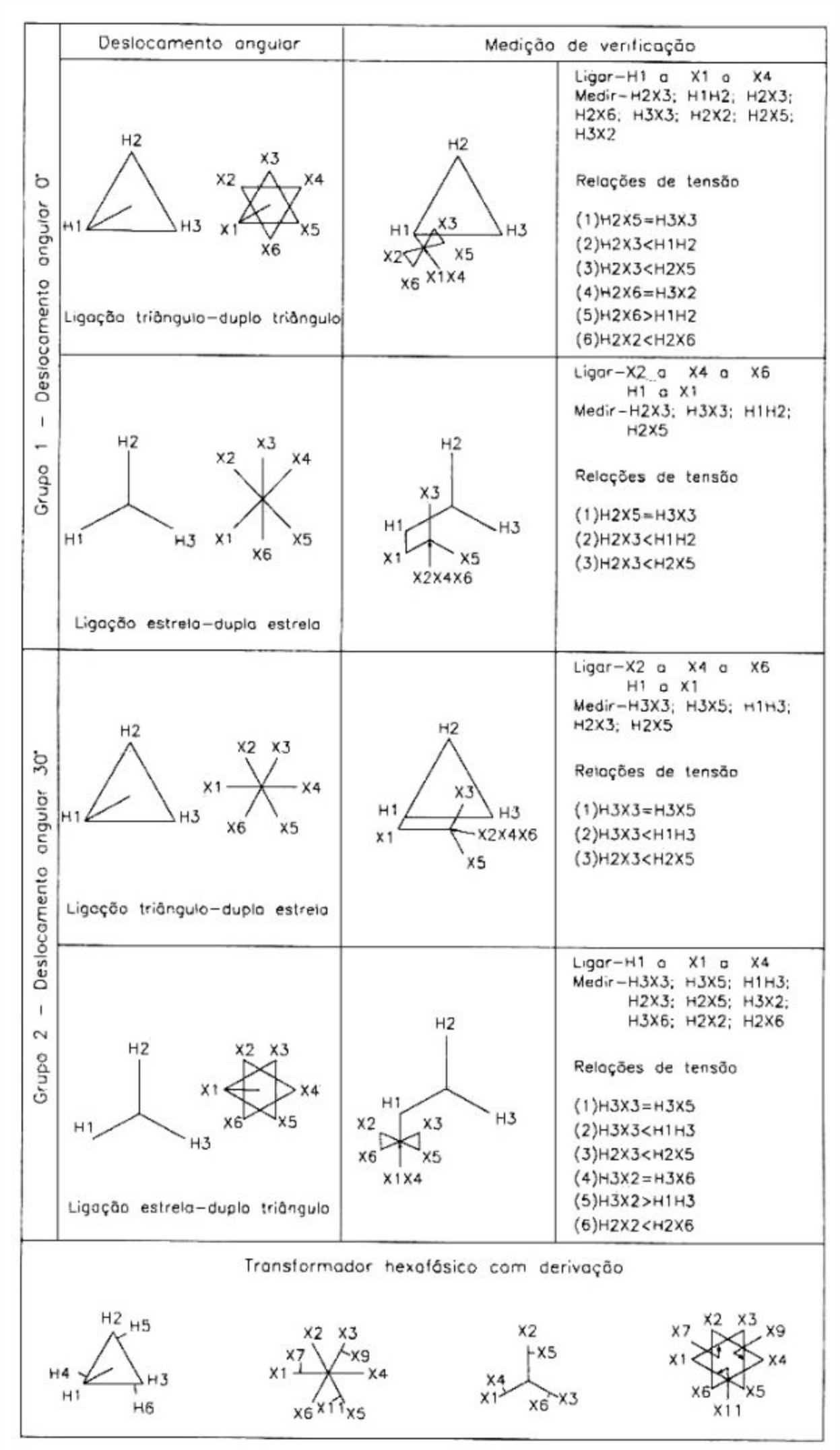



**Figura G.9 – Marcação dos terminais de transformadores e diagramas fasoriais de tensão, para ligações de transformadores hexafásicos**


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## G.7 Sequência de fases para transformadores polifásicos

Neste ensaio, utilizar um dispositivo indicador, como um motor trifásico ou outro aparelho de circuito dividido ou equivalente, que deve ser ligado aos terminais de alta-tensão do transformador, diretamente ou por meio de transformadores auxiliares. Excitar o transformador a ensaiar pelo lado de baixa tensão, utilizando uma tensão adequada. Observar, em seguida, o sentido de rotação do dispositivo indicador. O dispositivo indicador deve ser transferido, em seguida, para o lado de baixa tensão, ligando a X1 o terminal do dispositivo indicador que estava ligado a H1, a X2 o que estava ligado a H2 e a X3 o que estava ligado a H3.

Excitar novamente o transformador pelo mesmo lado e com tensão adequada, sem alterar as ligações de excitação. Observar novamente o sentido da rotação do dispositivo indicador.

A sequência de fases do transformador está certa quando os sentidos de rotação do dispositivo indicador são os mesmos.

## G.8 Perdas em vazio e corrente de excitação

As perdas em vazio e a corrente de excitação devem ser referidas à tensão senoidal pura, com fator de forma 1,11. As perdas em vazio devem ser medidas com tensão nominal na derivação principal ou, quando medidas em uma outra derivação, com a respectiva tensão de derivação. Quando, nas disposições seguintes desta seção, for mencionada a tensão nominal, ela deve referir-se a medições efetuadas na derivação principal. As mesmas disposições devem ser aplicadas às medições feitas em outras derivações, porém com a respectiva tensão de derivação. As medições devem ser realizadas na frequência nominal.

As medições das perdas em vazio em transformadores monofásicos são efetuadas ligando o transformador de acordo com as Figuras G.10 ou G.11, caso sejam necessários, utilizar transformadores para instrumentos conforme Figura G.11. As ligações podem ser feitas tanto no enrolamento de alta-tensão como no de baixa tensão, sendo mais conveniente este último, para maior facilidade na medição da corrente.

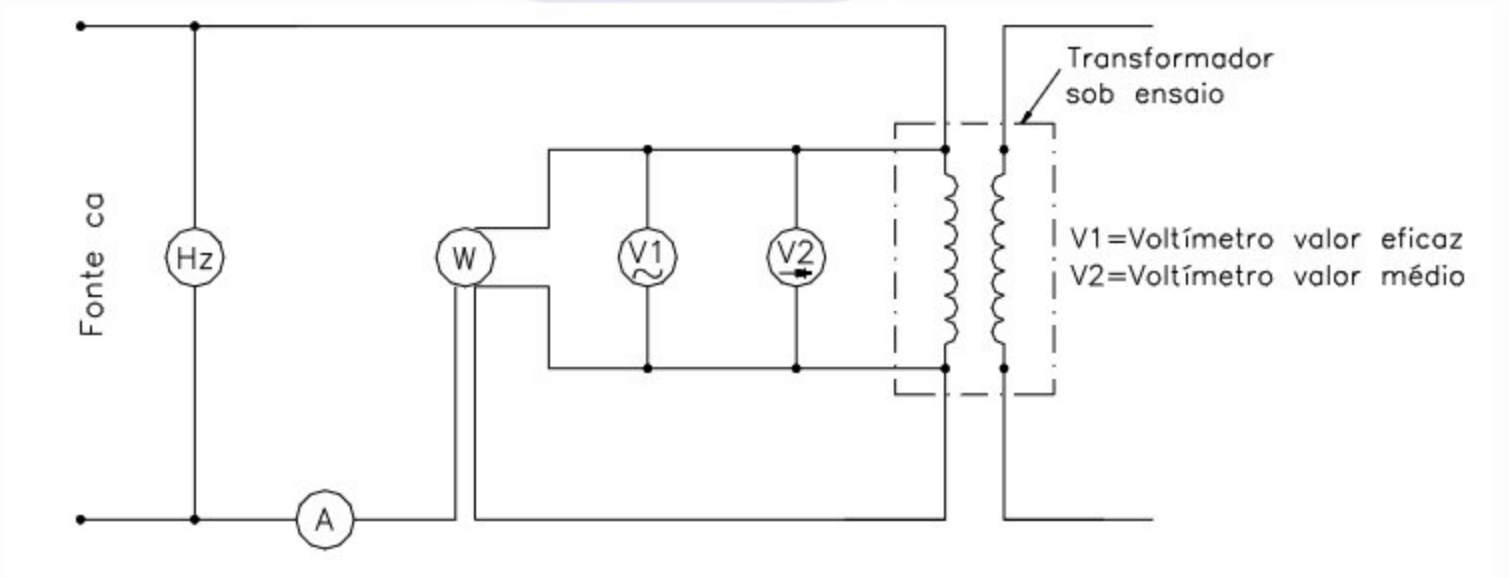



**Figura G.10 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores monofásicos, sem transformadores para instrumentos**

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

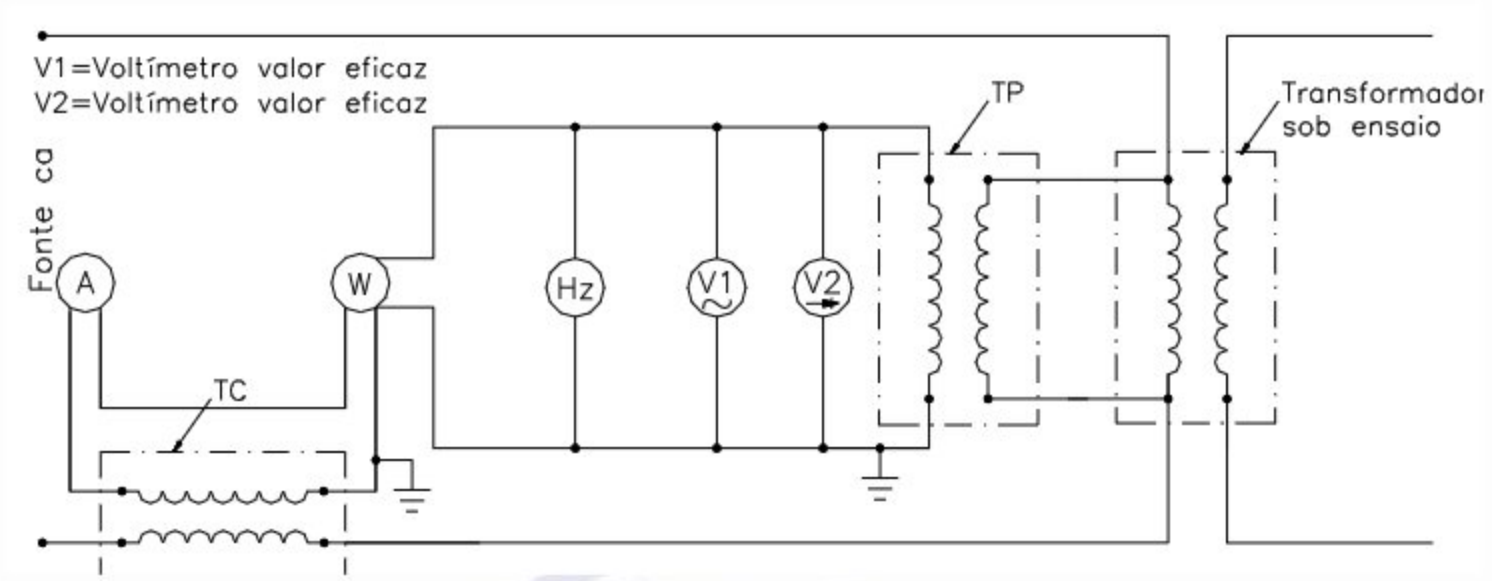



**Figura G.11 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores monofásicos, com transformadores para instrumentos**

A tensão de ensaio deve ser ajustada por um voltímetro que mede o valor médio da tensão, mas que é graduado de modo a fornecer o valor eficaz de uma tensão senoidal com o mesmo valor médio. O valor lido por este voltímetro é $U'$.

Simultaneamente, um voltímetro medindo o valor eficaz da tensão deve estar conectado em paralelo com o voltímetro de valor médio, e a tensão $U$ que ele indica deve ser registrada.

Quando um transformador trifásico é ensaiado, as tensões devem ser medidas entre os terminais de fase, se um enrolamento triângulo for energizado, e entre os terminais de fase e neutro, se um enrolamento YN ou ZN for energizado.

A forma de onda da tensão de ensaio é satisfatória se $U'$ e $U$ forem iguais com desvio máximo de 3 %.

NOTA Sabe-se que as condições mais severas de carga para a exatidão da fonte de tensão de ensaio são geralmente impostas pelos grandes transformadores monofásicos.

As perdas em vazio medidas são $P_m$, e as perdas em vazio corrigidas são tomadas iguais a:

$$P_0 = P_m (1 + d)$$

$$d = \frac{U' - U}{U'} \text{ (habitualmente negativo)}$$

O valor eficaz da corrente de excitação e o valor das perdas são medidos simultaneamente. Para um transformador trifásico, toma-se a média dos valores das três fases.

Ajustar a frequência e a tensão para o valor nominal, pelo voltímetro de valor médio. Anotar, simultaneamente, os valores de frequência, tensão eficaz, potência, tensão média e corrente. Após desligar o transformador sob ensaio, fazer nova leitura no wattímetro, a qual deve ser subtraída da anterior e corresponde às perdas no circuito de medição. As perdas em vazio consistem, principalmente, nas perdas por histerese e por correntes de Foucault (parasitas) e são função do valor, da frequência e da forma de onda da tensão de alimentação.

Mesmo com uma tensão de alimentação senoidal, esta pode ser distorcida pelos harmônicos que existem na corrente de excitação, dos quais o terceiro, o quinto, o sétimo e o nono são predominantes. Para a medição das perdas em vazio com uma tensão com forma de onda distorcida (diferença entre $U$ e $U'$ maior do que 3 %), deve-se introduzir uma correção no valor medido das perdas, para


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

referi-las à tensão senoidal pura. Isto é válido para transformadores monofásicos e para transformadores trifásicos, quando o enrolamento em triângulo é energizado. Se todos os enrolamentos forem ligados em estrela, a correção não é possível. Neste caso, a soma do quinto e do sétimo harmônicos não pode exceder 5 % da tensão de linha. Um oscilograma de tensão deve ser obtido para verificação.

