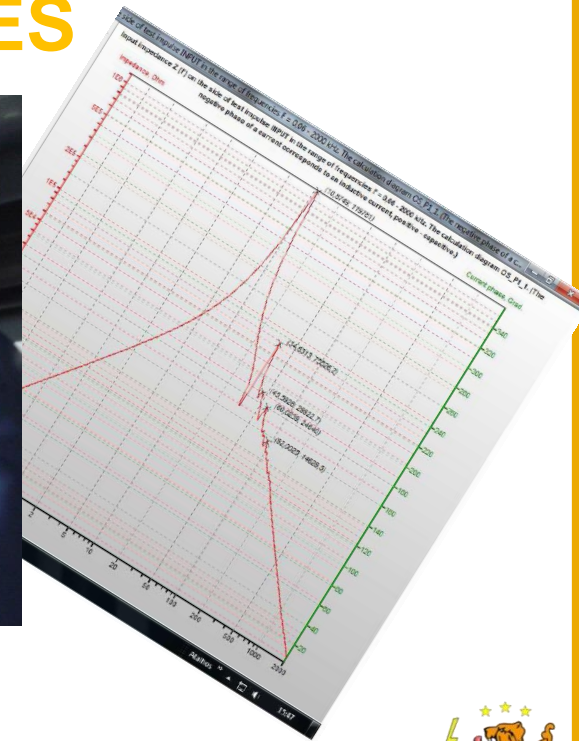


IMPORTÂNCIA DOS PROTETORES DE SURTO (SNUBBERS) PARA PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES



CLÁUDIO S. MARDEGAN





Cláudio Sérgio Mardegan é Diretor da EngePower Engenharia e Comércio Ltda, especialista em proteção de sistemas elétricos industriais e qualidade de energia, com experiência de mais de 38 anos nesta área. Já ministrou por mais de 93 vezes o treinamento de proteção e seletividade, 28 vezes o treinamento de Subestações e 11 vezes o treinamento de Qualidade de Energia, 9 vezes o treinamento de Arc Flash e 5 vezes o treinamento de partida de motores. Apresentou diversos artigos em revistas especializadas e ministrou inúmeras palestras técnicas (Conferências IEEE-IAS e IEEE-I&CPS, IEEE-ESW-Brasil, CINASE, CINAPE, NR-10, etc). É consultor das principais empresas multinacionais e empresas corporativas. É engenheiro eletrícista formado em 1980 pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (Antiga EFEI atualmente UNIFEI). É autor do livro “Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais”, patrocinado pela Schneider. É co-autor do Guia de Normas do Setor Elétrico, É Membro Senior do IEEE e participa também dos Working Groups do IEEE para “Generator’s Grounding” e do **Buff Book (Série 3004)**. Neste último participa na revisão do Capítulo de Proteção de Transformadores, é Chair do Capítulo 6 – Ground Fault Protection e também é Chair do Capítulo 13 – Protection Coordination. É secretário do Capítulo 1 da Série 3003 (antigo Green Book – Aterramento). É vice-chair de Surge Protection do IEEE e também participa dos grupos de Forensics e do DC Team do IEEE. É paper reviewer e associated editor do IEEE.



OBJETIVO

O objetivo deste artigo é mostrar os processos envolvidos durante os transitórios de chaveamento, bem como alertar, fabricantes, usuários e especialistas em transformadores sobre este novo fenômeno que vem ocorrendo ao redor de todo o mundo e a solução para mitigar este fenômeno.



- ➡ 1- MOTIVAÇÃO PARA ESCREVER O ARTIGO
- ➡ 2- CONCEITOS BÁSICOS
- ➡ 3- COMENTÁRIOS DE CASOS REAIS OCORRIDOS NO BRASIL E USA
- ➡ 4- PRINCIPAIS PROTEÇÕES CONTRA OS DISTÚRBIOS
- ➡ 5 – O FENÔMENO
- ➡ 6 – MITIGAÇÃO
- ➡ 7 - MODELAGEM
- ➡ 8 – SIMULAÇÃO
- ➡ 9 – MONTAGEM E INSTALAÇÃO
- ➡ 10- QUESTÕES A SEREM ANALISADAS AO INCLUIR ESTA PROTEÇÃO
- ➡ 11- BIBLIOGRAFIA



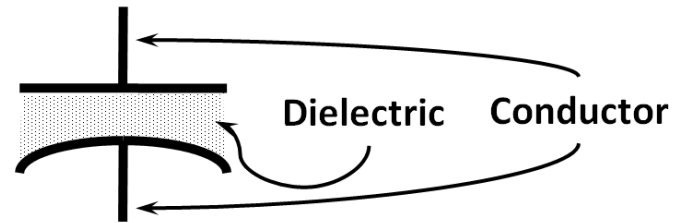
1 - MOTIVAÇÃO PARA ESCREVER ESTE ARTIGO

A motivação para o desenvolvimento deste artigo se deve ao fato de que a maior parte da comunidade técnica ainda desconhece este fenômeno e assim, a ideia é demonstrar de uma maneira relativamente simples o fenômeno que acontece, o que ele pode provocar e também as etapas para a mitigação do mesmo.



CONCEITOS BÁSICOS

(a) DEFINIÇÕES



Capacitância - Dois condutores separados por um dielétrico formam uma capacitância. Exemplo: Os condutores de uma linha de transmissão são condutores, a terra é condutora e o ar é isolante, e desta forma tem-se um capacitor gigante.

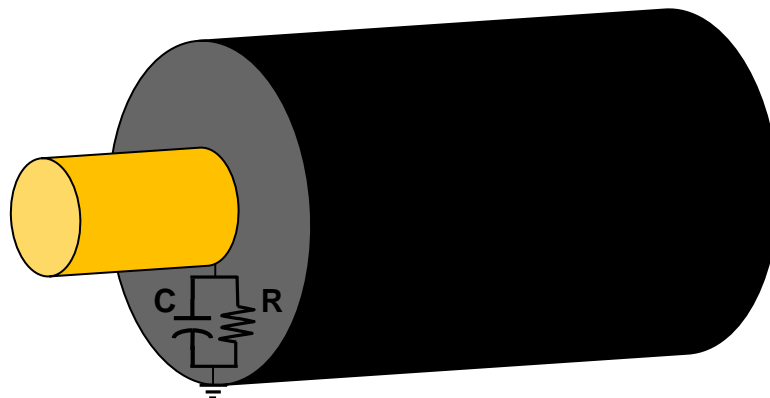
Capacitância Própria - Todos os equipamentos elétricos tais como cabos, motores, geradores, etc são constituídos de condutores. Estes condutores são isolados normalmente com papel, verniz, etc e como são instalados sobre uma parte metálica, forma-se o que chamamos de capacitância própria do equipamento.

Corrente de Charging - É a corrente de fuga que circula pelas capacitâncias próprias dos equipamentos. Em sistemas trifásicos essas correntes teoricamente se anulam por estarem defasadas de 120 graus uma da outra.



(b) REPRESENTAÇÃO IDEAL DE UMA ISOLAÇÃO

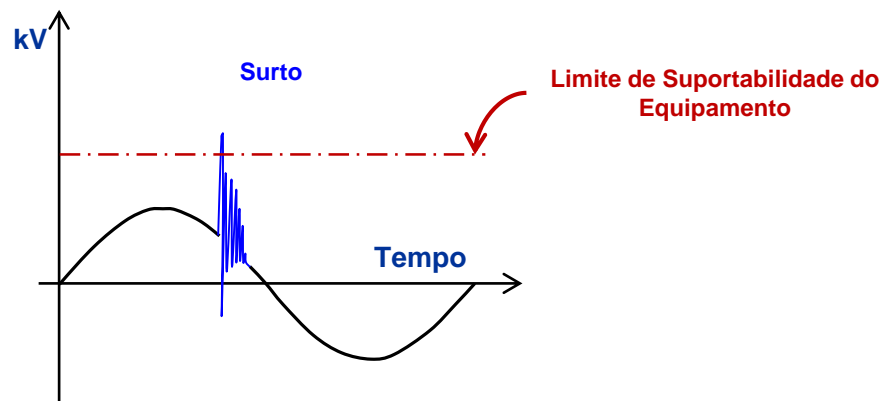
Quando se faz uma medição com um **Megôhmetro**, mede-se apenas a resistência de isolamento, pois a fonte do Megger é corrente contínua (**DC**) e irá enxergar a capacitância como um circuito aberto. Para medir a capacitância se faz necessário a utilização de um **Medidor de Fator de Potência de Isolamento**, que nada mais é do que um ensaio de tensão de aplicada em corrente alternada (**AC**). Desta maneira, pode-se representar conforme figura abaixo.



(c) Surtos

A referência [06] define os surtos de tensão são transitórios de tensão de qualquer polaridade de duração inferior a 1 ciclo que tipicamente são decrescentes e oscilatórias. A referência [05] define o surto como um transitório de tensão de duração inferior 1 ciclo, evidenciada como uma breve e aguda descontinuidade na forma de onda de tensão. A polaridade pode ser aditiva ou subtrativa.

