

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ELETROTÉCNICA
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

SIDNEY HONORIO JUNIOR

FILTRO PARA ENSAIO DE DESCARGAS PARCIAIS EM
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017

SIDNEY HONORIO JUNIOR

**FILTRO PARA ENSAIO DE DESCARGAS PARCIAIS EM
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial da Coordenação de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Sumar

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017

SIDNEY HONORIO JUNIOR

FILTRO PARA ENSAIO DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado às **14hrs do dia 15 de Dezembro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.(a) **Dr Rodrigo Rodrigues Sumar**
Professor(a) Orientador(a)
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

Prof.(a) **Dr. Cristiano Marcos Agulhari**
Professor(a) Convidado(a)
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

Prof.(a) **DR. Paulo Rogério Scalassara**
Professor(a) Convidado(a)
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho à toda minha família, em especial aos meus pais Sidney Honório e Ana Angélica Saggin Ferreira Honório que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, me fortalecendo e me motivando.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder esta oportunidade e me dar forças e sabedoria para prosseguir.

Aos meus queridos pais Sidney Honorio e Ana Angélica Saggin Ferreira Honorio e minha irmã Fernanda Honorio, por estarem sempre me apoiando.

A minha querida amada Ráiza Pinheiro Corrêa, por sempre me incentivar a querer cada vez mais.

Aos amigos e companheiros que tive na universidade, pois todos, de alguma forma, contribuíram para que isto fosse possível.

A UTFPR, campos Cornélio Procópio, pela sua equipe de funcionários e toda a sua estrutura que foram de suma importância para a realização deste trabalho.

A todos os professores que tive ao longo dessa jornada por todo o conhecimento transmitido.

RESUMO

JUNIOR, Sidney Honorio. **Filtro para Ensaio de Descargas Parciais em Transformadores de Potência**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

Este trabalho tem como objetivo a elaboração e execução de um filtro ativo para limitar a frequência de corte para realização da medição de descargas parciais em transformadores de potência, de acordo com as exigências de entidades oficiais. Devido ao mercado de transformadores estarem em uma disputa cada vez mais acirrada entre os fabricantes, o diferencial de um para o outro é a qualidade de seu produto. Com este controle de descargas parciais estando de acordo com as normas vigentes, assegura-se um grau a mais nesta qualidade, garantindo um melhor funcionamento e uma vida útil mais longa do transformador.

Palavras-chave: Transformadores. Descargas Parciais. Filtro. Frequência de Corte.

ABSTRACT

JUNIOR, Sidney Honorio. **Filter for Partial Discharge Test in Power Transformers**. 2016. Conclusion Work Course Technology in Industrial Automation - Federal Technological University of Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

This work aims at the development and implementation of an active filter to limit the cutoff frequency for performing the measurement of partial discharges in power transformers in accordance with the requirements of official entities. Due to the transformers market is in an increasingly bitter dispute between manufacturers, the difference from one to the other is the quality of your product. With this control partial discharge is in accordance with current standards, ensures a degree more in this capacity, ensuring better performance and a longer service life of the transformer.

Keywords: Transformer. Partial Discharges. Filter. Frequency Cutoff

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva de resposta em frequência do filtro passa-baixa.....	15
Figura 2 - Circuito do filtro passa-baixa.....	16
Figura 3 - Curva de resposta em frequência do filtro passa-alta.....	17
Figura 4 - Circuito do filtro passa-alta.....	17
Figura 5 - Curva de resposta em frequência do filtro passa-faixa.....	18
Figura 6 - Circuito do filtro passa-faixa em série.....	19
Figura 7 - Circuito do filtro passa-faixa em paralelo.....	19
Figura 8 - Curva de resposta em frequência do filtro rejeita faixa.....	21
Figura 9 - Circuito do filtro rejeita faixa em série.....	22
Figura 10 - Circuito do filtro rejeita faixa em paralelo.....	22
Figura 11 - Transformador Elétrico.....	25
Figura 12 - Modelo de transformador criado por Ottó Bláthy, Miksa Déri e Károly Zipernowsky.....	26
Figura 13 - Exemplo de Transformador de Distribuição.....	27
Figura 14 - Exemplo de Transformador de Força.....	27
Figura 15 - Exemplo de Transformador à Seco.....	31
Figura 16 - Filtro passa-baixa instalado.....	39
Figura 17 - Esquema resumido do circuito de ensaio.....	39
Figura 18 - Alimentação do transformador sob teste.....	40
Figura 19 - Medição de descargas parciais.....	40
Figura 20 - Equipamento utilizado para medição de descargas parciais nos transformadores.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

DPs	Descargas Parciais
Um	Tensão Máxima
NBR	Norma Brasileira
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
kHz	Quilo Hertz
Hz	Hertz
RC	Resistor Capacitor
mΩ	Mili Ohms
kVAR	Quilo Volt Ampére Reativo
μF	Micro Farads
pC	Pico Coulombs

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
1.2.1 Objetivos Gerais	14
1.2.2 Objetivo Específico	14
2 FILTROS.....	15
2.1 INTRODUÇÃO	15
2.2 FILTROS PASSA-BAIXA.....	15
2.3 FILTROS PASSA-ALTA	16
2.4 FILTROS PASSA-FAIXA.....	18
2.5 FILTROS REJEITA-FAIXA.....	21
3 TRANSFORMADORES.....	25
3.1 TIPOS DE TRANSFORMADORES.....	26
3.1.1 Transformadores de distribuição.....	26
3.1.2 Transformadores de força.....	27
3.1.3 Transformadores especiais.....	28
3.1.3.1 Transformadores de pulsos.....	28
3.1.3.2 Transformadores scott.....	28
3.1.3.3 Transformadores zig-zag.....	28
3.1.3.4 Autotransformadores.....	28
3.2 TIPOS DE ISOLAÇÃO.....	29
3.2.1 Transformadores isolados em óleo isolante.....	29
3.2.1.1 Óleo mineral.....	29
3.2.1.2 Óleo vegetal.....	29
3.2.1.3 Óleo sintético.....	30
3.2.2 Transformadores isolados em resina epóxi.....	30
4 ENSAIOS EM TRANSFORMADORES ELÉTRICOS.....	32
4.1 ENSAIOS DE ROTINA.....	32
4.1.1 Relação de transformação, polaridade e defasagem angular.....	32
4.1.2 Resistência ôhmica dos enrolamentos.....	33

4.1.3 Resistência de isolamento.....	33
4.1.4 Ensaio de tensão aplicada.....	34
4.1.5 Ensaio de tensão induzida.....	34
4.1.6 Ensaio de perdas em vazio e corrente de excitação.....	34
4.1.7 Ensaio de perdas em carga e tensão de impedância.....	35
4.1.8 Perdas totais.....	35
4.1.9 Ensaio de descargas parciais.....	35
4.2 Ensaio de tipo.....	36
4.2.1 Ensaio de impulso atmosférico.....	36
4.2.2 Ensaio de aquecimento.....	36
4.2.3 Nível de ruído.....	37
5 CIRCUITO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DESCARGAS PARCIAIS...	38
5.1 Medições em Transformadores à Seco.....	41
5.2 Medições em Transformadores à Óleo.....	41
5.3 Resultados esperados.....	42
6 CONCLUSÃO.....	43
7 REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

No mundo atual, com todo o avanço tecnológico nas diversas áreas do conhecimento, e até mesmo em ações simples que são feitas diariamente, como um apertar de interruptor para se acender uma lâmpada, é praticamente impossível imaginar uma qualidade de vida para o ser humano sem a energia elétrica. Desde ações simples como conservar um alimento refrigerado até algumas de conforto, como um banho quente, precisamos de eletricidade. Para que essa energia elétrica chegue até nossas casas, a partir da geração, precisa-se de equipamentos para elevar seu nível até as linhas de transmissões e abaixar para chegar aos equipamentos domésticos. Para essa mudança de intensidade é imprescindível a utilização de transformadores.