As perdas por histerese são função do valor máximo da densidade de fluxo, a qual é função do valor médio da tensão de alimentação ($V_{méd.}$), enquanto as perdas por corrente de Foucault (parasitas) são função do valor eficaz da tensão de alimentação ($V_{ef}$). Em consequência, a correção anteriormente mencionada só é possível se os valores médio e eficaz da tensão de alimentação forem medidos. A tensão nominal deve ser ajustada pelo voltímetro de valor médio. A correção a ser feita nas perdas em vazio medidas é:

$$W_0 = W_m \frac{100}{W_h\% + kW_f\%} \tag{G.1}$$

$$k = \left(\frac{V_{ef}}{1{,}11 \times V_{med}}\right)^2 \tag{G.2}$$

onde

$W_0$ são as perdas em vazio para tensão senoidal pura, expressas em watts (W);

$W_m$ são as perdas em vazio medidas, expressas em watts (W);

$W_h$ são as perdas por histerese, expressas em porcentagem (%), relativas a $W_m$;

$W_f$ são as perdas por correntes de Foucault, expressas em porcentagem (%), relativas a $W_m$;

$V_{ef}$ é o valor eficaz da tensão de alimentação, lido no voltímetro $V_1$ (ver Figuras G.10 e G.11), expresso em volts (V);

$V_{méd.}$ é o valor médio da tensão de alimentação, lido no voltímetro $V_2$ (ver Figuras G.10 e G.11), expresso em volts (V).

Os valores de $W_h$ e $W_f$ a serem substituídos na Equação G.1 devem ser medidos; contudo, na falta destes, os seguintes valores típicos podem ser usados para chapas laminadas a frio de grão orientado:

| $W_h$ % | $W_f$ % |
|---|---|
| 50 | 50 |

O método descrito para transformadores monofásicos pode ser aplicado aos transformadores trifásicos, com as devidas modificações.

Os instrumentos são ligados de acordo com as Figuras G.12 a G.15.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

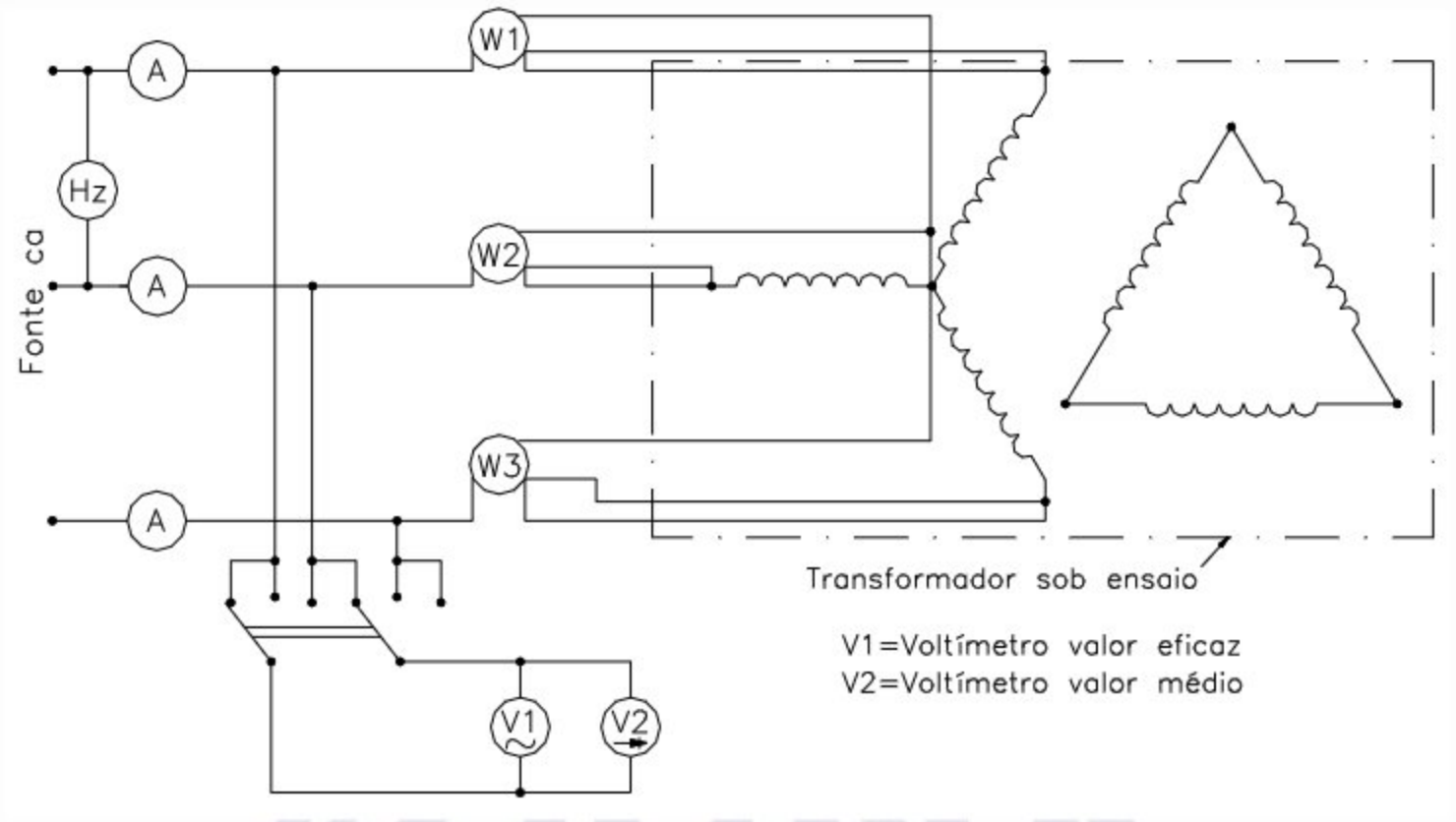



**Figura G.12 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores trifásicos, pelo método de dois wattímetros**

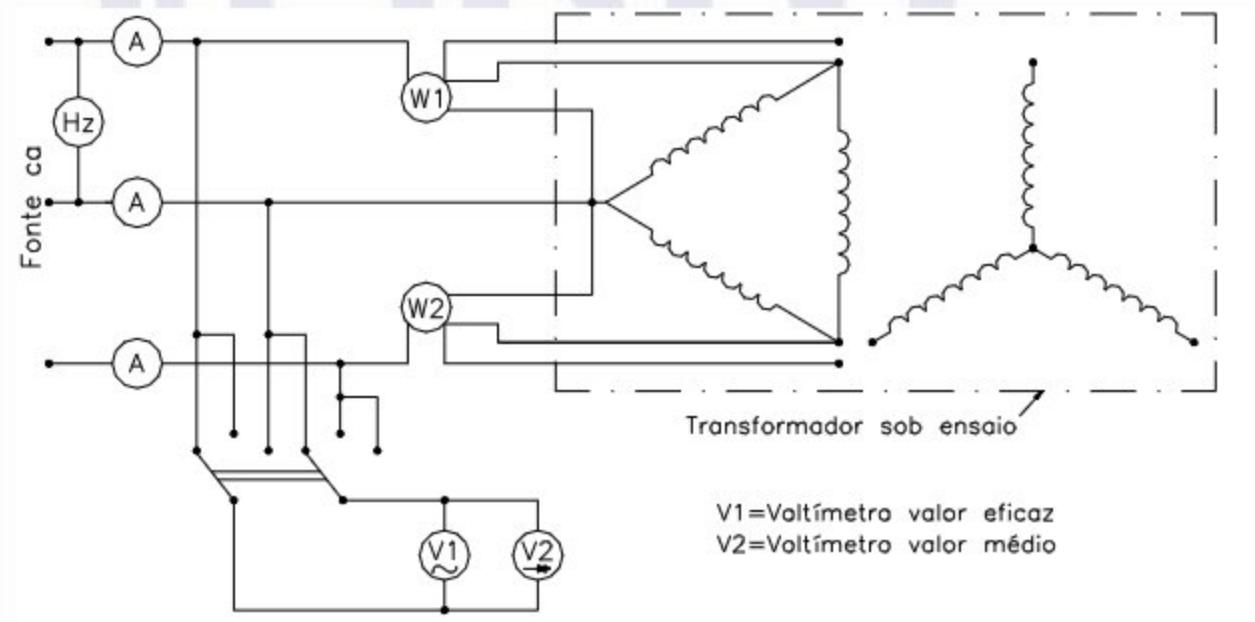



**Figura G.13 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores trifásicos, de neutro acessível, pelo método de três wattímetros**


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

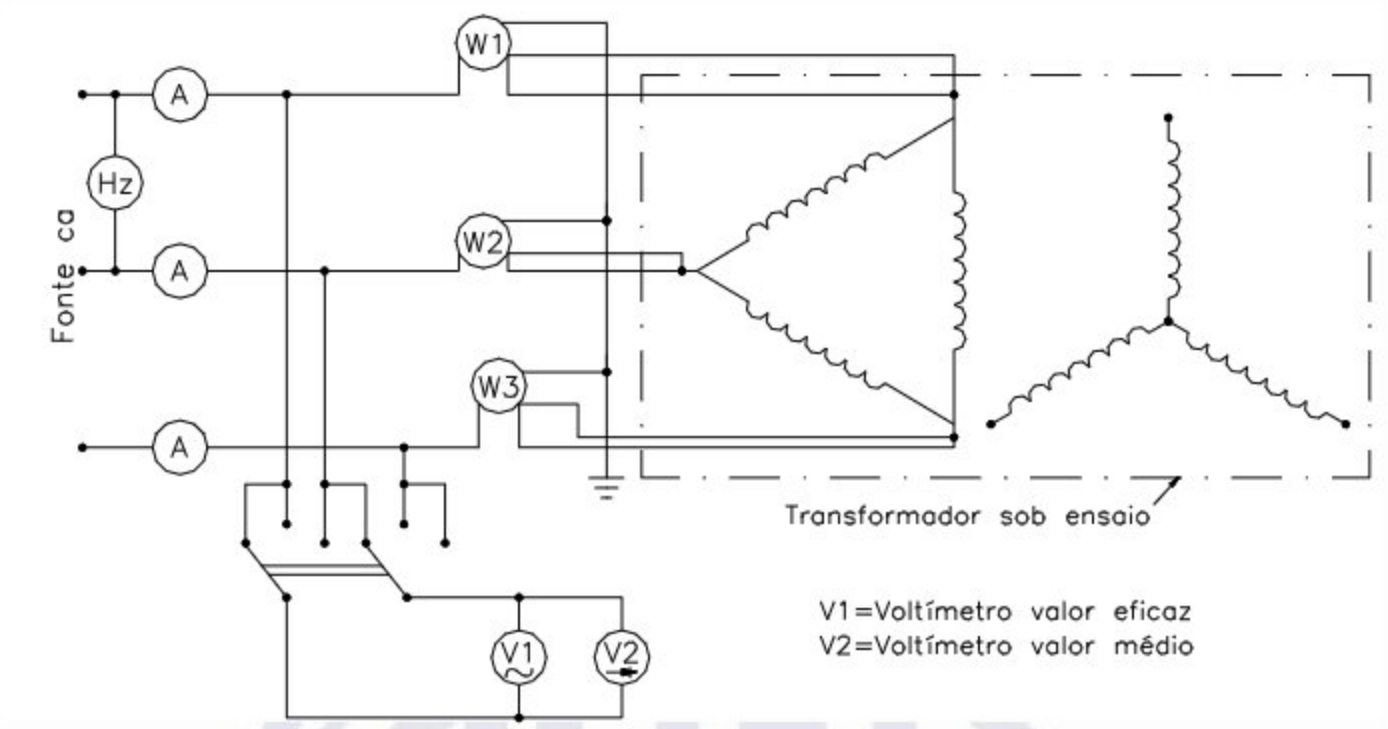



**Figura G.14 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação em transformadores trifásicos, de neutro acessível, pelo método de três wattímetros, usando um neutro de wattímetro artificial**

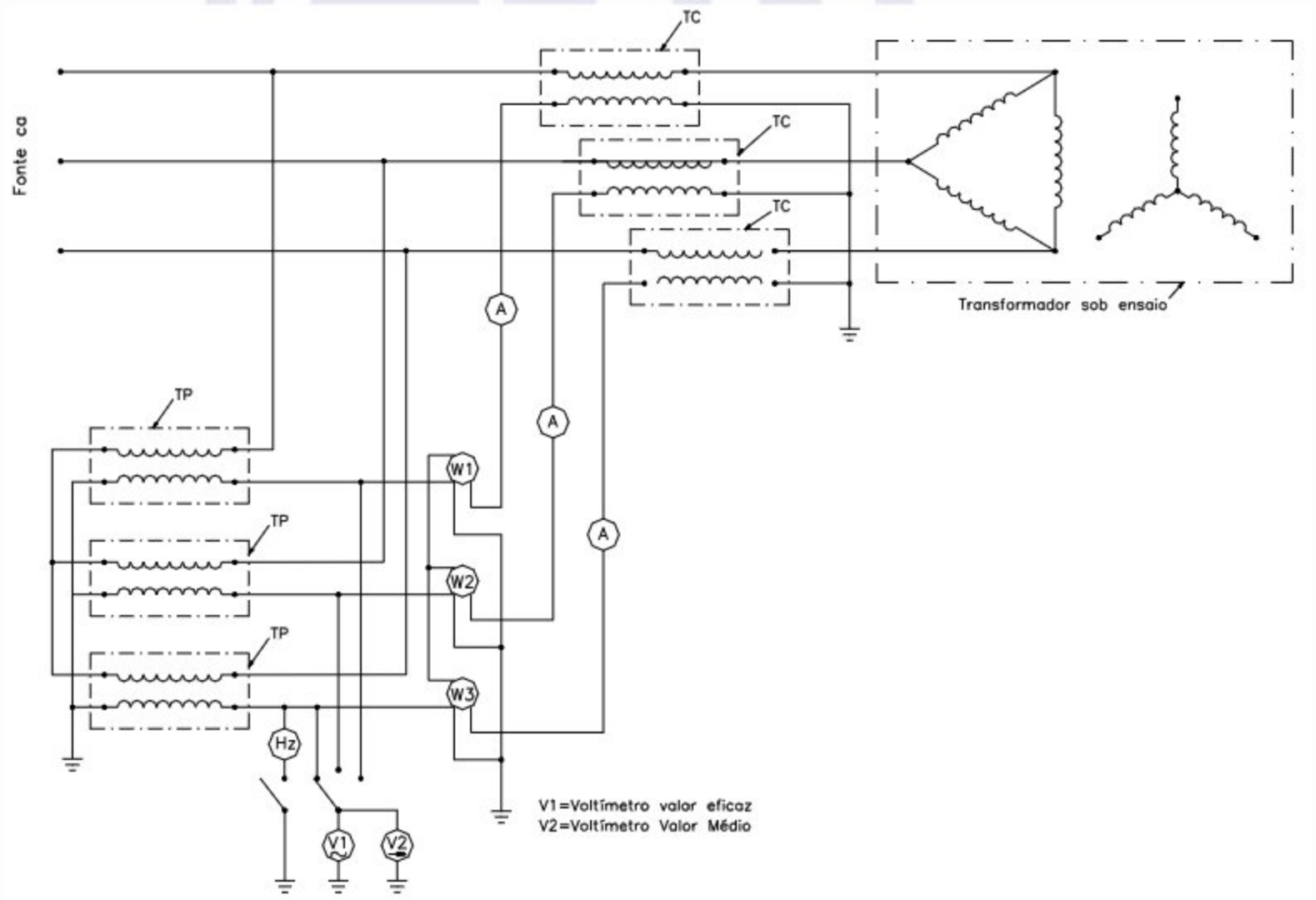



**Figura G.15 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em vazio e correntes de excitação de transformadores trifásicos, pelo método de três wattímetros, usando um neutro artificial para os wattímetros com transformadores para instrumentos**

Usar dois wattímetros, de acordo com a Figura G.12, e tomar três pares de leituras separadas, permutando ciclicamente as ligações das fases.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Tomar a soma algébrica das leituras dos dois wattímetros em cada uma das três posições, adotar a média aritmética das três somas algébricas para valor das perdas em vazio do transformador, a qual deve ser corrigida como para os transformadores monofásicos.