Dependendo da amplitude e energia dos surtos de tensão, os mesmos podem ser a causa de dano e destruição de componentes e equipamentos. Isto acontece quando o surto atinge valores e formas de onda próximos e/ou acima do valor para o qual os equipamentos são testados (p.ex. ANSI C62.41-1991).



(c) Surtos

Os surtos são normalmente decorrentes de manobras (energização/desenergização) e também devido à descargas atmosféricas.

Surtos de Manobra

Para o melhor entendimento do processo dos surtos de manobra, a desenergização é o mais fácil de entender e consistem em primeira instância na interrupção de corrente.

Para se interromper a corrente é necessário que ela exista. Em existindo, esta corrente produz energia eletromagnética que é armazenada nas indutâncias do sistema sob a forma de

$$E_C = \frac{1}{2} \times L \times I^2$$

Porém, não se pode variar a corrente instantaneamente em uma bobina, pois isto implicaria em um tempo zero ($dt=0$ na equação seguinte) porque neste caso seria necessária uma tensão infinita, o que é inexecutável.

$$v(t) = L \times \frac{di(t)}{dt}$$

Se $dt=0 \rightarrow v(t) \rightarrow \infty$

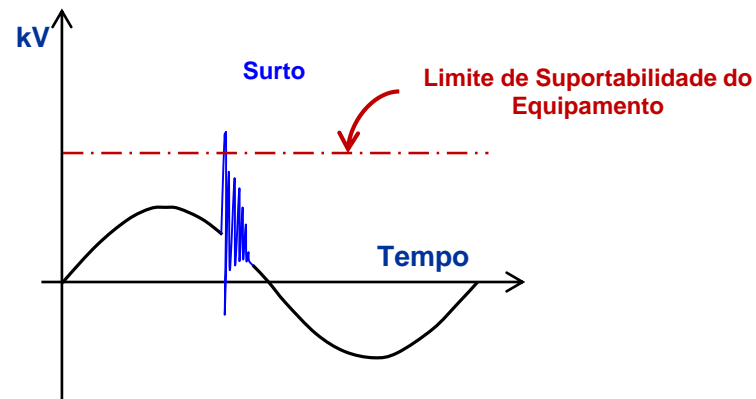


(c) Surtos

A tensão, na prática não atinge o infinito, mas sim um valor alto (sobretensão).

Após a abertura do dispositivo de manobra o sistema sai de um estado de equilíbrio entra num novo estado de desequilíbrio energético, que agora, a energia eletromagnética é utilizada para carregar as capacitâncias do sistema ($\frac{1}{2} CV^2$). A sobretensão da abertura carrega então os capacitores com esta tensão mais elevada, que após a abertura, troca energia com o indutor em cada lado do dispositivo de manobra e oscila até amortecer toda energia.

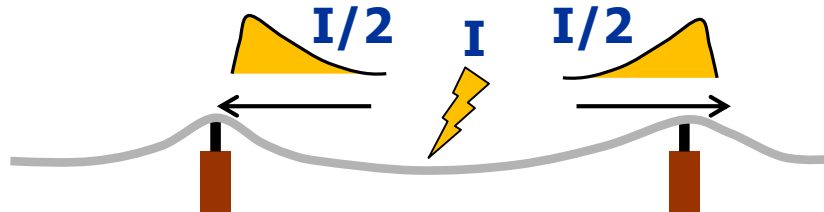
Se não houver onde amortecer (Resistência) teoricamente a oscilação não cessaria.



(c) Surtos

Surtos devidos a descargas Atmosféricas

Os surtos atmosféricos quando caem sobre uma linha, normalmente se divide em dois.



As tensões que irão se sobrepor à tensão da rede serão dadas por :

$$V = Z_C \times \frac{I}{2}$$

Z_C = Impedância de Surto

Da mesma maneira que no chaveamento a descarga atmosférica tira o sistema elétrico do regime permanente e a nova situação irá criar também uma oscilação das energias armazenadas entre as capacitâncias e as indutâncias do sistema até que esta energia seja dissipada por efeito Joule nas resistências do sistema.

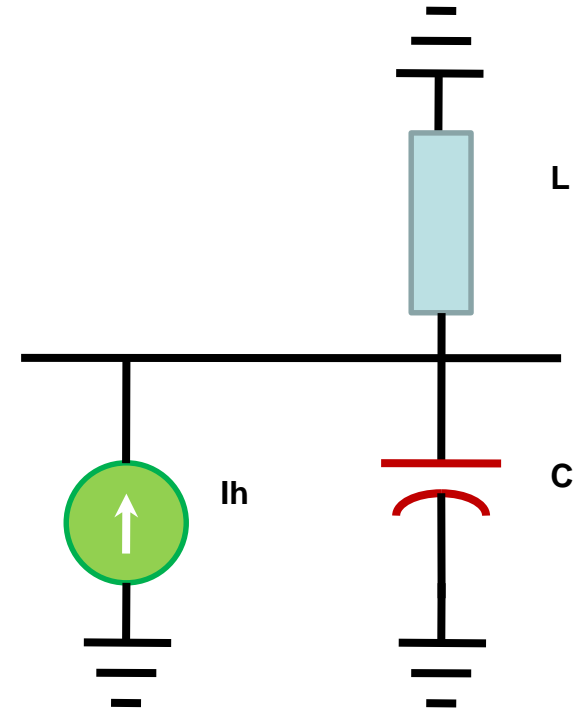


(d) RESSONÂNCIA PARALELA

Ressonância Acústica

Ressonância pelo Vento

É sabido que as cargas não lineares se comportam como fontes de corrente harmônica. Nos sistemas elétricos, as impedâncias são praticamente indutivas, representada pela reatância das máquinas/equipamentos tais como transformadores, motores, geradores, cabos, etc. Ao se introduzir um banco de capacitores no sistema, a fonte harmônica “enxerga” a indutância equivalente do sistema em paralelo com a capacitância, como indicado na figura seguinte, visto que parte de sua corrente vai para o sistema e parte para o capacitor.



(d) RESSONÂNCIA PARALELA

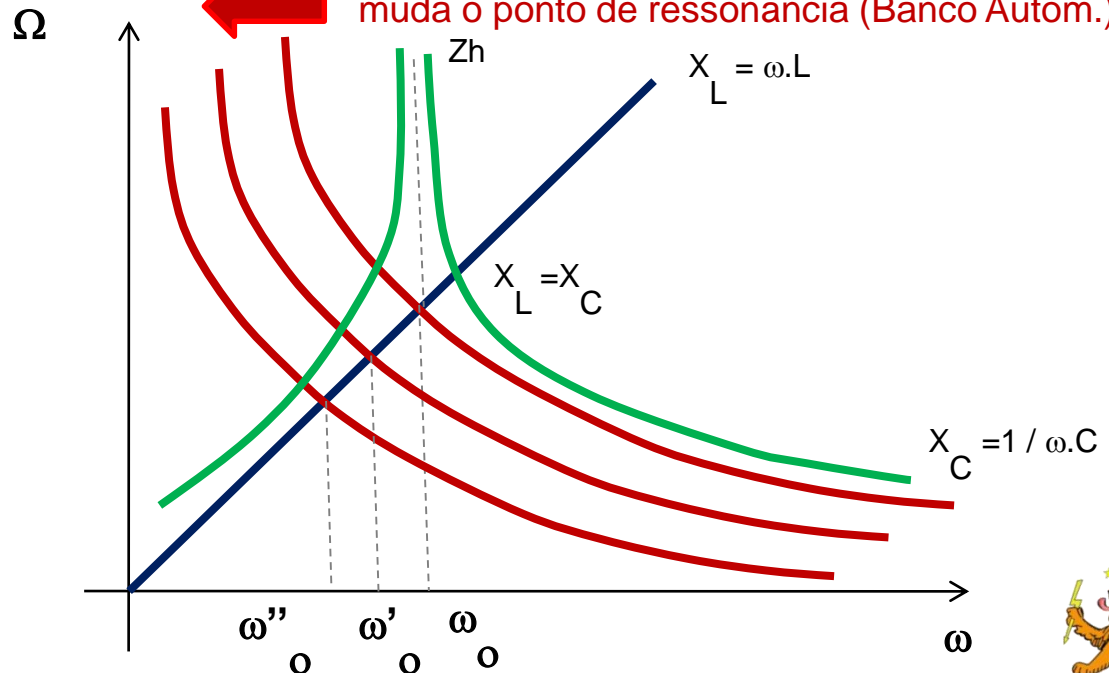
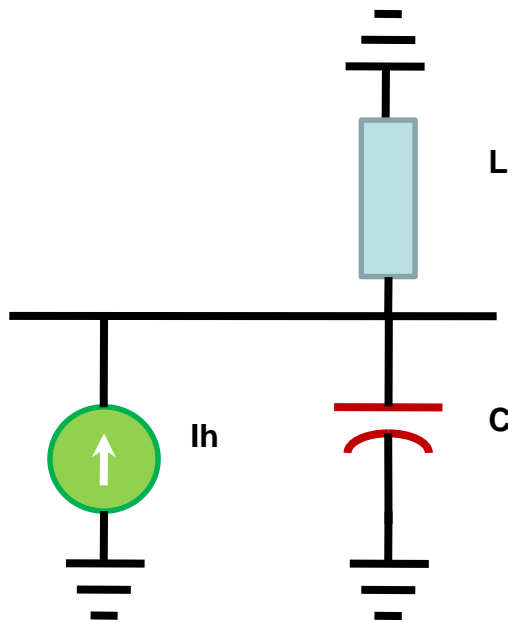
A fonte de corrente harmônica I_h enxerga uma impedância Z_h que corresponde ao $+jX_L$ ($= j\omega L$) em paralelo com $-jX_C$ ($= -j1/\omega C$).

