

INTERRUPÇÃO DE CORRENTE POR SECCIONADORES: UMA CONDIÇÃO OPERATIVA FREQUENTE JÁ INCORPORADA ÀS ESPECIFICAÇÕES DE FURNAS E SÓ AGORA ABORDADA PELAS NORMAS TÉCNICAS

JORGE AMON Fº

OSCAR KASTRUP Fº

FURNAS - CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

PROFESSORES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - (PUC - RJ)
(BRASIL)

ABSTRACT

Substantial induced currents may occur in a grounded transmission line in case of double circuit configurations, or parallel lines on the common right-of-way. In the process of the removing the grounding, the grounding switch will have to interrupt these induced current against a certain recovery voltage. The present paper describes the analytical studies performed to determine the combined current and voltage stresses on the grounding switches on the opening operation. The laboratory tests performed at CEPEL (Brasil) with the objective to determine the capability of the standard grounding switches as well as to investigate the behaviour of certain arc-extinguishing devices are briefly outlined. Certain recommendations are also given regarding the parameters of the test circuits, test program and the acceptance criteria.

RESUMO

Muitas condições de manobra de seccionadores e chaves de terra nas redes de terra nas redes elétricas envolvem a interrupção ou o estabelecimento de correntes significativas. Nas linhas paralelas de corrente alternada, na mesma faixa de passagem ou em circuito duplo, valores elevados de corrente podem ser encontrados nas chaves de terra durante as manobras de aterramento das linhas de transmissão. Algumas linhas do sistema de Itaipu apresentam-se nesta condição, o que indicou a necessidade da realização de ensaios especiais de laboratório para verificar o desempenho de alguns dispositivos de extinção de arco a serem utilizados nas chaves de terra, já que as Normas Técnicas, na época, não previam ensaios equivalentes a esta condição operativa.

O trabalho apresenta uma análise teórica do problema, e critérios adotados para a aceitação dos ensaios, bem como os resultados das provas de laboratório para as chaves do sistema de transmissão em corrente alternada de Itaipu.

Ainda são apresentados os requisitos de tensão e corrente de manobra para diversas chaves de terra do sistema de transmissão de FURNAS, na faixa de 138 kV a 800 kV, obtidos a partir de simulações em computador digital.

São também apresentadas as propostas atuais para introdução nas normas de requisitos que abordem esse tipo de chaveamento.

1. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi o de apresentar uma análise teórica do problema de interrupção, por chaves de terra, de correntes induzidas em circuitos paralelos de linhas de transmissão, bem como os resultados das provas de laboratório para as chaves de terra do sistema de transmissão de Itaipu.

Ainda são apresentados os requisitos de tensão e corrente de manobra para diversas chaves de terra do sistema de transmissão de FURNAS, na faixa de 138 kV a 800 kV, obtidos a partir de simulações em computador digital.

São também apresentadas as propostas atuais para introdução nas normas técnicas de requisitos que abordem esse tipo de chaveamento.

2. GENERALIDADES

Muitas condições de manobra de chaves nas redes elétricas envolvem a interrupção ou o estabelecimento de correntes significativas [1].

Em circuitos paralelos de linhas de transmissão que compartilham a mesma faixa de servidão, estando um deles sob carga e o outro desenergizado e aterrado, devido aos acoplamentos indutivos e capacitivos entre os mesmos, as tensões e correntes induzidas no circuito desenergizado podem atingir valores elevados, de tal forma que as chaves de terra deste circuito, quando em manobra de abertura, fiquem submetidas a severas solicitações, tanto de corrente a ser interrompida como de tensão de restabelecimento transitória. O fenômeno ainda se agrava caso os circuitos sejam suportados por torres de circuito duplo [2,3,4].

Na manobra de abertura da chave de terra, a corrente interrompida é a corrente induzida no circuito correspondente. Após o amortecimento dos transitórios (que surgem antes e depois da extinção do arco que se forma), a tensão que se estabelece através dos contatos dessa lâmina é a tensão induzida.

Partindo da situação em que as chaves de terra se encontram fechadas em ambos os terminais do circuito, a primeira chave a abrir interromperá um valor elevado de corrente, ao passo que a tensão que se estabelecerá através de seus contatos será pequena, pois o outro terminal do circuito ainda estará aterrado e, portanto, com tensão nula.

Em seguida, quando a chave do outro terminal a abrir, a corrente a ser interrompida será pequena, pelo fato de um terminal já estar aberto, mas ainda existir caminho para a corrente devido às capacitâncias do circuito para terra. Entretanto, a tensão a se estabelecer através dos contatos da chave será elevada, pois o circuito já não estará mais aterrado em nenhum ponto.