Usar três wattímetros, de acordo com as Figuras G.13 a G.15, e tomar as leituras dos três wattímetros. A soma destas três leituras é o valor das perdas em vazio $W_m$ do transformador, a qual deve ser corrigida como para os transformadores monofásicos.

Para medição da corrente de excitação, as ligações a serem usadas são indicadas nas Figuras G.10 a G.15, podendo-se retirar os wattímetros do circuito.

Ajustar a tensão nominal pelo voltímetro de valor eficaz $V_1$ e fazer a leitura dos amperímetros, sendo $I_1$ a média destas leituras. Ajustar novamente a tensão nominal pelo voltímetro de valor médio $V_2$ e fazer a leitura do voltímetro de valor eficaz $V_1$. Fazer as leituras dos amperímetros e determinar a média $I_2$ destas leituras. Se estas leituras de $V_2$ e $V_1$ não diferirem entre si em mais de 10 %, o valor da corrente de excitação é a média de $I_1$ e $I_2$. Se as leituras de $V_2$ e $V_1$diferirem entre si em mais de 10 %, o método de medição deve ser objeto de acordo entre fabricante e comprador.

## G.9 Perdas em carga e impedância de curto-circuito

Nestes ensaios, usar wattímetros de baixo fator de potência (fator de potência de 5 % ou 10 %), a fim de obter leituras satisfatórias; se eles já forem compensados para as perdas das bobinas de potencial, esse fato deve ser considerado.

### G.9.1 Transformadores monofásicos de dois enrolamentos

Ligar em curto-circuito um dos enrolamentos do transformador (de preferência, e para maior facilidade, o de baixa tensão), de acordo com a Figura G.16. Aplicar ao outro enrolamento uma tensão na frequência nominal e de valor suficiente para nele circular a corrente nominal, exceto nos casos de G.9.5. Esta tensão é a tensão de curto-circuito deste enrolamento ($e_Z$).

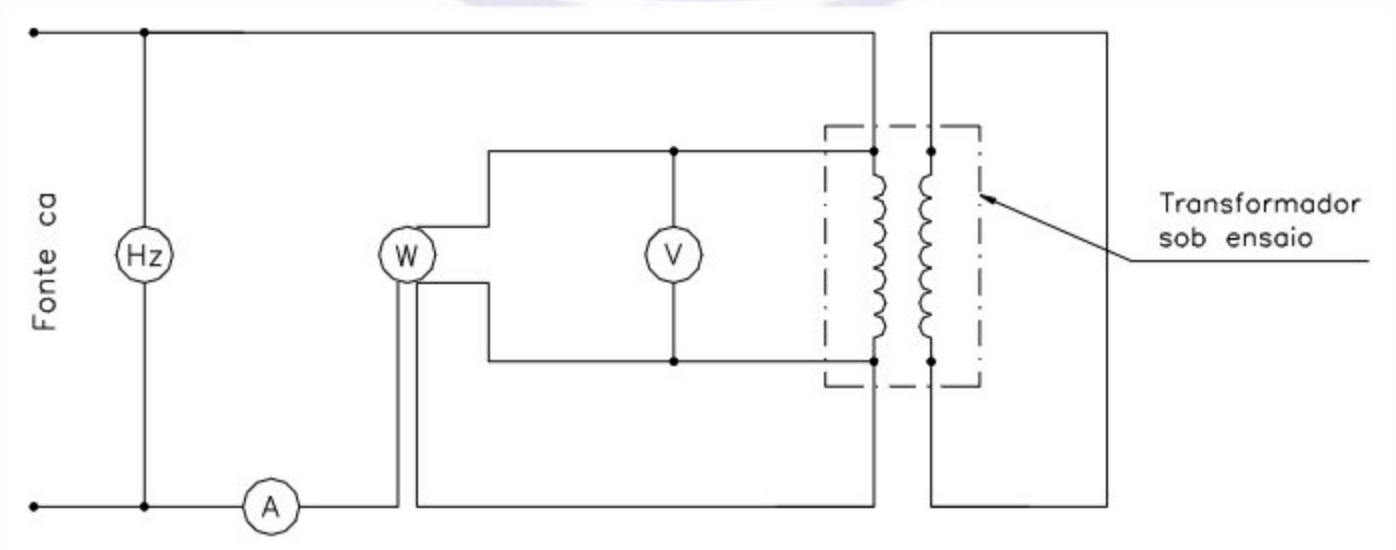



**Figura G.16 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de transformadores monofásicos de dois enrolamentos**

Os condutores utilizados para curto-circuitar o transformador devem ter seção igual ou superior ao dos seus respectivos terminais, e devem ser tão curtos quanto possível e afastados de massas magnéticas.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

As medições devem ser executadas rapidamente a intervalos suficientes, para a elevação de temperatura não causar erros significativos.

Tomar leituras simultâneas da corrente, da tensão aplicada ao enrolamento e da potência absorvida pelo transformador em curto-circuito.

Determinar a correção de potência devida à carga dos instrumentos situados entre o amperímetro e o transformador, realizando nova leitura no wattímetro após desligar o transformador sob ensaio e mantendo a tensão aplicada ao enrolamento.

NOTA 1 Se o wattímetro já foi compensado para as perdas de sua bobina de potencial, a potência lida corresponde às perdas no equipamento de medição de tensão.

NOTA 2 A correção da potência absorvida pelo transformador também pode ser obtida por cálculo, partindo das resistências e dos demais parâmetros dos instrumentos usados.

A potência realmente absorvida pelo transformador ($W_E$) à temperatura de ensaio é igual à diferença entre a potência aparente absorvida ($W_1$) e a potência devida à carga dos instrumentos ($W_0$), isto é:

$$W_E = W_1 - W_0$$

A temperatura dos enrolamentos deve ser determinada antes e depois do ensaio, de acordo com o prescrito em E.2. A média aritmética das duas leituras deve ser considerada como a temperatura do ensaio ($\theta$).

Para se obter as perdas em carga na temperatura de referência ($\theta'_r$), as perdas devem ser corrigidas pelo método de correção de temperatura descrito no Anexo D.

A impedância de curto-circuito ($z$), referida ao enrolamento sob tensão, é constituída pela componente resistiva ($r$) e pela componente reativa ($x$). Estas são obtidas por meio das seguintes equações:

$$z = \frac{e_Z}{I_n}$$

$$r = \frac{W_E}{I_n^2}$$

$$x = \sqrt{z^2 - r^2}$$

onde

$z$ é a impedância de curto-circuito, referida ao enrolamento sob tensão, expressa em ohms (Ω);

$e_Z$ é a tensão de curto-circuito do enrolamento sob tensão, expressa em volts (V);

$I_n$ é a corrente nominal do enrolamento, expressa em ampères (A);

$r$ é a componente resistiva, expressa em ohms (Ω);

$W_E$ é a potência realmente absorvida pelo transformador;

$x$ é a componente reativa, expressa em ohms (Ω).

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

A impedância de curto-circuito é geralmente expressa em porcentagem (%). Neste caso, seu valor é idêntico ao da tensão de curto-circuito, em porcentagem, sendo determinado pelas seguintes equações:

$$z\,\% = \frac{e_Z}{V_n} \times 100$$

$$r\,\% = \frac{w_E}{P_n} \times 100$$

onde

$V_n$ é a tensão nominal do enrolamento, expressa em volts (V);

$P_n$ é a potência nominal do enrolamento, expressa em volt-ampères (VA).

A componente resistiva ($r'$ ou $r'$ %) varia com a temperatura enquanto a componente reativa ($x$ ou $x$ %) não varia. Assim, quando se deseja converter a impedância de curto-circuito de uma temperatura $\theta$ para outra temperatura de referência $\theta'$, calcula-se o novo valor da componente resistiva por meio das seguintes equações:

$$r' = \frac{w'_E}{I_n^2} \text{ ou } r'\,\% = \frac{w'_E}{P_n} \times 100$$

Onde $W'_E$ são as perdas corrigidas para a temperatura de referência.

A impedância de curto-circuito, na temperatura $\theta'$, é, então, calculada pelas seguintes equações:

$$z' = \sqrt{r'^2 + x^2}$$

$$z' = \sqrt{(r'\,\%)^2 + (x\,\%)^2}$$

### G.9.2 Transformadores trifásicos de dois enrolamentos

Ligar em curto-circuito os três terminais de alta-tensão ou os de baixa tensão, de acordo com a Figura G.17. Ligar os outros três terminais a uma fonte trifásica de tensões simétricas, na frequência nominal do transformador e de valor suficiente para nele circular a corrente nominal, exceto nos casos de G.9.5. Esta tensão é a tensão de curto-circuito deste enrolamento ($e_Z$).

O procedimento subsequente para execução do ensaio e determinação dos valores é análogo ao indicado para transformadores monofásicos de dois enrolamentos.

### G.9.3 Autotransformadores monofásicos e trifásicos

Os enrolamentos série e comum dos autotransformadores devem ser tratados como enrolamentos separados.

Fazer as ligações de acordo com as Figuras G.18 e G.19 e proceder analogamente para os transformadores com dois enrolamentos.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

