

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA
ÊNFASE EM QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA (TRT)

Por

Rimon de Oliveira Alves

Monografia de Final de Curso

Prof. Glássio Costa de Miranda
(Orientador)

Belo Horizonte, Maio de 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA
ÊNFASE EM QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA (TRT)

Rimon de Oliveira Alves

Prof. Glássio Costa de Miranda

Monografia submetida à Banca Examinadora designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Certificado de Especialista em Sistemas de Energia Elétrica com Ênfase em Qualidade da Energia Elétrica.

Belo Horizonte, Maio de 2012

TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA (TRT)

Rimon de Oliveira Alves

Monografia submetida à Banca Examinadora designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Certificado de Especialista em Sistemas de Energia Elétrica com Ênfase em Qualidade da Energia Elétrica.

Aprovada em ____ de _____ de _____.

Por:

Prof. Glássio Costa de Miranda
(Orientador)

Prof. Eduardo Nohme
(Relator)

RESUMO

Durante as manobras com disjuntores e possíveis reignições, ocorre o surgimento de um arco elétrico entre os contatos, sustentado pela corrente do circuito, energia, temperatura do próprio arco e pelas partículas metálicas provenientes da evaporação dos contatos.

Apesar dos contatos abertos, a corrente circula pelo arco elétrico e só se extingue quando seu valor instantâneo passa pelo valor zero.

No momento da extinção da corrente ocorre o fenômeno transitório da TRT, Tensão de Restabelecimento Transitória ou TRV (Transient Recovery Voltage) provocando a “deformação” da onda senoidal em picos de sobretensão transitórias.

Essas tensões transitórias causam depreciação e falhas em equipamentos elétricos, por exemplo, transformadores de potência.

O objetivo do trabalho proposto é analisar as tensões de restabelecimento transitórias, seus aspectos relevantes e as falhas que elas provocam nos transformadores, inclusive na redução de sua vida útil.

ABSTRACT

During manipulations with breaker and possible reignições, the arising of an electric bow occurs between the contacts, maintained by the circuit's current, bow's itself temperature and by metallic particles originated from the contacts boiling.

Despite the opened contacts, the current, circles through the electric bow and extinguishes only when its instantaneous value passes through the value zero.

At the currents extinguishment moment the Transient Recovery Voltage (TRV) phenomenon occurs causing the sinusoid wave deformation into peaks of transient over voltage.

These transient voltage cause electric devices depreciation and failure, in transformer of power, for example.

The objective of the proposed homework is to analyses the transient voltage reestablishment, its relevant features and failures they cause in transformer, including their cycle of life decrease.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação das Sobretensões	11
Figura 2 – Envoltória da TRT – Representação a dois parâmetros (Disjuntores até 100kV)	16
Figura 3 – Envoltória da TRT – Representação a quatro parâmetros (Disjuntores superiores a 100kV)	16
Figura 4 – Exemplo onde não ocorre superação.....	18
Figura 5 – Exemplo onde ocorre superação.....	18
Figura 6 – Exemplo TRT na interrupção de uma corrente de curto simétrica	19
Figura 7 – TRT no disjuntor.....	23
Figura 8 – TRT no religador	24
Figura 9 – TRT no religador	24

TABELAS

Tabela 1 – Resultados na Subestação de João Pessoa	22
Tabela 2 – Resultados na Subestação de Bessa.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. DESENVOLVIMENTO DO TEMA.....	10
2.1 AS SOBRETENSÕES DO SISTEMA ELÉTRICO	10
2.2 TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA	13
2.3 SUPERAÇÕES E SEVERIDADE DAS TRTs.....	17
2.4 IMPACTO DAS TRTs EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS.....	20
2.5 ESTUDO DE CASO	21
3. CONCLUSÃO	25
4. BIBLIOGRAFIA.....	26

1. INTRODUÇÃO

A maior disponibilidade de energia e sua utilização cada vez mais presente no cotidiano das pessoas e, nas industriais, o aumento do consumo e o aprimoramento e desenvolvimento de equipamentos mais eficientes, modernos e sensíveis às perturbações do sistema elétrico acarretam no aumento das discussões de assuntos acerca da qualidade da energia elétrica.

Entende-se como Qualidade da Energia a avaliação do desempenho da energia elétrica fornecida aos consumidores sobre diversos aspectos, entre eles variação da frequência, flutuação, desequilíbrio, sobretensão, manutenção do valor r.m.s da tensão, distorção harmônica e continuidade do serviço, ou seja, qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou desvio de frequência, que resulte em falha ou má operação dos equipamentos de consumidores.

Entende-se como uma energia de boa qualidade aquela que possui uma avaliação positiva desses aspectos [5].

O desenvolvimento tecnológico e a automação industrial fizeram parecer no mercado dispositivos e equipamentos elétricos cada vez mais sensíveis às perturbações e à qualidade da energia. Uma dessas perturbações do sistema elétrico são as sobretensões e entre elas as chamadas TRT's (Tensão de restabelecimento transitório) que são caracterizadas pelo transitório de tensão originada por um impulso de manobra dos disjuntores na interrupção das correntes de falta.