A chave de terra, portanto, deve suportar as so-

licitações de tensão e corrente para as duas condições acima descritas, isto é, abertura indutiva, para a primeira chave a abrir e abertura capacitiva, para a segunda chave a abrir.

Dependendo da severidade dos requisitos de manobra de abertura, duas classes de chaves de terra devem ser consideradas: Classe A e Classe B [7,8].

As chaves de terra classe A correspondem à grande maioria das situações onde o acoplamento entre circuitos é fraco e os segmentos paralelos de linha de transmissão são relativamente curtos. Os requisitos de tensões e correntes induzidas são tais que as chaves de terra convencionais são adequadas a esta aplicação.

As chaves de terra classe B correspondem a todas as demais aplicações onde o acoplamento entre circuitos é forte e os segmentos paralelos de linha de transmissão são relativamente longos. Os requisitos de tensões e correntes induzidas são tais que as chaves de terra convencionais devem ser dotadas de algum dispositivo auxiliar para interrupção ou devem ser utilizadas chaves de terra contendo requisitos especiais de projeto.

Durante a fase de planejamento devem ser analisadas as soluções que visem minorar os efeitos das tensões e correntes induzidas nas chaves de terra. A seguir são sugeridos dois tipos de solução.

2.1. Redução dos níveis das tensões e correntes induzidas

A redução dos níveis das tensões e correntes induzidas pode ser conseguida através da transposição dos circuitos da linha de transmissão e da disposição adequada das fases dos circuitos.

2.2. Utilização de dispositivos para extinção do arco

A instalação de acessórios nas chaves de terra tais como hastes com molas e dispositivos que proporcionem jatos de ar comprimido, é uma solução conhecida para facilitar a extinção do arco que se origina devido à interrupção da corrente, reduzindo, com isso, os efeitos danosos desse arco nos contatos da chave de terra.

3. ANÁLISE MATEMÁTICA

A análise a seguir, realizada para um circuito monofásico, apesar de ser simplificada, dá uma idéia de como o fenômeno se processa.

Na Figura 1 está esquematizada uma linha de transmissão de circuito duplo, onde o circuito I está sob carga e o circuito II, desenergizado e aterrado em ambos os terminais.

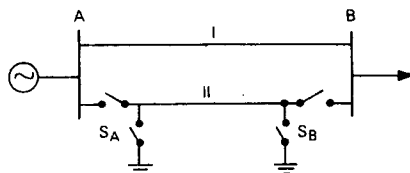


Figura 1

A seguir serão analisadas as manobras de abertura das chaves de terra.

3.1. Abertura do primeiro terminal (Ponto A)

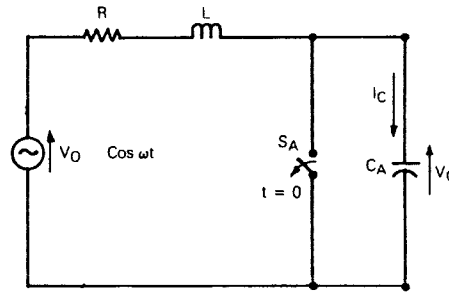


Figura 2

O circuito II, aterrado em ambos os terminais, pode ser representado pelo circuito equivalente da Figura 2, onde:

S_A = Chave de terra do terminal A

R = Resistência total do circuito

L = Indutância total do circuito

C_A = Metade da capacitância do circuito concentrada no ponto A

$V_0 \cos \omega t$ = fonte de tensão equivalente que produzirá uma corrente igual à corrente induzida no circuito desenergizado

A corrente a ser interrompida é a que se estabelece no circuito antes da abertura de S_A .

Após a abertura da chave de terra S_A , a tensão que aparecerá entre seus contatos será igual à tensão desenvolvida no capacitor C_A .

A equação para a determinação dessa tensão é a seguinte:

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dV_C}{dt} + \frac{1}{LC} V_C = \frac{1}{LC} V_0 \cos \omega t$$

Admitindo-se que S_A abra em $t = 0$ considerando-se desprezível a resistência R do circuito, lembrando ainda que antes da abertura de S_A a tensão no capacitor C_A é nula, a solução da equação é a seguinte:

$$V_C(t) = V_0(\cos \omega t - \cos \omega_0 t)$$

Onde $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ é a frequência natural de oscilação do circuito.