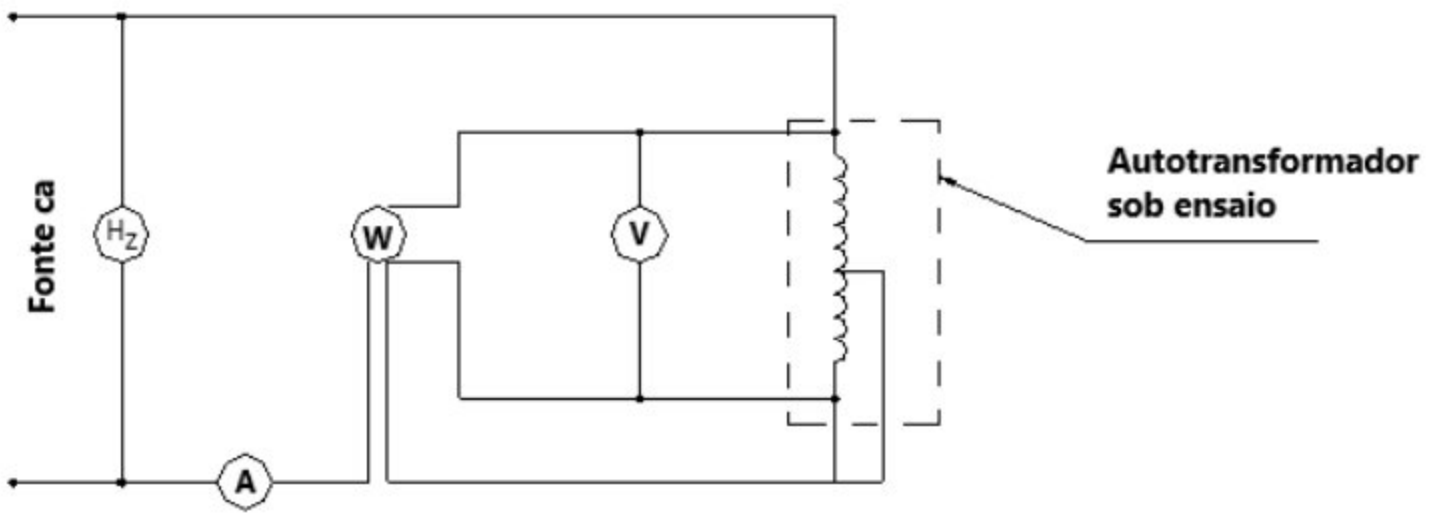



**Figura G.17 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de transformadores trifásicos**

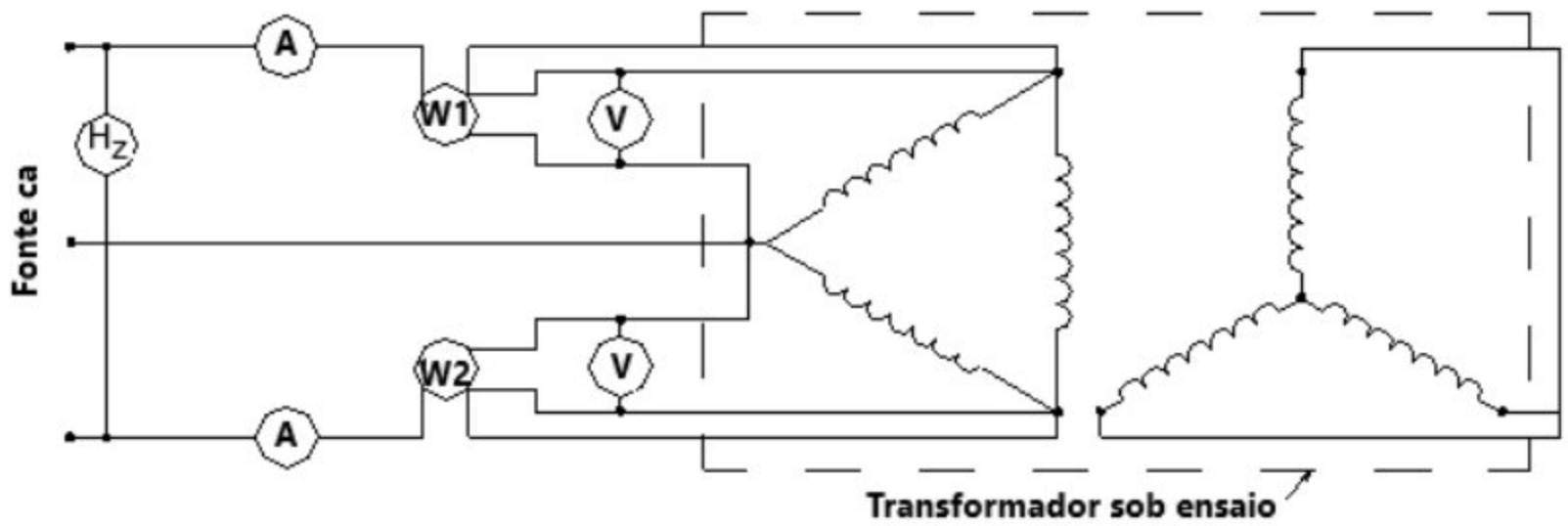



**Figura G.18 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de autotransformadores monofásicos**

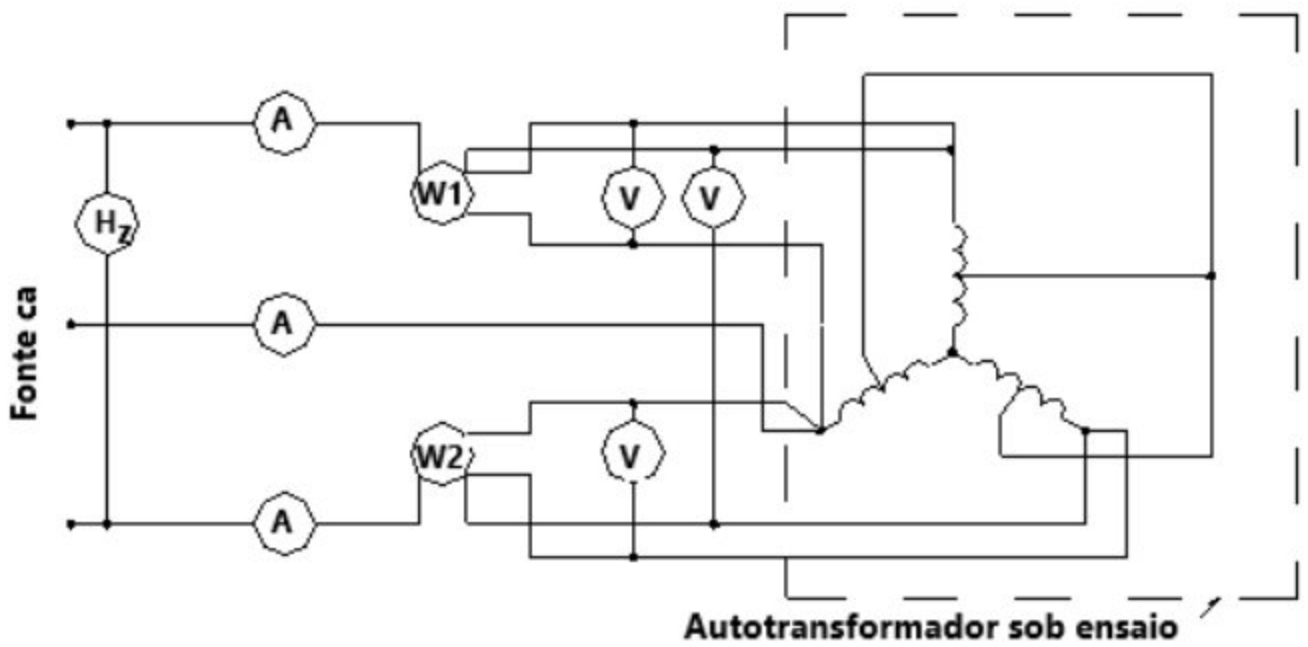



**Figura G.19 – Diagrama de ligações para ensaio de perdas em curto-circuito e tensão de curto-circuito de autotransformadores trifásicos**

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### G.9.4 Transformadores com três enrolamentos e autotransformadores com terciário

Em um transformador com três enrolamentos, monofásico ou trifásico, fazer medidas das impedâncias de curto-circuito para cada combinação (dois a dois) de enrolamentos, deixando o outro enrolamento aberto (dando, então, três valores de $e_Z$). A maneira de proceder é igual à empregada para transformadores monofásicos de dois enrolamentos. Se as potências dos diferentes enrolamentos não forem as mesmas, a corrente mantida no ensaio deve corresponder à potência do enrolamento de menor potência sob ensaio. Entretanto, quando todos estes dados forem convertidos em porcentagem, eles devem ser referidos à mesma potência, preferivelmente a do enrolamento de maior potência.

As características individuais da impedância equivalente dos enrolamentos, considerados separadamente, podem ser determinadas pelas seguintes equações:

$$z_1 = \frac{z_{12} - z_{23} + z_{31}}{2}$$

$$z_2 = \frac{z_{23} - z_{31} + z_{12}}{2}$$

$$z_3 = \frac{z_{31} - z_{12} + z_{23}}{2}$$

onde

$z_{12}$, $z_{23}$ e $z_{31}$ são os valores das impedâncias calculadas para cada combinação de enrolamentos, a partir das tensões de curto-circuito respectivas, por unidade, na base da potência nominal do enrolamento respectivo.

Estas equações envolvem números complexos. Equações análogas podem ser usadas para calcular as resistências e as reatâncias equivalentes dos enrolamentos separadamente.

A maneira de proceder quanto à correção devida à temperatura é a mesma prescrita para transformadores monofásicos de dois enrolamentos.

A perda em carga para transformadores com três enrolamentos é aproximadamente a soma das perdas de cada enrolamento, determinadas para as condições de carga em cada enrolamento. As perdas em cada enrolamento são calculadas pelas seguintes equações:

$$w_1 = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 w_{12} - \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^2 w_{23} + \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^2 w_{13}\right]$$

$$w_2 = \frac{1}{2(P_1/P_2)^2}\left[\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 w_{12} + \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^2 w_{23} + \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^2 w_{13}\right]$$

$$w_3 = \frac{1}{2(P_1/P_3)^2}\left[-\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 w_{12} + \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^2 w_{23} + \left(\frac{P_1}{P_3}\right)^2 w_{13}\right]$$

onde

$P_1$, $P_2$ e $P_3$ são as potências de referência, em volt-ampères (VA) e, dos enrolamentos 1, 2 e 3 para determinada condição de carregamento especificada ou para as respectivas potências nominais dos enrolamentos;


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

$W_{12}$ é a perda dos enrolamentos 1 e 2, referida à potência $P_2$, na temperatura de referência, expressa em watts (W);

$W_{13}$ é a perda dos enrolamentos 1 e 3, referida à potência $P_3$, na temperatura de referência, expressa em watts (W);

$W_{23}$ é a perda dos enrolamentos 2 e 3, referida à potência $P_3$; na temperatura de referência, expressa em watts (W);

$W_1$, $W_2$ e $W_3$ são as perdas nos enrolamentos 1, 2 e 3, referidas às potências $P_1$, $P_2$ e $P_3$ respectivamente, na temperatura de referência, expressas em watts (W).

Em um autotransformador com terciário, as perdas $W_1$, $W_2$ e $W_3$, não possuem significado individualmente, podendo assumir valores negativos. Mesmo neste caso, a sua soma corresponde, aproximadamente, à perda em carga do transformador.

Em transformadores com mais de três enrolamentos, os enrolamentos devem ser tomados aos pares, seguindo o princípio do método especificado para transformadores com três enrolamentos.

### G.9.5 Ensaios com corrente reduzida

Nos casos em que não for possível realizar os ensaios com corrente nominal, estes podem ser realizados com uma corrente reduzida, de valor pelo menos igual a 50 % da corrente nominal.

O valor da impedância de curto-circuito obtido no ensaio deve ser corrigido, multiplicando-o pela relação entre a corrente nominal e a corrente de ensaio.

O valor das perdas em carga obtido no ensaio deve ser corrigido, multiplicando-o pelo quadrado do quociente da corrente nominal pela corrente de ensaio.

Os valores de impedância de curto-circuito e de perdas, determinados desta forma, devem ser corrigidos para uma outra temperatura de referência $\theta'$, conforme prescrições das seções anteriores.

## G.10 Ensaios dielétricos

Estes ensaios devem ser realizados de acordo com as ABNT NBR 5356-3, ABNT NBR IEC 60060-1 e ABNT NBR IEC 60060-2. Recomendações adicionais podem ser consideradas conforme descrito a seguir.

Todos os terminais externos do enrolamento sob ensaio devem ser ligados ao terminal da fonte de ensaio. Todos os terminais externos dos demais enrolamentos e partes metálicas (incluindo tanque e núcleo) devem ser ligados a outro terminal da fonte de ensaio e terra.

A fim de limitar o valor da tensão de ensaio, pode-se colocar um centelhador ajustado para no mínimo 110 % do valor especificado da fonte.

Para transformadores de potência nominal igual ou inferior a 500 kVA, ensaiados com tensão de valor especificado não superior a 50 kV, permite-se medir a tensão aplicada mediante leitura da tensão no primário do transformador de ensaio, multiplicada pela relação de tensões deste.

Para transformadores com enrolamentos inacessíveis, o procedimento de ensaio deve ser objeto de acordo entre fabricante e comprador.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## G.11 Estanqueidade e resistência à pressão interna e estanqueidade a quente

### G.11.1 Ensaio em temperatura ambiente

Neste ensaio, a pressão é aplicada por meio de ar comprimido ou nitrogênio, secos, agindo sobre a superfície do líquido isolante, e é lida em um manômetro instalado entre a válvula de admissão do ar e o transformador. Ao alcançar a pressão especificada em 11.8, interromper a entrada do gás, fechando a válvula no tubo de fornecimento. Esta pressão deve manter-se constante durante o tempo de aplicação especificado em 11.8.

### G.11.2 Ensaio a quente (transformadores subterrâneos)

O transformador deve estar completamente montado, com o óleo em seu nível normal e com todos os seus acessórios instalados. Inicialmente, deve ser aplicada uma pressão de 0,02 MPa ou conforme especificação, por meio de nitrogênio seco agindo sobre a superfície do óleo, lida em um manômetro instalado entre a válvula de admissão do nitrogênio e o transformador.

Com o enrolamento secundário ligado em curto-circuito, aplicar ao enrolamento primário uma tensão suficiente para fazer circular a corrente nominal durante um período consecutivo de 8 h. Neste período, a pressão não pode ultrapassar o limite especificado em 11.8 e não pode apresentar vazamentos.

## G.12 Fator de potência do isolamento

O procedimento descrito nesta seção aplica-se apenas a transformadores imersos em líquido isolante.

O transformador deve estar:

a) com todas as buchas montadas;

b) com todos os enrolamentos curto-circuitados;

c) com a temperatura do líquido isolante e dos enrolamentos tão próxima quanto possível de 20 °C.

A medição deve ser feita com a frequência de 60 Hz, podendo-se utilizar pontes especiais ou o método do voltímetro e do amperímetro. Quando utilizado o método do voltímetro e do amperímetro, a tensão aplicada deve ser:

a) entre 2,5 kV e 5 kV para enrolamentos de tensão máxima do equipamento igual a 1,2 kV;

b) entre 2,5 kV e 10 kV para enrolamentos de tensão máxima do equipamento superior a 1,2 kV.

As medições devem ser realizadas de acordo com a Tabela G.1.

Os fatores de correção do fator de potência, em função da temperatura, dependem dos materiais isolantes, de sua estrutura, da umidade etc. Na Tabela G.2, são apresentados os valores do fator de correção *k*, válidos para transformadores imersos em óleo mineral, utilizados na equação:

$$\cos\varphi_{20} = \frac{\cos\varphi_t}{k}$$

onde

$\cos\varphi_{20}$ é o fator de potência corrigido para a temperatura de referência (20 °C);

$\cos\varphi_t$ é o fator de potência medido na temperatura de ensaio (t °C).


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

A temperatura a ser considerada é a temperatura média do óleo. Quando o fator de potência do isolamento for medido em temperatura relativamente alta, correspondendo a fatores de correção muito altos, deve-se aguardar a redução da temperatura do transformador e repetir a medição, o mais próximo possível de 20 °C.

**Tabela G.1 – Ligações para ensaio de fator de potência do isolamento**

| **Transformador com dois enrolamentos (no caso de ensaios sem cabo de blindagem)** | |
|---|---|
| de EAT | para EBT aterrado |
| de EBT | para EAT aterrado |
| de EAT e EBT | para terra |
| Transformador com dois enrolamentos (no caso de ensaios com cabo de blindagem) | |
| de EAT | para EBT aterrado |
| de EBT | para EAT aterrado |
| de EAT e EBT | para terra |
| de EAT | para terra (EBT ligado à blindagem) |
| de EBT | para terra (EAT ligado à blindagem) |
| Transformador com três enrolamentos (no caso de ensaios sem cabo de blindagem) | |
| de EAT | para EBT ligado a ET e aterrados |
| de EBT | para ET ligado a EAT e aterrados |
| de ET | para EAT ligado a EBT e aterrados |
| de EAT ligado a EBT | para ET aterrado |
| de EBT ligado a ET | para EAT aterrado |
| de EAT ligado a ET | para EBT aterrado |
| de EAT ligado a EBT e a ET | para terra |
| Transformador com três enrolamentos (no caso de ensaios com cabo de blindagem) | |
| de EAT | para terra (EBT ligado a ET e à blindagem) |
| de EBT | para terra (ET ligado a EAT e à blindagem) |
| de ET | para terra (EBT ligado a ET e à blindagem) |
| de EAT | para EBT aterrado (ET ligado à blindagem) |
| de EBT | para ET aterrado (EAT ligado à blindagem) |
| de ET | para EAT aterrado (EBT ligado à blindagem) |
| de EAT ligado a EBT | para ET aterrado |
| de EBT ligado a ET | para EAT aterrado |
| de ET ligado a EAT | para EBT aterrado |

EAT = enrolamento de alta-tensão

EBT = enrolamento de baixa tensão

ET = enrolamento terciário

NOTA Nesta Tabela, o termo “cabo de blindagem” significa um ou mais elementos condutores, dispostos de maneira a desviar dos instrumentos de medição as correntes indesejadas.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela G.2 – Fatores de correção**

| Temperatura de ensaio<br>°C | Fator de correção *k* |
|---|---|
| 10 | 0,80 |
| 15 | 0,90 |
| 20 | 1,00 |
| 25 | 1,12 |
| 30 | 1,25 |
| 35 | 1,40 |
| 40 | 1,55 |
| 45 | 1,75 |
| 50 | 1,95 |
| 55 | 2,18 |
| 60 | 2,42 |
| 65 | 2,70 |
| 70 | 3,00 |

## G.13 Medição da impedância de sequência zero

### G.13.1 Generalidades

O ensaio deve ser realizado conforme 11.7. As ligações que devem ser empregadas para a medição da impedância de sequência zero dependem do tipo de ligação e do número de enrolamentos do transformador. Em transformadores com núcleo envolvente, a impedância de sequência zero é igual à impedância de sequência positiva, sendo, portanto, desnecessário efetuar a medição. Os circuitos usuais para ensaio de medição de impedância de sequência zero, para transformadores de núcleo envolvido, são descritos em G.13.2 a G.13.4.

### G.13.2 Transformadores com dois enrolamentos

#### G.13.2.1 Ligação triângulo-triângulo Dd

Transformadores com ambos os enrolamentos em triângulo apresentam impedância de sequência zero infinita, não sendo necessário efetuar a medição.

#### G.13.2.2 Ligação triângulo-estrela ou estrela-triângulo, respectivamente Dy ou Yd

##### G.13.2.2.1 Neutro não aterrado

Neste caso, a impedância de sequência zero é infinita, não sendo necessário efetuar a medição.