A natureza da tensão de restabelecimento transitória, ocasionada no instante de extinção de uma corrente de falta, depende do circuito que está sendo interrompido e, em muitos casos provocam grande solicitação térmica e dielétrica na câmara de extinção dos disjuntores e também nos equipamentos instalados a jusante dos mesmos [4].

Vários estudos de TRT, que é parte de um conjunto mais abrangente conhecido como estudo de transitórios eletromagnéticos e neste caso, transitórios causados

por mudanças bruscas das condições de um circuito elétrico estudos, veem sendo feitos no intuito de conhecer melhor o seu comportamento e tentar mitigar seus efeitos nos equipamento elétricos.

Com os avanços desses estudos será possível especificar de forma mais segura e adequada equipamentos capazes de suportar as superações elétricas aos quais estarão sujeitos e minimizar as consequências das TRT na qualidade e no perfeito funcionamento do sistema elétrico.

2. DESENVOLVIMENTO DO TEMA

2.1 AS SOBRETENSÕES DO SISTEMA ELÉTRICO

Os equipamentos e componentes dos sistemas elétricos de potência têm suas características funcionais normalmente dimensionadas para funcionamentos em condições nominais, suportando solicitações de corrente e tensão de regime permanente. Porém, os sistemas elétricos, quando submetidos a situações anormais de serviços, dão origem a fenômenos transitórios e os seus equipamentos e componentes devem ser capazes de suportar estas solicitações também.

Enfim, o sistema elétrico e seus componentes devem ser determinados para suportar as piores solicitações e distúrbios a que podem ser submetidos e estas situações são normalmente produzidas durante situações transitórias dos sistemas.

Um tipo de distúrbio ao qual o sistema é por várias vezes exposto são os distúrbios de sobretensão.

Entende-se como sobretensão qualquer tensão entre fases ou entre fase e terra, cujo valor de crista excede o valor de crista deduzido da tensão máxima do equipamento, $u_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$ ou $u_m \sqrt{2}$, respectivamente [2].

As sobretensões são divididas em duas classes:

2.1.1 Tensão contínua de frequência fundamental

É a tensão de frequência fundamental, considerada como tendo valor eficaz constante, continuamente aplicada a qualquer par de terminais de uma configuração de isolamento [2].

2.1.2 Sobretensão temporária

É a sobretensão de frequência fundamental de duração relativamente longa. Esta sobretensão pode ser não amortecida ou fracamente amortecida. Em

alguns casos sua frequência pode ser várias vezes menor ou maior do que a frequência fundamental[2].

Entre as tensões temporárias encontram-se as tensões transitórias que são as sobretensões de curta duração, de alguns milissegundos ou menos, oscilatória ou não oscilatória e em geral fortemente amortecida[2].

A figura 1 abaixo resume, de forma ilustrativa, a classificação das sobretensões.

Classe	Baixa frequência		Transitório		
	Contínua	Temporária	Frente lenta	Frente rápida	Frente muito rápida
Forma da tensão					
Faixas de formas de tensão	$f = 50 \text{ Hz ou } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \text{ s} \geq T_t \geq 0,03 \text{ s}$	$5000 \mu\text{s} \geq T_{cr} > 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$20 \mu\text{s} \geq T_1 > 0,1 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$100 \text{ ns} \geq T_f > 3 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$ $T_t \leq 3 \text{ ms}$
Forma normalizada da tensão	$f = 50 \text{ Hz ou } 60 \text{ Hz}$ T_t^*	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	$T_{cr} = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2500 \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$.
Ensaio normalizado de tensão suportável	.	Ensaio de frequência fundamental de curta duração	Ensaio de impulso de manobra	Ensaio de impulso atmosférico	.

*) A ser especificado pela norma do respectivo equipamento.

Figura 1 – Classificação das Sobretensões [2]

As tensões transitórias possuem várias causas e origens tanto externas como internas. Dentre suas causas mais comuns podemos destacar:

- Descargas atmosféricas;
- Faltas trifásicas, bifásicas, aterradas ou não aterradas e faltas monofásicas;

- Atuação de equipamento de manobra, tais como disjuntores, seccionadores e chaves de aterramento;
- Conexão e desconexão de linhas, reatores em derivação, bancos de capacitores ou transformadores;
- Rejeição de carga.

Conforme dito anteriormente os equipamento e componentes dos sistemas elétricos devem ter dimensionamento suficiente para suportar as solicitações de sobretensão transitórias, pois as consequências das sobretensões no sistema são distúrbio, danos ou falhas em equipamentos de consumidores (particularmente os eletrônicos), paradas de processos industriais ou motores de velocidade controlada e problemas em redes de computadores.

Os principais distúrbios e consequências das tensões transitórias para os sistemas elétricos são:

- Degradação do isolamento dos equipamentos;
- Danos a transformadores (falhas de isolação), para-raios e ruptura em isoladores;
- Atuação indesejada de proteções;
- Danos dielétricos e mecânicos em células de bancos de capacitores e em disjuntores (explosão de câmaras de abertura);
- Degradação excessiva e até danificação de para-raios ZnO e convencionas devido a dissipação de energia elevada ou disparo em resselagem;
- Danos em equipamentos de manobra pelo reacendimento do arco durante a deserenergização.