Na figura 3 está mostrado o gráfico de $V_C(t) \times t$

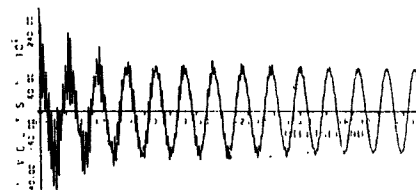


Figura 3

3.2. Abertura do segundo terminal (ponto B)

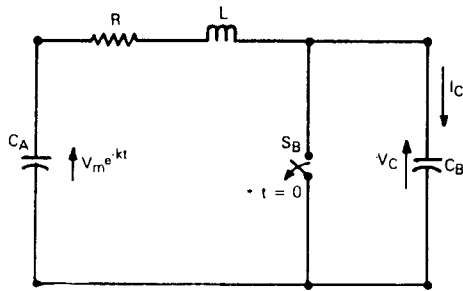


Figura 4

O circuito II, agora desaterrado no terminal A, pode ser apresentado pelo circuito equivalente da Figura 4, onde

R = resistência total do circuito

L = indutância total do circuito

CB = metade da capacitância do circuito, concentrada no ponto B

$V_m e^{-kt}$ = fonte de tensão equivalente correspondente ao capacitor CA que irá se descarregar lentamente (k é muito pequeno).

A corrente a ser interrompida é a que se estabelece no circuito antes da abertura de SB, isto é, a corrente de descarga do capacitor CA.

Após a abertura da chave de terra SB, a tensão que aparecerá entre seus contatos será igual à tensão desenvolvida no capacitor CB.

A equação para a determinação dessa tensão é idêntica à do caso anterior, diferindo apenas na citação, conforme segue:

$$\frac{dV_c}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dV_c}{dt} + \frac{1}{LC} V_c = \frac{1}{LC} V_m e^{-kt}$$

Admitindo-se que SB abra em $t = 0$ e considerando-se desprezíveis R e k, lembrando ainda que antes da abertura de SB a tensão no capacitor CB é nula, a solução da equação é a seguinte:

$$V_c(t) = V_m (1 - \cos \omega_0 t)$$

Na Figura 5, está mostrado o gráfico de $V_c(t)$ xt

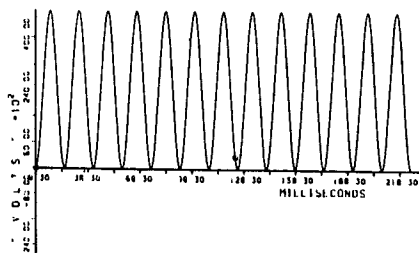


Figura 5

4. Exemplos

Na tabela 1 estão mostrados exemplos de valores de tensões e correntes induzidas, calculados para circuitos reais de linhas de transmissão do sistema de transmissão de FURNAS.

Os cálculos foram realizados com a utilização dos programas de computador digital EMTP [5] e RES-SCNA [6].

As configurações das torres das linhas de transmissão consideradas nos cálculos estão mostradas na Figura 6.

5. ESPECIFICAÇÃO

As chaves de terra das saídas de linha de uma subestação devem ser especificadas com ambos os requisitos de corrente a ser interrompida e tensão de restabelecimento para as duas condições já descritas, isto é, primeira chave a abrir e segunda chave a abrir de modo a estarem aptas a realizar qualquer uma das duas manobras de abertura.

Deve ser demonstrado através de ensaios que tais chaves de terra estão aptas a realizar qualquer uma das duas manobras de abertura.

Embora até o momento não existam circuitos normalizados para a realização dos referidos ensaios, na referência 7 são apresentados três circuitos.

O primeiro circuito, mostrado na Figura 7, se aplica aos ensaios de manobra de abertura de corrente indutiva.

Uma variação deste circuito, que pode ser encontrado na referência 9, foi utilizada nos ensaios realizados no CEPEL para chaves de terra de 500 kV e 345 kV do sistema de transmissão de Itaipu.

Para os ensaios de manobra de abertura de corrente capacitiva são sugeridos dois circuitos alternativos, ambos mostrados na Figura 8.

O circuito da Figura 8 A proporciona valores satisfatórios de tensões e correntes de regime permanente e valores aproximados para a magnitude e frequência da corrente de inrush resultante de algum reacendimento de arco ou fechamento da chave de terra.

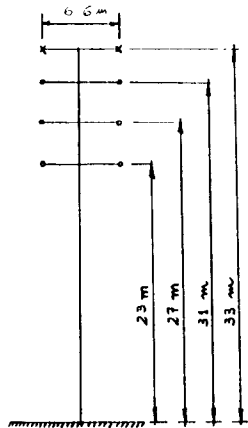
O circuito da Figura 8 B é proposto como um meio de reduzir a magnitude da tensão de alimentação, para conveniência do laboratório de ensaios. Este circuito proporciona valores satisfatórios de tensões e correntes de regime permanente, bem como de frequência da corrente de inrush, porém proporciona valor maior para a magnitude dessa corrente, comparado ao correspondente ao circuito da Figura 8 A.