$Z_L = +j\omega.L \rightarrow$ No plano $\Omega \times \omega \rightarrow$ Reta pela Origem
 $Z_C = -j [1/(\omega.C)] = -jX_C \rightarrow$ No plano $\Omega \times \omega \rightarrow$ Hipérbole

$$|Z_h| = [X_L \cdot X_C] / [X_L - X_C]$$

$$\text{Qdo } X_L = X_C \rightarrow Z_h \rightarrow \infty \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Conforme aumenta o tamanho do Capacitor muda o ponto de ressonância (Banco Autom.).



(d) RESSONÂNCIA PARALELA

Mesmo com uma pequena corrente harmônica, pode-se ter a ocorrência da ressonância paralela, entretanto, esta ressonância pode se tornar mais crítica quando a frequência de ressonância ω_o (ou f_o) coincidir ou ficar próxima de uma frequência característica (p. ex. 5, 7, 11, 13, etc).

Cálculo simplificado da frequência provável da ressonância

A ordem da frequência de ressonância pode ser estimada, de uma forma simplificada através da equação abaixo:

Na condição de ressonância:

$$X_{Lh} = X_{Ch}$$

$$\omega_o \times L = \frac{1}{\omega_o \times C}$$

$$h \times \omega \times L = \frac{1}{h \times \omega \times C} \Rightarrow h \times X_{Lf} = \frac{X_{Cf}}{h}$$

$$h^2 = \frac{X_{Cf}}{X_{Lf}} \Rightarrow h = \sqrt{\frac{X_{Cf}}{E} \times \frac{E}{X_{Lf}}} = \sqrt{\frac{I_{CC}}{I_{Cf}}} = \sqrt{\frac{I_{CC} \times E \times \sqrt{3}}{I_{Cf} \times E \times \sqrt{3}}}$$

$$h = \sqrt{\frac{MVAcc}{MVAr}}$$



(e) RESSONÂNCIA SÉRIE

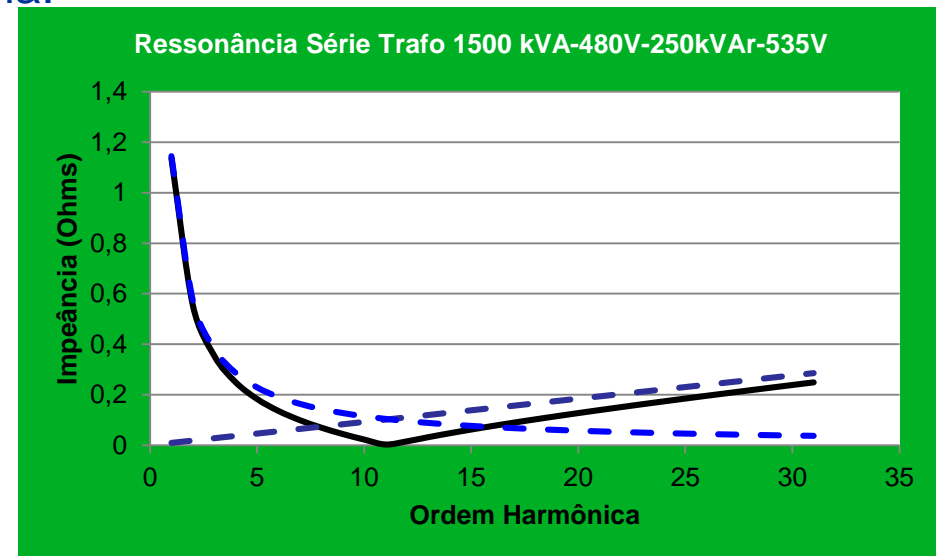
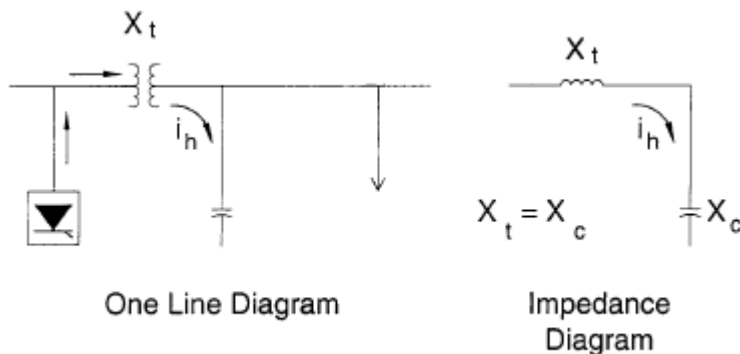
Sabe-se que a impedância em um dado ponto pode ser escrita na forma apresentada abaixo:

$$Z_p = R + j(X_L - X_C)$$

Quando $X_L = X_C$, ter-se-á um valor de impedância mínimo e igual a :

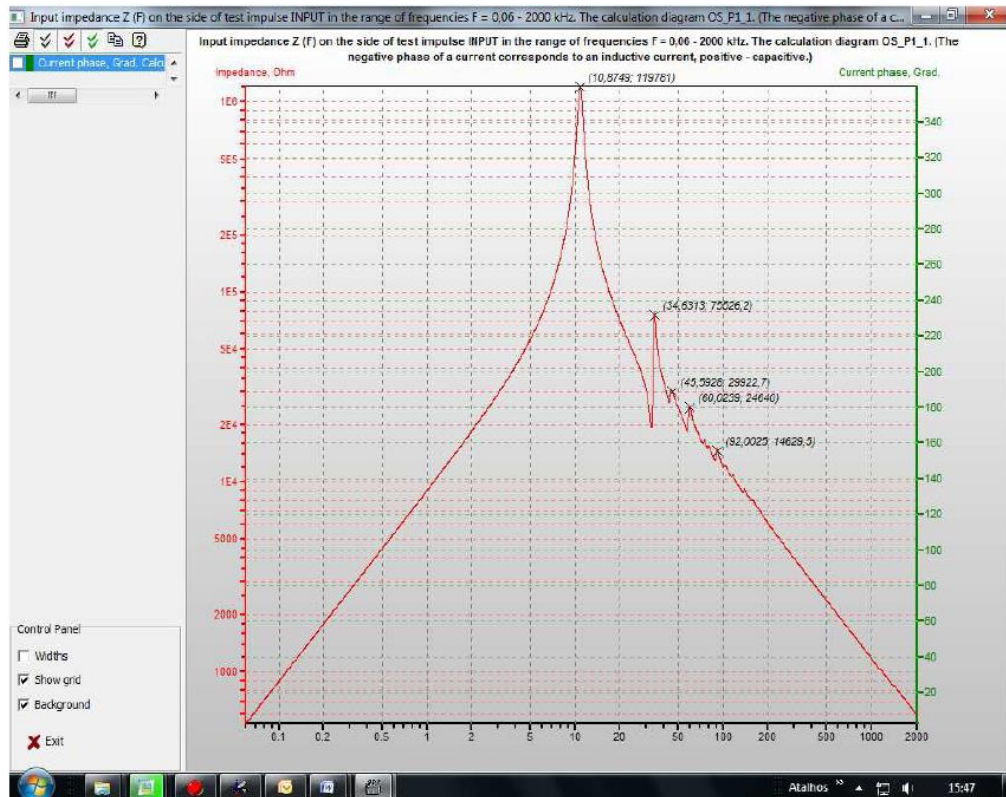
$$Z_p = R$$

Diferentemente da ressonância paralela, em que a impedância é máxima, a impedância na ressonância série é mínima.



(f) FSRA – Frequency Scan Response Analysis

Todo corpo físico possui uma ou mais frequências próprias a partir das quais o mesmo pode entrar em ressonância. Apresenta-se a seguir um Gráfico de Análise do Scan de Frequências de um transformador.



Frequências de ressonância do transformador

As frequências de ressonância do transformador são: 10.87 kHz, 34.6 kHz, 45.59 kHz, 60.02 kHz e 82.0 kHz. Veja gráfico ao lado.