Em função de tudo que foi dito acerca das sobretensões é clara a importância e a necessidade das discussões sobre estas e, neste caso as sobretensões transitórias causadas por disjuntores no momento de interrupção de uma corrente de falta, a tensão de restabelecimento transitória (TRT).

2.2 TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA

Quando ocorre um curto circuito no sistema, a corrente de defeito é sem dúvida a solicitação mais severa que pode ser imposta ao disjuntor. Um dos principais fatores associados à corrente de falta é a Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT) que aparece entre os contatos do disjuntor após a interrupção dessa corrente.

Durante o processo de interrupção, o arco elétrico perde rapidamente a condutividade à medida que a corrente se aproxima do zero. Em alguns microssegundos após o zero de corrente, essa cessa de fluir no circuito. A resposta do sistema a interrupção da corrente é que gera a Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT) [2].

O sistema elétrico reage a esta interrupção de corrente sob a forma de oscilações transitórias, que dá origem à TRT. Em outras palavras a TRT é a diferença entre a resposta transitória do lado fonte e a do lado carga nos pólos de um disjuntor/religador.

A natureza da TRT depende do circuito que está sendo interrompido, podendo este ser resistivo, indutivo, capacitivo ou uma combinação qualquer destes. Também elementos concentrados ou distribuídos produzirão diferentes formas de onda de TRT.

A tensão entre os contatos que surge no instante da interrupção apresenta duas fases distintas:

- Fase I – caracterizada por oscilações de alta frequência superpostas à onda de frequência fundamental (taxa de crescimento da TRT);
- Fase II – caracterizada apenas por uma onda de frequência fundamental (pico da TRT).

As taxas de crescimento da TRT (fase I) são muito importantes, até cerca de 20 μ s após a interrupção da corrente, período em que os contatos ainda estão muito próximos, o meio altamente ionizado e o arco recém-extinto provocou temperaturas da ordem de 50.000 K [2].

O pico da TRT torna-se preponderante, cerca de centenas de microssegundos após a interrupção, período em que os contatos já estão mais afastados e a rigidez dielétrica do meio é submetida ao estresse da tensão de frequência fundamental.

A forma de onda da TRT depende fundamentalmente dos parâmetros do circuito, os quais por sua vez dependem da configuração do sistema, tipo e local da falta.

A forma de onda da TRT depende fundamentalmente dos parâmetros do circuito, os quais por sua vez dependem da configuração do sistema, tipo e local da falta.

A TRT é particularmente elevada após a abertura de faltas terminais e quilométricas, definidas a seguir:

- Faltas terminais - correspondem a defeitos trifásico, bifásico aterrados ou não e monofásicos ocorridos nos terminais dos disjuntores das conexões dos transformadores, das linhas de transmissão, das linhas de distribuição ou verificados nos barramentos [2].
- Faltas quilométricas - são defeitos trifásico, bifásico aterrados ou não e monofásicos que acontecem nas linhas de transmissão ou nos alimentadores a poucos quilômetros do disjuntor [2].

As principais grandezas a serem analisadas num estudo de TRT são:

2.2.1 Corrente a ser Interrompida pelos Disjuntores

A corrente a ser interrompida pelos disjuntores quando comparada à sua capacidade simétrica de interrupção de curto-circuito, indicará qual a envoltória mais apropriada para a análise dos demais parâmetros. Portanto, o conhecimento do valor desta corrente determinará quais serão os parâmetros da envoltória da TRT, para efeito de especificação dos disjuntores.

2.2.2 Taxa de crescimento da TRT (TCTRT)

É dado em $\text{kV}/\mu\text{s}$. O valor da taxa de crescimento está relacionado com o primeiro pico de tensão (U_1) e o seu tempo de ocorrência (T_1).

Nos instantes iniciais da separação dos contatos do disjuntor, quando estes ainda estão muito próximos um do outro e as temperaturas internas estão ainda bastante elevadas, é necessário que o resfriamento no interior da câmara de extinção seja mais rápido que o crescimento da TRT de modo a não permitir a ionização do meio de extinção, impedindo a reignição térmica.

2.2.3 Valor de Pico da TRT

São os picos da onda da TRT (U_c), em kV, que não podem ser superiores à suportabilidade dielétrica do meio de extinção, para que não haja ruptura do dielétrico. Este parâmetro é considerado quando os contatos dos disjuntores estão mais afastados e as temperaturas no interior da câmara já são menores. Caso a distância entre os contatos do disjuntor não seja suficiente para suportar o valor de U_c , haverá uma falha dielétrica no equipamento.

Dependendo da tensão nominal e de outras características do sistema, pode-se ter, na prática, diferentes formas de onda de TRT que são determinadas através de representações por dois ou quatro parâmetros.