Na mesma referência 7 são propostos valores de tensões e correntes induzidas, para normalização, com base em hipóteses para o comprimento dos circuitos paralelos de linha de transmissão, para a corrente no circuito energizado e para o grau de acoplamento entre os circuitos. Estes valores estão mostrados nas Tabelas 2 e 3.

TABELA I

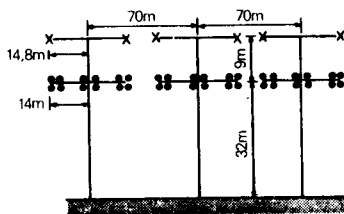
Tensão Nominal da LT (kV, eficaz)	Corrente de Carga do Circuito Energizado (A, eficaz)	Abertura do 19 Terminal		Abertura do 2º Terminal	
		Corrente (A eficaz)	Tensão (kV, eficaz)	Corrente (A eficaz)	Tensão (kV, eficaz)
800 (1)	3000	42,3	1,0	1,0	11,5
500 (2)	2000	261	9,0	11,6	71,5
500 (1)	3150	80,0	0,5	0,2	10,0
345 (2)	3150	265	10	8,0	40,0
345 (1)	4000	380	10	8,5	43,0
138 (2)	1400	75,3	0,5	0,5	41,4

(1) Torre de circuito simples
(2) Torre de circuito duplo



Condutor: BLUEJAY (1113 MCM)
Cabo Pára-Raios: PATRIDOR
Flecha do Condutor: 15.0 m
Flecha do Cabo Pára-Raios: 12 m
Resistividade do Solo: 300 ohms-metro
Comprimento da Linha: 13 km
Linha sem transposição

a) LT 138kV - Torre de Circuito Duplo



d) LT 500 kV - torre de Circuito Simples

FIGURA 6

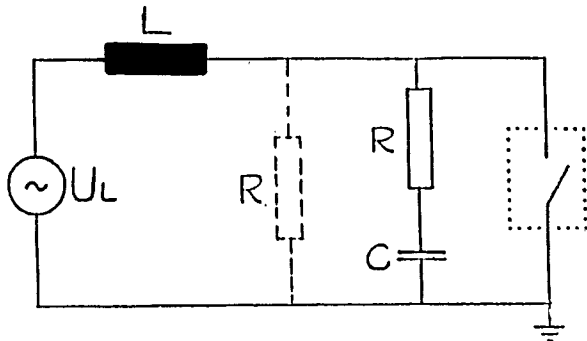
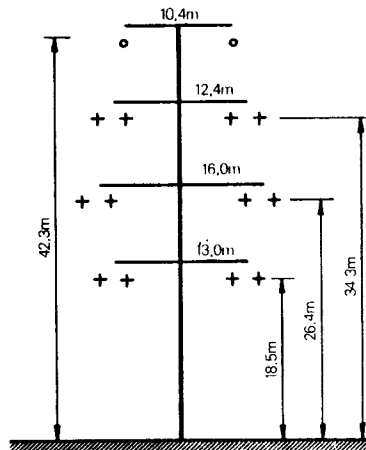


FIGURA 7

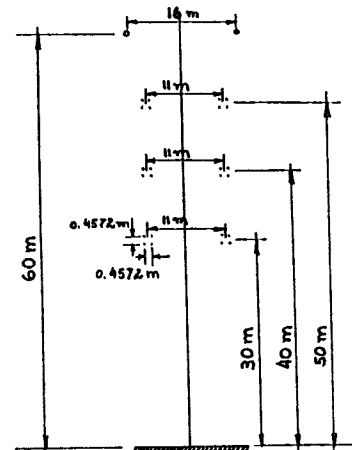


- Condutor 2 x 954 MCM (Rail)
- Comprimento da linha: (25 km)
- Linha sem transposição

b) LT 345kV Torre de Circuito Duplo

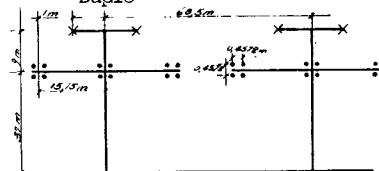
- Condutor: 4 x 954 MCM (Rail)
- Comprimento da linha: 7 km
- Linha sem transposição