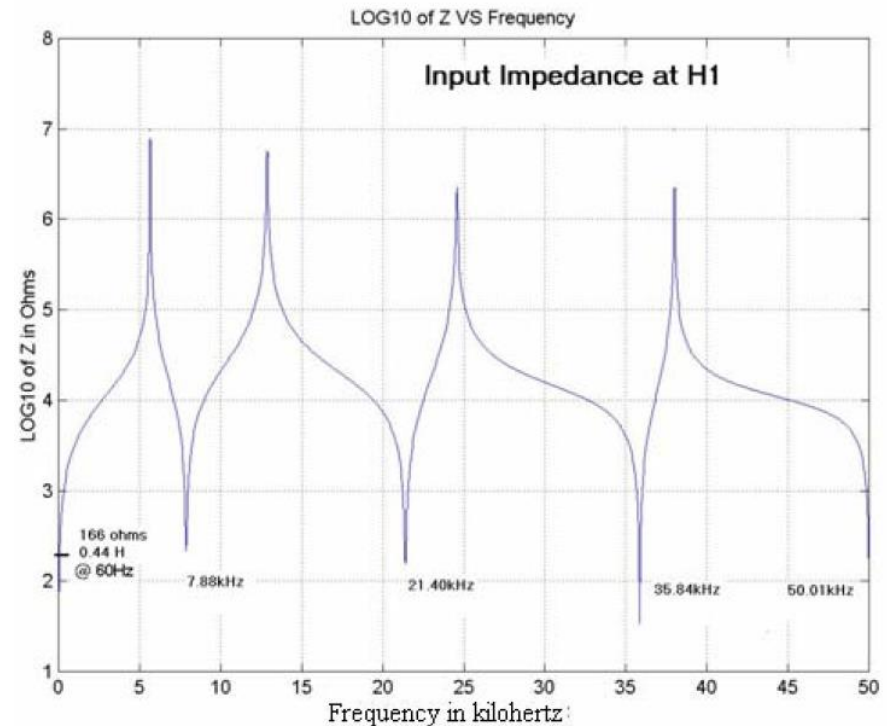
Como pode ser observado no gráfico fornecido pelo fabricante, os mesmos enfatizam os pontos correspondentes os valores máximos das impedâncias, que representam as ressonâncias paralelas que vão causar sobretensões.



(f) FSRA – Frequency Scan Response Analysis

A publicação do IEEE Std C57.142™-2010 “IEEE Guide to Describe the Occurrence and Mitigation of Switching Transients Induced by Transformers, Switching Device, and System Interaction” [01].

Este Guia mostra a importância de se fazer a análise do Scan de Frequência enfatizando a importância das ressonâncias séries, ou seja, os valores mínimos



Impedance versus frequency example



(f) FSRA – Frequency Scan Response Analysis

Qual das duas considerações é mais importante ? Ambas. Veja comentário de um dos maiores especialistas do mundo sobre o assunto.

- a) O Guia do IEEE C57.142[01] foi a primeira boa tentativa de cobrir este assunto.
- b) Eu investiguei mais de 65 falhas em transformadores, realizei mais de 400 estudos de transitórios de chaveamento e construí mais de 1200 snubbers e posso dizer que a análise do FSRA realmente nos revela muita coisa.
- c) O **primeiro pico** do gráfico corresponde a um ponto de **ressonância paralela**. Neste ponto ocorrerá uma amplificação da tensão para as altas frequências e normalmente irá **danificar a bucha ou as primeiras espiras** do enrolamento (curto entre espiras).
- d) O **primeiro vale** corresponde a uma **ressonância série** e nos diz em qual frequência ter-se-á $\frac{1}{2}$ onda. Tipicamente resulta numa ressonância interna que **danifica os enrolamentos em pontos próximos a $\frac{1}{3}$** da extremidade do enrolamento a partir **da bucha**.
- e) O **segundo vale**, também corresponde a uma ressonância série ocorrendo uma amplificação em $\frac{3}{4}$ da onda e **danificando numa posição próxima a $\frac{2}{3}$** do enrolamento, a partir **da bucha**.



(f) FSRA – Frequency Scan Response Analysis

Qual das duas considerações é mais importante ? Ambas. Veja comentário de um dos maiores especialistas do mundo sobre o assunto.

- f) Os transformadores enrolado em camadas (Layer Wound) e Cast Coil são mais susceptíveis a essas condições de ressonância interna.
- g) Transformadores de construção VPI (**V**acuum **P**ressure **I**mpregnated) são mais propensos a falhas de dv/dt e as magnitudes da sobretensão do que às ressonâncias internas.
- h) Este gráfico nos dá uma visão interna da ressonância do transformador para eventos de alta frequência decorrentes de chaveamento sem modelagens complexas do transformador, que cujas informações quase nunca são disponíveis.
- i) Assim, o trabalho do engenheiro especialista em sistema de potência é fazer com que estas ondas de alta frequência não atinjam o transformador, sejam nos picos, sejam nos vales.

Nota

A isolação dos enrolamentos pode ser : Open-wound, vacuum pressure impregnation (VPI), vacuum pressure encapsulated (VPE), encapsulated, and cast coil



3 - CASOS REAIS OCORRIDOS NO BRASIL E USA

2009 – USA – Data Center – 3000/4500 kVA

2012 – Brasil – Planta de Papel – 34.5 kV – 6000kVA - Queima de 11 transformadores

2012 – Brasil – Planta Química – 13.8 kV – Queima de 1 transformador

2013 – Brasil – Planta de Papel – 34.5 kV – 6000 kVA – Queima de 3 transformadores

2014 – Brasil – Indústria de Armas – 13.8 kV – 1250 kVA - Queima de 1 transformador

2014 – Brasil – Indústria de equipamentos Eletrônicos – 13.8 kV – Queima de 1 Transformador

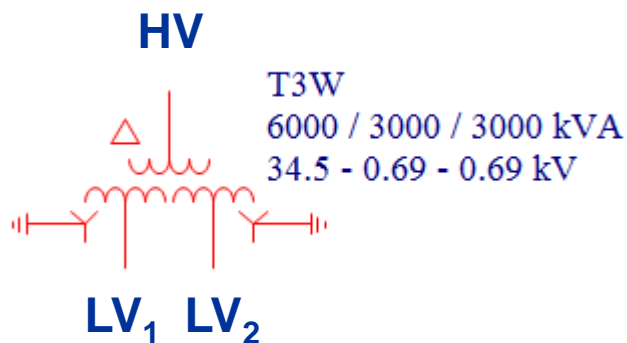
2014 – Brasil – Planta de Papel – 34.5 kV – Queima de 2 transformadores um de 6000 kVA e outro de 225 kVA.

2014 – Brasil – Prédio Comercial – 34.5 kV – Queima de 1 transformador -2500kVA



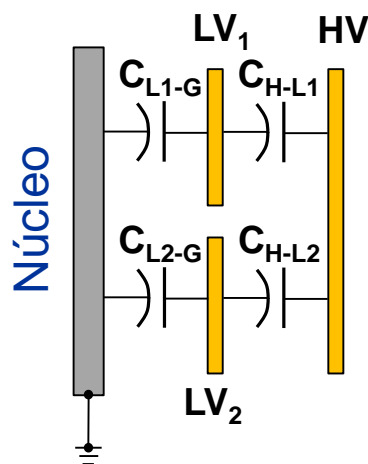
4 – POR QUE OS TRANSFORMADORES SECOS SÃO MAIS SUSCEPTÍVEIS

Considere um transformador de três enrolamentos, como o do unifilar seguinte.



Do ponto de vista de capacitâncias tem-se o seguinte:

a) Transformador seco sem carenagem



LV₁ – Enrolamento de baixa tensão 1.

LV₂ – Enrolamento de baixa tensão 2.

HV – Enrolamento de alta tensão.

C_{L1-G} = Capacitância do enrolamento de baixa tensão 1 para terra.

C_{L2-G} = Capacitância do enrolamento de baixa tensão 2 para terra.

C_{H-L1} = Capacitância do enrolamento de alta para o de baixa tensão 1.

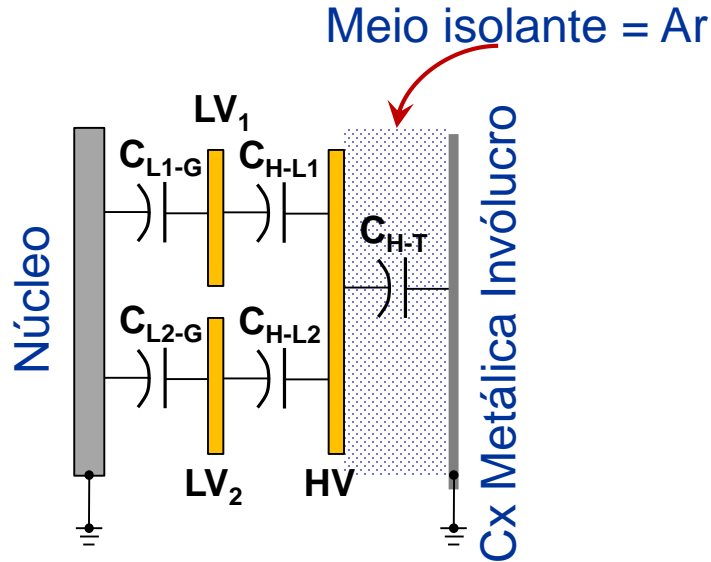
C_{H-L2} = Capacitância do enrolamento de alta para o de baixa tensão 2.