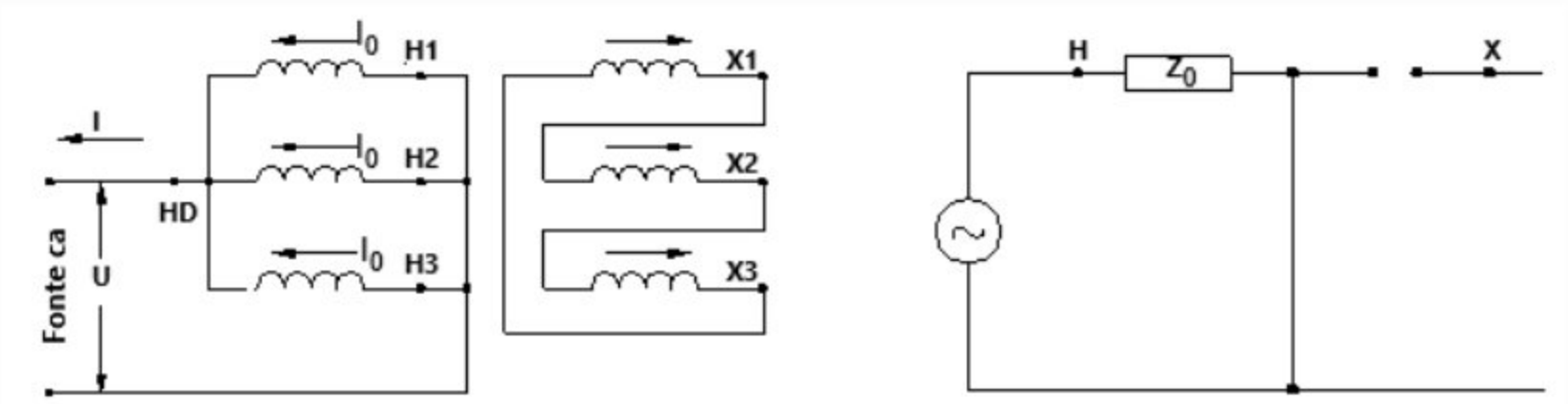

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

#### G.13.2.2.2 Neutro aterrado

Neste caso, apenas uma medição é necessária para estabelecer a impedância de sequência zero. A ligação a ser utilizada neste ensaio é apresentada nas Figuras G.20-a) e G.20-b).

O valor $Z_0$ é determinado pela seguinte equação:

$$z_0 = \frac{3 \times U}{I}$$




**a) Transformadores com dois enrolamentos com neutro aterrado – Ligação do circuito de ensaio em triângulo-estrela ou estrela-triângulo**

**b) – Circuito equivalente ao de a)**

**Figura G.20 – Transformadores com dois enrolamentos com neutro aterrado – Ligação do circuito de ensaio em triângulo-estrela ou estrela-triângulo**

### G.13.2.3 Ligação estrela-estrela Yy

#### G.13.2.3.1 Um neutro não aterrado

A impedância de sequência zero, nestes casos, é infinita, não sendo necessário efetuar a medição.

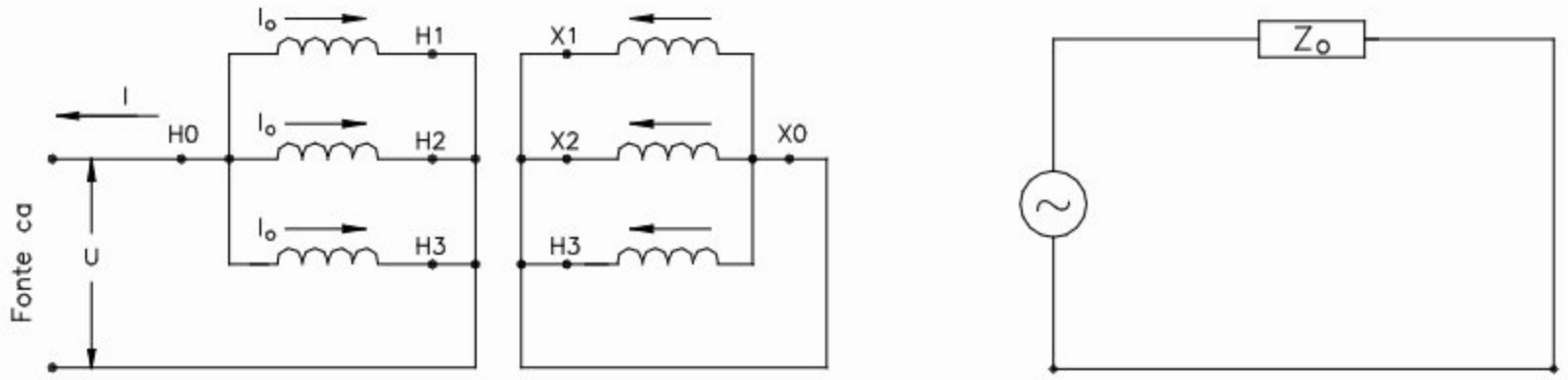
#### G.13.2.3.2 Ambos os neutros aterrados

Neste caso, apenas uma medição é necessária para estabelecer a impedância de sequência zero. A ligação a ser utilizada neste ensaio é apresentada nas Figuras G.21-a) e G.21-b).

O valor $Z_0$ é determinado pela seguinte equação:

$$z_0 = \frac{3 \times U}{I}$$

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados




**a) Transformadores com dois enrolamentos com neutros aterrados – Ligação do circuito de ensaio em estrela-estrela**

**b) Circuito equivalente ao de a)**

**Figura G.21 – Transformadores com dois enrolamentos com neutros aterrados – Ligação do circuito de ensaio em estrela-estrela**

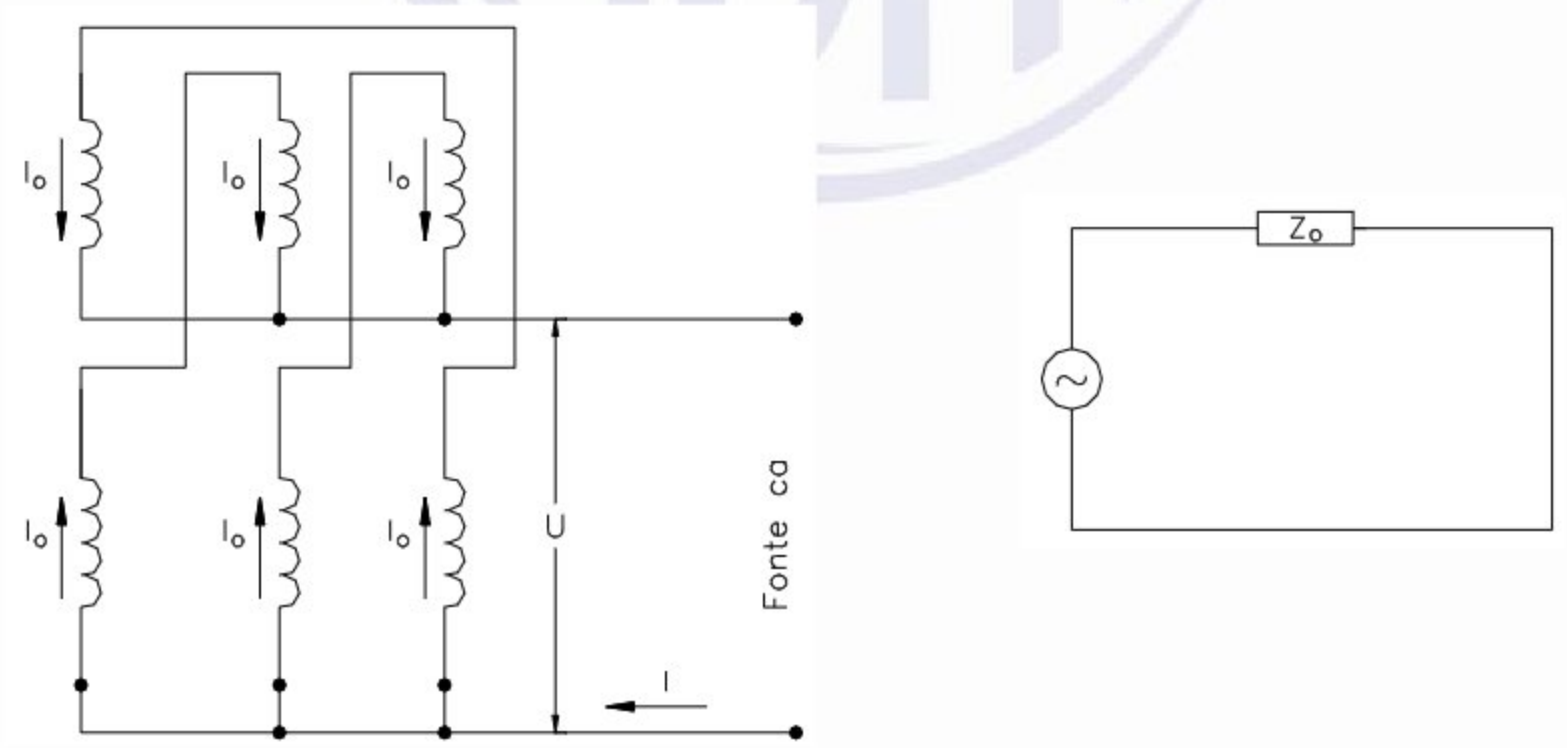
### G.13.2.4 Transformadores com enrolamento ligado em zigue-zague

#### G.13.2.4.1 Transformador de aterramento

Neste caso, apenas uma medição é necessária para estabelecer a impedância de sequência zero. A ligação a ser utilizada neste ensaio está apresentada nas Figuras G.22-a) e G.22-b). Deve ser dada atenção especial ao valor da corrente de ensaio e ao tempo de circulação da corrente.

A impedância da sequência zero é determinada pela seguinte equação:

$$z_0 = \frac{3 \times U}{I}$$




**a) Transformador com dois enrolamentos – Ligação do circuito de ensaio em zigue-zague**

**b) Circuito equivalente ao de a)**

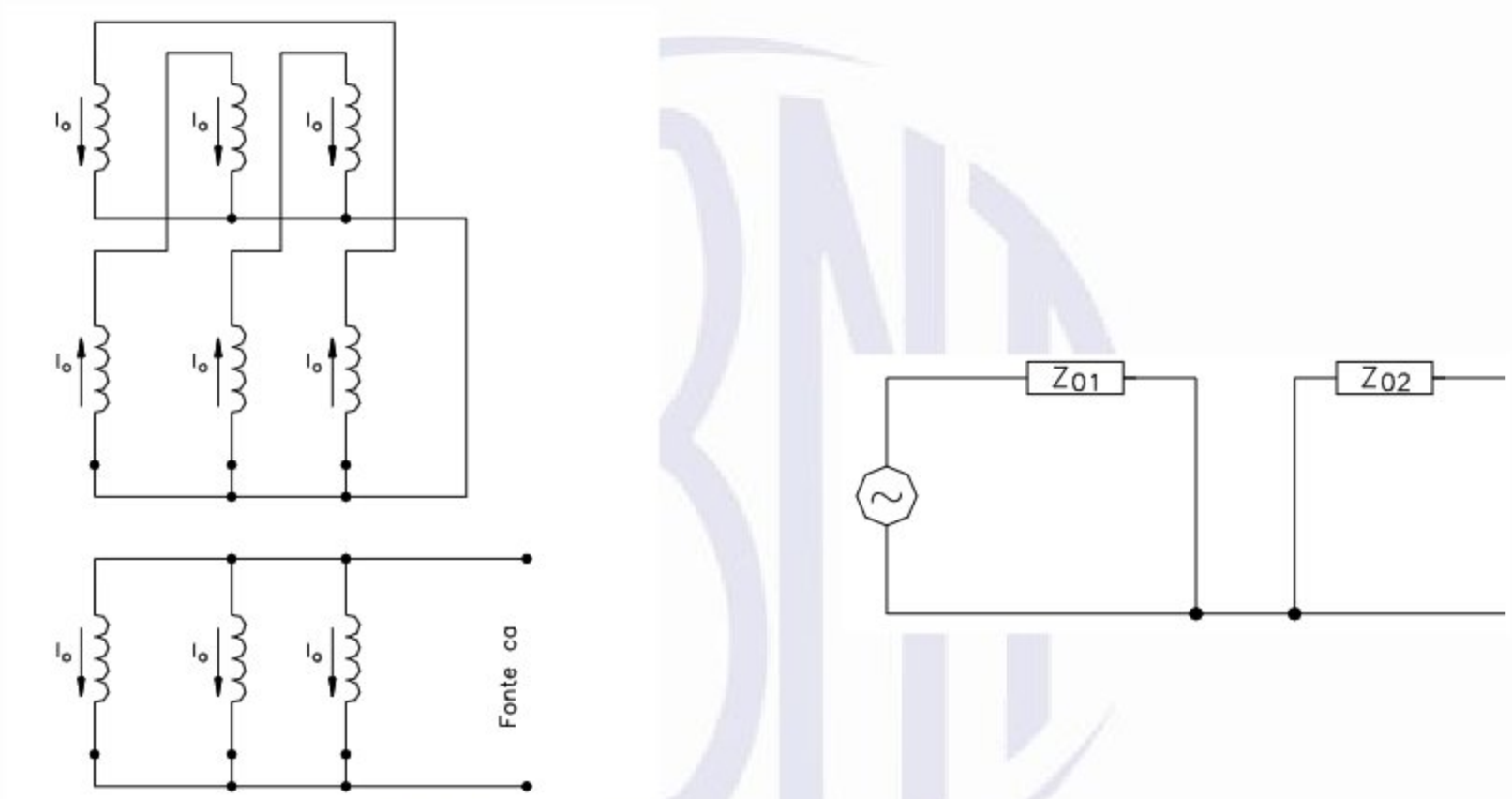
**Figura G.22 – Transformador com dois enrolamentos – Ligação do circuito de ensaio em zigue-zague**


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

#### G.13.2.4.2 Ligação estrela-zigue-zague ou zigue-zague-estrela

Em ligação estrela com neutro não aterrado, basta efetuar apenas uma medição idêntica à descrita anteriormente.

Em ligação estrela com neutro aterrado, é necessário efetuar duas medições, conforme apresentado nas Figuras G.22-a), G.22-b), G.23-a) e G.23-b. A primeira medição corresponde à medição da impedância do enrolamento ligado em zigue-zague, sendo empregado o circuito das Figuras G.22-a) e G.22-b). A segunda ligação corresponde à medição da impedância do enrolamento ligado em estrela. O circuito de ensaio a utilizar é apresentado nas Figuras G.23-a) e G.23-b).