Condutor (Bluejay):
Cabo Pára-Raios: Minarco 110,8mm
Flecha do Condutor: 22m
Flecha do Cabo Pára-Raios: 18,8m
Resistividade do Solo: 150ohms.m
Comprimento da Linha: 310 km
Linha sem transposição



Condutor: BLUEJAY (1113 MCM)
Cabo Pára-Raios: 3/8" EHS
Flecha do Condutor: 20.5 m
Flecha do Cabo Pára-Raios: 10.5 m
Resistividade do Solo: 1000 ohms-metro
Comprimento da Linha: 60 km
Linha sem transposição

c) LT 560kV- Torre de Circuito Duplo



e) LT 800 kV - TORRE DE CIRCUITO DUPLO

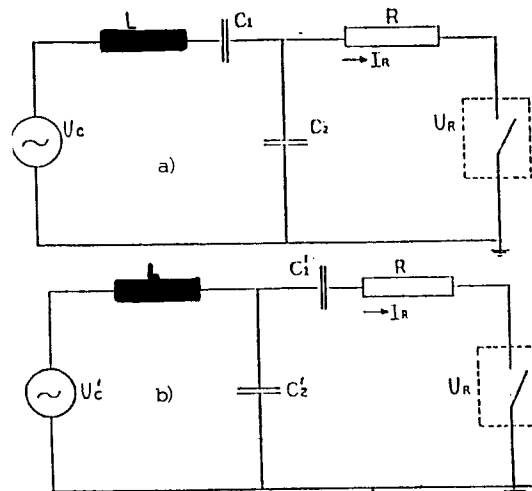


FIGURA 8

TABELA 2 - Correntes e Tensões Induzidas Nominais

Tensão Nominal da Linha	Acoplamento Eletromagnético				Acoplamento Eletrostático			
	Corrente Nominal de Acoplamento Indutivo (A)		Tensão de Acoplamento Indutivo em Regime Permanente (kV)		Corrente Nominal de Acoplamento Capacitivo (A)		Tensão de Acoplamento Capacitivo em Regime Permanente (kV)	
	Classe		Classe		Classe		Classe	
	A	B	A	B	A	B	A	B
52	60	150	0,5	4	0,2	2	3	6
72,5	60	150	0,5	4	0,2	3	4	8
100	60	150	0,5	6	0,3	4	5	10
123	60	150	0,5	6	0,4	5	5	10
145	60	180	1	10	0,4	6	5	10
170	60	180	1	10	0,4	8	6	12
245	60	180	1	15	0,8	10	7	15
300	60	180	1	15	1,0	10	7	15
362	60	200	2	20	1,0	15	7	15
420	60	200	2	20	1,0	15	7	15
525	60	200	2	25	1,5	25	8	18
765	60	200	2	25	2,0	35	10	25

TABELA 3 -

Correntes, Comprimentos de Linha e Fatores de Acoplamento Assumidos como Base para Determinação das Correntes e Tensões Induzidas Nominais

Tensão Nominal da Linha	Corrente de Carga do circuito energizado	Comprimento		Fatores de Acoplamento							
		Classe A	Classe B	Classe A				Classe B			
		km	km	k_{LI}	k_{LV}	k_{CI}	k_{CV}	k_{LI}	k_{LV}	k_{CI}	k_{CV}
kV	A	km	km	V/A	V/A.km	V/V	m/kV.km	A/A	V/A.km	V/V	m/kV.km
52		10	60								
72,5		10	80								
100	600	15	100	0,10	0,05	0,15	0,10	0,25	0,10	0,20	0,20
123		15	100								
145		20	160								
170		20	160								
245	1200	30	200	0,05	0,03	0,20	0,05	0,15	0,06	0,40	0,10
300		30	200								
362		40	320								
420		40	320								
525	2000	50	400	0,03	0,02	0,10	0,02	0,10	0,03	0,20	0,05
765		50	400								

$$I_L = k_{LI} \cdot I; V_L = k_{LV} \cdot I \cdot \ell; U_C = k_{CV} \cdot U; I_C = k_{CI} \cdot U \cdot \ell$$

I_L e V_L = Valores nominais de corrente e tensão de acoplamento indutivo

I_C e V_C = Valores nominais de corrente e tensão de acoplamento capacitivo

I e U = Corrente e tensão, em relação à terra, na linha energizada

ℓ = Comprimento das linhas de transmissão acopladas

6. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Algumas linhas do sistema de transmissão de Itaipu apresentaram-se nas condições descritas no item 2 deste trabalho, o que implicou na necessidade de realização de ensaios especiais de laboratório para verificar o desempenho de alguns dispositivos de extinção de arco a serem utilizados nas chaves de terra, já que as normas técnicas, na época, não previam ensaios equivalentes a esta condição operativa.