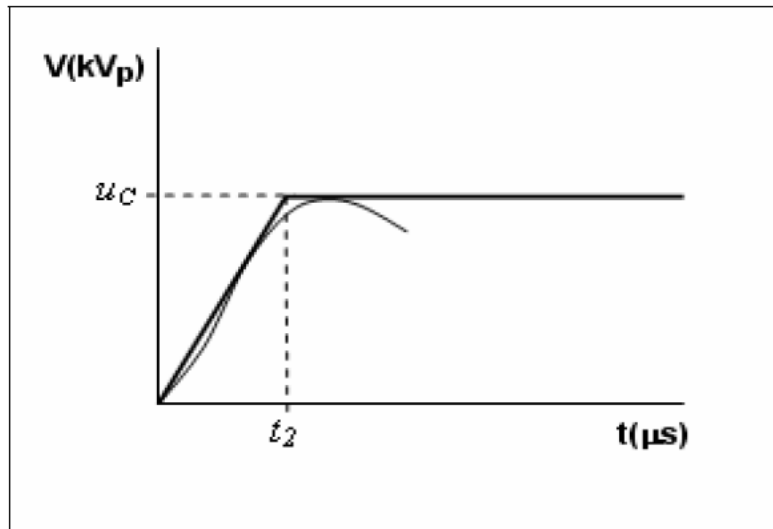


Figura 2 – Envoltória da TRT – Representação a dois parâmetros (Disjuntores até 100kV) [2]

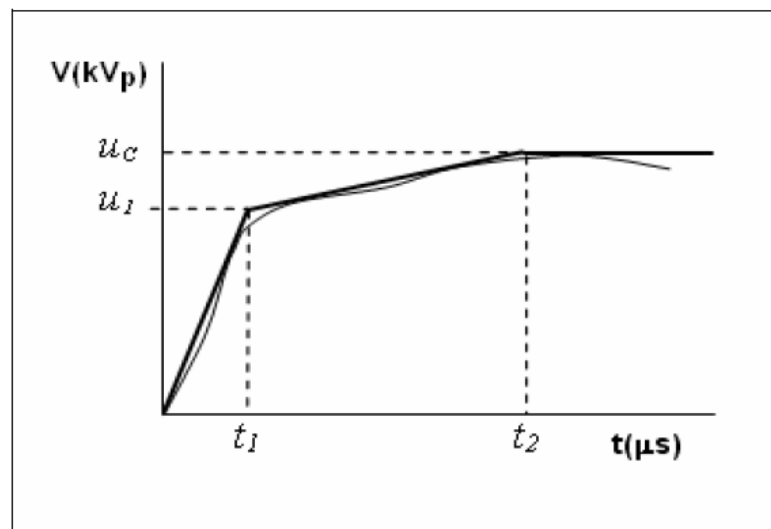


Figura 3 – Envoltória da TRT – Representação a quatro parâmetros (Disjuntores superiores a 100kV)

[2]

A falta terminal é mais severa para valores de pico da TRT, enquanto que a falta quilométrica é mais severa para valor da taxa de crescimento da TRT.

Existe grande variedade de formas de onda de TRT possíveis de ocorrer e o seu cálculo, por se tratar de um fenômeno transitório, envolve soluções de equações diferenciais mediante processos de integração numérica.

2.3 SUPERAÇÕES E SEVERIDADE DAS TRTs

Os disjuntores devem ser capazes de suportar as tensões de restabelecimento transitórias mais severas que podem ocorrer e solicitar estes equipamentos durante sua operação. Os parâmetros que definem a severidade da tensão de restabelecimento transitória são sua taxa de crescimento (TCTRT) e seu máximo valor de pico (U_c) [3].

A expansão do sistema elétrico acarreta, geralmente, maior distorção e amortecimento das ondas refletidas das solicitações transitórias provocadas por manobras, resultando, em princípio, em solicitações menos severas para os equipamentos e instalações. Por outro lado, a conseqüente elevação dos níveis de curto-circuito acarreta aumento da severidade da TRT dos disjuntores [2].

Portanto, o valor da crista da TRT, bem como a TCTRT (Taxa de Crescimento da TRT), são grandezas que devem ser investigadas em decorrência da expansão da rede elétrica, pois podem caracterizar a superação das características nominais de suportabilidade dielétrica ou térmica dos disjuntores.

A adequação dos disjuntores quanto às solicitações das TRT é verificada através da comparação, em um mesmo gráfico, do oscilograma da TRT propriamente dita com a envoltória prevista nas normas IEC 62271-100 e NBR 7118 ou especificada pelo fabricante. O disjuntor é considerado superado por TRT quando o oscilograma ultrapassa a envoltória em algum ponto [3]. As figuras abaixo apresentam as análises dessa comparação.