Muito se mudou desde a construção do primeiro transformador de energia alternada, por Ottó Bláthy, Miksa Déri e Károly Zipernowsky em 1885. Nesta época, o foco era apenas elevar a tensão alternada com menos perdas que o sistema de corrente contínua, desenvolvido por Thomas Edison, em 1882. Assim, foi construído o primeiro modelo de transformador, sem a tecnologia e a preocupação com a qualidade que exigidas atualmente, porém com a mesma finalidade e princípio de funcionamento ao qual se aplica dali em diante.

As técnicas de fabricação e a tecnologia nela envolvida foram melhorando com o passar dos tempos, porém com elas foram surgindo novas preocupações ao longo desse processo, ou seja a qualidade do produto a ser fabricado. Uma dessas preocupações, e muito importante para se ter um equipamento com longa vida útil, são as chamadas descargas parciais ou DPs.

As DPs são sucessões de descargas elétricas incompletas, rápidas e intermitentes da ordem de nano segundos, que ocorrem pela proximidade entre duas partes condutoras de eletricidade em um meio isolante, pelo efeito de ionização em cavidades gasosas no interior dos materiais isolantes sólidos e líquidos. Tais descargas também podem ocorrer na zona de contato de isolantes sólidos (dielétricos) e superfícies metálicas submetidas à tensão elétrica. (WALTER M. CUENCA. 2005)

As descargas parciais em transformadores se dão em uma faixa de frequência de 100kHz até 400kHz. Para podermos detectar e medir essas descargas

parciais, precisamos alcançar esse nível de frequência, o que conseguimos com o auxílio de um filtro passivo passa-baixa no circuito de medição.

1.1 PROBLEMA

Mesmo com todos os avanços nos processos de fabricação, visando otimizar e melhorar o resultado final, ainda assim estamos sujeitos a alguma falha ou imperfeição durante a execução, seja essa falha humana ou mecânica.

Estas falhas que podem vir de uma imperfeição na isolação do condutor ou no preenchimento do material isolante, chamado de bolha, podem vir a acarretar a aparição de descargas parciais. Para medir a intensidade desta imperfeição ou desta bolha, se torna necessário a realização de um ensaio específico.

Para a realização deste ensaio de descargas parciais, se faz necessário ter um ambiente controlado, livre de influências externas que possam mascarar a real situação do ensaio. Em um ambiente de chão de fábrica, onde vários outros tipos de máquinas estão constantemente sendo utilizadas para diversos outros trabalhos, não se pode ficar na dependência destas máquinas serem paradas para realização do teste, conseguimos parcialmente este bloqueio de interferência com uma gaiola de Faraday, que seria nada mais do que uma blindagem elétrica, ou seja, tudo aquilo que está em seu interior está protegido de campos elétricos ou eletromagnéticos externos.

Com o transformador envolvido com esta gaiola, ainda tem-se a preocupação com circuito de alimentação e medição que serão acoplados no transformador sobre teste. Este circuito também pode gerar algum tipo de interferência externa, o que causaria uma medição imprecisa, invalidando o resultado obtido no ensaio.

Utilizando um filtro passivo passa-baixa pode-se eliminar este ruído externo, bem como delimitar a faixa de frequência em que o sistema vai operar.

Qualquer combinação de dispositivos passivos (R, L e C) e/ou ativos (transistores e amplificadores operacionais) projetada para selecionar ou rejeitar uma faixa de frequência é denominada filtro. [...] Os filtros também são usados para eliminar frequências indesejáveis, denominadas ruído, gerados por componentes

eletrônicos com características não-lineares ou captadas do ambiente.(ROBERT L. BOYLESTAD, 2004)

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

A partir da elaboração deste trabalho, pretende-se desenvolver um sistema de medição confiável e dentro das exigências das normas de vigentes para descargas parciais em transformadores de potência.

Com o desenvolvimento do mesmo, estima-se um aprendizado ainda maior, somado ao adquirido ao longo do curso de Tecnologia de Automação Industrial, além de implantar um sistema para realização de ensaios que opere corretamente.

1.2.1 Objetivos Gerais

Desenvolver um circuito livre de interferências externas para controle de descargas parciais em transformadores de potência.

1.2.2 Objetivo Específico

Pretende-se dimensionar um filtro que limite a frequência de corte para realização de ensaios e elimine qualquer tipo de ruído externo que possa vir a mascarar a medição final do teste. Este filtro será utilizado antes da entrada da alimentação do transformador sobre teste, será composto por capacitores e resistências. O acionamento deste filtro será automático, bastando apenas partir o gerador que irá alimentar o circuito do ensaio e liberar a alimentação deste, através de disjuntores e contatoras.

2 FILTROS

2.1 INTRODUÇÃO

Segundo DORF, R. C & SVOBODA, J. A. (2010), os primeiros filtros de frequência surgiram com as invenções do americano George Campbell e do alemão K. W. Wagner, no ano de 1915 devido à ascensão da popularidade do rádio, onde se fez necessário a redução dos ruídos de estática captados pelos receptores desses aparelhos. Foram neste período que surgiram os filtros RLC passivos, utilizando resistores, indutores e capacitores. Com esse início, se deu o desenvolvimento nos estudos sobre filtros, chegando aos vários tipos que temos hoje, que de acordo com a sua necessidade, possui uma determinada banda passante.

2.2 FILTROS PASSA-BAIXA

Os filtros passa-baixa, como o próprio nome já diz, permitem apenas a passagens de frequências abaixo da frequência de corte, com uma pequena atenuação, e atenuando fortemente todas as outras acima de um valor crítico, de acordo com a ilustração da figura 1.

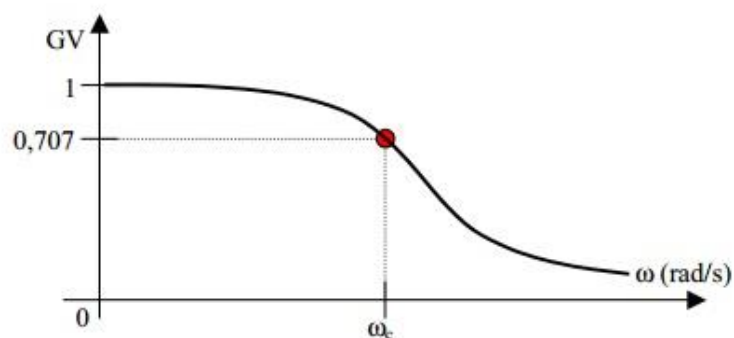


Figura 1 – Curva de resposta em frequência do filtro passa-baixa.