**a) Transformadores com dois enrolamentos – Ligação do circuito de ensaio em estrela-zigue-zague ou zigue-zague-estrela**

**b) Circuito equivalente ao de a)**

**Figura G.23 – Transformadores com dois enrolamentos – Ligação do circuito de ensaio em estrela-zigue-zague ou zigue-zague-estrela**

### G.13.3 Transformadores com mais de dois enrolamentos

#### G.13.3.1 Generalidades

Transformadores com mais de dois enrolamentos apresentam mais de um caminho para a corrente de sequência zero. Isso ocorre, por exemplo, se o transformador tiver dois enrolamentos com neutros aterrados. Nesses casos, é necessário efetuar duas ou mais medições conforme o número de impedâncias a estabelecer.

#### G.13.3.2 Ligação estrela-estrela-triângulo Yyd

Neste caso, o circuito equivalente é um circuito em ligação T, cujos três ramos são as incógnitas, conforme apresentado nas Figuras G.24, G.25-a), G.25-b), G.26-a), G.26-b), G.27-a) e G.27-b). A medição de $Z_{12}$, $Z_{13}$e $Z_{23}$ é efetuada como prescrito para transformadores com dois enrolamentos. Por exemplo, se enrolamento 1 = Y, enrolamento 2 = y e enrolamento 3 = d, $Z_{12}$ é medido como

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

prescrito para a ligação estrela-estrela e $Z_{13}$ como prescrito para a ligação estrela-triângulo. No exemplo citado de transformadores ligados em estrela-estrela-triângulo, obtém-se em cada medição o especificado a seguir.

Com os valores de:

$$Z_{12} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

$$Z_{13} = Z_1 + Z_3$$

$$Z_{23} = Z_2 + Z_3$$

obtêm-se os valores de:

$$Z_1 = Z_{13} - \sqrt{Z_{23}(Z_{13} - Z_{12})}$$

$$Z_2 = Z_{23} - \sqrt{Z_{23}(Z_{13} - Z_{12})}$$

$$Z_3 = \sqrt{Z_{23}(Z_{13} - Z_{12})}$$

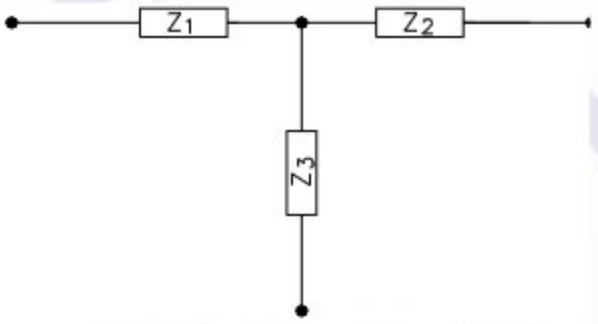
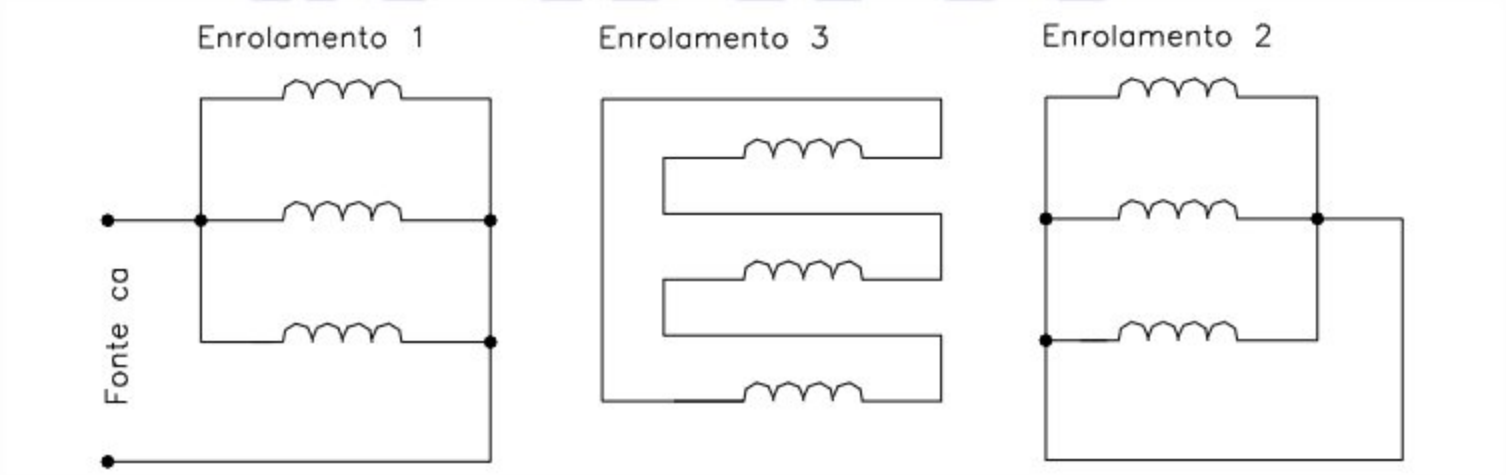
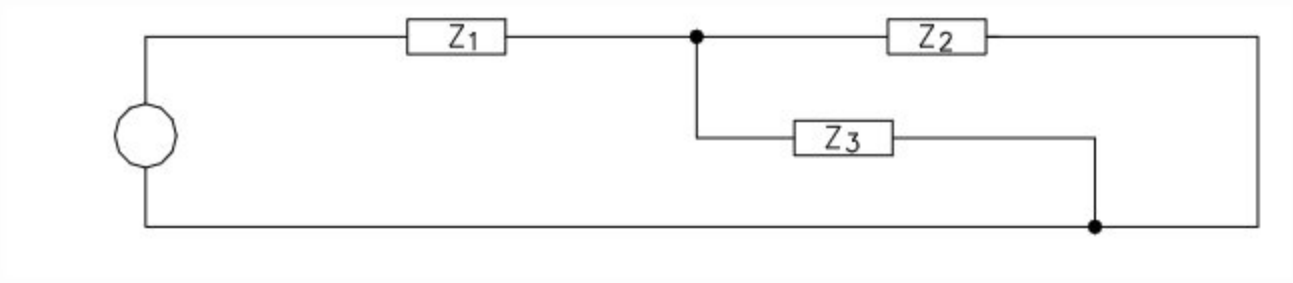



**Figura G.24 – Circuito equivalente para transformadores com três enrolamentos**



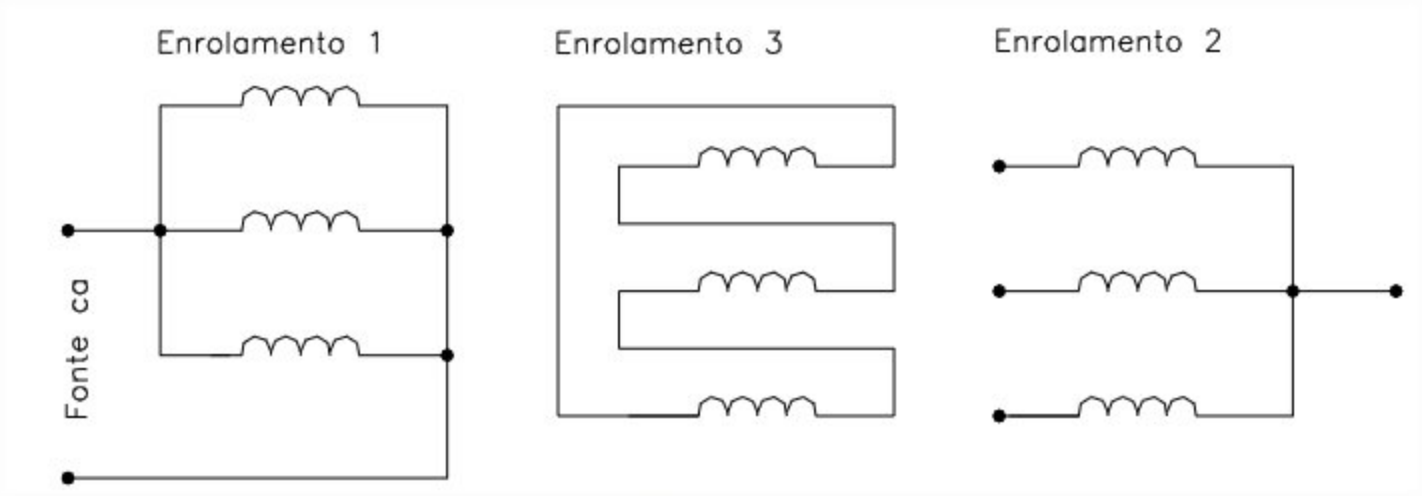

**a) Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{12}$**



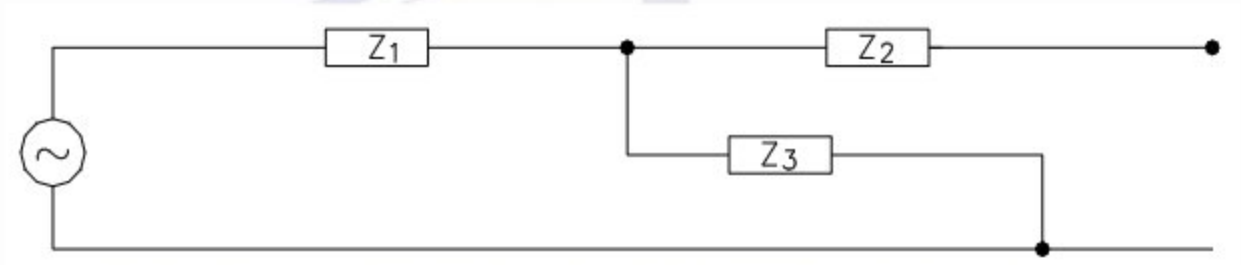

**b) Circuito equivalente ao de a)**

**Figura G.25 – Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{12}$**


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

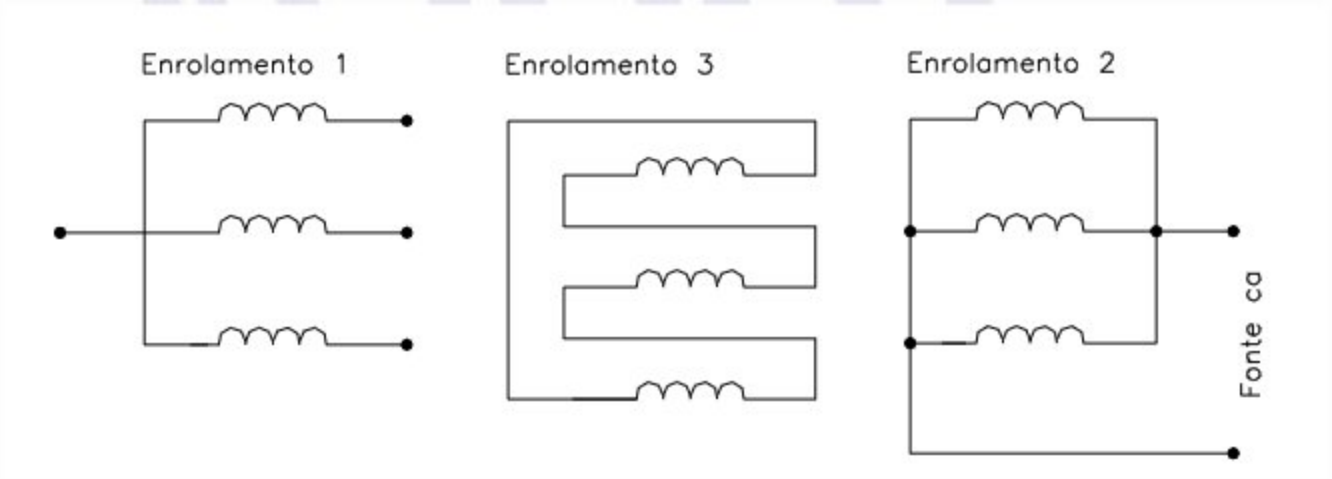



**a) Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{13}$**

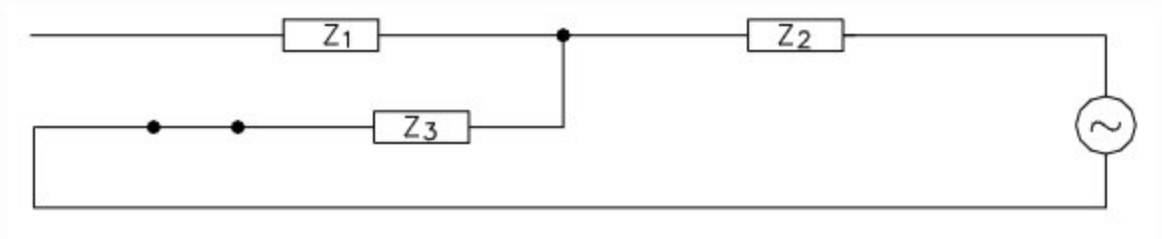



**b) Circuito equivalente ao de a)**

**Figura G.26 – Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{13}$**




**a) Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{23}$**




**b) Circuito equivalente ao de a)**

**Figura G.27 – Ligação do circuito de ensaio para medição de $Z_{23}$**

O princípio anteriormente exposto é aplicável à medição das impedâncias de sequência zero em transformadores com qualquer combinação de ligações de enrolamentos.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### G.13.4 Apresentação dos resultados

Como apresentado em G.13.2, em transformadores com mais de dois enrolamentos, é necessário separar o valor de impedâncias localizadas em enrolamentos com tensões diferentes. Para isso, embora os resultados sejam expressos em ohms por fase, é conveniente utilizar valores por unidade para os cálculos. A conversão entre valores absolutos por unidade é feita da seguinte forma:

$$Z_{(pu)} = \frac{Z}{Z_b} \qquad \text{sendo} \qquad Z_b = \frac{V_b^2}{P_b} \qquad Z_b = \text{Impedância-base}$$

onde

$V_b$ é a tensão-base;

$P_b$ é a potência-base.

## G.14 Acessórios

### G.14.1 Indicador externo de nível de óleo

Movimentar o ponteiro até alcançar a marcação de nível mínimo do mostrador, para se verificar a operação do contato. Esta operação pode ser verificada por meio da medição da continuidade elétrica do circuito de contato, com um ohmímetro ou um dispositivo sinalizador.

### G.14.2 Indicador de temperatura do óleo

Imergir, em banho de óleo aquecido, o elemento-sensor do indicador sob ensaio e o de um termômetro a álcool. Agitar o óleo e registrar as leituras de ambos, após a estabilização da temperatura, e compará-las. Esta comparação deve ser efetuada nos quatro pontos da escala, correspondentes a 1/4, 1/2, 3/4 e 4/4 da graduação máxima. A verificação da atuação dos contatos é efetuada quando da passagem do ponteiro pelos valores previamente ajustados. Esta constatação pode ser feita com o auxílio de um ohmímetro ou um dispositivo sinalizador.

### G.14.3 Relé detector de gás tipo Buchholz ou equivalente – Verificação da atuação dos contatos

**G.14.3.1** Em relés providos de botão de acionamento mecânico das boias, a verificação da atuação dos contatos de alarme e desligamento é efetuada por meio do acionamento manual do referido botão.

