TESE
01

19/04
2021

# ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE ENSAIO DE IMPULSO EM TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO, COM OSCILOGRAMAS DE TENSÃO E CORRENTE, ONDAS PLENAS E CORTADAS.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - BIBLIOTECA

por

Celso Jadir Gorgulho Junqueira

EFEI, Fevereiro de 1974.

Class. 621.314.222.6 : 621.316 (043.2)
Cutt. J95a
Tombo 01

Dedico este trabalho a
minha esposa e meus filhos

*Apresentação*

Trabalho apresentado a Douta Comissão de Julgamento como parte do concurso para Livre-docência na área de Técnicas de Alta Tensão e Alta Potência.

*Sumário*

Apresentamos um estudo sobre os diversos processos empregados para a realização de ensaios de impulso incluindo mais de cincoenta relatórios de ensaio de impulso com ondas 1,2/50, em transformadores de diversos fabricantes, diferentes tipos, de várias classes de tensões e potenciais.

Na primeira parte apresentamos considerações gerais sobre os diversos métodos de ensaio de impulso utilizados nos principais centros industriais, com ondas plenas e cortadas.

Na segunda parte incluimos 51 relatórios de ensaios de impulso, feitos no LAT-EPFI, em transformadores de vários fabricantes, desde 5 até 1500 kVA, de 8,66 até 69 kV.

Concluimos que um processo geral não pode ser utilizado sem prejuizo da facilidade da deteção e localização de defeitos.

## Objetivo

Estabelecer métodos seguros para a realização de ensaios em transformadores de distribuição sob tensões atmosféricas, ensaiando vários tipos de transformadores de diversos fabricantes nacionais, documentando com os oscilogramas de tensão e corrente, para que as pesquisas futuras no LAT-EFEI não sejam somente teóricas, ou melhor, em modelos que não representem os projetos atuais.

Ensaiando as próprias máquinas pretende-se apresentar não um estudo somente teórico mas fornecer considerações de caráter construtivo úteis aos fabricantes estribados em estudos comparativos das teorias mais atualizadas dos fenômenos de impulso nas máquinas elétricas.

# I N D I C E


| | Pag. |
|---|---|
| Introdução | 001 |
| Ensaios de impulso nos transformadores de distribuição | 002 |
| Impulsos monofásicos e trifásicos | 003 |
| A onda cortada | 009 |
| Curto circuito entre espiras | 010 |
| Métodos para a realização dos ensaios | 010 |
| Oscilograma de tensão | 011 |
| Método de Hagenguth | 012 |
| Diversas ligações para leitura do oscilograma de corrente em transformadores trifásicos | 017 |
| Enrolamento de baixa tensão em grandes transformadores | 018 |
| Método de variação no tempo da corrente a terra do enrolamento não submetido ao impulso | 019 |
| Método da variação no tempo da tensão na extremidade livre da bobina submetida ao impulso | 020 |
| A fórmula para a correção | 024 |
| O curto circuito e a forma de onda | 024 |
| Os capacitores utilizados em paralelo com o osciloscópio | 027 |
| Ensaio de impulso com onda cortada | 030 |
| Conclusões | 034 |
| Bibliografia | 036 |
| ENSAIOS | |
| Transformador trifásico 112 kVA, NBI 110 kV | 041 |
| Transformador trifásico 112,5 kVA, NBI 95 kV | 046 |
| Transformador trifásico 45 kVA, NBI 110 kV | 051 |
| Transformador trifásico 112,5 kVA, NBI 110 kV | 056 |
| Transformador trifásico 250 kVA, NBI 110 kV | 061 |
| Transformador monofásico 10 kVA, NBI 95 kV | 067 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 073 |
| Transformador trifásico | 15 kVA, | NBI 110 kV | 079 |
| Transformador trifásico | 75 kVA, | NBI 110 kV | 084 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 089 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 095 |
| Transformador trifásico | 112,5 kVA, | NBI 95 kV | 100 |
| Transformador trifásico | 30 kVA, | NBI 110 kV | 105 |
| Transformador trifásico | 15 kVA, | NBI 110 kV | 110 |
| Transformador trifásico | 45 kVA, | NBI 95 kV | 115 |
| Transformador de potencial | | NBI 95 kV | 120 |
| Transformador trifásico | 75 kVA, | NBI 110 kV | 123 |
| Transformador de potencial | | NBI 95 kV | 128 |
| Transformador trifásico | 75 kVA, | NBI 95 kV | 131 |
| Transformador trifásico | 225 kVA, | NBI 110 kV | 136 |
| Transformador trifásico | 500 kVA, | NBI 150/95 kV | 141 |
| Transformador trifásico | 75 kVA, | NBI 110 kV | 146 |
| Transformador trifásico | 30 kVA, | NBI 95 kV | 151 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 156 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 162 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 168 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 174 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 180 |
| Transformador trifásico | 30 kVA, | NBI 150 kV | 186 |
| Transformador trifásico | 45 kVA, | NBI 95 kV | 191 |
| Transformador trifásico | 30 kVA, | NBI 150 kV | 198 |
| Transformador trifásico | 1000 kVA, | NBI 250 kV | 203 |
| Transformador trifásico | 30 kVA, | NBI 150 kV | 208 |
| Transformador trifásico | 1500 kVA, | NBI 95 kV | 213 |
| Transformador de potencial | | NBI 95 kV | 218 |
| Transformador trifásico | 30 kVA, | NBI 95 kV | 221 |
| Transformador trifásico | 45 kVA, | NBI 95 kV | 226 |
| Transformador trifásico | 45 kVA, | NBI 95 kV | 231 |
| Transformador monofásico | 5 kVA, | NBI 75 kV | 236 |
| Transformador monofásico | 10 kVA, | NBI 95 kV | 240 |
| Transformador trifásico | 45 kVA, | NBI 110 kV | 243 |
| Transformador trifásico | 15 kVA, | NBI 95 kV | 248 |
| Transformador trifásico | 30 kVA, | NBI 150 kV | 253 |
| Transformador monofásico | 25 kV, | NBI 95 kV | 261 |

| | | | Pag. |
|---|---|---|---|
| Conjunto de medição | | NBI 110 kV | 264 |
| Transformador monofásico | 15 kVA, | NBI 95 kV | 268 |
| Transformador monofásico | 15 kVA, | NBI 95 kV | 270 |
| Transformador monofásico | 15 kVA, | NBI 95 kV | 272 |
| Transformador monofásico | 15 kVA, | NBI 95 kV | 275 |
| Transformador monofásico | 15 kVA, | NBI 95 kV | 278 |
| Transformador monofásico | 15 kVA, | NBI 95 kV | 280 |
| Transformador de corrente | | NBI 350 kV | 282 |

*Introdução*

As descargas atmosféricas atingindo diretamente as linhas de transmissão provocam perturbações, que dependem da amplitude e da forma da onda. O número de descargas anuais varia de região para região e geralmente é registrado em curvas denominadas isoceráunicas. As descargas atmosféricas atingindo a rede são amortecidas pela resistência ohmica e principalmente pelo corona.

A atenuação será tanto maior quanto maior for a tensão comparada com a tensão crítica de corona. Assim as descargas em locais afastados da subestação são geralmente inofensivas.

Embora a amplitude da corrente dos relâmpagos possa atingir mais de uma centena que kA, 50% tem valores inferiores a 30 kA.

As ondas de tensão atingindo as máquinas elétricas podem perfurar o seu isolamento devido a sua grande inclinação, cerca de um microsegundo, de zero até atingir seu valor máximo. As ondas de tensão são padronizadas para os testes das diversas classes de tensão. As normas técnicas brasileiras, P-MB 433, estabelecem um tempo de subida de 1,2 μs e o tempo de meia amplitude de 50 μs.

Assim o gerador de impulso do LAT-EFEI foi preparado para fornecer ondas 1,2/50.

Com a introdução do transformador no circuito do gerador de impulso a forma da onda sofre modificações. Nos 51 ensaios aqui representados procurou-se corrigir a forma da onda.

*Ensaios de Impulso nos Transformadores de Distribuição*

Os fenômenos de impulso tem uma característica linear, por isso os resultados obtidos em ensaios de impulso em baixa tensão permitem determinar os esforços elétricos sob pleno impulso.

Observa-se que os fenômenos de impulso em um transformador fora da caixa, com tensão reduzida não se afastam muito dos fenômenos observados no transformador dentro da caixa sob pleno impulso. Isto é fácil de entender porque a capacidade com relação ao núcleo magnético é o termo determinante da capacidade a terra e a diferença entre a constante dielétrica do óleo e a do ar tem uma pequena influência nas variações dos fenômenos de impulso. Medidas mais rigorosas mostraram que, muitas vezes, pode-se substituir o núcleo magnético por um cilindro condutor colocado no interior da bobina de modo que a capacidade total da bobina à terra seja a mesma

Os resultados são importantes porque permitem verificar o comportamento sob impulso de um enrolamento pronto para a montagem. Acontece que muitas vezes é difícil obter-se um borne intermediário no enrolamento fora da caixa. Basta, contudo, tomar a tensão no ponto desejado pela capacidade de um eletrodo auxiliar.

Para esses ensaios de impulso sob baixa tensão, são utilizados, com grandes vantagens os geradores de impulso repetitivos, com os quais podem-se analisar os fenômenos transitórios em um ponto qualquer do transformador; não há necessidade para isso de se possuir uma série de bornes

intermediários sobre o enrolamento; mas pequenos eletrodos auxiliares. Pode-se utilizar como bornes intermediários, as ligações entre as diferentes bobinas.

O gerador de impulso repetitivo presta também grandes serviços aos projetos de transformadores, isto é, nos protótipos, porque permitem determinar rapidamente os pontos sujeitos aos maiores esforços e assegurar ao projeto a resistência desejada ao impulso.

A facilidade de se modificar os valores das resistências de amortecimento, e de descarga e dos capacitores de impulso e de carga, permitindo gerar ondas de valores corretos torna bastante comoda a utilização dos geradores de impulso repetitivos.

Para este estudo, preferiu-se, entretanto, utilizar-se o gerador de impulso, também da Haeffely, de 1,25 KJ, 450.000 volts, com os seis estágios, devidamente equipado com o trigatron, por ser um equipamento de grande precisão e facilidade de operação.

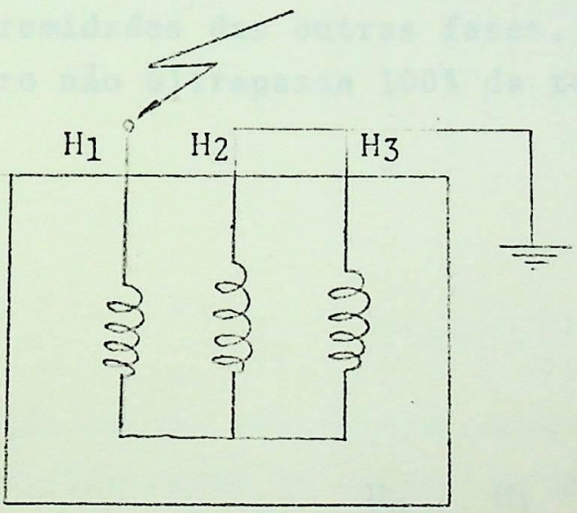
Infelizmente, os oscilogramas não apresentam boa semelhança visto a necessidade da utilização de vários osciloscópios.

Por outro lado, procurou-se adotar ligações as mais semelhantes possíveis, para a realização dos ensaios.

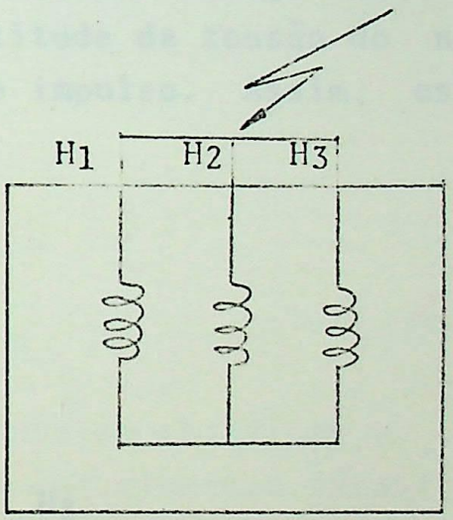
*Impulsos Monofásicos e Trifásicos*

Em um impulso monofásico em um transformador com neutro isolado, o esforço a terra do enrolamento nas proximidades do ponto neutro é sensivelmente maior que no impul

so trifásico. Os gradientes longitudinais nas proximidades do neutro são geralmente menores que os outros pontos da bobina no impulso monofásico. As tensões entre os pontos próximos dos diversos enrolamentos não são desprezíveis, o que é importante para os ensaios de isolamento das conexões e construção do comutador se o transformador tem tomadas de regulação. Os esforços a terra atingem neste ponto de 80 a 100% do valor de crista da onda no borne de entrada.




transf. com neutro isolado
impulso monofásico



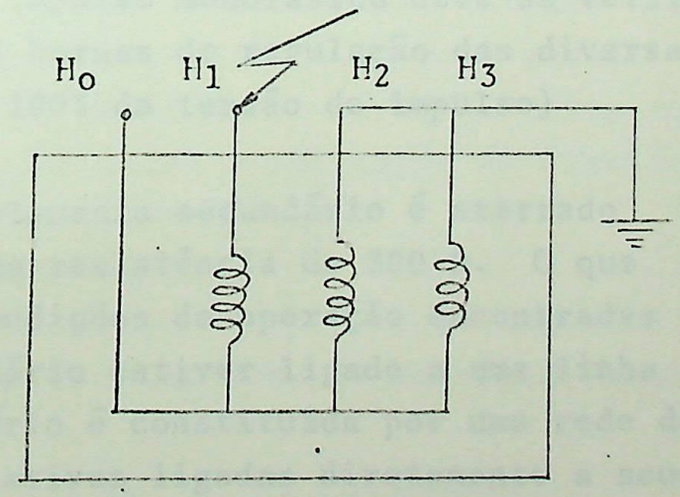

transf. com neutro isolado
impulso trifásico

No ensaio com impulso em um transformador com neutro isolado, não acessível, a fase se comporta como se fosse um enrolamento único com extremidade isolada. Na entrada de cada fase o esforço é um pouco mais elevado que em um impulso monofásico. Nas proximidades do neutro, os esforços são muito maiores, como também o esforço a terra que atinge muitas vezes 160 ou mesmo 200%, os esforços longitudinais que no impulso trifásico atinge muitas vezes 40 a 50% do valor do gradiente da entrada enquanto que no monofásico

é de 30%. Conclui-se que o impulso trifásico é muito mais perigoso que o monofásico.

O impulso monofásico, entretanto, é muito mais frequente na prática, daí as recomendações de normas para a realização de impulsos monofásicos. Para transformadores deste tipo seria mais seguro o ensaio com impulso trifásico.

No ensaio de impulso monofásico no enrolamento ligado em Y com neutro isolado acessível, liga-se conforme o esquema. Neste caso, testa-se o neutro com relação às extremidades das outras fases. A amplitude da tensão do neutro não ultrapassa 100% da tensão de impulso. Assim, este

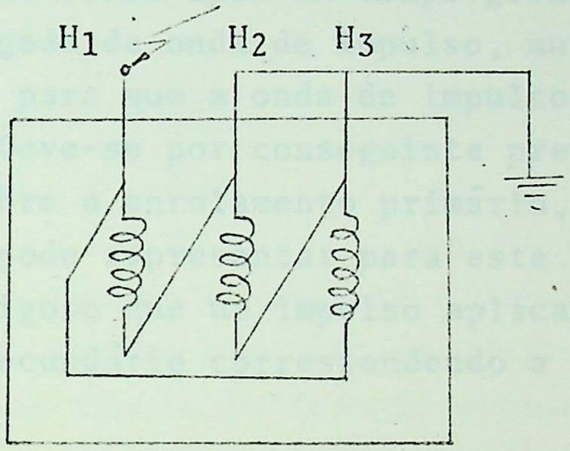



impulso monofásico

tipo de ensaio pode ser feito em transformadores com neutro bem isolado. Ao contrário se o isolamento do neutro for pequeno, coloca-se uma resistência entre $H_o$ e $H_3$, cujo valor será escolhido no ensaio de tensão reduzida, para se obter os esforços normais na entrada e no neutro do enrolamento

no ensaio de impulso com onda plena.

Quando o transformador for ligado em Δ, o ensaio com impulso monofásico é feito conforme a figura porque é neste caso que o esforço longitudinal a entrada do enrolamento é a mais desfavorável. Como o impulso atinge duas fases simultaneamente, não há necessidade de se ensaiar as




transformador em Δ

três fases. No impulso monofásico deve-se verificar o isolamento entre os bornes de regulação das diversas fases (tensão da ordem de 100% da tensão de impulso)

O enrolamento secundário é aterrado diretamente ou através de uma resistência de 300 Ω. O que corresponde geralmente às condições de operação encontradas quando o enrolamento secundário estiver ligado a uma linha aérea. Se a carga do secundário é constituída por uma rede de cabos ou por máquinas rotativas ligadas diretamente a seus bornes, deve-se usar uma resistência de 50 Ω. O secundário em curto circuito tem uma grande influência sobre o enrolamento primário. Os oscilogramas mostram que os esforços, principalmente os esforços a terra, são maiores quando o enrolamento secundário está fechado em curto circuito do que quando está aberto. A influência principal se manifesta nas elevações da frequência de oscilações livres. Com o enrolamento secundário em curto circuito, a frequência pode atingir

valores 4 vezes mais elevados que com enrolamentos abertos. Haverá muito mais batimento quando o secundário estiver fechado que quando estiver aberto.

A tensão induzida por um impulso no enrolamento secundário aberto desde que tal caso ocorra na distribuição, não atinge seu máximo senão após um tempo geralmente muito longo depois da chegada da onda de impulso, muitas vezes suficientemente tarde para que a onda de impulso seja totalmente amortecida. Deve-se por conseguinte prever que um impulso monofásico sobre o enrolamento primário, enrolamento secundário aberto, pode representar para este último um ensaio muito mais perigoso que um impulso aplicado diretamente no enrolamento secundário correspondendo a seu nível de isolamento.

É por isso que é aconselhável fazer o ensaio de impulso com o enrolamento secundário em curto circuito ou ligado a terra através de resistências; existem casos particulares em que há vantagem de se fazer o ensaio com o secundário aberto. O fechamento do curto circuito do secundário, entretanto, dificulta a indicação de defeitos no oscilograma.

Os ensaios realizados para este trabalho estão documentados, com seus oscilogramas de tensão e corrente na segunda parte.

Entre as conclusões, citaremos, por exemplo, a influência da cauda, da frente e o corte na cauda da onda, para os ensaios.

Pode-se comprovar teoricamente que não há influência considerável nos esforços longitudinais se o tempo de duração até a meia amplitude ($T_2$) for superior a 25 μs.

Ao contrário, os esforços com relação a terra são função da relação do tempo de descida e o período da fundamental do enrolamento. Esta função tem uma característica exponencial.

O quadro abaixo mostra a influência do tempo de descida sobre a tensão máxima com relação a terra com neutro isolado.

| onda | 1/25 | 1/40 | 1/50 | 1/6 |
|---|---|---|---|---|
| Trafo 15 KV, 5 KVA | 65 | 85 | 114 | 120 |

Quanto a frente de onda as experiências demonstraram que a variação do tempo de subida entre 0,2 e alguns microsegundos não tem grande influência quanto aos esforços a terra. Entretanto, os esforços longitudinais, principalmente nos bornes de entrada dependem grandemente da inclinação da frente.

Os valores relativos dos esforços longitudinais em transformadores de distribuição (de 5 a 500 KVA) na entrada da bobina em função da inclinação de subida mostram que tomando-se uma inclinação de 2 a 2,5 μs os esforços são da ordem de 30 a 20% menores que o unitário, considerando-se como unitário o impulso de 1/50; de 0 a 10% maiores que o unitário, para frentes de 0,7 a 0,8 μs e de 10 a 20% em casos de ondas de impulso 0,3 a 0,4 μs.

Em transformadores de potência esta influência é ainda muito mais notável, embora estas verificações não possam ser realizadas no LAT da EFEI, sendo da ordem de 40% inferiores ao unitário, com a inclinação de 2,5 μs e 70% superiores ao unitário com a inclinação de 0,3 μs.

Assim fica justificada a tolerancia, por exemplo, das normas ABNT, para ensaios em transformadores de 30% para

o tempo de subida.

As conclusões das experiências mostram que mesmo para uma tolerância de 50% a variação nos esforços é desprezível.

*A Onda Cortada*

Infelizmente os oscilogramas apresentados na segunda parte, para as ondas cortadas, apresentam cortes com tempos diferentes, devido a defeitos do Trigatron do laboratório, ensaios nos 33 a 45.

Uma onda unitária 1/50 cortada no instante t corresponde aproximadamente a superposição desta onda a outra de polaridade oposta de 0,3/50.

A onda cortada provoca um esforço longitudinal muito grande nos bornes de entrada do enrolamento enquanto que os esforços a terra não sofrem quase modificações. Aliás isto pode ser comprovado teoricamente.

A variação da tensão nos bornes de entrada de um transformador com onda cortada é quase o dobro da variação provocada por onda plena (33% de $V_c$ para onda plena e 55% para onda cortada na cauda).

Observa-se ainda que a grandeza dos esforços na bobina de entrada depende principalmente o instante do corte. O comportamento de um transformador blindado é mais favorável.

*Curto Circuito entre Espiras*

A determinação de um defeito surgido em um transformador durante a realização do ensaio pode ser feita com facilidade. Além de verificar-se se o transformador tem defeito é conveniente localizar-se este defeito. É possível determinar, em um ensaio de impulso, curto circuito entre bobinas, entre espiras, entre camadas, descargas a terra e outros defeitos.

Entre os métodos utilizados na realização dos ensaios de impulso merecem consideração os seguintes:

I - tomando os oscilogramas variando a tensão na entrada do transformador;

II - pela verificação de bolhas e gases no óleo do transformador, o que significa descarga entre espiras;

III - método de Hagenguth - pela modificação da variação no tempo da corrente no enrolamento ensaiado;

IV - modificação da variação no tempo da corrente a terra de outro enrolamento;

V - modificação da variação no tempo da tensão da extremidade livre do enrolamento sob impulso;

VI - modificação da variação no tempo da tensão da extremidade livre de outro enrolamento.

Os três primeiros métodos permitem evidenciar defeitos grandes enquanto os métodos IV e V permitem detetar defeitos de uma pequena fração do número de espiras.

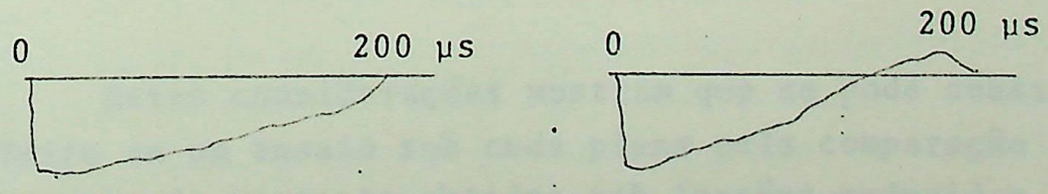
Além disso existe também o método eletroacústico.

*Oscilograma de Tensão*

Defeitos graves são facilmente detetados porque provocam quedas de tensão de entrada, devido a curto circuito entre camadas ou entre espiras. Entretanto se o defeito for longe da entrada, havendo grande número de espiras, a queda de tensão não será grande.

Se o curto circuito é entre um grande número de espiras, mostrou-se que a variação de tensão, aperiódica quando não há descarga, se torna oscilatória por causa da diminuição da indutância.

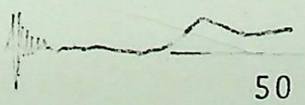
Os dois oscilogramas abaixo mostram o ensaio realizado em um transformador monofásico com três enrolamentos de alta tensão. No primeiro o enrolamento de mais baixa tensão está aberto e no segundo está "shuntado" por uma resistência de 50 Ω.




Observa-se que a variação da tensão se torna periódica no segundo caso. Em consequência a variação da tensão de ìmpulso permite tirar conclusões sobre a natureza do defeito.

*Método de Hagenguth*

Existe uma proporcionalidade restrita entre a tensão e a corrente a terra desde que não haja descarga no transformador. Mas se duas partes metálicas normalmente isoladas uma com relação a outra se encontram ligadas no transformador por um arco, a tensão em seus bornes cai em um tempo muito curto ($10^{-8}$ segundos). Produz-se então uma oscilação de alta frequência rapidamente amortecida que é transmitida pela capacidade da bobina a corrente de terra. No instante da descarga um impulso de alta frequência aparece em consequência na corrente de terra e a proporcionalidade entre a corrente e a tensão desaparece. Os oscilogramas abaixo ilustram este fato, a corrente a terra da extremidade da bobina de alta tensão de um transformador de 220 KV no caso de ausência de descarga e em outro com uma descarga entre bobinas aos dois terços do enrolamento de alta tensão. A perfuração ocorreu depois de 20 µs.





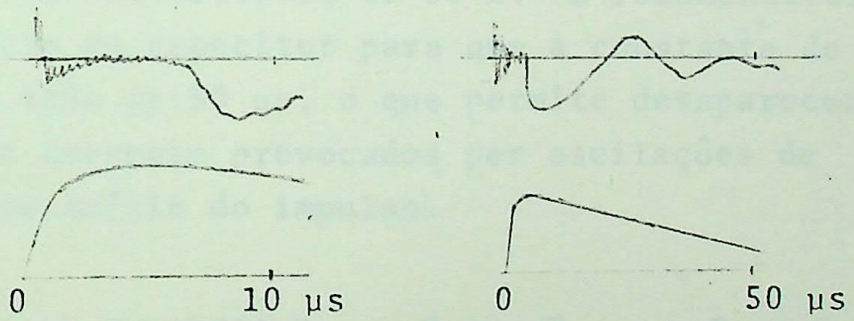


Estas considerações mostram que se pode constatar um defeito em um ensaio sob onda plena pela comparação dos oscilogramas de corrente obtidos sob tensões reduzidas e sob tensões plenas.

A corrente correspondente ao estado quase estacionário e as oscilações próprias muito lentas se prestam particularmente a analise de defeito, porque as oscilações livres de alta frequência devidas as capacidades são logo amortecidas.

A figura abaixo representa os oscilogramas de corrente da extremidade a terra do enrolamento de 34,5 KV de um transformador de 250 KVA, com 10 μs e com 50 μs.

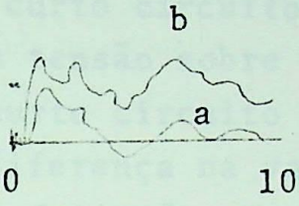
O oscilograma de 50 μs mostra a componente quase estacionária da corrente de impulso, superposta as oscilações próprias lentas, e o oscilograma de 10 μs registrou as oscilações irregulares de alta frequência devidas a tensões induzidas na extremidade da bobina pelas capacidades nos primeiros microsegundos após a aplicação do impulso. Estas oscilações da corrente de alta frequência não são recomendáveis para determinar defeitos.




A componente quase estacionária e as oscilações próprias de baixa frequência superpostas são fortemente influenciadas pelas modificações da indutância, tais como as produzidas em curto circuitos. A diminuição da indutância provocada por um curto circuito provoca um aumento da corrente na bobina.

A figura a seguir representa dois oscilogramas de corrente, onde a curva a representa o oscilograma antes do defeito e a curva b após o curto circuito de algumas espiras de uma fase. Estas curvas mostram que a corrente de impulso é muito maior se houver um curto circuito. Verificou-se que um curto circuito em algumas espiras tem o mesmo

comportamento que um contornamento a estas espiras.




Em todos os ensaios aqui representados, os oscilogramas de corrente do impulso aplicado ao transformador, cuja extremidade da bobina está ligada a terra foi ligada neste borne uma resistência de 50 Ω. É recomendável ligar-se em paralelo um capacitor para que a constante de tempo do circuito seja de 50 µs, o que permite desaparecer com os pontos de corrente provocados por oscilações de alta frequência do início do impulso.

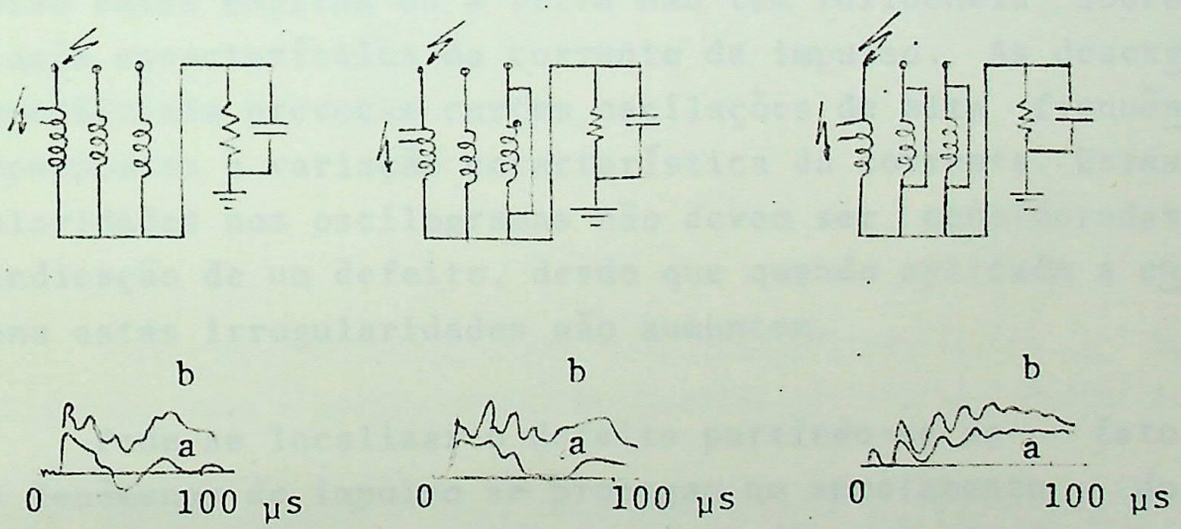
$$C = 1/50\ R \quad - \quad C \text{ em } \mu F \quad e \quad R \text{ em } \Omega$$

Para transformadores de pequena potência, a colocação de um condensador relativamente grande em lugar da resistência é efetivamente o processo mais sensível para a determinação do defeito. Este processo é utilizado para ensaios em transformadores de pequena potência fabricados em série (distribuição).

Os ensaios mostram que a ligação de um enrolamento não atingido tem uma grande influência na variação da corrente de impulso nos transformadores trifásicos. Isto prova que o núcleo magnético participa na formação do fluxo magnético. Se se liga diretamente a terra as fases do enrolamento de alta tensão não submetidas ao impulso ou o enrolamento secundário, a sensibilidade deste método fica reduzida

porque o curto circuito direto de uma fração da bobina impe de o fluxo magnético de se desenvolver no núcleo magnético.

O desenho abaixo mostra os oscilogramas em um en saio em um transformador de 250 KVA, 25 KV, evidenciando a influência de um curto circuito de uma ou duas fases do en rolamento de alta tensão sobre a variação da corrente de im pulso com e sem curto circuito de 5% das espiras da fase sob impulso. A diferença na variação das correntes de im pulso com e sem defeito é enfraquecida pelo curto circuito das fases não atingidas. A curva a representa o ensaio no transformador sem defeito e a curva b com o defeito corres- pondente a 5% das espiras em curto circuito.




Por esta razão, recomenda-se aterrar os enrolamen tos não submetidos ao impulso por resistências tendo por va lores a impedância de onda da carga ligada ao transformador (300 Ω) para linhas aéreas e 50 Ω para cabos ou máquinas ro tativas).

É conveniente deixar as fases não atingidas pelo

impulso em circuito aberto para aumentar a sensibilidade dos métodos de ensaio. Para que os fenômenos de impulso não induzam nos enrolamentos tensões de valores inaceitáveis, as extremidades livres da bobina devem ser aterradas por meio de centelhadores ou resistências de proteção de um valor tal que a mais alta tensão induzida não ultrapasse 80% do nível do isolamento do enrolamento correspondente.

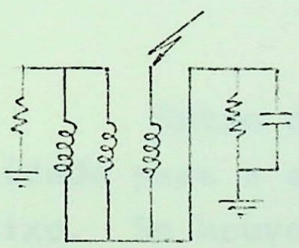
Para uma boa análise é bom tomar-se uma base de tempo para os oscilogramas de cem ou cento e cincoenta micro segundos. Já foi dito que os desvios na variação da corrente quase estacionária e as oscilações próprias de baixa frequência são mais evidentes. Os efluvios produzidos durante o impulso entre espiras ou a terra não tem influência sobre a variação característica da corrente de impulso. As descargas superficiais provocam curtas oscilações de alta frequência superpostas à variação característica da corrente. Estas irregularidades nos oscilogramas não devem ser consideradas como indicação de um defeito, desde que quando aplicada a onda plena estas irregularidades não aumentem.

Pode-se localizar o defeito partindo-se do fato que os fenômenos de impulso se propagam no enrolamento do transformador no óleo com uma velocidade de aproximadamente 150 m/μs.

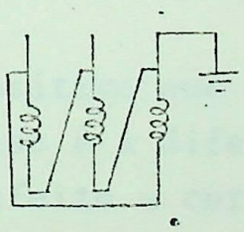
Obtem-se a distância aproximada entre a entrada da bobina e o ponto onde se produziu o defeito medindo-se o tempo do início do impulso até o defeito e multiplicando-se por 150. Supõe-se que o defeito se produziu a primeira vez que o impulso atravessou o enrolamento, o que quase sempre acontece.

*Diversas Ligações para Leitura do Oscilograma de Corrente em Transformadores Trifásicos*

Se o enrolamento a ser ensaiado estiver ligado em Y com neutro aterrado pode-se medir as correntes de impulso como mostra a figura, e o outro enrolamento ficará a terra, em um ponto.

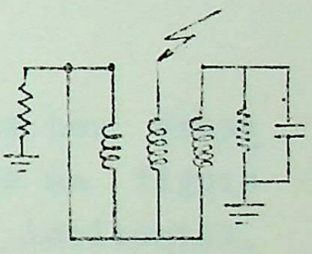


A.T.



B.T.

ou

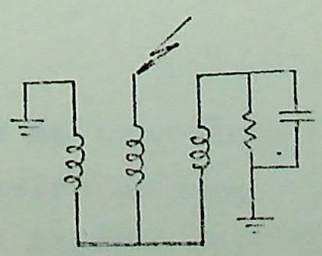


A.T.

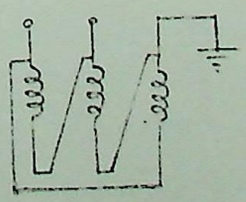
Se o enrolamento tiver uma baixa impedância de onda o segundo caso é mais indicado (medida da tensão induzida).

Esta ligação é muito sensível para a localização de defeitos podendo as fases B e C ficarem isoladas.

Se o neutro não for acessível as ligações serão as indicadas abaixo.

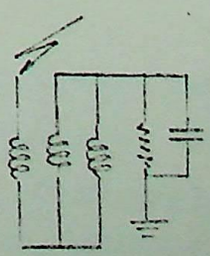


A.T.



B.T.

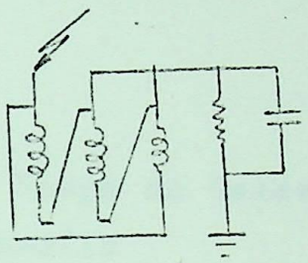
ou



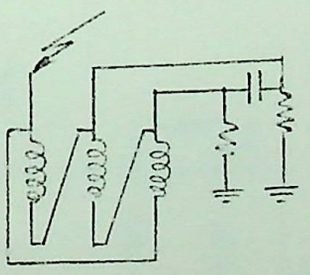
A.T.

Neste caso as extremidades das fases B e C serão aterradas diretamente ou através de resistências.

Se o enrolamento estiver ligado em Δ o impulso percorre as duas fases que estão ligadas a terra pelo dispositivo de medição.



Outro dispositivo que permite obter uma boa sensibilidade para a análise é a diferencial, mostrada na figura abaixo. Se houver defeito a curva deixa de ser horizontal, normalmente nula.



*Enrolamento de Baixa Tensão em Grandes Transformadores*

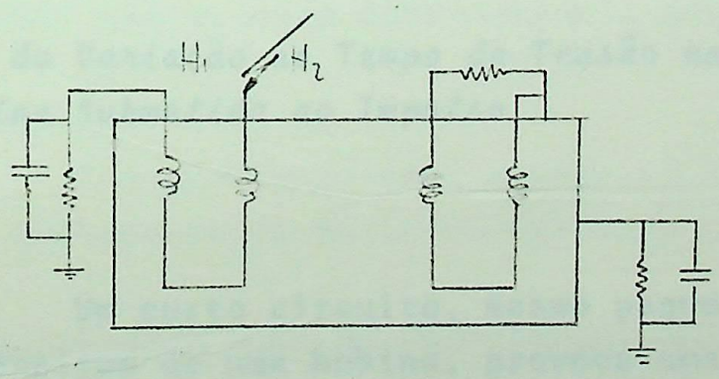
O ensaio de impulso dos enrolamentos de baixa tensão de transformadores de grande potência com geradores de impulso de uma potência normal apresenta certas dificuldades ligadas a necessidade de conservar a duração da descida a meia amplitude de 50 μs porque a impedância da onda do enrolamento é pequena. As normas americanas autorizam o

emprego, neste caso, de uma onda cujo $T_2$ seja menor que 15μs ou a introdução de uma resistência de 500 Ω entre a extremidade da bobina e a terra.

Pode-se então concluir que a análise da corrente de impulso se escoando a terra permite obter uma indicação segura dos defeitos, mesmo pequenos, produzidos no ensaio de impulso.

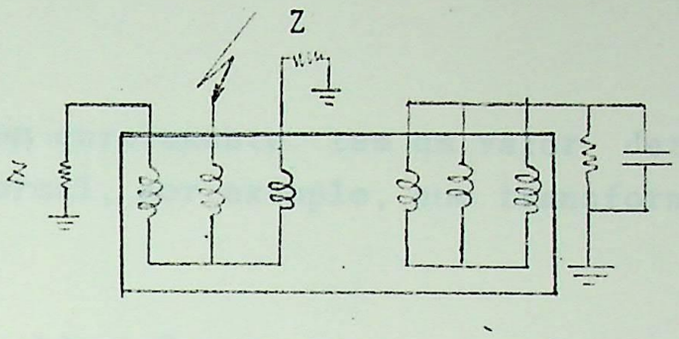
*Método da Variação no Tempo da Corrente a Terra do Enrolamento não Submetido ao Impulso*

Consiste na medida capacitiva a terra do enrolamento de alta tensão. Se o neutro do enrolamento de alta tensão não está aterrado deve-se efetuar o ensaio como a figura abaixo




Neste caso deve-se isolar a caixa de óleo com relação a terra. Pode-se medir nos bornes da resistência R uma tensão correspondente a corrente capacitiva ligando-se o enrolamento secundário a caixa.

A figura a seguir permite evitar o isolamento da caixa com relação a terra.




$Z = 500\ \Omega$

Neste caso lê-se a corrente de impulso induzida pela capacidade no enrolamento de baixa tensão, estando as duas extremidades do enrolamento de baixa tensão fechadas em curto circuito e ligadas a terra pela resistência R de valor suficiente para a tomada dos oscilogramas.

Este esquema para ensaio permite verificar curto circuito na bobina, até mesmo um por cento das espiras do enrolamento de alta tensão com a mesma precisão que medindo-se diretamente a corrente a terra do enrolamento de alta tensão.

*Método da Variação no Tempo da Tensão na Extremidade Livre da Bobina Submetida ao Impulso*

Um curto circuito, mesmo pequeno, isto é entre algumas espiras de uma bobina, provoca uma grande modificação da distribuição do fluxo magnético. No local do curto circuito o fluxo magnético resultante cai a quase zero. A corrente de curto circuito sob impulso toma um valor tal que a corrente total do enrolamento seja nula por causa da ligação entre as espiras deste enrolamento.

Isto significa que o fluxo magnético no ferro, comum a todas as espiras é absorvido pelo curto circuito. O esquema que permite melhores interpretações são os que a

corrente total de um enrolamento tem um valor determinado no funcionamento normal, por exemplo, num transformador com neutro isolado.

Estas considerações mostram que todos os métodos fundados nas modificações das oscilações livres da tensão da tomada de regulação e das extremidades isoladas serão utilizadas para detetar curtos circuitos eventuais.

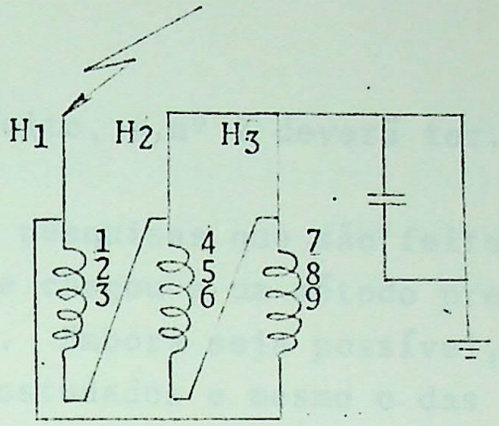
Além desses existem outros métodos de ensaios, todos apresentando certa dificuldade quanto a interpretação dos oscilogramas.

As observações e estudos feitos no LAT-EFEI mostraram que o método mais conveniente, embora também trabalhoso, é o que consiste em colocar defeitos artificiais em vários pontos das bobinas, simulando defeitos que poderiam ocorrer e medir a variação da corrente com baixa tensão. Se o oscilograma obtido corresponde ao do ensaio de impulso com a onda plena, está determinado o ponto onde há o defeito.

É conveniente usar sempre um determinado método para a interpretação dos oscilogramas.

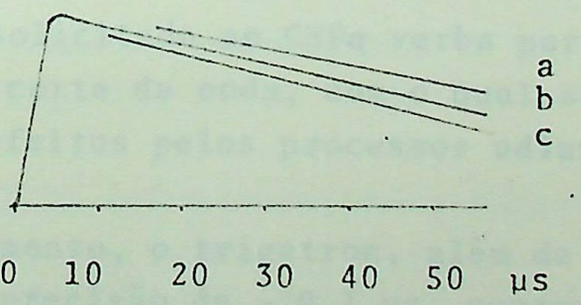
A simulação de defeitos artificiais, em vários tipos de transformadores, no LAT-EFEI, tem quase sempre sido feita conforme o processo de Hagenguth.

Em um transformador trifásico Δ/Y de distribuição, seguindo as normas, pode-se verificar com facilidade um defeito, por exemplo, curto circuito entre algumas espiras, comparando os oscilogramas de tensão ou corrente, nas buchas $H_1$, $H_2$ e $H_3$ do enrolamento de alta tensão. Isto poderá ser observado tanto com as ondas reduzidas como nas ondas plenas.




Os pontos 1, 4 e 7 representam por ex., a posição de um defeito entre espiras, na entrada da bucha, isto é, acima do centro; 2, 5 e 8, no centro e 3, 6 e 9, a posição depois do centro dos enrolamentos.

A figura abaixo mostra por exemplo os oscilogramas obtidos em um ensaio, onde a curva a, foi obtida na bucha $H_1$, b, na bucha $H_2$ e c, na bucha $H_3$.




No caso desta figura a impedância é maior no oscilograma de $H_1$. O sinal percorre os enrolamentos 1 e 3, depois vem o oscilograma b. Neste caso o impulso percorre os enrolamentos 2 e 1. Assim o defeito deve estar num dos enrolamentos percorridos quando se aplica o impulso em $H_3$, oscilograma c, menor tempo de meia amplitude, porque quando se aplica aí o impulso, êle percorre o enrolamento 3 e 2.

Se 1 e 3 não tem defeito, o nº 2 deverá ter.

Apesar das pesquisas que são feitas no LAT-EFEI desde 1968, ainda não se chegou a um método preciso para a localização dos defeitos. Embora seja possível, lançando mão dos vários métodos aqui estudados e mesmo o das ondas cortadas descrito adiante, determinar se o transformador tem ou não defeito, ou melhor, se resistiu ou não ao ensaio.

Dependendo das ligações do transformador a ensaiar adota-se o processo mais seguro na localização e deteção dos defeitos. Até o momento não há um método aceito universalmente, embora o método de Hagenguth nos pareça o mais conveniente, principalmente em transformadores de distribuição. É por isso que a maioria dos ensaios aqui representados é feita por este método.

Antes de 1972, todos os estudos no LAT-EFEI foram feitos com ondas cortadas pelo espinterômetro de 150 mm, sem um dispositivo de corte no tempo desejado (de norma). Assim quase sempre a onda era cortada na subida.

Foi então solicitado ao CNPq verba para aquisição de um equipamento de corte da onda, com o qual seria possível fazer a deteção de defeitos pelos processos adiante descritos.

Este equipamento, o trigatron, além de cortar a onda de impulso, com a precisão de $\pm$ 0,1 µs, comanda o disparo do gerador, oferecendo muito mais precisão para o valor da onda aplicada, assim facilita a interpretação dos oscilogramas de tensão, ondas plenas, porque os valores de cristas podem ser os mesmos, facilitando a superposição.

O pedido foi atendido.

A partir desta época várias firmas começaram a ensaiar transformadores, para-raios, chaves e isoladores neste

laboratório. Entre elas citamos a GE, do Rio; Line, do Rio; Trafo, do Paraná; Marangoni, Mogi Mirim; Nativa,de Campinas; A Eletrotécnica, de Uberaba; Gordon, Campinas; Jumil, de Batatais; Alsthon, Belo Horizonte; INEL, de São Paulo e muitas outras.

É bom ressaltar que estando o gerador equipado com o trigatron foi possível trabalhar com a precisão exigida por norma.

A fórmula utilizada para a correção da tensão em todos os ensaios feitos no LAT é

$$V = V_n\left(\frac{0,386\ P}{273 + t}\right)$$

sendo P a pressão em mm Hg e t a temperatura ambiente em ºC.

*O Curto Circuito e a Forma de Onda*

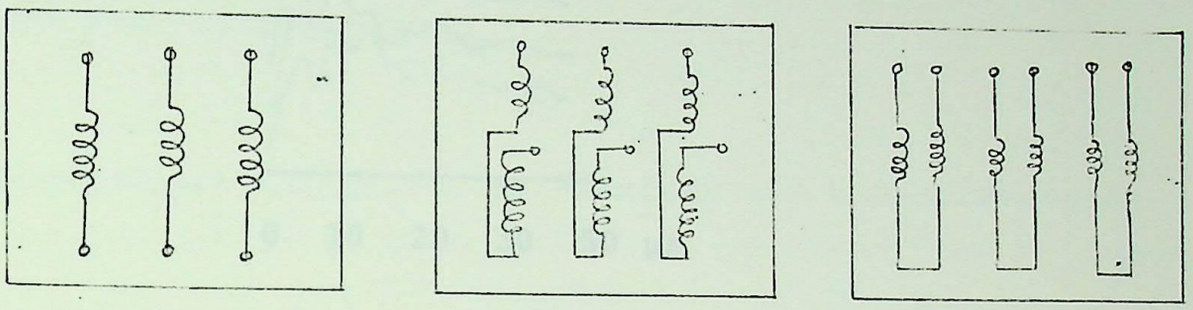
Um curto circuito no enrolamento de um transformador modifica a distribuição do fluxo magnético.

Embora as modificações provocadas pelos harmônicos de ordem mais elevada sejam grandes o primeiro harmônico também provoca modificações perceptíveis.

A variação da tensão na extremidade livre da bobina poderá ser medida visto que as amplitudes dos harmônicos serão função de seu comprimento de onda.

A dificuldade para a interpretação do defeito surge por causa das diversas maneiras de se enrolar um transformador.

As figuras abaixo mostram, por exemplo três tipos de enrolamento de transformadores.

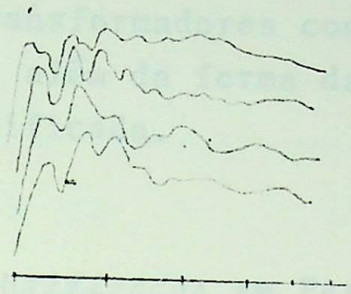


Na pesquisa preliminar realizada sem a ajuda do trigatron, introduziu-se artificialmente curto circuitos entre espiras e mesmo simulação de falta de isolamento entre bobinas das fases visinhas e para a carcassa. Não se incluiu neste trabalho todos os resultados obtidos mas somente algumas conclusões que se seguem.

Os ensaios de nºs 31 a 45 mostram ensaios realizados, cortando as ondas com o espinterômetro . Apesar de não se poder contar com as ondas de corrente para a análise, foi possível detetar os defeitos. Aliás, diga-se de passagem, que os defeitos graves podem ser observados pelo som audível provocado durante a aplicação do impulso.

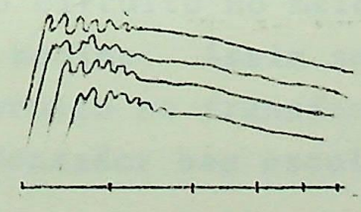
Estudou-se os tipos a e b de enrolamento acima mencionados, e tomando-se o curto circuito na entrada, no centro e no final do enrolamento, e, fazendo as leituras na extremidade do próprio enrolamento, em transformadores de poucas espiras.

As variações na forma da onda são bem visíveis,mas, a variação na amplitude foi relativamente pequena, em transformador de 10 KVA, 15 KV.



0 10 20 30 50 µs

No caso do transformador ligado conforme a figura b os resultados não foram muito animadores, pois se percebe pelos oscilogramas abaixo a dificuldade de se detetar o defeito, principalmente porque para os ensaios, de uma maneira geral aparecerão influências prejudiciais como pequenos problemas de efluvio nas ligações da instalação de impulso.



0 10 30 50 µs

As modificações na forma de onda em transformadores ligados segundo a figura c, em ensaios realizados no LAT apresentaram resultados contraditórios, motivo pelo qual não

estão aqui representados. Os estudos continuarão assim que estiver disponível um transformador sem defeitos.

Em transformadores com grande número de espiras verificou-se que, além da forma da onda a frequência das oscilações fica modificada.

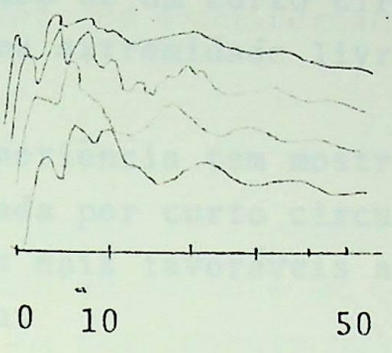
*Os Capacitores Utilizados em Paralelo com o Osciloscópio*

No caso de transformadores monofásicos, pode-se efetuar o ensaio ligando-se em paralelo com os osciloscópio um capacitor.

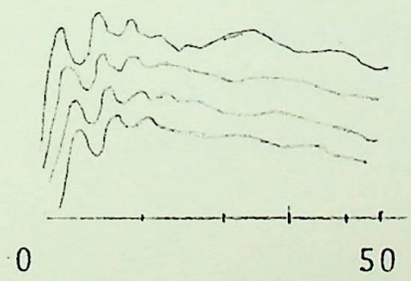
Estudos feitos da variação das oscilações da extremidade livre do enrolamento provocadas por um curto circuito, mostraram que o condensador não provoca um amortecimento sensível dos harmônicos de ordem superior desde que sua capacidade seja próxima a capacidade a terra do enrolamento. O amortecimento não se manifesta senão para capacidades muito grandes. Existe uma diferença entre a forma da variação da tensão no curto circuito no meio da bobina e no curto circuito no final da bobina. Assim se pode concluir a existência de um curto circuito no transformador e determinar sua posição com um condensador bem escolhido (200, 500, ou 1000 pF por exemplo).

No caso de um transformador trifásico com neutro acessível deve-se aplicar o impulso no terminal do neutro e ler os oscilogramas na saida livre com o osciloscópio e determinar a fase defeituosa.

Quando a leitura for feita na fase com defeito, pontos a, b e c, os oscilogramas de tensão são semelhantes às figuras a seguir.

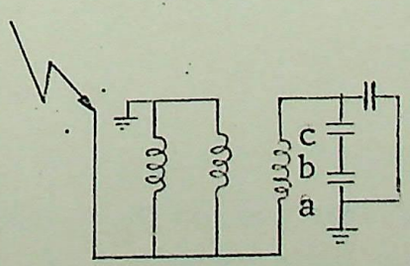



A figura abaixo neste caso mostra os oscilogramas em uma das fases não defeituosas.




Como se nota a interpretação dos oscilogramas, não é fácil.

A ligação da figura abaixo, por outro lado permite uma interpretação mais segura quando o impulso é aplicado na fase defeituosa. Quando ele é aplicado em uma das outras duas fases os oscilogramas são praticamente os mesmos.



No caso de um curto circuito a frequência fundamental da tensão na extremidade livre da bobina se modifica.

A experiência tem mostrado que a elevação da frequência provocada por curto circuito nos transformadores atinge nos casos mais favoráveis a 3,5 vezes, na extremidade livre da bobina.

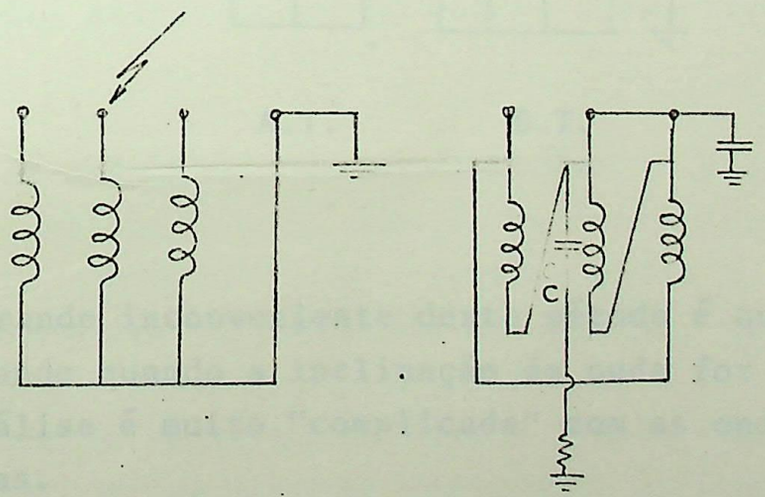
Esta variação entretanto é proporcional ao número de espiras.

*Ensaio de Impulso com Onda Cortada*

Um fenômeno de compensação ligado ao enrolamento secundário se mantém durante um certo tempo, mesmo se o impulso aplicado ao enrolamento primário for de curta duração.

É por essa razão que todos os métodos utilizados para analisar os oscilogramas dos ensaios de impulso com ondas plenas, de corrente e de tensão, poderão ser utilizados também no caso de ensaios com ondas cortadas.

A figura abaixo mostra um método utilizado para a determinação de curto circuito na bobina do enrolamento ensaiado enquanto as ligações para medição são feitas no outro enrolamento.

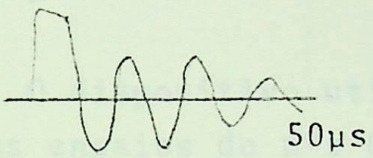



O capacitor poderá ter uma capacidade 0,5 μF e a resistência de aterramento da ordem de uma centena de kΩ.

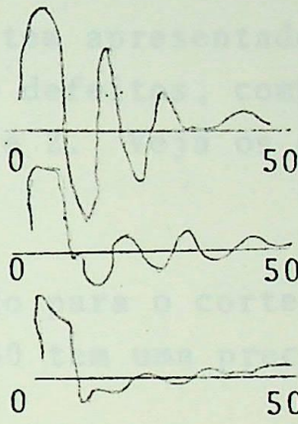
As ondas deverão ser cortadas no mesmo tempo. Para classes de tensão acima de 25 kV, as normas técnicas

brasileiras estipulam 3 μs.

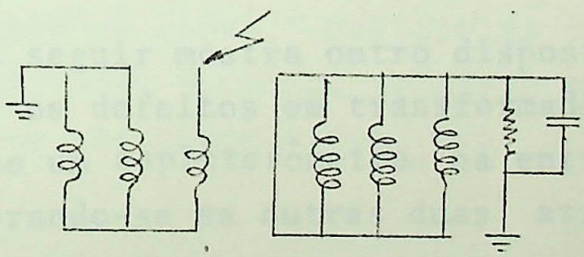
Os oscilogramas abaixo mostram defeitos artificiais nas posições a, b e c, representando curto circuito de 0,1% das espiras.




Sem defeito




Outro método é o indicado pelo esquema abaixo.



A.T. B.T.

O grande inconveniente deste método é que sua sensibilidade é grande quando a inclinação da onda for pequena. Geralmente a análise é muito "complicada" com as ondas de impulso normalizadas.

O corte deve ser feito exatamente no mesmo tempo, em caso contrário poderiam ocorrer diferenças nas oscilações, mesmo em transformadores sem defeito. Veja por exemplo o ensaio nº 01, pag. 041, a diferença entre os oscilogramas de corrente nas buchas I, II e III. Embora as características das duas ondas cortadas, corrente, de cada bucha sejam as mesmas, o

que poderá ser verificado por superposição, elas apresentam características muito diferentes entre si.

O método de Hagenguth, que utiliza o registro dos oscilogramas obtidos por corrente a terra, através de uma resistência de 50 Ω no LAT-EFEI, tem apresentado um resultado bastante claro para a análise de defeitos, comparando os oscilogramas das ondas cortadas 1 e 2. Veja os ensaios nºs 02 a 07 às páginas 046 e 073.

O dispositivo utilizado para o corte da onda de impulso, nos ensaios de nºs 01 a 30 tem uma precisão de $\pm$ 0,1.

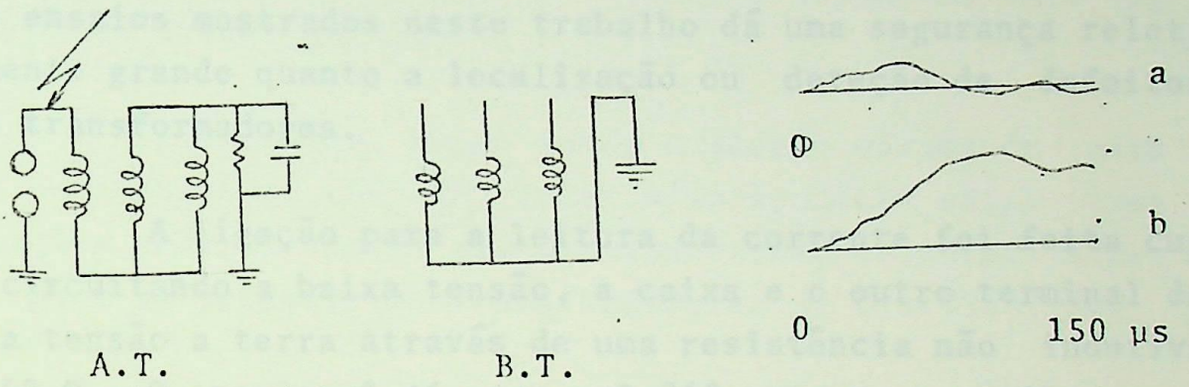
O ensaio nº 16, página 120, mostra claramente a perfuração de um transformador de potencial durante a aplicação da onda cortada (2a).

A figura a seguir mostra outro dispositivo de ligações para determinar os defeitos em transformadores, com ondas cortadas. Usa-se um espinterômetro na entrada da fase a ser ensaiada, aterrando-se as outras duas através de uma resistência.

Após a descarga do espinterômetro a capacidade a terra da fase atingida pelo impulso se descarrega pelo enrolamento e pelo espinterômetro; mede-se então a tensão nas fases não submetidas diretamente ao impulso, $H_2$ e $H_3$ ligadas em paralelo e aterradas pela resistência $R_o$. Se não houver curto circuito entre as bobinas a tensão das duas fases $H_2$ e $H_3$ oscila com uma pequena amplitude, na horizontal, normalmente nula; no caso de um curto circuito de bobinas a curva da tensão se distancia da horizontal.

Os oscilogramas mostram um ensaio num transformador de 15 kVA, 15 kV, Y/Y, ondas de tensão, quando aplicadas a onda cortada. No caso onde não há defeito, o oscilograma

obtido foi o da curva a e quando havia um curto circuito entre as espiras da fase $H_1$, 2,5%, curva b.




Embora este método seja muito sensível só pode ser usado em casos de transformadores com neutro isolado. É independente do tempo de corte. Utiliza as tensões induzidas pelo núcleo nas fases $H_2$ e $H_3$, por isso o enrolamento do secundário não deve ser curto circuitado.

*Conclusões*

De uma maneira geral o método utilizado na maioria dos ensaios mostrados neste trabalho dá uma segurança relativamente grande quanto a localização ou deteção de defeitos nos transformadores.

A ligação para a leitura da corrente foi feita curto circuitando a baixa tensão, a caixa e o outro terminal da alta tensão a terra através de uma resistência não indutiva de 50 Ω. O ensaio nº 46, pag. nº 268 mostra os oscilogramas de ondas de impulso positivas e negativas, tomadas com 10 e 50 μs, e no ensaio nº 47, pag. nº 270 estão mostrados os oscilogramas de ondas positivas e negativas, com 10 e 50 μs, para uma onda de 1,2/50 de 95 kV. Neste ensaio os terminais de baixa tensão ficaram abertos mostrando a grande modificação na amplitude dos oscilogramas.

É verdade que alguns defeitos são difíceis de serem detetados, por exemplo, o ensaio nº 48, pag. 272 mostra um transformador sem defeitos e a comparação dos oscilogramas com os do ensaio nº 49, pag.275 não indica qualquer defeito, entretanto neste último transformador havia um defeito (falta de isolamento) no painel de mudança de taps.

Já o ensaio de nº 50, pag.278 mostra que o transformador resistiu às ondas de impulso negativo, 95 kV, aplicadas várias vezes, já se sabendo que havia defeito na parte superior da bucha onde estava sendo aplicado o impulso e, ao contrário do que se esperava o transformador não resistiu as ondas positivas, havendo descargas em todas as ondas de 95. Foi necessário reduzir a tensão para se obter a tensão 50%, cerca de 10% abaixo; estes oscilogramas estão mostrados no ensaio nº 51, pag. 280.

É necessário portanto antes de continuar as pesquisas sobre métodos de localização e deteção de defeitos fazer estudos mais profundos sobre as causas da distorção do tempo das descargas, não só no ar mas também no óleo e papel empregados. Além disso devem ser estudadas para eletrodos de formas gerais.

Finalmente, mesmo sendo a tensão máxima do gerador de impulso do LAT-EFEI relativamente baixa estas investigações poderão trazer grandes contribuições, principalmente, para os projetos de transformadores de distribuição.

*Bibliografia*

*Livros*

M. Wellauer - Introdução à técnica das altas tensões - Editora da Universidade de São Paulo

Alston - High voltage technology - Oxford University Press 1968

R. Striguel - Elektrische Stossfestigkeit - Springuer Berlin - 1939

*Artigos*

Bewley, L.V., Hangenguth, J.H., Jackson, F.R.: Methods of Determining Natural Frequencies in Coils and Windings. AIEE Transactions (1941),p.1145.

Hagenguth, J.H.: Progress in Impulse Testing of Transformers AIEE Transactions (1944),p. 999 et 1140.

Stenkvist, E.: Impulse Testing of Transformers, ASEA J.(1947) p. 10.

Wellauer, M.: Beitrag Zur Frage der Stobspannungsprufung an Transformatoren. Bull. Ass. Suisse Electr.(1947),p. 149.

Aeschlimann, H.: Recherches sur les sollicitations des enroulements de transformateurs et détermination des court-circuits internes provoqués par les ondes de choc. CIGRÉ, nº 18(1948)

Wellauer, M.: Détermination des défauts de transformateurs à l'aide d'oscillogrammes du courant relevés lors des essais sous tension de choc. CIGRÉ, n^ro 113,(1948)

Aeschlimann, H.: Essai au choc des transformateurs. Bull. Sécheron, n^ro 21 F (1949).

Rippon, E.C., Hickling, G.H.: The Detection by Oscillografic Methods of Winding Failures during Impulse Tests on Transformers. Proc. Instit. electr. Engr. (1949),p. 769.

Aeschlimann, H.: Décelement des court-circuits partiels dans les enroulements de transformateurs, soumis à des essais de choc. CIGRÉ, n^ro 112(1950).

Beldi, F.: Die StoBprufung von Transformatoren. Brown Boveri Mitt., n^ro 6 (1950),p. 179.

Langlois-Berthelot, R., Neuve-Eglise, Kohn et Renaudin: Contribution expérimentale à l'étude de l'isolation des transformateurs. CIGRÉ, n^ro 144 (1950)

Wellauer, M.: Détection des défauts dans les transformateurs au cours des essais de choc. CIGRÉ, n^ro 114 (1950).

Hochrainer, A.: Die Erorterung der StoBspannungsprufung vor Transformatoren auf der CIGRÉ Tatung in Paris 1950. Elektrotechn. u. Masch-Bau (1951),p. 505.

Chevalier, H.B., Pierson, M.: Seuil d'ionisation et niveau d'essai aux ondes de choc des transformateurs. ACEC Charlerori, nº 4(1951)

Bieldi, F.: Essais au choc des transformateurs; procédés de mesure et couplage. CIGRÉ, n^ro 112 (1952).

Stenkvist, E.: Étude de la détection et de la localisation des défauts dans les essais du choc des transformateurs. CIGRÉ, n$^{ro}$ 129(1952).

Treanor, E.D., Stewart, H.C. Holcomb, J.E.: Production Impulse Testing of Distribution Transformers. Transactions AIEE (1952),p. 808.

Aicher, L.C.: The Impulse Testing of Low Voltage High Kilovolt-Ampere Transformers Windings. Transactions AIEE (1952),p. 337.

Hagenguth, J.H., Meador, J.R.: Impulse Testing of Power Transformers, Transactions AIEE, III (1952),p. 697.

Elsner, R.: Détection des défauts d'isolement au cours des essais de choc des transformateurs. CIGRÉ, n$^{ro}$ 101 (1954)

Ganger, B.: Surge Phenomena Arising from Impulse Tests on Transformers. Oscillographic Recording of Faults. CIGRÉ n$^{ro}$ 125(1954).

Provoost, P.G.: Impulse Testing of Transformers. CIGRÉ n$^{ro}$ 115 (1954).

Rabus, W.: Méthode de différence de tension de choc pour la détermination et la localisation de défauts produits dans les transformateurs pendant les essais au choc à onde pleine. CIGRÉ, n$^{ro}$ 139 (1954).

Blancharde, E.: Nouvelle méthode d'essai de choc des transformateurs à caractéristiques non linéaires. Revue Générale de l'Electricité (1954),p. 311.

Ganger, B.: Stobprufung von Transformatoren. ETZA (1955), p. 177.

Hagenguth, H.: Stobprufung von Transformatoren nach amerikanischer Praxis. ETZA (1955), p. 828.

Holcomb, J.E.: Impulse Tests on Low-votage Windings of Distribution Transformers. Electrical Engg.(1955),p.925.

Beavers, M.F. Holcomb, J.E., Leoni, L.C.: Magnetisation of Transformer Coils. Transactions AIEE. Power Apparatus Systems 1955, p. 118. Voir aussi 14 , 32 , 90 , 101 .

Froidevaux, J.: Ein Uberblick uber die Durchfuhrung der StoBprufung von Transformatoren. Bull. Sécheron, 1956, p. 30.

Froidevaux, J., Rossier, Cl.: Impulse Testing of Large Transformers. CIGRÉ, 1956, n$^{ro}$ 118.

Stequist, K.: Chopped Wave Impulse Testing. CIGRÉ, 1956, n$^{ro}$ 143.

Preston, L.: Chopped Wave Impulse Testing of Transformers. CIGRÉ, 1956, n$^{ro}$ 131.

Langlois-Berthelot, R.: Chopped Wave tests of Transformers with a wave of reduced steepness. CIGRÉ, 1956, n$^{ro}$ 138.

Helmchen, G.: Fortschritte auf dem Gebiet der StoBprufung von Transformatoren. ETZ-A, 1956, p. 143.

Ganger, B.: Prufung von Hochstspannungstransformatoren mit StoBspannungen von 13/4 Millionen-Volt. BBC Mitteilungen 1956, p. 525.

Ganger, B.: Der Brown Boweri Oldruckindikator Zur Uberwachung des StoBablaufes bei der Prufung von Transformatoren. BBC Mitteilungen, 1957, p. 809.

Lenghick, G.W., Forster, S.L.: The Use of Neutral Current Measurements during Shopped Wave Impulse Tests of Transformers. Power Apparatus and Systems, 1957, p. 977.

Stamm, H.: StoBspannungsprufungen von Transformatoren und Modell-versuche. Deutsche Elektrotechnik, 1958, p.24.

Ganger, B.: Die Prufung von Transformatoren mit abgeschnittenen StoBen. BBC Mittelungen, 1958, p. 29.

Cobin, J.D.: Gaseous Conductors Dover. 1958

Raether, H.: Electron avalanches and breakdown in gases. Butterworth London (1964).

Llewellyn Jones, F.: Ionization and breakdown of gases Metuen, London (1957).

Meek, J.M. and Craggs, J.D.: Electrical breakdown of gases. Clarendon Press, Oxford (1953).

Dakin, T. W. and Berg, D.: Theory of gas breakdown Proj. Delect. I, 152 (1962).

Devins, J.C and Sharbaugh, A.H.: The fundamental nature of electrical breakdown. Electro-Thechnology p. 103, Feb.(1761).

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 01
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 112 kVA |
| A.T. | 13800/13200/12600/12000/11900/11600/11400/11300/ 11000/10700 V |
| B.T. | 220/127 V |
| NBI: | 110 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 µs |

VALORES DE CRISTA

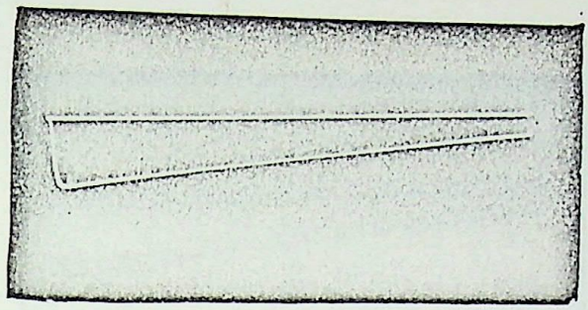
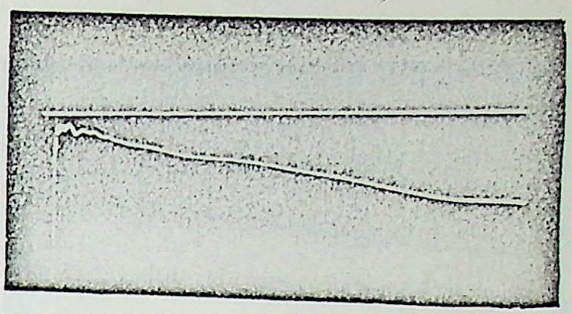
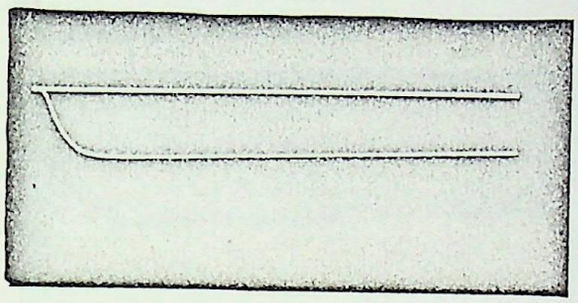
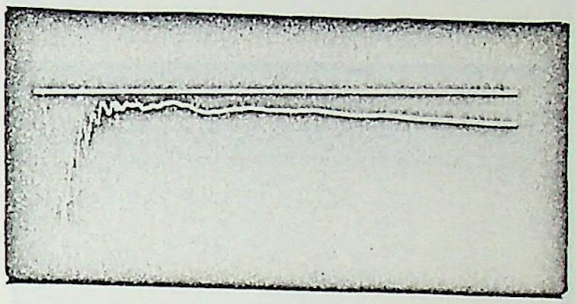
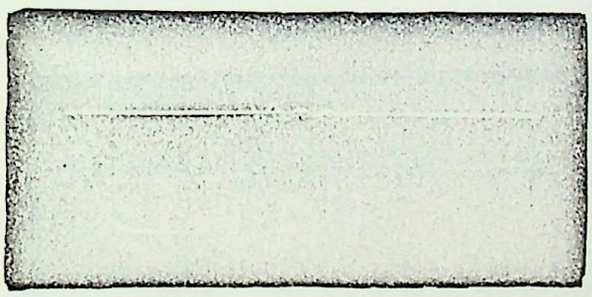
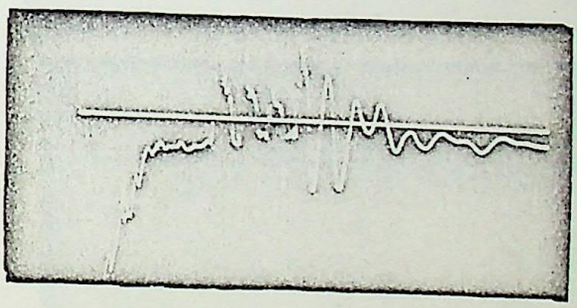
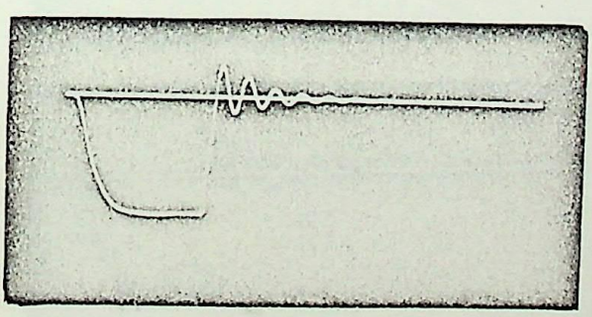
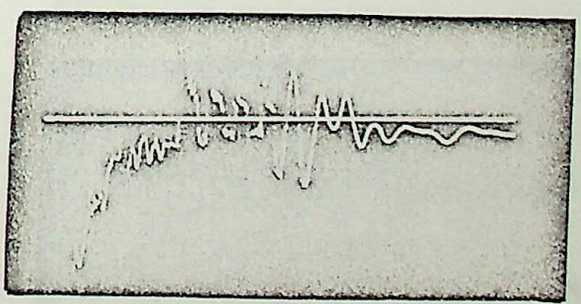
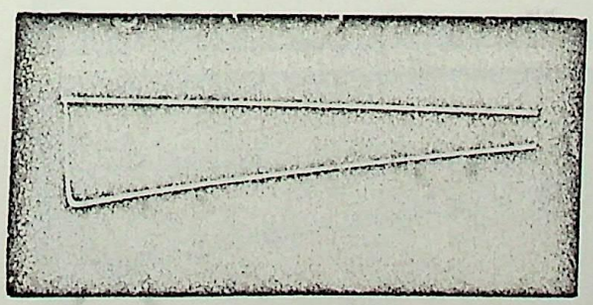
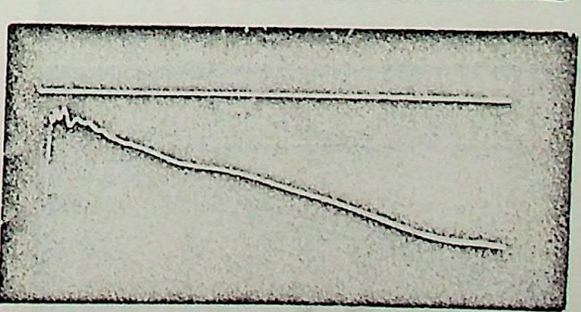
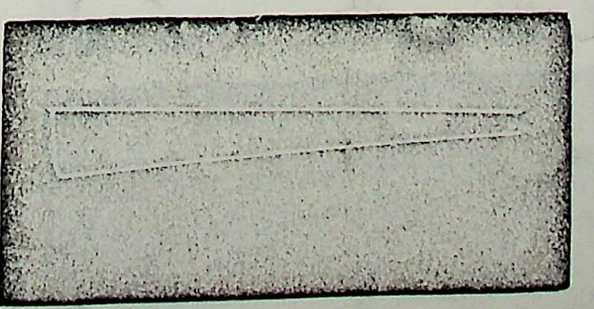
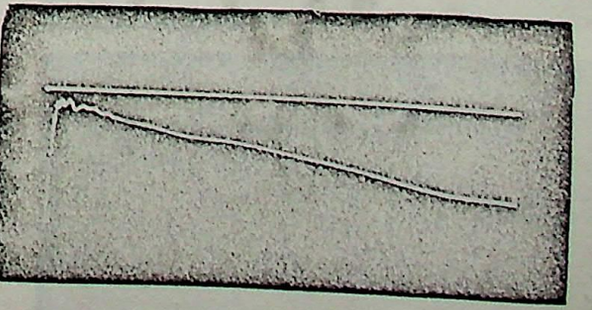
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

A comparação dos oscilogramas de tensão e corrente de cada bucha, mostra que cada fase continuou com as mesmas características após o ensaio. Nota-se, entretanto que não há superposição entre os oscilogramas de corrente das ondas cortadas das fases A, B e C.

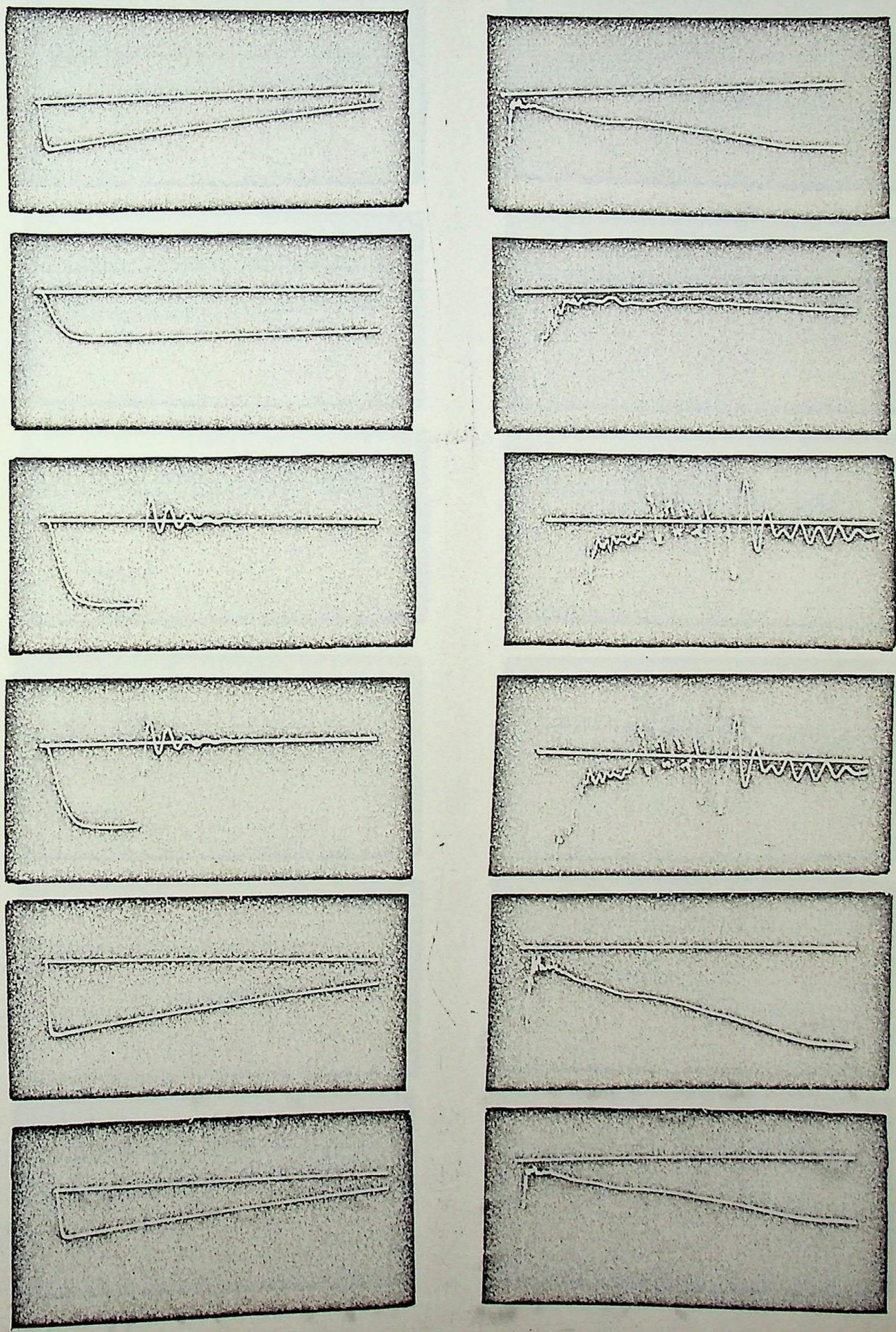
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0419/72 - IND - BUCHA I

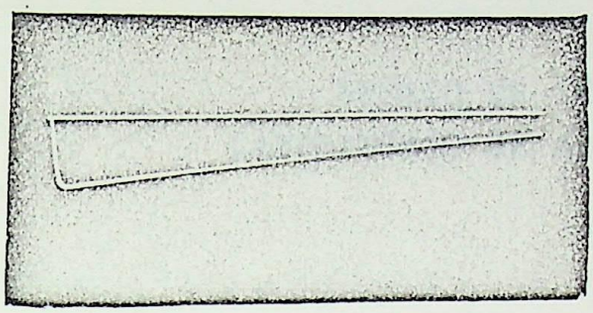
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

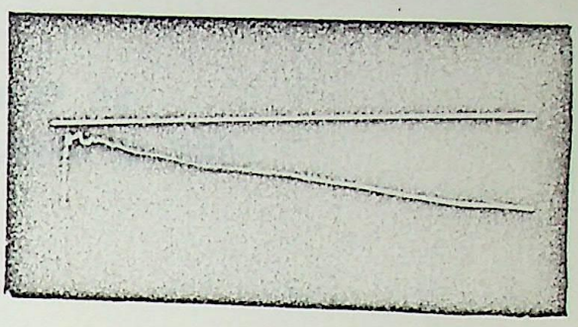
# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0419/72 - IND - BUCHA II

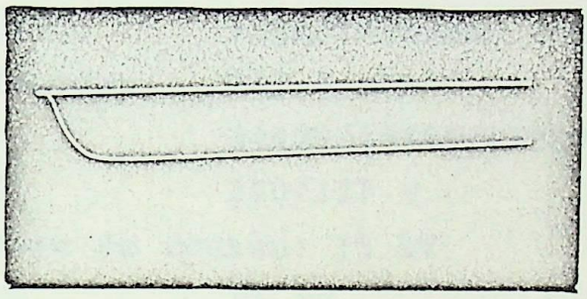


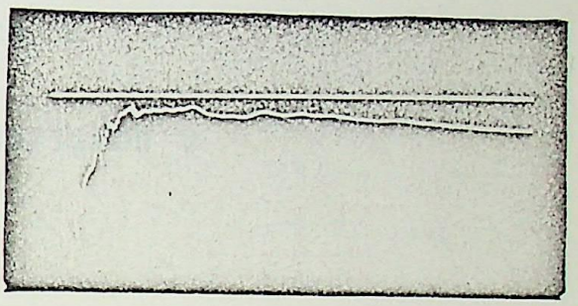
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2729 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

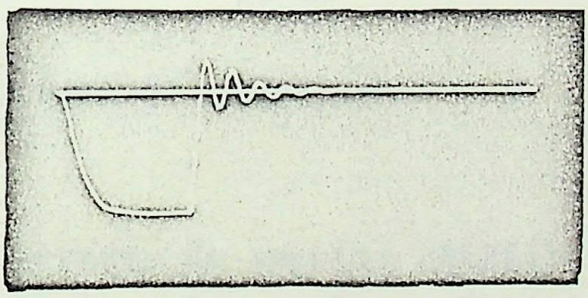
# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0419/72 - IND - BUCHA III

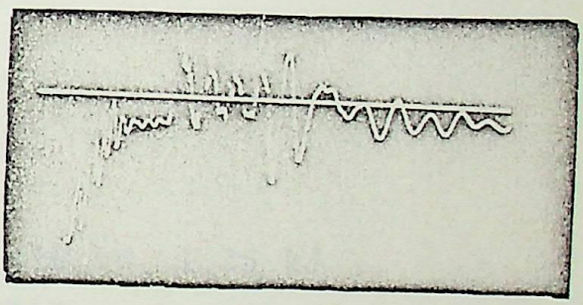


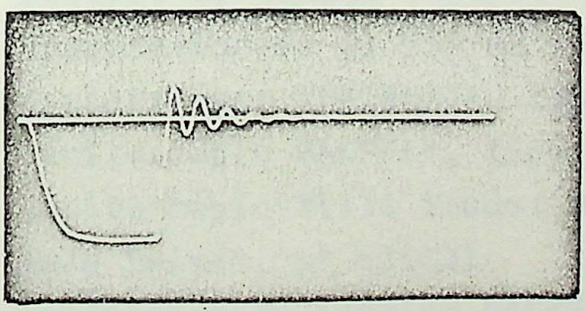


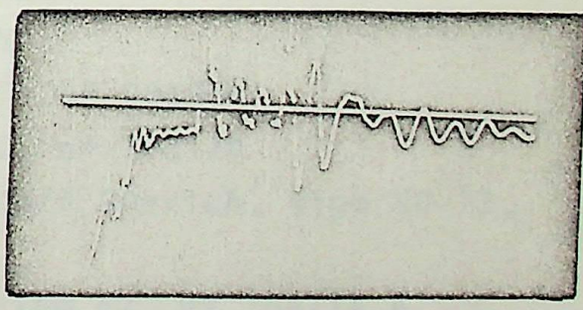


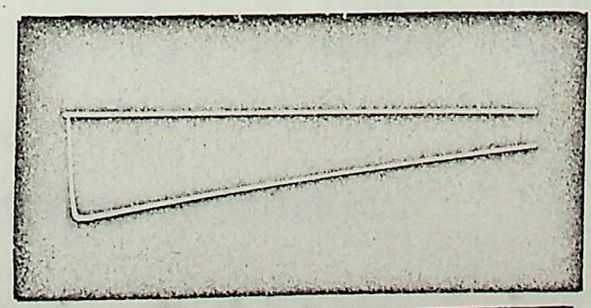


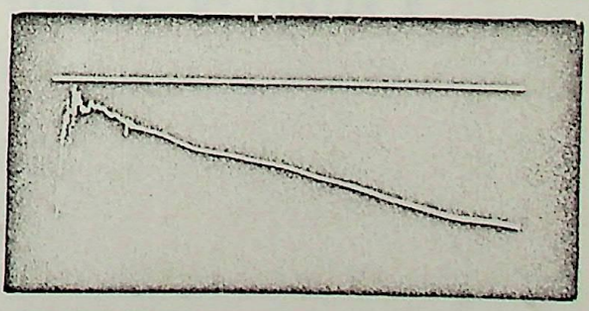


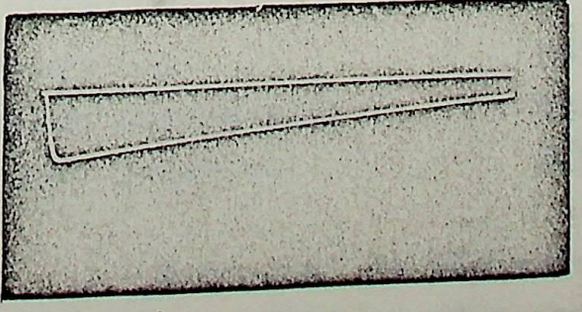


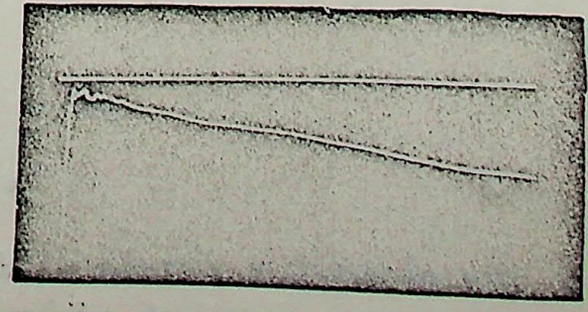


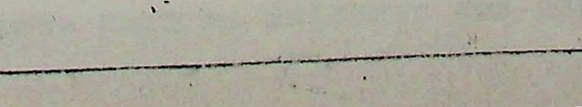


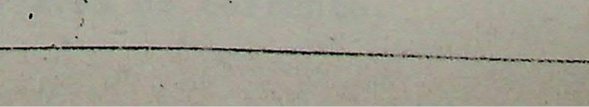












ENSAIO DE IMPULSO Nº 02
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 112,5 kVA
A.T. 14400/13800/13200/12600/12000 V
B.T. 220/127 V
Classe de tensão: 15 kV
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder" nº 688304, tipo CBM

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 692 mm de Hg |
| Umidade relativa | 80% |

O esquema da página seguinte mostra a ligação utilizada para as leituras dos oscilogramas de corrente.

VALORES DE CRISTA

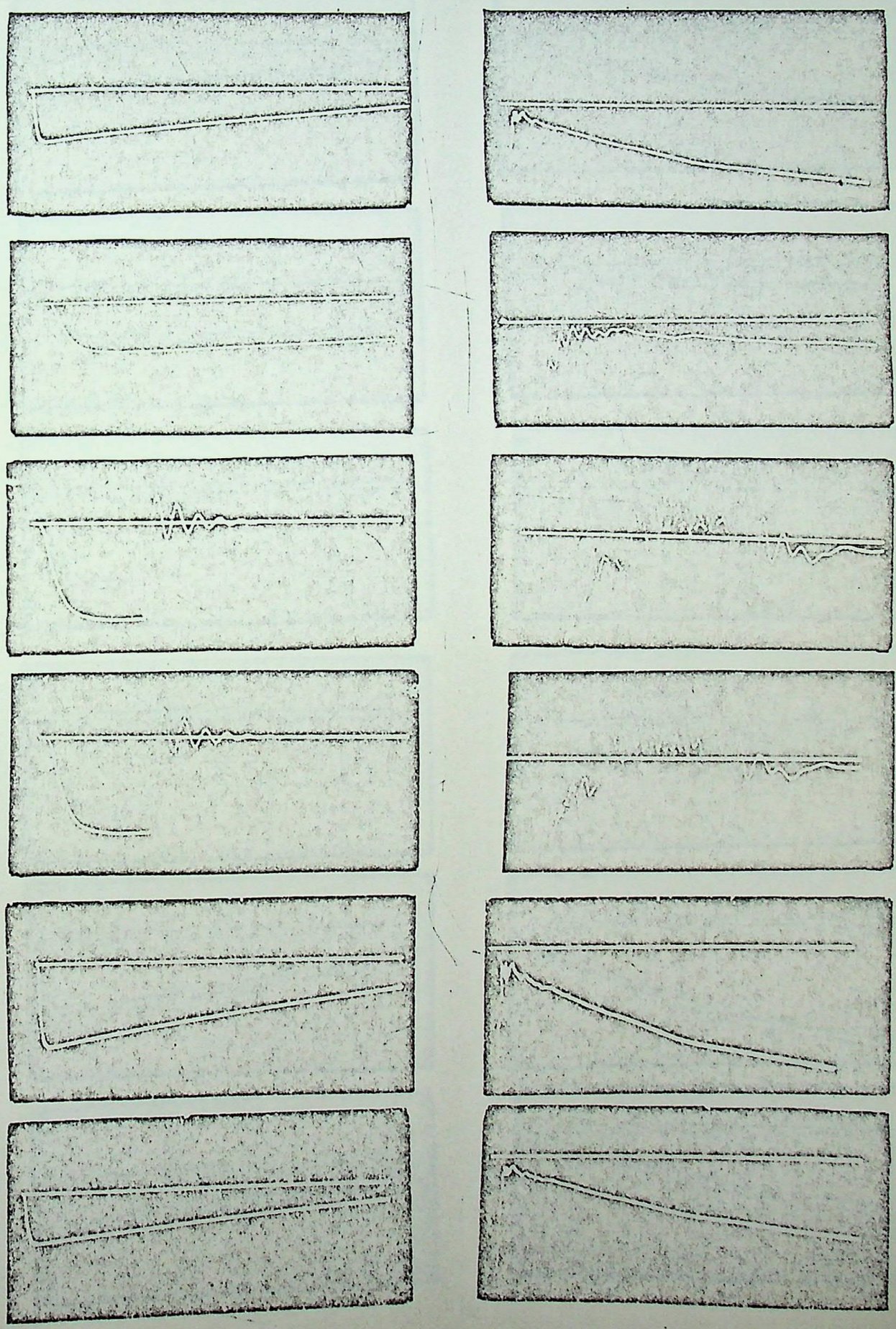
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

Os oscilogramas na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e à direita os respectivos oscilogramas de corrente.

Nota-se pela análise das ondas de corrente, cortadas, efluvio nas buchas, fase A, B e C.

