



GRUPO X

GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES, COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO E INTERFERÊNCIAS (GSI)

SOBRETENSÕES EM TPC DURANTE MANOBRA DE CHAVE SECCIONADORA

Humberto Maribondo de Moraes\*

José Carlos Rosa e Silva

CHESF

RESUMO

Este trabalho descreve a metodologia experimental, utilizada para solucionar o problema de sobretensões observadas no secundário de TPC do sistema 500 kV, quando das manobras de chaves seccionadoras.

São analisadas experimentalmente as respostas lineares, acoplamentos preponderantemente capacitivos e, não lineares do TPC. Para avaliação linear, o trabalho é desenvolvido até 100 kHz, enquanto que no contexto não linear o equipamento é excitado por manobras que induzem a ferroressonância.

PALAVRA CHAVE

TPC, Sobretensões em TPC, Resposta em frequência, Ferroressonância

1.0 – INTRODUÇÃO

A interrupção intempestiva do fluxo de energia elétrica por sobretensões no secundário de algumas famílias de TPC, quando das manobras de chaves seccionadoras, é um fato conhecido desde a utilização desses equipamentos.

De fato, a transição entre os campos elétricos e magnéticos, associados à mudança de estado em circuitos onde existam capacitâncias e indutâncias, pode produzir de forma natural sobretensões.

Em geral esse problema é solucionado pelo deslocamento das frequências sensibilizadoras de pólos da equação diferencial definidora do circuito, para regiões com pouca probabilidade de ocorrência.

Além das oscilações já descritas, acoplamentos eletromagnéticos em forma de ruídos irradiados e transmitidos, também tem a sua contribuição na formação de sobretensões no secundário dos TPC. Esse fato se torna mais grave, notadamente para frequências superiores, a medida que se opta pela compactação das subestações.

A Figura 1, apresenta alguns modelos clássicos de filtros para amortecimento dessas oscilações, enquanto que na Figura 2, apresentamos um modelo para blindagem contra os acoplamentos eletromagnéticos.

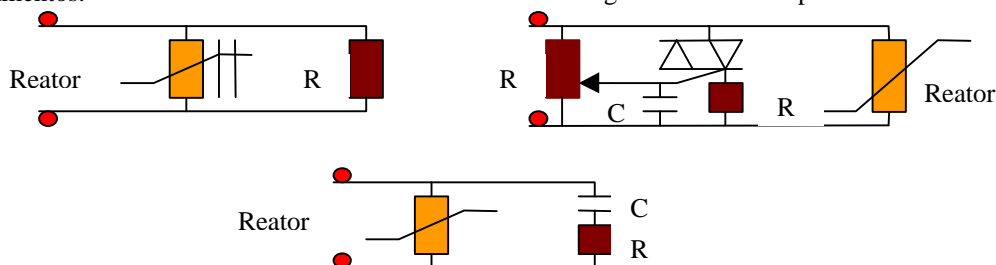


FIGURA 1: CIRCUITOS TÍPICOS PARA AMORTECIMENTO DE TRANSITÓRIOS NO SECUNDÁRIO DO TPC.

A blindagem aterrada nas duas extremidades, possibilita o efeito da Lei de Lenz na geração de um campo magnético contrário, enquanto que o aterramento do terminal X3 evita o surgimento de potenciais flutuantes.

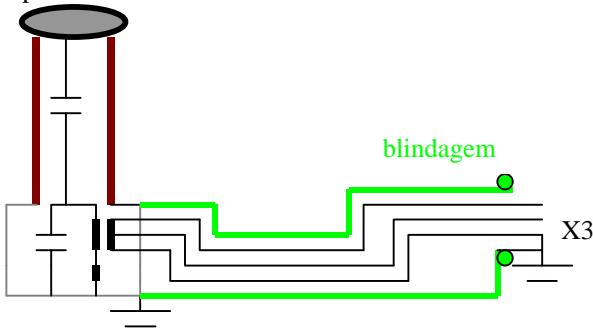


FIGURA 2: BLINDAGEM PARA O CIRCUITO SECUNDÁRIO DO TPC.

Como as simulações digitais para problemas envolvendo TPC, são carentes de modelagens adequadas, notadamente quando as frequências envolvidas requerem parâmetros distribuídos. Optamos pela simulação em laboratório.

**2.0 – VERIFICAÇÃO DA RESPOSTA LINEAR**

Na Figura 3, ilustramos o circuito utilizado. A excitação se deu através do terminal de alta tensão e verificada sua resposta no enrolamento secundário. O valor em (pu) da relação de tensão em 60 Hz foi assumido como elemento de verificação da resposta do equipamento. A Figura 4 apresenta os valores encontrados.

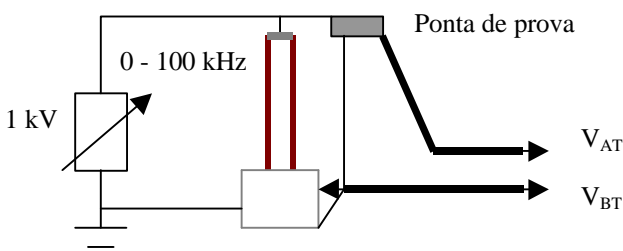


FIGURA 3: CIRCUITO UTILIZADO PARA LEVANTAMENTO DA RESPOSTA LINEAR.