**G.14.3.2** Em relés não providos de botão de acionamento mecânico das boias, a verificação da atuação dos contatos de alarme e desligamento é efetuada escoando o óleo do relé com as válvulas anterior e posterior a ele fechadas. Após este procedimento, o volume de óleo do relé deve ser restabelecido, a fim de se verificar a operação inversa de atuação dos contatos.

**G.14.3.3** Alternativamente, a atuação do contato de alarme pode ser verificada injetando- ar, lentamente, no relé, pelo registro de ensaio, utilizando uma bomba de ar ou outro dispositivo adequado. A verificação de atuação do contato de alarme deve ocorrer quando o volume de ar injetado alcançar o nível indicado no visor.

### G.14.4 Indicador de temperatura do enrolamento

**G.14.4.1** Aplicar as prescrições de G.14.2 para a verificação da escala e da operação dos contatos.

**G.14.4.2** Para a calibração do dispositivo da imagem térmica, aplicar na resistência de aquecimento um valor de corrente que corresponda à condição de operação do transformador para a qual é disponível o gradiente de temperatura óleo-enrolamento e ajustar o valor da resistência de calibração a um valor


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

que corresponda à temperatura desejada. O fabricante deve registrar os dados de calibração para os diversos estágios de resfriamento previstos no projeto do transformador.

### G.14.5 Comutador sem tensão

O funcionamento do comutador sem tensão é normalmente verificado durante a realização dos ensaios de relação de tensões e resistência elétrica do enrolamento. Verificar a correspondência entre a indicação de cada posição do comutador e a relação de tensões medida. Caso o comutador possua contato de bloqueio contra acionamento indevido, a sua atuação deve ser verificada por meio de um ohmímetro ou um dispositivo sinalizador.

### G.14.6 Ventilador

Acionar o dispositivo de comando manual e observar a partida do ventilador, o seu sentido de rotação e o fluxo de ar. Durante o funcionamento, observar se há ocorrência de vibração anormal. Após a desenergização, observar o tempo de queda de rotação, constatando o correto funcionamento dos mancais ou rolamentos, e o balanceamento da hélice.

### G.14.7 Bomba de óleo

Verificar o posicionamento de montagem da bomba, de acordo com o sentido do fluxo desejado. Energizar a bomba e observar sua partida e o indicador de circulação do óleo. Durante o funcionamento, verificar se há ocorrência de vibração anormal. Quando houver medidor de vazão, comparar o valor indicado com a vazão nominal da bomba de óleo.

### G.14.8 Indicador de circulação de óleo

Sendo conhecido o sentido do fluxo de óleo, verificar a correta indicação deste aparelho. A verificação da atuação do contato auxiliar é efetuada por meio de um ohmímetro ou um dispositivo sinalizador.

### G.14.9 Dispositivo para alívio de pressão

Quando o dispositivo for do tipo válvula, verificar a atuação do contato auxiliar por meio de um ohmímetro ou um dispositivo sinalizador.

### G.14.10 Comutadores de derivações em carga

Depois da montagem completa do comutador de derivações em carga no transformador, deve-se executar os seguintes ensaios em 100 % da tensão nominal de alimentação dos auxiliares, exceto o ensaio da alínea b):

a) oito ciclos de operação completos, com o transformador desenergizado;

b) um ciclo de operação completo com o transformador desenergizado a 85 % da tensão nominal de alimentação dos auxiliares;

c) um ciclo de operação completo com o transformador energizado, em vazio, sob tensão e frequência nominais;

d) dez comutações envolvendo a derivação principal, as duas derivações superiores e as duas derivações inferiores, com corrente a mais próxima possível da corrente nominal do transformador.

Nestes ensaios não podem ocorrer falhas.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## G.15 Medição dos gases dissolvidos no líquido isolante

Esta medição deve ser realizada de acordo com a ABNT NBR 7070.

## G.16 Medição do nível de tensão de radiointerferência

Esta medição deve ser realizada conforme a CISPR 16.

## G.17 Ensaios de verificação da pintura externa e interna de transformadores

### G.17.1 Espessura

O ensaio de espessura da pintura deve ser feito conforme a ABNT NBR 10443.

### G.17.2 Aderência

O ensaio de aderência da pintura deve ser feito conforme a ABNT NBR 11003.

### G.17.3 Outros ensaios

Todos os demais ensaios devem ser realizados como referenciados na ABNT NBR 11388.

### G.17.4 Umidade

O ensaio de umidade deve ser feito conforme a ASTM D1735.

### G.17.5 Impermeabilidade

O ensaio de impermeabilidade deve ser feito conforme a ASTM D3515-01

### G.17.6 Brisa marítima

O ensaio de brisa marítima deve ser feito conforme a ASTM D1014.

## G.18 Regulação e rendimento

### G.18.1 Regulação

**G.18.1.1** Determinar a regulação de um transformador com dois enrolamentos, por cálculo, com base nos valores medidos em conformidade com esta Norma, para um determinado fator de potência da carga, pelas seguintes equações:

para carga indutiva:

$$reg = \sqrt{(r+p)^2 + (x+q)^2} - 1 \qquad \text{(G.3)}$$

para carga capacitiva:

$$reg = \sqrt{(r+p)^2 + (x-q)^2} - 1 \qquad \text{(G.4)}$$

onde

$p$ é o fator de potência da carga;


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

$$q = \sqrt{1 - p^2}$$

$$r = \frac{r\%}{100}$$

$$x = \frac{x\%}{100}$$

NOTA Para obter a regulação porcentual, multiplica-se os valores obtidos pelas Equações G.3 e G.4 por 100.

**G.18.1.2** Mais informações sobre cálculo da regulação com maior grau de precisão e cálculo para transformadores com três enrolamentos podem ser encontradas na ABNT NBR 5356-8.

### G.18.2 Rendimento

O rendimento é calculado pela seguinte equação:

$$N = \frac{\text{saída}}{\text{entrada}} = \frac{\text{saída} - \text{perdas}}{\text{entrada}} = 1 - \frac{\text{perdas}}{\text{entrada}} = 1 - \frac{\text{saída}}{\text{saídas} + \text{perdas}} = 1 - \frac{W}{P + W}$$

onde

*N* é o rendimento;

*W* representa as perdas totais, expressas em quilowatts (kW), correspondentes à potência fornecida pelo transformador, determinadas pela soma das perdas em vazio e das perdas em carga, à temperatura considerada;

*P* é a potência fornecida pelo transformador, expressa em quilowatts (kW).

Exceto se houver alguma indicação em contrário, o rendimento deve ser determinado para as condições nominais e fator de potência no secundário igual a 1.

## G.19 Ensaio de vácuo interno

Em cada uma das quatro paredes principais do tanque é instalada uma referência para medição do deslocamento residual. Esta referência pode ser um fio de prumo suspenso de uma haste fixada à moldura superior do tanque, pode ser um pedestal disposto sobre o piso ao lado da parede a ser medida ou outra referência que seja adequada a esta medição. A referência é colocada no ponto onde se espera o máximo deslocamento, normalmente no centro do painel mais central.

Antes da aplicação do vácuo, devem ser medidas as distâncias entre pontos previamente assinalados no tanque e suas referências.

O transformador deve estar sem líquido isolante, com a parte ativa no interior do tanque e livre de acessórios que possam interferir com os dispositivos de medição, para então ser submetido ao vácuo com os níveis de pressão e duração especificados em 11.15.

A pressão atmosférica deve ser então restabelecida, normalmente mediante admissão de $N_2$ ou ar, secos.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

Com o tanque novamente à pressão atmosférica, medir a distância dos mesmos pontos às suas referências e determinar os deslocamentos residuais, ou seja, as diferenças entre essas medidas e as primeiras.

Os deslocamentos residuais não podem exceder o limite estipulado em 11.15.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Anexo H
(normativo)

# Características construtivas, acessórios e componentes

## H.1 Características construtivas

### H.1.1 Generalidades

As características de H.1.2 a H.1.7 e H.2, devem ser consideradas para a especificação e a produção do transformador.

### H.1.2 Características do líquido isolante

O líquido isolante a ser utilizado e sua especificação devem ser acordados entre fabricante e comprador. Exceto se for especificado em contrário, o transformador deve ser fornecido completamente preenchido, com líquido isolante novo e sem uso.

**H.1.2.1** Características do óleo mineral isolante, antes do contato com o equipamento

O óleo mineral isolante deve ser do tipo A (base naftênica) ou tipo B (base parafínica), de acordo com as resoluções vigentes da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

NOTA Resolução ANP vigente, aditivado apenas com antioxidante DBPC/DBP, isento de enxofre corrosivo e em conformidade com a ABNT NBR 10576.

**H.1.2.2** Características do óleo mineral isolante, após o contato com o equipamento

O óleo mineral isolante, após contato com o equipamento, deve apresentar as características indicadas na ABNT NBR 10576, tanto no caso do óleo parafínico, quanto no do óleo naftênico.

**H.1.2.3** Características do óleo vegetal isolante, antes do contato com o equipamento

Deve ser conforme a ABNT NBR 15422.

**H.1.2.4** Características do óleo vegetal, após o contato com o equipamento

Deve ser conforme a ABNT NBR 16518.

### H.1.3 Tanque do transformador e respectiva tampa

O tanque do transformador e a respectiva tampa devem ser em chapa de aço, conforme as ABNT NBR 6650, ABNT NBR 11888, ou ABNT NBR 6648 e ABNT NBR 11889, o que for aplicável, de modo a suportarem no mínimo vácuo pleno e pressão especificados nas Tabelas 4 e 6.

### H.1.4 Radiadores

Nos radiadores, devem ser utilizadas chapas conforme a ABNT NBR 5915, com no mínimo 1,0 mm de espessura, ou tubos conforme a ABNT NBR 5590, com no mínimo 1,2 mm de espessura, de modo a suportarem no mínimo vácuo pleno e pressão especificados nas Tabelas 2 e 3.

Alternativas quanto às características construtivas, aos materiais, às espessuras, à suportabilidade a vácuo e à pressão podem ser utilizadas quando acordadas entre fabricante e comprador.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

### H.1.5 Acabamento do tanque e dos radiadores

Caso não seja especificado pelo comprador, a preparação das superfícies internas e externas dos transformadores e a respectiva proteção contra corrosão devem ser executadas de acordo com a ABNT NBR 11388. A cor da pintura de acabamento externo deve ser cinza claro Munsell N6.5. Para transformadores de potência nominal superior a 5 000 kVA, a pintura de acabamento interno do tanque deve ser branca, referência Munsell N9.5. Para os radiadores, a cor da pintura interna pode ser diferente da cor utilizada no tanque, não sendo a cor para esta aplicação um atributo de melhora na performance. As tintas para tanque e radiador devem ser compatíveis com o líquido isolante, conforme a ABNT NBR 14274 e ou ASTM D3455, declarado pelo fabricante da tinta na ficha técnica do produto ou em ensaio realizado no laboratório do fabricante do equipamento elétrico.

Alternativas quanto à cor ou ao acabamento, aplicadas interna e externamente ao transformador e aos radiadores, podem ser utilizadas quando acordadas entre fabricante e comprador.

### H.1.6 Aterramento do núcleo

O núcleo deve ser aterrado em um único ponto. Para transformadores com potência nominal acima de 20 MVA, essa única ligação deve ser de fácil desconexão e acessível externamente, sem a necessidade de baixar o nível do líquido isolante do tanque do transformador.

### H.1.7 Suportabilidade a vácuo

O tanque, os radiadores e os demais acessórios, exceto o comutador, de transformadores imersos em líquido isolante com potência igual ou superior a 750 kVA devem suportar vácuo pleno.

## H.2 Acessórios e componentes

As características dos acessórios e os componentes devem atender aos requisitos da ABNT NBR 16126.

Os transformadores imersos em óleo, exceto se houver exigência em contrário, devem possuir os acessórios e os componentes apresentados na Tabela H.1.

### H.2.1 Indicador externo de nível de óleo

O indicador externo de nível de óleo deve ser conforme a ABNT NBR 16367-5.

O indicador deve ser colocado em local visível no transformador, sempre que possível no lado de baixa tensão. Ele deve ter referência para os níveis de óleo mínimo, máximo e a 25 °C, quando utilizado indicador magnético. No caso de utilização de indicador do tipo visor, os níveis de óleo mínimo e a 25 °C devem ser indicados. Para transformadores com potência nominal igual ou superior a 1 000 kVA, deve ter pelo menos um contato ajustado para operar quando o óleo alcançar seu nível mínimo.

Transformadores desprovidos de indicador externo de nível de óleo, de acordo com a Tabela H.1, devem ter uma linha ou outra indicação marcada adequadamente no interior do tanque, estabelecendo o nível do óleo, quando na temperatura de 25 °C.

### H.2.2 Indicador de temperatura do enrolamento

O indicador de temperatura do enrolamento deve ser conforme as ABNT NBR 16367-3 ou ABNT NBR 16367-4.


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

O indicador de temperatura do enrolamento deve constituído por um dispositivo indicador de temperatura, com contatos, para operação independente para controle e proteção, ajustáveis pelo menos na faixa de 55 °C a 120 °C.

### H.2.3 Indicador de temperatura do óleo

O indicador de temperatura do óleo deve ser conforme as ABNT NBR 16367-3 ou ABNT NBR 16367-4.

O indicador de temperatura do óleo deve ser graduado de 0 °C a 120 °C e possuir dispositivo indicador de temperatura máxima. Ele deve ter no mínimo dois contatos ajustáveis, na faixa de pelo menos 55 °C a 110 °C.

### H.2.4 Provisão para instalação de termômetro para óleo

Consiste em um alojamento estanque, adequado para a instalação de um termômetro, colocado em posição que forneça a temperatura mais elevada do óleo.

### H.2.5 Dispositivo para alívio de pressão

O dispositivo para alívio de pressão deve ser conforme a ABNT NBR 16367-2.

O dispositivo para alívio de pressão deve operar de maneira que o valor da sobrepressão não ultrapasse o valor máximo admissível, com a eventual descarga do óleo, e ser provido de dispositivo direcionador do óleo para fora do tanque do transformador e no sentido contrário à disposição dos acessórios que possam requerer ação do operador.

### H.2.6 Dispositivo de alívio de pressão tipo diafragma

Quando for utilizado dispositivo de alívio de pressão tipo diafragma, com tubo de explosão, deve haver um indicador externo de óleo para apresentar quando há ruptura do diafragma.

### H.2.7 Relé detector de gás tipo Buchholz ou equivalente

O relé detector de gás tipo Buchholz ou equivalente deve ser conforme a ABNT NBR 16367-7.