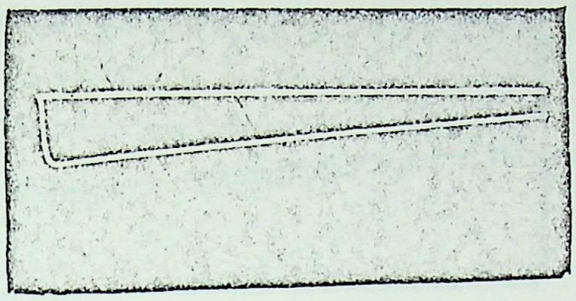
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Renno, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

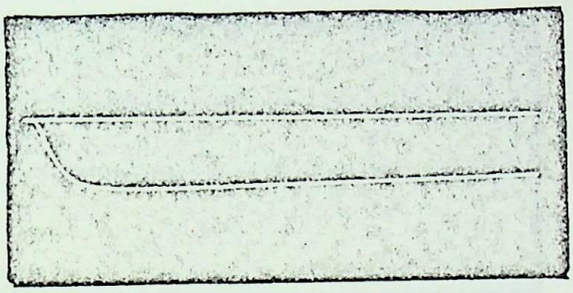
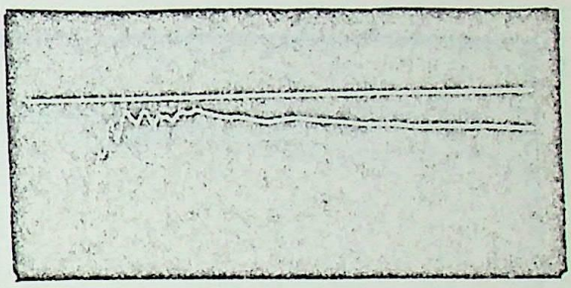
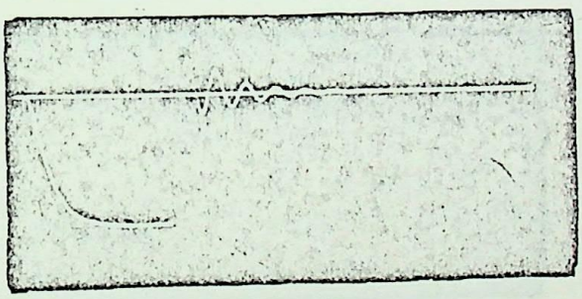
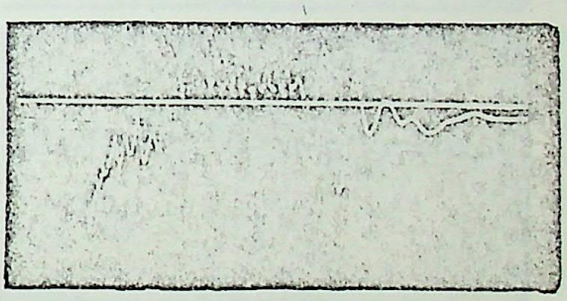
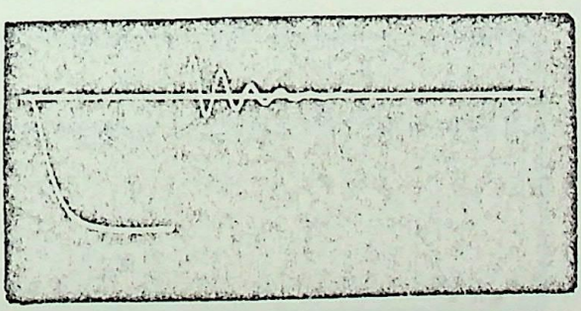
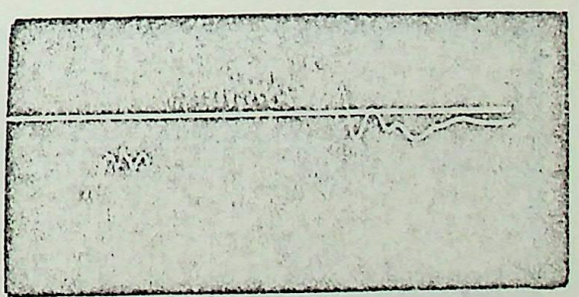
ENSAIO DE IMPULSO Nº 0415/72 - IND - BUCHA 3

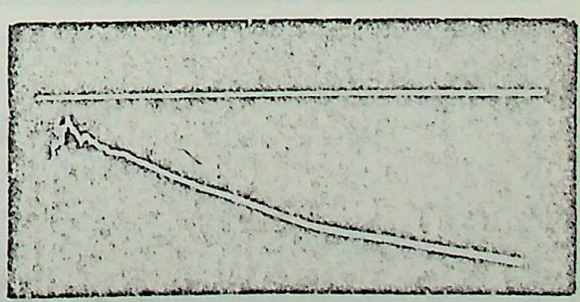


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2693 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

ENSAIO DE IMPULSO Nº 0415/72 . IND - BUCHA II



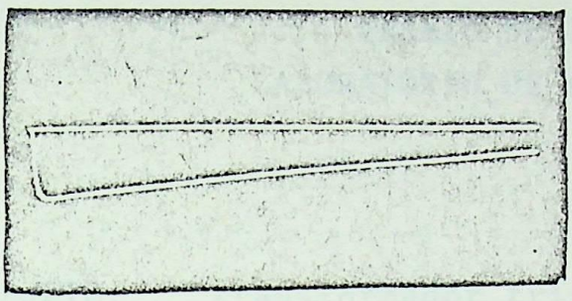
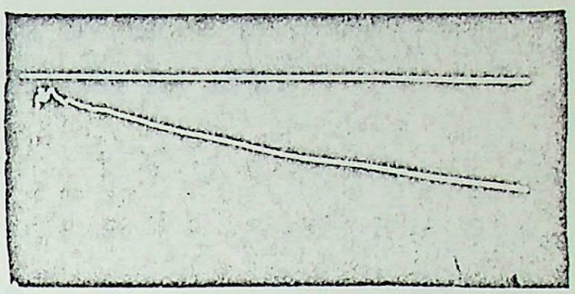
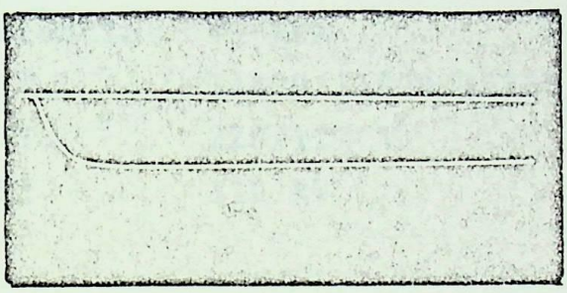
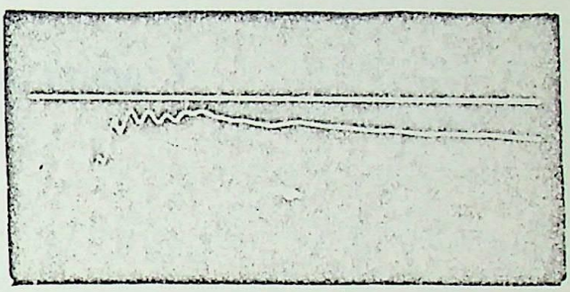
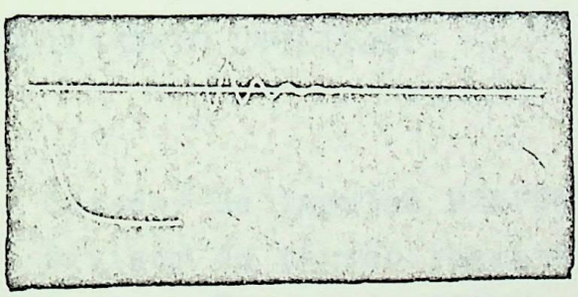
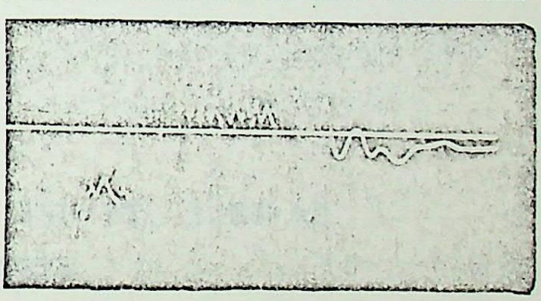
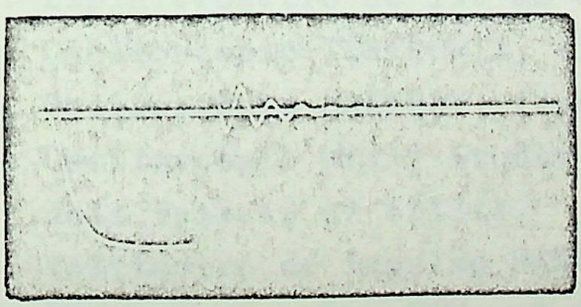
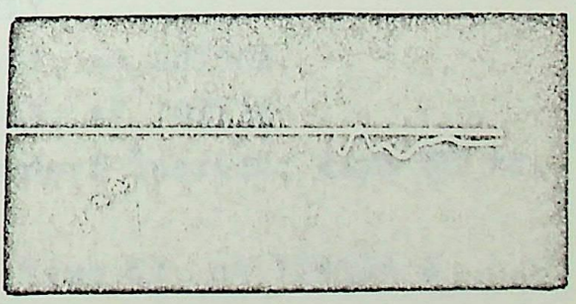
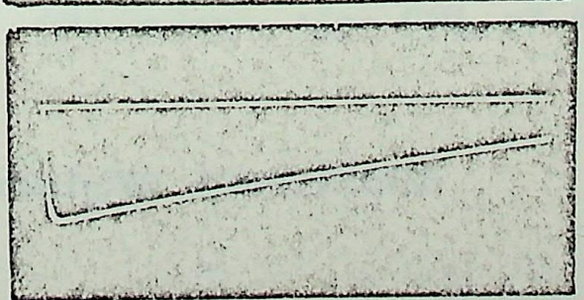
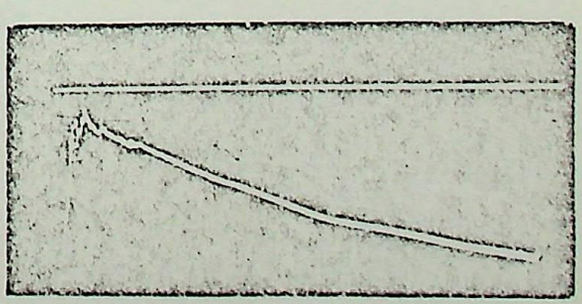


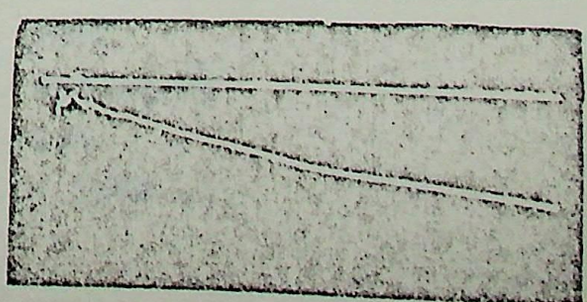


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Renno, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2430
Bib. 2699 - Pós Grad. 2455

Escola Federal de Itajubá - Biblioteca

ENSAIO DE IMPULSO Nº 0415/72 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 03
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 45 kVA
A.T. 14400/13800/13200/12600/12000 V
B.T. 220/127 V
NBI 110 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willí Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 µs |

VALORES DE CRISTA

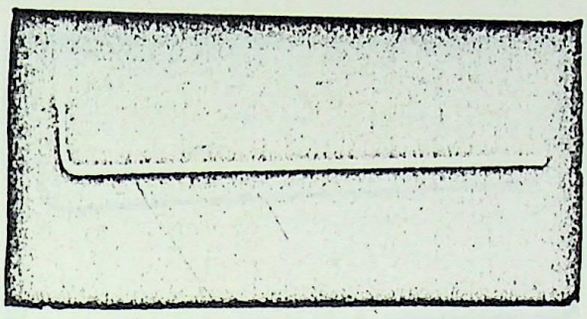
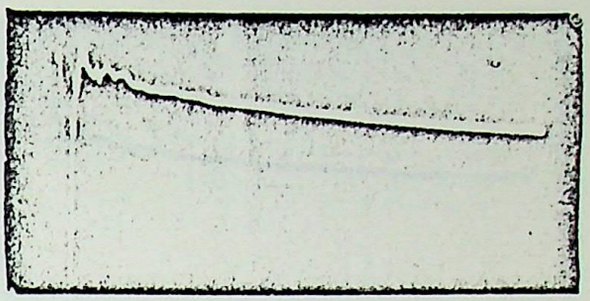
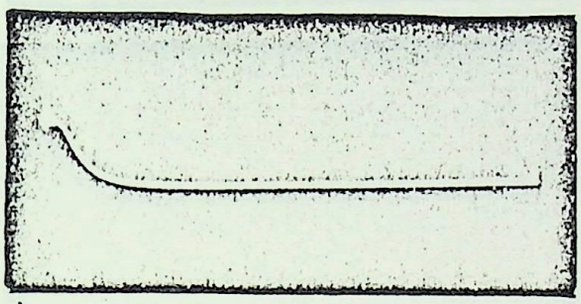
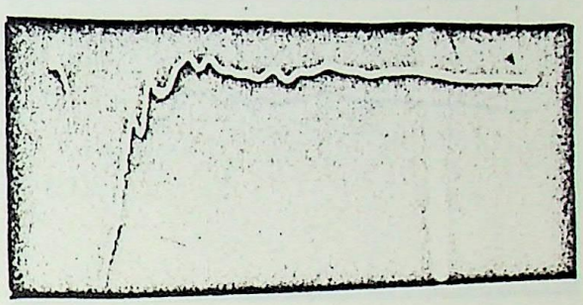
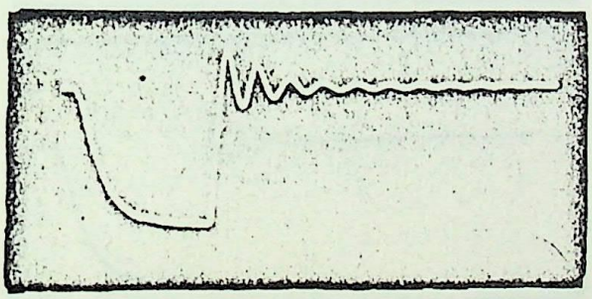
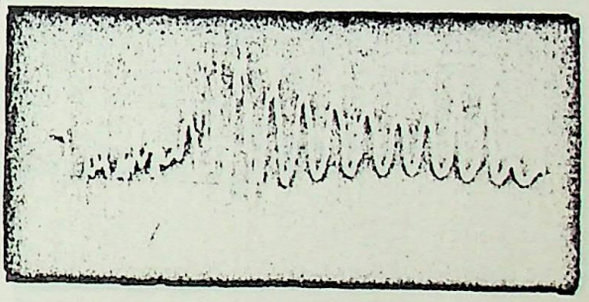
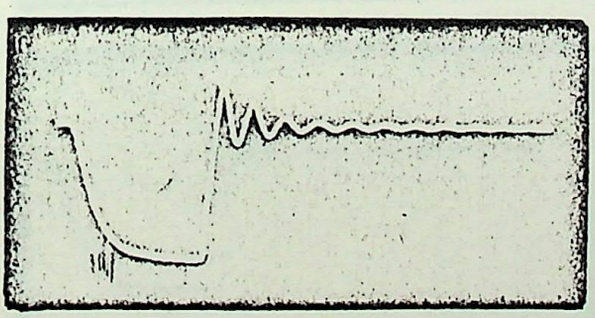
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

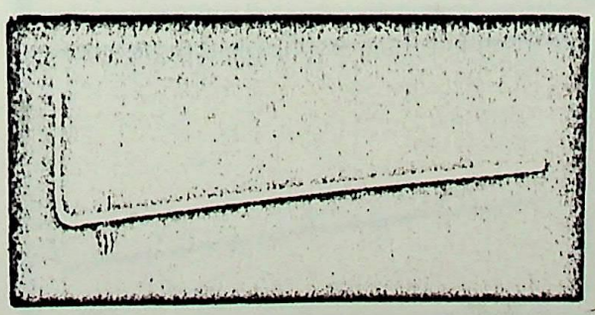
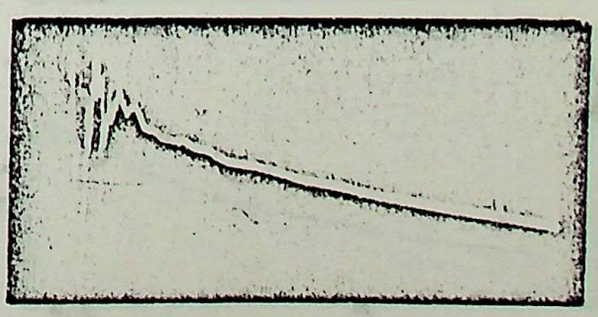
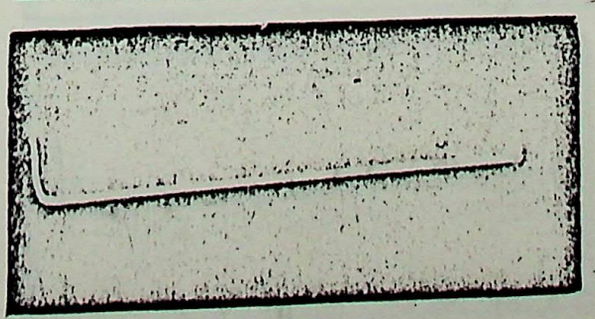
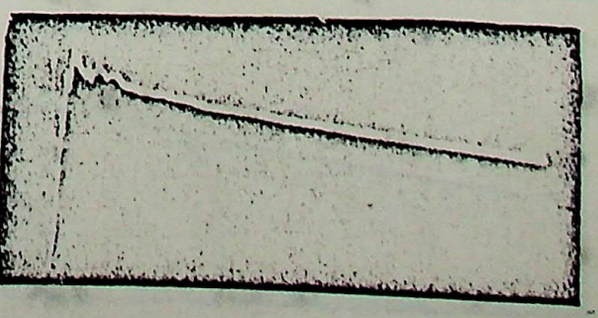
As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

Uma pequena variação no tempo de corte da onda de 130 kV entre as fases A, B e C, entretanto há superposição das duas ondas de corrente. Nota-se claramente um forte efluvio nas buchas de A.T.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

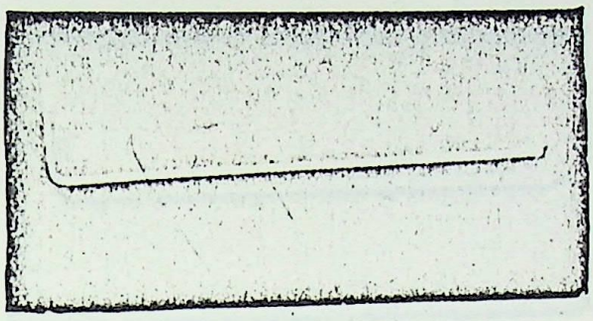
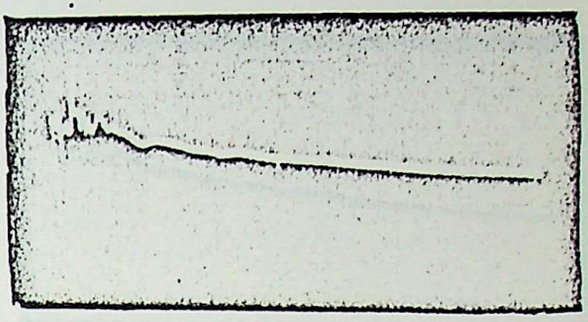
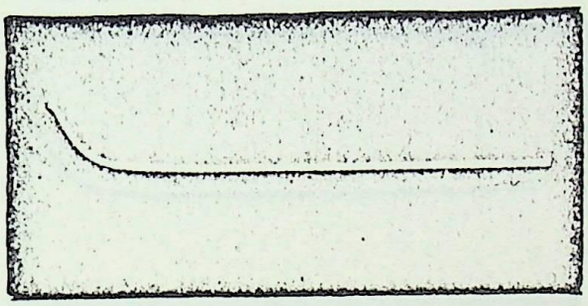
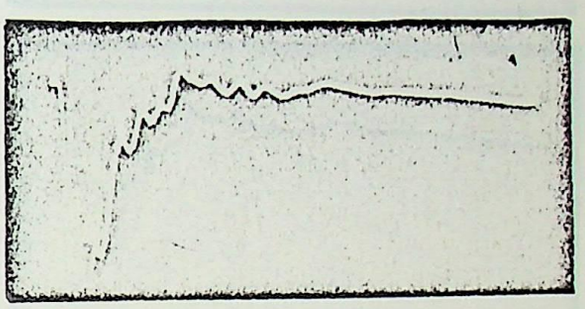
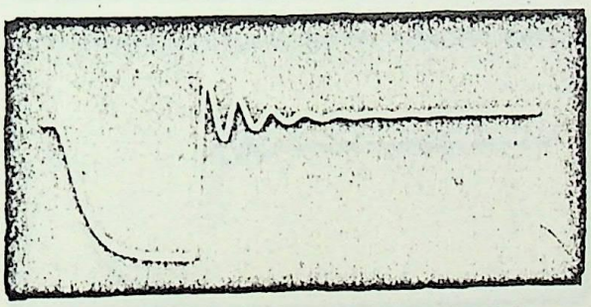
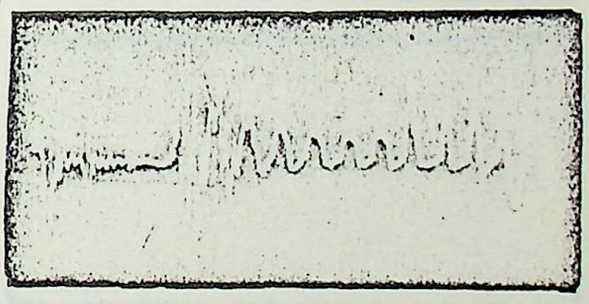
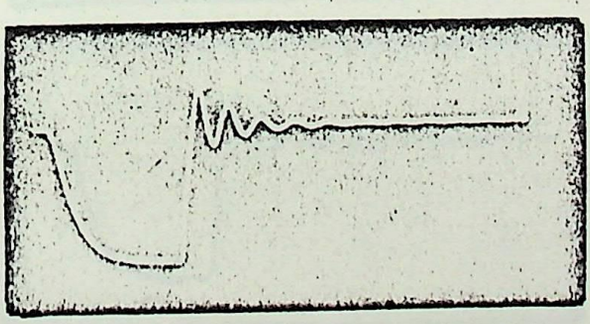
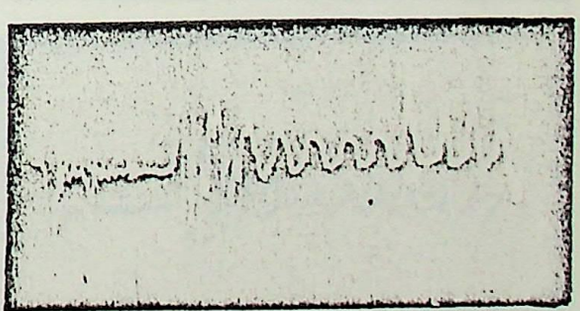
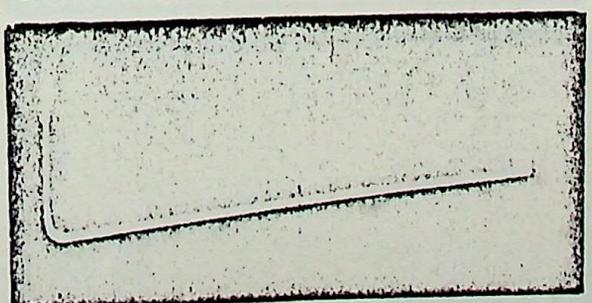
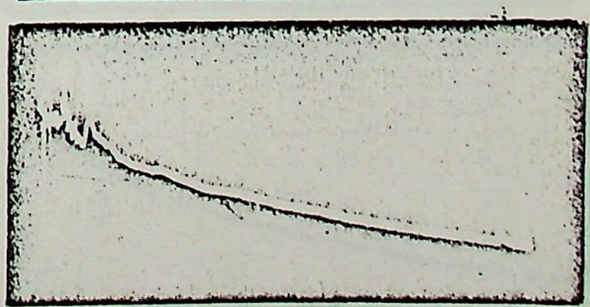
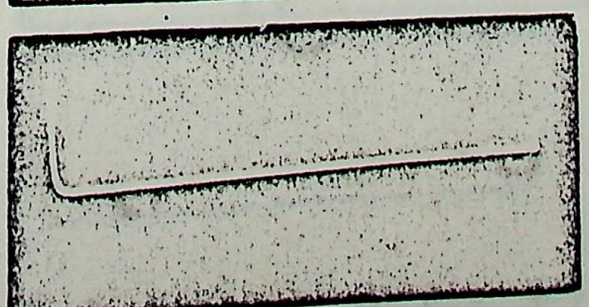
ENSAIO DE IMPULSO Nº 039/73 - IND - BUCHA I

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

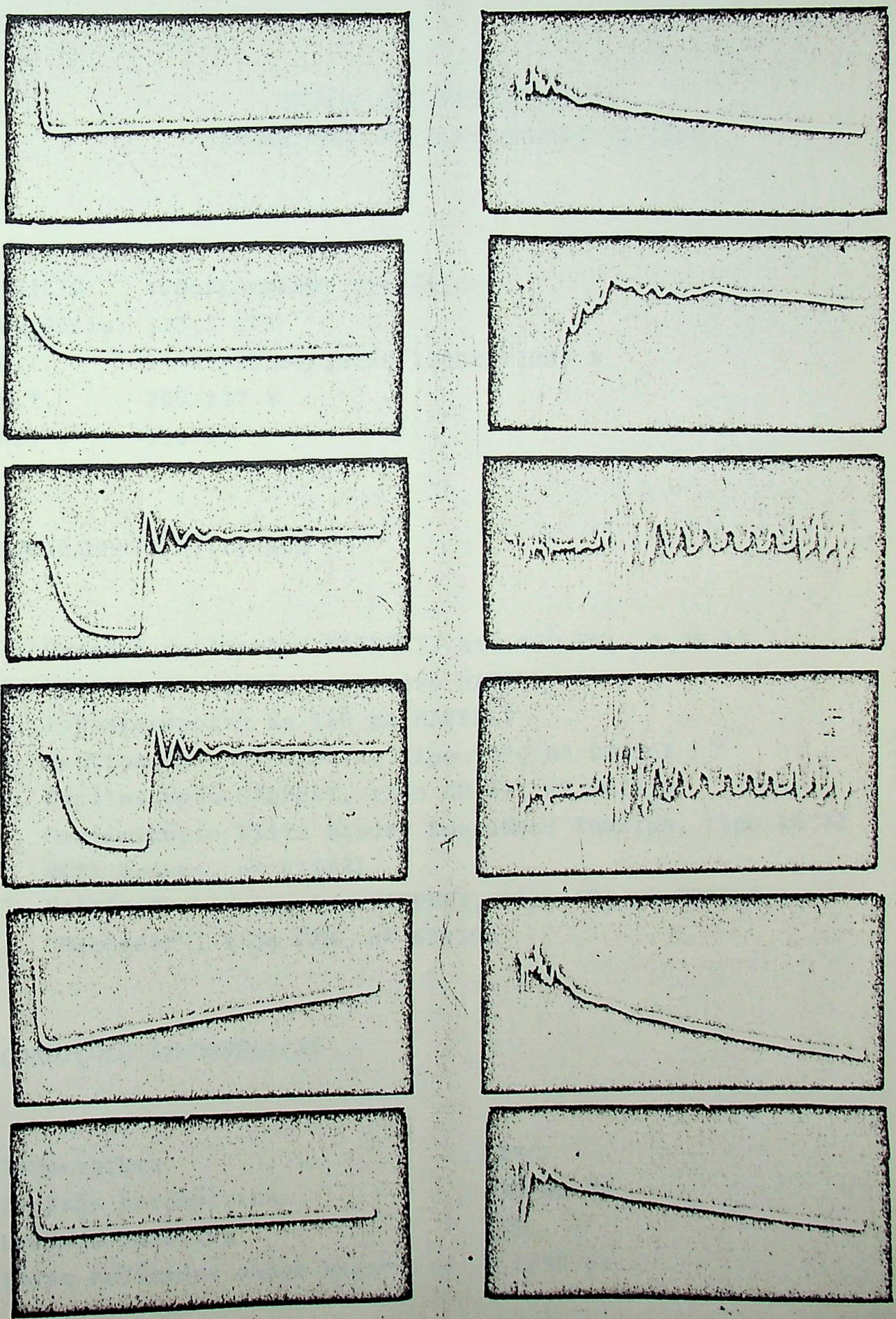
# ENSAIO DE IMPULSO Nº 039/73 - IND - BUCHA II


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465



ENSAIO DE IMPULSO Nº 039/73 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 04
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 112,5 kVA
A.T. 14400/13800/13200/12600/12000 V
B.T. 220/127 V
NBI 110 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 µs |

VALORES DE CRISTA

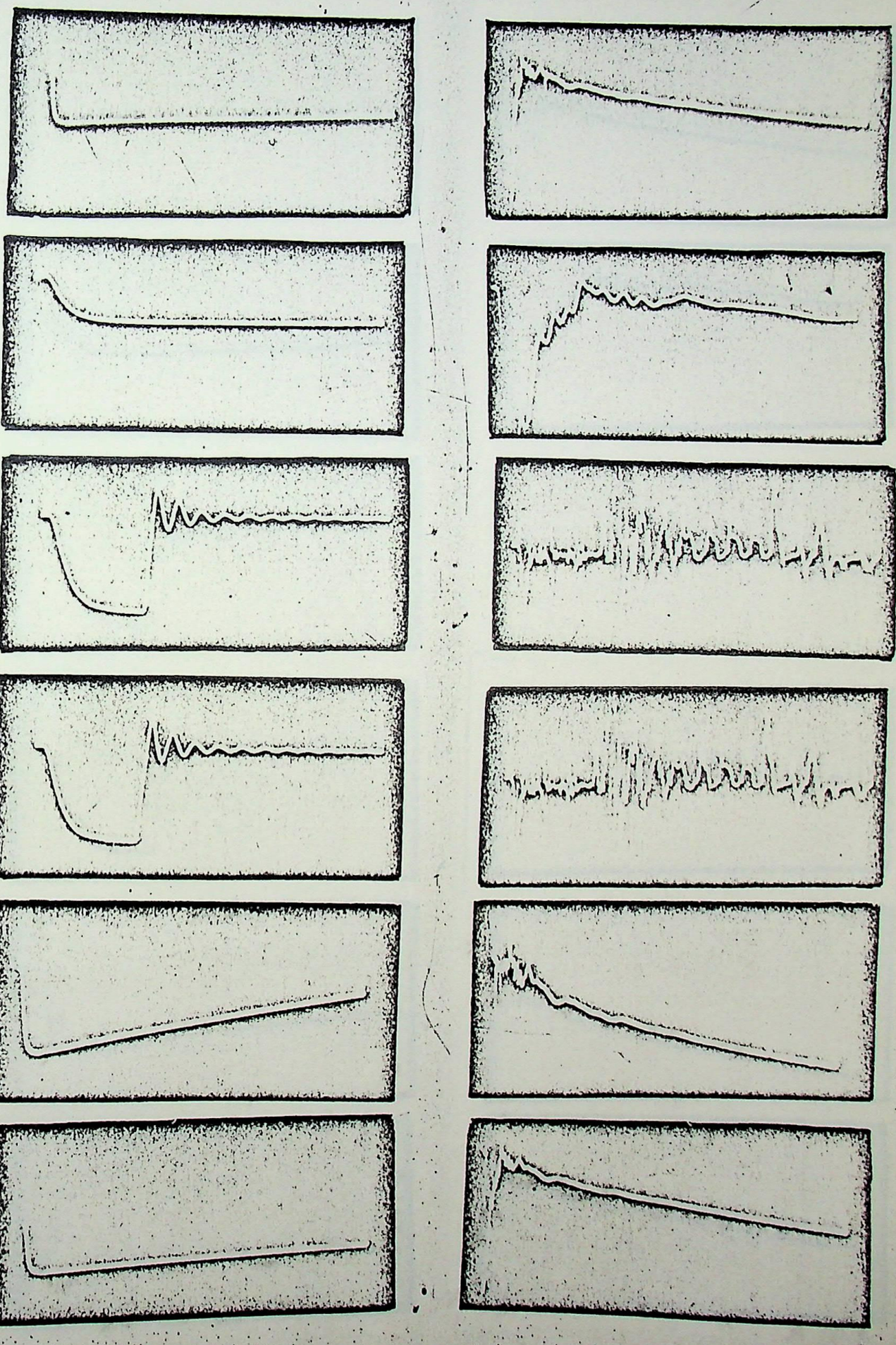
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

A análise dos oscilogramas de corrente evidencia a presença de curto circuito entre espiras e falta de isolamento nas buchas de A.T.

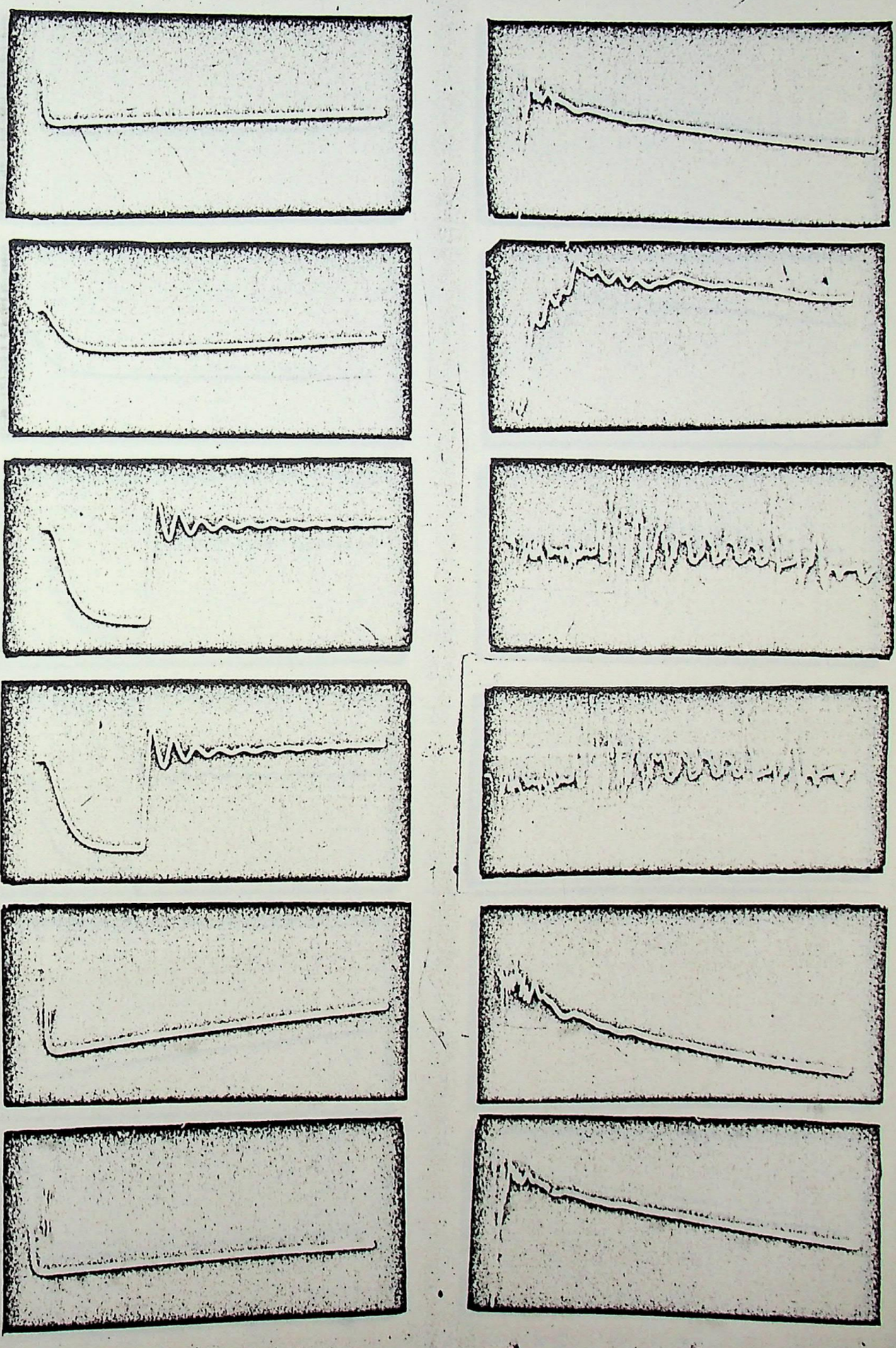
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 040/73 - IND - BUCHA I



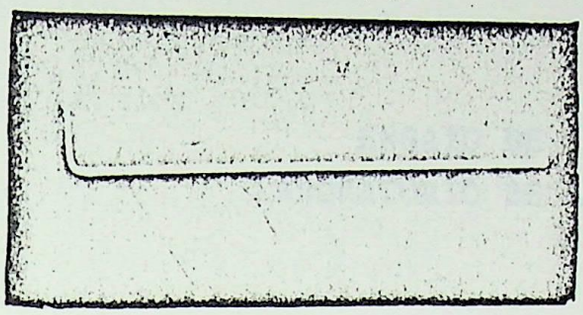
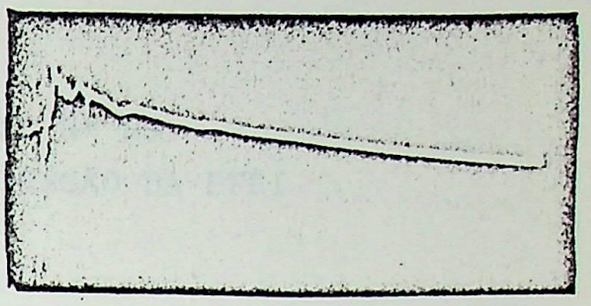
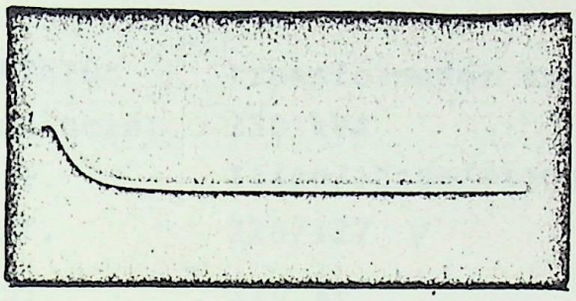
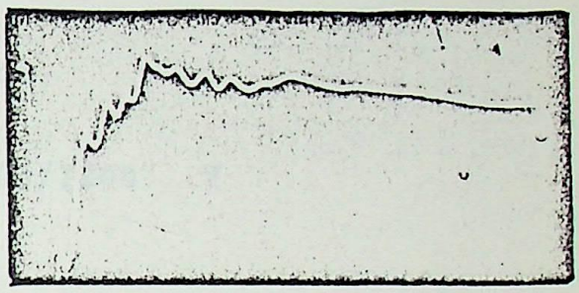
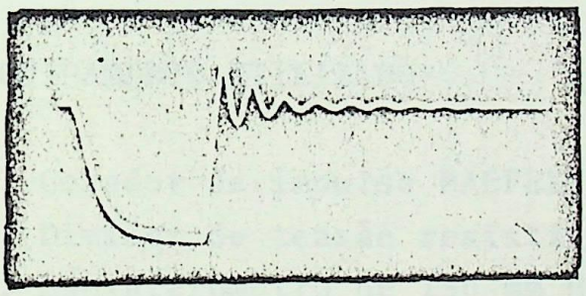
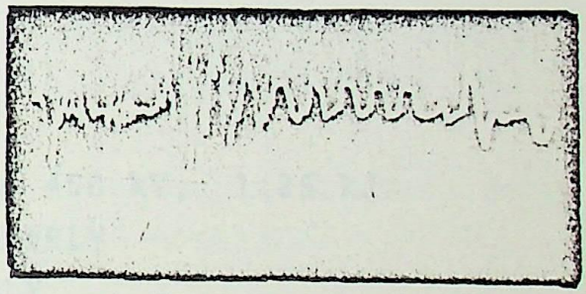
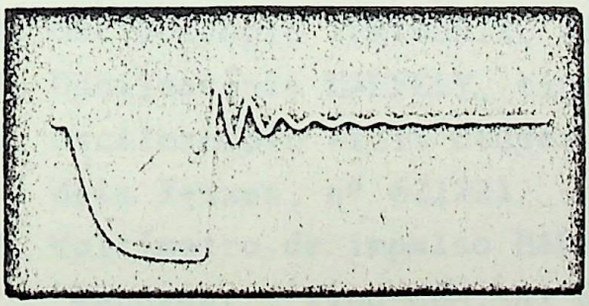
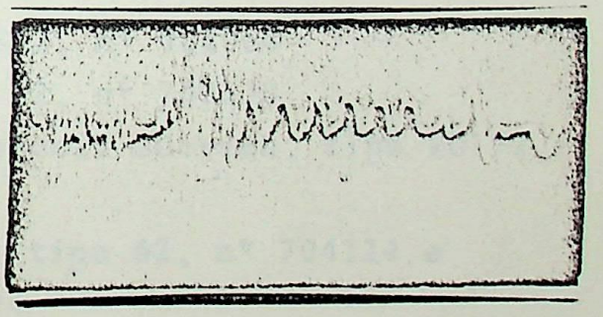
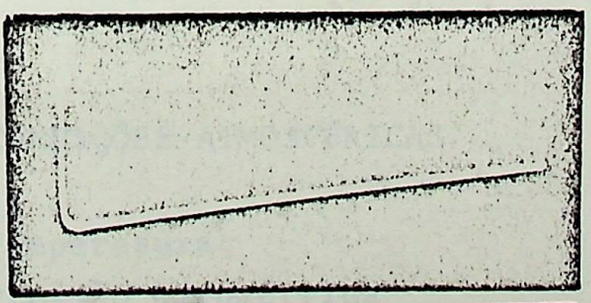
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Fiet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

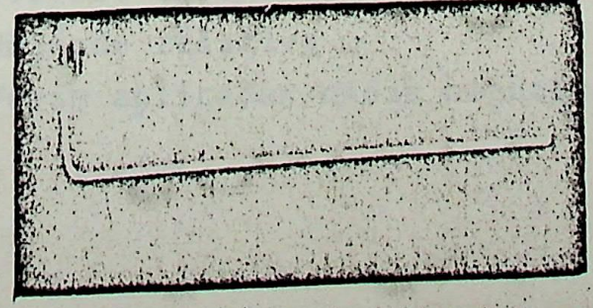
# ENSAIO DE IMPULSO Nº 040§73 - IND - BUCHA II



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 3103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

ENSAIO DE IMPULSO Nº 040/73 - IND BUCHA III




ENSAIO DE IMPULSO Nº 05
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 250 kVA
A.T. 14400/13800/13200/12600/1200 V
B.T. 220/127 V
NBI: 110 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 |

VALORES DE CRISTA

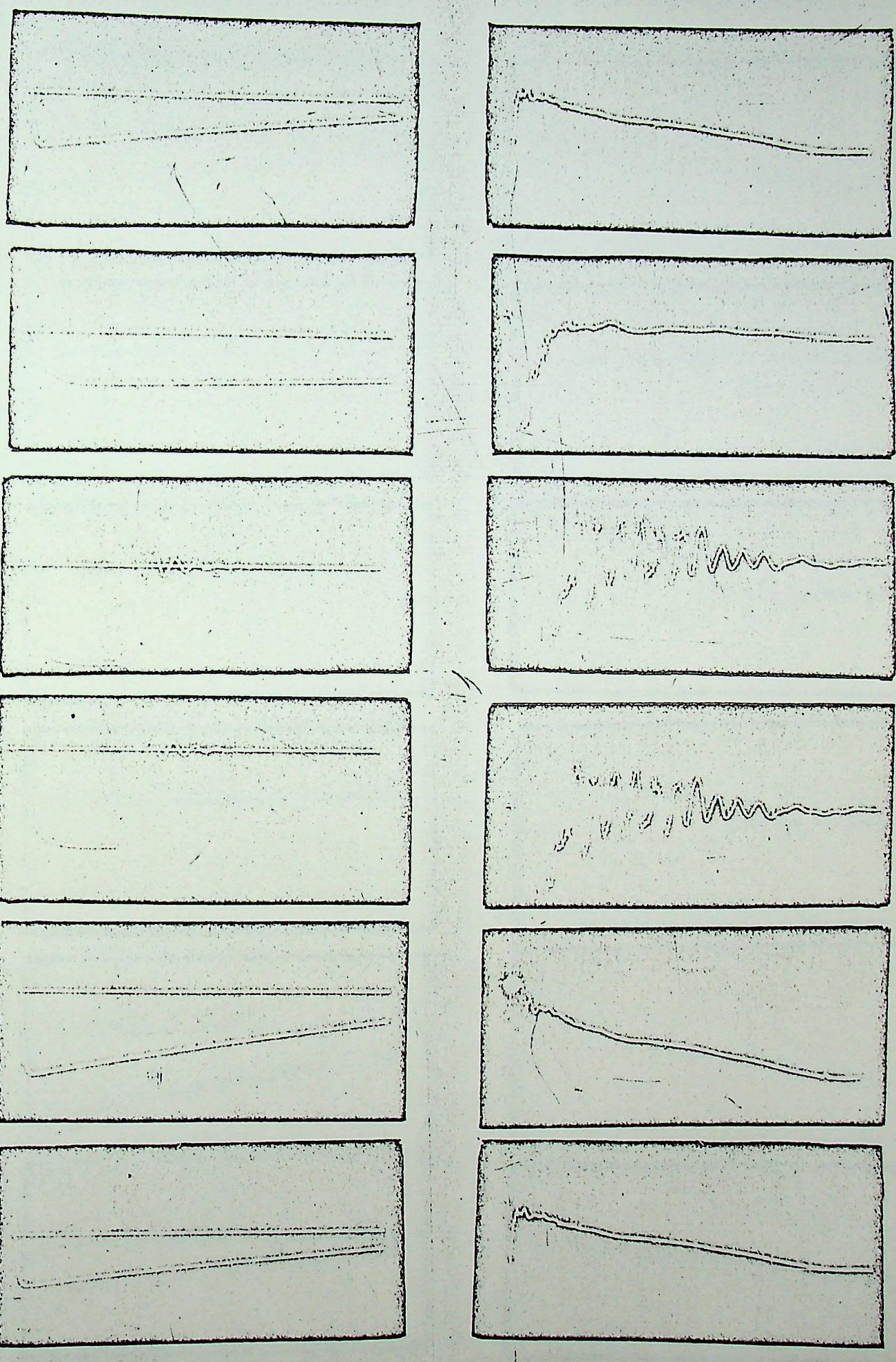
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados, e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

A superposição das ondas de tensão e corrente mostra que não há defeito no transformador ensaiado.

MEC - EFEI

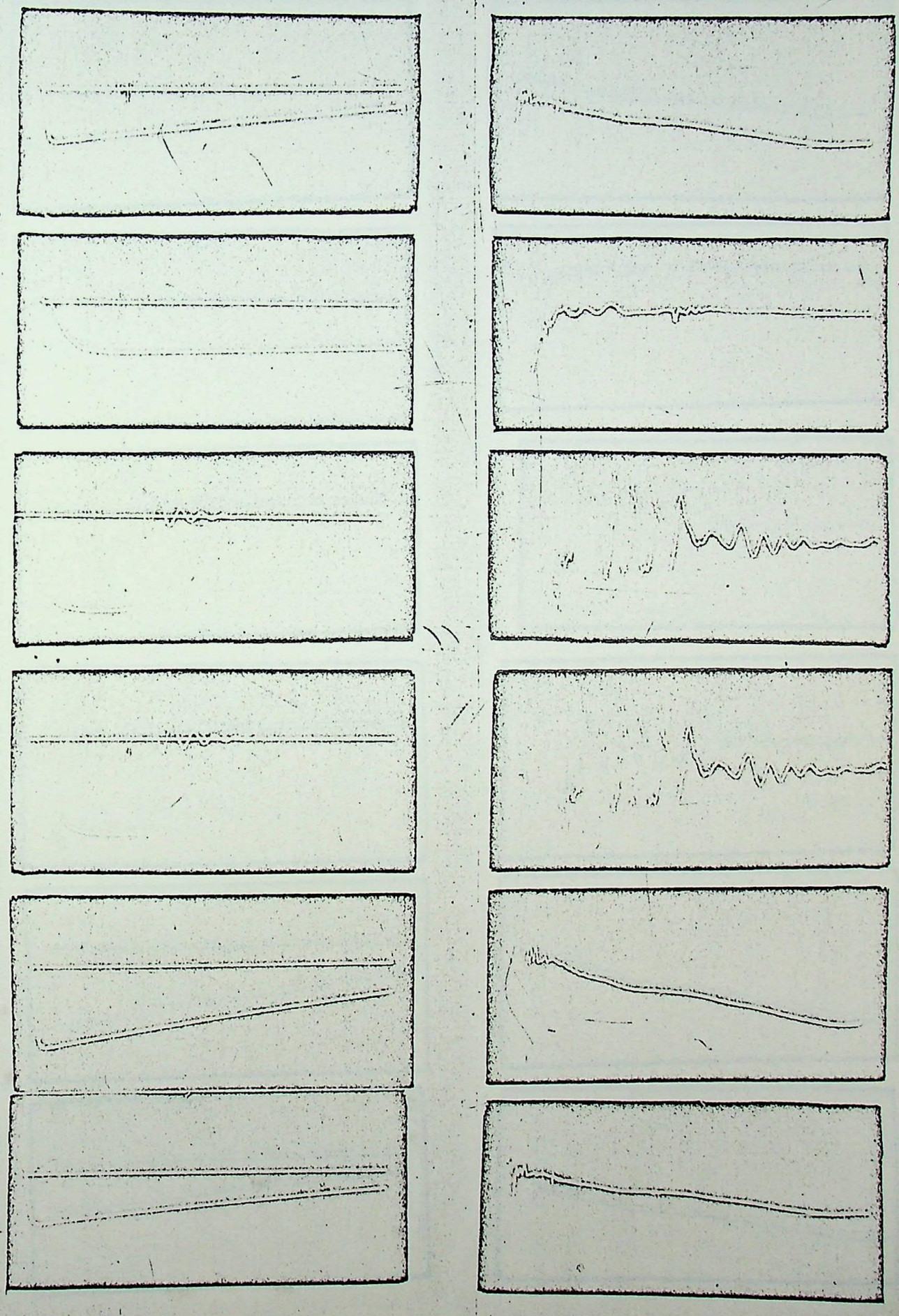
ENSAIO DE IMPULSO Nº 053/73 - IND BUCHA I



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MEC - EFEI

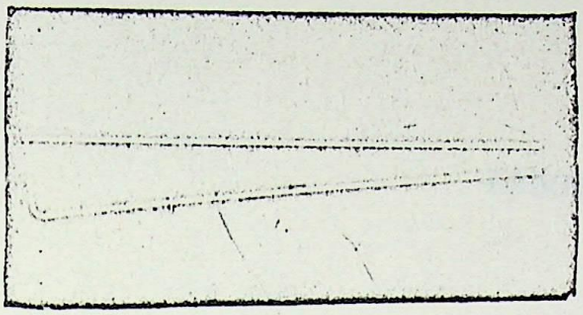
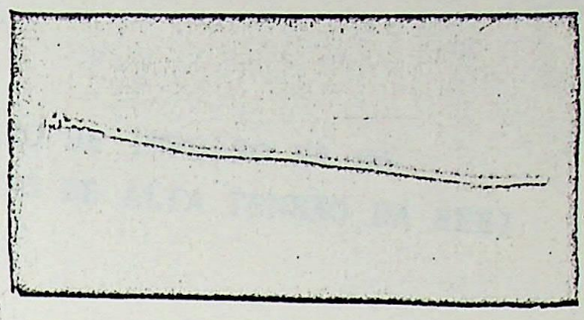
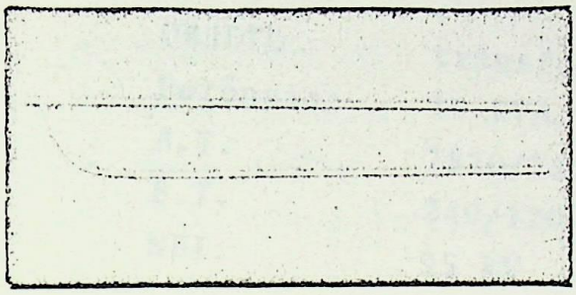
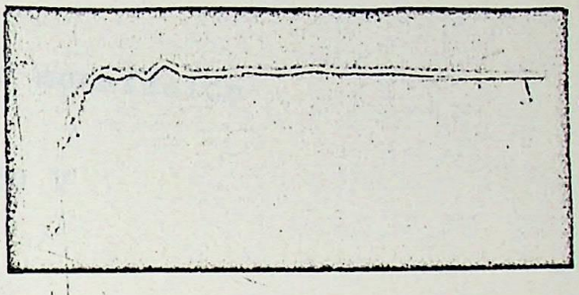
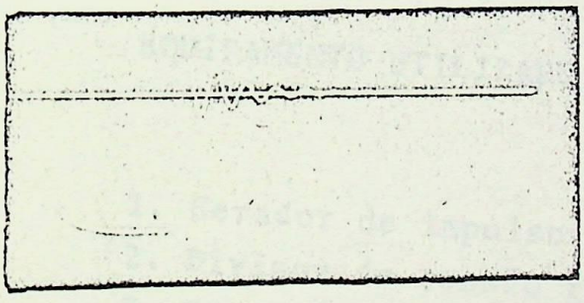
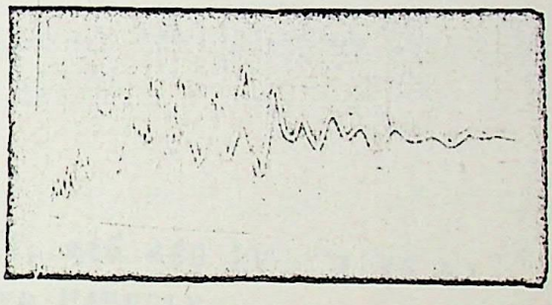
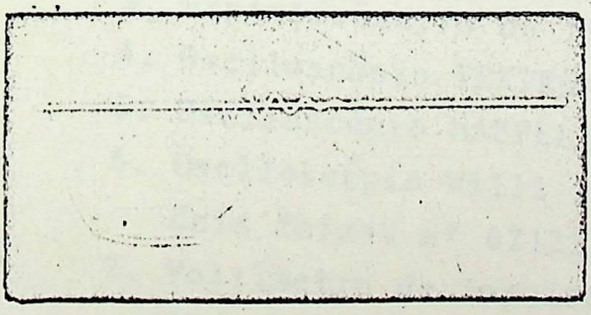
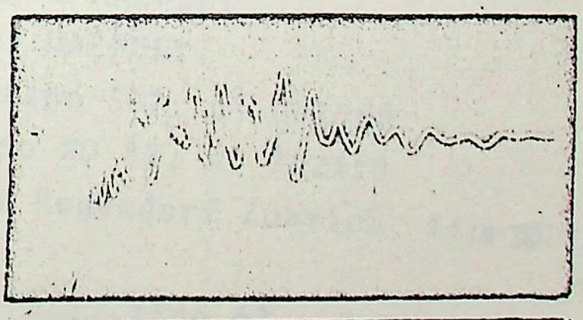
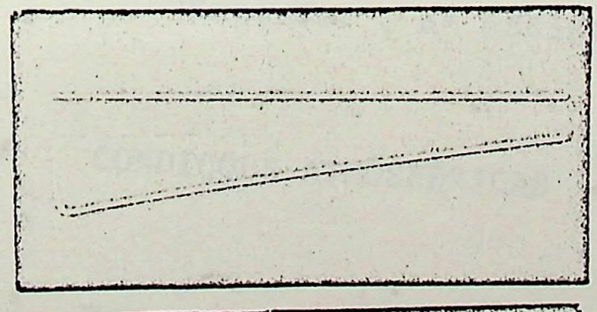
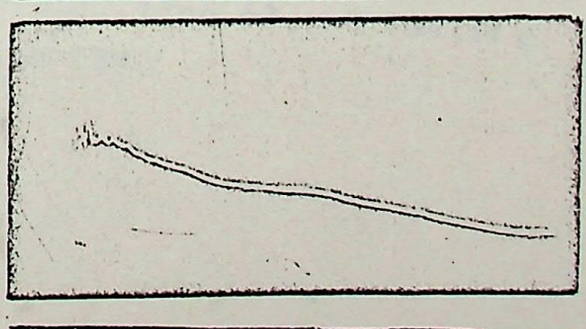
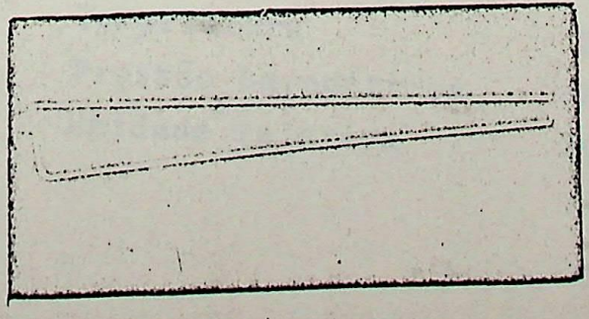
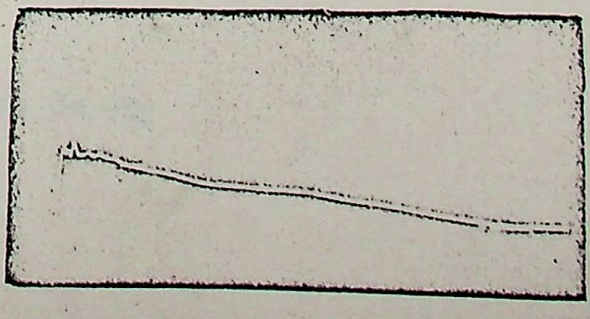
ENSAIO DE IMPULSO Nº 053/73 - IND BUCHA II



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MEC - EFEI

ENSAIO DE IMPULSO Nº 053/73 - IND BUCHA III

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 06
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 10 kVA |
| A.T. | 7810/7620/7430 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI: | 95 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo [illegible]72, dois feixes nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 70411[illegible] e "Recorder", nº 688304, tipo CBM.

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 25ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 90% |

VALORES DE CRISTA

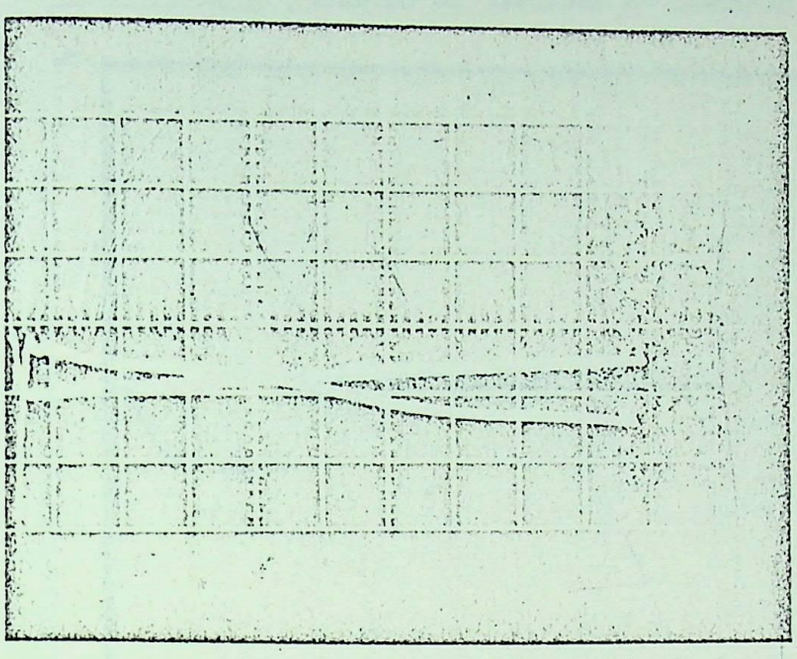
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

A análise das ondas de corrente, ondas plenas, buchas $H_1$ e $H_2$ mostra claramente o curto circuito entre um considerável número de espiras.

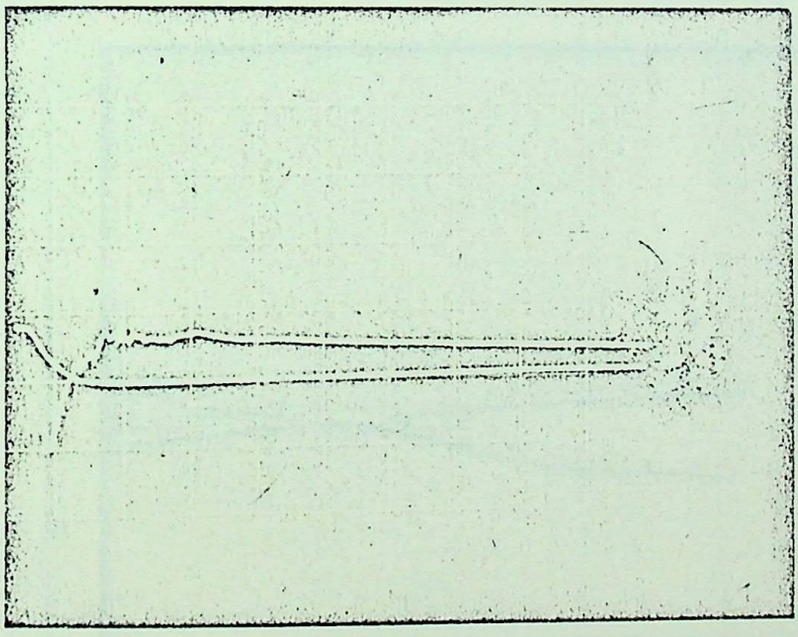
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2693 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2693 - Pós Grad. 2465

ENSAIO DE IMPULSO Nº 0015/73 - IND - Bucha $H_1$

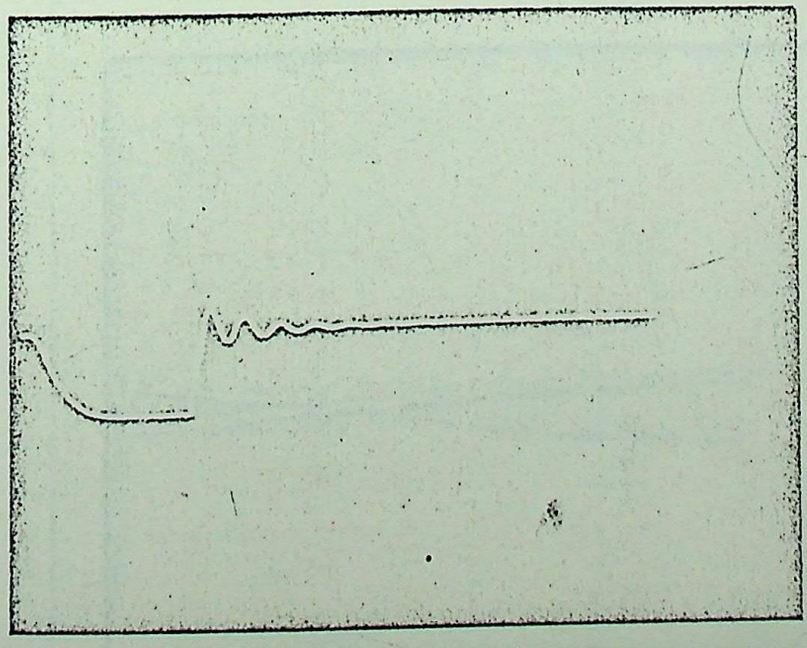


Ondas negativas

Oscilogramas de tensão e corrente 50 μs, 57,5 kV



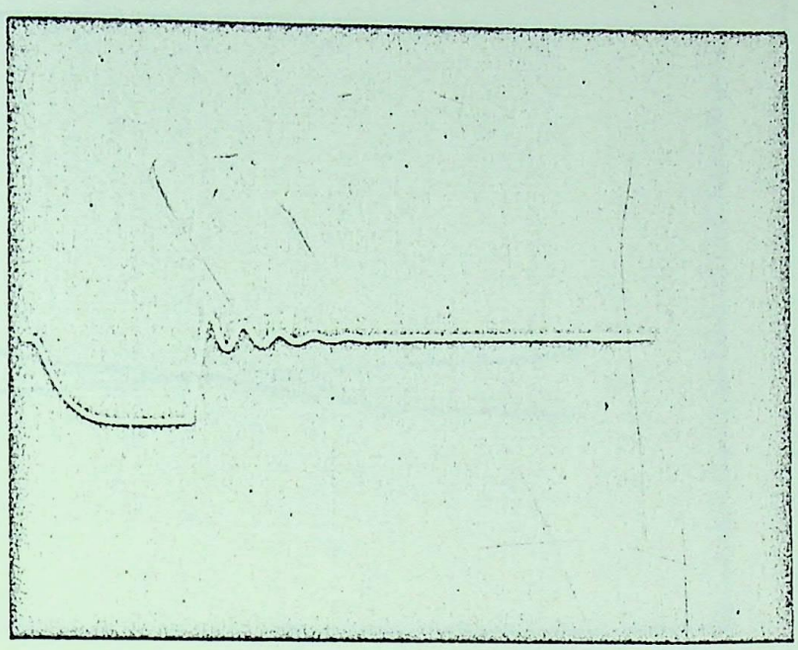
Oscilogramas de tensão e corrente, 10 μs, 57,5 kV



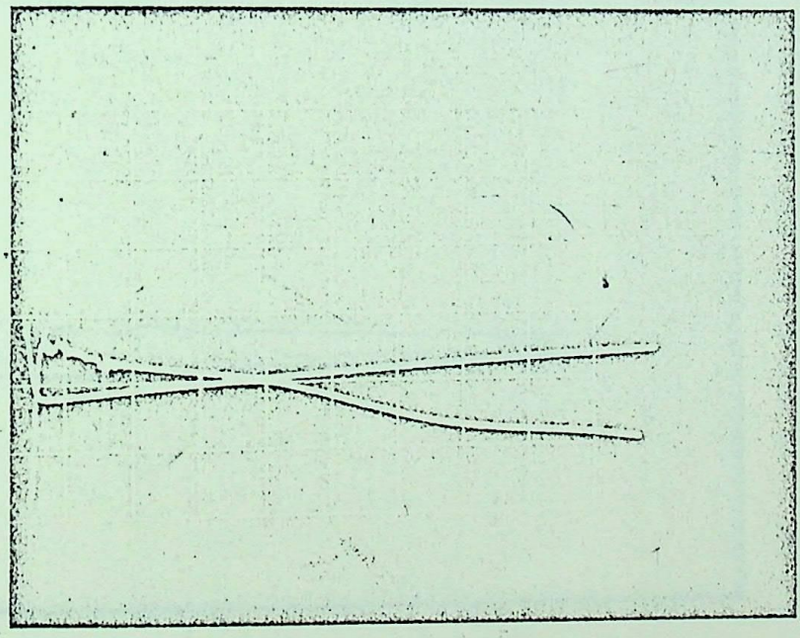
Onda cortada, 110 kV, 10 μs, oscilograma de tensão

DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

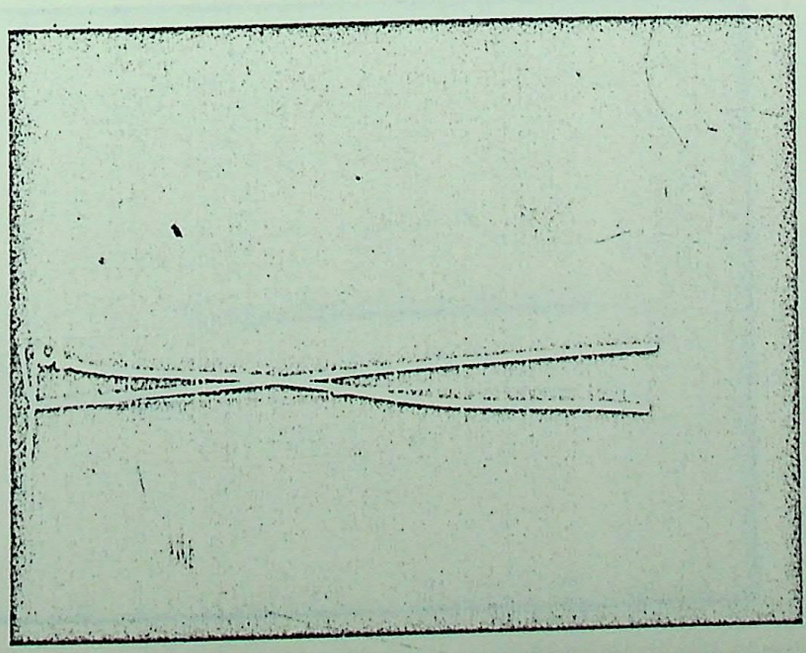
ENSAIO DE IMPULSO Nº 0015/73 - Bucha $H_1$



Oscilograma de tensão, onda cortada, 110 kV, 10 μs



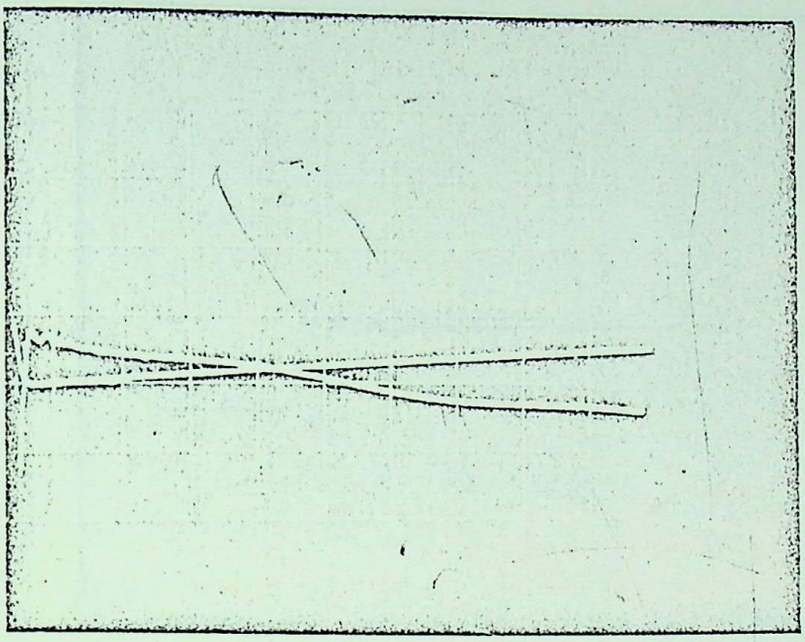
Onda plena, oscilogramas de tensão e corrente, 95 kV, 50 μs



Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente 57,5 kV, 50 us

DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

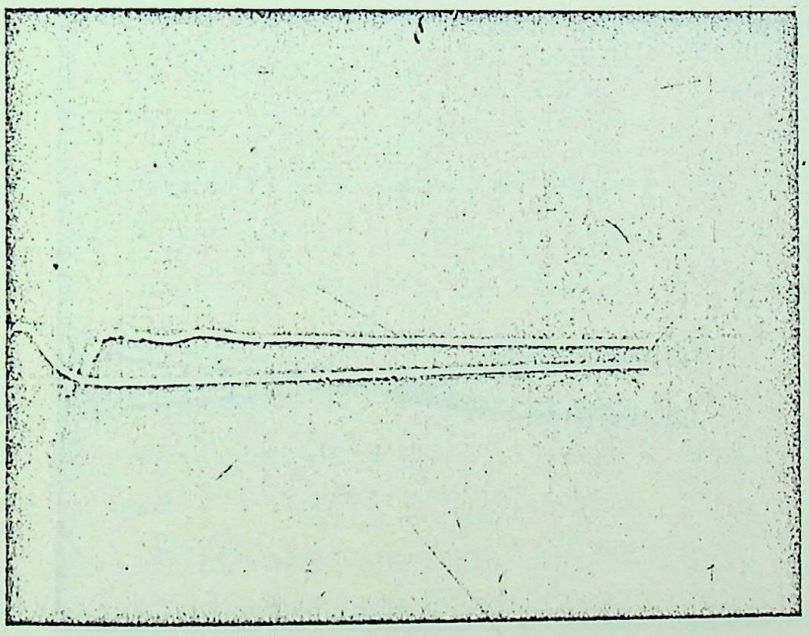
ENSAIO DE IMPULSO Nº 0015/73 - IND - Bucha $H_2$



Ondas negativas

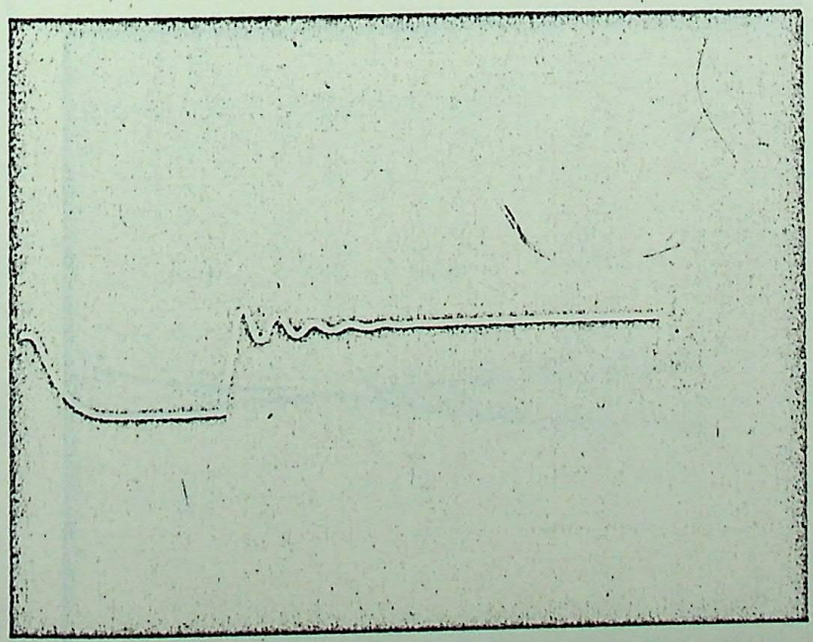
Oscilogramas de tensão e corrente

50 μs, 57,5 kV



Oscilograma de tensão e corrente

10 μs, 57,5 kV

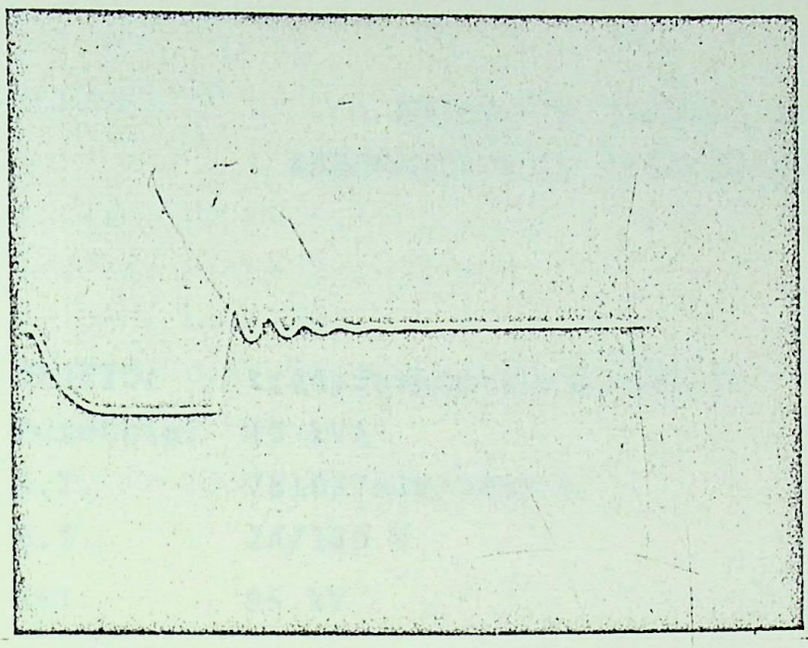


Onda cortada, 110 kV , 10 μs,

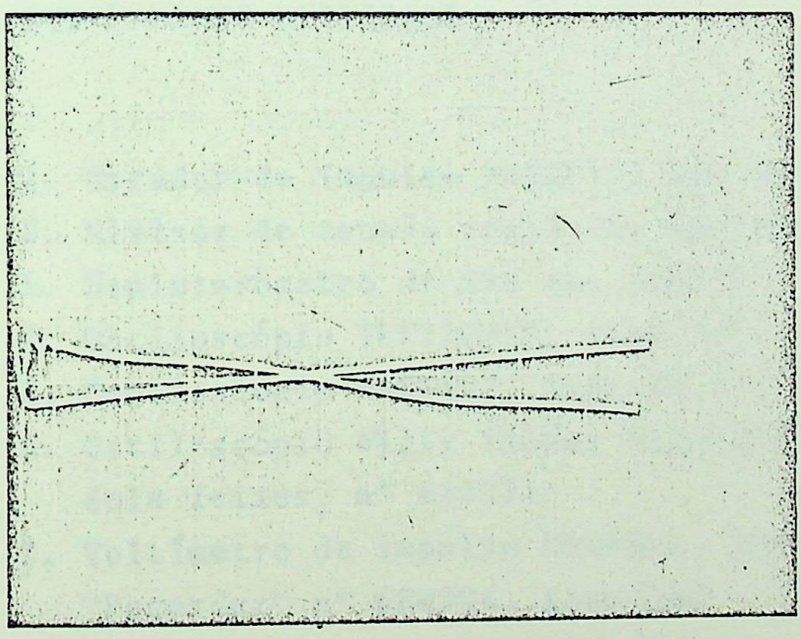
oscilograma de tensão

DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

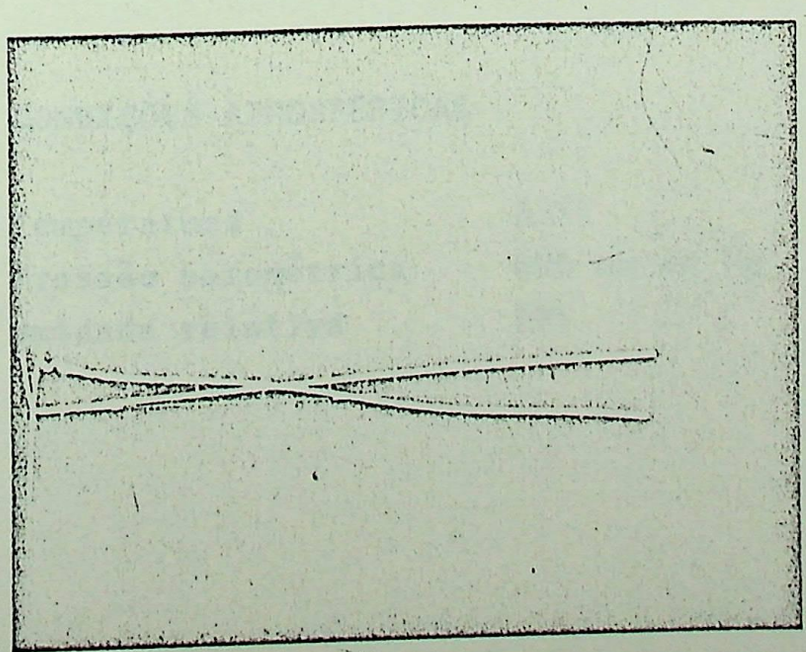
ENSAIO DE IMPULSO Nº 0015/73 - IND - Bucha $H_2$



Oscilograma de tensão onda cortada, 110 kV, 10 μs



Onda plena, oscilogramas de de tensão e corrente, 95 kV 50 μs



Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente 57,5 kV 50 μs

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 07
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 10 kVA
A,T. 7810/7620/7430 V
B.T. 24/120 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder" nº 688304, tipo CBM.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27°C |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

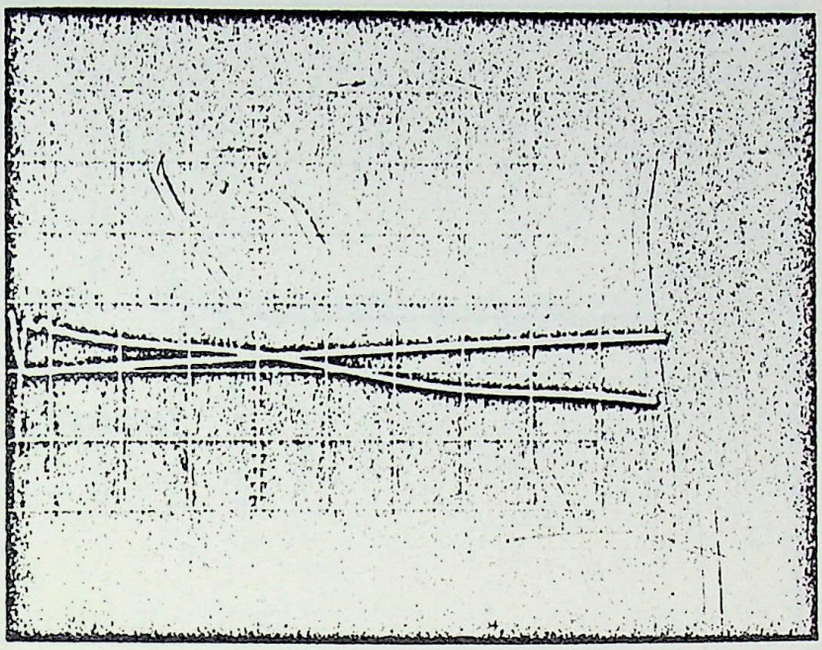
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

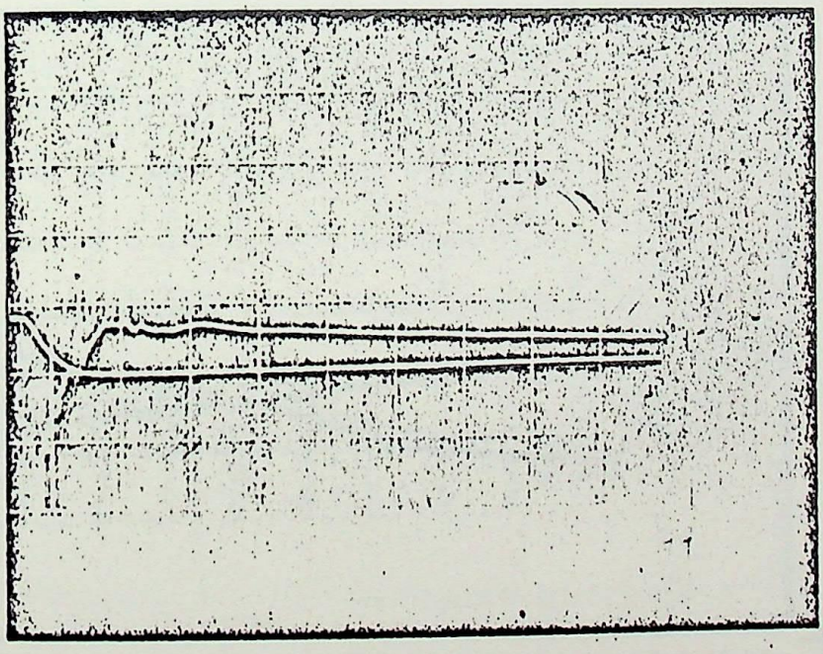
As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

O ensaio na bucha $H_2$ mostra oscilações no início da onda de corrente, 95 kV nos primeiros microsegundos, o que se torna mais notável nos oscilogramas de corrente, 10 µs 57,5 kV.

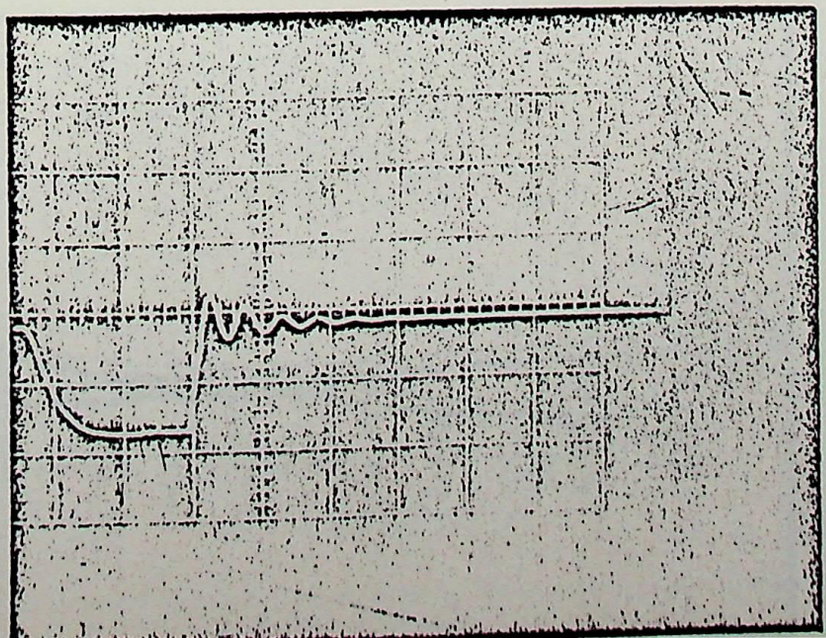
ENSAIO DE IMPULSO Nº 016/73 - IND - Bucha $H_1$



Ondas negativas
Oscilogramas de tensã
e corrente 50 µs,
57,5 kV

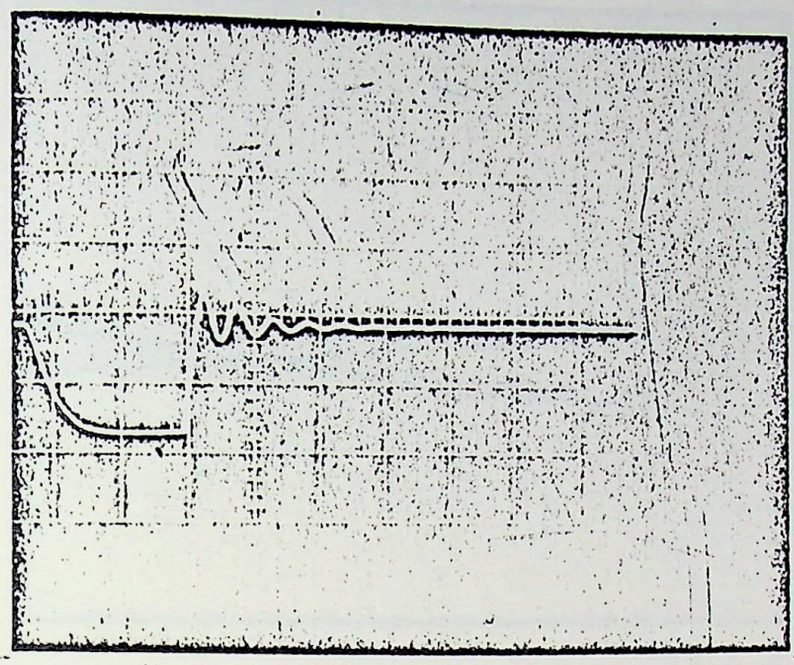


Oscilogramas de tensã
e corrente, 10 µs,
57,5 kV

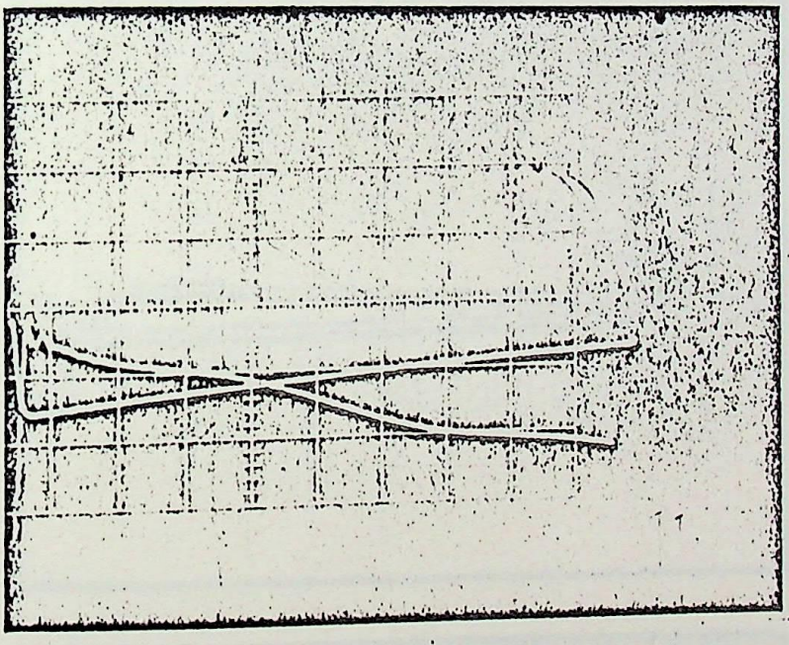


Onda cortada, 110 kV
10 µs, oscilogramas de
tensão.

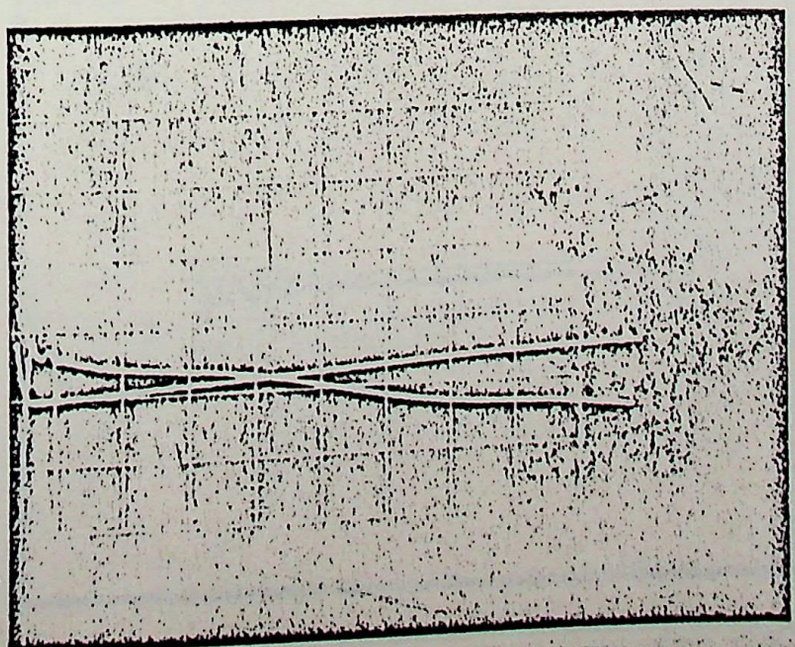
ENSAIO DE IMPULSO Nº 016/73 - IND - Bucha $H_1$



Oscilograma de tensão, onda cortada, 110 kV, 10 µs

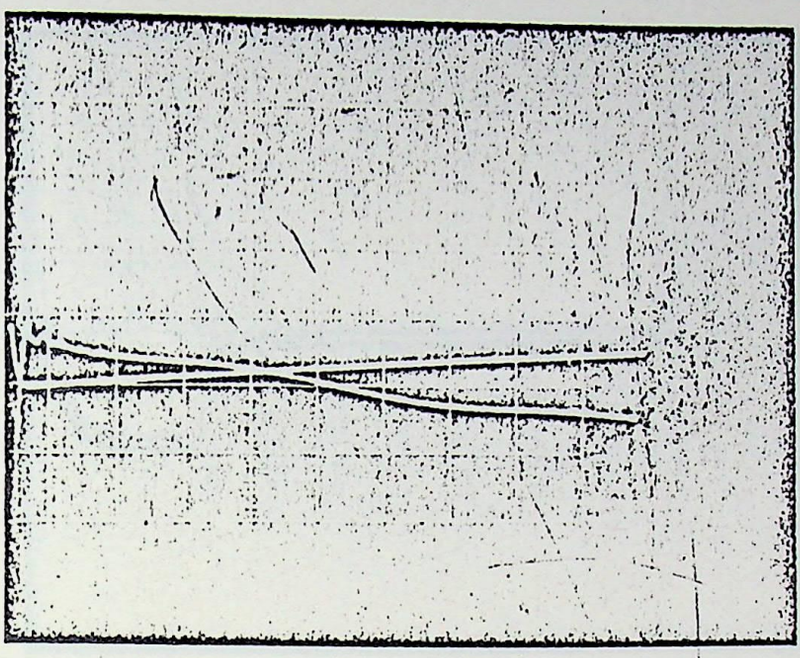


Onda plena, oscilogramas de tensão e corrente, 95 kV 50 µs.

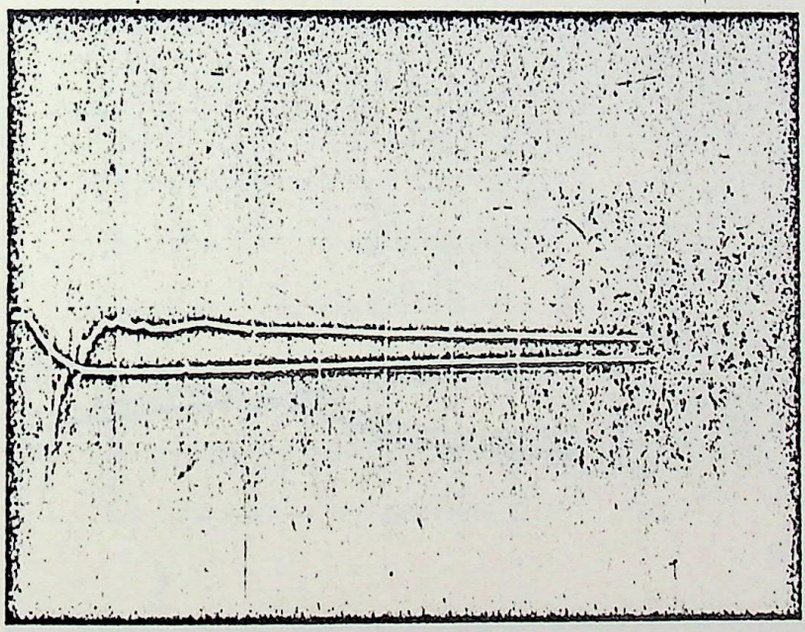


Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente 57,5 kV, 50 µs

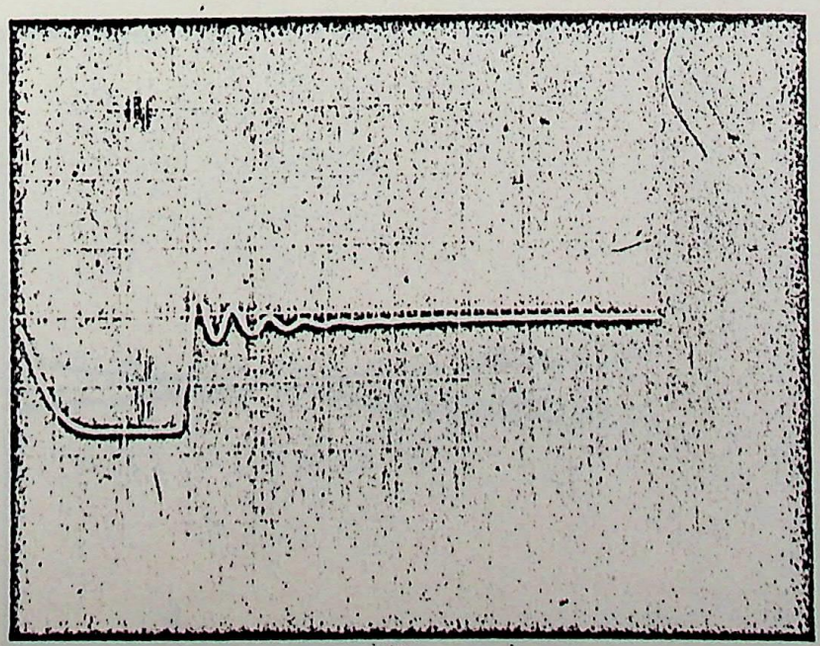
ENSAIO DE IMPULSO Nº 016/73 - IND - Bucha $H_2$



Ondas negativas
Oscilogramas de tensão e corrente 50 µs, 57,5 kV

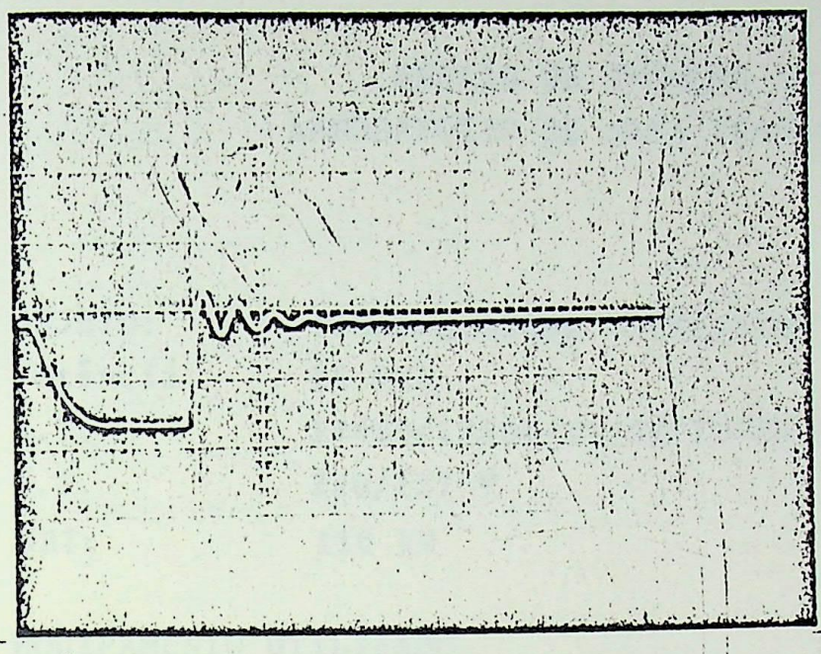


Oscilogramas de tensão e corrente 10 µs, 57,5 kV

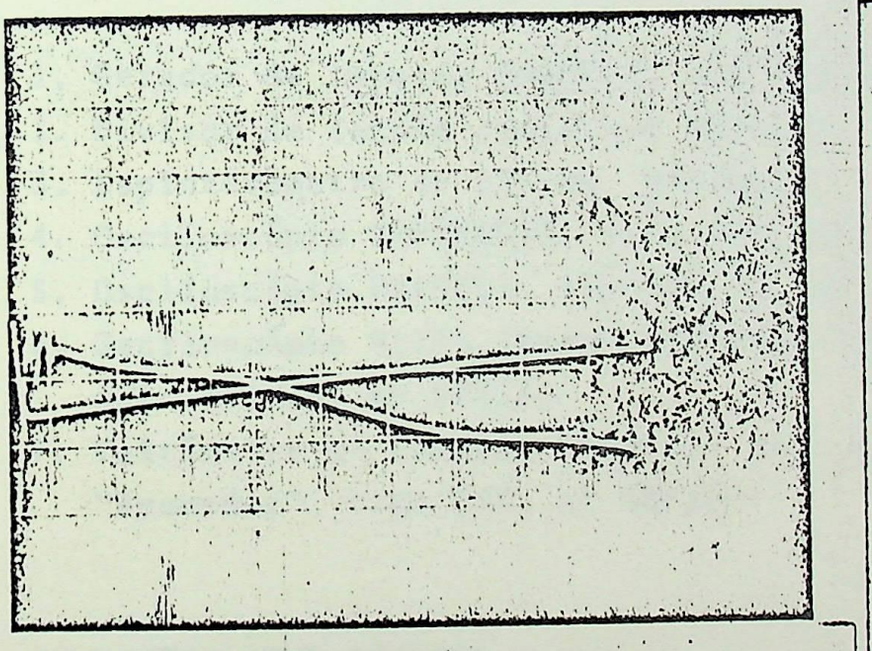


Onda cortada, 110 kV,10 oscilograma de tensão.

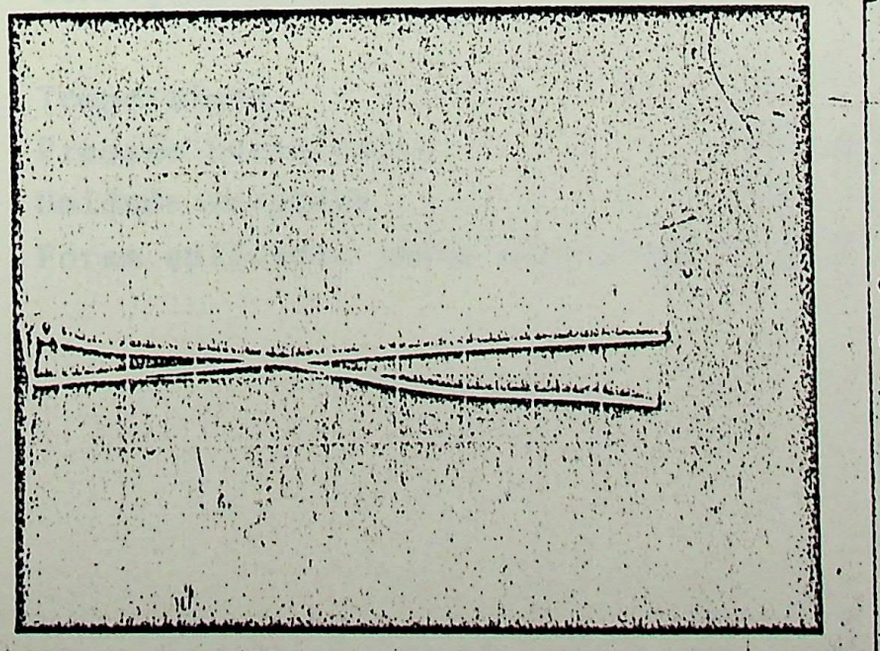
ENSAIO DE IMPULSO Nº 016/72 - IND - Bucha $H_2$



Oscilograma de tensão
onda cortada, 110 kV, 10



Onda plena, oscilogramas
de tensão e corrente, 95 k
50 µs.



Onda reduzida para verif
cação, oscilogramas de ten
e corrente 57,5 kV, 50 µs

60

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 08
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 15 kVA |
| A.T. | 14400/13800/13200/12600/12000 V |
| B.T. | 220/127 V |
| NBI: | 110 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

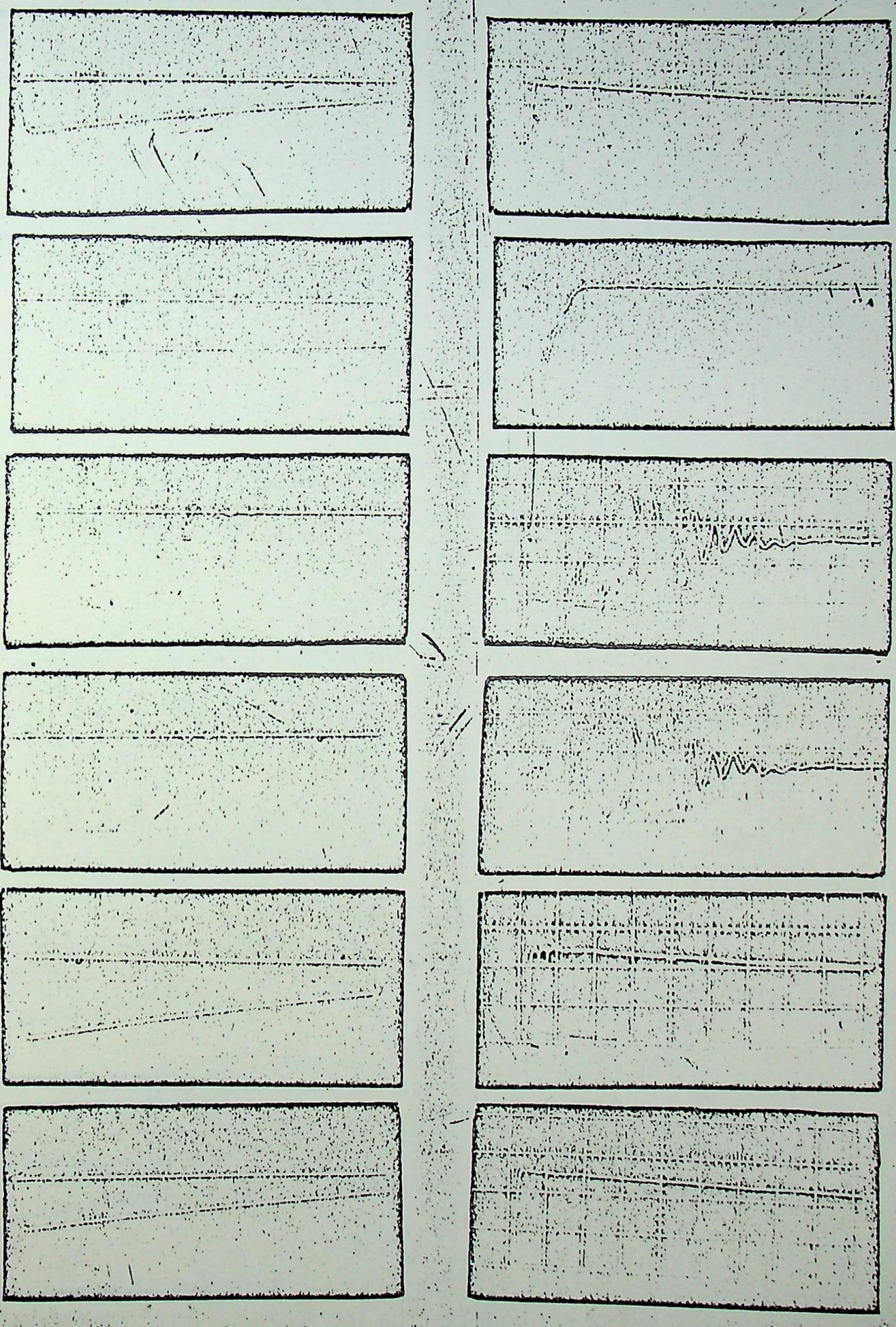
| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 |

VALORES DE CRISTA

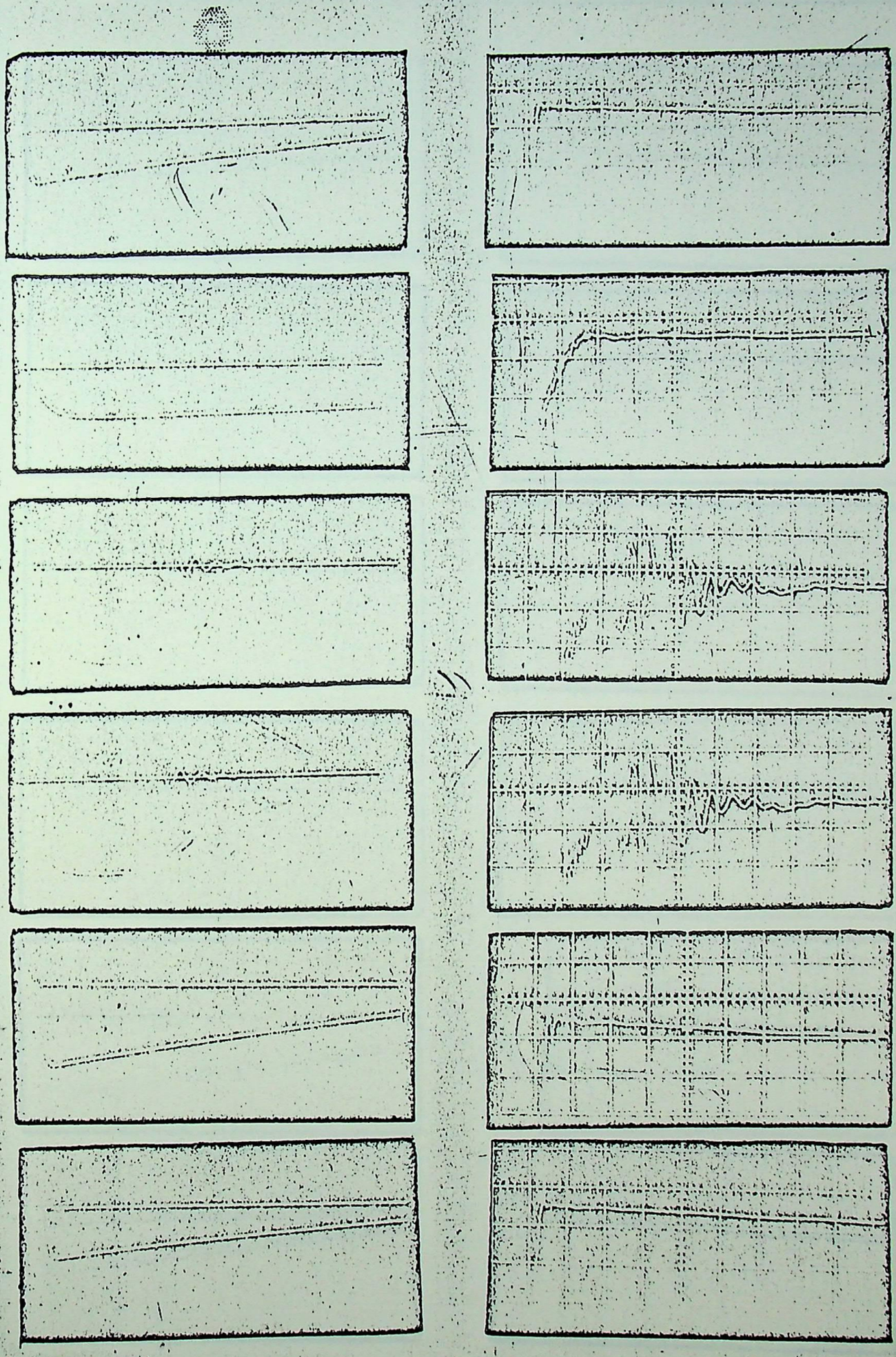
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

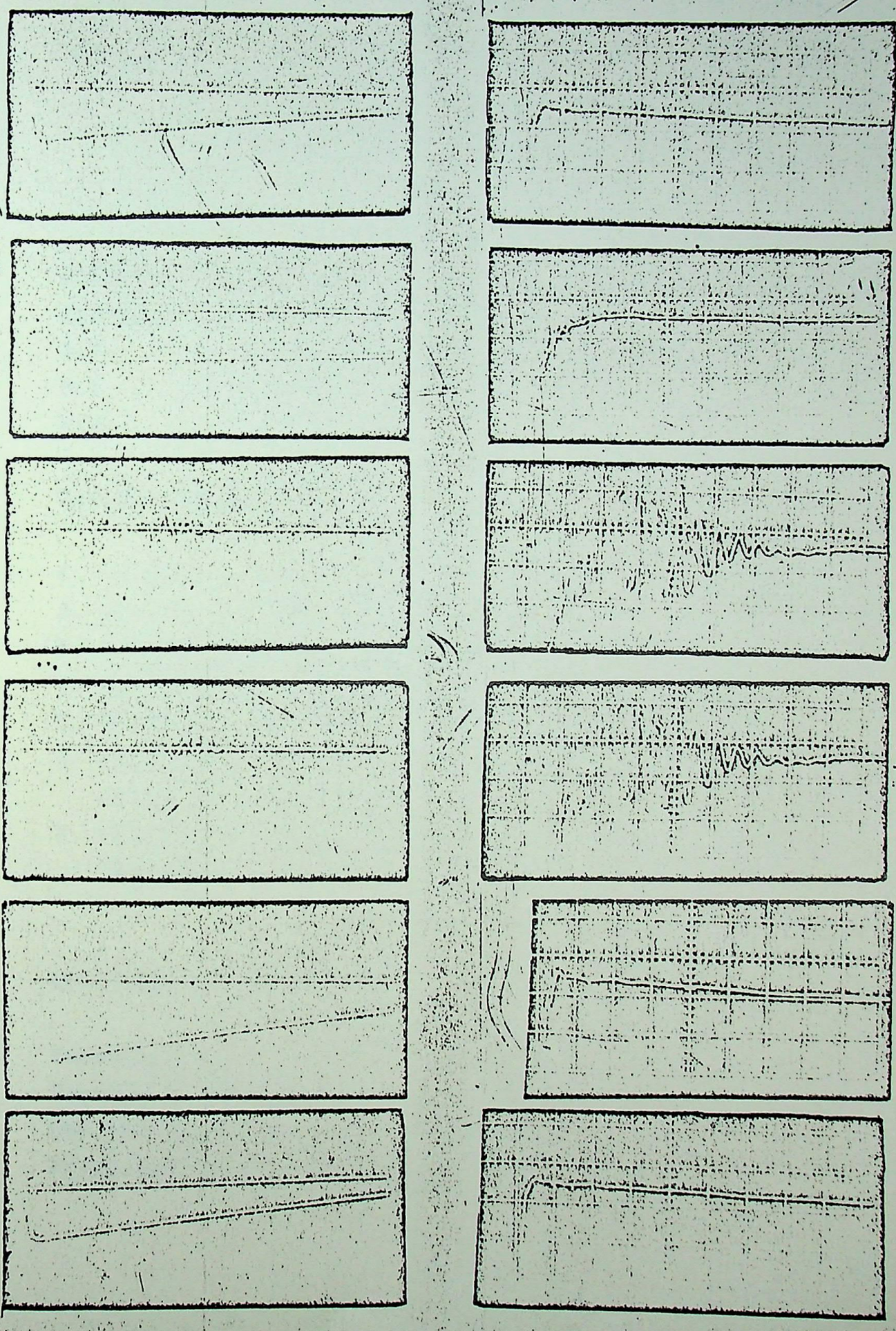
Houve superposição de todos os oscilogramas correspondentes, antes e depois das ondas plenas e cortadas.