**3.0 – SOLUÇÃO PARA AS SOBRETENSÕES OBSERVADAS NA RESPOSTA LINEAR**

Para a redução das sobretensões apresentadas na Figura 4, através de solução externa, partimos das seguintes premissas:

- Respeitar a potência máxima disponível no secundário do TPC.
- Usar capacitâncias para reduzir as sobretensões em alta frequência.
- Usar cargas resistivas no amortecimento das sobretensões em baixa frequência.

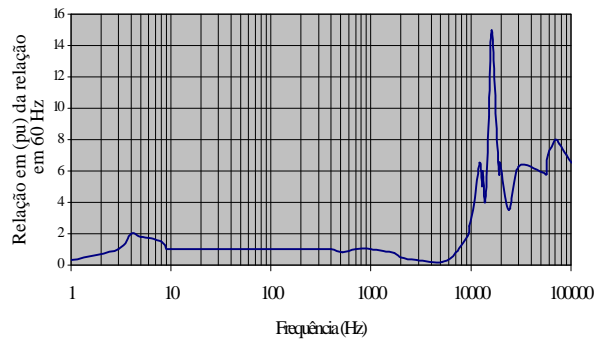


FIGURA 4: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO TPC COMPLETO.

Como metodologia, iniciamos com a inserção de carga capacitiva, descobrindo o sentido de redução das sobretensões, verificando o estado de saturação para técnica e incluindo em seguida o elemento resistivo com abordagem semelhante para escolha do valor ideal. A Figura 5 mostra a configuração obtida e a Figura 6 a resposta em frequência do TPC delineada com esse fil  $R = 50,3 \Omega$

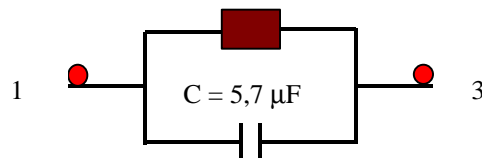


FIGURA 5: FILTRO PARA RESPOSTA LINEAR OBTIDO ATRAVÉS DE TÉCNICA EXPERIMENTAL.

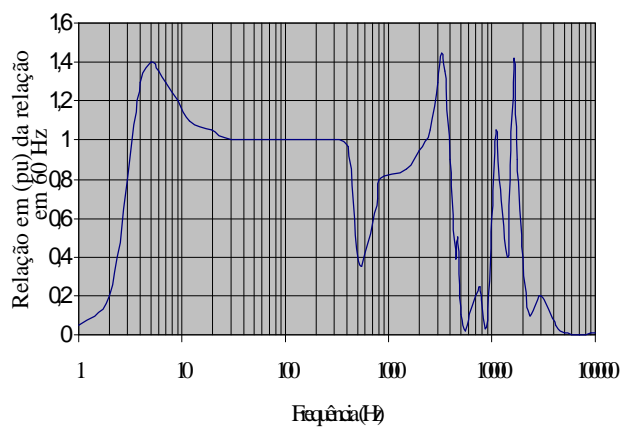


FIGURA 6: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO TPC

#### 4.0 – AVALIAÇÃO PARA RESPOSTA NÃO LINEAR

Nesse contexto, prevalece as relações indutivas, comprometidas com as características dos núcleos magnéticos. Para efetivação dos esforços, optamos pelo circuito apresentado na Figura 7, o qual através da abertura do curto circuito na parte indutivo do TPC, provoca oscilações da tensão.

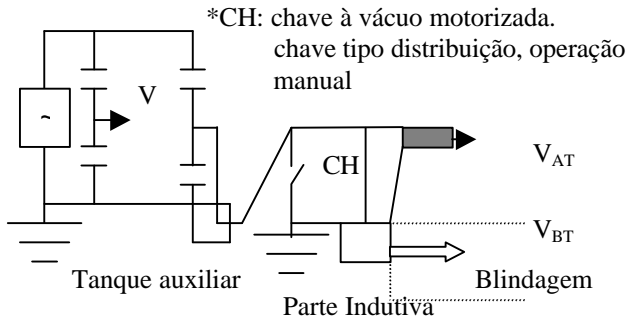


Figura 7: Circuito utilizado para avaliação dos transitórios associados a não linearidade.

Para manobra, fizemos uso de uma chave à vácuo motorizada (tempo de abertura na ordem de ms) e de uma chave seccionadora tipo distribuição, com abertura manual (tempo de abertura em s). Foram avaliadas as seguintes configurações:

- Sem blindagem e sem filtro. •Sem blindagem e com filtro.
- Com blindagem e sem filtro. •Com blindagem e com filtro.

#### 4.1 Resultados obtidos com a chave à vácuo

A Tabelas 1, apresenta os valores obtidos nos terminais secundários e AT-Terra, para um total de 24 manobras.