O relé detector de gás tipo Buchholz ou equivalente deve dispor de:

a) contato que atua por volume de gás acumulado ($cm^3$);

b) janela graduada para indicação do volume de gás acumulado;

c) contato que atua por velocidade mínima de óleo (m/s);

d) dispositivos adequados, na parte superior, para retirada de amostra de gases, aplicação de analisador e ensaio de relé;

e) bujão de drenagem na parte inferior;

f) válvulas para reter o óleo antes e depois do relé Buchholz.

### H.2.8 Caixa com blocos de terminais para ligação dos cabos de controle

A caixa deve ser colocada em posição acessível e, quando possível, convém que seja colocada no lado da baixa tensão. A caixa deve ser à prova de intempérie e possuir grau de proteção mínimo IP54, conforme a ABNT NBR IEC 60529.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela H.1 – Acessórios para transformadores**

| Acessórios | Máxima tensão operativa ($U_m$) e potências nominais ($S_n$) kVA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $U_m \leq$ 36,2 kV | | | | $U_m >$ 36,2 kV | | |
| | Transformador de distribuição aérea $S_n \leq 300$ | $S_n \leq$ 1 000 $S_n >$ 300 | $S_n <$ 5 000 $S_n >$ 1 000 | $S_n \geq$ 5 000 | $S_n <$ 2 500 | $S_n \geq$ 2 500 $S_n <$ 5 000 | $S_n \geq$ 5 000 |
| Indicador externo de nível do óleo | | * | * | * | * | * | * |
| Indicador de temperatura do enrolamento | | | | * | | | * |
| Indicador de temperatura do óleo | | z | z | * | * | * | * |
| Provisão para instalação de termômetro para óleo | | * | * | * | * | * | * |
| Dispositivo para alívio de pressão | | z | * | * | * | * | * |
| Relé detector de gás tipo Buchholz | | | z | * | | * | * |
| Caixa com blocos de terminais para ligação dos cabos de controle | | | * | * | * | * | * |
| Válvula de drenagem de óleo | | * | * | * | * | * | * |
| Meios de ligação para filtro | | | * | * | * | * | * |
| Dispositivo para retirada de amostra de óleo | | * | * | * | * | * | * |
| Conservador de óleo (em transformadores não selados) | | | * | * | * | * | * |
| Válvulas para retenção do óleo dos radiadores ou trocadores de calor | | | Δ | Δ | Δ | Δ | Δ |
| Meios de aterramento do tanque | * | * | * | * | * | * | * |
| Meios para suspensão da parte ativa do transformador completamente montado, das tampas, do conservador de óleo e dos radiadores | * | * | * | * | * | * | * |
| Meios para locomoção | | * | * | * | * | * | * |
| Apoios para macacos | | z | * | * | * | * | * |
| Abertura de visita[a] | | | | o | | | o |

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

**Tabela H.1** (conclusão)

| Acessórios | Máxima tensão operativa ($U_m$) e potências nominais ($S_n$) kVA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $U_m \leq$ 36,2 kV | | | | $U_m >$ 36,2 kV | | |
| | Transformador de distribuição aérea $S_n \leq$ 300 | $S_n \leq$ 1 000 $S_n >$ 300 | $S_n <$ 5 000 $S_n >$ 1 000 | $S_n \geq$ 5 000 | $S_n <$ 2 500 | $S_n \geq$ 2 500 $S_n <$ 5 000 | $S_n \geq$ 5 000 |
| Abertura de inspeção[a] | + | + | * | * | * | * | * |
| Comutador de derivações sem tensão | z | z | ⊖ | ⊖ | ⊖ | ⊖ | ⊖ |
| Respirador com secador de ar (quando houver conservador) | | | * | * | * | * | * |
| Provisão para colocação do relé detector de gás tipo Buchholz ou equivalente (em transformadores não selados) | | | * | | * | | |
| Dispositivo de alarme quando houver interrupção na circulação de água de resfriamento (quando houver) | | | | * | | | * |
| Indicadores de circulação do óleo (no caso de circulação forçada deste) | | | | | | | * |
| Suporte para fixação dos dispositivos de suspensão de transformador para montagem em postes | * | | | | | | |

**Legenda**

⊖ Dispensável quando for especificado comutador em carga.

* Obrigatório.

+ Somente quando houver comutador de derivações.

Z Somente quando o comprador especificar.

O Somente para transformadores com potência acima de 20 MVA ou para transformadores com comutação em carga.

Δ Somente quando houver radiadores destacáveis para transporte.

[a] Recomenda-se que todas as aberturas na tampa sejam providas de ressaltos construídos de maneira a evitar a acumulação ou a penetração de água.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

## H.3 Componentes

### H.3.1 Válvula de drenagem de óleo

A válvula de drenagem de óleo deve ser conforme a ABNT NBR 16367-6.

A válvula deve ser colocada na parte inferior da parede do tanque. Todas as válvulas de drenagem do óleo devem ser providas de bujão.

### H.3.2 Meios de ligação para filtro

Os meios de ligação para filtro devem ser conforme a ABNT NBR 16367-6.

A ligação deve ser feita por meio de uma válvula, provida de bujão, montada na parte superior da parede do tanque ou na tampa.

### H.3.3 Dispositivo para retirada de amostra de óleo

O dispositivo para retirada da amostra de óleo deve ser conforme a ABNT NBR 16367-6.

A válvula deve ser montada na parte inferior do tanque.

### H.3.4 Conservador do óleo

O conservador do óleo do transformador deve ser provido de respirador com secador de ar (conforme a ABNT NBR 16367-1), indicador externo de nível de óleo (conforme a ABNT NBR 16367-5) e de um dispositivo para drenagem do óleo (conforme a ABNT NBR 16367-6).

O conservador de óleo do comutador de derivações em carga, se aplicável, deve ter seu óleo independente do óleo do transformador. Ele deve ser provido de respirador com secador de ar (conforme a ABNT NBR 16367-1), indicador externo de nível de óleo (conforme a ABNT NBR 16367-5) e dispositivo para drenagem do óleo (conforme a ABNT NBR 16367-6).

### H.3.5 Válvulas intermediárias entre tanque e os radiadores ou trocadores de calor

As válvulas intermediárias entre tanque e os radiadores ou os trocadores de calor devem ser conforme a ABNT NBR 16367-6.

Os transformadores imersos em óleo, providos de radiadores ou trocadores de calor destacáveis, devem possuir válvulas que impeçam o escoamento do óleo do tanque, quando da sua remoção total ou parcial. Estas válvulas devem possuir indicação das posições aberta e fechada.

### H.3.6 Meios de aterramento do tanque

Os transformadores de potência nominal igual ou inferior a 1 000 kVA devem ter, na parte exterior do tanque, sempre que possível perto do fundo, um dispositivo de material não ferroso ou inoxidável que permita fácil ligação à terra. Os transformadores de potência nominal superior a 1 000 kVA devem ter dois dispositivos de aterramento, localizados diagonalmente opostos e destinados a aterramento, sendo que apenas um deles deve ser utilizado.

### H.3.7 Meios para suspensão do transformador completamente montado, da parte ativa, das tampas, do conservador de óleo e dos radiadores

Os transformadores devem dispor de meios (alças, olhais, ganchos etc.) para seu levantamento completamente montado, incluindo com óleo. Eles devem, também, dispor de meios independentes


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

para o levantamento de sua parte ativa, do conservador de óleo e dos radiadores. Toda tampa cuja massa seja superior a 15 kg deve dispor de meios para seu levantamento.

### H.3.8 Meios para locomoção

Os transformadores devem dispor de meios para locomoção, como base própria para arraste ou rodas orientáveis (em comum acordo entre comprador e fabricante).

Os transformadores devem possuir meios de fixação de cabos e correntes, que permitam movimentação sobre um plano, segundo duas direções ortogonais.

### H.3.9 Apoios para macacos

Os apoios para macacos podem ser feitos sob a forma de ressaltos ou de alojamentos, devendo ser adequados tanto para a colocação como o acionamento de macacos hidráulicos.

### H.3.10 Abertura de visita

As dimensões de abertura de visita devem ser no mínimo de 350 mm × 500 mm ou com diâmetro mínimo de 400 mm. Sempre que possível, convém ser localizada na tampa do transformador e, no caso de transformador com comutador de derivações em carga, próximo ao comutador.

### H.3.11 Abertura de inspeção

Os transformadores devem ter, quando necessário, uma ou mais aberturas de inspeção na tampa principal, para permitir o desligamento dos terminais internos para as buchas, mudanças de derivações e inspeção.

### H.3.12 Comutador de derivações sem tensão

O comutador de derivações, quando manobrável externamente, convém ter seu dispositivo de acionamento colocado, preferencialmente, próximo à placa de identificação e em posição acessível ao operador. O comutador de derivações deve ter indicação de posição local visível externamente e dispor de meios que permitam o seu travamento em qualquer posição, com o emprego de cadeado.

### H.3.13 Respirador com secador de ar

O respirador com secador de ar deve ser conforme a ABNT NBR 16367-1.

O respirador com secador de ar pode ser do tipo convencional ou com regeneração automática do componente secante. Ele deve ser instalado na tubulação de respiro do conservador do líquido isolante do tanque principal e do comutador.

### H.3.14 Juntas de vedação

As juntas de vedação devem ser compatíveis quimicamente com o líquido isolante, ter classe de temperatura compatível com a classe do material isolante do transformador e ser resistentes à ação da umidade e dos raios solares.

### H.3.15 Comutador de derivações em carga

O comutador de derivações em carga, exceto se houver especificação diferente do comprador, deve possuir as características indicadas a seguir.

Acionamento motorizado do comutador de derivações em carga

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

O acionamento motorizado do comutador de derivações em carga deve ser instalado de forma que seja facilmente acessível pelo operador e deve conter os seguintes dispositivos:

a) chave seletora para comando local ou remoto;

b) dispositivo para comando “elevar” ou “diminuir” a tensão, no mecanismo do acionamento;

c) contatores para reverter o sentido de rotação do motor;

d) contatos fim de curso para posições-limite;

e) contato de bloqueio para operação manual (introdução de manivela);

f) dispositivo para comando passo a passo;

g) proteção termomagnética para o motor;

h) circuito de aquecimento e iluminação;

i) dispositivo para indicação remota de posições;

j) indicador local de posições;

k) contador de operações;

l) manivela para operação manual;

m) dispositivo para controle de paralelismo;

n) grau de proteção do alojamento mínimo IP54, conforme a ABNT NBR IEC 60529;

o) fundo removível para entrada de cabos do usuário;

p) meios para utilização de cadeado na porta;

q) contatos para sinalização remota de motor em marcha-disjuntor desarmado;

r) meios que prevejam bloqueio ou sinalização de sequência incorreta das fases da alimentação do comutador;

s) dispositivo mecânico que atue no caso de falha das chaves elétricas de fim de curso e que não cause deformações em qualquer peça do acionamento (exceto partes propositadamente enfraquecidas e de fácil reposição).

**H.3.15.1** Comando automático do comutador de derivações em carga

O comando automático do comutador de derivações em carga é feito por meio do relé regulador de tensão, que deve possuir os seguintes requisitos básicos:

a) compensador de queda na linha;

b) bloqueio por subtensão ajustável entre 70 % e 90 % da tensão de referência;

c) temporização da resposta do relé: linear e inversa, faixa mínima ajustável entre 15 s e 120 s;


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

d) insensibilidade: faixa mínima ajustável entre ±0,6 % e ±3 % da tensão de referência;

e) tensão de referência: ajustável externamente pelo menos de 105 V a 120 V;

f) classe de precisão mínima de 1 %;

g) terminais acessíveis para medição da tensão secundária regulada.

**H.3.15.2** Comutador de derivações em carga em unidades monofásicas

Caso seja instalado em unidade monofásica formando um banco de transformadores, o comutador deve ser provido de dispositivo de controle que assegure a atuação simultânea nas três fases.

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

# Bibliografia


[1] ABNT NBR 5356-4, *Transformadores de potência – Parte 4: Guia para ensaios de impulso atmosférico e de manobra para transformadores e reatores*

[2] ABNT NBR 5356-9, *Transformadores de potência – Parte 9: Recebimento, armazenagem, instalação e manutenção de transformadores e reatores de potência imersos em líquido isolante*

[3] ABNT NBR 12454, *Transformadores imersos em líquido isolante com tensões máximas até 36,2 kV e potência igual ou superior a 500 kVA – Requisitos*

[4] ABNT NBR IEC 60061-1, *Bases de lâmpadas, porta-lâmpadas, bem como gabaritos para o controle de intercambialidade e segurança – Parte 1: Bases de lâmpadas*

[5] IEC 60050-421:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 421: Power transformers and reactors*

[6] IEC 60060 (all parts), *High-voltage test techniques*

[7] IEC 60076-4, *Power transformers – Part 4: Guide to lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors*

[8] IEC 60076-6, *Power transformers – Part 6: Reactors*

[9] IEC 60076-7, *Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers*

[10] IEC 60076-8, *Power transformers – Part 8: Application guide*

[11] IEC 60076-10-1, *Power transformers – Part 10-1: Determination of sound levels – Application guide*

[12] IEC 60076-12, *Power transformers – Part 12: Loading guide for dry-type power transformers*

[13] IEC 60076-13, *Power transformers – Part 13: Self-protected liquid-filled transformers*

[14] IEC/TS 60076-14, *Power transformers – Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials*

[15] IEC 60076-16, *Power transformers – Part 16: Transformers for wind turbines application*[2)]

[16] IEC 60270, *High voltage test techniques – Partial discharge measurements*

[17] IEC 60310, *Railway applications – Traction transformers and inductors on board rolling stock*

[18] IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*


2) A ser publicada


© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados

[19] IEC/TR 60616:1978, *Terminal and tapping markings for power transformers*

[20] IEC/TS 60815 (all parts), *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions*

[21] IEC 61378 (all parts), *Convertor transformers*

[22] IEC 61378-1, *Convertor transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

[23] IEC 61378-2, *Convertor transformers – Part 2: Transformers for HVDC applications*

[24] IEC 62032, *Guide for the application, specification, and testing of phase-shifting transformers*

[25] IEC 62262, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impact (IK code)*

[26] ISO 2409:2007, *Paints and varnishes – Cross-cut test*

[27] ISO 14001, *Environmental management systems – Specification with guidance for use*

[28] ISO 14122 (all parts), *Safety of machinery – Permanent means of access to machinery*

[29] ASTM 3515-01, *Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures*

[30] ANSI/IEEE C57.12.00, *General requirements for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers*

[31] ANSI/IEEE C57.12.90, *IEEE standard test code for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers*

[32] IEEE C57.142, *Guide to describe the occurrence and mitigation of switching transients induced by transformer, switching device, and system interaction*

[33] CIGRE Brochure 156, *Guide for customers specifications for transformers 100 MVA and 123 kV and above*

[34] CIGRE Brochure 204, *Guide for transformer design review*

[35] CIGRE Brochure 343, *Recommendations for Condition Monitoring and Condition Assessment Facilities for Transformers*

© ABNT 2025 - Todos os direitos reservados