Os ensaios realizados para verificação do desempenho das chaves do sistema de Itaipu durante a abertura de suas respectivas lâminas de aterramento, com e sem os dispositivos de restrição de arco, foram realizados nos laboratórios do CEPEL (Rio de Janeiro, Brasil) [9].

a) Ensaios de interrupção sem qualquer dispositivo auxiliar

Foram realizados três ensaios com os seguintes valores: 240A e 4,56 kV (Figura 9d).

Os valores obtidos de alcance de arco estavam de acordo com os valores calculados. Entretanto, os valores excessivos de duração do arco - 5,5 a 6 segundos - acarretaram a danificação de anéis anti-corona e dos contatos fixos da lâmina de aterramento, tornando esta solução inviável.

b) Ensaios com dispositivos rápido de extinção de arco

- Com 237A e 4,56 kV (Figura 9 a)

Foram realizados cinco ensaios sucessivos com resultados consistentes. O arco foi extinto com um tempo médio de 0,25 segundos após a finalização do curso do dispositivo rápido (tempo de extinção total de 0,55 segundos). O alcance médio do arco foi de 0,60 m.

- Com 255A e 10,32 kV (Figura 9b)

Foram realizados dois ensaios consecutivos. O tempo total de extinção foi de 0,95 a 1 segundo. O alcance médio do arco foi 1,50 m.

c) Ensaios com dispositivos rápidos de extinção de arco e sopro de ar comprimido.

- Com 240 A e 4,56 kV

Foram realizados dois ensaios consecutivos. O arco foi extinto em 0,2 segundos, ou seja, antes do curso total do dispositivo rápido. Não foi registrado o valor de alcance de arco pelo fato do arco ter sido interrompido, pelo sopro de ar comprimido, antes da finalização do curso total do dispositivo rápido.

- Com 255A e 10,32 kV

Foi realizado apenas um ensaio. O arco foi extinto em 0,25 segundos e o seu alcance foi de 1,50 m.

- Com 299A e 12,51 kV

Foram realizados dois ensaios consecutivos. O tempo total de extinção foi entre 0,35 e 0,5 segundos e o alcance do arco foi de cerca de 2,00 m.

- Com 368A e 15,28 kV (Figura 9c)

Foi realizado apenas um ensaio. Foi verificado que, mesmo com um tempo de extinção de 0,75 segundos (segundo estágio), consideráveis valores de arco foram registrados (alcance de arco maiores que 2,50 m). O processo de extinção foi considerado satisfatório.

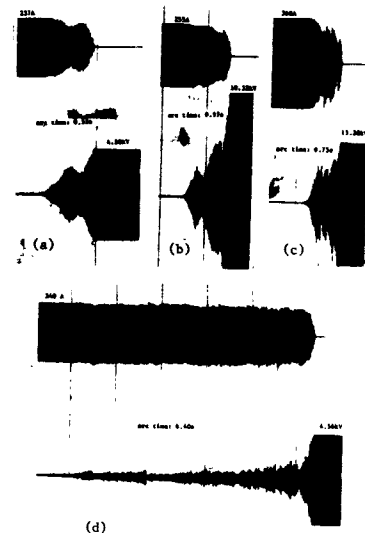


FIGURA 9 - Oscilogramas dos Ensaios "Arc time" - Duração do Arco

6.1. Procedimentos e critérios para aceitação dos ensaios

Considerando não haver padronização de procedimentos e critérios de aceitação do ensaio de tipo para a interrupção de correntes por seccionadores, foram adotadas as seguintes normas para os ensaios:

a) Procedimentos

Utilização das recomendações da norma IEC -265 cláusula 36, onde aplicável, e complementada com as seguintes considerações:

- O circuito de ensaio deverá apresentar os seguintes parâmetros que reproduzam as condições da linha:

- Reatância indutiva e capacitiva

- Valor de corrente com a lâmina de aterramento fechada (aterrada)

- Valor de tensão no intervalo entre contatos com a lâmina de aterramento aberta

- A lâmina de aterramento deverá partir da posição fechada (aterrada) e acionada com velocidade normal.

b) Critérios de aceitação

O alcance do arco ("arch reach") não deverá ultrapassar a 30% do percurso total da lâmina.

Caso não se verifique apreciáveis vestígios de desgaste ou queima dos contatos principais da lâmina de aterramento ou de outras partes da chave o resultado pode ser considerado aceitável.