4 – POR QUE OS TRANSFORMADORES SECOS SÃO MAIS SUSCEPTÍVEIS

Do ponto de vista de capacitâncias tem-se o seguinte:

b) Transformador seco com carenagem



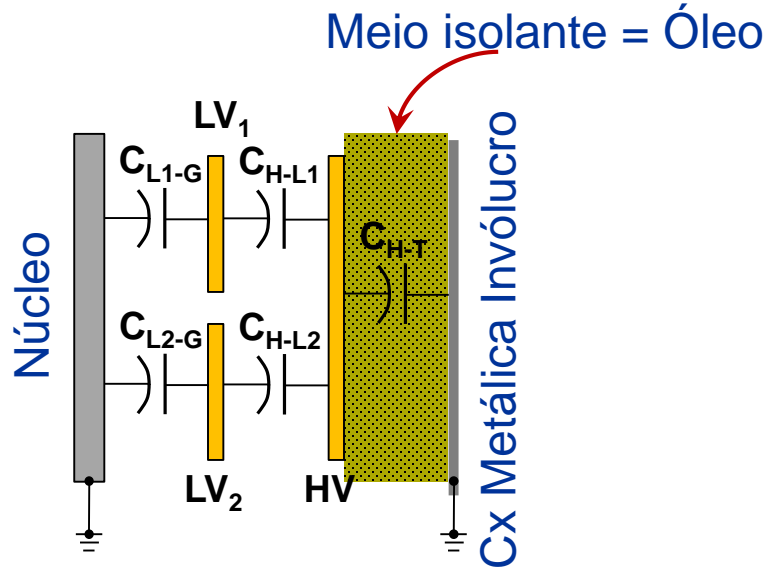
- LV₁ – Enrolamento de baixa tensão 1.
- LV₂ – Enrolamento de baixa tensão 2.
- HV – Enrolamento de alta tensão.
- C_{L1-G} = Capacitância do enrolamento de baixa tensão 1 para terra.
- C_{L2-G} = Capacitância do enrolamento de baixa tensão 2 para terra.
- C_{H-L1} = Capacitância do enrolamento de alta para o de baixa tensão 1.
- C_{H-L2} = Capacitância do enrolamento de alta para o de baixa tensão 2.
- C_{H-T} = Capacitância do enrolamento de alta para o invólucro.



4 – POR QUE OS TRANSFORMADORES SECOS SÃO MAIS SUSCEPTÍVEIS

Do ponto de vista de capacitâncias tem-se o seguinte:

c) Transformador a óleo



- LV₁ – Enrolamento de baixa tensão 1.
- LV₂ – Enrolamento de baixa tensão 2.
- HV – Enrolamento de alta tensão.
- C_{L1-G} = Capacitância do enrolamento de baixa tensão 1 para terra.
- C_{L2-G} = Capacitância do enrolamento de baixa tensão 2 para terra.
- C_{H-L1} = Capacitância do enrolamento de alta para o de baixa tensão 1.
- C_{H-L2} = Capacitância do enrolamento de alta para o de baixa tensão 2.
- C_{H-T} = Capacitância do enrolamento de alta para o tanque (invólucro).



4 – POR QUE OS TRANSFORMADORES SECOS SÃO MAIS SUSCEPTÍVEIS



4 – POR QUE OS TRANSFORMADORES SECOS SÃO MAIS SUSCEPTÍVEIS



O FENÔMENO

Durante o processo de interrupção de corrente (processo eletromagnético) não se consegue variar a corrente instantaneamente em um indutor ($V = L \, di/dt$), pois teria que ter uma tensão infinita, o que é impossível fisicamente. Entretanto, esta tensão se eleva rapidamente e carrega então, as capacitâncias com uma energia igual a:

$$E_C = \frac{1}{2} \times C \times V^2$$

Ou seja, a energia que estava armazenada nas indutâncias irá ser transferida para as capacitâncias, ou seja, como C é constante, o aumento da energia implica no aumento da tensão.

Após a interrupção o capacitor irá tentar um novo estado de equilíbrio no sistema e começa então a trocar energias com as indutâncias (do novo sistema devido à nova configuração), no caso a bobina do transformador.

Devido às elevadas magnitudes e valores de dV/dt do processo acima mencionado, os isolamentos não suportam o “stress” danificando-se.



O FENÔMENO

Como descrito nas normas e literaturas pertinentes, o BIL é um ensaio destrutivo para impulso atmosférico que o transformador somente deverá suportar poucas vezes em sua vida útil.

Os chaveamentos dos disjuntores inúmeras vezes na vida útil, e mesmo não se atingindo o valor do BIL, devido às elevadas magnitudes e dV/dt vai-se envelhecendo a isolação até que em determinado momento a mesma poderá falhar.

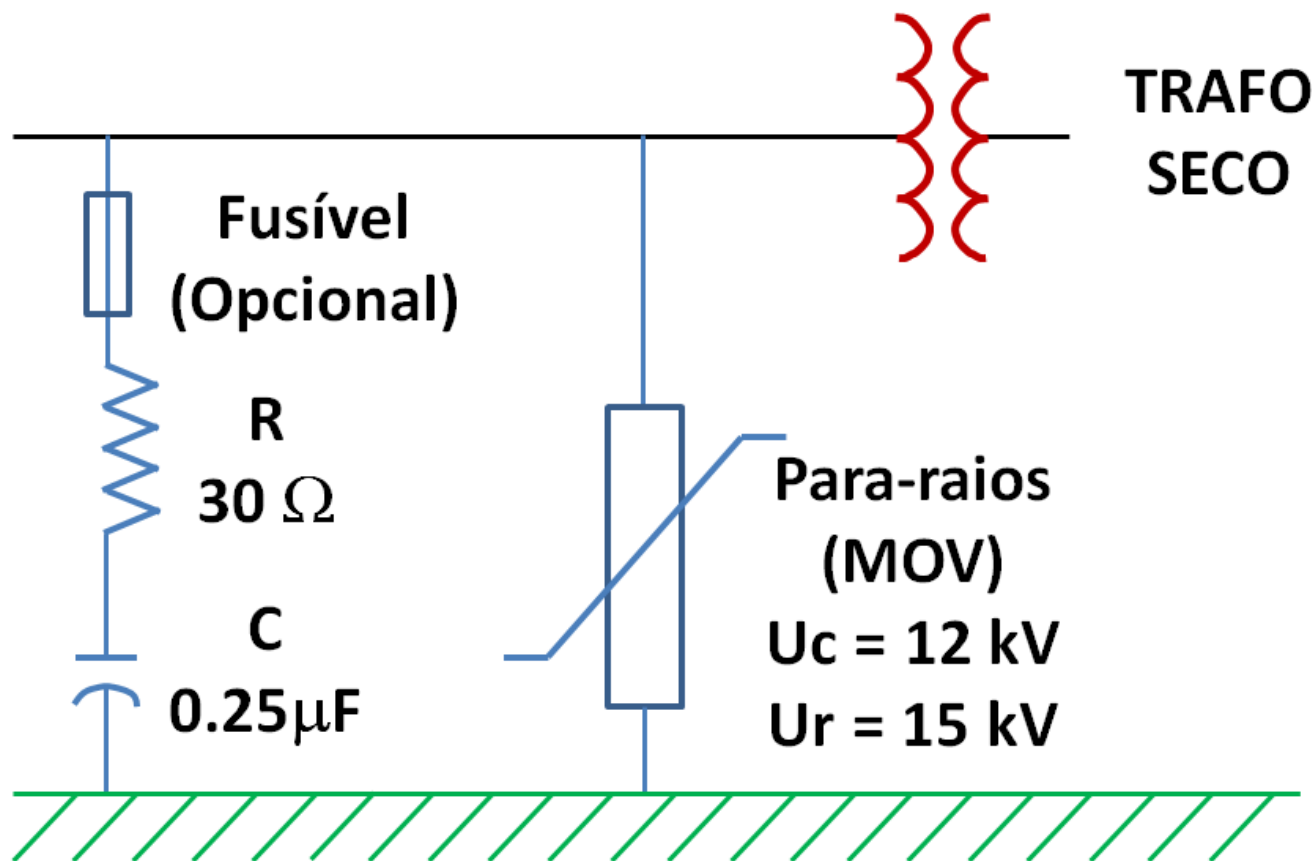
Na prática este processo é até um pouco mais complexo, pois este fenômeno pode ocorrer na energização, no desligamento ou devido aos re-strikes (reacendimento do arco quando a tensão de TRV-Transient Recovery Voltage ultrapassa o limite dielétrico suportável pelo meio de extinção do disjuntor, durante a abertura). Outro fato que corrobora para agravar o problema é a interrupção de corrente antes da mesma atingir o zero (chop current).

A interrupção da corrente provoca o aumento do módulo da tensão na carga e o re-strike provoca um aumento do dV/dt do lado carga, ou seja, da frequência.