O comportamento do circuito varia de acordo com o sinal de frequência na tensão de entrada. Para sinais de baixa frequência ele tende a um circuito aberto devido a alta reatância ($X_c \gg R$) apresentada pelo capacitor. Nesta situação a maior parte da tensão de entrada estará sobre o capacitor de saída, fazendo com que o circuito permita a passagem de sinais com baixa frequência.

Quando o sinal de frequência na entrada é alto, o capacitor tende a se comportar como um curto circuito, pois apresenta baixa reatância ($X_c \ll R$), deixando assim a maior parcela de tensão sobre o resistor, ficando sobre o capacitor, que esta na saída, apenas uma pequena porção desta tensão. Com este comportamento, o circuito impede a passagem de sinais com alta frequência.

O circuito que determina este tipo de filtro é bem simples, obtêm-se através da utilização de um resistor em série com a entrada e um capacitor em paralelo, conforme mostra a figura 2.

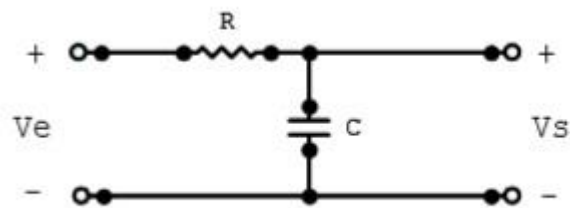


Figura 2 – Circuito do filtro passa-baixa.

A frequência de corte de um filtro passa-baixa pode ser obtida através da equação:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

2.3 FILTROS PASSA-ALTA

Estes tipos de filtros funcionam ao contrário dos filtros passa-baixa, ou seja, a sua banda passante é acima da frequência de corte, como ilustra a figura 3.

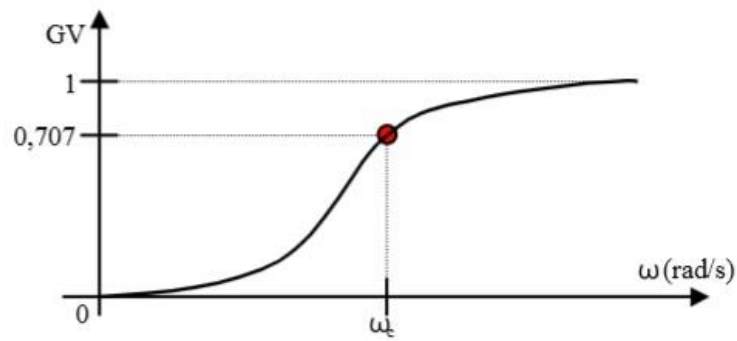


Figura 3 – Curva de resposta em frequência do filtro passa-alta.

Quando no circuito temos sinais com alta frequência, o capacitor tem um comportamento que tende a um curto-circuito, devido a apresentar baixa reatância capacitiva ($X_c \ll R$). Ocorrendo assim, a maior proporção de tensão de entrada estará sobre o capacitor na saída, fazendo com que o circuito deixe passar sinais de alta frequência.

Já com sinais de baixa frequência no circuito, o comportamento do capacitor tende a um circuito aberto, apresentando alta reatância capacitiva ($X_c \gg R$). Assim sendo, a maior parte da tensão de entrada estará sobre o capacitor, deixando apenas uma pequena parte sobre o resistor. Com isso, o circuito não permite a passagem de sinais de baixa frequência.

Do mesmo jeito que as frequências permitidas são inversas ao do filtro passa-baixa, seu circuito também é, basta alterar o posicionamento do capacitor com o da resistência para se obter o circuito, expresso na figura 4.

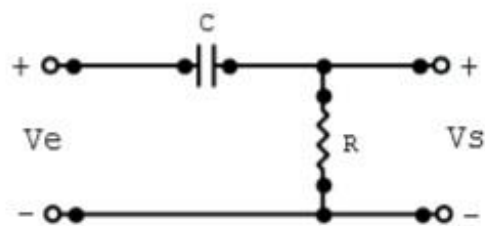


Figura 4 – Circuito do filtro passa-alta.

Para calcular essa frequência de corte nos filtros passa-alta pode-se utilizar da equação:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

2.4 FILTROS PASSA-FAIXA

Os filtros passa-faixa são um pouco mais complexos do que os passa-alta e passa-baixa. Baseiam-se na ressonância que ocorre entre indutores e capacitores em circuitos com corrente alternada. A sua banda passante concentra-se entre uma frequência de corte inferior e uma superior, assim como ilustrado na figura 5.

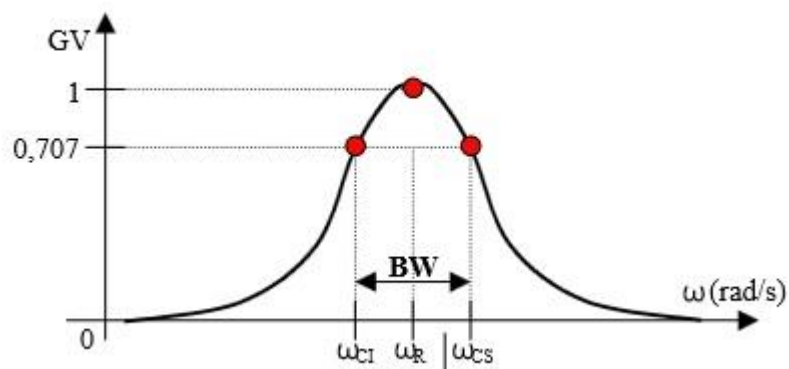


Figura 5 – Curva de resposta em frequência do filtro passa-faixa.

Para este tipo de filtro, são possíveis dois tipos de circuito, um deles em série, com um indutor e um capacitor em série na entrada, em paralelo com um resistor na saída (figura 6) e outro em paralelo, com um resistor na entrada em paralelo com um indutor e um capacitor também em paralelo um com o outro, como mostrado na figura 7.

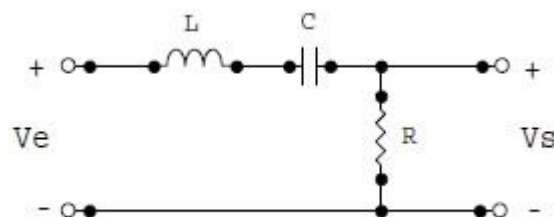


Figura 6 – Circuito do filtro passa-faixa em série.

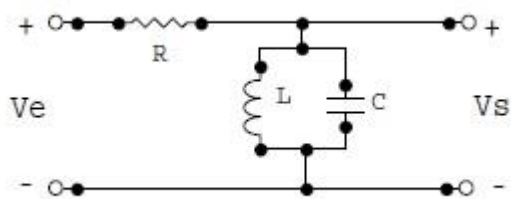


Figura 7 – Circuito do filtro passa-faixa em paralelo.

No filtro passa-faixa em série, para sinais de baixa frequência o comportamento do indutor tende a um curto-circuito, devido a sua baixa reatância indutiva, já o capacitor tende a comportar-se como um circuito aberto pela sua alta reatância capacitiva. Assim sendo, o capacitor receberá a maior parte da tensão de entrada, ficando o resistor na saída com a menor parte desta, fazendo com que o circuito não permita a passagem de sinais com baixa frequência.

Recebendo sinais de alta frequência, os papéis se invertem, o capacitor com uma baixa reatância capacitiva comporta-se como um curto-circuito, com o indutor comportando-se como um circuito aberto pela sua alta reatância indutiva. Com esta inversão, a maior parcela da tensão de entrada estará sobre o indutor, deixando a menor no resistor de saída. Comportamento com o qual faz com que o circuito impeça a passagem de sinais com alta frequência.