ENSAIO DE IMPULSO Nº 052/73 - IND BUCHA II



ENSAIO DE IMPULSO Nº 052/73 - IND BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 09
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 75 kVA |
| A.T. | 13800/13200/12600/12000/11400 V |
| B.T. | 380/220 |
| NBI: | 110 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22°C |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 |

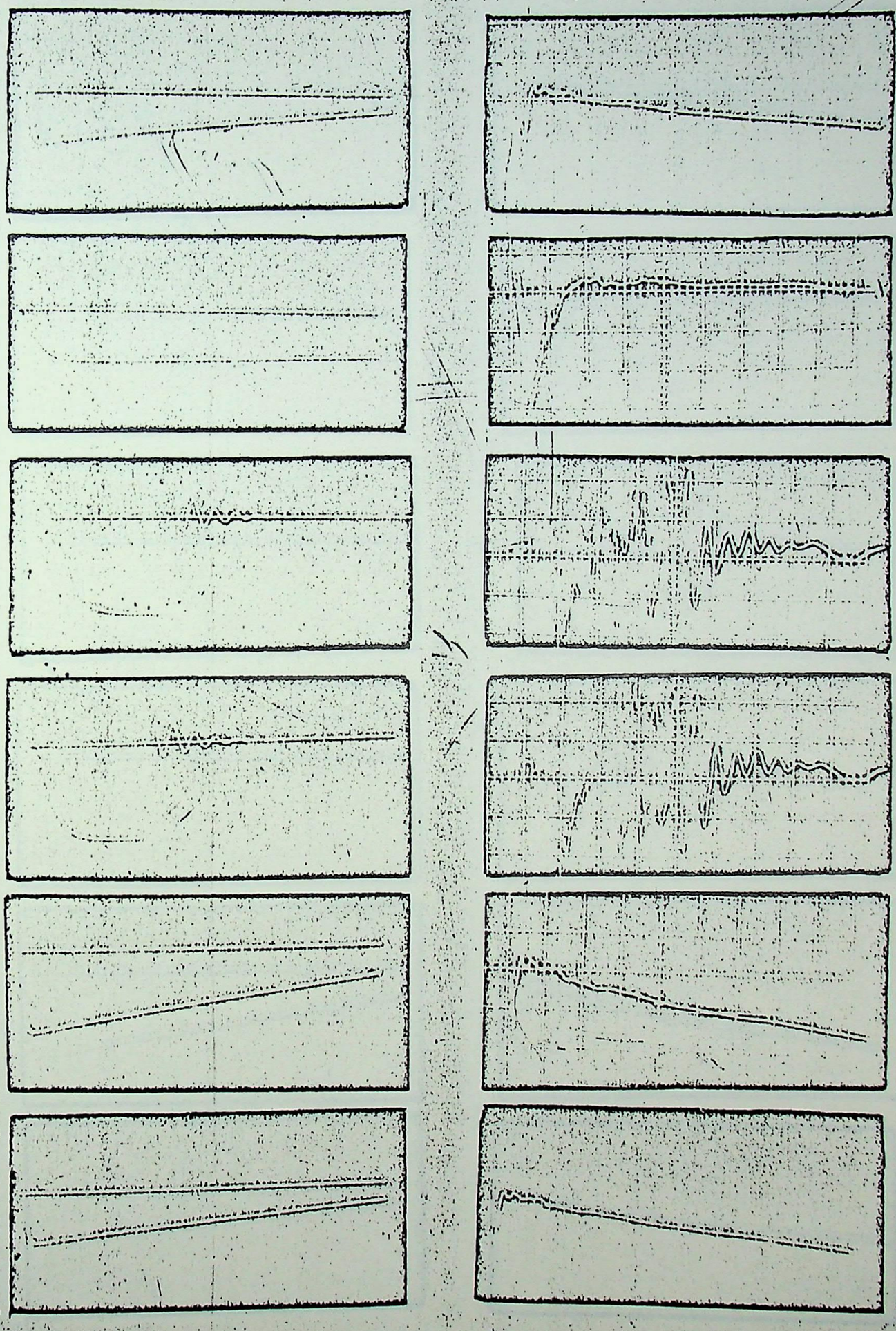
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

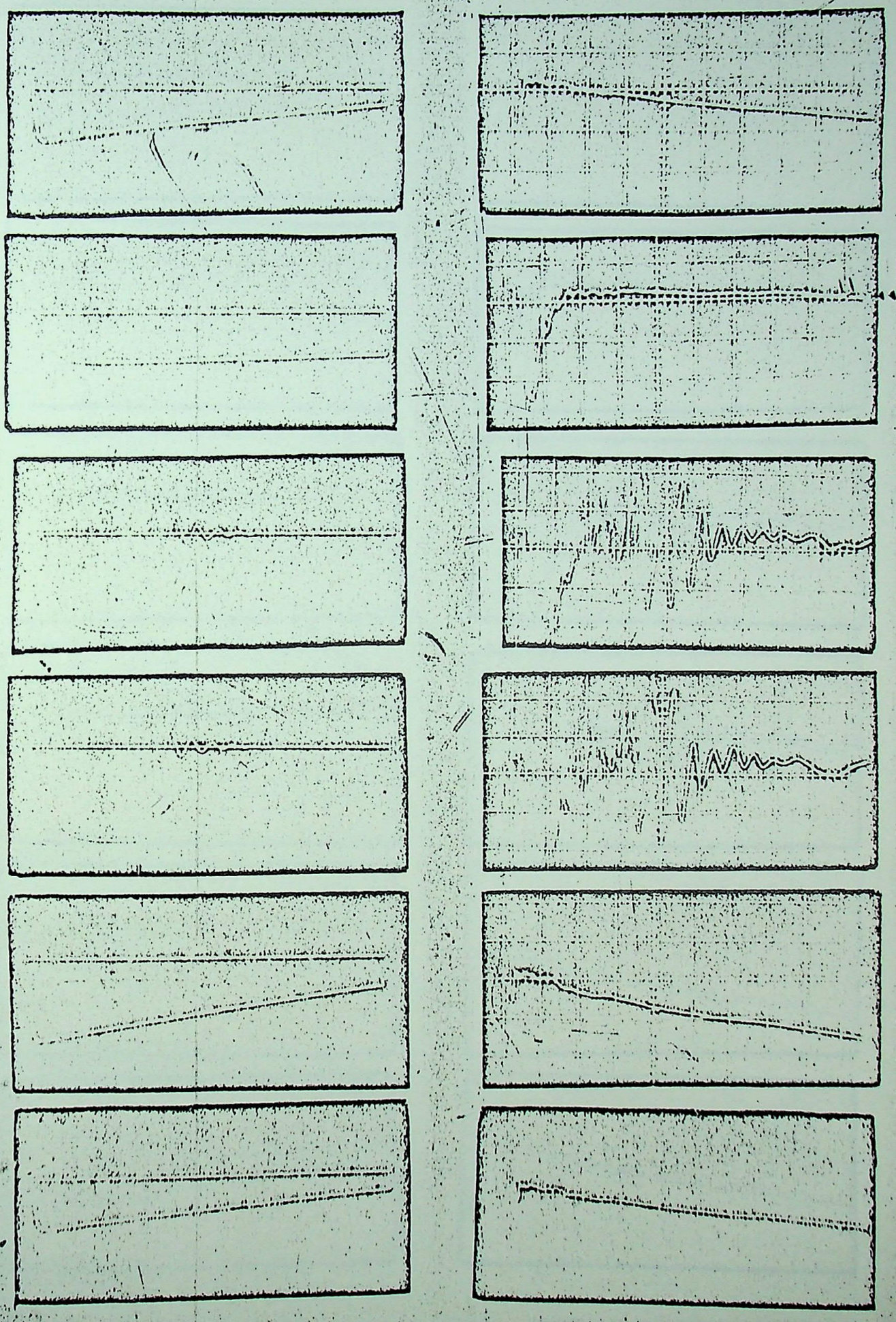
As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

A perfeita superposição das ondas plenas reduzidas, 50 µs e a última onda aplicada, reduzida para verificação, mostra que o ensaio não possui defeito. Observe-se que também há superposição das ondas correspondentes, tensão e corrente entre as fases A, B e C.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 050/73 - IND BUCHA I



ENSAIO DE IMPULSO Nº 050/73 - IND BUCHA II

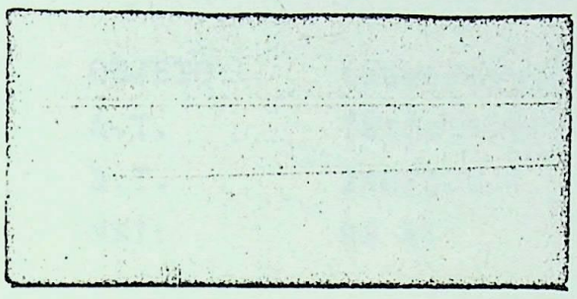
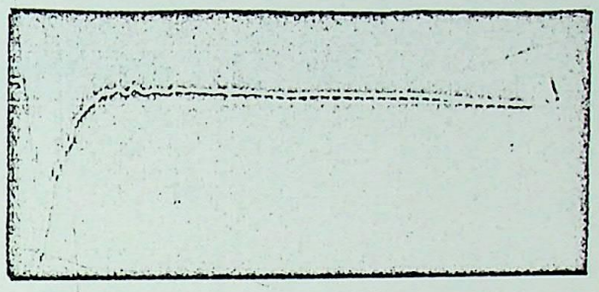
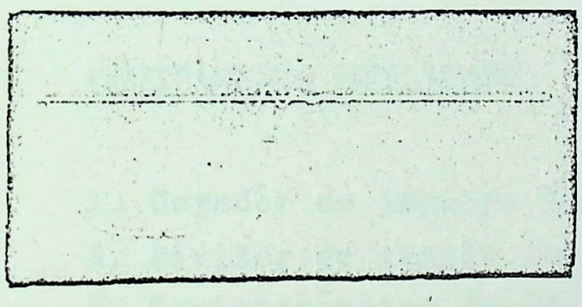
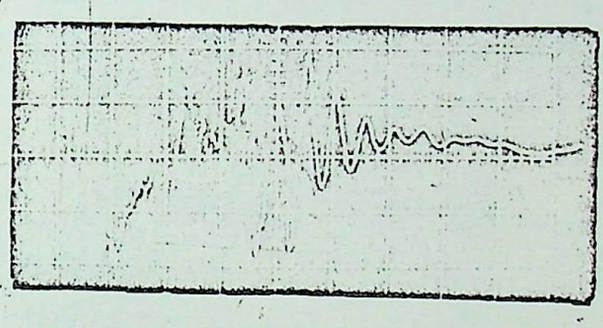
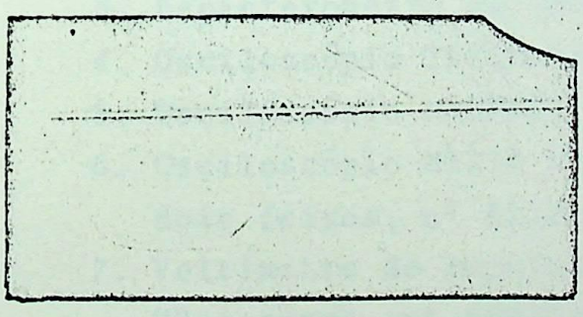
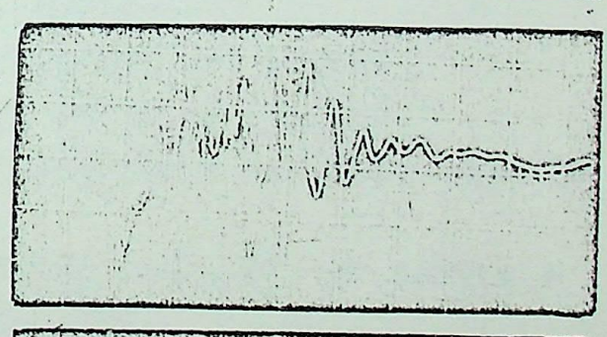


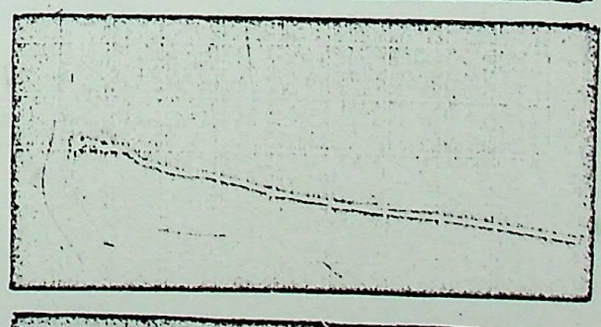
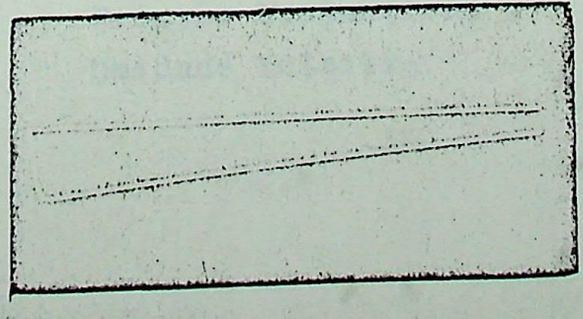
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MEC - EFEI

ENSAIO DE IMPULSO Nº 050/73 - IND BUCHA III



# ENSAIO DE IMPULSO Nº 10
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico 10 kVA |
| A.T. | 7810/7620/7430 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI: | 95 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM.

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

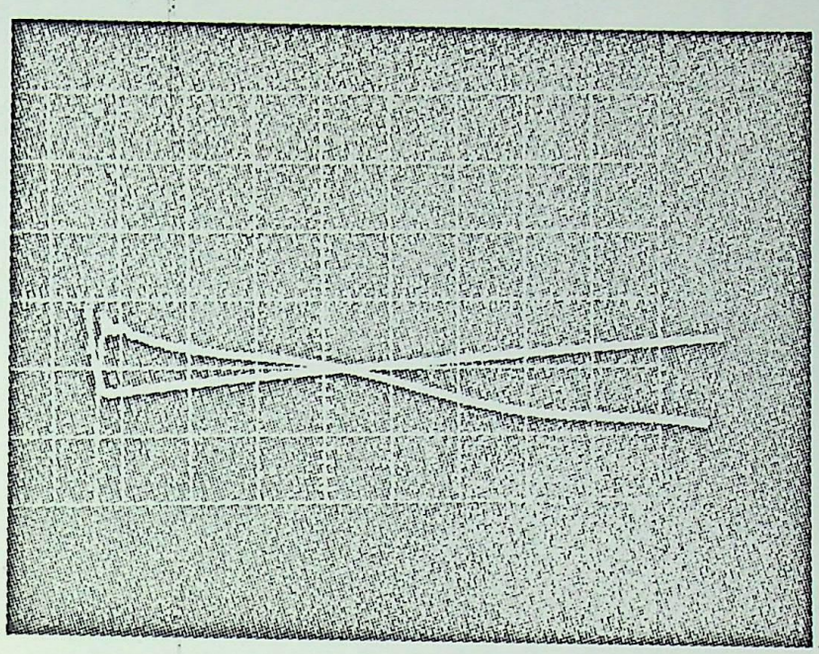
As ondas de corrente, 95 kV mostram claramente que há curto circuito entre espiras.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

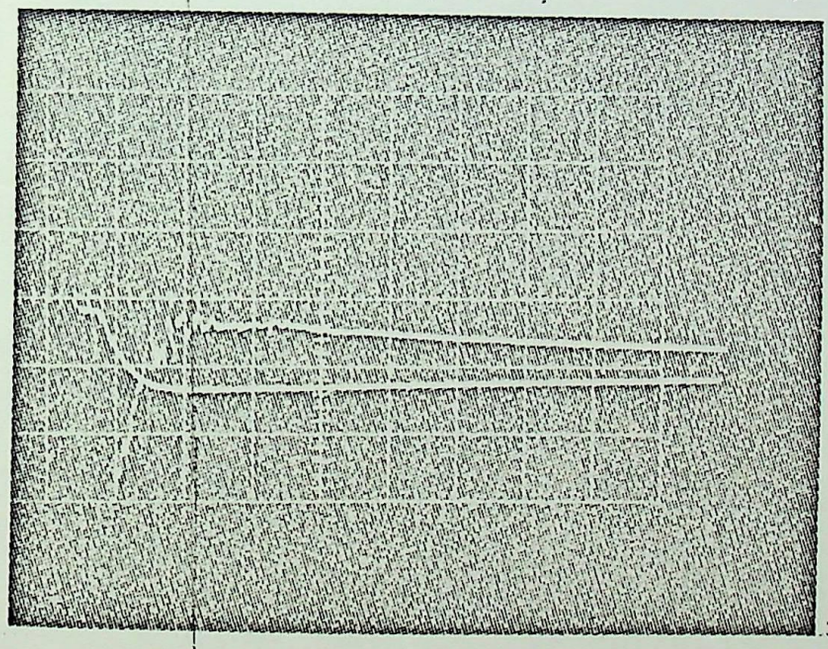
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ



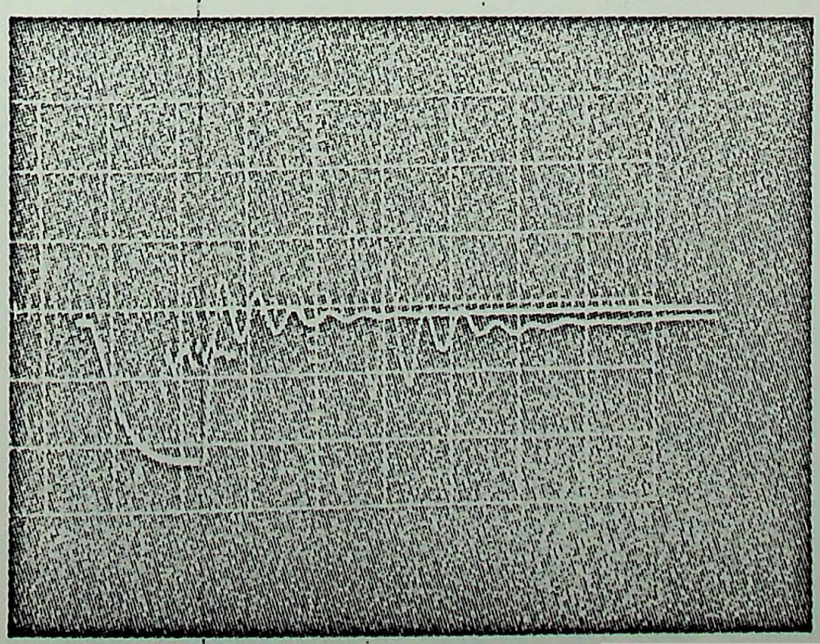
ENSAIO DE IMPULSO Nº 029/73 - IND - BUCHA $H_1$



Ondas negativas Oscilográmas de tensão e corrente 50 μs, 60 kV



Oscilogramas de tensão e corrente, 10 μs, 60kV



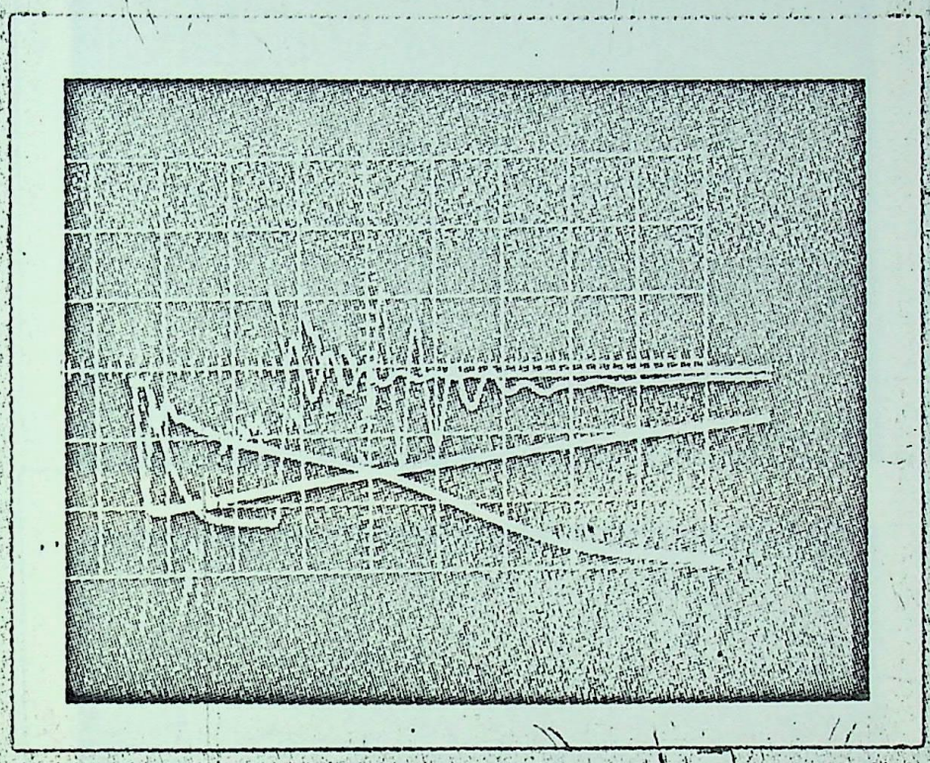
Onda cortada, 110 kV, 10 μs, oscilogramas de tensão e corrente.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

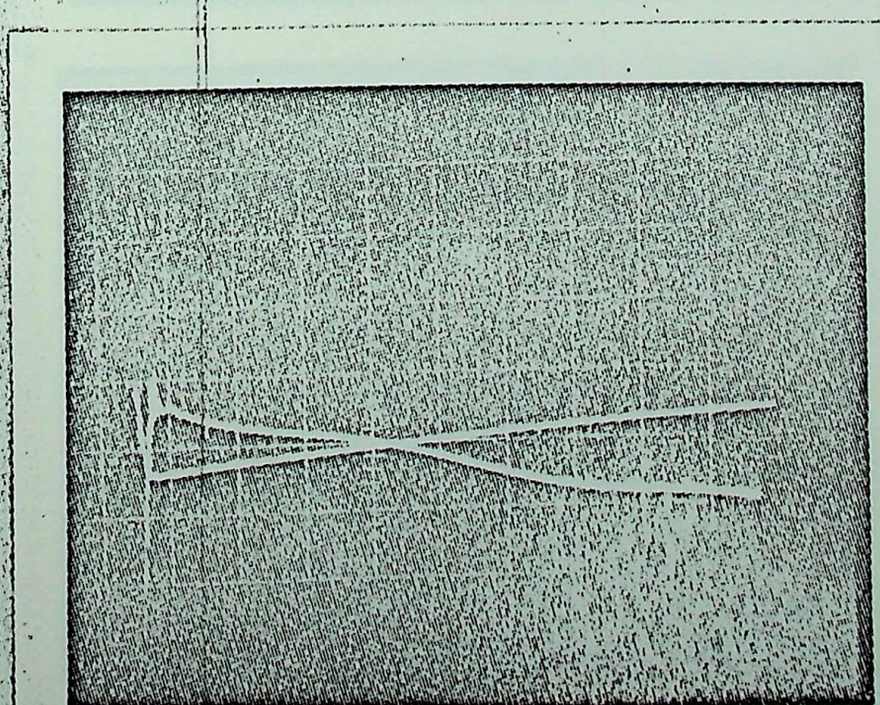


ENSAIO DE IMPULSO Nº 029/73 - IND. - BUCHA $H_1$

Onda cortada, 110 kV, 10 µs, oscilogramas de tensão e corrente.

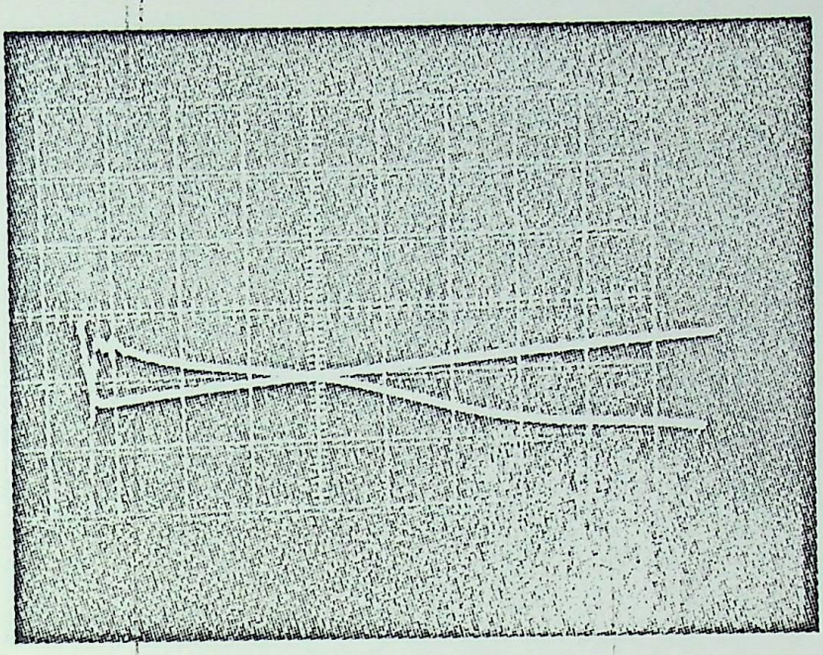


Onda plena, oscilogramas de tensão e corrente, 95 kV, 50 µs.

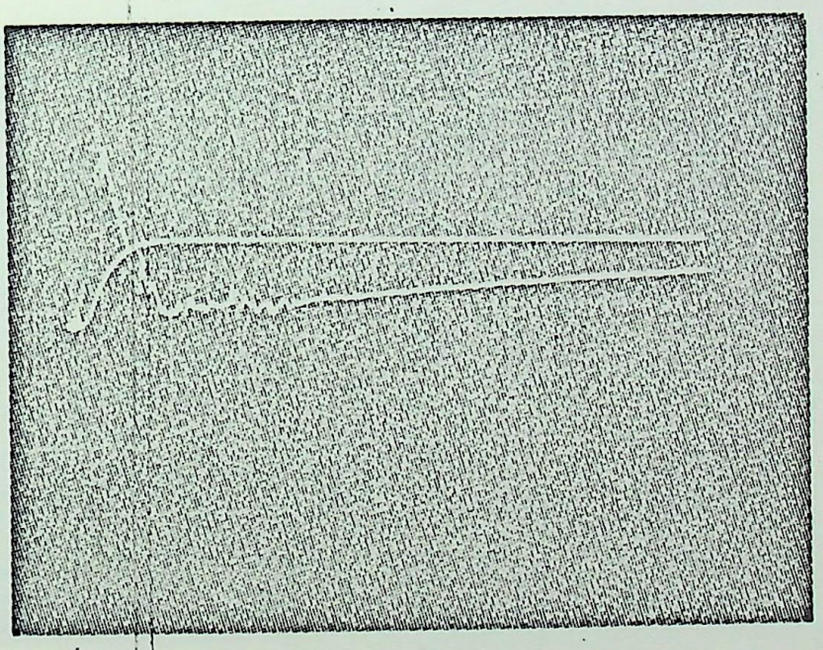


Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente, 60 kV, 50 µs

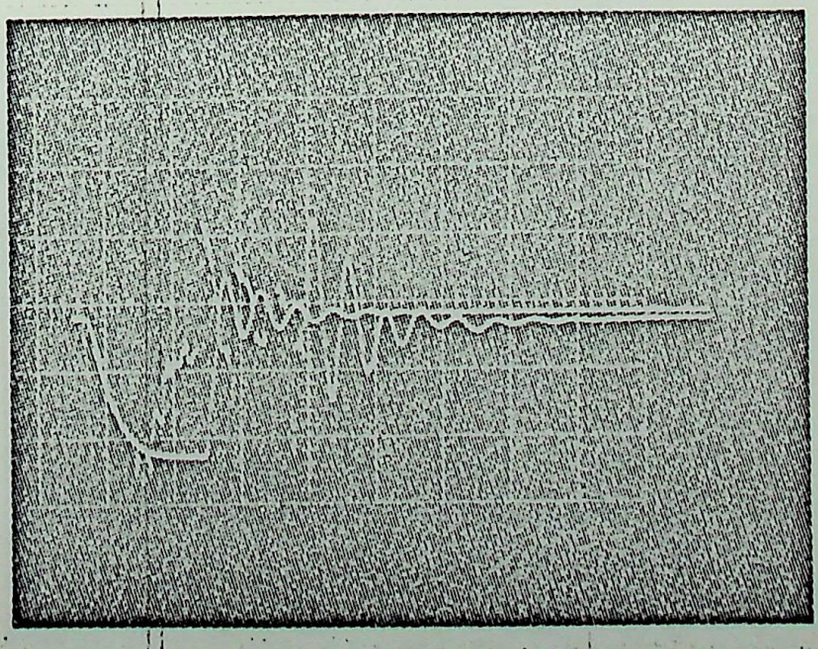
ENSAIO DE IMPULSO Nº 029/73 - IND - BUCHA $H_2$



Ondas negativas Oscilogramas de tensão e corrente 50 μs, 60 kV



Oscilogramas de tensão e corrente, 10 μs, 60 kV

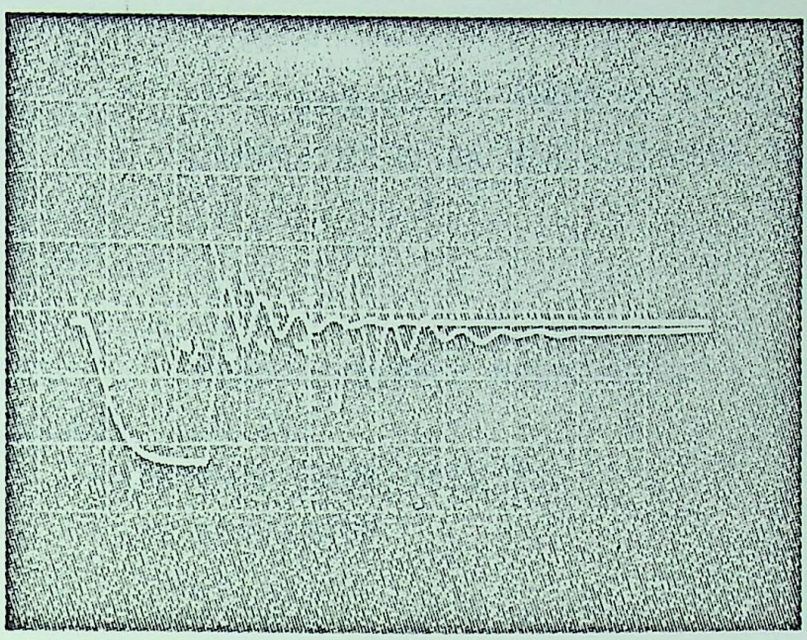


Onda cortada, 110 kV, 10 μs, oscilogramas de tensão e corrente.

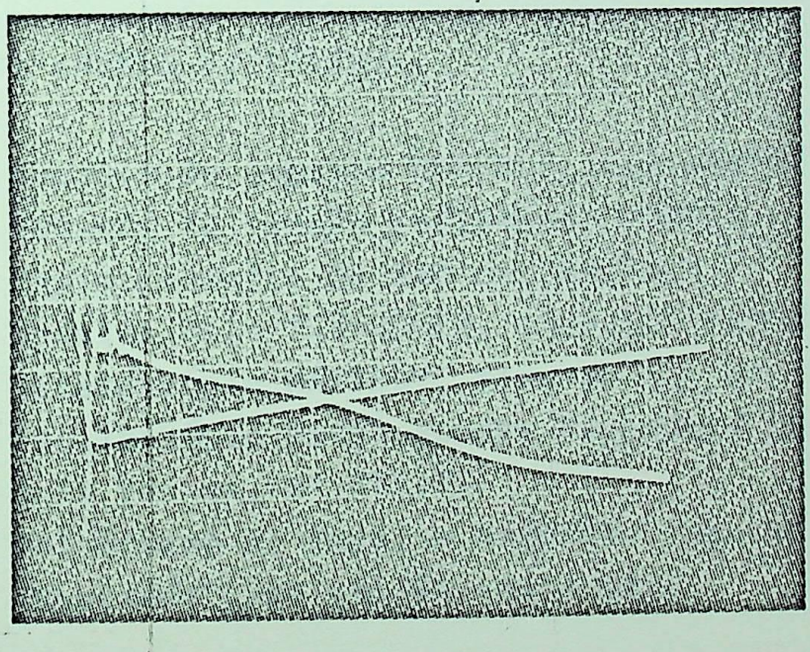
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ



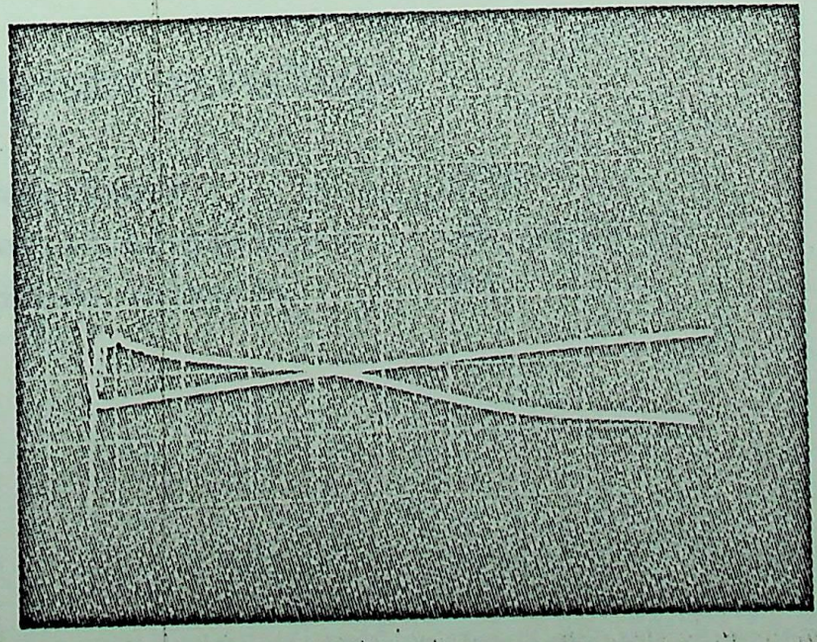
ENSAIO DE IMPULSO Nº 029/73 - IND - BUCHA $H_2$



Onda cortada, 110 kV 10 μs, oscilogramas de tensão e corrente



Onda plena, oscilo - gramas de tensão e corrente, 95 kV, 50 us



Onda reduzida para verificação, oscilo gramas de tensão e corrente, 60 kV, 50 us

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 11
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 10 kVA |
| A.T. | 7810/7620/7430 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI: | 95 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72 dois feixes, nº 621221.
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder" nº 688304, tipo CBM.

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

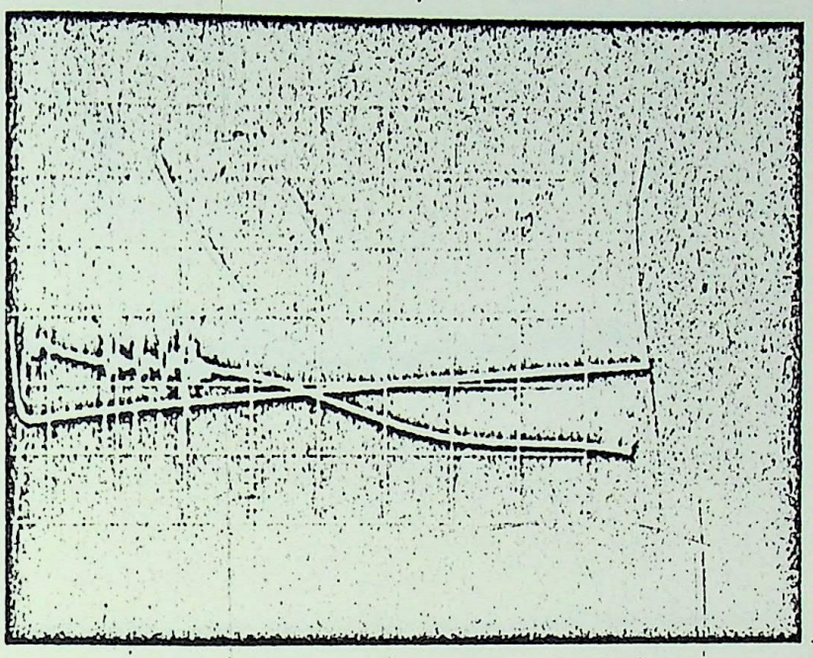
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

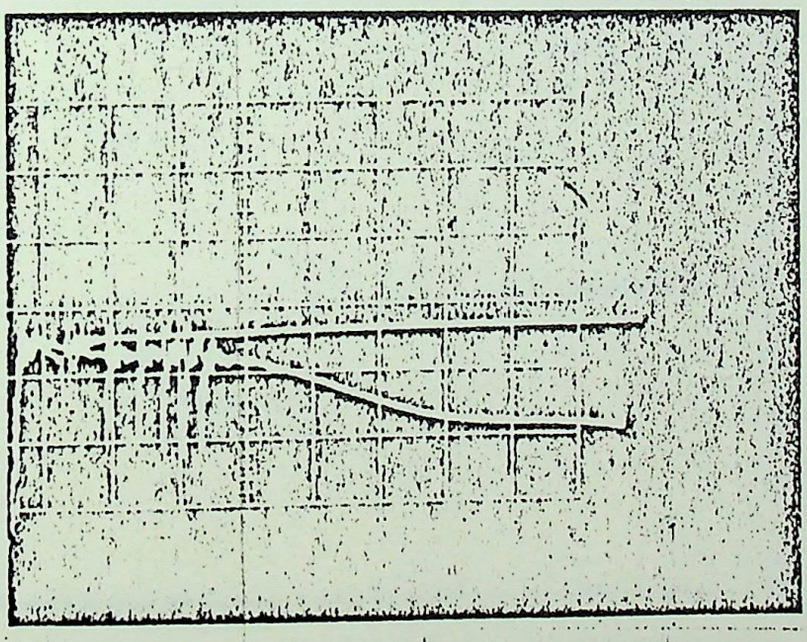
As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

O oscilograma de corrente, onda de 57,5 kV, mostra na saida do enrolamento ensaiado, defeito.
Quando aplicada a onda plena, 95 kV, o defeito apresentava as mesmas características, sem haver problemas com a onda de tensão, entretanto, aplicou-se novamente a onda plena e desta feita houve o colapso após 15 µs. Havia ruptura do cabo de saida do enrolamento (parte inferior do transformador)

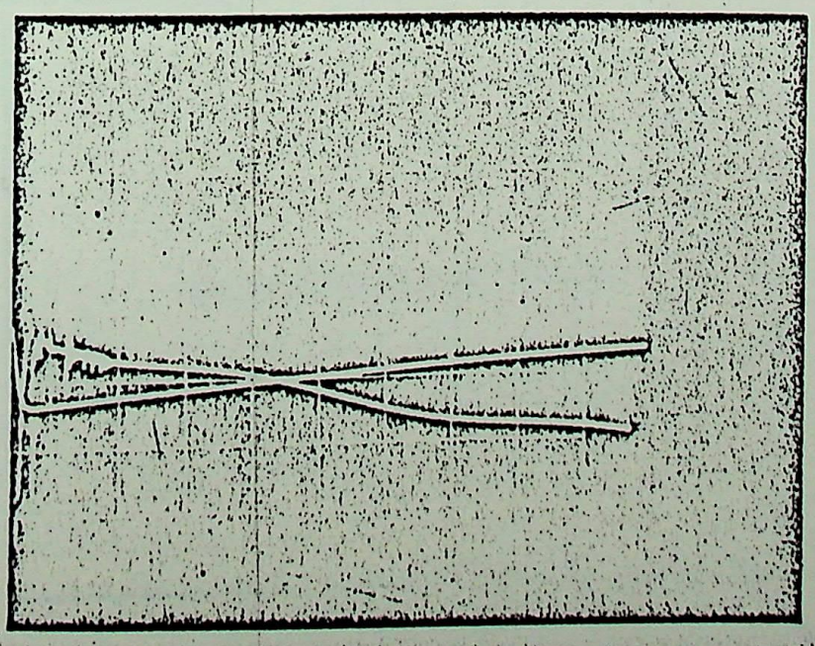
RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 019/73 - IND - Bucha $H_1$



Onda plena, oscilograma
de tensão e corrente, 95 k
50 µs.



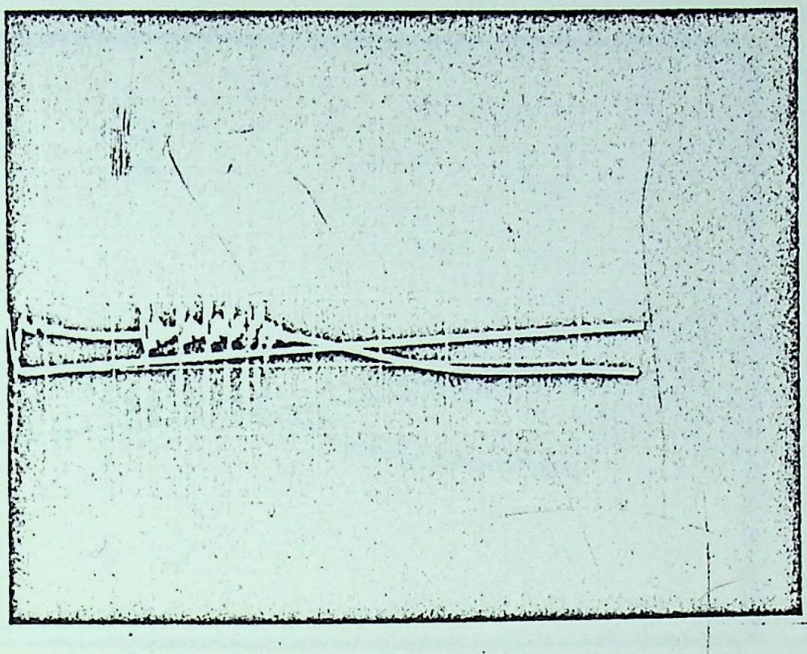
Onda plena, oscilograma
de tensão e corrente 110 k
50 µs. Descarga externa pe
la bucha, na onda de tensã



Onda plena, oscilograma
de tensão e corrente, 95 k
50 µs.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

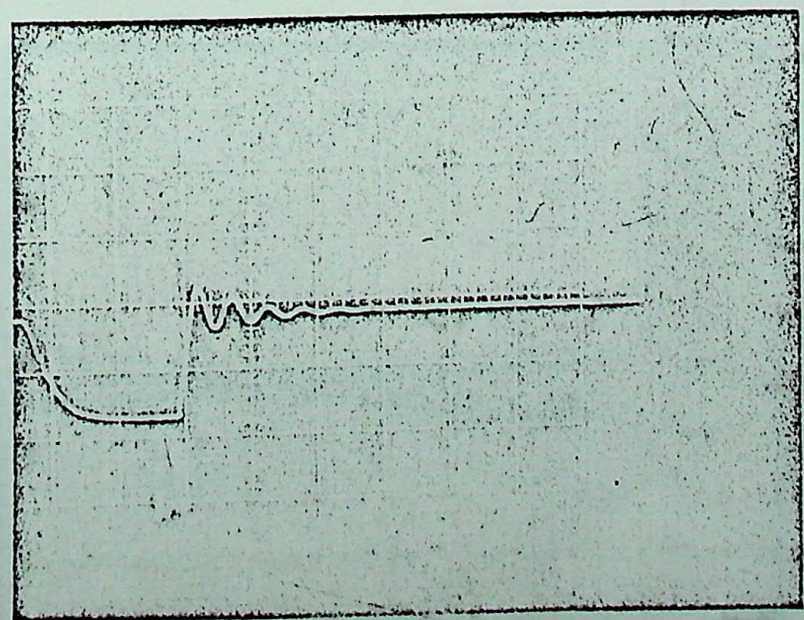
# RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 019/73 - IND- Bucha $H_2$



Onda negativa
Oscilograma de tensão e corrente 50 μs, 57,5 kV



Onda cortada, 110 kV
10 μs, tensão e corrente



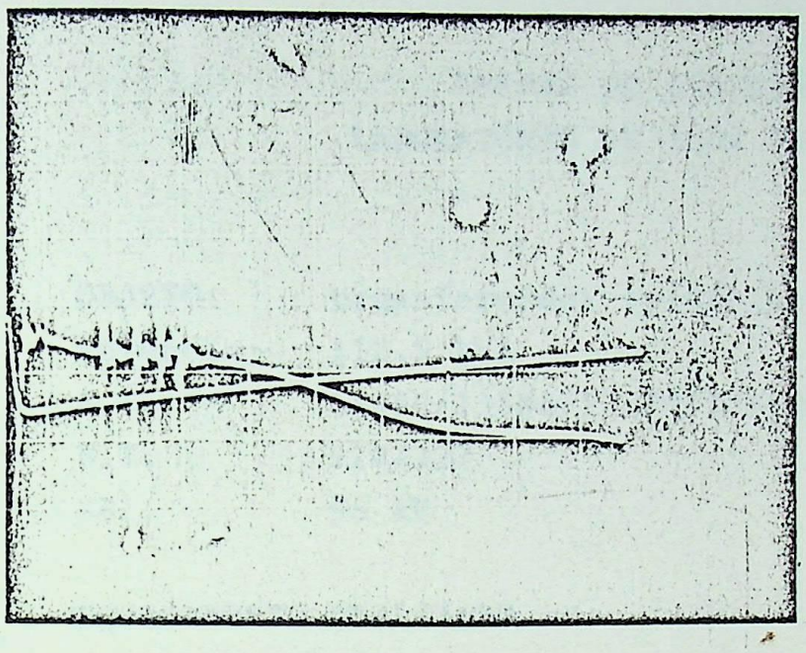
Onda cortada, 110 kV,
10 μs, oscolograma de tensã



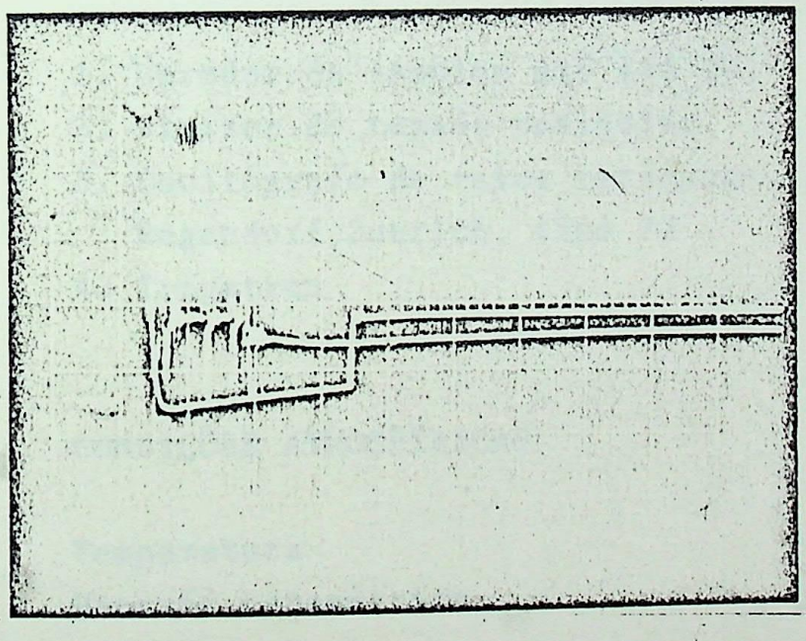
ITAJUBÁ - MG — 37.500

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

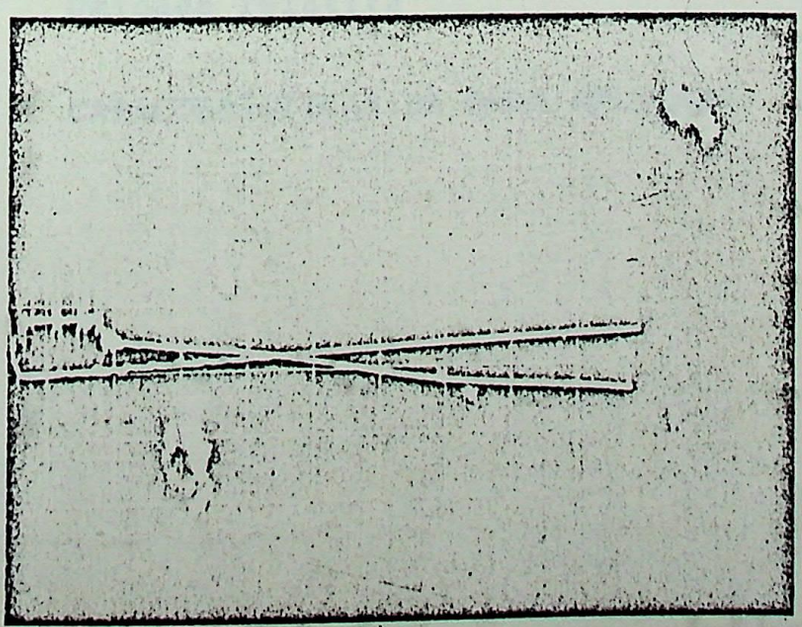
# RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 019/73 - IND - Bucha $H_2$



Onda plena, oscilogramas de tensão e corrente, 95 kV 50 µs



Onda plena, oscilogramas d tensão e corrente, 9.5 kV , 50 µs



Onda reduzida para verifi cação, oscilogramas de tensã e corrente 57,5 kV, 50 µs.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 12
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 112,5 kVA |
| A.T. | 14400/13800/13200/12600/12000 |
| B.T. | 220/127 |
| NBI: | 95 kV |

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Biblioteca

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72
4. Trigatron

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 693,2 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

CARACTERÍSTICAS DA ONDA APLICADA: 1,2/50

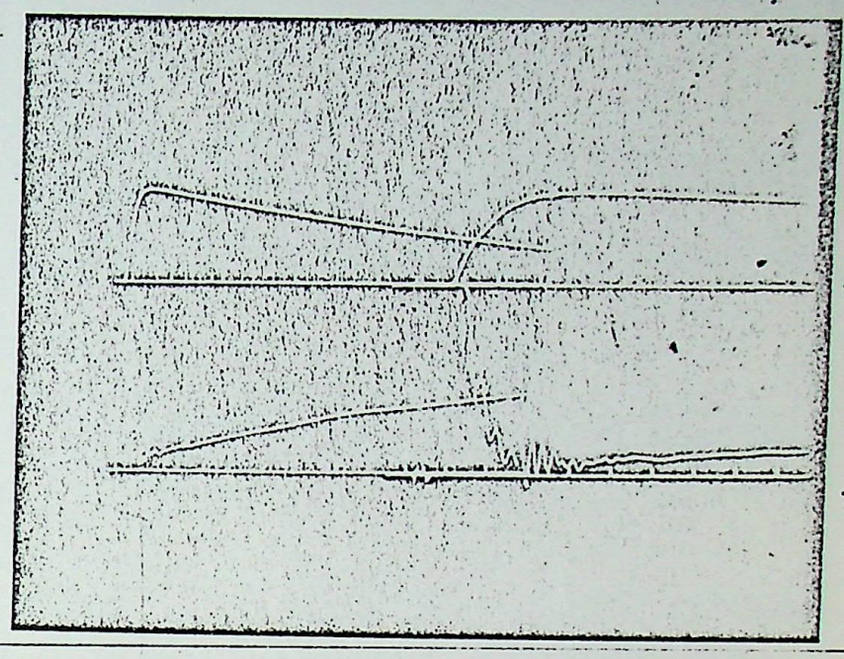
VALORES DE CRISTA

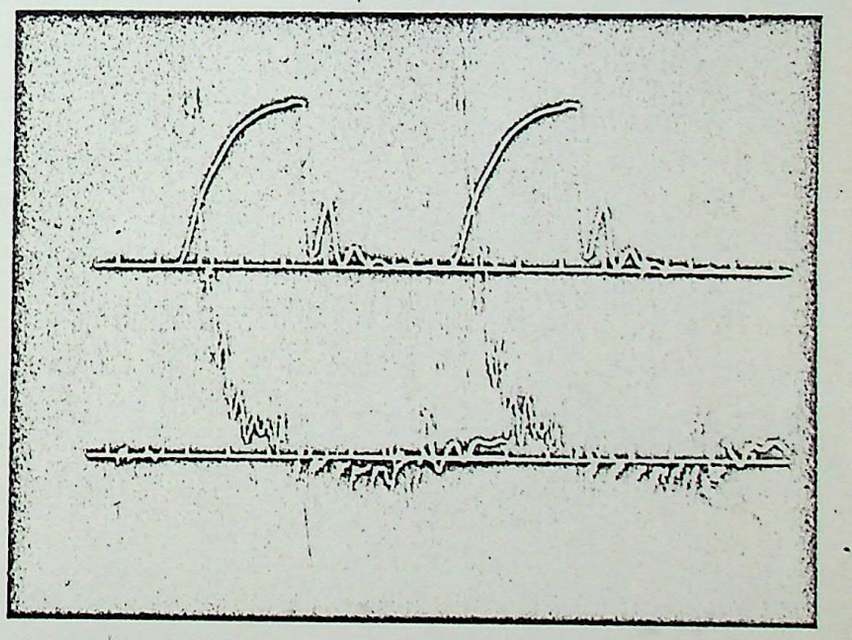
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

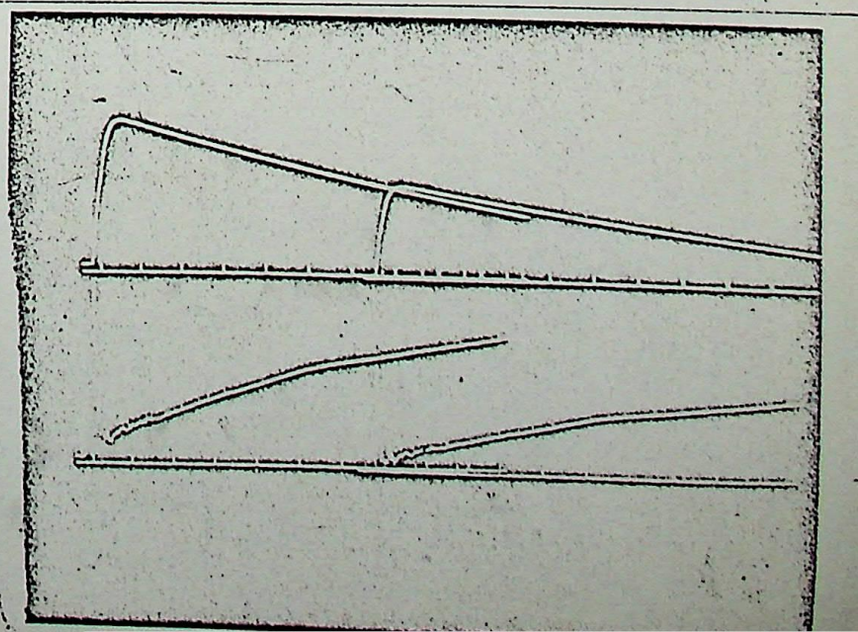
A análise mostra pela comparação dos oscilogramas das fases A, B e C, ondas de tensão, 95 kV, que há defeito, curto circuito na parte central da fase B.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0323/72 - IND - BUCHA $H_1$

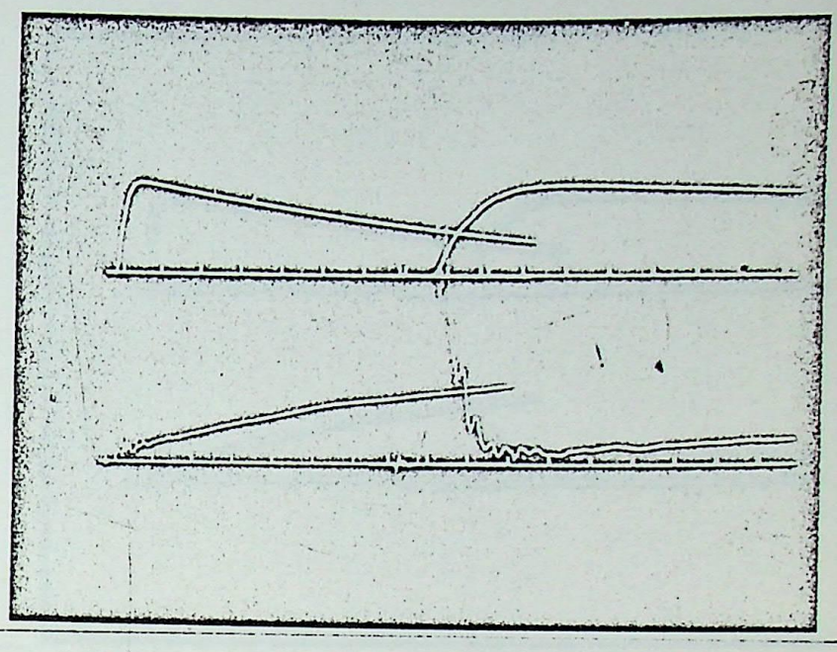


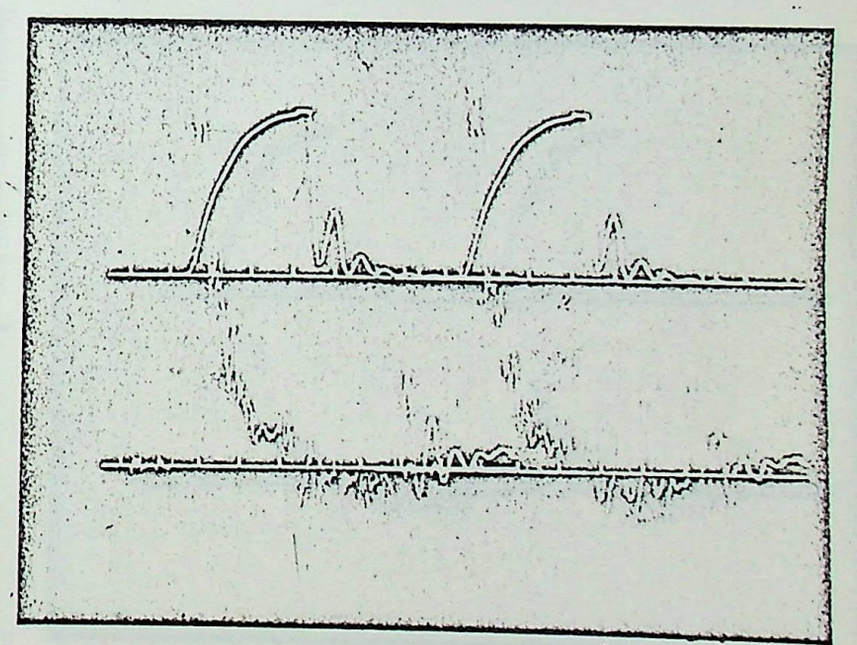


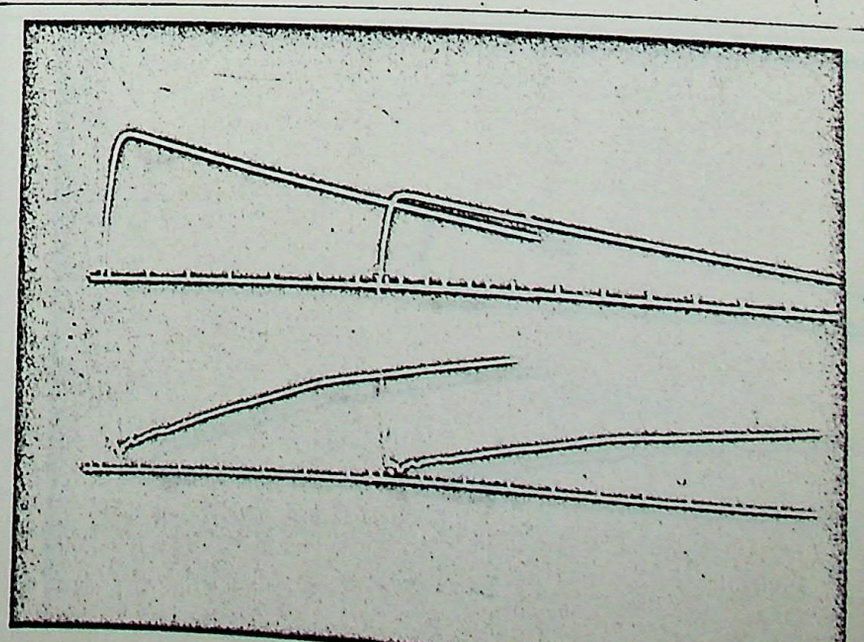


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0323/72 - IND - BUCHA $H_2$

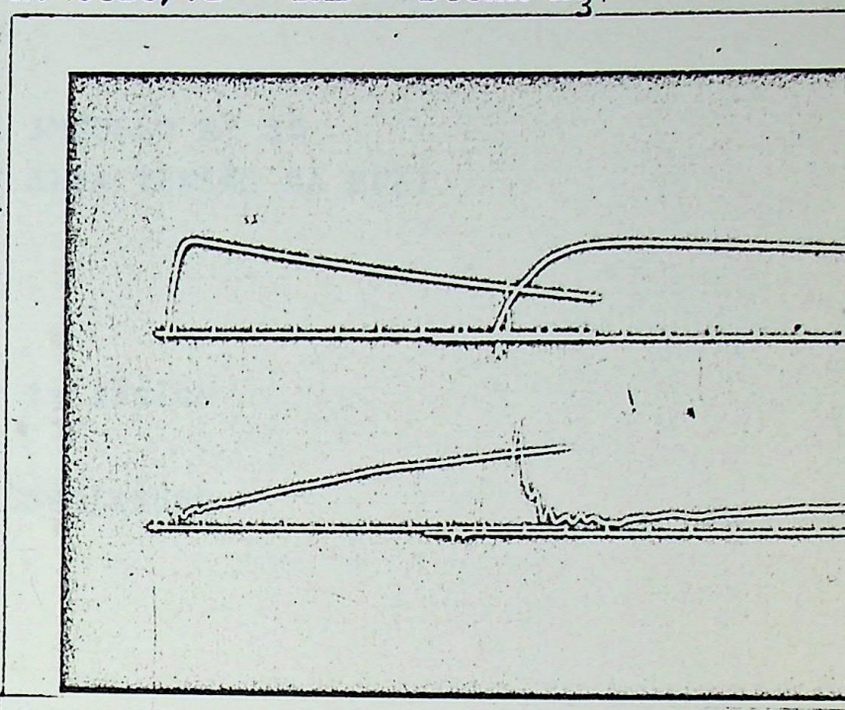


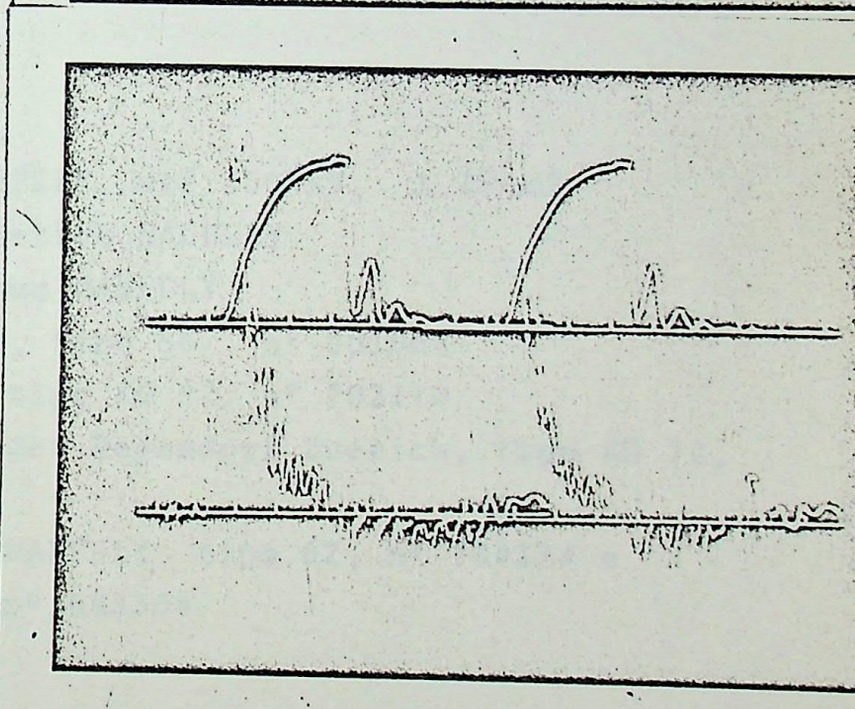


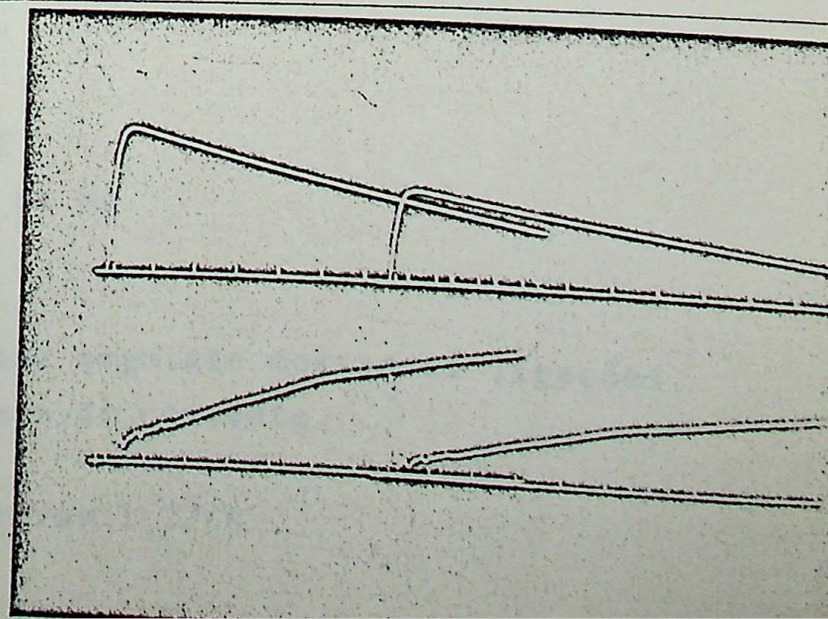


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0323/72 - IND - BUCHA $H_3$







ENSAIO DE IMPULSO Nº 13
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 30 kVA |
| A.T. | 14100/13800/13500/12600 |
| B.T. | 220/127 |
| NBI | 110 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22°C |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |

O esquema da página seguinte mostra as ligações para leitura dos oscilogramas de corrente.

Foram aplicadas ondas negativas 1,2/50

VALORES DE CRISTA

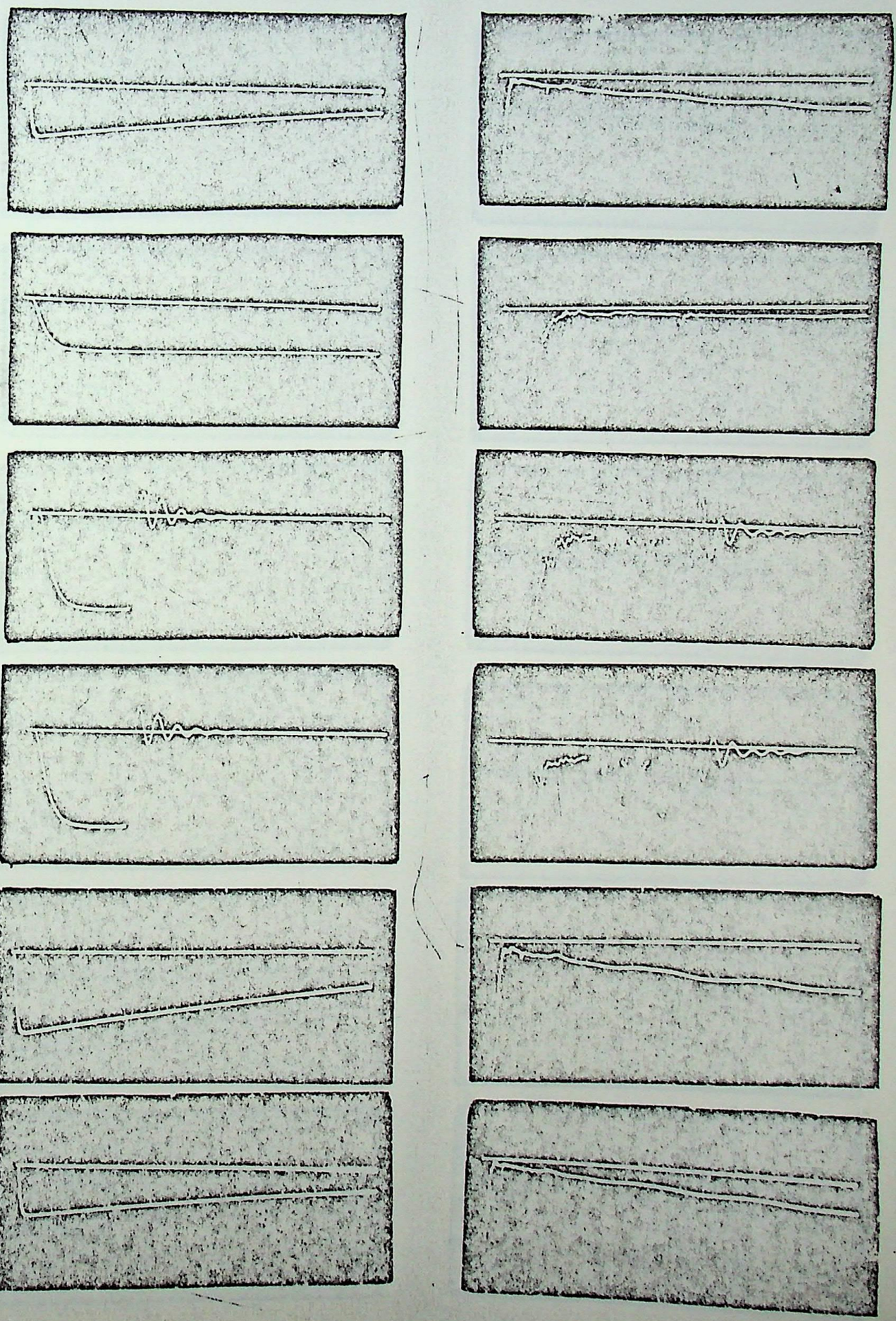
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumeradas e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

Os oscilogramas de corrente, fase C, apresentam oscilações diferentes das outras duas fases. Apesar da superposição das ondas de 66 kV, recomendou-se a realização de novo ensaio após a substituição das buchas de alta tensão, cujo NBI era de 95.

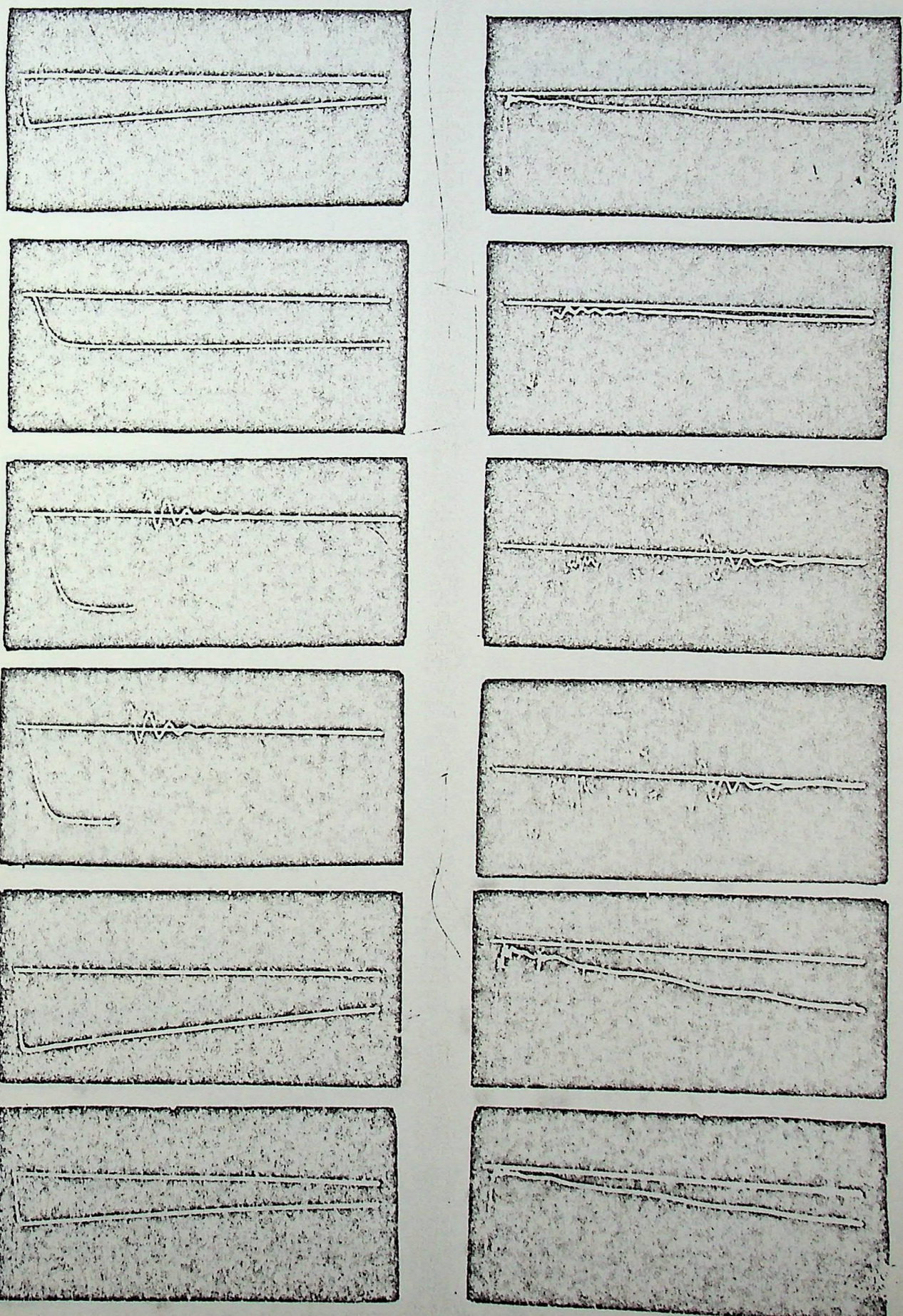
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

EDITAL DE CONCURSO Nº 0416/72 - [illegible] - PROVA T



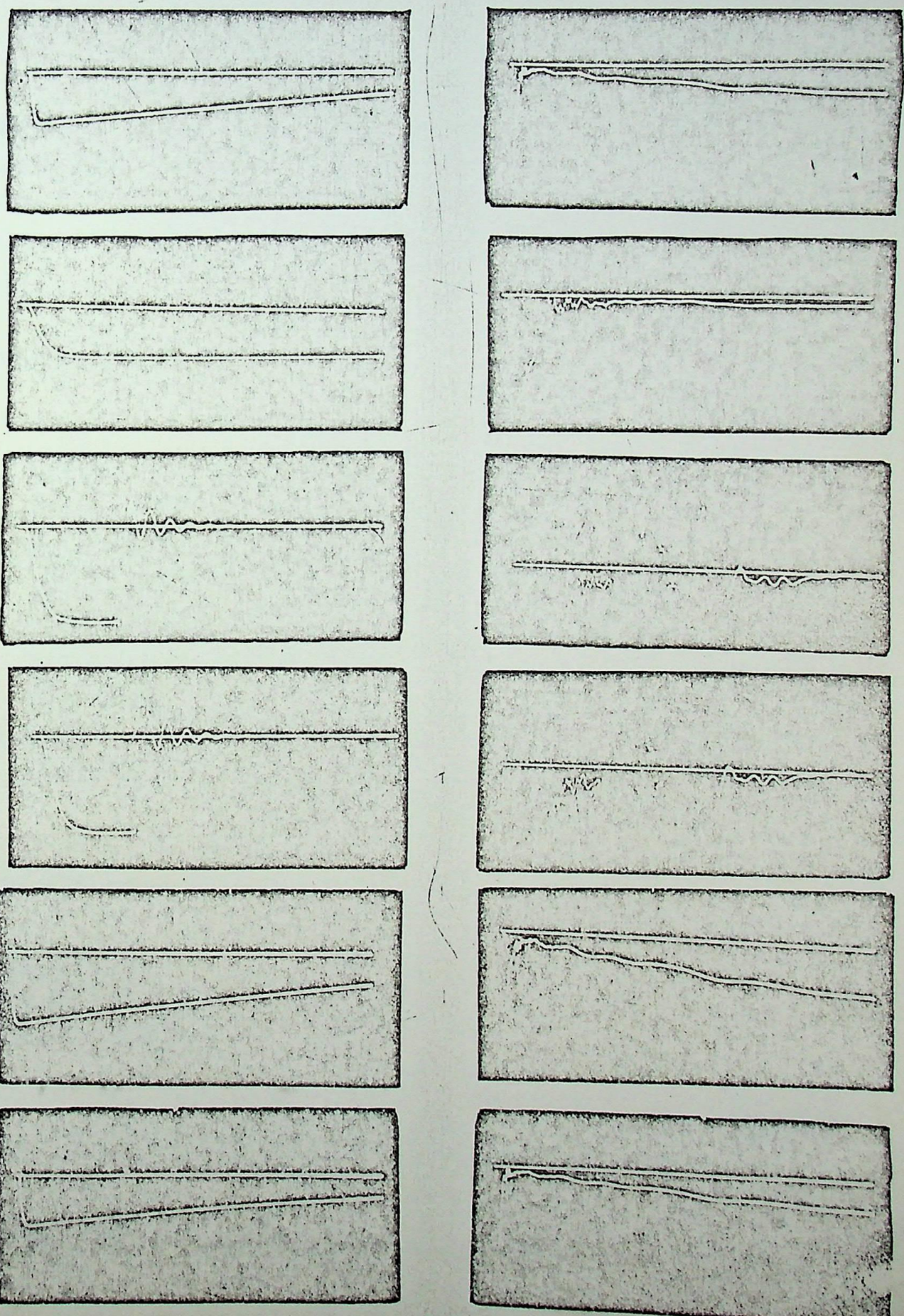
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós. Grad. 2465

ENSAIO DE IMPULSO Nº 0416/72 - FIG - FOLHA II



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Bennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 3103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0416/72 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 14
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 15 kVA |
| A.T. | 14100/13000/13500/13200/12600 |
| B.T. | 220/127 |
| NBI: | 110 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |

O esquema da página seguinte mostra as ligações para leitura dos oscilogramas de corrente.

Foram aplicadas ondas negativas 1,2/50

VALORES DE CRISTA

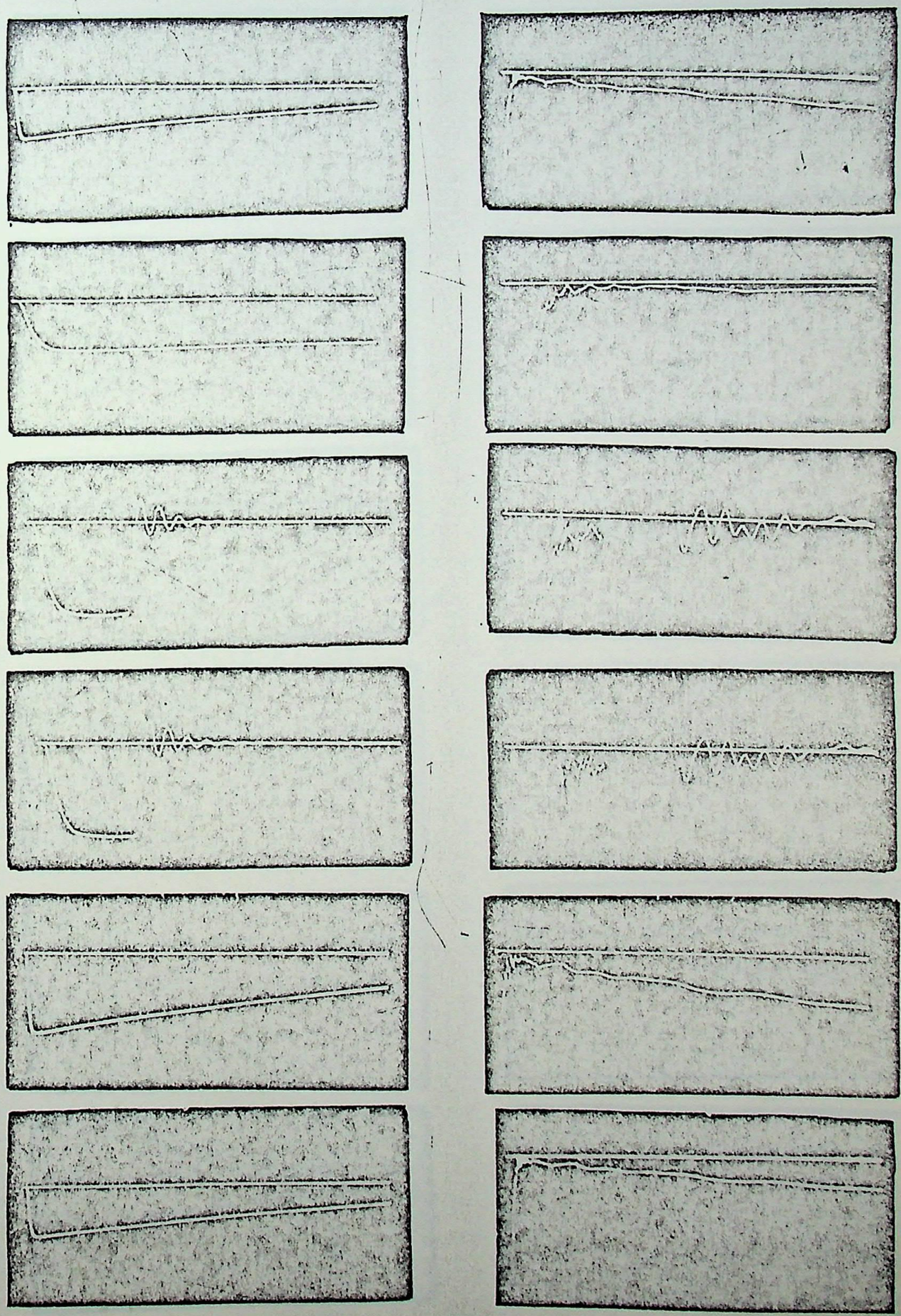
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumeradas e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

Neste caso verificou-se uma pequena oscilação nas ondas cortadas de 130 kV, tensão, também neste caso devido a dimensionamento incorreto das buchas de alta tensão. Os oscilogramas de corrente, 130 kV, mostram claramente irregularidades.

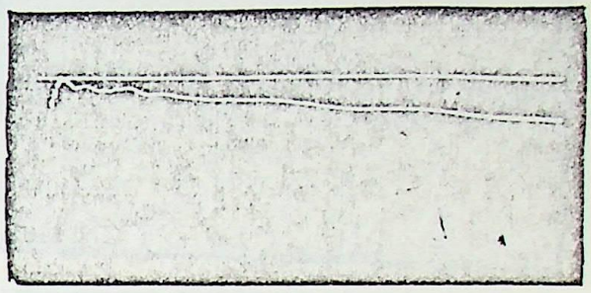
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 3103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

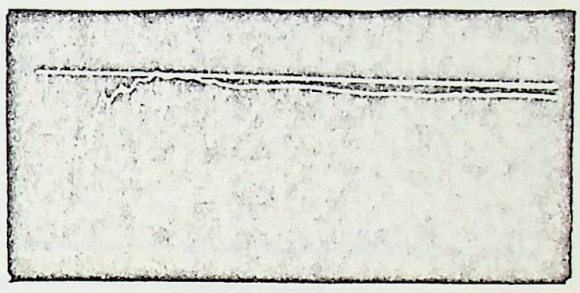
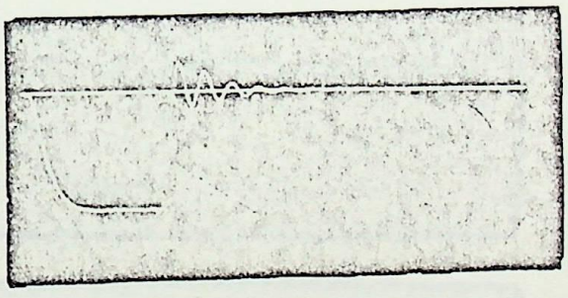
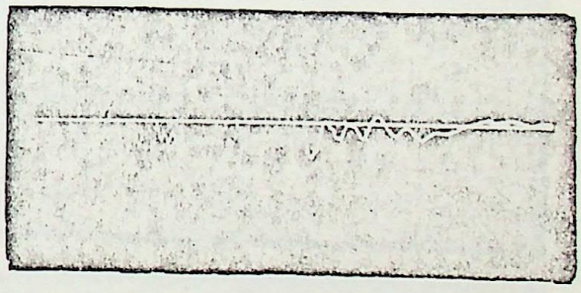
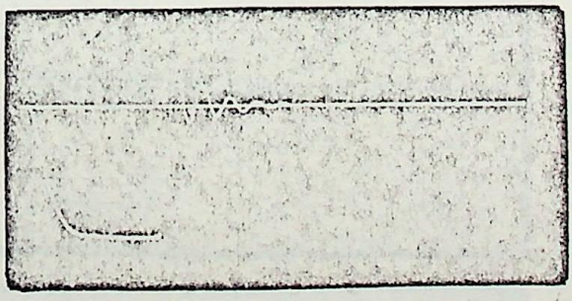
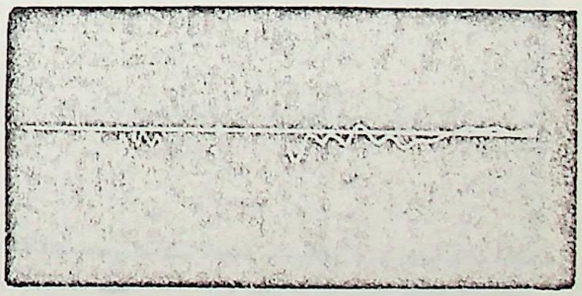
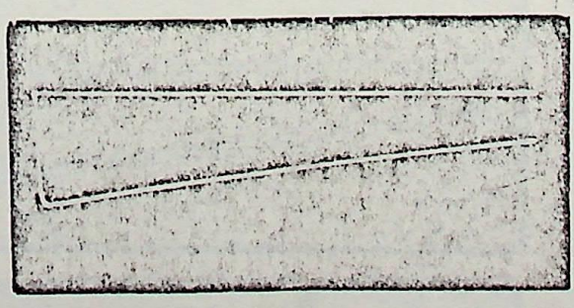
# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0417/72 - IND - FUGA I

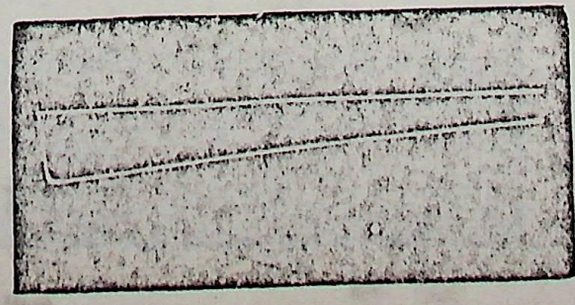
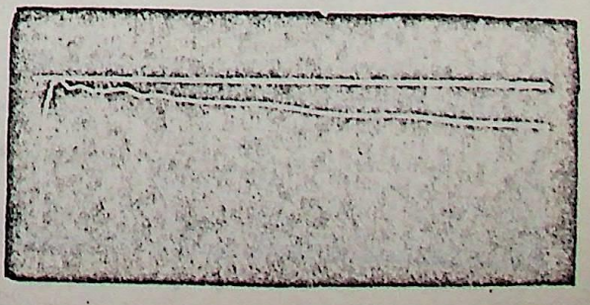


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 3103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Blb. 2698 - Pós Grad. 2465

ENSAIO DE IMPULSO Nº 0417/72 - IND - FOLHA II

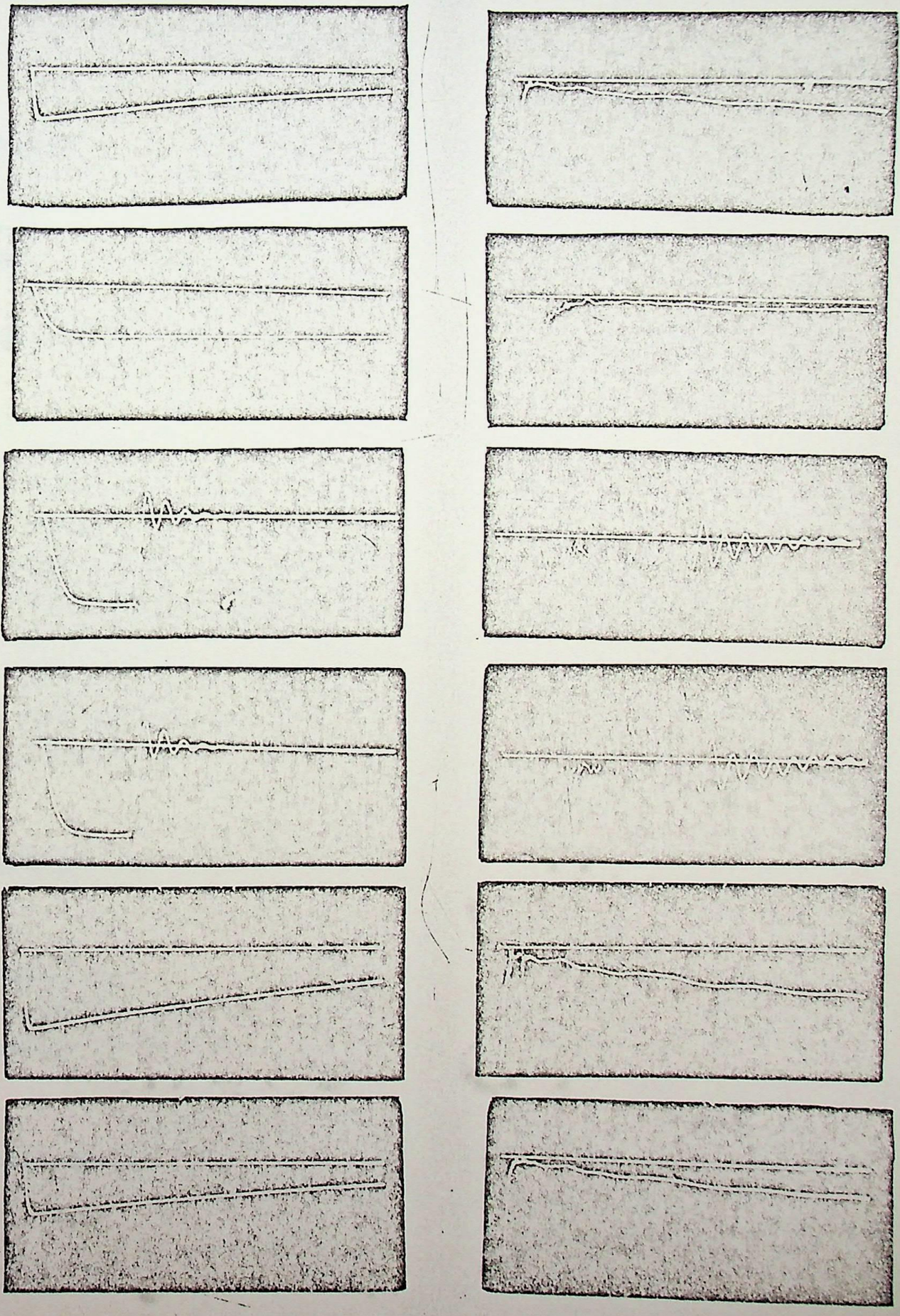



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0417/72 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 15
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
A.T. 14400/13800/13200/12600/12000
B.T. 220/127
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Temperatura 20ºC
Pressão barométrica 692 mm de Hg
Umidade relativa 80%

O esquema da página seguinte mostra a ligação utilizada para as leituras dos oscilogramas de corrente.

VALORES DE CRISTA

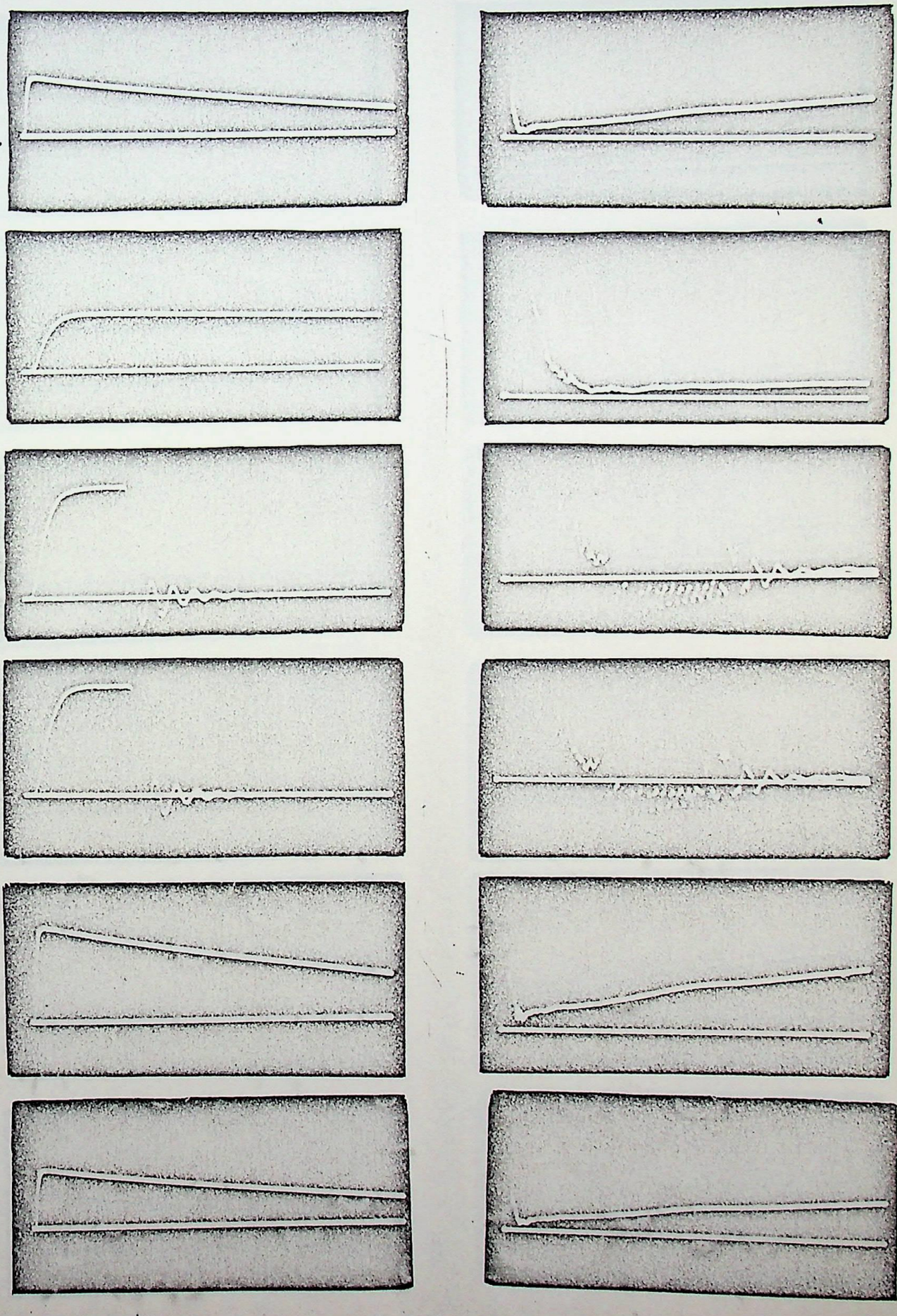
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

Os oscilogramas na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e à direita os respectivos oscilogramas de corrente.

A irregularidade nas ondas de corrente, principalmente fases B e C evidenciam defeitos nas buchas de alta tensão . O ensaio deverá ser repetido após sua substituição.

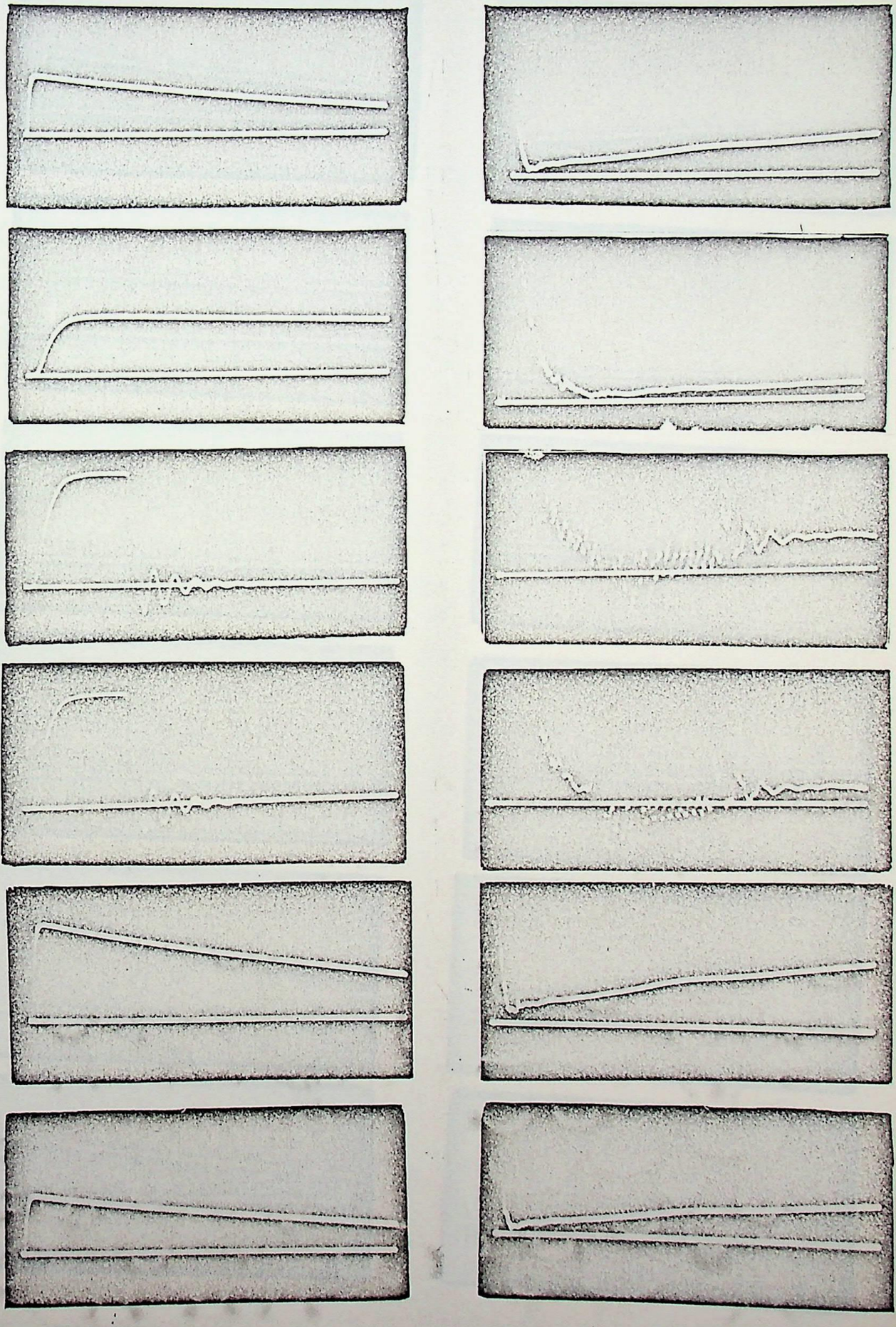
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0411/72 - IND - BUCHA I



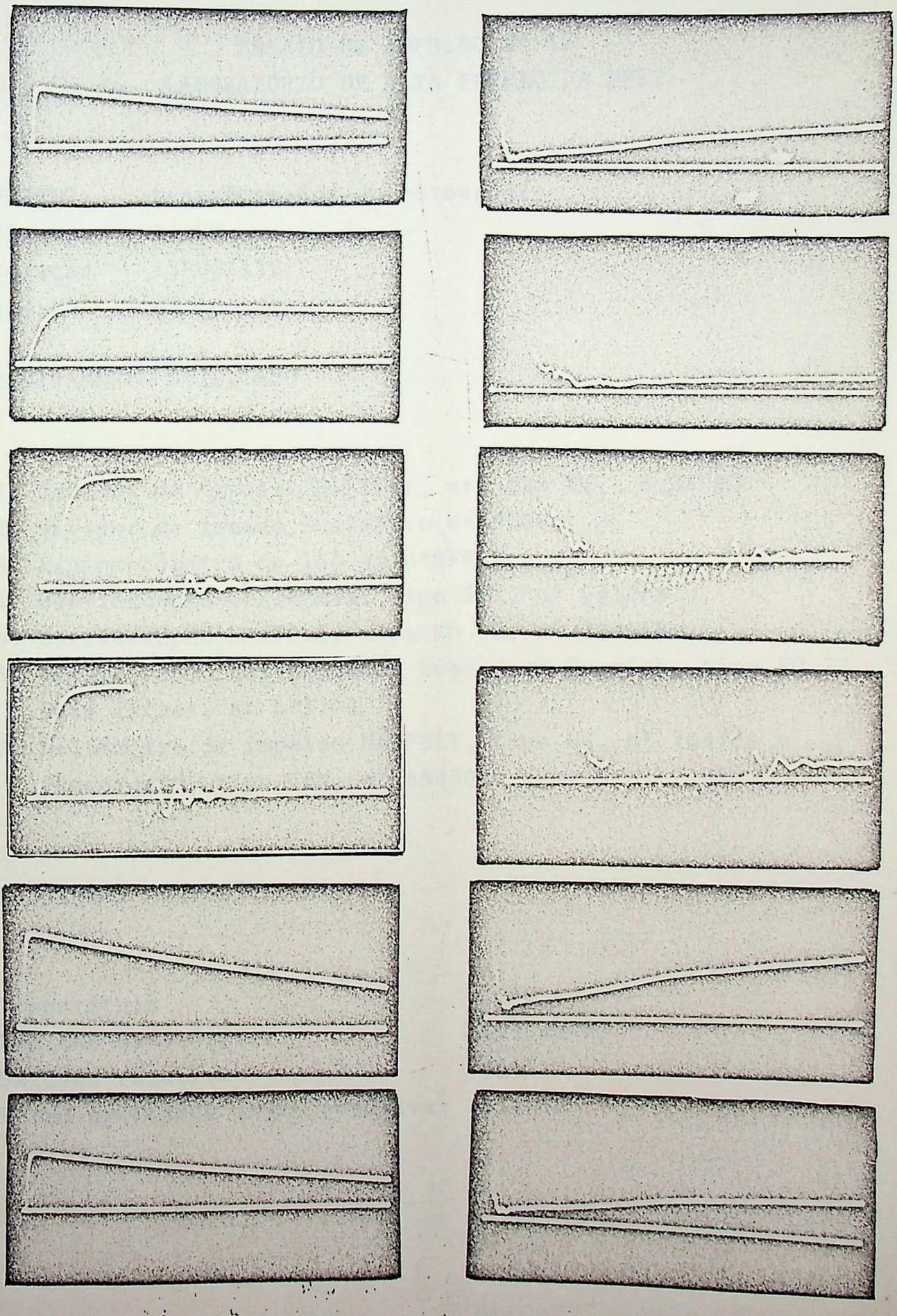
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0411/72 . IND _ BUCHA II



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0411/72 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 16
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador de potencial
Classe: 15 kV
Relação: 13800/115
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas positivas | 1,2/50 |

VALORES DE CRISTA

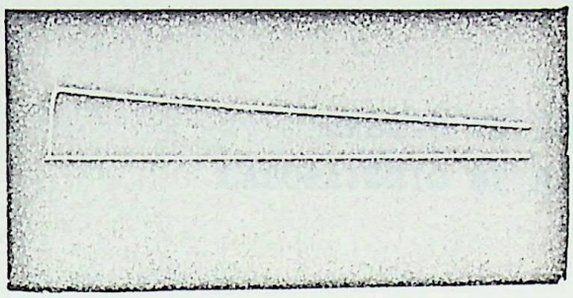
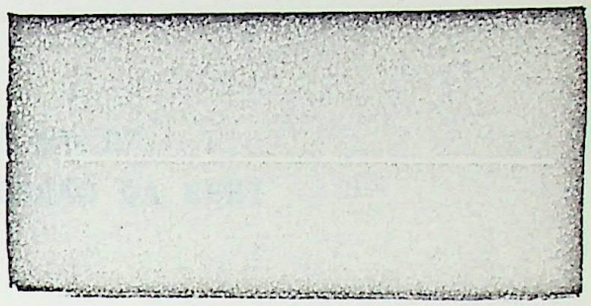
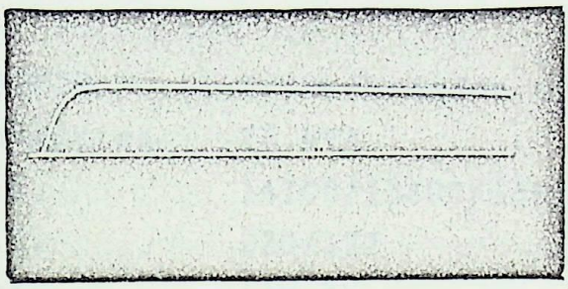
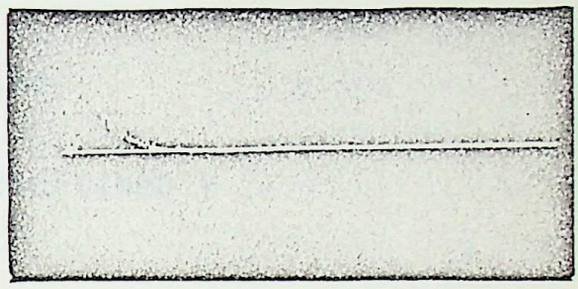
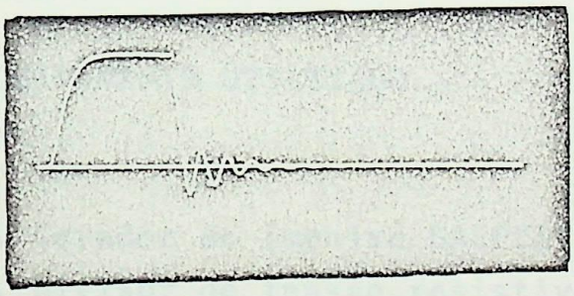
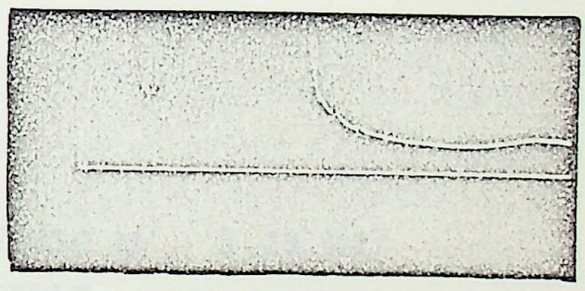
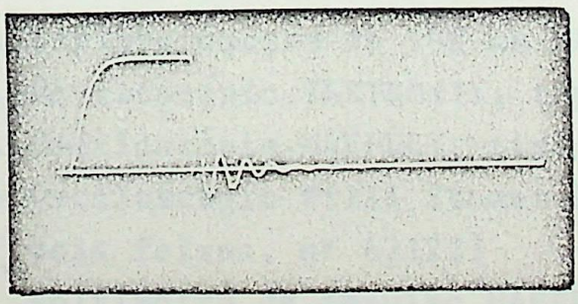
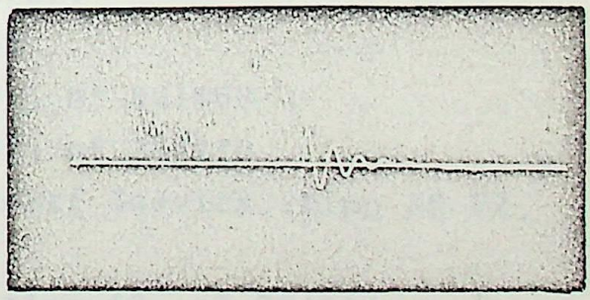
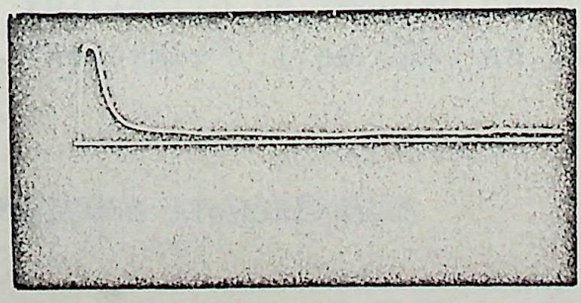
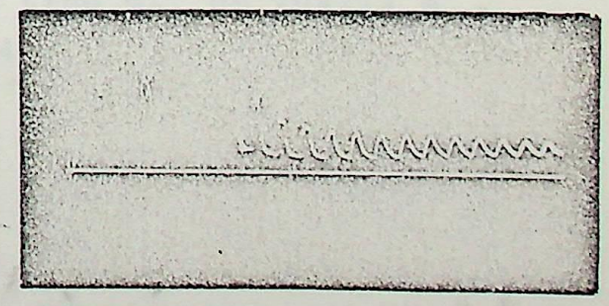
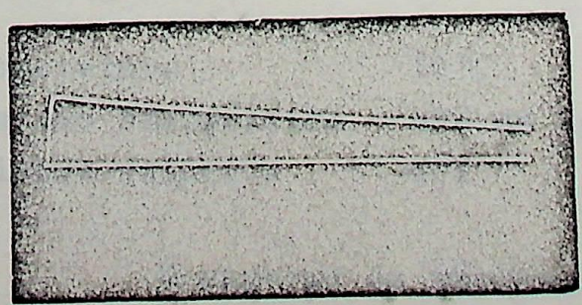
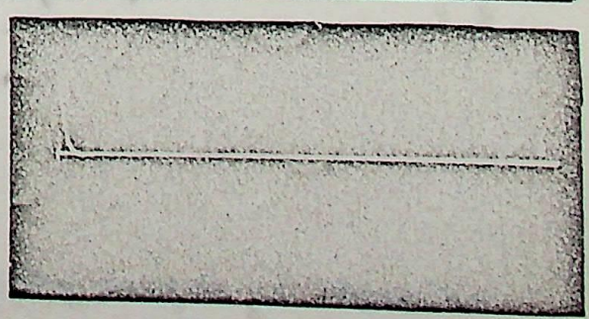
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (50 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

O transformador não resistiu ao ensaio, o que se observa nos oscilogramas na página seguinte.