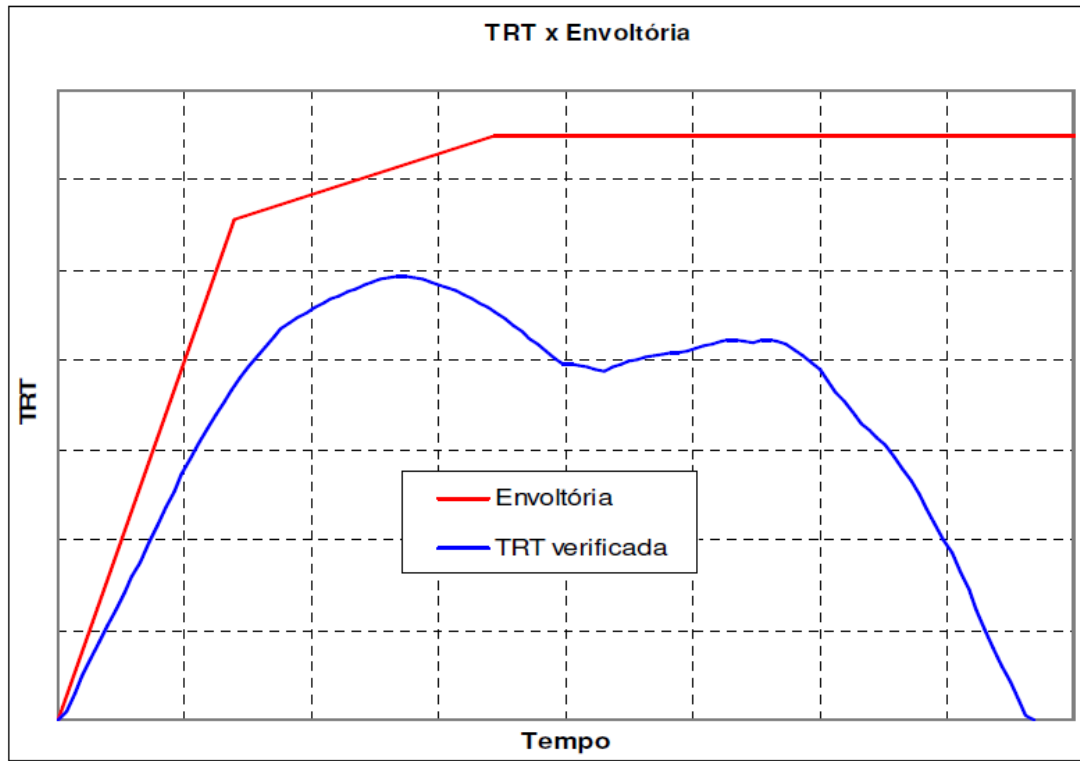


Figura 4 – Exemplo onde não ocorre superação [3]

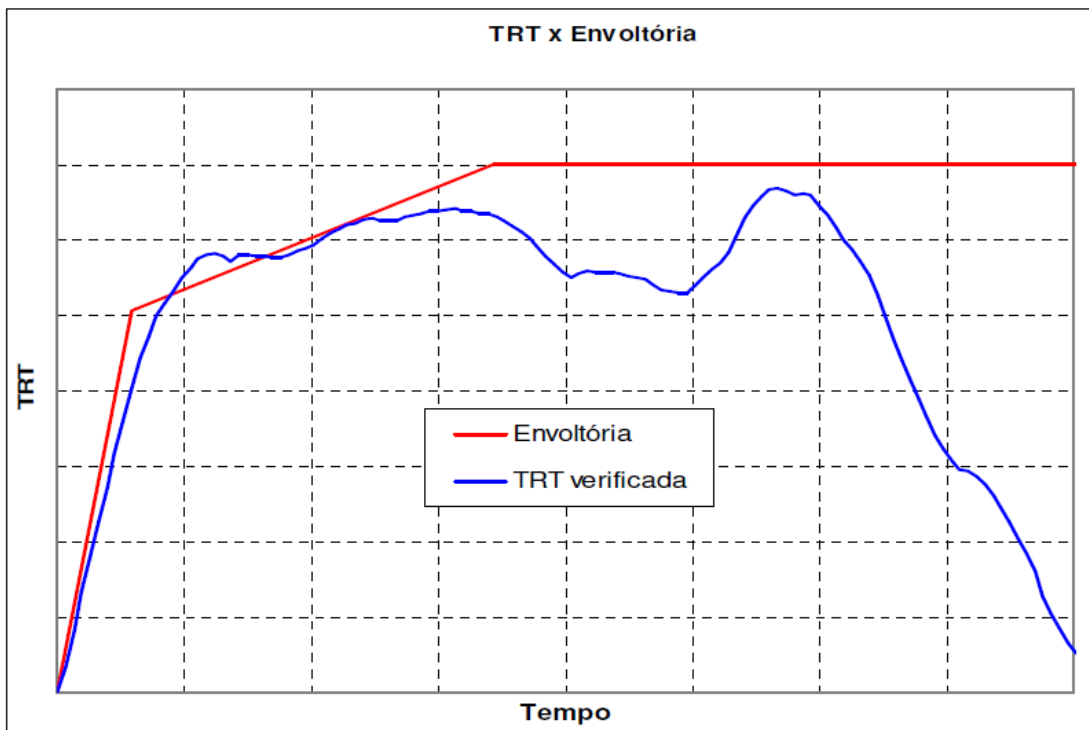


Figura 5 – Exemplo onde ocorre superação [3]

2.3.1 Solicitações Dielétricas

O fator decisivo para o sucesso da interrupção na sua fase dielétrica é a capacidade do disjuntor em suportar a TRT entre os contatos, após a interrupção da corrente.

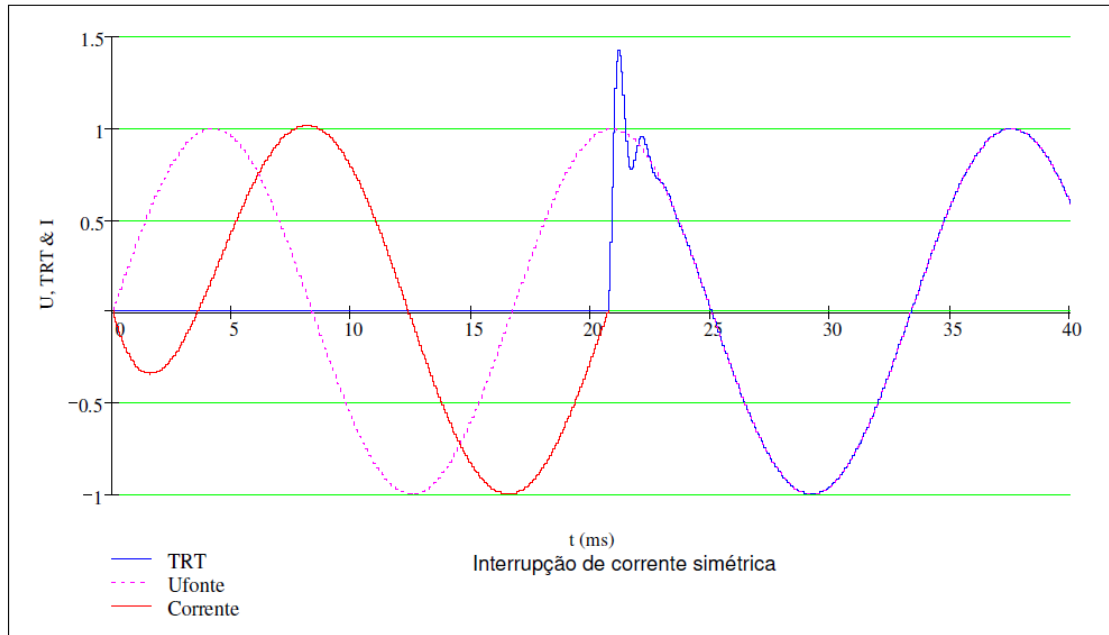


Figura 6 – Exemplo TRT na interrupção de uma corrente de curto simétrica [3]

A característica dielétrica de abertura condiciona a ocorrência de reignições e de reacendimento após a interrupção de uma corrente pelo disjuntor. O surgimento de reignições não representa necessariamente maiores problemas ao nível da sobretensões geradas. Já os reacendimento devem ser evitados devido aos seus efeitos danosos sobre os isolamentos dos equipamentos associados à instalação.

No momento em que a corrente se extingue e a tensão de restabelecimento transitória surge entre os contatos, o meio entre esses se encontra ainda aquecido e a recuperação dielétrica ainda está em curso. Em função destes aspectos a suportabilidade dielétrica tende a ser tão menor quanto maior for a corrente interrompida. Em alguns tipos de disjuntores essa tendência pode não acontecer.

2.4 IMPACTO DAS TRTs EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

As características das Tensões de Restabelecimento Transitório são determinadas pelas características dos circuitos em ambos os lados dos contatos do disjuntor. Enquanto as interações entre as TRTs e os equipamentos elétricos de um sistema dependem da resposta em frequência destes circuitos [4].

Assim, a exemplo dos transformadores, as sobretensões e as altas frequências geradas pelas possíveis tensões transitórias, ocorridas durante a interrupção de correntes de defeito pela abertura de disjuntores de força, ou pela simples manobra do mesmo, podem provocar severas solicitações aos isolamentos internos dos transformadores, podendo até mesmo danificá-los. Ressonâncias internas aos transformadores, contendo frequências típicas geradas pelas TRTs representam grandes riscos a integridade da isolação interna do mesmo.

Há duas formas de manifestação de danos em componentes dielétricos dos enrolamentos do transformador que permitem identificar que estes foram resultados de sobretensões.

Na primeira, devido ao transitório com frente de onda muito rápida, a distribuição de tensão ao longo do enrolamento não é uniforme, resultando na concentração de tensão nas espiras próximas à entrada da bobina, levando a ruptura do meio dielétrico no início do enrolamento.

Na segunda, por ocorrência de efeito ressonante, com a tensão transitória contendo componente na frequência de ressonância da bobina, pontos do enrolamento podem atingir níveis de tensão mais altos do que aqueles aplicados no terminal do transformador. Neste caso, mesmo tensões nos limites de NBI (Nível Básico de Impulso) do transformador podem provocar ruptura do meio dielétrico entre partes da bobina, em pontos variados do enrolamento[4].