Porém, para sinais de frequência intermediária, que vão ocorrer quando estas frequências estiverem próximas à frequência de ressonância do circuito, o capacitor e o indutor irão se comportar como um curto-circuito, apresentando baixa reatância. Desta forma, a maior parte da tensão de entrada estará sobre o resistor de saída, permitindo assim que o circuito deixe passar sinais que estiverem dentro de uma determinada faixa de frequência.

Já para o filtro passa-faixa em paralelo, quando o sinal de entrada possui baixa frequência o capacitor apresenta alta reatância, se comportando tende a um circuito aberto, ao contrário do indutor, que apresenta baixa reatância e seu comportamento tende a um curto-circuito. Desta forma, a maior parcela da tensão fica sobre o resistor, com uma tensão de saída muito baixa, podemos dizer que o circuito não permite a passagem de sinais de baixa frequência.

Com sinais de entrada de alta frequência, o indutor tende a um circuito aberto, com reatância elevada e o capacitor tende a um curto-circuito, com baixa

reatância. Dessa maneira, novamente a maior parte da tensão de entrada está sobre o resistor deixando uma tensão baixa na saída. Assim sendo, dizemos que o circuito impede a passagem de sinais de alta frequência.

Porém, com sinais de frequência intermediária, que serão valores próximos a frequência ressonância do circuito, o indutor e o capacitor, com alta reatância, tenderão a comportar-se como um circuito aberto. Apresentando este comportamento, a maior parcela da tensão de entrada estará sobre o indutor e o capacitor, que fará com que o circuito permita a passagem de sinais dentro de uma determinada faixa de frequência.

Podemos determinar a frequência de corte para o filtro passa faixa em série pelas seguintes equações:

$$f_{c_{inferior}} = \frac{-RC \pm \sqrt{(RC^2 + 4LC)}}{2LC}$$

$$f_{c_{superior}} = \frac{RC \pm \sqrt{(RC^2 + 4LC)}}{2LC}$$

Para os filtros passa faixa em paralelo, pode-se chegar à frequência de corte a partir das equações:

$$f_{c_{inferior}} = \frac{\frac{-L}{R} \pm \sqrt{\frac{L^2 + 4LC}{R}}}{2LC}$$

$$f_{c_{superior}} = \frac{\frac{L}{R} \pm \sqrt{\frac{L^2 + 4LC}{R}}}{2LC}$$

Pode-se também determinar a frequência central da banda de passagem, que ocorre justamente no ponto que se chama de frequência de ressonância, através da equação que pode ser utilizada tanto para o circuito serie como paralelo:

$$f_r = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

2.5 FILTROS REJEITA FAIXA

Assim como nos filtros passa faixa, os filtros rejeita faixa também se baseiam na ressonância entre capacitores e indutores em circuitos de corrente alternada. A sua banda passante concentra-se em valores abaixo de uma frequência de corte inferior e acima de uma frequência de corte superior, como visto na figura 8.

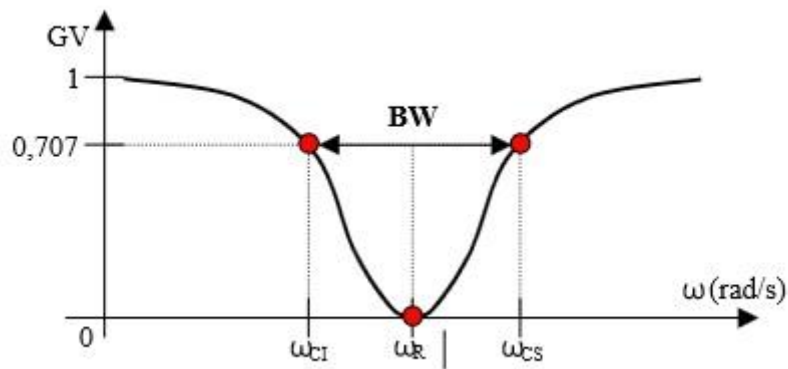


Figura 8 – Curva de resposta em frequência do filtro rejeita faixa.

O circuito característico, do mesmo modo que nos filtros passa faixa, pode ser em série ou em paralelo, mudando apenas o posicionamento dos componentes. No circuito em série, um resistor na entrada em paralelo com um indutor em série com um capacitor na saída (figura 9) e, no circuito em paralelo, um indutor em paralelo com um capacitor na entrada ambos em paralelo com um resistor na saída (figura 10).

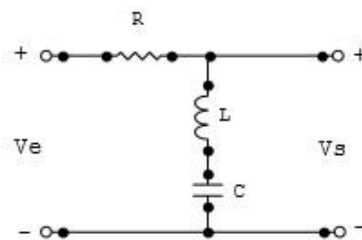


Figura 9 – Circuito do filtro rejeita faixa em série.

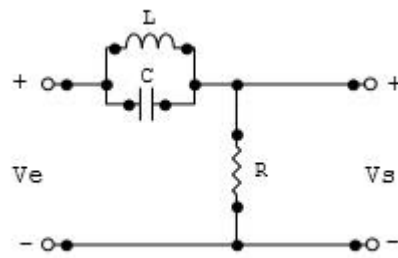


Figura 10 – Circuito do filtro rejeita faixa em paralelo.

Como princípio de funcionamento do filtro rejeita-faixa em série, em sinais de baixas frequências, o indutor apresenta sinais de baixa reatância, o que tende a um curto-circuito, diferentemente do capacitor, que apresentando alta reatância tende a ter comportamento de um circuito aberto. Sendo assim, com maior tensão no capacitor e menor tensão no resistor, a tensão apresentada na saída será quase a mesma da entrada, se comportando como um circuito que permite a passagem de sinais de baixa frequência.

Com sinais de frequência alta, os comportamentos do indutor e do capacitor se invertem em comparação aos sinais de baixa frequência. Alterando assim seu comportamento, os sinais permitidos de passagem são de alta frequência.

Contudo, em sinais onde se apresentam frequências intermediárias, próximas à frequência de ressonância, ambos os componentes terão baixa reatância, o que leva a um comportamento de um curto-circuito. Detectado este comportamento, a tensão de saída desse circuito estará próxima de zero, atenuando o sinal e fazendo com que o circuito rejeite sinais de frequência que se enquadram dentro de uma determinada faixa.

Para o circuitos em paralelo com baixo sinal de frequência, o capacitor terá uma elevada reatância, tendendo a se comportar como um circuito aberto e o indutor terá uma baixa reatância e se comportará como um sinal de curto-circuito. Apresentando maior parte da tensão sobre o resistor, o circuito irá permitir a passagem de sinais de baixa frequência.

Atuando de forma contrária quando com sinais de baixa frequência, com sinais de alta frequência o circuito permitirá a passagem de sinais de alta frequência.

Já com influências de sinais de frequências intermediárias, próximas a frequência de ressonância, ambos os componentes terão alta reatância, se comportando como circuito aberto, recebendo a maior parte da tensão do circuito e fazendo com que a tensão de saída se aproxime de zero, atenuando o sinal. Este comportamento faz com que o circuito não permita a passagem de sinais de frequência dentro de uma determinada faixa.