OBSERVAÇÃO: Os oscilogramas de corrente (cortadas) estão invertidos nesta foto.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0418/72 - IND

ENSAIO DE IMPULSO Nº 17
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 75 kVA
A.T. 14100/13800/13500/13200/12600 V
B.T. 220/127
NBI: 110 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Temperatura 20ºC
Pressão barométrica 693 mm Hg
Umidade relativa 80%

O esquema da página seguinte mostra as ligações para leitura dos oscilogramas de corrente

Foram aplicadas ondas negativas 1,2/50

VALORES DE CRISTA

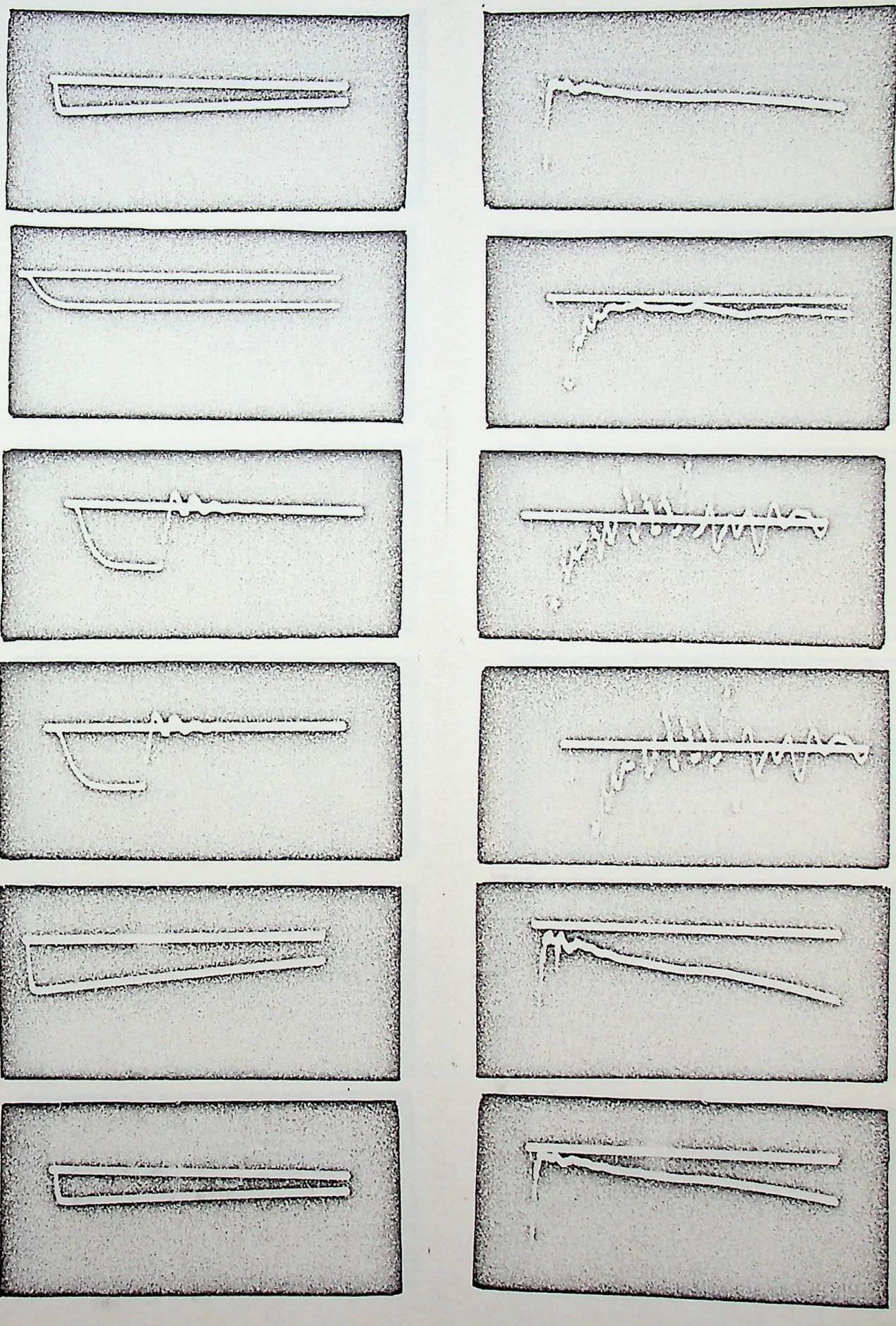
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

Os oscilogramas na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumeradas e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

Embora o tempo de corte tenha sido o mesmo, para as três fases, nas duas aplicações, dos 130 kV, as ondas de corrente apresentam características diversas. Observa-se aqui também nas ondas de corrente irregularidades e modificações consideráveis, evidenciando defeito na entrada do transformador.

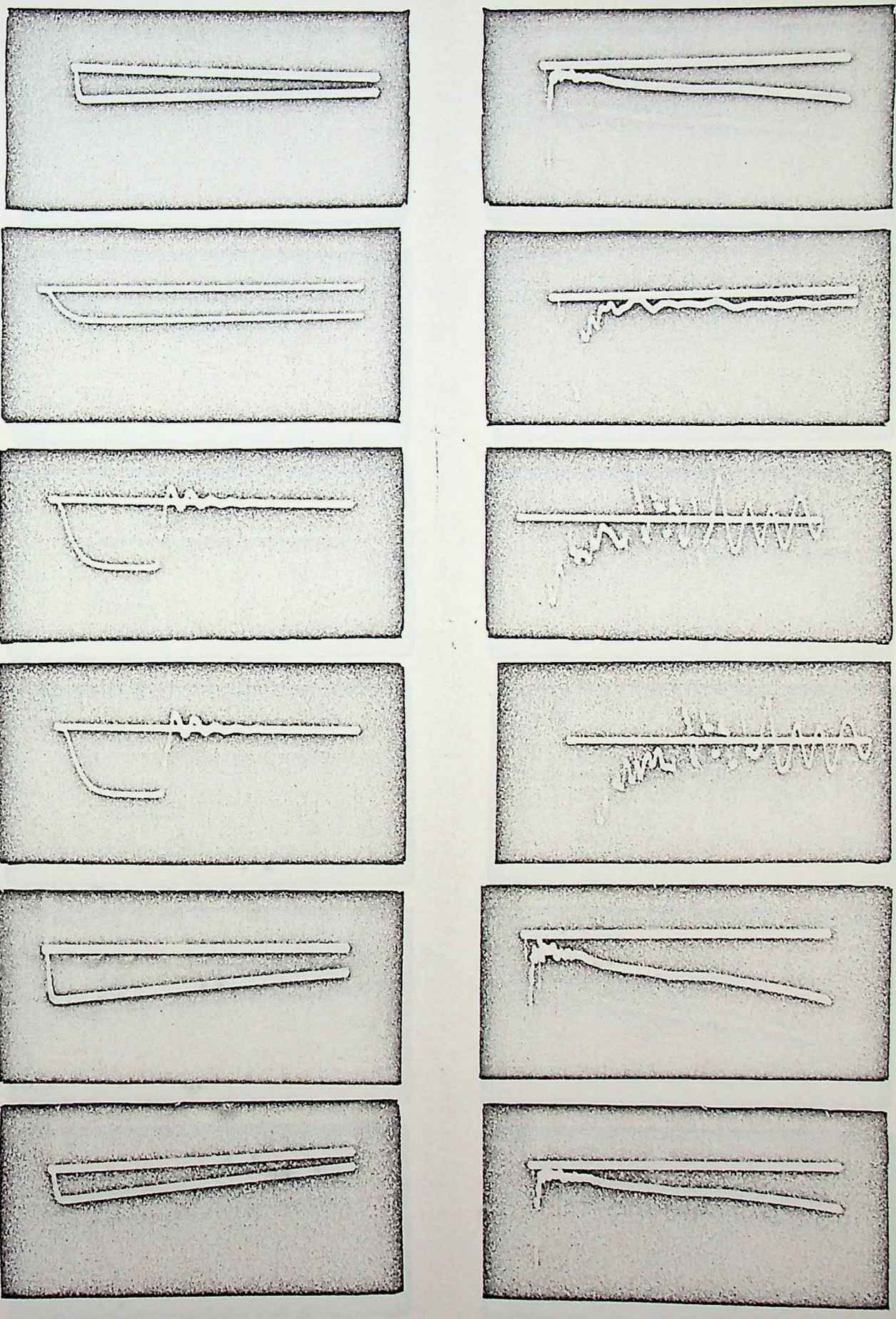
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0406/72 - IND - BUCHA I



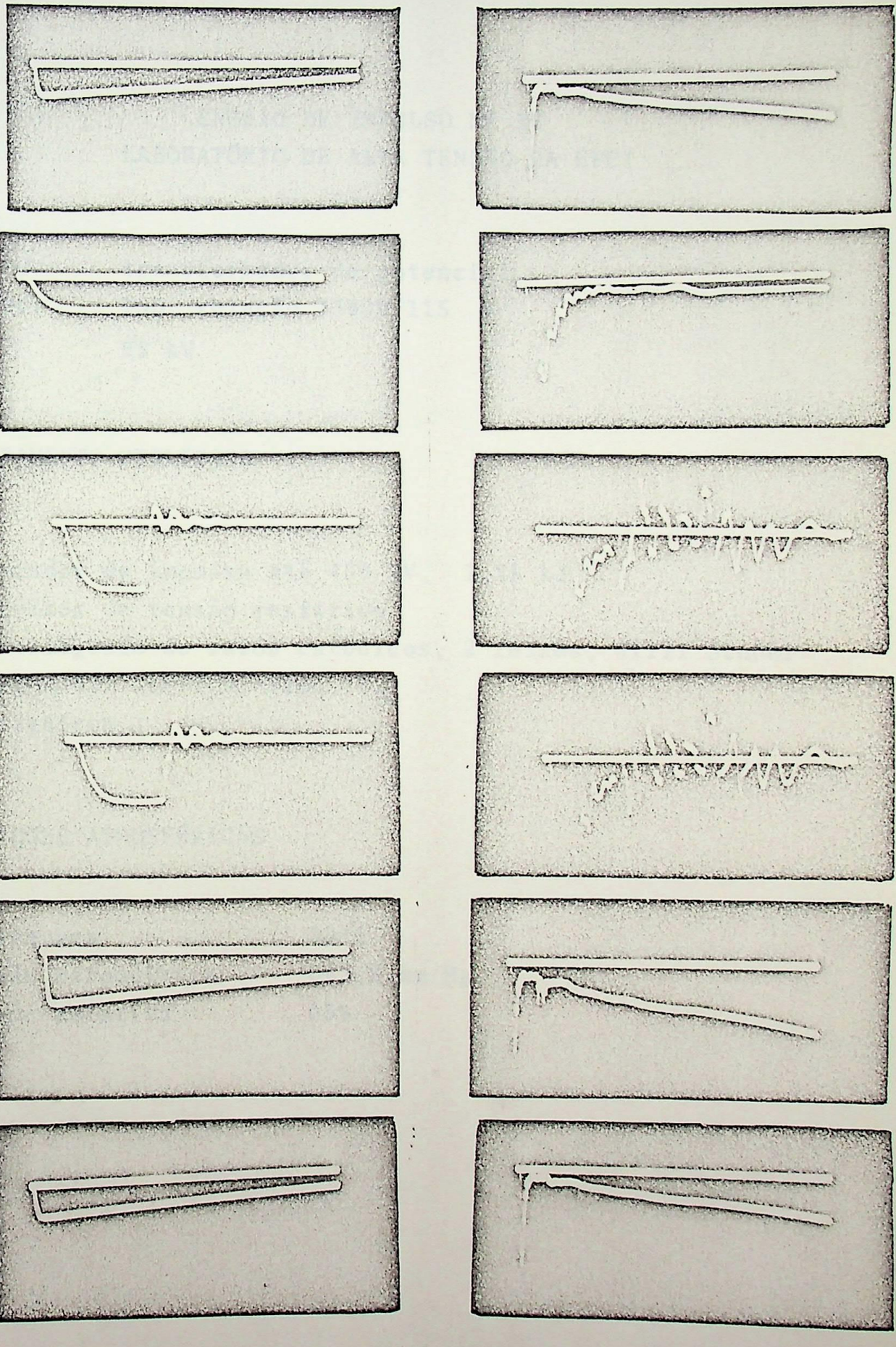
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0406/72 - IND - BUCHA II



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0406/72 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 18
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador de potencial
Classe: 15L, relação 13800/115 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.
4. Trigatron

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 693,2 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

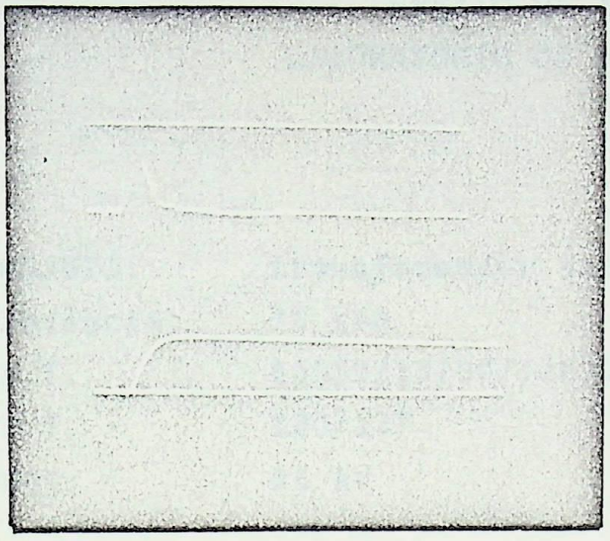
VALORES DE CRISTA

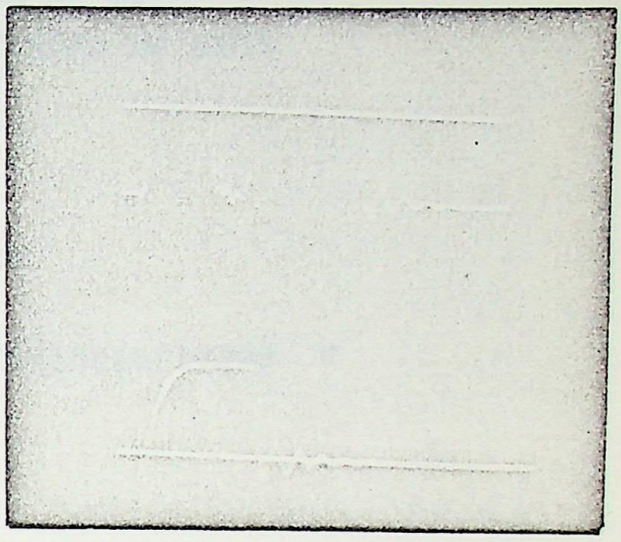
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

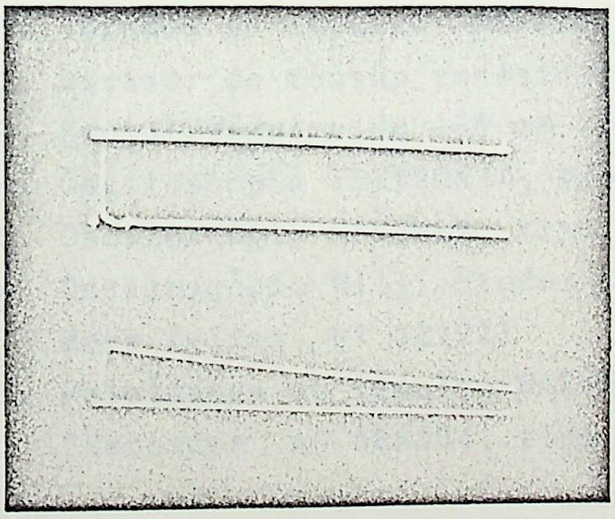
O transformador apresentou neste caso um defeito grave, havendo o colapso das ondas 110 kV e 95 kV.

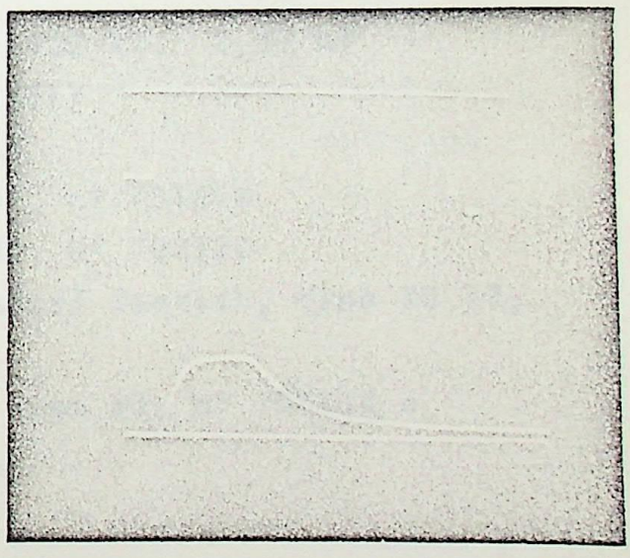
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

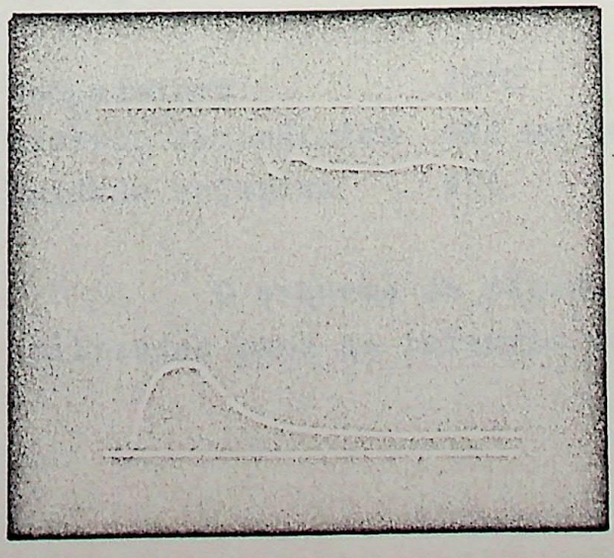
# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0321/72 - IND - BUCHA $H_1$

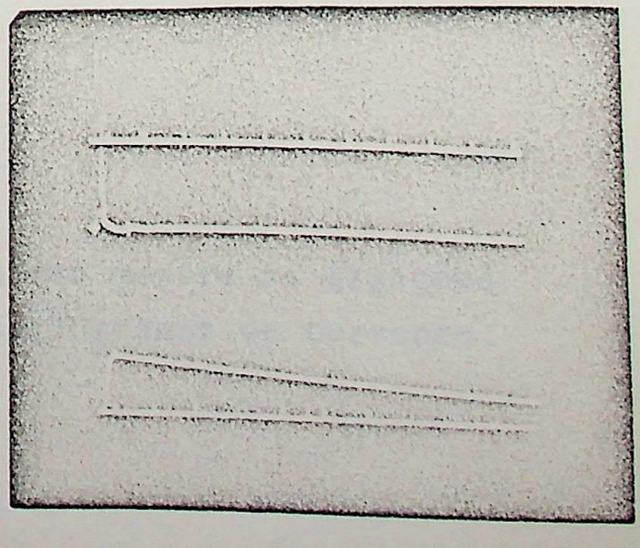












ENSAIO DE IMPULSO Nº 19
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 75 kVA |
| A.T. | 13530/13200/12870/11430/10910/10390 V |
| B.T. | 220/127 |
| NBI: | 95 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder" nº 688304, tipo CBM.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 692 mm de Hg |
| Umidade relativa | 95% |

O esquema da página seguinte mostra as ligações utilizadas para as leituras dos oscilogramas de corrente.

VALORES DE CRISTA

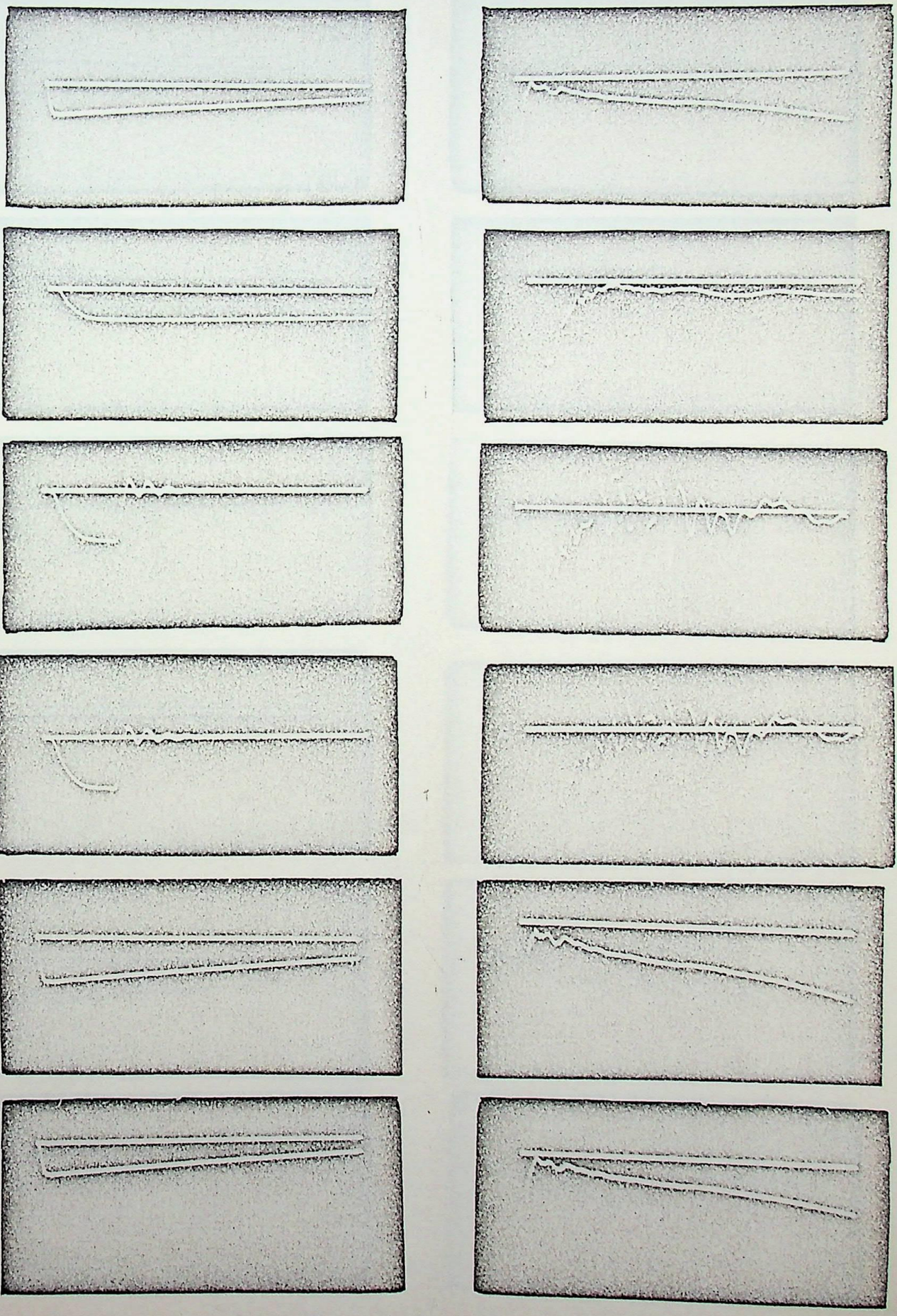
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

Os oscilogramas na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumeradas e à direita os respectivos oscilogramas de corrente.

A análise mostra, além do dimensionamento inadequado das buchas de alta tensão, curto circuito no enrolamento de alta tensão, mais precisamente, na entrada da fase A.

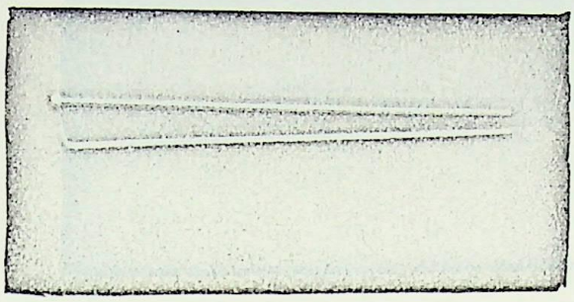
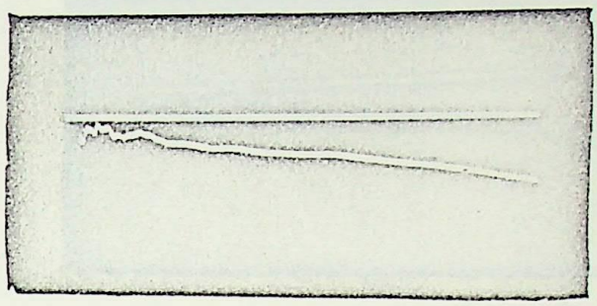
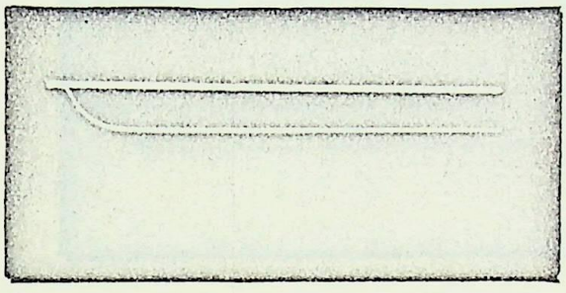
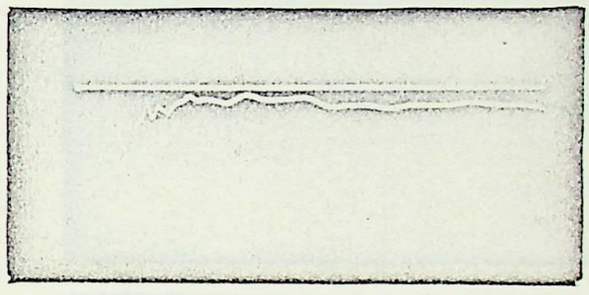
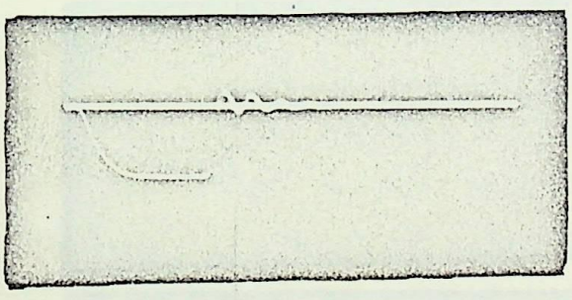
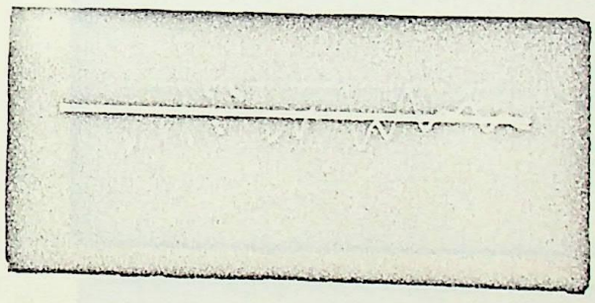
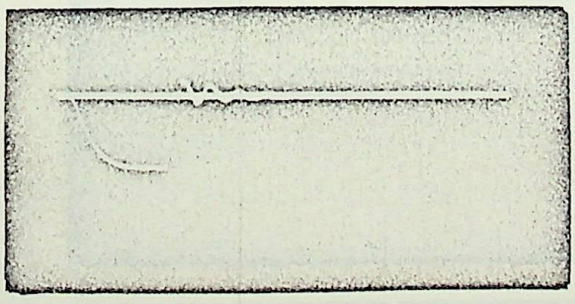
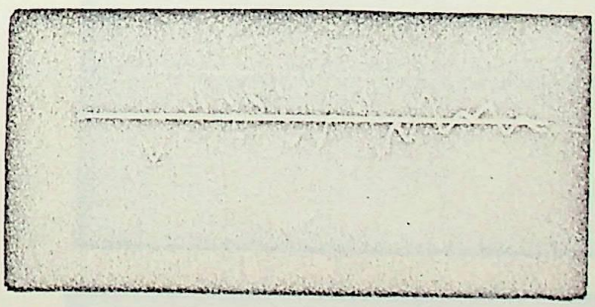
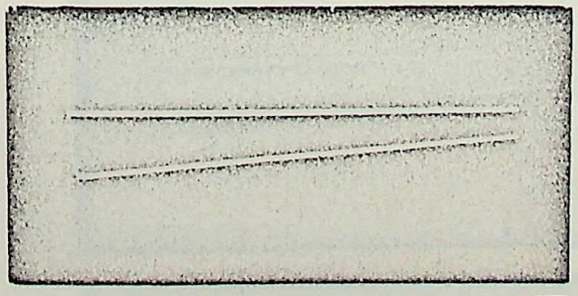
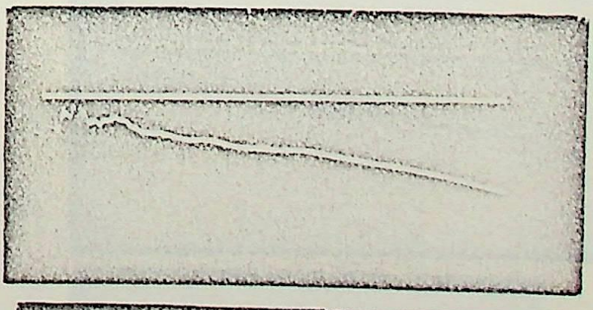
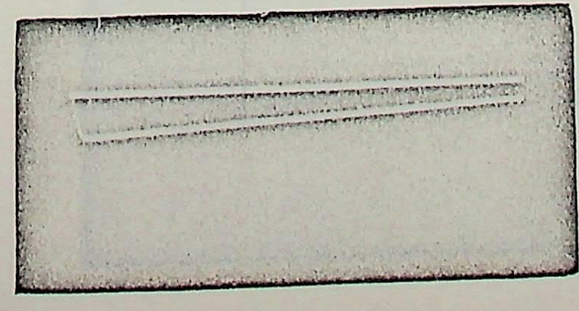
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0404/72 - IND - BUCHA I



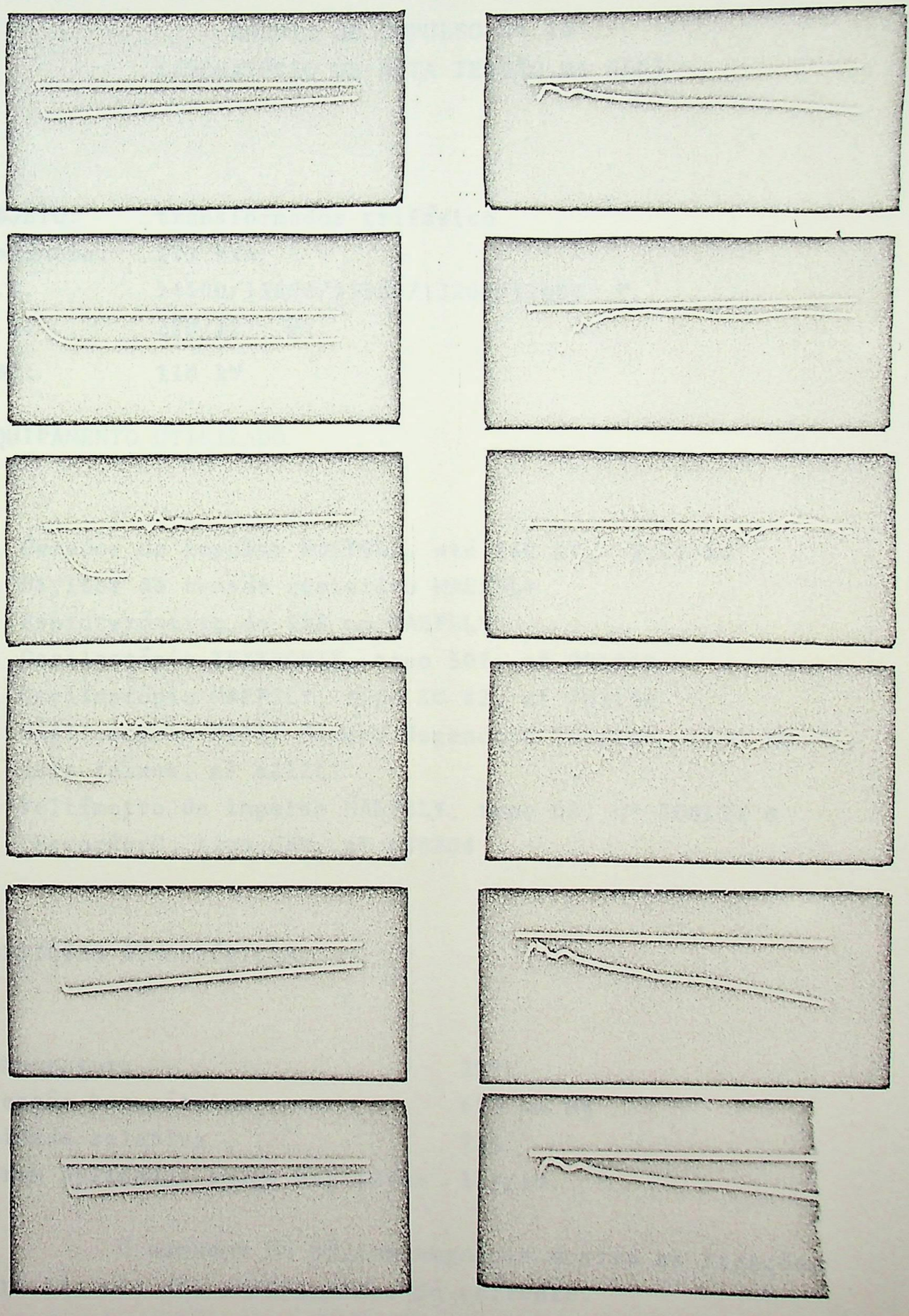
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0404/72 - IND - BUCHA II


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0404/72 + IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 20
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 225 kVA
A.T. 14100/13800/13500/13200/12600 V
B.T. 220/127 V
NBI: 110 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 |

O esquema da página seguinte mostra as ligações para leitura dos oscilogramas de corrente.

VALORES DE CRISTA

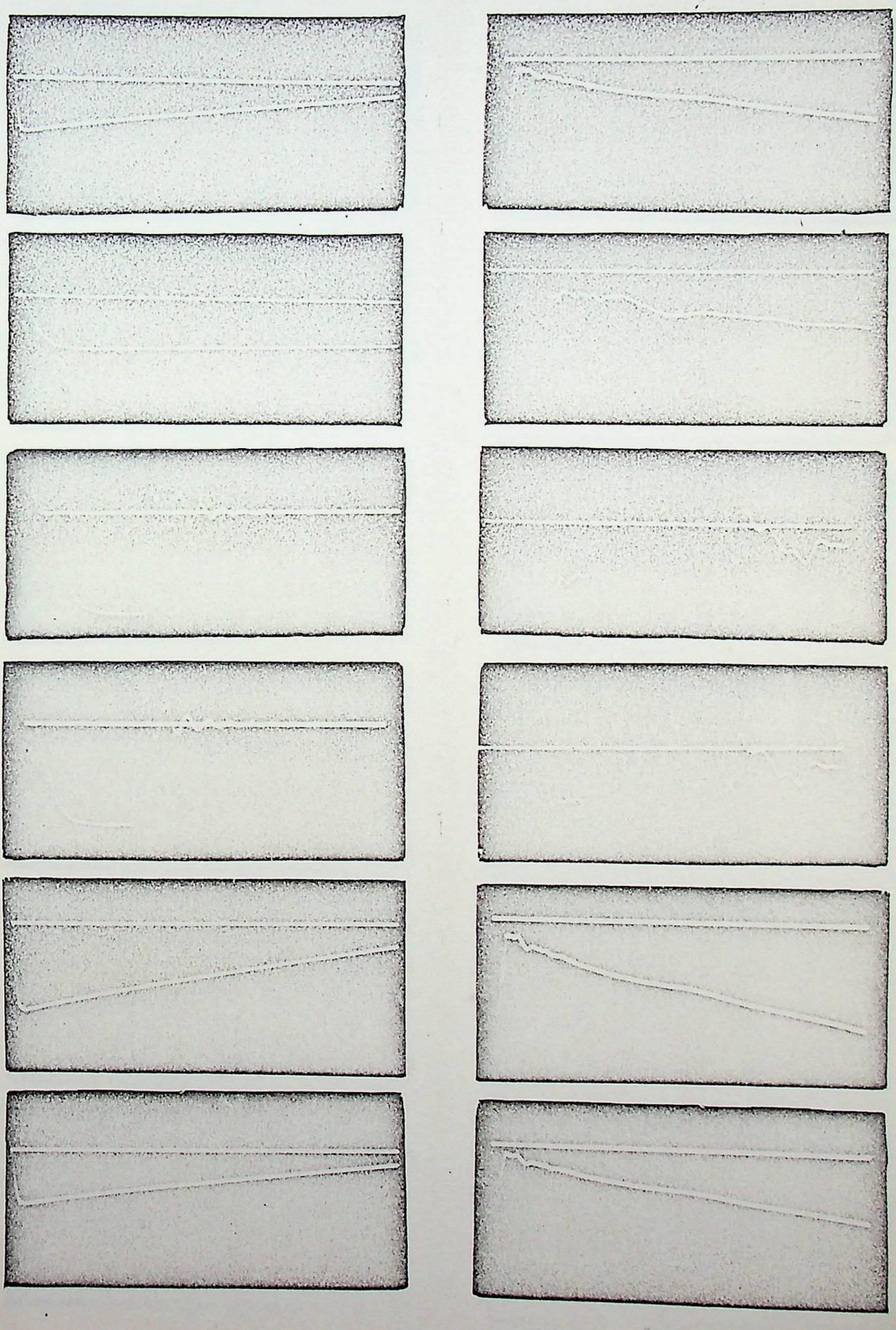
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumeradas e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

As ondas de corrente, 66 kV, 10 µs apresentaram uma amplitude inexplicável, por esse motivo, foi recomendada a realização de novo ensaio, após a substituição das buchas de alta tensão. Observa-se ainda características muito diferentes nas ondas de corrente 130 kV, nas fases A, B e C.

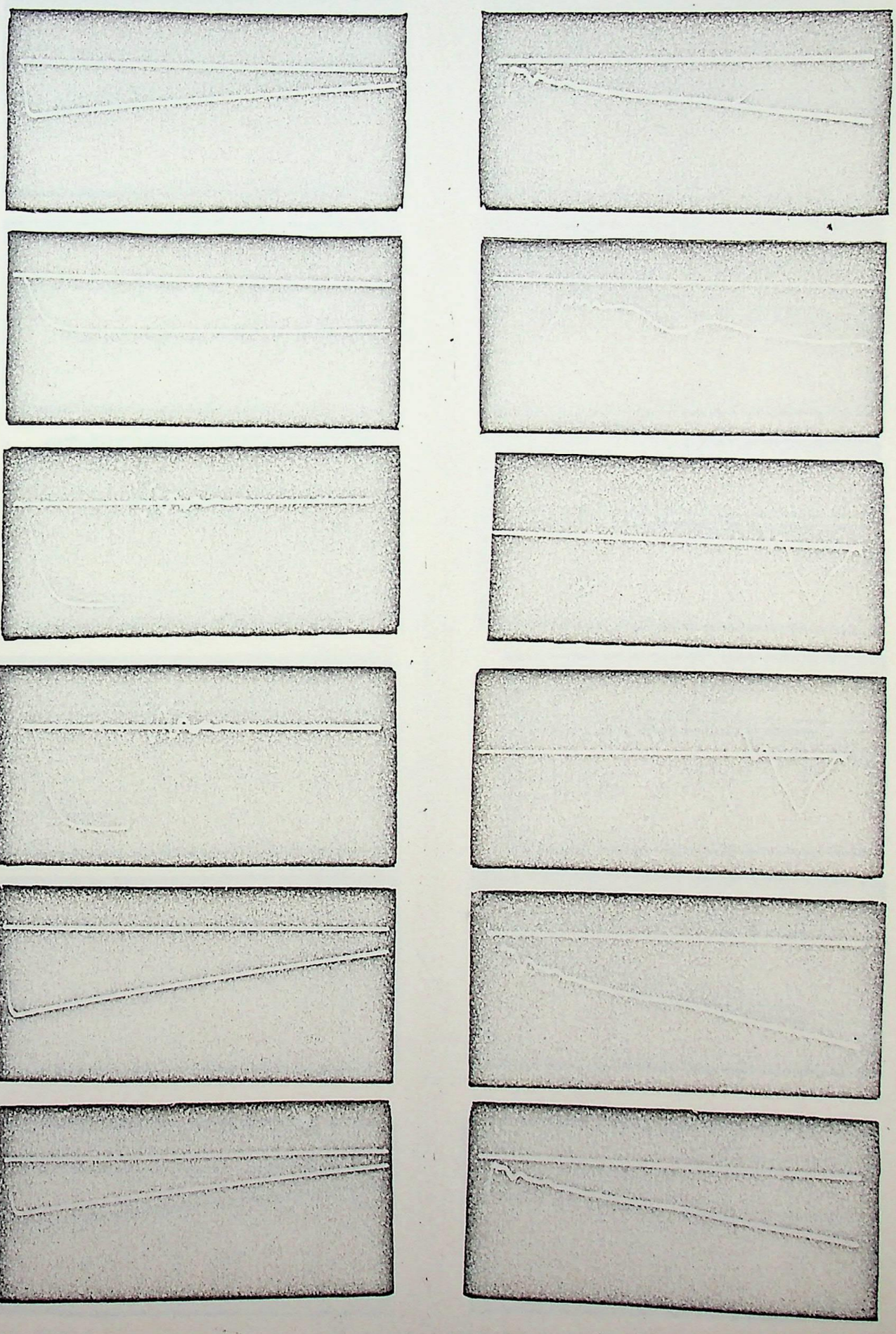
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0410/72 - IND - BUCHA I



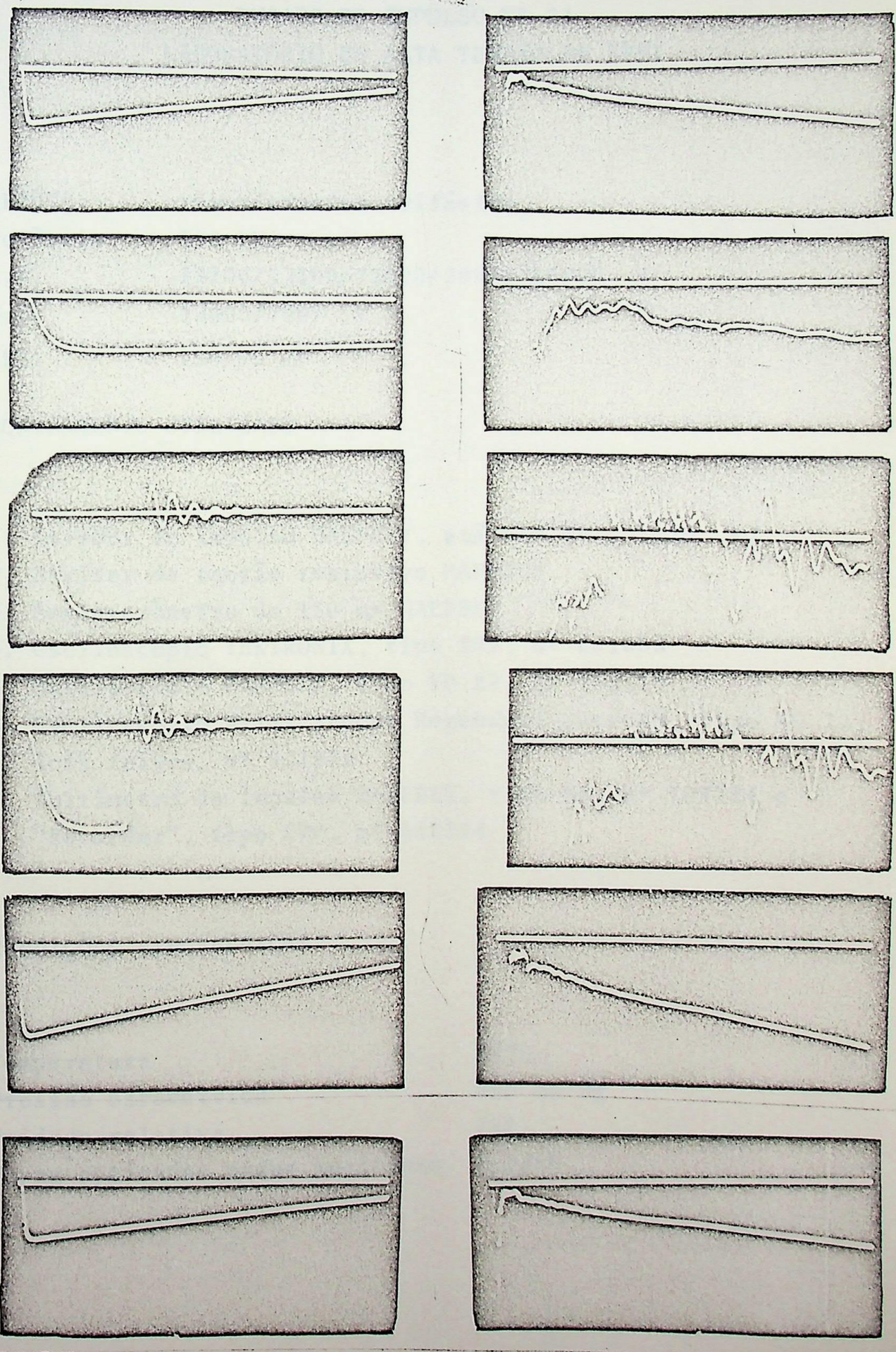
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 1 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0410/72 - IND - BUCHA II



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0410/72 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 21
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 500 kVA
A.T. 24200/23100/22000/20900/19800 V
B.T. 13800/7967 V
NBI: 150/95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 22ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas positivas | 1,2/50 |

VALORES DE CRISTA

| | | |
|---|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 75 kV | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 75 kV | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 175 kV | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 175 kV | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 150 kV | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 75 kV | 57,5 kV (50 µs) |

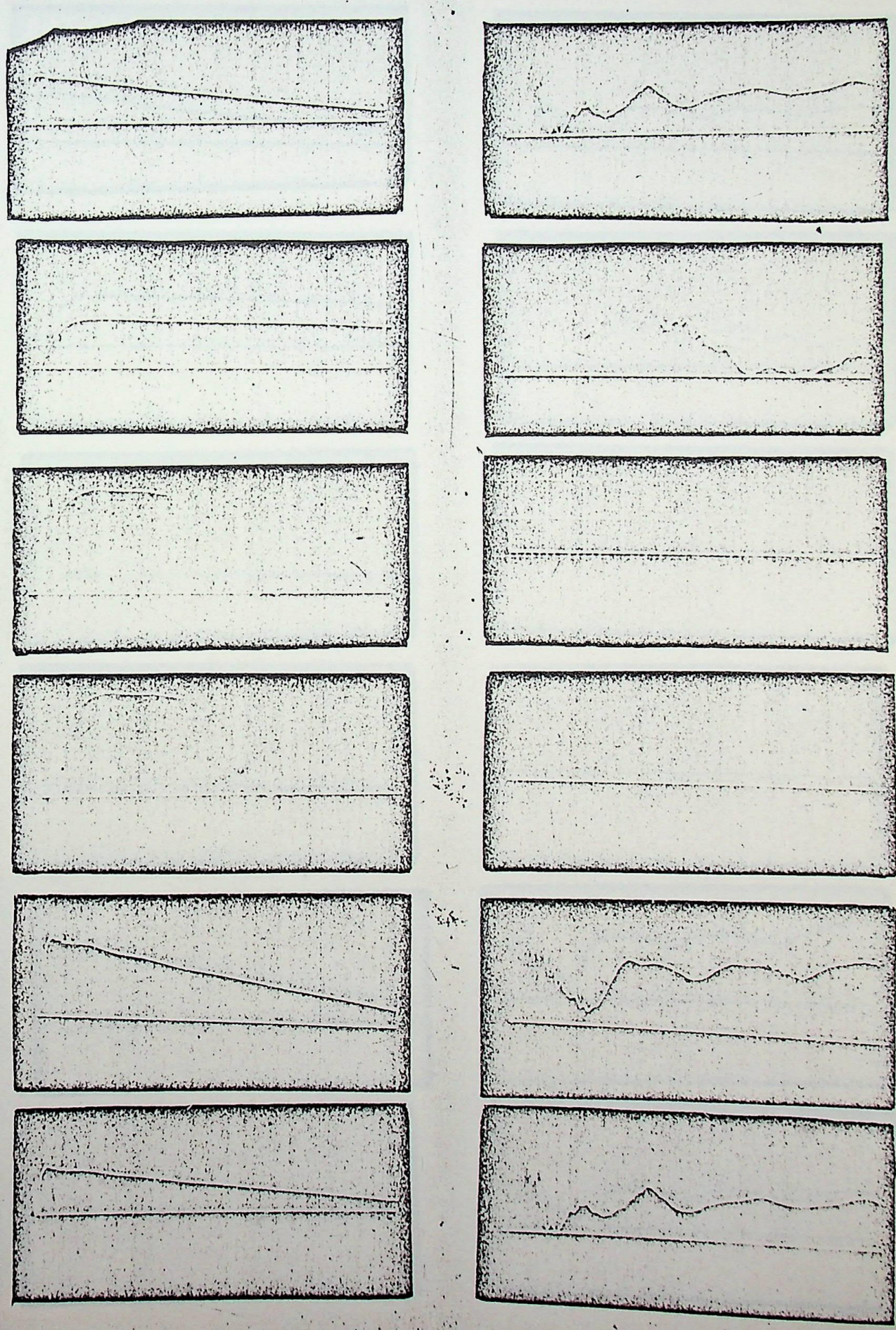
As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

Em virtude da potência relativamente grande do transformador percebe-se as oscilações nos oscilogramas de tensão. A inclinação da onda de tensão, na descida está fora das normas técnicas brasileiras, entretanto, em se tratando de transformadores grandes comparados com o gerador de impulso, as normas americanas permitem ondas inferiores a 15 µs ($T_2$). Neste caso $T_2$ = 30 µs

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0431/72 - IND - BUCHA I

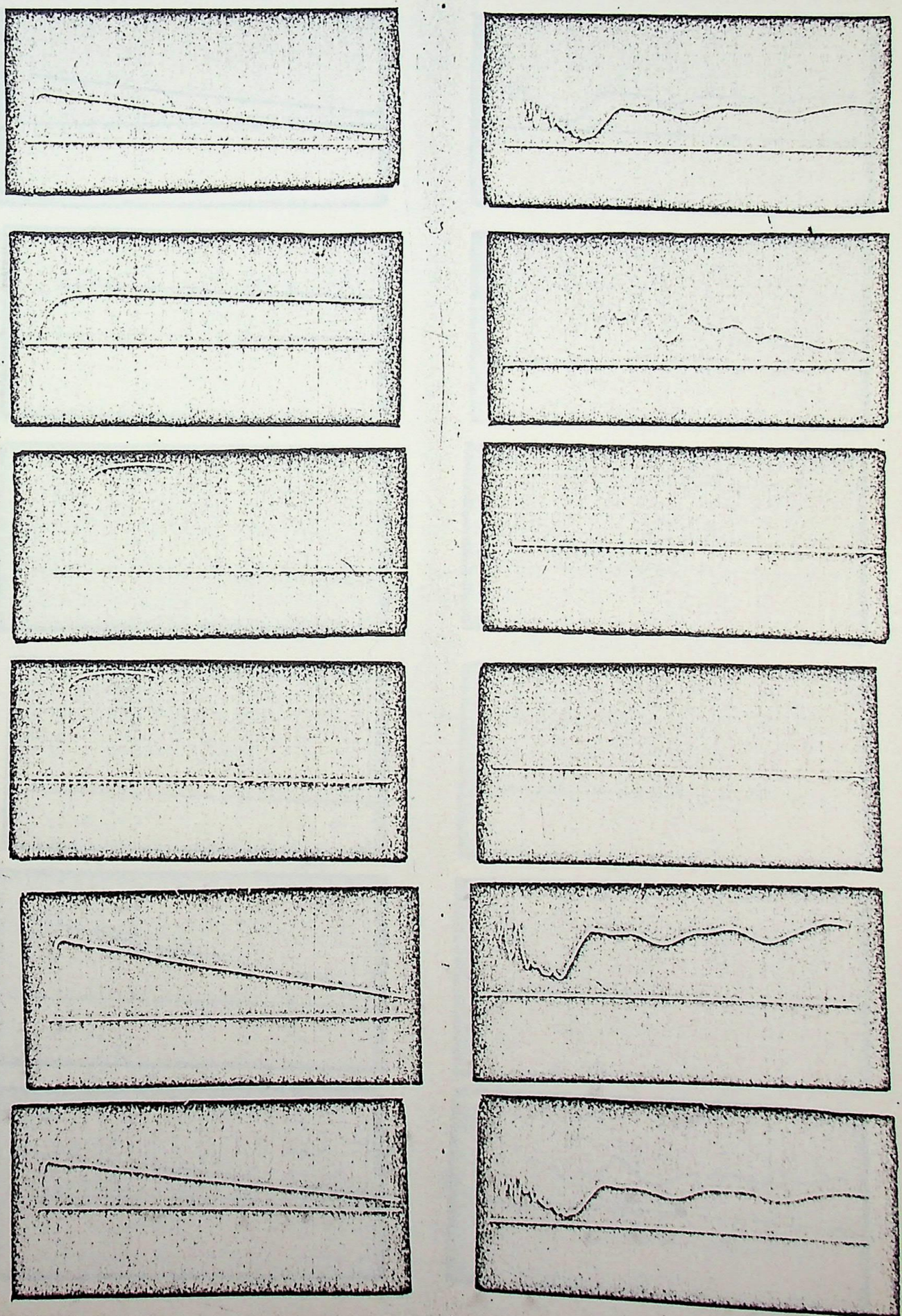


Mod. 15 -

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0431/72 - IND - BUCHA II



Mod. 15 - E

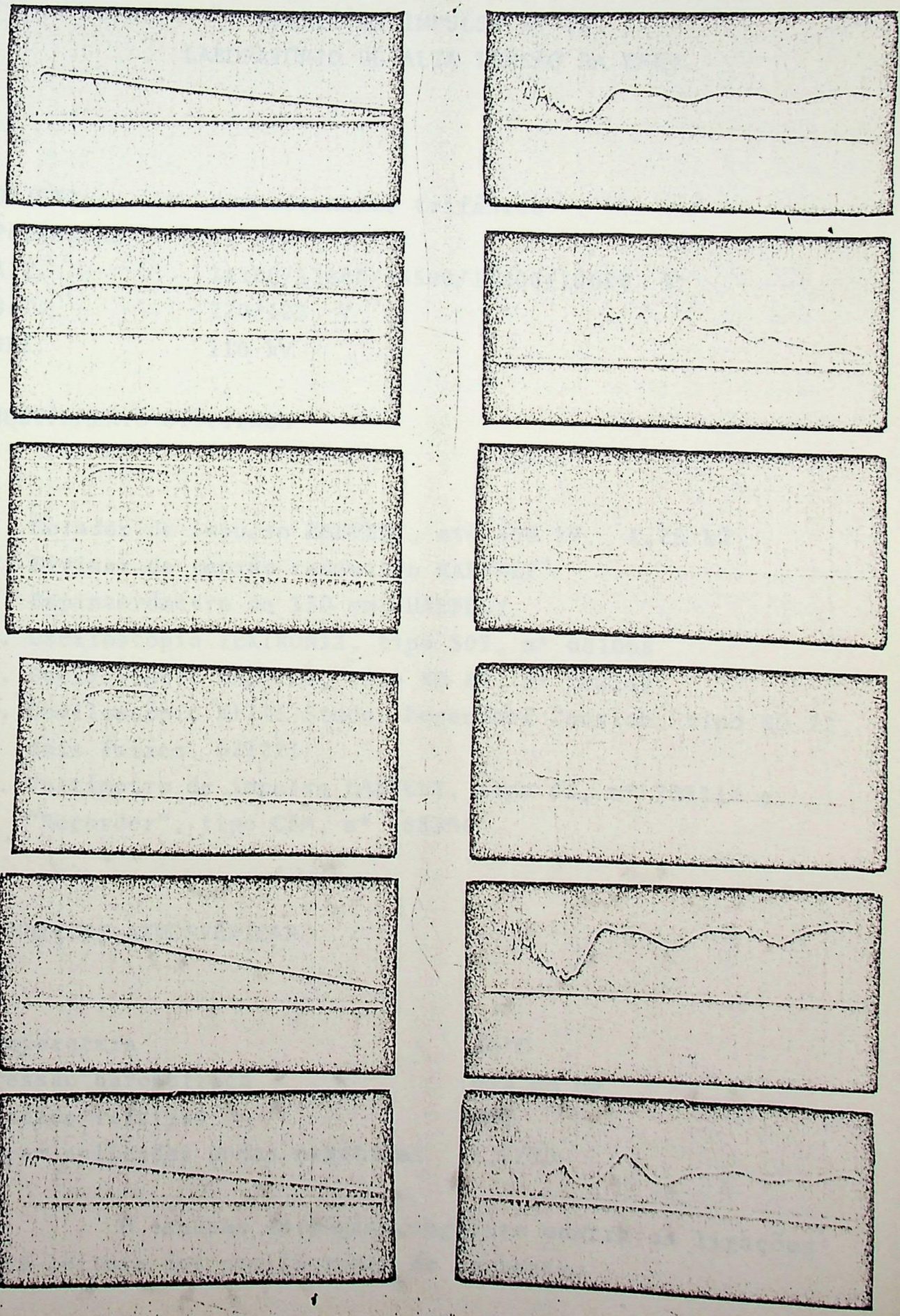
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA

DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0431/72 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 22
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 75 kVA |
| A.T. | 14100/13800/13500/13200/12600 V |
| B.T. | 220/127 V |
| NBI: | 110 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20°C |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 80% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 |

O esquema da página seguinte mostra as ligações para leitura dos oscilogramas de corrente.

VALORES DE CRISTA

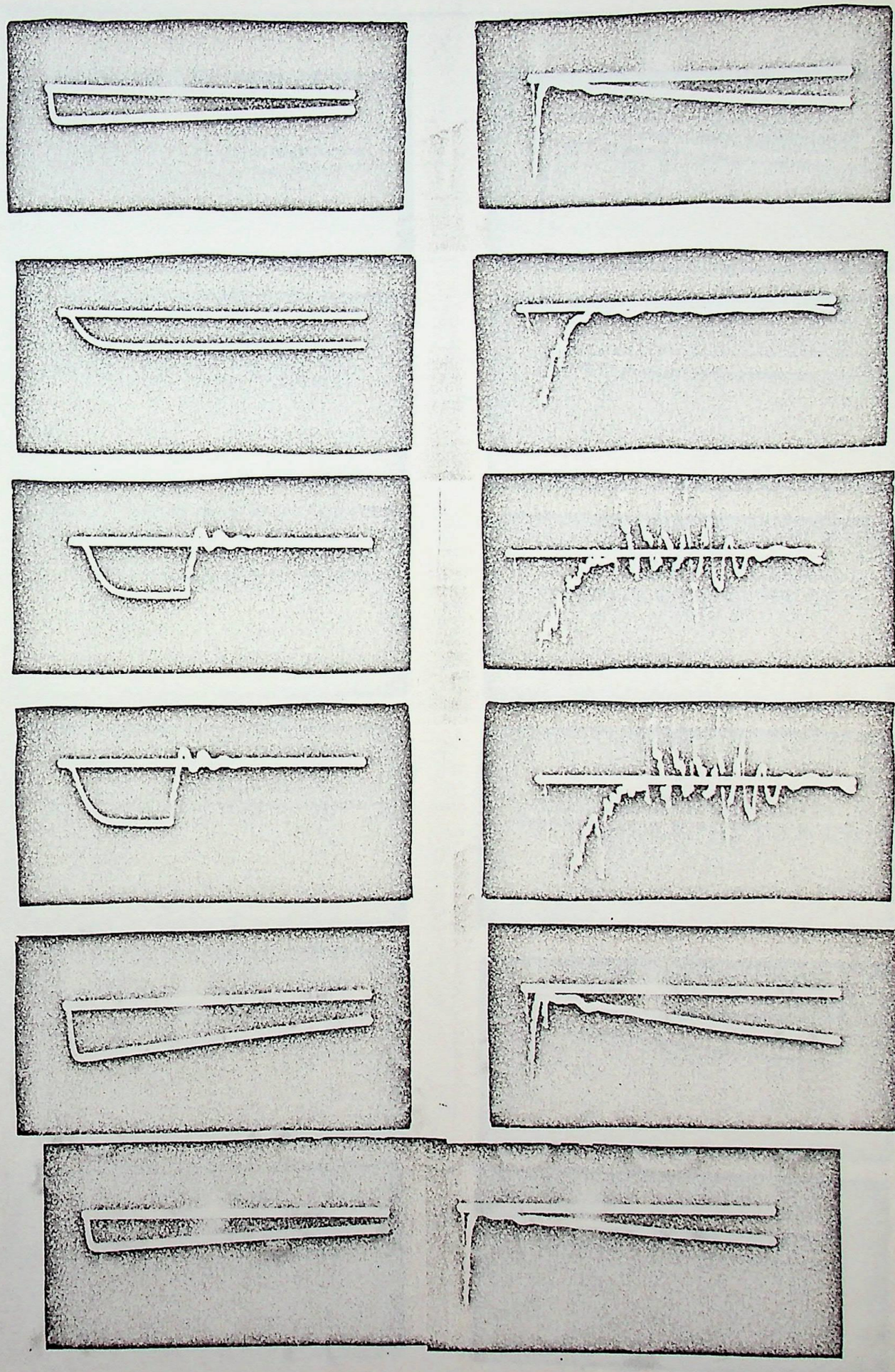
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 66 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 66 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 66 kV (50 µs) |

Os oscilogramas na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumeradas e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

A análise pelas ondas de tensão não registra qualquer anormalidade, entretanto analisando as ondas de corrente nota-se um defeito a aproximadamente 300 metros da entrada do impulso na parte inferior da fase C.

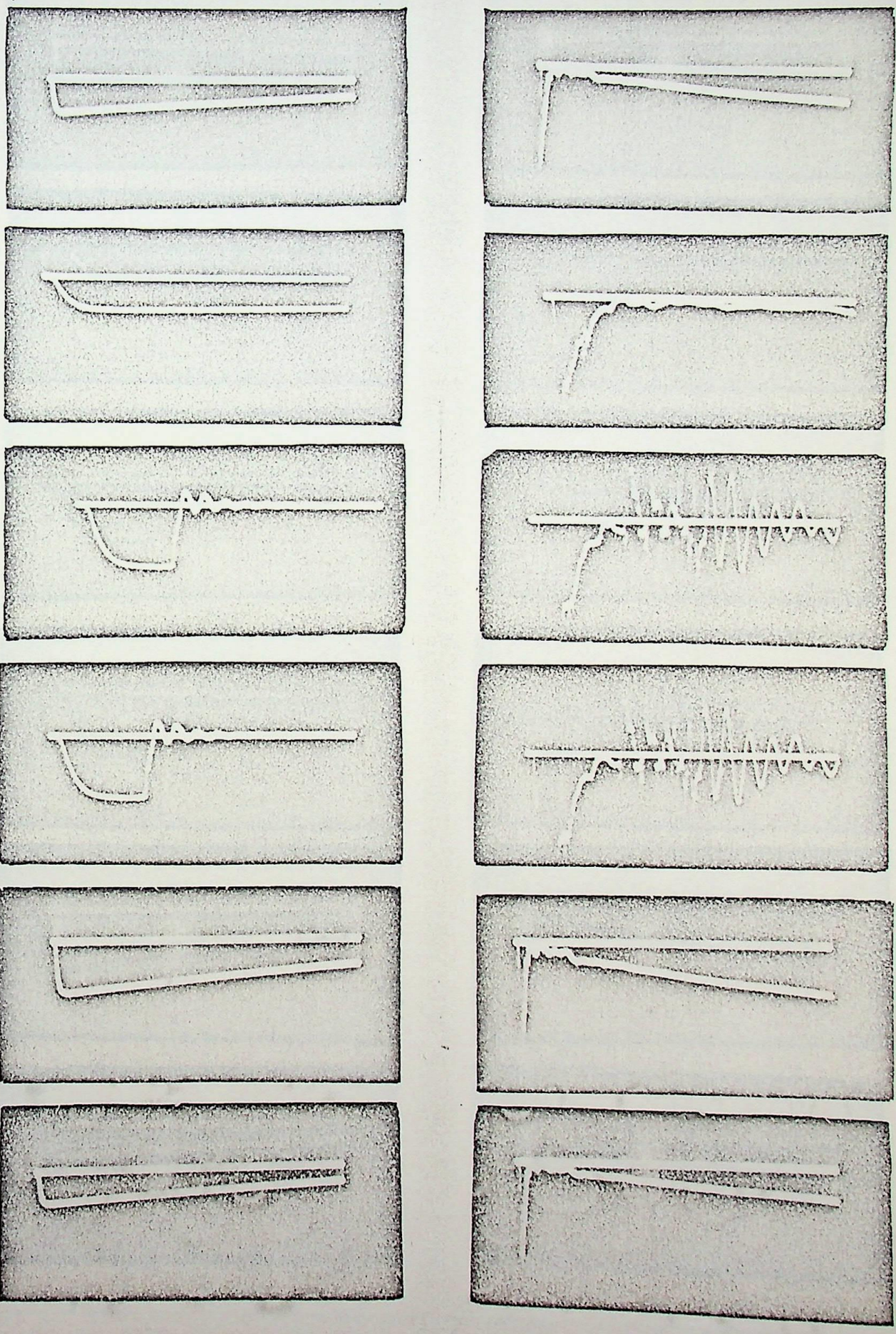
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0407/72 - IND - BUCHA I



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

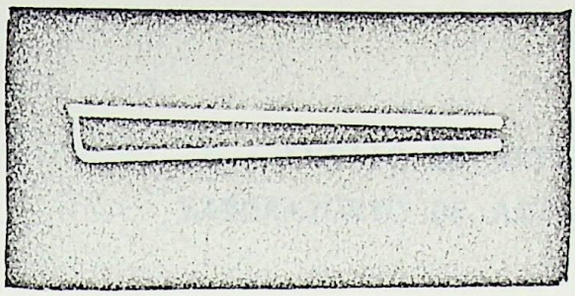
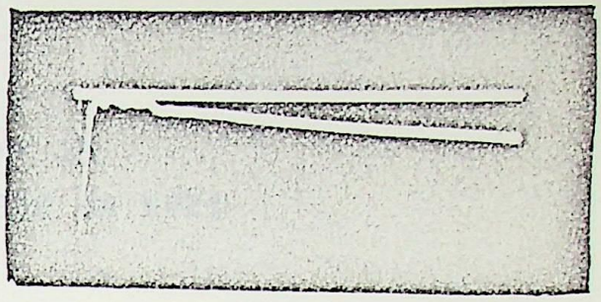
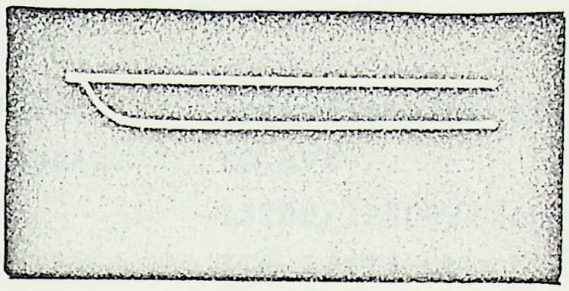
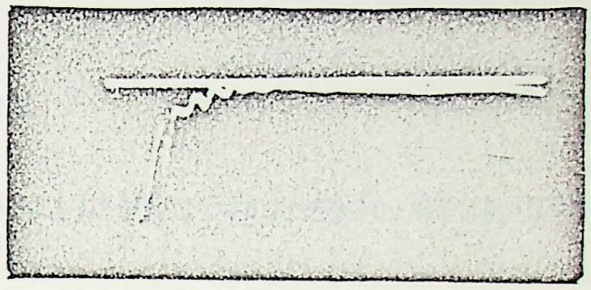
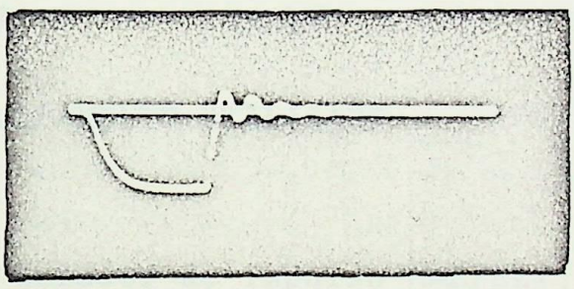
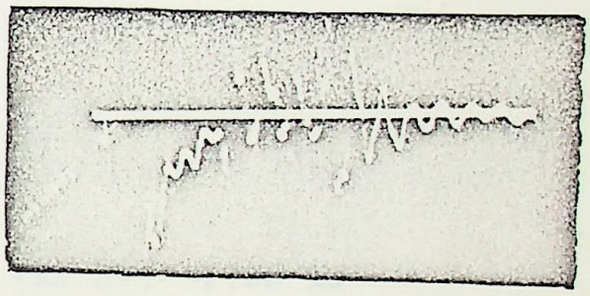
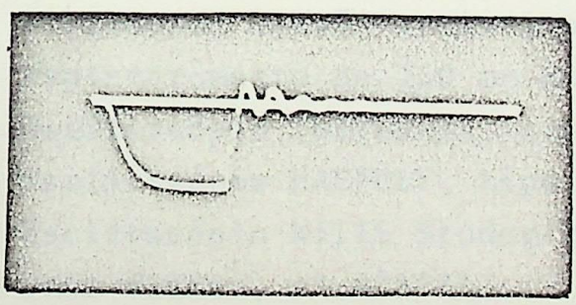
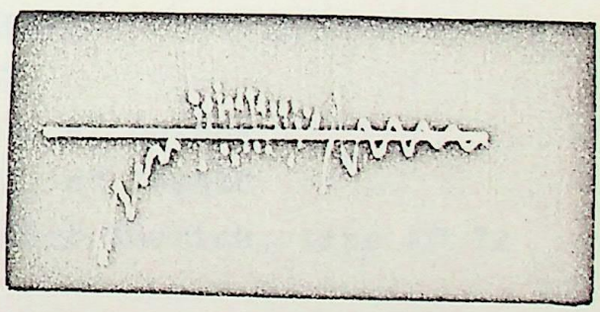
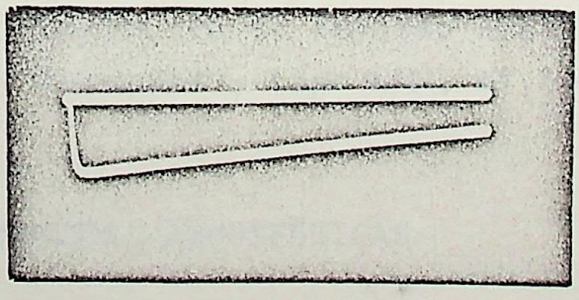
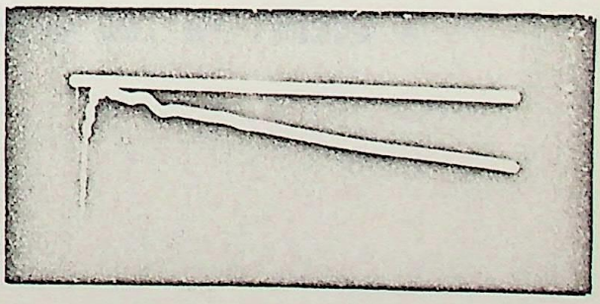
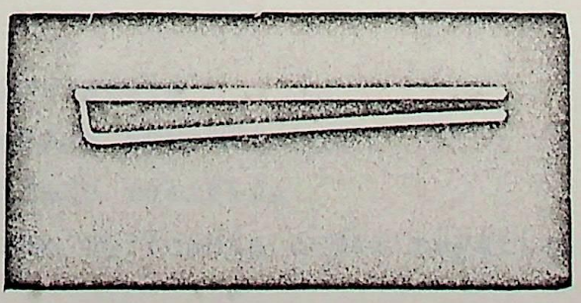
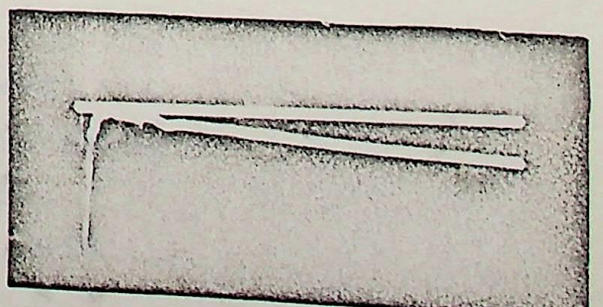
# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0407/72 - IND - BUCHA II



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0407/72 - IND - BUCHA III

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - BIBLIOTECA

ENSAIO DE IMPULSO Nº 23
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 30 kVA
A.T. 13200/12900/12600/12000/11700/11400/6600/6000/5700 V
B.T. 216,5/125 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", tipo CBM, nº 688304

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 24ºC |
| Pressão barométrica | 693 mm Hg |
| Umidade relativa | 75% |
| Foram aplicadas ondas negativas | 1,2/50 |

VALORES DE CRISTA

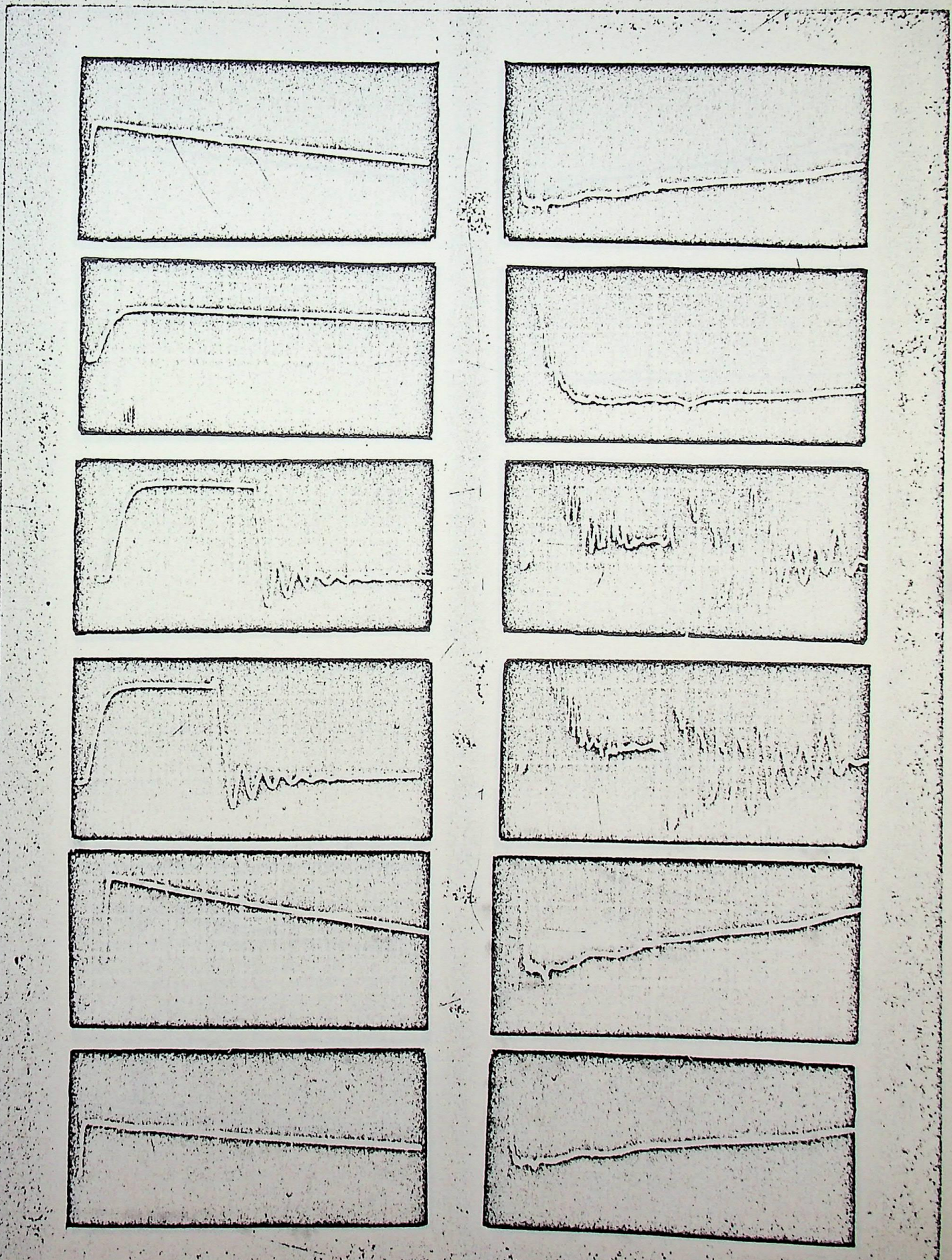
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

As fotografias na última folha mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e do lado direito os respectivos oscilogramas de corrente.

A primeira observação que deve ser feita neste ensaio é o não funcionamento correto do trigatron. A comparação entre os oscilogramas das ondas de corrente mostram uma forte oscilação a aproximadamente 5 µs e é mais evidente na fase A, depois na fase C e nula na fase B, o que significa que o defeito é na fase C.

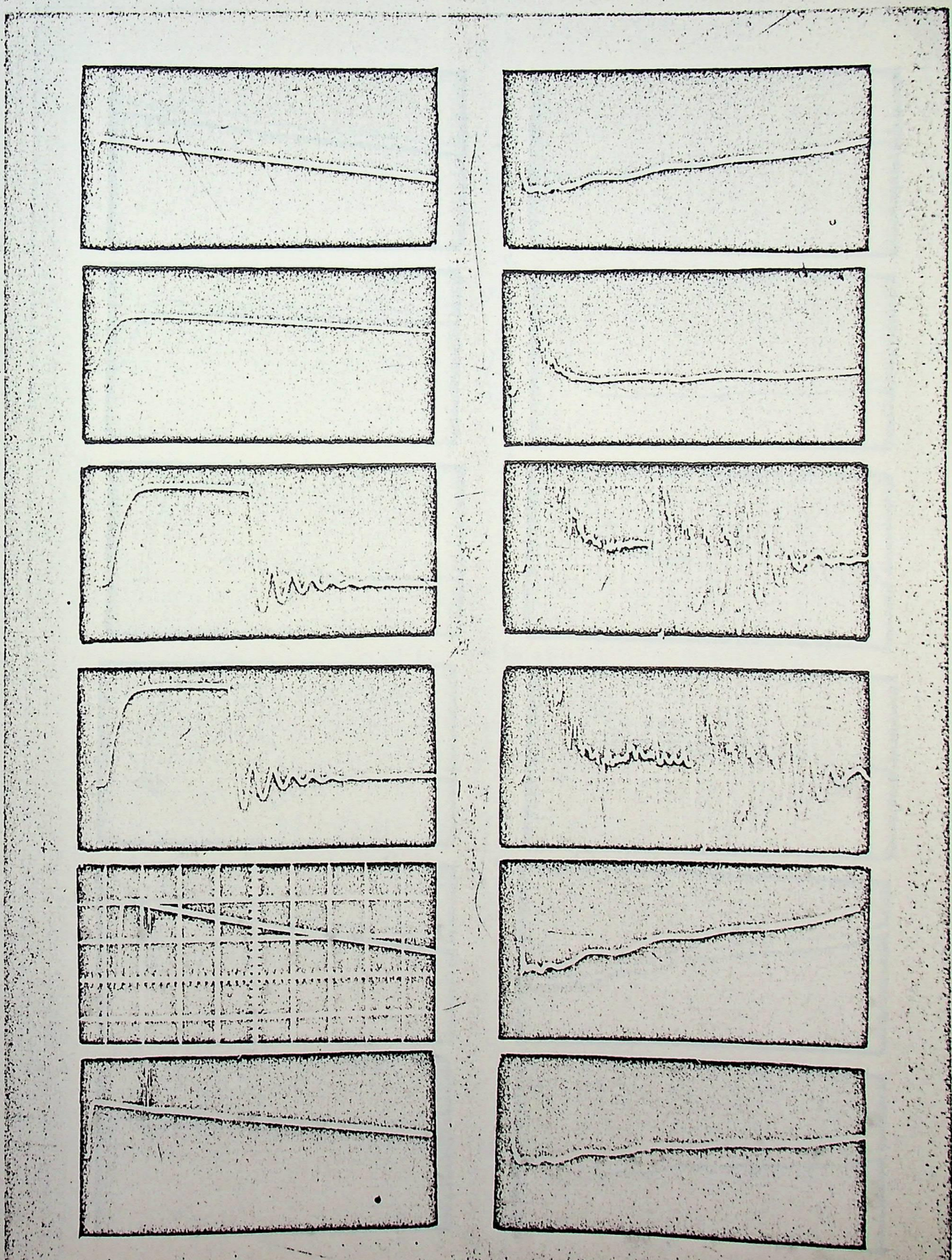
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2183 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib. 2698 - Pós Grad. 2468

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 037/73 - IND - BUCHA I



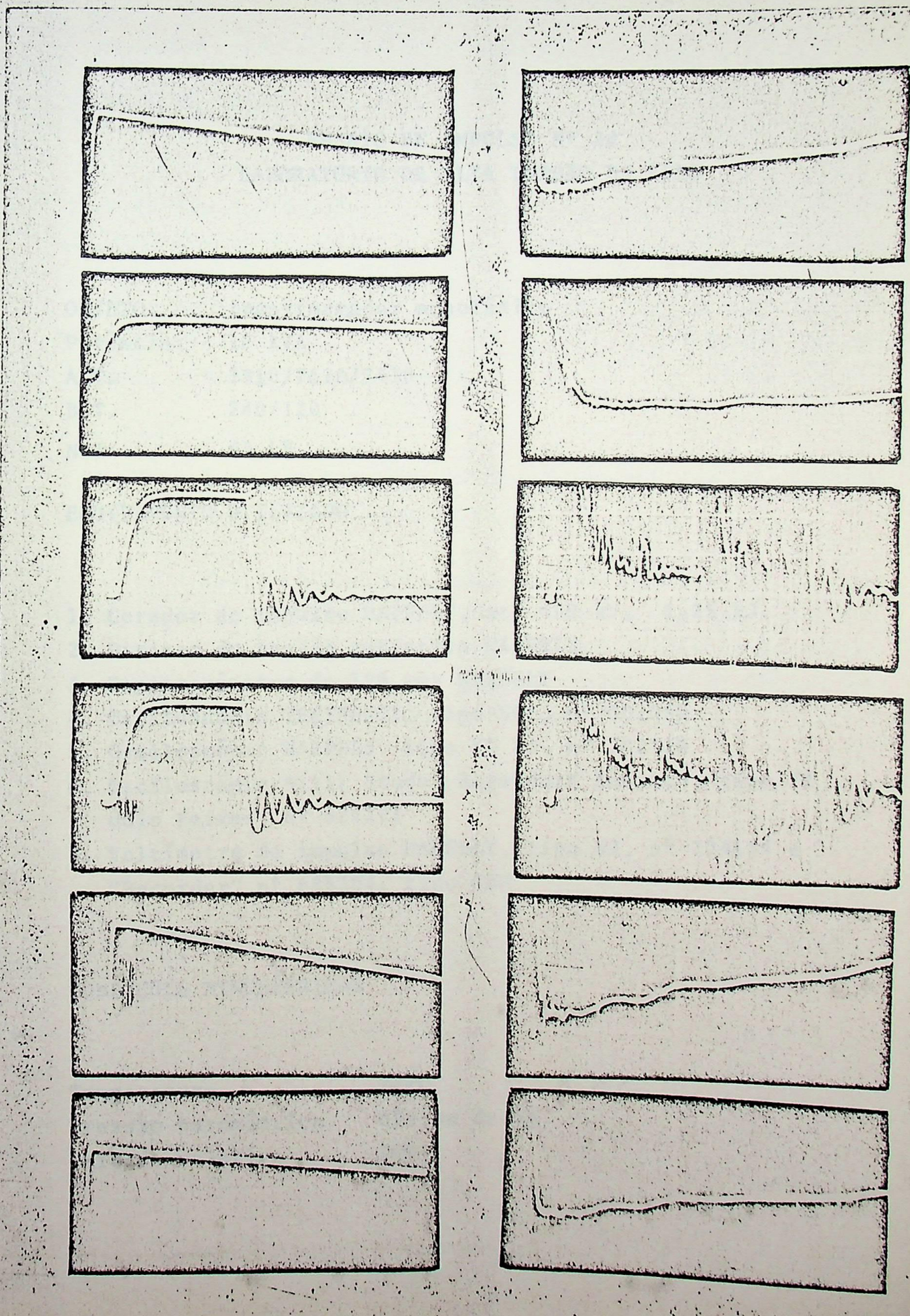
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

ENSAIO DE IMPULSO Nº 037/73 - IND - BUCHA II



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2183 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 037/73 - IND - BUCHA III



ENSAIO DE IMPULSO Nº 24
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 10 kVA
A.T. 7810/7620/7430
B.T. 240/120
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder" nº 688304, tipo CBM

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

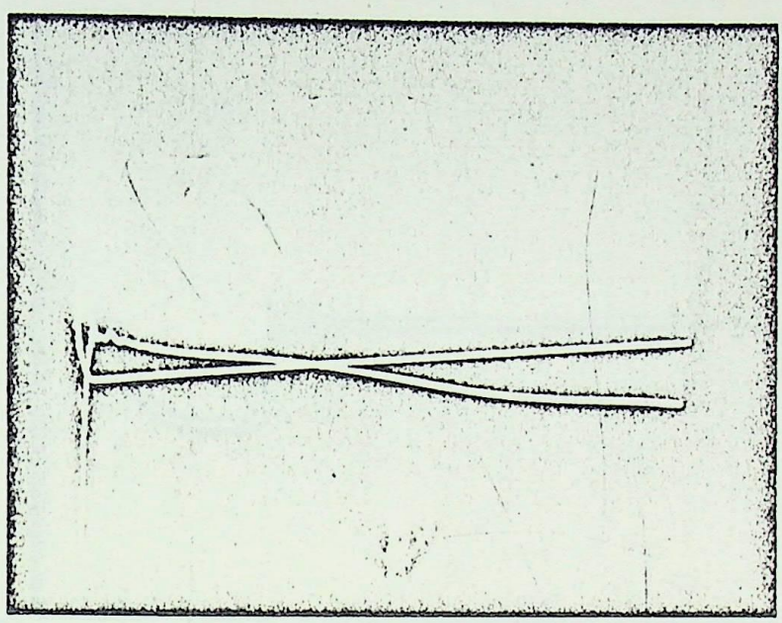
As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

Neste caso não há superposição da primeira onda bucha $H_1$ e a onda de verificação, 60 kV, e também as duas ondas plenas, buchas I e II não apresentam as mesmas características. Comparando as ondas de corrente, 60 kV vê-se que o defeito está mais próximo da entrada da bucha $H_1$.

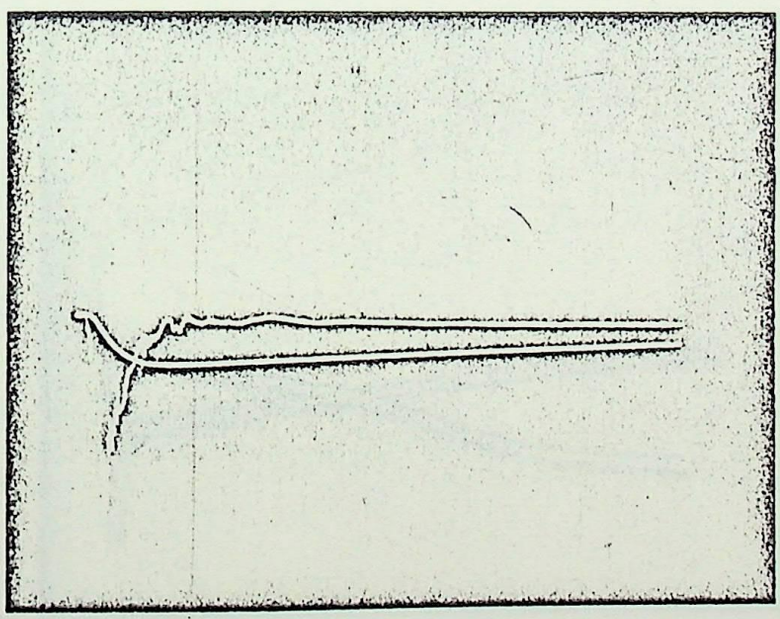
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

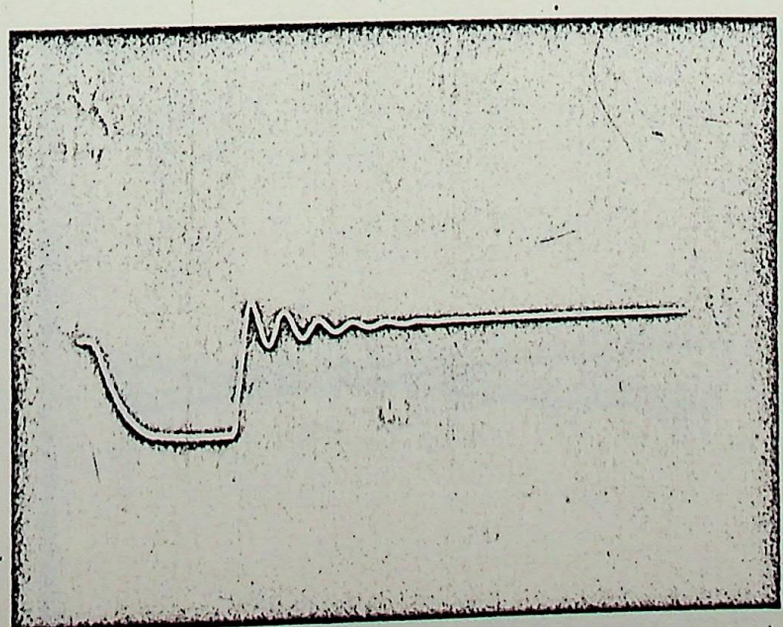
ENSAIO DE IMPULSO Nº 033/73.- IND - Bucha $H_1$



Ondas negativas
Oscilogramas de tensão
e corrente 50 μs, 60 kV



Oscilogramas de tensão
e corrente, 10 μs, 60 kV

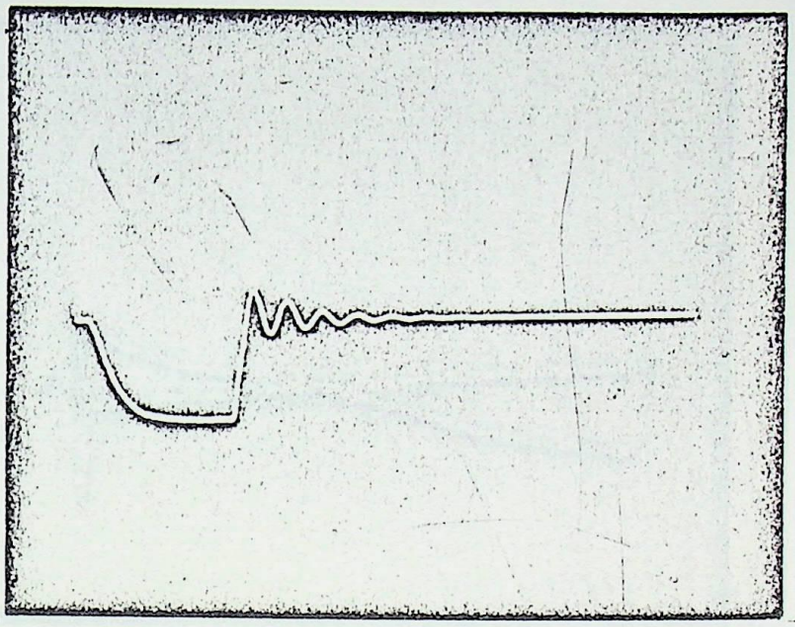


Onda cortada, 110 kV
10 μs, oscilogramas de
tensão.

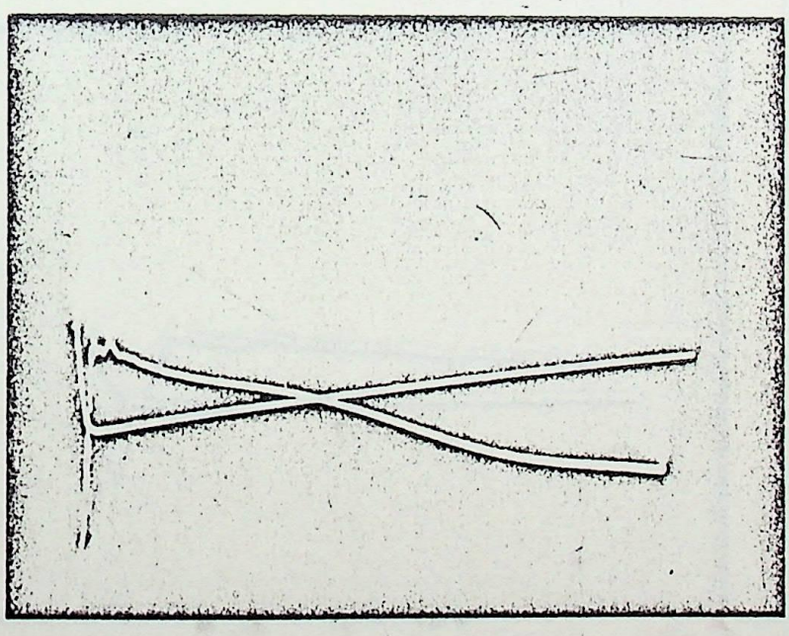
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

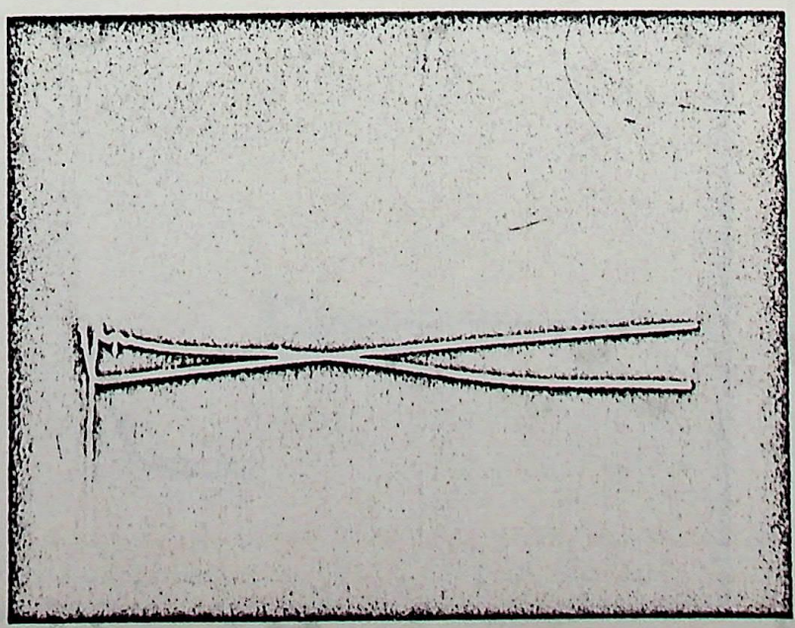
ENSAIO DE IMPULSO Nº 033/73 - IND - Bucha $H_1$



Oscilograma de tensão onda cortada, 110 kV, 10 μs.



Onda plena, oscilogramas de tensão e corrente, 95 kV, 50 μs.



Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente 60 kV, 50 μs

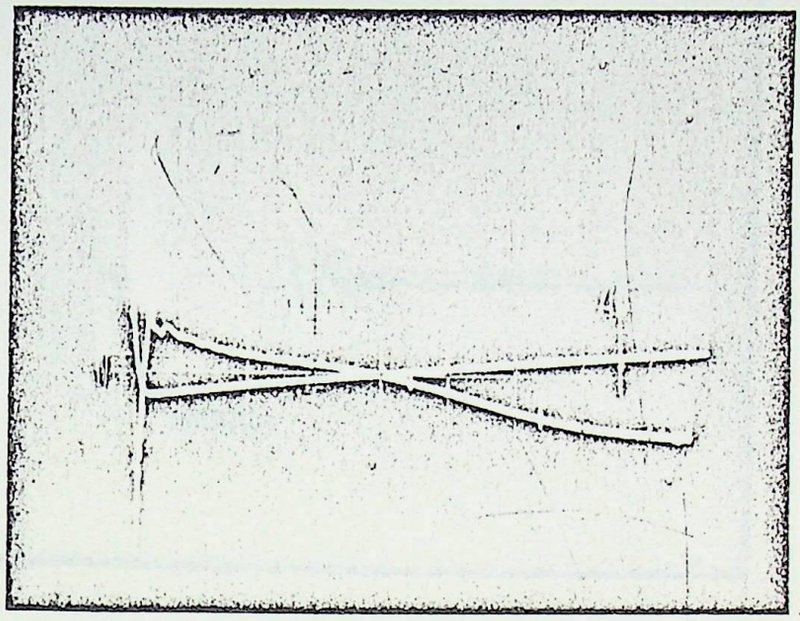


ITAJUBÁ - MG — 37.500

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

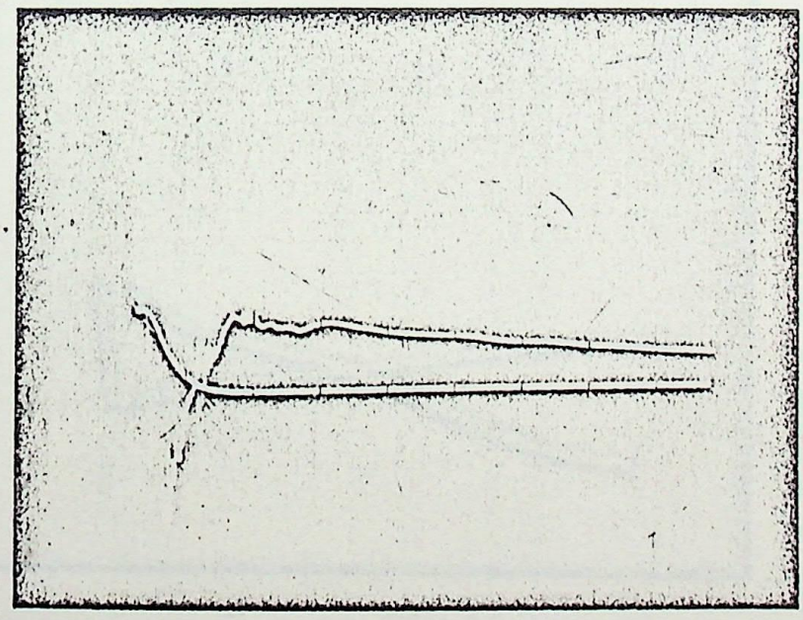
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

ENSAIO DE IMPULSO Nº 033/73 - IND - Bucha $H_2$



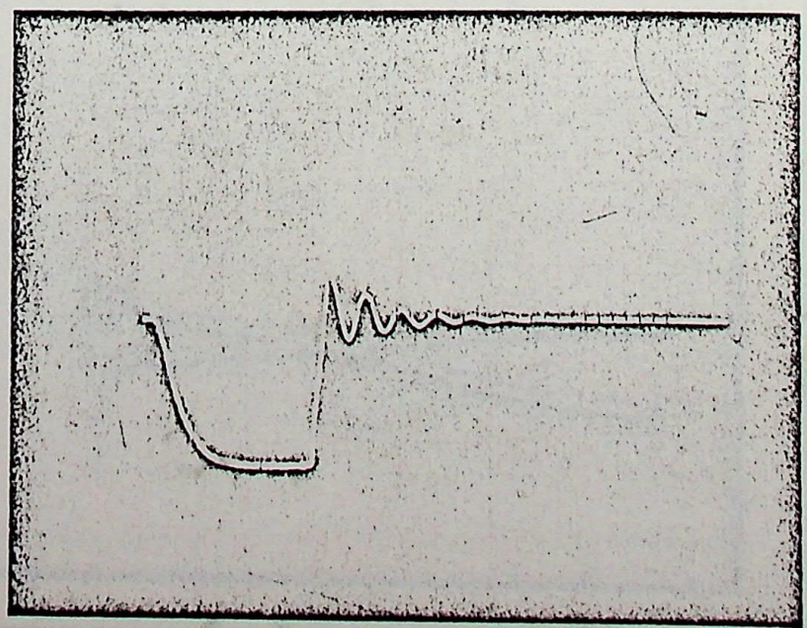
Ondas negativas
Oscilogramas de tensão e corrente 50 μs, 60 kV.

$T_2$ = 40 us



Oscilogramas de tensão corrente 10 μs, 60 kV

$T_1$ = 1,2 us

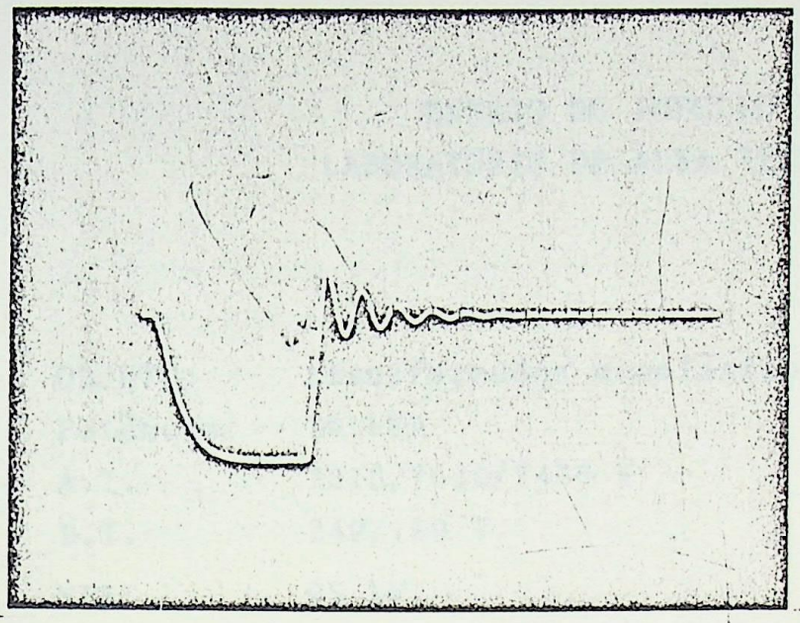


Onda cortada, 110 kV, 10 μs, oscilograma de tensão.

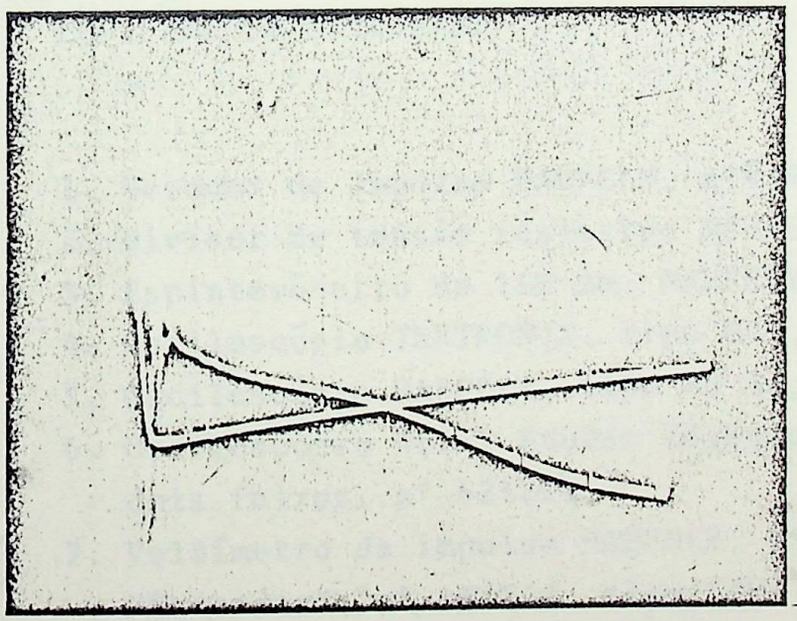
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

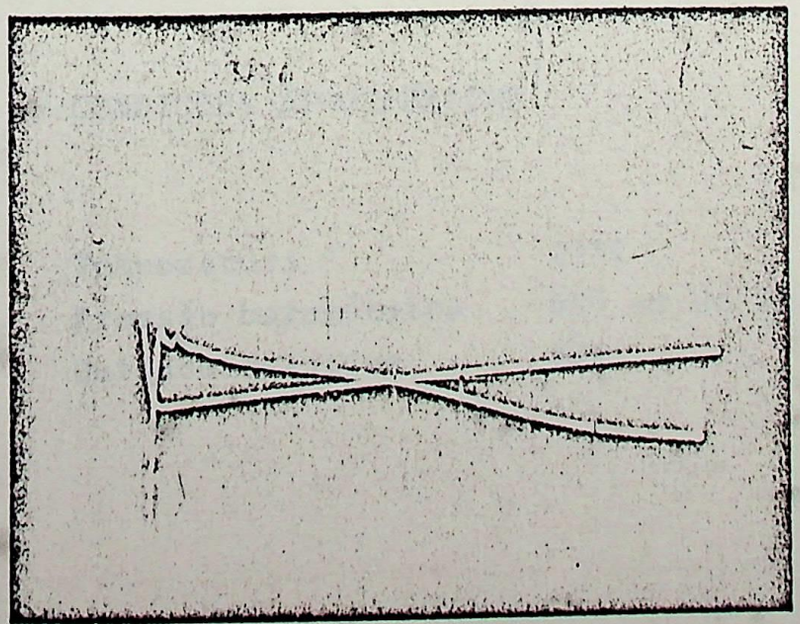
ENSAIO DE IMPULSO Nº 033/73 - IND - Bucha $H_2$



Oscilograma de tensão onda cortada, 110 kV, 10 μs



Onda plena, oscilogramas de tensão e corrente, 95 kV 50 μs.



Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente 60 kV, 50 μs

ENSAIO DE IMPULSO Nº 25
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 10 kVA
A.T. 7810/7620/7430 V
B.T. 240/120 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

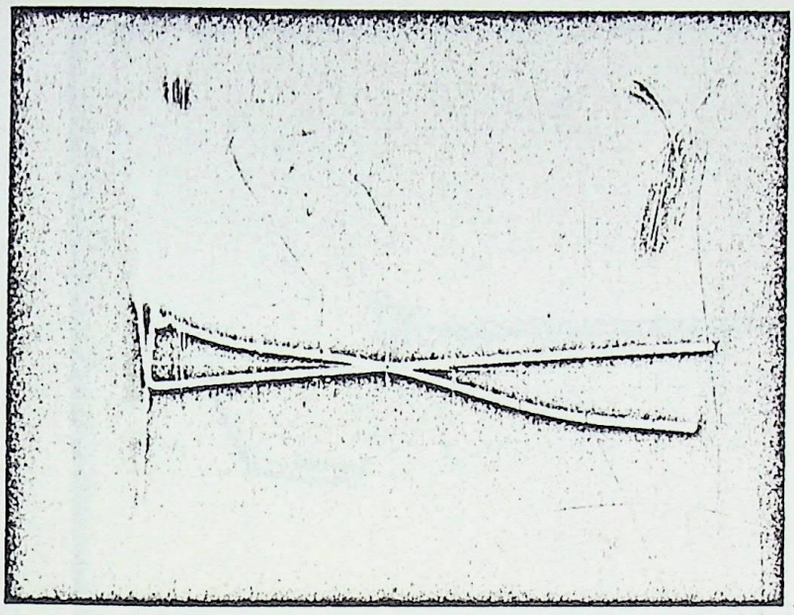
As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

Os oscilogramas mostram que o transformador não possue defeitos.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

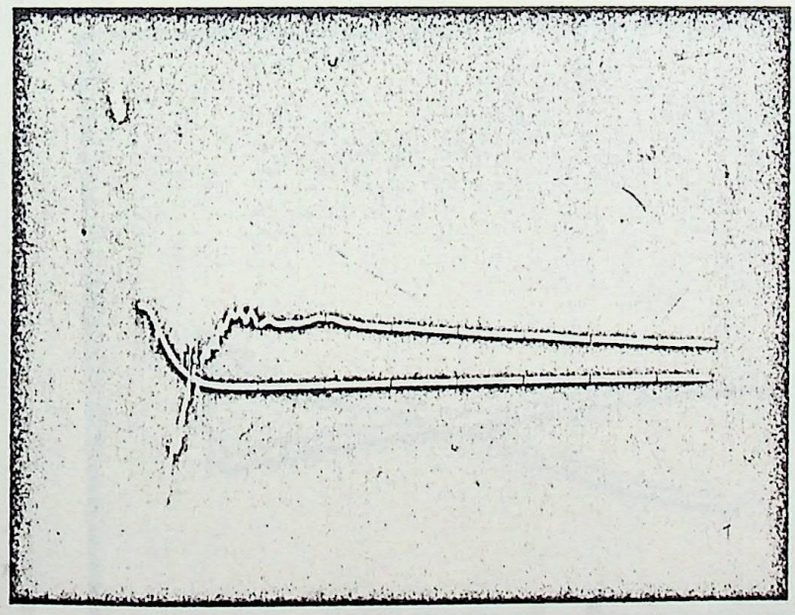
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

ENSAIO DE IMPULSO Nº 034/73 - IND - Bucha $H_1$



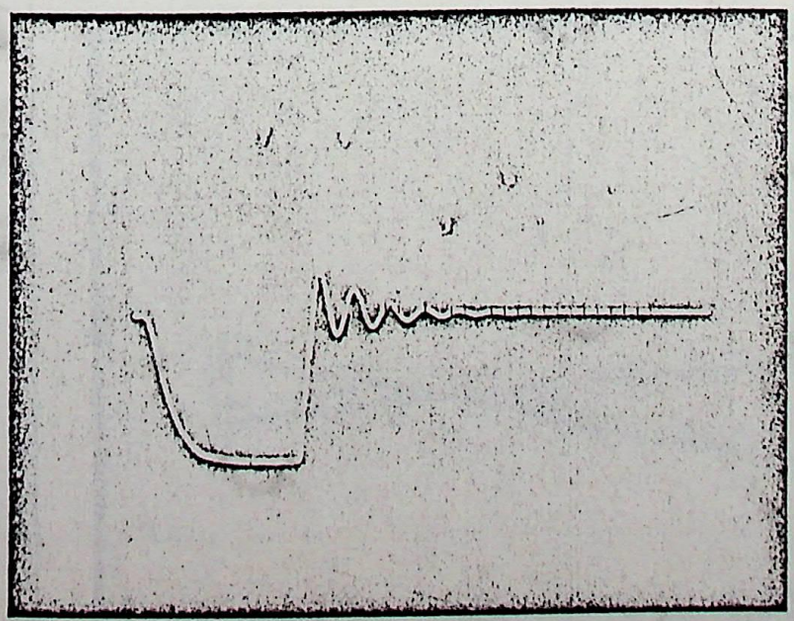
Ondas negativas
Oscilogramas de tensão
e corrente 50 μs, 60 kV

$T_2$ = 40 us



Oscilogramas de tensão
e corrente, 10 μs, 60 kV

$T_1$ = 1,2 us



Onda cortada, 110 kV
10 μs, oscilogramas de
tensão.

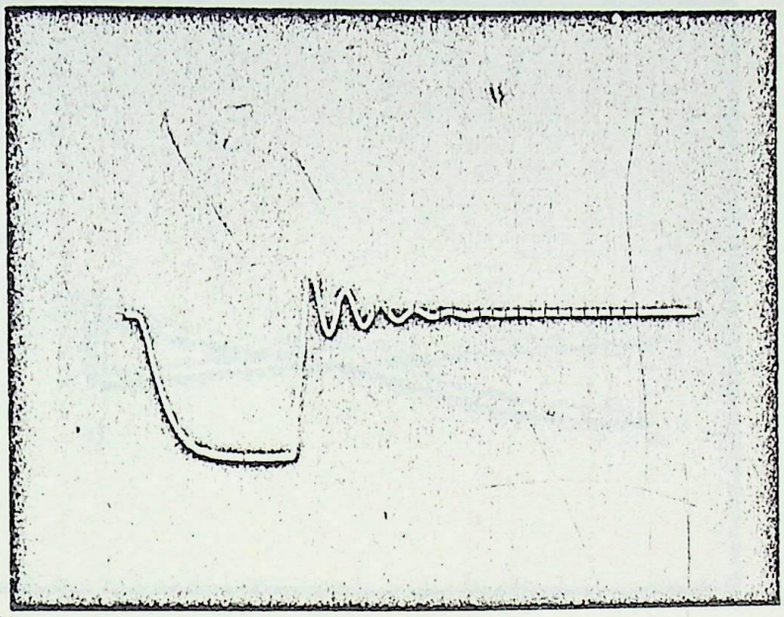


ITAJUBÁ - MG — 37.500

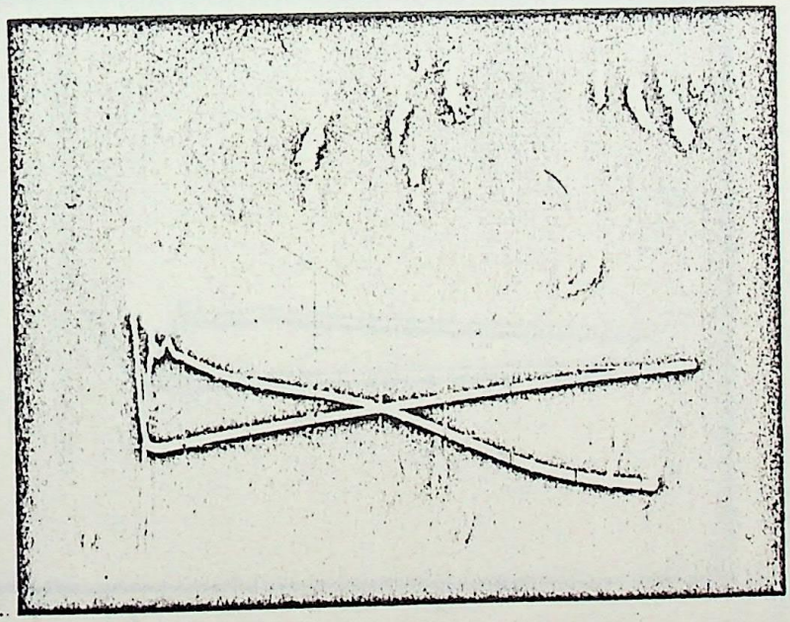
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

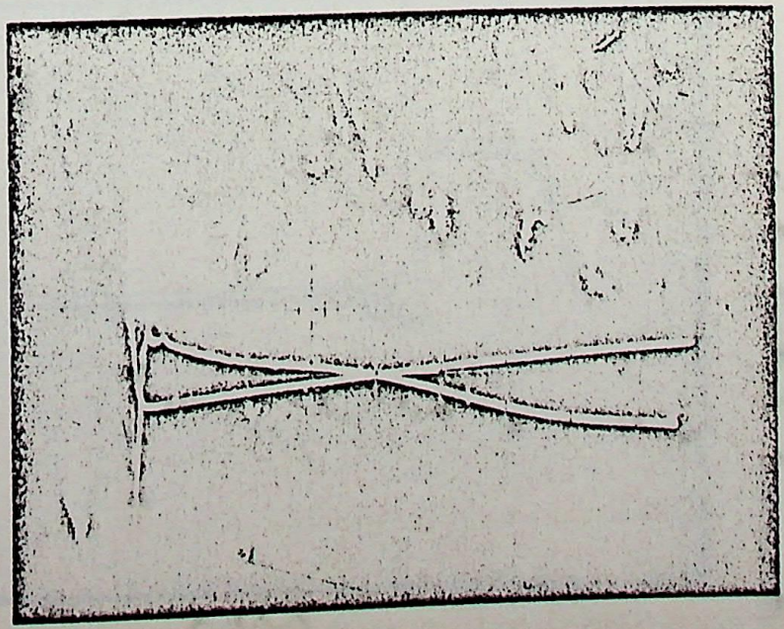
ENSAIO DE IMPULSO Nº 034/73 - IND - Bucha $H_1$



Oscilograma de tensão onda cortada, 110 kV, 10 μs



Onda plena, oscilograma de tensão e corrente 95 kV 50 μs



Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente 60 kV, 50 μs

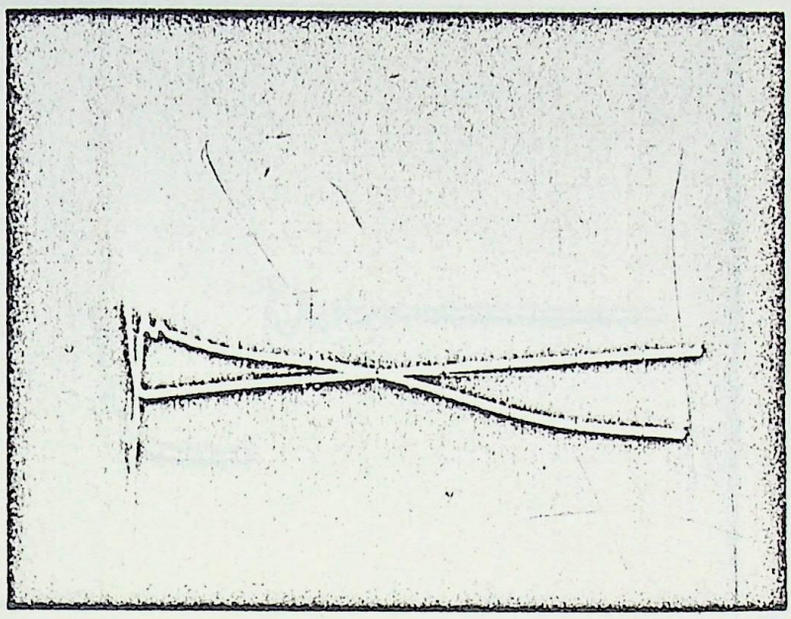


ITAJUBÁ - MG — 37.500

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

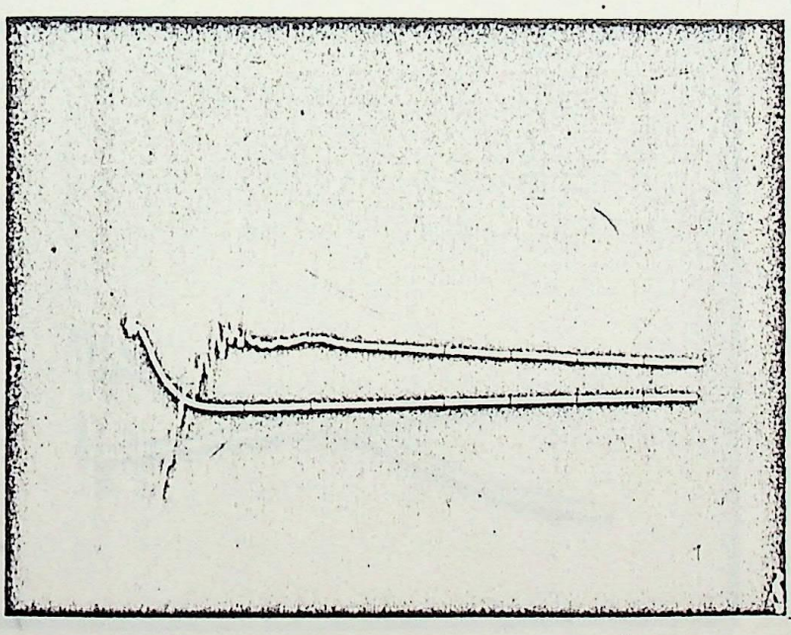
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

ENSAIO DE IMPULSO Nº 034/73 - IND - Bucha $H_2$



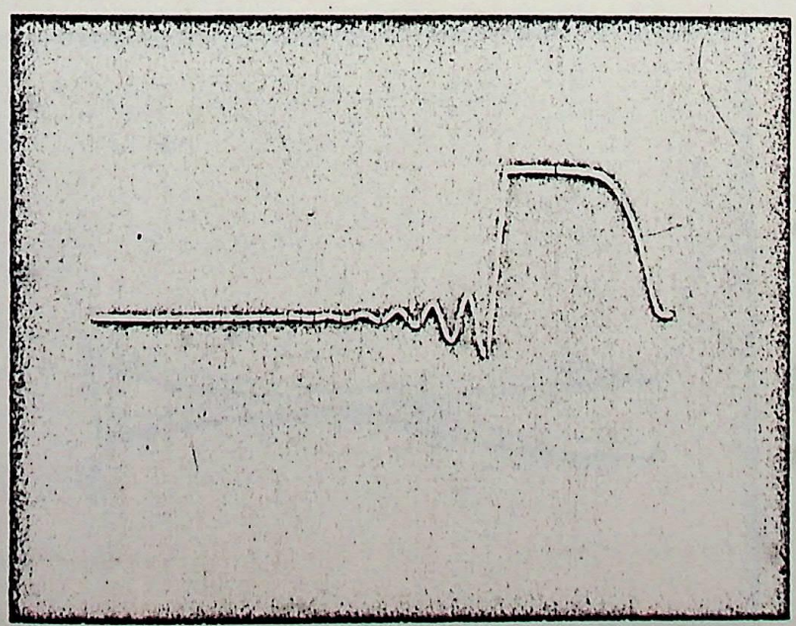
Ondas negativas
Oscilogramas de tensão e corrente 60 kV, 50 µs

$T_2$ = 40 us



Oscilogramas de tensão e corrente 10 µs, 60 kV

$T_1$ = 1,2 us

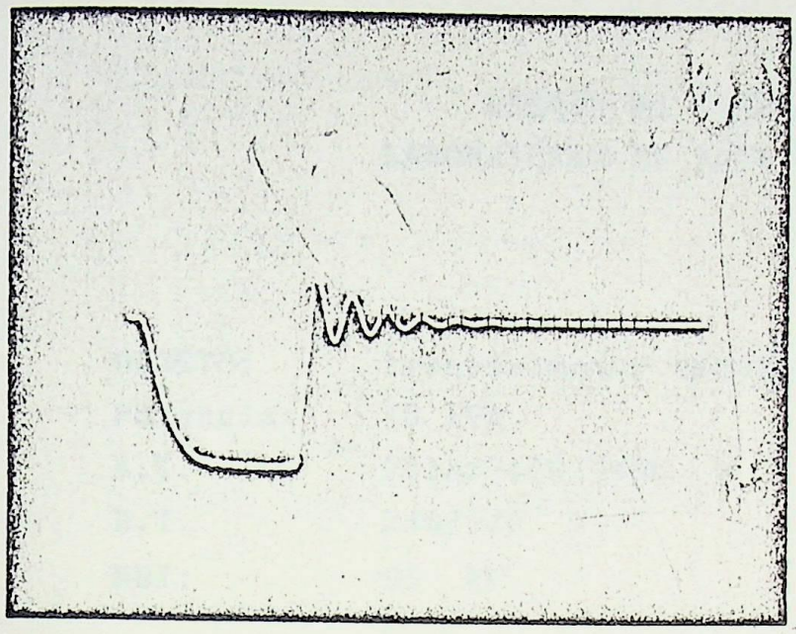


Onda cortada, 110 kV, 10 µs
oscilograma de tensão

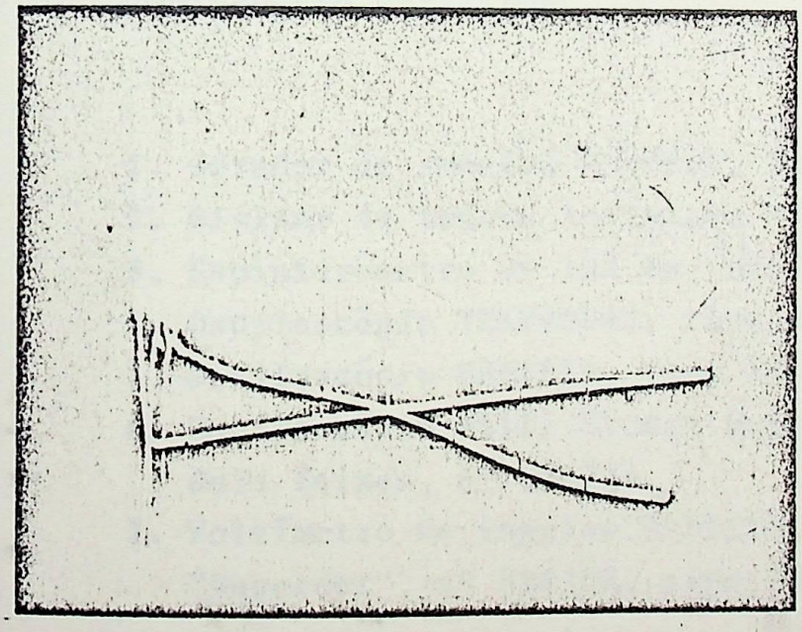
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

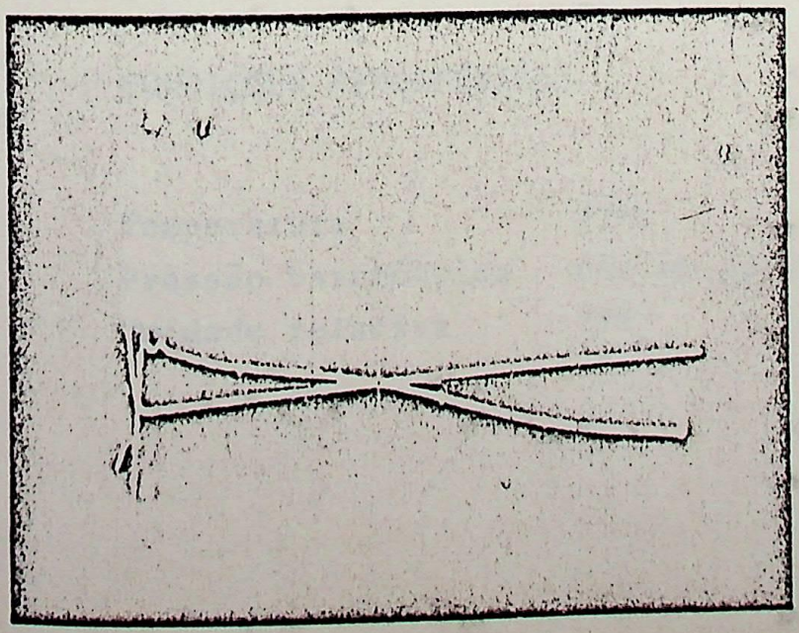
ENSAIO DE IMPULSO Nº 034/73 - IND - Bucha $H_2$



Oscilograma de tensão
onda cortada, 110 kV, 10 μs



Onda plena, oscilogramas
de tensão e corrente, 95 kV
50 μs.



Onda redúzida para verifi
cação, oscilogramas de tensão
e corrente 60 kV , 50 μs

ENSAIO DE IMPULSO Nº 26
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 10 kVA
A.T. 7810/7620/7430 V
B.T. 240/120 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3, Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

VALORES DE CRISTA

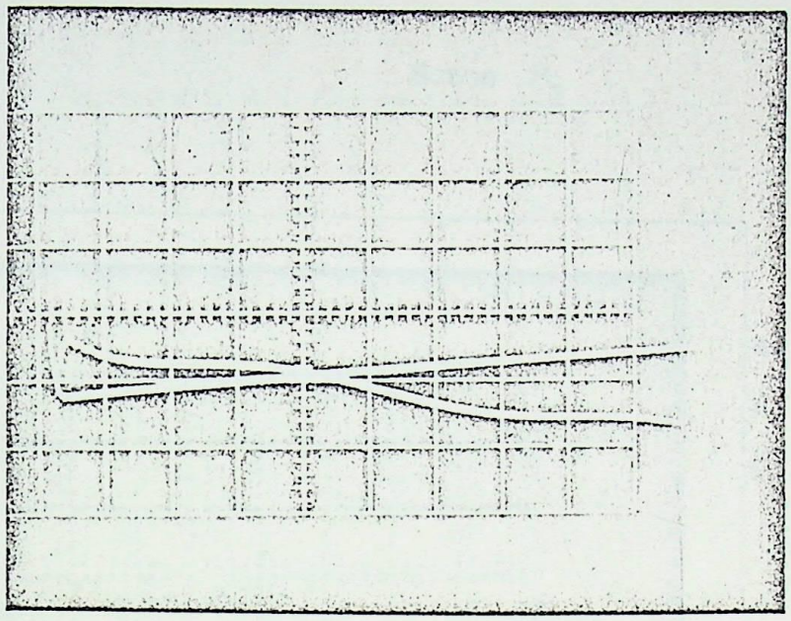
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

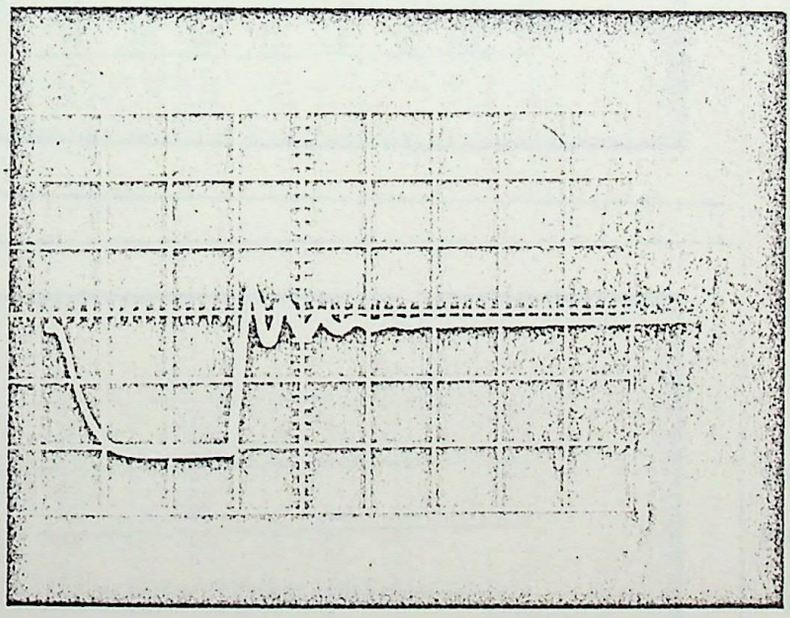
Os oscilogramas mostram que o transformador não possue defeitos.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

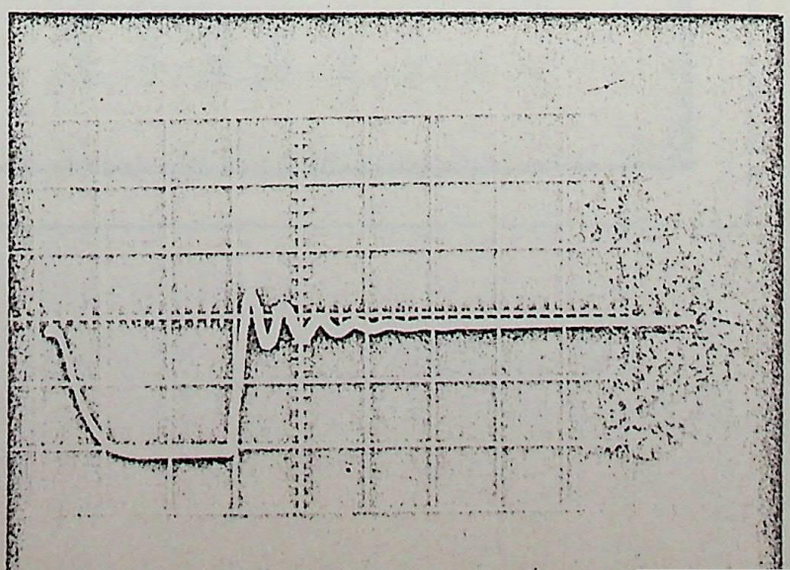
ENSAIO DE IMPULSO Nº 0013/73 - Bucha $H_1$



Ondas negativas
Oscilógramas de tensaão
e corrente 50 μs



Ondas cortada 110 KV
Oscilógrama de Tensão 10μs
( Foram dispensados os
oscilógramas de corrente)

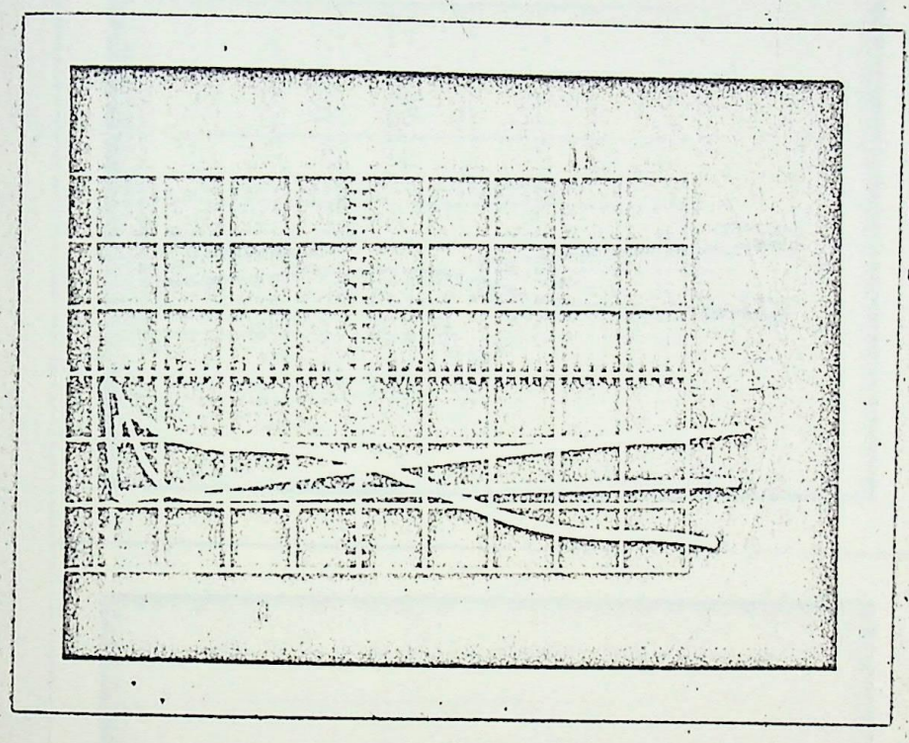


Onda cortada 110 kV
Oscilógrama de Tensão 10 μs
( Foram dispensados os
oscilógramas de corrente)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0013/73 - IND

Bucha $H_1$

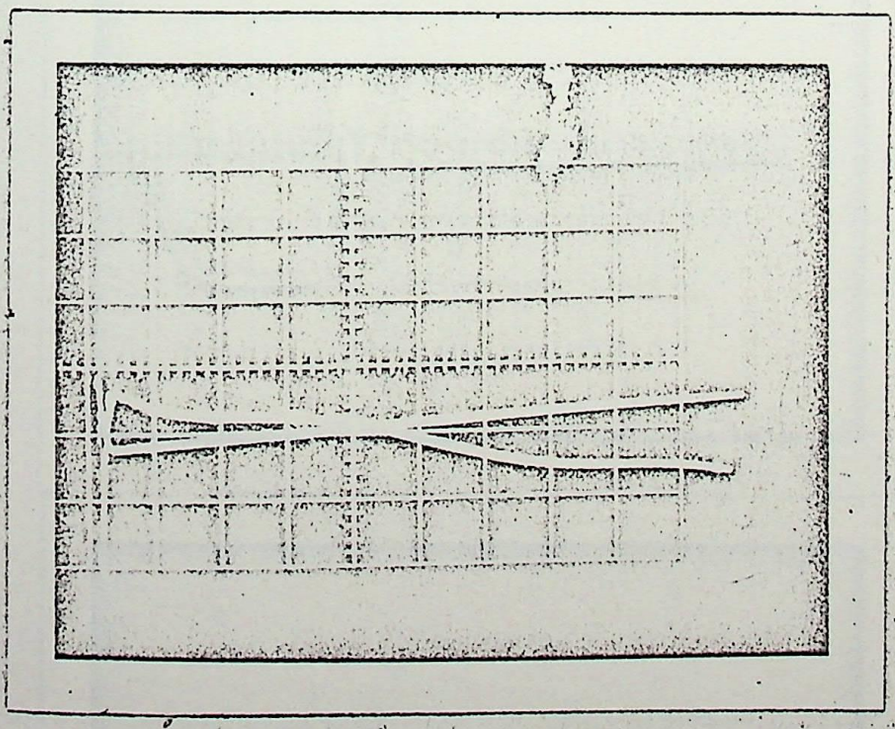


Ondas plenas 795 kV

a) oscilograma de corrente 50 µs

b) oscilograma de tensão 50 µs

c) oscilograma de tensão 10 µs



Ondas reduzidas para verificação

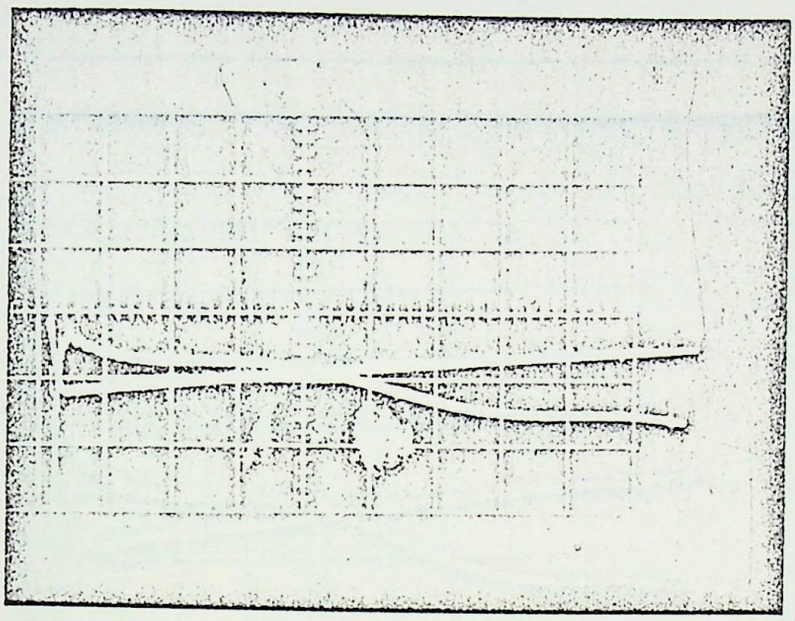
oscilograma de corrente 50 µs

oscilograma de tensão 50 µs

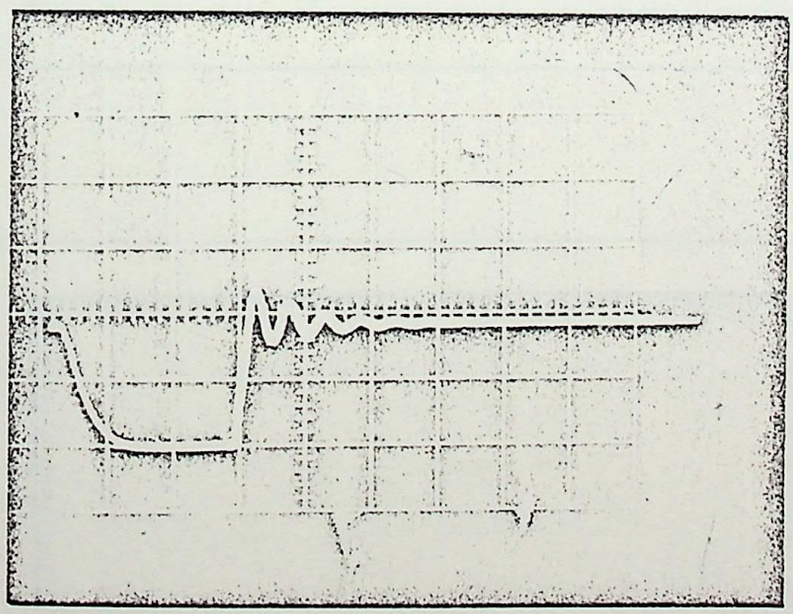
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2102 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0013/73 - IND

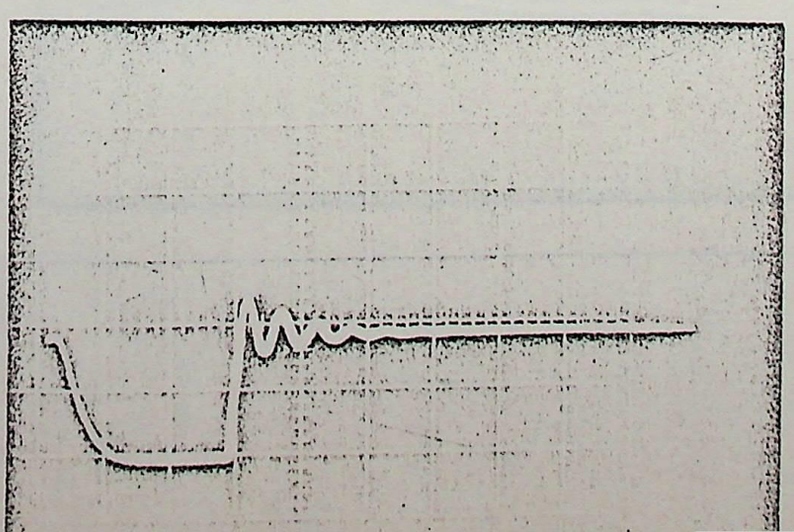
Bucha $H_2$



Ondas negativas 57,5 kV
Oscilogramas de tensão e corrente 50 μs



Onda cortada 110 kV
Oscilograma de tensão, 10 μs
(Foram dispensadas os oscilogramas de corrente )

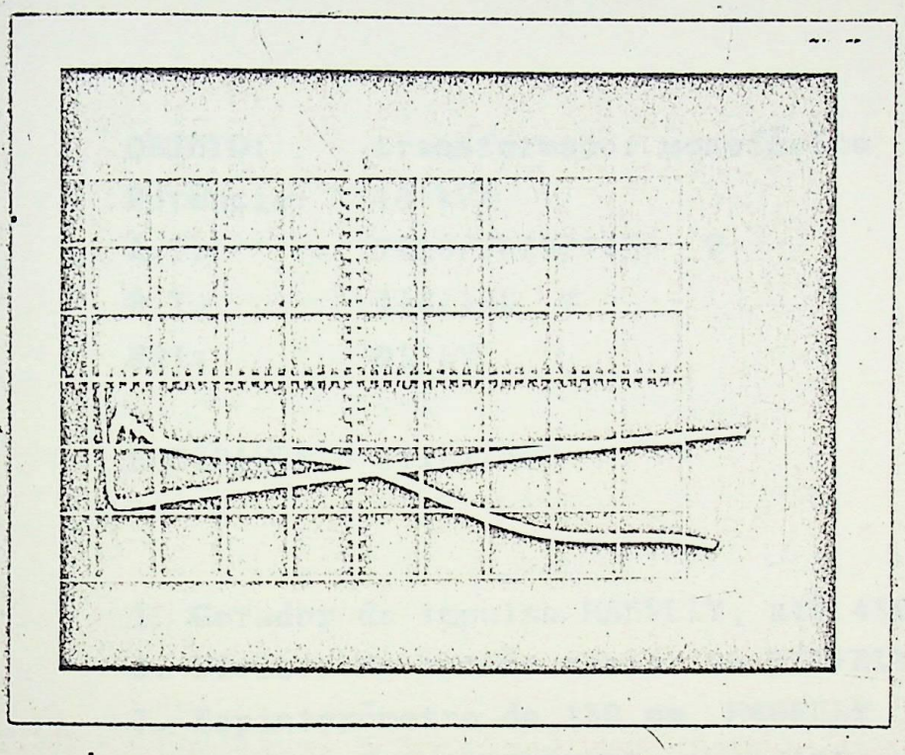


Onda cortada 110 kV
Oscilograma de tensão 10 μs
(Foram dispensadas os oscilogramas de corrente )

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0013/73 - IND

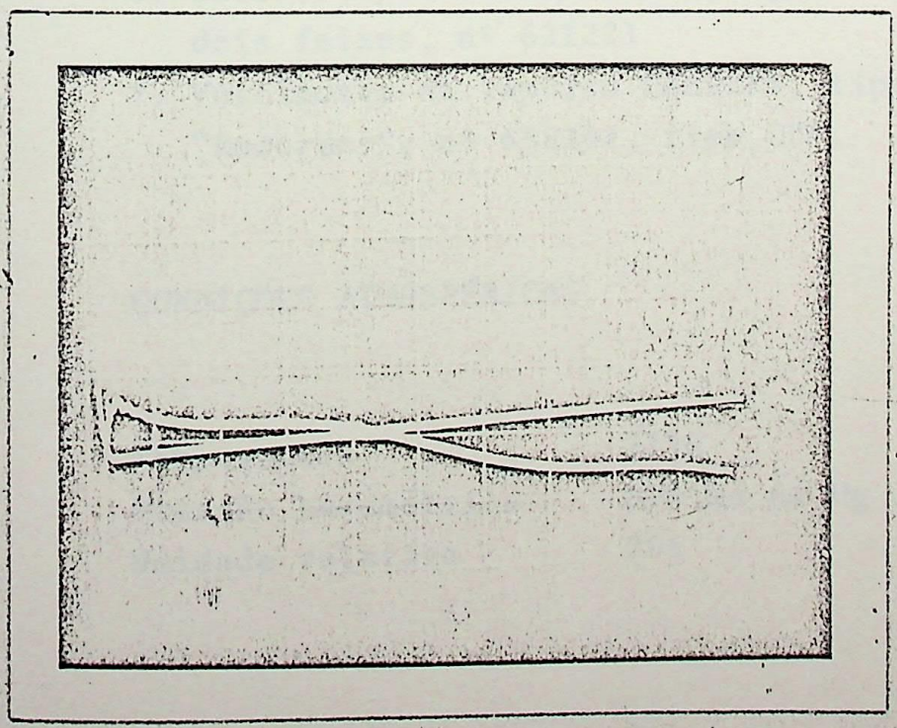
Bucha $H_2$



Ondas plenas 95 kV

a) oscilograma de corrente 50 µs

b) oscilograma de tensão 50 µs



Ondas reduzidas para verificação

a) oscilograma de corrente 50 µs

b) oscilograma de tensão 50 µs

ENSAIO DE IMPULSO Nº 27
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 10 kVA
A.T. 7810/7620/7430 V
B.T. 240/120 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

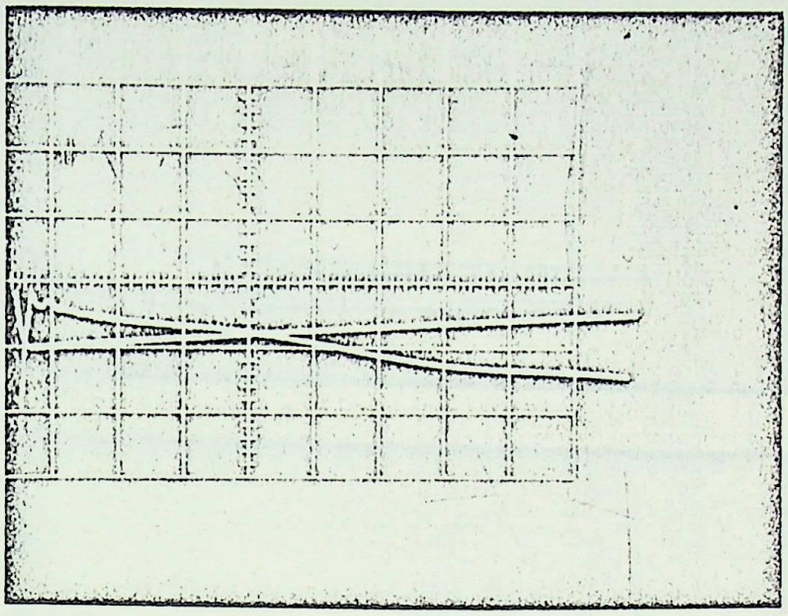
As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

Os oscilogramas mostram que o transformador não possue defeitos.

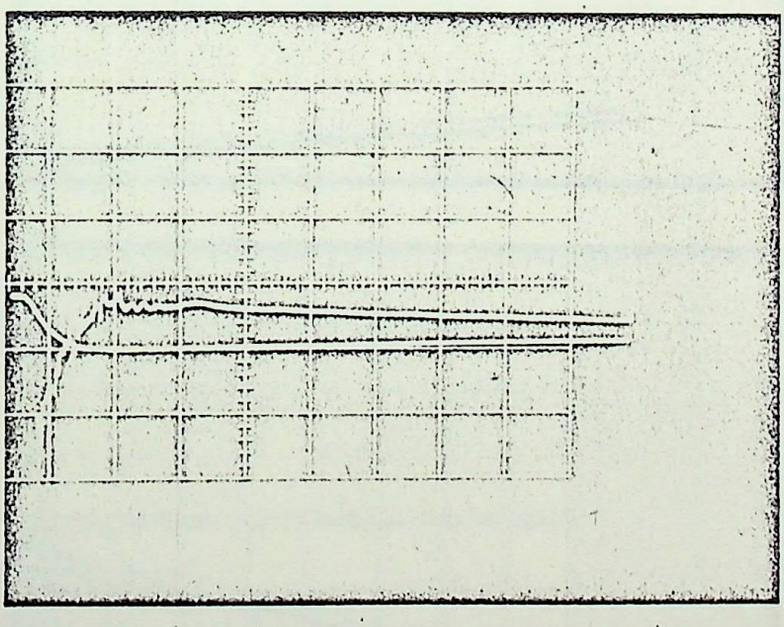
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

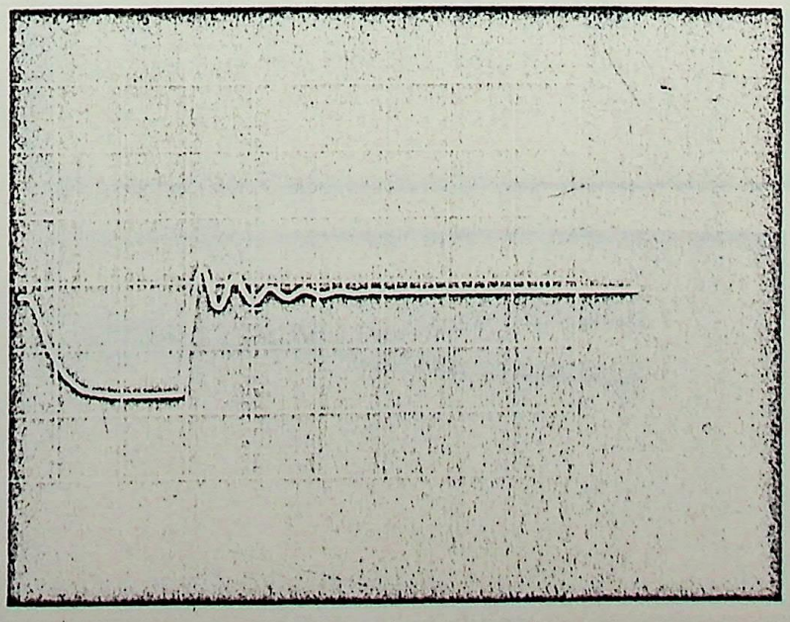
RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 017/73 - IND - Bucha $H_1$



Ondas negativas
Oscilogramas de tensão
e corrente 50 μs, 57,5



Oscilogramas de tensã
e corrente, 10 μs, 57,5

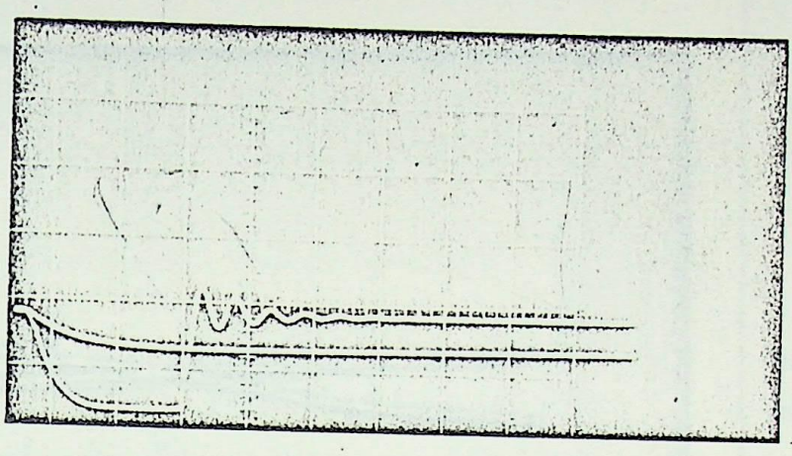


Onda cortada, 110 kV
10 μs, oscilograma de te
são.

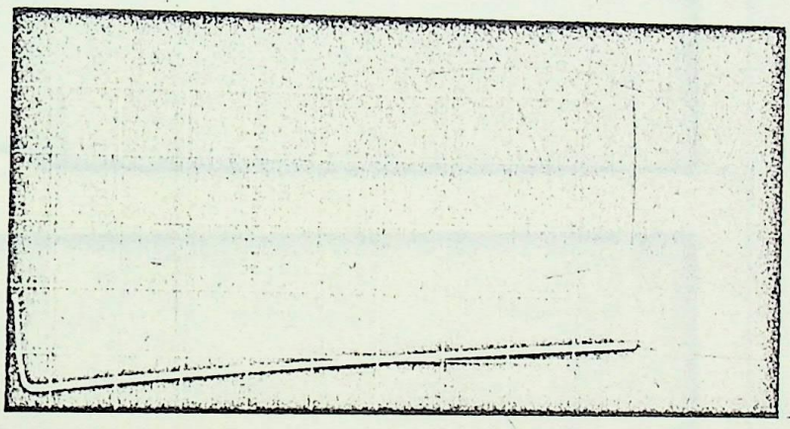
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

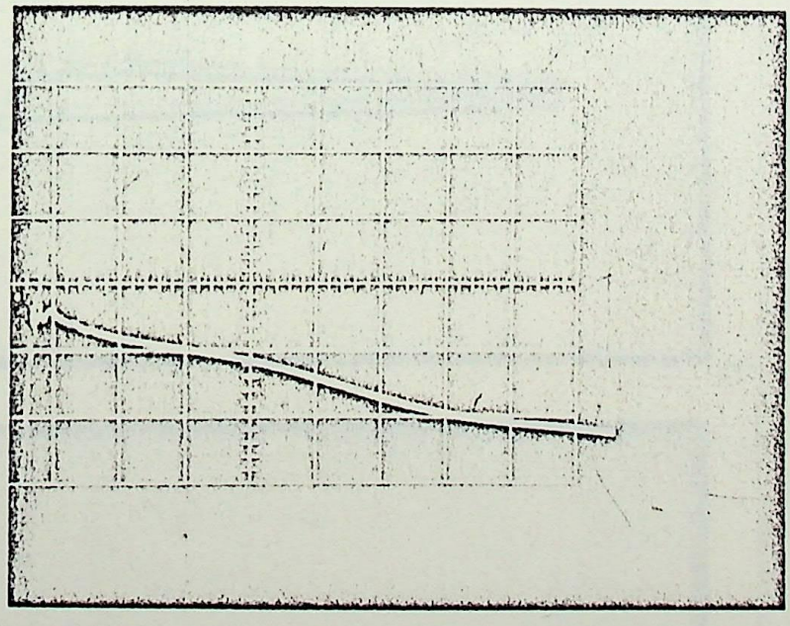
# RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 017/73 - Bucha $H_1$



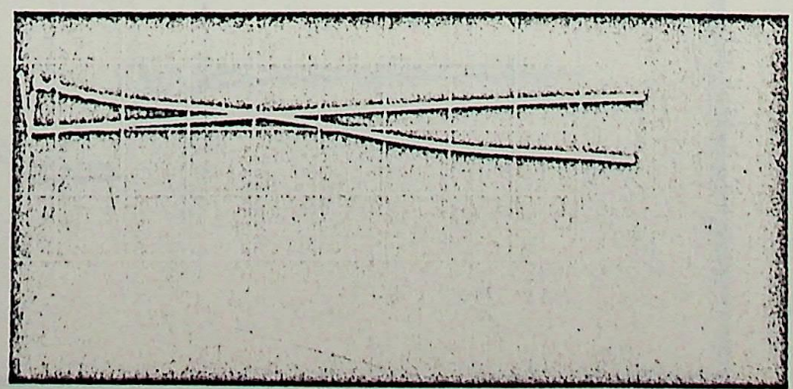
Ondas negativas
Oscilogramas de tensão
onda cortada 110 kV ,
10 μs.
Obs. descarga esporádic



Oscilograma de ten
são 50 μs, 95 kV ond
plena.
Oscilograma de corre
te, 50 μs, 95 kV ,
onda plena.



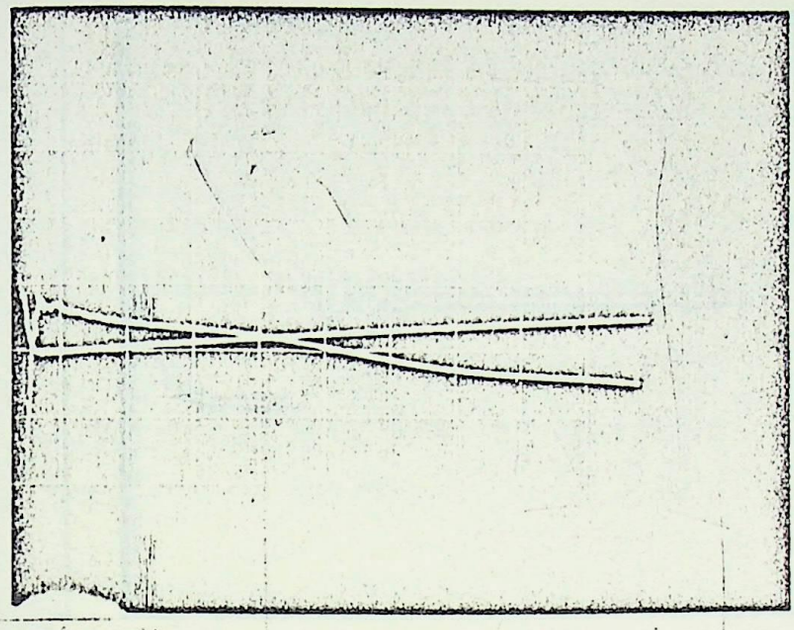
Ondas de tensão e
corrente, 57,5 kV ,
50 μs.



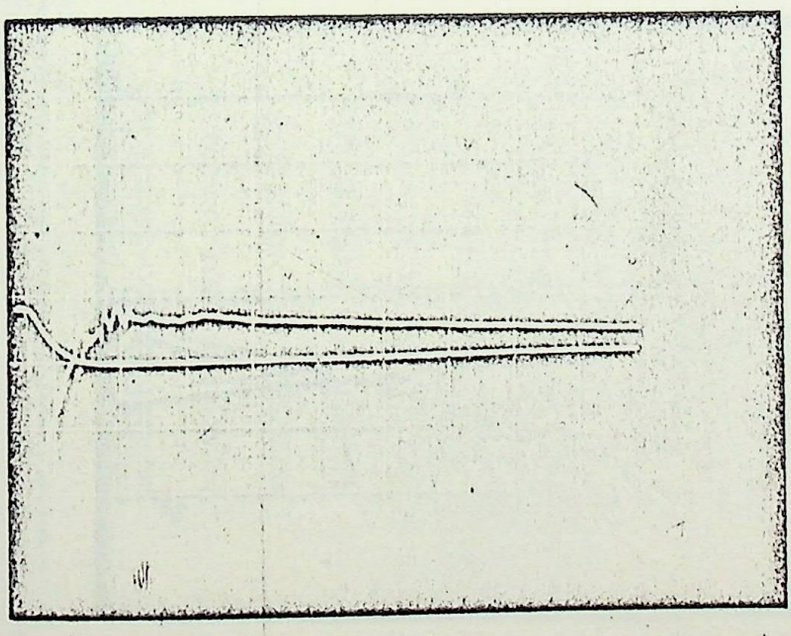
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

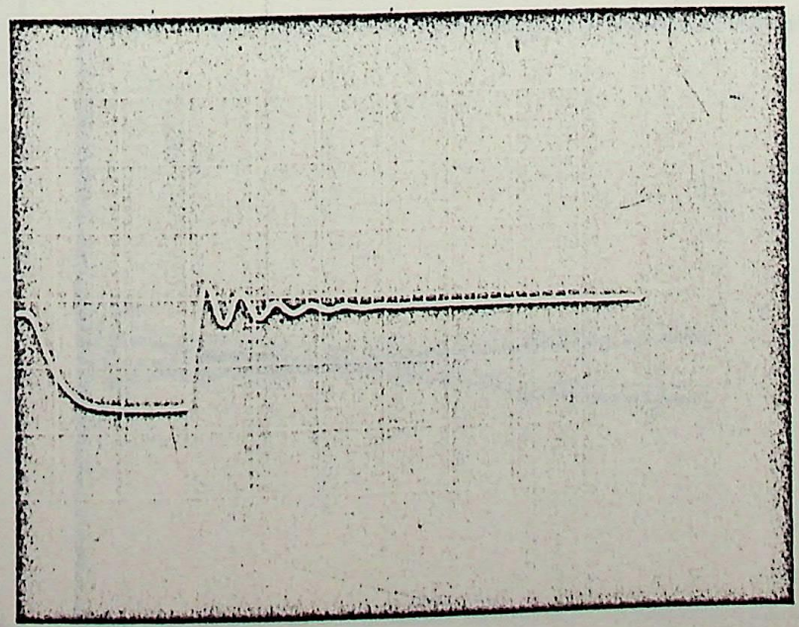
# RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 017/73 - Bucha $H_2$



Ondas negativas
Oscilogramas de tensão e corrente 50 μs, 57,5 kV



Oscilograma de tensão e corrente 10 μs, 57,5 kV.

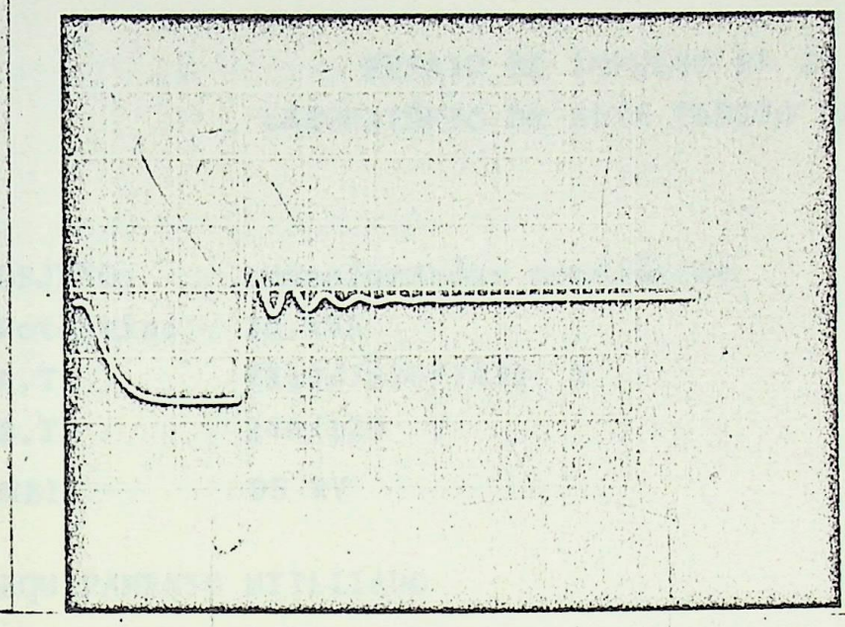


Onda cortada, 110 kV, 10 μs, oscilograma de tensão.

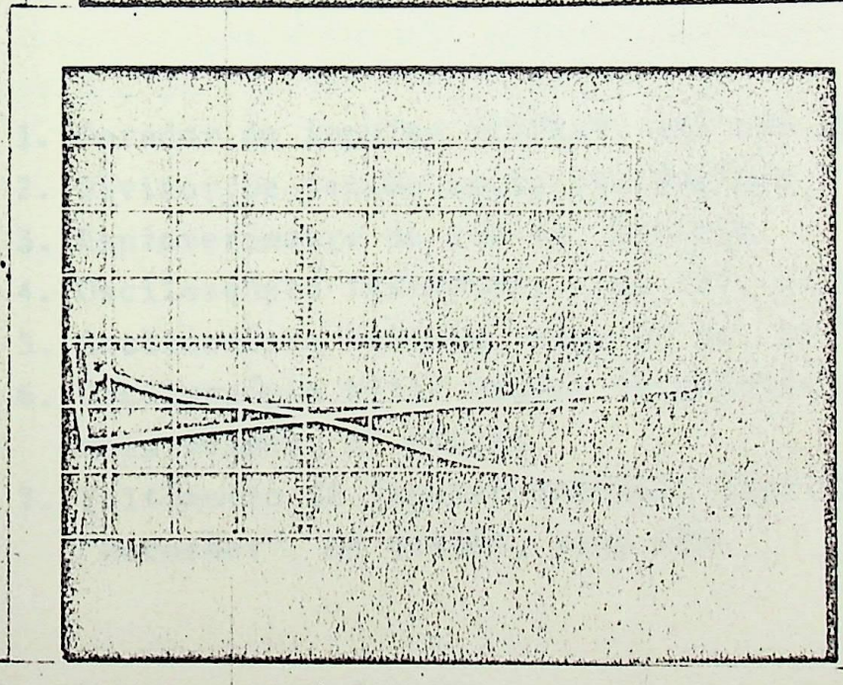
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

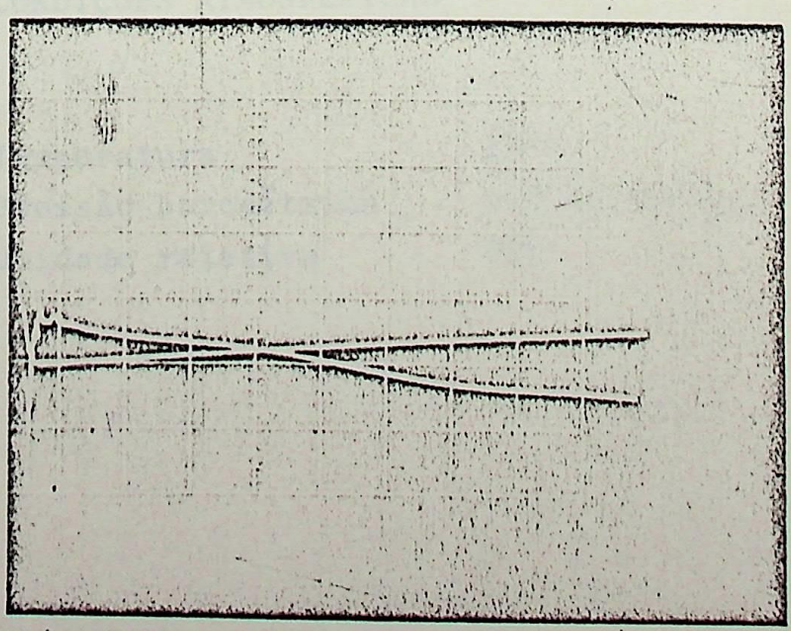
# RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 017/73 - IND - Bucha $H_2$



Oscilograma de tensão onda cortada, 110 kV , 10 μs.



Onda plena, oscilogramas de tensão e corrente, 95 kV, 50 μs.



Onda reduzida para verificação, oscilogramas de tensão e corrente 57,5 kV, 50 μs.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 28
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 10 kVA
A.T. 7810/7620/7430 V
B.T. 240/120 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 27ºC |
| Pressão barométrica | 690 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

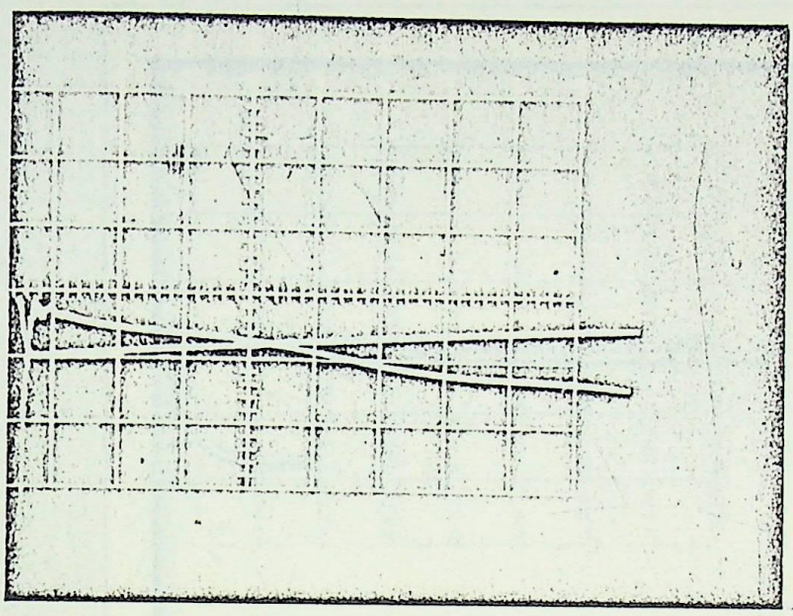
As fotos nas páginas seguintes mostram os oscilogramas de tensão e corrente obtidas.

Os oscilogramas mostram que o transformador não possue defeitos.

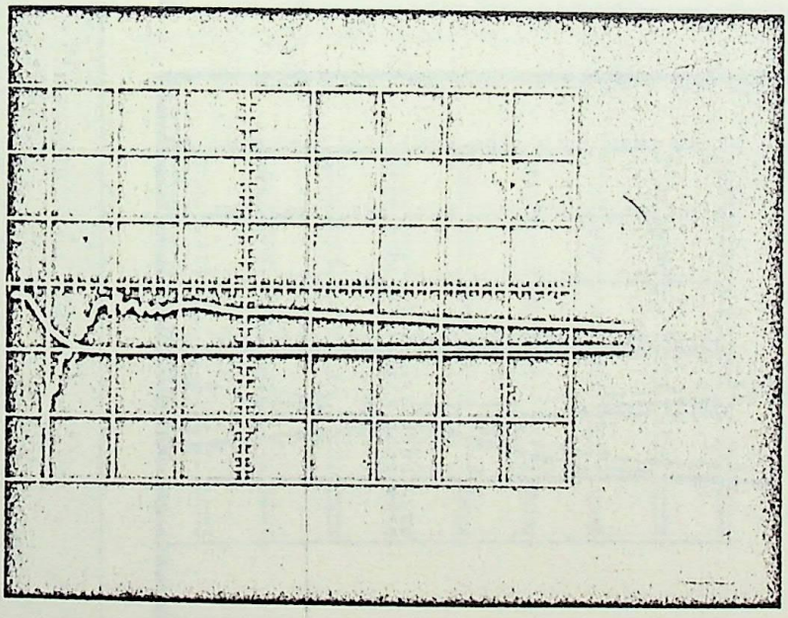
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

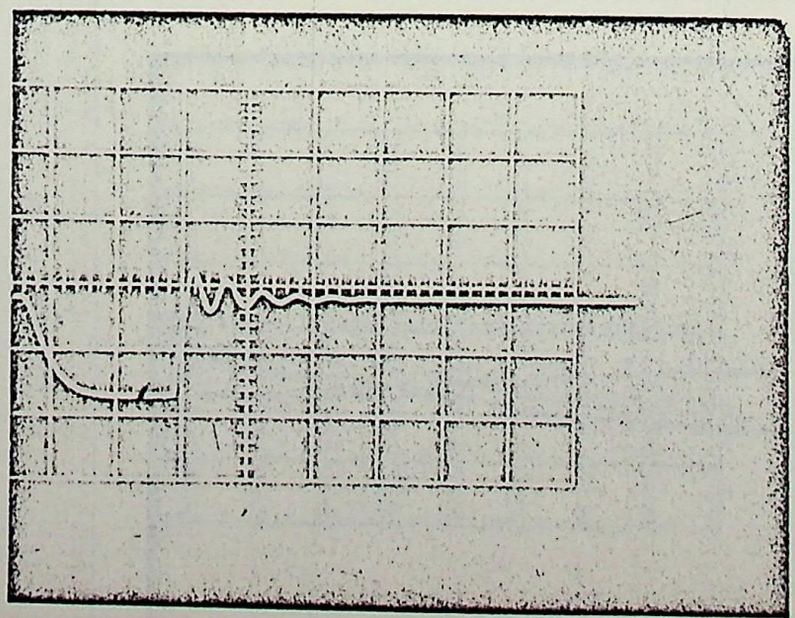
RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 018/73 - IND - Bucha $H_1$



Ondas negativas
Oscilogramas de tensão e corrente 50 μs, 57,5 kV



Oscilogramas de tensão e corrente, 10 μs, 57,5 kV

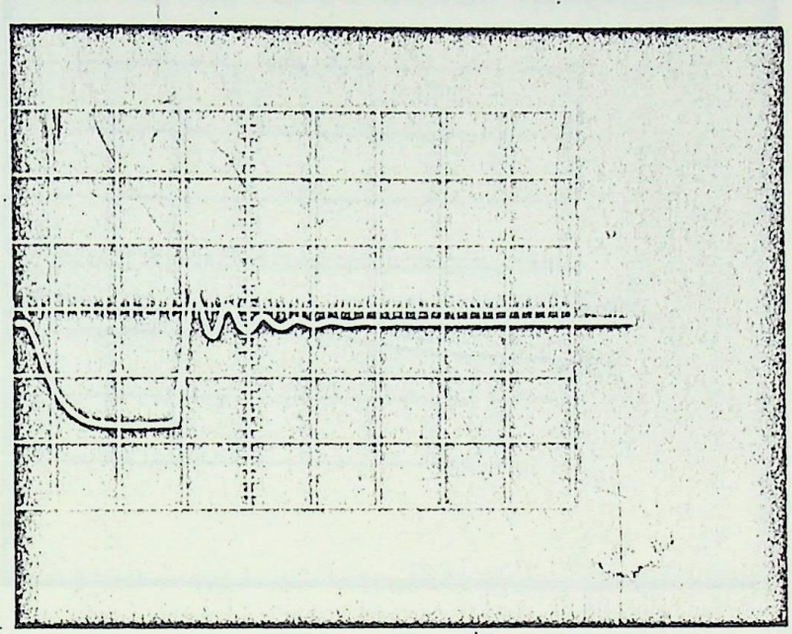


Onda cortada, 110 kV
10 μs, oscilograma de tensão

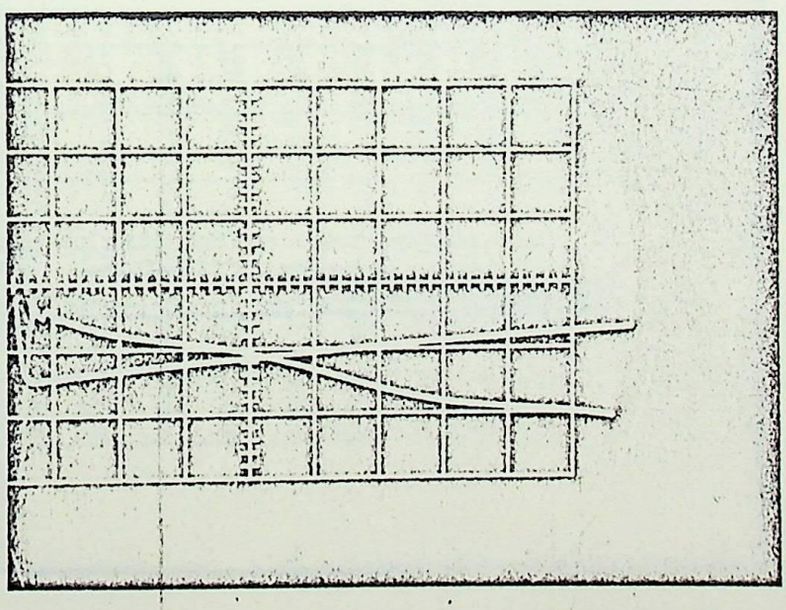
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

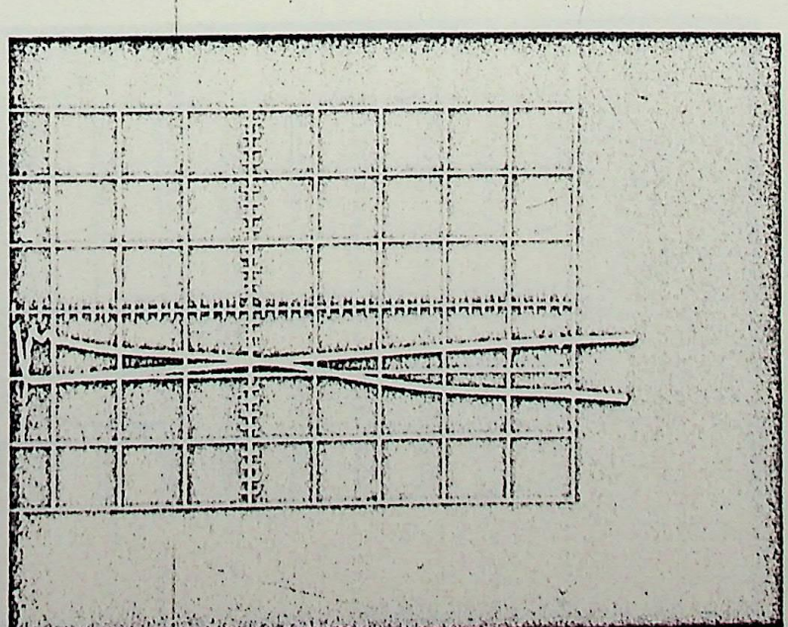
# RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 018/73 - IND - Bucha $H_1$



Oscilograma de tensã
onda cortada, 110 kV,
10 μs.



Onda plena, oscilo
gramas de tensão e
corrente, 95 kV, 50 μs



Onda reduzida para
verificação, oscilo
gramas de tensão e
corrente 57,5 kV, 50 μs

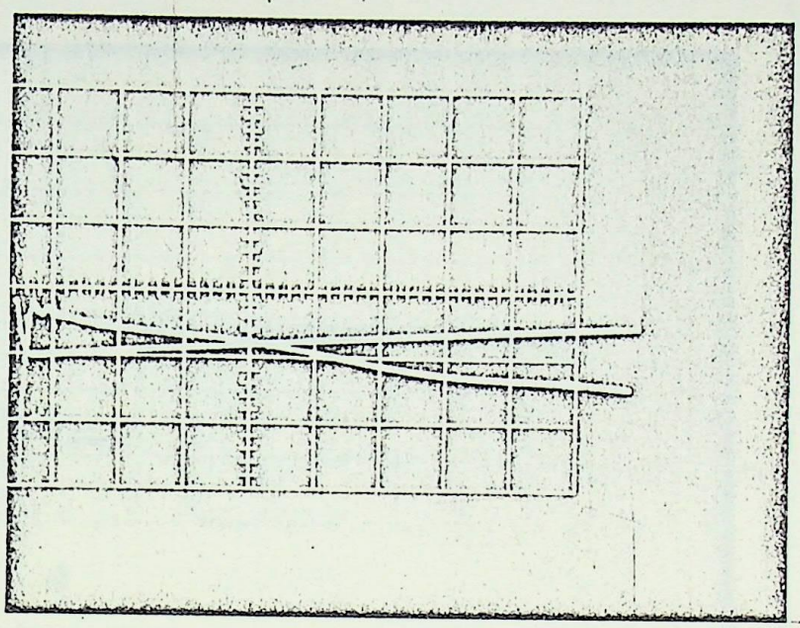


ITAJUBÁ - MG — 37.500

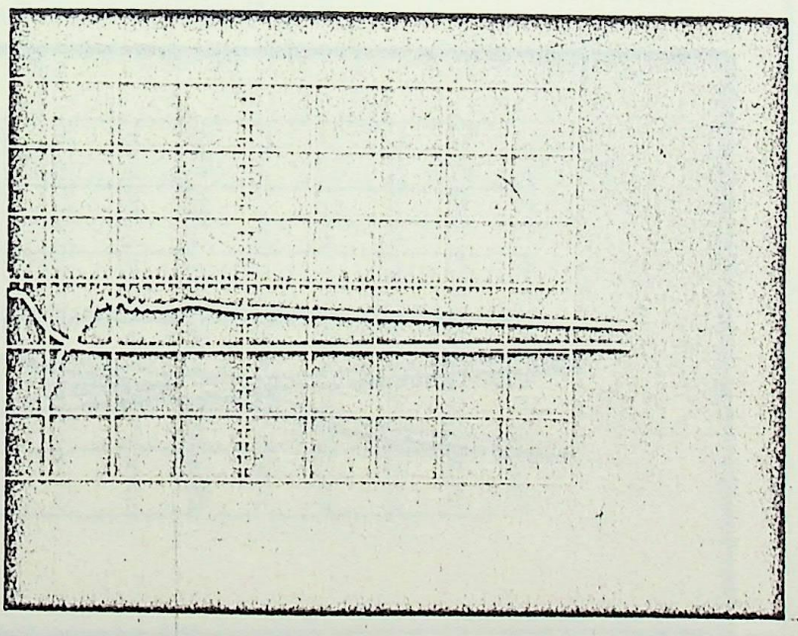
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

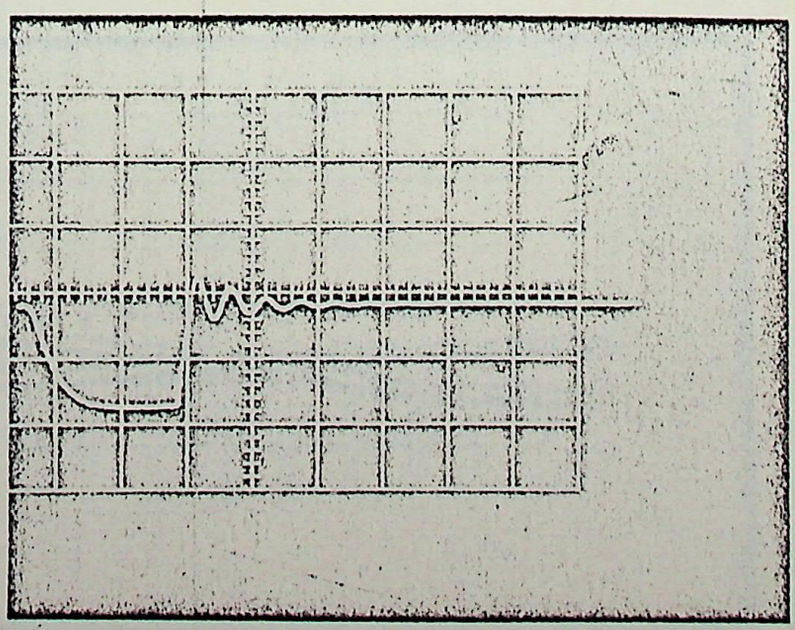
RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 018/73 - IND - Bucha $H_2$



Ondas negativas
Oscilogramas de tensão
e corrente 50 µs, 57,5



Oscilograma de tensão
e corrente 10 µs, 57,5

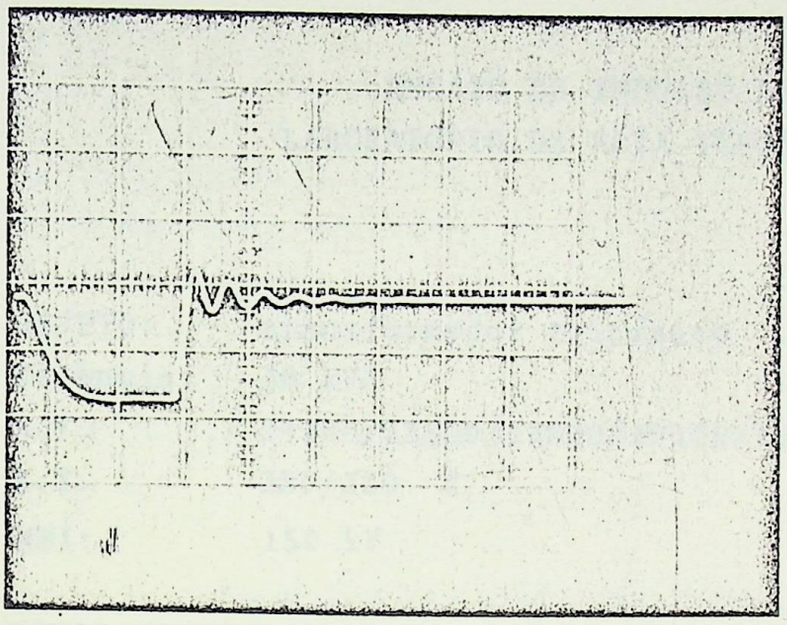


Onda cortada, 110 kV
10 µs, oscilograma de
tensão

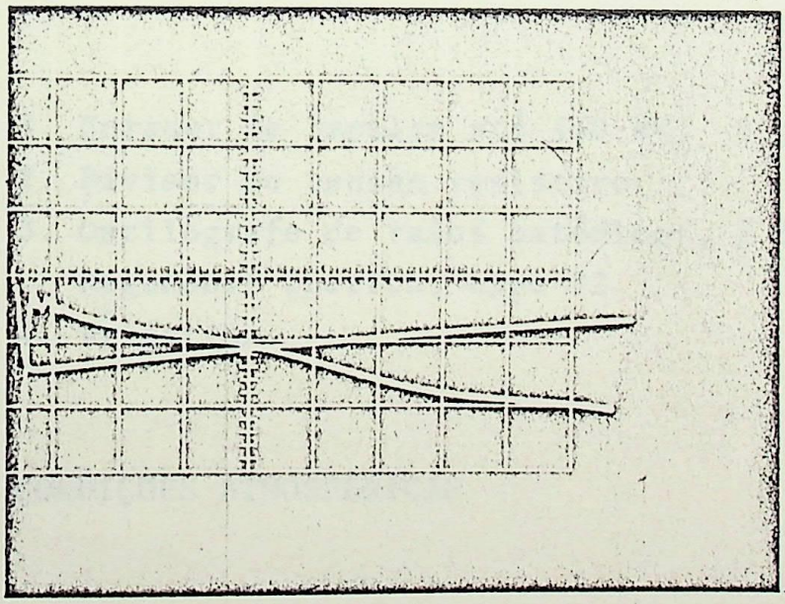
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

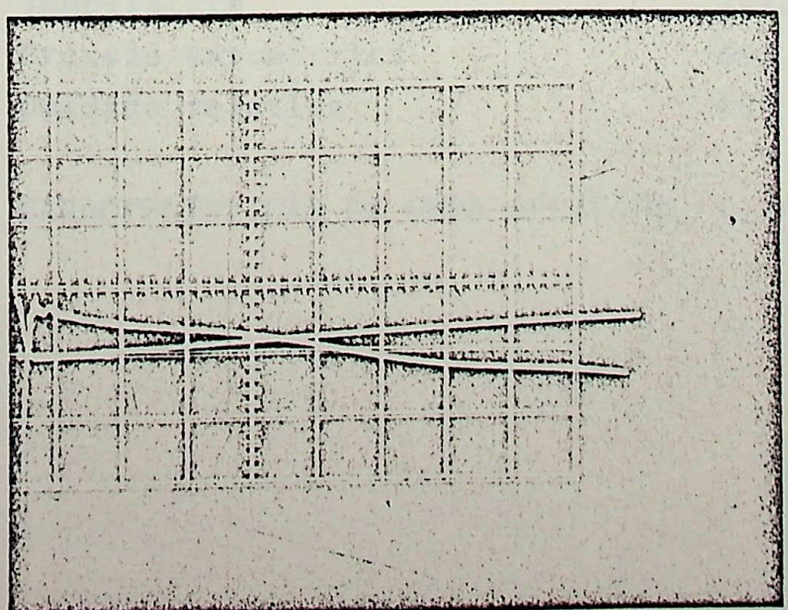
RELATÓRIO DE ENSAIO DE IMPULSO Nº 018/73 - IND - Bucha $H_2$



Oscilograma de tensão onda cortada, 110 kV, 10 µ



Onda plena, oscilograma de tensão e corrente, 95 kV 50 µs.



Onda reduzida para verificação, oscilograma de tensão e corrente 57,5 kV 50 µs.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 29
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 30 kVA
A.T. 24200/23100/22000/20900/19800 V
B.T. 380/220 V
NBI: 150 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72
4. Trigatron

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 693,2 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

CARACTERÍSTICAS DA ONDA APLICADA 1,2/50

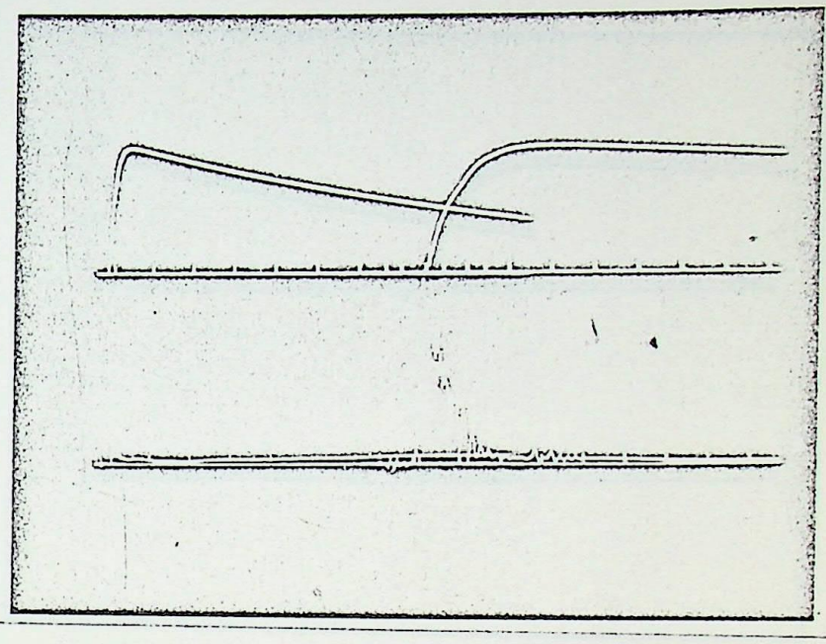
VALORES DE CRISTA

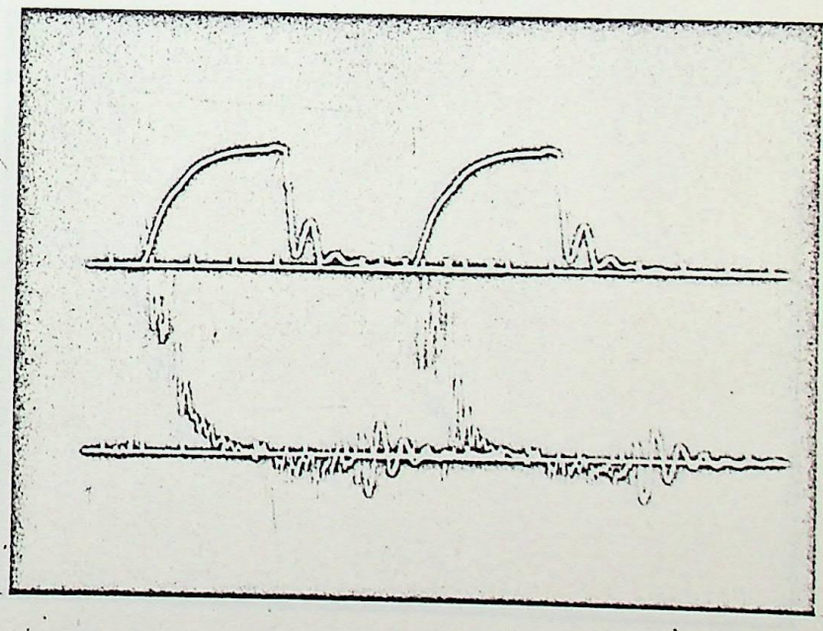
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 75 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 75 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 175 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 175 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 150 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 75 kV (50 µs) |

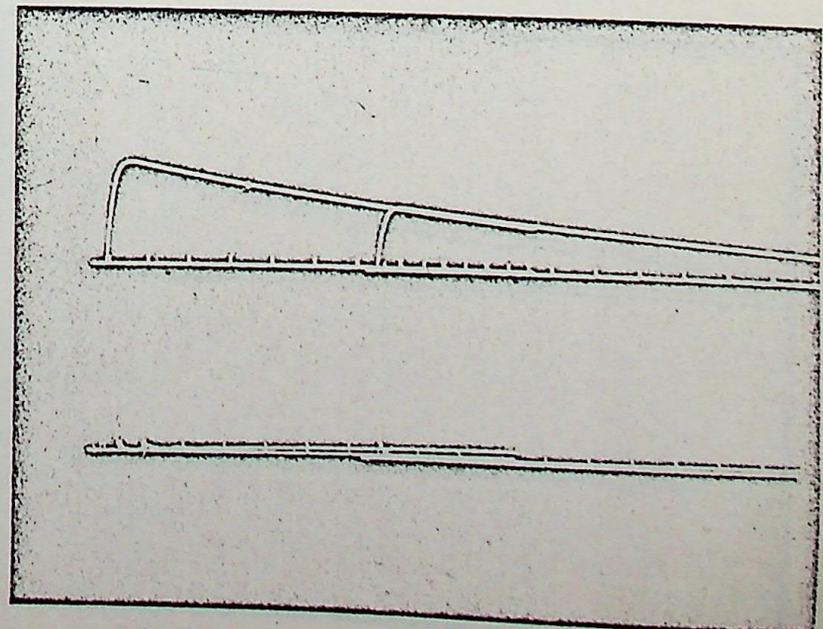
As ondas cortadas, de tensão, 175 kV, evidenciam um curto circuito entre espiras.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0324/72 - IND - BUCHA $H_1$

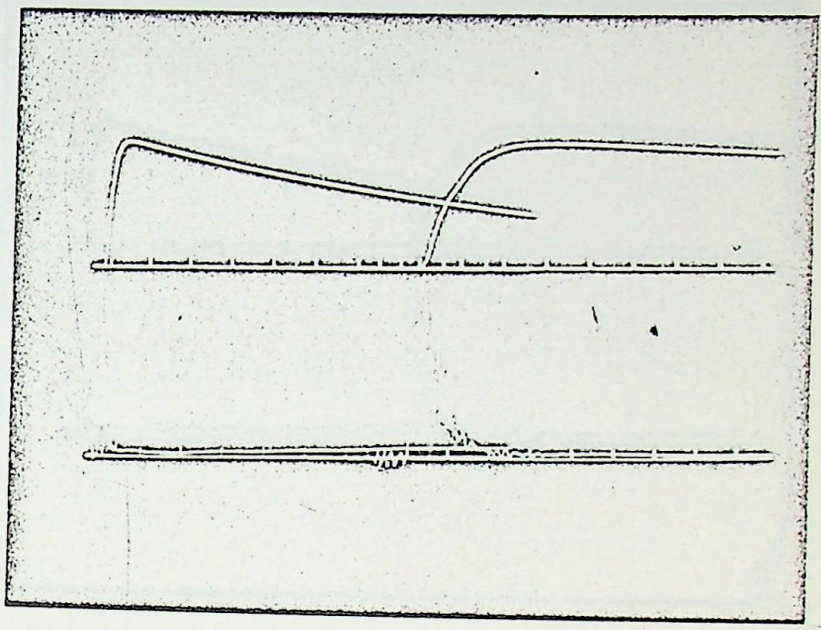


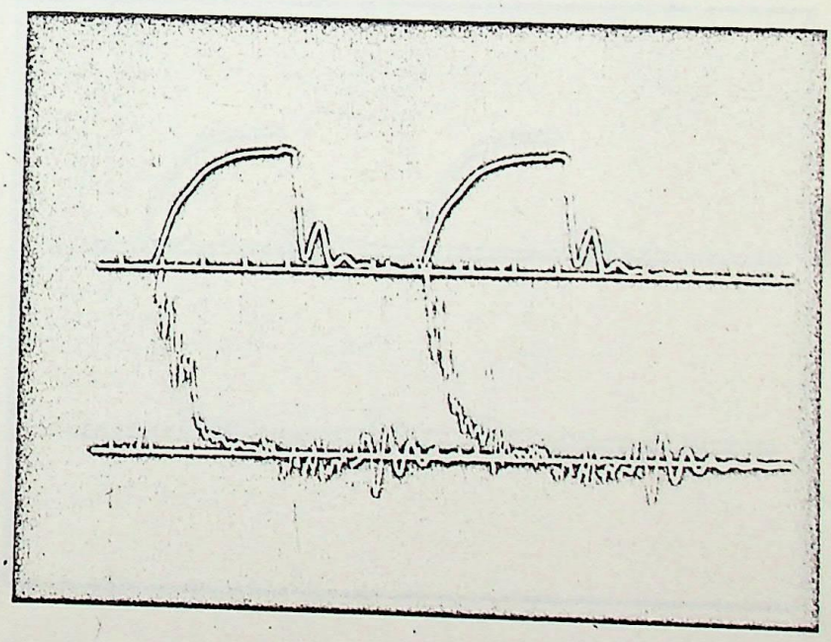


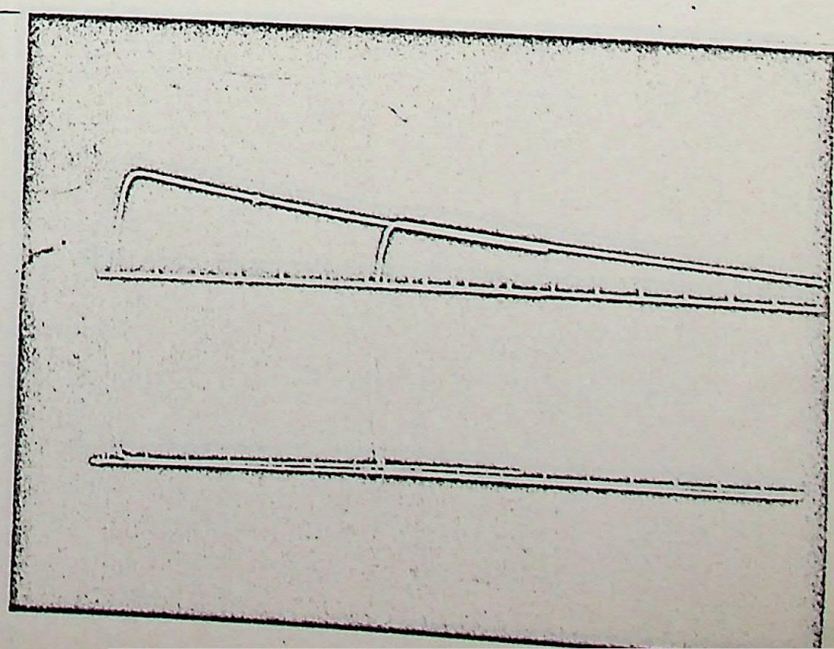


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0324/72 - IND - BUCHA $H_2$

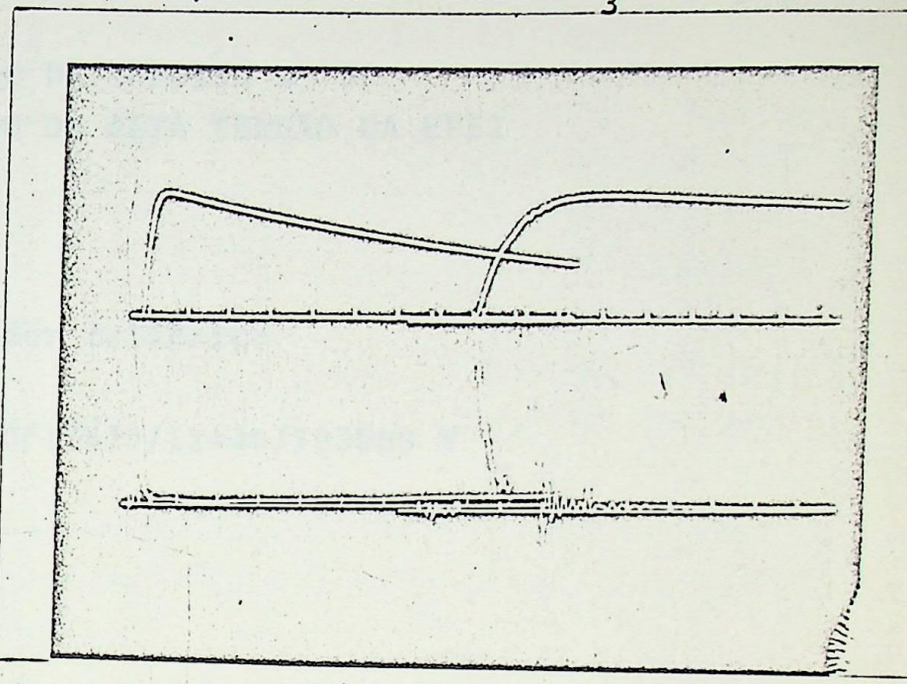


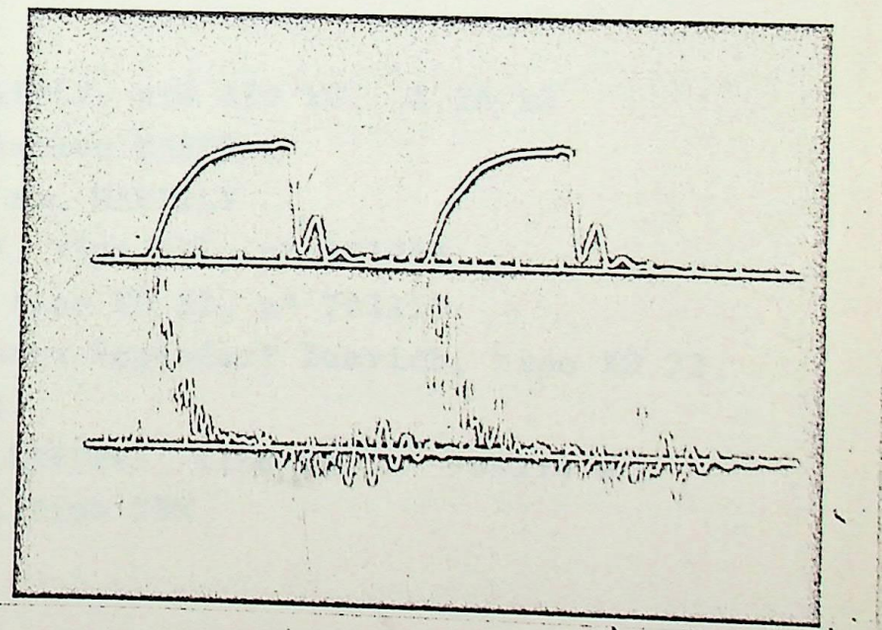


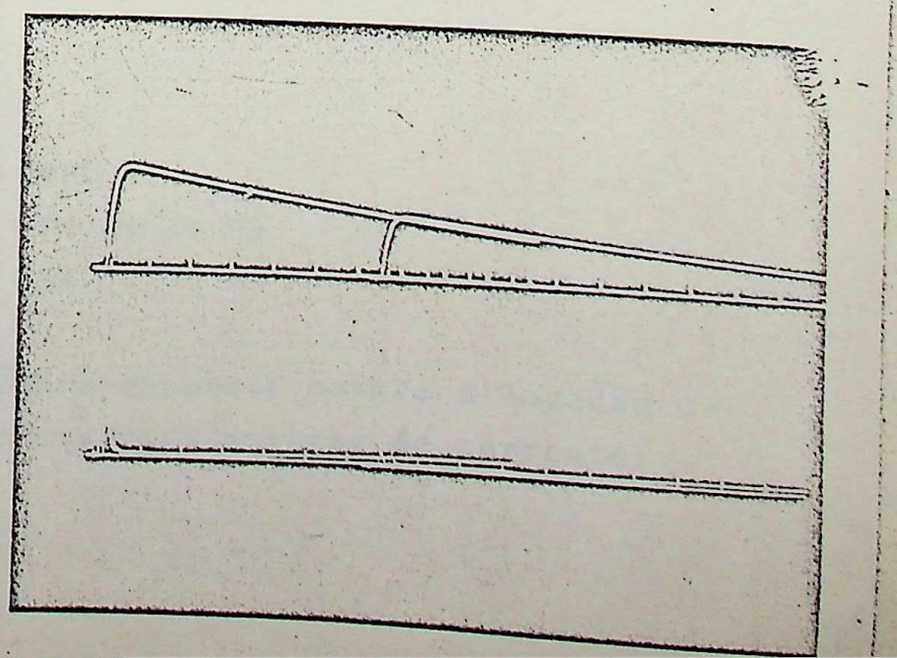


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0324/72 - IND - BUCHA $H_3$







ENSAIO DE IMPULSO Nº 30
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 45 kVA
A.T. 13530/13200/12870/11430/103900 V
B.T. 220/127 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001068
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo KO 72, dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 694 mm de Hg |
| Umidade relativa | 70% |

O esquema da página seguinte mostra a ligação utilizada para as leituras dos oscilogramas de corrente.