Caso as áreas de contatos ou outras partes da chave fiquem sujeitas a danos deverá ser providenciada a correção da posição dos contatos de terra e o ensaio deve prosseguir por um número de vezes suficiente para comprovar que os danos causados durante a vida útil indicada pelo fabricante, serão de pouca monta e insuficientes para prejudicar o funcionamento da chave.

A redução do chifre corta-arco (se existir), devido aos efeitos térmicos do arco, será aceitável. Entretanto, esta redução influenciará na determinação das quantidades chifre corta-arco sobressalentes e critérios de manutenção da chave.

6.2. Análise dos resultados

a) O projeto do dispositivo rápido de extinção de arco demonstrou a sua capacidade de interrupção de correntes de 255A sob tensões até 10,32 kV. A velocidade de abertura e a distância entre contatos imediatamente antes da separação dos contatos da haste flexível - mostraram-se suficientes para se conseguir uma rápida extinção do arco, sem afetar os componentes da chave. Em todos os ensaios, com exceção daqueles em que não foram utilizados dispositivos rápidos, o arco resultante não afetou qualquer outro componente da chave nem comprometeu a segurança do pessoal dentro da área de interesse para o funcionamento da chave.

O desgaste nos valores de formação do arco, após algumas interrupções, foram desprezíveis, não influenciando o desempenho da chave em operações posteriores e indicaram apenas a necessidade de um aumento mínimo de frequência de manutenção das hastes flexíveis.

b) A utilização de sopro de ar comprimido demonstrou

ser um eficiente método para uma rápida e segura interrupção de arcos secundários em lâminas de aterramento. Uma corrente de 299A, sob 12,51 kV, foi eficientemente interrompida mesmo com baixos valores de pressão de ar (valor médio de 5,5 bar). Embora o ensaio com a corrente de 368A tenha demonstrado ser possível interromper o arco em menos de 1 segundo, julga-se necessário a continuação de pesquisas mais profundas nestas faixas de elevadas correntes e tensões, a fim de otimizar as distâncias de separação dos contatos, pressão de ar, ângulo da lâmina de aterramento no instante de inicialização do sopro de ar comprimido, etc.

6.3. Conclusões

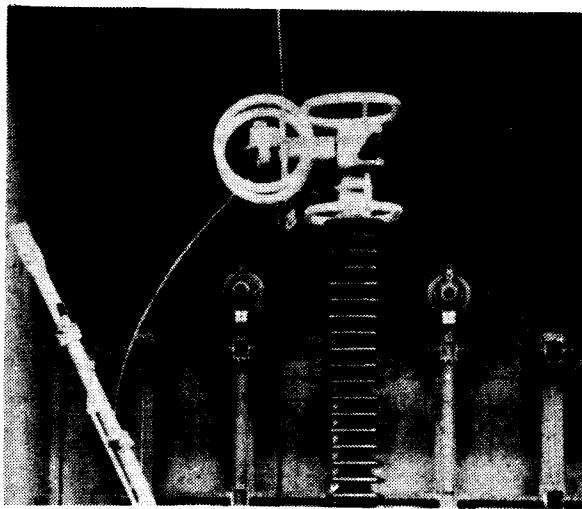
a) Baseando-se nos resultados dos ensaios, acima descritos, foi considerada aceitável a utilização de dispositivos rápidos para a interrupção de arcos secundários com correntes até 255A e tensão de 10 kV. Este dispositivo foi instalado nas chaves de 362 kV 4000A considerando uma decisão posterior de se executar a transposição dos circuitos duplos de algumas linhas de 345 kV. A utilização de sopro direcionado de ar comprimido sob estas condições foi considerada desnecessária, embora este dispositivo apresentasse um desempenho mais consistente nos ensaios realizados.

b) Baseando-se nos resultados de ensaios anteriores e considerando-se a transposição dos circuitos das linhas de 345 kV, foi decidida a utilização de dispositivos rápidos de extinção de arco nas chaves de 362 kV, com 3150A de corrente nominal (figura 10).

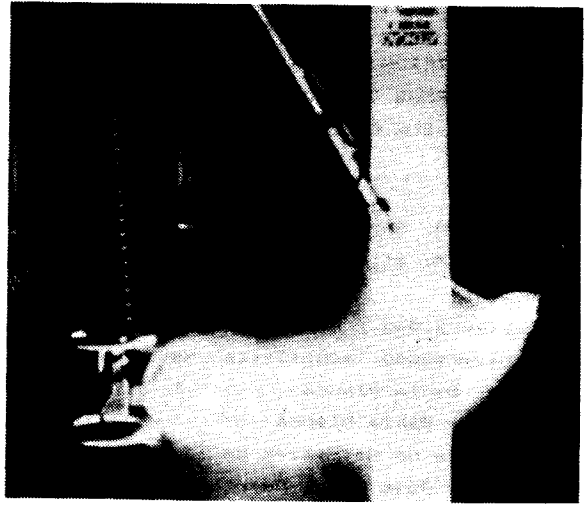
c) Para as chaves de 500 kV apenas chifres fixos foram instalados nas lâminas de aterramento já que os critérios de aceitação foram observados durante os ensaios com 90A e 5 kV.