As proporções dos danos das Tensões de Restabelecimento Transitório nos equipamentos elétricos envolvem parâmetros das teorias de refração e reflexão das ondas viajantes.

2.5 ESTUDO DE CASO

Para possibilitar um projeto, a implementação e instalação de sistemas elétricos seguros sobre o controle de sobretensões é necessário avaliar os transitórios decorrentes das aberturas de disjuntores como subsídio para a especificação de disjuntores, assim como a avaliação dos riscos envolvidos para os equipamentos elétricos.

Com esse intuito, foi realizado pela concessionária Energisa-PB um estudo e avaliação da adequabilidade de disjuntores e religadores instalados no sistema elétrico das subestações do eixo Mussurê/João Pessoa quando da abertura dos mesmo em casos de curto circuito [1].

2.5.1 Metodologia Aplicada

A metodologia utilizada pela concessionária para realização do estudo de superação segue a seguir:

- O software utilizado foi o ATP (Alternative Transient Program);
- O equivalente de curto circuito foi considerado do lado de 230kV, na Subestação de Goianinha conforme critério da ONS para cálculos de e estudo de superação de disjuntores;
- Não foram consideradas as curvas de saturação dos transformadores do sistema;
- As cargas de todos os sistemas envolvidos foram consideradas;
- Foram consideradas capacitâncias parasitas de chaves, TCs, TPs, disjuntores, religadores, transformadores e outros;
- Não foram representados bancos de capacitores
- Foram simuladas faltas terminais trifásicas aterradas e não aterradas e monofásicas.

2.5.2 Resultados

Os disjuntores e religadores testados cujo resultados serão apresentados estão instalados nas subestações de João Pessoa e Bessa. As simulações realizadas resultaram nos valores de Crista e TCTRT das Tensões de Restabelecimento Transitória nos disjuntores referenciados e estas foram comparadas com os valores da envoltória de TRT da norma IEC 62271-100, 2001.

Foram verificadas a superação e severidades das TRTs e a capacidade dos disjuntores de suportá-las, conforme tabelas e gráficos a seguir.

Subestação João Pessoa

Disjuntor especificado conforme IEC com classe de tensão de 72,5kV e capacidade simétrica de interrupção de 25kA.

Resultados obtidos em simulação		Envoltória de Norma	
Taxa de crescimento (kV/ μ s)	Valor de crista (kV)	TCTRT (kV/ μ s)	E ₂ - Pico(kV)
1,56	127	1,85	133

Tabela 1 – Resultados na Subestação de João Pessoa [1]

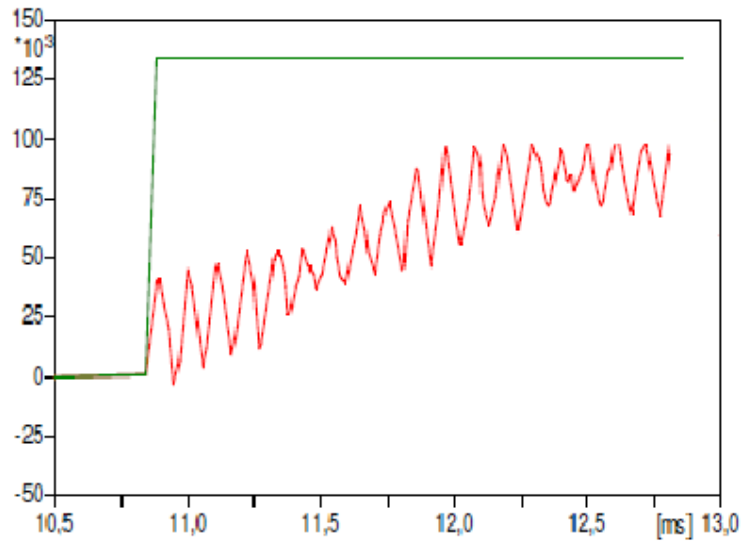


Figura 7 – TRT no disjuntor [1]

Verifica-se que o disjuntor em questão não possui problemas de superação por valores de crista e nem pela taxa de crescimento da TRT.

O disjuntor está adequando quanto à avaliação de superação por TRT.

Subestação Bessa

Religador especificado com base na IEC.

Resultados obtidos em simulação		Envoltória de Norma	
Taxa de crescimento (kV/μs)	Valor de crista (kV)	TCTRT (kV/μs)	E ₂ - Pico(kV)
4,54	26,1	0,34	25,7

Tabela 2 – Resultados na Subestação de Bessa [1]

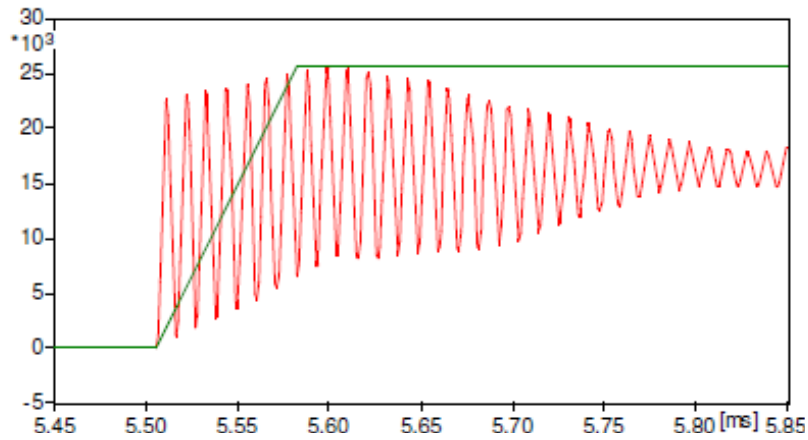


Figura 8 – TRT no religador [1]

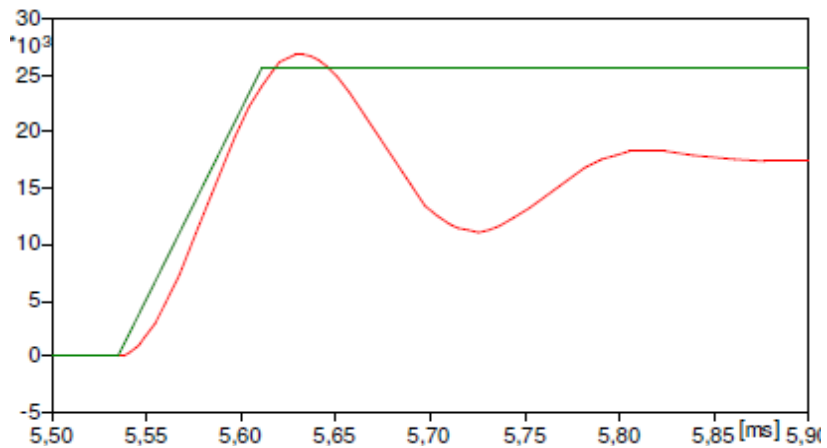


Figura 9 – TRT no religador [1]

Verifica-se que, para o religador em questão, ocorre superação tanto para os valores de crista como para a taxa de crescimento da TRT.

O religador não está adequado quanto à avaliação de superação por TRT.

2.5.3 Redução da Severidade da TRT

Em casos como o do religador da Subestação de Bessa, onde ouve superação da TRT, a substituição do religador ou equipamento superado não é a única solução. Apesar de não poderem ser evitadas medidas mitigadoras podem ser implementadas nos sistema de modo a atenuar o pico máximo e/ou a taxa de

crescimento da TRT a valores compatíveis com os níveis de suportabilidade de disjuntores e religadores [1].

Redução do pico da TRT

- Alterar o nível de carga local alimentada pelo disjuntor de modo a amortecer as sobretensões e, conseqüentemente atenuar a severidade da TRT.
- Transferir a abertura para um disjuntor remoto.

Redução da TCTRT

- Adição de capacitâncias entre o equipamento de manobra e o barramento. Esta capacitância fará com que a TRT não varie bruscamente, reduzindo a TCTRT.

3. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a relevância dos estudos sobre as sobretensões, destacando a avaliação quanto as Tensões de Restabelecimento Transitórias (TRT).

Verificou-se que problemas de superação de TRT são capazes comprometer a isolação de equipamentos elétricos, como os transformadores, levando-os ao desgaste prematuro e redução da vida útil.

As conseqüências das ocorrências de superação de disjuntores por TRT podem ser solucionadas através da substituição do mesmo por outro com características adequadas ou com intervenções mitigadoras no sistema elétrico envolvido.

Estas análises irão permitir uma avaliação e a atuação necessária nos sistemas elétricos para garantir o perfeito funcionamento e a preservação dos equipamentos sem alterar ou comprometer os seus tempos de vida útil.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1]. [CAV] CAVALCANTE, Rosângela Rodrigues Guido, MOURA, Danielly Formiga Peixoto. Impacto da análise de disjuntores e religadores quanto a TRT para melhorias da qualidade do serviço. João Pessoa, PB.
- [2]. [ALV] ALVES, Fernando Rodrigues. Característica do Disjuntor para abertura de Linha de Transmissão em vazio Metodologia de Estudo. UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá MG, 2006. Cap. 3, p.32-74.
- [3]. [SIN] SINDER, Daniel. Métodos de Cálculo da Tensão de Restabelecimento Transitória para Análise da Superação de Disjuntores de Alta Tensão. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro RJ, mar. 2007. Cap. 2, p. 7-44.
- [4]. [ROC] ROCHA, Angêlica C. Oliveira, Cançado, Álvaro Batista, DUARTE, Luiz Henrique Silva, MOREIRA, Sebastião Otávio. A Influência da Interação Transformador/Disjuntor nos Transitórios Gerados no Sistema. CEMIG – Geração e Transmissão S.A, Belo Horizonte, MG.
- [5]. [MEH] MEHL, Ewaldo L.M. Qualidade da Energia Elétrica. Disponível na Biblioteca da UFPR por WWW em "<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>". Acesso em out. 2011.