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

As fotos mostram do lado esquerdo os oscilogramas de tensão na ordem acima enumerados e à direita os respectivos oscilogramas de corrente.

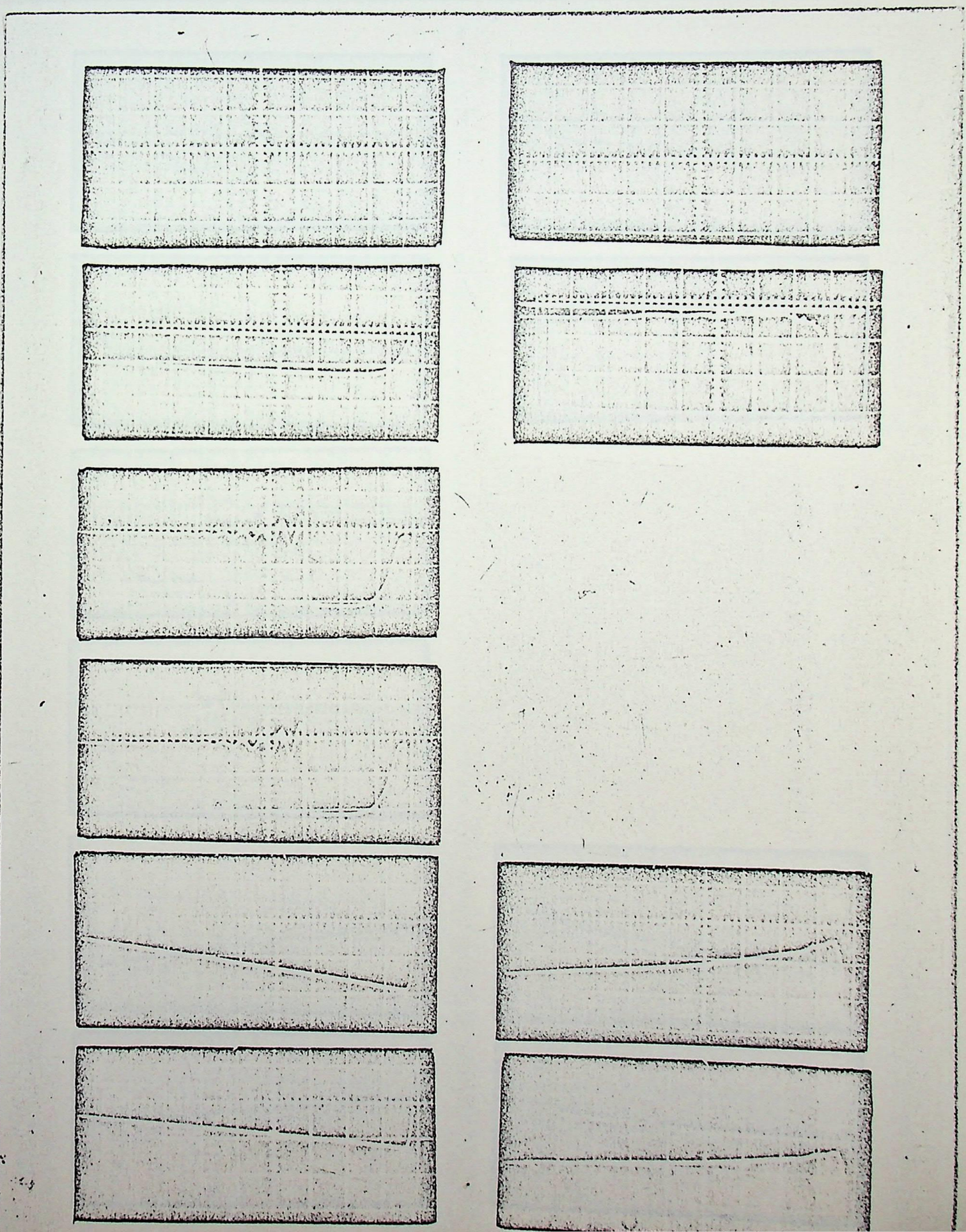
Por ter falhado a onda reduzida da bucha $H_1$, o ensaio foi repetido, nesta bucha e os oscilogramas, em polaroid estão nas últimas páginas, na mesma sequência acima.

Os oscilogramas mostram que o transformador não possue defeitos.

Em virtude de defeito no osciloscópio de dois feixes o ensaio foi feito com o Tektronix, motivo pelo qual foram dispensados os oscilogramas de corrente das ondas cortadas.

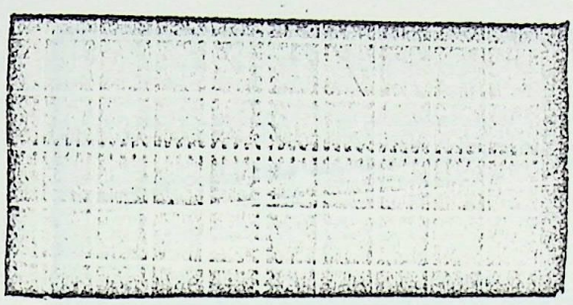
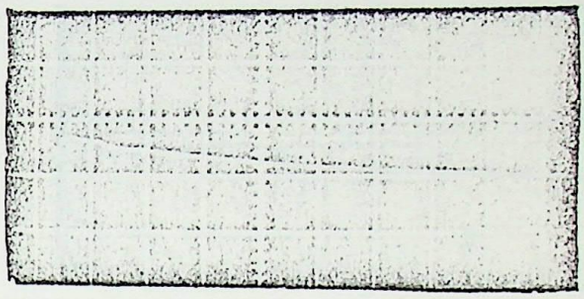
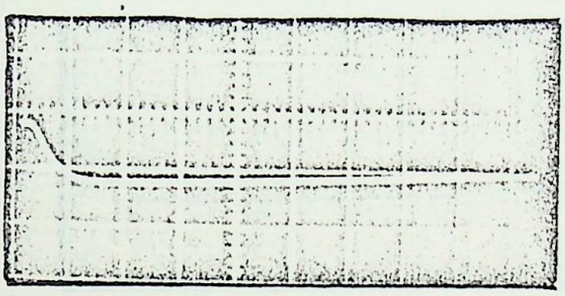
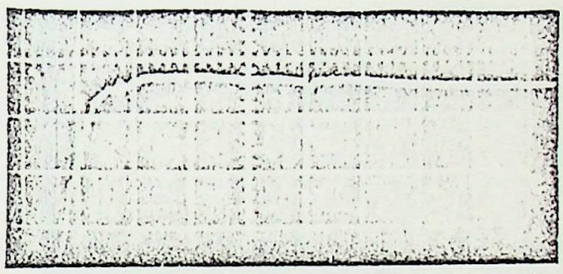
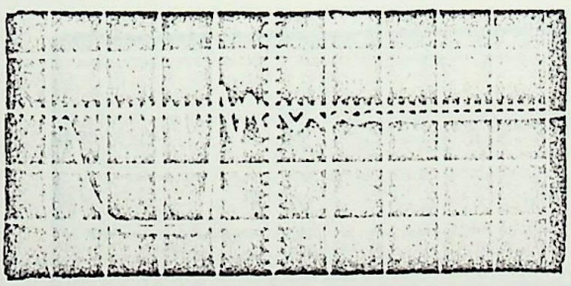
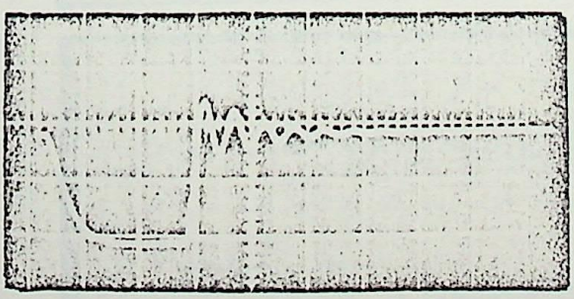
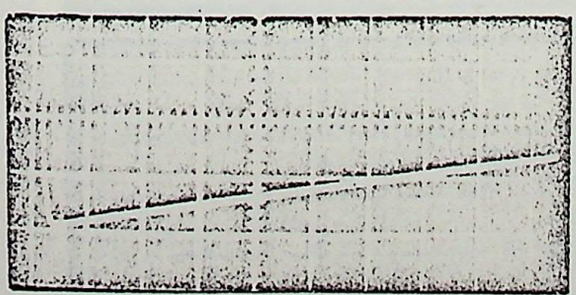
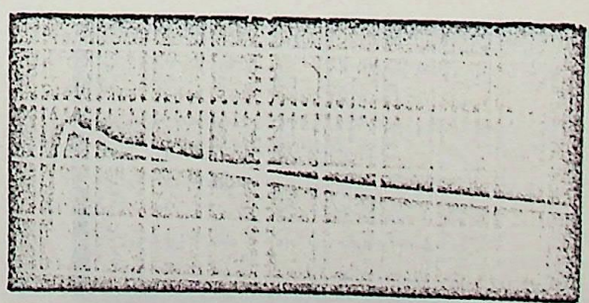
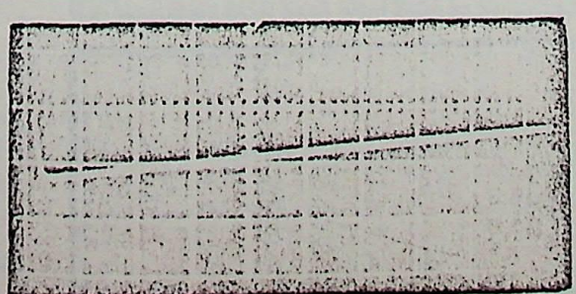
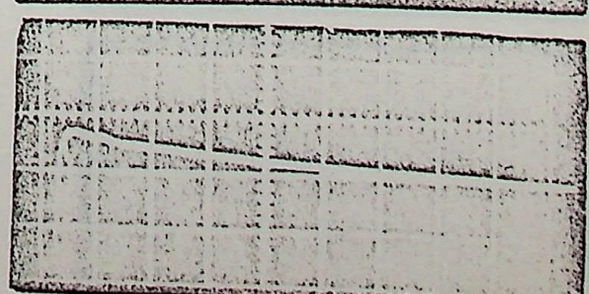
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

ENSAIO Nº 0014/73 - Bucha $H_1$



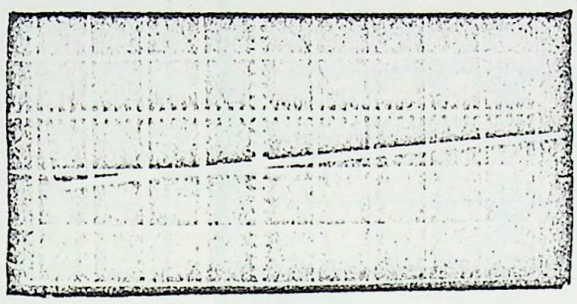
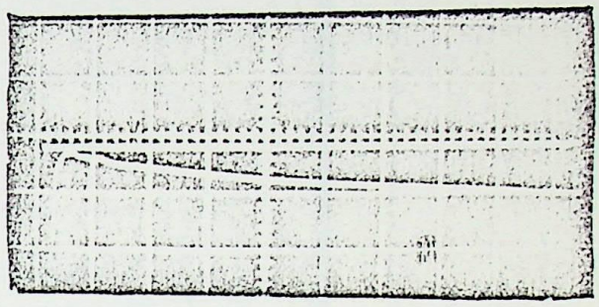
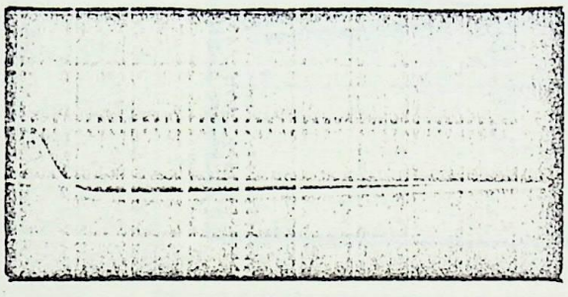
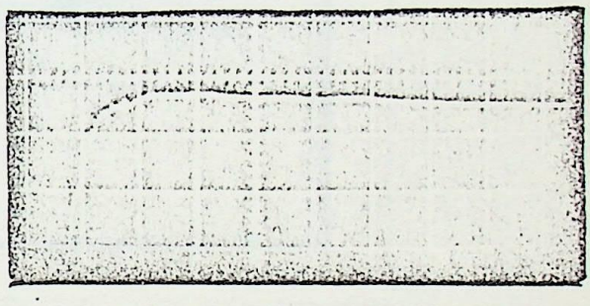
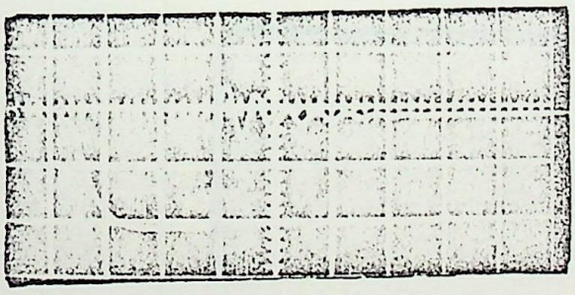
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITARIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

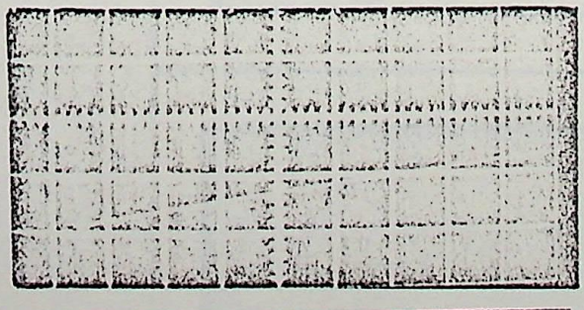
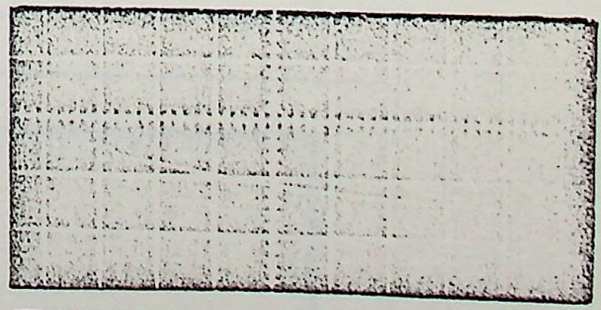
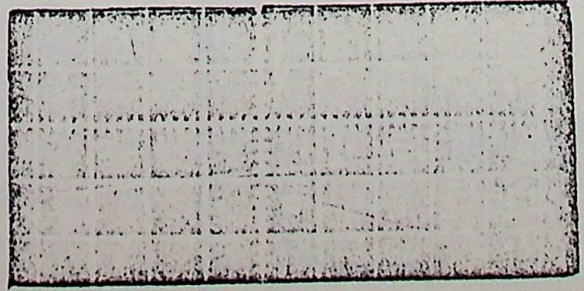
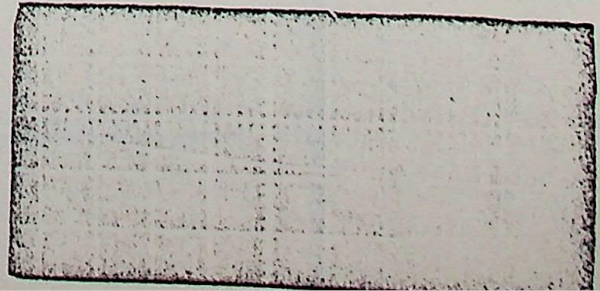
# ENSAIO Nº 0014/73 - Bucha $H_2$

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITARIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

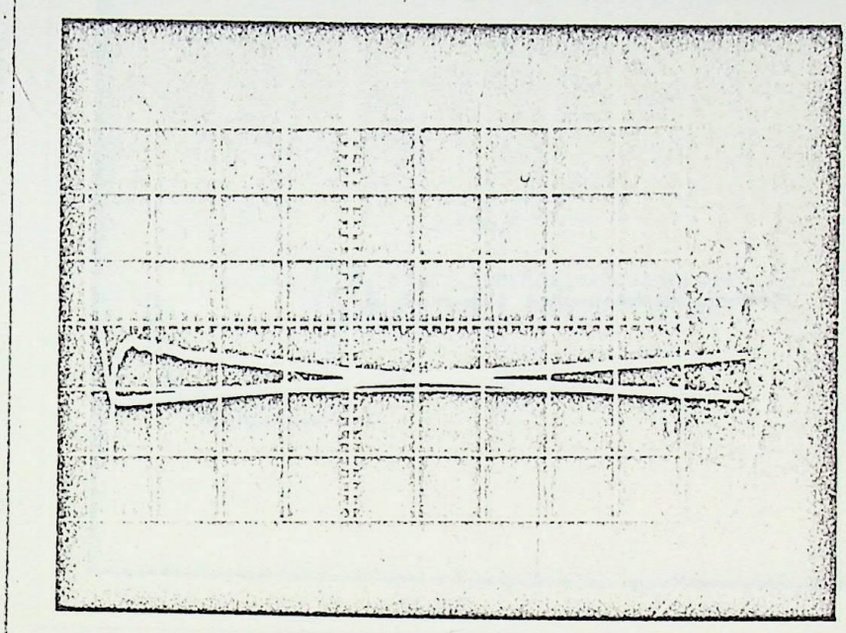
# ENSAIO Nº 0014/73 - Bucha $H_3$

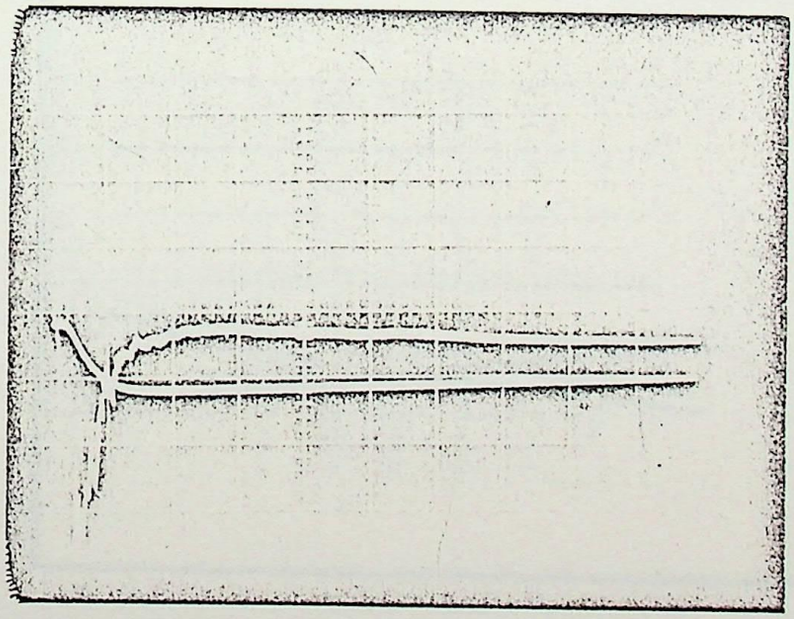






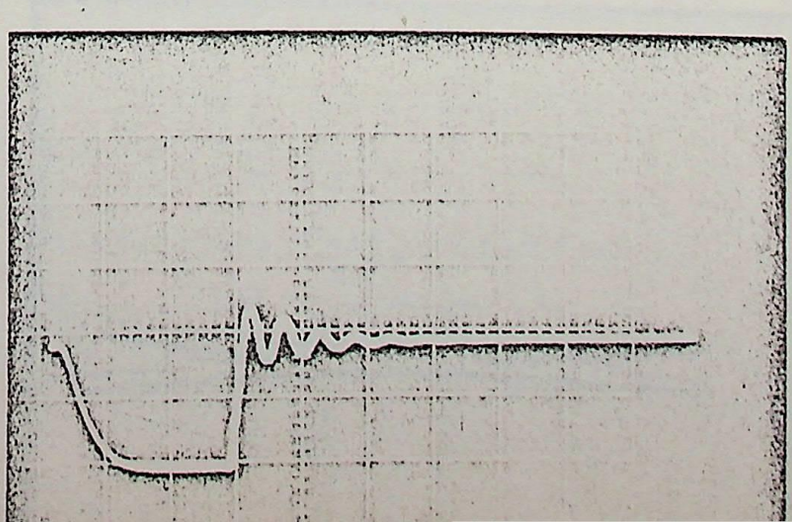





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

ENSAIO Nº 0014/73 - Bucha $H_1$

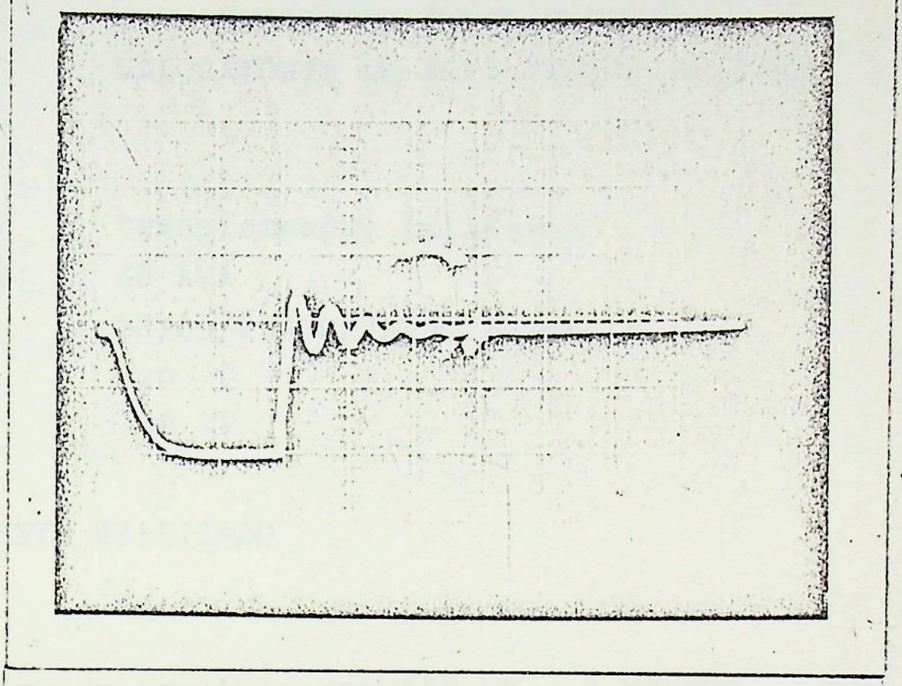


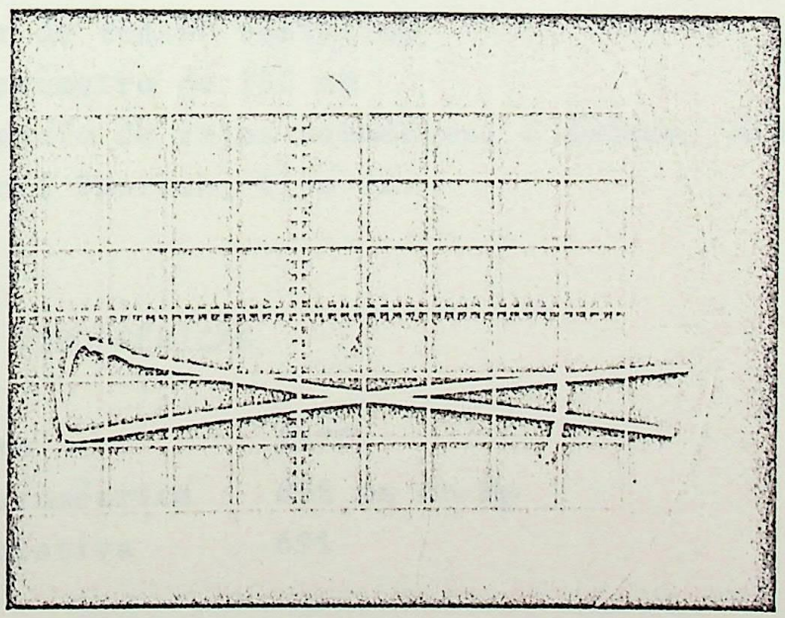


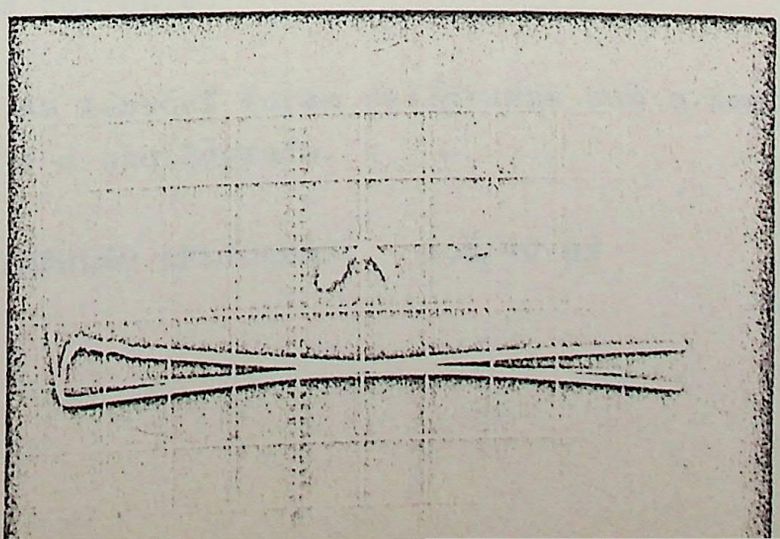


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS UNIVERSITÁRIOS
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

ENSAIO Nº 0014/73 - Bucha $H_1$







ENSAIO DE IMPULSO Nº 31
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 30 kVA |
| A.T. | 23100/22000/20900/19800 V |
| B.T. | 220 V |
| NBI: | 150 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 21ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm de Hg |
| Umidade relativa | 69% |

O esquema da página seguinte mostra a ligação para leitura da corrente.

As tensões foram calibradas com o espinterômetro de 150 mm e o oscilógrafo.

ONDAS DE IMPULSO APLICADAS: 1,5/40 µs

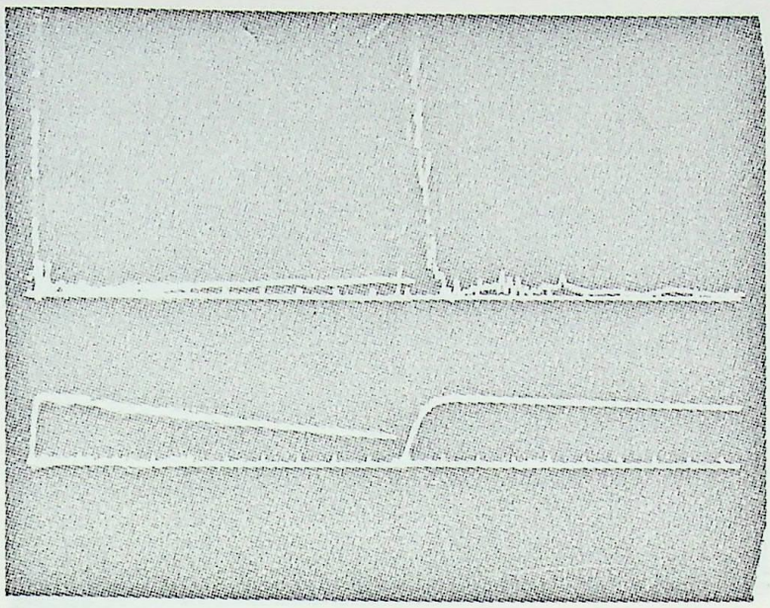
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 75 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 75 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada I | 175 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada II | 175 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 150 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 75 kV (50 µs) |

A observação dos oscilogramas mostra uma oscilação anormal entre 1 e 5 µs na bucha III e das ondas plenas, 150 kV, buchas I e II. Também não houve superposição das ondas de 75 kV e nem apresentaram as mesmas características da onda plena.

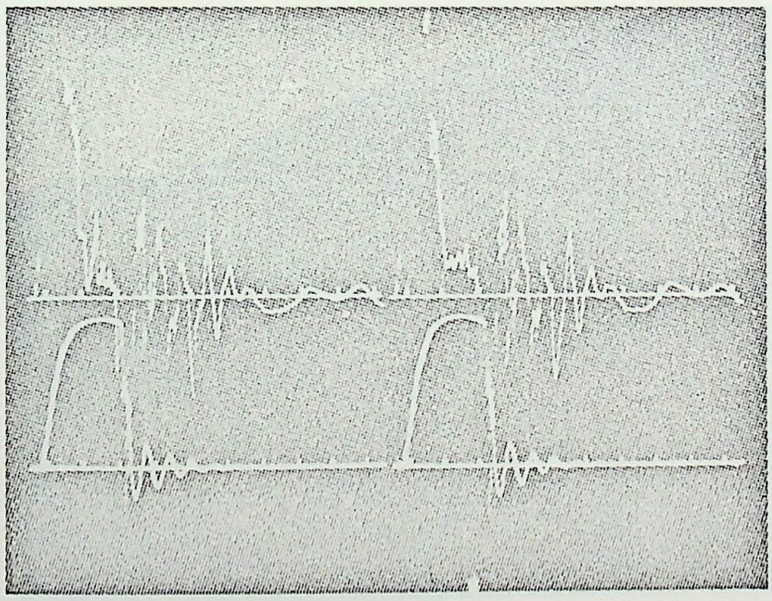
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - BIBLIOTECA



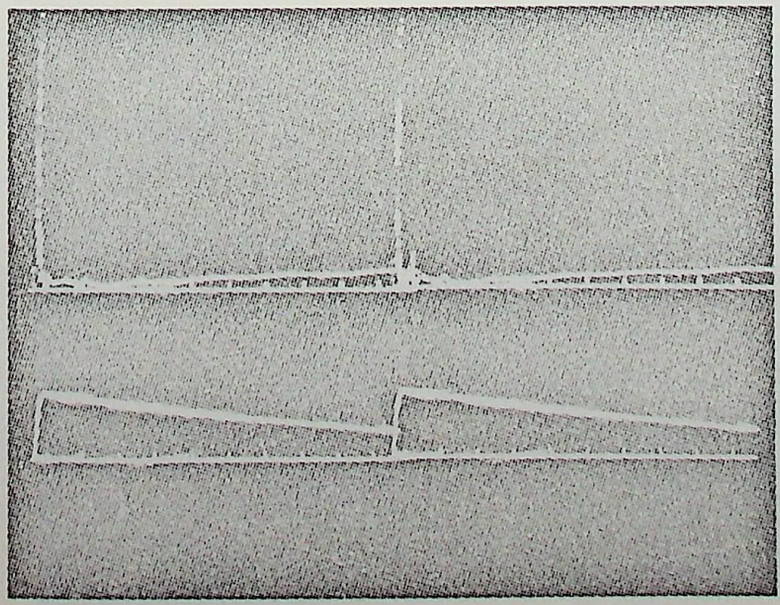
Esquerda: oscilograma polaroid nº 0239 C,T/69, 75 kV, 50 μs, Bucha III

Direita: oscilograma polaroid nº 0240 C,T/69, 75 kV, 50 μs, Bucha III



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0251 C,T/69, 175 kV, 10 μs, Bucha III

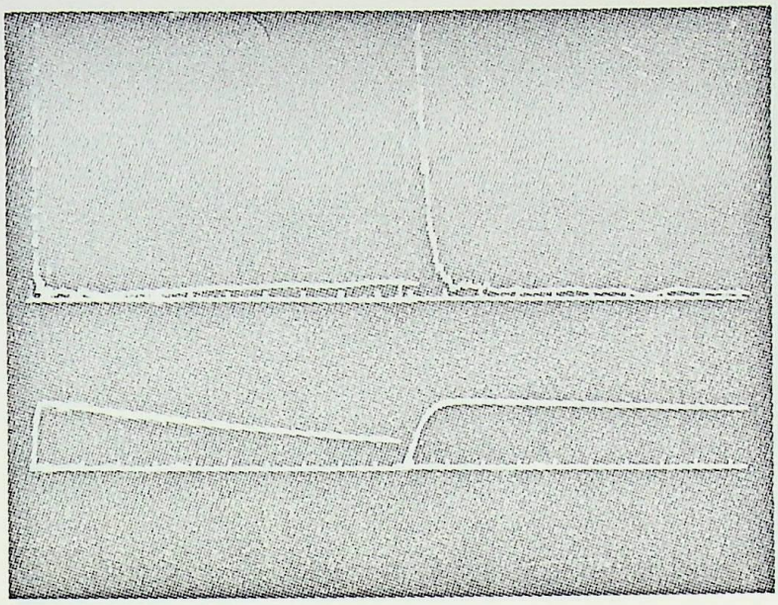
Direita: oscilograma polaroid nº 0252 C,T/69, 175 kV, 10 μs, Bucha III



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0257 C,T/69, 75 kV, 50 μs, Bucha II

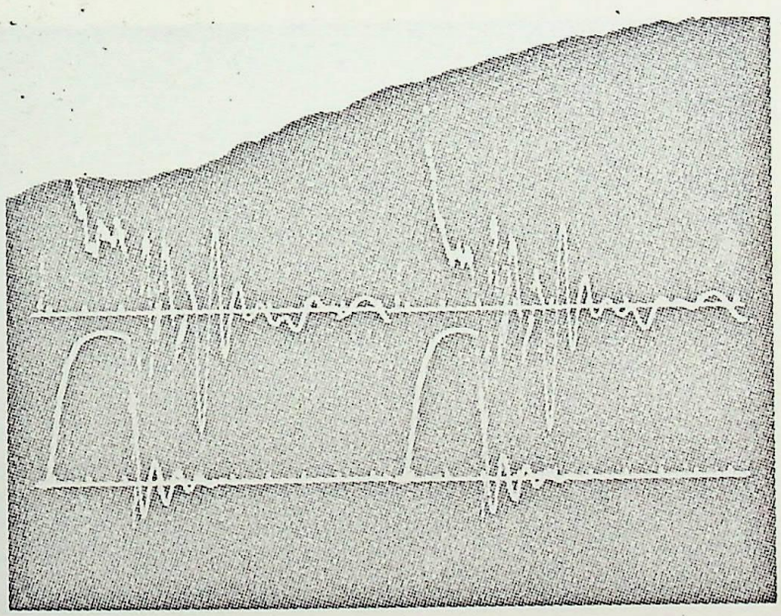
Direita: oscilograma polaroid nº 0258 C,T/69, 75 kV, 50 μs, Bucha III

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Fort. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



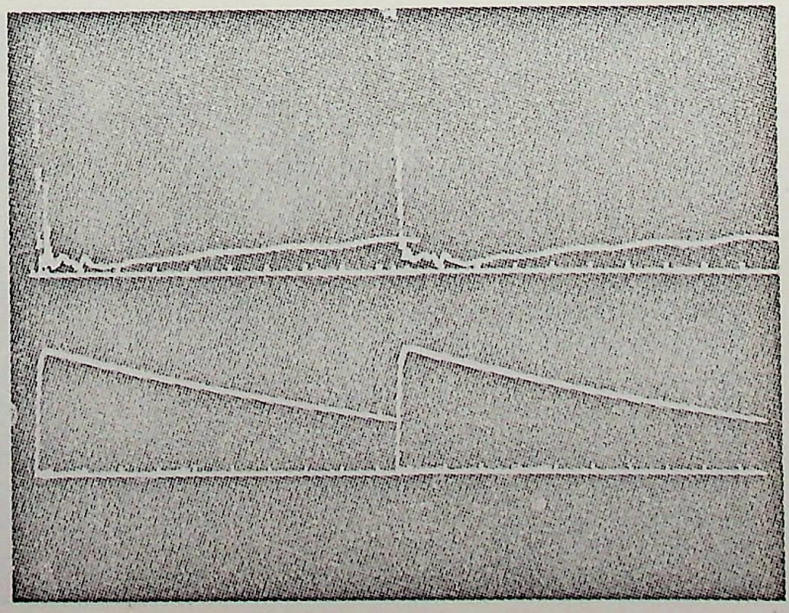
Esq.: oscilograma polaroid nº 0241 C,T/69, 75 kV, 50 µs Bucha II

Dir.: oscilograma polaroid nº 0242 C,T/69, 75 kV, 10 µs Bucha II



Esq.: oscilograma polaroid nº 0249 C,T/69, 175 kV,10 µ Bucha II

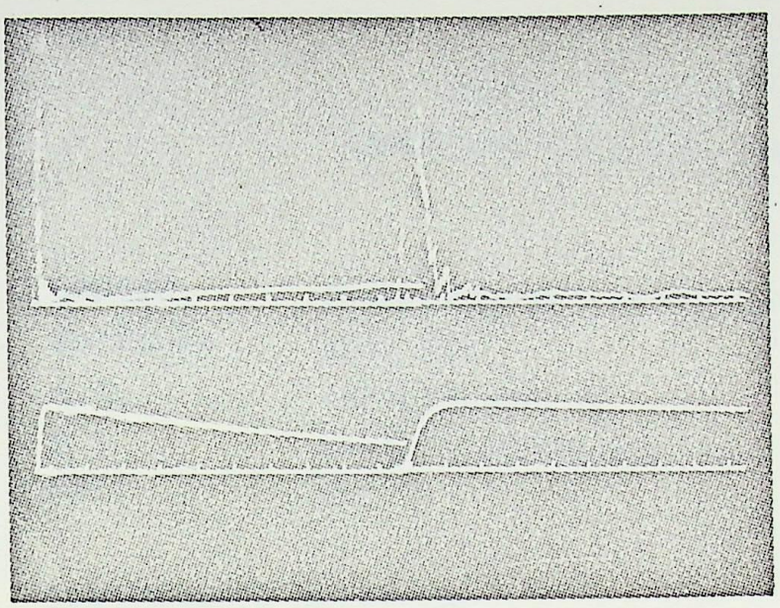
Dir.: oscilograma polaroid nº 0250 C,T/69, 175 kV,10 µ Bucha II



Esq.: oscilograma polaroid nº 0253 C,T/69, 150 kV,50 µ Bucha II

Dir.: oscilograma polaroid nº 0254 C,T/69, 150 kV,50 µ Bucha III

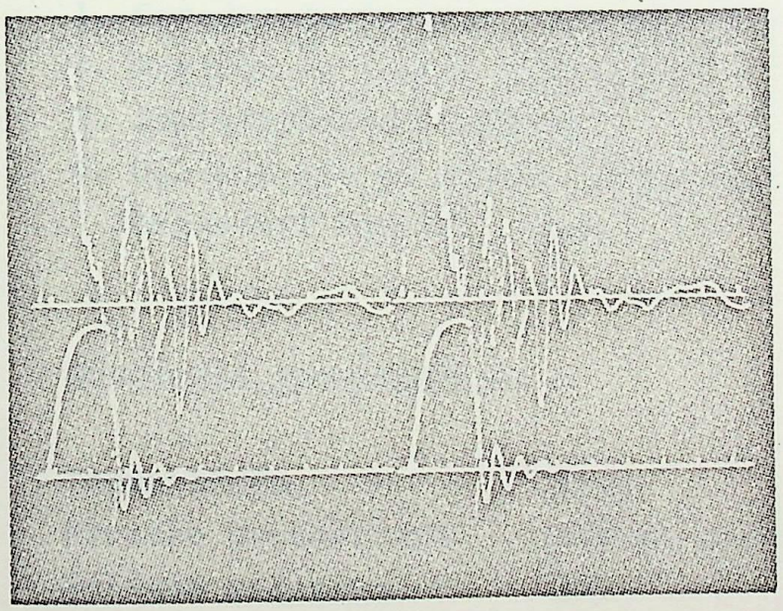
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Fort. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
91b 2698 - Pós-Grad. 2465



ENSAIO DE IMPULSO
Nº 0130/69 - IND

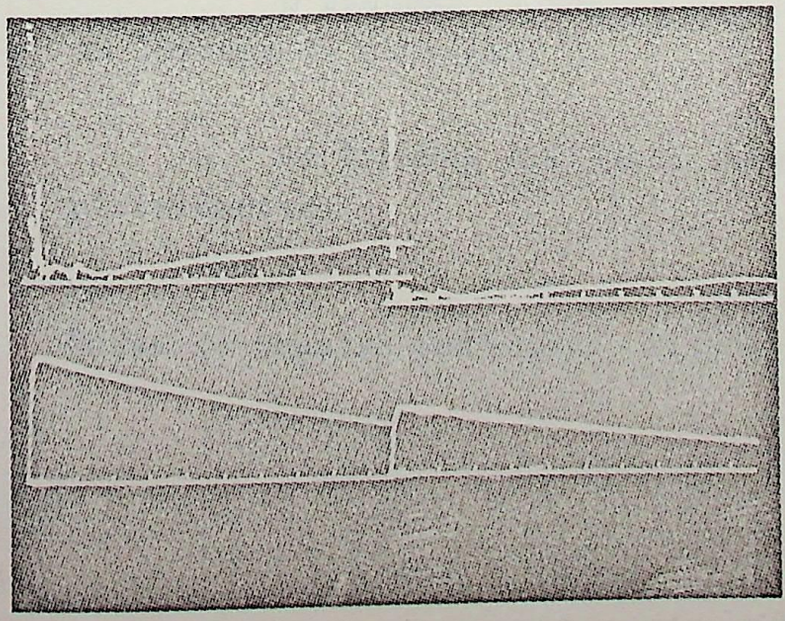
Esquerda : oscilograma pola-
roid nº 0243 C,T/69
Bucha I, 75 kV, 50 μs.

Direita : oscilograma polaro
nº 0244 C,T/69, Bucha I, 75 k
10 μs.



Esq.: osc. pol. nº 0247 C,T/69
10 μs, 175 kV, Bucha I

Dir. : osc. pol. nº 0248 C,T/
175 kV, 10 μs, Bucha I



Esq.: osc. pol. nº 0255 C,T/69
150 kV, 50 μs, Bucha I

Dir.: osc. pol. nº 0256 C,T/69
75 kV, 50 μs, Bucha I

ENSAIO DE IMPULSO Nº 32
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 1000 kVA
A.T. 40000/30000 V
B.T. 14400/13800/13200 V
NBI: 250 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 24°C |
| Pressão barométrica | 696 mm de Hg |
| Umidade relativa | 73% |

O esquema da página seguinte mostra a ligação para leitura da corrente.

As tensões aplicadas foram calibradas com o espinterômetro.

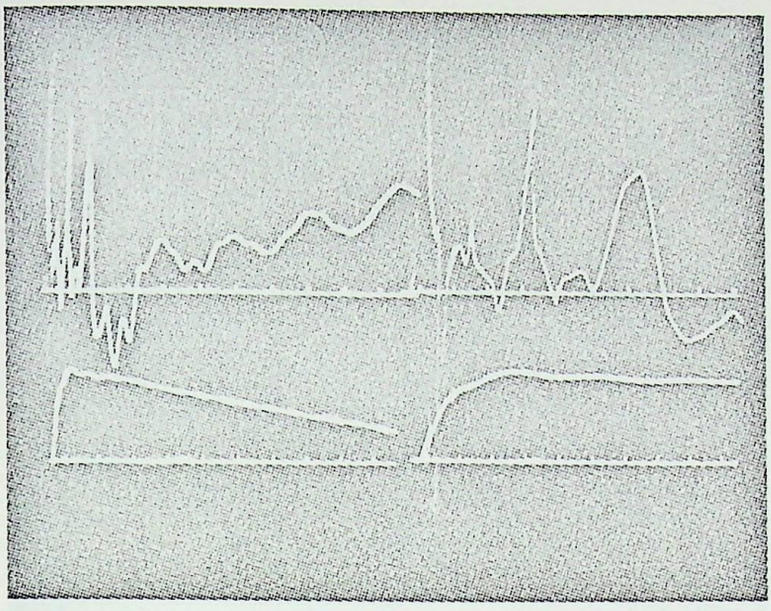
Ondas de impulso aplicadas 1,5/40 μs, positivas

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 150 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 150 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada I | 290 kV (50 µs) |
| 4. Onda cortada II | 290 kV (50 µs) |
| 5. Onda plena | 250 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 150 kV (50 µs) |

A superposição dos oscilogramas das ondas reduzidas e a semelhança das oscilações e amplitudes nas três fases indicam que o transformador não deve ter defeitos. A oscilação nas ondas de tensão é devida ao tamanho do transformador ensaiado comparado com o gerador de impulso.

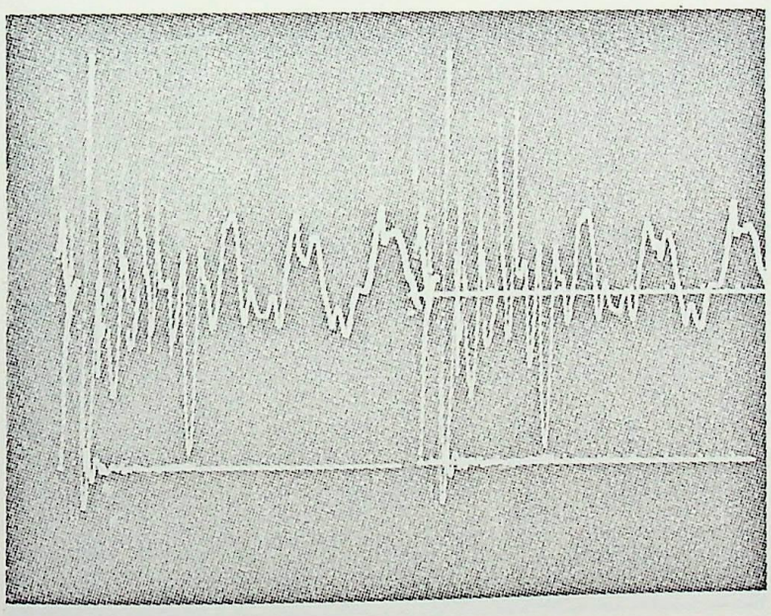
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2490
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



ENSAIO DE IMPULSO
Nº 0134/69 - IND

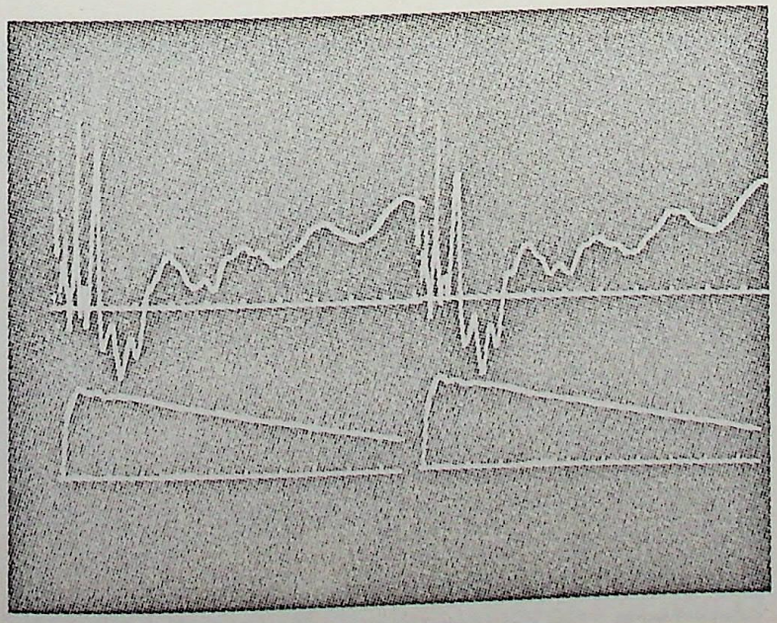
Esquerda: oscilograma polaroid nº0305 C,T/69,150 kV , 50 us, onda reduzida
Bucha III

Direita : oscilogram polaroid nº 0306 C,T/69,150 kV, 10 us, onda reduzida
Bucha III



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0315 C,T/69,290 kV, 50 us, onda cortada
Bucha III

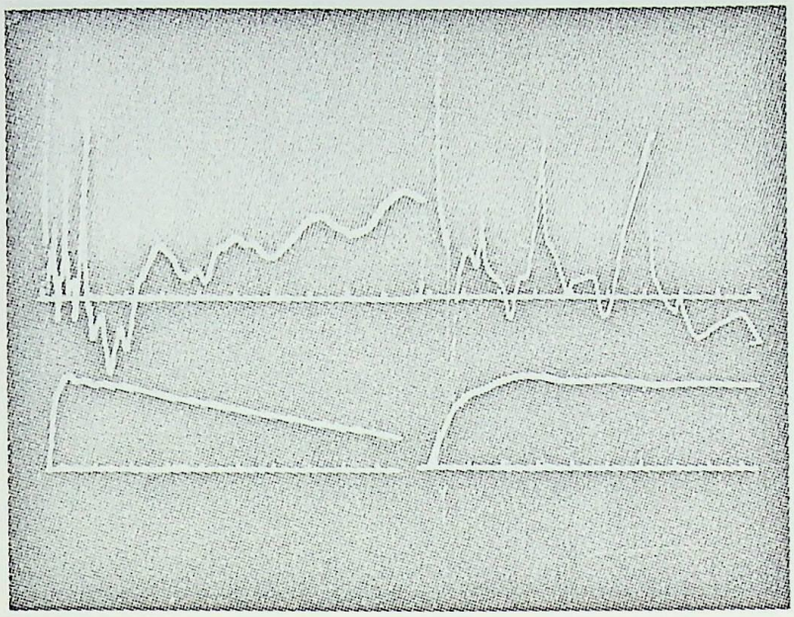
Direita : oscilograma polaroid nº 0316 C,T/69,290 kV, 50 us, onda cortada
Bucha III



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0319 C,T/69,150 KV, 50 us, onda reduzida para verificação - Bucha II

Direita : oscilogram polaroid nº 0320 C,T/69,150 kV, 50 us, onda reduzida para verificação - Bucha III

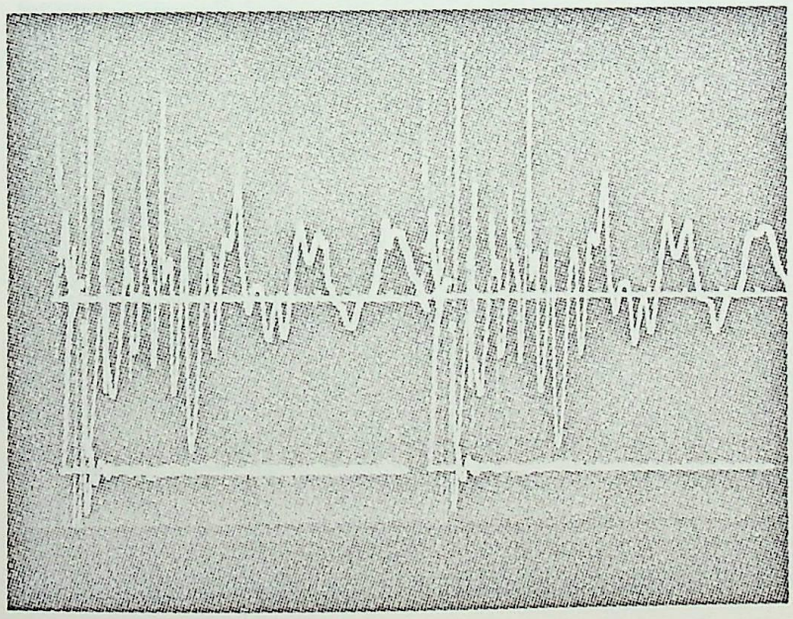
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2430
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



ENSAIO DE IMPULSO
Nº 0134/69 - IND

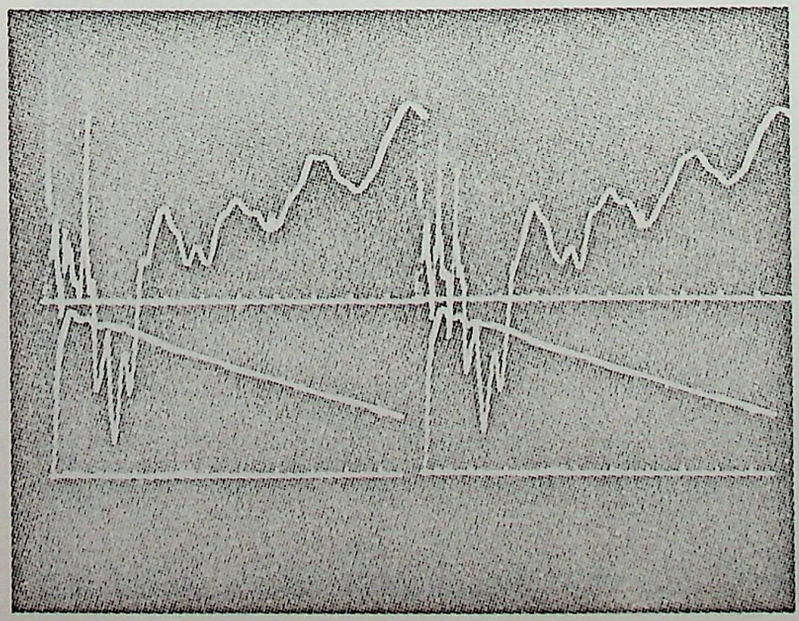
Esquerda: oscilograma polaroid nº 0307 C,T/69,150 kV, 50 us, onda reduzida
Bucha II

Direita : oscilograma polaroid nº 0308 C,T/69,150 kV, 10 us, onda reduzida
Bucha II



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0313 C,T/69,290 kV, 50 us, onda cortada
Bucha II

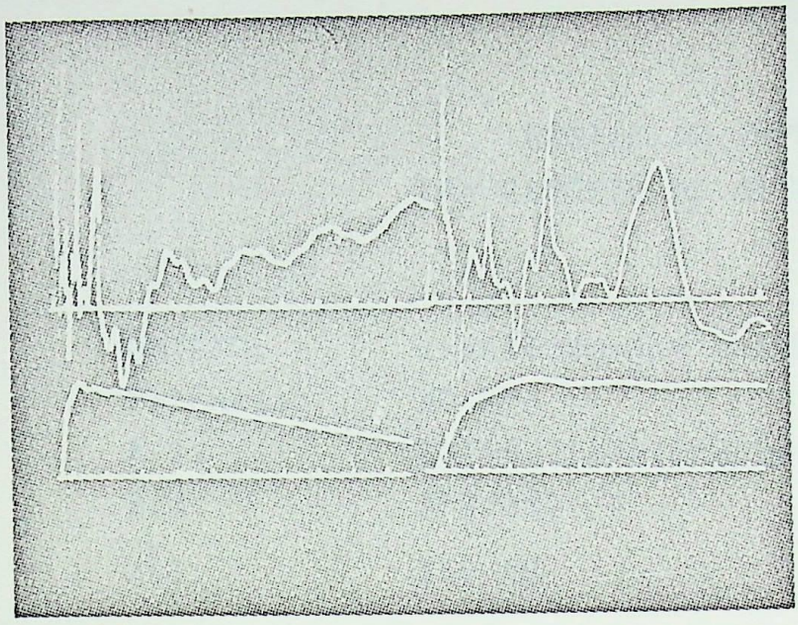
Direita : oscilograma polaroid nº 0314 C,T/69,290 kV, 50 us, onda cortada
Bucha II



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0299 C,T/69,290 kV, 50 us, onda plena
Bucha III

Direita : oscilograma polaroid nº 0300 C,T/69,290 kV, 50 us, onda plena.
Bucha II

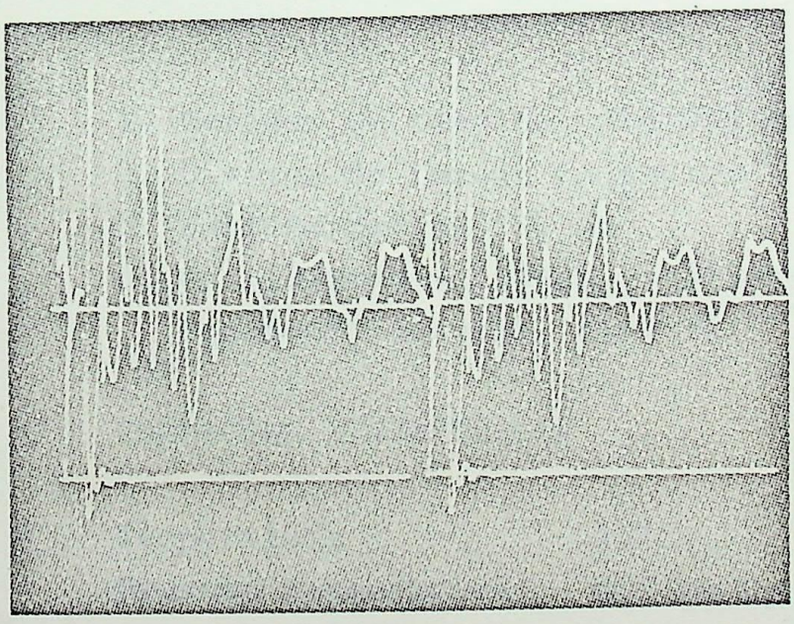
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



ENSAIO DE IMPULSO
Nº 0134/69 - IND

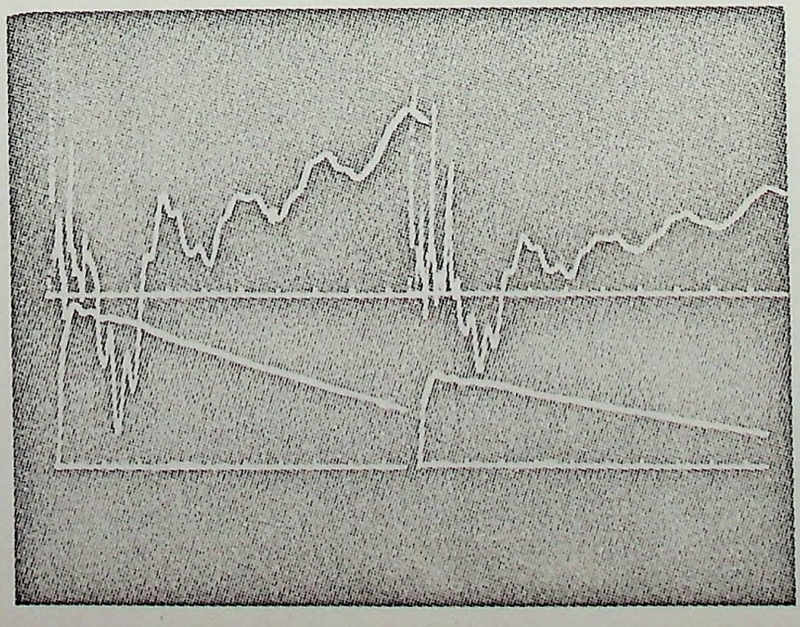
Esquerda: oscilograma polaroid nº 0309 C,T/69, 150 kV 50 μs, onda reduzida - Bucha I.

Direita : oscilograma polaroid nº 0310 C,T/69,150 kV, 10 μs, onda reduzida Bucha I.



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0311 C,T/69,290 kV, 50 μs, onda cortada - Bucha I

Direita : oscilograma polaroid nº 0312 C,T/69,290 kV, 50 us, onda cortada - Bucha I



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0317 C,T/69,250 kV, 50 μs, onda plena - Bucha I

Direita : oscilograma polaroid nº 0318 C,T/69,150 kV, 50 μs, onda reduzida para verificação - Bucha I

ENSAIO DE IMPULSO Nº 33
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 30 kVA |
| A.T. | 23100/22000/20900/19800/18700 V |
| B.T. | 380/220 V |
| NBI: | 150 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 20ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 75 kV |
| 2. Onda plena reduzida | 75 kV |
| 3. Onda cortada I | 175 kV |
| 4. Onda cortada II | 175 kV |
| 5. Onda plena | 150 kV |
| 6. Onda plena reduzida | 75 kV |

A ligação do transformador para leitura da corrente foi feita conforme esquema anexo, com uma resistência "shunt" de 50 ohms.

As tensões foram calibradas com o espinterômetro de 150 mm e oscilógrafo.

Os oscilogramas de ondas reduzidas, 75 kV, com 10 μs, mostram eflúvios, o que geralmente acontece quando a distância entre terminais é insuficiente.

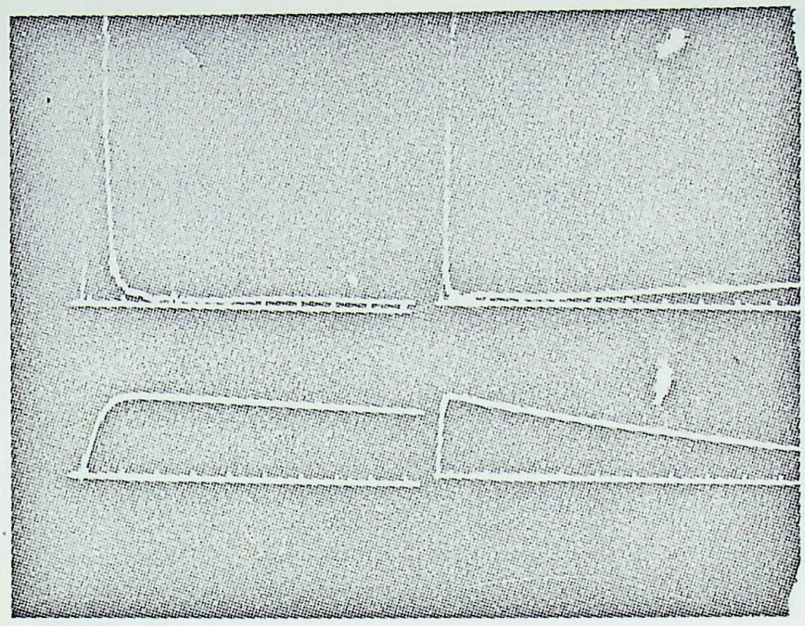
O primeiro oscilograma da bucha I mostra uma descarga interna (esquerda, última página).

A bucha II resistiu a onda plena (direita, última página), entretanto achamos conveniente repetir o ensaio por causa do eflúvio apresentado na onda reduzida, havendo descarga externa.

O oscilograma de corrente da bucha III mostra o mesmo defeito.

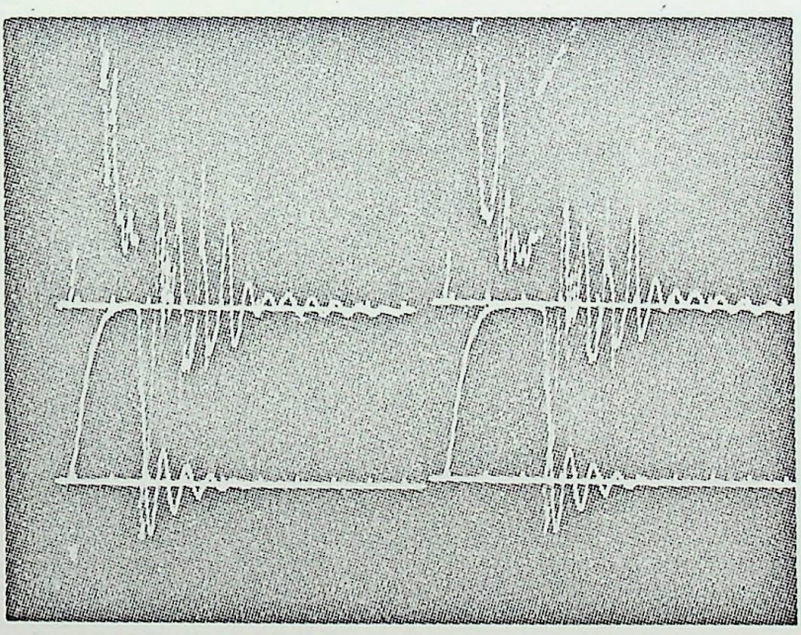
O oscilograma da onda plena, 150 kV, bucha II um colapso na onda de tensão, em cerca de 8 μs, também na 2a onda cortada da mesma fase se observa o defeito de falta de distancia entre os terminais para mudança de ligações na A.T.

DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2693 - Elet. 2929 - Mec. 2480
816 2698 - Pós-Grad. 2465

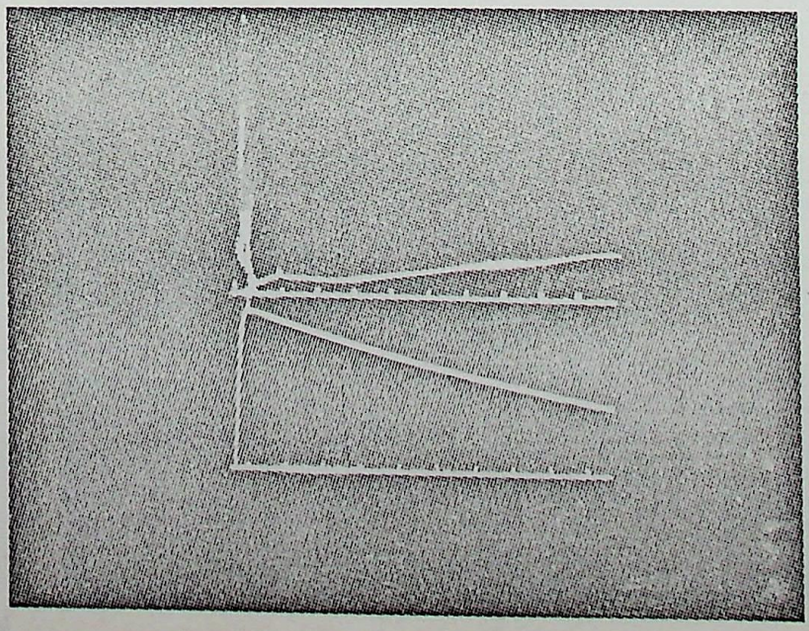


BUCHA I

Direita: onda reduzida, 10 μs, 75 kV.
Esquerda: onda reduzida 50 μs, 75 kV.

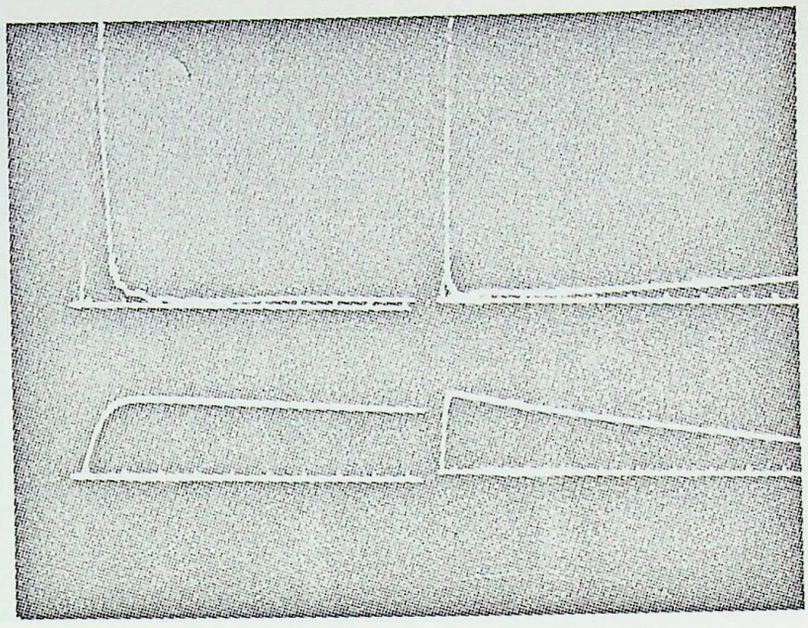


Ondas cortadas, 175 kV, 10 μs.



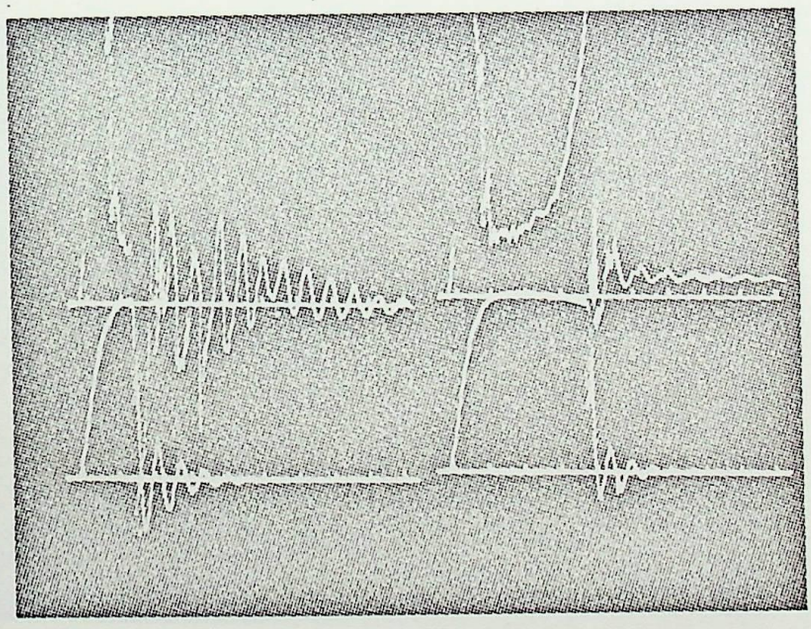
Onda plena, 150 kV , 50 μs.

DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

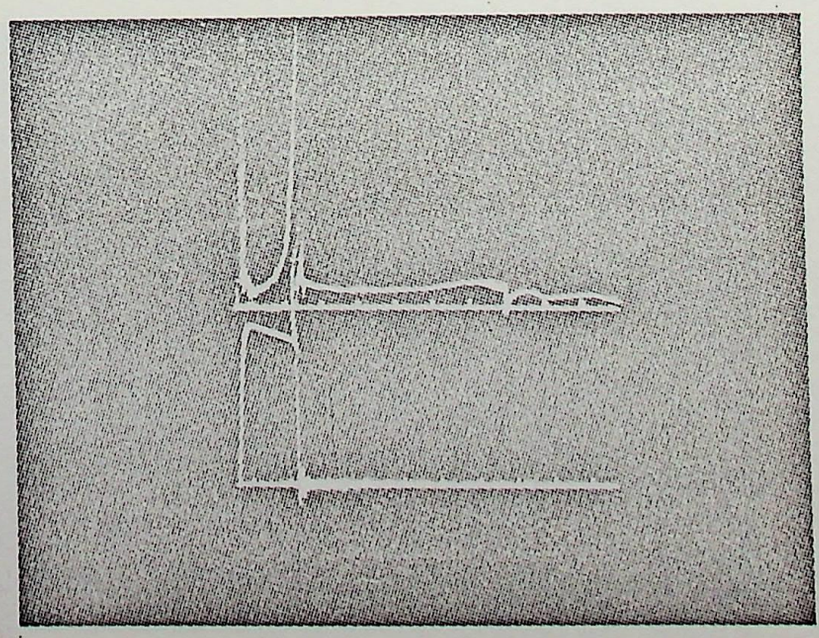


BUCHA II

Direitaonda reduzida,
10 μs, 75 kV.
Esquerdaonda reduzida
50 μs, 75 kV.

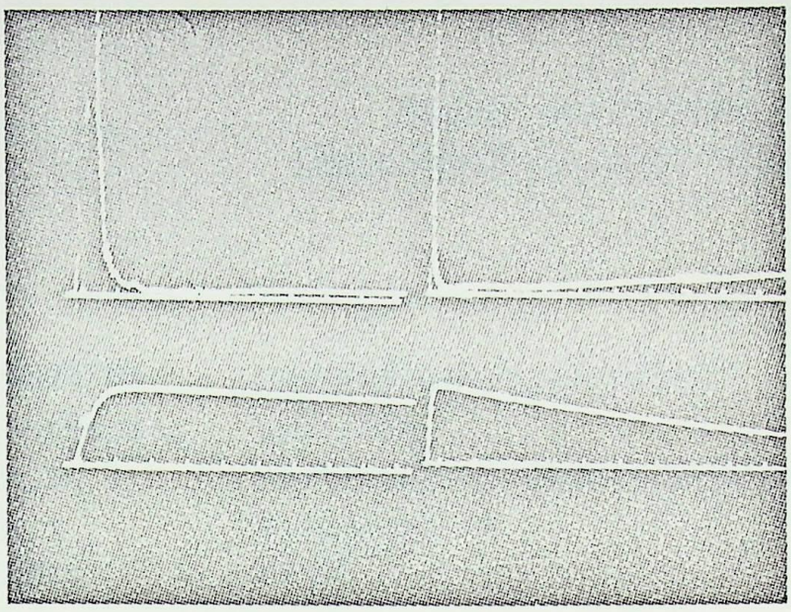


Ondas cortadas, 175 kV,
10 μs.



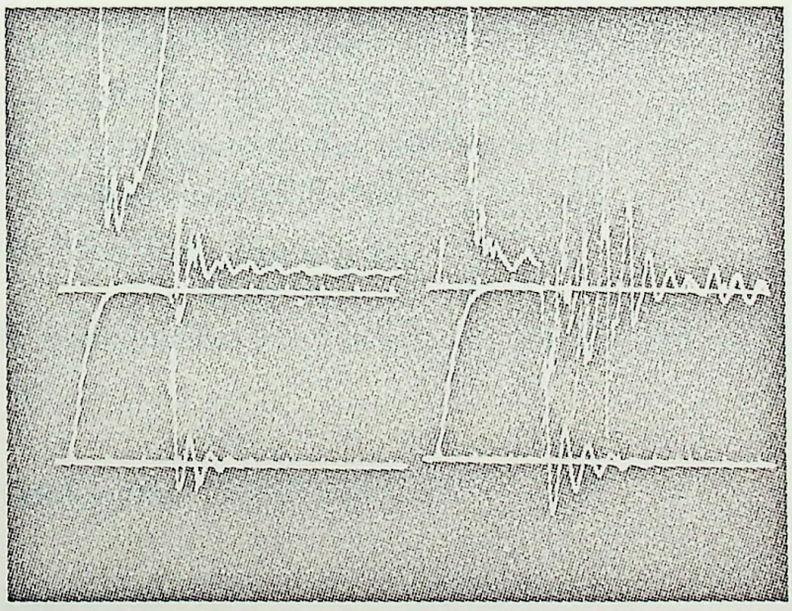
Onda plena, 150 kV ,
50 μs.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

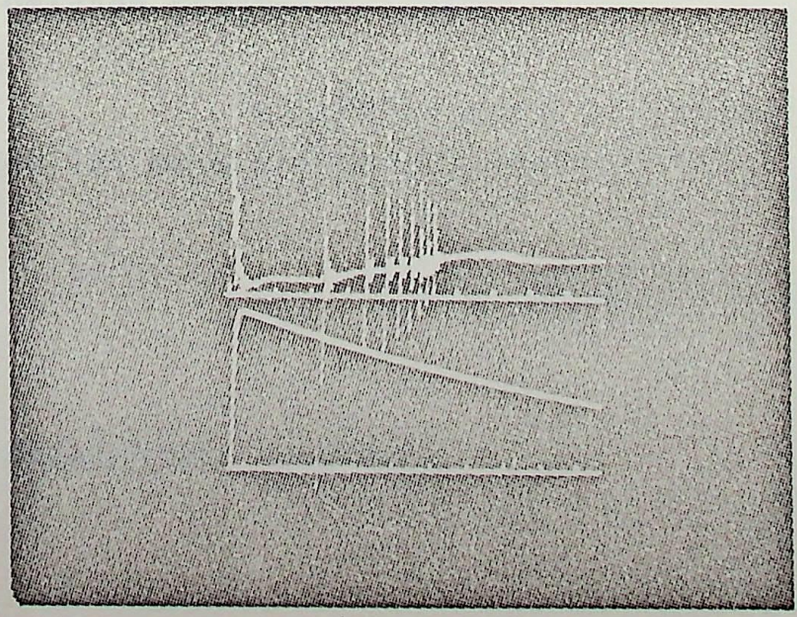


BUCHA III

Direita: onda reduzida, 10 μs, 75 kV.
Esquerda: onda reduzida 50 μs, 75 kV.



Ondas cortadas, 175 kV, 10 μs.



Onda plena, 150 kV, 50 μs.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 34
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 1500 kVA
A.T. 14490/14150/13800/13455/13110 V
B.T. 2300/1328 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72
4. Espinterômetro de 150 mm

O equipamento utilizado foi fornecido pela HAEFELY

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Temperatura 23,5ºC
Pressão barométrica 679 mm de Hg
Umidade relativa 60%

As tensões foram calibradas com o espinterômetro de 150 mm e corrigidas com a fórmula:

$$V = V_n \left(\frac{0,386\ P}{273 + t}\right)$$ P-MB-433, ABNT

POLARIDADE: positiva

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada reduzida | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 57 kV (50 µs) |

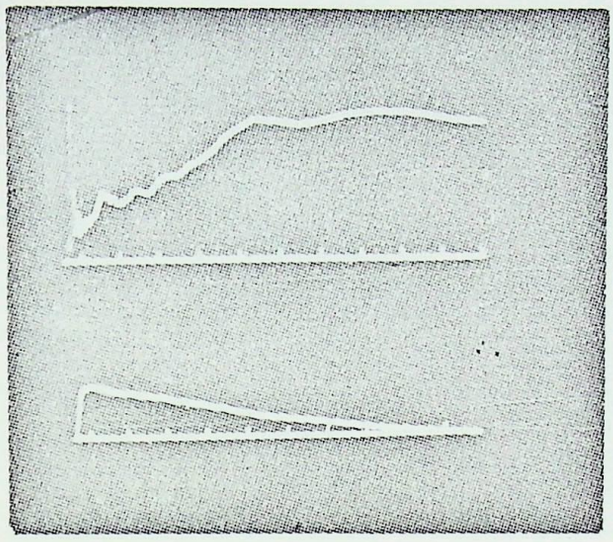
Não nos foi possível conseguir a onda padrão, tempo $T_2$, sem alterar as ligações do gerador de impulso.

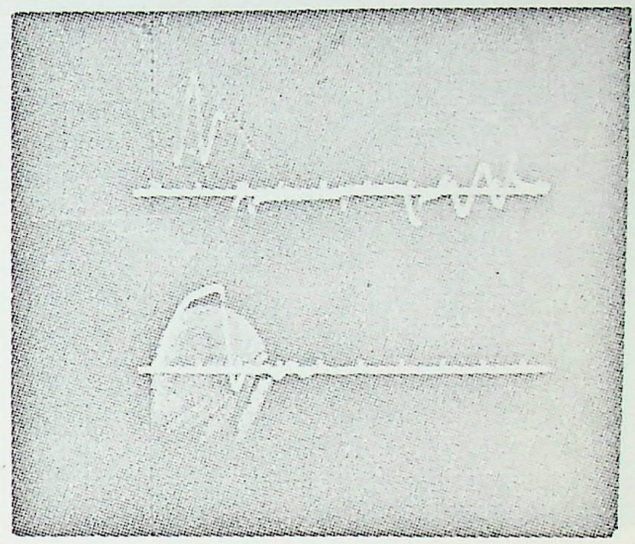
A comparação das ondas plenas mostra um curto circuito entre bobinas.

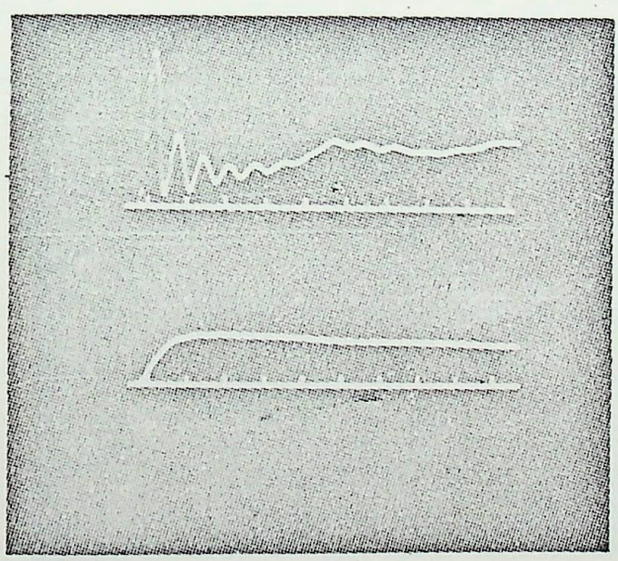
O gerador é pequeno para ensaios em transformador acima de 500 kVA, entretanto as normas americanas aceitam ensaios com $T_2 < 15$ µs, e neste caso $T_2 > 20$ µs.

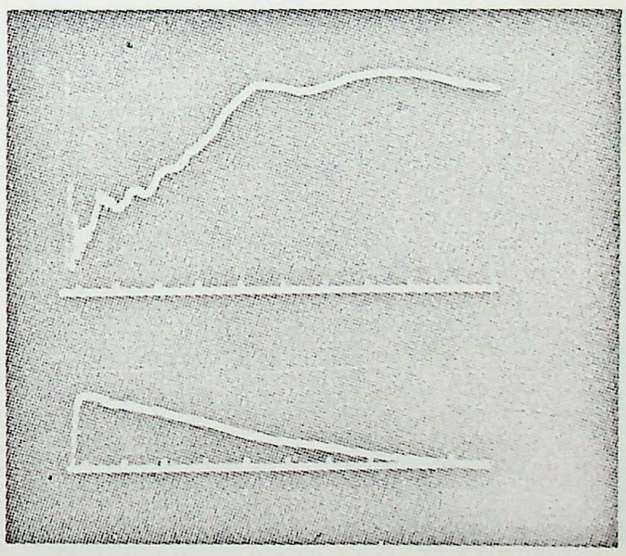
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

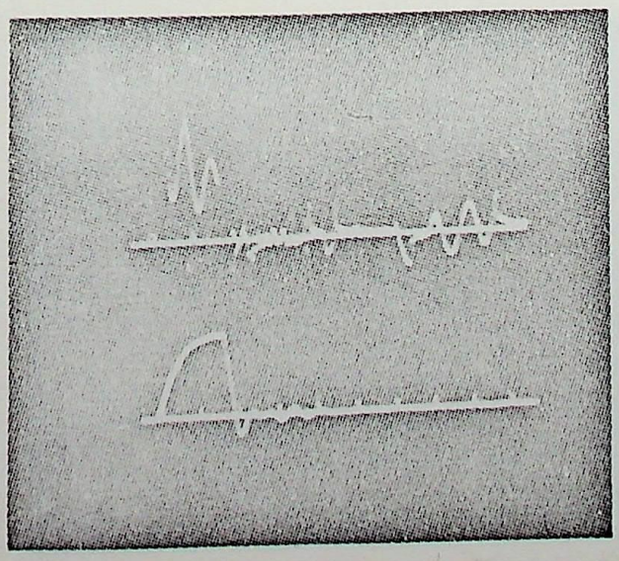
# BUCHA I

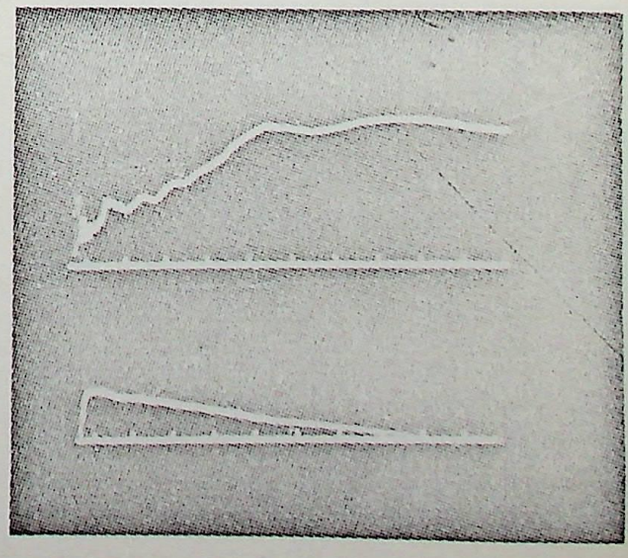






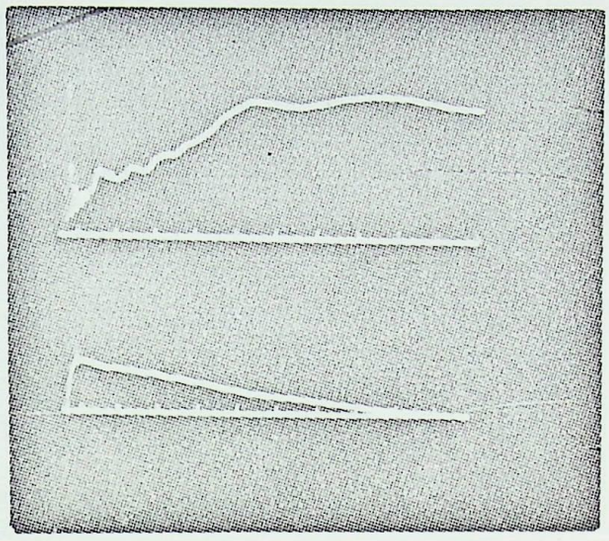


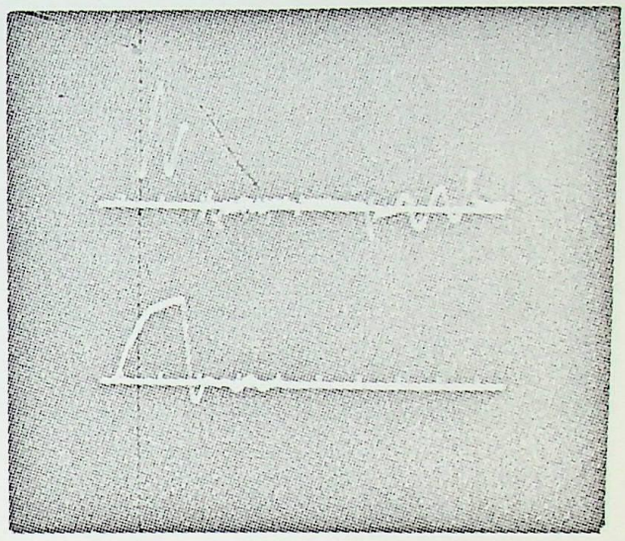


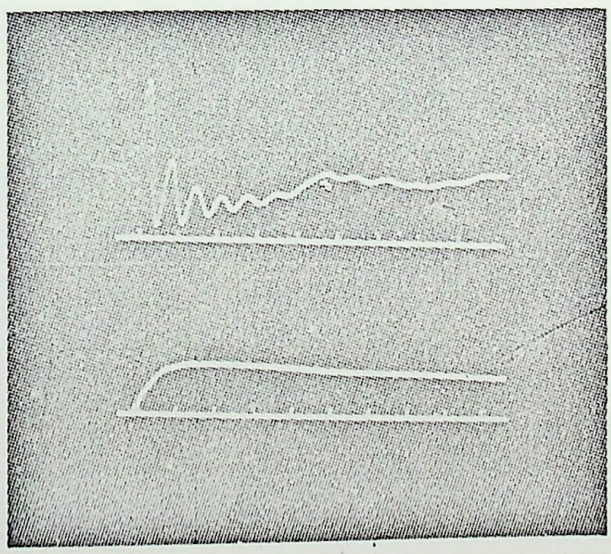


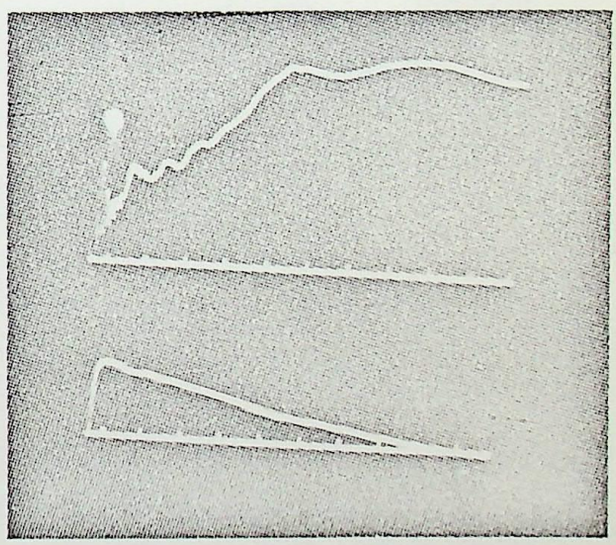
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

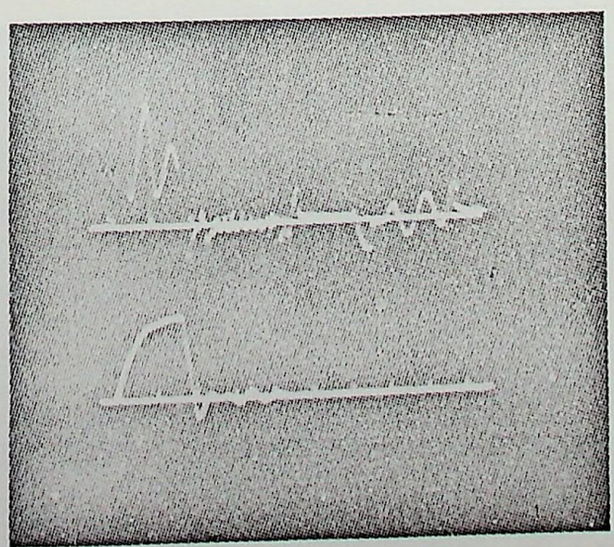
# BUCHA II

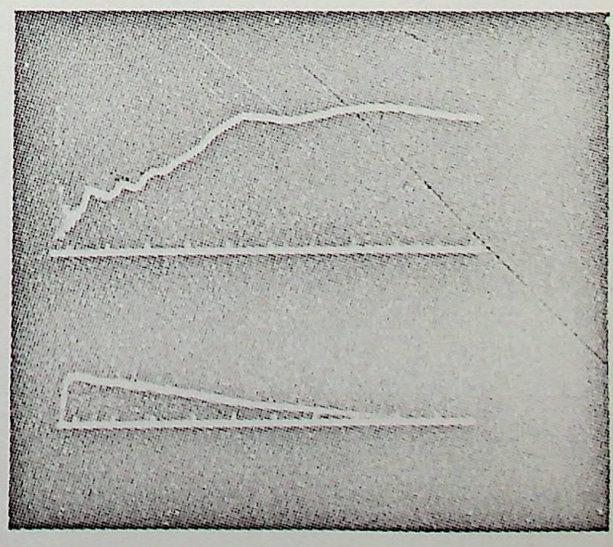






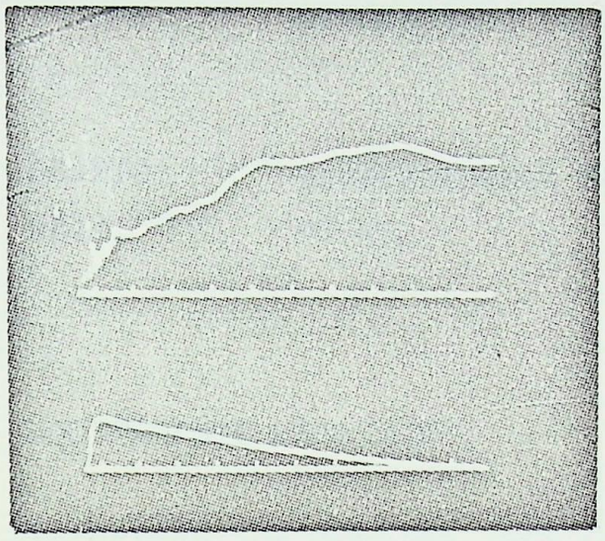


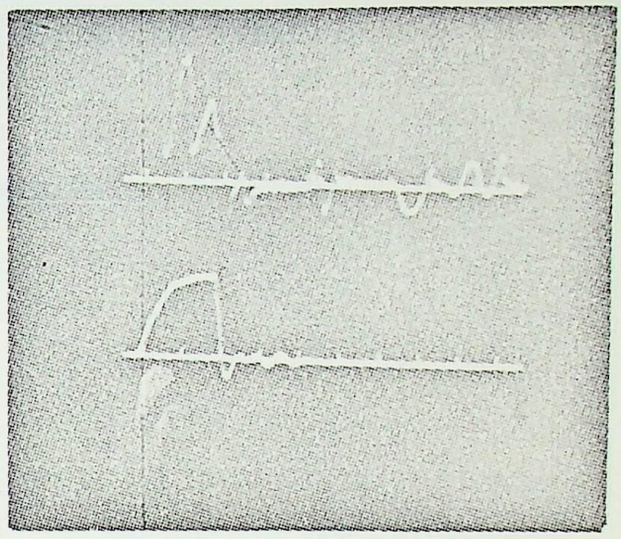


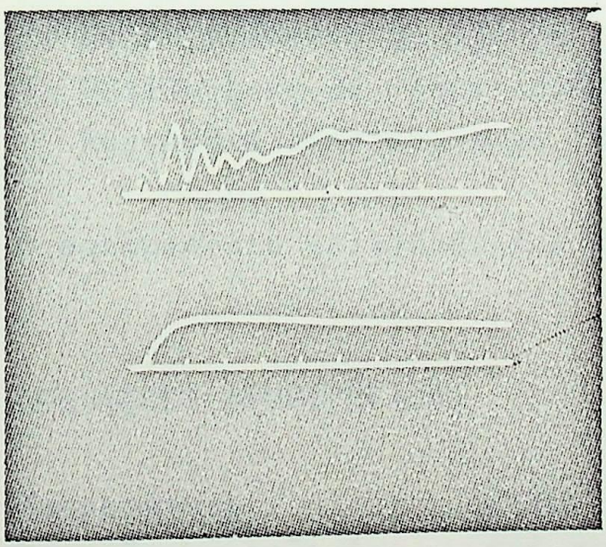


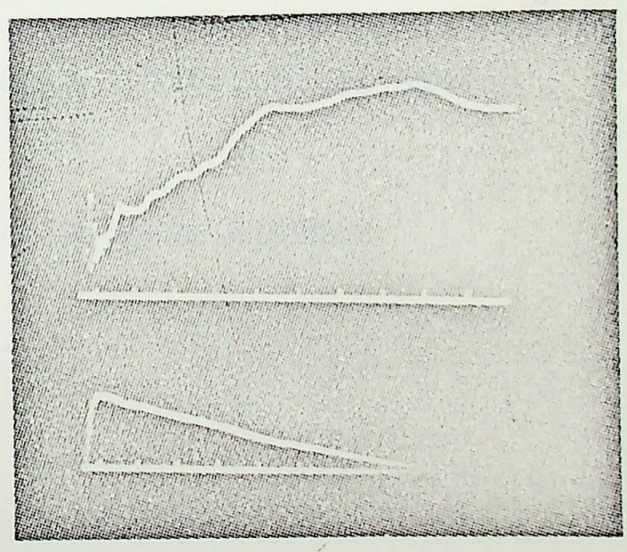
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

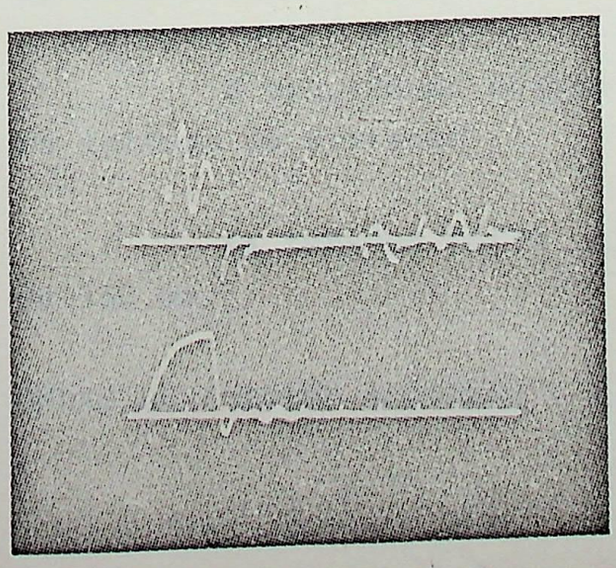
# BUCHA III

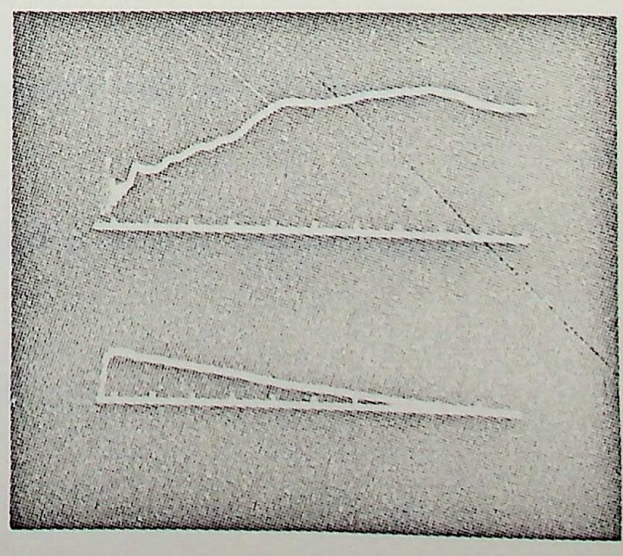












ENSAIO DE IMPULSO Nº 35
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador de potencial
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO:

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

O equipamento utilizado foi fornecido pela HAEFELY

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 21ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm de Hg |
| Umidade relativa | 65% |

O esquema da página seguinte mostra a ligação para leitura da corrente.

As tensões foram calibradas com o espinterômetro de 150 mm.

ONDAS DE IMPULSO APLICADAS: 1,5/40 μs

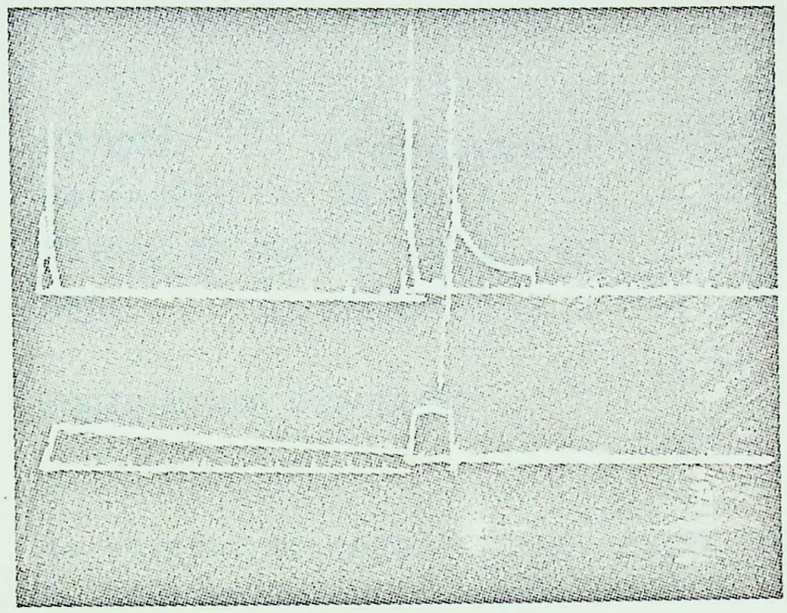
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 37 kV |
| 2. Onda plena reduzida | 48 kV |
| 3. Onda plena reduzida | 48 kV |
| 4. Onda plena reduzida | 57 kV |

O transformador não resistiu ao ensaio com a onda reduzida de 48 kV, após 7 μs houve a perfuração do isolamento.