Para se determinar a frequência de corte de um filtro rejeita faixa em série, podemos nos basear nas seguintes equações:

$$f_{c_{inferior}} = \frac{-RC \pm \sqrt{(RC)^2 + 4LC}}{2LC}$$

$$f_{c_{superior}} = \frac{+RC \pm \sqrt{(RC)^2 + 4LC}}{2LC}$$

Em se tratando de um filtro rejeita faixa em paralelo, adotamos as seguintes expressões:

$$f_{c_{inferior}} = \frac{-\frac{L}{R} \pm \sqrt{\left(\frac{L}{R}\right)^2 + 4LC}}{2LC}$$

$$f_{c_{superior}} = \frac{+\frac{L}{R} \pm \sqrt{\left(\frac{L}{R}\right)^2 + 4LC}}{2LC}$$

Para se determinar a frequência central da banda de passagem, ou a chamada frequência de ressonância, podemos considerar para ambos os casos, em série e em paralelo, a seguinte equação:

$$f_r = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

3 TRANSFORMADORES

Transformadores são máquinas elétricas estáticas que possuem por finalidade a transformação de energia de um nível para outro, sem alteração da frequência, através de indução eletromagnética. Para que isto ocorra, um transformador deve ser constituído por pelo menos duas bobinas (primário e secundário) não interligadas entre si e um núcleo magnético com alta permeabilidade eletromagnética.

A utilização de transformadores nos beneficia devido as perdas em diferentes níveis de tensão. Quanto maior for o nível de tensão transmitida, menor será a corrente circulando no circuito, com isso a potência perdida será menor, bem como a secção do condutor por onde se percorre essa energia.

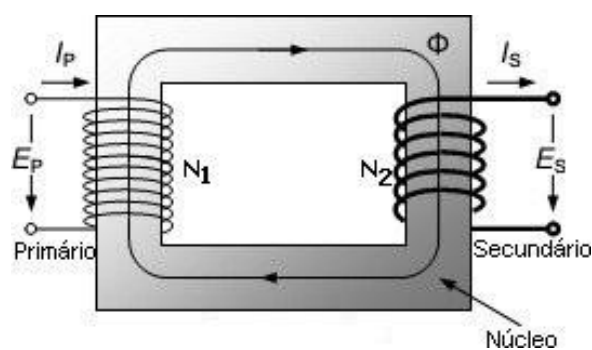


Figura 11 – Transformador Elétrico.

O conceito de transformador elétrico surgiu em 1831 com as pesquisas independentes do americano Michael Faraday (1791-1867) e do inglês Joseph Henry (1797-1878), que com seus trabalhos, descobriram o princípio da indução magnética. Devido à interesses distintos, Faraday se aprofundou mais no estudo desta descoberta, o que difundiu a sua teoria até os dias atuais, conhecida como Lei de Faraday.

No ano de 1885, os engenheiros da empresa Ganz Companies (Budapeste – Hungria), Ottó Bláthy (1860-1939), Miksa Déri (1854-1938) e Károly Zipernowsky (1853-1942) se beneficiaram dos estudos de Faraday e da necessidade da transmissão de energia elétrica devido a invenção da lâmpada elétrica por Thomas Edison (1847-1931) e criaram o primeiro transformador.



Figura 12 – Modelo de transformador criado por Ottó Bláthy, Miksa Déri e Károly Zipernowsky.

Com a invenção do transformador, possibilitou-se a criação das linhas de transmissão de energia elétrica e com isso, aumentou-se o acesso à eletricidade, levando ao desenvolvimento de cada vez mais aparelhos e máquinas utilizadas para facilitar e melhorar a vida das pessoas.

Ao passar do tempo, muito se evoluiu devido a novas tecnologias e aprimoramentos de conceitos até chegarmos nos transformadores que conhecemos hoje em dia. Devido às necessidades especiais que foram surgindo com equipamentos específicos, surgiram também outros tipos de transformadores.

3.1. TIPOS DE TRANSFORMADORES

Os transformadores trifásicos que conhecemos hoje em dia se dividem em diferentes tipos, cada um definido devido à sua aplicação. São eles:

3.1.1. Transformadores de Distribuição

Os transformadores de distribuição são os que geralmente vemos sendo utilizados em poste, mas não são os únicos que são denominados assim. São considerados transformadores de distribuição aqueles que recebem energia elétrica em altos níveis de tensão (geralmente até 36kV) e rebaixam para os níveis de tensão utilizados nas residências ou indústrias (geralmente até 440V).

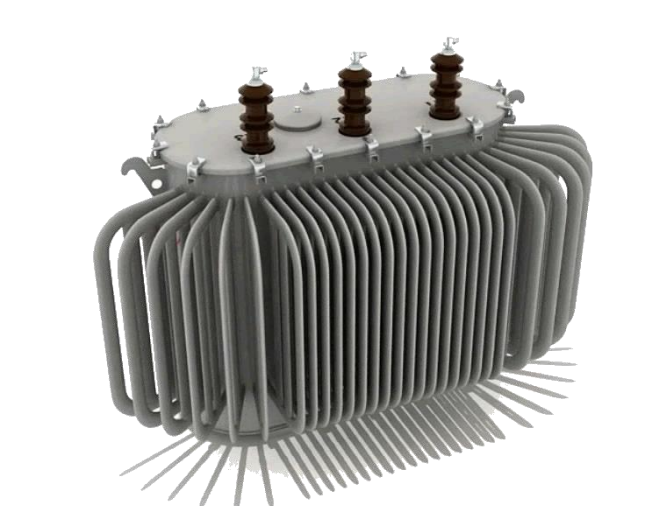


Figura 13 – Exemplo de Transformador de Distribuição

3.1.2. Transformadores de Força

Transformadores de força são assim denominados pois trabalham com elevados níveis de tensão (até 550kV). Sua aplicação se dá em subestações onde se recebe energia elétrica em altos níveis e a rebaixa para níveis menores que serão distribuídos para regiões mais próximas, sendo também utilizados com funcionamento elevadores, recebendo energia a energia gerada e elevando a níveis maiores para transmissão em longas distâncias.



Figura 14 – Exemplo de Transformador de Força.

3.1.3. Transformadores Especiais

Em casos onde se demanda um tipo de carga especial, o transformador utilizado para alimentação deve ser específico para este tipo de carga. Visivelmente não se difere de outros transformadores, porém sua diferença esta na forma como é construída sua parte ativa. Dentre os transformadores especiais, podemos destacar:

3.1.3.1. Transformadores de Pulsos

São utilizados em casos onde se tem a necessidade de separar o circuito de controle do circuito de potência, com duração do tempo do pulso adequada ao necessário para alimentação do tipo da carga, geralmente aplicados em tiristores.

3.1.3.2. Transformadores Scott

Transformadores do tipo scott são utilizados quando se necessita conectar um sistema trifásico a um sistema bifásico.

3.1.3.3. Transformadores Zig-Zag

Os transformadores do tipo Zig-Zag tem como função conduzir corrente elétrica de sequência zero, atuando como um aterramento.

3.1.3.4. Autotransformadores

São transformadores de apenas um enrolamento, onde a tensão induzida é maior nas extremidades da bobina, sendo caracterizado por menores dimensões e menor custo em comparação a transformadores convencionais, porém como não possui isolamento entre a entrada e a saída, sua utilização fica restrita a certos tipos de aplicação.

3.2. TIPOS DE ISOLAÇÃO

Por se tratar de uma máquina elétrica com condutores energizados, os transformadores necessitam de uma isolação para que não entre em curto-circuito entre espiras e entre os enrolamentos. Essa isolação pode ser dividida em dois tipos: isolados à óleo isolante ou resina epóxi.

3.2.1. Transformadores Isolados em óleo isolante

Atuando como um meio isolante em um transformador com isolação de papel entre as espiras e entre as bobinas, ocorre a impregnação do óleo nos papéis aumentando a rigidez dielétrica da parte ativa e preenche os espaços entre as partes energizadas e as partes aterradas do transformador (núcleo e tanque), evitando assim que haja um rompimento de isolação entre estas partes.

Devido ao aquecimento do transformador quando em operação, o óleo também tem a função de realizar o resfriamento, resultado da movimentação do óleo nos radiadores, onde o óleo mais frio desce dando lugar ao mais quente ocasionando esta circulação. O calor é dissipado através da troca de calor com o ar realizada pelos radiadores.

Muito utilizado no passado, o óleo do tipo ascarel, que era altamente tóxico, foi substituído por outros tipos de óleos que comumente encontramos em transformadores mais modernos, como:

3.2.1.1. Óleo Mineral

Originado através de um alto grau de refino do petróleo, este tipo de óleo é o mais utilizado em transformadores, pois apresentam um bom nível de rigidez dielétrica e um menor custo em comparação aos outros fluídos empregados para a mesma função. A desvantagem do seu uso se deve ao menor ponto de fulgor em comparação aos outros tipos de óleo e também devido ao alto grau de contaminação que apresenta ao meio ambiente em um eventual vazamento.

3.2.1.2. Óleo Vegetal

Considerado como o de menor impacto ambiental, o óleo vegetal é derivado da soja, girassol e outras matérias primas. Seu uso vem sendo muito incentivado, principalmente nas obras consideradas de energia limpa, como em parques eólicos e solares, sendo também muito aplicado em transformadores do tipo pad-mounted (com frente morta), pois como não se tem contato com nenhuma parte energizada, sua instalação se dá normalmente em locais com fluxo de pessoas, através de redes

subterrâneas. Outro ponto que conta a seu favor é seu alto ponto de fulgor, chegando a ser maior que o dobro em comparação ao óleo ao óleo mineral.

Sua única restrição é a utilização em transformadores de tensão superior a 420kV. Possui um custo mais elevado quando comparado à fluídos minerais, porém ainda é mais viável em relação aos fluídos sintéticos.

3.2.1.3. Óleo Sintético

Fluído obtido através de fontes sintéticas, o óleo de silicone tem um alto rendimento quando utilizado como meio isolante e refrigerante em transformadores, devido ao seu alto ponto de fulgor, que é ainda maior em comparação ao óleo vegetal, e menor perdas por calor dado ao seu melhor resfriamento. É um tipo de óleo não tóxico e ecológico, com altas propriedades dielétricas. Sua única desvantagem é o alto custo em comparação as outras opções de líquidos isolantes.

3.2.2. Transformadores Isolados em resina epóxi

Também conhecidos como transformadores à seco, esses transformadores não possuem nenhum tipo de caixa (tanque) para armazenamento de líquido isolante. Possui seus enrolamentos encapsulados com resina epóxi sob vácuo, que são auto-extinguível, criando assim um meio isolante que suporta altas temperaturas.

Esta resina se aloja entre as espiras e o filme que separa uma camada da outra. Os enrolamentos são dispostos separadamente, primário e secundário, resultando numa isolação entre ambos feita por ar e um cilindro isolante.

Possui um maior custo em comparação à transformadores isolados em óleo, porém a sua aplicação se difere devido as classes climáticas, ambientais e seu comportamento ao fogo.

É utilizado principalmente em locais fechados, com fluxo de pessoas nas proximidades, onde se necessite de um transformador que em caso de alguma falha, não acarrete um incêndio.

Devido a sua isolação, é um tipo de transformador restrito à 52kV.



Figura 15 – Exemplo de Transformador à Seco.

4 ENSAIOS EM TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

Transformadores elétricos são construídos de diversas formas e tamanhos, de acordo com a sua aplicação. Independente da forma como é construído, todos os transformadores necessitam passar por testes, que irão assegurar o seu bom funcionamento e sua qualidade.

A realização destes ensaios são de suma importância para se verificar possíveis falhas de projeto, fabricação ou até mesmo alguma falha humana durante sua construção. Falhas essas que poderão acarretar sérios danos aos próprio transformador, aos equipamentos por ele alimentados ou até mesmo para rede de distribuição em que ele se encontra instalado.

Para realização destes ensaios, são levados em questão o tipo do transformador, sua aplicação e a norma em que foi baseado o seu projeto, norma esta que determina quais os ensaios serão realizados em cada tipo de transformador.

Entre os ensaios a se realizar, podemos dividi-los em dois grupos:

- Ensaio de rotina: ensaios fundamentais para se assegurar o funcionamento do transformador de acordo com seu projeto e verificar os parâmetros básicos adotados para construção. A execução destes ensaios é obrigatória em todos os transformadores.
- Ensaio de tipo: ensaios especiais onde se determina a conformidade do transformador a outros parâmetros definidos por norma. Estes ensaios são realizados de acordo com a necessidade do proprietário do transformador em verificar estes parâmetros.

4.1. Ensaio de Rotina

4.1.1. Relação de Transformação, Polaridade e Defasagem Angular

A relação de transformação do transformador a ser submetido ao ensaio será medida em todas as derivações, devendo se confrontar as tensões do primário e secundário de acordo com o especificado em sua placa de identificação. Este

resultado irá comprovar que quando energizado por um dos enrolamentos, entregará a tensão especificada do outro no tap posicionado.

A polaridade é determinada em transformadores monofásicos, indicando o começo e o final de cada enrolamento.

A defasagem angular é determinada em transformadores trifásicos, confrontando o diagrama fasorial especificado.

A tolerância da relação medida durante o ensaio é quantificada de acordo com a norma em que se exige que o transformador seja ensaiado.

4.1.2. Resistência Ôhmica dos Enrolamentos

Como pré requisito para realização do ensaio, o transformador deve permanecer por no mínimo um período de 3 horas desenergizado antes da execução.

A resistência dos enrolamentos é medida através de uma fonte de corrente contínua, devendo ser medida na derivação de maior tensão, adotando como parâmetro para medição nas demais derivações.

Esta resistência é importante para se determinar a elevação de temperatura do transformador e é a responsável por grande parte das perdas em carga a ser medida. Através da resistência ôhmica também pode se verificar falhas nas soldas internas dos condutores das bobinas e também más conexões que eventualmente podem ser feitas.

4.1.3. Resistência de Isolamento

O ensaio de resistência de isolamento tem como finalidade verificar os níveis de isolação do transformador em teste. Esta isolação é verificada entre os enrolamentos primários e secundários e entre os enrolamentos e as partes aterradas do transformador.

Esta isolação é muito importante para assegurar que não ocorrerá nenhuma formação de arco elétrico entre as partes constituintes do transformador.

4.1.4. Ensaio de Tensão Aplicada

Em complemento ao ensaio de resistência de isolamento, o ensaio de tensão aplicada visa a verificação da isolação do transformador entre os seus enrolamentos e a massa (partes aterradas). Para o transformador ser considerado aprovado, não poderá apresentar nenhuma descarga durante o período do ensaio, que decorre em um minuto. A tensão aplicada durante o ensaio é pré determinada por norma de acordo com a sua classe de tensão.

4.1.5. Ensaio de Tensão Induzida

Com a finalidade de se determinar qualquer possível falha de isolamento entre as espiras de um mesmo enrolamento, o transformador é alimentado em 120Hz, onde é aplicada uma tensão equivalente ao dobro da tensão nominal verificando assim a isolação entre espiras dos dois enrolamentos. A duração do ensaio é de um (01) minuto (este tempo de ensaio pode variar com a frequência em que a tensão é gerada, sendo necessários 7200 ciclos para validar o ensaio). Caso não ocorra nenhuma falha no ensaio, o transformador é considerado aprovado.

4.1.6. Ensaio de Perdas em Vazio e Corrente de Excitação

Energizando o transformador com a tensão nominal de um dos enrolamentos e mantendo o outro aberto, sem nenhuma carga, é possível se medir as perdas por Histerese e Foucault dissipadas pelo núcleo, devido a sua magnetização ocasionada pela circulação de corrente. Esta corrente que circula pelo núcleo também é chamada de corrente de excitação ou corrente em vazio. Os valores das perdas e o percentual da corrente de excitação em relação a corrente nominal do enrolamento energizado são medidas e confrontadas com os valores estabelecidos por norma ou por contrato com o cliente.

4.1.7. Ensaio de Perdas em Carga e Tensão de Impedância

As perdas em carga de um transformador são medidas através de um dos terminais curto-circuitados e induzindo a corrente nominal do enrolamento alimentado. Estas perdas são obtidas através das perdas ôhmicas, determinadas pela resistência ôhmica e a corrente que circula em cada um dos enrolamentos. Somadas as perdas ôhmicas, as perdas por Foucault são geradas a partir do fluxo magnético disperso, que percorrendo os condutores, induz uma determinada tensão no próprio condutor, ocasionando o surgimento de correntes parasitas.

A tensão de impedância é definida através do percentual de tensão necessária, em relação a tensão nominal do enrolamento alimentado, para se obter a corrente nominal durante o ensaio de perdas em carga.

4.1.8. Perdas Totais

As perdas totais do transformador são definidas através da somatória das perdas em vazio e as perdas em carga obtidas nos ensaios.

4.1.9. Ensaio de Descargas Parciais

Propósito para o qual foi desenvolvido o presente estudo, as descargas parciais em transformadores são definidas como “descarga eléctrica localizada que preenche apenas parcialmente o isolamento entre os condutores e o qual pode ou não ocorrer adjacente a um condutor” (IEC 60270 Ed. 3, 2000).

O ensaio tem como função detectar a ocorrência dessas descargas, sendo realizado nas mesmas configurações que o ensaio de tensão induzida, com o transformador abrigado em um ambiente livre de interferências externas e interferências da própria alimentação do transformador.

Por se tratar de minúsculas descargas, dadas em um curto período de tempo e no interior dos enrolamentos, são visualmente imperceptíveis, porém com o

tempo de uso do transformador, pode acabar por comprometer a isolação acarretando danos ao transformador.

A medição dessas descargas são feitas por um equipamento de medição de descargas parciais, dadas em pC (pico Coulombs) e são consideradas aceitáveis em níveis menores que 10pC para transformadores à seco e 300pC para transformadores imersos em óleo.

4.2. Ensaio de Tipo

Dentre os principais ensaios considerados de tipo para transformadores, destacamos:

4.2.1 Ensaio de Impulso Atmosférico

Como o próprio nome sugere, neste ensaio é simulado a ação de impulsos atmosféricos, popularmente conhecidos como raios, atingindo o transformador. Quando energizados, os transformadores e as redes elétricas acabam por atrair descargas atmosféricas. Ao ser atingida, o potencial da rede elétrica é elevado a milhões de volts, por um período muito curto de tempo.

Por este fato, o transformador deve ser capaz de suportar esses curtos surtos da rede. Com a finalidade de se verificar esta suportabilidade, diversos capacitores são carregados e descarregados em um curto período de tempo no transformador.

A intensidade dessa tensão descarregada no transformador é definida por norma, de acordo com sua classe de tensão. O comportamento do transformador durante a ação dessas descargas é analisado, determinando ou não a sua aprovação.

4.2.2. Ensaio de Aquecimento

Com o intuito de medir o ponto de maior temperatura nos enrolamentos do transformador, o transformador é submetido ao ensaio em plena carga durante o

tempo necessário para se atingir a sua temperatura de estabilização, onde ocorre uma variação menor que 1°C em 3 horas em relação a temperatura ambiente.

Ao atingir esta temperatura, o transformador é desligado e imediatamente é medida a resistência ôhmica que comparada aos valores obtidos anteriormente, com o transformador em uma determinada temperatura. Deste modo é possível determinar a elevação de temperatura do transformador, que deve ser compatível com a estabelecida por norma ou com a temperatura máxima que o transformador foi projetado para trabalhar.

4.2.3. Nível de Ruído

A fim de se determinar o maior nível de ruído emitido pelo transformador, que ocorre quando este está trabalhando sem carga, devido as perdas por Histerese e Foucalt, deve-se controlar o ruído ambiente do local onde o ensaio será realizado.

O transformador é alimentado com a tensão nominal do enrolamento, estando o outro enrolamento aberto. A intensidade do ruído é medida em dB (decibéis) em diversos pontos ao redor do transformador, em uma distância de aproximadamente 1 metro das extremidades. Os valores obtidos são confrontados com os valores estabelecidos por norma para o transformador, de acordo com sua classe de tensão e potência nominal.

5 CIRCUITO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DESCARGAS PARCIAIS

Como já destacado anteriormente no presente estudo, sua finalidade é desenvolver um filtro para ensaio de descargas parciais, com o intuito de controlar o nível de ruído na rede para que o ensaio meça apenas as descargas parciais originadas pelo transformador submetido à teste.

Através das pesquisas realizadas para desenvolvimento deste tema e os resultados desejados, foram definidos os parâmetros para se alcançar o objetivo.

Como o local de desenvolvimento já possuía uma gaiola de Faraday instalada, utilizada para minimizar as interferências externas, uma outra alternativa buscada para minimizar essas interferências externas foi a utilização de um filtro de frequência no circuito de alimentação do transformador.

Devido as necessidades do circuito para realização do ensaio, definiu-se que a melhor opção para função desejada foi a utilização de um filtro passa-baixa no circuito de alimentação, permitindo somente a passagem de frequências abaixo dos níveis onde se iniciam as descargas parciais, o que ocorre acima dos 100kHz. Com esta utilização, elimina-se qualquer ruído que possa ser gerado pelo circuito de alimentação na faixa de frequência onde incidem as descargas parciais do transformador.

Após definir o tipo de filtro a ser utilizado, o próximo passo a ser definido são os valores dos componentes integrantes deste circuito. Como visto anteriormente, através desta frequência de corte desejada, podemos dimensionar os componentes. Adotado um valor padrão para o capacitor, conforme os padrões de fabricação, optou-se por um capacitor de 16,5 μF (25kVAR). Com estes componentes definidos, foi possível dimensionar o indutor através da seguinte equação:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$100.10^3 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot 16,5.10^{-6}}$$

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot 100.10^3 \cdot 16,5.10^{-6}}$$

$$R = 0,09646$$

$$R \cong 100m\Omega$$

Após os cálculos, ficou definido a utilização de um indutor com uma resistência equivalente de $100\text{m}\Omega$.