#### 4.2 Resultados obtidos com a chave seccionadora

A Tabelas 2, apresenta os valores obtidos nos terminais secundários e AT-Terra, para um total de 10 manobras.

#### 5.0 – COMENTÁRIOS

A Tabela 3 apresenta um resumo sistematizado para as informações obtidas;

Com base no exposto na Tabela 3, temos os seguintes comentários:

⇒Ponto forte (conclusivo): A blindagem esta presente em todas as melhores configurações, quer quanto ao valor da sobretensão, quer quanto a duração do transitório.

⇒Pontos com grande tendência:

- Com exceção das medições efetuadas nos terminais AT-Terra, para manobra de chave seccionadora, a configuração sem filtro esta presente em todos os casos de maior sobretensão.
- Com exceção das medições efetuadas nos terminais AT-Terra, para manobras de chave à vácuo, a configuração sem blindagem esta presente em todos os casos de maior sobretensão.
- Com exceção das medições efetuadas nos terminais AT-Terra, para manobras da chave à vácuo, a configuração sem filtro esta presente em todos os casos de menores sobretensões.

#### 6.0 – RECOMENDAÇÕES

Considerando o exposto no item 5.0, e também o posicionamento do fabricante do TPC, optamos por recomendar a implantação de um sistema de blindagem, similar ao indicado na Figura 2, ou seja, dupla blindagem, com a blindagem externa aterrada nas duas extremidades e a blindagem interna aterrada no ponto onde será conectada a carga.

#### 7.0 – UMA PROPOSTA PARA TRABALHO FUTURO

Como proposição, estamos indicando a modelagem de TPC através da função transferência. Essa função sendo constituída de duas outras funções, uma linear (relativa as relações sem saturação) e outra não linear (considerando os elementos saturáveis). Teremos:

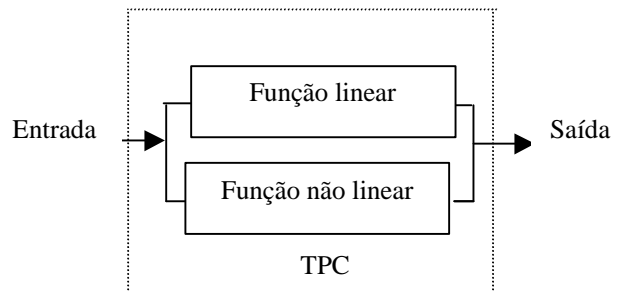


FIGURA 8: MODELO PARA SIMULAÇÃO DO TPC ATRAVÉS DA FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA.

#### 8.0 – BIBLIOGRAFIA

- TPC, uma análise através de ensaios em laboratório. CHESF/Setembro 1997.

TABELA 1: VALORES OBTIDOS CHAVE À VÁCUO:

TERMINAIS	EVENTO	SOBRETENSÃO MÁXIMA (pu)	DURAÇÃO MÁXIMA (ms)
TERMINAIS SECUNDÁRIOS	s/blindagem e s/filtro	4,50	1350
	s/blindagem e c/filtro	2,35	1350
	c/blindagem e s/filtro	2,00	300
	c/blindagem e c/filtro	2,30	3400
TERMINAIS AT-TERRA	s/blindagem e s/filtro	5,00	1420
	s/blindagem e c/filtro	2,80	30
	c/blindagem e s/filtro	12,50	100
	c/blindagem e c/filtro	1,00	10

TABELA 2: VALORES OBTIDOS CHAVE SECCIONADORA:

TERMINAIS	EVENTO	SOBRETENSÃO MÁXIMA (pu)	DURAÇÃO MÁXIMA (ms)
TERMINAIS SECUNDÁRIOS	s/blindagem e s/filtro	12,50	16000
	s/blindagem e c/filtro	10,00	10500
	c/blindagem e s/filtro	1,20	4000
	c/blindagem e c/filtro	1,45	5900
TERMINAIS AT-TERRA	s/blindagem e s/filtro	12,50	16200
	s/blindagem e c/filtro	10,00	10200
	c/blindagem e s/filtro	1,20	4000
	c/blindagem e c/filtro	1,50	5900

TABELA 3: RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS:

Configuração	Evento	Melhor configuração		Pior configuração	
		Quanto a sobretensão	Quanto a duração	Quanto a sobretensão	Quanto a duração
Abertura chave à vácuo	Terminais secundários	C/blindagem s/filtro (2pu)	C/blindagem s/filtro (300ms)	S/blindagem s/filtro (5pu)	C/blindagem c/filtro (3300ms)
	Terminais AT-Terra	C/blindagem c/filtro (1pu)	C/blindagem c/filtro (0ms)	C/blindagem s/filtro (2pu)	S/blindagem s/filtro (1400ms)
Abertura chave seccionadora	Terminais secundários	C/blindagem s/filtro (1,5pu)	C/blindagem s/filtro (4000ms)	S/blindagem s/filtro (12pu)	C/blindagem c/filtro (100ms)
	Terminais AT-Terra	C/blindagem s/filtro (1,5pu)	C/blindagem s/filtro (4000ms)	S/blindagem c/filtro (6,5pu)	C/blindagem s/filtro (4000ms)