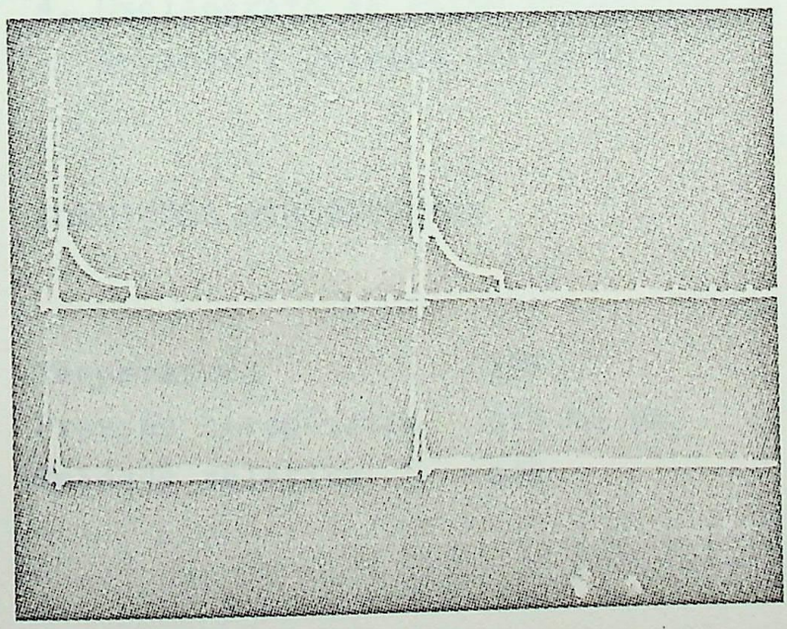
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 0133/69 - IND



Esquerda: oscilograma pol. nº 0281 C,T/69, 37 kV, 50 μs, onda plena reduzida

Direita: oscilograma pol. nº 0282 C,T/69, 48 kV,50 μs onda plena reduzida.



Esquerda: oscilograma pol. nº 0283 C,T/69, 48 kV,50 μs onda plena reduzida.

Direita: oscilograma pol. nº 0284 C,T/69,57 kV,50 μs, onda plena reduzida.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 36
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 30 kVA
Classe de tensão: 15 L kV
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 684 mm Hg |
| Umidade relativa | 83% |

VALORES DE CRISTA

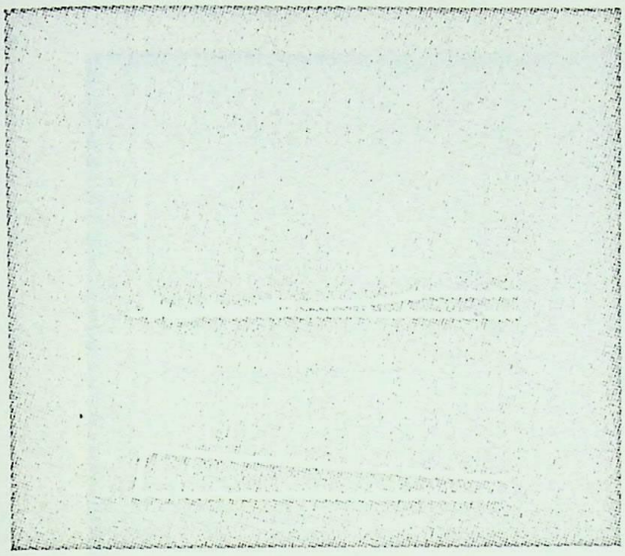
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 50 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 50 kV (10 µs) |
| 3. Onda plena | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda plena reduzida | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 50 kV (50 µs) |

Os oscilogramas da onda plena, 95 kV, bucha I mostram a descarga extrena.

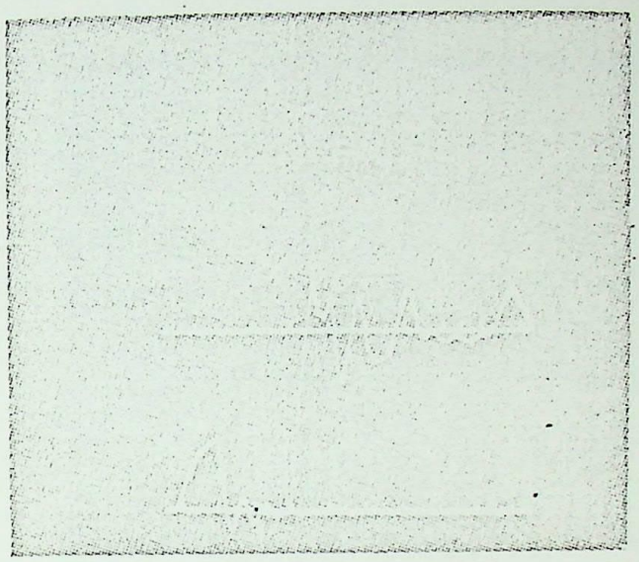
O fabricante pediu que continuasse o ensaio com a aplicação sucessiva de 5 ondas de igual valor. O transformador resistiu ao ensaio. Nota-se a superposição dos oscilogramas da primeira onda aplicada e da última (em cada fase).

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA SEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA'
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Renno, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

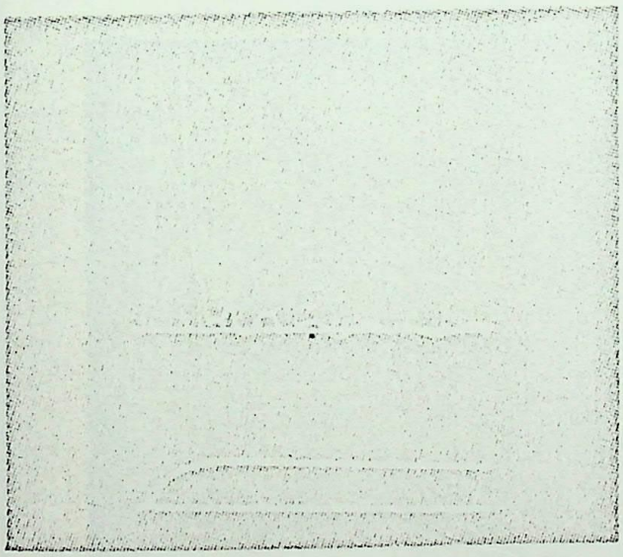




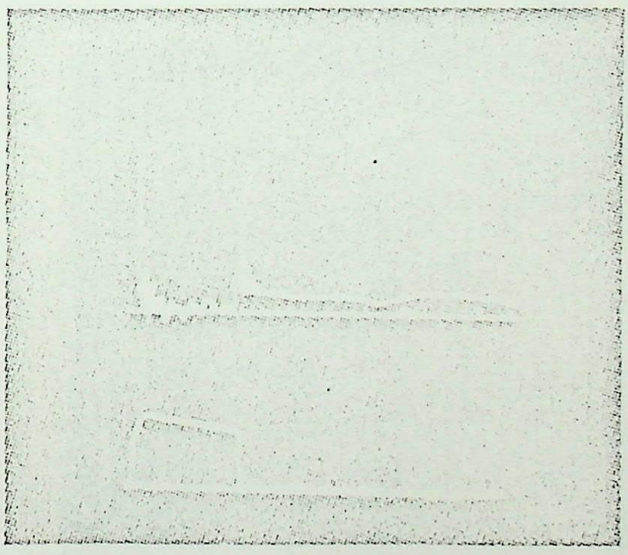
C,T, 0067/70 IND



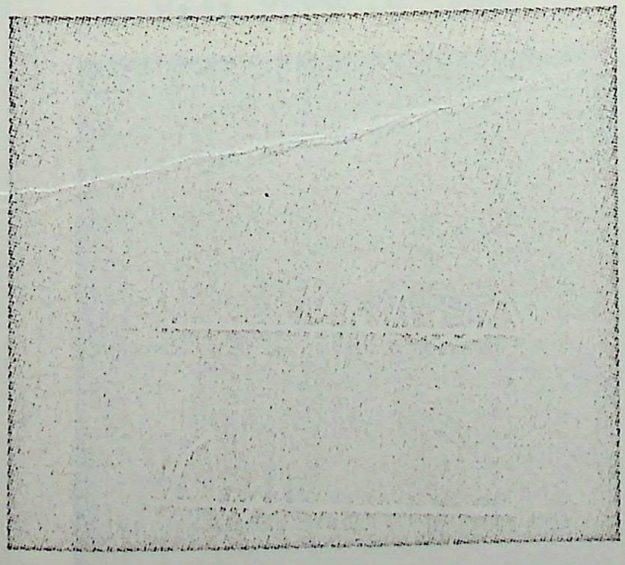
C,T, 0070/70 IND



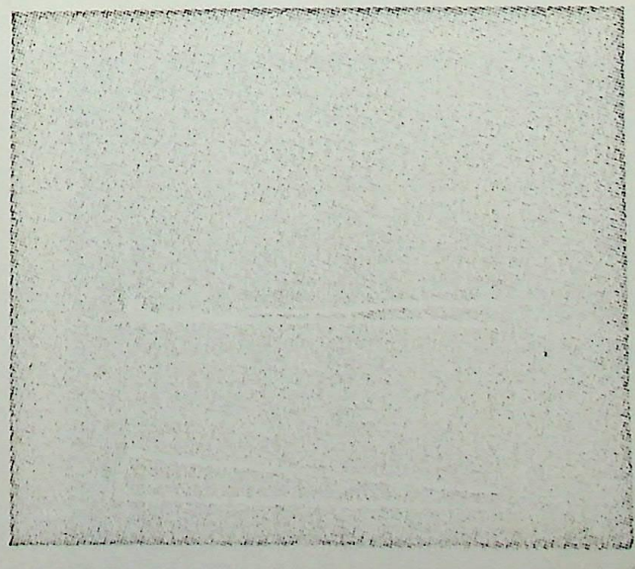
C,T, 0068/70 IND



C,T, 0071/70 IND



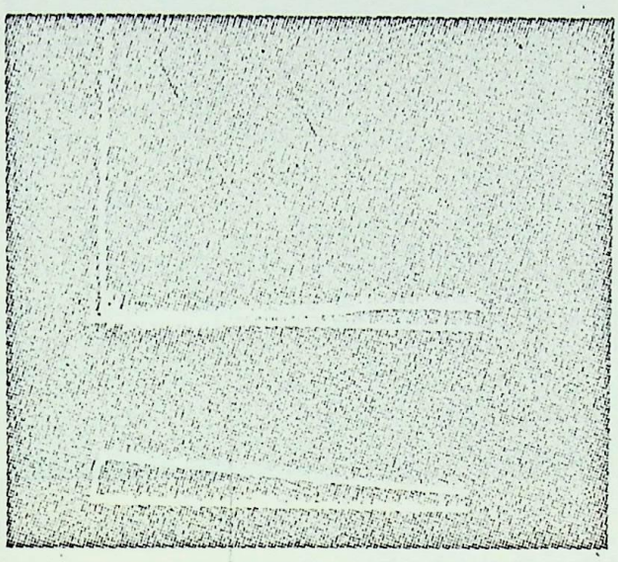
C,T, 0069/70 IND



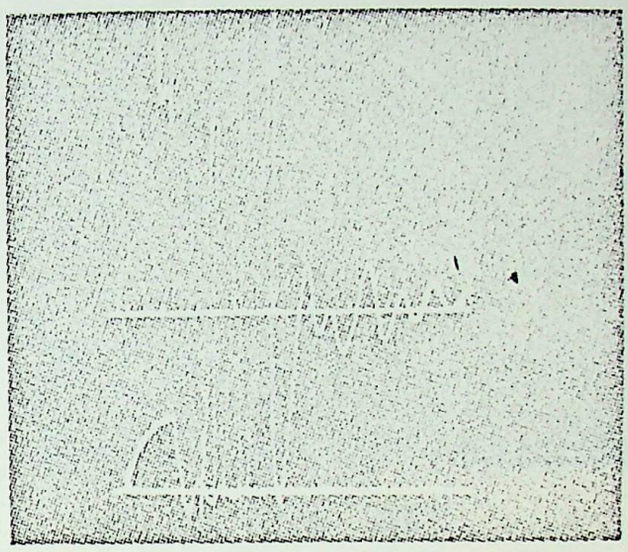
C,T, 0072/70 IND

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2693 - Elet. 2929 - Mec 2420
Bib. 2693 - Pós Grad. 2465

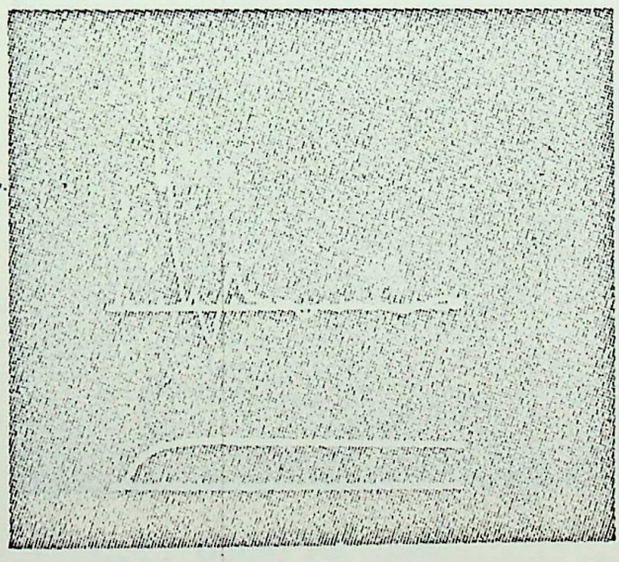




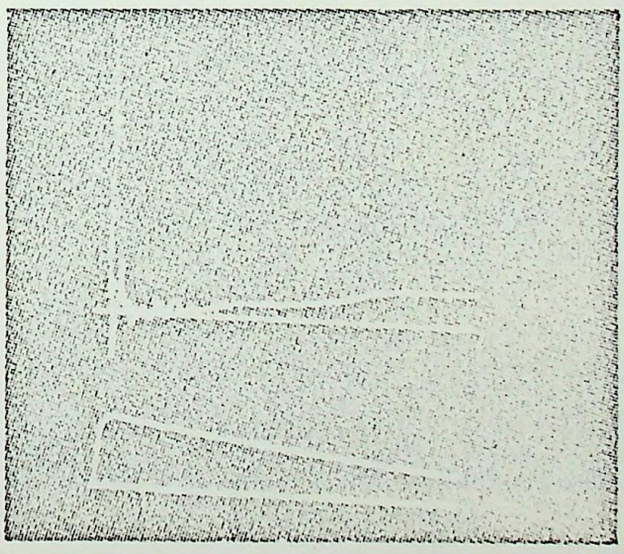
C,T, 0079/70 IND



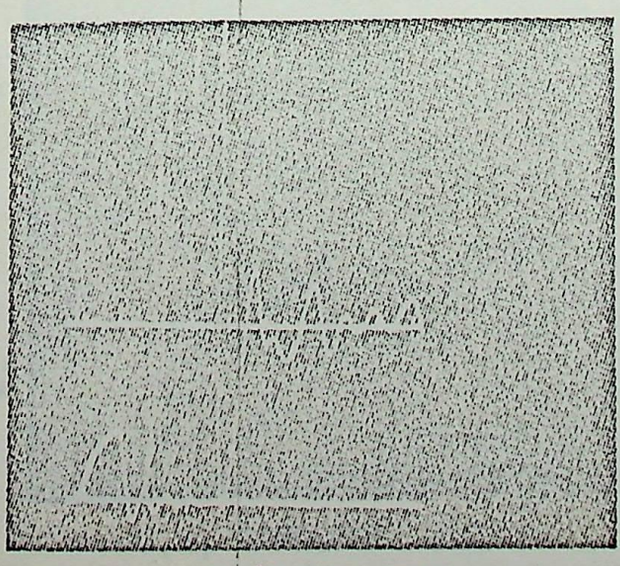
C,T, 0082/70 IND



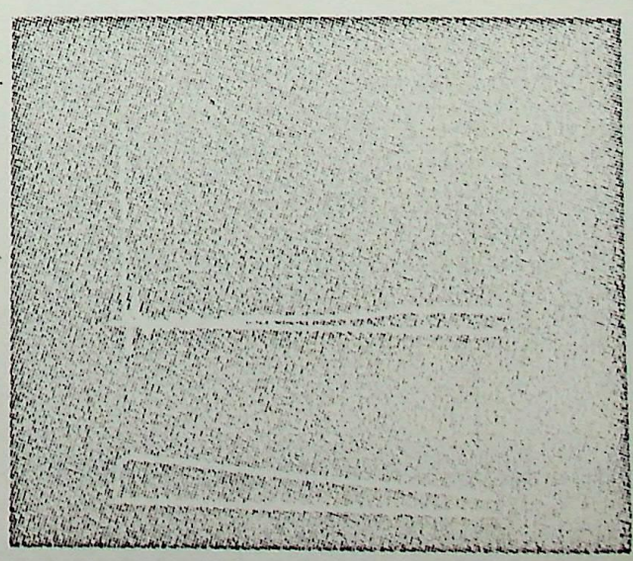
C,T, 0080/70 IND



C,T, 0083/70 IND



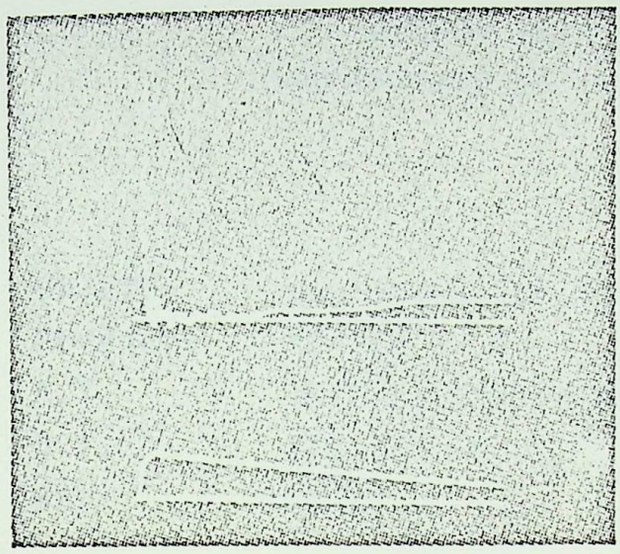
C,T, 0081/70 IND



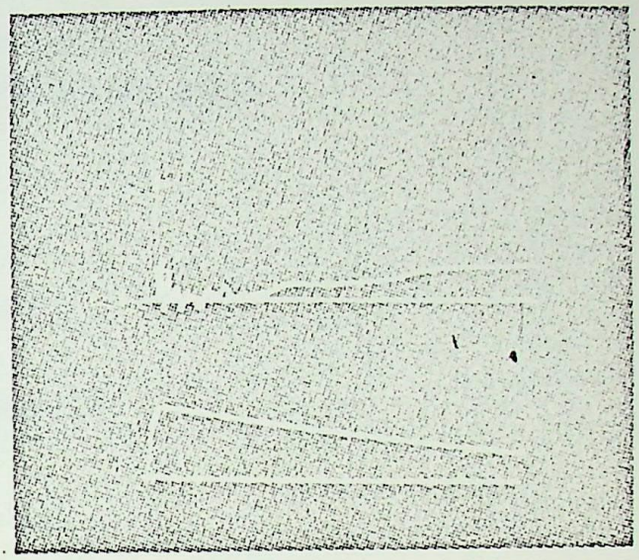
C,T, 0084/70 IND

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2692 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

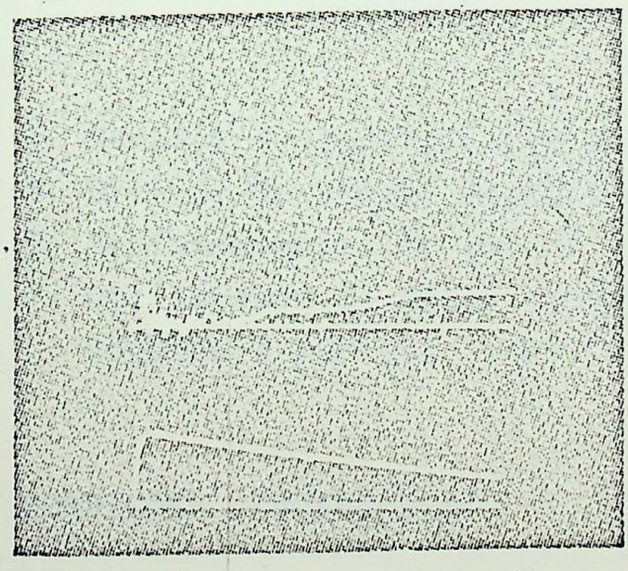




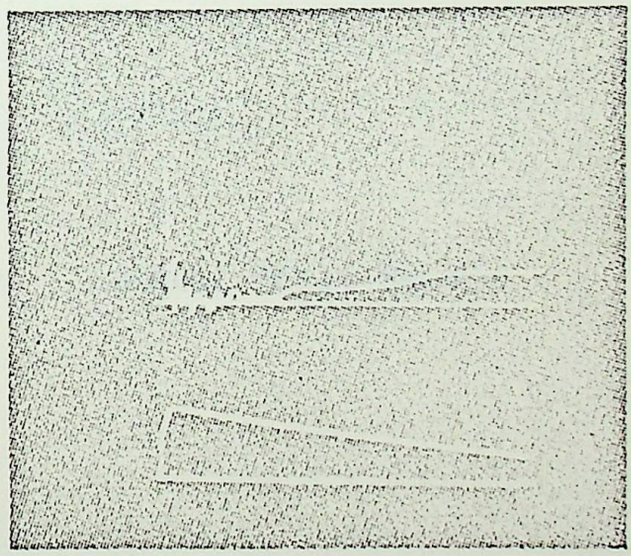
C,T, 0085/70 IND



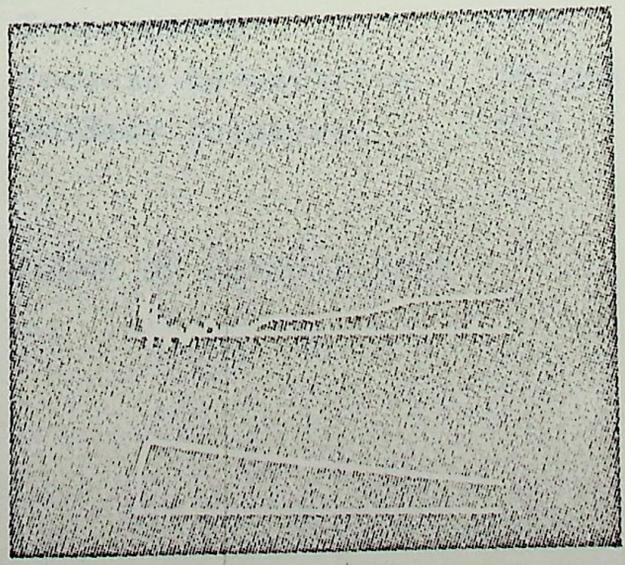
C,T, 0088/70 IND



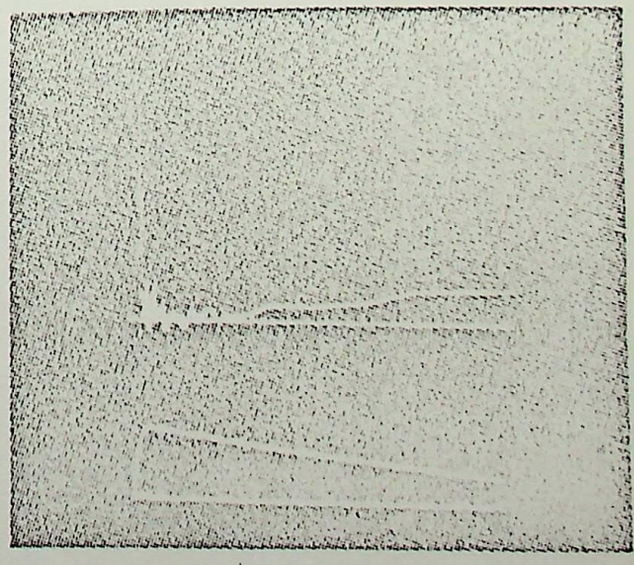
C,T, 0086/70 IND



C,T, 0089/70 IND



C,T, 0087/70 IND



C,T, 0090/70 IND

ENSAIO DE IMPULSO Nº 37
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 45 kVA |
| A.T. | 13800/13200/12600/12000 V |
| B.T. | 220/127 V |
| NBI: | 95 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

FORMA DA ONDA: 1,2/50

VALORES DE CRISTA

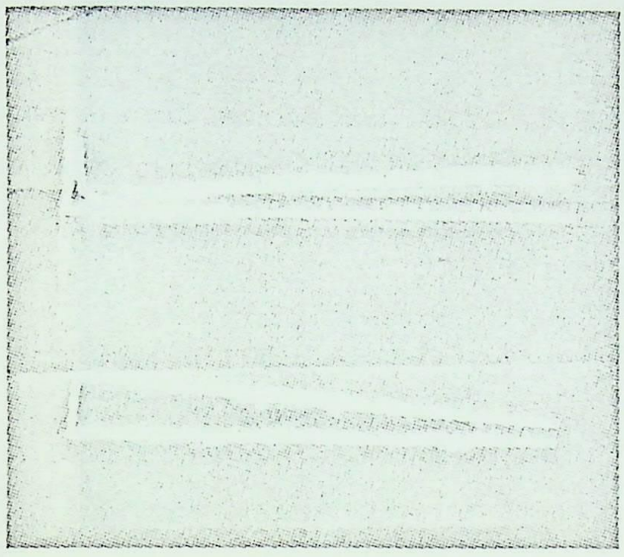
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 50 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 50 kV (10 µs) |
| 3. Onda plena | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda plena reduzida | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 50 kV (50 µs) |

Os oscilogramas mostram irregularidades principalmente no impulso aplicado na bucha III. Considerando as ligações do transformador Δ/Y, está evidenciado, pela análise das ondas cortadas defeito que acarretou maiores oscilações nos oscilogramas do enrolamento III e menores no enrolamento II.

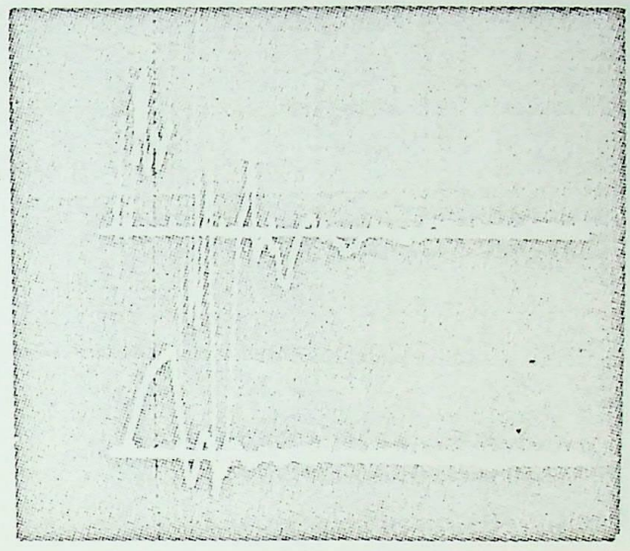
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



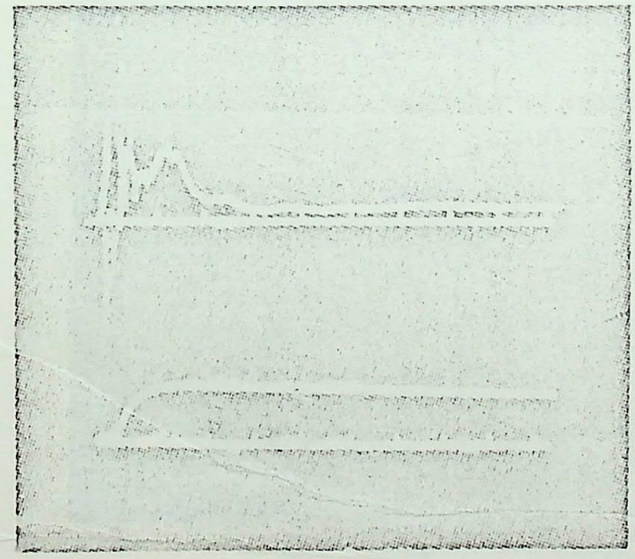
Bucha: I



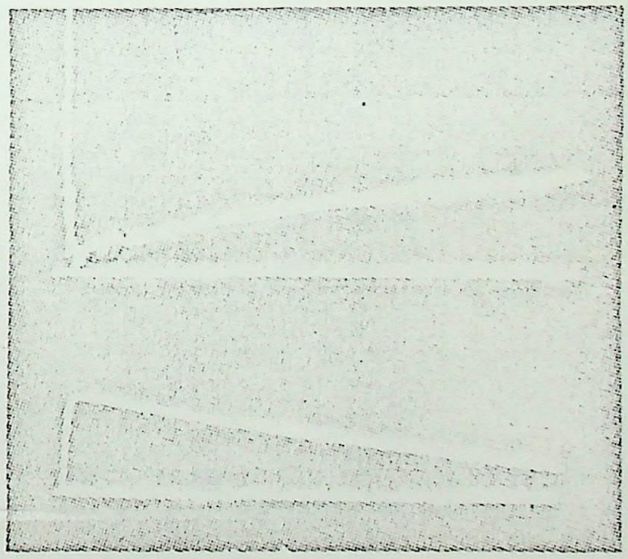
1. Onda reduzida, 50, 50 kV



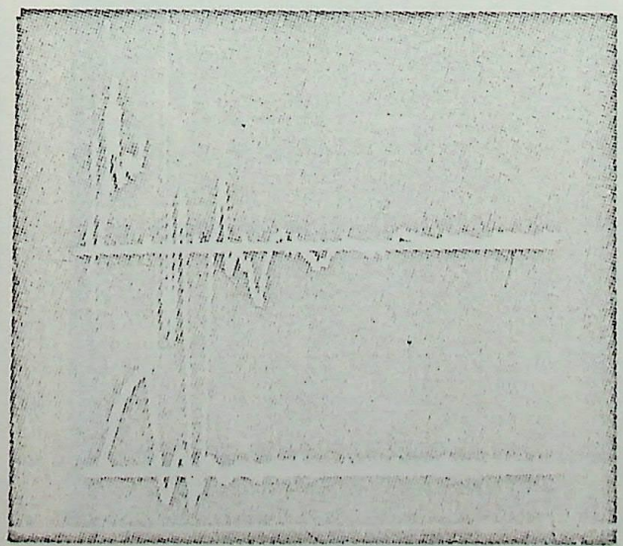
4. Onda cortada, 10 μs, 110 kV



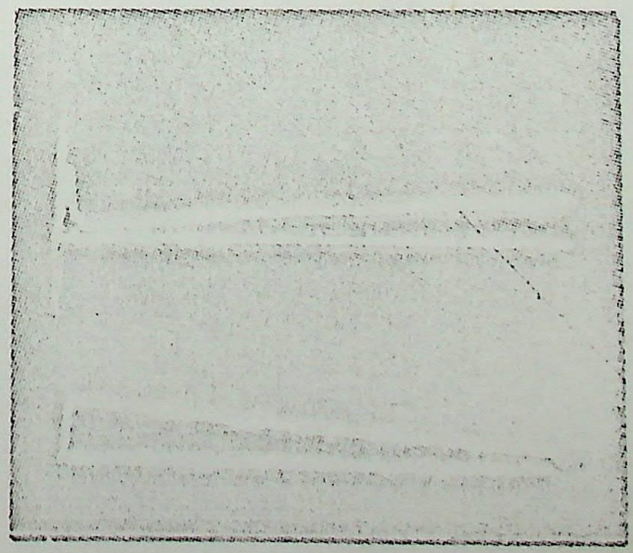
2. Onda reduzida, 50 kV, 10 μs



5. Onda plena, 95 [illegible]



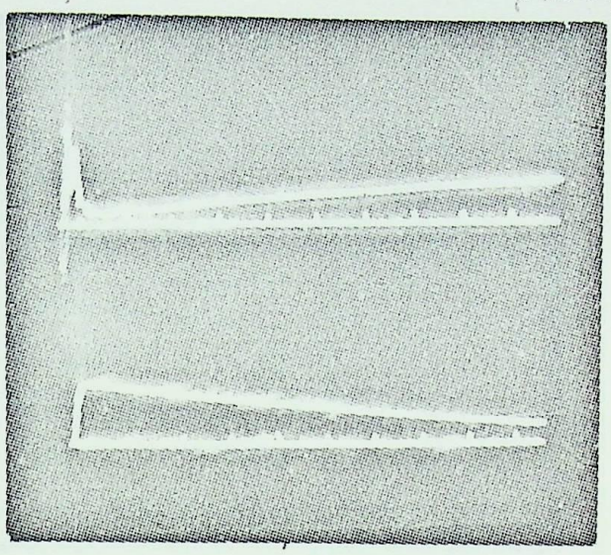
3. Onda cortada, 110 kV, 10 μs



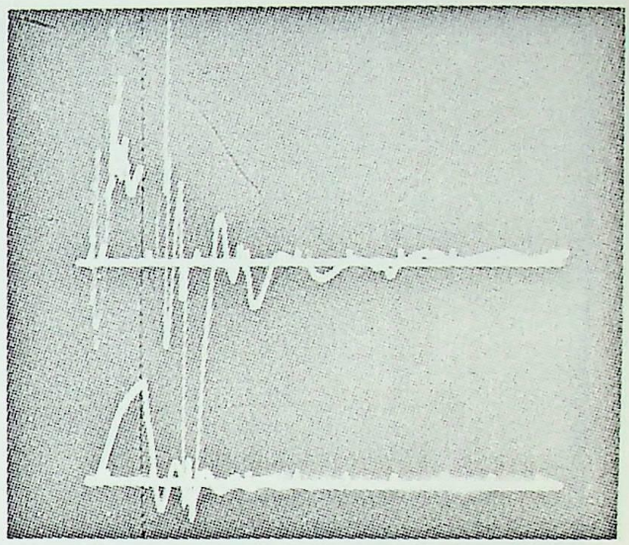
6. Onda reduzida, 50 μs, [illegible]

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

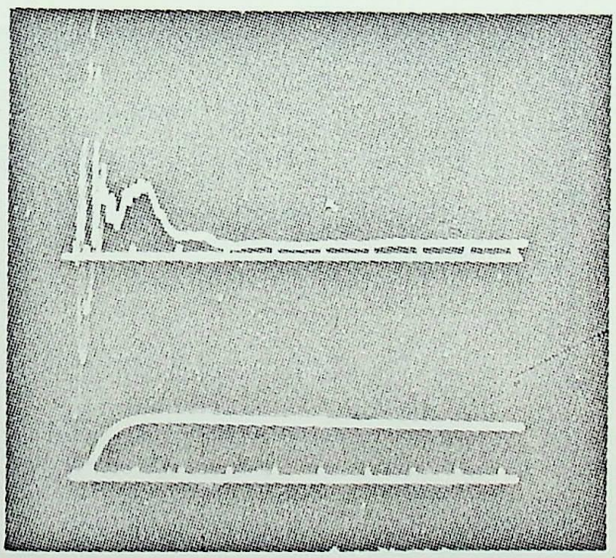
Bucha II



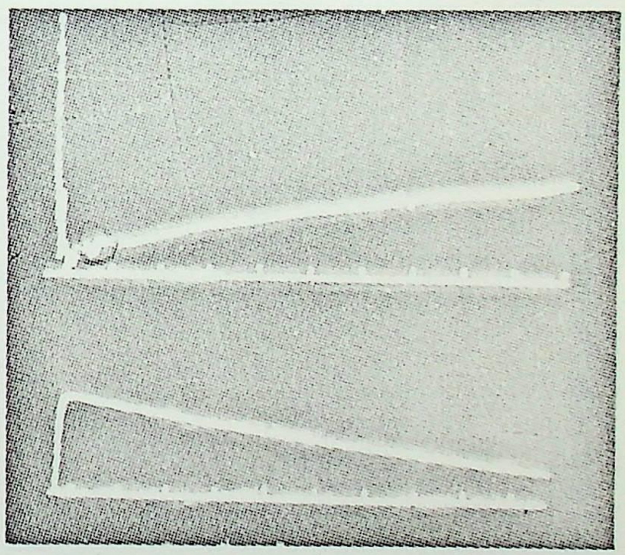
1. Onda reduzida, 50 kV, 50 μs



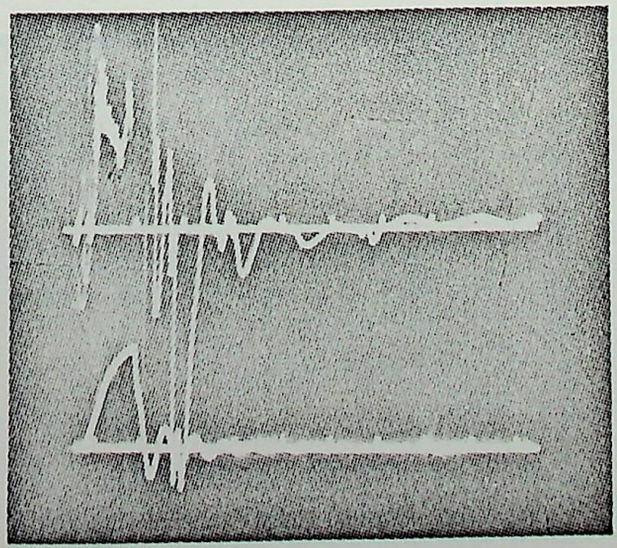
4. Onda cortada, 110 kV, 10 μs



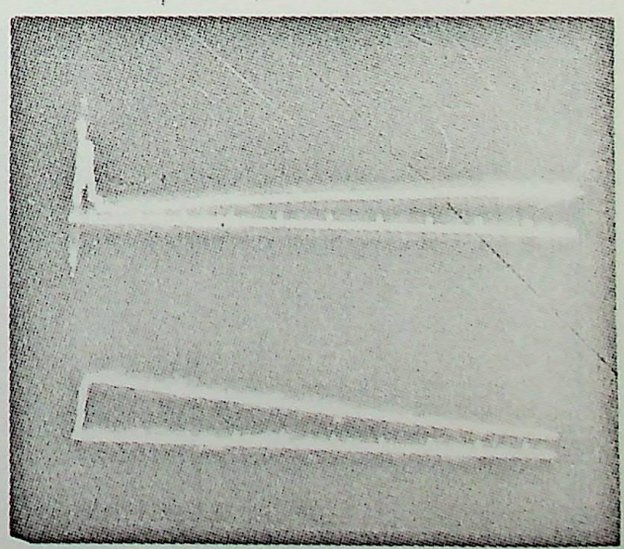
2. Onda reduzida, 50 μs, 10 μs



5. Onda plena, 95 kV, 50 μs



3. Onda cortada, 110 kV, 10 μs

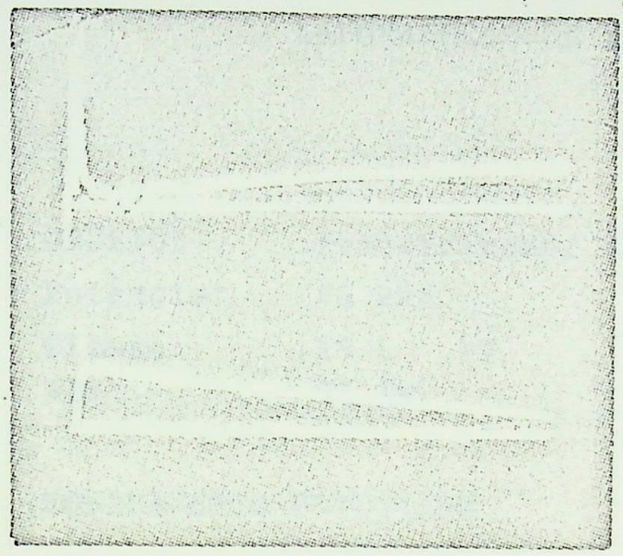


6. Onda reduzida, 50 kV, 50 μs

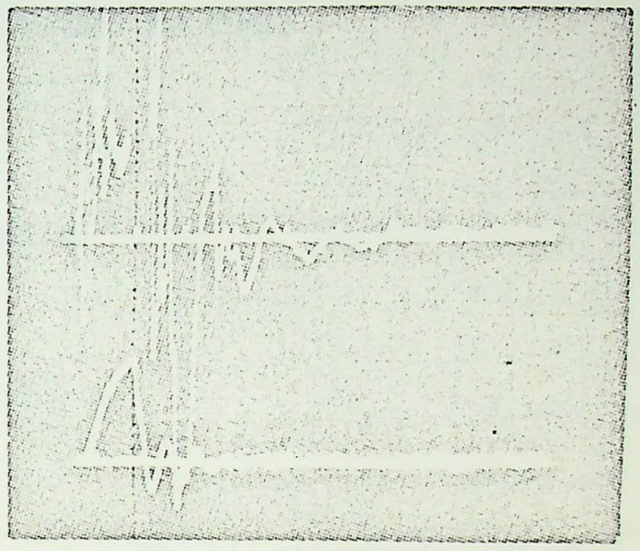
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.a 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Olb 2698 - Pós-Grad. 2465



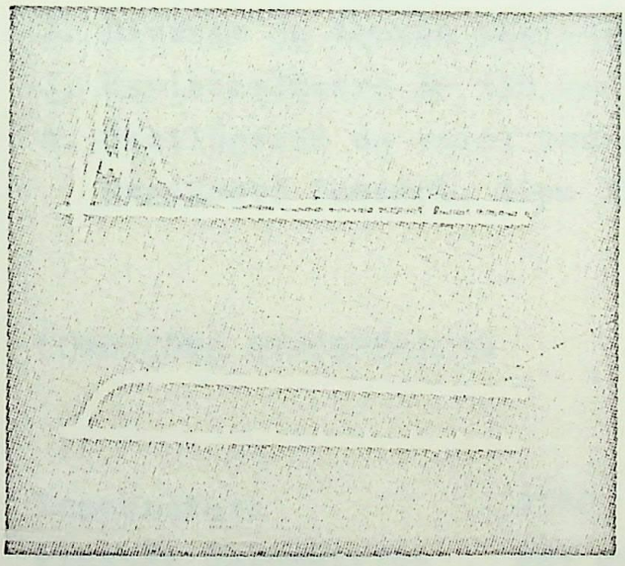
BUCHA 3K



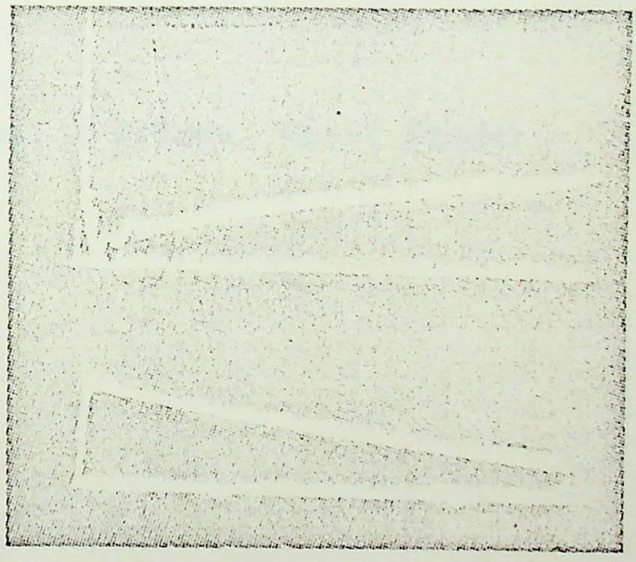
1. Onda reduzida, 50 kV, 50 μs



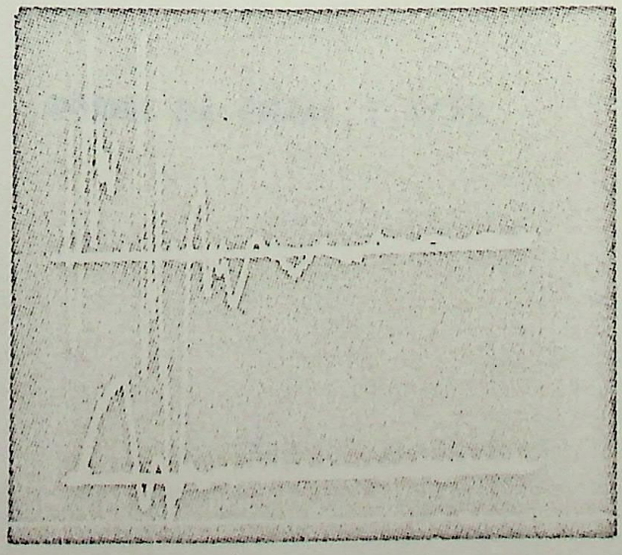
4. Onda cortada, 110 kV, 1,2 μs



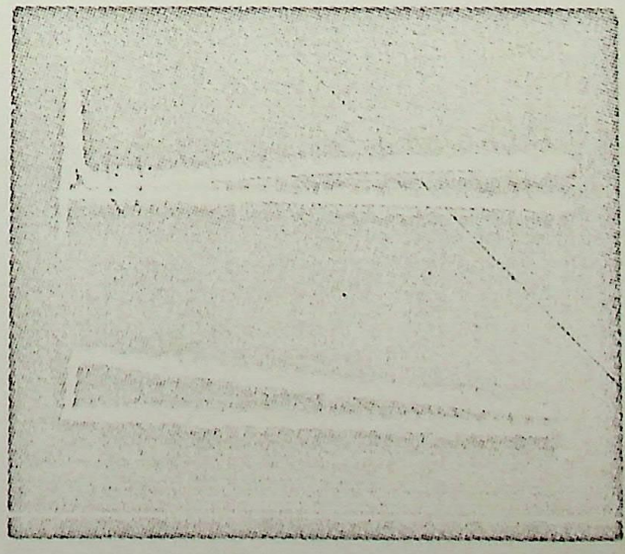
2. Onda reduzida, 50 kV, 10 μs



5. Onda plena, 45 kV, 61 μs



3. Onda cortada, 110 kV, 10 μs



6. Onda reduzida, 50 μs, 50 kV.

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 38
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 45 kVA
Classe: 15 L kV
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23°C |
| Pressão barométrica | 684 mm Hg |
| Umidade relativa | 83% |

FORMA DA ONDA: 1,2/50

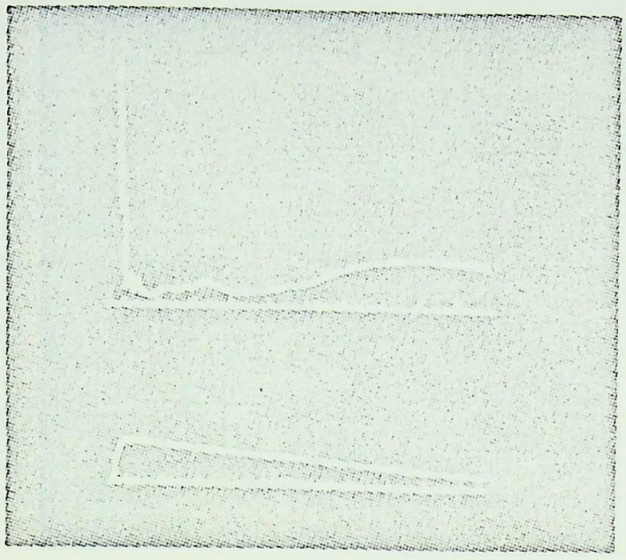
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 50 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 50 kV (10 µs) |
| 3. Onda plena | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda plena reduzida | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 50 kV (50 µs) |

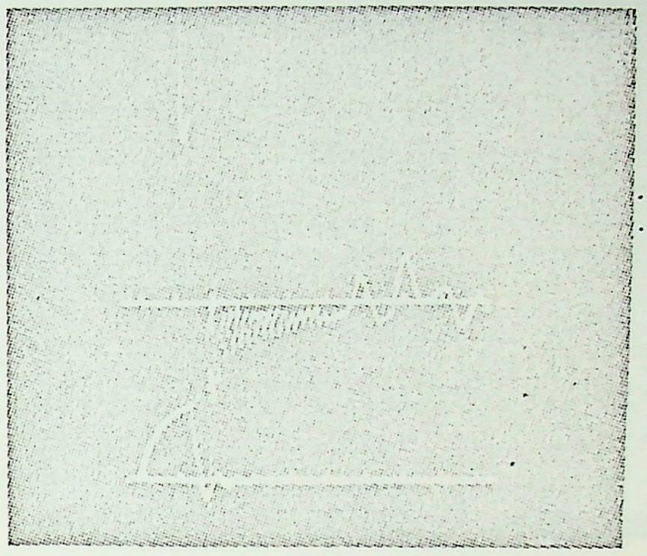
Os oscilogramas mostram que há regularidade dos oscilogramas e superposição com exceção dos oscilogramas referentes às ondas cortadas, 110 kV, que devido ao fato de não terem sido cortadas no mesmo tempo não devem ser usadas para a análise.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA SEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

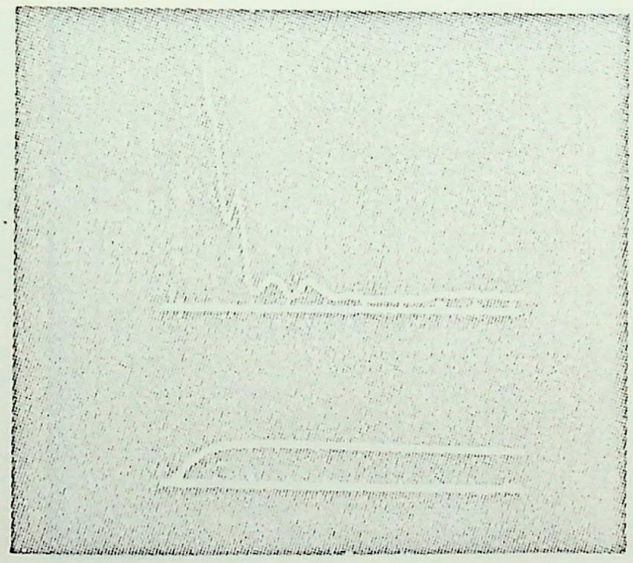




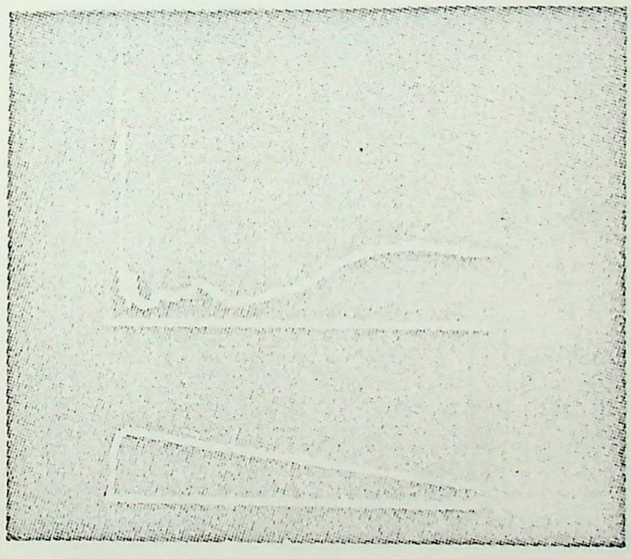
C,T, 0049/70 IND



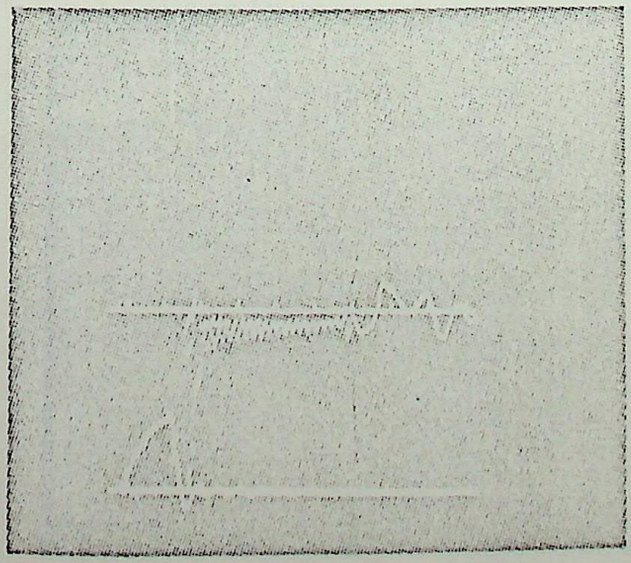
C,T, 0052/70 IND



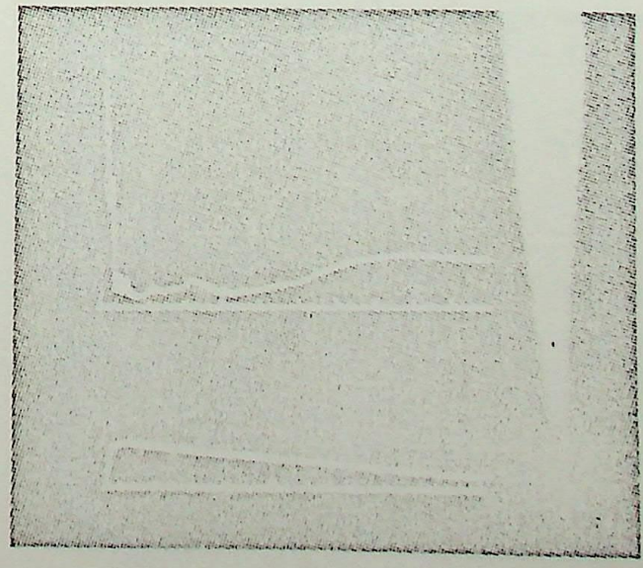
C,T, 0050/70 IND



C,T, 0053/70 IND



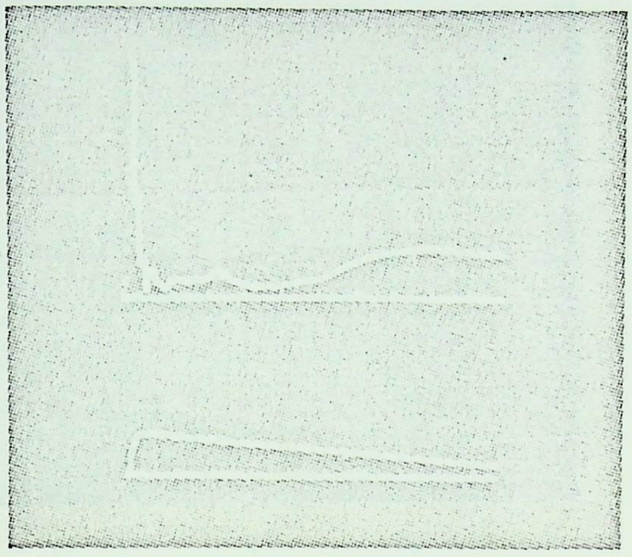
C,T, 0051/70 IND



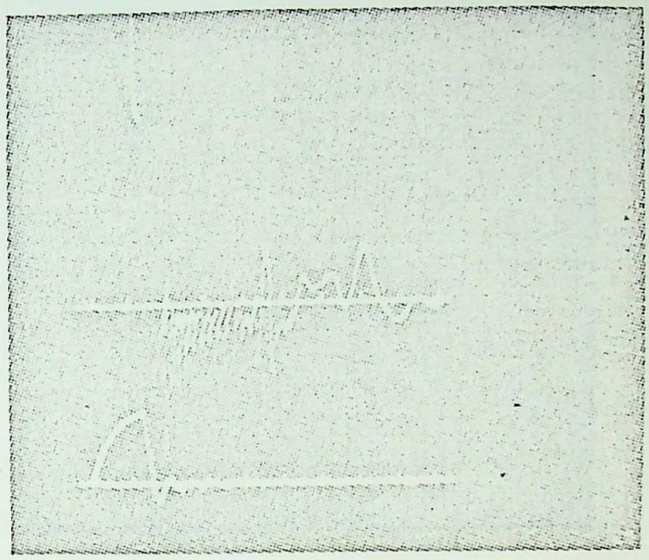
C,T, 0054/70 IND

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA SEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2430
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

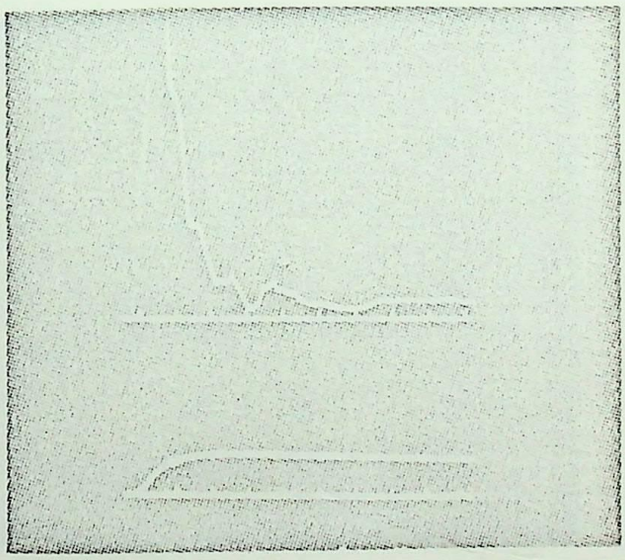




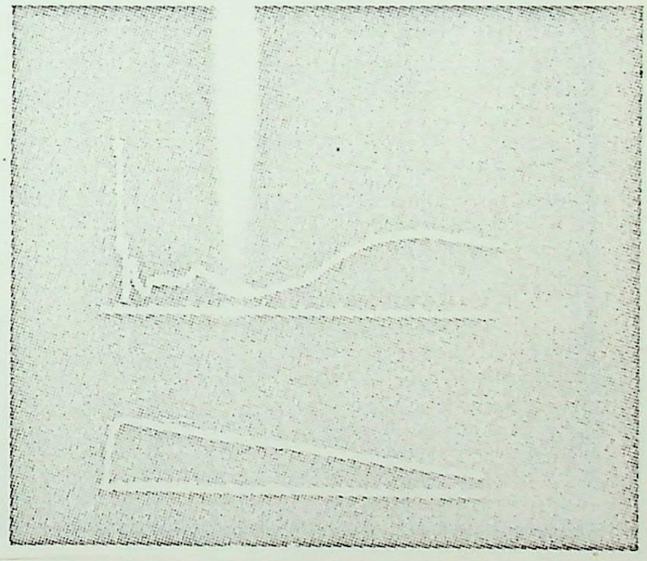
C,T, 0055/70 IND



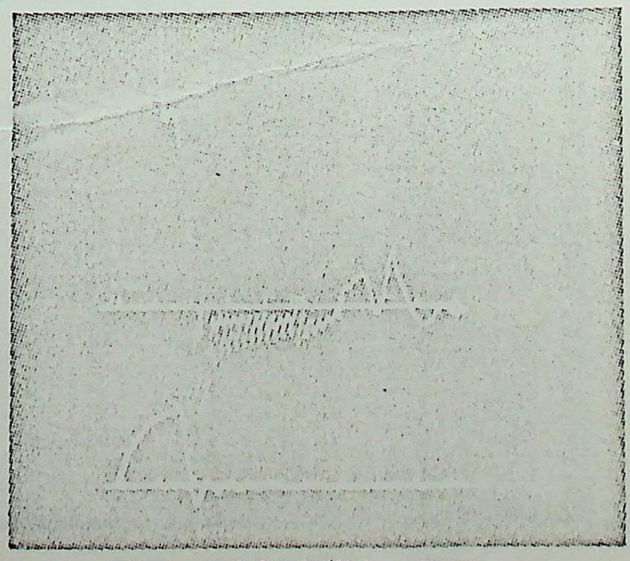
C,T, 0058/70 IND



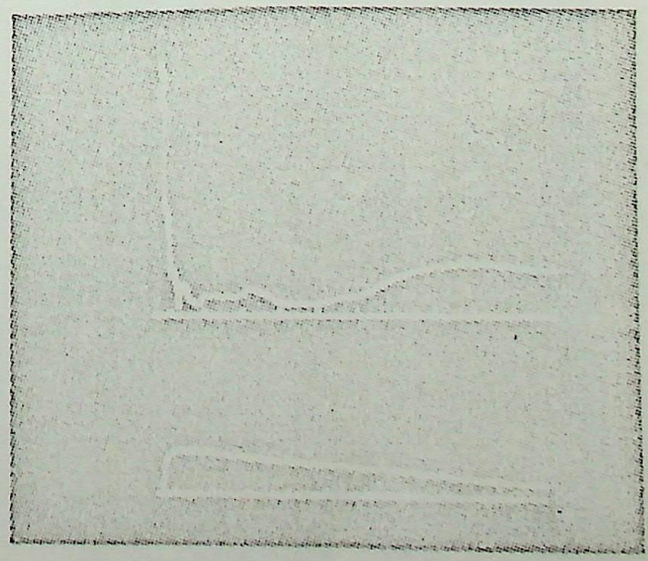
C,T, 0056/70 IND



C,T, 0059/70 IND



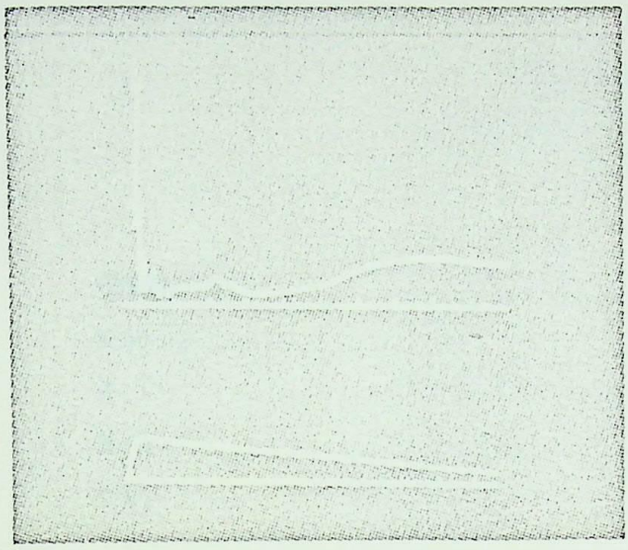
C,T, 0057/70 IND



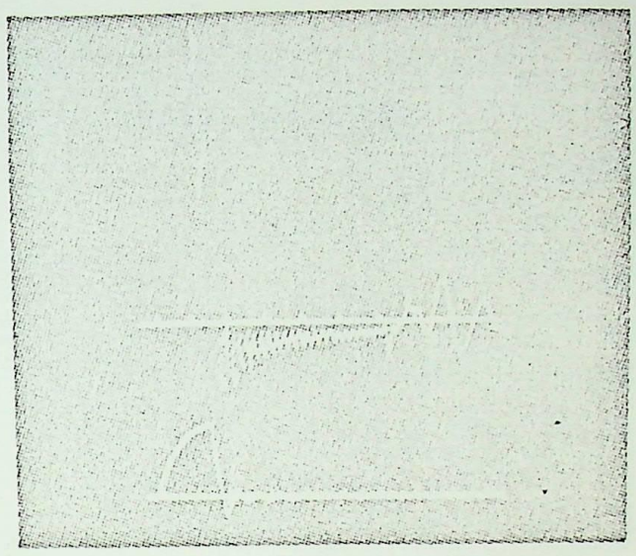
C,T, 0060/70 IND

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA SEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA'
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2699 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

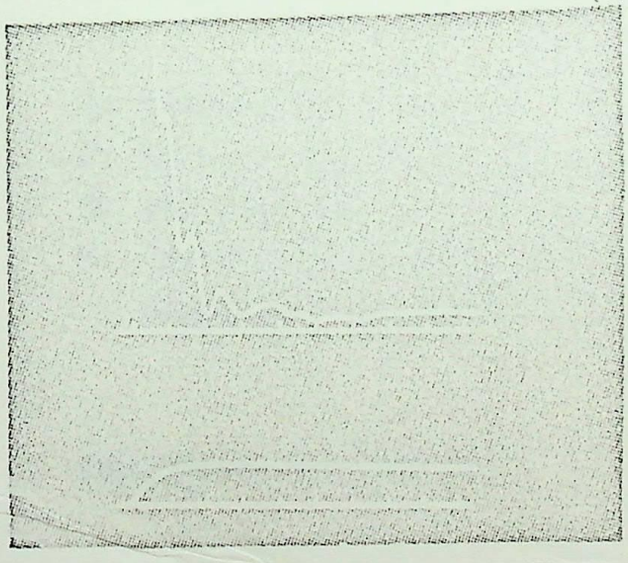




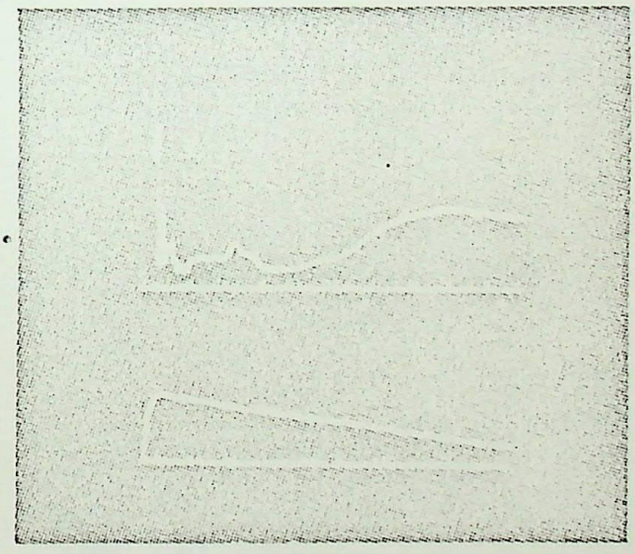
C,T, 0061/70 IND



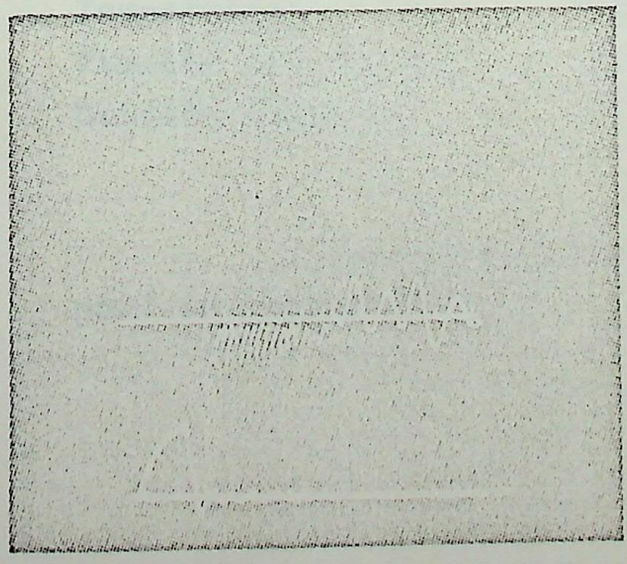
C,T, 0064/70 IND



C,T, 0062/70 IND



C,T, 0065/70 IND



C,T, 0063/70 IND



C,T, 0066/70 IND

ENSAIO DE IMPULSO Nº 39
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 5 kVA |
| A.T. | 7860/7620/7280/6940 V |
| B.T. | 230/115 V |
| NBI: | 75 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 21ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

O transformador foi ensaiado na classe 8,66 e depois na classe 15 kV.

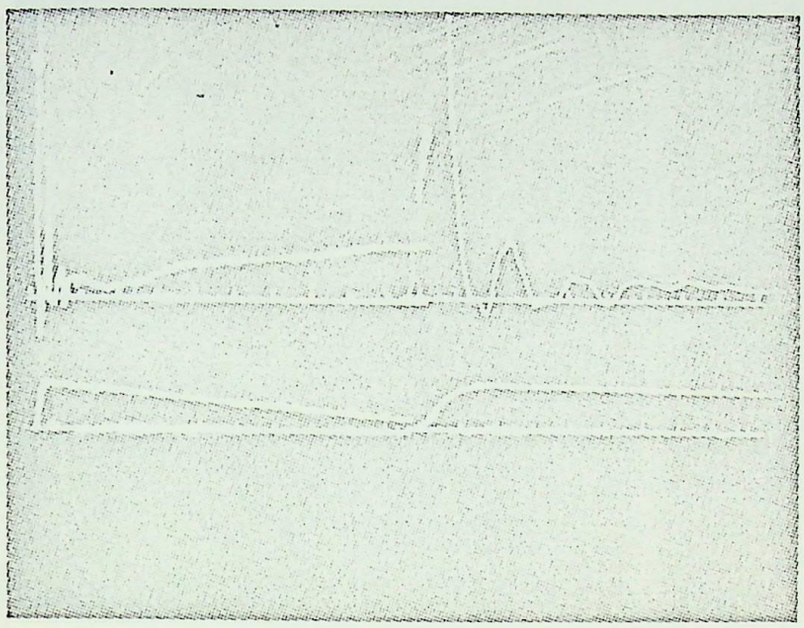
VALORES DE CRISTA

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 45 kV | - 57,5 kV | (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 45 kV | - 57,5 kV | (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 88 kV | - 110 kV | (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 88 kV | - 110 kV | (10 µs) |
| 5. Onda plena | 75 kV | - 95 kV | (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 45 kV | - 57,5 kV | (50 µs) |

Os oscilogramas mostram que o transformador resistiu ao ensaio.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Fort. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2460
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

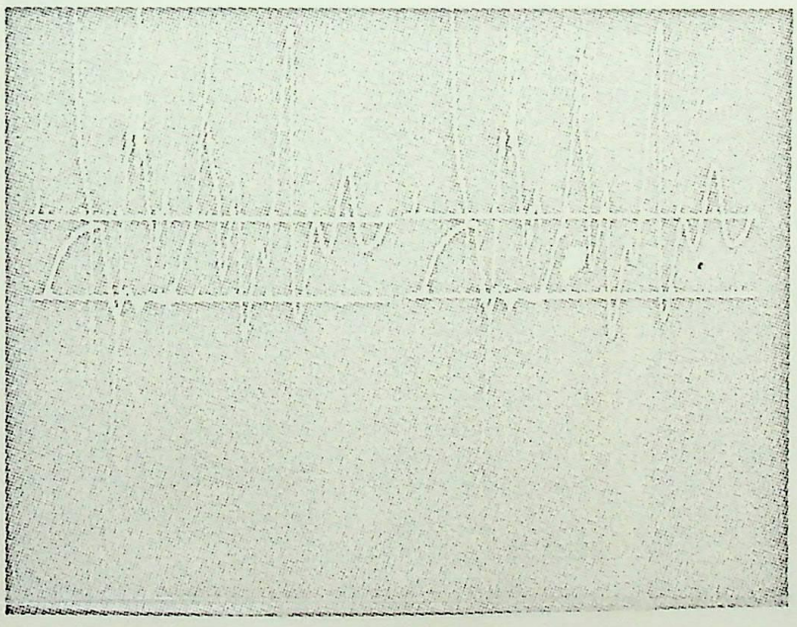




ENSAIO DE IMPULSO
Nº 0132/69 IND

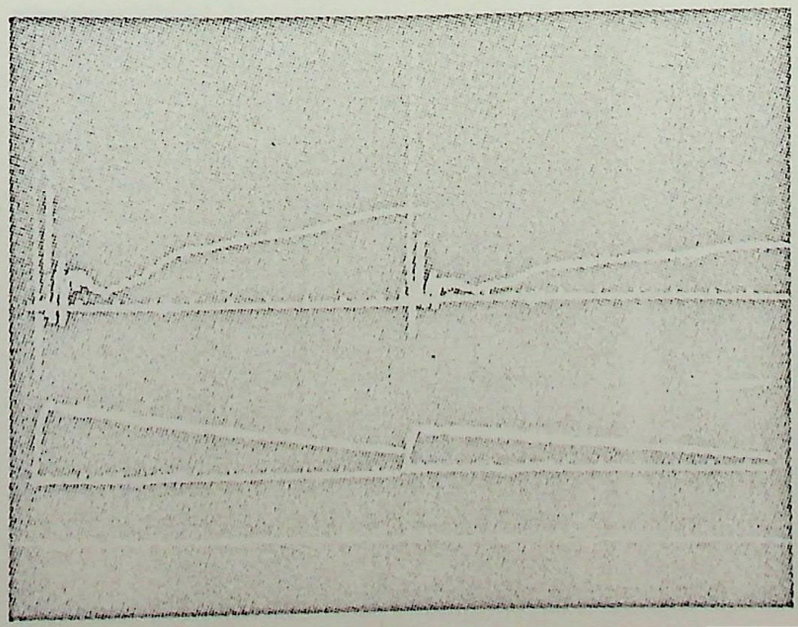
Esquerda: oscilograma polaroid nº 0265 C,T/69, 45 kV, 50 μs, onda reduzida

Direita: oscilograma polaroid nº 0265 C,T/69, 45 kV, 10 μs, onda reduzida



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0267 C,T/69, 88 kV, 10 μs, onda cortada

Direita: oscilograma polaroid nº 0268 C,T/69, 88 kV, 10 μs, onda cortada

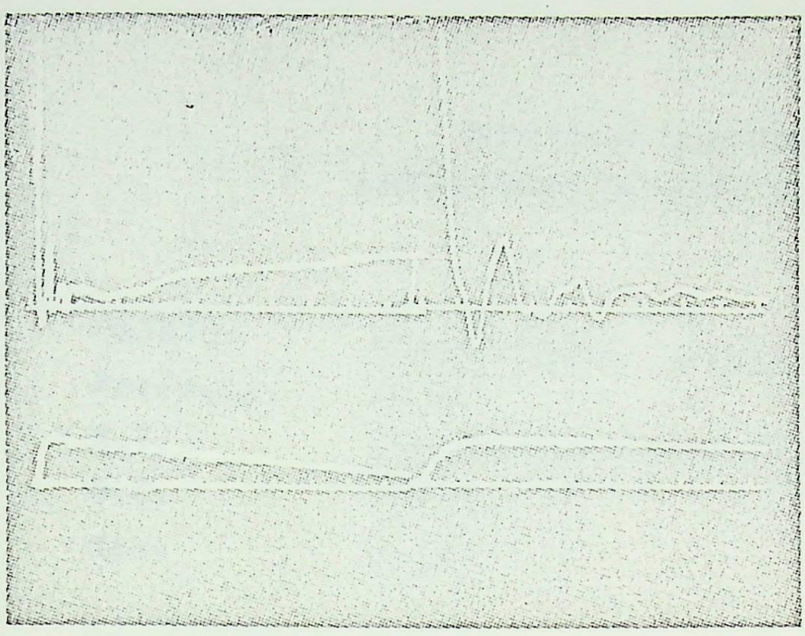


Esquerda: oscilograma polaroid nº 0271 C,T/69, 75 kV, 50 μs, onda plena

Direita: oscilograma polaroid nº 0272 C,T/69, 45 kV, 50 μs, onda plena reduzida para verificação

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2430
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

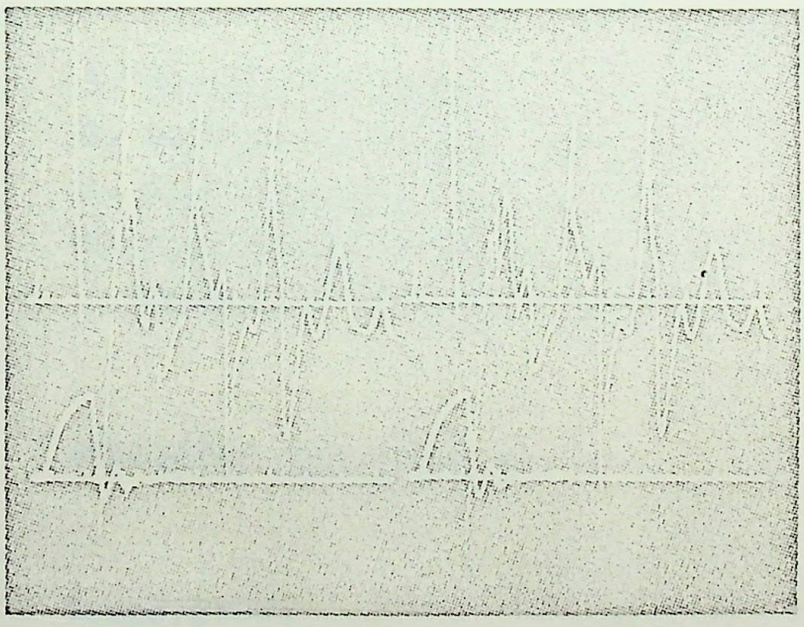




ENSAIO DE IMPULSO
Nº 0133/69 IND.

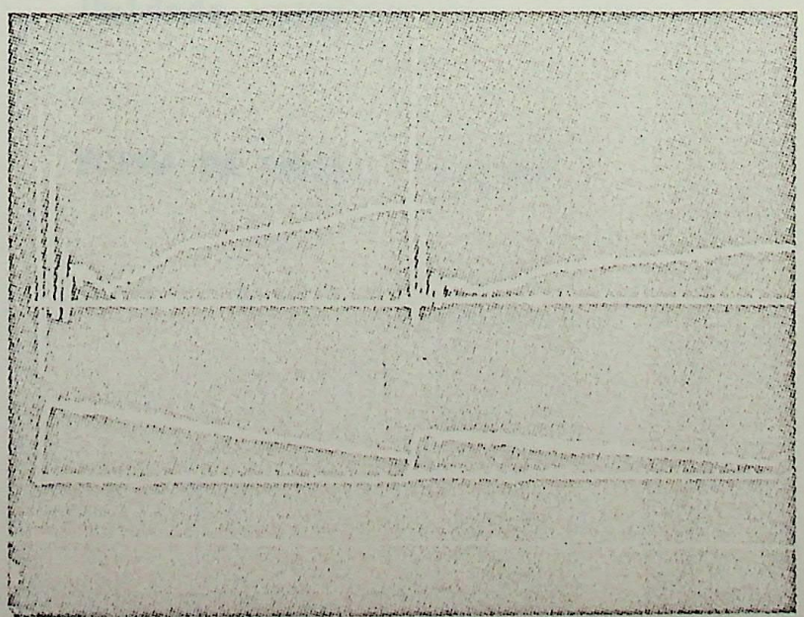
Esquerda: oscilograma polaroid nº 0273 C,T/69, 45 kV, 50 μs, onda reduzida.

Direita: oscilograma polaroid nº 0274 C,T/69, 45 kV, 10 μs, onda reduzida.



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0277 C,T/69, 110 kV, 10 μs, onda cortada I.

Direita: oscilograma polaroid nº 0278 C,T/69, 110 kV, 10 μs, onda cortada I.



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0279 C,T/69, 95 kV, 50 μs, onda plena.

Direita: oscilograma polaroid nº 0280 C,T/69, 45 kV, 50 μs, onda reduzida para verificação

ENSAIO DE IMPULSO Nº 40
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 10 kV
A.T. 13800/13200/12600/12000 V
B.T. 230/115 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Osciló̲grafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 21ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm Hg |
| Umidade relativa | 69% |

FORMA DA ONDA: 1,2/50

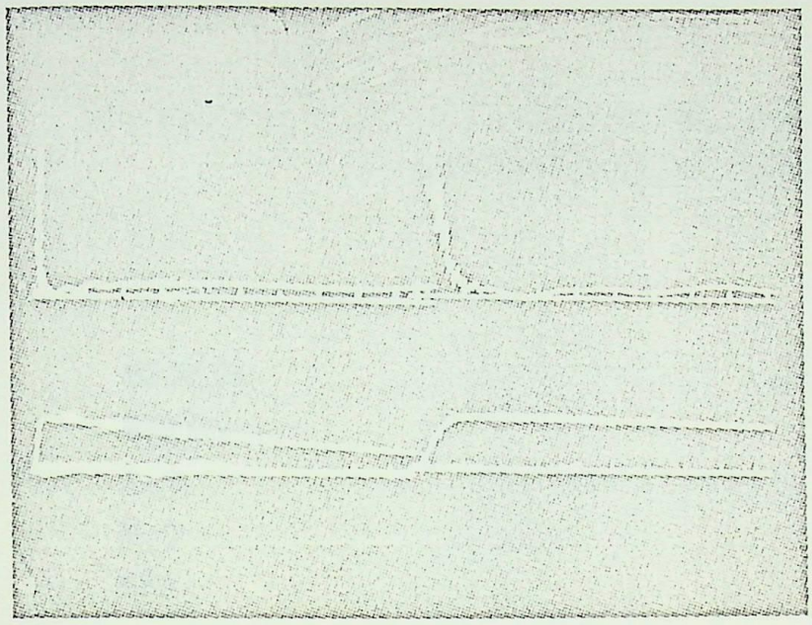
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

O oscilograma de corrente mostra o princípio de descarga (eflúvio) bastante forte na onda plena 95 kV.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

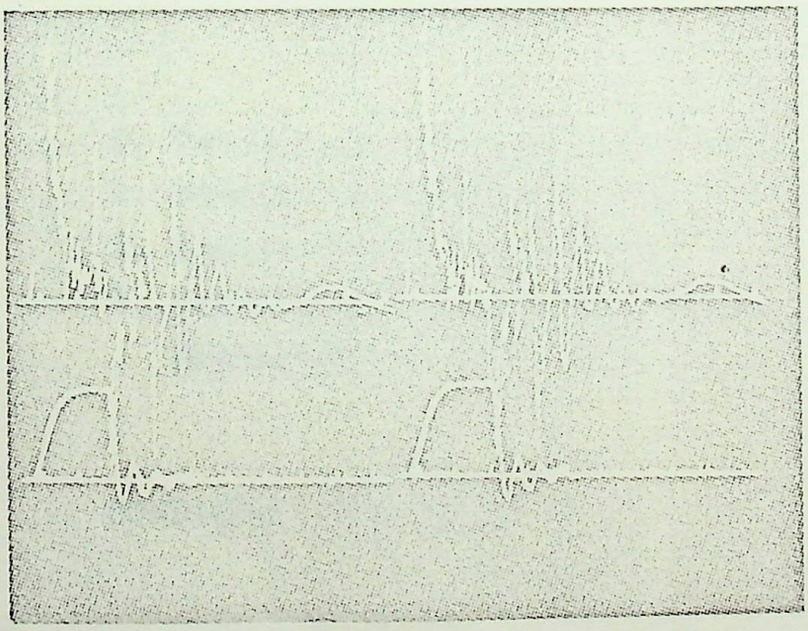




ENSAIO DE IMPULSO
Nº 0131/69 IND

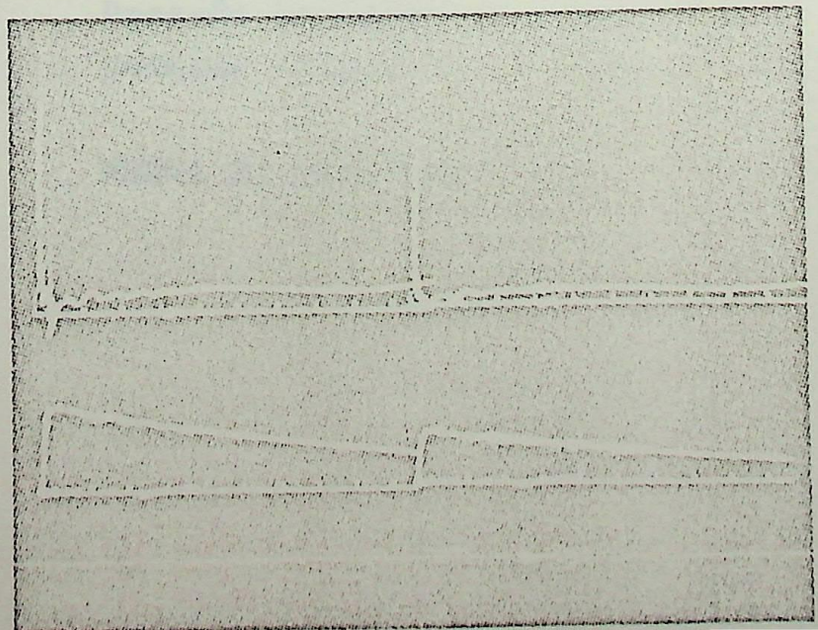
Esquerda: oscilograma polaroid nº 0259 C,T/69, 45 kV, 50 /us, onda reduzida

Direita: oscilograma polaroid nº 0260 C,T/69, 45 kV, 10 /us, onda reduzida



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0261 C,T/69, 110 kV, 10 /us, onda cortada

Direita: oscilograma polaroid nº 0262 C,T/69, 110 kV, 10 /us, onda cortada



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0263 C,T/69, 95 kV, 50 /us, onda plena

Direita: oscilograma polaroid nº 0264 C,T/69, 45 kV, 50 /us, onda reduzida p/verificação

ENSAIO DE IMPULSO Nº 41
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 45 kVA |
| A.T. | 13200/12600/12000/11400/10800 V |
| B.T. | 220/127 V |
| NBI: | 110 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Osciló̲grafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 681 mm Hg |
| Umidade relativa | 78% |

FORMA DA ONDA 1,2/50

VALORES DE CRISTA

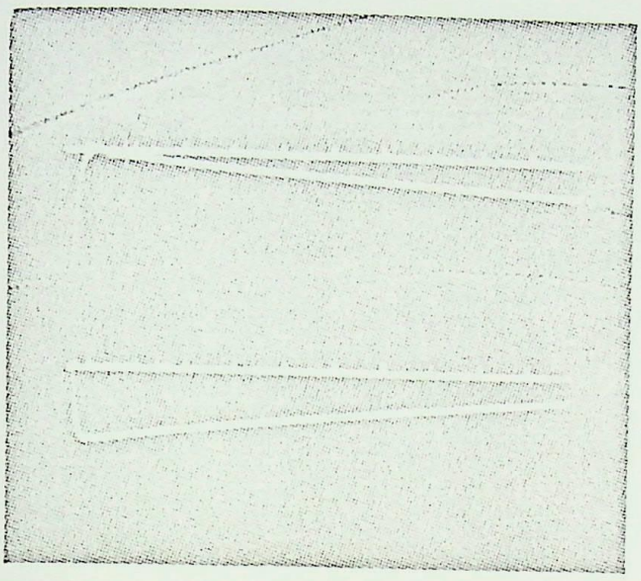
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

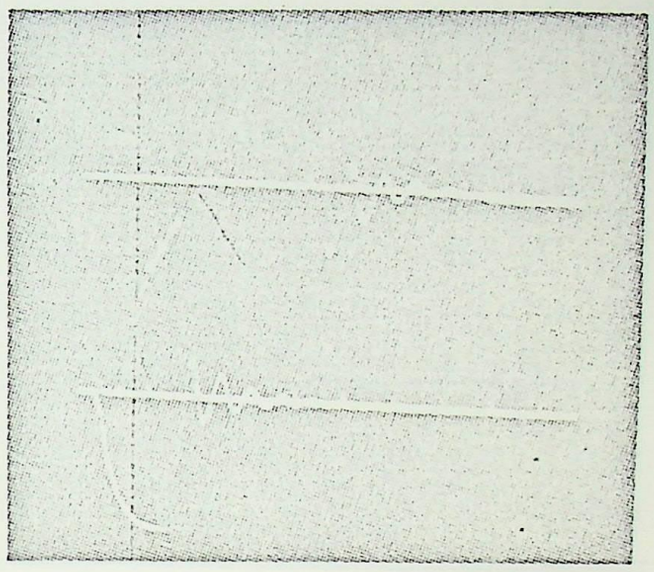
Os oscilogramas indicam curto circuito entre bobinas. Maior amplitude de corrente bucha central, menor na terceira bucha. O defeito se localiza no enrolamento 1.

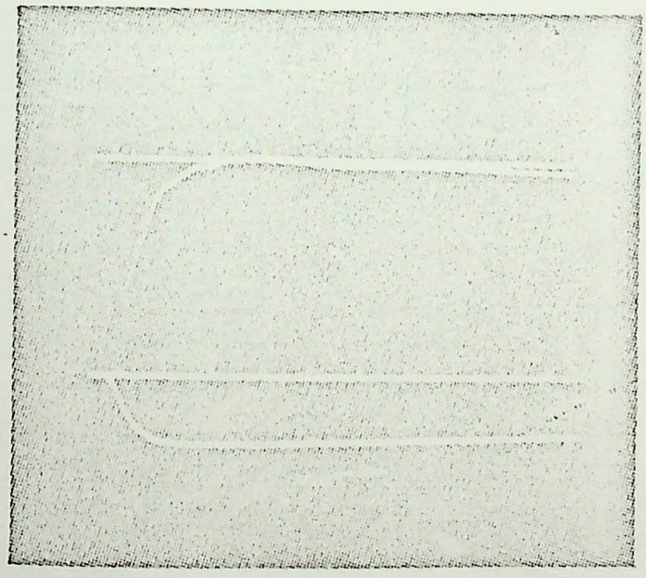
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 59 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

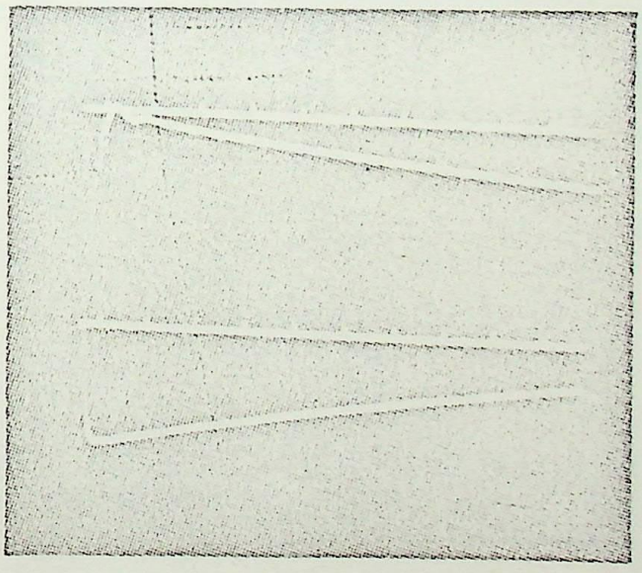


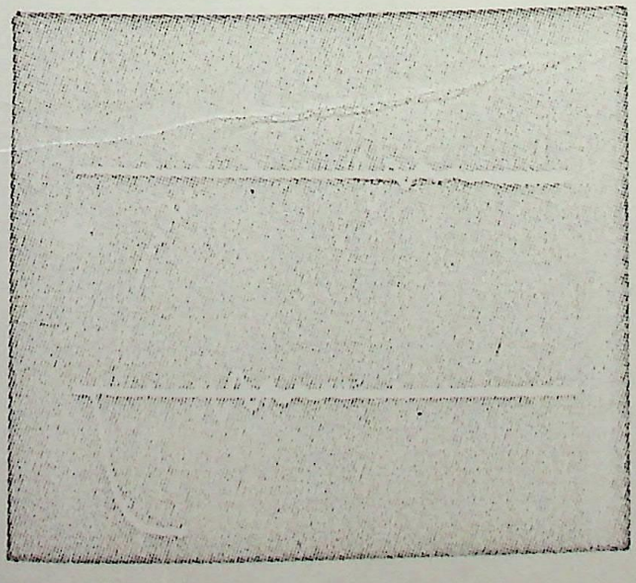
# BUCHA $H_1$

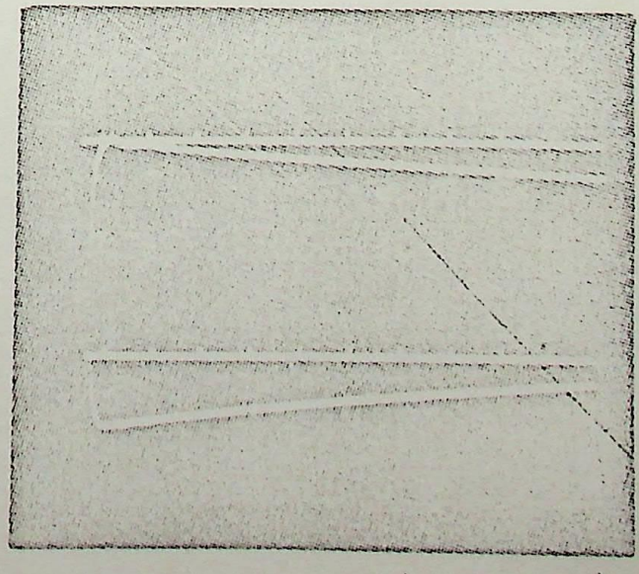








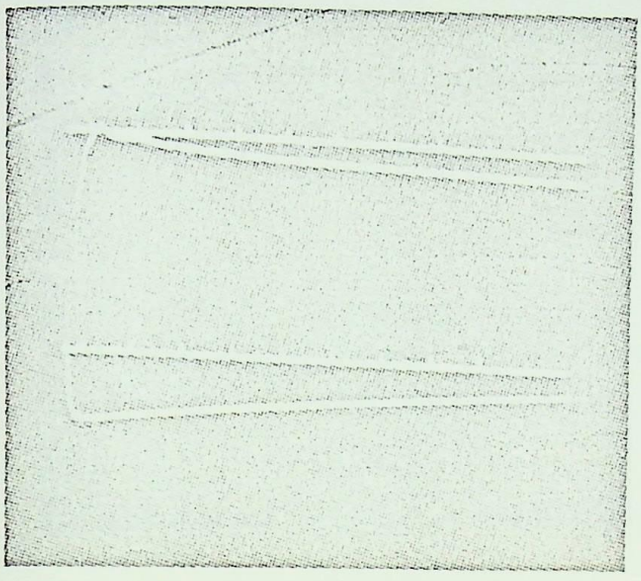


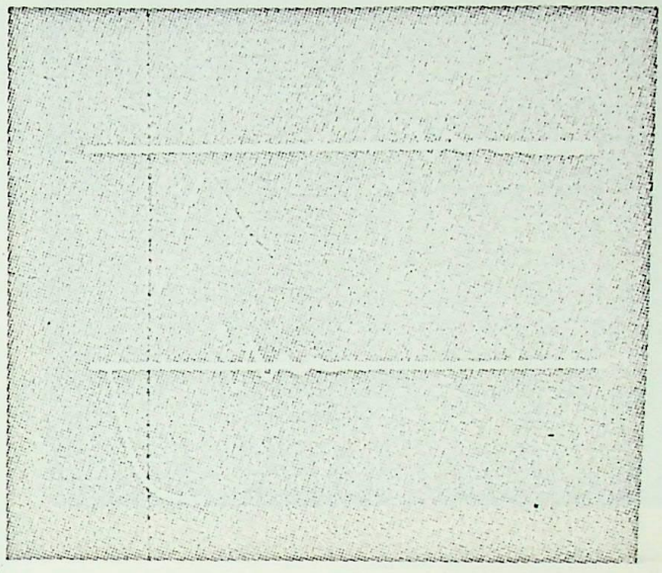


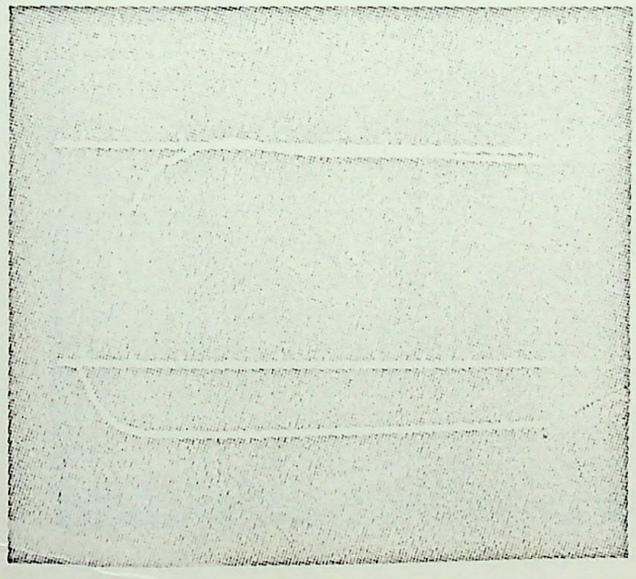
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

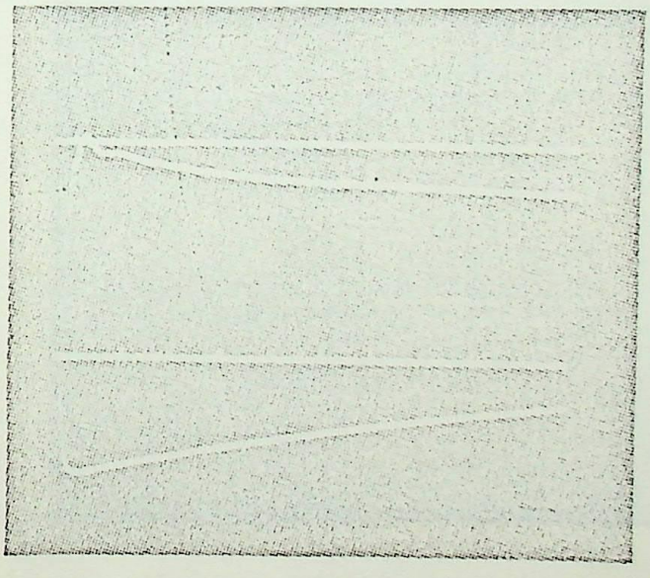


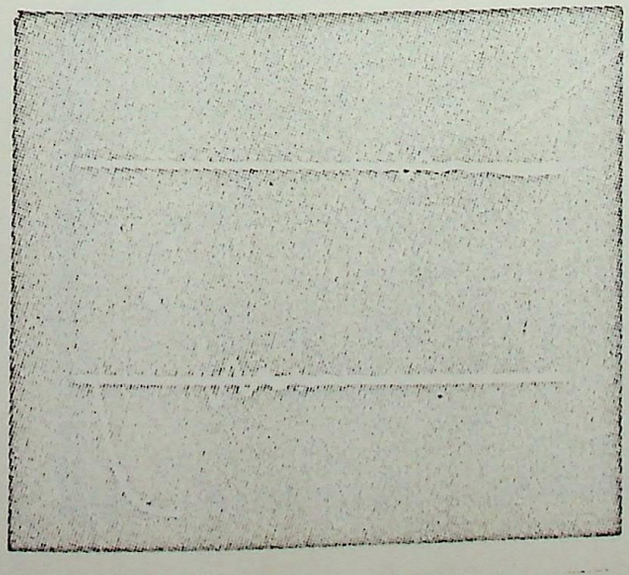
# BUCHA $H_2$

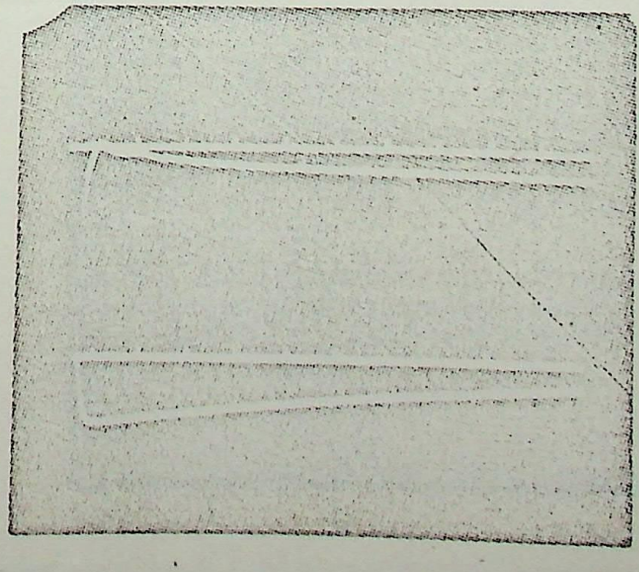








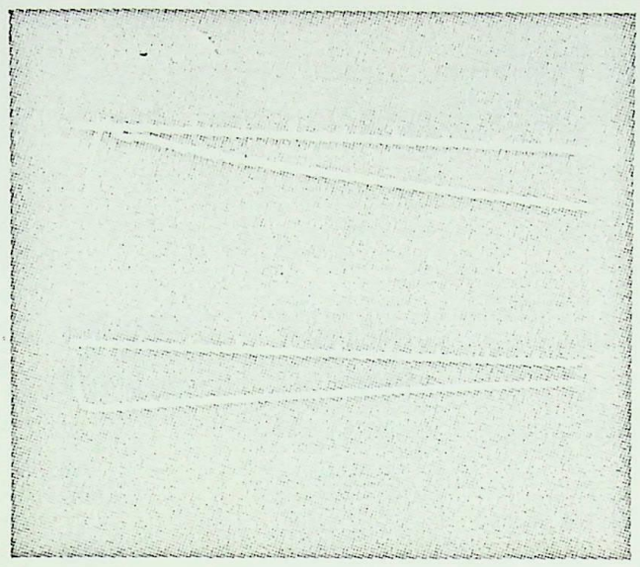


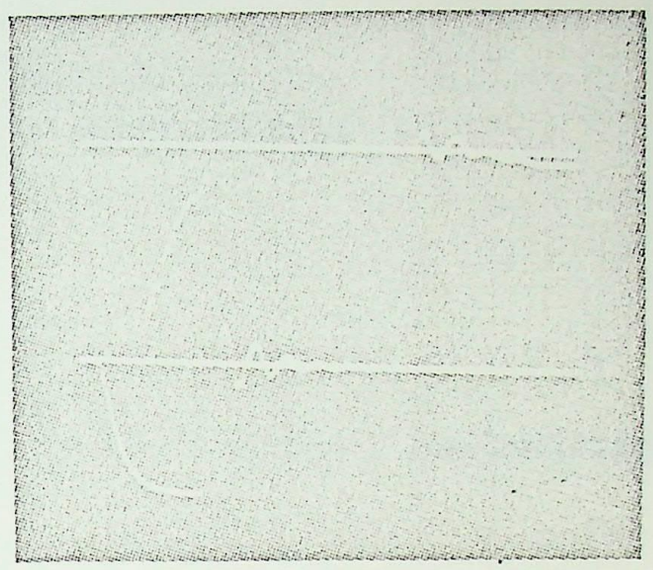


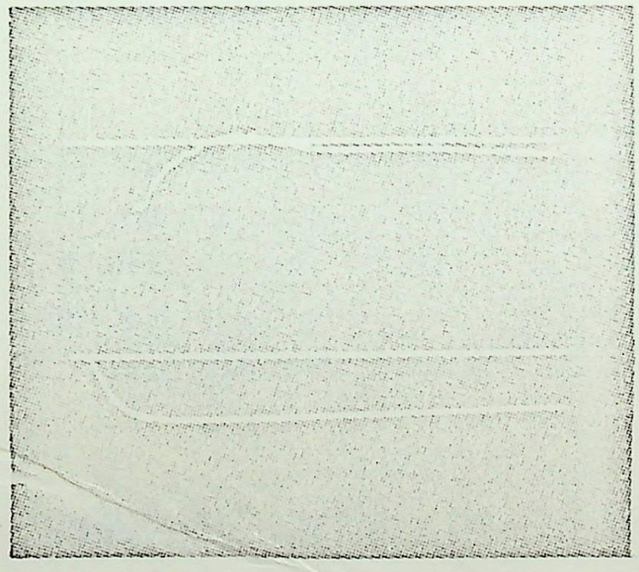
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2699 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

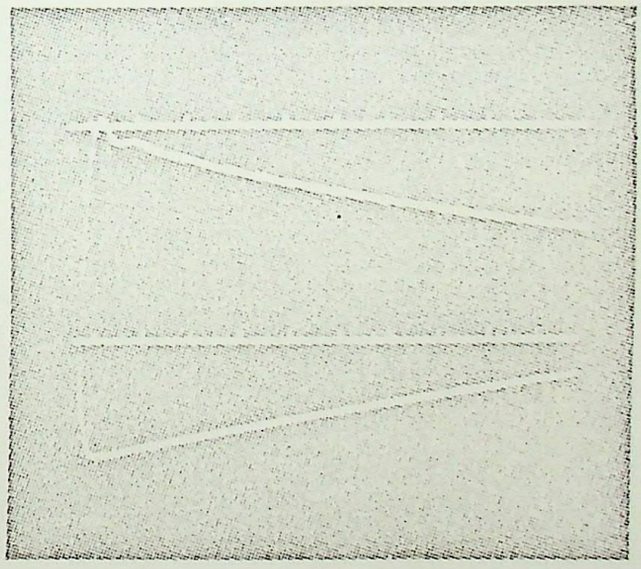


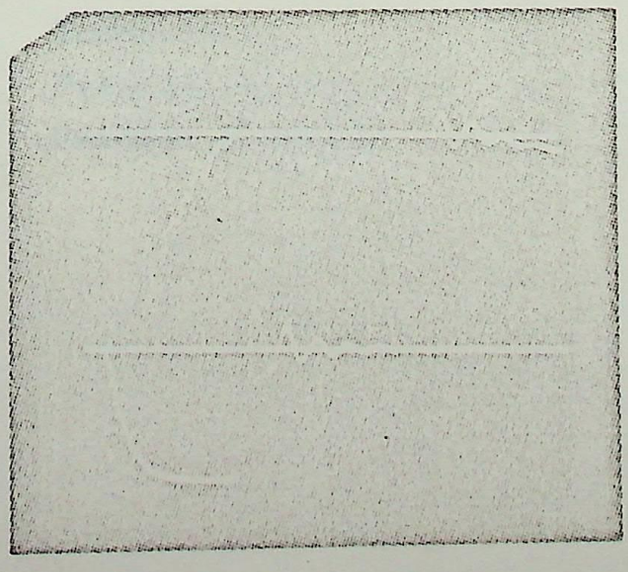
# BUCHA $H_3$

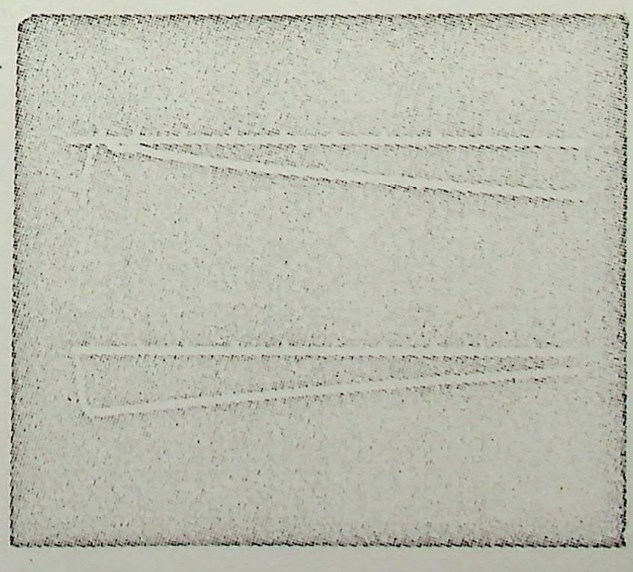












# ENSAIO DE IMPULSO Nº 42
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador trifásico
Potência: 15 kVA
A.T. 11950/11430/10900/10400/9900/6900/6600/6300/6000/5700
B.T. 220/127 V
NBI: 95 kV

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 24ºC |
| Pressão barométrica | 686 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

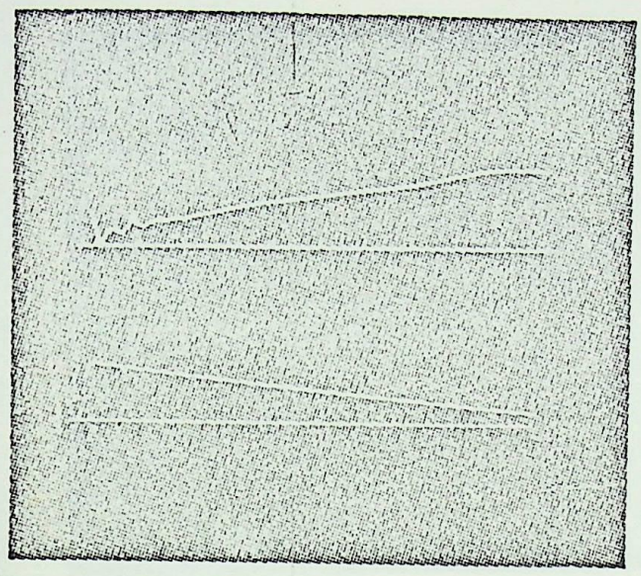
VALORES DE CRISTA

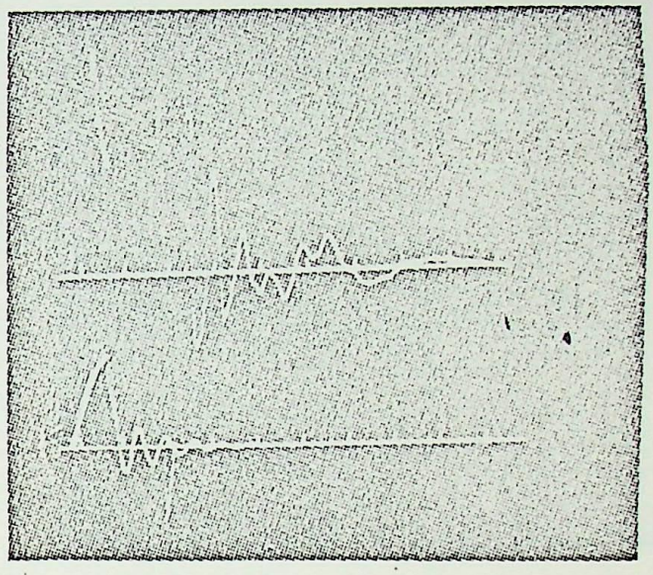
| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

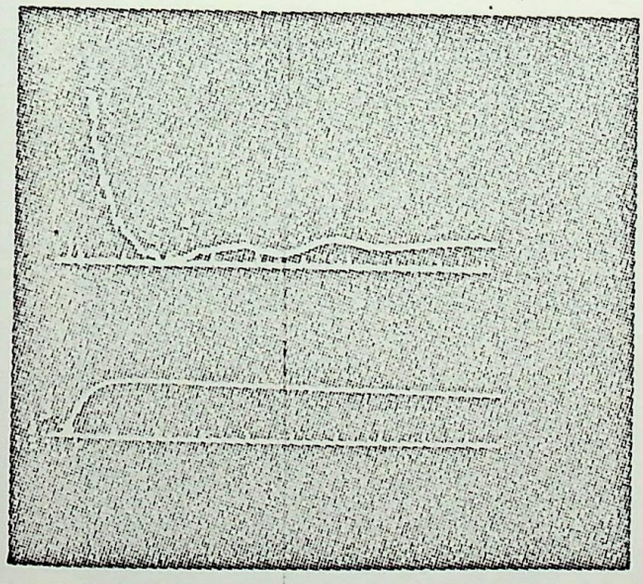
Os oscilogramas mostram curto circuito na bobina 3.