MITIGAÇÃO

Para a mitigação utilizam-se pára-raios e snubbers, como mostrado na figura seguinte:



MODELAGEM

a) Modelagem do sistema

Para a modelagem do sistema é utilizado um programa de Transitórios Eletromagnéticos (p. ex. ATP, EMTP-RV, etc).

b) Modelagem dos componentes do Sistema

Cabos e Linhas

Transformadores

Disjuntores

Concessionária

Pára-raios

Resistores de Aterramento

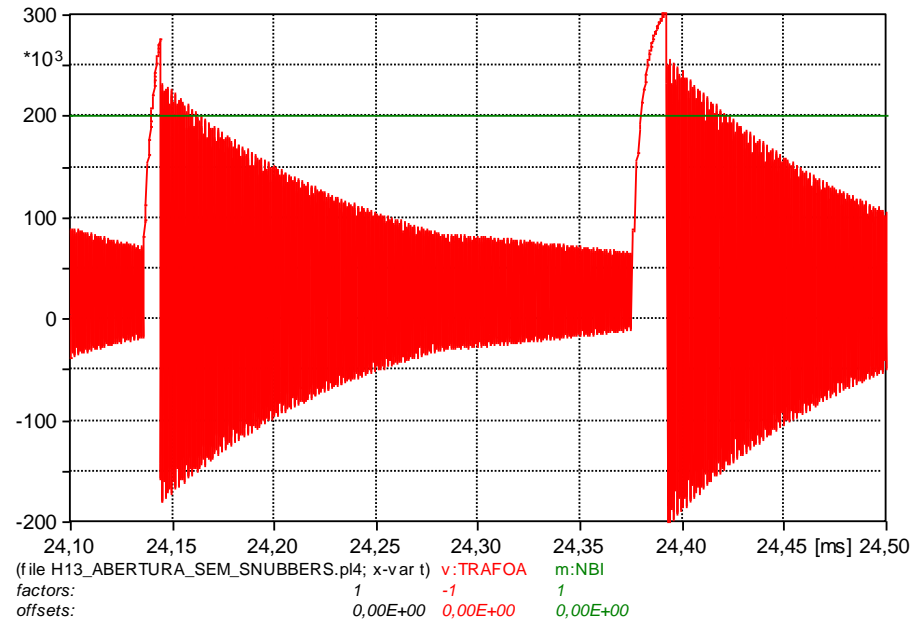
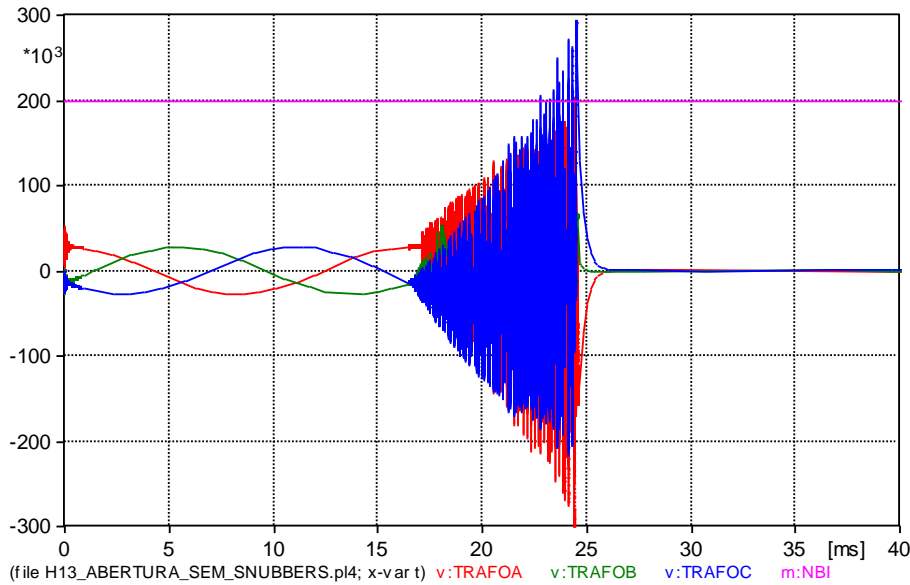
Capacitores

Filtros

Carga



SIMULAÇÃO

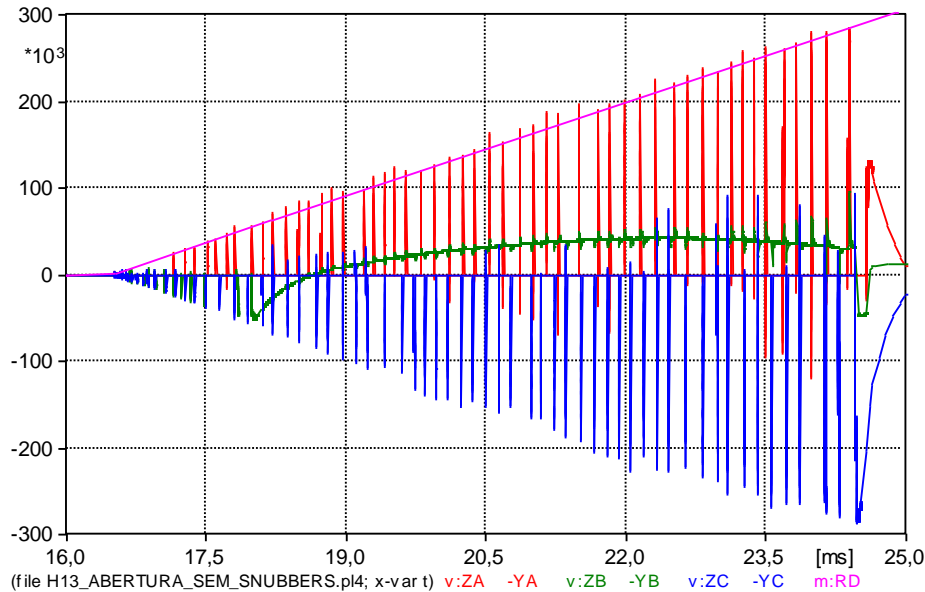


Tensões no primário de um transformador de 10 MVA/34.5kV, devido a manobra de **abertura** de disjuntor no instante $t = 16.5$ ms $U_p = 304$ kV (fase A) / 1.667 MHz, **sem snubbers**.

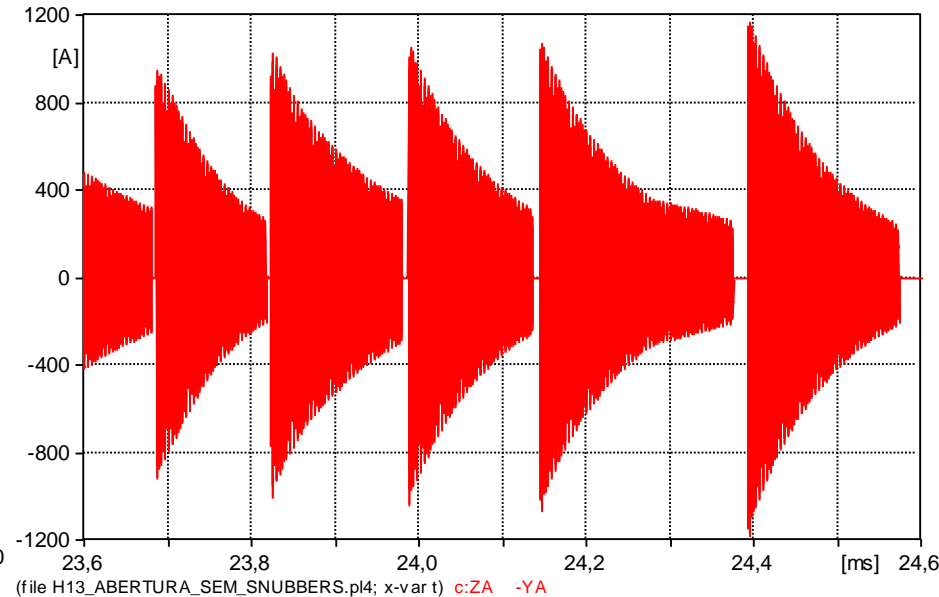
Zoom da Figura ao lado, mostrando a tensão (fase A) no primário do transformador TR-16 de 10 MVA, devido a manobra de abertura do disjuntor do cubículo H13 no instante $t = 16.5$ ms $U_p = 304$ kV (fase A) / 1.667 MHz, **sem snubbers**.



SIMULAÇÃO



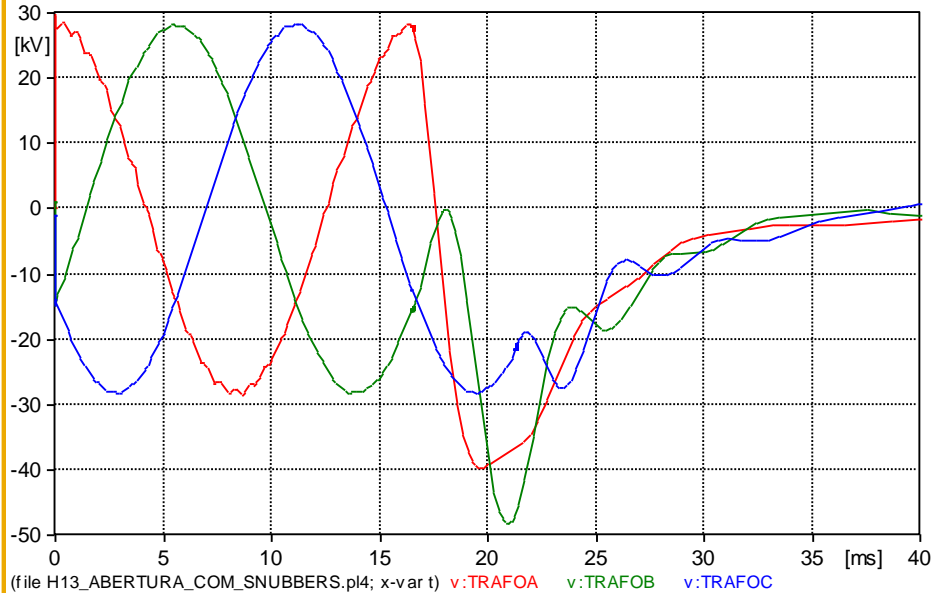
Detalhe da tensão de repique (restrike) entre os contatos dos polos do disjuntor o Cub. 5, devido a manobra de abertura do disjuntor no instante $t = 16.5$ ms “RD” refere-se a recuperação do dielétrico durante a abertura do disjuntor ($36 \text{ V}/\mu\text{s}$), **sem snubbers**.



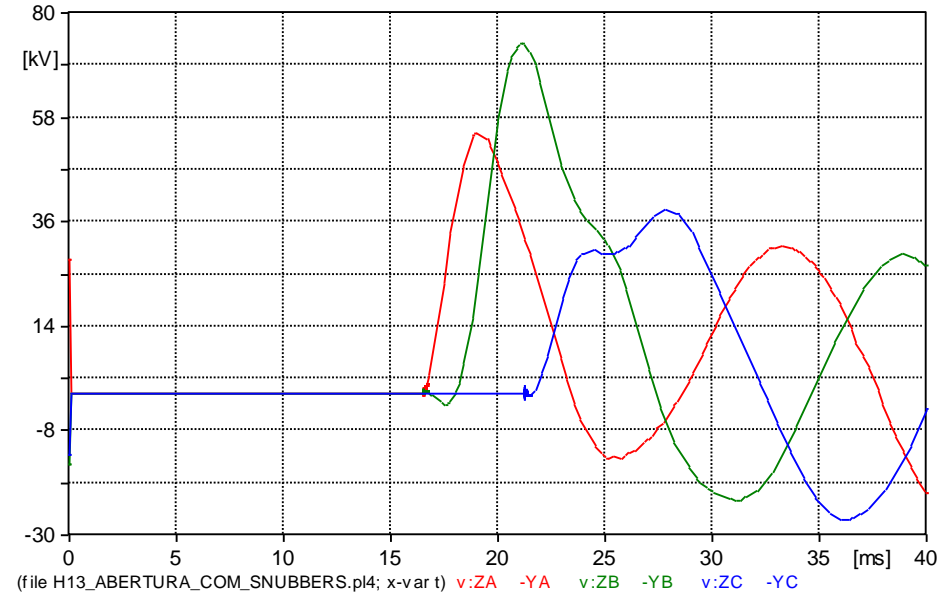
Detalhe da corrente entre os contatos do polo A do disjuntor do Cub.5, devido a manobra de abertura do disjuntor no instante $t = 16.5$ ms, **sem snubbers**.



SIMULAÇÃO



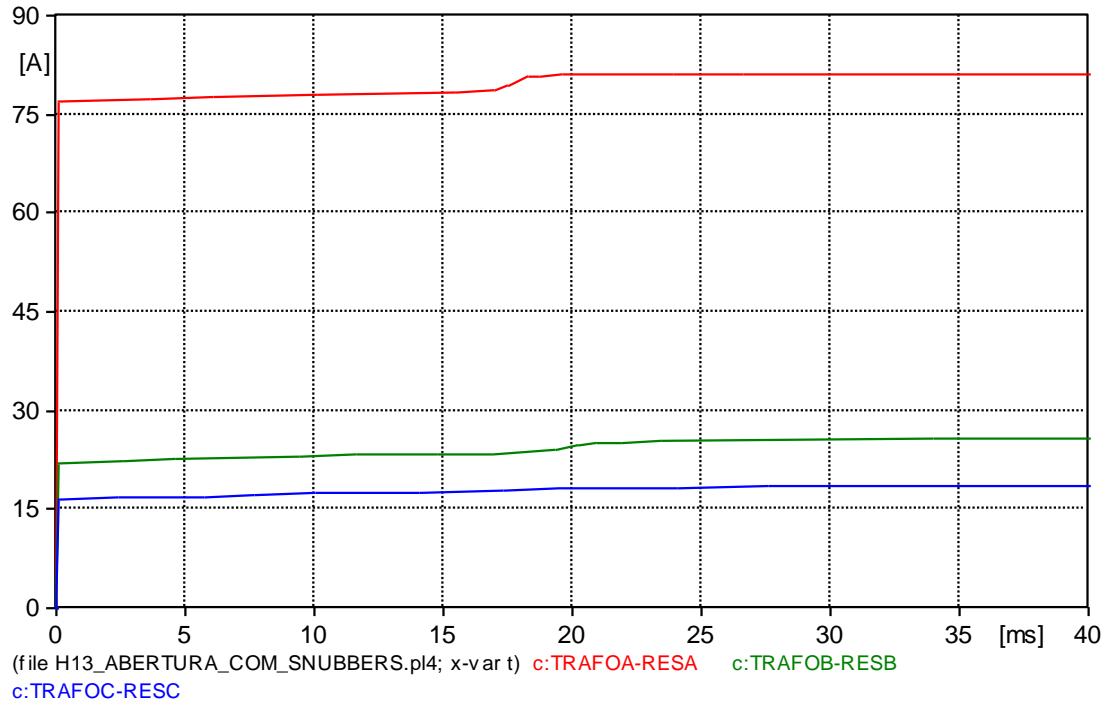
Tensões no primário do transformador de 10 MVA devido a manobra de abertura do disjuntor do Cubículo 5 no instante $t = 16.5$ ms $U_p = 48.2$ kV (fase B), **com snubbers**.



Detalhe da tensão entre os contatos dos polos do disjuntor do Cub.5, devido a manobra de abertura do disjuntor no instante $t = 16.5$ ms, **com snubbers**.



SIMULAÇÃO



Energia absorvida pelos resistores dos snubbers

Fase A = 81.2 J

Fase B = 25.7 J

Fase C = 18.4 J

Com snubbers



Especificação do Snubber

Pára-Raios

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Tipo: | MOV |
| Modelo: | POLIM-D-36-11 ou Equivalente |
| Fabricante : | ABB; SIEMENS; ALSTOM; TOSHIBA |
| Uc : | 36 kV |
| Un: | 45 kV |
| High Impulse Current: | 100 kA (4/10 μ s) |
| Nominal Discharge Current: | 10 kA (8/20 μ s) |
| Energia: | 3.6 kJ/kV(Uc) |

Capacitor de Surto

| | |
|--------------------------|---|
| Tipo: | Surto |
| Capacitância Nominal: | 0.2 μ F |
| Tensão Nominal: | 34.5 kV |
| Frequência Nominal: | 60 Hz |
| NBI: | 200 kV |
| Norma: | IEC 60871-1/2005 |
| Sugestão de Fabricantes: | ABB; Inepar/IESA; LAELC; Alstom; Nokian |

Resistor

| | |
|--------------------------|--|
| Resistência = | 33 Ohms |
| Un= | 34.5 kV |
| Potência (Continuous) = | \geq 370 W |
| Energia = | \geq 60 kJ |
| NBI (BIL) = | 200 kV |
| Tipo: | Resistor cerâmico tubular não indutivo |
| Sugestão de Fabricantes: | Kanthal; Ohmic; Eletele |



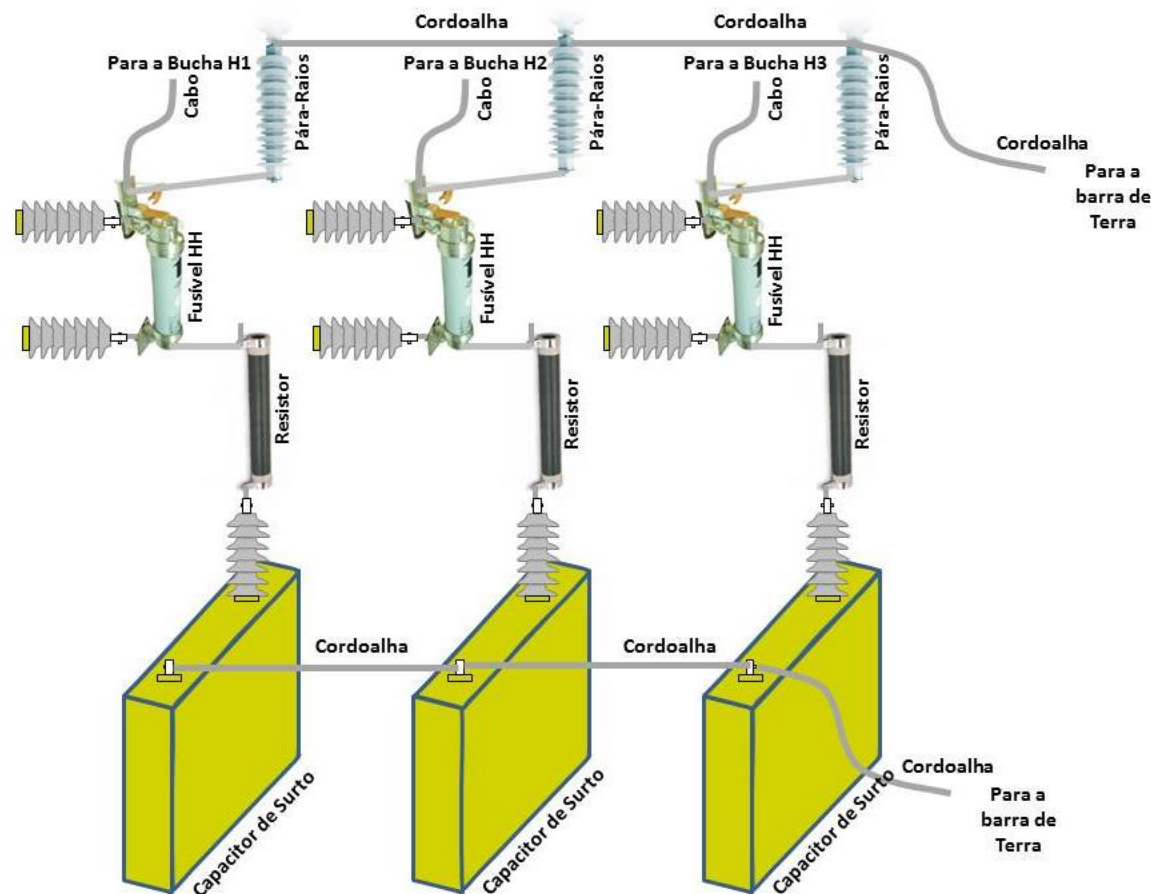
MONTAGEM / INSTALAÇÃO

a) Componentes

Devem ser de fabricantes reconhecidos no mercado.

b) Montagem

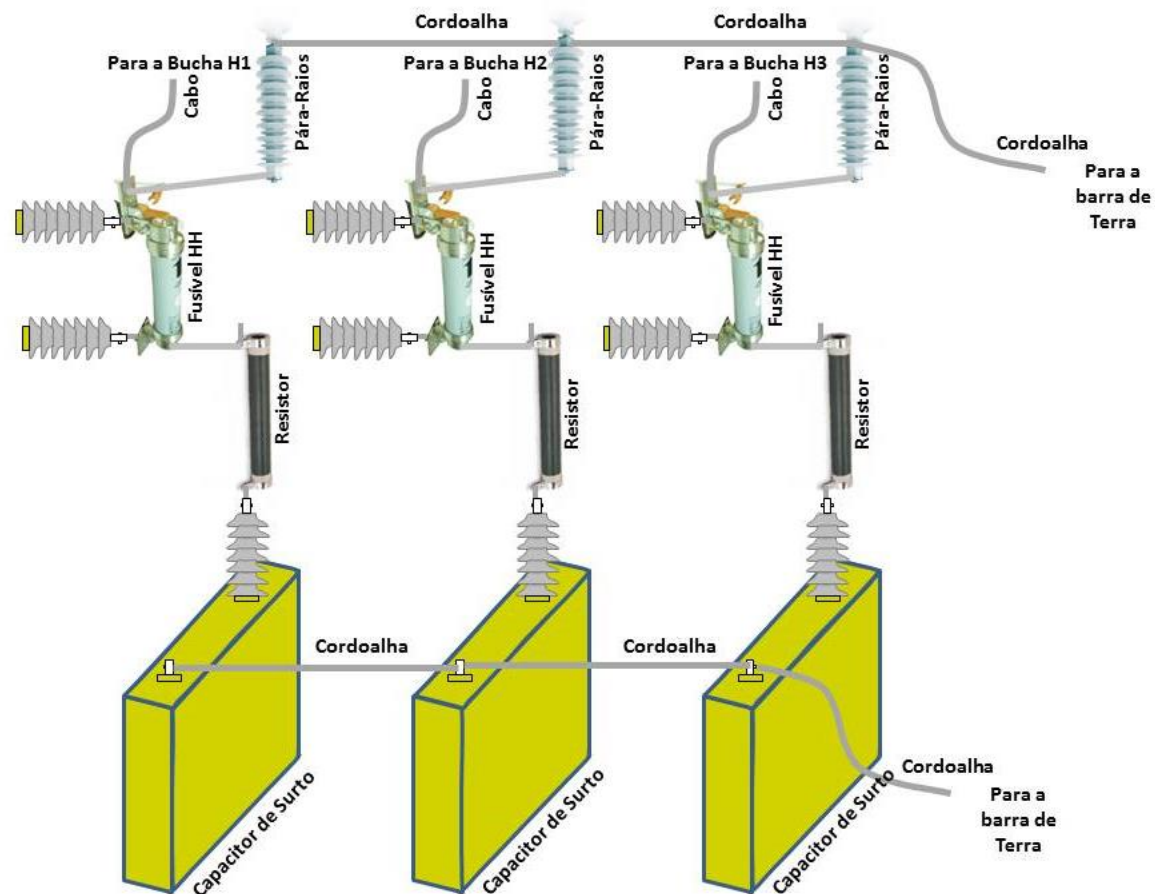
Os componentes devem ser montados o mais próximo possível um do outro para evitar indutâncias, que em altas frequências leva a elevadas reatâncias. Preferência para cordoalhas e barras chatas para interligação.



MONTAGEM / INSTALAÇÃO

c) Instalação

O conjunto deve ser instalado o mais próximo possível das buchas de alta, para evitar elevadas indutâncias que em altas frequências leva a elevadas reatâncias.



11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[01] IEEE Std C57.142™-2010

“IEEE Guide to Describe the Occurrence and Mitigation of Switching Transients Induced by Transformers, Switching Device, and System Interaction”

[02] Transformer Failure due to circuit breaker induced switching transients

Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), 2011
IEEE - David D. Shipp, Fellow, IEEE; Thomas J. Dionise, Senior Member IEEE;
Visuth Lorch and Bill G MacFarlane, P.E. Member, IEEE

[03] Analysis of Integral Snubber Circuit Design for Transformers in Urban High Rise Office Building. IEEE Transactions on Industry Applications

[04] Medium-Voltage Switching Transient-Induced Potential Transformer Failures: Prediction, Measurement, and Practical Solutions

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 49, NO. 4,
JULY/AUGUST 2013 - Daniel C. McDermit; David D. Shipp, Fellow, IEEE;
Thomas J. Dionise, Senior Member IEEE; and Visuth Lorch

[05] IEEE Std 1100 – IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (Emerald Book).



11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [06] IEEE Std 1159 – 1995
IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality



ANEXO –DRY TYPE TRANSFORMERS



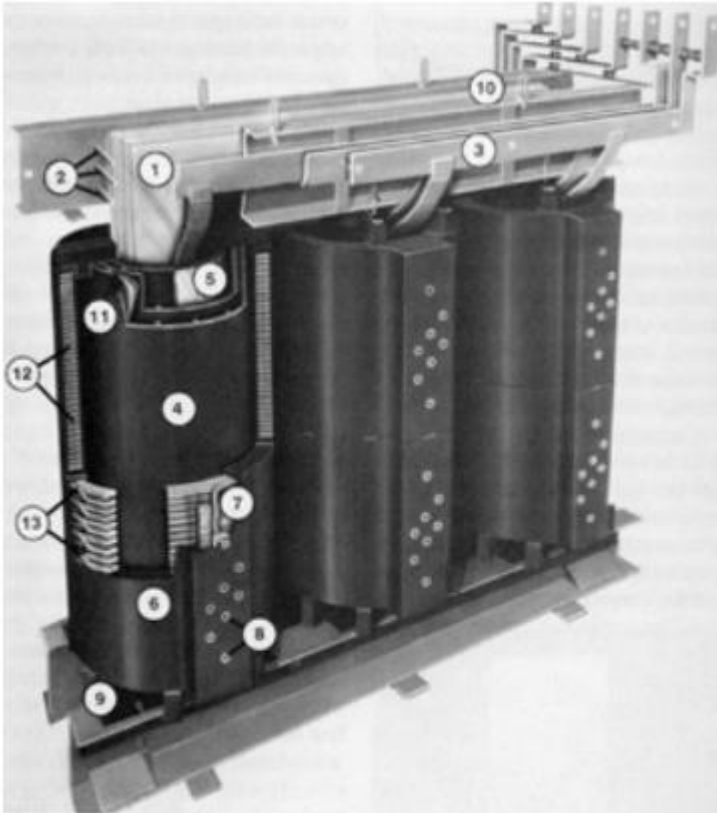
Photo 1. This 12,470V to 480V, 3-phase vacuum pressure encapsulated (VPE) transformer serving a large data center is dual rated at 2,000kVA and fan assisted to 2,666kVA. The right-hand side of the enclosure contains the medium-voltage switches, the middle section is the transformer, and the far left section contains the secondary 480V breakers.



Photo 2. Two 45kVA open wound dry-type transformers in a stacked configuration.



ANEXO –DRY TYPE TRANSFORMERS



A typical cast coil transformer consists of the low-voltage bus (1), clamp bolts (2), high-voltage bus (3), low-voltage winding (4), core (5), high-voltage winding (6), tap (7), tap terminals (8), transformer base (9), lifting channels (10), air channel (11), high-voltage winding conductors (12), and low-voltage conductors (13).

<http://ecmweb.com/content/basics-large-dry-type-transformers>