7. REFERÊNCIAS

- [1] - "Aplicação de Chaves em Sistemas Elétricos de Alta Tensão" O. Kastrup F., CEMPEC - Curso de Espec. Manut. Equipamentos Elétricos, USP - 1978
- [2] - "Equipamentos Elétricos: Especificação e Aplicação em Subestações de Alta Tensão" - FURNAS/UFF, 1985, Kastrup F., O. e outros - Cap. IX
- [3] - "Correntes Induzidas em Circuitos Paralelos de Linhas de Transmissão e seus Efeitos nas Chaves de aterramento" - Jorge Amon F.º - CIER/SPISE, Montevidéu, 1980
- [4] - "Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento - Aplicação em Sistemas de Potência de Alta Tensão" - FURNAS/UFF, 1987 - Amon F., J. e outros - CAP. 20
- [5] - "Electromagnetic Transients Program - EMTP" Rule Book, versão M28
- [6] - "Ressonância por Indução em Linhas Compensadas por Reatores em Derivação" - L.E. Nora Dias - Tese de Mestrado COPPE/UFRJ - 1987
- [7] - "Amendment to IEC 129(1984): 17A(Secretariat) 269, 1987
- [8] - "Amendment to IEC 129(1984): 17A(Secretariat) 269A, 1987
- [9] - Frontin, S.O., Kastrup F., O., Marcuzzi, E.; Faingelernt A. - "Interruption of Induced Currents by Grounding Switches at the HVAC Lines of the Itaipu HVDC Transmission System Converter Stations" - CIGRÉ 1984.

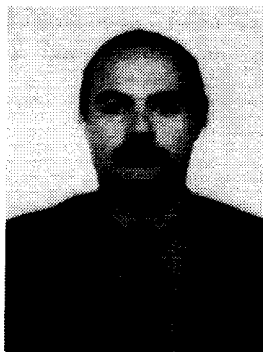


a) Antes da Abertura Efetiva do Circuito.



b) Durante a Extinguição do Arco.

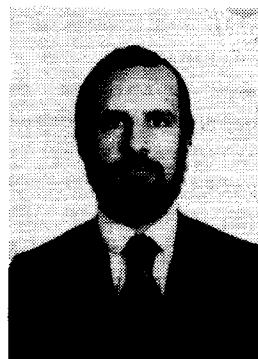
FIGURA 10



Amon Fº, Jorge

Nasceu em 08 de agosto de 1952 na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Graduou-se em Engenharia Elétrica e obteve o título de Mestre em Ciências de Engenharia Elétrica em 1975 e 1986, respectivamente, pela Pontifícia Universidade Católica - RJ. Foi professor de cursos de treinamento para engenheiros de empresas concessionárias de energia elétrica

na Universidade do Estado do Rio de Janeiro, na ELETROBRÁS, na UTE (Uruguai) e no INECEL (Equador). É engenheiro de FURNAS Centrais Elétricas S.A. desde 1976, atuando na área de estudos de transitórios elétricos e especificação de equipamentos e professor do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC/RJ. Participou de comissões de estudo para elaboração de normas técnicas brasileiras - ABNT e atuou em diversos grupos de trabalho da CIGRE-Brasil.



Kastrup Fº, Oscar

Nasceu em 23 de janeiro de 1946, na cidade de Niterói, Brasil. Graduou-se em Engenharia Elétrica em 1969 pela Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica - RJ. Tem curso de extensão universitária em transitórios eletromagnéticos na Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. Foi professor de cursos de treinamento para engenheiros de concessionárias de energia elétrica na Universidade de São Paulo, nas Universidades dos Estados do Rio de Janeiro e da Bahia, na ELETROBRÁS, na THEMAG Engenharia, no Comitê Brasileiro de Eletricidade, na ISA (Colômbia), na UTE (Uruguai) e no INECEL (Equador). Desde 1979 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC/RJ, onde sua área de interesse são os fenômenos transitórios em Sistemas de Potência, Coordenação de Isolamento, Projeto e Especificações de Equipamentos Elétricos e subestações.