Figura 16 –Filtro passa-baixa instalado.

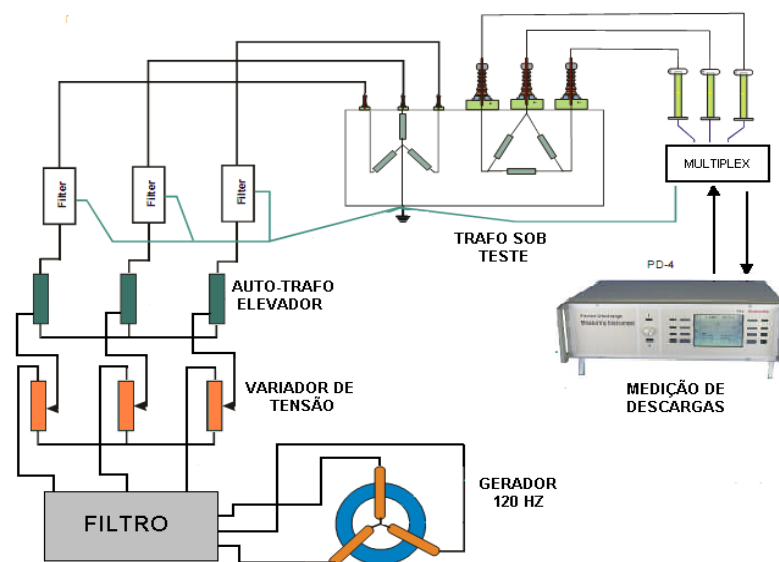


Figura 17 – Esquema resumido do circuito de ensaio.

Com o filtro instalado, na configuração do indutor em série e o capacitor em paralelo, e com o circuito montado e calibrado, um transformador é escolhido aleatoriamente para comprovar a eficácia da melhoria aplicada ao ensaio.



Figura 18 –Alimentação do transformador sob teste.



Figura 19 – Medição de descargas parciais.

Após a conferência do circuito de teste, calibração do aparelho de medição e todas as medidas de segurança tomadas, inicia-se o ensaio.

O procedimento é o mesmo utilizado para realização do ensaio de tensão induzida, com uma frequência de 120Hz, porém o método de leitura é diferente para transformadores à seco e à óleo.

5.1. Medições em Transformadores à Seco

A tensão de ensaio inicia-se em zero e é elevada gradativamente até atingir a tensão de $1,3xV_n/\sqrt{3}$. Esta tensão de pré estresse é mantida durante 30 segundos. Após estes período, a tensão é reduzida à $1,1xV_n/\sqrt{3}$, sendo mantida durante 1 minuto. Decorrido este tempo, é realizada uma leitura em cada uma das fases do transformador. Este procedimento é repetido até se obter 3 leituras para cada fase.

Os valores obtidos nesta leitura não podem exceder o máximo estipulado por norma, que no caso da NBR, é restrito à 10pC.

5.2. Medições em Transformadores à Óleo

Assim como nos transformadores a seco, a tensão de ensaio também inicia-se em zero sendo elevada gradativamente porém até atingir uma tensão igual a 130% da tensão nominal, realizando uma medição de descargas parciais após 5 minutos. Em seguida, esta tensão é elevada à 173% da tensão nominal, permanecendo assim por 30 segundos, sem necessidade de uma leitura. Após este período, a tensão retorna a 130% da tensão nominal, onde se mantém por um período de 1 hora, realizando-se leituras de descargas parciais em todas as fases a cada 10 minutos de ensaio.

Os resultados obtidos nas leituras não podem ultrapassar 300pC, em caso de ensaio regido pela NBR.



Figura 20 – Equipamento utilizado para medição de descargas parciais nos transformadores.

5.3. Resultados Esperados

Com o estudo realizado, a fim de promover uma melhoria no sistema de medição de descargas parciais, percebe-se uma notável diferença entre os valores de ensaios medidos anterior e posterior à utilização do filtro para eliminar ruídos externos.

Antes da sua utilização, notava-se interferências oriundas do próprio circuito de alimentação ou de algumas outras máquinas em utilização no ambiente de fábrica, tornando necessário a paralisação das máquinas para a realização do ensaio, acarretando paradas em alguns setores da fábrica.

Após a implementação do filtro, esta interferência deixou de existir, possibilitando a execução do ensaio em qualquer momento, sem impactar nenhuma paralisação de máquina.

O resultado obtido foi satisfatório, ocasionado uma melhoria no processo de ensaio de descargas parciais dos transformadores, evitando transtornos no ambiente de fábrica e interferências externas que poderiam mascarar ou comprometer os resultados do teste.

6 CONCLUSÃO

O mercado de transformadores elétricos está a cada dia tornando-se mais exigente, fato este que se deve a criação de normas cada vez mais rigorosas para regulamentação de transformadores e a exigência das concessionárias de energia de transformadores mais confiáveis, com melhor rendimento e maior vida útil.

Em frente a essas exigências, os fabricantes de transformadores se vêem na obrigação de desenvolver produtos cada vez melhores, com uma margem de erro muito pequena ou praticamente nula em seus projetos.

Confrontando principalmente com a confiabilidade e a vida útil do transformador, as descargas parciais geradas nos seus enrolamentos torna-se um fator crítico perante a esses quesitos, pois com o tempo de uso, acarretam maior deterioramento nos transformadores.

O desenvolvimento do filtro passa-baixa para aplicação no circuito de alimentação dos transformadores sob ensaio de descargas parciais assegura um resultado mais confiável para este ensaio.

Este fator é muito importante para assegurar a qualidade do transformador e não causar nenhum transtorno em caso de um posterior ensaio comprobatório em laboratórios terceirizados.

Por fim, observa-se a contribuição do presente estudo para uma melhoria no controle de qualidade e maior confiabilidade do produto fabricado pela empresa perante ao mercado.

7 REFERÊNCIAS

Boylestad, Robert L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. LTC Editora, Rio de Janeiro, 1999.

IEC 60270: **High-voltage test techniques – Partial discharge measurements**, third edition, 2000.

Walter Martin Huamán Cuenca, **Caracterização dos Sinais de Descargas Parciais em Equipamentos de Alta Tensão a Partir de Modelos Experimentais**, Tese de doutorado em Engenharia Elétrica – UFRJ, 2005.

F. H. Krueger. “**Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment**”. 1.ed. London: Butterworths, 1989.

ABNT NBR 5356-3 – **Transformadores de potência** - parte 3: Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos em ar, 1ª edição, 2007.

Dorf, Richard C. e Svoboda ,James A. **Introdução a circuitos eletricos**, - 8ª ed. 2010.

Da Silva, Jefferson Pereira, Apostila de Eletrônica de Potência, disponível em http://www.netsoft.inf.br/aulas/EAC_Curso_Eletronica_Aplicada/7.1_Apostila_Eletronica_Potencia.pdf, acessado em 01/12/16.

Quaglino, Maria Ana. Bibliografía Ottó Titussz Bláthy, disponível em <http://www.dee.ufrj.br/Museu/blathy.html>, acessado em 01/12/16.