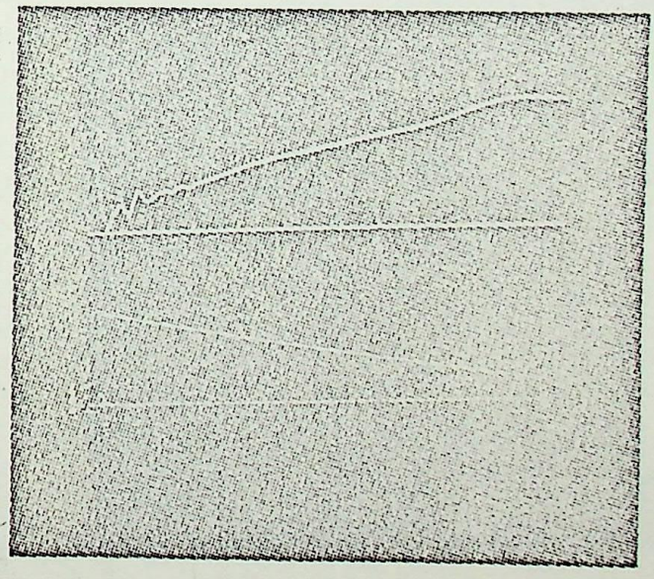
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2699 - Pós Grad. 2465

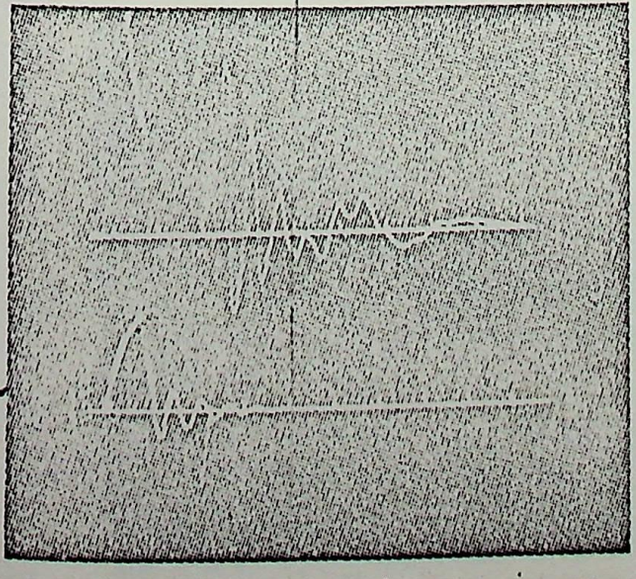


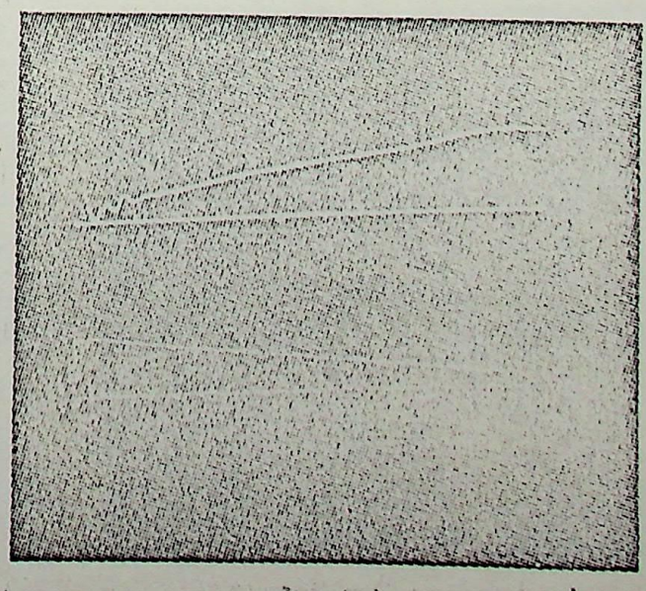






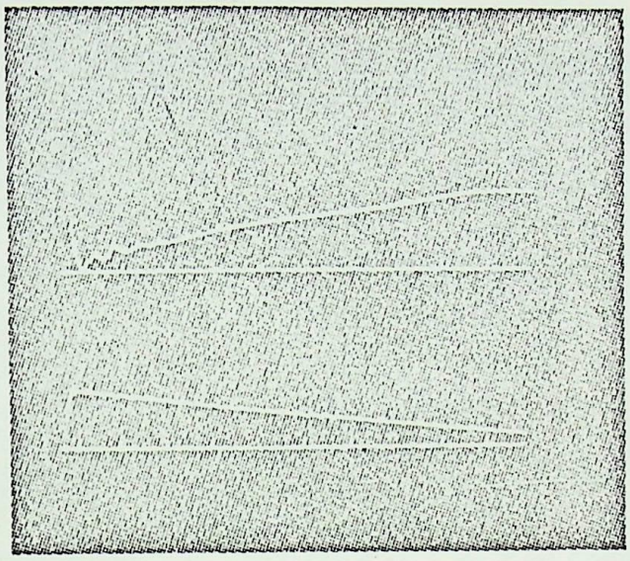


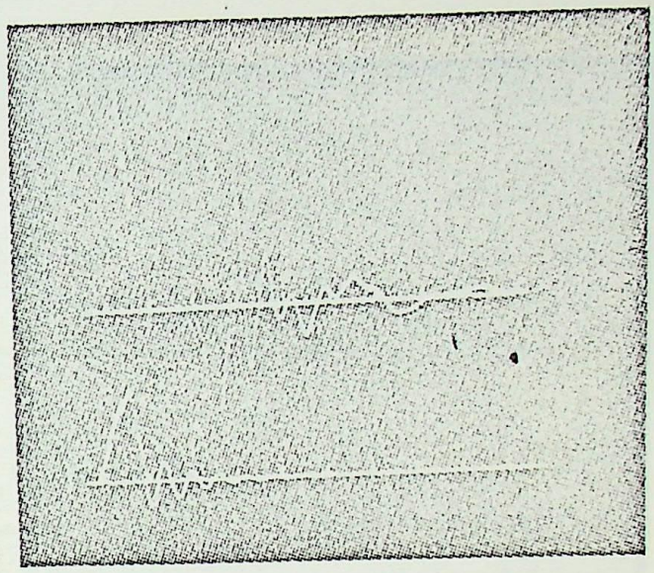


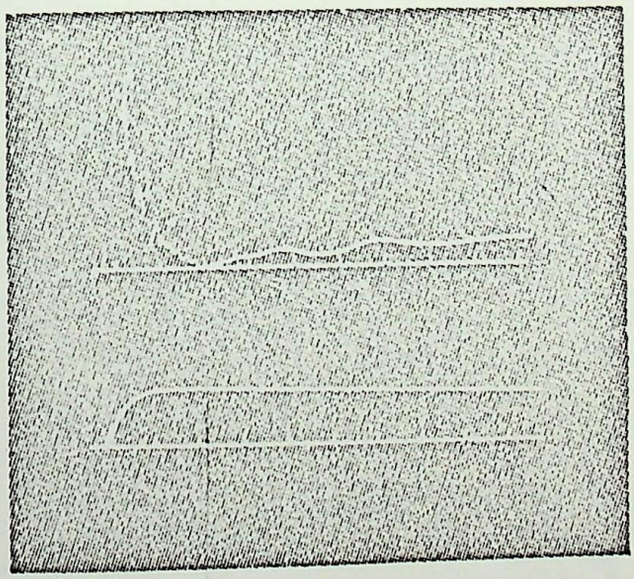


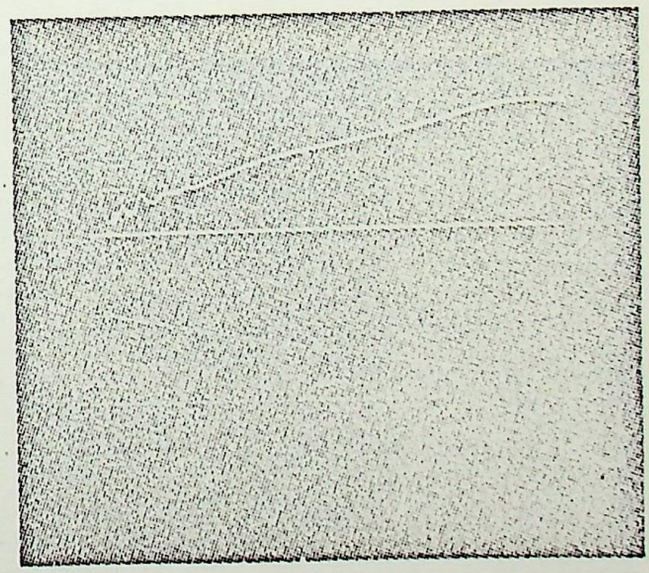
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
F O N E S: Dir.1 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

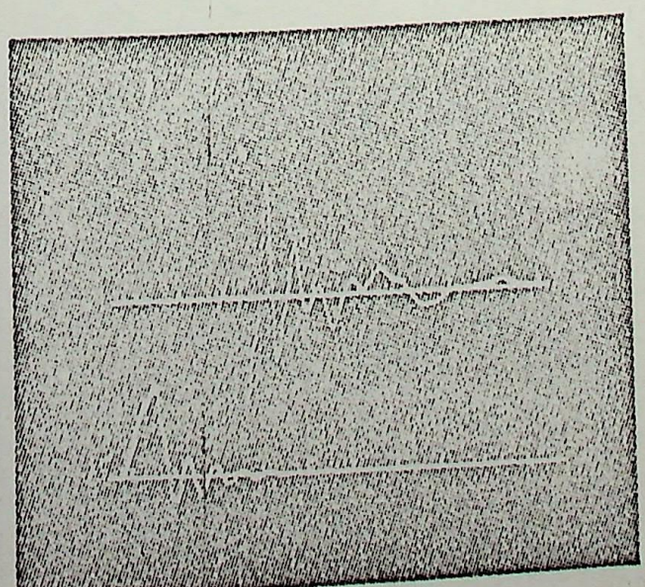


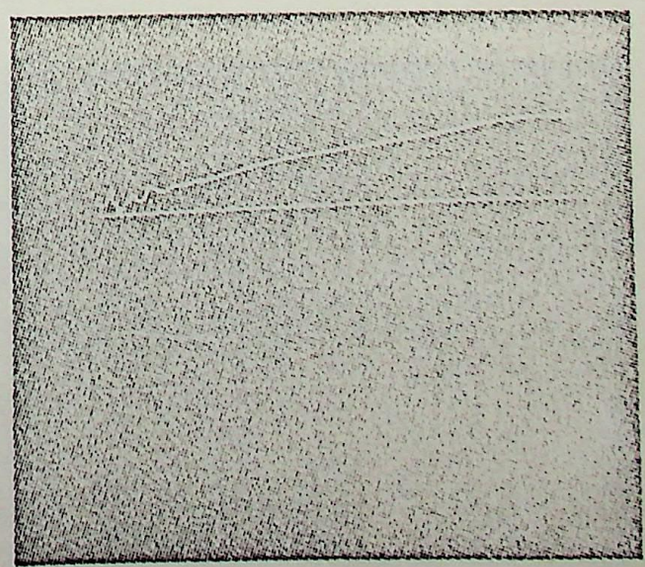








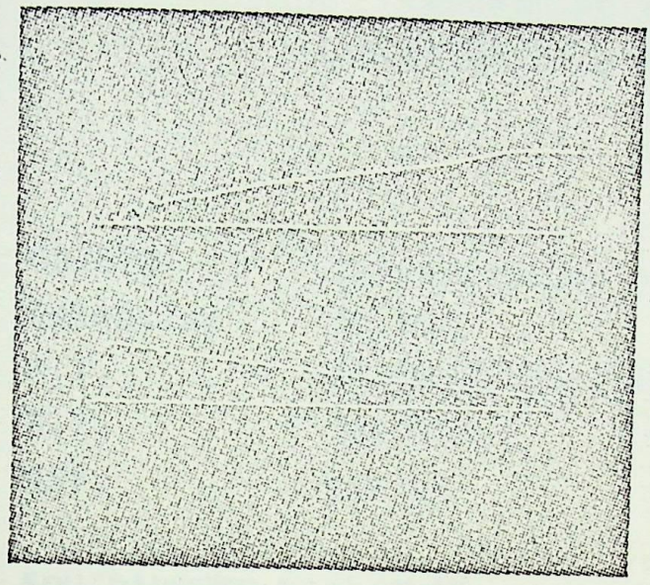


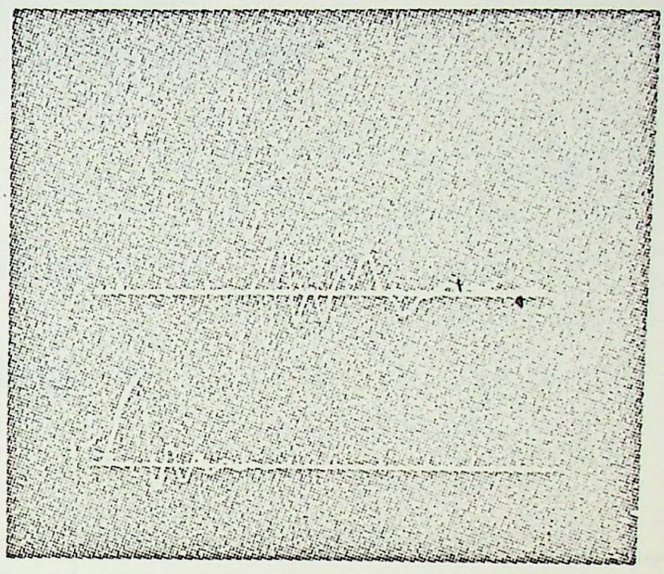


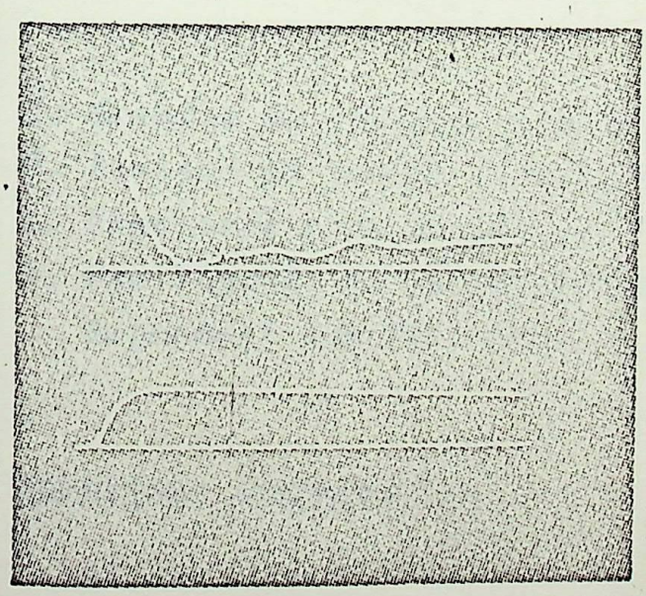
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

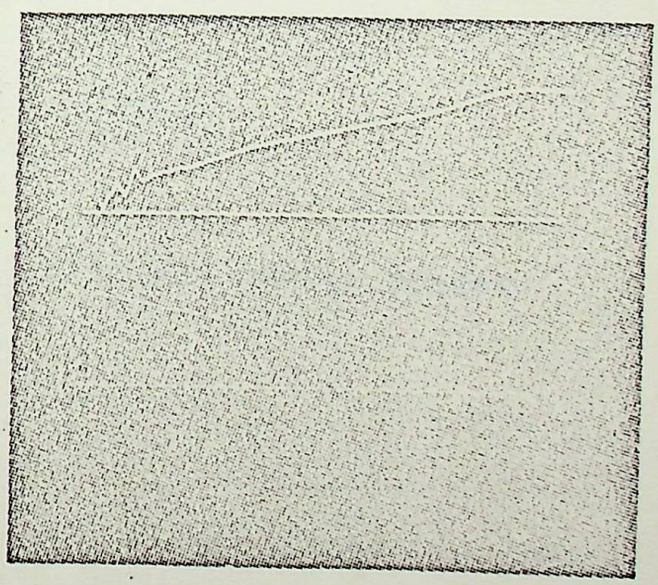
Escola Federal de Engenharia

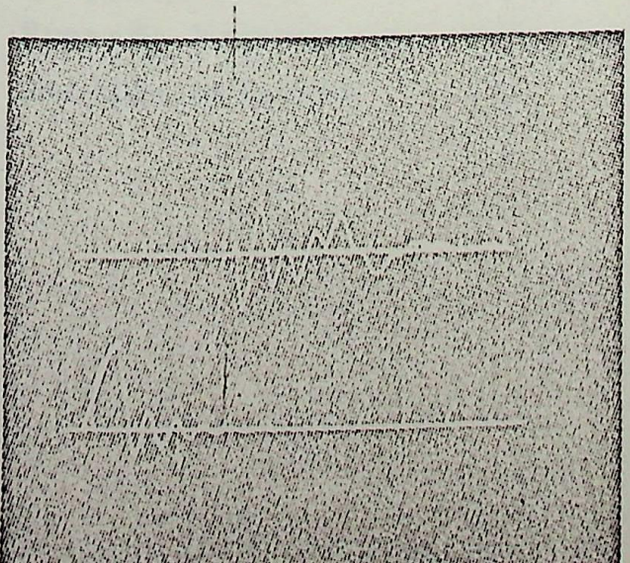


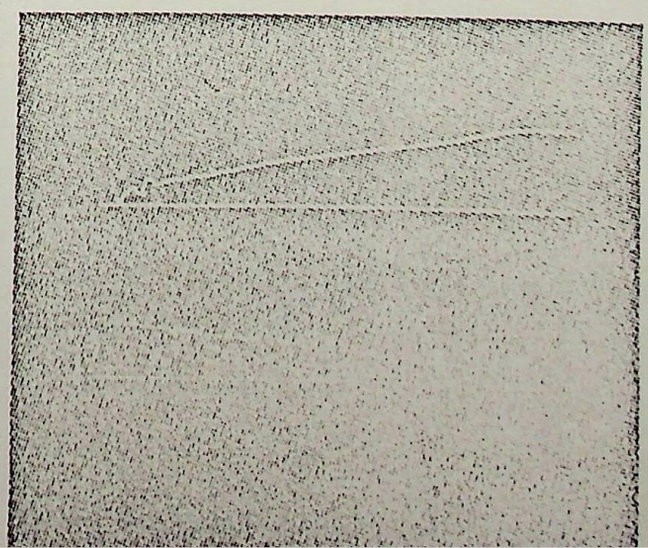












# ENSAIO DE IMPULSO Nº 43
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador trifásico |
| Potência: | 30 kVA |
| A.T. | 23100/22000/20900/19800 V |
| B.T. | 380/220 V |
| NBI: | 150 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72.

## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 75 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 75 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 175 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 175 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 150 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 75 kV (50 µs) |

O transformador apresenta defeitos. Não há superposição das ondas reduzidas. Nota-se forte eflúvio nos oscilogramas da bucha II.

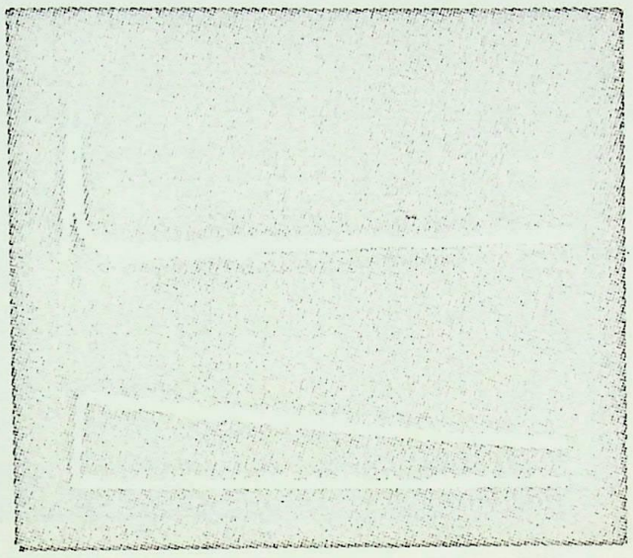
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2460
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



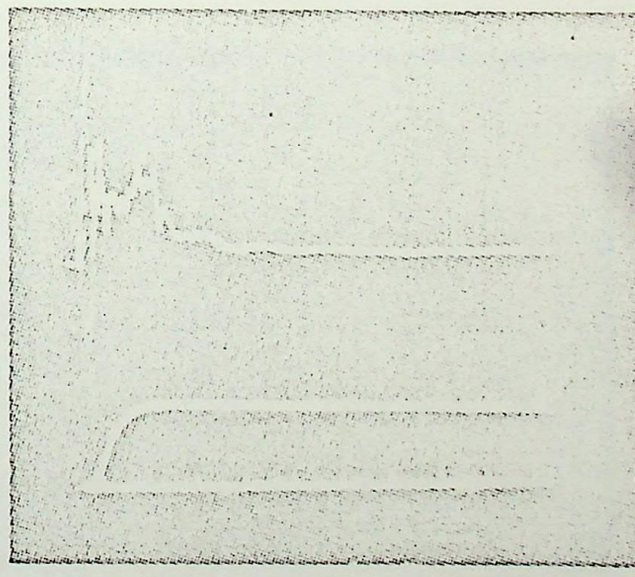
# Ensáio de Impulso

## Nº 0146/69 - IND

### Bucha I



Oscilogramas de corrente e de tensão, 75 kV, ondá reduzida, 50 μs



Oscilogramas de corrente e de tensão, 75 kV, onda reduzida, 10 μs.

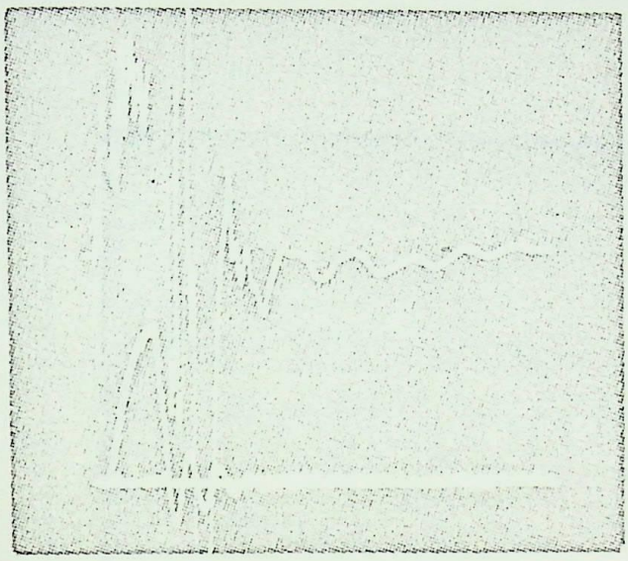


Oscilogramas de corrente e de tensao, 175 kV, onda cortada, 10 μs.

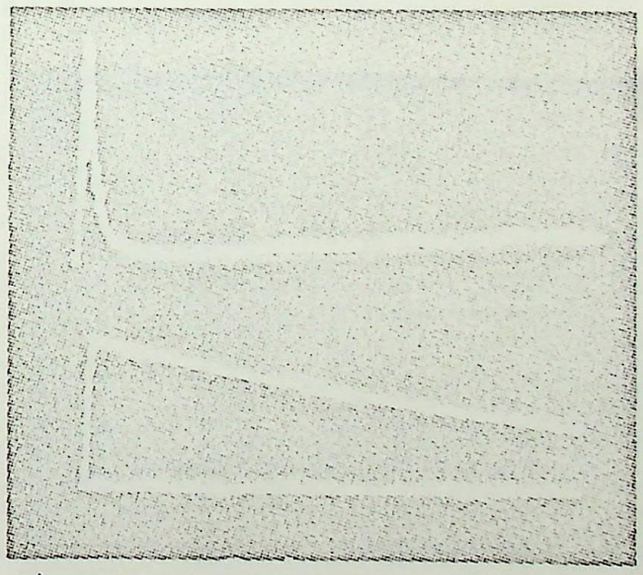
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2678 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



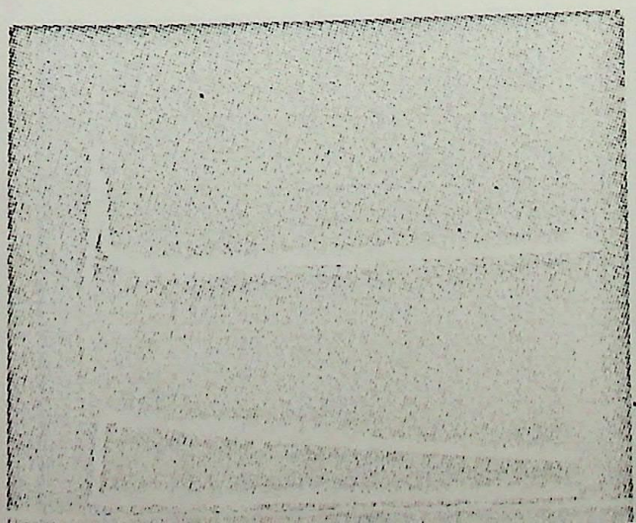
# Ensáio de Impulso
## Nº 0146/69 - IND
## Bucha I



Oscilogramas de corrente e de tensão, 175 kV, onda cortada, 10 μs.



Oscilogramas de corrente e de tensão, 150 kV, onda plena, 50 μs.



Oscilogramas de corrente e tensão, 75 kV, onda reduzida para verificaçao, 50 μs.

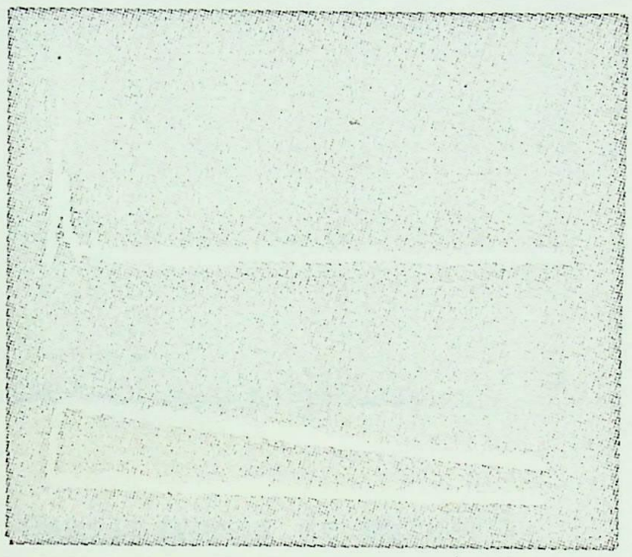
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Sib 2678 - Pós-Grad. 2465



# Ensáio de Impulso

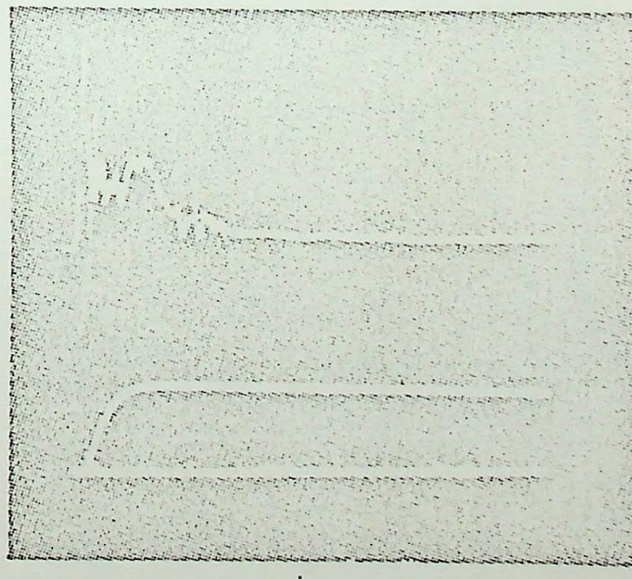
## Nº 0116/69 - IND

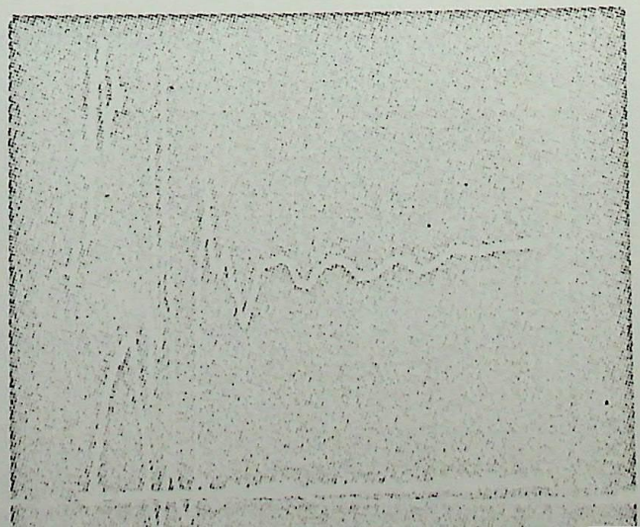
## Bucha I I



Oscilogramas de corrente e de tensão, 75 kV, onda reduzida, 50 μs.

Oscilogramas de corrente e de tensão, 75 kV, onda reduzida, 10 μs.



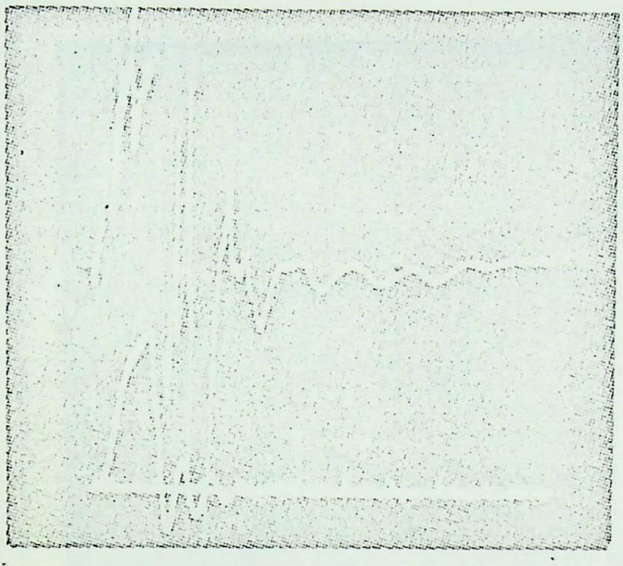


Oscilogramas de corrente e de tensão, 175 kV, onda cortada, 10 μs.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2606 - Elet. 2929 - Mec. 2400
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465

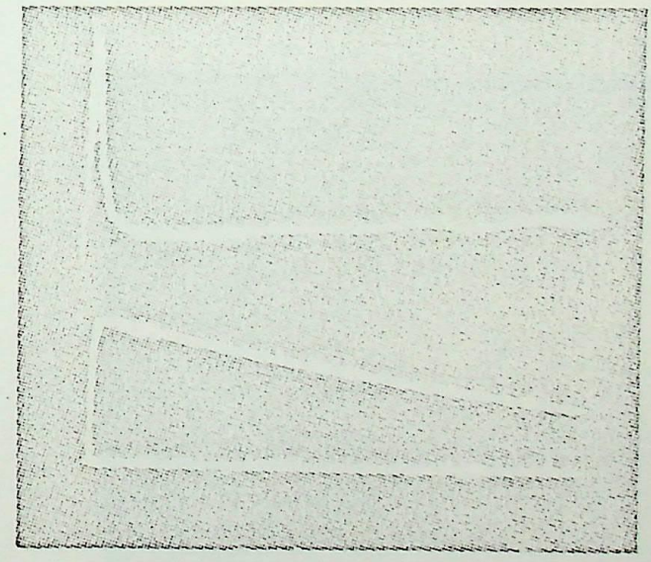


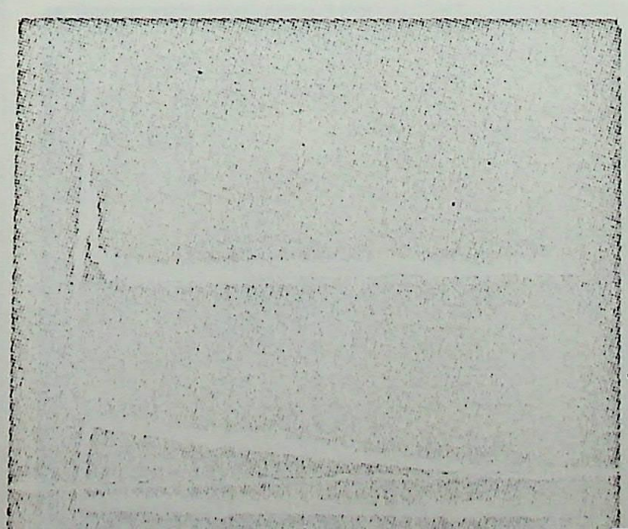
# Ensáio de Impulso
## Nº 0146/69 - IND
## Bucha II



Oscilogramas de corrente e de tensão, 175 kV, onda cortada, 10 μs

Oscilogramas de corrente e de tensão, 150 kV, onda plena, 50 μs.



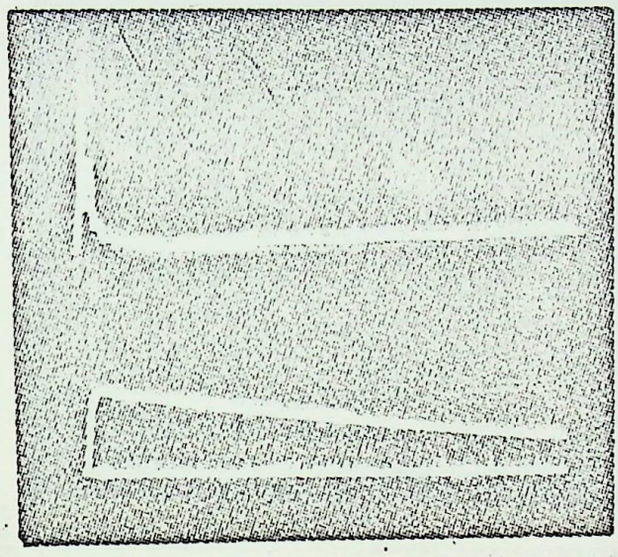


Oscilogramas de corrente e tensão, 75 kV, onda reduzida para verificação, 50 μs.

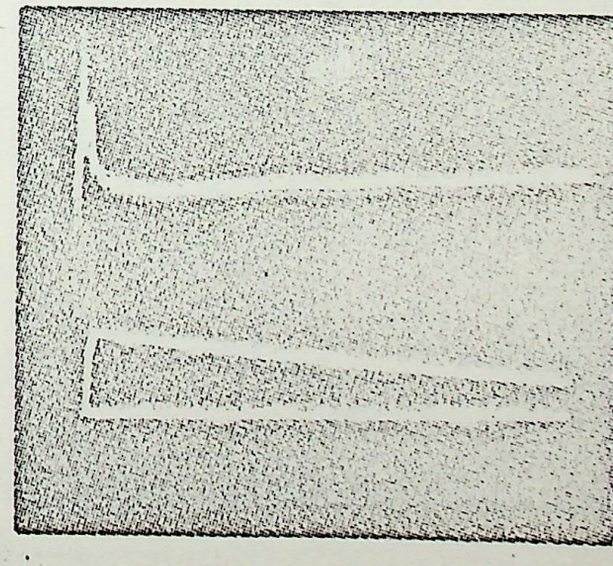
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir. 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



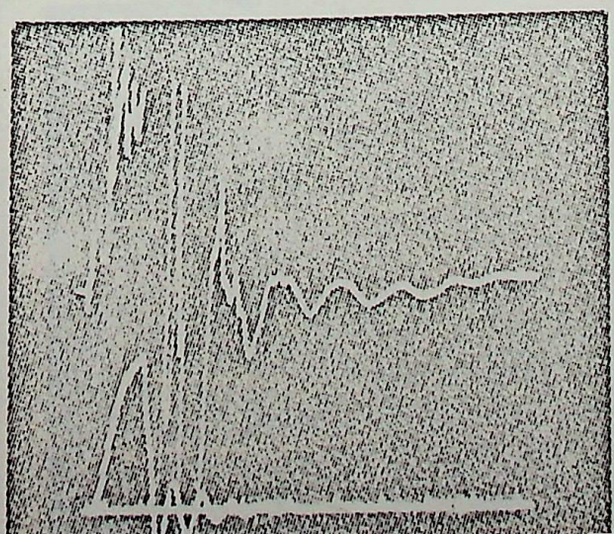
# Ensaio de Impulso
## Nº 0146/69 - IND
## Bucha III



Oscilogramas de corrente e de tensão, 75 kV, onda reduzida, 50 μs.



Oscilogramas de corrente e de tensão, 75 kV, onda reduzida, 50 μs.



Oscilogramas de corrente e de tensão, 175 kV, onda cortada, 10 μs.

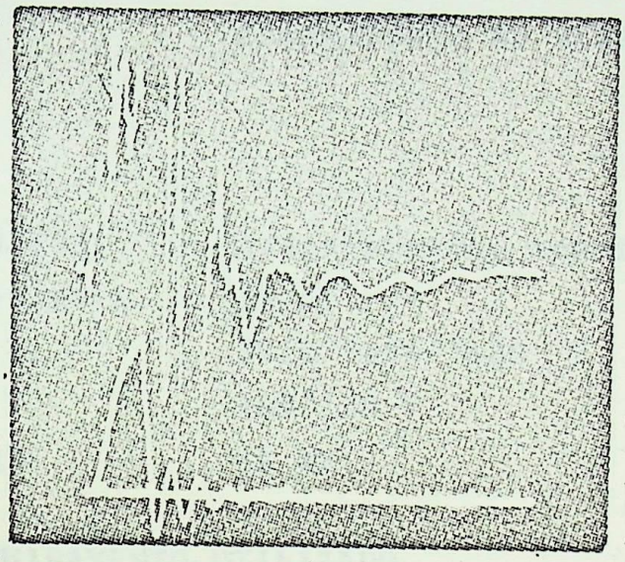
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



Ensaio de Impulso

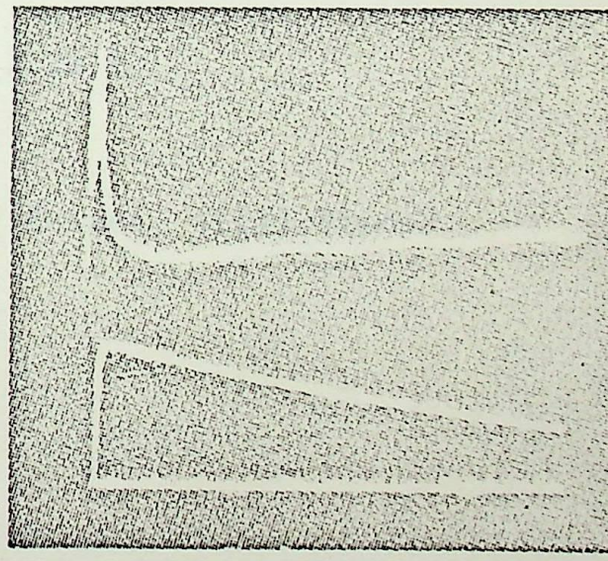
Nº 0146/69 - IND

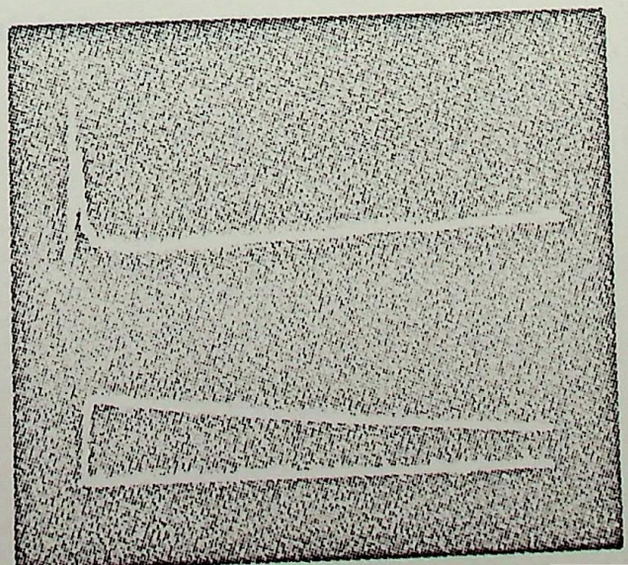
Bucha III



Oscilogramas de corrente e de tensão, 175 kV, onda cortada, 10 μs.

Oscilogramas de corrente e de tensão, 150 kV, onda plena, 50 μs.





Oscilogramas de corrente e de tensão, 75 kV, onda reduzida para verificaçao 50 μs.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 44
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 25 kV |
| A.T. | 7810/7620/7430 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI: | 95 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Osciló́grafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 696 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

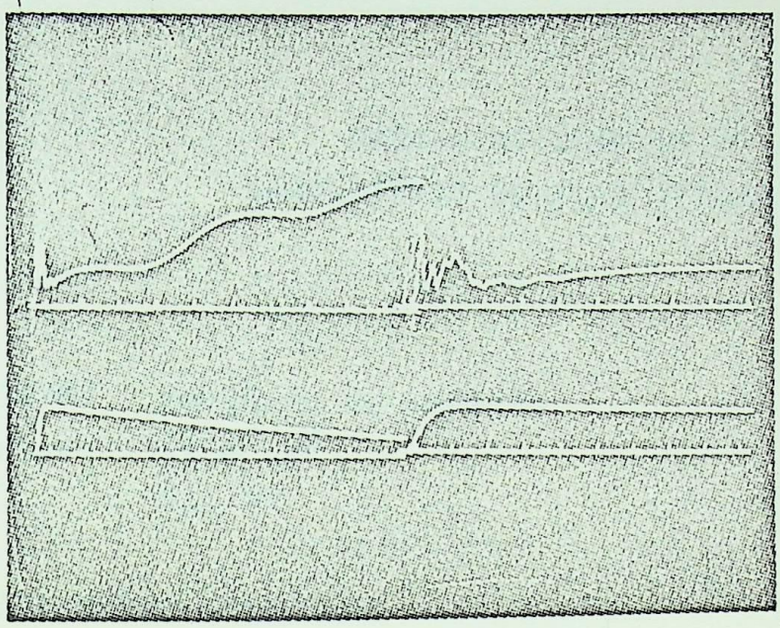
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 57,5 kV (50 µs) |

Registra-se neste caso a presença de eflúvio, que aparece nos oscilogramas de corrente de 10 µs, depois de 5µs.

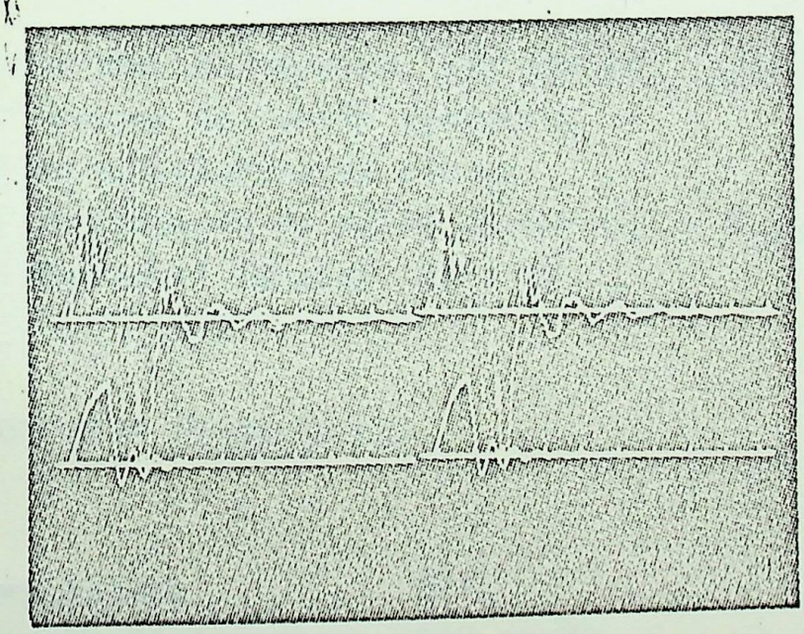
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec. 2480
Bib 2698 - Pós-Grad. 2465



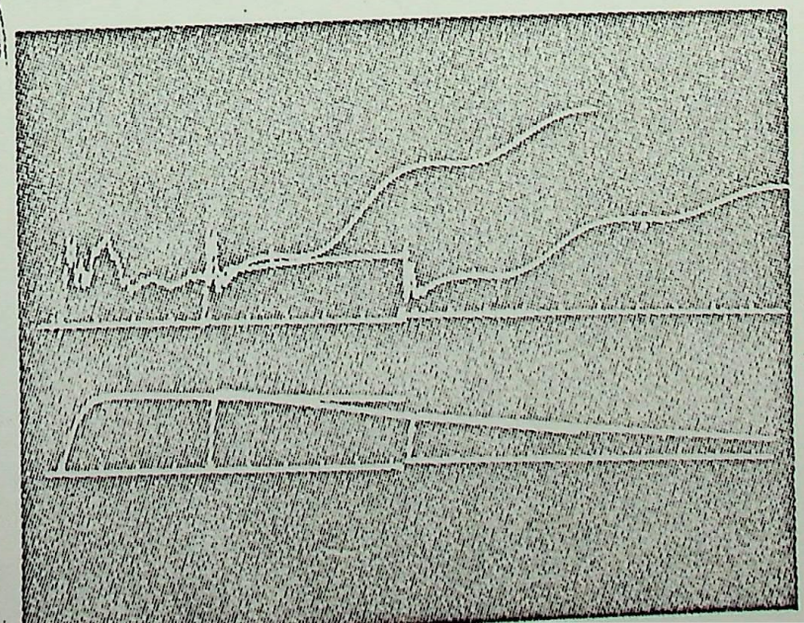


Ensaio de Impulso
Nº 0145/69 - IND

Esquerda: oscilograma polaroid 0408 C,T/69 50 μs, 50 kV, onda reduzida.
Direita: Oscilograma polaroid 0409 C,T/69, 10 μs, 50 kV, onda reduzida.



Esquerda: oscilograma polaroid 0410 C,T/69 10 μs, 110 kV, onda cortada.
Direita: oscilograma polaroid 0411 C,T/69 10 μs, 110 kV, onda cortada.



Esquerda: oscilograma polaroid 0412 C,T/69 10 μs, 95 kV, onda plena.
Centro: oscilograma polaroid 0413 C,T/69 50 μs, 95 kV, onda plena.
Direita: oscilograma polaroid 0414 C,T/69 50 μs, 50 kV, onda reduzida para verific
ção.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 45
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: Conjunto de medição
Classe: 15 H kV
NBI: 110 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 24ºC |
| Pressão barométrica | 680 mm Hg |
| Umidade relativa | 83% |

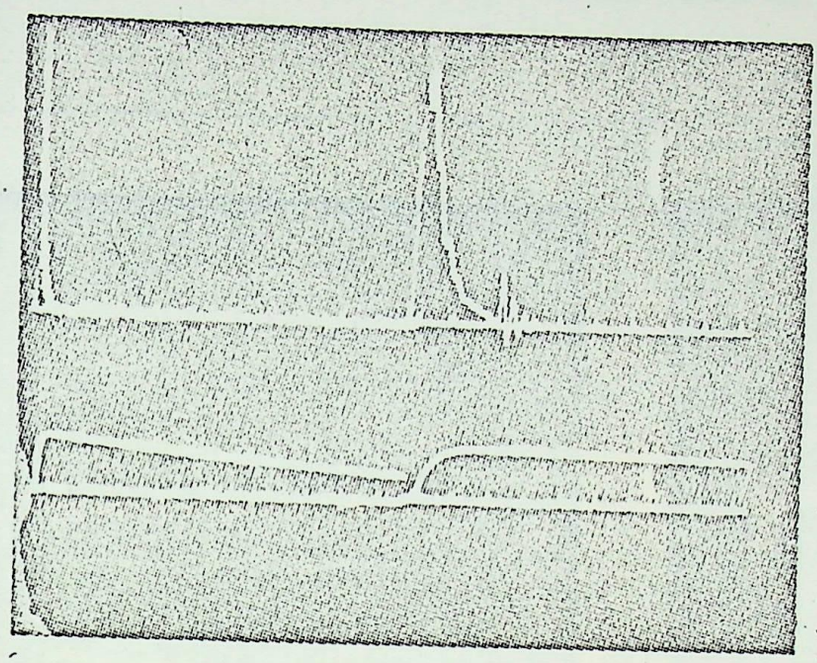
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 60 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 60 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 130 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 110 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 60 kV (50 µs) |

Verifica-se forte oscilação no oscilograma de corrente 60 kV, 10 µs e a não superposição da onda de verificação. Por este motivo repetiu-se o ensaio. As oscilações na onda de corrente 60 kV, 10 µs, aumentaram. Entretanto as oscilações não apareceram nas ondas plenas de 110 kV e houve superposição, sem oscilações, da primeira onda reduzida do 1º ensaio com a última onda reduzida do segundo ensaio.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480

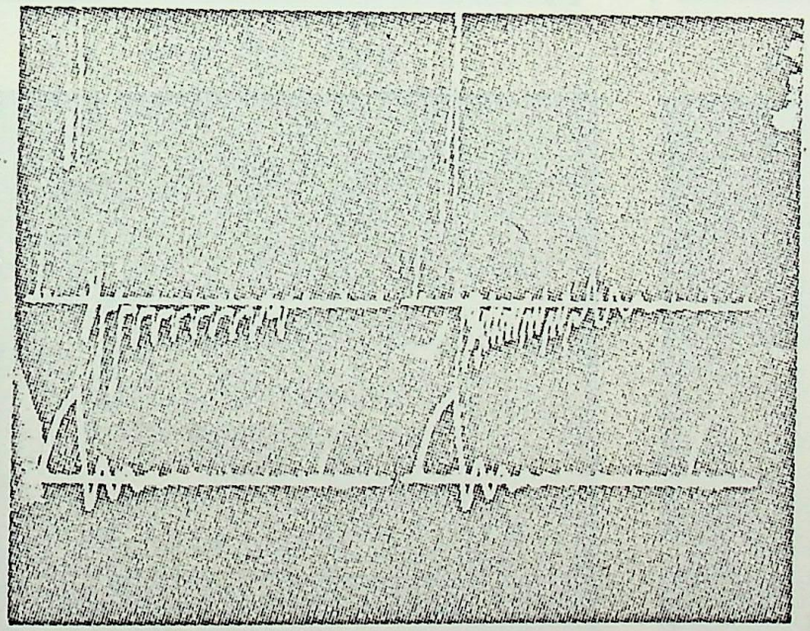




Ensaio de Impulso
Nº 0153/70 IND

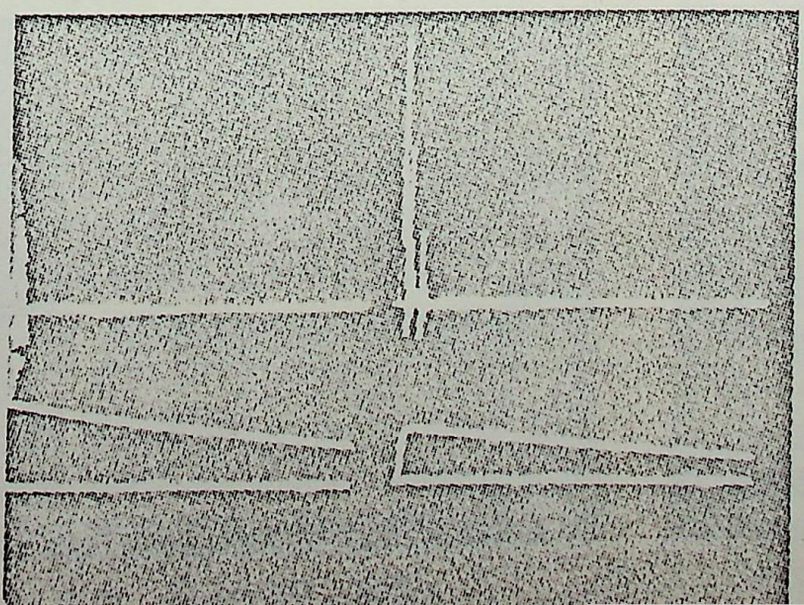
Esquerda: oscilograma polaroid nº 0437C,T/70 60 kV, 50 us, onda reduzida

Direita: oscilograma polaroid nº 0438C,T/70 60 kV, 10 us, onda reduzida.



Esquerda: oscilograma polaroid nº 0439C,T/70 130 kV, 10 us, onda cortada.

Direita: oscilograma polaroid nº 0440C,T/70 130 kV, 10 us, onda cortada

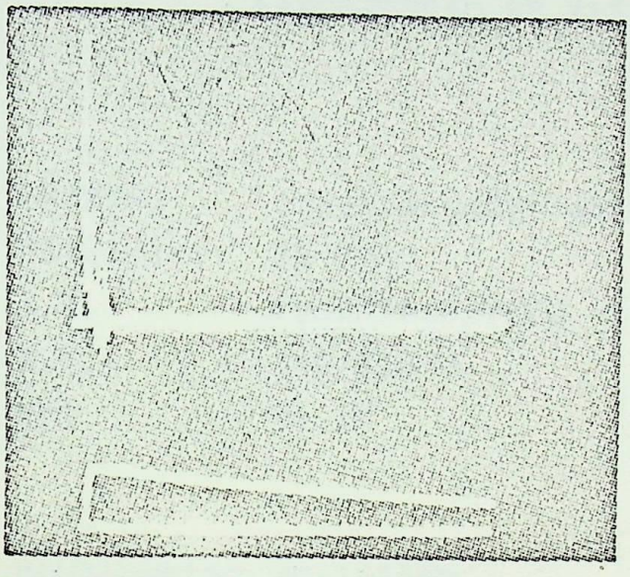


Esquerda: oscilograma polaroid nº 0441C,T/70 110 kV, 50 us, onda plena

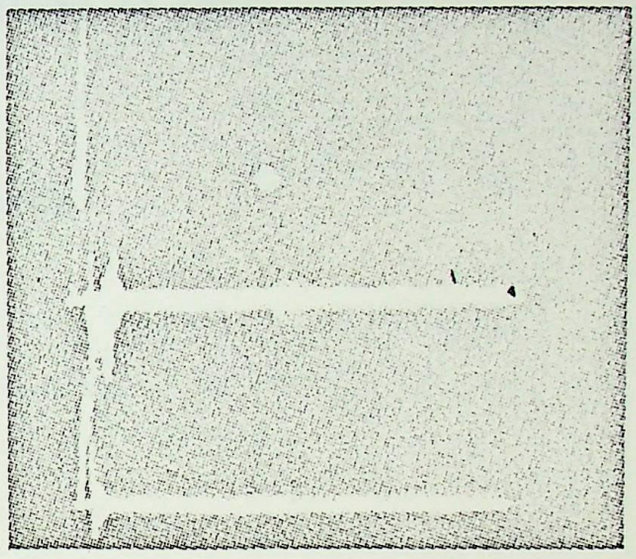
Direita: oscilograma polaroid nº 0442C,T/70 60 kV, 50 us, onda reduzida para verificação

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
FONES: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

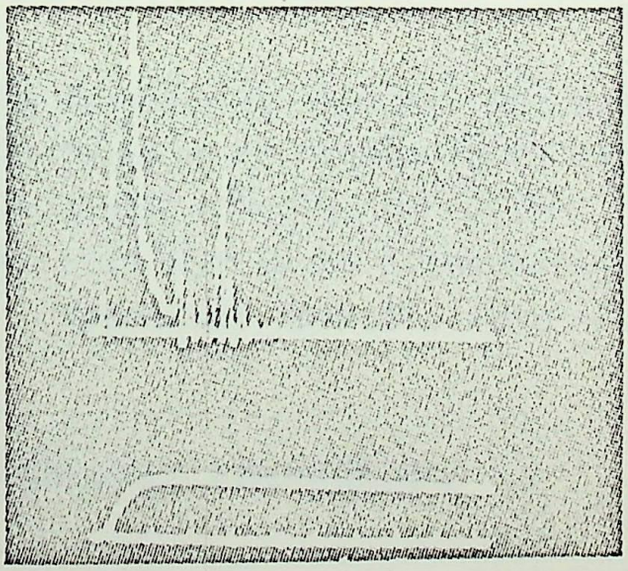




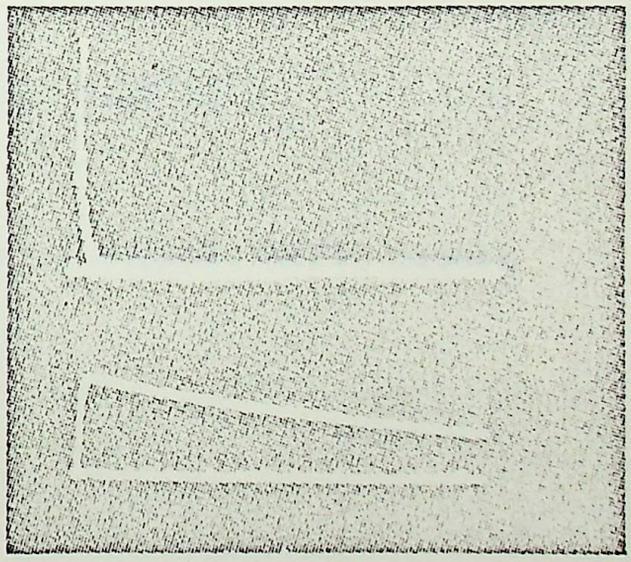
C,T, 0037/70 IND



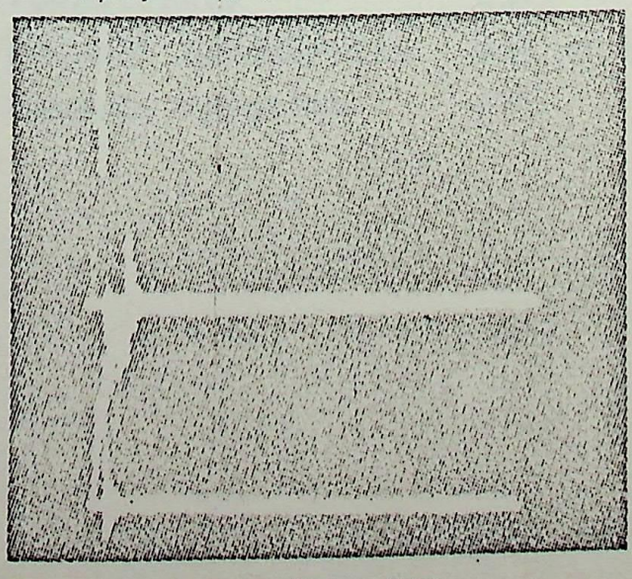
C,T, 0040/70 IND



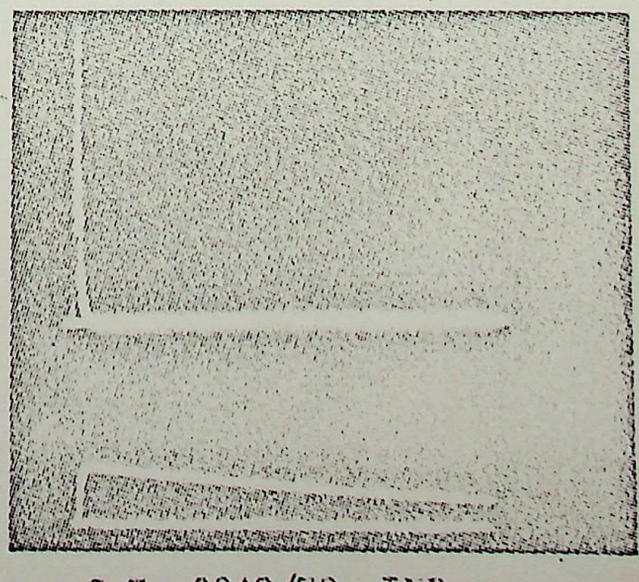
C,T, 0038/70 IND



C,T, 0041/70 IND



C,T, 0039/70 IND



C.T. 0042/70 IND

# ENSAIO DE IMPULSO Nº 46
## LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 15 kVA |
| A.T. | 7960/7620/7270 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI | 95 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Osciló̲grafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

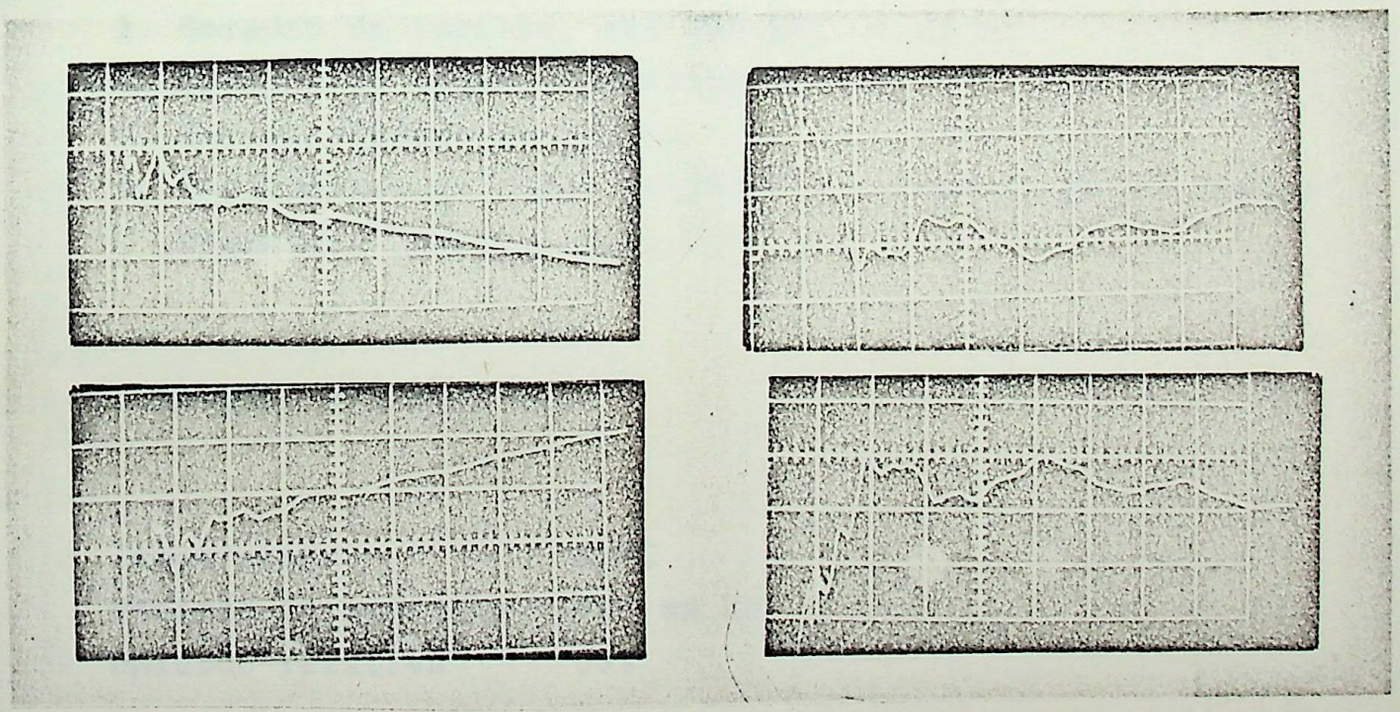
## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 694 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena | - 95 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena | + 95 kV (50 µs) |
| 3. Onda plena | + 95 kV (10 µs) |
| 4. Onda plena | - 95 kV (10 µs) |

Neste ensaio somente foram tomados os oscilogramas de corrente, para serem comparados aos do ensaio 47, onde os terminais de baixa tensão ficaram abertos.



ENSAIO DE IMPULSO Nº 47
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 15 kVA |
| A.T. | 7960/7620/7270 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI | 95 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

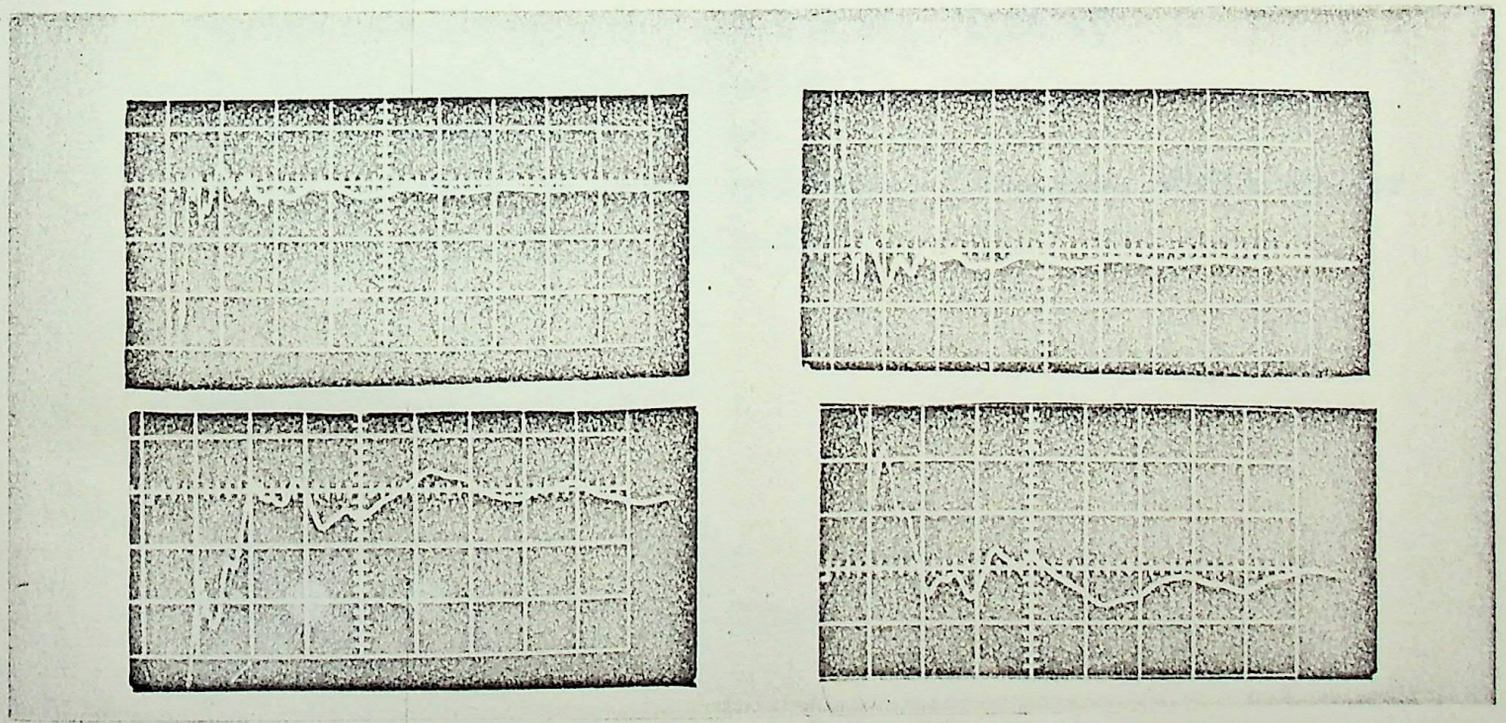
1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 23°C |
| Pressão barométrica | 694 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena | - 95 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena | - 95 kV (10 µs) |
| 3. Onda plena | + 95 kV (50 µs) |
| 4. Onda plena | + 95 kV (10 µs) |



# ENSAIO DE IMPULSO Nº 48
# LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 15 kVA |
| A.T. | 7960/7620/7270 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI: | 95 kV |

## EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

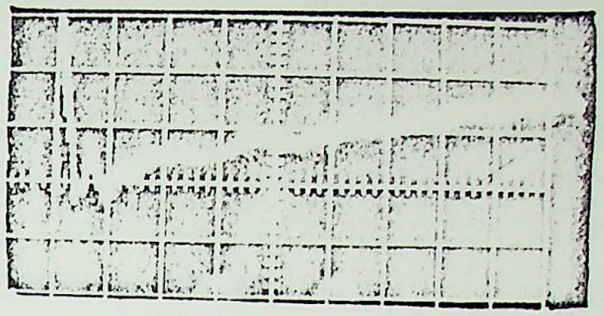
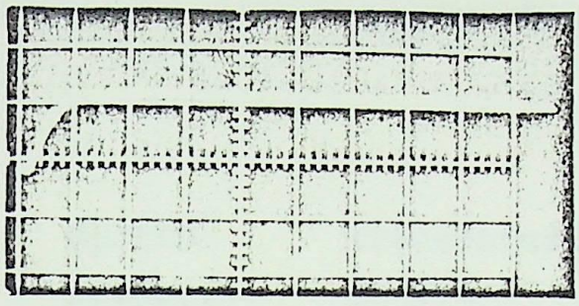
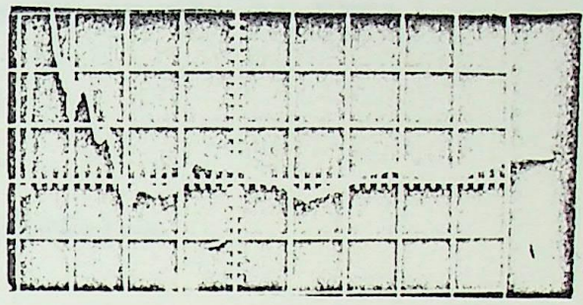
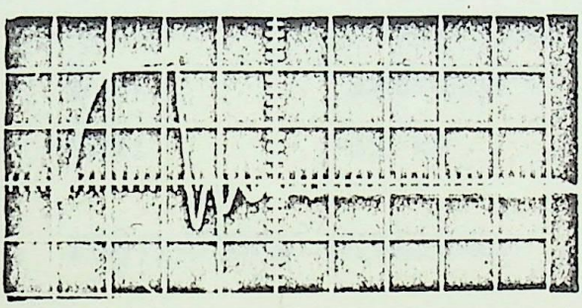
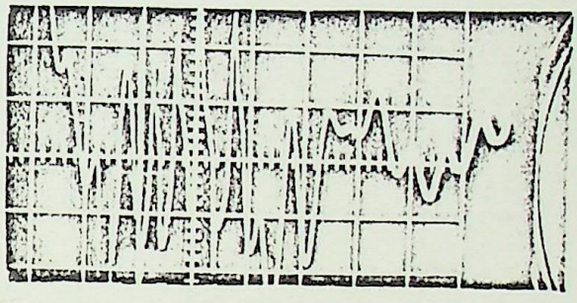
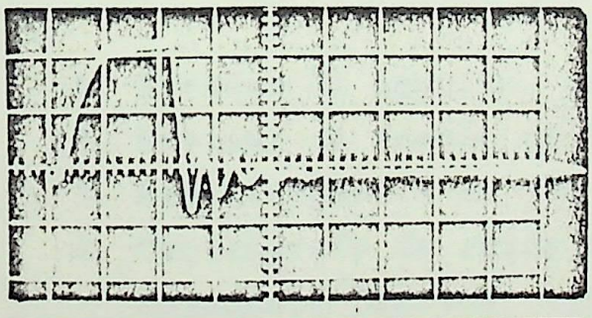
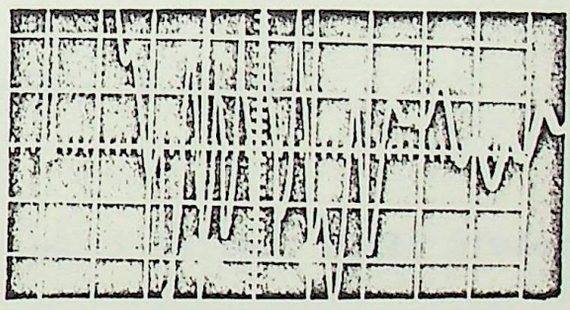
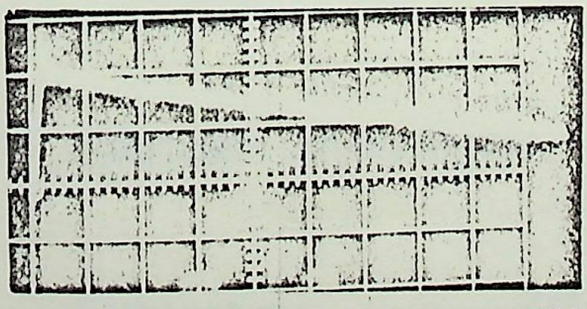
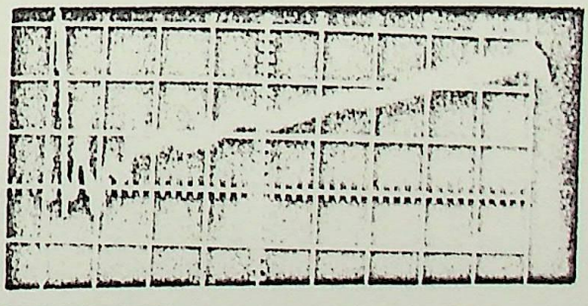
## CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

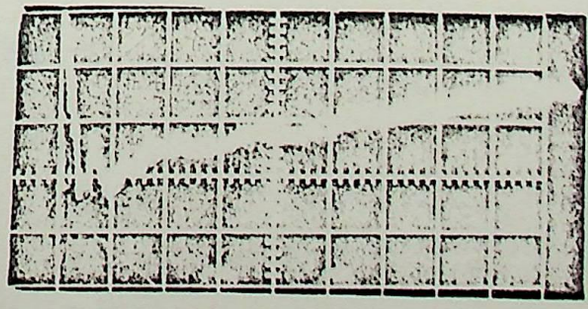
| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 694 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |

Transformador sem defeito



# ENSAIO DE IMPULSO Nº 49
## LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 15 kVA |
| A.T. | 7960/7620/7270 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI: | 95 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

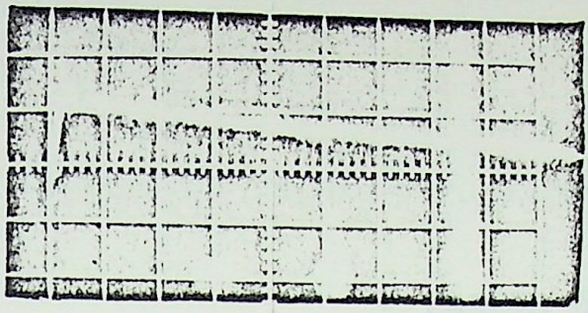
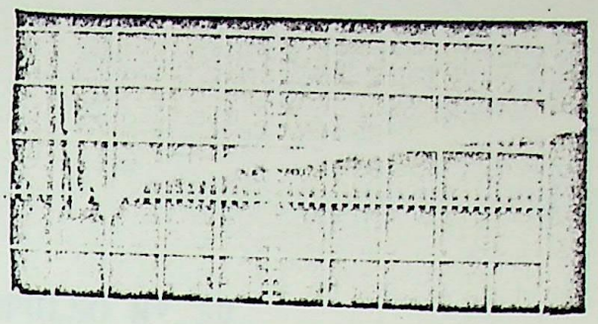
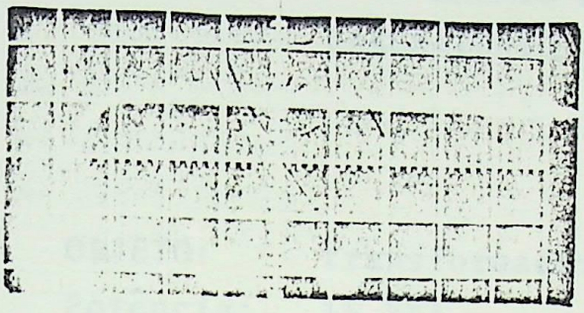
CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

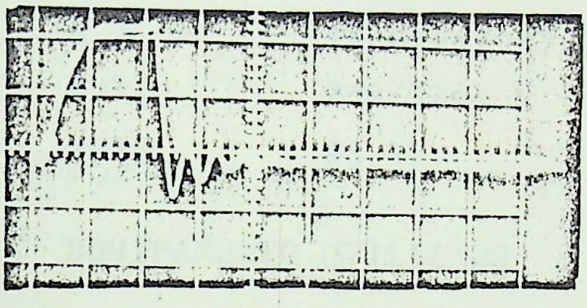
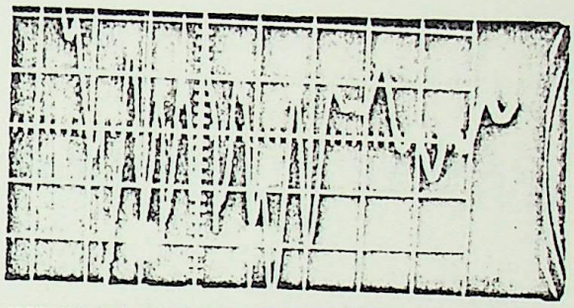
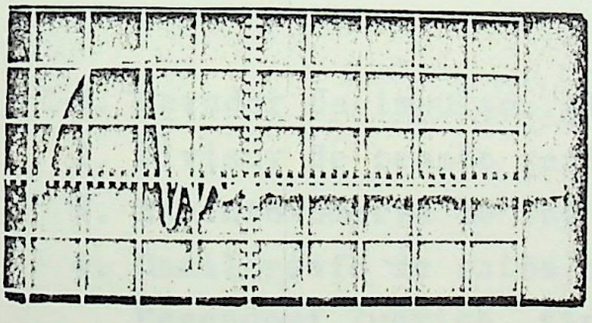
| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 694 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

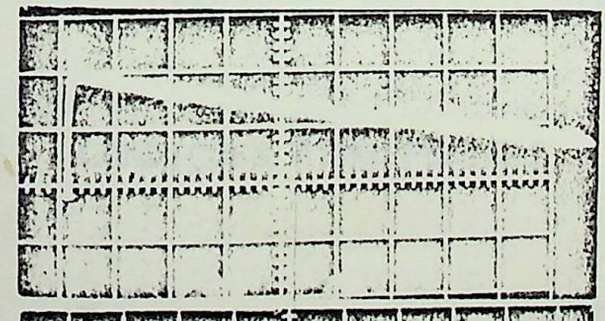
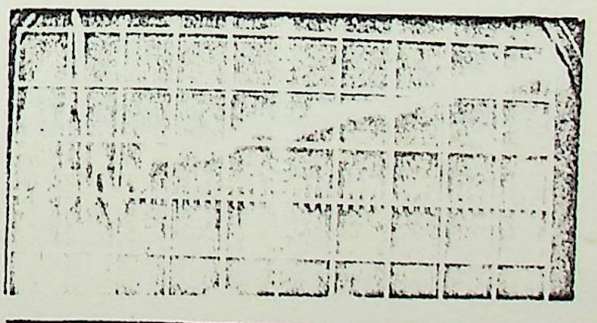
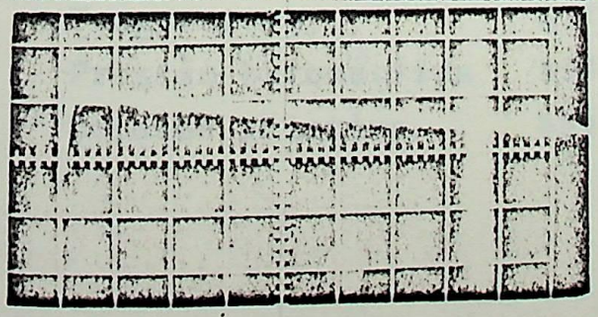
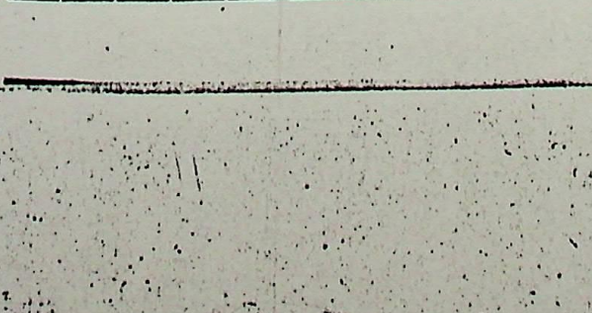
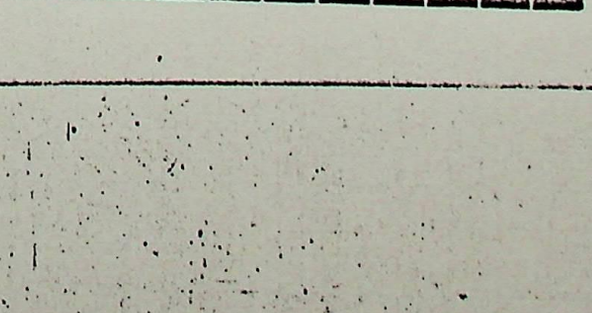
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena | 57,5 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena | 57,5 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 110 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 95 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida | 57,5 kV (50 µs) |

Os oscilogramas não indicam defeito, entretanto o isolamento do painel de mudança de tensões era muito baixo.

ENSAIO DE IMPULSO Nº 50
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador monofásico
Potência: 15 kVA
A.T. 7960/7620/7270 V
B.T. 240/120 V
NBI: 95 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

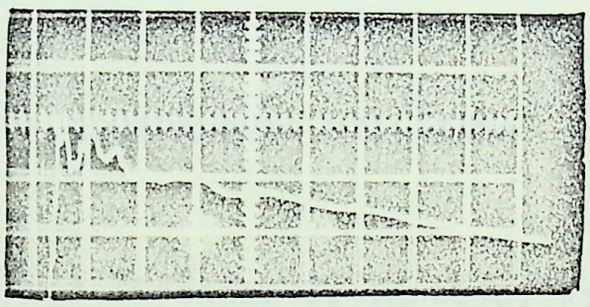
1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

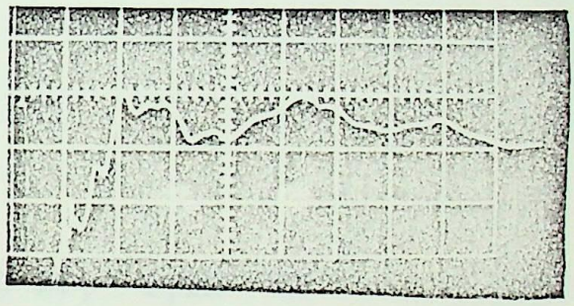
CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

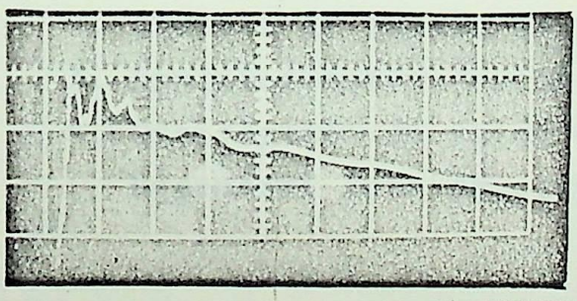
| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 694 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

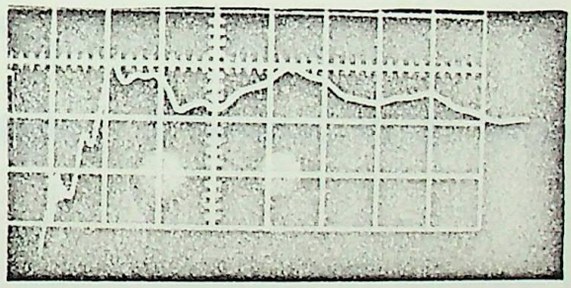
VALORES DE CRISTA - ONDAS NEGATIVAS - OSCILOGRAMAS DE CORRENTE

| | | |
|---|---|---|
| 1. Onda plena | 95 kV | (50 µs) |
| 2. Onda plena | 95 kV | (50 µs) |
| 3. Onda plena | 95 kV | (10 µs) |
| 4. Onda plena | 95 kV | (10 µs) |









ENSAIO DE IMPULSO Nº 51
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

| | |
|---|---|
| OBJETO: | transformador monofásico |
| Potência: | 15 kVA |
| A.T. | 7960/7620/7270 V |
| B.T. | 240/120 V |
| NBI: | 95 kV |

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo
3. Espinterômetro de 150 mm
4. Oscilógrafo de raios catódicos, 2 feixes, Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72

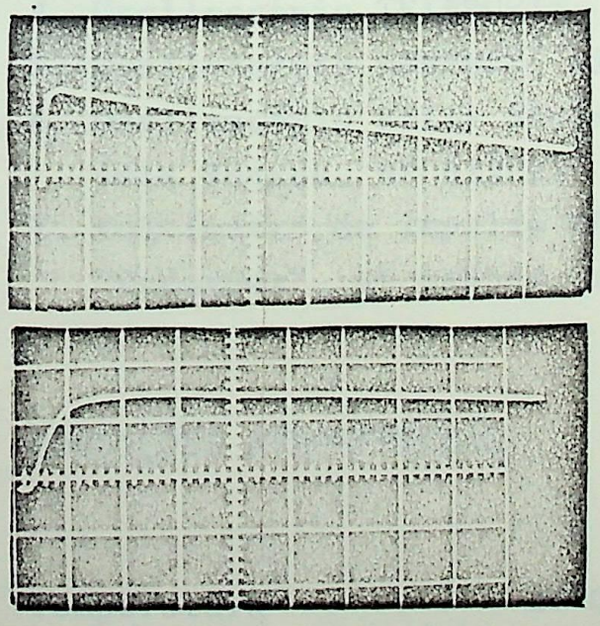
CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

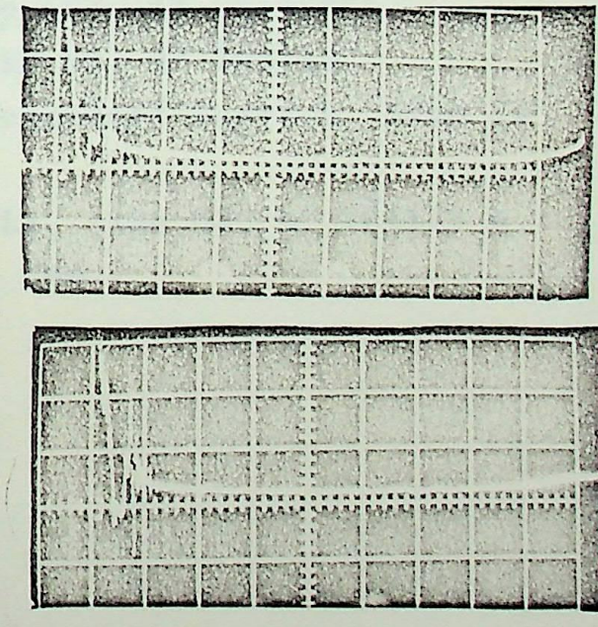
| | |
|---|---|
| Temperatura | 23ºC |
| Pressão barométrica | 694 mm Hg |
| Umidade relativa | 65% |

VALORES DE CRISTA - ONDAS POSITIVAS - OSCILOGRAMAS DE TENSÃO E CORRENTE

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena | 85 kV (50 μs) |
| 2. Onda plena | 85 kV (10 μs) |
| 3. Onda plena | 85 kV (50 μs) |
| 4. Onda plena | 85 kV (50 μs) |

Havia defeito na parte superior de uma das buchas de alta tensão, onde foi aplicado o impulso, nos dois ensaios. Neste caso há necessidade de se estudar as causas da distorção do tempo de descarga.





Escola Federal de Engenharia de Itajubá - BIBLIOTECA

ENSAIO DE IMPULSO Nº 52.
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA EFEI

OBJETO: transformador de corrente

Primário 25/50/100/200 A Secundário 5 A

NBI: 350 kV

EQUIPAMENTO UTILIZADO

1. Gerador de impulso HAEFELY, até 450 kV, 1,25 kJ
2. Divisor de tensão resistivo HAEFELY
3. Espinterômetro de 150 mm, HAEFELY
4. Osciloscópio TEKTRONIX, tipo 507, nº 001058
5. Osciloscópio HAEFELY, tipo KO 82, nº 702110
6. Osciloscópio Willi Studer Regendorf Zuerich, tipo 72 dois feixes, nº 621221
7. Voltímetro de impulso HAEFELY, tipo 62, nº 704114 e "Recorder", nº 688304, tipo CBM.

CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

| | |
|---|---|
| Temperatura | 24ºC |
| Pressão barométrica | 680 mm de Hg |
| Umidade relativa | 83% |

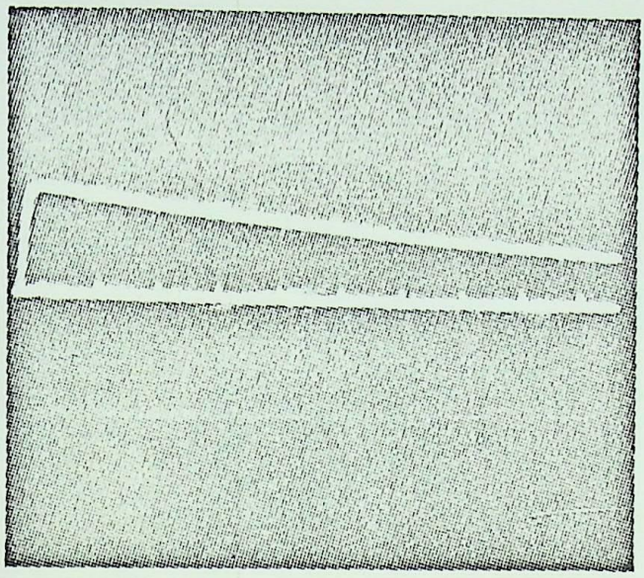
VALORES DE CRISTA

| | |
|---|---|
| 1. Onda plena reduzida | 175 kV (50 µs) |
| 2. Onda plena reduzida | 175 kV (10 µs) |
| 3. Onda cortada | 400 kV (10 µs) |
| 4. Onda cortada | 400 kV (10 µs) |
| 5. Onda plena | 350 kV (50 µs) |
| 6. Onda plena reduzida p/verificação | 175 kV (50 µs) |

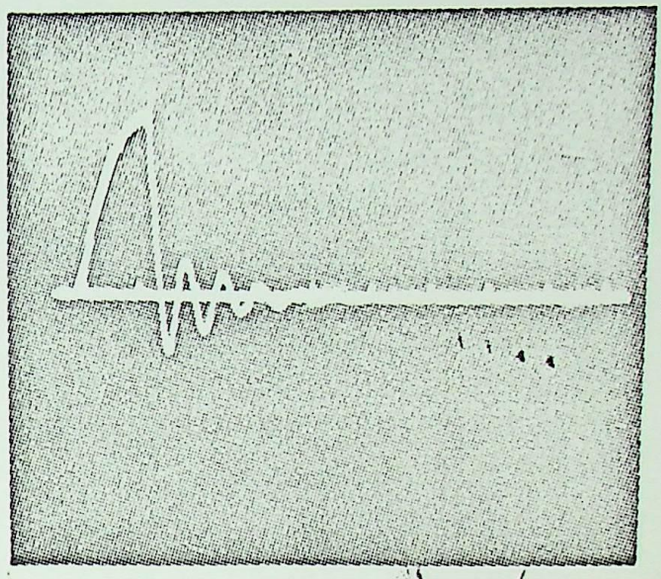
Os oscilogramas mostram que o transformador não possue defeitos.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DO ENSINO SUPERIOR
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
(EX-INSTITUTO ELETROTÉCNICO DE ITAJUBÁ)
Rua Cel. Rennó, 7 - Cx. Postal 50 - Itajubá - M. G.
F O N E S: Dir.: 2103 - D. Adm. 2774 - Port. 2698 - Elet. 2929 - Mec 2480
Bib. 2698 - Pós Grad. 2465

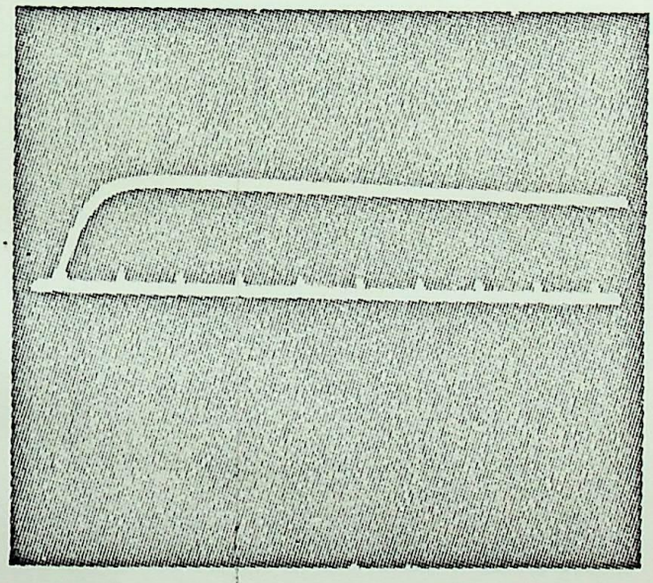




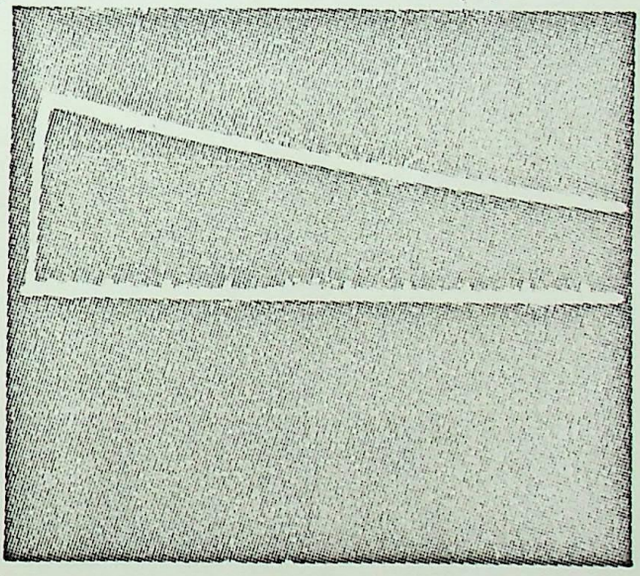
T, 0043/70 IND



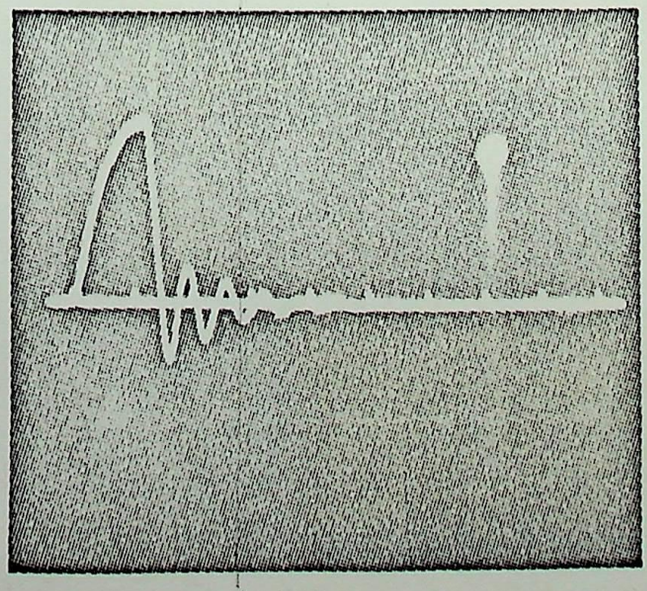
T, 0046/70 IND



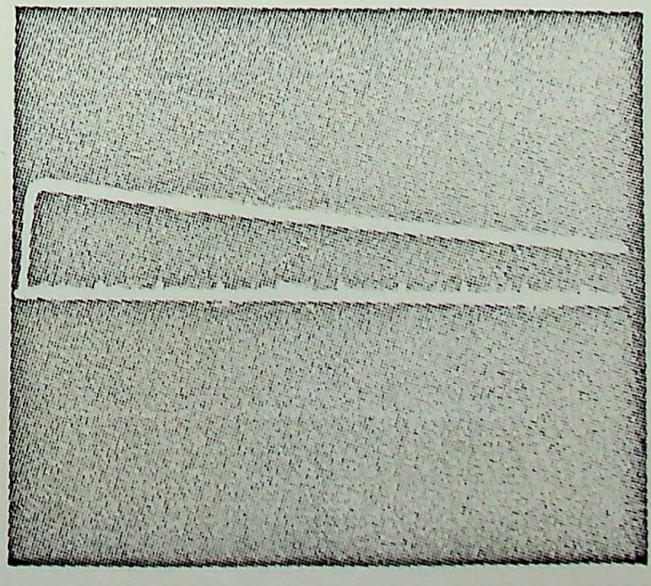
T, 0044/70 IND



T, 0047/70 IND



T, 0045/70 IND



T, 0048/70 IND

EFEI - BIBLIOTECA MAUÁ
8200001
NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA