

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO DE TECNOLOGIA**

**MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANALISE DO DESEMPENHO DE MÚLTIPLOS COMPENSADORES ESTÁTICOS EM  
SISTEMAS RADIAIS FORTEMENTE CARREGADOS, CONSIDERANDO A PRESENÇA  
DE CARGAS DINAMICAMENTE ATIVAS**

Por

**Manfredo Veloso Borges Correia Lima**

Orientador: Prof. Eduardo Fontana

Tese Submetida à Coordenação do Mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco como Parte dos Requisitos para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica

Novembro de 1997

Lima, Manfredo Veloso Borges Correia

Análise do desempenho de múltiplos compensadores estáticos em sistemas radiais fortemente carregados, considerando a presença de cargas dinamicamente ativas / Manfredo Veloso Borges Correia Lima. - Recife : O Autor, 1997.

130 folhas: i l , gráf, tab.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Elétrica, 1997.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Transmissão de energia elétrica - Transitórios eletromagnéticos - Sistemas de controle. 2. Modelagem de cargas - Compensadores estáticos. I. Título.

621.3 05	CDU (2ed.)	UFPE
621.319	CCD (21ed.)	BC-97-259



"Nada que resulte em progresso para a humanidade é obtido com consentimento unânime e aqueles mais iluminados que a maioria são condenados a perseguir este progresso, custe o que custar."

Cristóvão Colombo

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais. Joaquim e Helena, que me ensinaram a acreditar na vida e a nunca desanimar frente às injustiças, encarando-as como barreiras que, ao serem superadas, nos tornam mais fortes, e que abandonaram muitos dos seus sonhos para propiciar a realização dos meus.

A minha esposa Kelma, que com seu amor, carinho e dedicação, ajuda-me a tentar seguir os ensinamentos recebidos dos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sentimentos de gratidão ao meu orientador. Prof. Eduardo Fontana, do Departamento de Eletrônica e Sistemas da Universidade Federal de Pernambuco, por sua valiosa orientação e incentivo durante a realização deste trabalho.

Desejo também agradecer ao Prof. Antonio Jerónimo Belfort de Oliveira, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, pela atenção que me dispensou no trato dos assuntos administrativos, ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço ao Eng. Gabor Furst, consultor de Vancouver, Canadá, por seu inestimável auxílio na representação do motor de indução no ATP, além das suas preciosas observações relativas à interação entre a parcela da carga representada pelo motor equivalente, os compensadores estáticos e o sistema de transmissão.

Meus agradecimentos à Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) pela liberação em tempo parcial das atividades rotineiras do trabalho, viabilizando desta forma a realização desta Tese de Mestrado.

Agradeço também ao Dr. Paulo Fernando Ribeiro e a Rafael Daconti Júnior, que, mesmo geograficamente distantes, muito contribuíram e me incentivaram durante a realização deste trabalho.

E, em especial, agradeço à minha esposa Kelma, por seu incansável e contínuo apoio.

## RESUMO

O controle da tensão em sistemas radiais requer a execução de uma série de procedimentos específicos, com o objetivo de atender aos requisitos de qualidade de energia exigidos. Na maioria das vezes estes requisitos só podem ser atendidos com a instalação de equipamentos rápidos de controle de tensão, tais como compensadores estáticos.

O subsistema Norte da CHESF pode ser caracterizado como um sistema predominantemente radial, uma vez que sua principal fonte supridora, o Complexo Gerador de Paulo Afonso, encontra-se localizada a cerca de 800km do maior centro consumidor, a cidade de Fortaleza e possui potência de curto-circuito bastante superior à da outra fonte supridora existente, a usina hidroelétrica de Boa Esperança, conectada à subestação (SE) Fortaleza através da subestação Teresina.

Os problemas inerentes àquele subsistema exibem peculiaridades não encontradas comumente em outros subsistemas, pois a principal carga, a cidade de Fortaleza, além de demandar um elevado valor de potência (cerca de 600MVA), contém um elevado número de pequenos consumidores industriais (cargas dinamicamente ativas).

Para fazer face aos requisitos de qualidade de energia demandados, foram instalados na década de 80 no subsistema Norte da CFIESF os compensadores estáticos (CEs) de Milagres e Fortaleza, ambos do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo. Os parâmetros dos sistemas de controle dos referidos compensadores, bem como as estratégias de controle requeridas, foram definidos e reavaliados através de estudos realizados em simulador analógico de redes elétricas (TNA), quando da entrada em operação dos compensadores estáticos de Fortaleza, em 1985 e Milagres, em 1987.

Com a evolução do sistema de transmissão, além do crescimento natural da carga, tornou-se necessária uma reavaliação dos parâmetros dos sistemas de controle dos compensadores, bem como das estratégias de controle empregadas para manter os padrões de qualidade de energia exigidos. Para tal, foram realizados no decorrer deste trabalho estudos com o emprego do simulador digital de redes elétricas ATP (Alternative Transient Program), contemplando uma representação detalhada do sistema de transmissão através dos recursos do ATP e dos compensadores estáticos de Milagres e Fortaleza através dos recursos da subrotina TACS (Transient Analysis of Control Systems).

As modificações nas estratégias e nos parâmetros de controle foram definidas após a análise das respostas dos CEs a pequenas e grandes perturbações. Este procedimento de análise possibilitou otimizar o desempenho daqueles equipamentos, considerando a evolução da configuração do sistema de transmissão a eles associado.

Em complementação, foram realizadas simulações de grandes perturbações no sistema de transmissão associado à SE Fortaleza, levando em conta a influência das cargas dinamicamente ativas presentes naquela subestação. Sua modelagem foi implementada considerando que determinada parcela da carga da SE Fortaleza é composta de motores de indução, representados através do modelo "Motor Universal", disponível no ATP. Nesta etapa dos estudos, foram reavaliadas as conclusões das etapas anteriores considerando-se diferentes percentuais de carga em Fortaleza representada por motores de indução, foi analisado o período transitório de retomada de velocidade do motor equivalente à parcela da

carga representada subsequente a eliminação da falta, foram efetuadas comparações com ensaios de campo e avaliadas as implicações quanto à estabilidade das tensões do bloqueio permanente do CE Fortaleza pelo seu esquema de subtensão quando da ocorrência de curto-circuitos nas suas imediações.

Finalmente, com base nos resultados obtidos, foi efetuada uma estimativa do percentual de cargas dinamicamente ativas presente na SE Fortaleza.

## ABSTRACT

Voltage control in radial systems is done by executing a set of specific actions, in order to match power quality requirements. In most cases, these requirements can only be met by use of fast control voltage devices, such as static VAR compensators (SVC).

CHESF's North transmission system can be regarded as predominantly radial, because its main supply source, the hydroelectric plant of Paulo Afonso, is located 800km away from the largest load center, the city of Fortaleza and has a short circuit power much larger than that supplied by the other existing power source, the hydroelectric plant of Boa Esperança, that feeds Fortaleza by means of the Teresina substation.

Most of the typical problems associated with that subsystem are more critical relative to those of other similar systems, because the main load. Fortaleza city, besides having a high short circuit power (600MVA), comprises a large number of small industrial loads (induction motor loads).

In order to match the desired power quality requirements, static VAR compensators were incorporated into the substations of Fortaleza and Milagres back in the eighties and were both chosen to have a thyristor controlled reactor and a fixed capacitor configuration. The control strategy and parameters required for system operation were set from studies carried out using a transient network analyzer (TNA) after the static VAR compensators started operating in Fortaleza( 1985) and Milagres( 1987). With the expansion of the transmission system and the natural load increase, it was necessary to redefine the SVC control system parameters as well as the control strategy, in order to achieve the desired power quality requirements. Studies performed to modify the control system were carried out by use of a digital network analyzer named ATP (Alternative Transient Program) allowing to reach, with a lower cost, a degree of accuracy equivalent to that obtained with the TNA. A detailed modeling of the several transmission system facilities as well as of the Fortaleza and Milagres SVCs was achieved by using the TACS (Transient Analysis of Control Systems) subroutine.

Modifications in the control strategy and system were defined after analyzing the response to small and large disturbances in the SVCs. This analysis procedure allowed optimizing the performance of these equipments, taking into account the associated transmission system evolution.

In addition to these studies, simulations were performed to evaluate the transmission system response to large disturbances in the Fortaleza substation, taking into account the presence of dynamically active loads in that substation. The studies were performed in conjunction with field tests, and assumed that a predefined portion of the load was composed by induction motors, represented by the "Universal Machine" model, available within the ATP environment. The implications of permanent blocking in the Fortaleza SVC during shorts were evaluated and from these studies it was possible to estimate the fraction of dynamically active loads present in the city of Fortaleza.

## O AUTOR

O autor deste trabalho nasceu em Recife, Pernambuco, em novembro de 1957 e concluiu o curso de graduação em engenharia elétrica na Universidade Federal de Pernambuco, em julho de 1979, ao final do qual, destacou-se como aluno laureado e foi agraciado com o Prêmio Universitário BANORTE.

Em agosto de 1979, ingressou na CHESF, onde inicialmente desenvolveu estudos de planejamento de sistemas de potência de fluxo de carga e curto-circuito em regime permanente, para definição do plano de expansão do sistema de transmissão daquela Empresa.

Em janeiro de 1984, concluiu o Curso de Especialização em Tecnologia de Sistemas de Potência (CETESP), na Universidade Federal de Pernambuco, obtendo o grau de especialização.

A partir de 1983, passou a desenvolver atividades relacionadas à tecnologia de controle de tensão com o emprego de compensadores estáticos. Nesta etapa da sua carreira, participou, dentre outras, da realização das seguintes tarefas: instalação dos compensadores estáticos das subestações de Fortaleza e Milagres, realização de estudos em simulador analógico de redes elétricas para definição de modificações no sistema de controle do compensador estático de Fortaleza, realização de estudos em simulador analógico de redes elétricas para definição da estratégia de operação conjunta dos compensadores estáticos de Milagres e Fortaleza e realização de estudos em simulador analógico de redes elétricas para especificação dos compensadores estáticos de Campina Grande e Açu.

Participou também do desenvolvimento de modelo de compensadores estáticos para estudos de transitórios eletromagnéticos em simulador digital e, desde então, tem realizado vários estudos de transitórios eletromagnéticos contemplando a análise do desempenho destes equipamentos durante perturbações na rede elétrica.

Atualmente integra a equipe de estudos elétricos da operação da CFTESEF, onde desenvolve atividades relacionadas à qualidade de energia, desenvolvimento de novos modelos para a realização de estudos de transitórios eletromagnéticos, conversão estática de energia, eletrônica de potência e desenvolvimento de modelos para estudos dinâmicos.

Desde 1992, é professor concursado, classificado em primeiro lugar em concurso público, do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Pernambuco (UPE), onde ministra as disciplinas Eletrotécnica e Eletrônica de Potência e pode ser contactado através do e-mail "mvbclima^elogica.com.br"

## ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
3. PRINCIPAIS TIPOS DE COMPENSADORES ESTÁTICOS.....	15
3.1 - Capacitor manobrado a tiristores.....	15
3.2 - Reator controlado a tiristores e capacitor fixo.....	17
3.3 - Reator controlado a tiristores e capacitor manobrável a tiristores.....	24
3.4 - Novos tipos de compensadores estáticos.....	25
3.4.1 - Statcom.....	25
3.4.2 - Controlador universal de fluxo de potência (UPFC).....	27
4. MODELAGEM EMPREGADA.....	30
4.1 - Sistema de Transmissão.....	30
4.2 - Compensadores Estáticos (CEs).....	32
4.2.1 - Introdução.....	32
4.2.2 - Equipamentos de Potência.....	34
4.3 - Sistema de controle dos CEs Milagres e Fortaleza.....	34
4.3.1 - Introdução.....	34
4.3.2 - Controle da tensão em regime permanente.....	36
4.3.3 - Grandezas de entrada.....	38
4.3.4 - Formação do sinal de erro do regulador de tensão.....	39
4.3.5 - Canal normal de regulação.....	42
4.3.6 - Canal rápido de regulação.....	45
4.3.7 - Composição dos sinais dos canais normal e rápido.....	45
4.3.8 - Bloqueio do regulador de tensão pelo esquema de subtensão.....	46
4.3.9 - Circuito inicializador do controlador PI.....	52
4.3.10 - Circuito limitador de corrente.....	54
4.3.11 - Esquema de disparo protetivo nas válvulas de tiristores.....	58
4.3.12 - Sistema de geração de pulsos de disparo.....	59
4.4 - Modelagem dos componentes de potência dos CEs Fortaleza e Milagres no ATP.....	64
4.4.1 Introdução.....	64
4.4.2 - Inicialização da rede elétrica.....	65
4.4.3 - Inicialização do sistema de controle dos CEs.....	67

)



4.4.4 - Inicialização do modelo "Motor Universal", utilizado na representação do motor de indução.....	68
5 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	70
5.1- Especificações de desempenho.....	70
5.2 - Estudo da resposta dos CEs a pequenas perturbações.....	72
5.3 - Aplicação de degraus de tensão no sinal de controle dos CEs.....	74
5.3.1 - Configuração do sistema elétrico de dezembro/95.....	74
5.3.2 - Configuração do sistema elétrico de dezembro/96.....	74
5.3.3 - Análise das simulações realizadas.....	75
5.3.3 - Ensaio de campo realizados nos CEs Milagres e Fortaleza.....	82
5.4 - Resposta dos CEs a grandes perturbações.....	84
5.4.1 -Reavaliação dos ajustes do canal rápido.....	85
5.4.2 -Reavaliação da filosofia de atuação e ajustes da lógica de subtensão e do circuito inicializador do controlador PI.....	86
6.ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES CONTEMPLANDO A REPRESENTAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DA CARGA.....	97
6.1 - Introdução.....	97
6.2 - Representação de motores de indução em estudos de transitórios eletromagnéticos... 100	
6.2.1 - Representação do sistema mecânico associado ao motor de indução.....	100
6.2.2 - Representação do sistema elétrico associado ao motor de indução.....	105
6.3 - Descrição e análise técnica das simulações efetuadas.....	111
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA O PROSSEGUIMENTO DOS TRABALHOS	123
7.1 - Conclusões.....	123
7.2 - Sugestões para o prosseguimento dos trabalhos.....	123
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
9. ANEXOS.....	130

(

1

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas radiais que transmitem elevadas magnitudes de potência podem apresentar problemas de controle de tensão, tanto em regime permanente, quanto em condições transitórias. O desenvolvimento da eletrônica de potência registrado na década de 70 tornou o uso de compensadores estáticos do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo uma alternativa fortemente atraente para o controle de tensão em sistemas de potência [1], [2], devido ao reduzido tempo de resposta e elevada confiabilidade dos componentes utilizados.

Compensadores estáticos são utilizados em locais onde é requerido o controle rápido e contínuo da potência reativa, de forma a serem atingidos os seguintes objetivos:

- Melhoria na regulação de tensão
- Incremento na estabilidade dinâmica e de regime permanente
- Redução das sobretensões
- Redução dos níveis de cintilação (flicker) de tensão
- Amortecimento das oscilações subsíncronas
- Redução dos desequilíbrios de tensão e corrente

Anteriormente ao emprego de compensadores estáticos, os três primeiros objetivos eram alcançados através do uso de compensadores síncronos e combinações de reatores e capacitores shunt. Estes últimos não são capazes de proporcionar o controle contínuo e rápido da potência reativa. Por outro lado, quando comparado ao compensador síncrono, o compensador estático apresenta as seguintes vantagens:

- Menores requisitos de manutenção
- Menores tempos de resposta
- Menor investimento em obras civis e fundações
- Menor custo por kVAr
- Não contribuem para o acréscimo dos níveis de curto-circuito no ponto de instalação
- Menor grau de distúrbio no sistema elétrico durante o processo de conexão

Na área industrial, compensadores estáticos são utilizados para a melhoria da qualidade da energia fornecida a grandes consumidores, principalmente no que diz respeito ao controle da cintilação e desequilíbrio de tensão e para minimizar o impacto da partida de grandes motores sobre a rede elétrica. O emprego destes equipamentos em sistemas radiais, onde a potência de curto-circuito era da ordem de duas vezes a potência reativa do compensador foi efetuado com êxito na subestação (SE) Fortaleza em meados da década de 80 [3], [4]. Na ocasião, a CHESF assumiu papel de vanguarda na adoção de uma tecnologia avançada para a época, sendo o compensador estático de Fortaleza o primeiro de grande porte a entrar em operação no País. Além disso, foram efetuadas ao longo das diversas etapas dos estudos de planejamento, várias modificações no projeto original oferecido pelo fabricante, no sentido de adequar o equipamento às peculiaridades existentes no ponto do sistema elétrico ao qual êle se destinava.

Ao final desta década, foi instalado um segundo compensador estático no sistema de transmissão que alimenta o Estado do Ceará, denominado Sistema Norte da CHESF, na subestação de Milagres. Os estudos para análise da operação conjunta dos compensadores estáticos (CEs) Milagres e Fortaleza e definição de um conjunto adequado de ajustes para seus controles foram realizados em 1987 com a utilização do simulador analógico de redes (TNA) instalado no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da ELETROBRAS (CEPEL) [5], [6].

O autor deste trabalho teve participação ativa nas principais etapas relativas à instalação dos compensadores estáticos de Milagres e Fortaleza, desde os estudos de planejamento, até os testes de campo anteriores à sua entrada em operação, incluindo também a realização de estudos em simulador analógico de redes elétricas (TNA) para a definição de mudanças de projeto e estratégias de ajustes de parâmetros, além da construção de um modelo específico para estudos de transitórios eletromagnéticos. Em seguida, passou a integrar a equipe de planejamento da operação do sistema elétrico, onde, entre outras atividades, acompanha a operação dos compensadores estáticos.

O desenvolvimento de um modelo digital para compensadores estáticos em programas de transitórios eletromagnéticos (Alternative Transient Program - ATP [7]), contemplando uma modelagem detalhada do seu sistema de controle através da subrotina TACS e os resultados obtidos quando da comparação de simulações digitais com o emprego deste modelo com simulações em TNA [8] mostraram a viabilidade da substituição dos estudos de TNA por estudos digitais com o ATP, para análise da operação conjunta de compensadores estáticos operando eletricamente próximos, como é o caso dos CEs Milagres e Fortaleza, a um custo significativamente inferior ao de um estudo realizado em TNA. Considerando que os atuais ajustes e estratégias de controle dos referidos equipamentos foram definidos com base na configuração da rede elétrica correspondente ao ano de 1988 e que a atual configuração difere bastante daquela última, julgou-se necessária a realização de estudos com o ATP, para reavaliação dos atuais ajustes e estratégias de controle considerando-se configurações da rede elétrica correspondentes a dezembro/95 e dezembro/96, bem como uma representação completa dos CEs Milagres e Fortaleza. Para ratificar os resultados das simulações, foram efetuados ensaios de campo, apresentados no decorrer deste trabalho.

Além disso, o comportamento extremamente peculiar da carga alimentada a partir da subestação de Fortaleza, que apresenta longos períodos de subtensão após a eliminação de curto-circuitos, motivou a realização de um grupo de simulações com parcelas da carga desta subestação representadas por um motor de indução equivalente. Para tal, foi utilizada a modelagem de motor de indução disponível no ATP, denominada "Motor Universal", descrita no Capítulo 6, que poderá ser utilizada, inclusive, em outras subestações do sistema CHESF, onde se verifique a presença de elevada parcela de consumidores industriais.

Em seqüência, são reavaliadas as performances dos compensadores estáticos e verificada a adequidade dos ajustes e modificações de projeto definidos para seus sistemas de controle na primeira etapa do presente trabalho, considerando a representação de parte da carga de Fortaleza por um motor de indução equivalente.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho buscou atingir os seguintes objetivos:

-Melhoria do desempenho global dos compensadores estáticos de Milagres e Fortaleza, bem como do subsistema de transmissão Norte da CHESF, considerando a evolução da configuração do sistema de transmissão e do mercado de energia por êle atendido.

-Estabelecimento de uma modelagem adequada para cargas dinamicamente ativas em estudos de transitórios eletromagnéticos e, através da sua utilização, definir ações que propiciem a elevação dos níveis de qualidade da energia fornecida.

Para tal, foram efetuados os grupos de simulações a seguir descritos, juntamente com seus objetivos específicos.

2.1 - Pequenas perturbações: aplicação de degraus de tensão no sinal de controle dos CEs Milagres e Fortaleza, para reavaliação dos ajustes (ganho proporcional e constante de tempo) das malhas principais (canais normais) dos seus sistemas de controle.

2.2 - Grandes perturbações com cargas representadas por impedâncias constantes

- i) Aplicação de curto-circuitos monofásicos, bifásicos à terra e trifásicos à terra no barramento de 69kV da SE Fortaleza, com duração de 400mseg e eliminação com rejeição total da carga alimentada por aquele barramento.
- ii) Aplicação de curto-circuitos monofásicos, bifásicos à terra e trifásicos a terra no barramento de 69kV da SE Milagres, com duração de 400mseg e eliminação com rejeição total da carga alimentada por aquele barramento.
- iii) Aplicação de curto-circuitos bifásicos à terra e trifásicos a terra em linhas de 230kV situadas na região de influência dos CEs Milagres e Fortaieza, com duração de 200mseg e eliminação com abertura da linha onde se verificou o curto.

Tais simulações tiveram por objetivo:

- i) Reavaliação da filosofia de operação dos esquemas de bloqueio por subtensão dos CEs Milagres e Fortaleza.
- ii) Reavaliação da filosofia de operação do circuito inicializador do regulador proporcional-integral dos CEs Milagres e Fortaleza.
- iii) Reavaliação dos ajustes dos canais rápidos dos CEs Milagres e Fortaleza.

2.3 - Grandes perturbações com uma parcela da carga da SE Fortaleza representada por motores de indução

- i) Aplicação de curto-circuitos bifásicos e trifásicos à terra no barramento de 69kV da SE Fortaleza, com duração de 400mseg e eliminação com rejeição da parcela de impedância constante, com a carga restante sendo representada por motores de indução de potência equivalente a 10%, 20% e 30% da carga total.
- ii) Aplicação de curto-circuitos bifásicos e trifásicos à terra numa das linhas de transmissão Banabuiu-Fortaleza 230kV, com duração de 200mseg e eliminação com abertura desta linha, com parcelas de carga na SE Fortaleza representadas por motores de indução equivalentes a 10%, 20%, 30%, 35%, 40% e 50% da carga total.

Tais simulações tiveram por objetivo a reavaliação das conclusões dos itens 2.1 e 2.2, a análise da possibilidade de bloqueio permanente do CE Fortaleza na ocorrência de defeitos ao serem considerados elevados percentuais de carga representados por motores de indução e a determinação, em termos aproximados, do percentual real da carga do barramento de 69kV da SE Fortaleza equivalente a motores de indução.

### 3. PRINCIPAIS TIPOS DE COMPENSADORES ESTÁTICOS

Compensadores estáticos despontaram como uma alternativa atraente para o controle da tensão em sistemas elétricos de potência em substituição aos compensadores síncronos ao final da década de 70, com o desenvolvimento de tiristores capazes de conduzir elevadas correntes, da ordem de 2000A e bloquear elevadas tensões, da ordem de 4kV, oferecidos a preços competitivos. As principais tecnologias empregadas por tais equipamentos são descritas de maneira sucinta nas seções subseqüentes.

#### 3.1 - Capacitor manobrado a tiristores

Conforme indicado na Fig. 3.!, tal equipamento é composto por bancos de capacitores conectados em série às pontes de tiristores e ligados ao sistema de potência através de um transformador elevador. Através da ação do seu sistema de controle, os módulos de capacitores são introduzidos ou retirados de operação, de acordo com as necessidades de potência reativa do sistema elétrico e de forma a manter a tensão da barra á qual está ligado o equipamento dentro dos limites estabelecidos em projeto. A ação de controle realizada é do tipo discreta, uma vez que os módulos de bancos de capacitores são inseridos ou retirados integralmente pelo sistema de controle, devendo tal equipamento ser empregado apenas em locais onde não sejam exigidos elevados requisitos de desempenho.

Pelo exposto, a admitância equivalente do CE tipo capacitor manobrado a tiristores é variada através do controle do número de unidades de capacitores em condução em um dado instante. Cada bloco de capacitores irá sempre conduzir durante um número inteiro de semi-ciclos, com  $k$  blocos de capacitores conectados em paralelo, cada um deles controlado por um módulo de tiristores conforme indicado na Fig.3.1. Desta forma, a admitância equivalente do compensador poderá ser igual a qualquer combinação individual das  $k$  admitâncias individuais no instante considerado. Em princípio, os módulos de capacitores podem ser tão pequenos e numerosos quanto se deseje, reduzindo o tamanho do degrau de potência reativa verificado em caso de retirada ou inserção dos mesmos, mas os aspectos de custos atuam como fatores limitantes na definição destes parâmetros.

Para este tipo de compensador, a inserção dos módulos de bancos de capacitores pode ser feita sem provocar transitórios de corrente no sistema elétrico, pois o sistema de controle associado permite que ela seja realizada no instante adequado através do disparo dos tiristores, quando a tensão aplicada aos módulos de capacitores atingir seu valor máximo. Por outro lado, como os módulos de capacitores selecionados permanecem conduzindo durante todo o semi-ciclo, as formas de onda das correntes injetadas no sistema elétrico são puramente senoidais na frequência fundamental e, deste modo, não são injetadas correntes harmônicas no sistema elétrico. A ação de controle proporcionada por este tipo de compensador é do tipo discreta e sua capacidade de contribuir para o controle da tensão terminal durante a ocorrência de transitórios é reduzida. Em contrapartida, seu custo é reduzido quando comparado a tipos de compensadores estáticos do tipo reator controlado a tiristores, a serem abordados nas Seções subseqüentes.

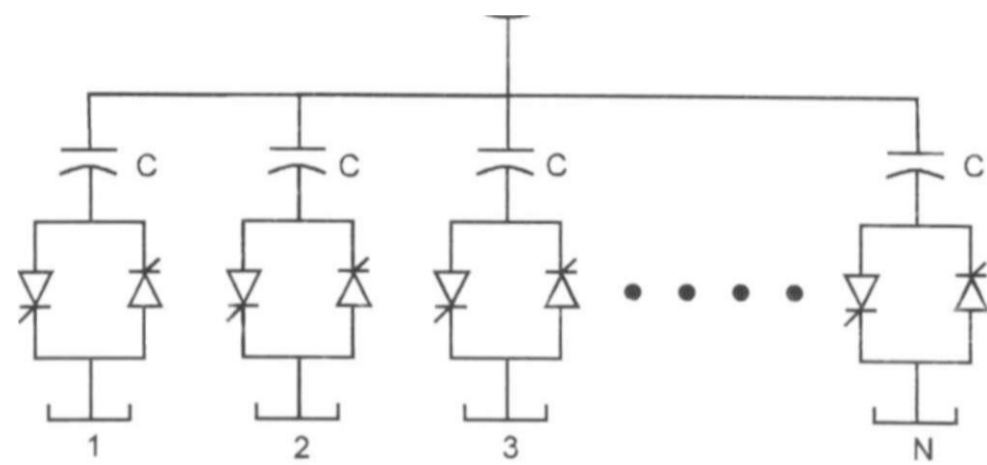


Fig. 3.1 Capacitor manobrado a tiristores.

severa análise de custo-benefício, devendo ser aplicado apenas em locais onde os requisitos de desempenho justifiquem o investimento necessário.

D L3 L3 - q

I

Fig.3.6 CE do tipo reator controlado a tiristores e capacitor manobrável a tiristores.

### 3.4 - Novos tipos de compensadores estáticos

O desenvolvimento da tecnologia de compensação estática de potência reativa fez surgir diversos tipos de compensadores estáticos, dentre os quais se destacam:

#### 3.4.1 - Statcom

Este dispositivo é composto de um capacitor de armazenamento de energia conectado a rede elétrica por meio de um circuito inversor/retificador trifásico implementado através de GTOs (gate turn off thyristors) e de um transformador elevador, conforme indicado na Fig.3.7. Caracteriza-se por possuir reduzido tempo de resposta, e devido ao emprego dos GTOs, que permitem o controle tanto do seu instante de condução quanto do de bloqueio, está apto a injetar potência reativa indutiva e capacitiva, mesmo sem a presença de reatores. Entretanto, com a tecnologia atualmente disponível, o emprego de GTOs implica em maiores perdas e menores valores nominais de corrente e tensão, além de requerer um maior investimento no transformador abaixador quando comparado a um compensador estático de potência equivalente. De acordo com a Fig.3.7, tem-se três situações possíveis de operação para o Statcom:

1.  $V_o = V_* \Rightarrow$  A corrente injetada pelo Statcom na rede elétrica é nula e o mesmo opera no ponto correspondente a OMVar.
2.  $V_o > V_* \Rightarrow$  A corrente injetada pelo Statcom na rede elétrica é tal que o mesmo produz potência reativa capacitiva.



- Arquivo FTMGMIP2: Esta simulação apresenta, em termos de sobretensão, grau de severidade inferior a anterior, uma vez que é rejeitada cerca de 80% da carga da SE Fortaleza, mais uma vez correspondendo a totalidade da carga tipo impedância constante. A parcela restante de 20% da carga desta subestação é representada por um motor de indução de 90.000FÍP, 13.8kV, tendo sido efetuadas simulações com e sem a atuação da lógica de subtensão do CE Fortaleza.

Sob o ponto de vista qualitativo, os resultados aqui obtidos são similares aos da simulação anterior, destacando-se o fato de que, em ambas as situações, com e sem atuação do bloqueio por subtensão do CE Fortaleza, o regulador de tensão deste compensador consegue anular o erro na sua entrada mesmo durante o transitório eletromagnético de eliminação do defeito, deslocando-se para pontos de operação fortemente indutivos, até que atua o circuito limitador de corrente em suas válvulas de tiristores. A partir daí, o CE Fortaleza reduz a potência reativa indutiva injetada no sistema de transmissão e se estabelece uma sobretensão de regime permanente, que será eliminada mediante o desligamento de linhas de transmissão e bancos de capacitores.

A subtensão registrada durante o período de aplicação do defeito é idêntica nas simulações com e sem a atuação do bloqueio por subtensão do CE Fortaleza, reforçando a teoria de que, em condições de extrema subtensão, a contribuição dos CEs é irrelevante. Por outro lado, na eliminação do defeito, os picos de sobretensão registrados no caso sem bloqueio do CE por subtensão são ligeiramente superiores aos registrados no caso com o citado bloqueio ativado. Além do mais, após a eliminação do defeito, o CE Fortaleza é desbloqueado pela recuperação natural da tensão, passando a contribuir para anular o sinal de erro na sua entrada, tal como o faz no caso onde o bloqueio por subtensão encontra-se desativado.

Assim, este grupo de simulações indica que a ativação do bloqueio pela lógica de subtensão do CE Fortaleza contribui para uma ligeira redução nos picos de sobretensão subsequentes à eliminação do defeito e em nada prejudica o desempenho deste equipamento no período de retomada de velocidade do motor equivalente a 20% da carga de Fortaleza. O comportamento do CE Milagres, bem como o do motor equivalente à parcela da carga representada, é bastante semelhante ao descrito no grupo de simulações FTMGMIP1, destacando-se a duração ligeiramente superior do transitório de retomada de velocidade do motor equivalente (1seg contra 600mseg do caso anterior).

Desta forma, são ratificadas as conclusões do grupo de simulações anteriormente descrito, motivando a realização do próximo grupo de simulações com percentuais mais elevados para a parcela da carga de Fortaleza representada por motores de indução.

- Arquivo FTMGMIP4: De forma a se avaliar o impacto de um defeito desequilibrado, com elevado grau de severidade do ponto de vista de sobretensão, sobre o desempenho dos compensadores de Milagres e Fortaleza, foi analisada a aplicação de um curto-circuito bifásico à terra no 69kV da SE Fortaleza, considerando desativado o bloqueio do CE Fortaleza pelo esquema de subtensão. A parcela da carga representada como motor de indução foi de 10%, conforme descrito no grupo de simulações FTMGMIP1.

Quando se analisa os picos de sobretensão decorrentes da eliminação do defeito, são registrados no 230kV da SE Fortaleza, nos dois primeiros ciclos subsequentes à referida eliminação, picos de 1,45 (fase a) e 1,55 (fases b e c), que não constituem motivo de preocupação, devido à sua rápida extinção e ao fato de se encontrarem muito abaixo dos limites de suportabilidade dos equipamentos que compõem o sistema de transmissão. O período subsequente, caracterizado pela retomada de velocidade do motor de indução correspondente à parcela da carga representada, é mais curto (cerca de 350mseg) e apresenta menores afundamentos de tensão que na simulação de defeito trifásico, pois neste caso, o afundamento de tensão durante o defeito é menor e desequilibrado, fazendo com que o motor equivalente sofra menor redução de velocidade durante o período de aplicação da falta e, desta forma, solicite com menor intensidade o sistema elétrico durante o período de retomada de velocidade. Além disso, são registrados nas correntes de estator do motor equivalente elevados valores de componente DC e harmônicos durante o período de aplicação do defeito e isto faz com que surjam componentes de 120Hz no torque eletromecânico, que desaparecem na eliminação da falta. Tal fato foi verificado em [22] e comprova que a modelagem utilizada para o motor de indução encontra-se adequada. Após a eliminação do defeito, verifica-se a existência de uma componente de  $\omega$ OHZ que decai com o tempo no torque eletromecânico, devido a presença de componente DC nas correntes de estator do motor equivalente. Após a extinção do transitório de retomada de velocidade, o torque eletromagnético retoma ao seu valor pré-defeito, confirmando a estabilidade de tensão do sistema na condição estudada.

Durante a falta, os CEs deslocam-se para os respectivos limites capacitivos, na tentativa de compensar os afundamentos de tensão decorrentes da mesma. Na sua eliminação, estes equipamentos deslocam-se para suas faixas indutivas, para combater as sobretensões pós-defeito e após a extinção do transitório de retomada de velocidade, passam ao seu limite indutivo para combater a sobretensão decorrente da rejeição de 90% da carga da SE Fortaleza. De maneira análoga às simulações anteriores, ocorre a atuação do circuito limitador de corrente do CE Fortaleza, provocando a redução na sua potência reativa indutiva e dando origem a uma sobretensão de regime permanente da ordem de 1,20 no 230kV da SE Fortaleza e 1,10 no 230 kV da SE Milagres. O CE Milagres permanece operando no seu limite indutivo, mas isto não é suficiente para eliminar tal sobretensão, o que será feito mediante a atuação de proteções da SE Fortaleza.

- Arquivo FTMGMIPA: Este grupo de simulações caracteriza-se pela ocorrência de subtensões após a eliminação do defeito, uma vez que esta se dá através da abertura de uma das linhas de transmissão Banabuiu-Fortaleza 230kV, que integram o eixo que conecta a subestação de Fortaleza à principal barra de geração, Paulo Afonso 230kV. Experiência operacional mostra que, dentre os defeitos em linhas de transmissão possíveis de ocorrer no subsistema Norte da CHESF, este possui o maior grau de severidade no que diz respeito aos níveis de subtensão pós-defeito, devido à localização da linha de transmissão onde se aplica a falta. As simulações foram realizadas considerando a atuação do bloqueio por subtensão do CE Fortaleza e foi representada uma parcela correspondente a 10% da carga da SE Fortaleza como motor de indução, o que equivale a um motor de 45.000HP, 13,8kV. Verifica-se que não há picos de sobretensão na eliminação da falta; durante o defeito, a tensão no 230kV desta subestação cai a zero e atinge, em cerca de três ciclos após a eliminação da falta, o valor pré-defeito.

O CE Fortaleza desloca-se para o ponto de trabalho (OMVAr) durante o defeito e instantaneamente após a eliminação do mesmo, desloca-se para um ponto fortemente capacitivo, na tentativa de suprir a elevada demanda de potência reativa associada ao processo de retomada de velocidade do motor equivalente a 10% da carga de Fortaleza. Decorridos cerca de 400 mseg da eliminação da falta, o transitório de retomada de velocidade do referido motor é extinto, o CE Fortaleza anula o sinal de erro na sua entrada e tem sua potência reativa estabilizada em um ponto mais capacitivo que o registrado no período pré-defeito, de forma a suprir a ausência da linha desligada.

Quanto ao CE Milagres, durante o período de aplicação da falta, atinge seu limite capacitivo, tentando combater a subtensão provocada pela mesma; na eliminação do defeito, desloca-se para um ponto de operação medianamente capacitivo e em três ciclos, anula o erro na entrada do seu sistema de controle, regulando sua tensão terminal de 230kV no valor pré-defeito. O motor equivalente à parcela da carga da SE Fortaleza comporta-se conforme esperado, sofrendo forte desaceleração durante o período de aplicação do defeito e retomando sua velocidade após a eliminação do mesmo, o que leva cerca de 400mseg. A partir daí, é atingido o regime permanente e suas correntes de estator retornam aos valores pré-defeito.

Pelo exposto, com a representação de um percentual de 10% de motores de indução na carga de Fortaleza, não há risco de bloqueio permanente do CE Fortaleza pela lógica de subtensão, quando da ocorrência de faltas caracterizadas por subtensão na sua eliminação.

- Arquivo FTMGMPIE: Idêntico ao anterior, considerando os efeitos da saturação nas indutâncias de dispersão dos enrolamentos de estator e rotor do motor equivalente. Tem-se as seguintes constatações, ao se comparar com a simulação FTMGMIPA, que considera indutâncias não saturadas:
  - As alterações na curva de torque eletromagnético do motor equivalente não são significativas e as tensões da barra de 230kV de Milagres e Fortaleza são muito próximas às do caso anterior.
  - As correntes de estator do motor equivalente apresentam picos durante a aplicação do defeito ligeiramente superiores aos registrados no caso considerando-se indutâncias não saturadas. A partir daí, verifica-se um comportamento similar em ambos os casos (com e sem saturação).
  - Verifica-se um afundamento de tensão ligeiramente superior nas tensões de 13,8kV terminais do motor ao longo do período de retomada de velocidade. Na extinção do referido transitório, tais tensões passam a ter comportamento similar às do caso com indutâncias não saturadas.
  - Os compensadores de Milagres e Fortaleza operam em pontos um pouco mais capacitivos que os verificados no caso com indutâncias não saturadas logo após a eliminação da falta. Em seguida, seu comportamento é similar ao registrado no caso com indutâncias não saturadas.

- A luz dos resultados deste grupo de simulações, pode-se afirmar que, sob a ótica do sistema elétrico de potência, é indiferente o emprego de indutâncias de dispersão saturadas ou não saturadas nos enrolamentos do motor de indução representado.
- Arquivo FTMGMIPB: Elevou-se o percentual da carga de Fortaleza representada por motores de indução para 20%, o que corresponde a um motor equivalente de 90.000HP, 13,8kV. Com relação ao grupo de simulações considerando 10% da carga representada como motor de indução, são registrados transitórios de retomada de velocidade com duração ligeiramente superior (cerca de 500mseg) e afundamentos de tensão um pouco maiores, conforme esperado. Nos demais aspectos o desempenho dos CEs, do sistema elétrico e do motor equivalente é similar ao descrito na análise do arquivo FTMGMIPA. A influência do uso de indutâncias saturadas foi analisada através de simulações efetuadas com o arquivo FTMGMIPF, sendo ratificados os resultados comentados nos itens anteriores.

O percentual de cargas da SE Fortaleza representadas por motores de indução foi elevado para 30% (Arquivo FTMGM1PC sem saturação nas indutâncias de dispersão do motor), o que corresponde a um motor equivalente de 135.000HP, 13,8kV e, neste caso, foi observada uma elevação no intervalo de duração do transitório de retomada de velocidade do motor para cerca de 1seg e um maior afundamento na tensão terminal do motor durante este intervalo. Nos demais aspectos, o desempenho dos componentes envolvidos é similar ao descrito nas simulações anteriores.

Elevou-se o percentual da carga de Fortaleza representada por motores de indução para 35% (Arquivo FTMGMDPJ) sem saturação nas indutâncias de dispersão nos enrolamentos do motor, o que corresponde a um motor equivalente a 160.000HP, 13,8kV. Neste caso, foi observada uma elevação significativa no intervalo de duração do transitório de retomada de velocidade, que eleva-se para cerca de 1,4seg e no afundamento da sua tensão terminal, que cai para cerca de 70% do valor pré-defeito, imediatamente após a eliminação da falta.

O CE Fortaleza permanece operando no seu limite capacitivo durante todo o período de retomada de velocidade do motor equivalente a 35% da carga de Fortaleza e ao final do referido transitório, passa a operar num ponto mais capacitivo que o registrado no período pré-defeito, para compensar a perda da linha de transmissão onde se deu o curto-circuito. Ao longo deste intervalo, registra-se uma subtensão da ordem de 90% do valor anterior à aplicação da falta na barra de 230kV da SE Fortaleza, o que dá idéia do elevado grau de severidade deste grupo de simulações.

O CE Milagres atinge seu limite capacitivo durante o defeito e após a sua eliminação, passa a operar num ponto medianamente capacitivo, anulando o sinal de erro na sua entrada. Depois de extinto o transitório de retomada de velocidade do motor de indução, ele reduz sua potência reativa capacitiva a um valor próximo do pré-defeito.

Apesar do elevado grau de severidade da simulação, após a extinção do transitório de retomada de velocidade do motor, o conjunto (motor equivalente, CEs e sistema elétrico) atinge um novo regime permanente, bastante próximo do ponto de operação anterior à aplicação da falta.

Ao serem consideradas indutâncias de dispersão saturadas nos enrolamentos de rotor e estator do motor de indução (Arquivo FTMGMIPK), são observados os seguintes efeitos:

- A duração do transitório de retomada de velocidade na eliminação do defeito é reduzida de 0.5seg, quando comparada à simulação com indutâncias não saturadas.
- Os afundamentos de tensão na SE Fortaleza registrados na eliminação do defeito são ligeiramente superiores no caso com indutâncias saturadas. Tal efeito não se verifica na SE Milagres.
- Os sinais de entrada e saída dos CEs Fortaleza e Milagres refletem tais efeitos, apresentando valores de erro mais elevados na eliminação do defeito e deslocando-se para pontos de operação situados abaixo do limite capacitivo 0,5seg antes do que ocorre no caso não saturado.
- A curva de torque eletromagnético do motor de indução é muito próxima nos dois casos, sendo o penodo transitório de retomada de velocidade abreviado de 0.5seg no caso com indutâncias saturadas.
- No instante de aplicação do defeito, são registrados picos de corrente no estator superiores aos do caso com indutâncias não saturadas. Tais correntes atingem seus valores de regime pós-defeito cerca de 0.5seg antes do que ocorre no caso não saturado.

Pelo exposto, pode-se concluir que a utilização de indutâncias não saturadas representa uma situação mais severa para o sistema de transmissão. Como se trata da representação equivalente a um grande número de pequenos motores, cada um com uma característica diferente, ratifica-se a necessidade da realização de ensaios de campo para a determinação da real característica da carga da SE Fortaleza.

Na tentativa de se buscar uma condição mais crítica para o sistema em estudo, foram realizadas simulações com a representação de parcelas correspondentes a 40% e 50% da carga da SE Fortaleza como motor de indução, o que equivale a motores de, respectivamente, 182.000HP e 278.000HP, 13,8kV (Arquivos FTMGMIPK e FTMGMIPD).

O percentual de carga representado como motor de indução utilizado neste grupo de simulações foi definido com base em [23], de forma a se configurar uma condição extremamente crítica para o sistema em estudo, do ponto de vista de subtensão na eliminação do defeito. Vale salientar que na bibliografia pesquisada não foram encontrados registros de percentuais de carga correspondentes a motores de indução superiores a 50% da carga total, com exceção de alimentações dedicadas a consumidores industriais de grande porte, o que não é o caso da SE Fortaleza, que supre parte da carga de uma capital estadual, com cerca de dois milhões de habitantes.

As simulações mostram que, mesmo em condições extremamente severas no que diz respeito ao percentual de carga representado como motor de indução, não há risco de bloqueio permanente do CE Fortaleza pela lógica de subtensão, sendo a recuperação natural da tensão na eliminação do defeito suficiente para desbloqueá-lo, considerando os novos ajustes

definidos no decorrer deste trabalho. Desta forma, optou-se por manter ativa a referida lógica de subtensão, uma vez que em defeitos caracterizados por sobretensão na sua eliminação, verifica-se uma pequena redução nos picos de sobretensão decorrentes da eliminação da falta, quando comparado com a situação sem bloqueio pelo citado esquema.

Considerando-se os referidos percentuais de carga representada por motores de indução, observa-se que a rede elétrica não mais retorna a um ponto de operação estável após a eliminação do defeito. As tensões da SE Fortaleza não se recuperam e são registradas subtensões da ordem de 0,85 (caso com 50% de motores) e 0,89 (caso com 40% de motores) no 230kV da SE Fortaleza e que tais tensões permanecem decrescendo até o final da simulação (2,5 seg), caracterizando assim um caso de instabilidade.

As correntes de estator do motor equivalente também não atingem um regime permanente pós-defeito e permanecem elevadas e crescendo até o final da simulação, na tentativa de se contrapor ao decréscimo da sua tensão terminal e manter constante a sua potência de saída. O torque eletromagnético também não se estabiliza e permanece decrescendo até o final da simulação, reforçando o fato de que o motor não consegue atingir um novo regime permanente e em tais condições, o sistema de transmissão que alimenta a SE Fortaleza é levado a um colapso de tensão.

O CE Fortaleza desloca-se para o ponto de trabalho (OMVAr) durante o período de aplicação do defeito e após a sua eliminação, desloca-se para o limite capacitivo, aí permanecendo até o final da simulação.

O CE Milagres atinge seu limite capacitivo durante o período de aplicação do defeito e após a eliminação do mesmo, desloca-se para um ponto medianamente capacitivo, consegue anular o sinal de erro na entrada do seu regulador de tensão e controla sua tensão de 230kV no valor desejado. Entretanto, devido à topologia da rede elétrica, a contribuição do CE Milagres é insuficiente para evitar o colapso de tensão na área de Fortaleza. Não ocorre bloqueio permanente do CE Fortaleza, que opera no limite capacitivo durante todo o intervalo posterior à eliminação da falta. Entretanto, como a potência reativa requerida pelo motor equivalente durante o período de retomada de velocidade é muito superior à capacidade nominal deste CE, as tensões e o torque eletromagnético sofrem grandes reduções e o sistema não consegue atingir um novo ponto de operação estável.

Registros de perturbações colhidos na SE Fortaleza mostram que este colapso não ocorre na prática, quando da eliminação de defeitos no 230kV com abertura de linhas de transmissão, o que sugere, com base nas simulações efetuadas, que o percentual real da carga do 69kV da SE Fortaleza representada por motores de indução é superior a 10%, mas inferior a 40%. Além do mais, ocorre o desligamento natural de lâmpadas fluorescentes e de motores de indução em condições de prolongada subtensão [24], [25], o que significa uma rejeição natural de carga, cuja parcela é de difícil determinação e que auxilia no processo de recuperação da tensão após a eliminação de defeitos. Assim, é possível que se tenha no campo percentuais mais elevados de carga que os aqui considerados e que devido à rejeição natural da carga em condições de subtensão, parte de suas cargas sejam desligadas, possibilitando a recuperação natural da tensão naquela subestação.

A realização de ensaios de campo irá contribuir de modo significativo para a determinação destes percentuais.

- Arquivo FTMGMIP8: Este grupo de simulações tem por objetivo avaliar os efeitos de uma falta desequilibrada na recuperação das tensões da SE Fortaleza, como também sobre o transitório de retomada de velocidade do motor equivalente à parcela da carga representada. Com base nas conclusões do item anterior, as simulações efetuadas consideraram ativo o bloqueio por subtensão do CE Fortaleza.

Conforme esperado, não há sobretensão na eliminação da falta, sendo os picos de sobretensão registrados inferiores à tensão pre-falta. Devido a natureza bifásica do defeito, os afundamentos de tensão registrados são inferiores aos da falta trifásica, fazendo com que a desaceleração do motor equivalente seja menor durante o defeito e, por conseguinte, tornando menos severo seu transitório de retomada de velocidade, que dura cerca de 1.0 seg, contra 1,4seg no caso de curto trifásico e confirmando ser a simulação de curto trifásico a de maior grau de severidade no que diz respeito a subtensão. O desempenho dos compensadores, bem como o do motor equivalente, é similar ao do caso de curto trifásico, ratificando-se as conclusões anteriores.

Devido ao baixo grau de severidade encontrado nas simulações de curto bifásico e aos resultados obtidos nas simulações anteriores, optou-se por utilizar neste grupo de simulações apenas indutâncias não saturadas nos enrolamentos de estator e rotor do motor equivalente.

- Arquivo FTMGMIP0: Nesta simulação, é rejeitada a totalidade da parcela da carga tipo impedância constante, correspondendo a 70% da carga total da SE Fortaleza. A parcela restante de 30% da carga desta subestação é representada por um motor de indução de 135.000HP, 13,8kV, com atuação da lógica de subtensão do CE Fortaleza. Os resultados obtidos mostram que, embora os CEs consigam anular seus respectivos sinais de erro no período subsequente à eliminação do defeito, passando inclusive a operar em pontos ligeiramente indutivos devido à rejeição da totalidade da parcela de impedância constante da carga, não ocorre a recuperação da tensão 13,8kV terminal do motor, que equivale à tensão do 69kV onde se deu o defeito. Neste barramento, ao contrário do verificado no 230kV, a tensão permanece decrescendo até o final da simulação (2,95see), as correntes de estator do motor permanecem elevadas, não retomando seus valores de regime e o torque eletromagnético permanece decaindo sem atingir um valor de estado permanente. Este comportamento peculiar da tensão nas barras de 69 e 13,8kV da SE Fortaleza se verifica em parte devido ao elevado grau de carregamento imposto ao sistema de transmissão e a característica predominantemente radial do subsistema Norte da CHESF. Além disso, os tempos de eliminação dos defeitos no 69kV são bastante superiores aos dos defeitos no 230kV, fazendo com que a redução de velocidade do motor equivalente à parcela da carga representada seja maior no primeiro caso, o que torna mais severo o transitório de retomada de velocidade na eliminação do defeito, podendo, inclusive, levar à situação aqui apresentada, onde o motor não consegue atingir um novo regime permanente.

No sistema real há dois efeitos que, atuando de maneira oposta, dificultam a realização de uma análise quantitativa do fenômeno. No sistema de 69kV alimentado pelas SEs Fortaleza e Delmiro Gouveia, os tempos de eliminação de defeito podem ser superiores a 1seg, o que

torna ainda mais crítico o período de retomada de velocidade do motor equivalente. Por outro lado, existe a rejeição natural por subtensão de cargas tipo motor de indução, o que alivia o carregamento do sistema e favorece a recuperação da tensão na eliminação do defeito.

Desta forma, fica ratificada a necessidade da realização de ensaios de campo específicos para a determinação do percentual real de cargas do tipo motor de indução na SE Fortaleza.

Os registros das simulações analisadas neste item são apresentadas no Anexo 9.7 deste trabalho.

Em resumo, com base nas simulações efetuadas ao longo desta Seção, pode-se afirmar que:

- Quanto ao aspecto de sobretensão pós defeito, as situações mais críticas são aquelas onde não se representa o comportamento dinâmico da carga.
- Simulações de curto-circuito em linhas de 230kV, eliminados com abertura de linha, representam as situações mais críticas quando se considera o comportamento dinâmico da carga.
- Simulações de curto-circuitos trifásicos representam as situações mais críticas sob a ênfase da recuperação da tensão, devido ao maior grau de afundamento produzido durante o defeito.
- Com a utilização de percentuais de carga dinamicamente ativa de até 50% da carga total, não há risco de bloqueio permanente do CE Fortaleza pelo esquema de subtensão. Optou-se, pelos motivos expostos no decorrer deste trabalho, por manter ativo o referido esquema.
- Nas simulações de defeito em linhas de 230kV eliminados com abertura de linha, o CE Fortaleza desloca-se para seu limite capacitivo e o CE Milagres desloca-se para pontos fortemente capacitivos na eliminação dos defeitos e lá permanecem até que ocorra a extinção do transitório de retomada de velocidade da parcela da carga representada como motor de indução. No sistema real, a ação destes equipamentos faz com que o intervalo de tempo necessário para a recuperação da tensão na eliminação da falta, bem como o seu afundamento, sejam reduzidos, amenizando de modo significativo o impacto do defeito sobre o sistema de transmissão.



## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA O PROSSEGUIMENTO DOS TRABALHOS

### 7.1 CONCLUSÕES

As simulações efetuadas indicaram como adequados para os CEs Milagres e Fortaleza na configuração da rede elétrica correspondente a dezembro/96 os parâmetros e modificações nos respectivos sistemas de controle indicados nas Tabelas 7.1 e 7.2.

Tabela 7.1 Parâmetros do Compensador Estático de Fortaleza.

Malha de Controle	Parâmetro	Valor Anterior	Valor Recomendado
Canal Normal (PI)	Ganho Proporcional (Kp)	0.40V/V	0.40V/V
	Constante de Tempo (T <sub>s</sub> )	11.0msecg	11.0msecg
Canal Rápido (PD)	Ganho Proporcional (KD)	0.75V/V	0.75V/V
	Constante de Tempo (T <sub>s</sub> )	19.0msecg	19.0msecg
	Banda Morta (BM)	± 1.5V	± 1.5V
	Limite Capacitivo (LCAP)	+ 0.50V	+ 0.50V
	Limite Indutivo (LIND)	-0.90V	-0.90V
Bloqueio por Subtensão	230kV fase-fase	Bloquear em 0.50	Bloquear em 0.25
	230kV fase-terra	Bloquear em 0.50	Bloquear em 0.25
	69kV fase-terra	Bloquear em 0.50	Bloquear em 0.12
Circuito Inicializador do Controlador PI		Ativado	Desativado

OBSERVAÇÃO: Manter ativado o bloqueio da lógica de subtensão também sobre o canal rápido

Tabela 7.2 Parâmetros do Compensador Estático de Milagres.

Malha de Controle	Parâmetro	Valor Anterior	Valor Recomendado
Canal Normal (PI)	Ganho Proporcional (K <sub>p</sub> )	1.75 V/V	1.75 V/V
	Constante de Tempo (T <sub>s</sub> )	11.0msecg	11.0msecg
Canal Rápido (PD)	Ganho Proporcional (KD)	1.00V/V	1.00 V/V
	Constante de Tempo (T <sub>s</sub> )	19.0msecg	19.0msecg
	Banda Morta (BM)	± 1.0V	± 1.0V
	Limite Capacitivo (LCAP)	+ 0.50V	+ 0.50V
	Limite Indutivo (LIND)	-0.90V	-0.90V
Bloqueio por Subtensão	230kV fase-fase	Bloquear em 0.50	Desativado
	230kV fase-terra	Bloquear em 0.50	Desativado
	69kV fase-terra	Desativado	Desativado
Circuito Inicializador do Controlador PI		Ativado	Desativado

Foi comprovado que considerando-se um percentual máximo de 50% da carga de Fortaleza representada por um motor de indução equivalente, não há risco de bloqueio permanente do CE Fortaleza pela lógica de subtensão e que a presença do referido esquema de bloqueio contribui para a redução dos picos de sobretensão registrados na eliminação de defeitos no 69kV com rejeição de carga.

Além disso, os resultados das simulações permitem que seja estimada a parcela dinamicamente ativa da carga do 69kV da SE Fortaleza como superior a 10 e inferior a 40% da carga total desta subestação.

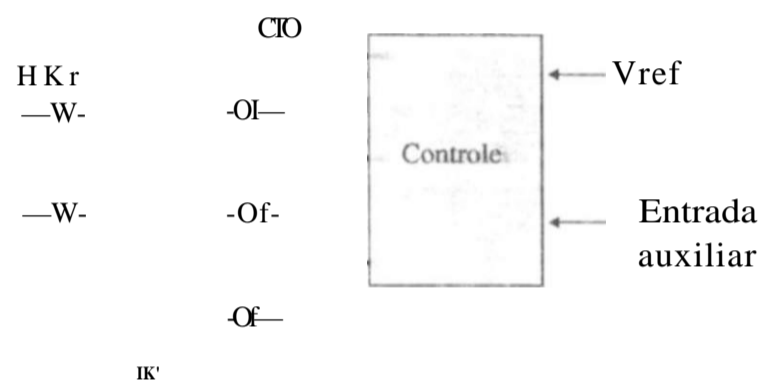
De modo resumido, tais conclusões foram tomadas com base nos seguintes elementos:

- Em condições normais de operação, nas várias condições de carga simuladas, o desempenho dos CEs Fortaleza e Milagres, em termos de velocidade de resposta encontra-se aquém do desejado considerando-se os valores de ganho proporcional atualmente implantados (0,40V/V - CE FTZ e 1,75V/V - CE MLG). Desempenho satisfatório é atingido para ganhos iguais a 0,70V/V - CE FTZ e 1,75V/V - CE MLG. Entretanto, em condições de recomposição do sistema de transmissão a partir da SE Paulo Afonso 230kV, quando o sistema elétrico opera com valores bastante reduzidos de potência de curto-circuito, o uso dos referidos valores de ganho provoca instabilidade nos sistemas de controle dos compensadores. Como não se dispõe de um sistema de controle adaptativo, onde ocorram mudanças de ganho de acordo com as mudanças de configuração no equipamento e no sistema de transmissão associado, optou-se por sacrificar a velocidade de resposta dos CEs em prol da estabilidade, tendo sido mantidos os ganhos atuais (0,40V/V - CE FTZ e 1,75V/V - CE MLG).
- Verifica-se alguma dificuldade em coordenar a atuação conjunta de duas malhas de controle de diferentes filosofias, a saber, o canal normal de regulação, proporcional-integral, e o canal rápido de regulação, proporcional-derivativo. O canal rápido atua com base na derivada da tensão e em defeitos eliminados com abertura de linha, onde o sistema é submetido a subtensões. desloca-se no sentido indutivo, dificultando a recuperação da mesma. Optou-se então por priorizar a ação do canal normal, que possui elevada precisão e tempo de resposta adequado, dentro das limitações citadas no item anterior. Isto implica na manutenção dos ajustes anteriormente implantados, listados nas Tabelas 7.1 e 7.2.
- Conforme estabelecido na Seção 5.4.2 deste trabalho, não há, em qualquer dos casos simulados, indícios de instabilidade ou oscilação entre o circuito limitador de corrente e o esquema de disparo protetivo (BOD) dos CEs Milagres e Fortaleza, razão pela qual optou-se pela desativação do circuito inicializador do regulador PI, cuja única função era impedir a ocorrência das referidas instabilidade e oscilações.
- O esquema de bloqueio por subtensão implementado nos CEs Milagres e Fortaleza destina-se a impedir que durante defeitos eliminados com rejeição de carga, tais equipamentos desloquem-se para seus limites capacitivos e na eliminação da falta, contribuam para o incremento das sobretensões decorrentes da referida eliminação. Simulações efetuadas mostraram que o esquema de subtensão do CE Fortaleza contribui para a redução dos picos de sobretensão pós-defeito, razão pela qual optou-se por mantê-lo ativado. Entretanto, é desejado que sua atuação se dê apenas durante contingências de elevado grau de severidade, de forma a não prejudicar o desempenho do CE e do sistema de transmissão a ele associado. Assim, foram selecionados os novos níveis de bloqueio indicados na Tabela 7.1, de forma que não haja atuação da referida lógica na contingência remota eliminada com perda de carga mais severa para a SE Fortaleza, ou seja, aplicação de curto-circuitos bifásico e trifásico à terra no 69kV da SE Delmiro Gouveia. As sobretensões registradas nas referidas simulações encontram-se bem abaixo dos limites máximos tolerados para o sistema elétrico.

3.  $V_q < T_i \Rightarrow$  A corrente injetada pelo Statcom na rede elétrica é tal que o mesmo produz potência reativa indutiva.

#### Linha de Transmissão

$V_o = V, i = 0$   
 $V_o > V, i$  capacitiva  
 $V_o < V, i$  indutiva



#### Capacitor de armazenamento

Fig 3.7: CE do tipo Statcom.

O Statcom pode ser caracterizado como o análogo eletrônico do compensador síncrono, podendo a tensão no capacitor conectado ao lado DC ser comparada à tensão de campo do compensador síncrono. Seu comportamento, visto pelo sistema de transmissão, é o de uma fonte de tensão alternada atras de uma reatância de acoplamento, cuja característica estática  $V_x$  é mostrada na Fig.3.8. Conforme descrito na literatura [1], [2], [11], o controle de tensão propiciado pelo Statcom é superior ao do compensador estático convencional (reator controlado a tiristores e capacitor fixo), devido à capacidade de fornecer sua potência nominal capacitiva com valores de tensão terminal normalizada de até 0,15. Uma vez que, ao contrário do compensador do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo, a potência reativa produzida não é função do quadrado da tensão terminal quando o referido equipamento atinge seus limites nominais. Tal comportamento deve-se ao fato de a potência reativa injetada na rede elétrica pelo Statcom ser função do produto da diferença entre as tensões  $V_{<>}$  e  $V_s$  pela sua corrente  $i$ . Além disso, o referido equipamento possui maior capacidade de sobrecarga transitória, tanto na faixa indutiva, quanto na capacitiva. De modo similar ao compensador estático do tipo reator controlado, o Statcom destina-se a introduzir no sistema elétrico os seguintes benefícios:

- [Amortecimento](#) de oscilações de potência

Controle de tensão em regime permanente e transitório

- No que diz respeito ao esquema de bloqueio por subtensão do CE Milagres, verifica-se que já com os ajustes atualmente implantados (bloqueio em 50% da tensão), não há atuação do mesmo em defeitos no 69kV eliminados com rejeição total da carga do 69kV da SE Milagres. Além disso, na eliminação do defeito praticamente não ocorre sobretensão no 230kV desta SE. Por outro lado, quando se analisa defeitos no 230kV eliminados com perda de linha de transmissão, verifica-se que a recuperação da tensão é um pouco mais rápida quando se considera desativado o esquema de bloqueio por subtensão, caracterizando um pequeno benefício para o sistema elétrico. Optou-se assim por desativar o esquema de bloqueio por subtensão do CE Milagres.
- Simulações efetuadas considerando-se o comportamento dinâmico da carga da SE Fortaleza, ou seja, determinadas parcelas da carga da referida SE representadas por um motor de indução equivalente, demonstraram que mesmo com elevados percentuais de carga tipo motor de indução (da ordem de 50% da carga total do 69kV), não há risco de bloqueio permanente do CE Fortaleza pelo esquema de subtensão. Foi comprovado também que os ajustes e modificações nos sistemas de controle dos CEs Milagres e Fortaleza definidos nas etapas iniciais deste trabalho são adequados quando se considera a presença de cargas dinamicamente ativas.
- A determinação do percentual real de cargas dinamicamente ativas presente na SE Fortaleza requer a realização de exaustivos ensaios de campo e de uma adequada supervisão das grandezas do sistema de transmissão. Por questões operacionais, não foi possível viabilizar a realização de tais ensaios e a supervisão adequada das grandezas do sistema elétrico encontra-se ainda em fase de implantação, razões pelas quais foi possível, ao longo deste trabalho, apenas efetuar uma estimativa do referido percentual de cargas, que se encontra entre 10% e 40% da carga total do 69kV da SE Fortaleza.

## 7.2 SUGESTÕES PARA O PROSSEGUIMENTO DOS TRABALHOS

As simulações de aplicação de pequenas perturbações mostraram o grau de dificuldade que existe para selecionar parâmetros de sistemas de controle que proporcionem adequado desempenho em situações tão diversas quanto as que são submetidos os CEs Milagres e Fortaleza. Enquanto que em carga máxima, tem-se um sistema predominantemente radial, fortemente carregado e com a maior carga situada na sua extremidade, a cerca de 800km do principal centro gerador, em condições de recomposição tem-se longas linhas de transmissão a serem energizadas praticamente em vazio, além de compensadores com elevada potência nominal. Desta forma, sugere-se que seja analisada a viabilidade da instalação nos CEs Fortaleza e Milagres de um esquema de controle adaptativo, que altere os ganhos proporcionais dos seus reguladores de tensão, de forma a compensar modificações na configuração do sistema de transmissão, ou mesmo na configuração interna destes equipamentos, contribuindo assim para a otimização do seu desempenho.

Não foram efetuados no decorrer deste trabalho ensaios de campo específicos visando a determinação do percentual de motores de indução presente na carga de Fortaleza na atual configuração do sistema elétrico, uma vez que os referidos ensaios implicam no desligamento e

subsequente religamento de alimentadores da subestação de Fortaleza e na aplicação e eliminação de curto-circuitos nas proximidades desta SE. Devido às atuais condições críticas de suprimento do subsistema Norte da CHESF, não foi possível efetuar ensaios que pudessem provocar distúrbios para os consumidores, tendo sido usados percentuais de cargas dinamicamente ativas fornecidos pela bibliografia consultada. Com a entrada em operação, num futuro breve, dos reforços de transmissão previstos para aquela área, espera-se, em condições mais favoráveis, realizar tais ensaios.

Registros oscilográficos de perturbações na área de influência dos compensadores estáticos são elementos de grande importância, não só na determinação dos percentuais de carga correspondente a motores de indução, como também na análise do desempenho do sistema elétrico de maneira global, uma vez que as atuais condições de suprimento do subsistema Norte não permitem a realização de ensaios de aplicação de grandes perturbações, tais como curto-circuitos com rejeição de carga ou abertura de linhas de transmissão. Entretanto, os oscilopertubógrafos atualmente disponíveis nas subestação de Fortaleza e Milagres não apresentam desempenho satisfatório, prejudicando a análise das referidas perturbações. Sugere-se assim que tais equipamentos sejam substituídos, propiciando desta forma maiores subsídios para a validação dos estudos de transitórios eletromagnéticos realizados para aquela região.

A representação de mais de um motor de indução conectados a um mesmo nó do sistema elétrico requer alguns procedimentos especiais, conforme estabelecido em [7]. De forma a verificar se existe alguma interação entre dois motores de grande porte e se a resposta do sistema elétrico e dos compensadores é de alguma forma influenciada por tal interação, em prosseguimento ao presente trabalho serão efetuadas comparações entre as simulações efetuadas com a representação de apenas um motor de indução e com a representação de dois ou mais motores de potência equivalente.

Conforme estabelecido pelo seu autor, Gabor Furst, o programa INDMOT foi desenvolvido para análise do desempenho de um determinado motor, a partir dos seus dados de placa, devendo a sua curva de torque x velocidade ser comparada com ensaios de campo e, caso necessário, efetuados os ajustes necessários nos parâmetros calculados pelo programa. Deve ser lembrado que as resistências e indutâncias de um motor de indução podem diferir bastante de um fabricante para outro, mesmo quando os motores possuem os mesmos dados de placa (potência, tensão, fator de potência, rendimento, por exemplo), dependendo das características construtivas de cada motor e da sua corrente de partida.

Quando se usa esta ferramenta para representar um motor equivalente a um grande número de pequenos motores, tem-se um grau de incerteza ainda maior, devido à grande quantidade de motores de características diferentes "equivalentados", o que reforça a necessidade da validação dos resultados obtidos através da realização de exaustivos ensaios de campo. As dificuldades para se representar um grande número de pequenos motores através de um motor equivalente são abordadas em [22]. Além disso, ao se analisar um sistema radial fortemente carregado como o subsistema Norte da CHESF, o valor da inércia equivalente do motor utilizada adquire especial importância, pois alterações no seu valor modificam a frequência natural da rede elétrica, alterando de modo significativo a resposta dos compensadores estáticos.

Por outro lado, não se pode, a priori, afirmar que o conjunto de motores real tenha a mesma inércia do motor equivalente calculado pelo programa INDMOT [22]. A única maneira de se determinar com fidelidade o valor deste parâmetro seria desconectar a parcela do sistema elétrico sob análise da fonte de suprimento e medir a taxa de decaimento da frequência, o que implicaria em prejuízos para os consumidores e, como consequência, para a Empresa supridora de energia elétrica, dando idéia da complexidade da tarefa em desenvolvimento. Espera-se em etapa futura da realização deste trabalho, viabilizar a realização de parte dos ensaios necessários à determinação das características dinâmicas da carga.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hammad. A. "Advanced Control Concepts: Case Study for Voltage Stability", CIGRÉ Brazil CE 38/ 14 Workshop on FACTS. Rio de Janeiro. Brasil. Novembro, 1995.
- [2] Watanabe, E., Barbosa, P. "Principles of Operation of FACTS Devices", CIGRE Brazil CE 38/14 Workshop on FACTS. Rio de Janeiro. Brasil, Novembro 1995
- [3] Tavares. P. et alii, "Compensador Estático de Fortaleza, Parte II - Testes de Desempenho no Sistema de Transmissão", IX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GSP/49, Belo Horizonte, Brasil. Outubro, 1987.
- [4] Vasconcelos, A. et alii "Compensador Estático de Fortaleza, Parte I - Adequações Definidas no Estudo de TNA do CEPEL", IX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GSP/40. Belo Horizonte, Brasil. Outubro. 1987.
- [5] Lima, M , Ramos. A , "Estudos de TNA para Análise da Operação Conjunta dos SVC Milagres e Fortaleza", li Seminário de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica", SP-46. São Paulo. Maio. 1989
- [6] Lima. M. , Lins, L.. Ramos, A. "Estudos de TNA para Avaliação do Desempenho Dinâmico de Compensadores Estáticos Operando em um Sistema Radial", III Encontro Regional Latino-Americano da CIGRE, Puerto Iguazu. Argentina, Março, 1989
- [7] Leuven EMTP Center (LEC), "Alternative Transient Program (ATP) Rule Book". Leuven, Belgium, July, 1987
- [8] Vasconcelos et alii, "Detailed Modeling of an Actual Static VAR Compensator for Electromagnetic Transient Studies", IEEE Transactions on Power Systems, pp. 11-19, Volume 7. Number 1. February 1992.
- [9] Tenório, A.. Jenkins. N. and Bollen. M. "A TCSC Model for Electromagnetic Transient Studies". Paper SPT PE 04-07-0325. IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conference, Stockholm, Sweden, June 18-22, 1995.
- [10] Navarro, A. et alii, "Correntes Harmônicas Geradas por Compensadores Estáticos", GSP, VII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Brasília-DF/Brasil-1983.
- [11] Alvarado, Fernando and DeMarco, Christopher, "Computational Tools for Planning and Operation Involving FACTS Devices". CIGRE Brazil CE 38/14 Workshop on FACTS, Rio de Janeiro, Brasil, Novembro, 1995
- [12] Albuquerque, P R. and Gernhardt. M. "The Static Synchronous Compensator (STATCOM)", CIGRE Brazil CE 38/14 Workshop on FACTS, Rio de Janeiro, Brasil, Novembro, 1995.

- [13] Elgerd, Olle. "Electric Energy Systems Theory", pp. 65-68, McGraw-Hill Book Company, USA, 1970.
- [14] Ogata, Katsuhiko, "Engenharia de Controle Moderno", pp. 205-219, Editora Prentice Hall do Brasil, 1993.
- [15] Bolton. W. "Engenharia de Controle", pp. 348-354. Makron Books. São Paulo. 1985.
- [16] Dorf, Richard. "Automatic Control Systems", pp. 96-101, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Reading, Massachusetts. USA. 1974.
- [17] Lauw, Hian K. and Meyer, W. Scott. "Universal Machine Modeling for the Representation of Rotating Electric Machinery in an Electromagnetic Transient Program", pp. 36f-38c.3. IEEE 81 SM 430-8, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No.6. June. 1982
- [18] Elgerd, Olle, "Control Svstems Theory", pp. 175-186. McGraw-Hill Book Company. 1967.
- [19] Rogers, G. J. and Shirmohammadi. "Induction Machine Modelling for Electomagnetic Transient Program", pp. 622-628, IEEE 87 WM 213-2, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. EC-2, No. 4, December. 1987.
- [20] Kundur. Prabha, "Power System Stability and Control", pp. 279-293, EPRI Editors, McGraw-Hill, Inc., USA, 1994.
- [21] Say, M. G., "Alternating Current Machines", pp. 250-341, Pitman Books Limited, London. Great Britain, 1976.
- [22] Rogers, Graham J., Di Manno. John, Alden. Roben J.. "An Aggregate Induction Motor for Industrial Plants", pp. 683-690. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 4. April, 1984.
- [23] Araújo, Josias M. et alii, "Modelagem de Cargas em Estudos e Análise de Sistemas Sujeitos a Instabilidade de Tensão", RE/G AT/07. XII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Recife-PE/Brasil-1993.
- [24] Shaffer. John "Air Conditioner Response to Transmission Faults", pp. 614-621, 96 WM 331-9 PWRS IEEE / PES 1996 Winter Meeting, Baltimore, USA, January, 1996.
- [25] Williams, Bradley R., Schmus, Wayne R. and Dawson, Douglas C. "Transmission Voltage Recovery Delayed by Stalled Air Conditioner Compressors" pp. 1173-1179. 91 SM 480-4 PWRS IEEE / PES 1991 Summer Meeting, San Diego, USA, July, 1991.



## 9. ANEXOS

9.1 - Registros de Simulações de Aplicação de Degrau na Tensão de Controle dos CEs Fortaleza e Milagres em Carga Mínima, Configuração de Mínima Potência de Curto-Circuito, Dezembro/96

Registro 9.1-1 a: Step CE FTZ, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.1-1b: Step CE FTZ, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.1-2a: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.1-2b: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.1-3a: step CE MLG, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.1-3b: step CE MLG, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.1-4a: step CE MLG, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.1-4b: step CE MLG, CEs automático, dez/96, configuração mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

v CU]

16-May-97 13.36.15

3-1

H

-H

-2 H

-3

200 100 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

< 5) TACS - ENIPI < 6> TACS - SAIPI

v CU]

16-M «v»-97 15.56.13

3n

2H

H

- 4 W

-H



-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

< 8) TACS - ENIPIM \_Q\_ (> TACS - SAIPIM

t CmsJ

MG96MD.D«T  
-5U/U

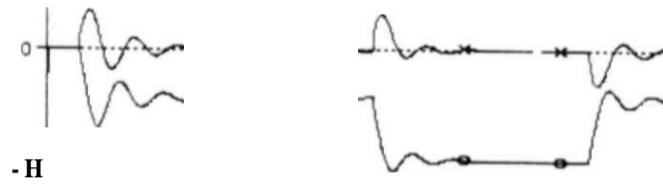
\*int date: 16. May 1997

v CU3

16-M»v-97 16.47.25

3n

2 H



-H

-2 H

-3'

0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

- < 5) TACS - ENTPI Q < 6) TACS - SAIPi

t Cms]

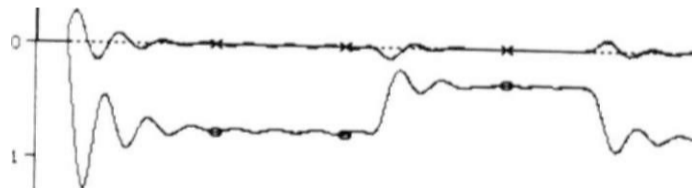
£IÉ£.Λ.3 TENSAg..roNTRQ!F CC FORT

v CUJ

16-M«v-97 16.47.25

3n

H



-2 H

-3

200 400 600 300 1000 1200 1400 1600 1800

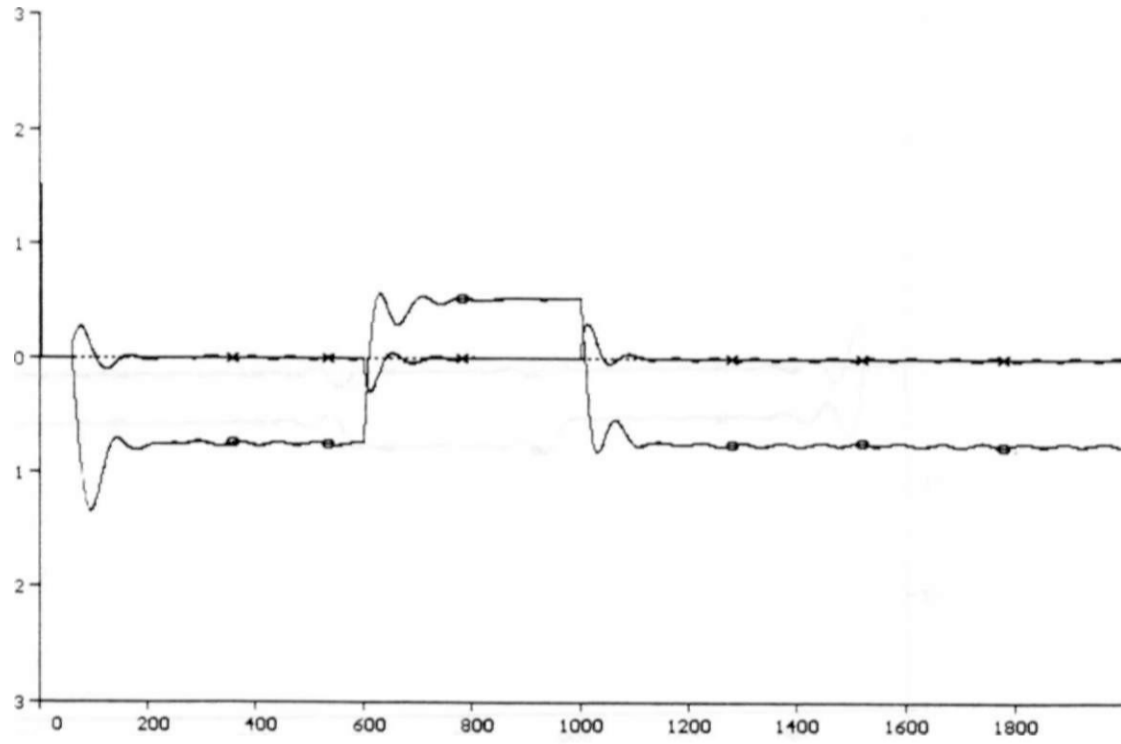
< 8) TACS - ENTPIIM < 9> TACS - SAIPIM

t Cms]

date: 16. May 1997

v CUJ

16-May-97 17.23.46



( 8) TACS - ENIPIM ( 9) TACS - SAIPIM t [ms]

STEP 5X TENSÃO CONTROLE CE MILAGRES, CES AUTOMAT, MGFT96MDDAT  
TENSORES DE ENTRADA E SAIDA REGULADOR PI CE MILAGRES

v CUJ

16-May-97 17.23.46

31

2H

: 1

-H

-2H

-3

< 5) TACS - ENIPI < 6) TACS - SAIFI

t Cms]

CONFIGURACAO M N MO RbP/Sf "i4^E\*f^A 2g^ «UTOMAT. MGFT96ND.DAT  
?^0^gI^IN?R2D2^E ^A^REgSL^DOR^PI^C^6R^L^Z\$^-'^^

int date: 16. May 1997

### Incremento da estabilidade transitória e de regime permanente

Existe em operação no sistema da Tennessee Valley Authority (TVA) um Statcom de  $\pm 100\text{MVar}$ , 161 kV, conectado ao secundário de um transformador 500/161kV, 1200MVA, na subestação de Sullivan, Johnson City, Tennessee [12]. A experiência operacional desta empresa contribuirá de modo significativo para que a tecnologia do Statcom se firme como uma alternativa viável no controle da tensão e potência reativa em grandes sistemas de energia elétrica.

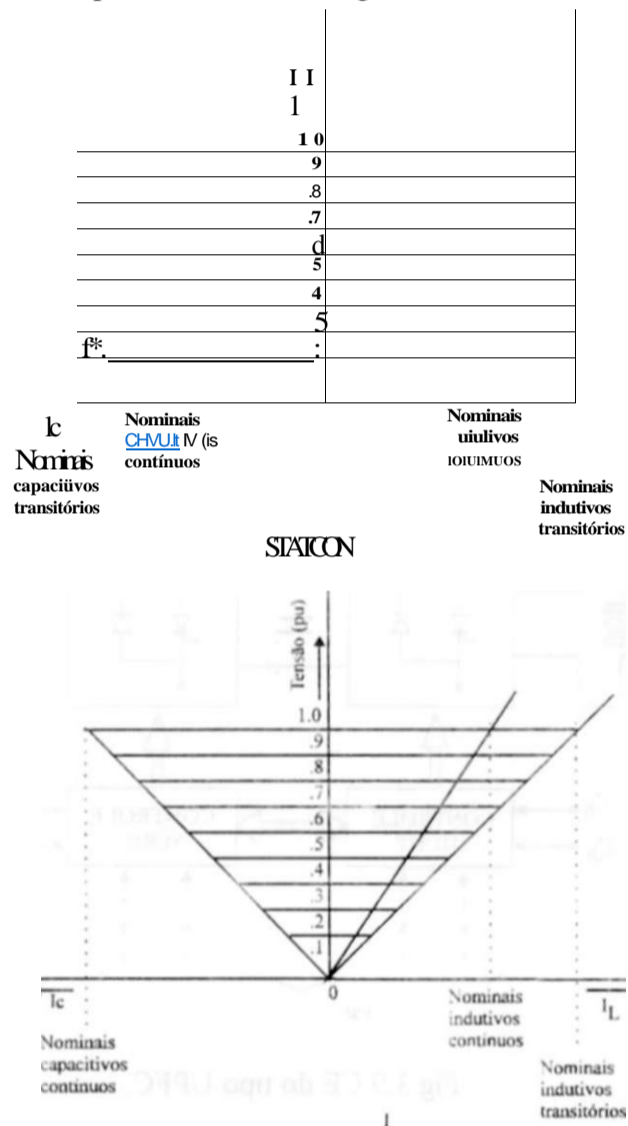


Fig.3.8 Comparação entre a curva característica estática do Statcom e a do CE tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo.

### 3.4.2 - Controlador universal de fluxo de potência (UPFC)

Conforme estabelecido em [2], [11], o UPFC representa um novo e completo conceito de compensador estático. Este equipamento pode ser entendido como uma combinação do Statcom e do defasador controlado a tiristores (TCPS), conforme mostrado na Fig.3.9 Seu efeito no

V CUJ 16-M\*j-97 18.04.S9

3-1

2H

-H

-2H

-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

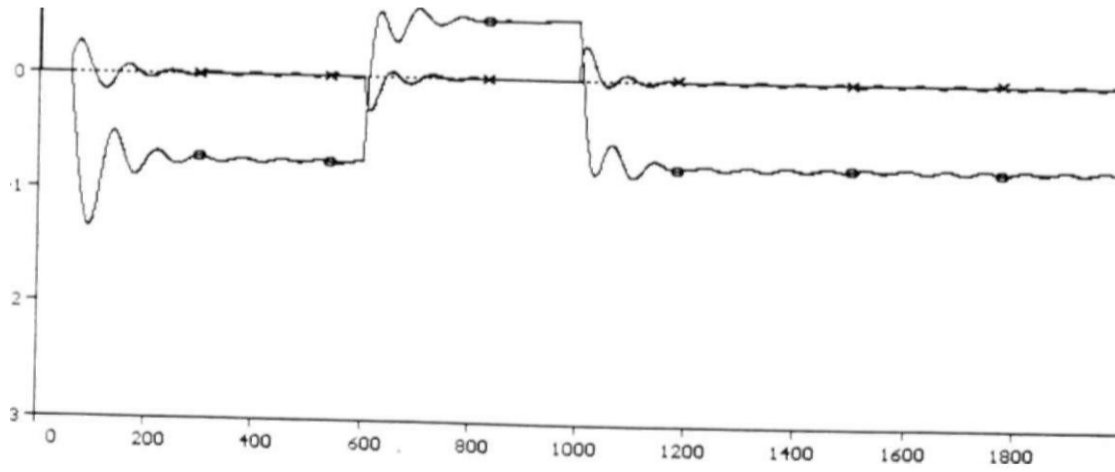
< 5> TACS - ENTPI < 6> TACS - SAUPI t [Cms]

M?C22<sup>TR</sup>Rfcf Ef MILAGRES. CES AUTOMAT. MGFT96MD.DAT  
SONEIGURAC<sup>2</sup> MINIMA DEZ/ '6. KP FTZ=0.70 U/U. KP MLG=1.75 U/U  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA REGULADOR PI CE FORTALEZA

V CUJ 16-M\*s\*-97 18.U4.59

3n

1H



< 8> TACS - ENIPIM < 9> TACS - SAIPIM t [ms]

int date: 16. May 1997

9.2 - Registros de Simulações de Aplicação de Degrau na Tensão de Controle dos CEs Fortaleza e Milagres em Carga Mínima, Dezembro/96

Registro 9.2-1a: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$ , CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.2-1b: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$ , CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.2-2a: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$ , CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.2-2b: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$ , CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.2-3a: step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$ , CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.2-3b: step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$ , CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.2-4a: step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE MLG,  $K_p$ , CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.2-4b: step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga mínima, sinais do CE FTZ,  $K_p$ , CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V



v CU]

3Q-May-97 17.04.29

2H

H



-H

-2H

-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800  
 ( 8) TACS - ENTPI < 9) TACS - SAIPi t Cms]

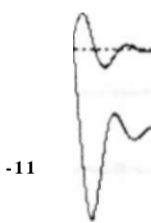
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REI, JL4DÔR PI DO CE FORTALEZA

v CU]

30-M»»\*-97 17.04.29

31

2H



-11

-2 H

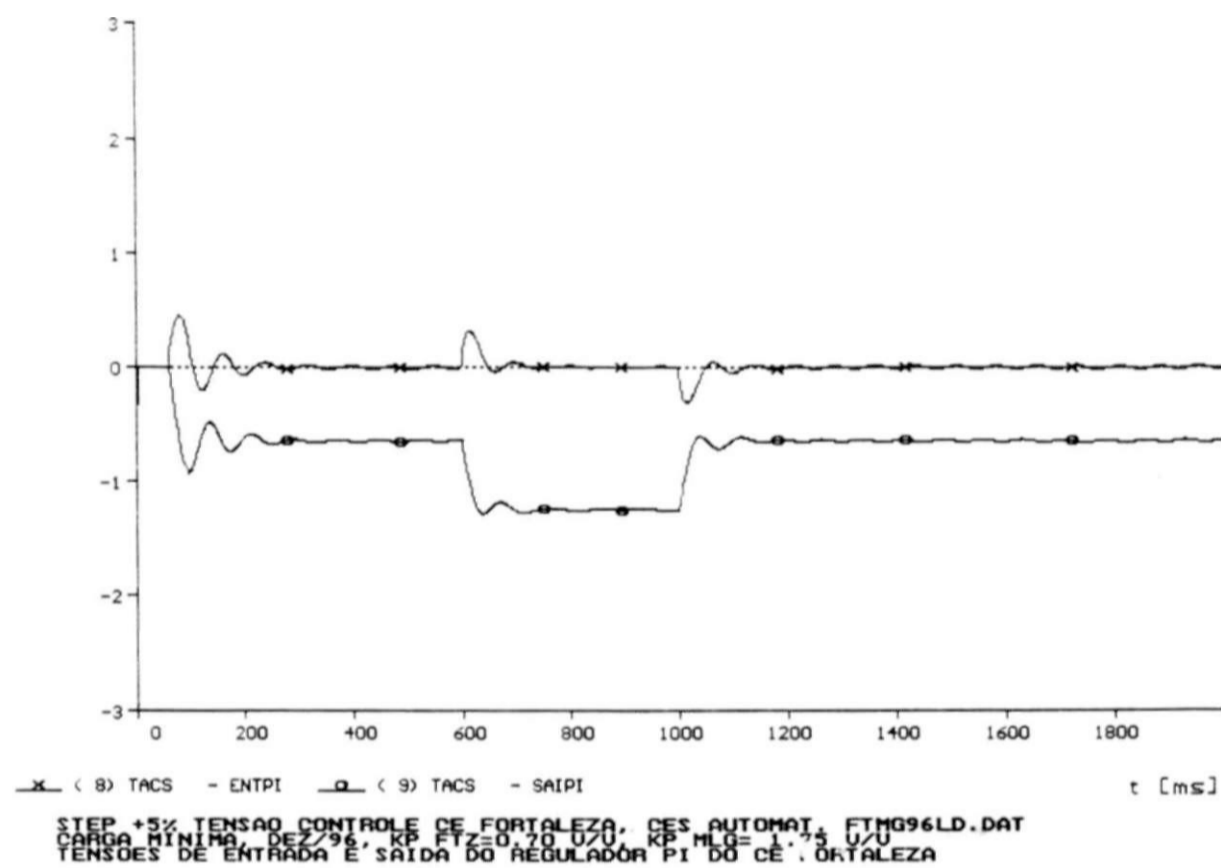
-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800  
 <U> TACS - ENTPI <12> TACS - SAIPi t Cms]

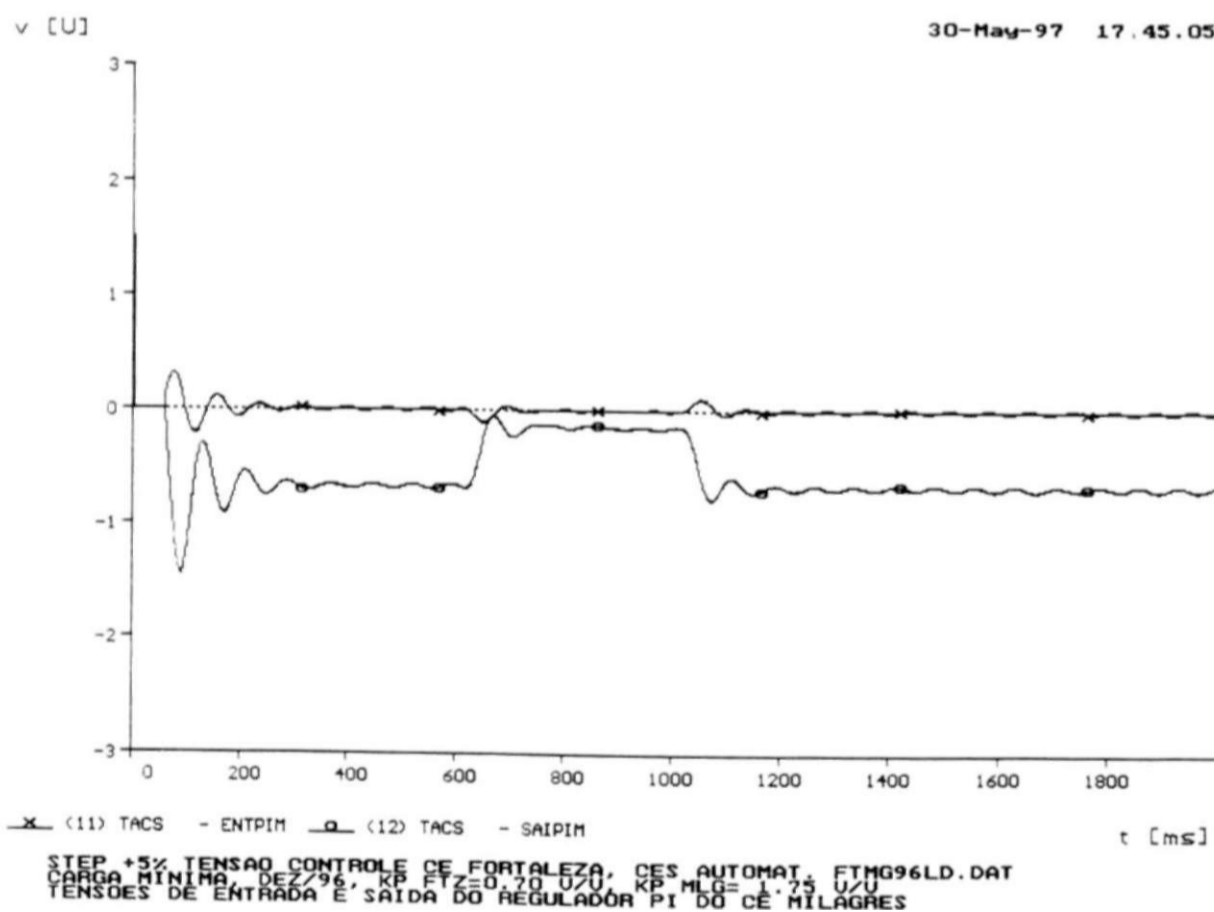
STEP +5X TENSÃO CONTROLE CE FORTALEZA, CES AUTONAT. FTMG96LD.DAT  
 CARGA MÍNIMA, DEZ/96. KP FTZ=0.40 U/U. KP MLG=1.75 U/U  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 30. May 1997

30-May-97 17.43.03



30-May-97 17.45.05



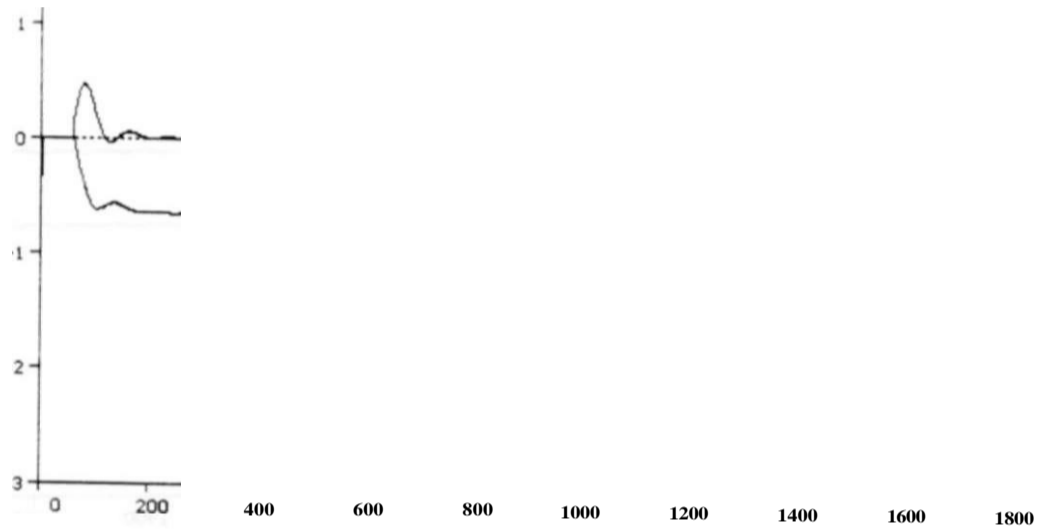
int date: 30. May 1997

v CUJ

30-Ma«-97 18.31.25

3i

2H



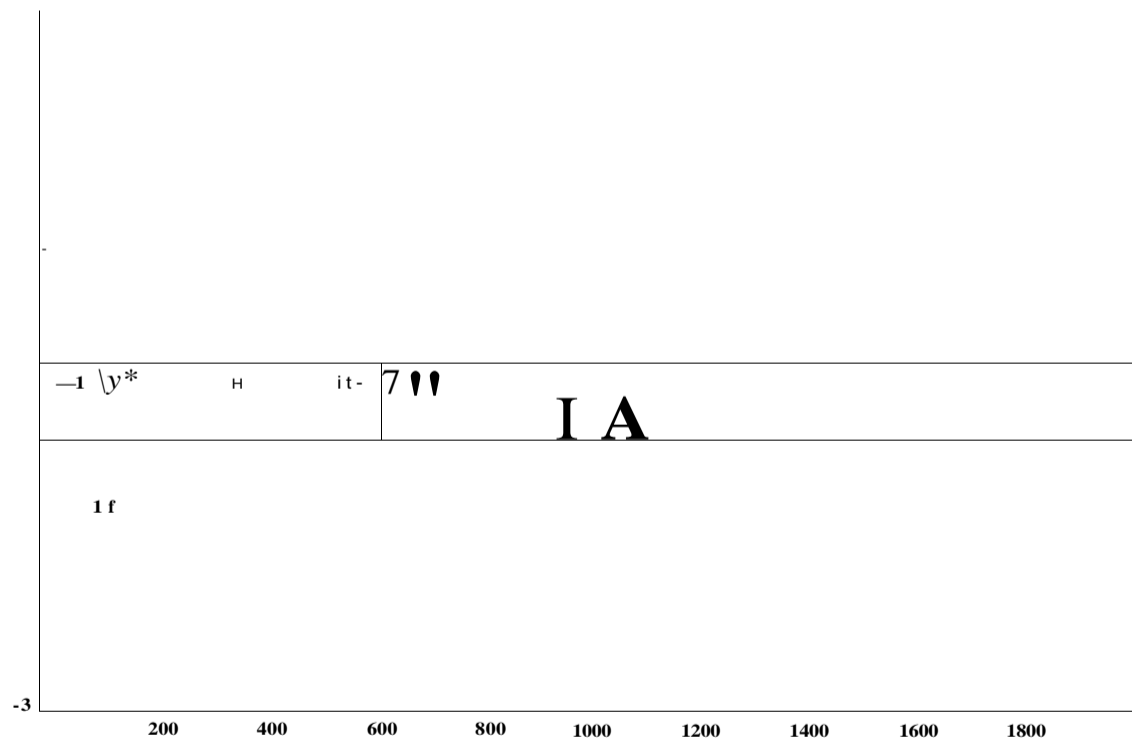
< 8) TACS - ENTPI S\_ < 9> TACS - SAIPI

t CmsJ

STEP +3X TENS  
 CARGA NI NINA 8E^N! ?!<P pfzKVSFKG °^p STÊ-i\*\*\* 5% T\*°°°°\*  
 TENSOE CE ENT TRAOA E SAÍDA DO REGULADOR PI [>0-CÉ FORTALEZA

v CUJ

30-Ma«-97 18.31.23



<1> TACS - ENTPIH Q (12) TACS - SAIPIH

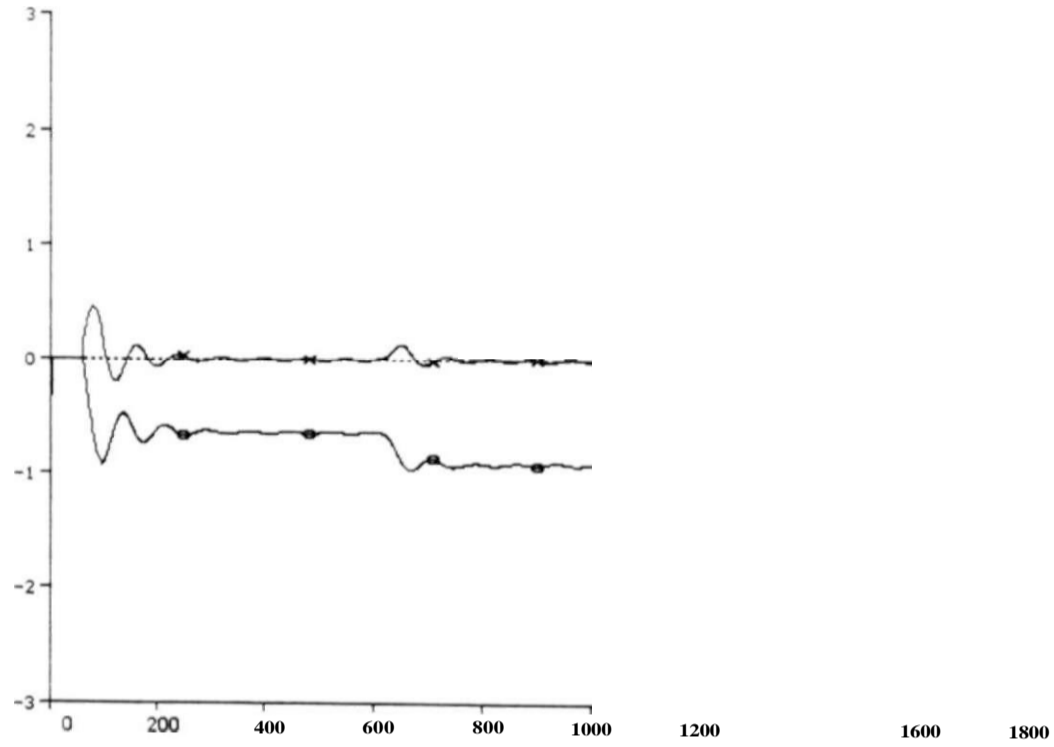
t [ms]

nô1? < \*ã? ísîí\*\*9 «rC2i? J\*\*bí CE MILAGRES, CES, AUTONAT, MGFT96LD.DAT  
 CARGA MINIMA DEZ/96. KP FT=0.40 U/U KP MLG=1.75 U/U  
 TENSOES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 30. May 1997

v [CU]

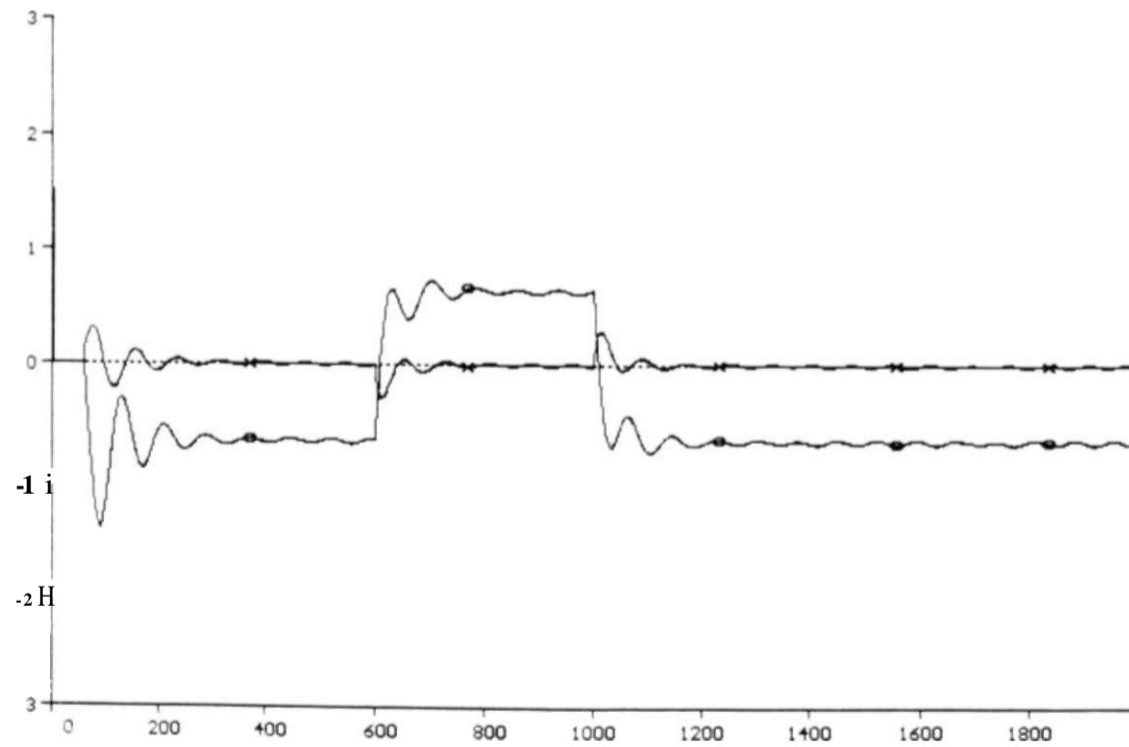
30-May-97 19.10.20



t [Cms]

v [CU]

30-May-97 19.10.20



t [ms]

CAAMINIE2:SilC9if,i^i?S^A^I^S^TM^/CES AUTOMAT/MGFT96LD.DAT  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES

print date: 2. June 1997

9.3-Registros de Simulações de Aplicação de Degrau na Tensão de Controle dos CEs Fortaleza e Milagres em Carga Máxima, Dezembro/96

Registro 9.3-1a: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga máxima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.3-1b: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga máxima, ajustes atuais, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.3-2a: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga máxima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.3-2b: step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga máxima, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.3-3a: step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga máxima, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.3-3b: step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga máxima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

Registro 9.3-4a: step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga máxima, sinais do CE MLG,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

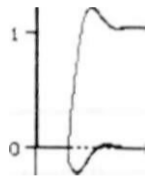
Registro 9.3-4b: step CE MLG, CEs automático **J**, dez/96, carga máxima, sinais do CE FTZ,  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V

v CUJ

02-Jun-97 10.05.15

3n

21



-H

-2H

-3

0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

< 11> TACS - ENIPIM Q < 12> TACS - SAIPIM

t Cms]

TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI >\_AUTOMAT. FTMG96PD.DAT  
i"CE" MILAGRES

v CUJ

02-Jun-97 10.05.15

3-1

2H



-21

-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

< 8> TACS - ENIPI ( 9) TACS - SAUPI

t Cms]

S^A^MgxfM^E^9g?^KP^Fz^SS^U^gp M^-1^S^O "MQ96PD.DAT  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

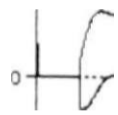
print date: 2. June 1997

v EU]

02-JUO-97 10.SS.04

3-l

21



-i -

-21

-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

< 8) TACS - ENIPI ( 9) TACS - SAIPI t Cms]

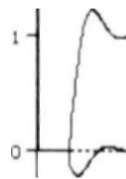
STEP \*-SM TENSÃO j^ ílh f FÇ|=S?9S»6^ fcp'SaSTWTOu \*HG96PO.DAT  
 CARGA TAX'ift. DI >A E SAÍDÁ DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA  
 TENSÕES DL ENTRI

v CU]

02-Juo-97 10.5S.04

3n

2H



-11

-21

-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

<1> TACS - ENIPI 02) TACS - SAIPM t Cms]

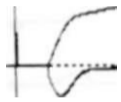
É'J^+&iftEB''IU9BT'9b'.E6 FORTALEZA. C&ES AUTOMAT. FTMG96PD.DAT  
 ?Ê8§8E?^gá^INTR^1 KwÚlgS\$£&Pnè-ffV  
 T.SU/U ILAGRES

print date: 2. June 1997

CUJ

Q3-ÜUO-97 08.35.29

-1



-H

-2H

-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

( 5) TACS - ENTPI ( 6) TACS - SAUPI t Cms]

STEP \*5X TENSÃO CONTROLE CE NIL ^ES. CES AUTOMAT. MGFT96PD.DAT  
 CARGA MÁXIMA. DEZ/96. KP FTZ=0 8VR8LADAR'PI'DÓ'^ORTALEZA  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO

v CUJ

03-Juo-97 08.35.29

3-1



-1 1

-2H

-3

200 400 600 300 1000 1200 1400 1600 1800

( 8) TACS - ENIPIM ( 9) TACS - SAIPIM t Cms]

STEP \*5X TENSÃO CONTROLE CE MILAGRES. CES AUTOMAT. MGFT96PD.DAT  
 ÇIB^S^É^NTRSS^!^ SAWÍ^COSVROV **J&WFM&^U**



sistema elétrico é análogo ao da instalação de um transformador de relação de transformação e ângulo de fase ajustáveis, com o primário em paralelo e o secundário em série com a rede. A capacidade de armazenamento de energia do capacitor DC é, em geral, pequena e desta forma, a potência ativa fornecida ou absorvida pelo conversor ligado em paralelo deve ser igual à potência ativa absorvida ou fornecida pelo conversor conectado em série. Caso isto não ocorra, a tensão do *link* DC será elevada ou reduzida, em valores que dependerão da potência líquida absorvida ou gerada por ambos os conversores. Por outro lado, os valores de potência reativa nos conversores série e paralelo podem ser selecionados de forma independente, dotando o processo de controle de fluxo de potência de grande flexibilidade, pois o UPFC está apto a controlar ângulos de fase, módulos de tensões e impedâncias da rede elétrica. Desta forma, tal equipamento combina um sistema de compensação série, um controlador de ângulo de fase e um regulador de tensão, podendo ser usado para aumentar a potência sincronizante, otimizar o fluxo de potência reativa e fornecer potência reativa à rede elétrica, constituindo-se num elemento de alto grau de flexibilidade no controle das grandezas do sistema elétrico de potência. A bibliografia consultada ao longo da realização deste trabalho não registra a existência de compensadores do tipo UPFC de grande porte em operação comercial em grandes sistemas de energia elétrica, mas espera-se que em breve, isto venha a ocorrer.

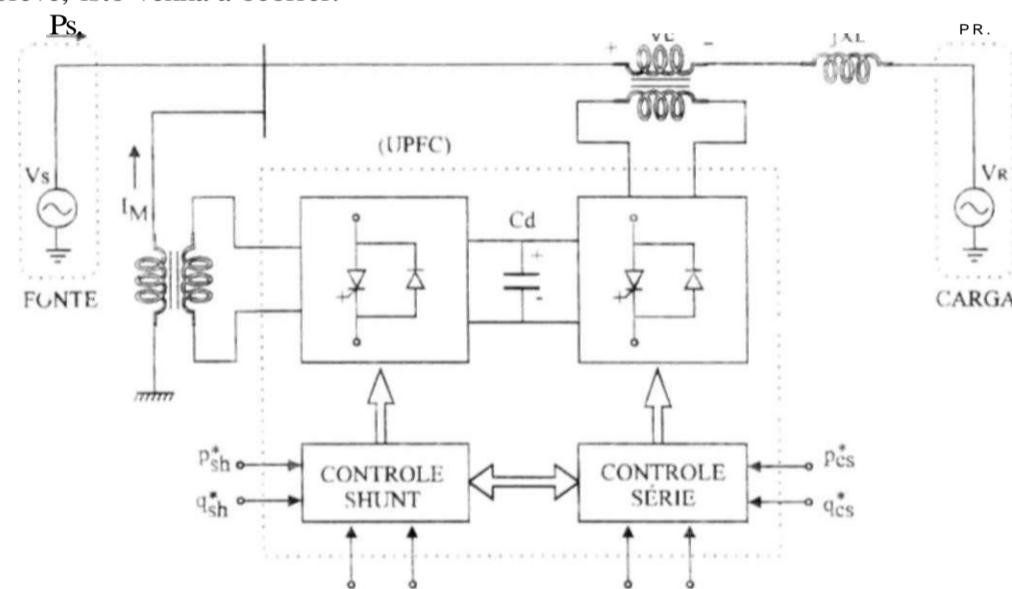


Fig.3.9CE do tipo UPFC.

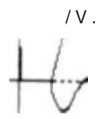
Quando se compara os diversos tipos de compensador estático disponíveis no estado atual da tecnologia, verifica-se que as novas tecnologias tipo Statcom e UPFC, embora apresentem significativas vantagens sobre as atuais, ainda não atingiram níveis de custos competitivos, a ponto de poderem ser utilizados de forma comercial. O compensador tipo capacitor manobrável a tiristores apresenta custo reduzido, mas seu desempenho em condições transitórias é insatisfatório. A experiência operacional, o custo competitivo e o desempenho em condições transitórias são, no nosso entender, grandes atrativos no que diz respeito ao emprego do compensador tipo reator controlado a tiristores e capacitor manobrado a tiristores, apresentado na Seção 3.3.

v - CU]

03-Jury-97 09.17.03

2 H

1 H



-H

-2 H

-3

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

( 5) TACS - ENTPI

( 6) TACS - SAIPi

t Cms]

9 w o \* F T \* \* \* P O D A T  
O C E F O R T A L E Z A

v - CU]

03-Jun-97 09.17.03

2H



-2H

-3

200 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

( 8) TACS - ENTPIM .

< 9> TACS - SAIPin

t Cms]

TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO CONTROLADOR PID O CE MILAGRES

print date: 3. June 1997

9.4 - Registros de Simulações de Aplicação de Degrau na Tensão de Controle dos CEs Fortaleza e Milagres em Carga Maxima, na Configuração de Seis Pulsos. Dezembro/96

Registro 9.4-1: Step CE FTZ. CEs automático, dez/96. carga mínima, configuração mínima.  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V. sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b), FTMG96M6.DAT

Registro 9.4-2: Step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga mínima, configuração mínima.  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V.  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V. sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b). FTMG96M6.DAT

Registro 9.4-3: Step CE MLG, CEs automático, dez/96, carga mínima, configuração mínima.  $K_p$  CE FTZ = 0.40V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V. sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b), MGFT96M6.DAT

Registro 9.4-4 Step CE FTZ, CEs automático, dez/96, carga mínima, configuração mínima.  $K_p$  CE FTZ = 0.70V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V, sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b), MGFT96M6.DAT

v CU]

03-Jun-97 11.02.36

2H

-2H

-3'

200 400 600 800 1000 1200

< 8) TACS - ENTPIM Q < 5) TACS - SAIPIN t Cms]

v eu]

03-Jun-97 11.02.36

3n

2H

H

-H

-2H

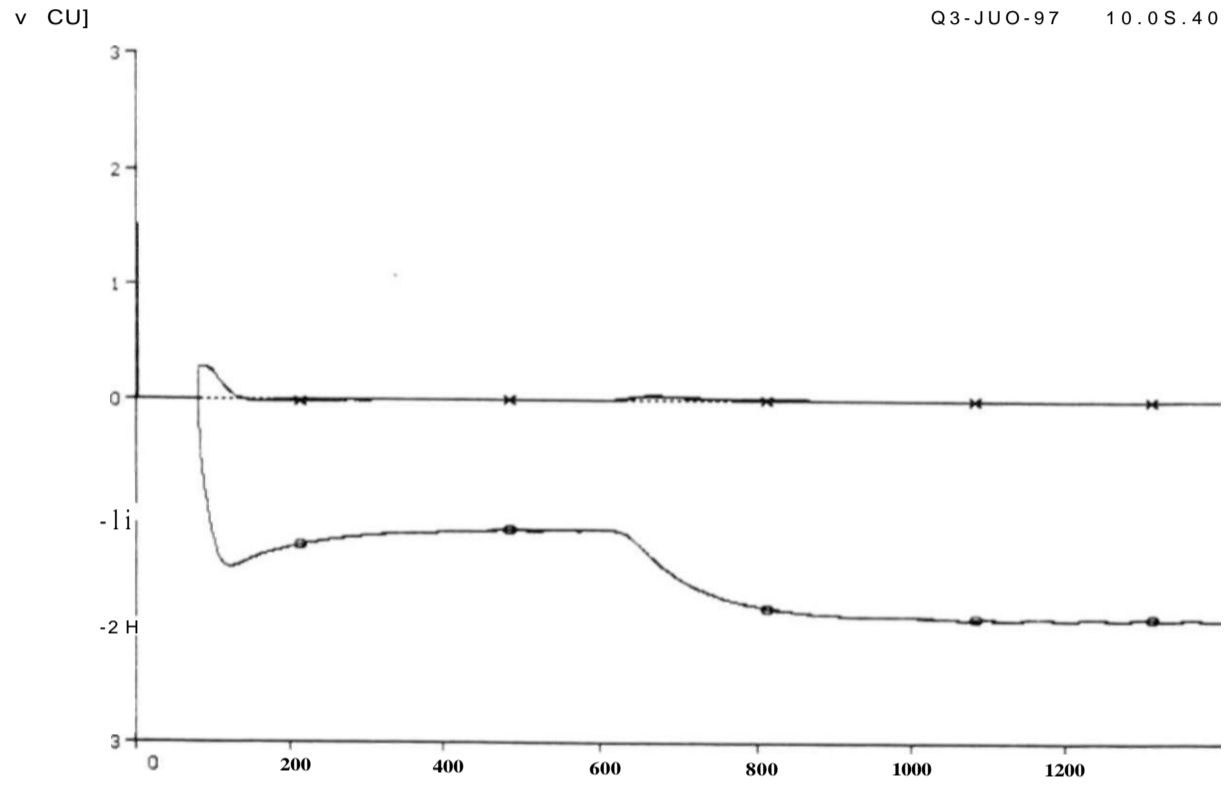
-3

200 400 600 800 1000 1200

( 5) TACS - ENTIPI < 6) TACS - SAIFI t Cms]

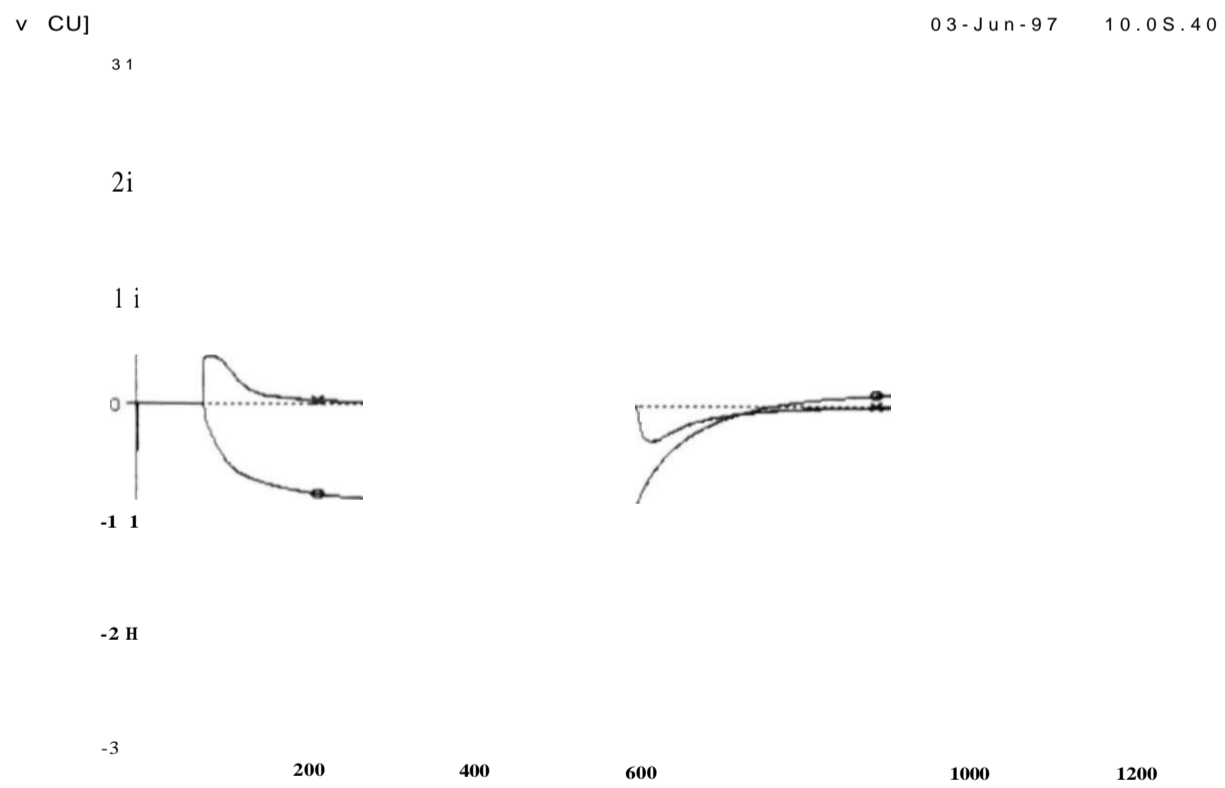
CARGA\*M?NTmo^nnw?T\*nM\$^Ortri'^»cf 82)E0\*AE0-A^E^s AUTOMAT. 6 PULSOS. FTMG96M6.D«T  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDR WfBBuJS&ftt SS S ^ O W S ^ ^ \* \* \* \* ^ \* \* \* \*

print date: 3. June 1997



( 8 ) TACS - ENIPIM ( 9 ) TACS - SAIPIM t CmsJ

**K N n n w w** J&\* ftU|QOeT^ S.PUL.SOS^ FTNG96M6 . DAT  
 R Pt 5 œkiaEAg' "L2=Z°?§O/O



< 5 ) TACS - ENIPI ( 6 ) TACS - SAIPI t CmsJ

STEP +5/ TENSÃO FORTALEZA, CES AUTOMAT. 6 PULSOS. FTMG96M6.DAT  
 PUL=1.73U/U DO REGULADOR PI DO CÊ FORTALEZA MLG=1.73U/U

print date: 3. June 1997

v CUJ

04-Jun-97 13.42.09

-1 n

-2i

-3-

200 400 600 800 1000 1200

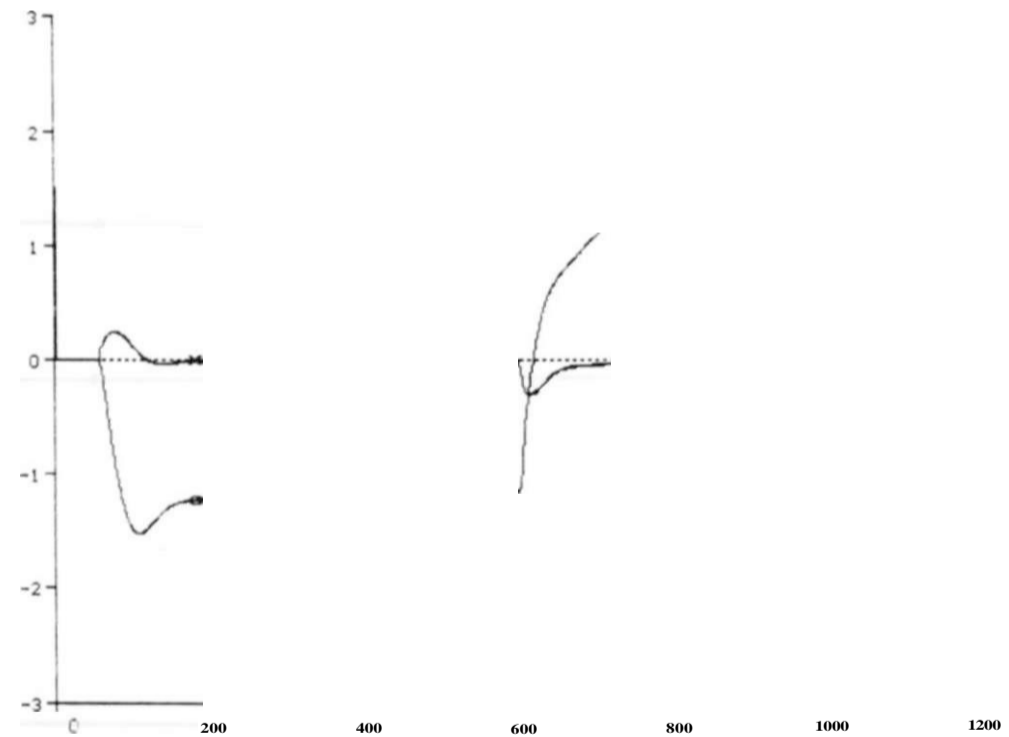
< 5) TACS - ENIPI < 6) TACS - SAIPi

t Cms]

PQ^nB\*STM2\*\*P^Eê\*L\*5kS^\*u"i'rã°J\*\*S^Ç^5 AUTOMAT. 6 PULSUS. MGFT96M6.DAT  
?ENSOES SÉ EWRADA E^SAID? S^C^S^N^T^R^O^R^A^I^A^ê I ^ ^ ^ «-CfclTfcu/U

v CUJ

04-Jun-97 14.18.13



< 8> TAGS - ENIPI ( 8) TACS - SAIPi

t Cms]

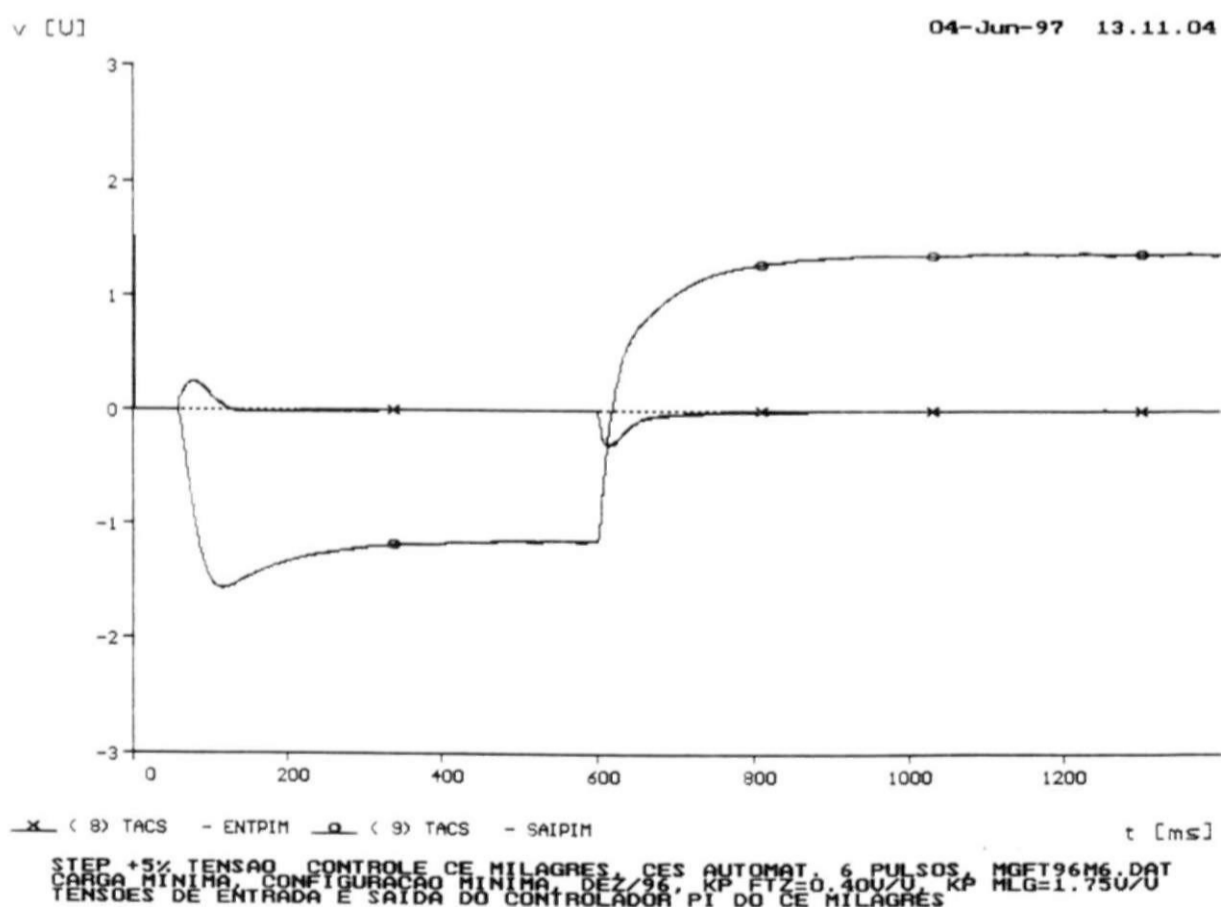
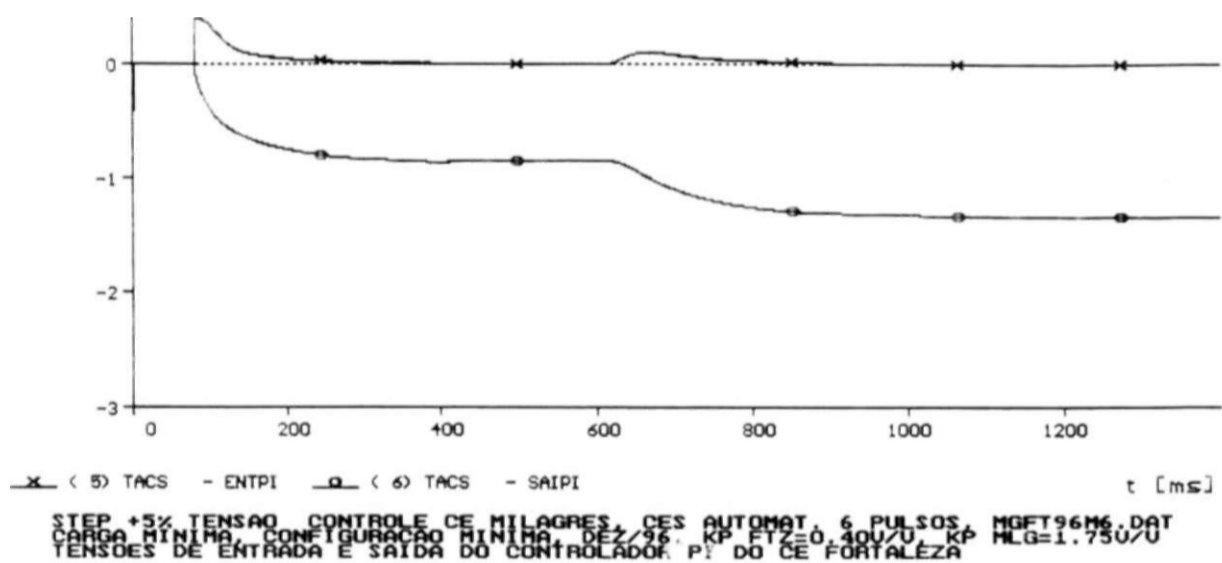
STEP 3 / TENSÃO CONTROLE CE NILACRES. CES AUTOMAT. 6 PULSOS^ NGFT96M6.DAT  
CARGA MINIMA. CONFIGURAÇÃO MININA. DÉZ/96. KP FTZ=0.70U/U. KP MLG=1.75U/U  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO CONTROLADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 4. June 1997

[IJ]

04-Jun-97 13.11.04

31



print date: 4. June 1997

9.5 - Registros de Simulações de Aplicação de Degrau na Tensão de Controle dos CEs Fortaleza e Milagres na Configuração de Recomposição do Sub-Sistema Norte da CHESF. Dezembro/96

Registros 9.5-1: Step CE FTZ, CEs automático, recomposição, dez/96, configuração IV,  $K_p$ , CE FTZ - 0.40V/V.  $K_p$  CE MLG - 1.75V/V. sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b), FTMG96R1.DAT

Registros 9.5-2: Step CE FTZ. CEs automático, recomposição, dez/96, configuração IV.  $K_p$  CE FTZ - 0.50V/V.  $K_p$  CE MLG 1.75V/V, sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b). FTMG96R1.DAT

Registros 9.5-3: Step CE FTZ. CEs automático, recomposição, dez/96, configuração IV,  $K_p$ , CE FTZ = 0.60V/V,  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V, com LT Sobral-Fortaleza em operação, sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b), FTMG96R2.DAT

Registros 9.5-4: Step CE FTZ. CEs automático, recomposição, dez/96, configuração IV,  $K_p$ , CE FTZ = 0.60V/V.  $K_p$  CE MLG = 1.75V/V. sem LT Sobral-Fortaleza em operação, sinais CE FTZ(a) e CE MLG(b), FTMG96R2.DAT



V CUJ

03-Jun-97 09.32.23

3-1

H



-H

-2H

-3

200

400

600

800

< 5> TACS - ENTPI  
TEP » SK TEHSAO.C

< 6> TACS - 3AIP1  
DA

ES AUTOMAT.  
JA\*PI\*CA\*F6RTA

t Cms]

V CUJ

05-JUO-97 09.32.23

3-1

2H

H

0

-H

-2H

-3

400

600

800

< 8> TACS - ENTPIM Q ( 9) TACS - SAIPIM

t Cms]

» SX TENSÃO CONTROLE CE FORTALEZA CES AUTOMAT.RECQMP FTMG961D.DAT  
5A MINIMA. CONFIG. IU. DEZ/96 KP FTZ=Q.300/U. KP MLO=1.75U/U  
IOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI CE MILAGRES

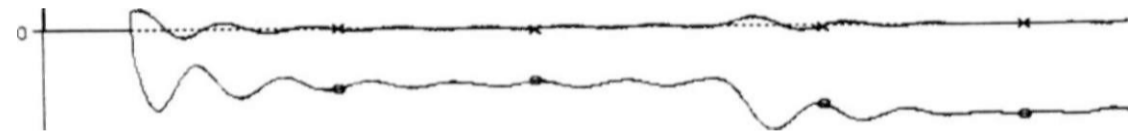
print date: 5. June 1997

v [CU]

OS-Jun-97 09.03.57

3-1

2H



-2 H

-3

200

400

600

800

< 8> TACS - ENIPI Q < 9> TACS - SAIPIN

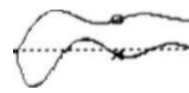
t [Cms]

ID.DAT

v [U]

Q3-JUO-97 09.05.57

3n



-i 1

-2 H

-3

200

400

600

800

< 55 TACS - ENIPI < 6> TACS - SAIPIN

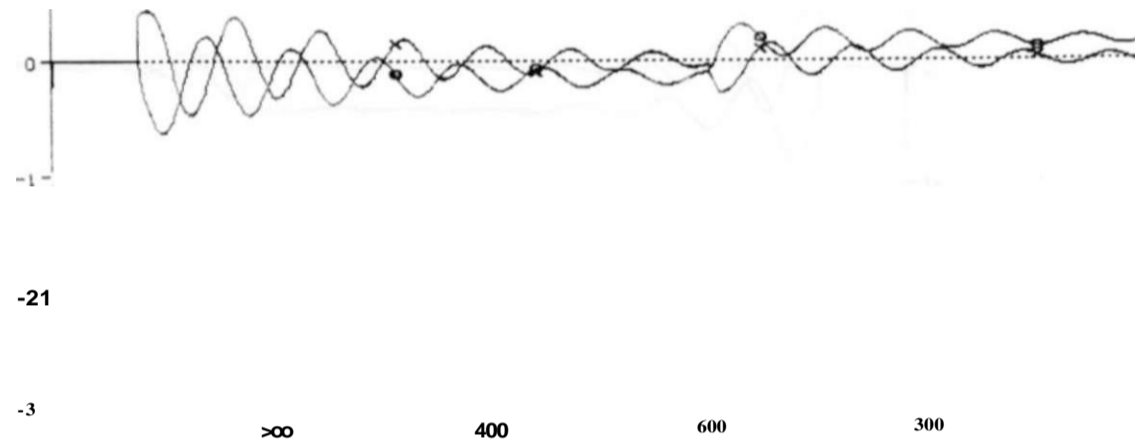
t [Cms]

TENSOES DE ENTADA E SAIDA DO REGULADOR P? DO^CE^ FORTALEZA ''

print date: 5. June 1997

V CUJ

•S-Juo-97 10.19.01



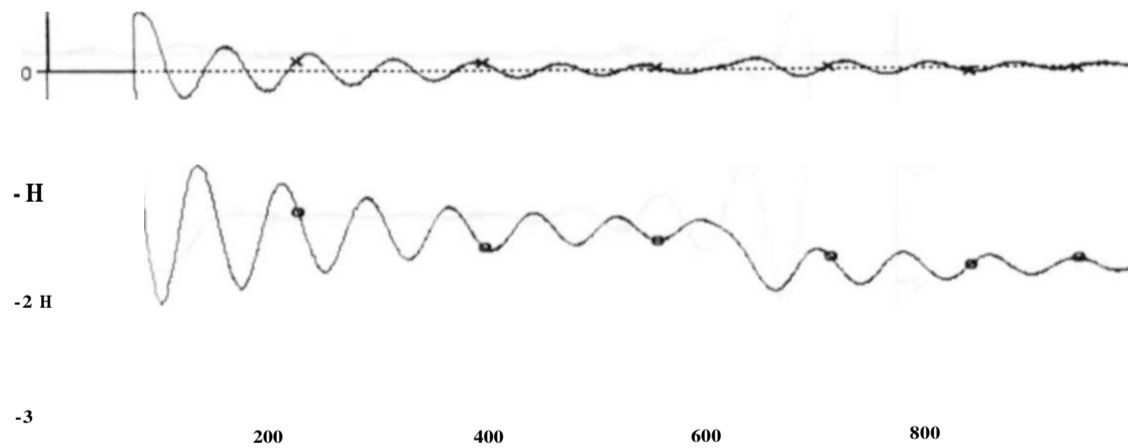
( 5) TrCS - ENTPi < 6> TACS - SAIPi t Cms]

STEP +5X TENSÃO CONTROLE CE FORTALEZA. CES AUIONAI.-BECQHP FTNG96gD DA,,  
TENSOES' DE MENT R ADNAPIE' \$ W LDQA/ RNEQUALSADORS EY6-ECZE-9R6QKPAUFETZA=OL6QSB6. FRK^NLÓji.7SU.

V CUJ

05-Jun-97 10.19.01

2H



< 8) TACS - ENTPi < 9) TACS - SAIPi t Cms]

STEP \*5Z TENSÃO CONTROLE CE FORTALEZA. CES AUTOMAT. RECOMP q396FD.DAT  
CARGA MINIMA. CONFIG IU C/ NOUAS LTS DEZ/96 KP FT Z=0 K P MLG=1.75U/U  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA REGULADOR PI CE MILAGRES LT SBD FTZ ABERTA

print date: 5. June 1997

Como os compensadores estáticos instalados no Sistema Norte da CHESF são do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo e uma vez que o desempenho destes equipamentos depende fortemente do sistema de controle empregado, serão fornecidos nos capítulos seguintes maiores detalhes da estrutura do referido sistema.

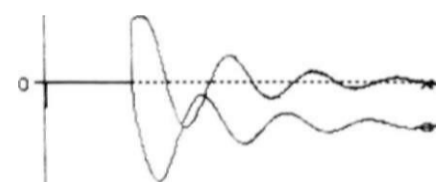
v CUJ

•3-JUO-97 09.56.47

3-1

2H

1



-2H

200

400

600

800

< 5) TACS - ENTPI

< 6) TACS - SAUPI

t CmsJ

: AUTOMAT.  
 • KP FTZ=0.6  
 • FORTALEZA L

v CUJ

03-Jun-97 09.36.47

3

2

1

0

-1

-2

-3

0

200

400

600

800

< 8) TACS - ENTPI

< 9) TACS - SAUPI

t [ms]

•5X TENSÃO CONTROLE DE FORTALEZA - CES AUTOMAT. RECOMI» FTNG96  
 MINIMA CONFIG IU C/ NOVAS LTS OEZ/98 KP FTZ=0.00U/U KP MI  
 »ES DE ENTRADA E SAÍDA REGULADOR PI CE MILAGRES LT SBD/FTZ FE

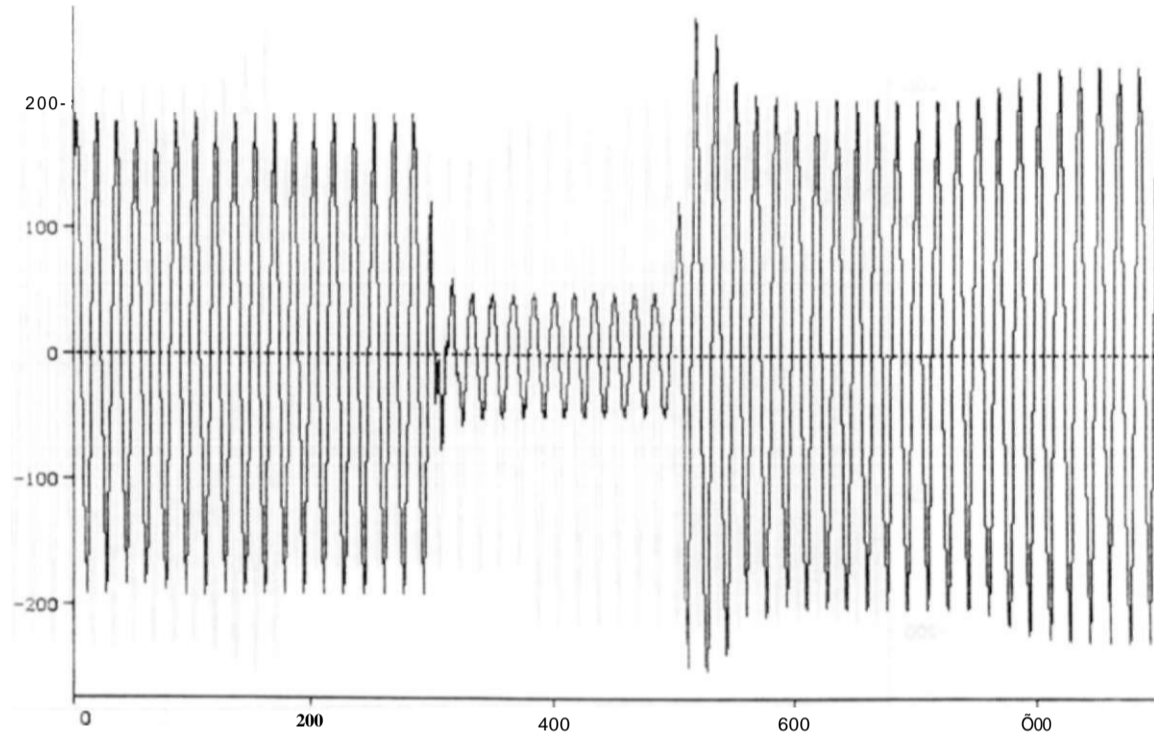
print date: 5. June 1997

9.6 - Registros de Simulações de Grandes Perturbações Para Reavaliação do Esquema de Bloqueio por Subtensão, do Circuito Inicializador do Controlador PI e do Canal Rápido dos CEs Fortaleza e Milagres

9 6-1 - Registros de Aplicação de Defeitos na SE Fortaleza

v [kU]

09-Ma%#-97 13.46.19



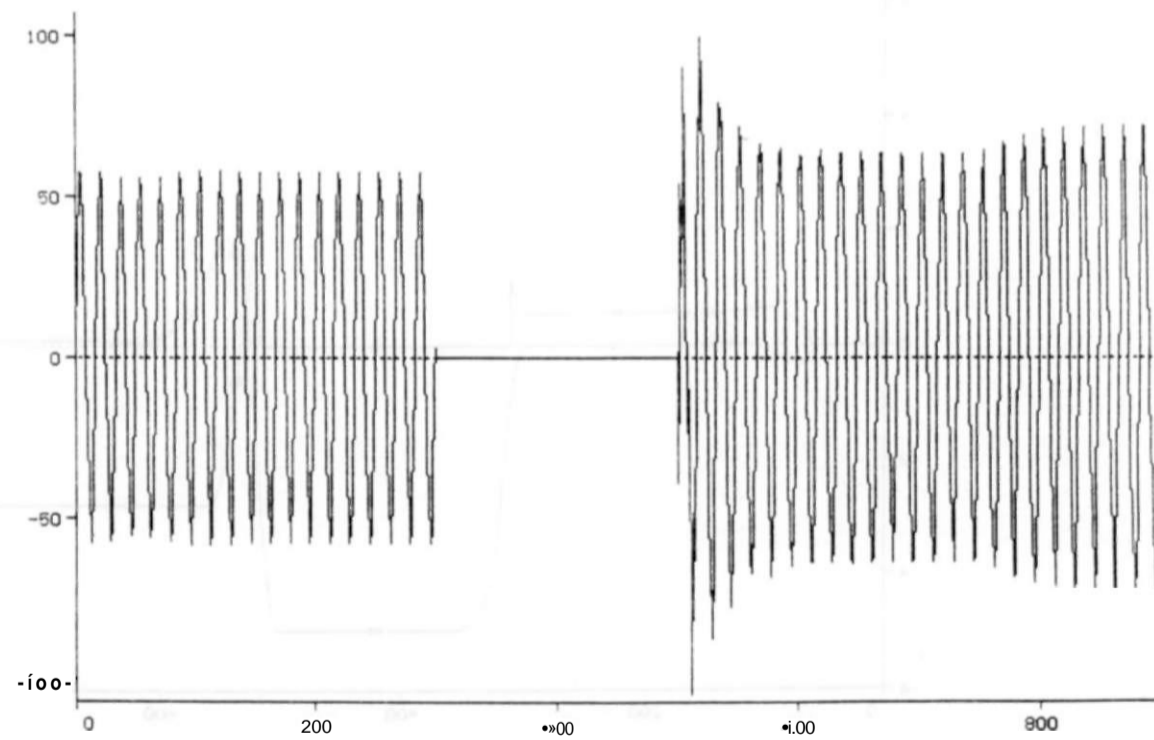
< 1) FC23A

t [ms]

CC 3FTJ69KU FORTALEZA REJ. [OOM CARGA 69KU COM USUB SEM G  
ER&Ao'Í38gí **mQm Mffi-S6rH'K<B'S** AIMA, D E Z / A

v [kU]

09-M «,i-97 13.46.19



< 4) F69A

t [ms]

FC-2471 69KU FORTALEZA REJ. 100V. CARGA 69KU COM USUB SEM G  
CTMG96P2.DAT RET. 2BCS 69KU FTZ CARGA MAXIMA, DEZ/96  
TENSAO 69KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

print date: 9. May 1997

v CkU]

09-Ma«\*-97 13.46.19

200-

100 -

0-

-100 H

-200-

200

400

600

300

\_ < 7) IILG23A

t Cms]

P?M«QZOO'^SV ÉÉ9''WIE\$ Rfá... **k9B\*\*XS8A** 69KU COM USUB SEM Q

v CU]

09-M»»#-97 13.46.19

1 1

-2-

-6

200

400

600

300

\_ <10> TACS - ENIPI \_Q <11> TACS - SAIPI

t Cms]

CC 3F-T 69KU FORTALIA REJ. ÍQOV. CARGA 69KU COM USUB SEM G  
FTMG96P2.DAT RET. 21 is 69KU FTZ CARGA MÁXIMA. DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA I SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

print date: 9. May 1997



v CUJ

09-M»M-97 13.46.19

oi

-2H

-4H

200

400

600

800

\_(12) TACS - GNIPQ \_Q\_ (13) TACS - SAIPQ

t [ms]

CC 3F-T 69KU FORTALEZA REJ. 100M CARGA 69KU COM USUB SEM G  
FTMG96P2.DAT REJ. 21 IS 69KU FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PO DO CE FORTALEZA

v CUJ

09-Mav»-97 15.46.19

81

4

2

0

-2

-4

-6

0

200

400

600

800

(14) TACS - ENIPIM

(15) TACS - SAIPIM

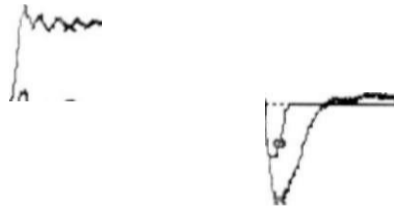
t Cms]

CC 3F-T 69KU FORTALEZA REJ. 100X CARGA 69KU COM USUB SEM G  
FTMG96P2.DAT REJ. 28CS 69KU FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 9. May 1997

v CU]  
s-i

09-Mau-97 15.46.19



-4-1

-6

200

\*00

600

900

CI6) TACS - ENTPDJ1 - (17) TACS - SAIPDM

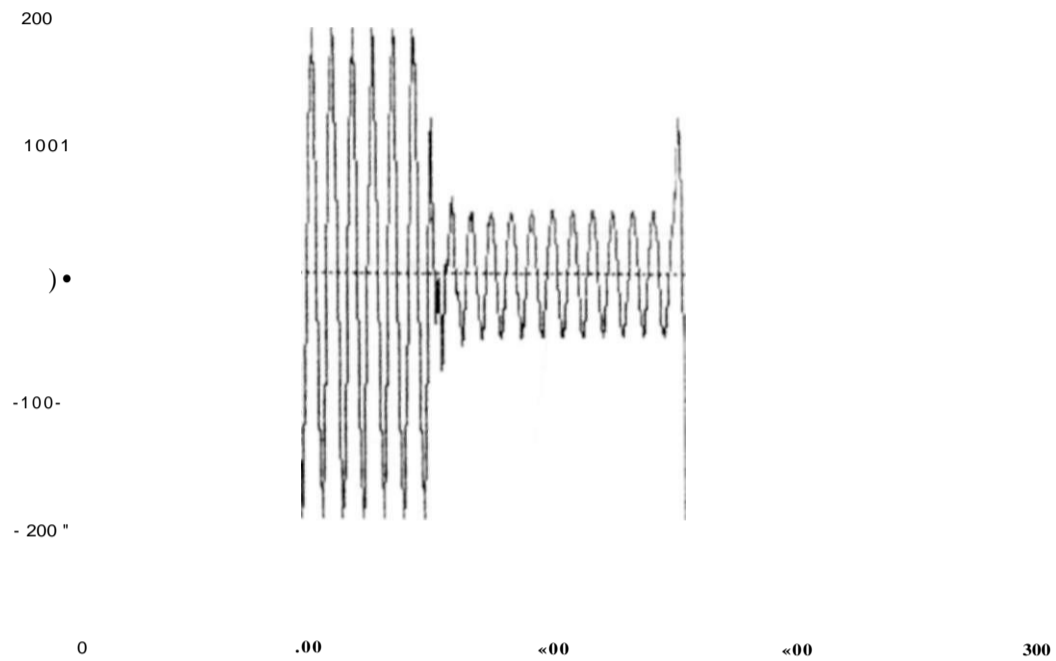
t Cms]

M 69KU COM USUB SEM Q

print date: 9. May 1997

CkUJ

09-M «j-93 00.08.43



li FC23A

CmsJ

CT? 3 CTT 6 fOJ FORTALEZA FLIN. REJ. 100X COROA 69KU con usuo E con •  
 CIBW W. Qiff RET ^ UCS 69KU FTZ. CARGA fIAXirIA. DEZ/96  
 TENSÃO 230KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

09-M «M-95 00.08.43

1001

=0-1,

0 -

-90-

-100-

:00 400 «00 300

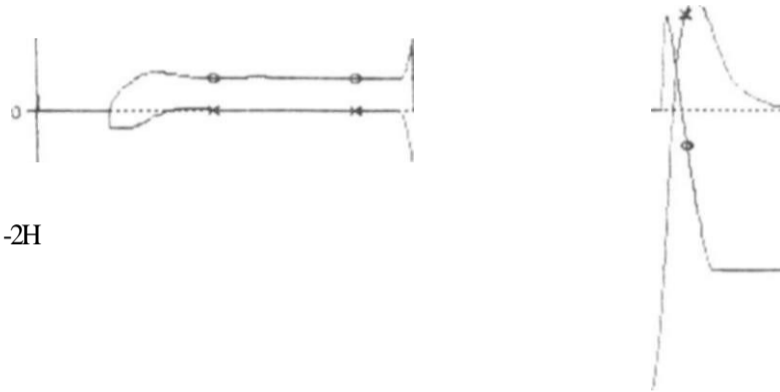
•») FéSA

£ 9 M £ £ Z FORTALEZA ELIN. REJ. 1(MM CARGA 69KU CON USUB E CON G  
 £ lnfi 26. DAT RET - 2 UCS 69KU FTZ. CARGA MAXIMA. DEZ/96  
 TENSÃO 69KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

CU3

09-M«v-95 UO.OS.43

«1



-6

«00

300

D TACS - ENIPI

SJ TACS - ÍAIPÍ

Cms3

CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIN. >EJ. 100V. COROO 69KU COI1 USUB E COM G  
 FTMG96PZ.DRT RET. 2 BCS 69KU FTZ. CORGO ««XÍHO, DEZ/96  
 TENSOES DE ENTRROR E SRIDR DO REGULADOR PI DO CE FOHTALEZA

CU3

09-Mt«4-9S 00.Ue.43

D.

-2H



200

«00

«00

í00

jj TACS - ENIPI

ÍÚ) TACS - íAIPÍ

CrnsJ

CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIN. REJ. 100V. CARGA 69KU CON USUB E CON G  
 FTMG96PZ.DAT RET. 2 BCS 69KU FTZ. CARGR MAXINA, DEZ/96  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE FORTALEZA

CU]

09-Ha\*)-95 00.08.43

-2

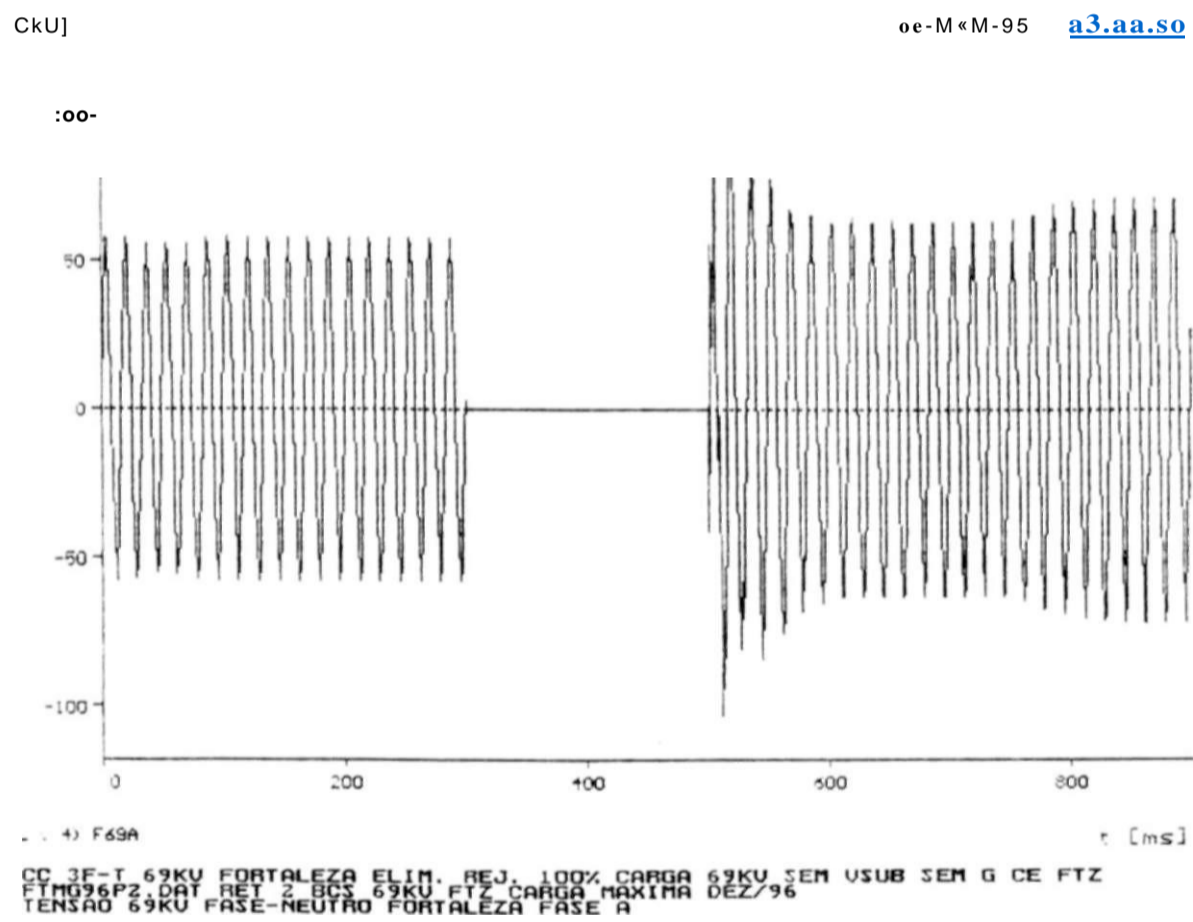
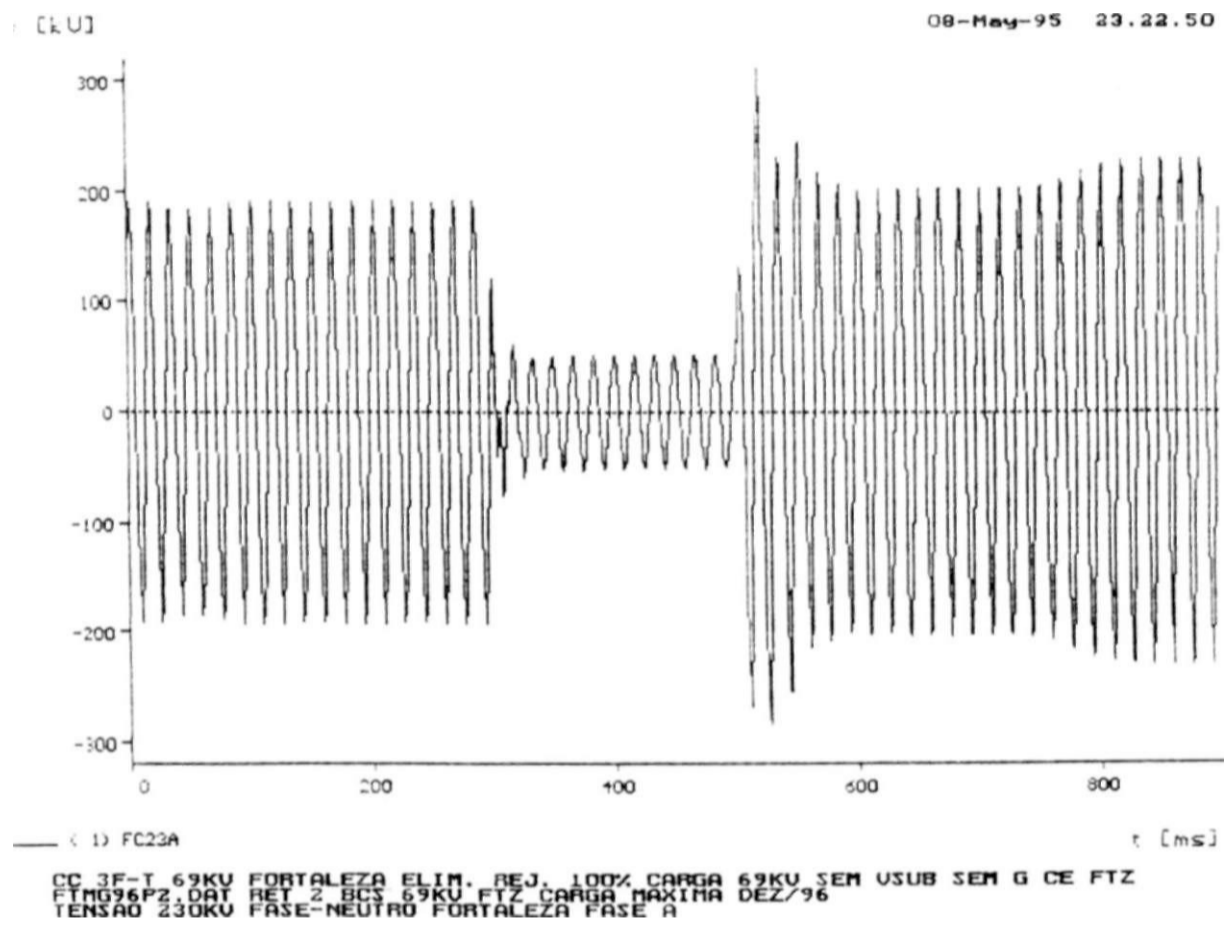
:00                    -00                    <00                    800  
 11) TACS - ENTPIM                    12) TACS - SAIPIM                    Ç CmsJ  
 CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. ÍOOV. CRRGR 69KU COFI USUB E COTI G  
 Cln928 Ad i II. 2 BCS 69KV FTZ. CARRGR MAXIMA, DEZ/96  
 TENSOES DE ENTRRDA E SRIDR DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

CU]



-2H

100                    too                    <00                    100  
 12) TACS - ENTPUM                    14) TACS - IHIPUM                    t [ms]  
 CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIN. REJ. ÍOOV. CARRGR 69KU COM USUB E CON G  
 FTMG96PZ.DAT RET. 2 BCS 69KV FTZ. CARRGR MRXIMR, DEZ/96  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE MILAGRES



## 4. MODELAGEM EMPREGADA

### 4.1 - Sistema de Transmissão

O diagrama unifilar da parcela do sistema de transmissão correspondente ao subsistema Norte da CHESF está representado na Fig.4.1. A representação deste subsistema no programa ATP(Alternative Transient Program) foi feita a partir dos barramentos de 230kV I e II da SE Paulo Afonso, onde foram utilizados circuitos equivalentes formados por impedâncias de curto-circuito de seqüência positiva e zero, considerando-se os acoplamentos magnéticos entre as três fases, através das respectivas indutâncias mútuas, além de uma impedância de transferência entre os barramentos de Paulo Afonso I e II, até o barramento de 230kV da SE Teresina, onde foi utilizado um circuito equivalente composto por impedâncias de curto-circuito de seqüência positiva e zero, considerando-se também os acoplamentos magnéticos entre as três fases, através das respectivas indutâncias mútuas, de modo a levar em conta os efeitos do restante do sistema de transmissão, não representado explicitamente nas simulações.

As fontes ideais de tensão, ilustradas na Fig.4.1, se conectam ao sistema através das impedâncias equivalentes, de forma que em regime permanente se tenha nas barras do sistema representado tensões iguais às calculadas com auxílio do programa de fluxo de carga da Philadelphia Electric Company (PECO), utilizado pela CHESF para estudos de fluxo de potência em regime permanente. Uma vez que os resultados de tais estudos são sistematicamente comparados com as medições operacionais realizadas em campo, tal procedimento representa a segurança de que, em regime permanente, a rede representada no ATP encontra-se adequadamente modelada.

As linhas de transmissão foram representadas pelo modelo de parâmetros distribuídos, que contempla os efeitos das reflexões e retrações das ondas eletromagnéticas nos pontos de descontinuidade da rede; os transformadores, pelo modelo TRANSFORMER e as cargas por impedâncias constantes e motores de indução [7].

CUJ

08-Ma«4-95 23.32.S0

4 1

\*1

-2"

100

too

400

300

•) THCS ENTPI a) THCS - iAIPi írnSJ

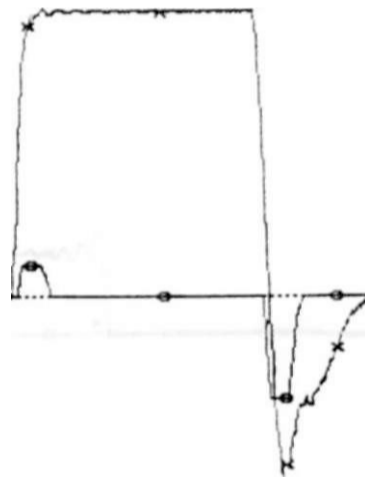
CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIN. REJ. LOQX CRRGR 69KU SEM USUB SEU G CE FTZ  
FTNG96P2.DAT RET 2 BCS 69KU FTZ CARRR firxiur DEZ/96  
TENSOES DE ENTRRDR E SRIDR DO REGULRDR PI DO CE FORTRLEZR

CUJ

Oa-H«M-95 33.22.50

21

-21



X

100

100

000

200

9) TACS - ENIPO 103 THCS - SAIPO t CmsJ

CC 3F-T 69KO FORTALEZA ELIN. REJ. LCXJK CARRR 69KU SEN USUB SEM G CE FTZ  
FTNG96P2.DAT RET 2 BCS 69KU FTZ CRRGR MRXINR DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE FORTALEZA



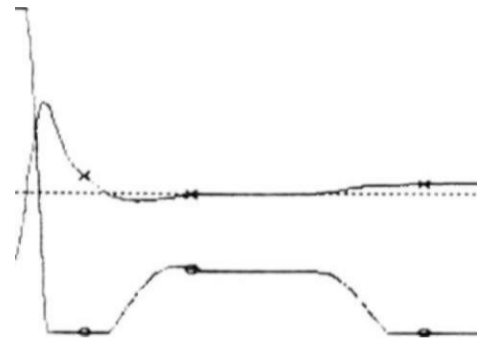
CUJ

aa.aa.so

H

4,

-2H



-100

100

.00

•.li) TAC3 - ENIP ti      •.12) TACS - SAIPIN

[ms]

F ?nG'ip2'DRV RET'2\*~8CS IVKO' F?|^ORG^nSS?S8\_DEZ^I\*\*  
 TENSOES DE ENTRAOA E SRIDR DO REGULODOR PI DO CE MILRGRES

SE H G A FTZ

CUJ

08-MM«4-95 [33.aa.so](#)

-2H



:00

100

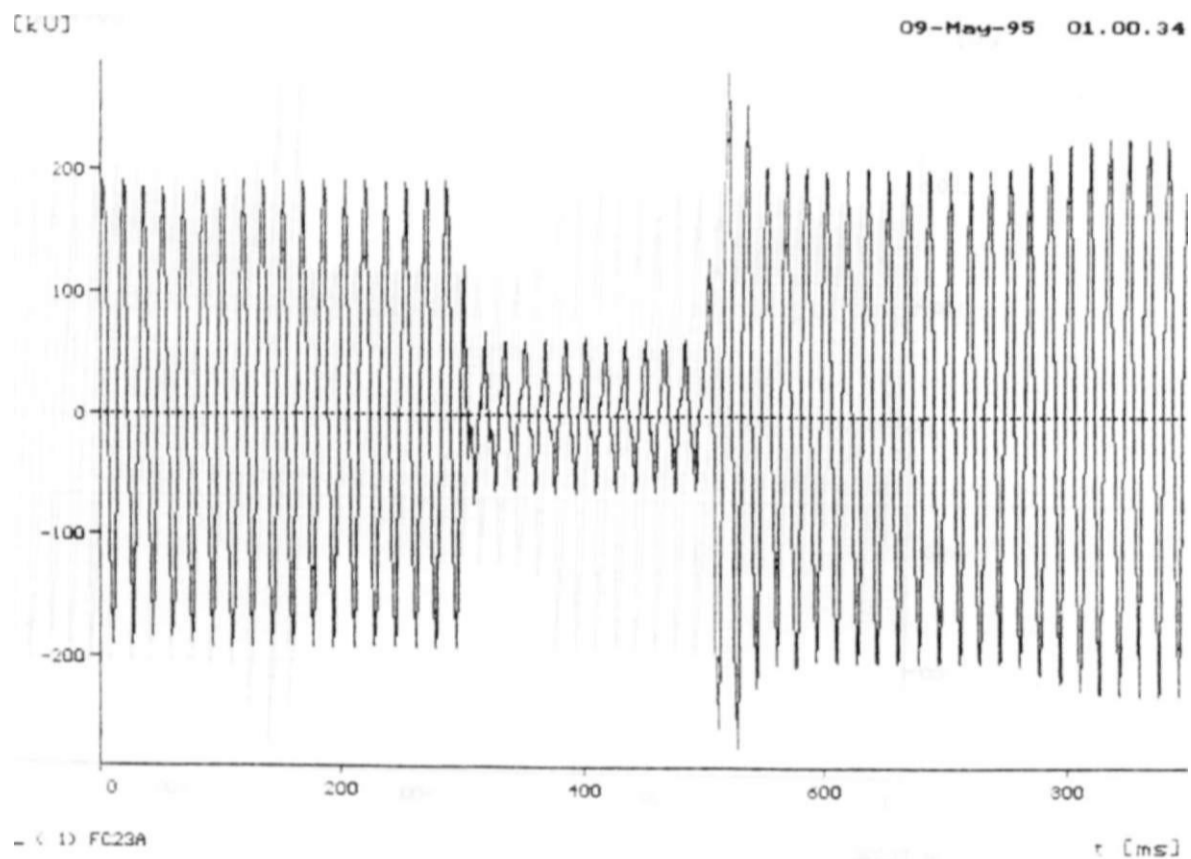
«00

800

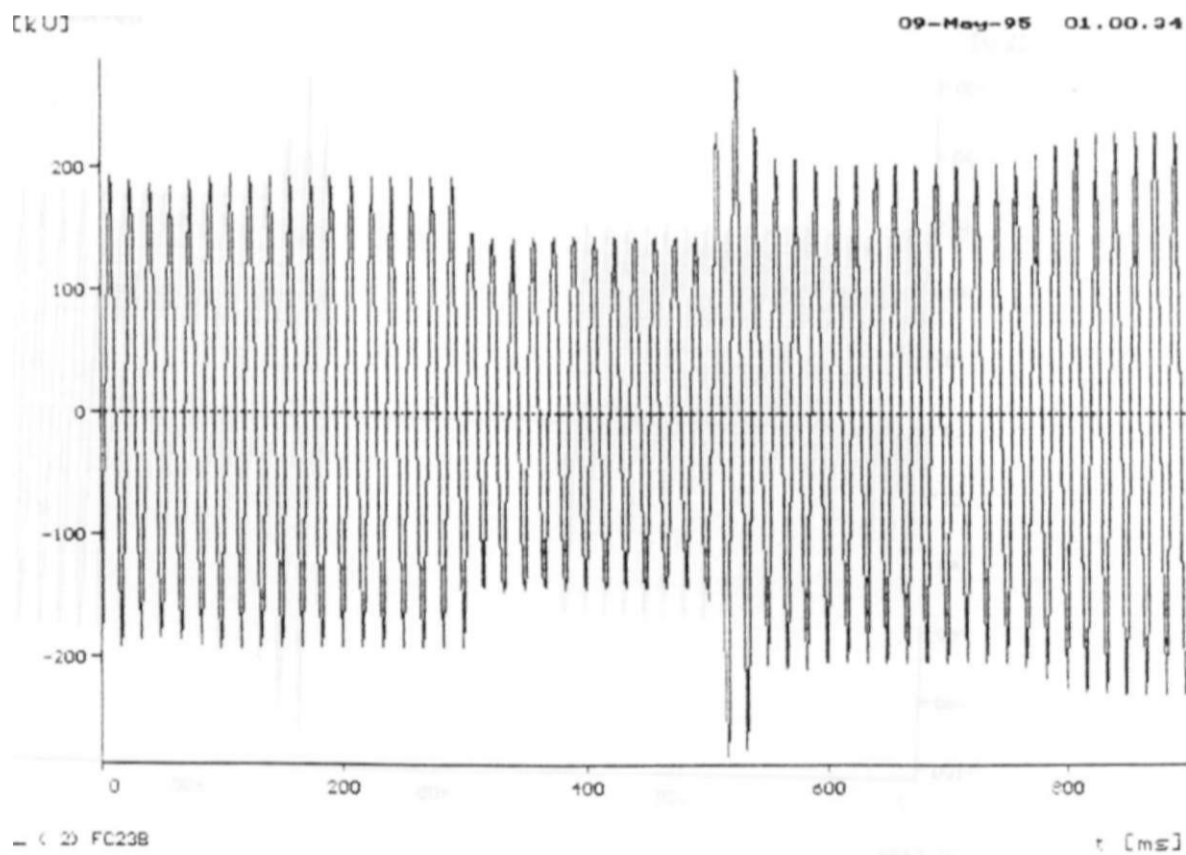
,13) TACS - ENIPDM      >.MJ THCS - irtiPon

CmsJ

CC 3F-T 69KU FORTLEZR ELIN. REJ. IOOV. CRRGR 69KU SEN USUB SEU G CE FTZ  
 FTNG96PZ.DRT RET 2 BCS 69KU FTZ CRRGR NRXINI DEZ/96  
 TENSOES DE ENTRRDR E SRIDR DO REGULRDR PD OO CE NILOGRES



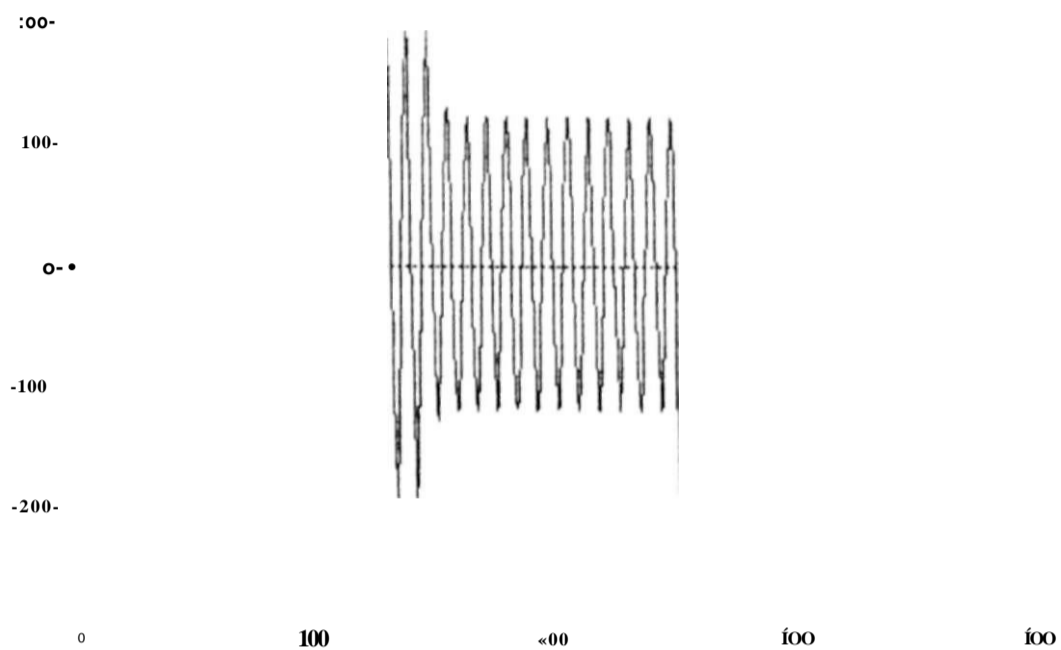
CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
 FTM96P3.DAT RET. 2 BCS 69KV FTZ. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A



CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
 FTM96P3.DAT RET. 2 BCS 69KV FTZ. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

CkUJ

09 - Ma ^ - 95 01.00.34



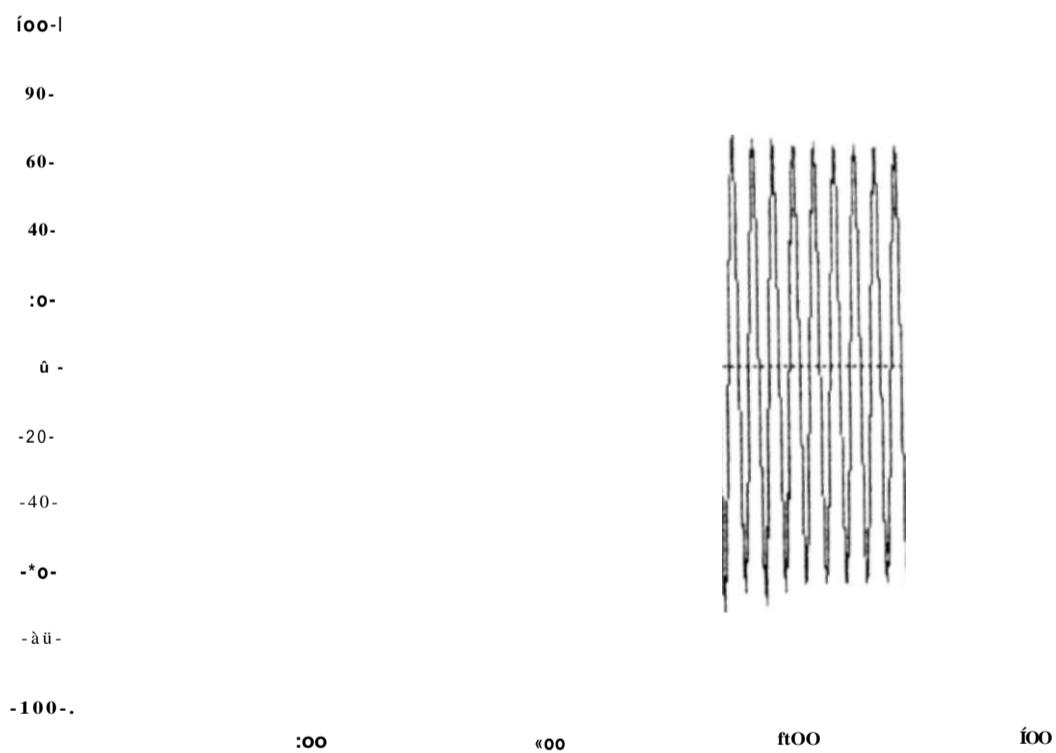
j) FC23C

Cit

CC 2F-T 69KU FORTLEZII ELIN. REJ. 100V. CRRGR 69KU COT1 USUB SEU G  
 CTrjQ «P5 Dgt RET .jd BCS 69KU FTZ CARGR rIRXI HA. DEZ/96  
 TENSÃO 230KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

CkUJ

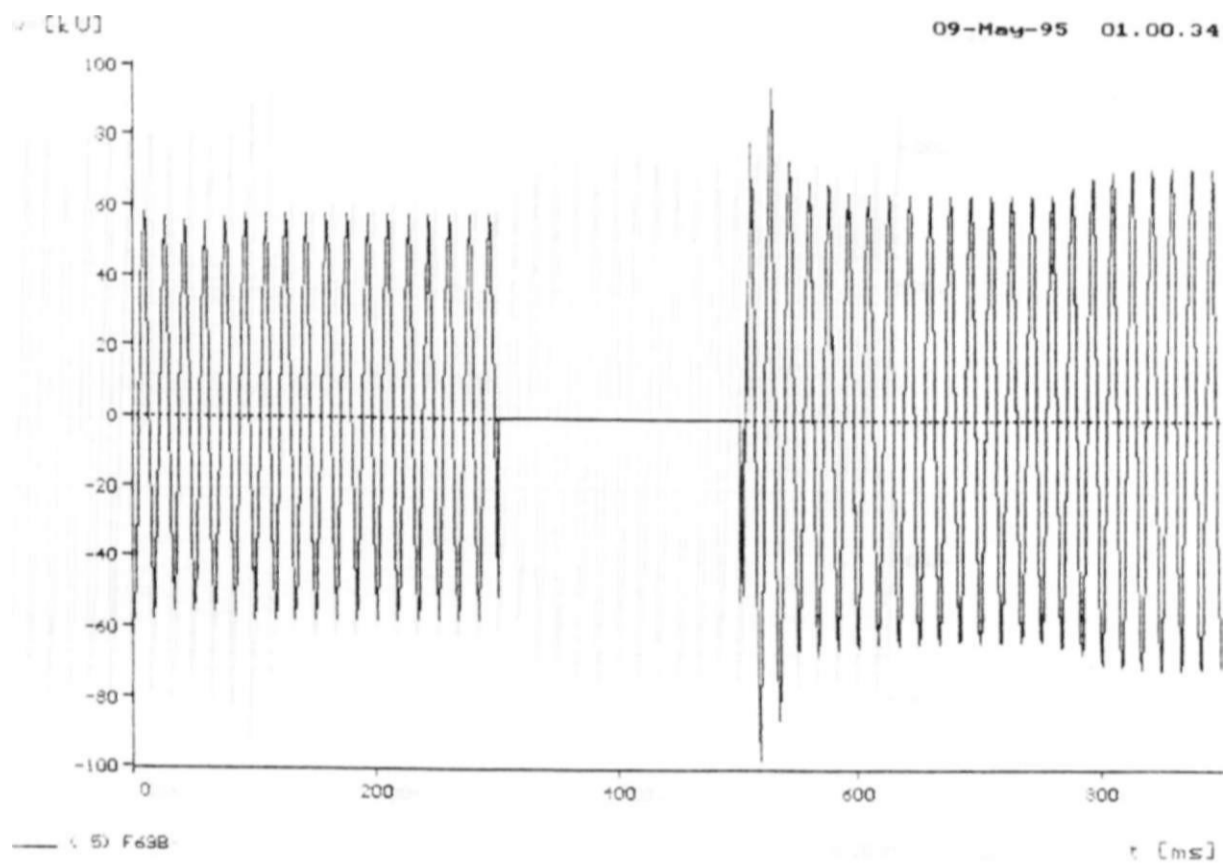
09 - Mo « j - 95 01.00.34



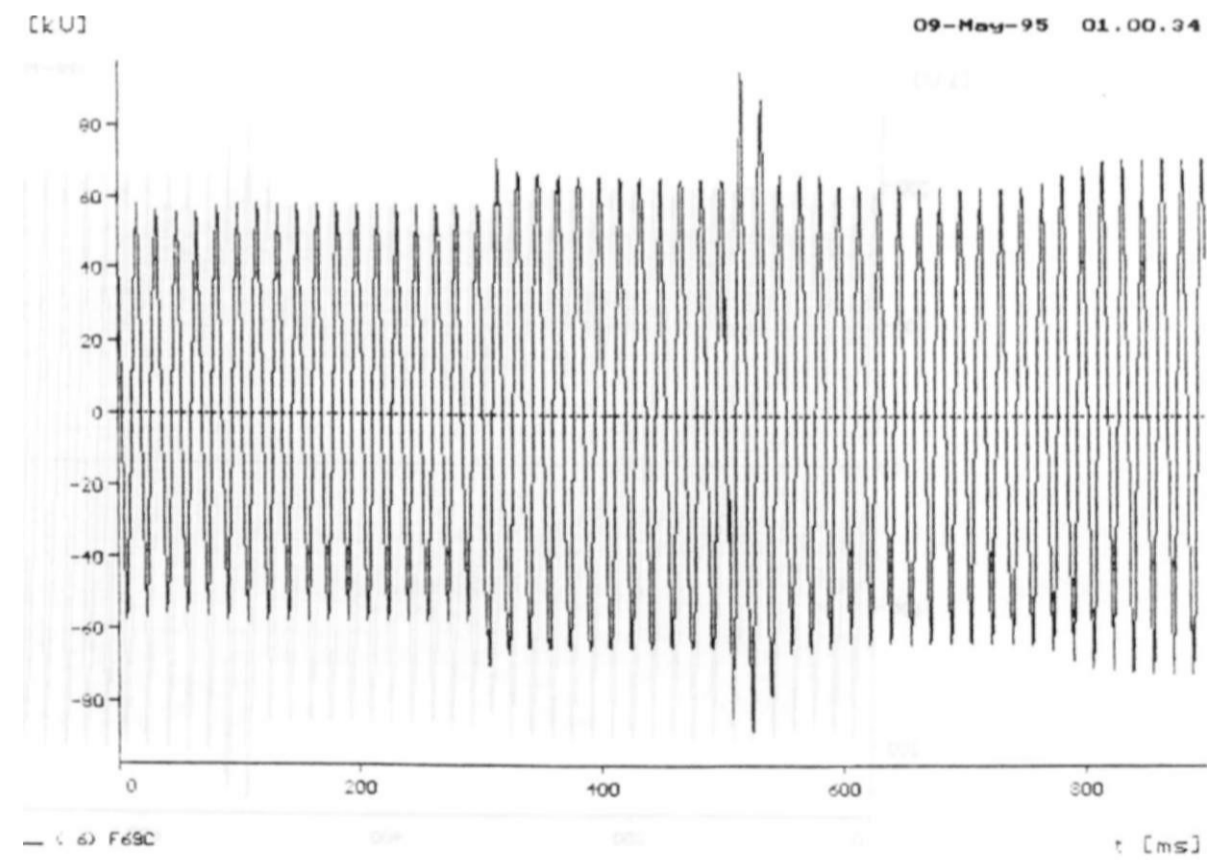
- . 4) F69rt

Cr.iSJ

CC 2F-T 69KU FORTALEZA ELIM. REJ. í00"/ CARGA 69KU COO USUB SEN G  
 FTNG96P3.DAT RET. 2 BCS 69KU FTZ CARGR NRXINR, DEZ/96  
 TENSÃO 69KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A



CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
 FTMG96P3.DAT RET. 2 BCS 69KV FTZ. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
 TENSAO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B



CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
 FTMG96P3.DAT RET. 2 BCS 69KV FTZ. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
 TENSAO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

CkU]

09-H»^ -95 01.00.

:00-

100-

0 -

-100-)

-200-

0

roo

<00

<00

i00

» MLb2JA

itns1

2F-1 69KU FORTFILEZg ELin. HEJ. íOOV. CRHGO 69KU COM USUB SE11 G  
FTHG96P3.DOT RET. 2 BCS 69KU FTZ. CORGO MOXIMO. DEZ/96  
TENSRO 23OKU NILOGRES FOSE-NEUTRO FOSE O

CtU]

09-Has-95 01. GO. 34

:00i

100-

0 -

-100 H

-200-1

200

<00

<00

300

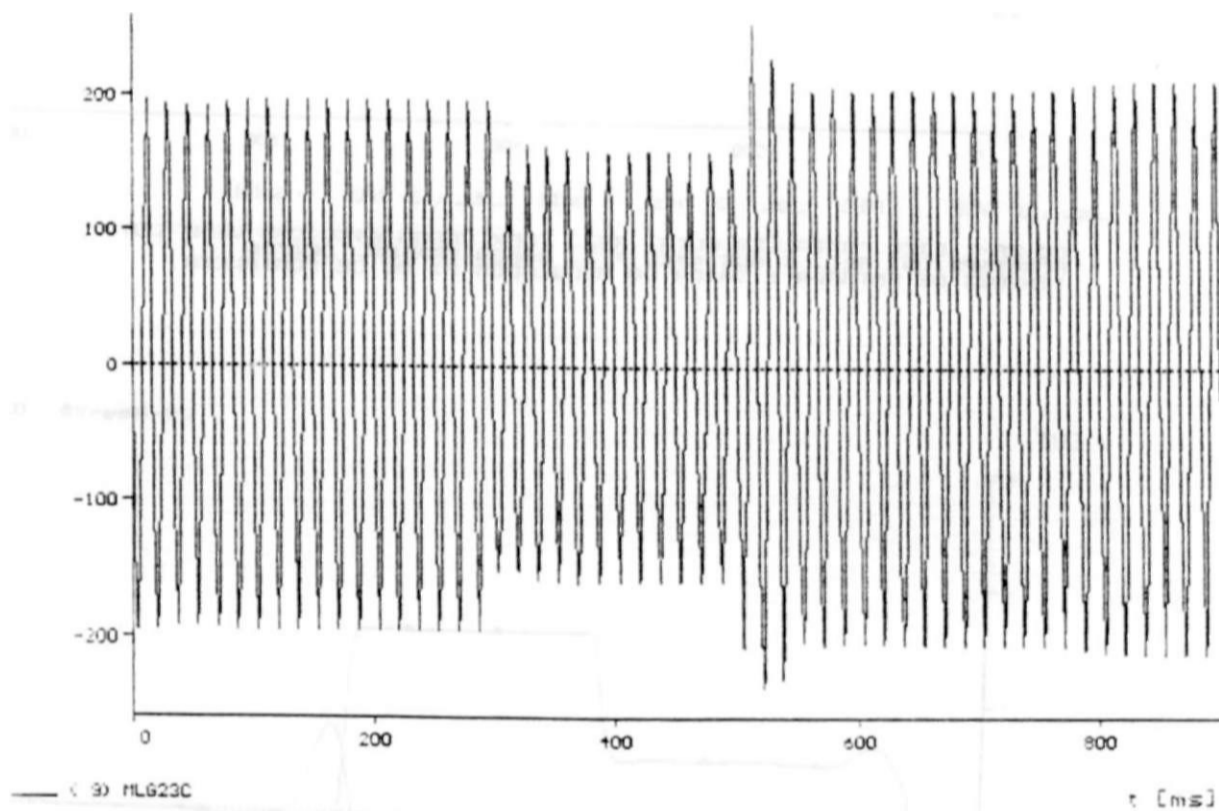
• 3) MLb22B

• C TIS j

FCMFFIL»SKV FORTOLEZR ELIN. REJ. íOOV. CORGO 69KU COH USUB SEN G  
TIN7IM URS. SI. A^a-^cs \*\*xv f ^ CORGR NRXINR. DEZ/96  
TENSOO 23OKU NILOGRES FOSE-NEUTRO FOSE 8

CkU3

09-M>\*#-95 01.00.3 4



9) HL623C

CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
FTM96P5.DAT RET. 2 BCS 69KV FTZ. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1995

CU]

09-MOM-95 01.00.34

1 •

-2"



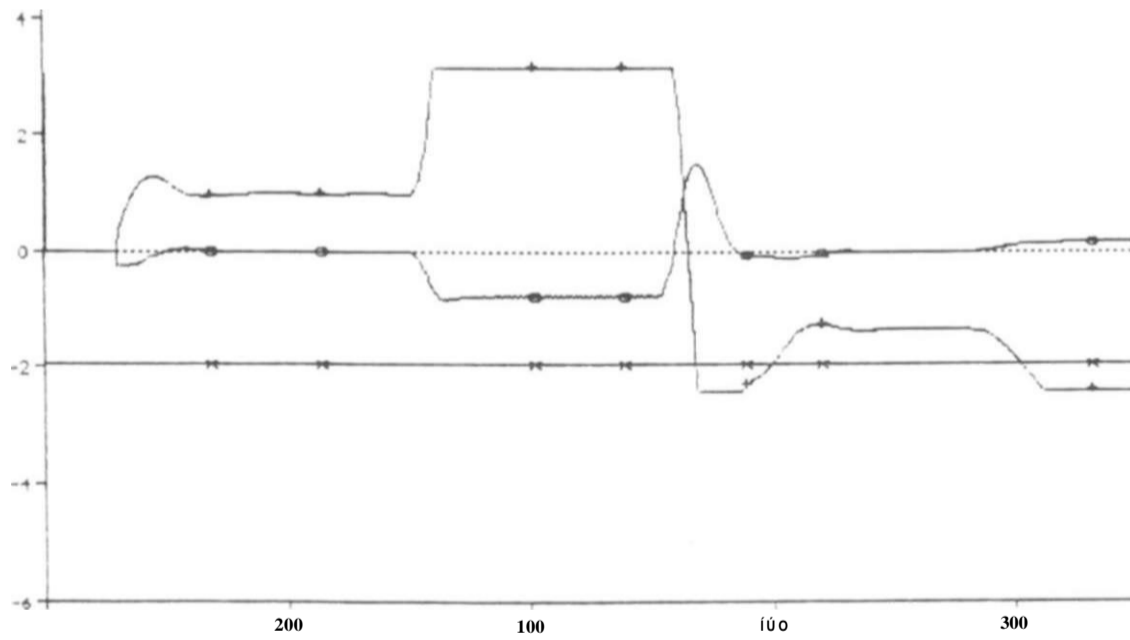
200 100 000 300

0 C) TACÍ - LIMJC •.12) TACS - ENIPI •.13) TACS - òrtIPI Cms]

CC 2F-T 69KU FORTALEZA ELIII. REJ. LQXQ CRRGR 69KU COFI USUB SEM G  
FTNG96P3.DAT RET. 2 8C3 69KU FTZ. CRRGR rIRXIHR. DEZ/96  
TENSOES DE ENTRAOA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTRLEZR

CU]

09-N «\*-93 01.00.34

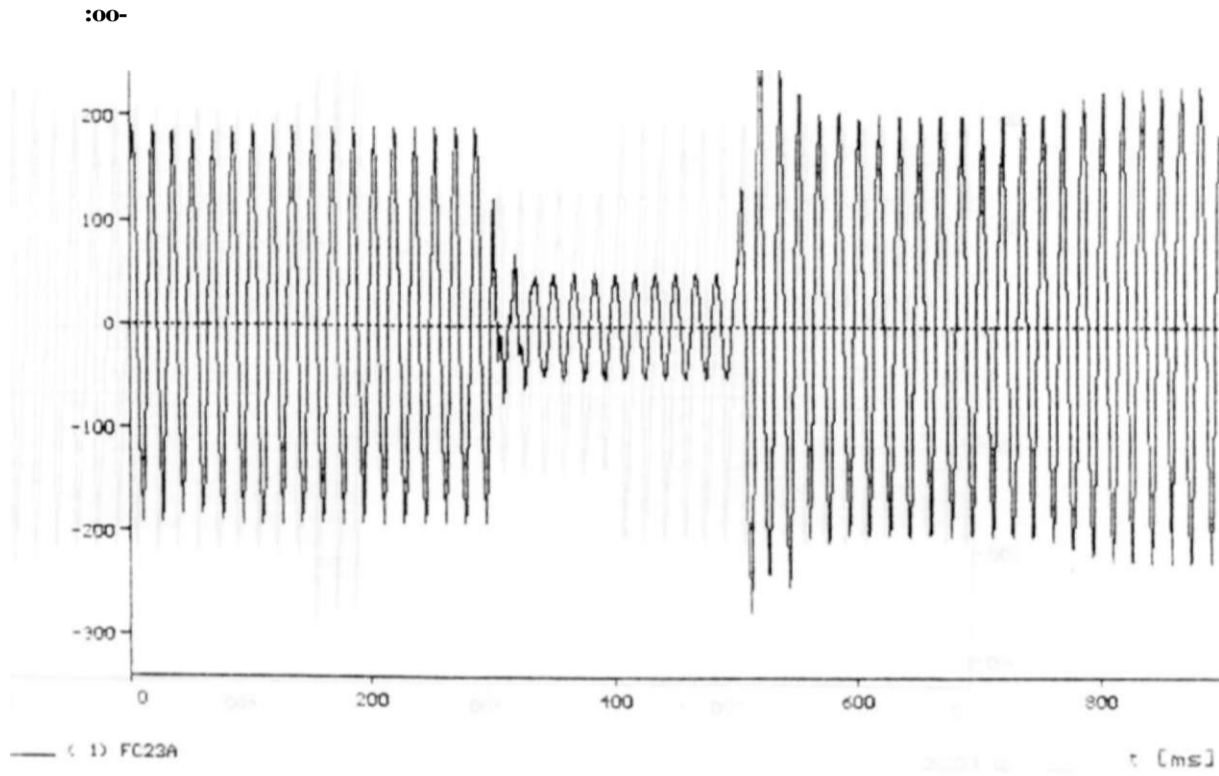


Mi TACS - LIJUCM .U) TACS - ENIPIM ..I?) TACS - IAIPIM [msj]

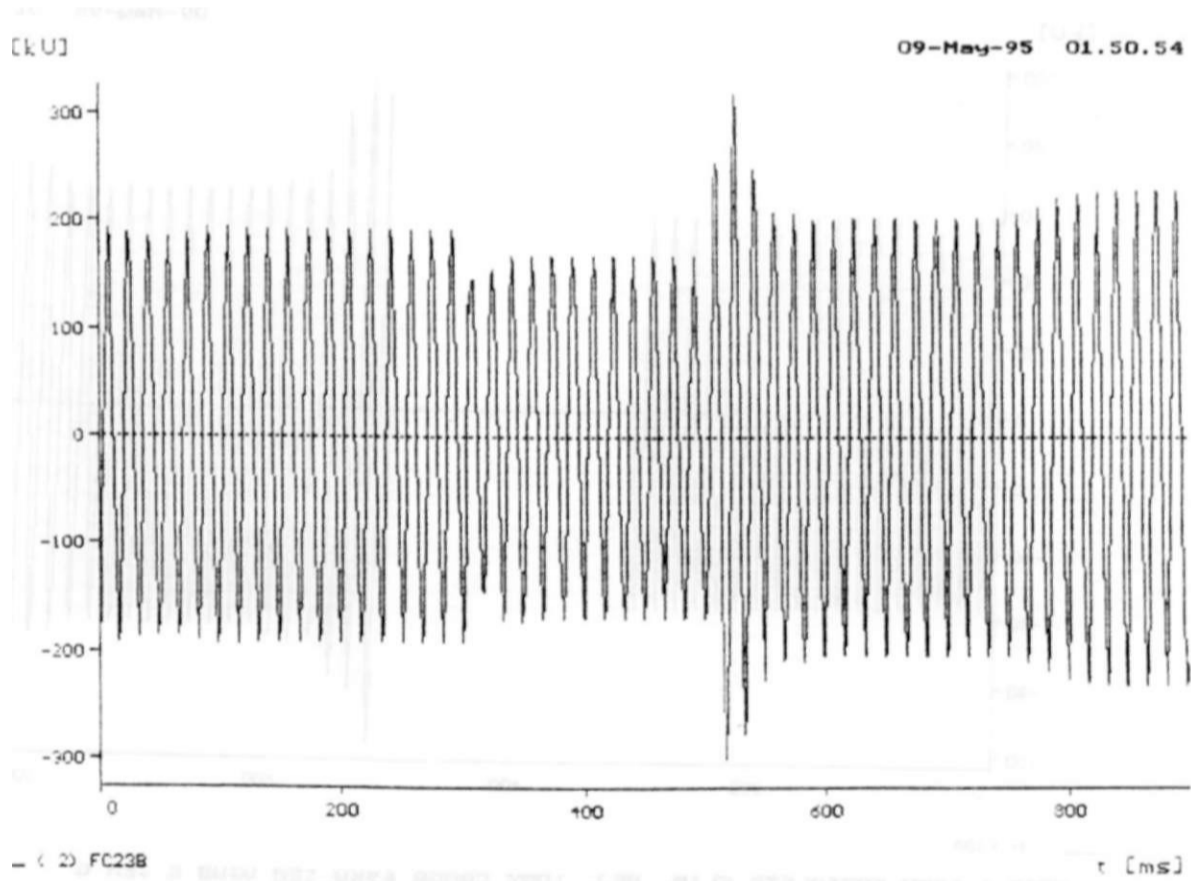
CC 2F-T 69KU FORTALEZA ELIN. REJ. IOOV. CARGA 69KU CON USUB SEN G  
FTNG96P3.DAT RET. 2 BCS 69KU FTZ. CRRGR NRXIHR. DEZ/96  
TENSOES DE ENTRRDR E SRIDR DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

CKUJ

09-M»M-93 01.S0.54

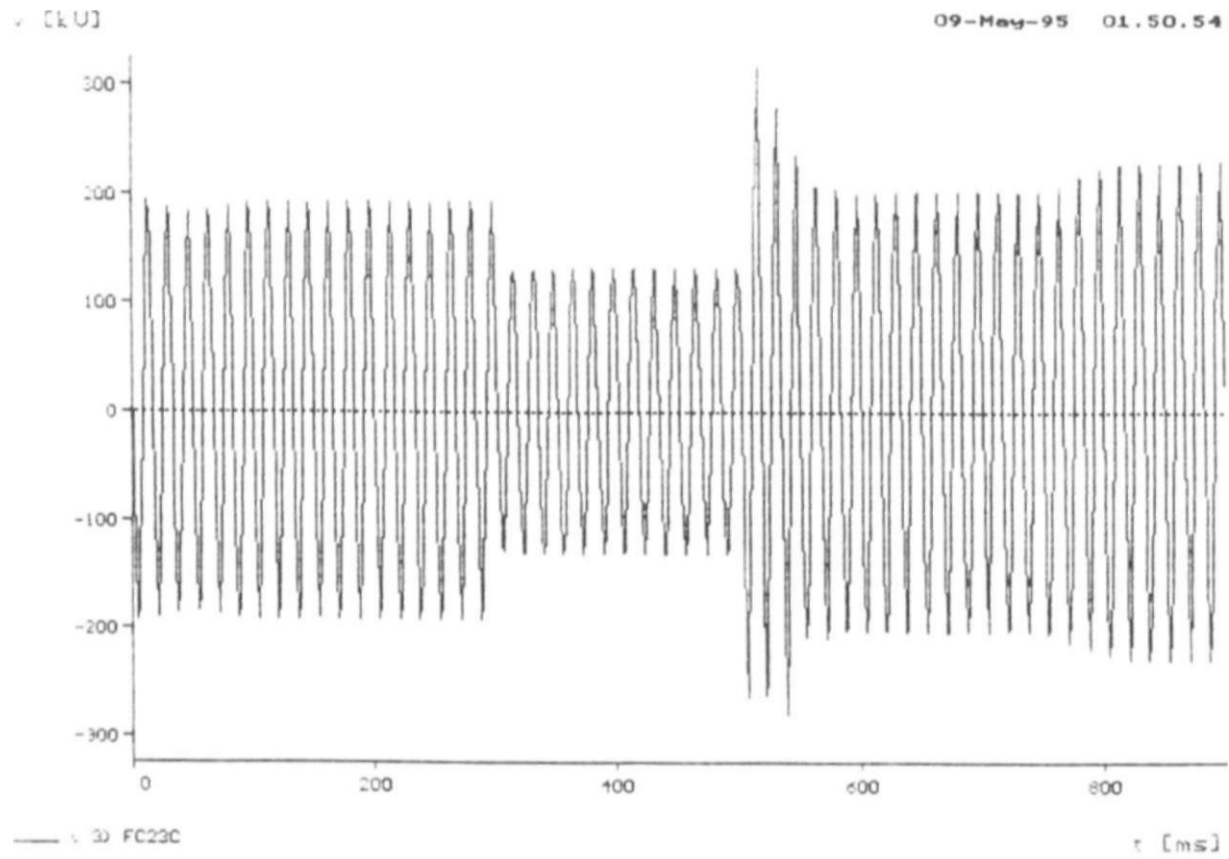


CC2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB E SEM G  
FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
TENSAO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

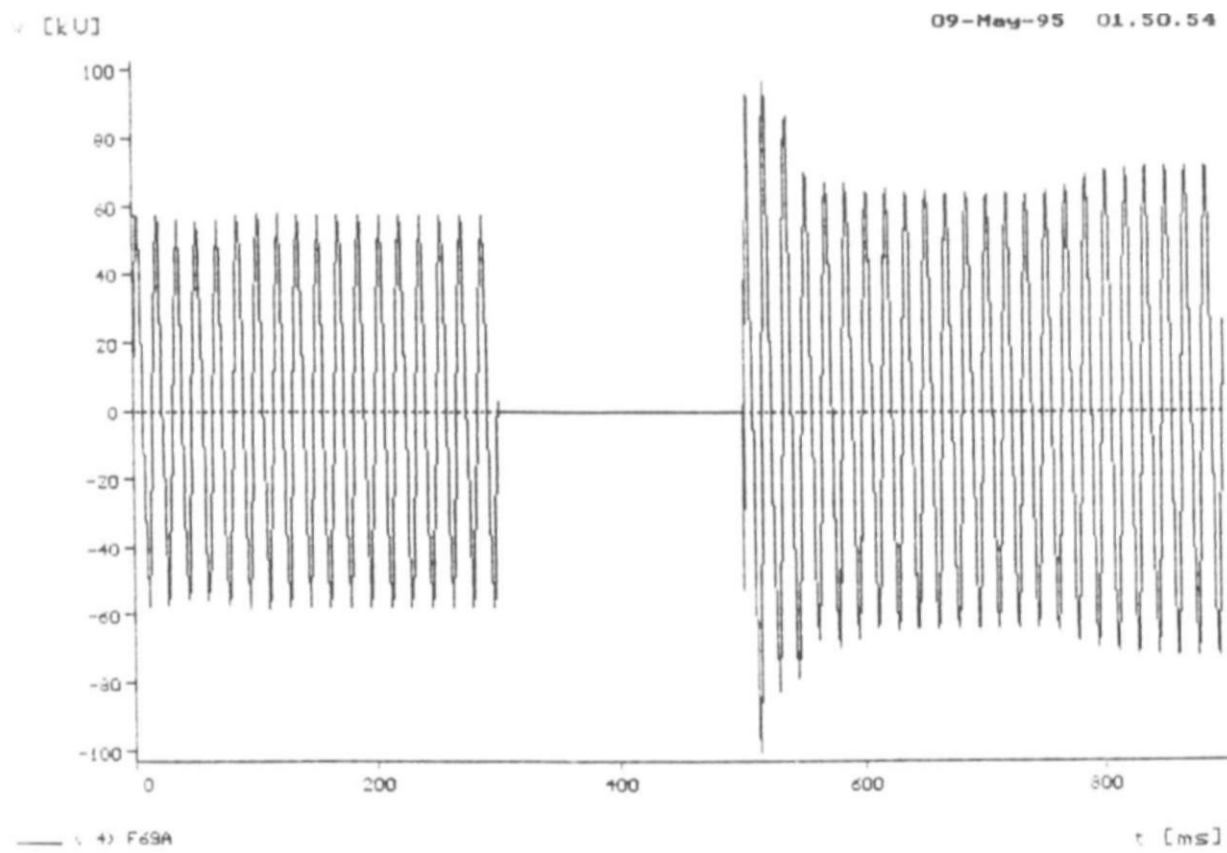


CC2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB E SEM G  
FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
TENSAO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B





v. 3) FC23C  
 CC2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB E SEM G  
 FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C



v. 4) F69A  
 CC2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB E SEM G  
 FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

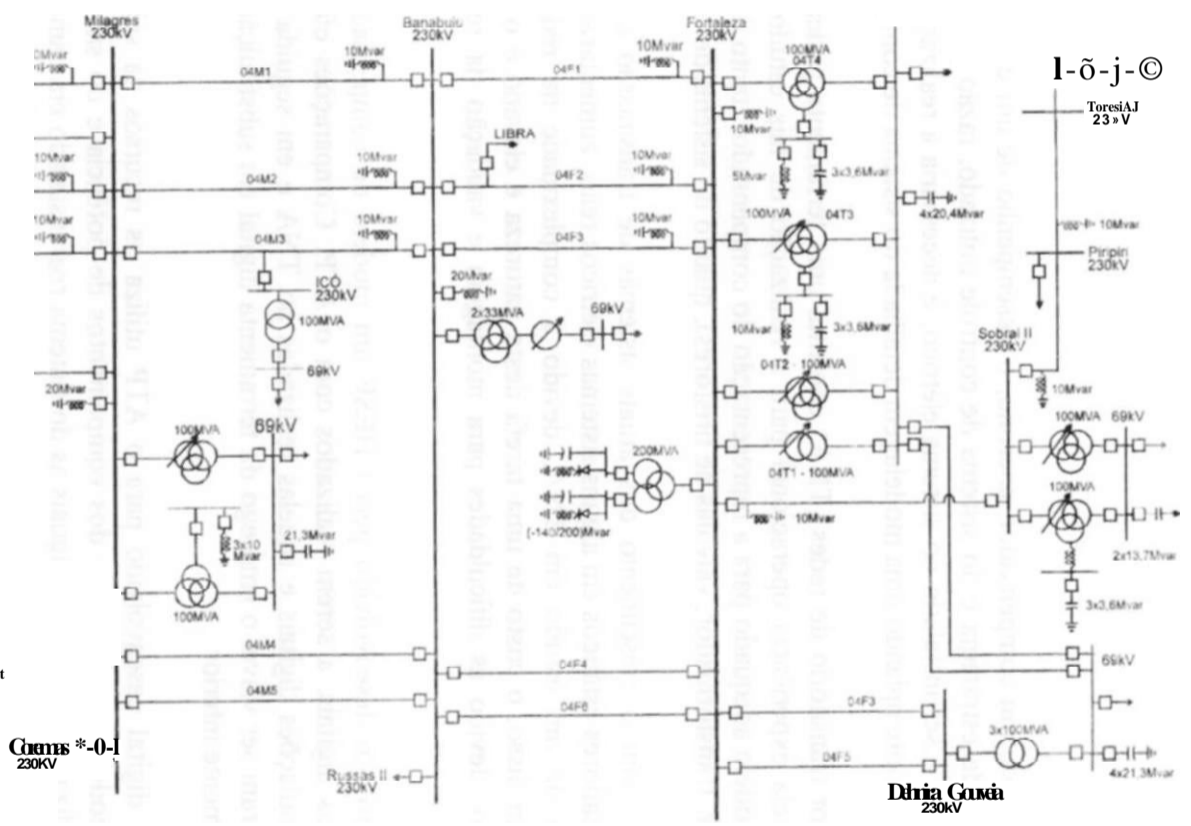
31 (ic\*)  
 Paulo Afonso BP-1 230kV  
 Bom Novo 230kV  
 -ota  
 Q-  
 03  
 -1  
 01  
 JL e Mo wo BP-2 230kV  
 -Zea .  
 5

P  
 S\*  
 o  
 .  
 IS  
 H  
 U  
 P  
 T  
 Q  
 C

Bom Nono 138kV  
 -J-13.8M/

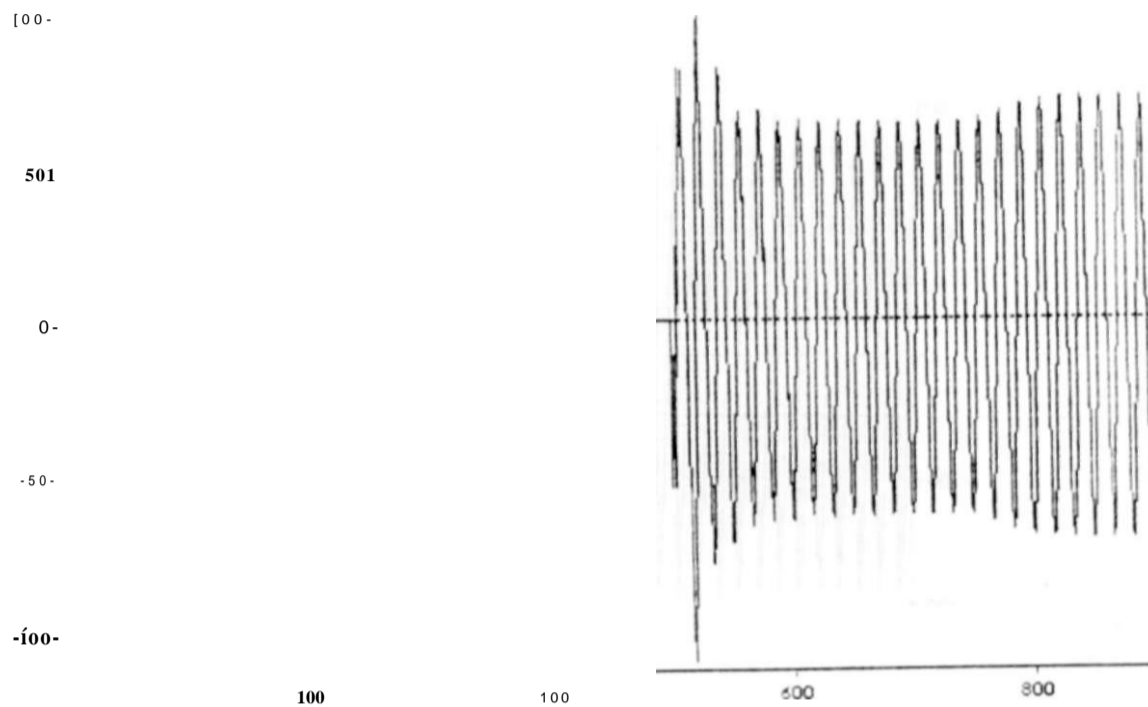
i-aioo)Mv3t  
 Cums \*-0-1  
 230kV

SISTEMA ELÉTRICO INTERLIGADO DO NORTE NORDESTE  
 DIAGRAMA UNIRLAR DA ÁREA NORTE



CKU]

09-M» «\*-95 01.S0.S4



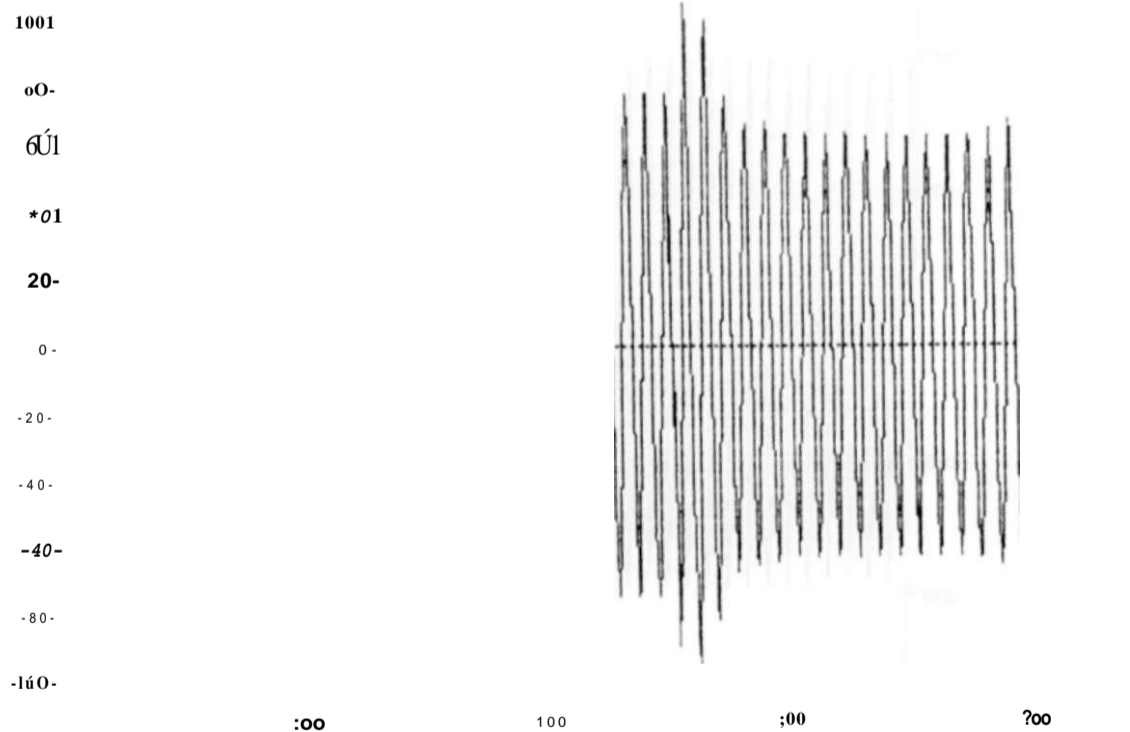
B roje

i.nsj

CC2F-T 69KU FORTRLEZR ELIM. REJ. JOOX CfiRGfi 69KU SEH USUB E SEU G  
FTMG96P3.DAT RET. ZBCS 69KU FTZ CRRGR MAXIMA. DEZ/96  
TENSRO 69KU FORTRLEZR FRSE-NEUTRO FRSE B

CKU]

09-NÄM-95 01. SO. 54



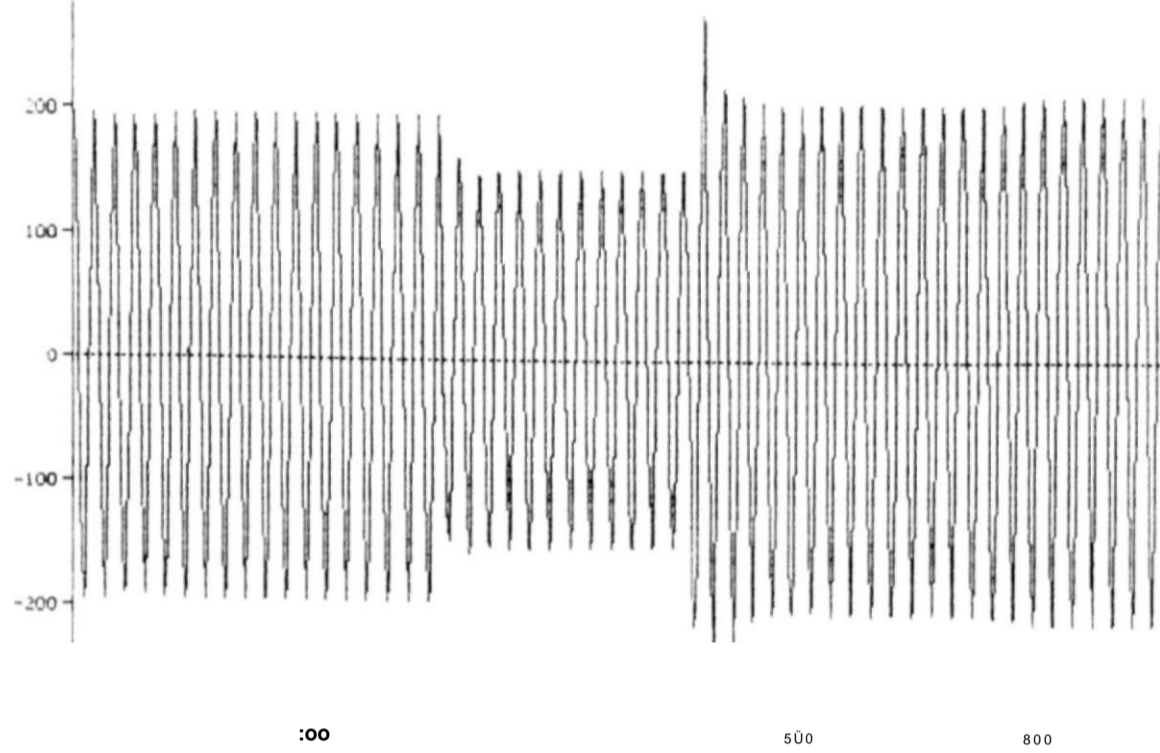
6i FÓ3C

Cms]

CCZF-T 69KU FORTRLEZR ELIN. REJ. JOOV. CRRGR 69KU SEN USUB E SEN G  
FTMG96P3.DAT RET. ZBCS 69KU FTZ CRRGR MAXIMA. DEZ/96  
TENSRO 69KU FORTRLEZR FRSE-NEUTRO FRSE C

CkJJ]

09-M-93 01.S0.54

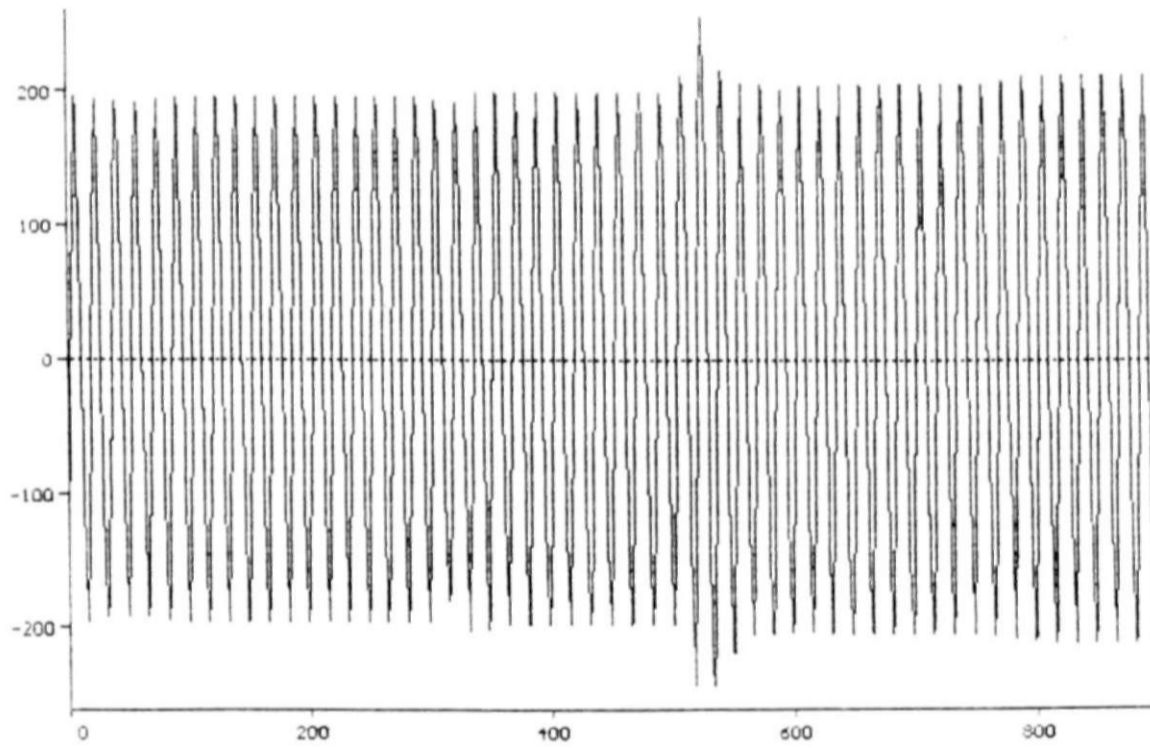


t Cms]

FTHG96P3.DAT RET. 2BCS > PZ\* ONPR QRCR 69KV SEN USUB E SEN G  
 TENSRO 230KV NILRGRES FRSE-NEUTRO FASE™

v [kU]

09-May-95 01.50.54



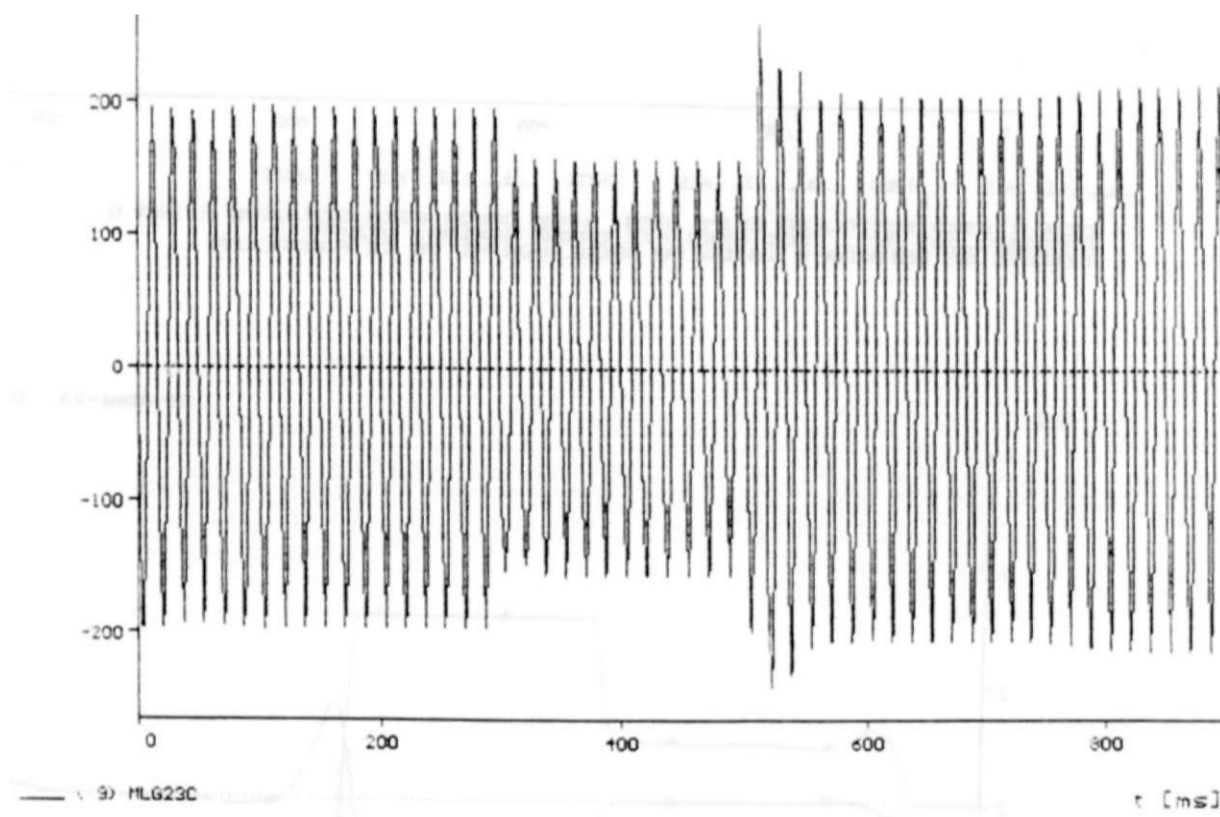
t [ms]

— ( 8) HLG23B

CCZF-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB E SEM G  
 FTHG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE B

CkU3

09-M<sup>^</sup>-95 01.s0.54



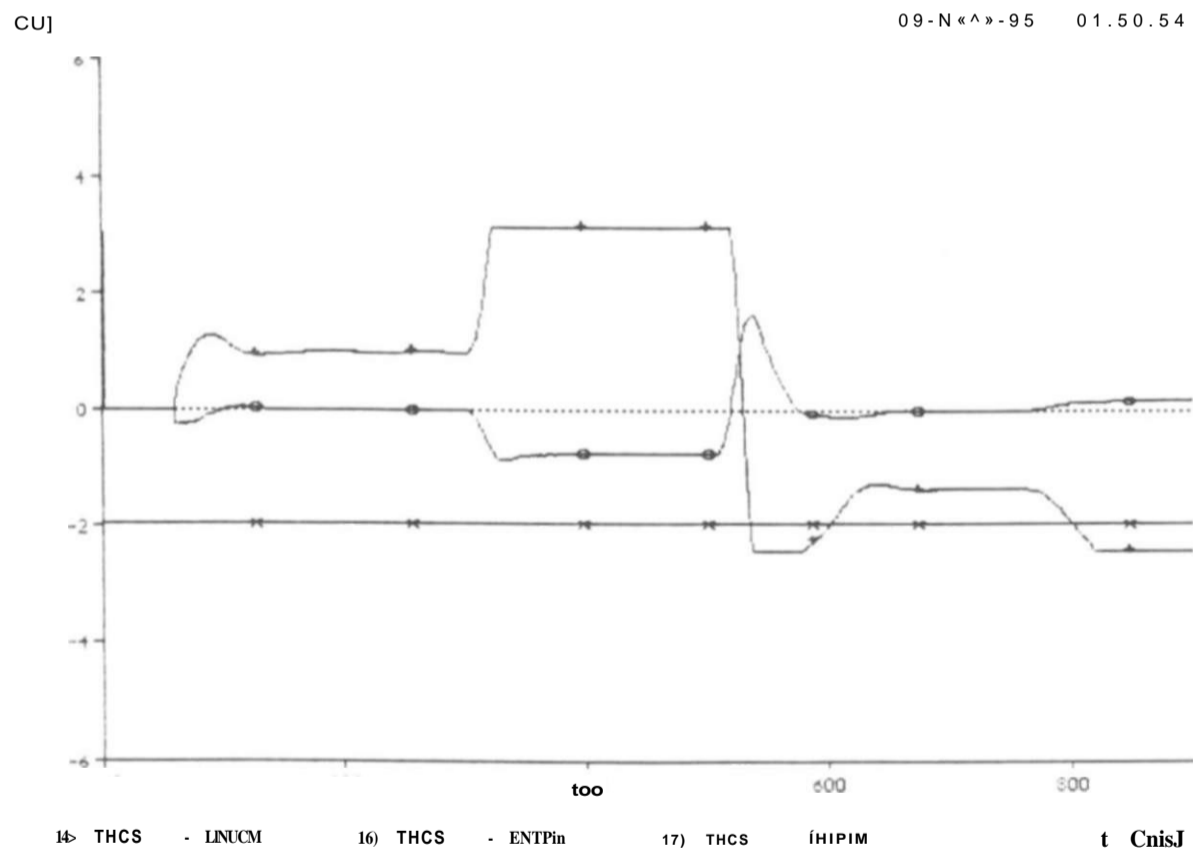
CCZF-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB E SEM G  
FTAG96P3 DAT RET 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA, DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

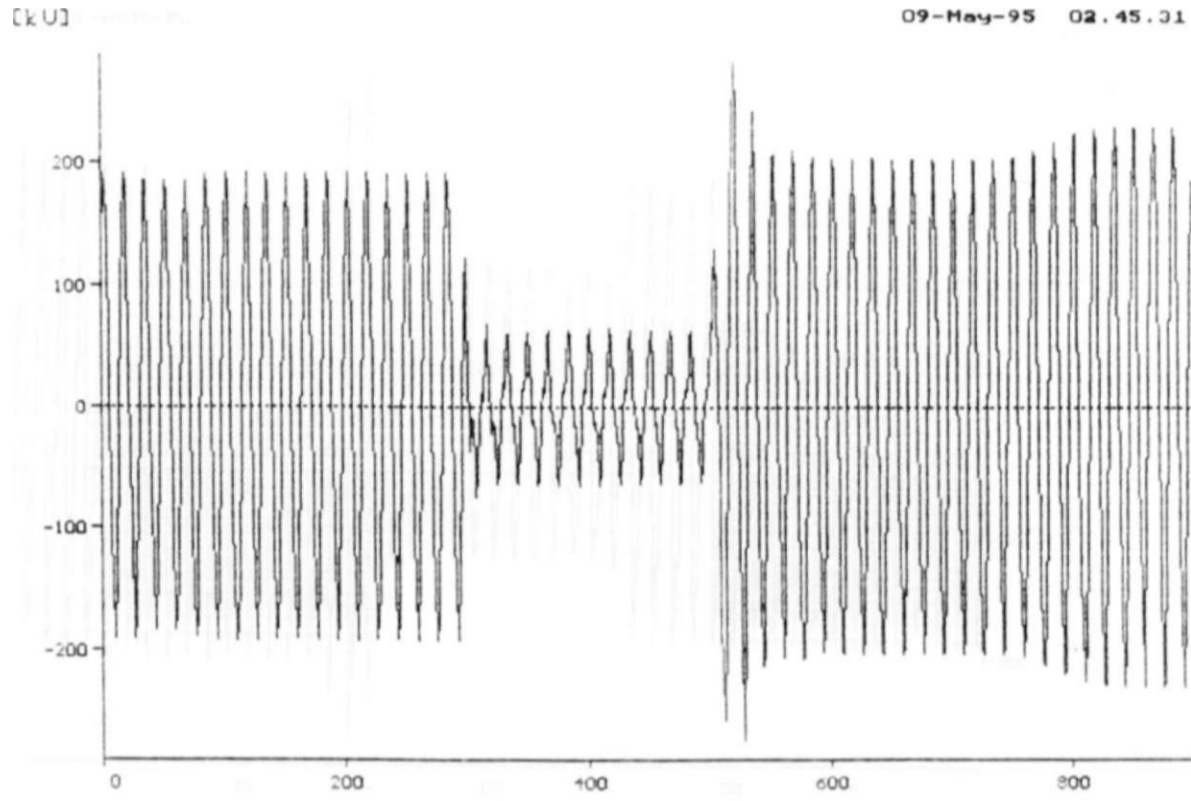
orint dtt! 9. Wy 1993



/

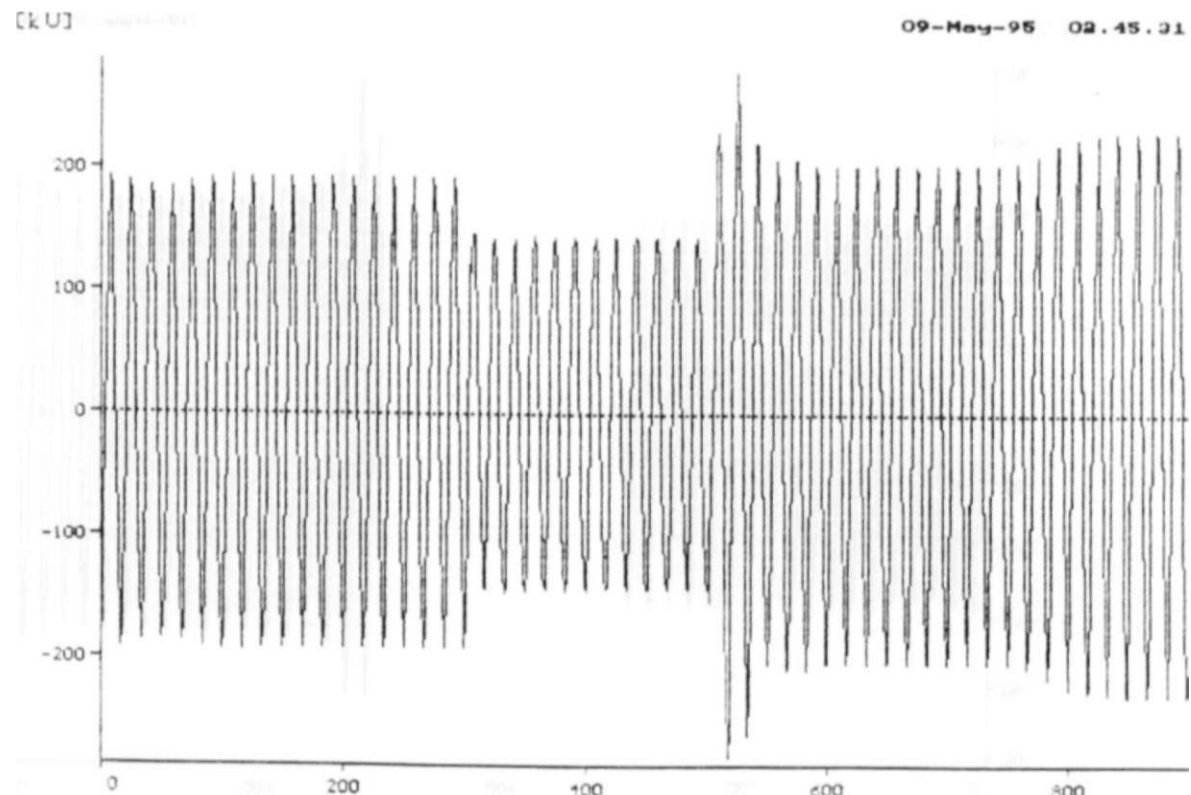
10) THCS - LINUC      •A2> THCS - ENTPI      13) THCS - irtlPI      r CmsJ  
 CCZF-T 69KU FORTREZR ELIM. REJ. LOGC CORO» 69KU SEN USUB E SEU G  
 FTMG96P3 .DRT RET. ZBCS 69KU FTZ CARGA MAXIHA DE Z/96  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA





1) FC23A

CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
 FTM96P3 DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

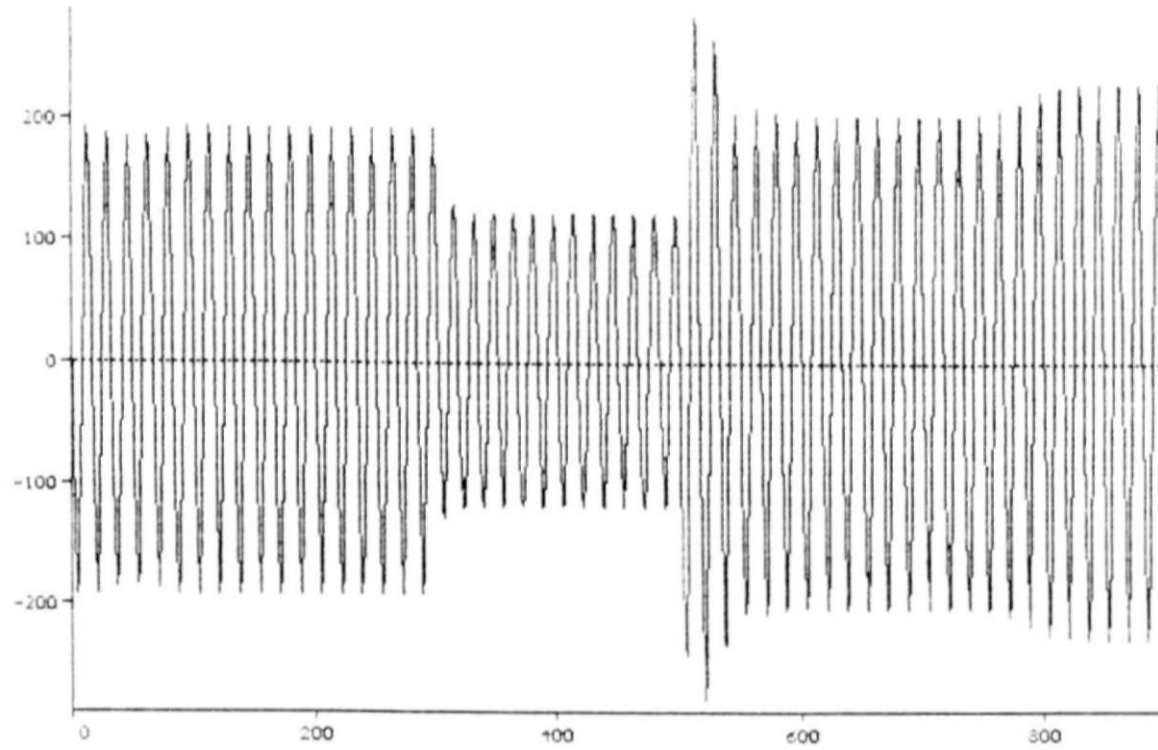


2) FC23B

CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
 FTM96P3 DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

CkU]

09-May-95 02.45.31



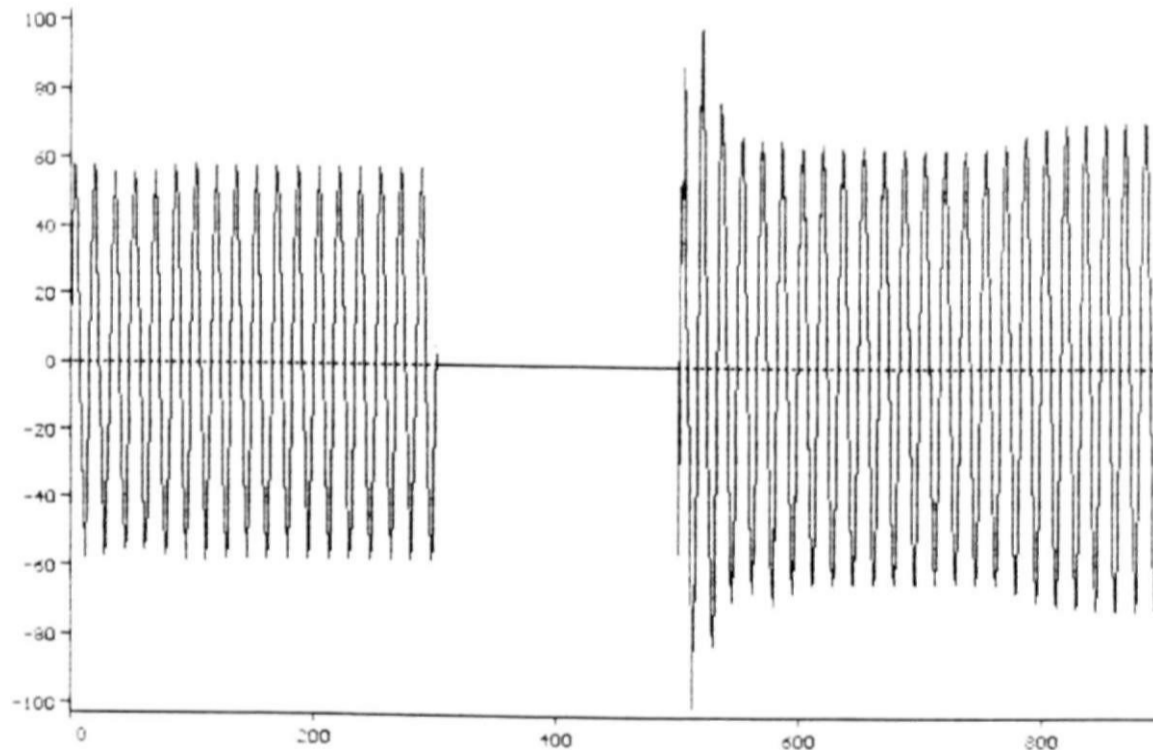
— ( 2) FC23C

t [ms]

CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

[kU]

09-May-95 02.45.31

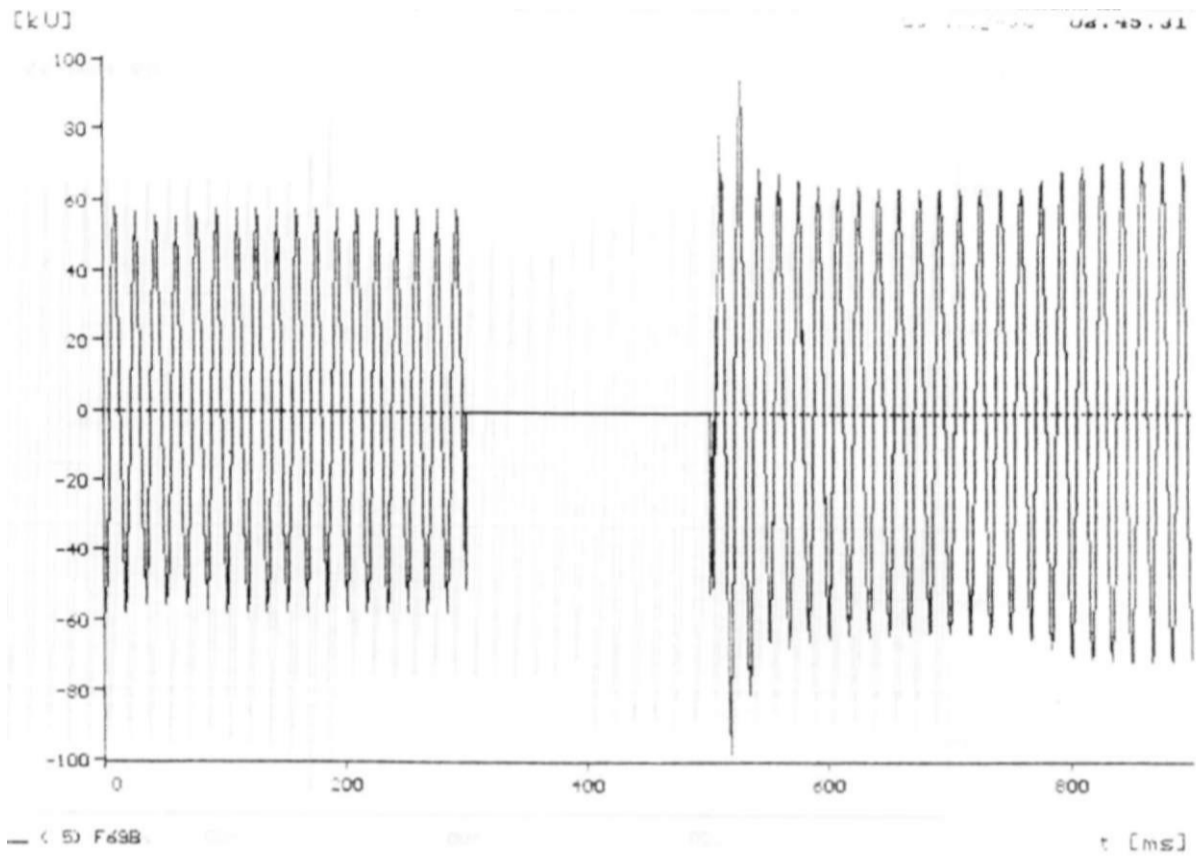


— ( 4) F69A

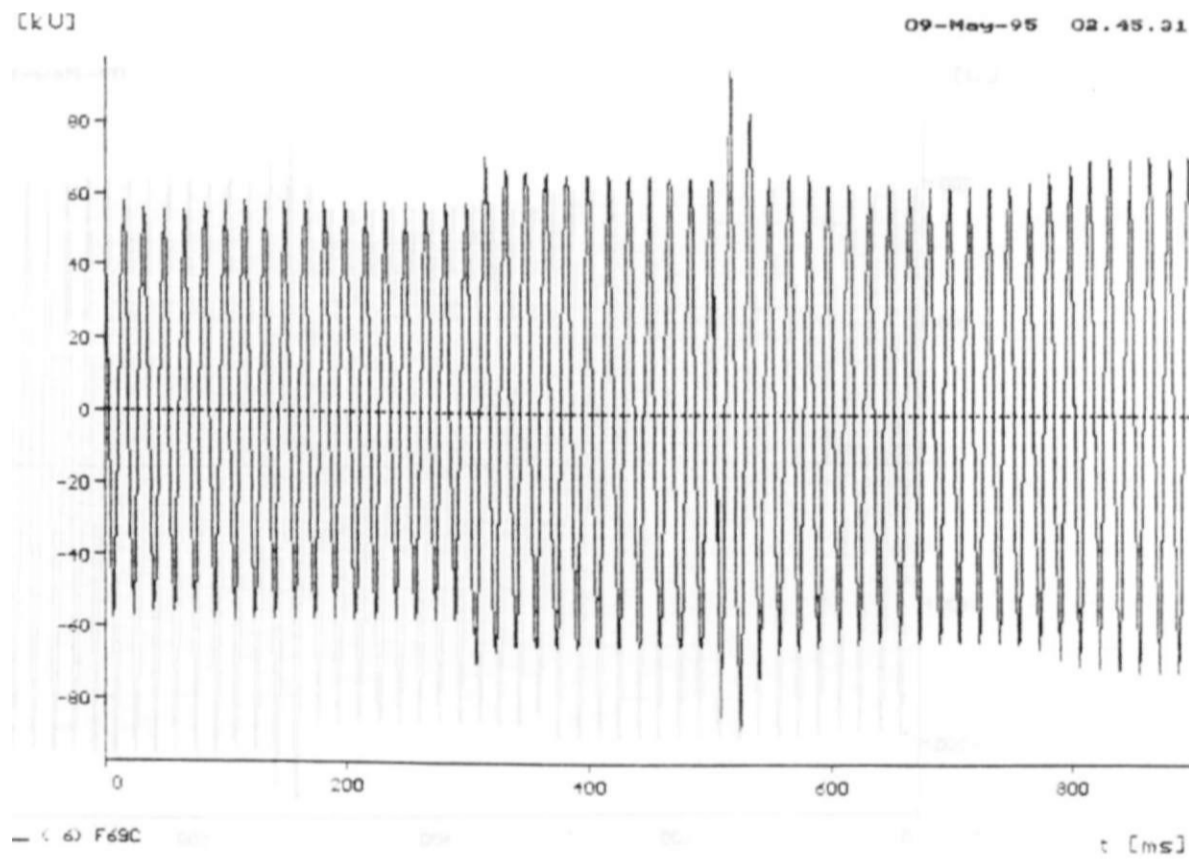
t [ms]

CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A



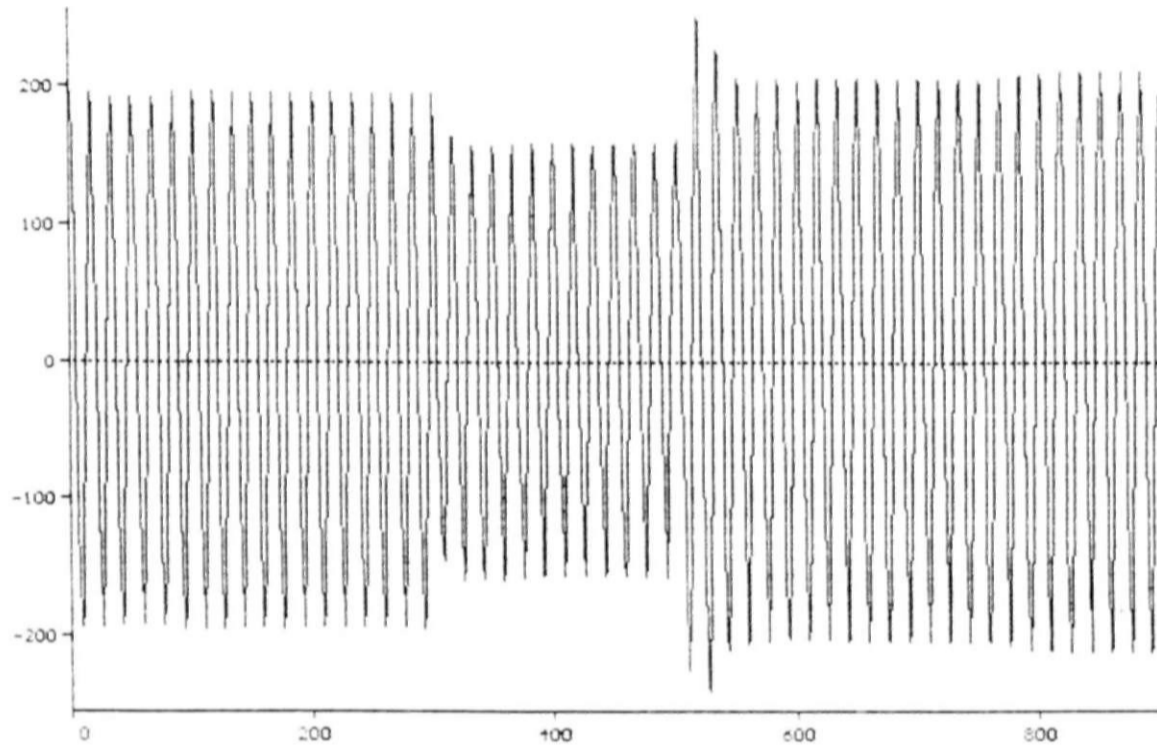


CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
 FTM96P3.DAT RET. 28CS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B



CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
 FTM96P3.DAT RET. 28CS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

09-MAY-95 02.45.31



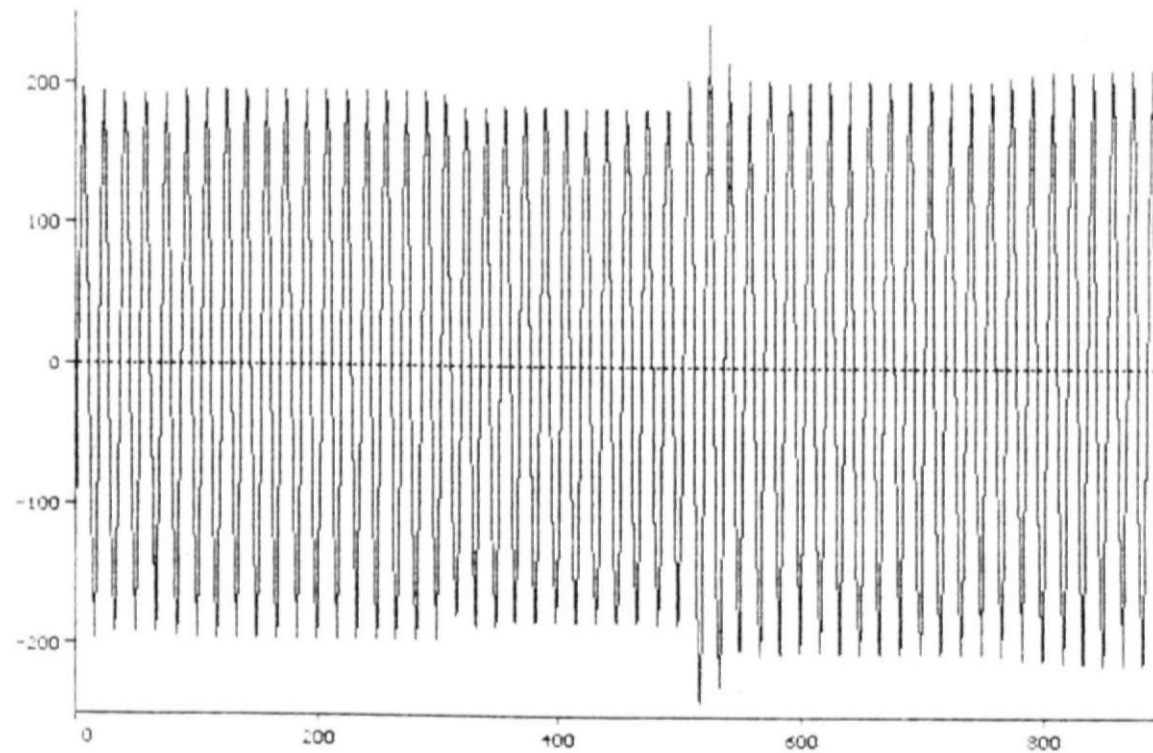
MLG23A

t [ms]

CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

[kV]

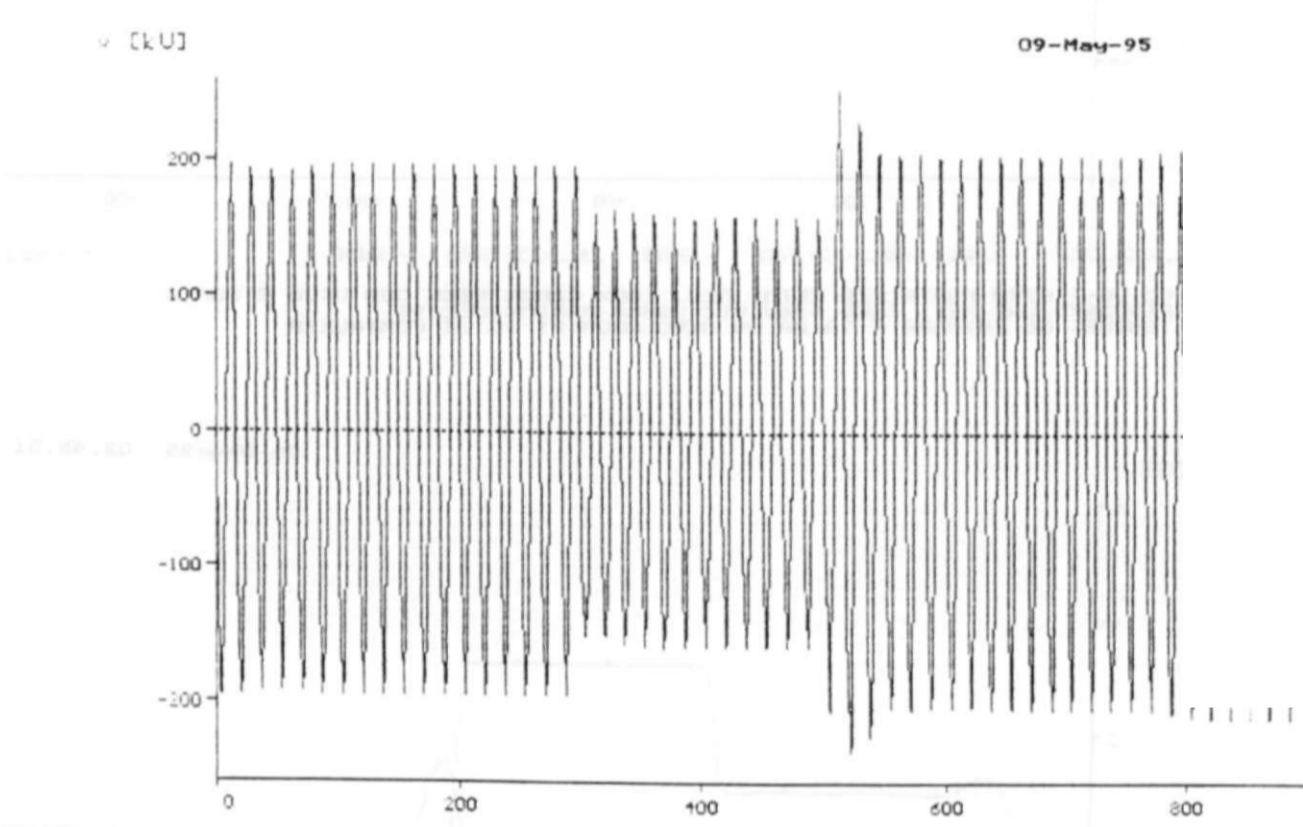
09-May-95 02.45.31



MLG23B

t [ms]

CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
FTMG96P3.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE B



( 3) HL623C  
 CC 2F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB E COM G  
 FTMG96P5.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

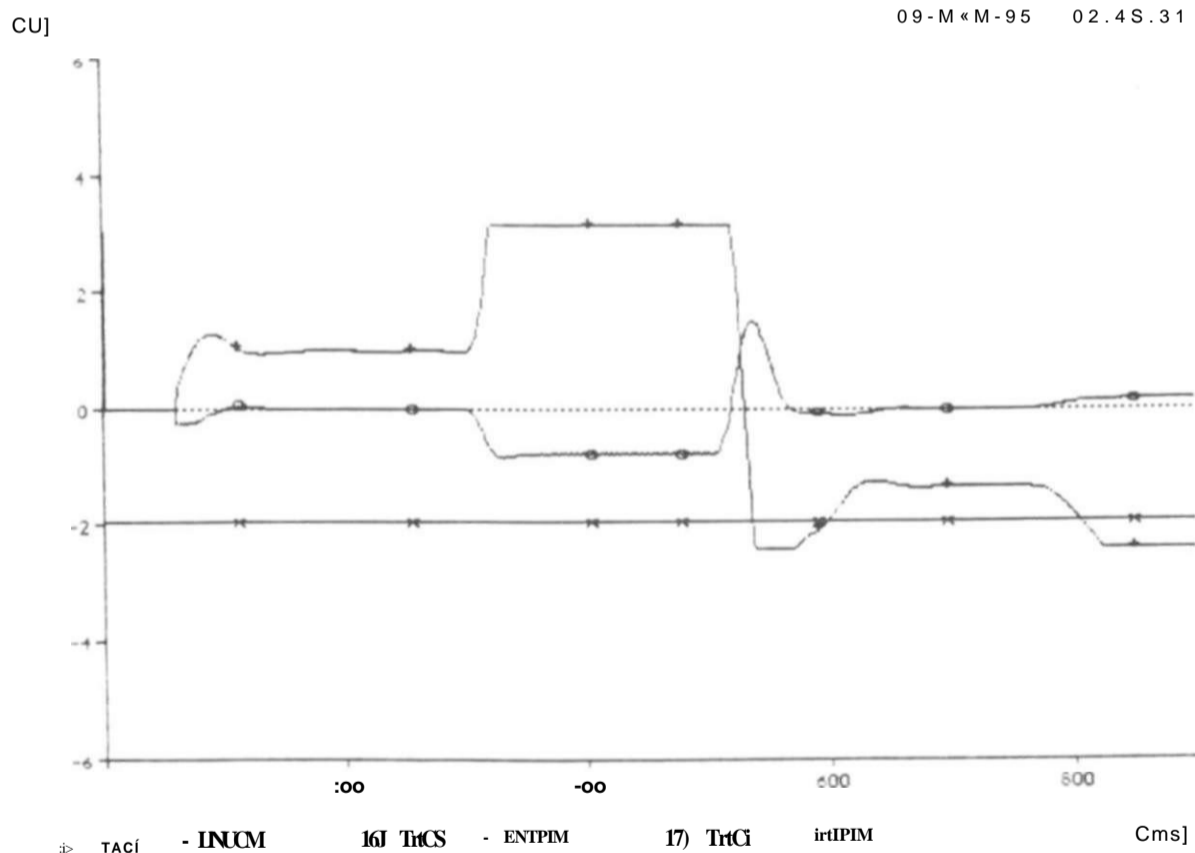
print date: 9. May 1995

FICHEIRO: C:\PROG\ELM\...  
 O PROJETO DE ELIMINACAO DE TENSÃO EM REDES DE TRANSMISSÃO DE ALTA TENSÃO...  
 É UM TÓPICO DE INTERESSE PARA OS ENGENHEIROS DE ENERGIA ELÉTRICA...



-t- 100 100 000 100  
.10) THCI - LINUC .12) TACa - ENTPI .13) TrCI íHIPI CmsJ

TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA



CC 2F-T 69KU FORTALEZA ELIN. REJ. LOOX CARGA 69KU CON USUB E CON G  
FTHG96P3.DAT RET. 2BCS 69KU FTZ CARGR MAXINA DEZ/96  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

## 4.2 - Compensadores Estáticos (CEs)

### 4.2.1 - Introdução

Ao contrário de um compensador síncrono, o desempenho de um compensador estático depende fortemente da estratégia e do sistema de controle utilizado, razão pela qual, para cada tipo de compensador a ser instalado no sistema elétrico, é necessária a realização de estudos de sistema específicos, contemplando uma modelagem detalhada do sistema de controle associado.

O analisador transitório de redes (TNA) constitui uma ferramenta poderosa, eficaz e de uso consagrado pela experiência operacional para a realização de tais estudos, desde que se disponha de um modelo adequado para a representação do compensador, tanto dos equipamentos de potência (reator, transformador, válvulas de tiristores), quanto do sistema de controle.

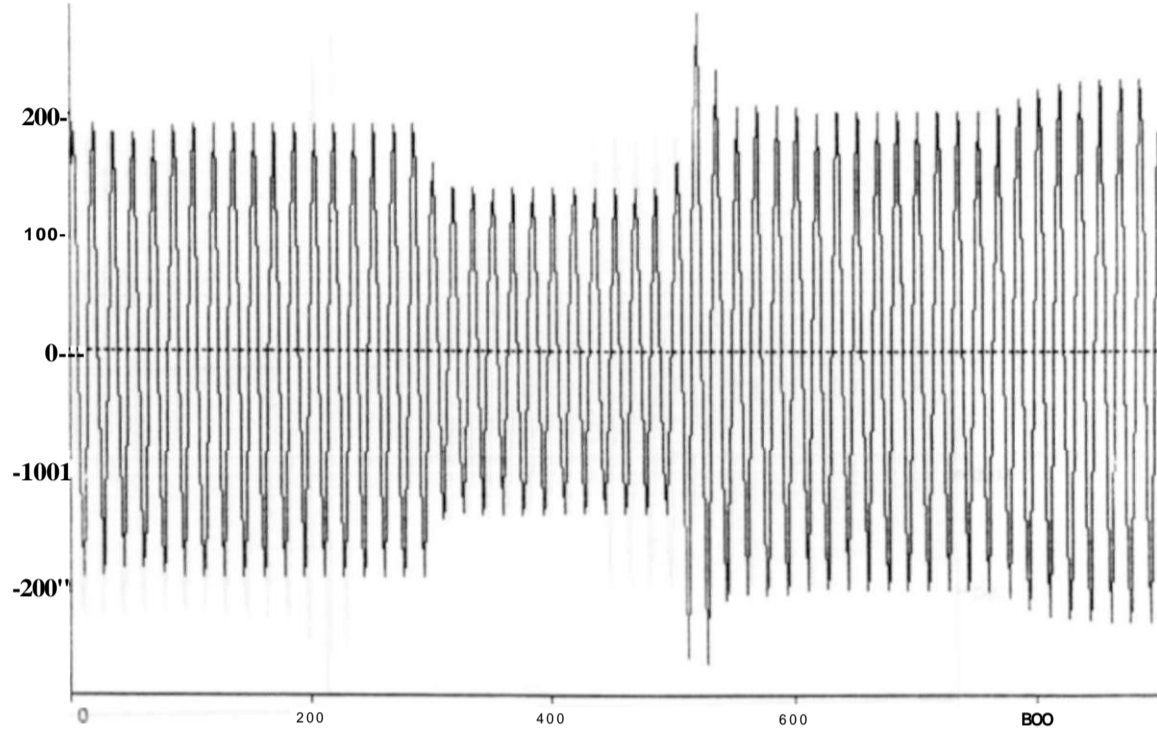
Entretanto, com o crescimento dos atuais sistemas de transmissão e a instalação de múltiplos compensadores estáticos em alguns sistemas elétricos reais, aumentaram as dificuldades para a realização de um estudo em TNA. devido à complexidade da rede elétrica a ser representada. Além disso, o custo de uma tarefa desta natureza é elevado e o tempo para sua realização é longo, devido às dificuldades para montagem e validação da rede e ajuste dos modelos

Deste modo, foi desenvolvido pela CHESF um modelo de compensador estático para estudos transitórios digitais, a serem realizados com o ATP. Comparações efetuadas entre os resultados das simulações digitais e aquelas realizadas no TNA e em seguida com ensaios de campo, comprovaram ser viável o emprego da ferramenta digital em substituição ao TNA [8], a um custo sensivelmente inferior.

O modelo digital desenvolvido para o ATP utiliza os recursos da subrotina TACS e contempla uma modelagem detalhada dos equipamentos de potência e do sistema de controle associado, que utiliza unidades físicas iguais às do sistema real instalado em campo. Desta forma, os valores dos parâmetros selecionados com o emprego do modelo digital podem ser diretamente transportados para o sistema real sem que seja necessária qualquer conversão. Um diagrama de blocos simplificado do sistema de controle dos CEs Milagres e Fortaleza, a ser descrito nos itens subsequentes, é mostrado na Fig.4.2.

/ CkU]

09-M»M-97 14.32.35



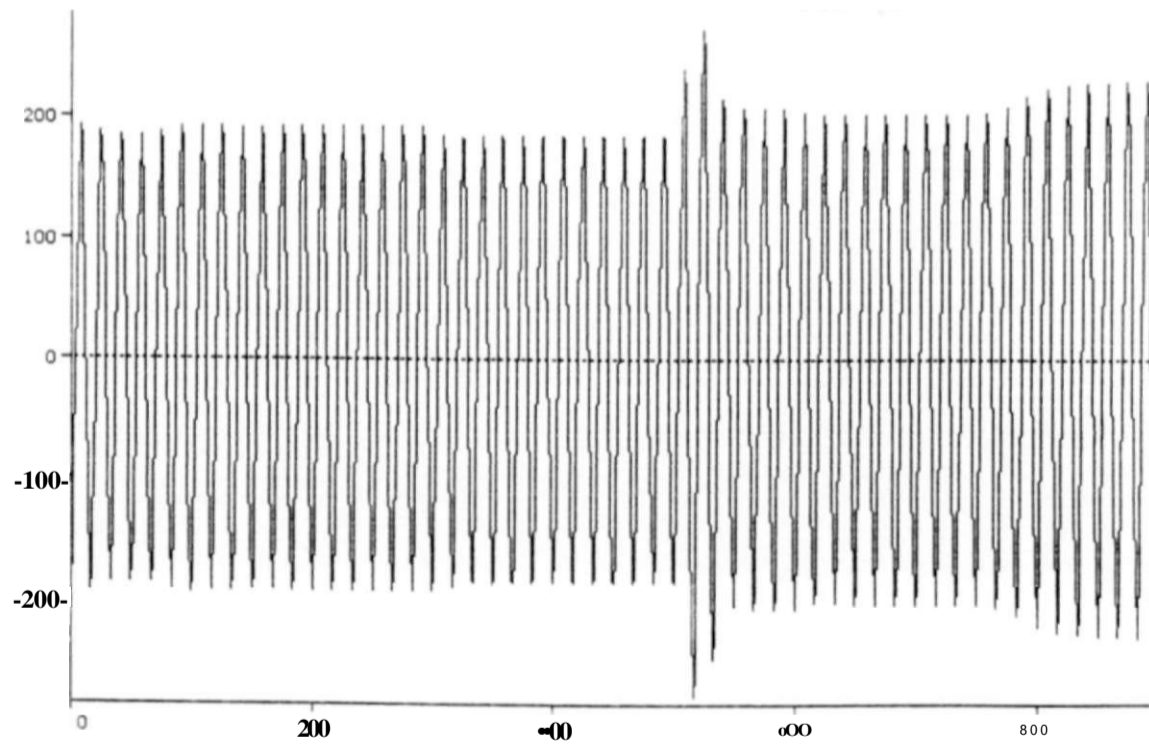
( 1) FC23A

t Cms]

9<sup>c</sup>\*J^II»0<sup>6</sup>?J\$y 52<sup>RTA</sup>WS5 ELIM. REJ. 100V. CARGA 69KU FTZ COM USUB E COM G  
TE^R8^1,8g0 F^RTALEZA F&SE-NEUTRO F^ASE\*\*A'

✓ CKU]

•9-May-97 14.52.35

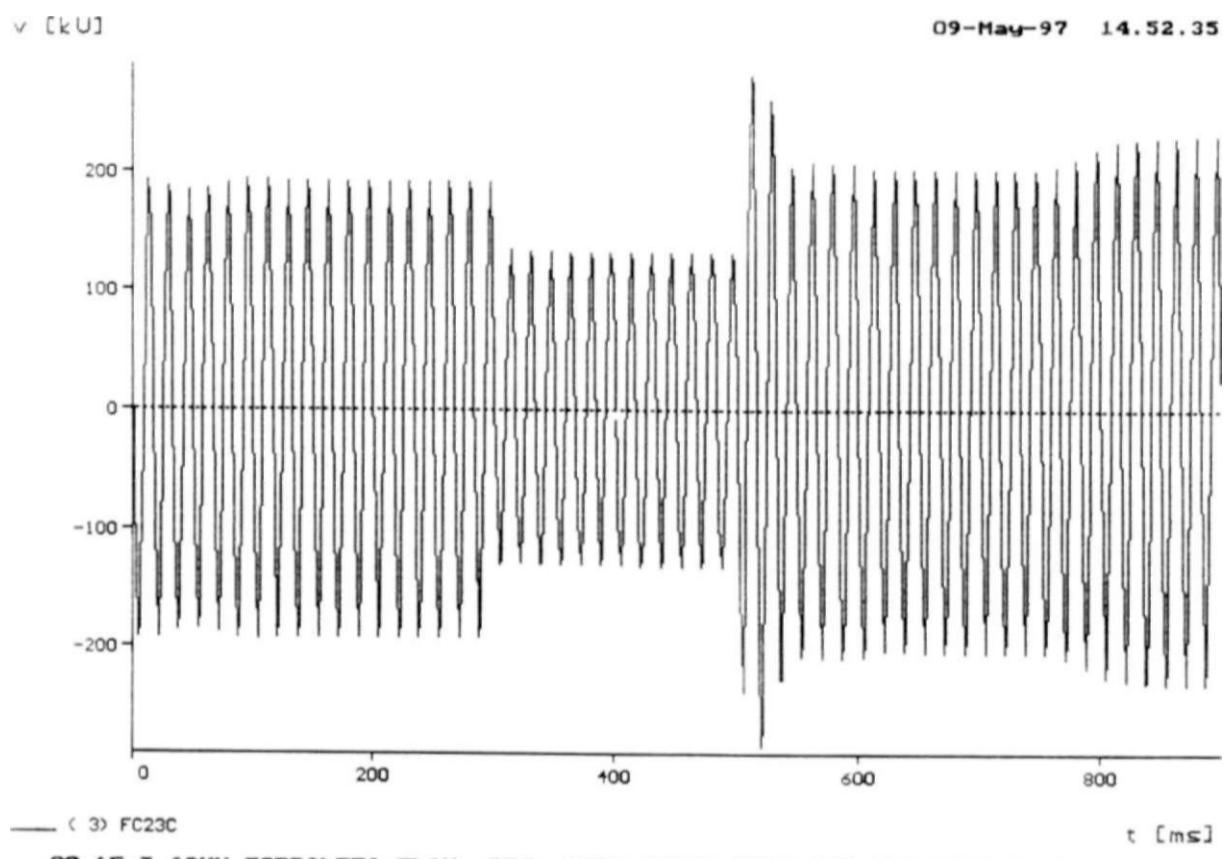


< 2) FC23B

t Cms]

FTMn5^P«\*?>ST o29<sup>T^</sup>^IS? ELIM. REJ. 100V. CARGA 69KU FTZ COM USUB E COM Q  
T^A O^S S u FORTALE^A FASE-NEUTRO FASE^B

print date: 9. May 1997

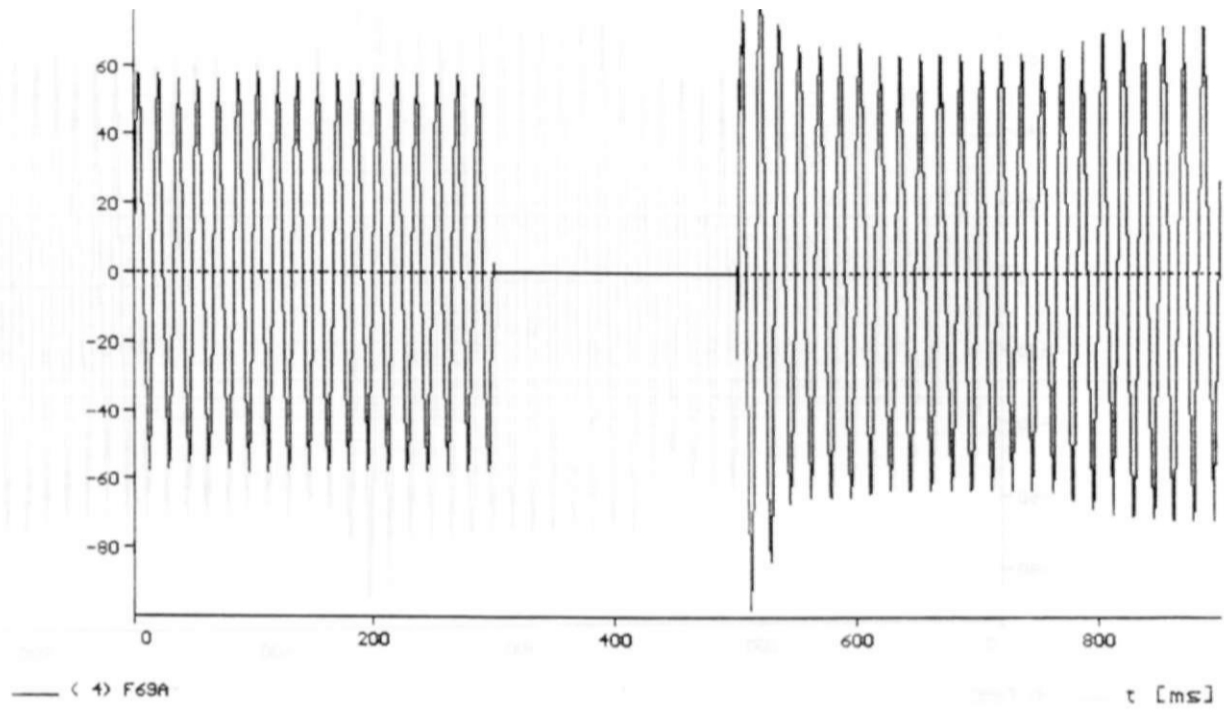


CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ COM USUB E COM G  
 FTM96P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEÚTRO FASE C

print date: 9. May 1997

v [kU]

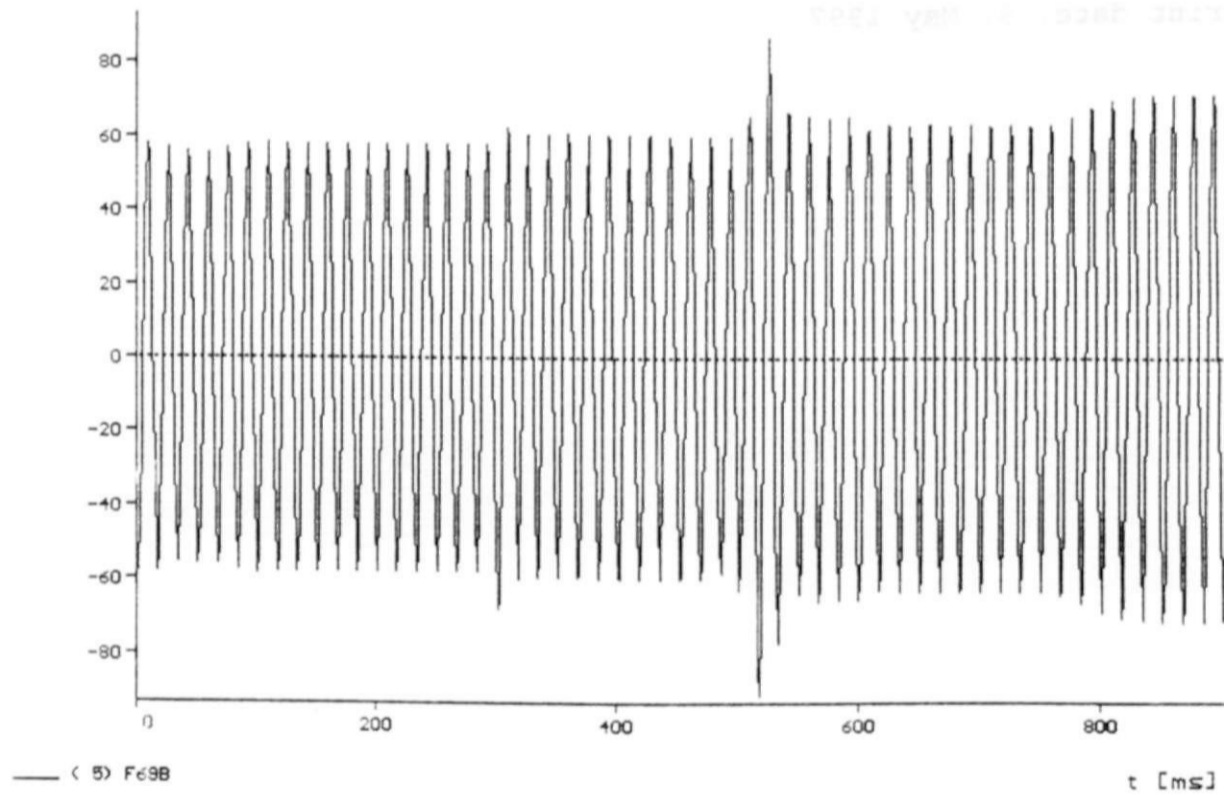
09-May-97 14.52.35



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ COM USUB E COM G  
FTMG96P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

v [kU]

09-May-97 14.52.35



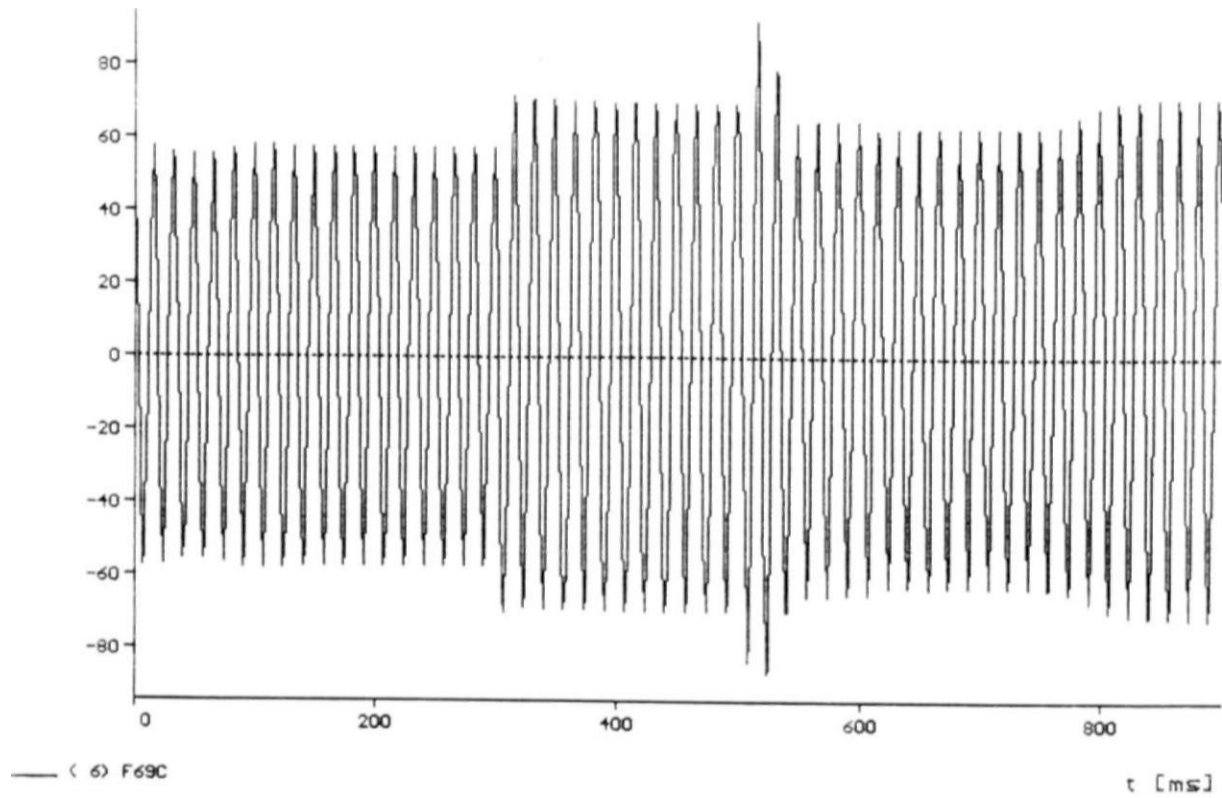
CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ COM USUB E COM G  
FTMG96P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997



v CKUJ

09-Mav\*-97 14.52.35



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ COM USUB E COM G  
FTM096P8.DAT RET. 20CS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

v CkU]

09-May-97 14.52.33

200

100-

0-

-100-

-200-

200

400

600

800

( 7> HLG23A

. . . . j

SHèliPfiSflV gg?T^kigf^HIO^gl^ÂII^ ^BCe DEZ/96 FTZ COM USUB E COM G  
TENSÃO 230KU N MÁXIMA -ASE A

v CkU]

09-May-97 14.32.35

200-

100-

0-

-100-

-200-

100

400

600

800

- < ' > "e-G23B

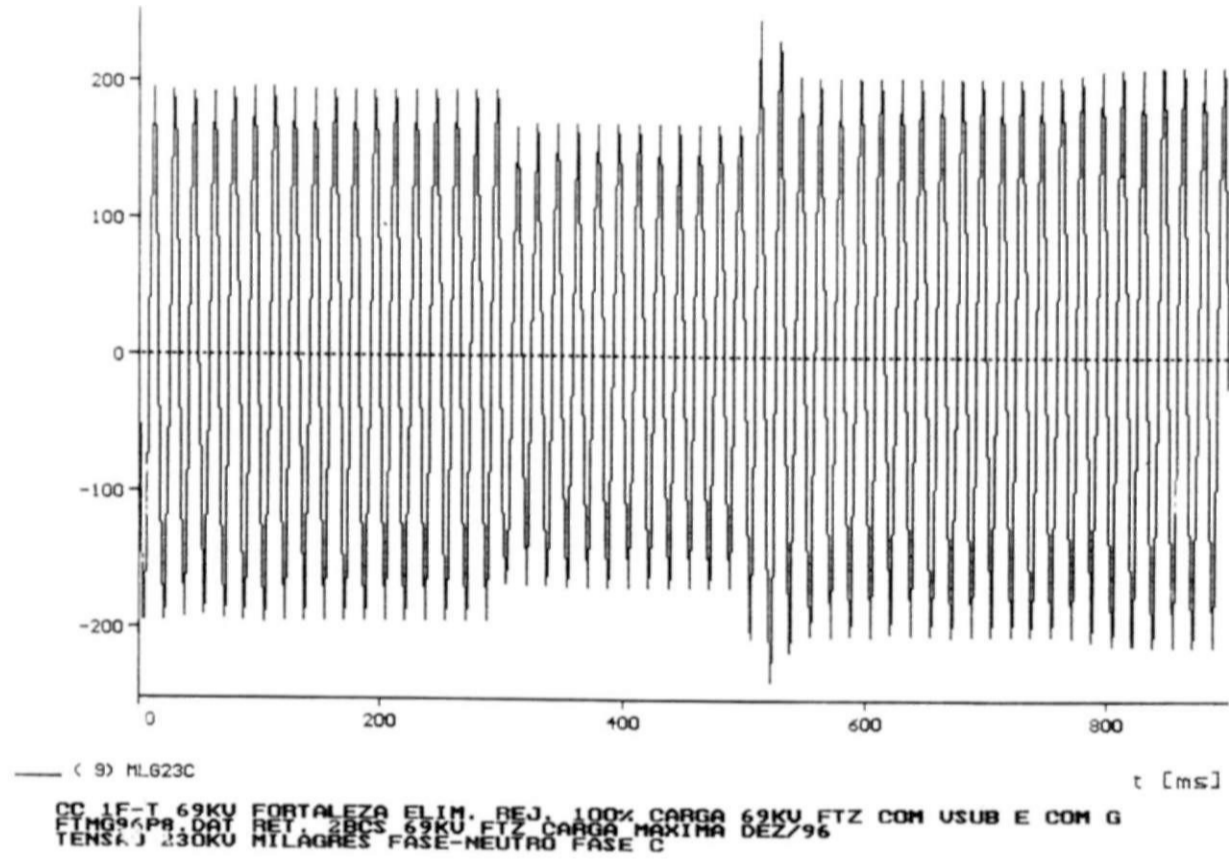
. . . . j

g? 1F-T 69KU FORTALEZA ELIN. REJ. IOOX CARGA 69KU FTZ COM USUB E COM Q  
TER?AO'I,8gu MI^LÂGRES^FASE-NEUTRO^FASE'^B'''' ^

print date: 9. May 1997

V CKUJ

09-Ha«-97 14.52.33



print date: 9. May 1997

v [CU]

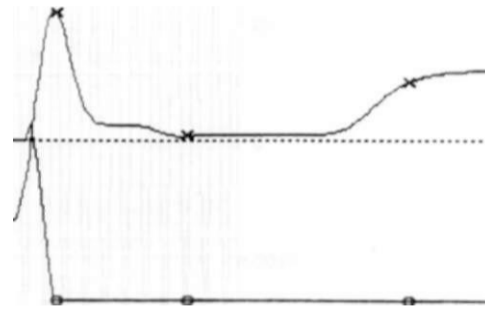
09-M-97 14.52.35

- 1

H

2H

-2H



200

400

600

800

(10) TACS - ENTPI

(11) TACS - SAIP

t [ms]

TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v [CU]

09-Na-97 14.52.35

6-1

2H

-2H

•4H

-6

200

400

600

800

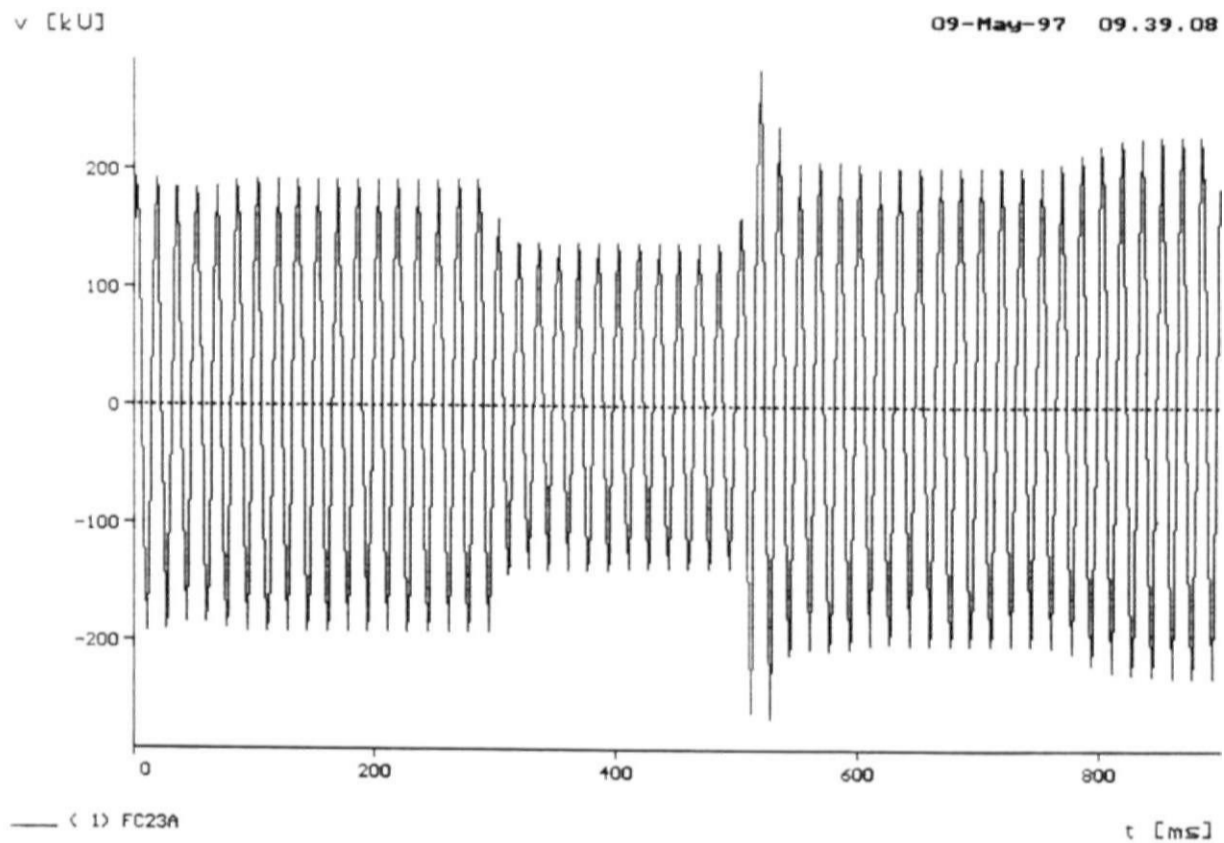
(17) TACS - ENTPI

(18) TACS - SAIPIM

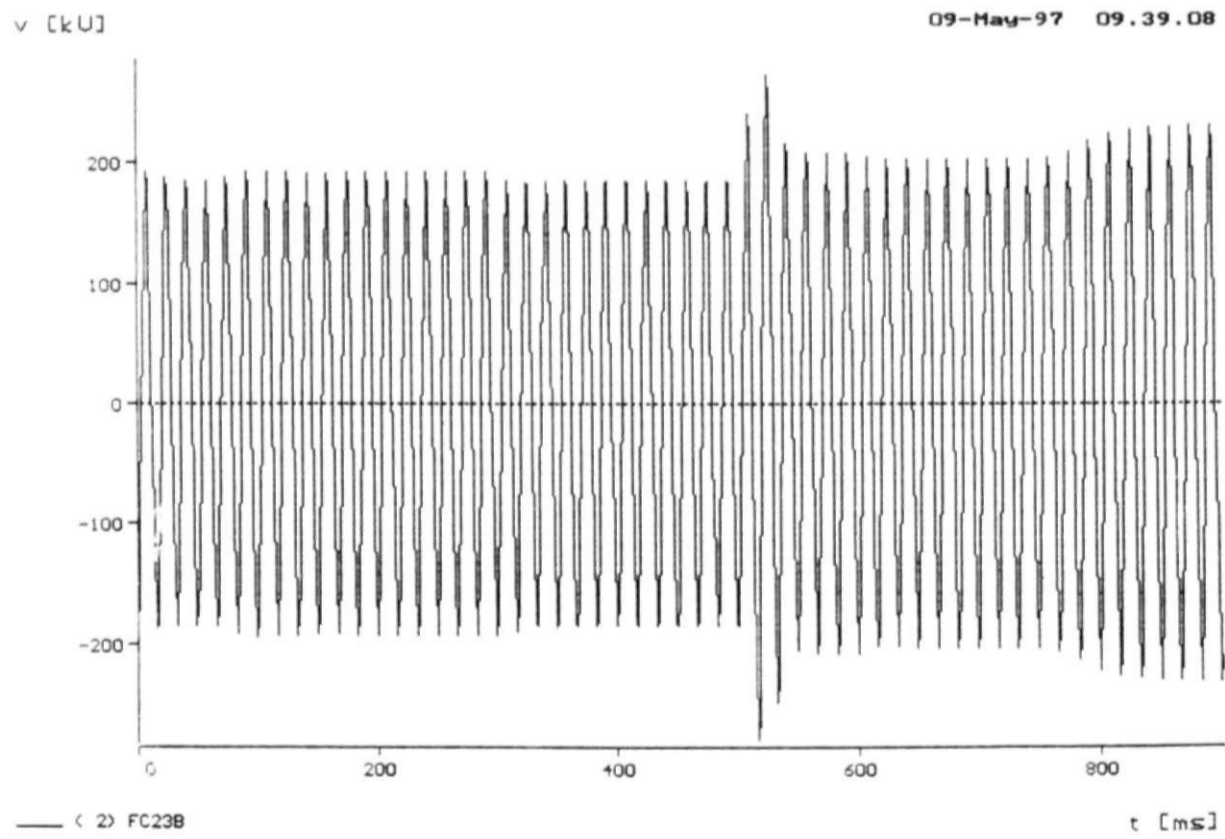
t [ms]

PC AELI, «?» KY, FORTALEZA, ELIN, REJ. GOV. CARGA 69KU FTZ CON USUB <E COM G  
 TI 25 A e, A R, I A, g I A A 69KU FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES

print date: 9. May 1997



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
 FTM096P8 DAT RET. 2803 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

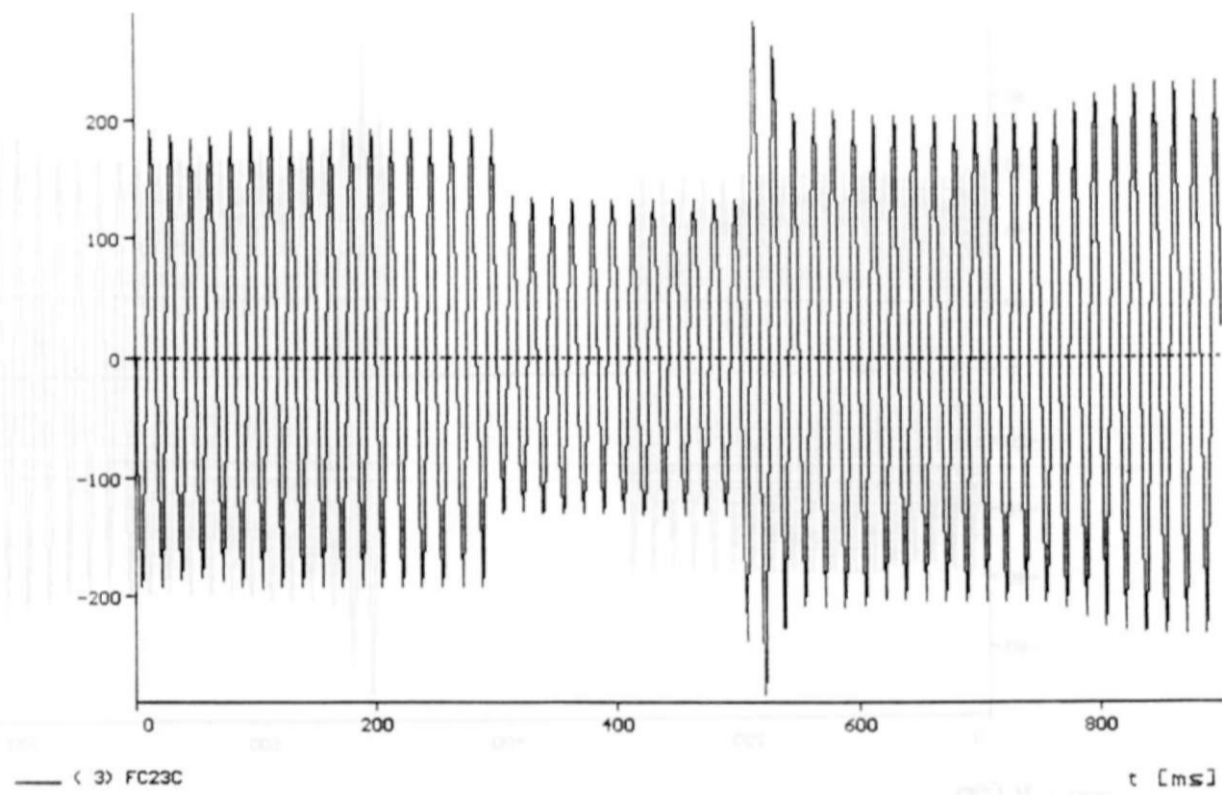


CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
 FTM096P8 DAT RET. 2803 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997

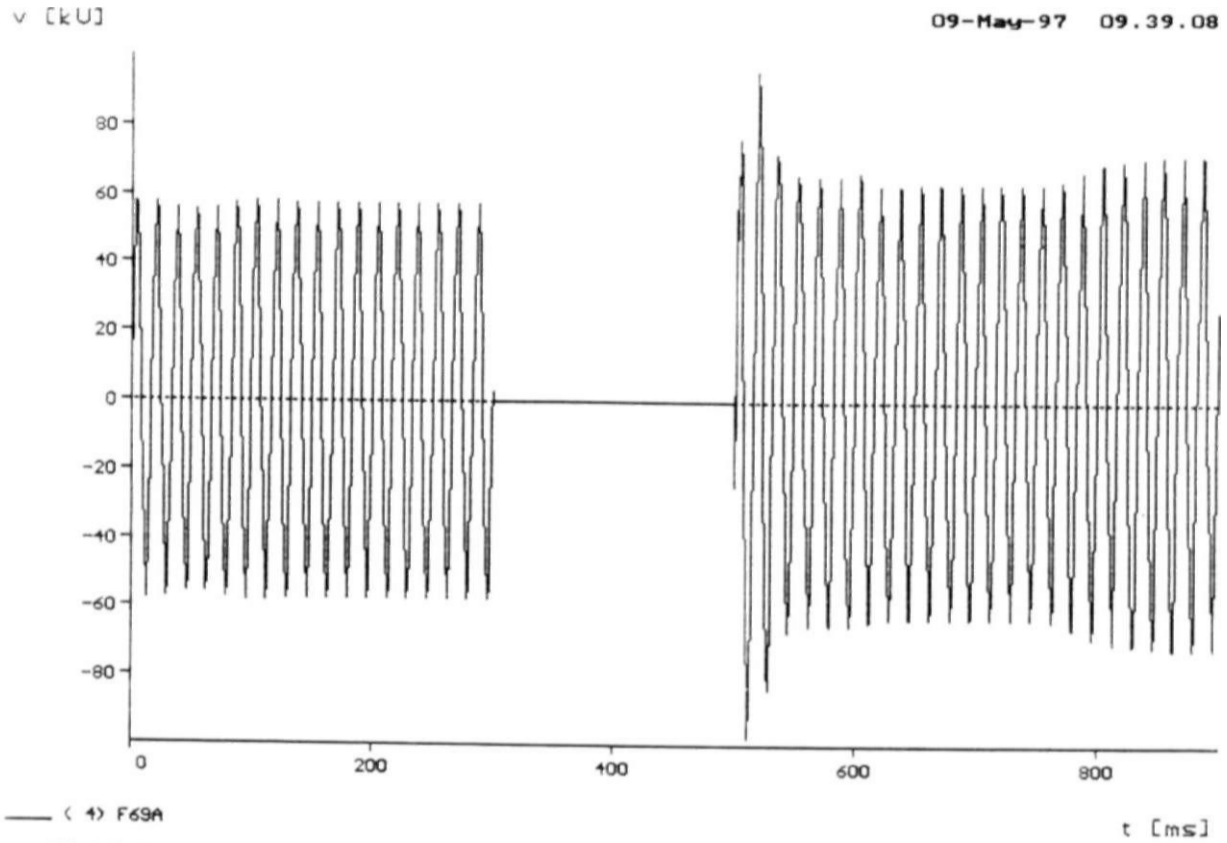
v CkU]

09-ria\\*-97 09.39.08

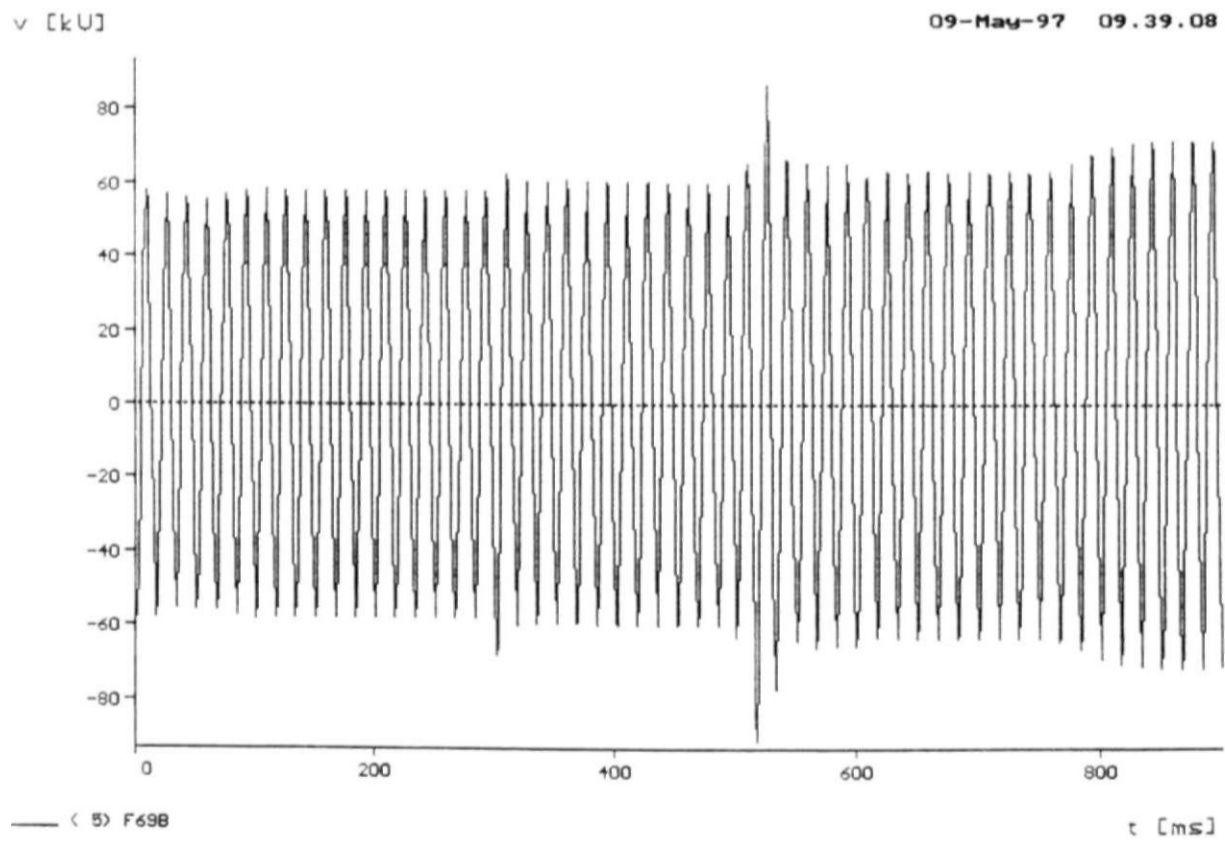


CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
FTM96P8.DAT RET. 28CS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
 FTM96P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
 FTM96P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

)rint date: 9. May 1997

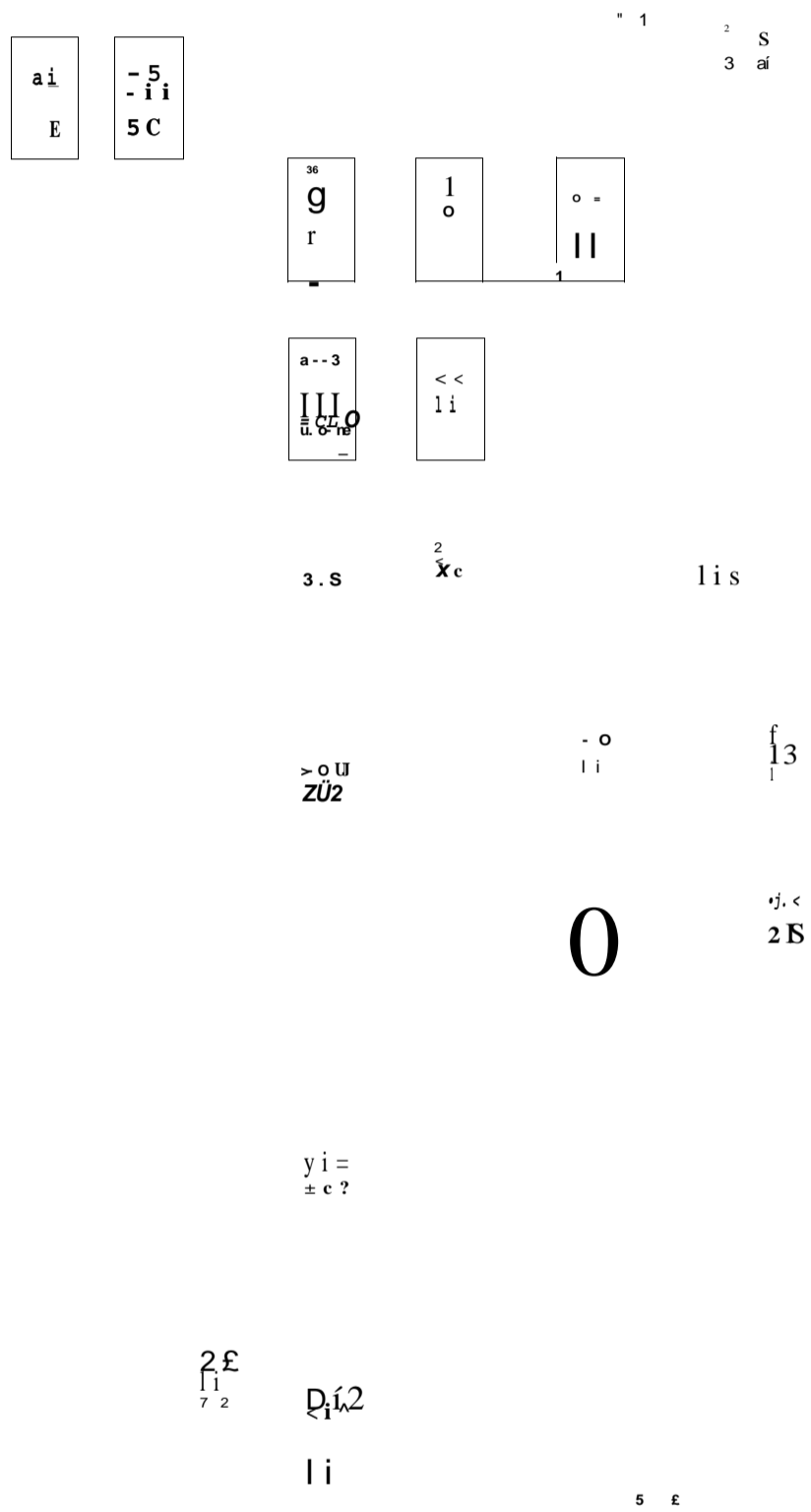
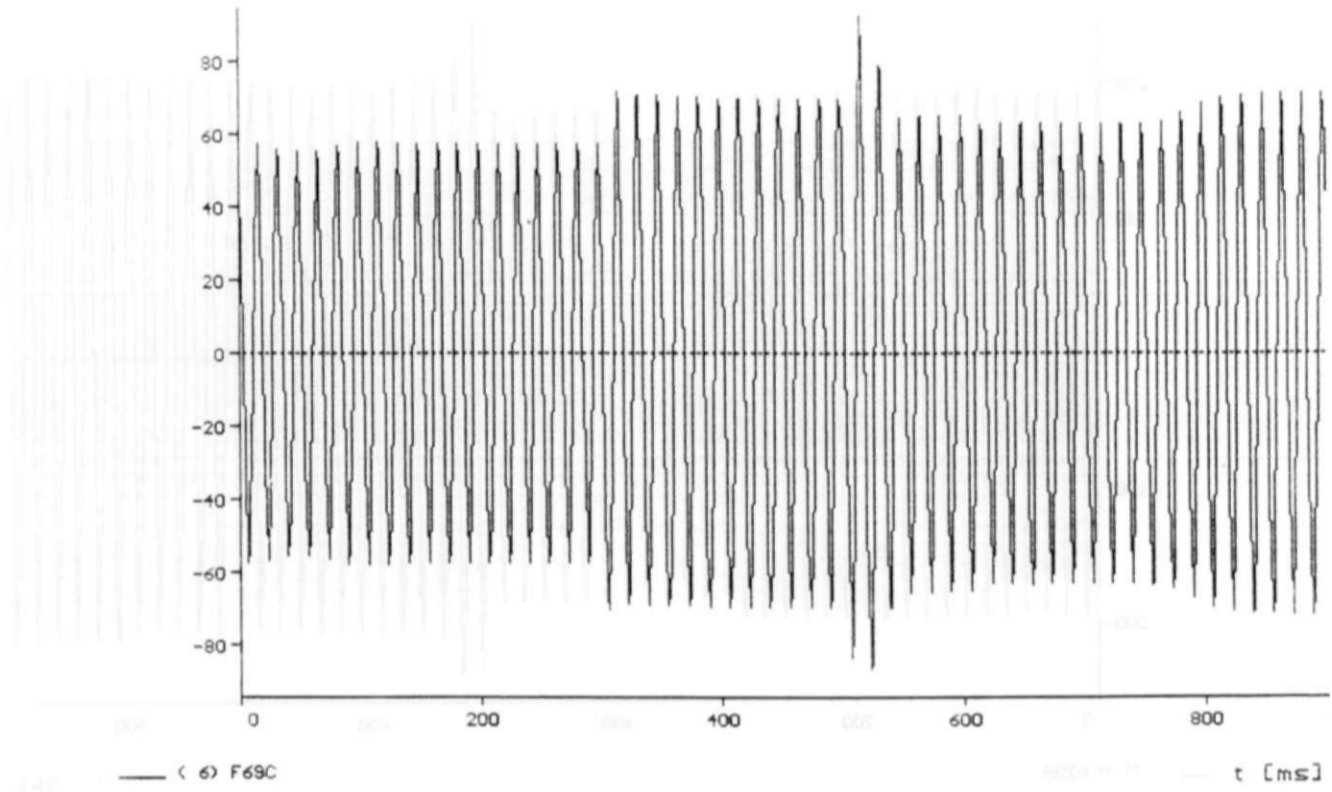


Fig.4.2 Diagrama de blocos simplificado do sistema de controle dos CEs Fortaleza e Milagres.



NO. PE. IV [kU]

09-May-97 09.39.08



CC 1F-T 69KU FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KU FTZ COM USUB SEM G  
FTM96P8.DAT RET. 2BCS 69KU FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 69KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

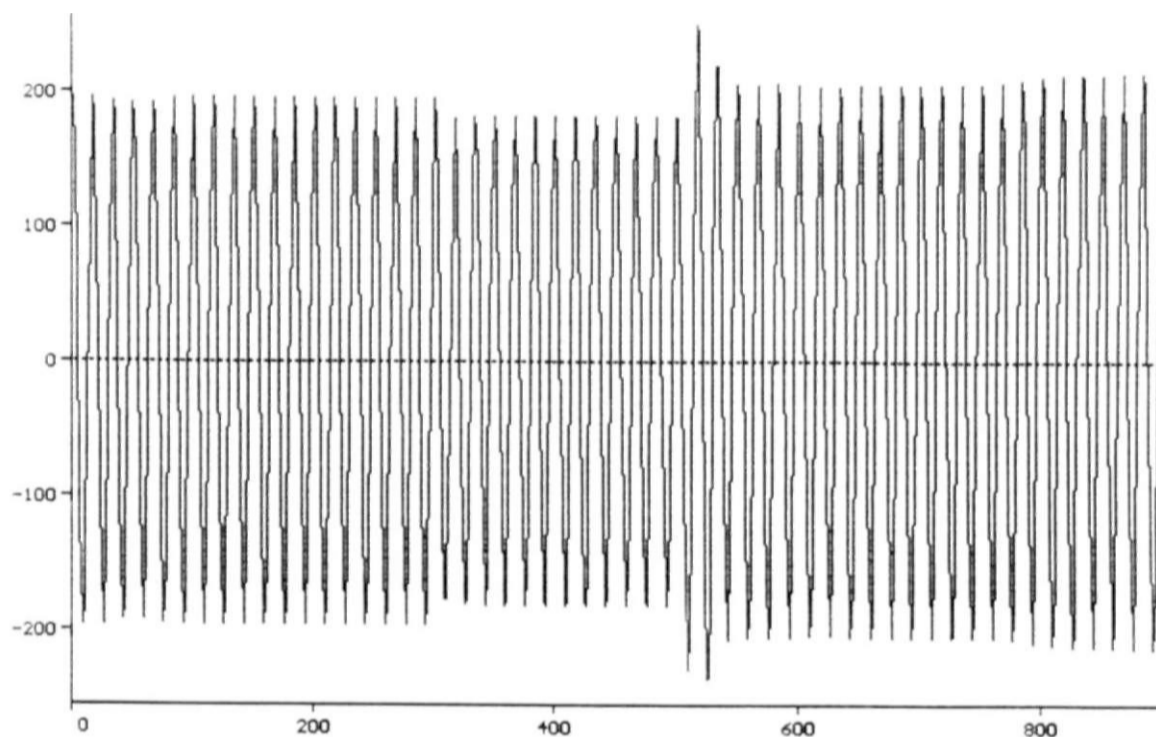


[Faint text at the bottom of the page, possibly a footer or additional data labels.]

print date: 9. May 1997

v [kV]

09-May-97 09.39.08



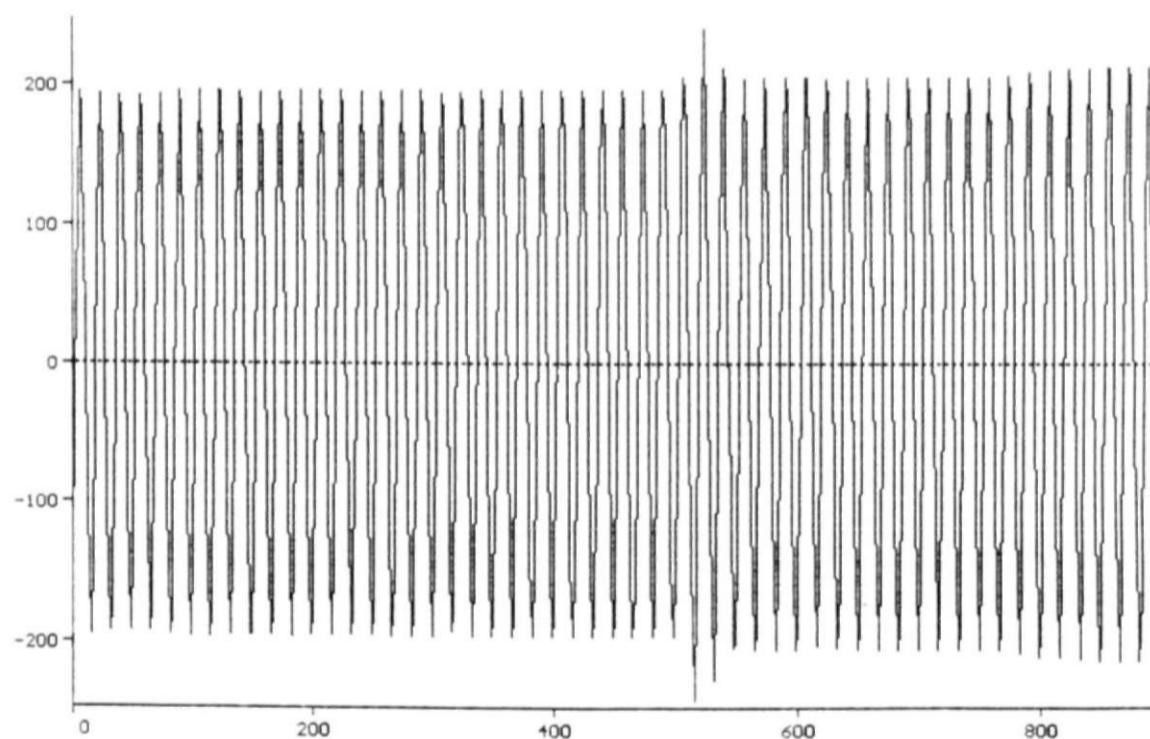
— ( 7 ) ML623A

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
FTM096P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV HILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

v [kV]

09-May-97 09.39.08

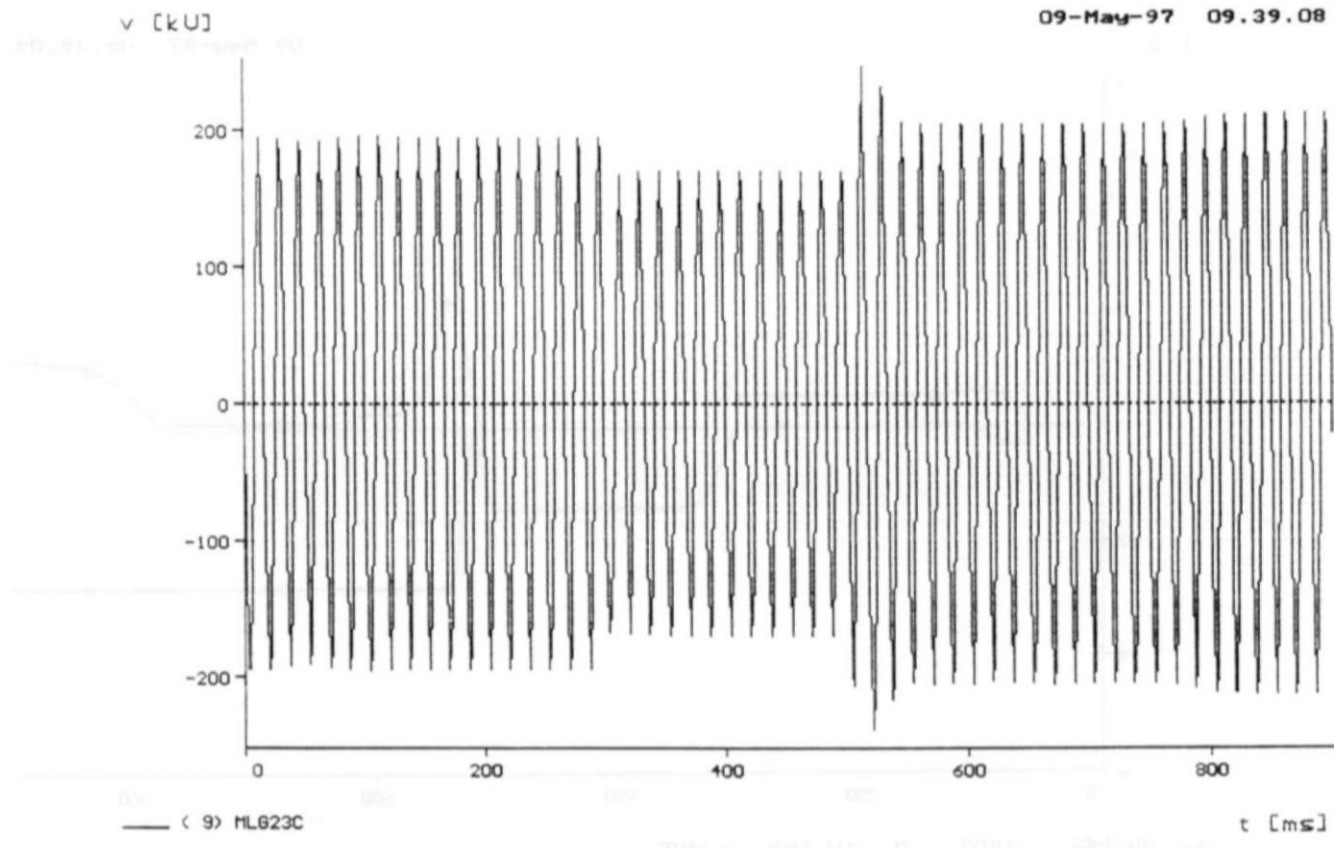


— ( 8 ) ML623B

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
FTM096P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV HILAGRES FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
 FTH096P8.DAT RET. 2803 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 1005 CARGA 69KV FTZ COM USUB SEM G  
 FTH096P8.DAT RET. 2803 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

v CUJ

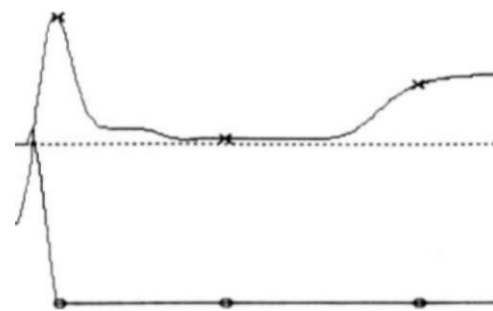
09-Na\f-97 09.39.08

4 -

2 -

-2 -

-4 -



200

400

600

800

(10) TACS - ENTPI

(11) TACS - SAJPI

t Cms]

CC 1F-T 69KU FORTALE  
FTHG96P8.DAT RET 2  
TENSOES DE ENTRADA I SAIDA DO

69KU FTZ COM USUB SEM Q  
DEZ/96  
DO CE FORTALEZA

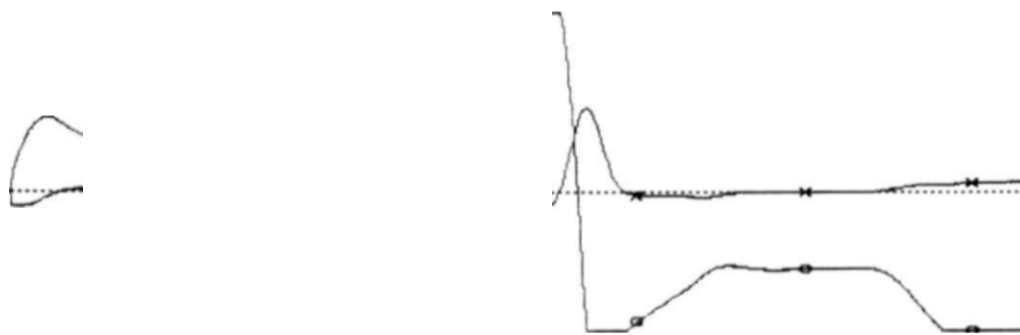
v CUJ

09-N«v-97 09.39.08

6 -

2 -

-2 -



200

400

600

800

(17) TACS - ENTPI

(18) TACS - SAIPIM

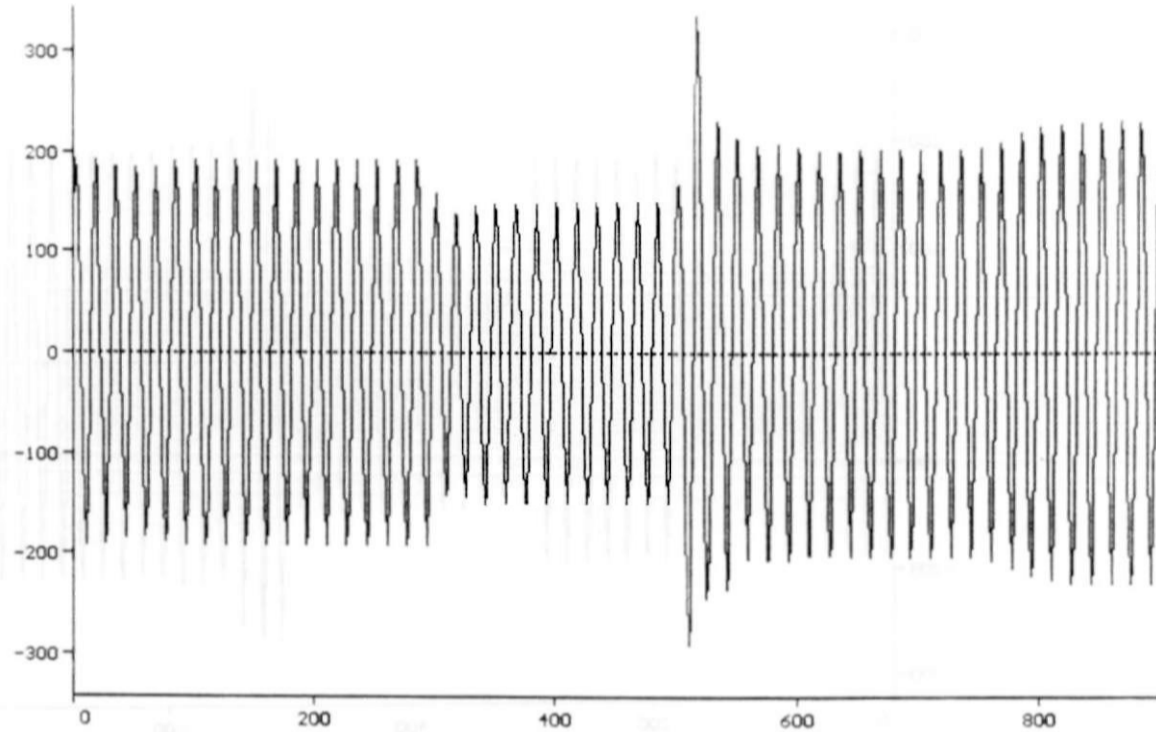
t Cms]

4-3M A 5L P 11 P 5 2 FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRKS

print date: 9. May 1997

v [kU]

09-May-97 14.10.21



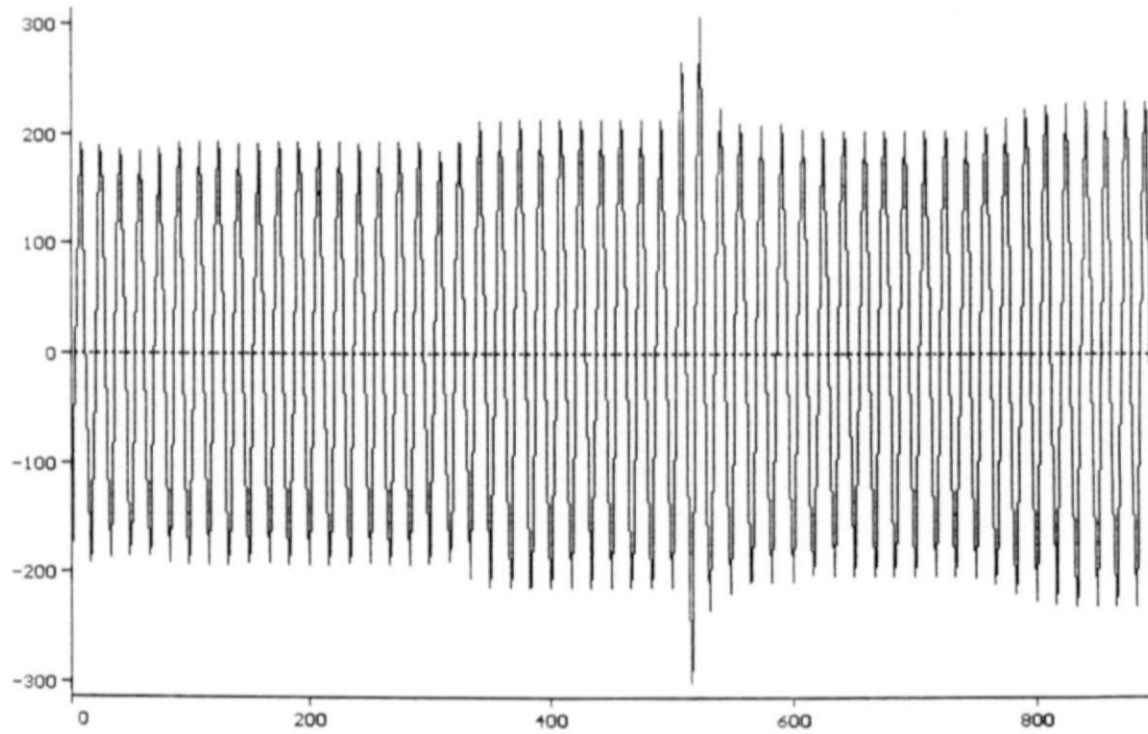
( 1 ) FC23A

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. BEJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTMG96P8.DAT RET. 28CS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

v [kU]

09-May-97 14.10.21



( 2 ) FC23B

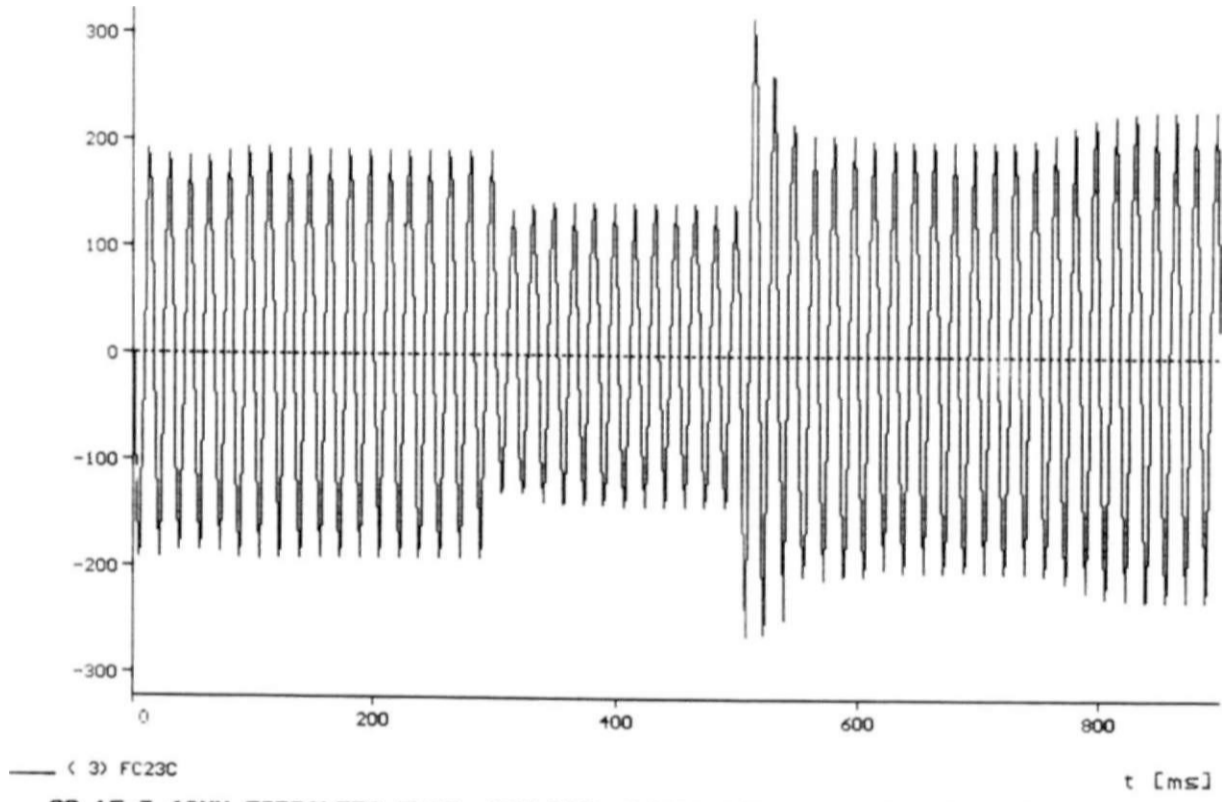
t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. BEJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTMG96P8.DAT RET. 28CS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997

v [CKU]

•9-M»y-97 14.1Q.21

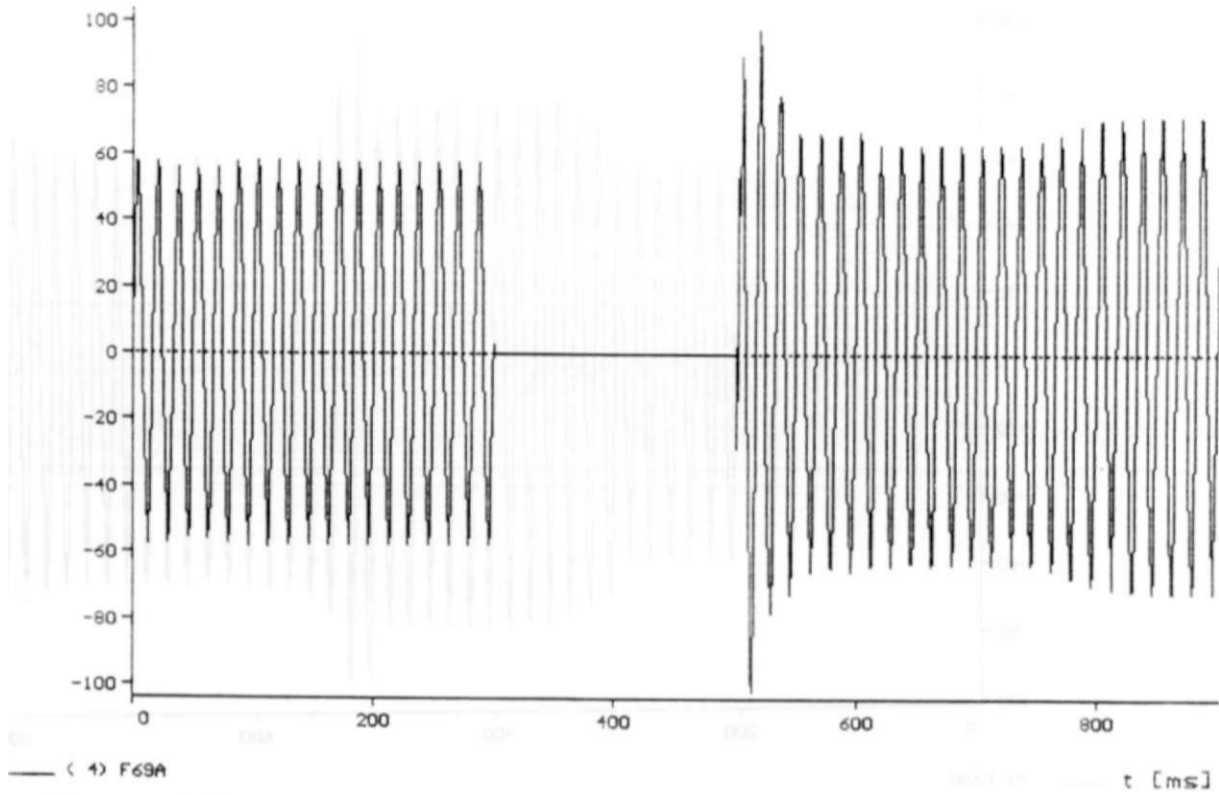


CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTM096P8.DAT REI. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

v [kV]

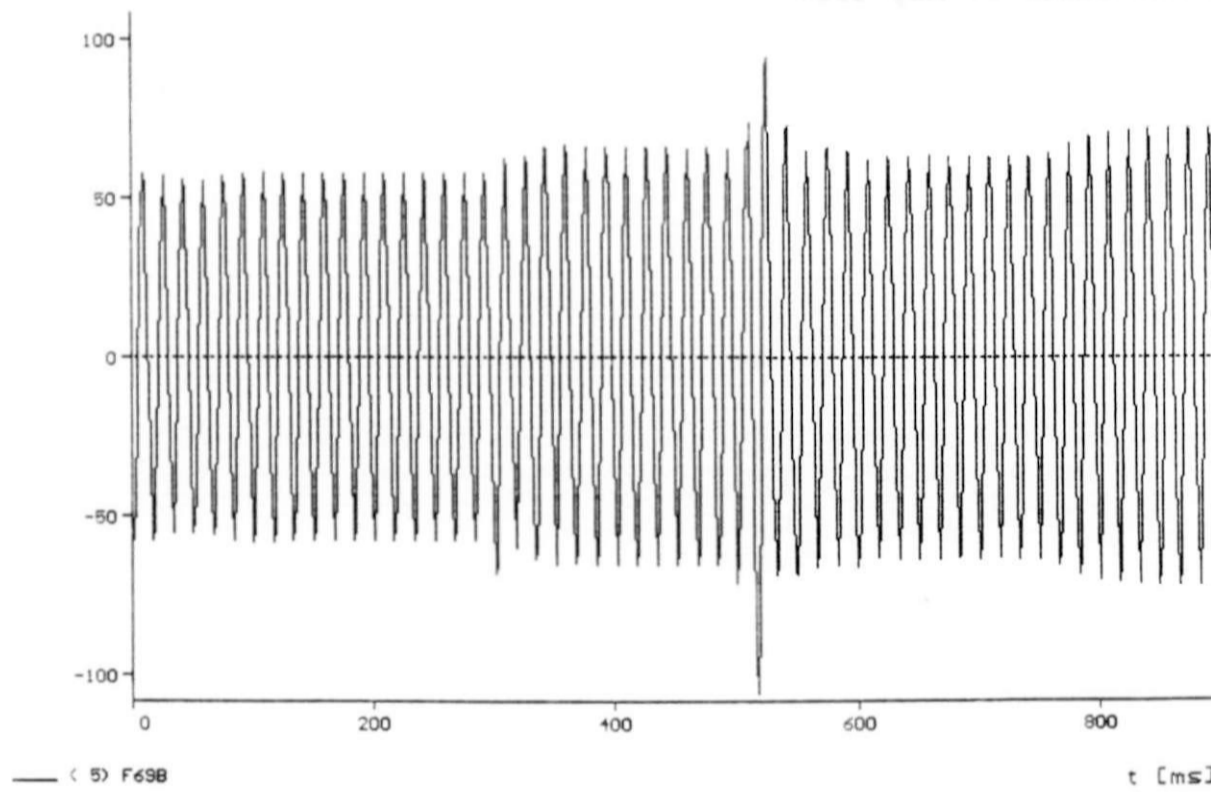
Q9-M»\*-97 14.10.21



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTM096P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

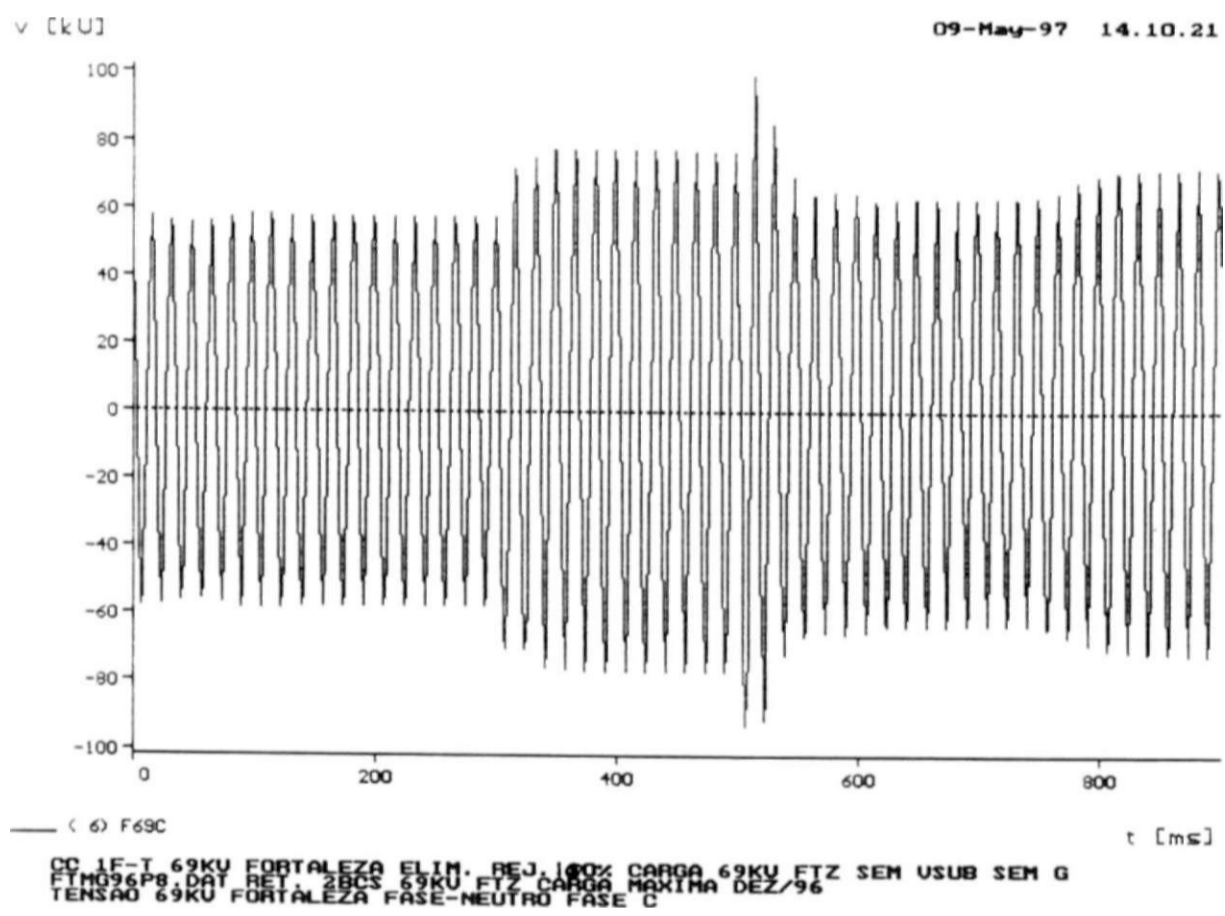
v [kV]

09-May-97 14.10.21



CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTM096P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

date: 9. May 1997

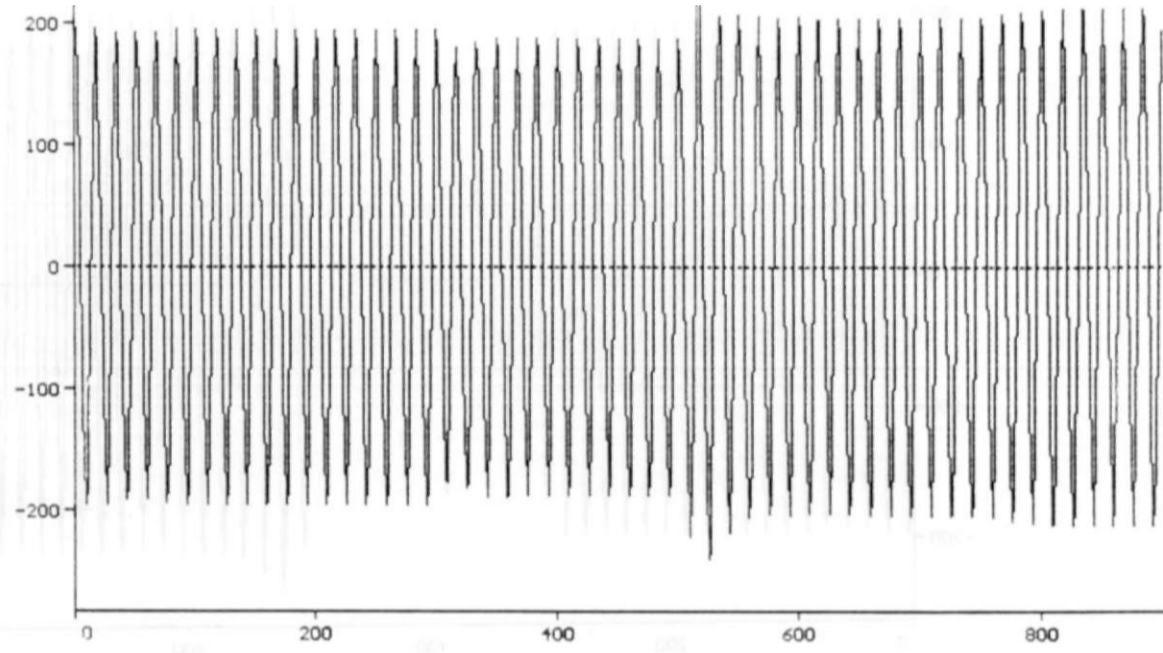


print date: 9. May 1997



v CKUJ

09-May-97 14.10.21



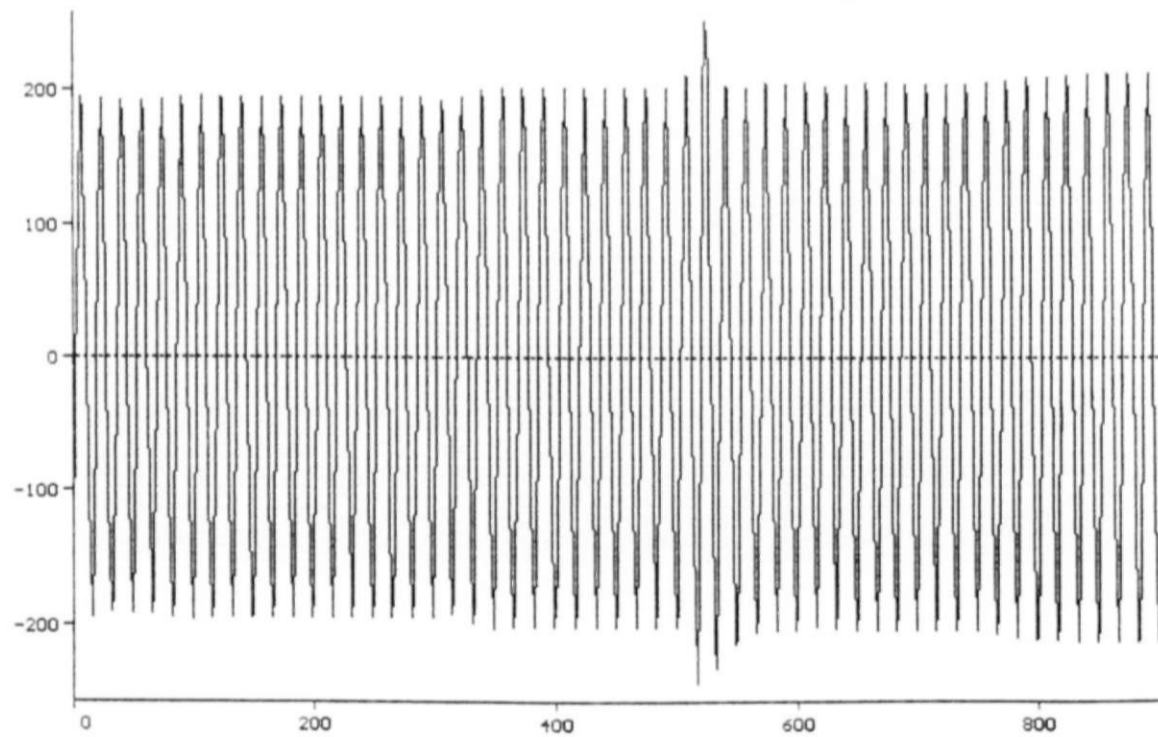
— ( 7 ) MLG23A

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTM096P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

v [kV]

09-May-97 14.10.21



— ( 8 ) MLG23B

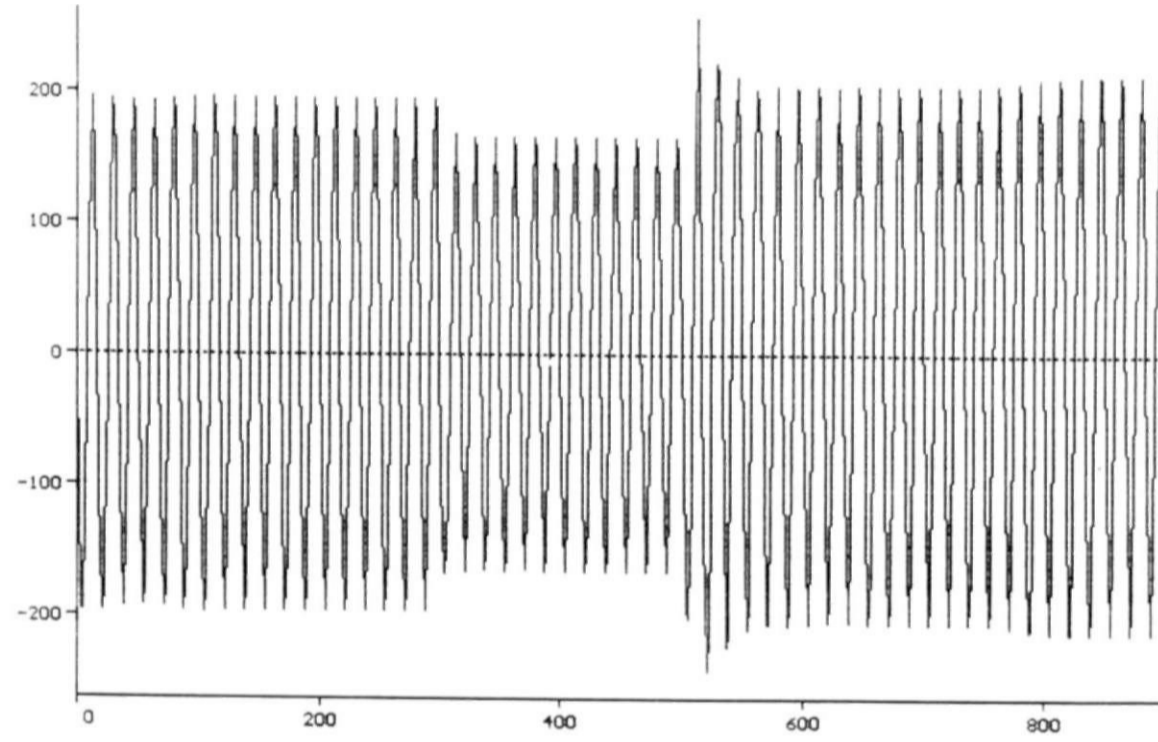
t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTM096P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997

v CKUJ

09-Mav-97 14. 10.21



— ( 9) HL623C

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV FTZ SEM USUB SEM G  
FTM96P8.DAT RET. 2BCS 69KV FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV HILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

#### 4.2.2 - Equipamentos de Potência

Os compensadores estáticos de Milagres e Fortaleza são do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo, com potências nominais de 70MVAR indutivos a 100MVAR capacitivos (CE Milagres) e 140MVAR indutivos a 200MVAR capacitivos (CE Fortaleza). Seus limites de potência nominal foram determinados durante os estudos de planejamento, de forma que durante as contingências selecionadas como as mais críticas, as tensões em suas barras de conexão com o sistema de transmissão se mantivesse dentro dos limites estabelecidos em projeto ( $\pm 5\%$  de variação com relação ao valor nominal). Diagramas unifilares destes equipamentos são mostrados nas Figs. 3.2a e b. sendo os equipamentos de potência dos compensadores representados no ATP através dos modelos convencionais (reatores, transformadores, bancos de capacitores). Maiores detalhes relativos a esta modelagem são fornecidos no decorrer deste trabalho.

#### 4.3 - Sistema de controle dos CEs Milagres e Fortaleza

##### 4.3.1 - Introdução

Conforme estabelecido em [13], a existência de equilíbrio entre a potência reativa produzida e a consumida representa a garantia de um perfil de tensão constante em um sistema de transmissão de energia elétrica. Por outro lado, sempre que forem registradas variações nos módulos das tensões, significa que o equilíbrio entre as potências reativas gerada e consumida foi momentaneamente quebrado para aquele sistema.

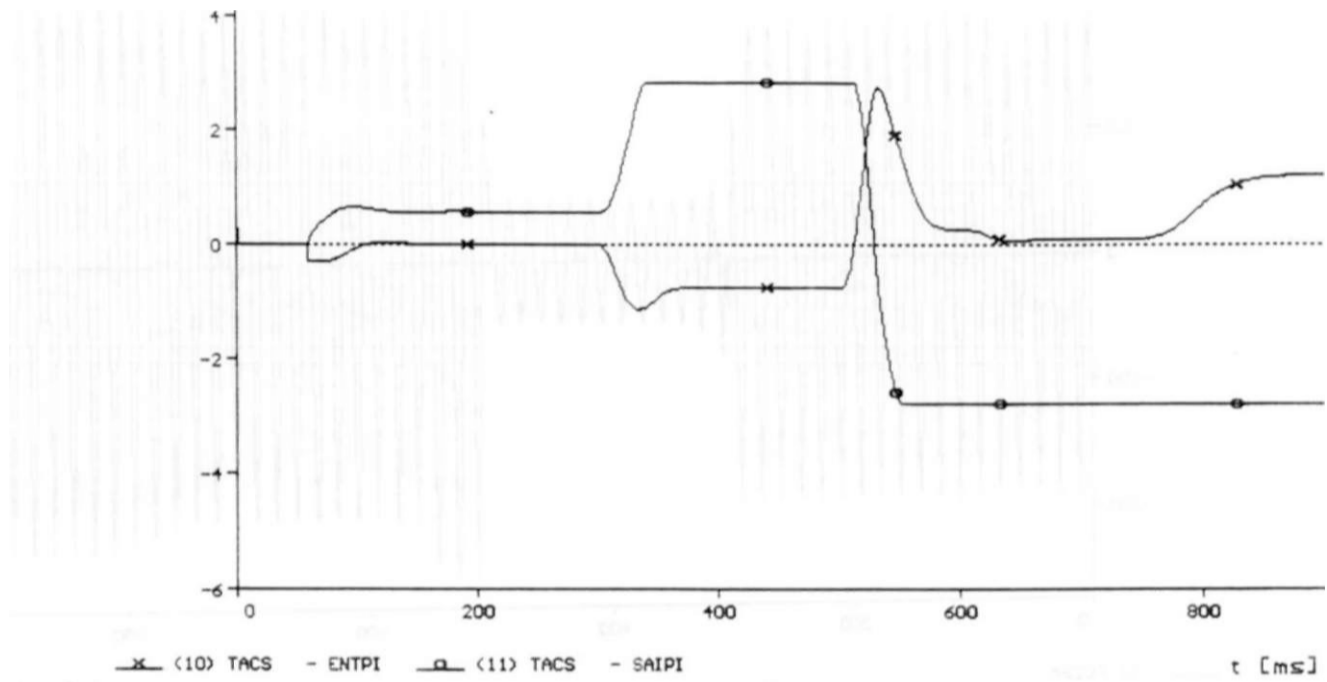
Para uma análise qualitativa simplificada do comportamento do módulo da tensão no terminal receptor frente a variações nos valores de potência ativa e reativa, foi utilizado o sistema de transmissão composto por duas barras, uma carga e um gerador, conforme ilustrado na Fig.4.3, com  $V_1$  e  $V_2$  representando as tensões nas barras 1 e 2, respectivamente,  $Z_{LT}$  representando a impedância da linha de transmissão,  $I$  representando a corrente da linha e a potência complexa sendo representada pelo parâmetro  $S = P + jQ$ . Sem perda de generalidade, foram adotadas as seguintes hipóteses simplificadoras:

- a) A tensão da barra 1, escolhida como tensão de referência, foi mantida constante, independentemente das variações de carga ocorridas no restante do sistema.
- b) A parcela resistiva da impedância da linha de transmissão que conecta as duas barras foi considerada nula, e nesta situação, a impedância da linha de transmissão é expressa por  $Z_{LT} = jX$ , sendo  $X$  a reatância indutiva da linha de transmissão representada.
- c) A potência complexa no terminal receptor é  $S = P + jQ$ . Como foi desprezada a resistência da linha, isto não implica em nenhuma aproximação adicional com relação a  $P$ , que será, nesta situação, o mesmo nos terminais da fonte e da carga. Entretanto, devido à existência de perdas reativas na reatância da linha, isto implica em uma aproximação adicional com relação a potência reativa  $Q$ , que será um pouco maior no terminal do gerador, de forma a compensar tais perdas. Esta hipótese simplificadora destina-se apenas a destacar os aspectos físicos do sistema analisado e não implica, entretanto, em qualquer perda de generalidade das conclusões aqui obtidas.

v CUJ

09-May-97 14.10.21

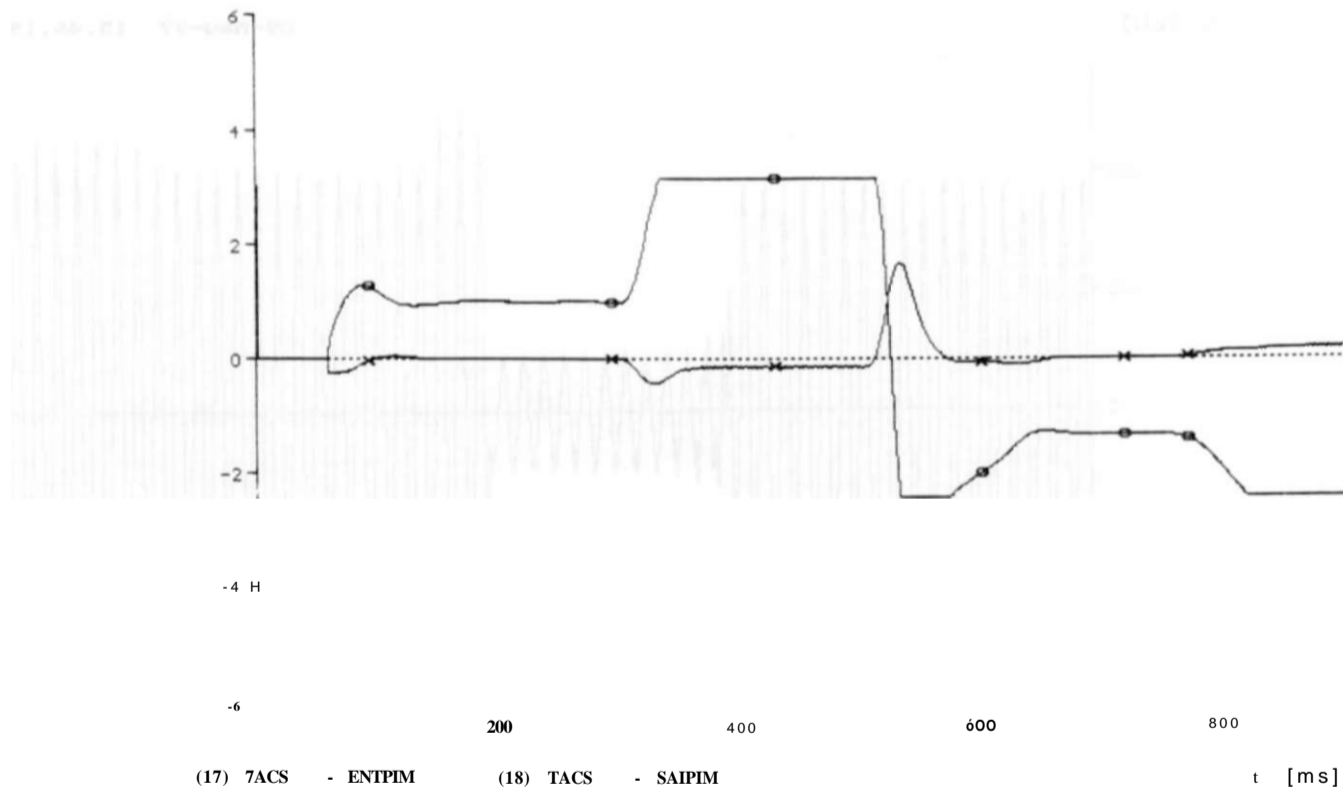
61



CC 1F-T 69KU FORTALEZA ELIM. REJ. 10.0% CARGA 69KU FTZ SEM USUB SEM G  
FTMG96P8.DAT RET. 2BCS 69KU FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v [U]

09-May-97 14.10.21

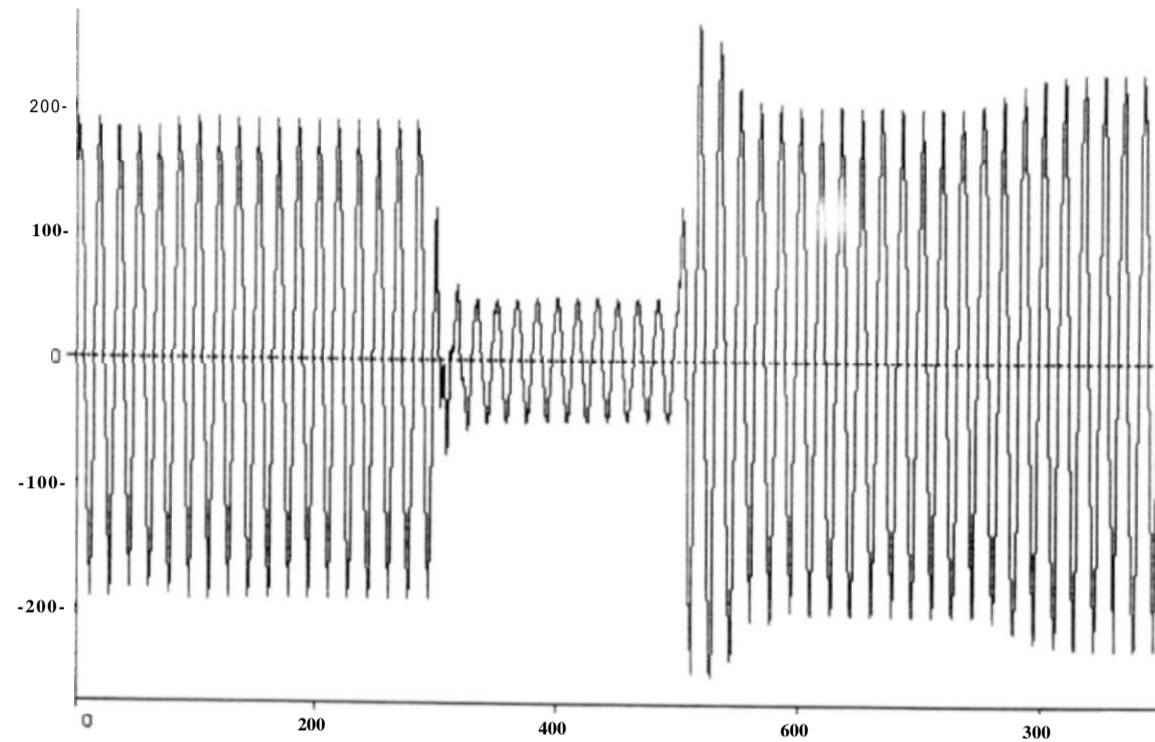


CC 1F-T 69KU FORTALEZA ELIM. REJ. 10.0% CARGA 69KU FTZ SEM USUB SEM O  
FTMG96P8.DAT RET. 2BCS 69KU FTZ CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE NITAGRES

print date: 9. May 1997

Ck]

09-M»v-97 13.46.19



< 1> TC23A

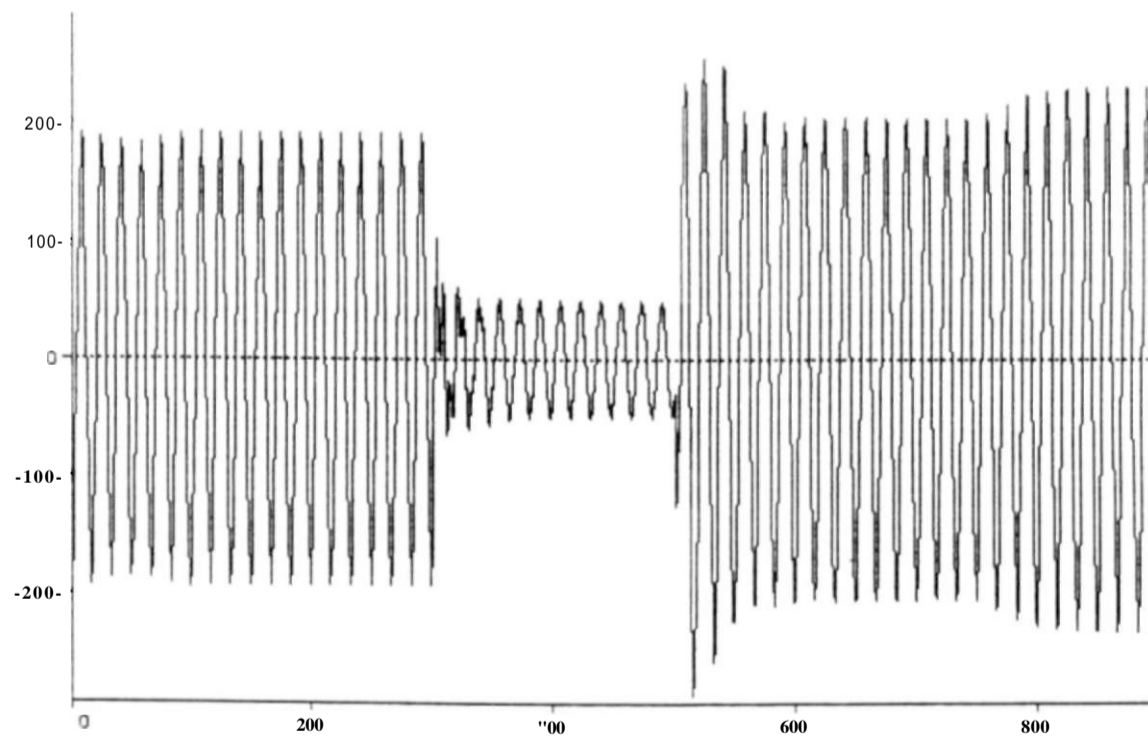
t Cms3

LF-T 6 F OF  
*Hi*

CARGA 69KU COM USUB  
RO FASE A

V CKU]

09-M»\*\*-97 13.46.19



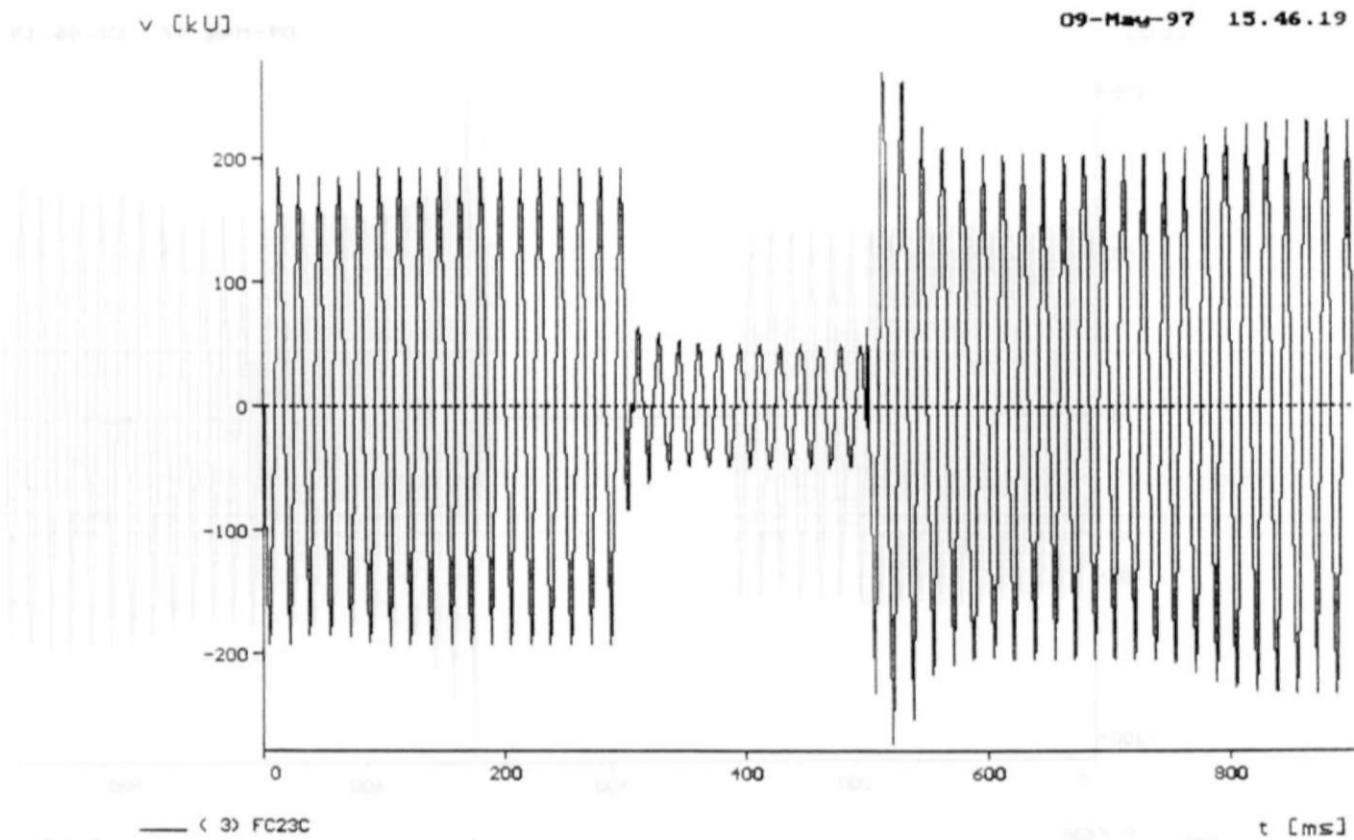
< 2> FC23B

t Cms]

CC 1F-T 69KU FORTALEZA  
FTMG96L1.DAT CAR  
TENSÃO 230KU FORT

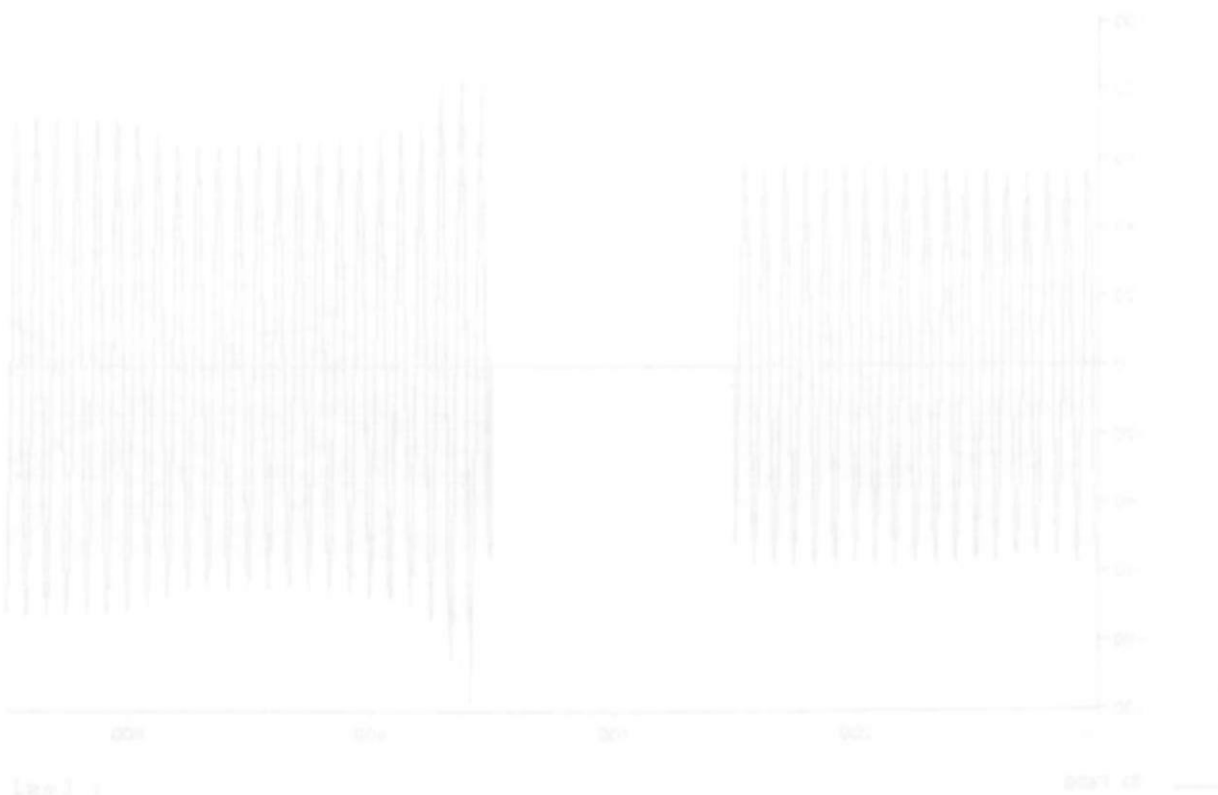
CARGA 69KU CON USUB  
FASE B

print date: 9. May 1997



CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
 FTMG26L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997



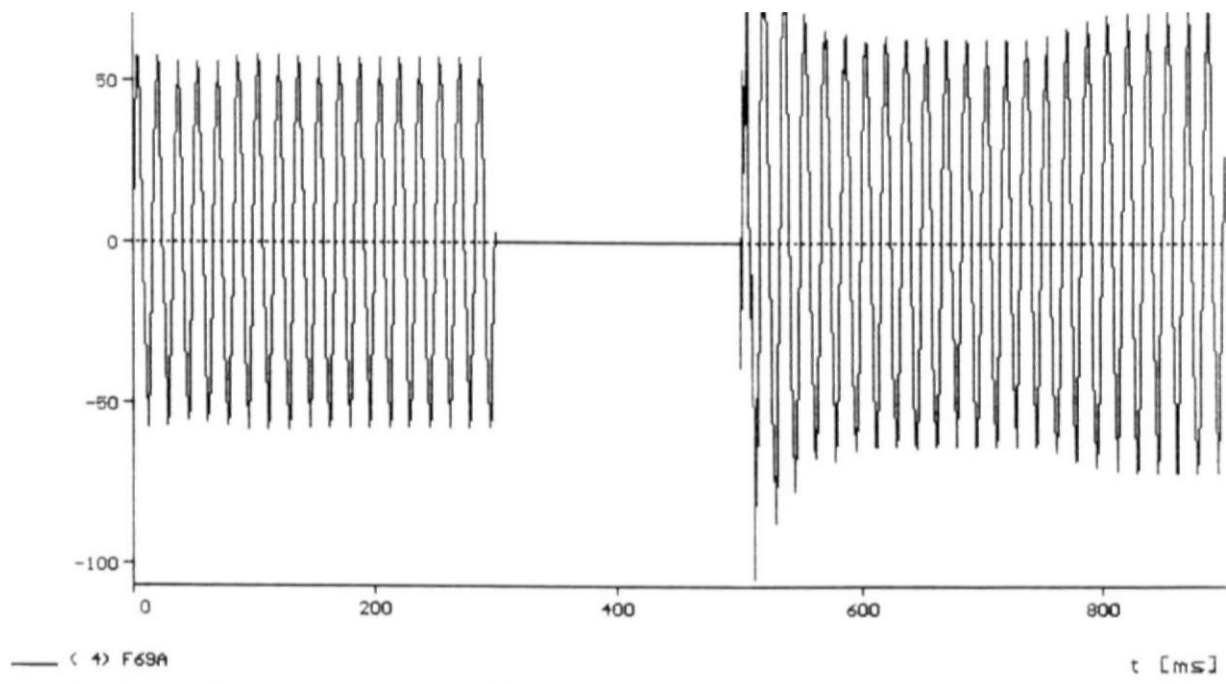
CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
 FTMG26L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9 May 1997

v CKU]

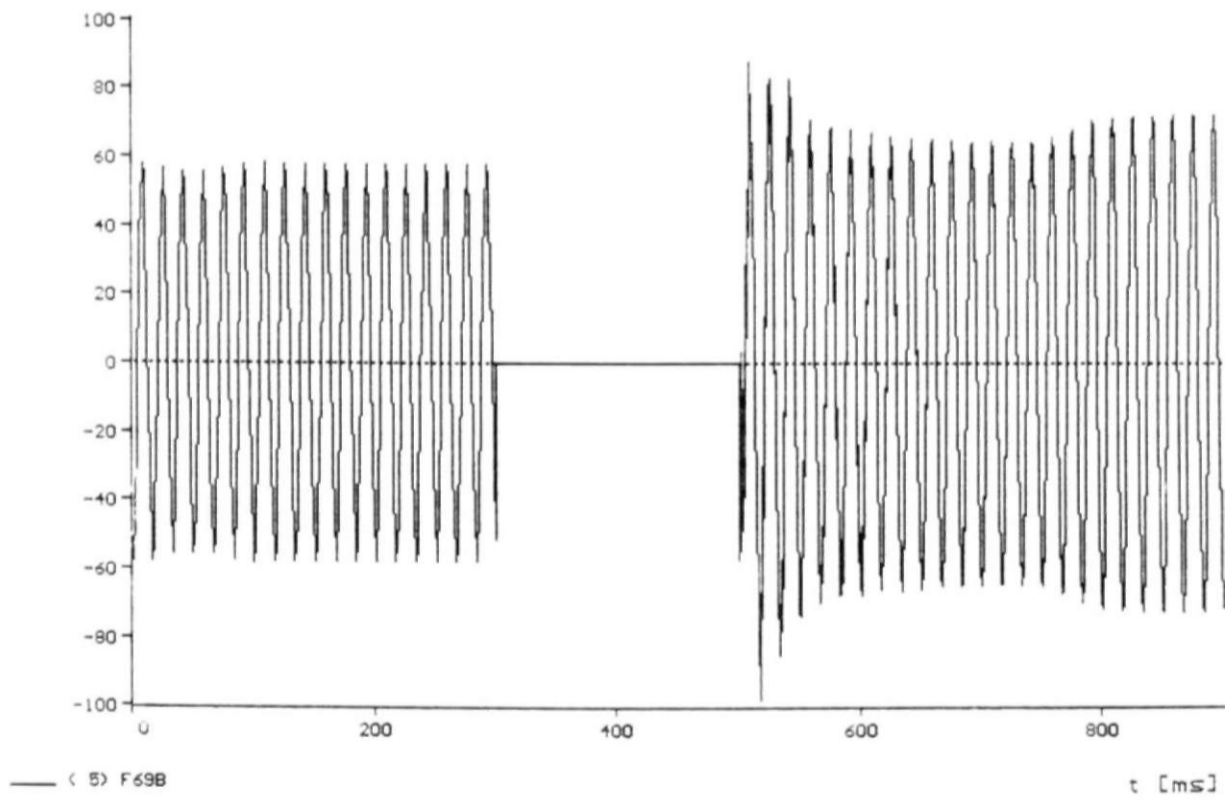
09-May-97 15.46.19

100-

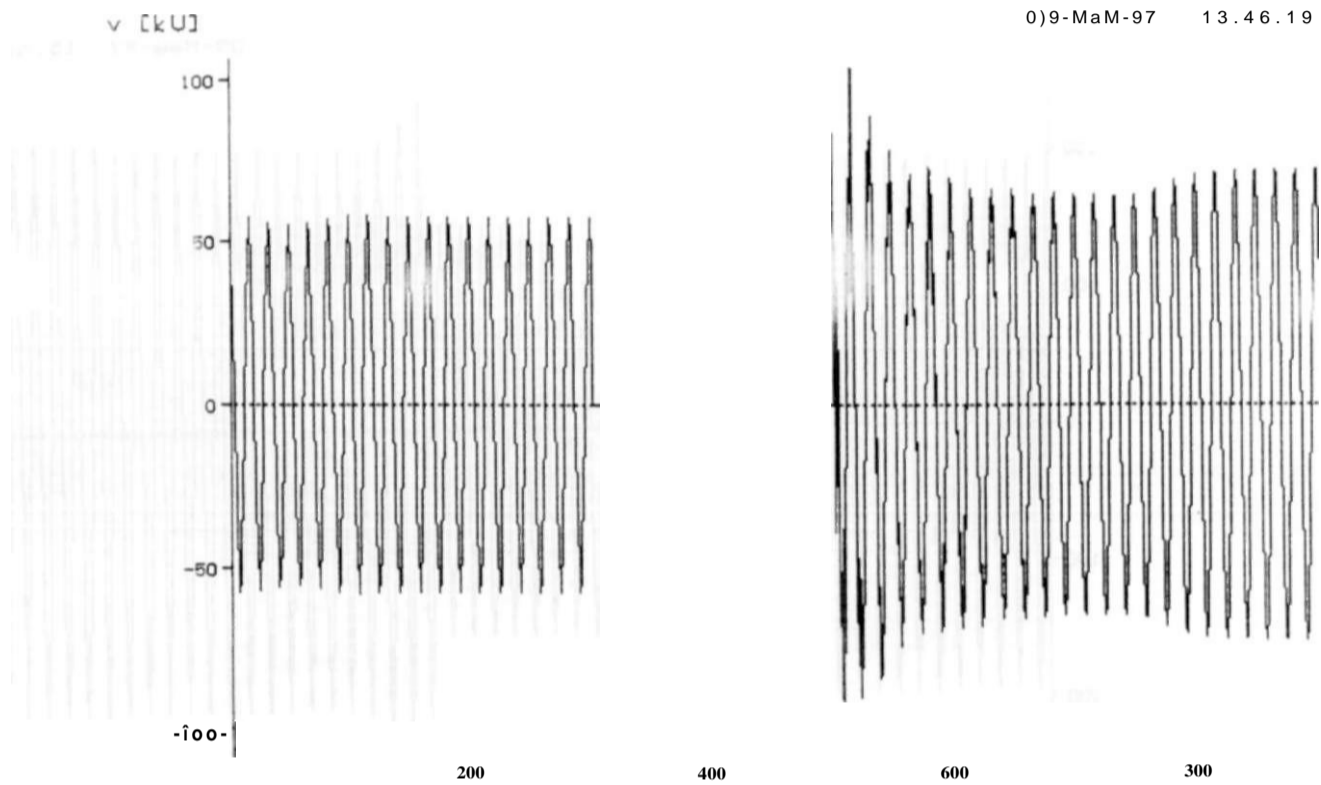


v [kV]

09-May-97 15.46.19



print date: 9. May 1997



\_ C 6) F63C

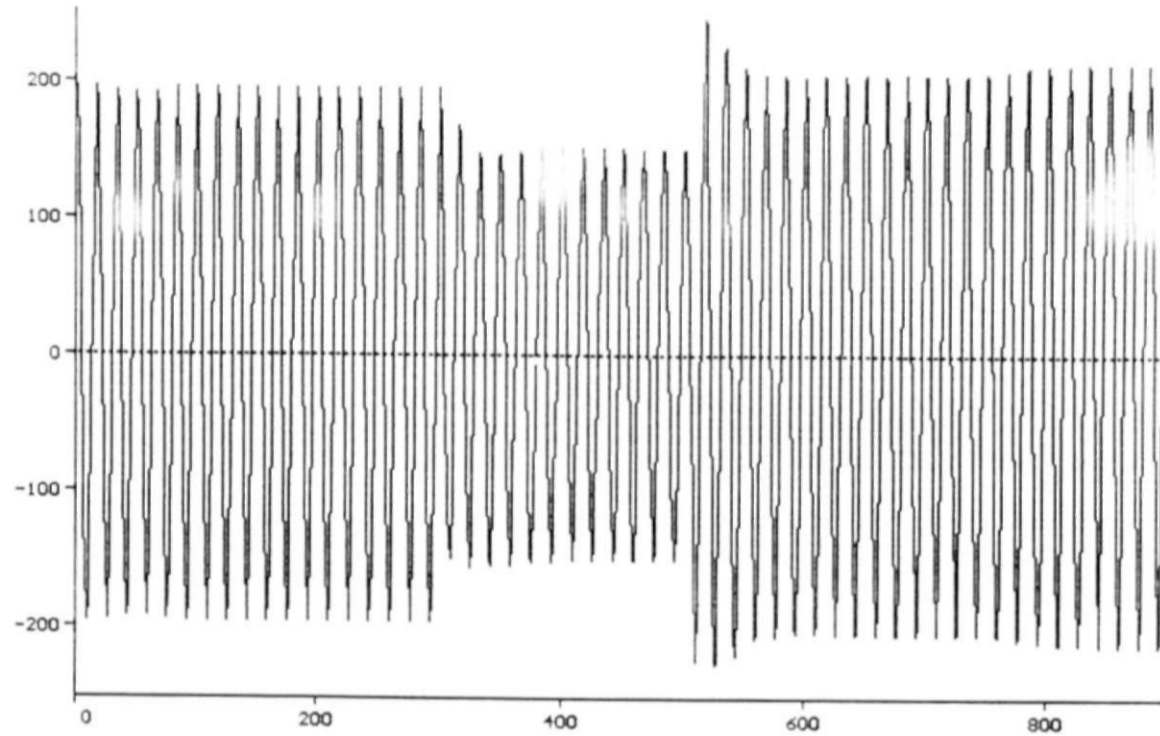
t [Cms]

CÇ 1F-T 69KU FORTALEZFI REJ. LOOK CARGA 69KU COM USUB

print date: 9. May 1997



09-H»«\*-97 13.46.19



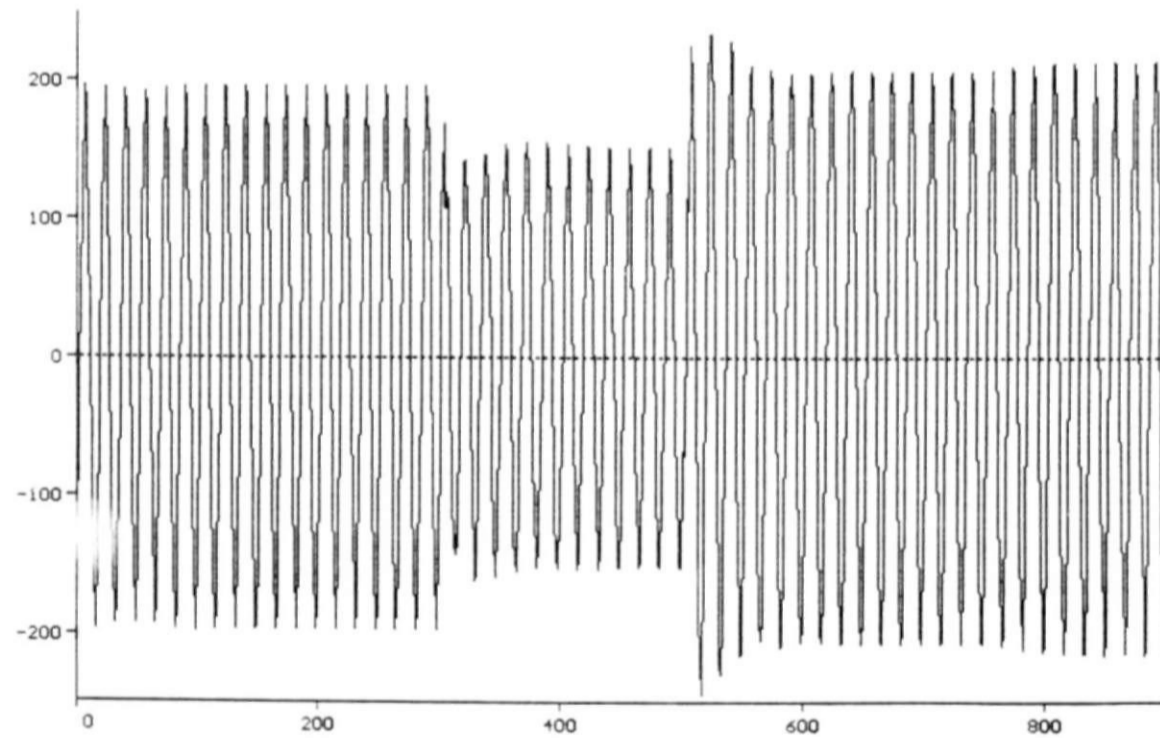
( 7 ) ML623A

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
FTM96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

v [kV]

09-May-97 15.46.19



( 8 ) ML623B

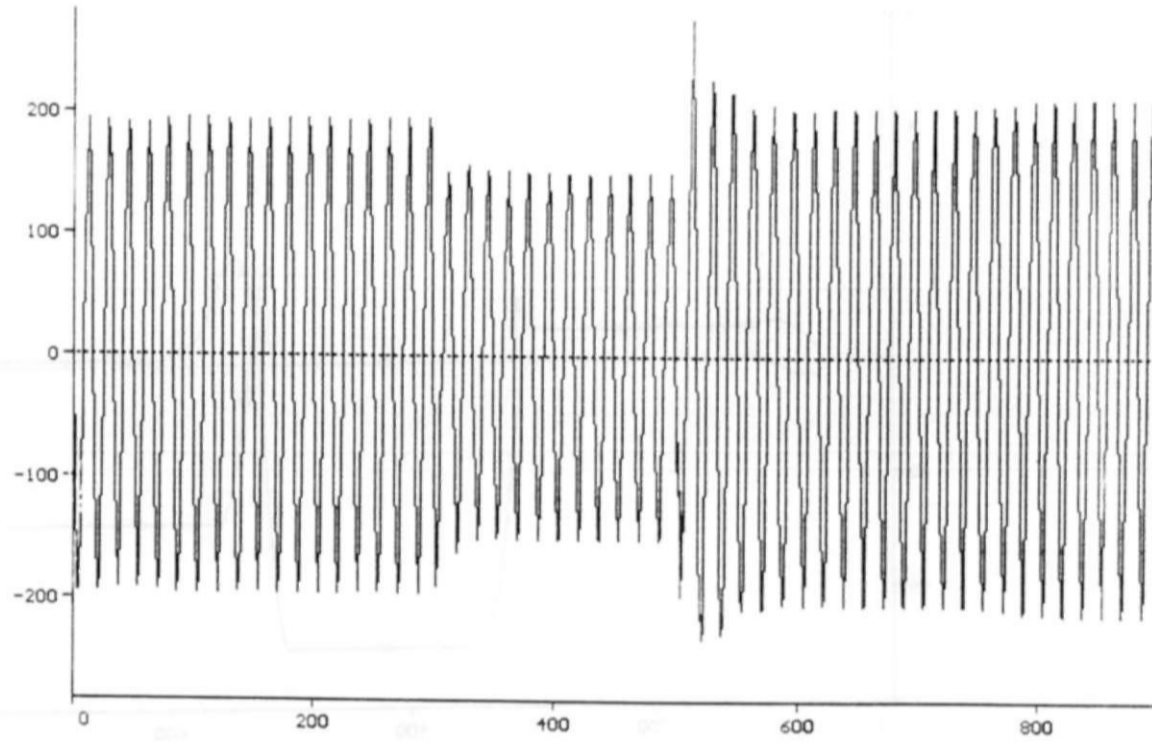
t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
FTM96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSAO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997

v [kU]

09-May-97 15.46.19



( 9) ML623C

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
FTMG96LI.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997



print date: 9. May 1997

v CU]

09-M»ç#-97 IS.46.19

1•

2-

-2-

-4-



200

400

600

800

<10) TACS - ENTPI

<11) TACS - SAUPI

x. Cms]

TA

69KU CON USUB

TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA

ROLADOH PI DO CE FORTALEZA

v CU]

09-N»M-97 13.46.19

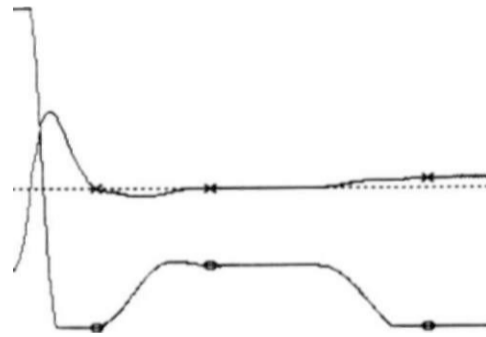
61

1-

0

-2-

-6



:00

400

600

800

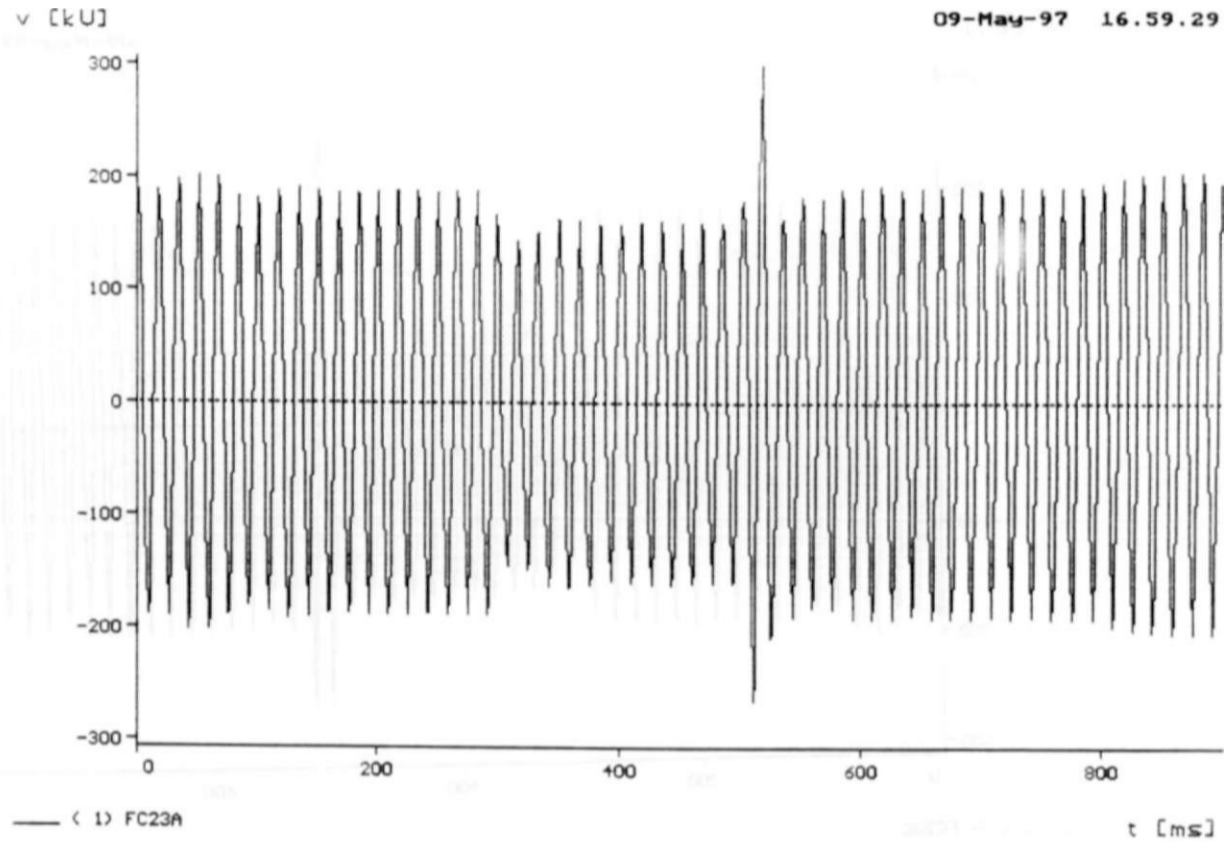
(14) TACS - ENTPIH

(18) TACS - SAIPIM

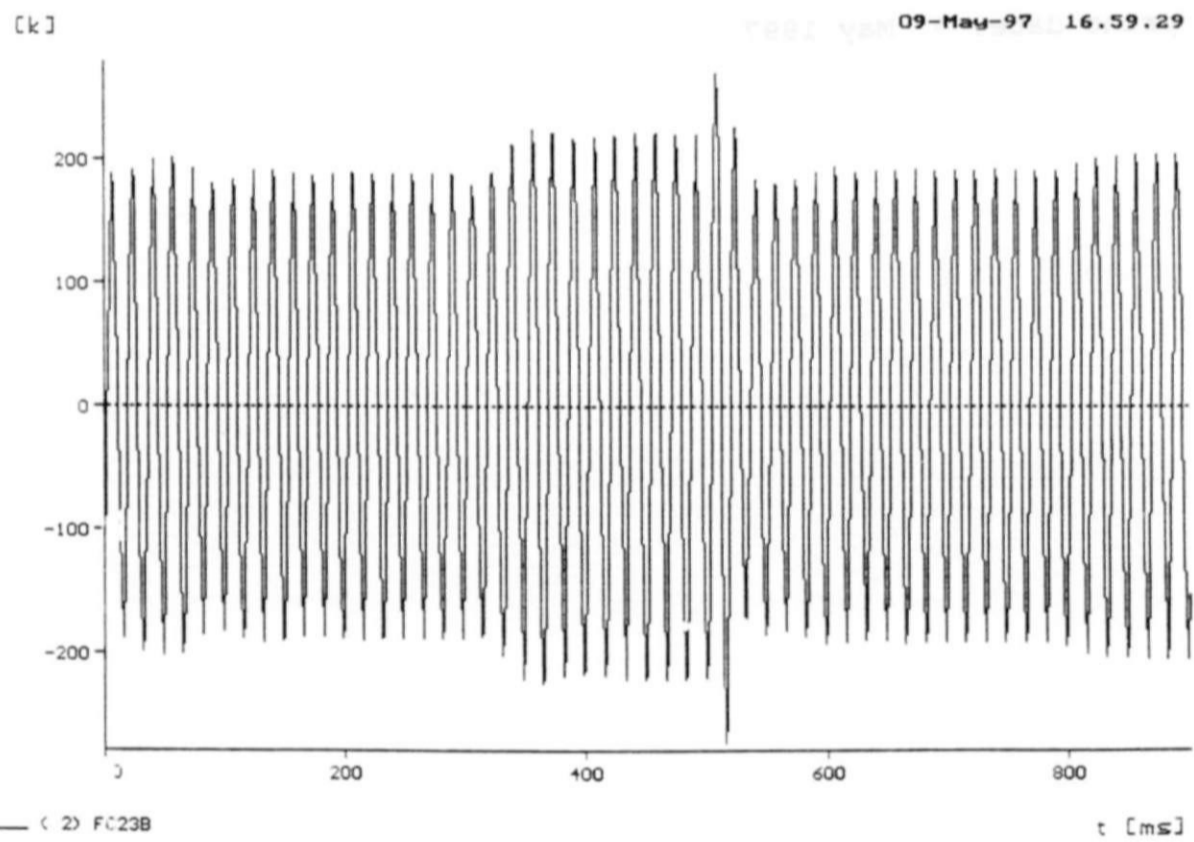
t Cms]

PC APT? ISV 93x0t  
 FNG96U1.DAT. CARGA NININA, DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO CONTROLADOR PI DO CE NILRGRES

print date: 9. May 1997

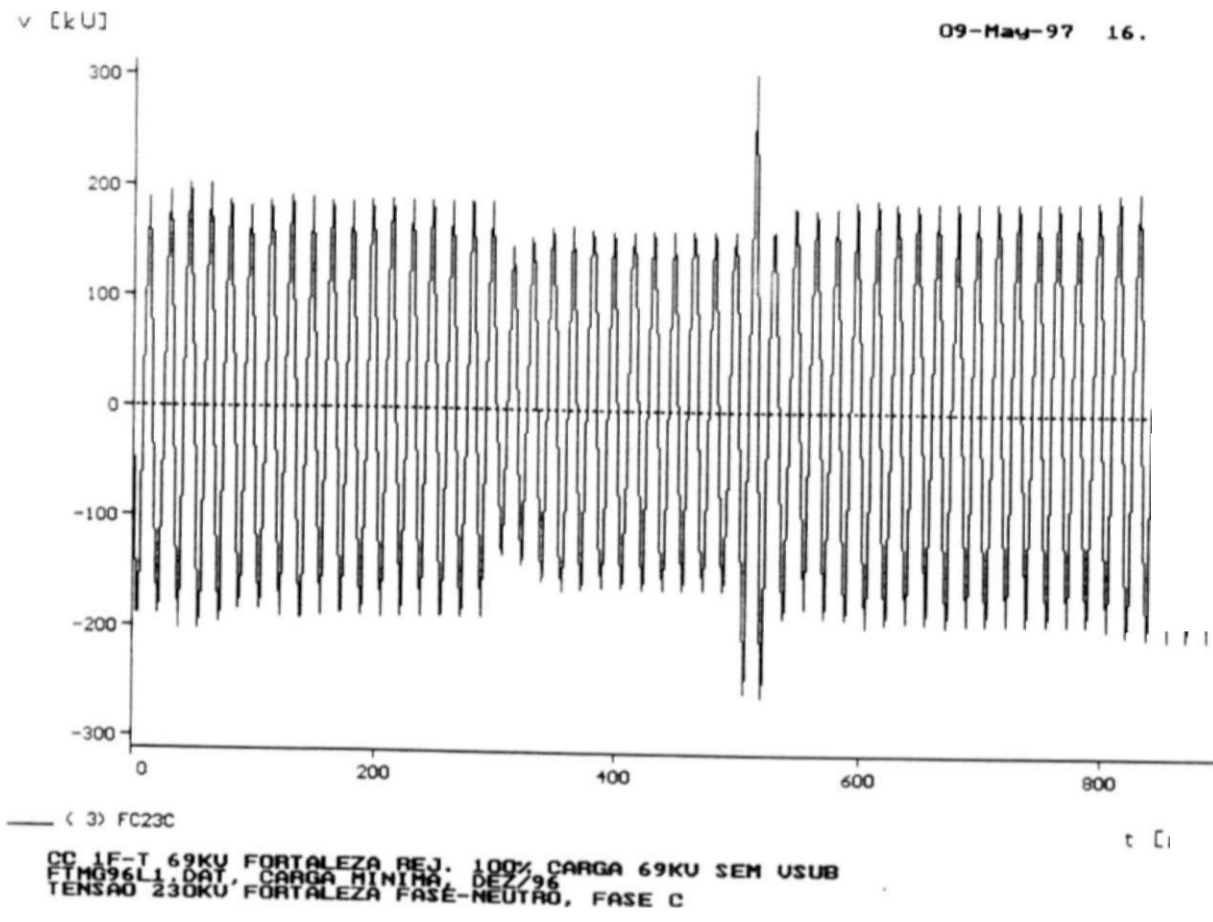


CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
 FTM96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO, FASE A



CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
 FTM96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO, FASE B

print date: 9. May 1997



print date: 9. May 1997

### 3.2 - Reator controlado a tiristores e capacitor fixo

Conforme indicado na Fig. 3.2, tal equipamento é composto por bancos de capacitores fixos ligados em paralelo a reatores conectados em série às pontes de tiristores. Por razões econômicas e práticas, tais conjuntos são ligados à rede elétrica através de um transformador elevador, uma vez que a sua tensão nominal é, na maioria dos casos, inferior à tensão da barra à qual o equipamento é conectado.

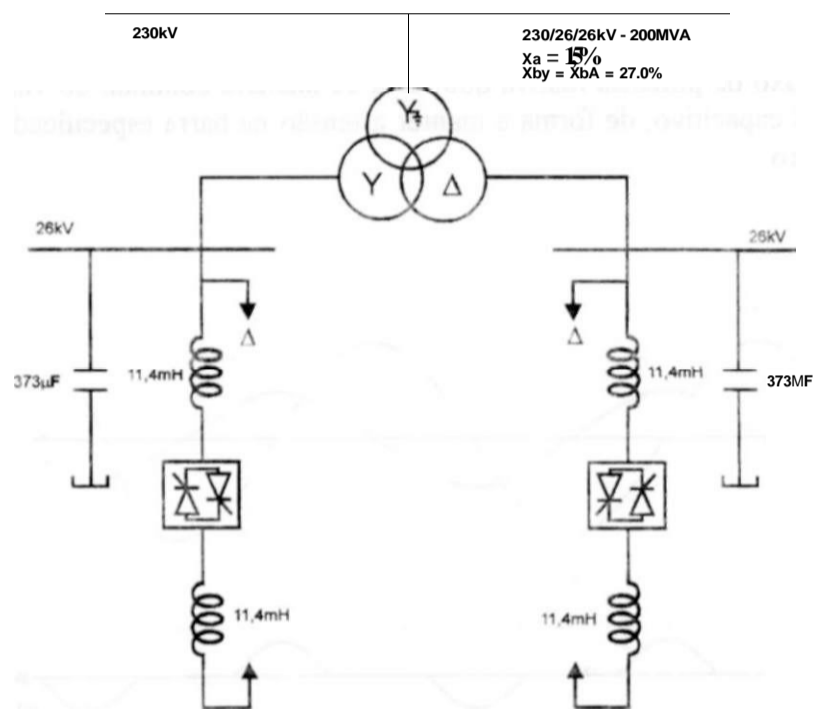


Fig. 3.2a CE Fortaleza: compensador tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo.

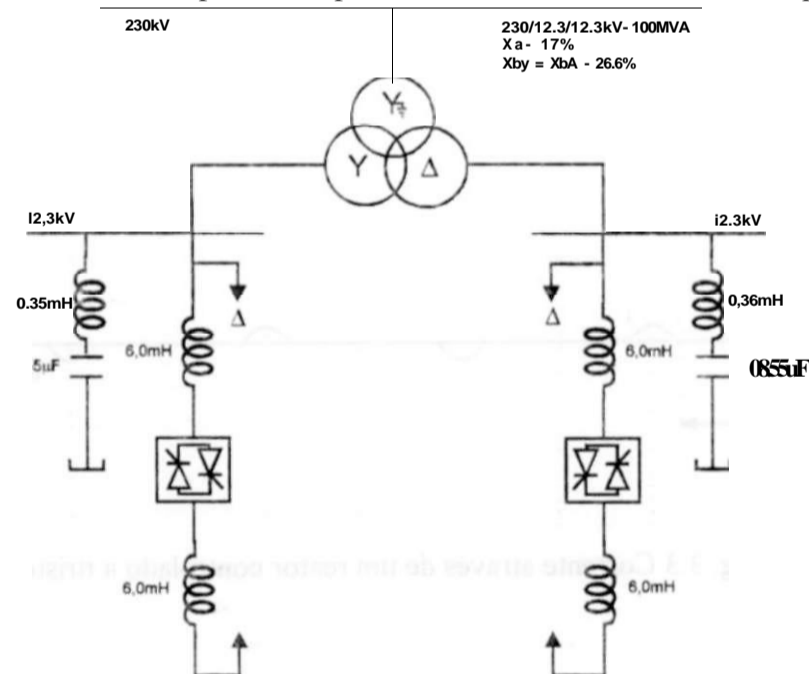


Fig. 3.2b CE Milagres: compensador tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo.

Com base em tais hipóteses, tem-se que:

$$Z_{\text{linha}} = jX \tag{4.1}$$

$$\tag{4.2}$$

e da relação,  $S = P + jQ$ , tem-se que:

$$I = \frac{P - jQ}{r} \tag{4.3}$$

Como  $V_1$  foi tomado como fasor de referência, seu ângulo de fase é zero e isto implica que  $V_2 = V_1$ . Substituindo esta condição na Eq.(4.3), tem-se:

$$I = \frac{P - jQ}{r} \tag{4.4}$$

Substituindo a Eq.(4.4) na Eq.(4.2), obtém-se a relação,

$$-V_2 = -V_1 + jX \frac{P - jQ}{r} \tag{4.5}$$

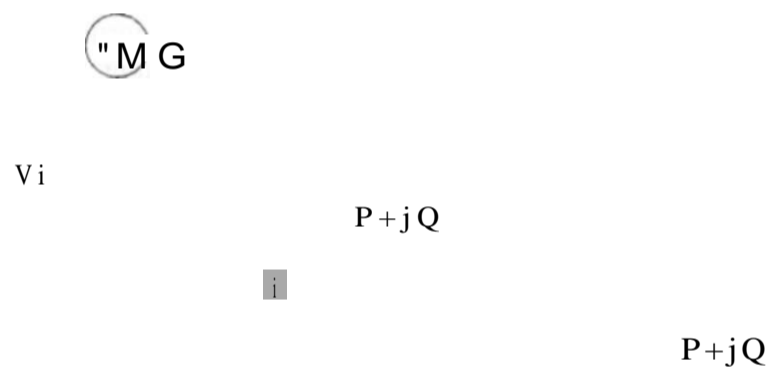


Fig.4.3 Sistema de transmissão de duas barras e uma linha puramente indutiva.

Com base na Eq.(4.5) representada diagramaticamente no diagrama fasorial mostrado na Fig.4.4, podem ser feitas as seguintes constatações:

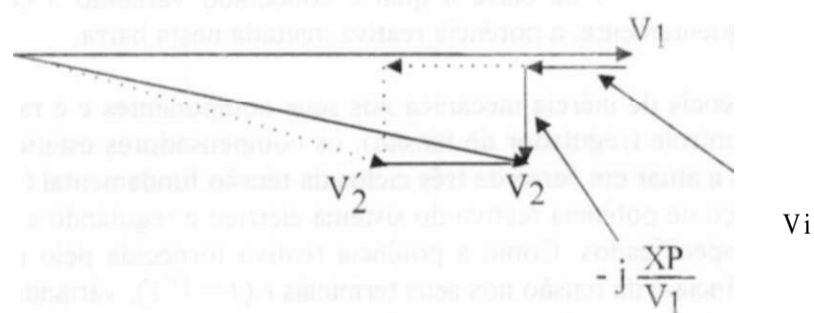
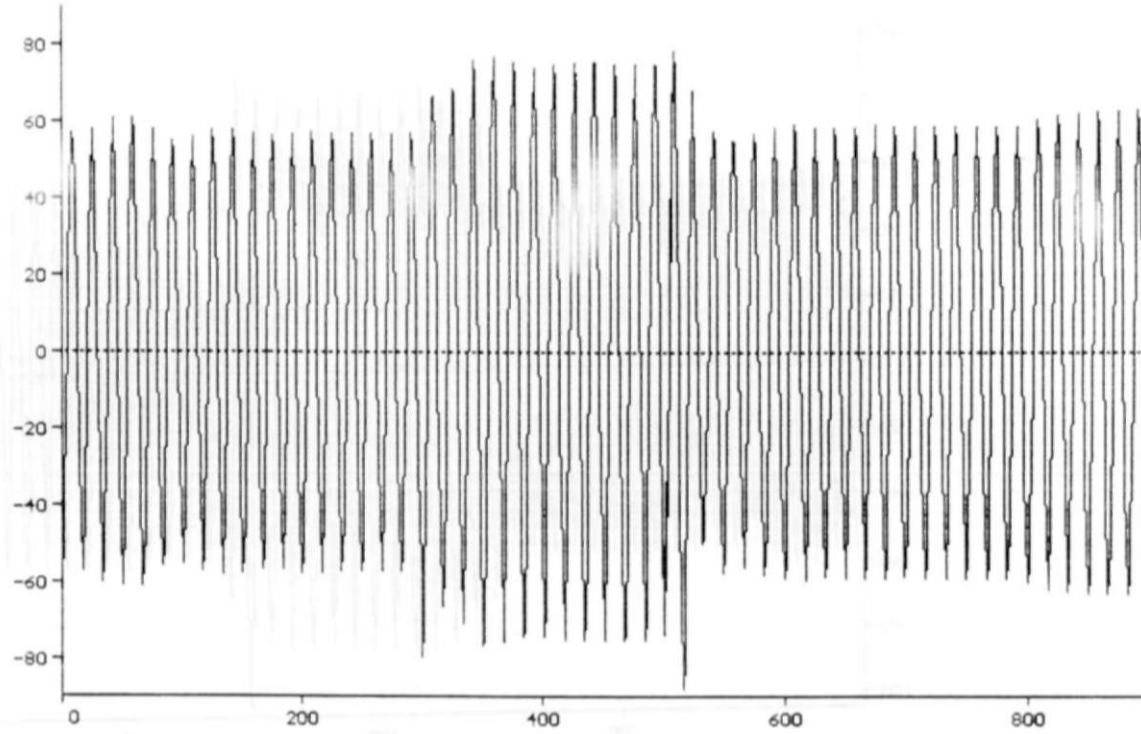


Fig.4.4 Diagrama fasorial para o sistema de transmissão de duas barras e uma linha puramente indutiva.

v [kU]

09-May-97 16.59.29



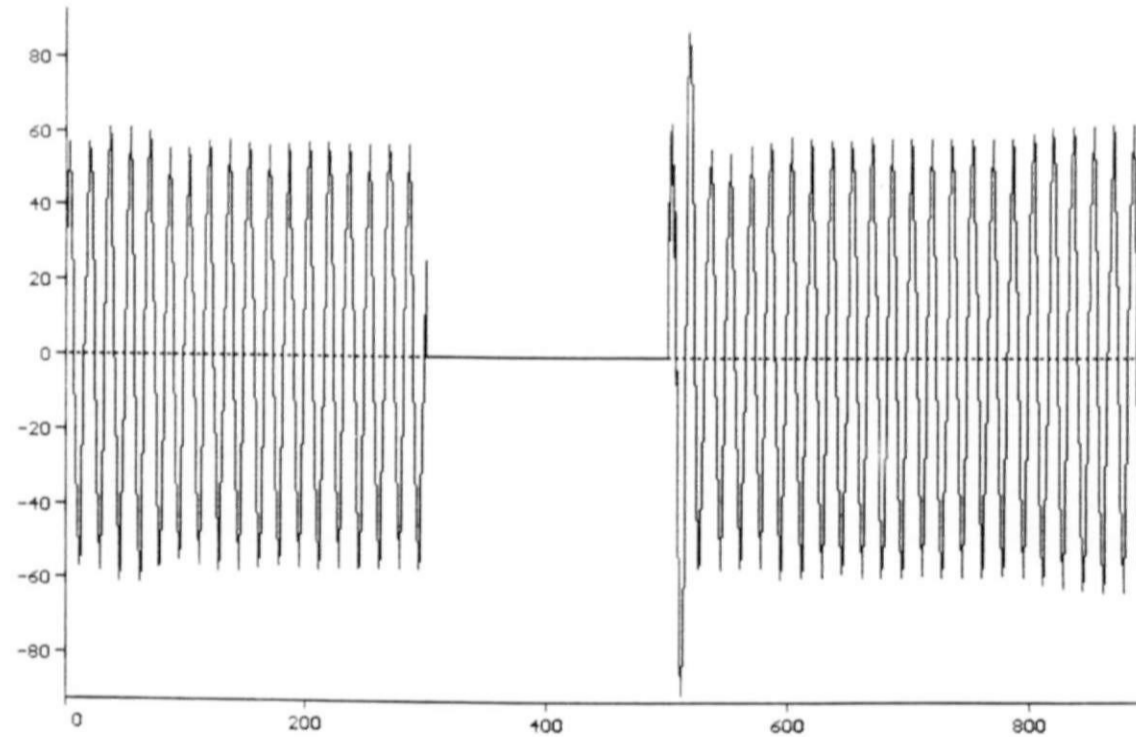
( 5) F69B

t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
FTMG96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO, FASE B

v [kU]

09-May-97 16.59.29



( 4) F69A

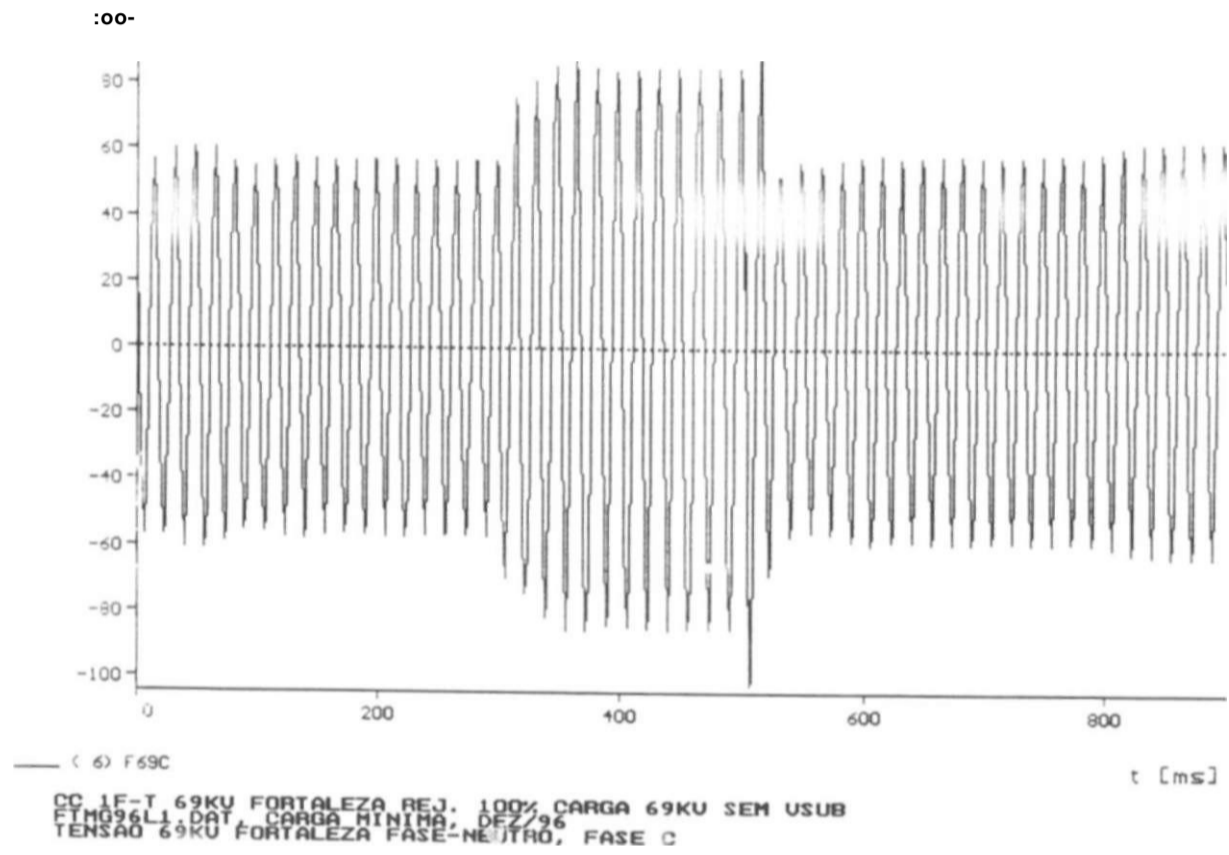
t [ms]

CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
FTMG96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO, FASE A

print date: 9. May 1997



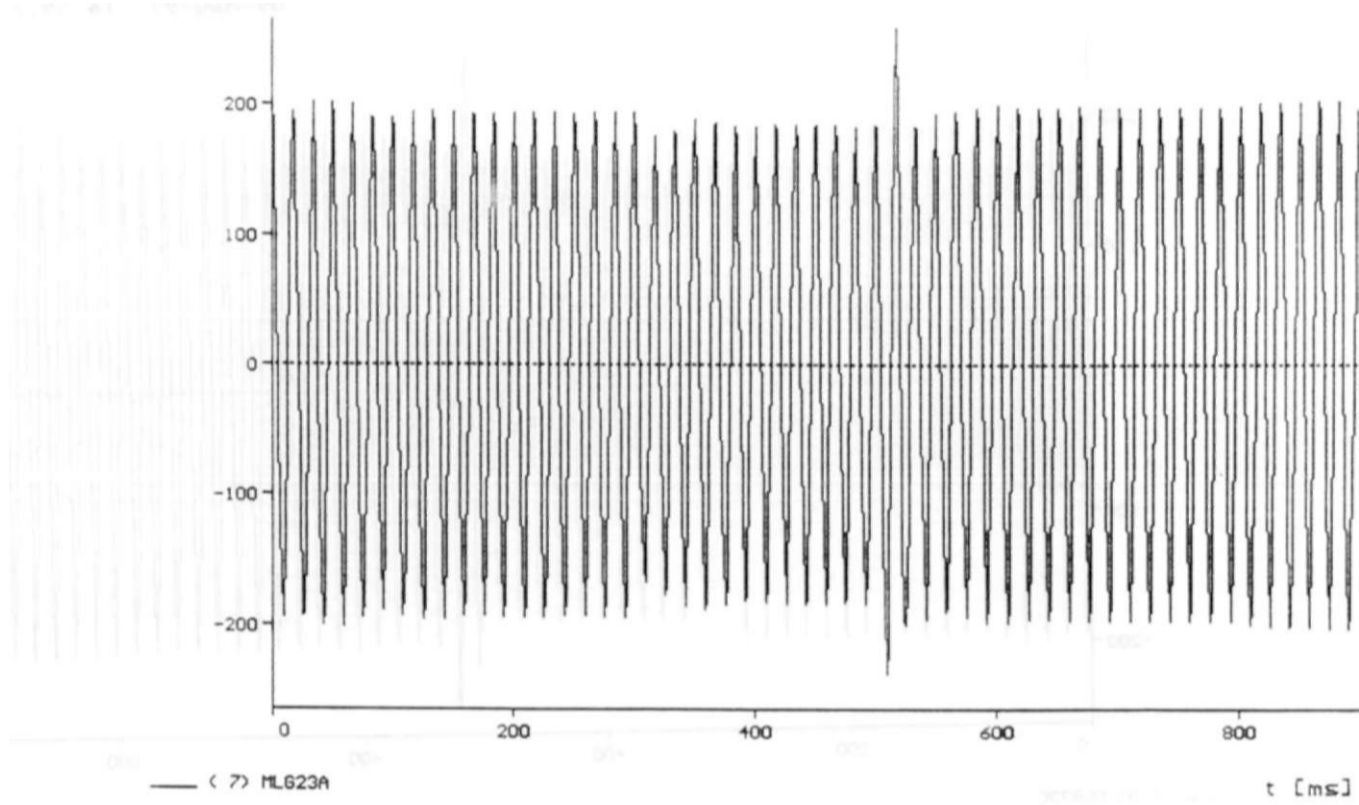
09-M>y-97 16.59.29



print date: 9. May 1997

v [kU]

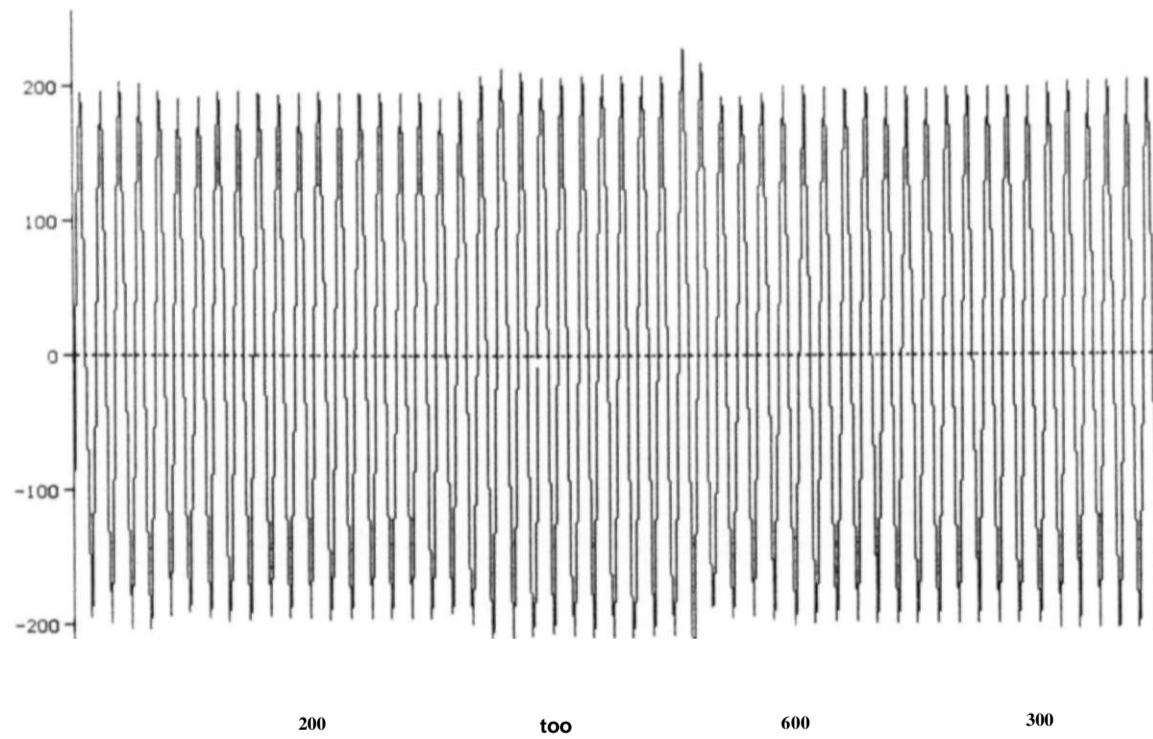
09-May-97 16.59.29



CC 1F-T 69KU FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KU SEM USUB  
FTM96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSÃO 220KU HILAGRES FASE-NEUTRO, FASE A

v [kU]

09-May-97 16.59.29

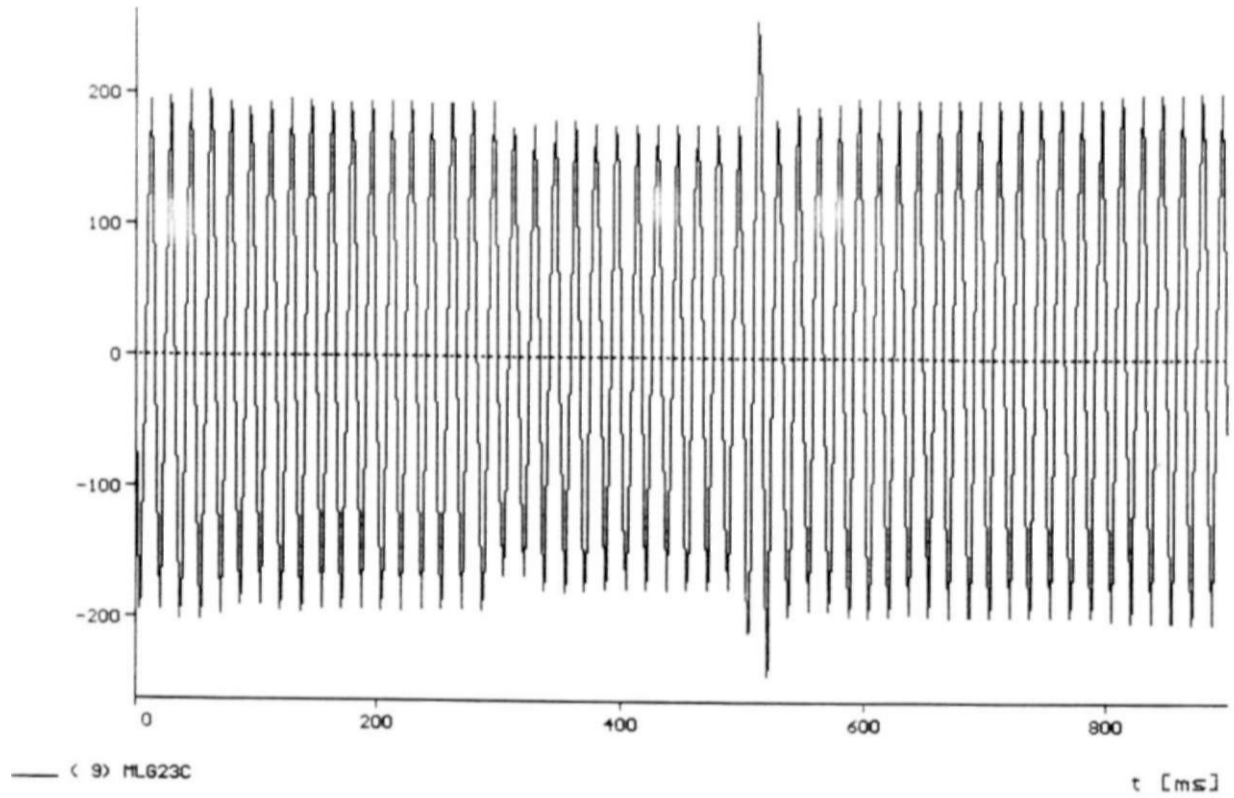


< 8> MLG23B  
CC 1F-T 69KU FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KU SEM USUB  
FTM96L1.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSÃO 220KU HILAGRES FASE-NEUTRO, FASE B

print date: 9. May 1997

v CKUJ

OS-M\*H#-97 16.59.29

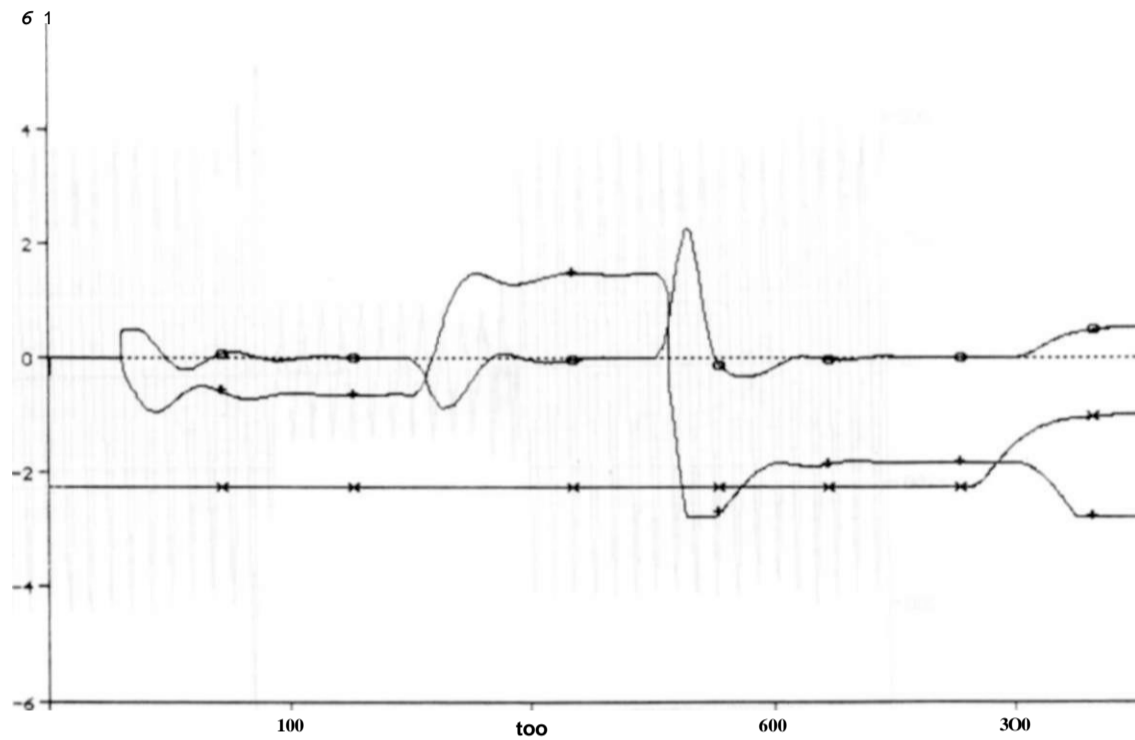


CC 1F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
FTM096LI.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO, FASE C

print date: 9. May 1997

v<sub>CU</sub>]

09-Ha\*\*-97 16.59.29

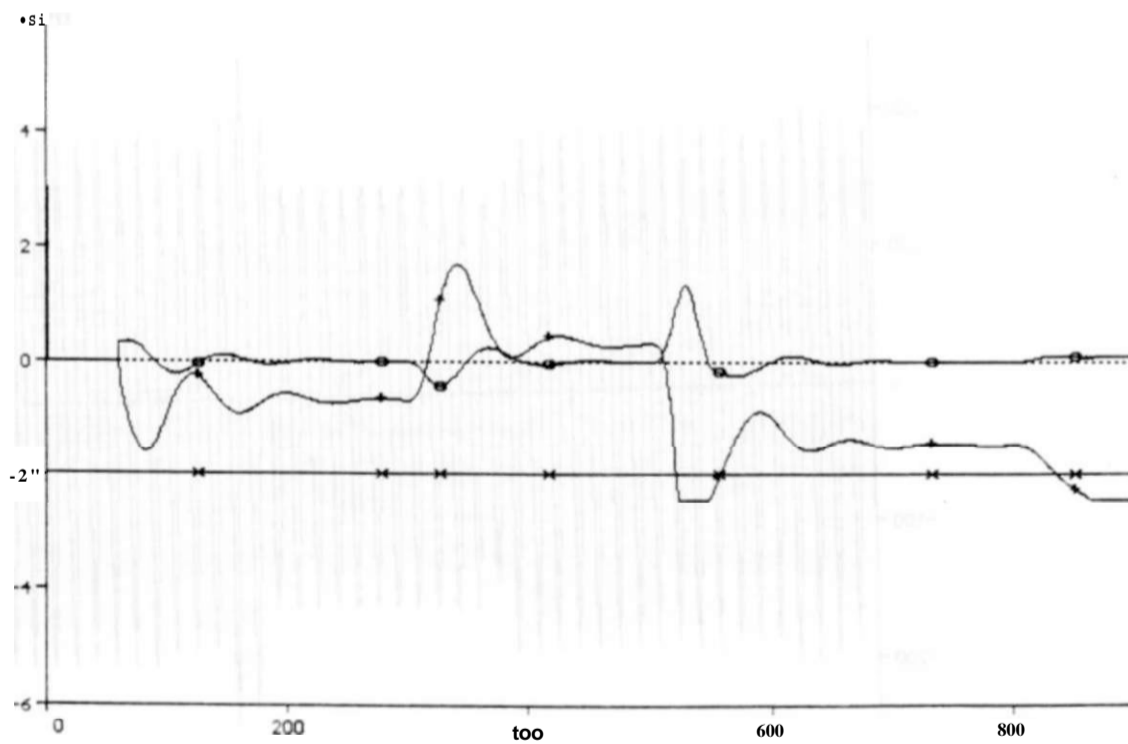


(10) TACS - LINUC (12) TACS - ENTPI (13) TACS - SAIPI t [ms]

CC 1F-T 69KU FORTALEZA REJ. 100\* CARGA 69KU SEM USUB  
FTMG96L1.DAT. CARGA MINIMA, DEZ'96  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

V<sub>CU</sub>]

09-Nav#-97 16.59.29

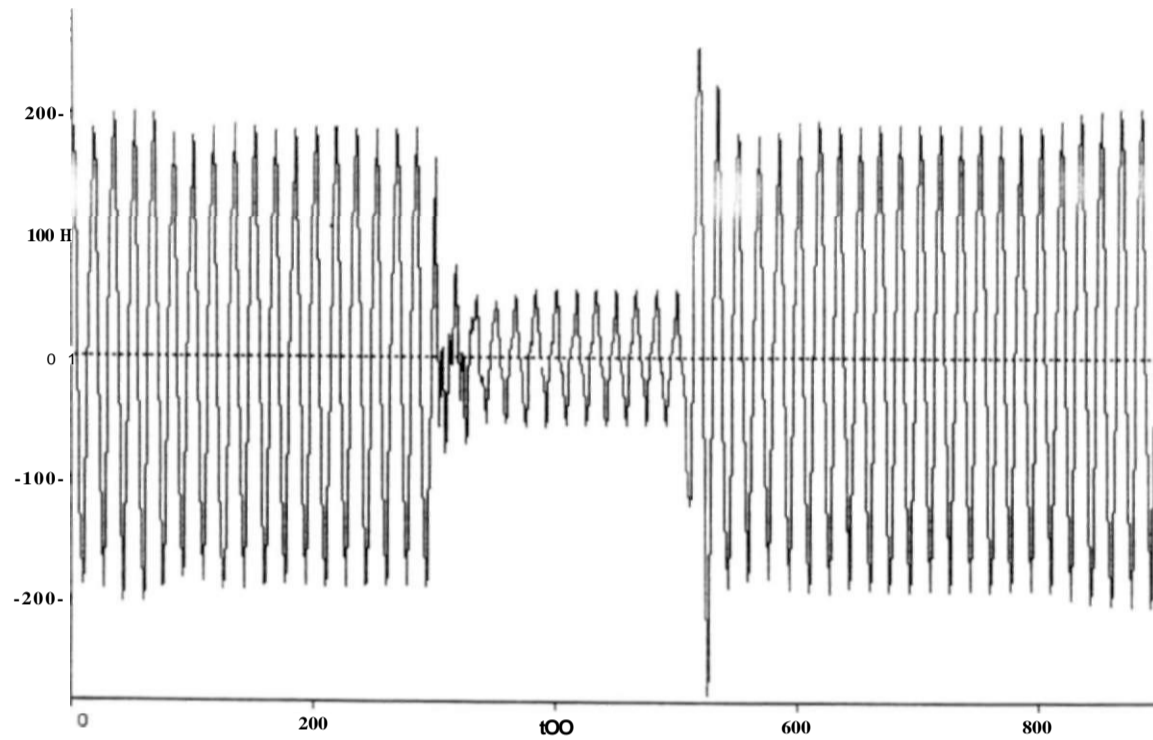


(CM) TACS - LINUCM (16) TACS - ENTPIH (17) TACS - SAIPIH t [ms]

**ffiffijUaaLTI^flífofB; VBát<sup>m</sup>** 69KU SEM USUB  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES

print date: 9. May 1997

v CkU] 09-M»y-97 17.43.20

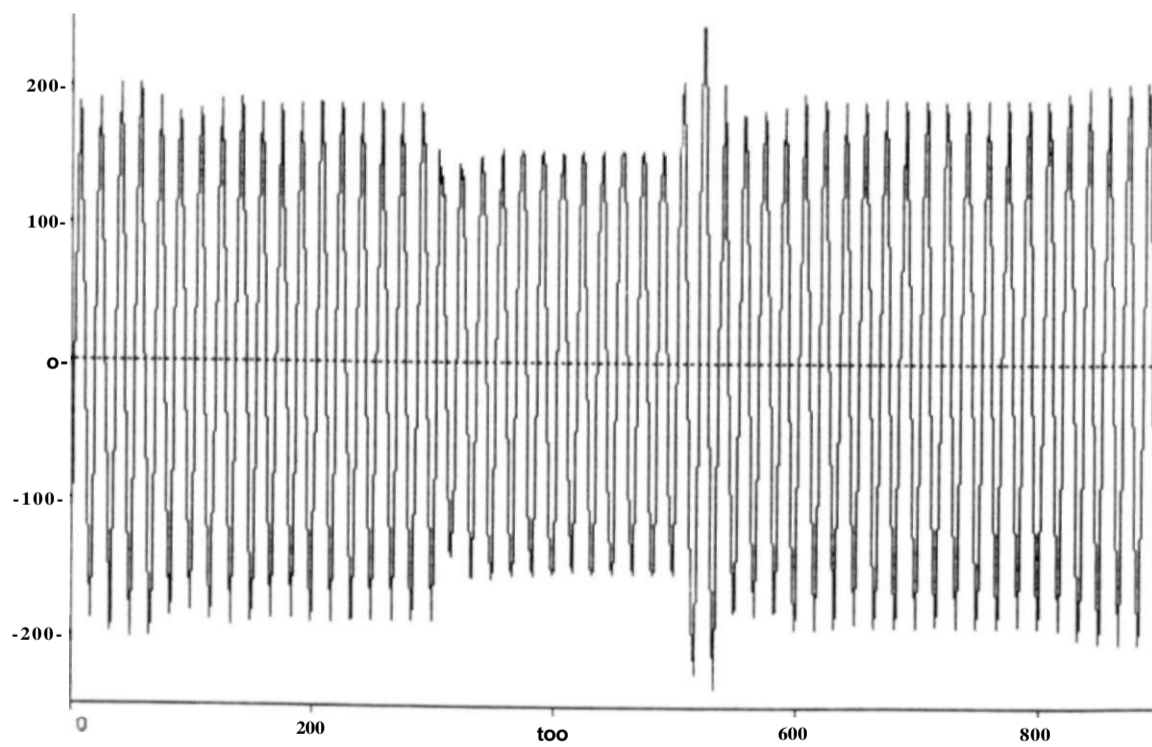


- < 1) FC23A

t Cms]

TENSAO 230KV FORTC [NIS" ; CARGfl 69KU con USUB  
» FASE RO FASE A

v CkU] Q9-N»M-97 17.43.20

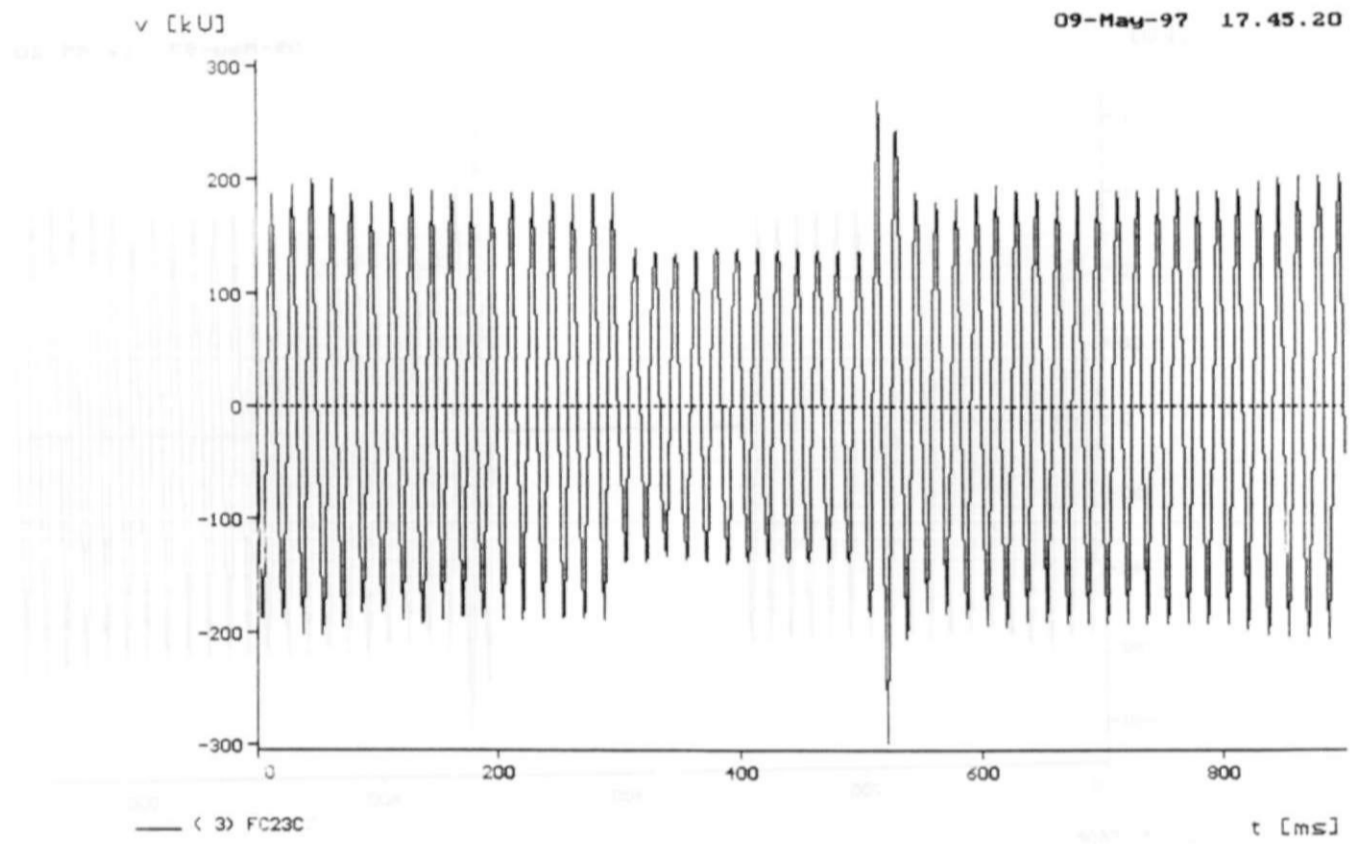


C 2) FC23B

t Cms]

9Vwâr,^?.KV FORTALEZA REJ. 1QOV. •ARGfl 69KU COh USUB  
) FASE B

print date: 9. May 1997



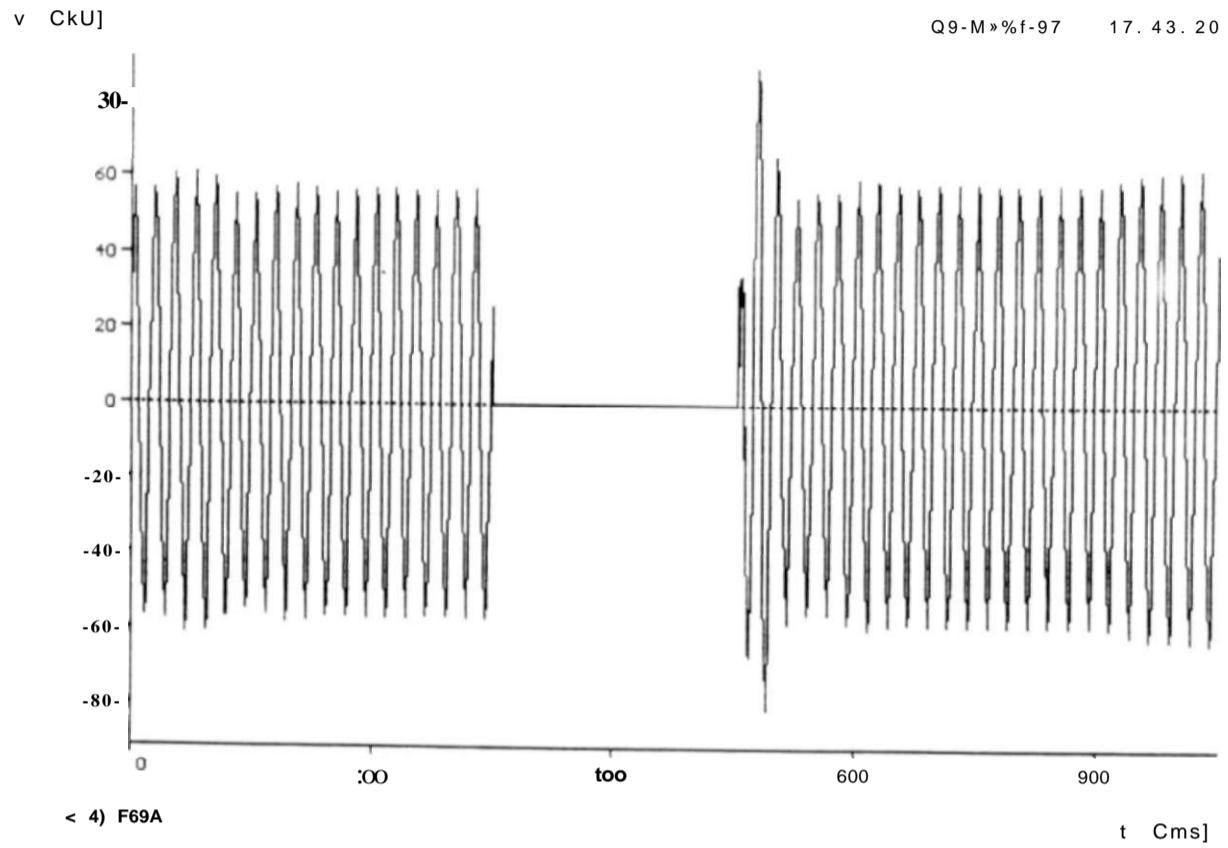
CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
 FTM96L2.DAT, CARGA MINIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

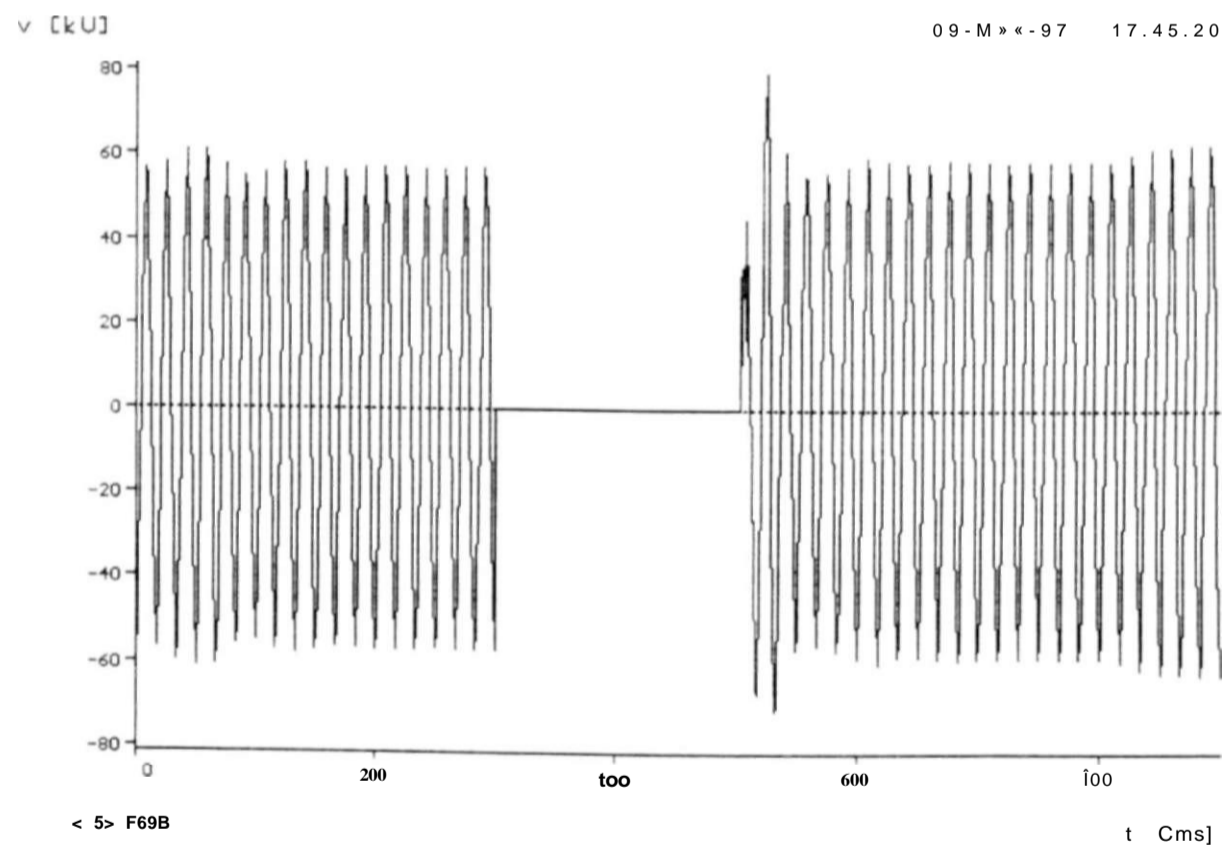


09-May-97 17.45.20

09-May-97 17.45.20

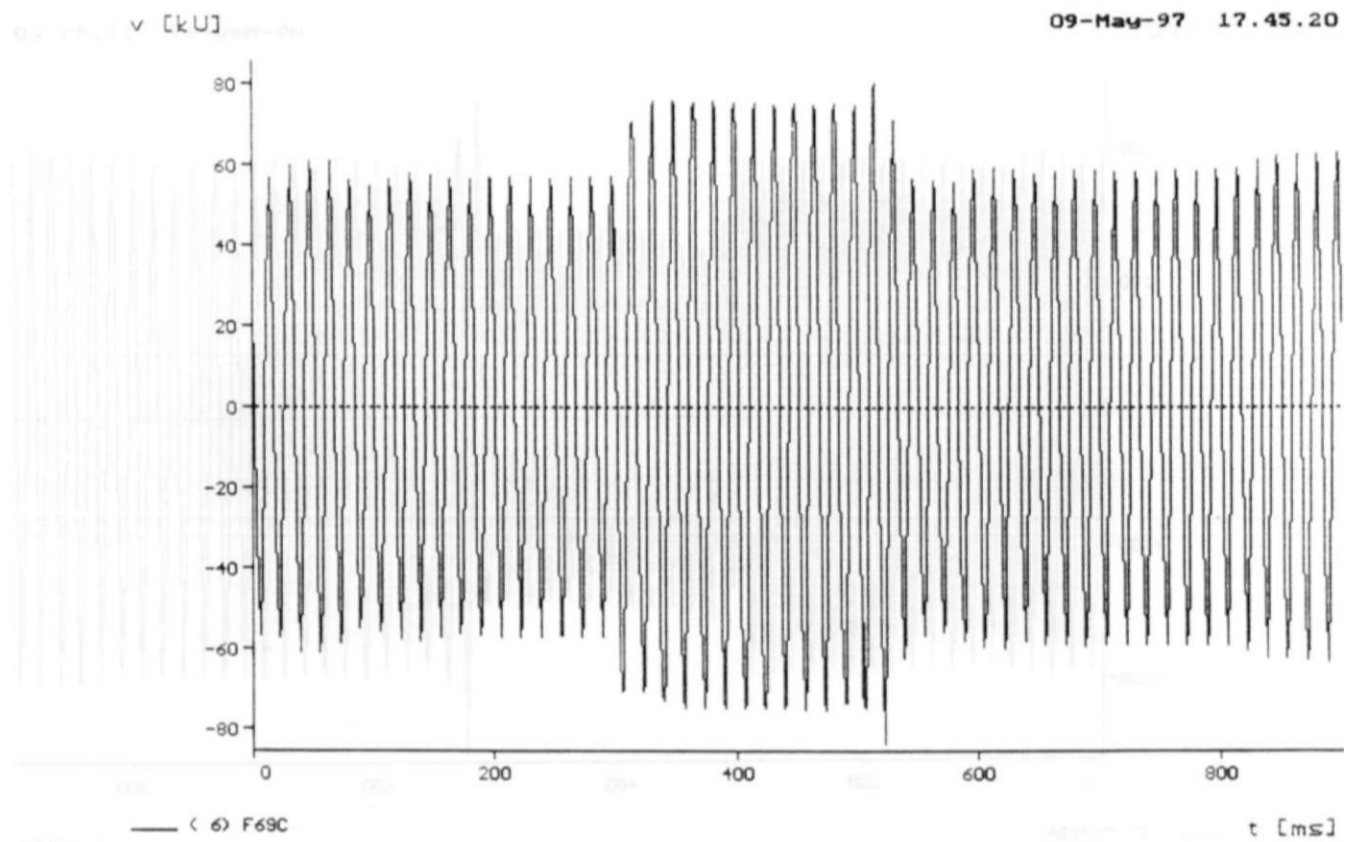


CARGA 69KU COM USUB  
 69KU FOX rÉ.LEZA FASE-NEURO FRSE A



ÇRRGR 69KU COM USUB  
 FRSE B

print date: 9. May 1997



CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
 FTM96L2.DAT CARGA MINIMA, DEZ/96  
 TENSÃO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997



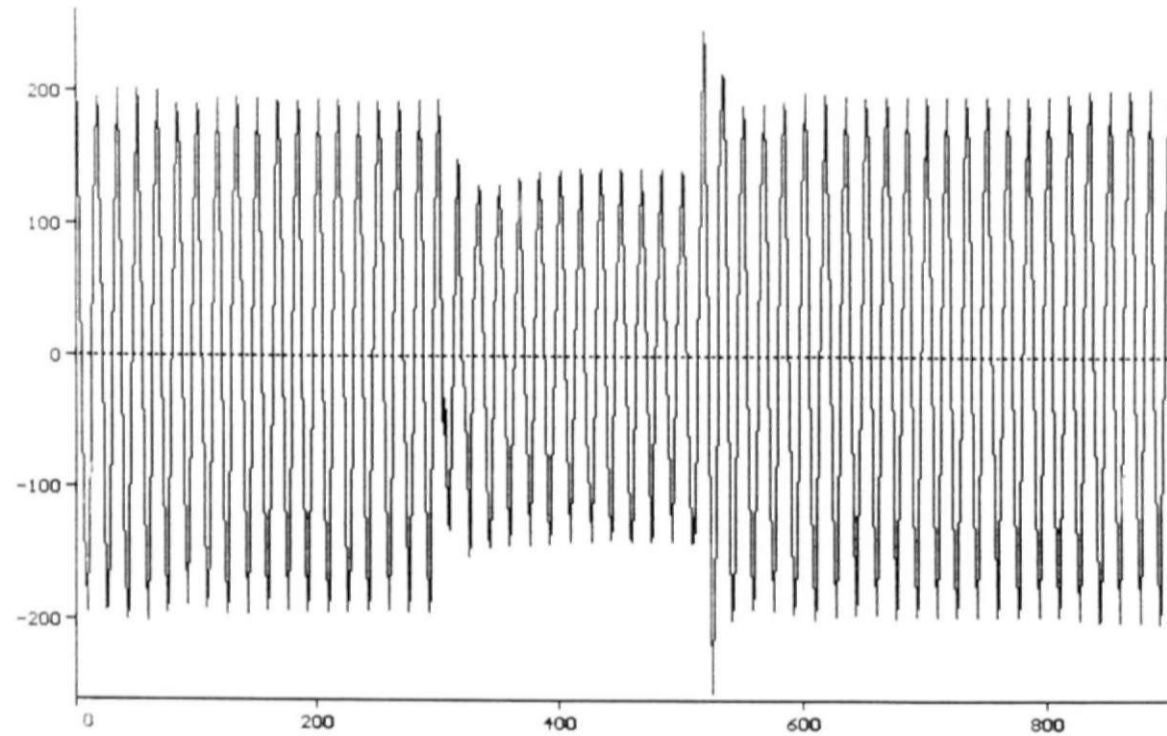
WAVE DATA AREA NUMBER 0001 - 0005 REPRESENTS DATA 1-20.00  
 IF DATA CONTAINS -9999 REPRESENTS MISSING DATA

print date: 9. May 1997



j CKUJ

09-May-97 17.45.20



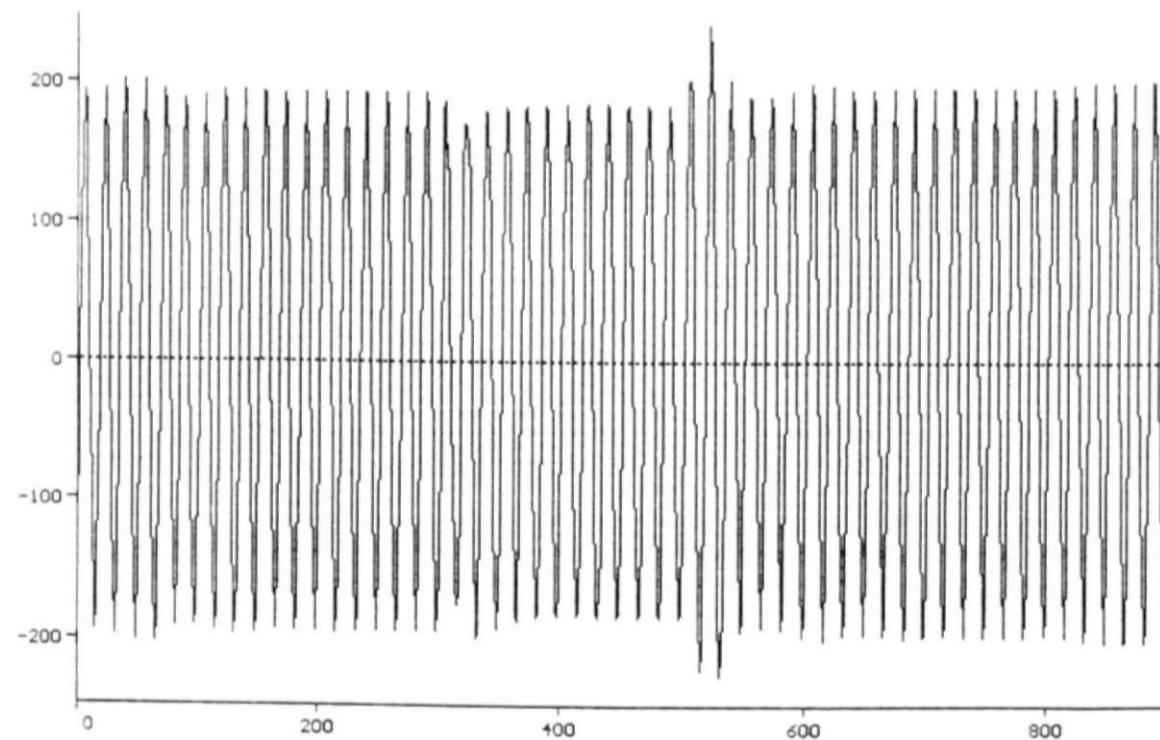
— ( 7 ) MLG23A

t [ms]

CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
FTMG96L2.DAT, CARGA HININHA, DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

v [kU]

09-May-97 17.45.20



— ( 8 ) MLG23B

t [ms]

CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
FTMG96L2.DAT, CARGA HININHA, DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997

- Variações na potência ativa  $P$  afetam apenas o fasor  $i$ , que por ser perpendicular ao fasor  $V$ , tem influência bastante reduzida sobre o fasor  $V$ .

Variações na potência reativa  $Q$  afetam apenas o fasor  $V$ , que encontra-se  $180^\circ$  defasado do fasor  $V$  e por este motivo, apresenta influência elevada sobre o fasor  $i$ .

As cargas típicas presentes em um sistema de transmissão de energia são predominantemente indutivas e ao serem ligadas, desligadas ou simplesmente sofrerem variação, produzem alterações no balanço de potência reativa, e conseqüentemente no módulo da tensão  $V\%$ .

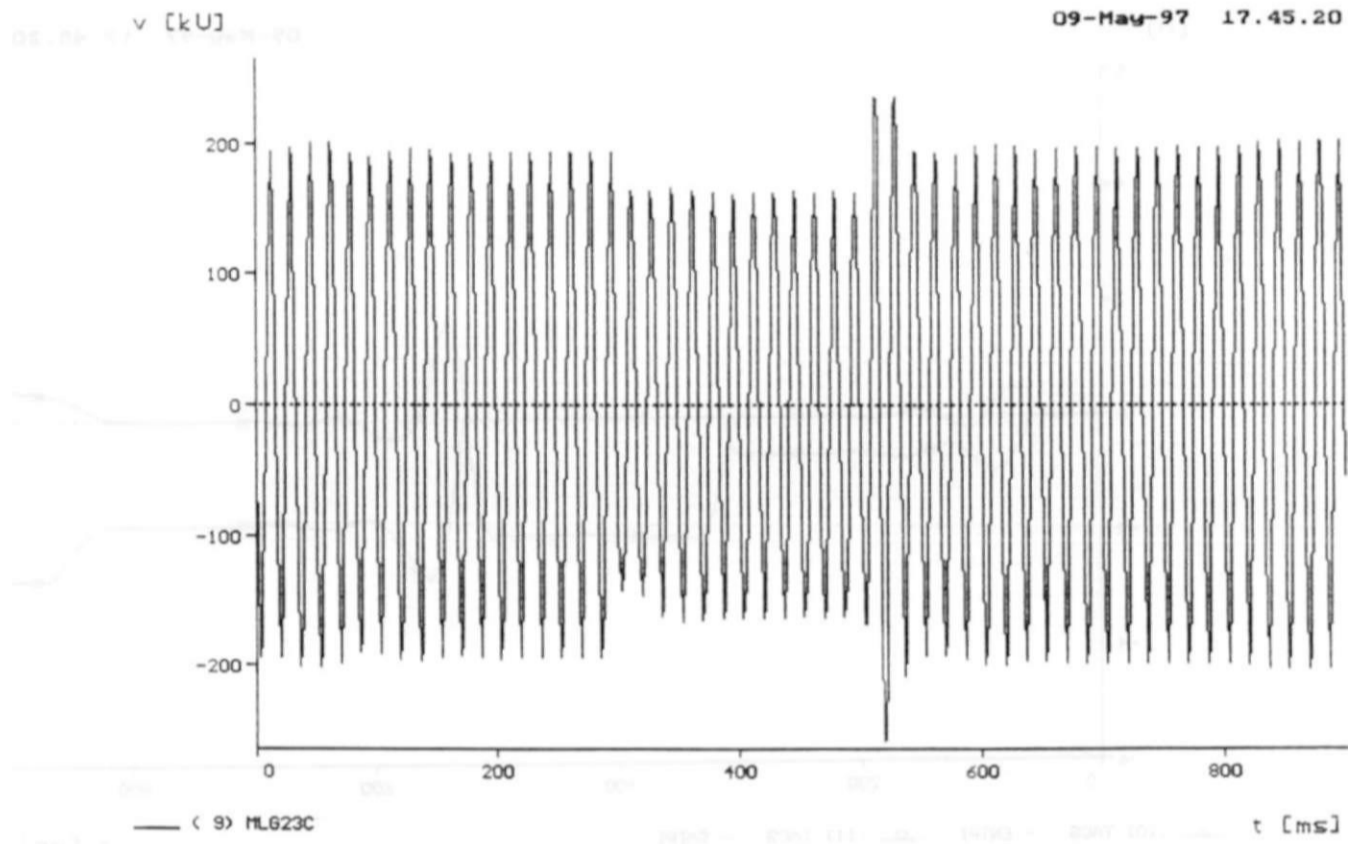
É recomendável, de forma a manter constante o perfil de tensão no sistema de potência, que tais variações de potência reativa sejam compensadas localmente, ao invés de fornecidas pelos geradores, uma vez que esta segunda alternativa implica em aumento das perdas na transmissão, devido à elevação da componente imaginária da corrente através das linhas.

- Esta compensação é efetuada de maneira discreta através de reatores e bancos de capacitores shunt manobráveis, de maneira contínua, através de compensadores síncronos e, a partir da década de 80, de compensadores estáticos, que fornecem também de maneira contínua a parcela de potência reativa necessária para manter o equilíbrio de potência reativa, tendo em vista as perturbações existentes no sistema elétrico. O emprego de equipamentos de compensação reativa contínuos permite que o controle de tensão seja efetuado tanto em regime permanente quanto em regime transitório, quando a demanda de potência reativa é elevada tanto no sentido indutivo (rejeições de carga, energização de linhas de transmissão), quanto no sentido capacitivo (curto-circuitos, perda de linhas de transmissão).

#### 4.3.2 - Controle da tensão em regime permanente

Pelo exposto na Seção 4.3.1, o perfil de tensão de um sistema de potência depende fortemente do seu balanço de potência reativa e de acordo com o estabelecido na Seção 4.2.1, o CE controla a tensão da barra a qual é conectado variando a corrente no reator controlado e, conseqüentemente, a potência reativa injetada nesta barra.

Graças a ausência de inércia mecânica nos seus componentes e a rapidez de resposta do seu sistema de controle (regulador de tensão), os compensadores estáticos de Fortaleza e Milagres estão aptos a atuar em cerca de três ciclos da tensão fundamental (cerca de 50ms), equilibrando o balanço de potência reativa do sistema elétrico e regulando a tensão do sistema dentro dos limites especificados. Como a potência reativa fornecida pelo capacitor depende apenas da sua admitância e da tensão nos seus terminais ( $Q = V^2 Y$ ), variando-se a corrente no reator controlado a tiristores, varia-se a potência reativa deste elemento e, conseqüentemente, a potência reativa do conjunto.



CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
 FTMG96L2 DAT. CARGA MINIMA. DEZ/96  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997



CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB  
 FTMG96L2 DAT. CARGA MINIMA. DEZ/96  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

v CUJ

09-Ma\\*-97 17.43.20

« 1

4-

2-

0

-2-

200

400

600

800

(10) TACS - ENTPI

(11) TACS - SAIP1

t CmsJ

« 2F-T 69K

69KU COM USUB

S DE ENTRAOA E SAIDR DO Ri 3LC\_ADOR PI DO CE FORTAEEZA

v CUJ

09-Ma\*\* -97 17.43.20

6

4

2

0

-2

-6

200

too

600

800

(M) TACS - ENTPIM

(15) TACS - SAIPIM

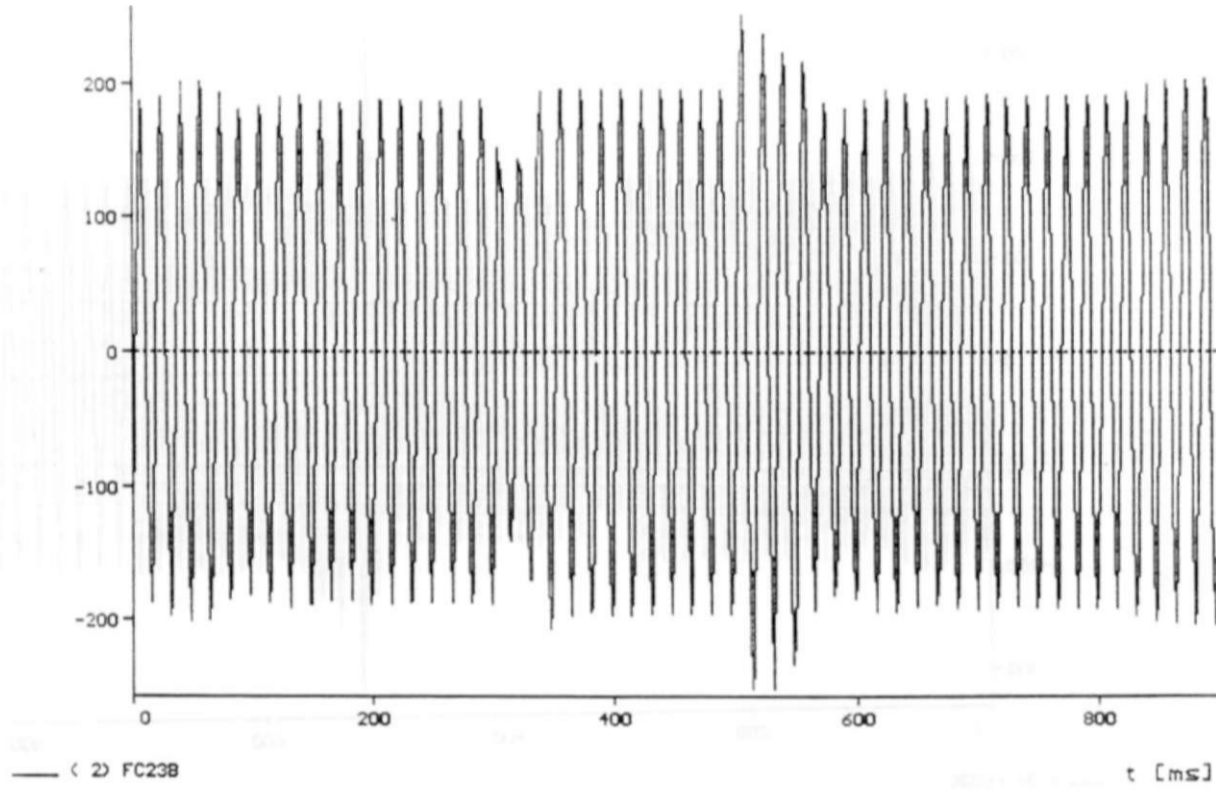
t CmsJ

KU COM USUB  
DO CE MILAGRES

print date: 9. May 1997

v [kV]

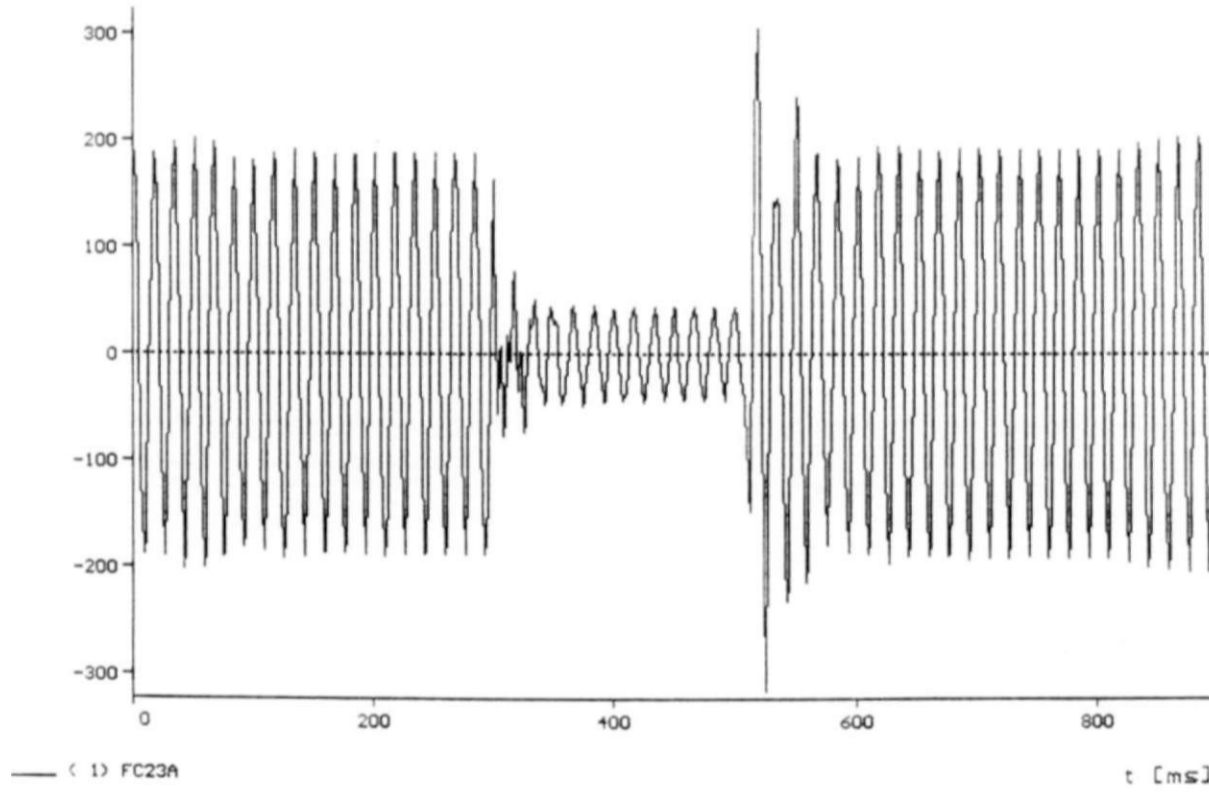
09-MAY-97 18.17.03



CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
FTMG96L2.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE B

v [kV]

09-May-97 18.17.03

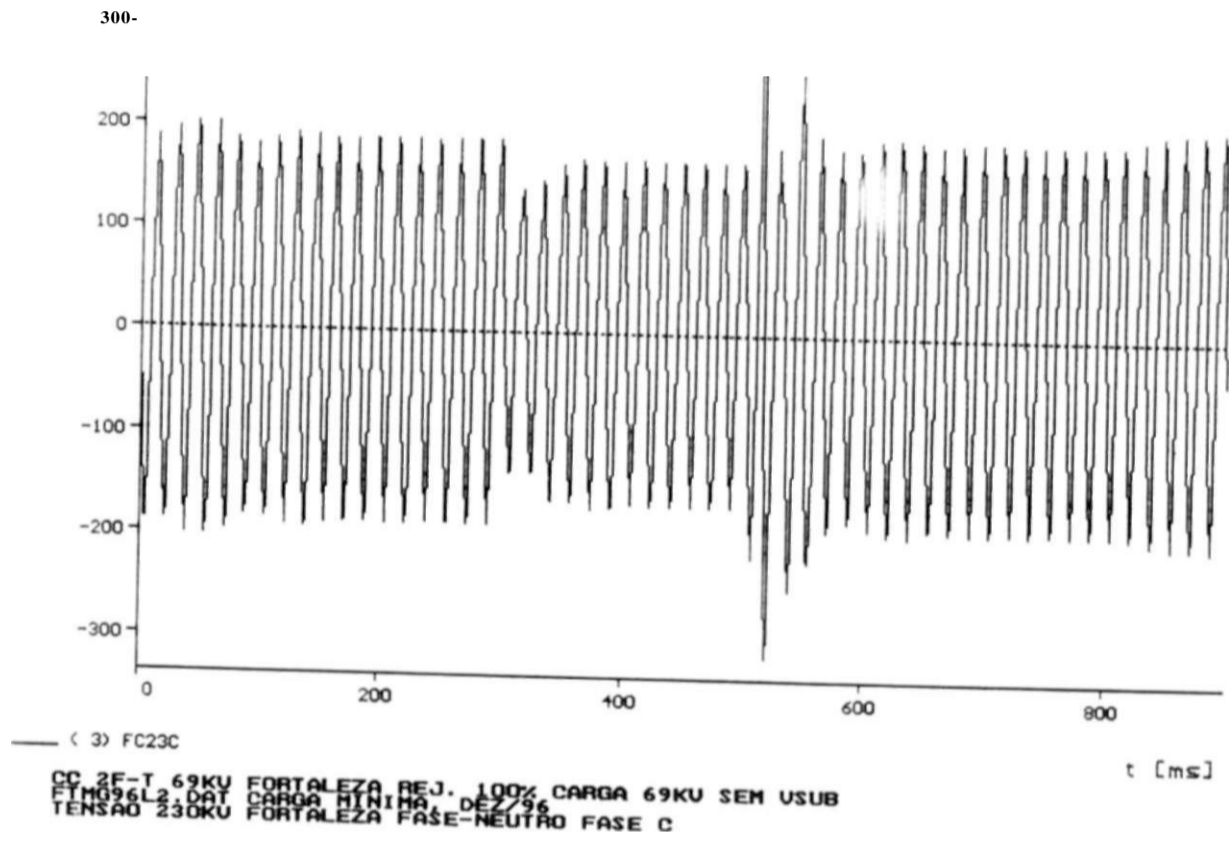


CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
FTMG96L2.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

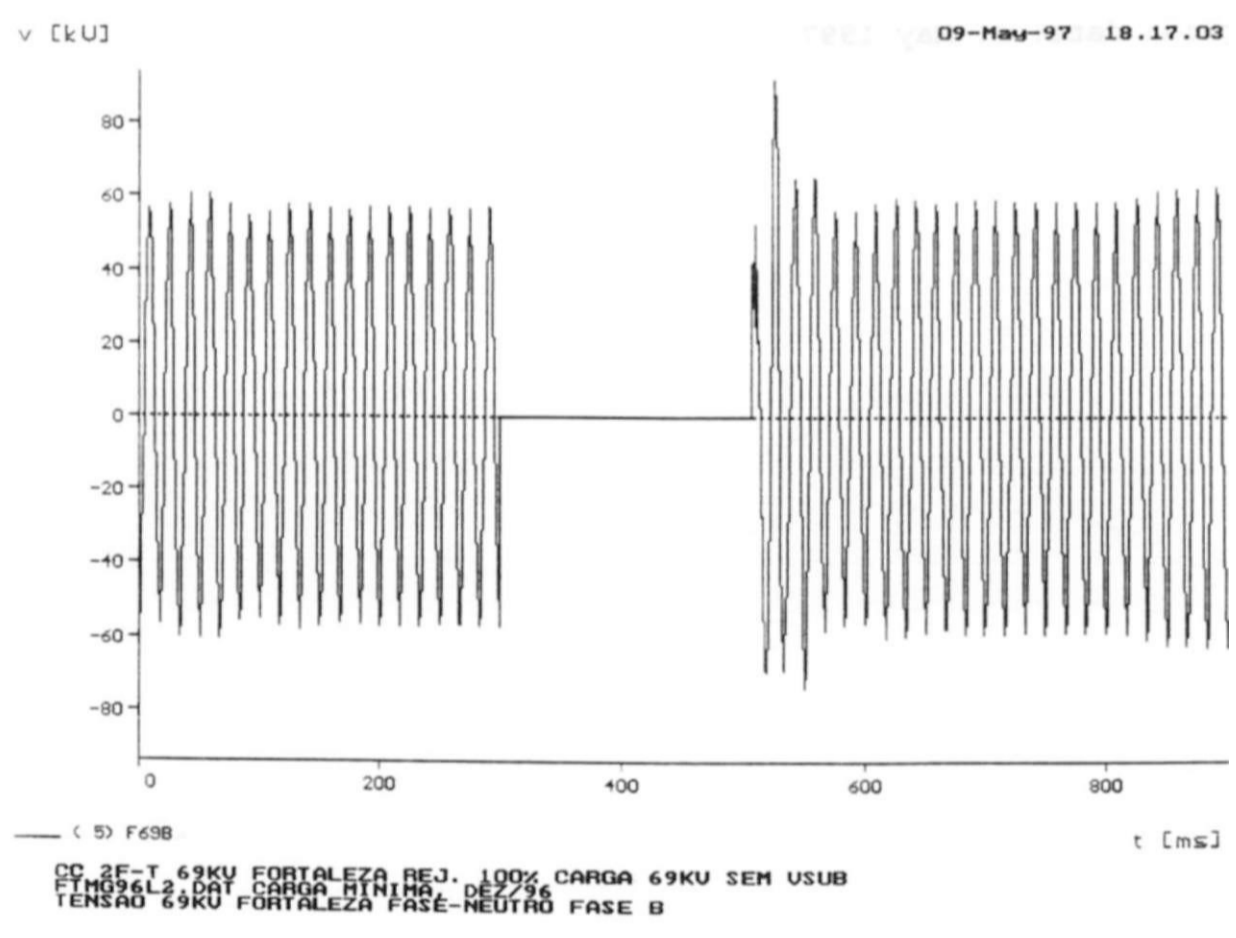
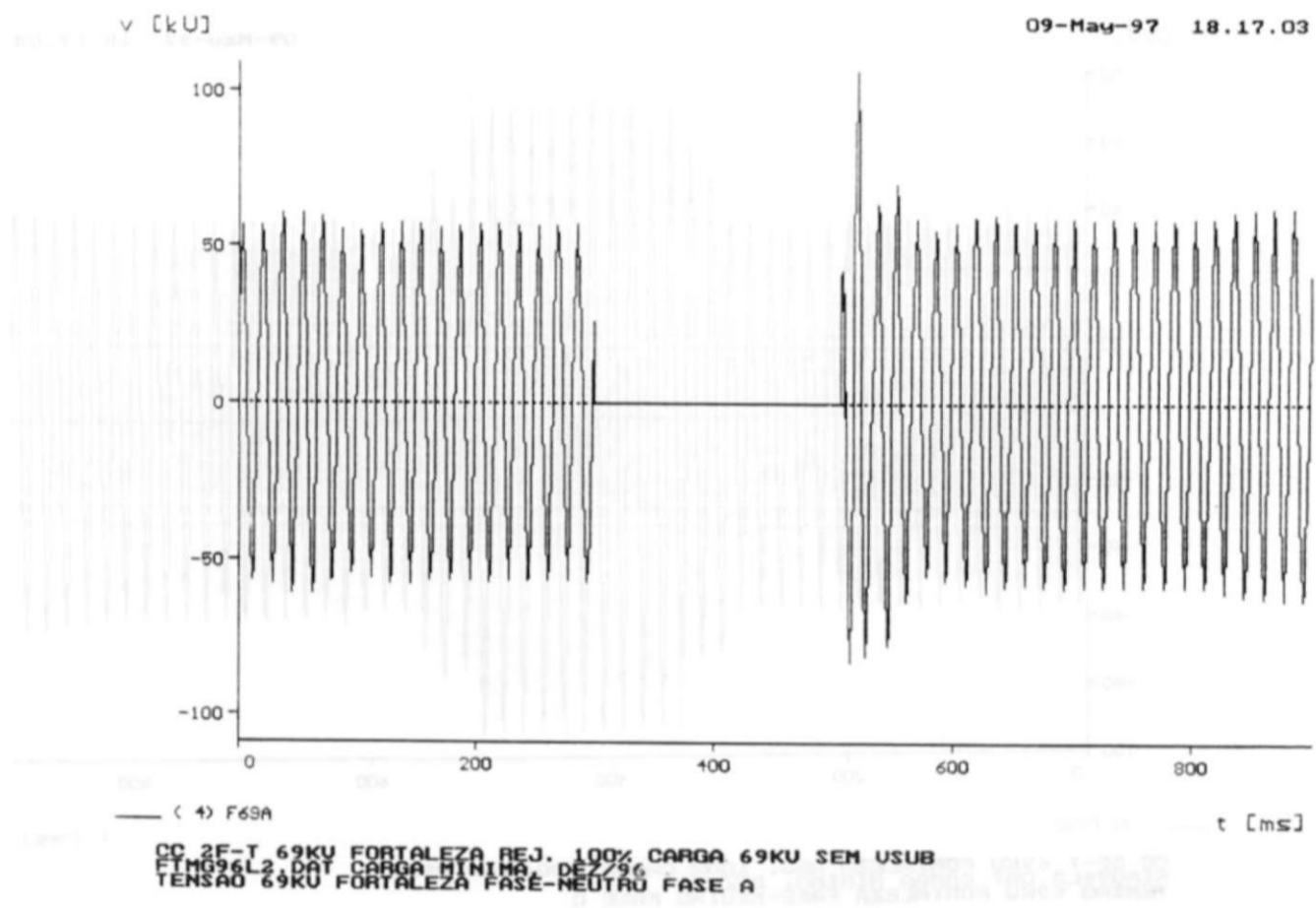
print date: 9. May 1997

v CkU]

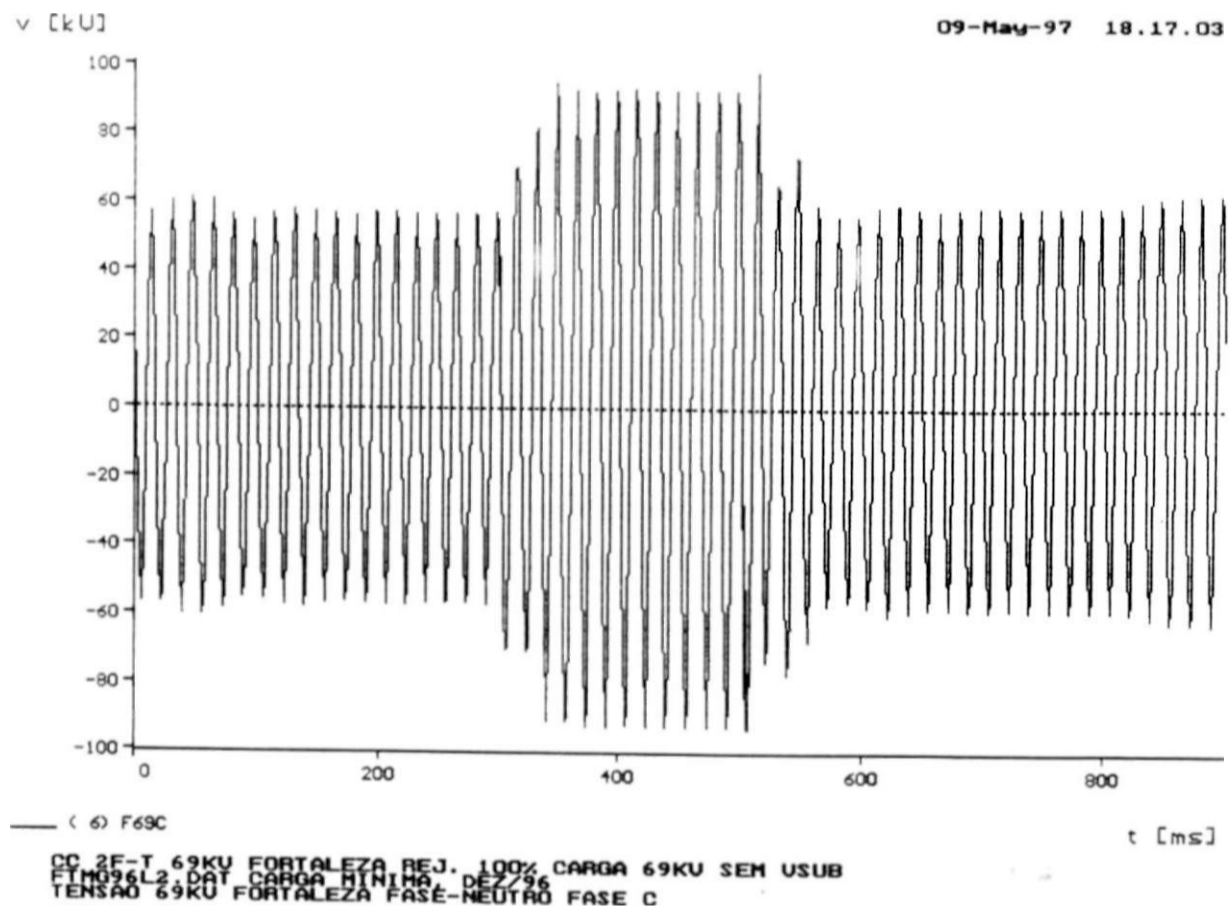
09-M\*n#-97 18.17.03



print date: 9. May 1997



print date: 9. May 1997

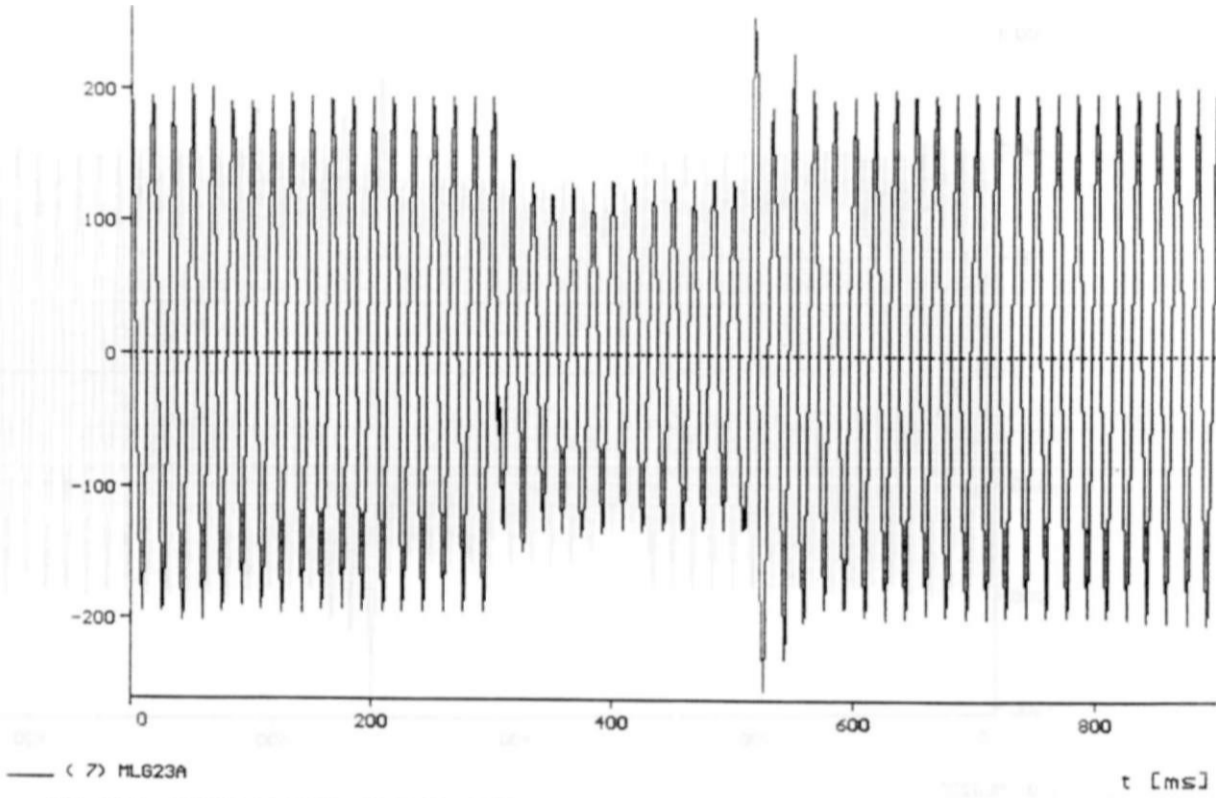


print date: 9. May 1997



v CkU]

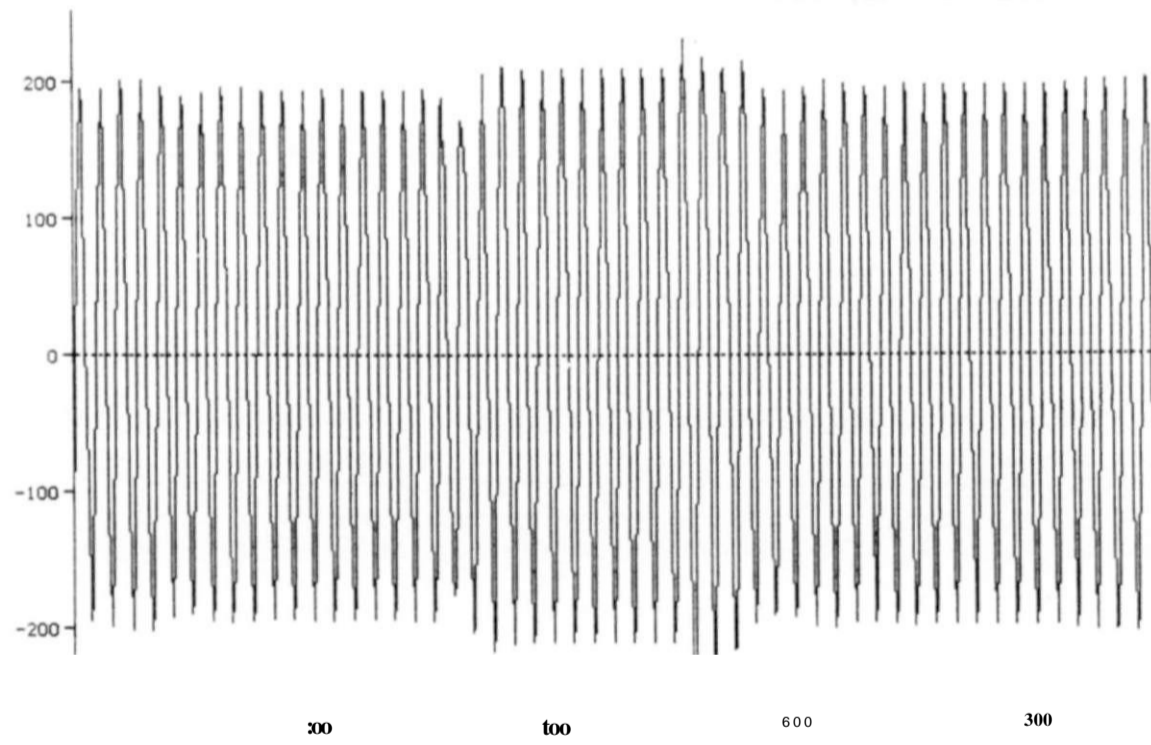
09-H«v-97 18.17.03



CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
FTM096L2.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

v [kU]

09-May-97 18.17.03

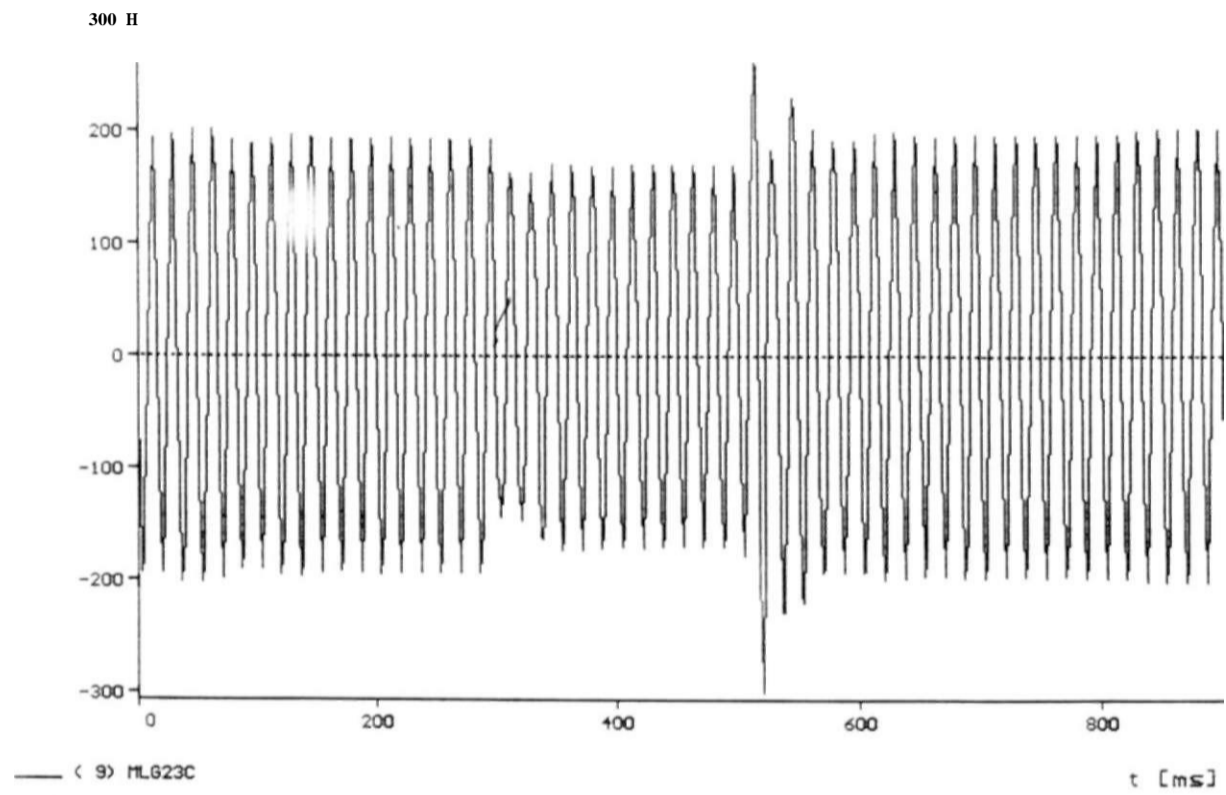


BC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM OSUB  
FTM096L2.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE B

print date: 9. May 1997

v CkU]

09-M»«-97 18.17.03

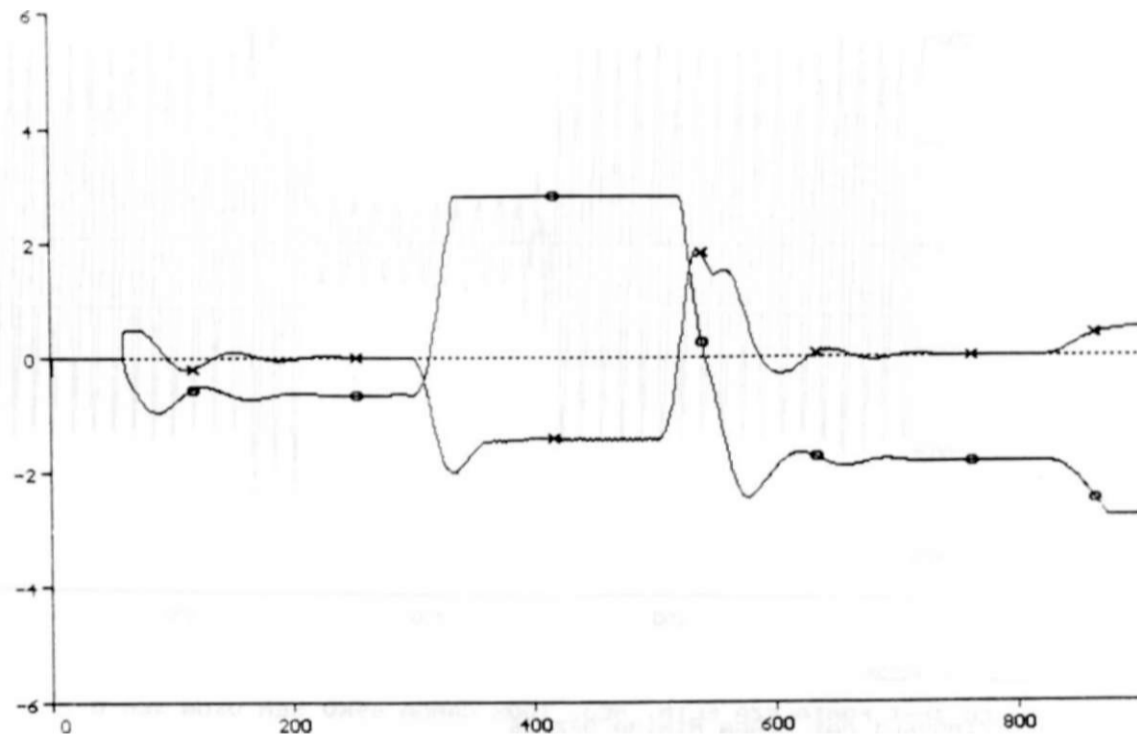


CC 2F-T 69KV FORTALEZA REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB  
FTM096L2.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE C

print date: 9. May 1997

V CUJ

09-M>s4-97 18.17.03



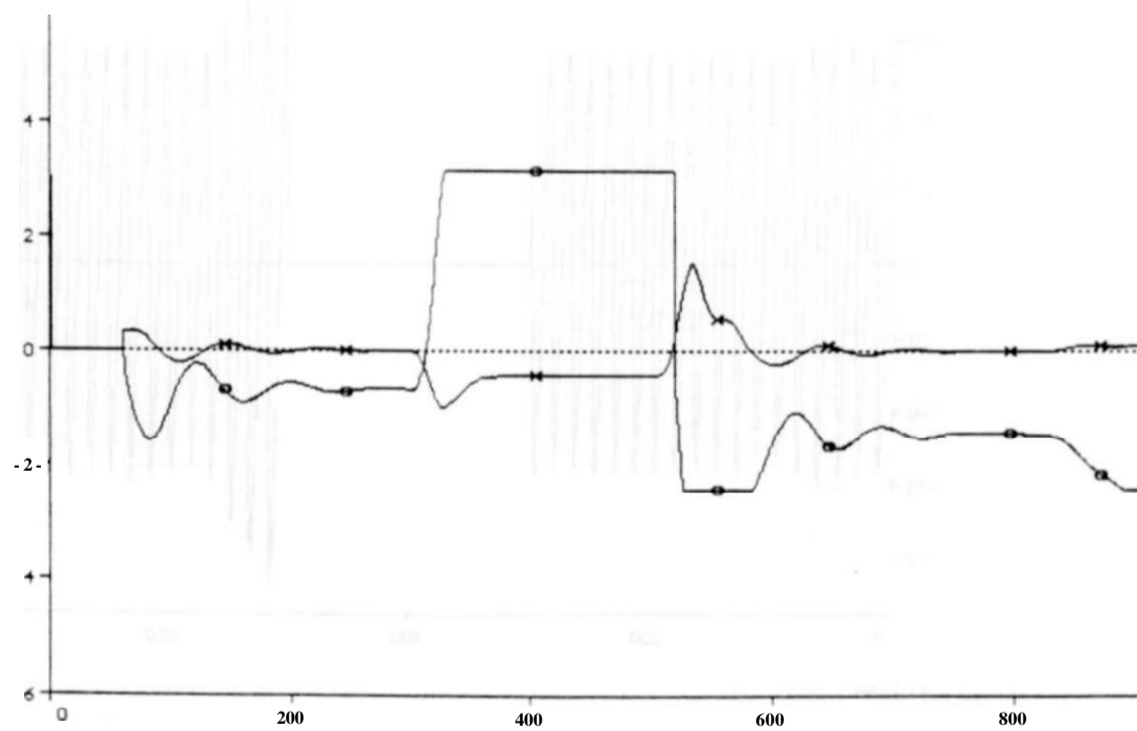
(10) TACS - ENTPI (11) TACS - SAIPi

t [ms]

CC 2F-T 69KU FORTALEZA REJ. 1QOV. CARGA 69KU SEU USUB  
ETMG96L2.DAT CARGA MINHA, DEZ/96  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

V CUJ

09-Nov#-97 18.17.U3



(15) TACS - SAIPin

t [ms]

**fbafâffl BWIQiK'dtVU** ^ 69KUSEMUSUB  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE NILRGRES

print date: 9. May 1997

CkUJ

10-Mey-95 03.S6.23

:00i

:00-

1001

3-1

-1001

-1001

•?00-j

:00

100

400

=00

. ( 1) FC22A

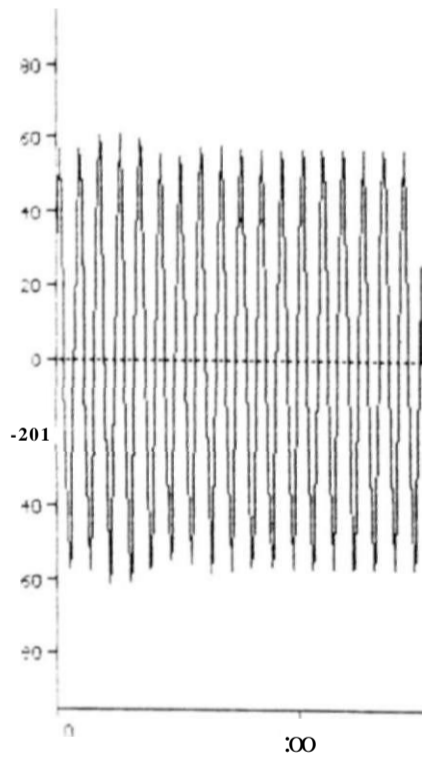
t CmsJ

$\xi C - 2 \hat{f} T 1, \hat{S} 3 i^{\circ} t e \hat{f} 2 \sim \hat{f} E;$        $\hat{f} 00 v.$  CARGA 69KU SEN USUB SEU G  
 FTNG96L3.DAT CARGR MINIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

CkUJ

I a

ic N' » ' í - 95 [oa.56.aa](#)



rá3A

t Cnis]

TENSÃO 69KU FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

Desta forma, variando-se o ângulo de disparo dos tiristores, varia-se a corrente através do reator controlado e a potência reativa produzida pelo compensador. A definição do valor adequado do ângulo de disparo é efetuada pelo sistema de controle, a ser descrito no decorrer deste trabalho.

A característica tensão terminal x corrente ou tensão terminal x potência reativa, denominada curva característica estática, referente aos compensadores estáticos analisados é mostrada na Fig.3.4. A inclinação da referida curva no intervalo de controle, denominada estatismo ou *droop*, pode ser ajustada num valor compreendido entre 0 e 10%, estando atualmente implantados os valores de 3% para o CE Fortaleza e 5% para o CE Milagres. Tais valores foram definidos através de simulações de regime permanente, de forma a se ter uma adequada repartição do carregamento dos dois compensadores em todas as condições de operação possíveis de ocorrer.

A introdução do estatismo na malha de controle dos CEs apresenta os seguintes benefícios:

- Aumento da faixa de operação linear do compensador.
- Melhoria da estabilidade da malha de controle de tensão.
- Possibilita a repartição automática do carregamento entre dois ou mais CEs que se encontrem operando eletricamente próximos.

Na prática, a inclinação da curva característica estática, denominada estatismo, representa a variação da tensão terminal com a corrente do CE e pode ser interpretada como uma reatância conectada entre uma barra fictícia, cuja tensão é a de referência, e a barra de interconexão do CE com o sistema de transmissão, cuja tensão deseja-se controlar.

A operação de regime permanente de um determinado compensador estático pode ser analisada dividindo-se a sua curva característica em três faixas de valores de tensão normalizada:

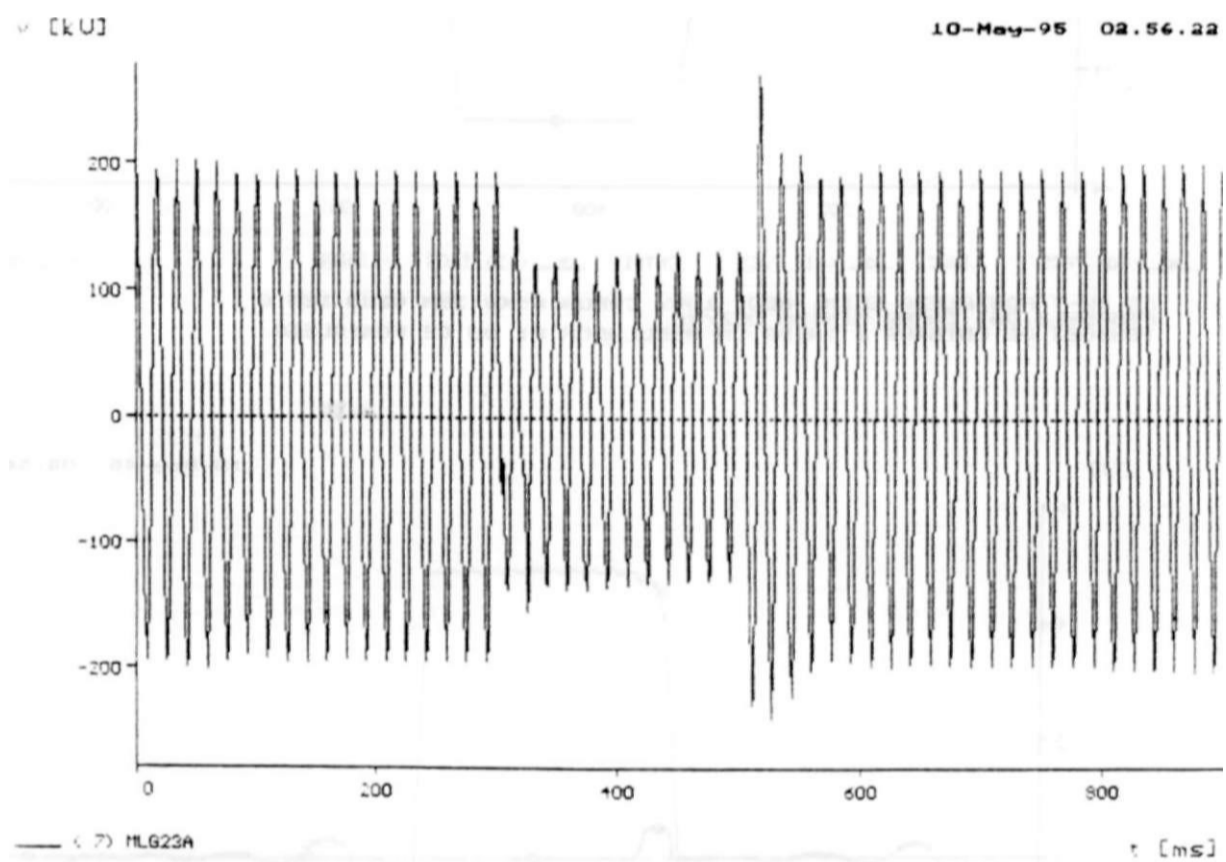
- Trecho I ( $0,95 < V < 1,05$ )

Neste trecho, o compensador estático encontra-se operando no intervalo compreendido entre os seus limites nominais indutivo (correspondente à parte positiva do eixo horizontal) e capacitivo (correspondente a parte negativa do eixo horizontal) e exerce efetivamente a ação de controle sobre a tensão terminal. Este trecho da curva é representado pela equação  $V - V_{REF} = \pm A I$ , onde:

$V$  = Tensão terminal normalizada a ser controlada pelo compensador estático.

$V_{REF}$  = Tensão de referência normalizada, selecionada pelos órgãos de operação do compensador estático como sendo o valor de tensão desejado na barra controlada pelo CE.

$I$  = Corrente injetada pelo compensador estático no sistema de transmissão ao qual é conectado.

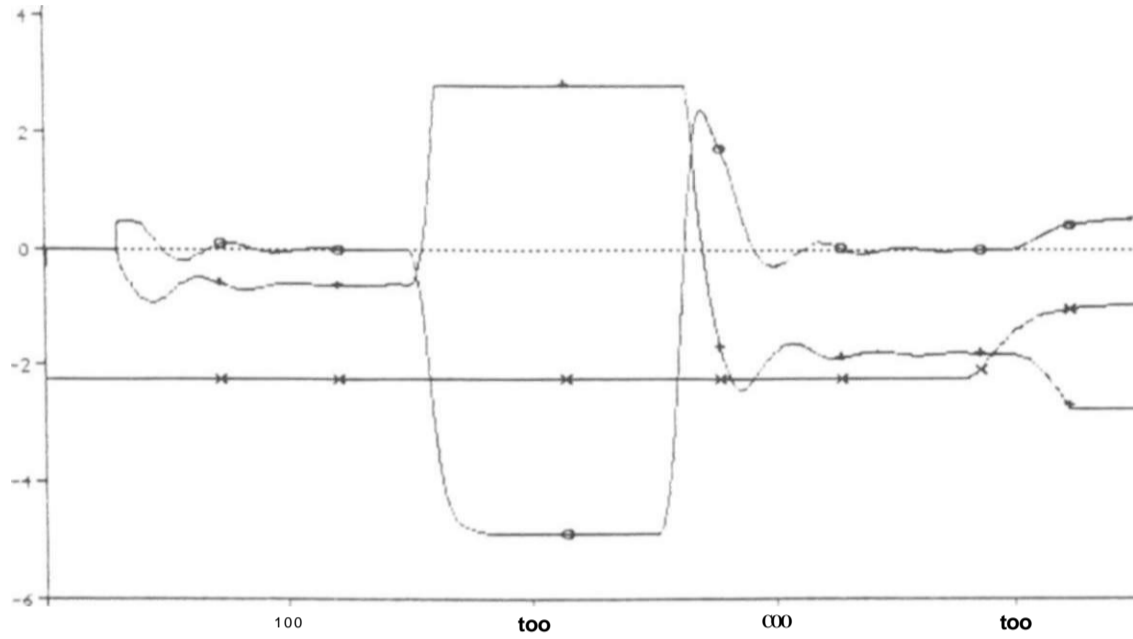


CC 3F-T FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB SEM G  
FTMG96L3.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

print dite: 10. Ngy 1995

CUJ

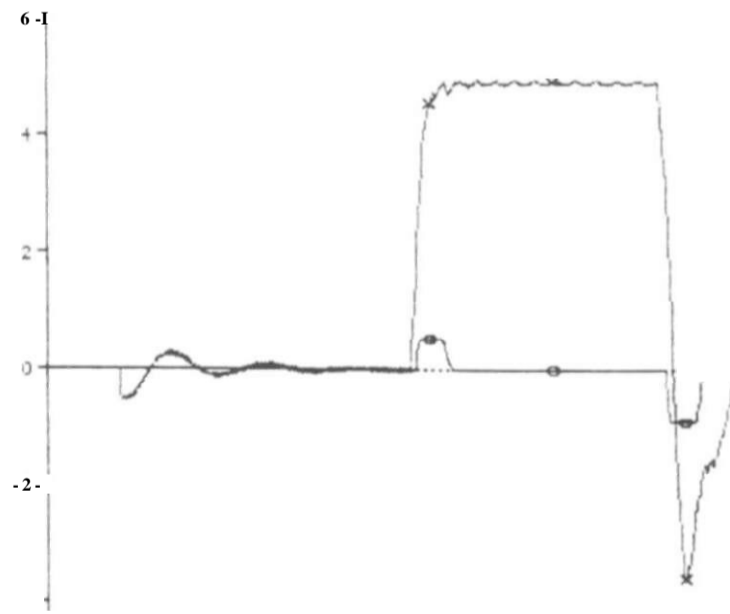
iO-May-95 02.56.22



•.ã) TACS - LINUC      •.ii) TALS - ENIPI      (12) TrCS - ifiPI      r. Cms]  
 CC 3F-T FORTALEZA ELIPI. REJ. ÍOOV. CRRGR 69KU SER USUB SER G  
 FTM696L3.DAT CARRGR MÍNIMA DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRROR E SAÍOA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

CUJ

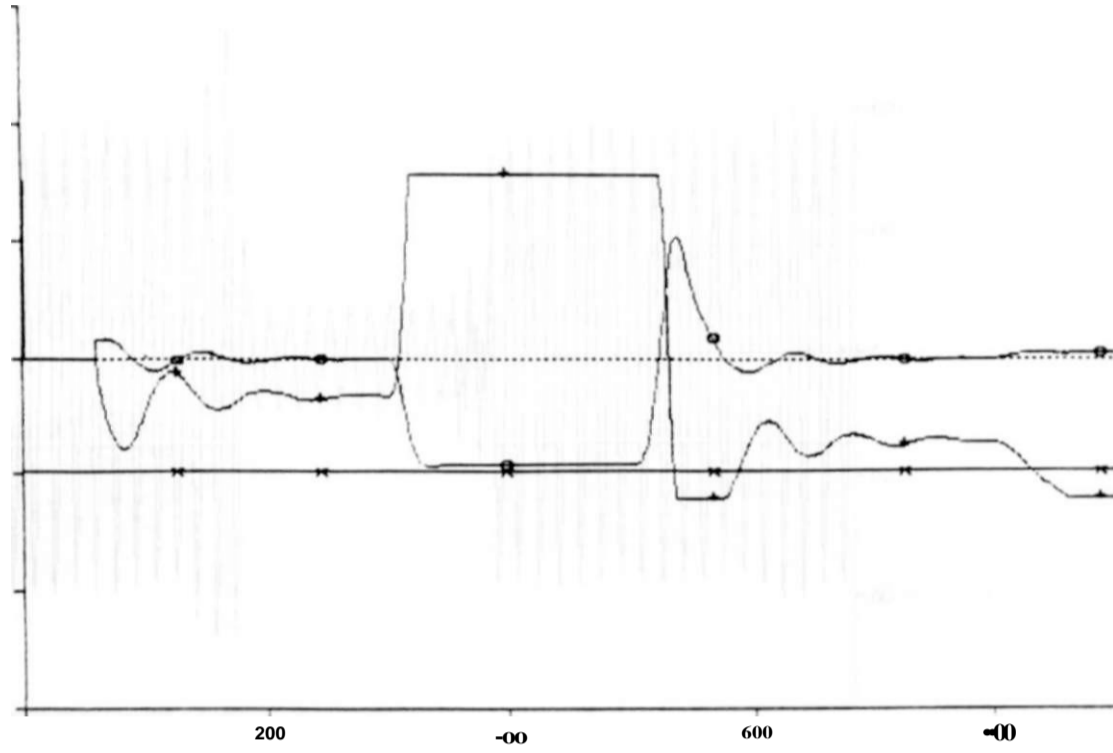
[oa.56.aa](#)



•.12o TrCS - ENIPI      •.14) TACS - irtIPü      r Cms]  
 APLIÇÃO SEXH 5331 INÍCIO J. ÍOOV. CARRGR 69KU SEN USUB SEN G  
 FTM696L3.DAT CARRGR MÍNIMA DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRROR E SAÍOA DO REGULADOR PD DO CE FORTALEZA

CU]

10-H«\*\*-95 02.S6.22



(18) TACS - LINUCH «14) TACS - ENTPIM CID TACS - SAJPIM r Crns]

CC 3F-T FORTALEZA ELIR. REJ. 100V. CARGA 69KU SER OSUB SEM G  
FTNG90L3.DAT CARGA HINIHA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE HILAGRES

CU]

[oa.56.aa](#)

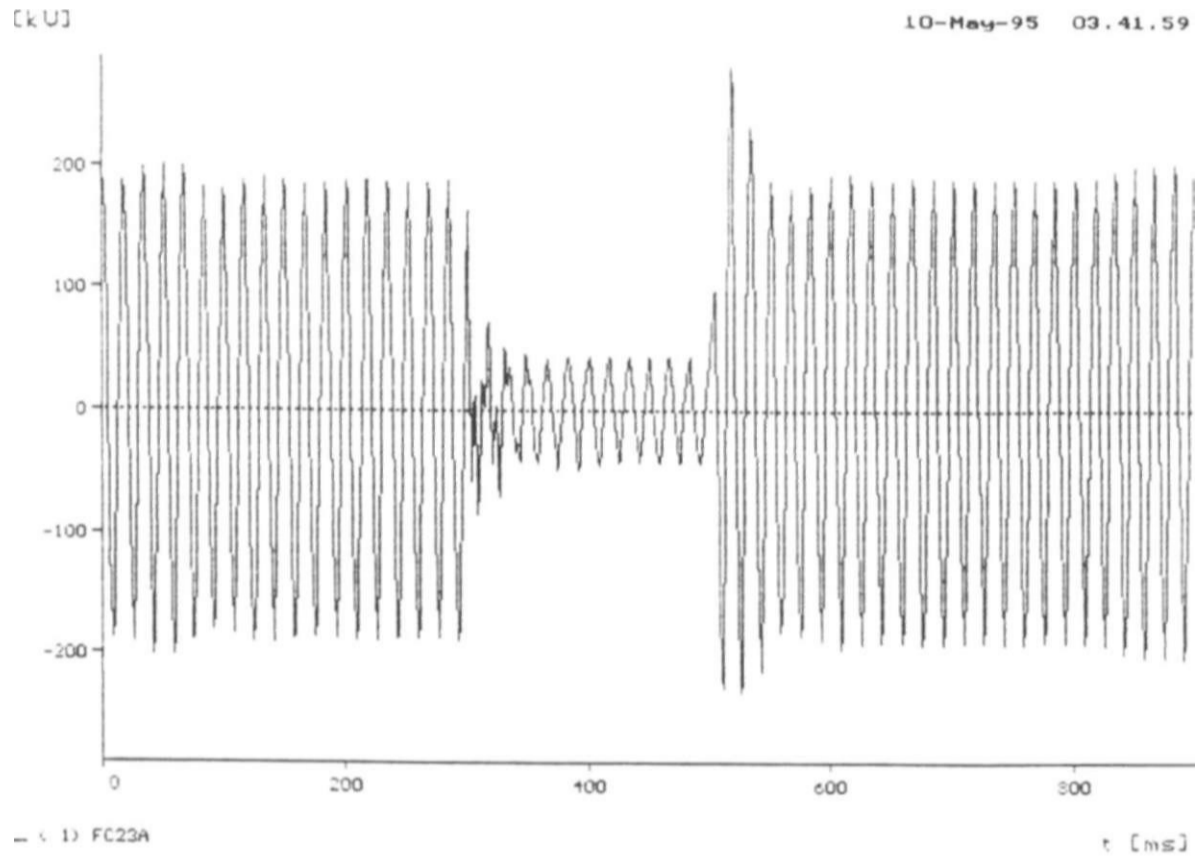
-2-

-00 -00 100 200

.13) TACS - ENTPOn .13) TACS - LrdPiM r Crus]

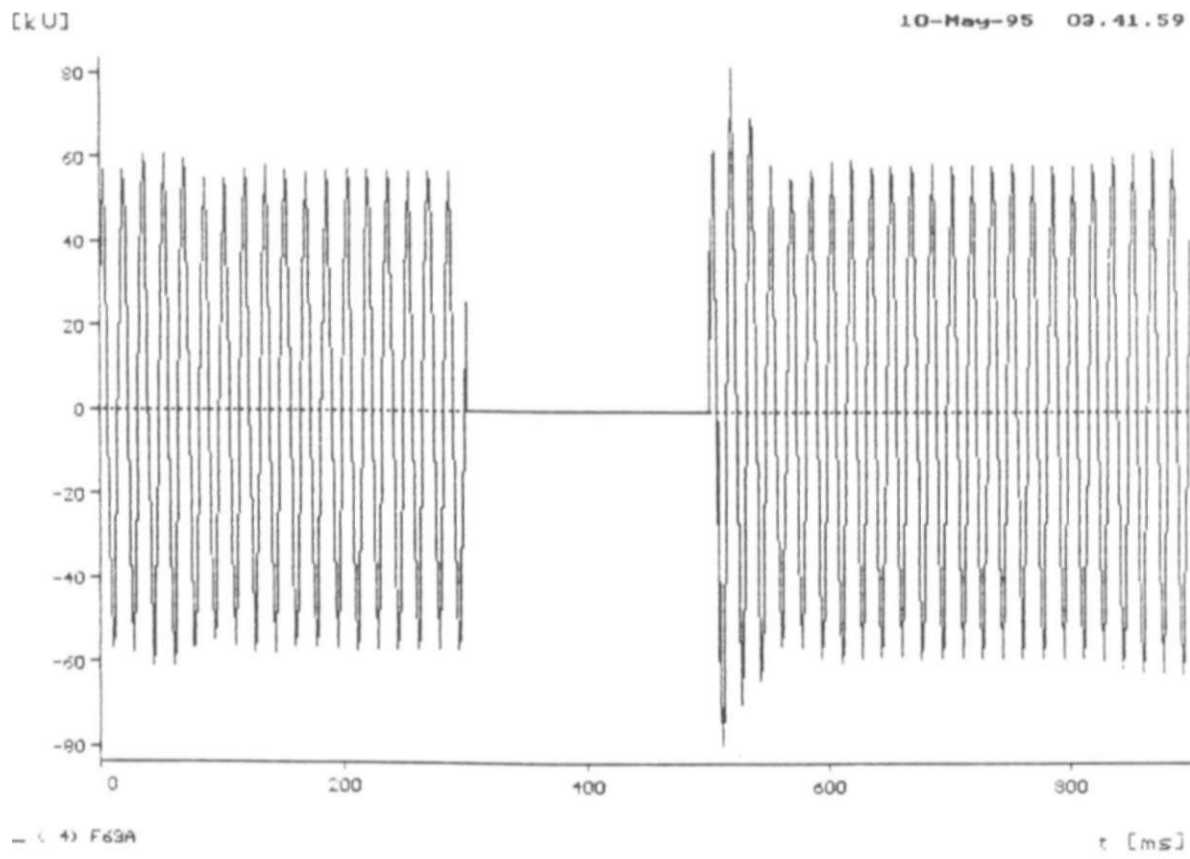
CC 3F-T FORTALEZA ELIN. REJ. 100V. CARGA 69KO SEM USUB SEN G  
F-TMG96L3.DAT CARGA NINIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE MILAGRES





— ( 1 ) FC23A

CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB COM G  
 FTM96L3.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

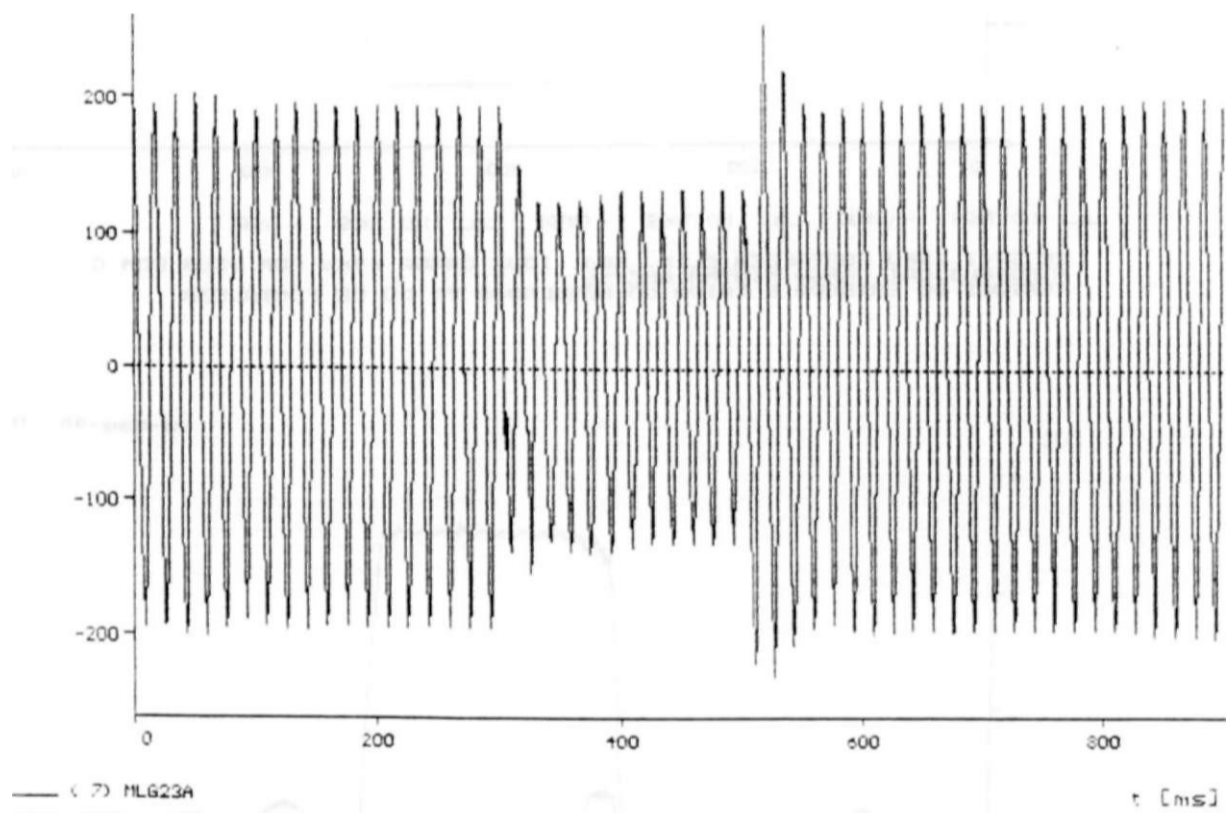


— ( 4 ) F63A

CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB COM G  
 FTM96L3.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
 TENSÃO 69KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

CkU]

10-May-95 03.41.S9



(7) NLG23A

t [ms]

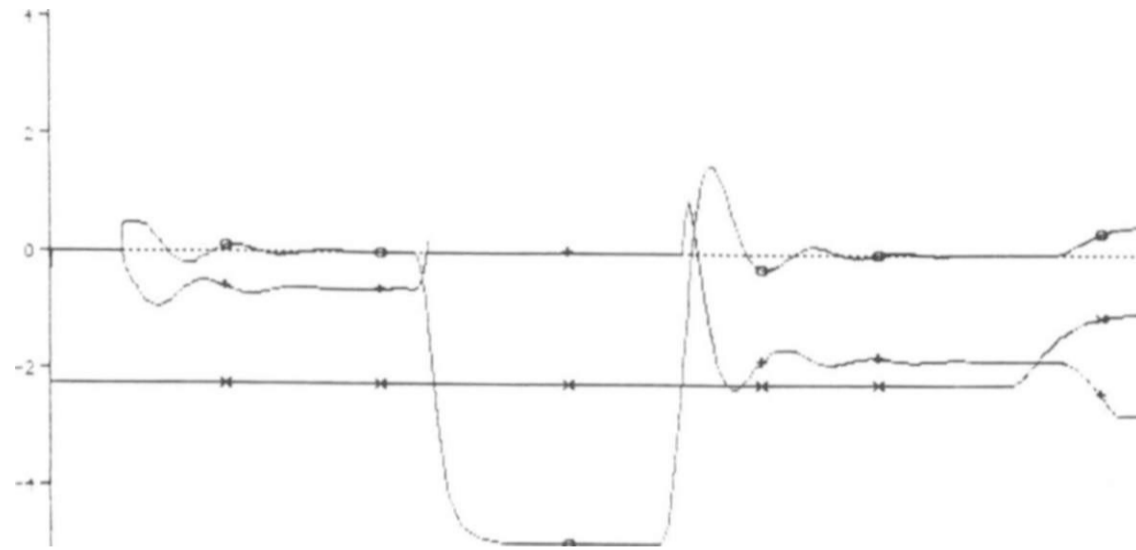
CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB COM G  
FTM926L3.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

onnt date: 10. May 1995

CUJ

» 4 - 9 6

. 5 9

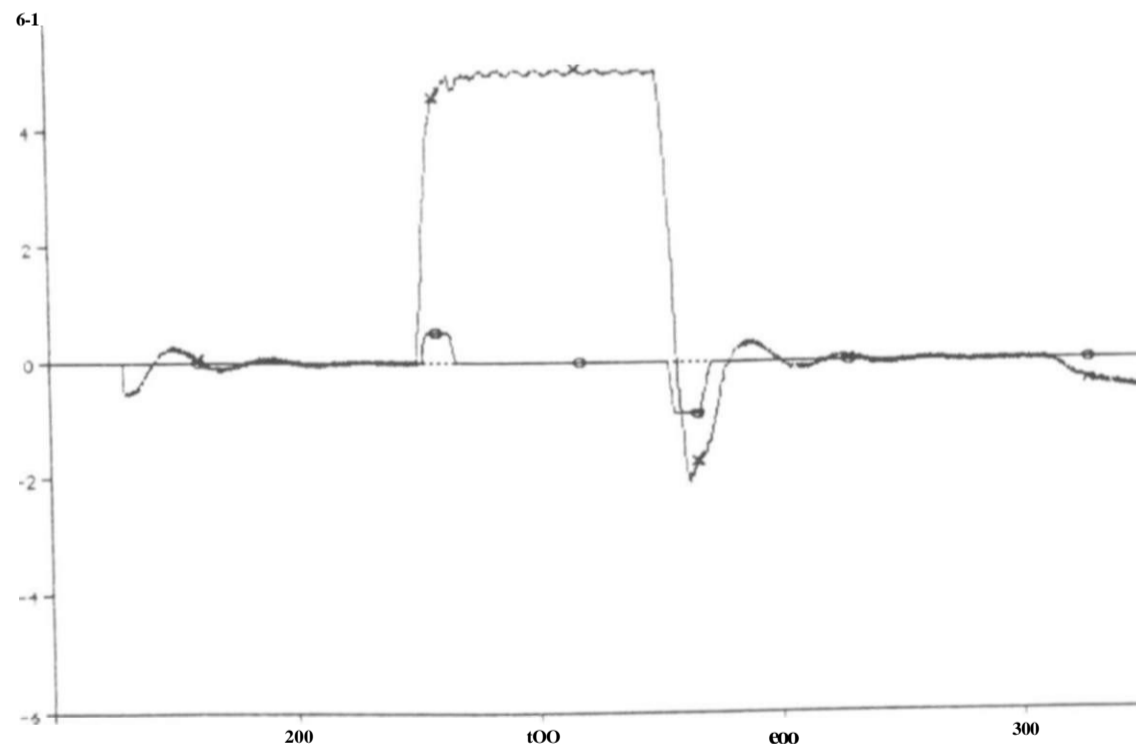


10) TACS - LINUC < 11) TACS - ENTPI .12) THCS - ÍHIPI t Cms J

TENSÕES DE ENTRADO E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTLEZR

CUJ

iO-M«i-93 03.41.39

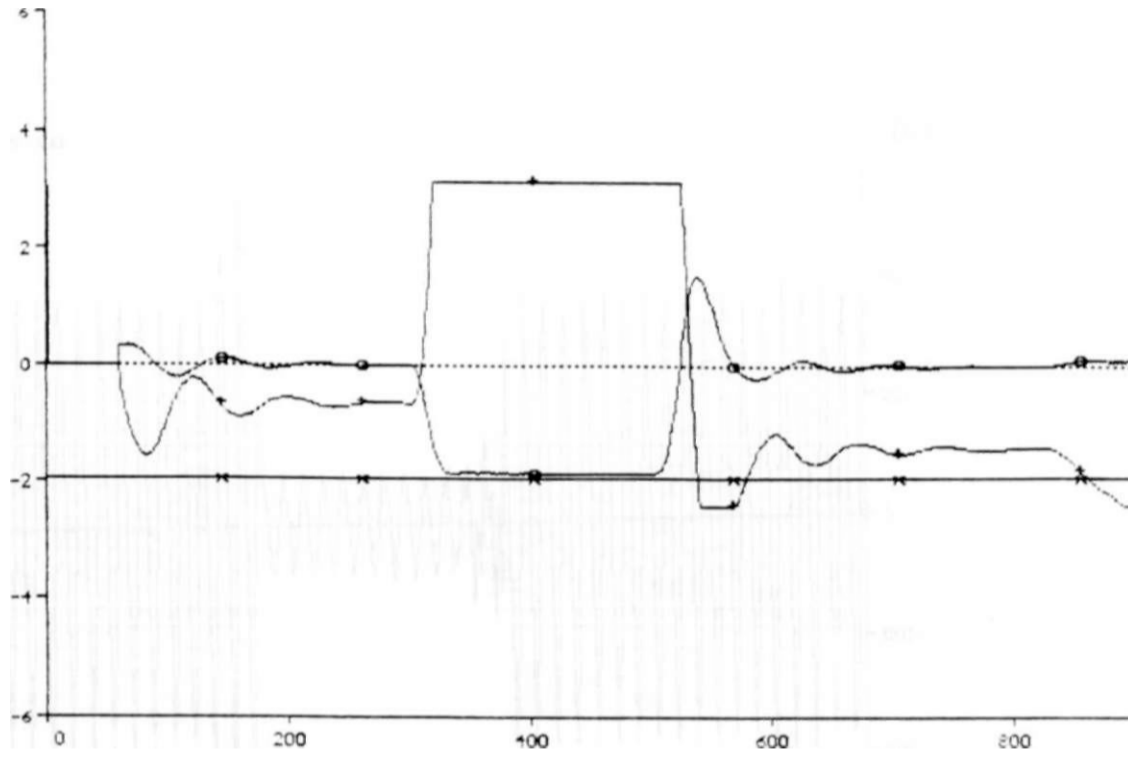


TACS - ENTPD - ÍAIP0 < Cms]

CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIN. REJ. LOOX CARGA 69KU CON USUS CON G  
 FING96L3.DAT CARGA NININA DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRRDR E SAÍDA DO REGULADOR PO DO CE FÖRTRLEZR

CU3

iO-Mov»-95 03.41.S9



(15) TACS - LINUCH (16) TACS - ENTPIM (17) TACS - SAIPIM i Cfsj

2C 251 0 11Y FORTALEZA ELIM. REJ. 100X CARGA 69KU COPI USUB COM G  
FTNG96L3.DAT CRRGR MINIOR DEZ/96

TENSÕES DE ENTRRDR E SRIDR DO REGULROOR PI DO CE NILRGRES

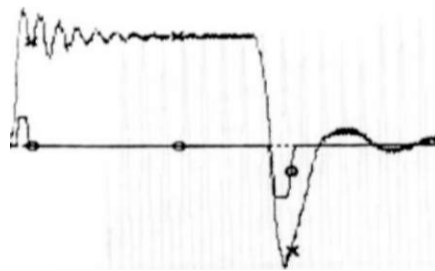
cu:

10-H«\*-95 03.41...9

\*-1

-2"

-4-

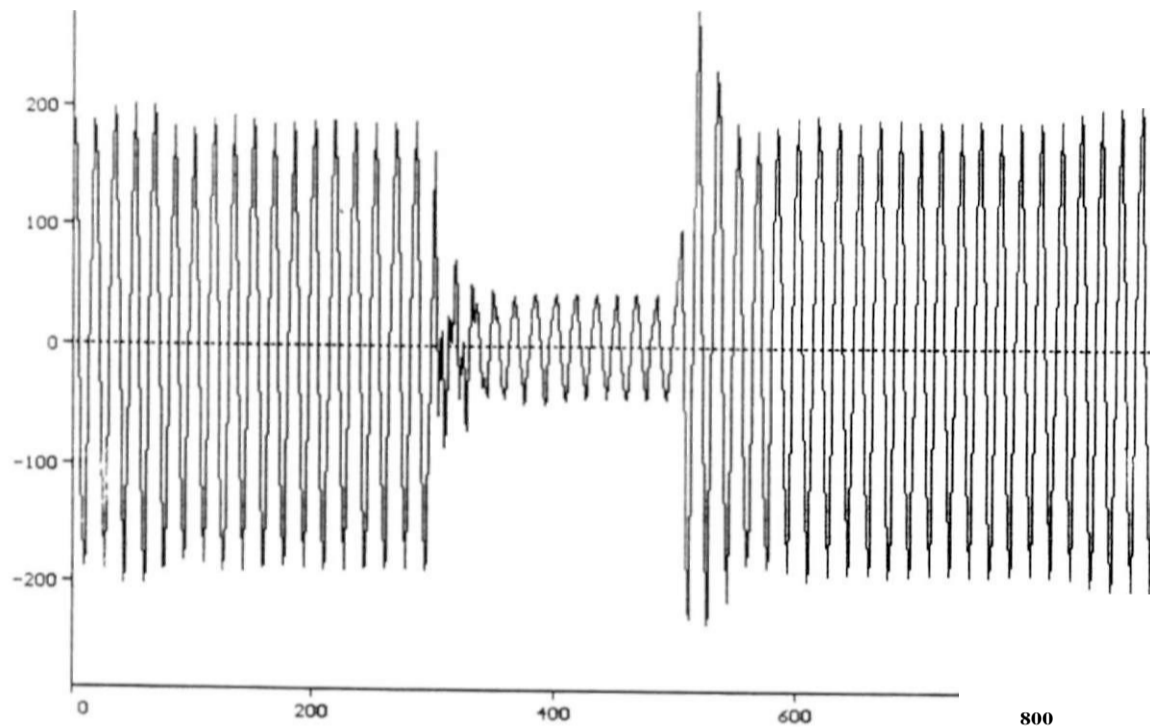


(18) TACS - ENTPOI (19) THCS - IMIPOJI Cm\*]

CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIN. REJ. 100X CRRGR 69KU CON USUB CON G  
ETT1G96L3.DAT CARGA NININA DEZ/96

TENSÕES DE ENTRRDR E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE NILRGRES

09-M\*\*\*-97 18.S4.03



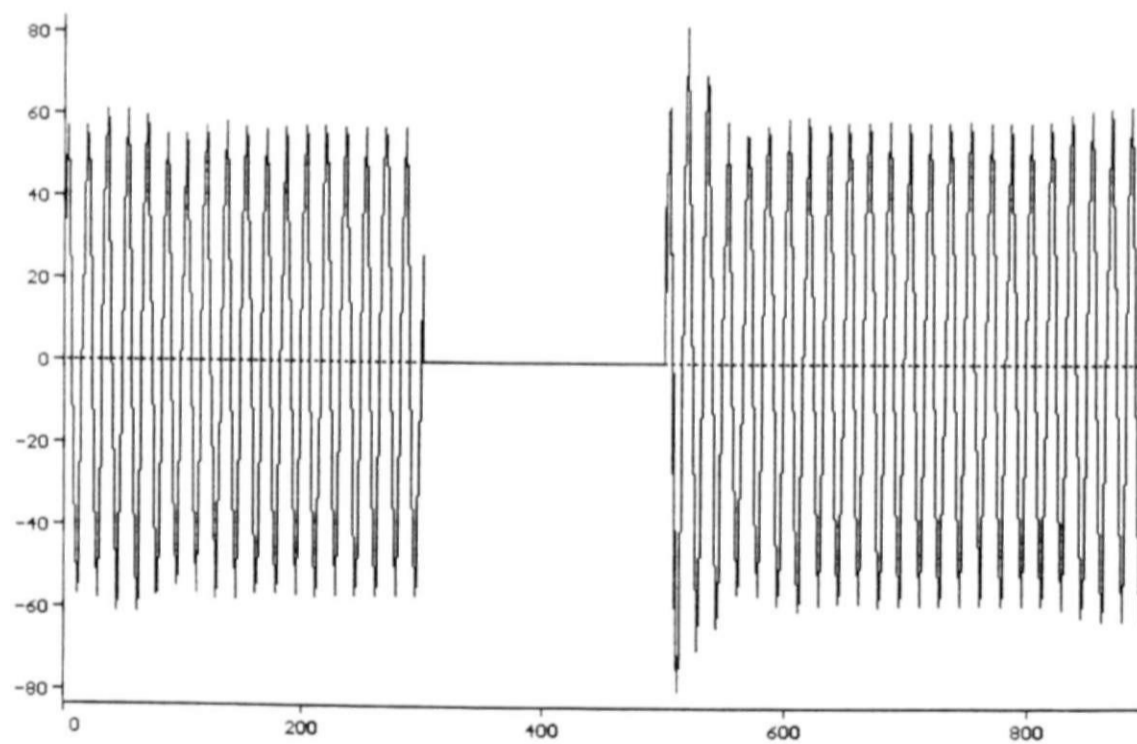
( 1) F623A

t [Cms]

CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
FTM096L3.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

v [kU]

09-May-97 18.54.03



( 4) F69A

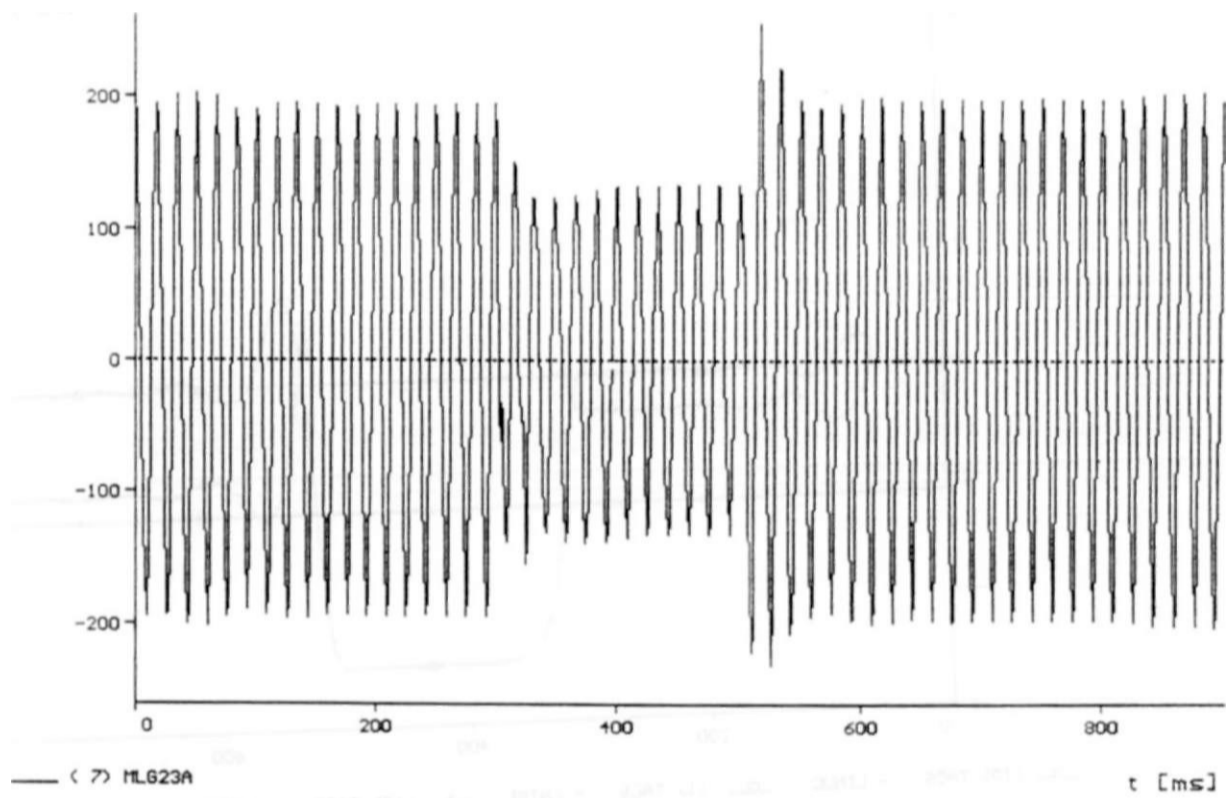
t [ms]

CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
FTM096L3.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSAO 69KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

print date: 9. May 1997

v CkU]

09-Mat\*-97 18.54.03



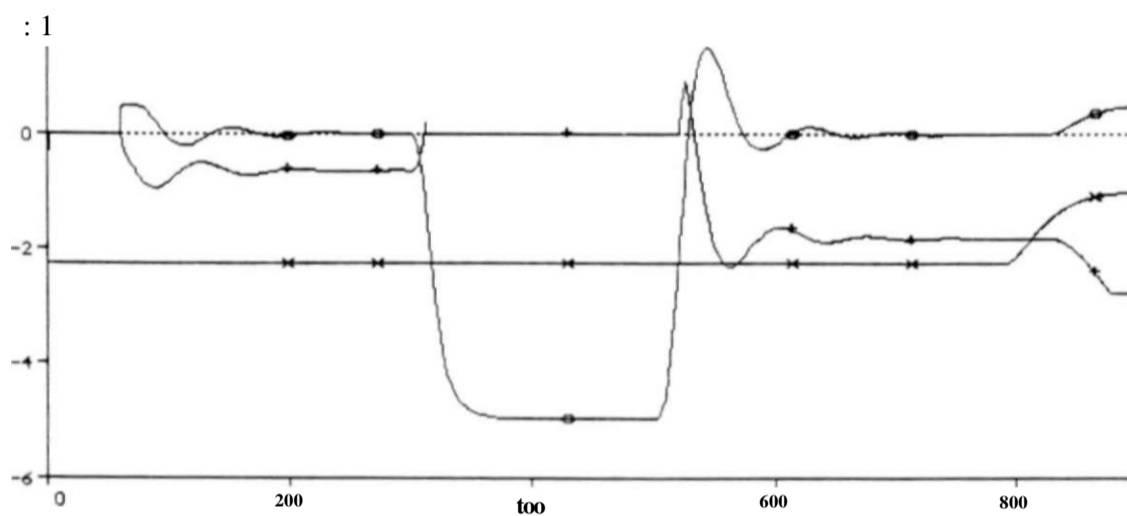
CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV COM USUB SEM G  
FTMG96L3.DAT CARGA MINIMA DEZ/96  
TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

print date: 9. May 1997

v CU]

09-ri»M-97 18.S4.03

6"l



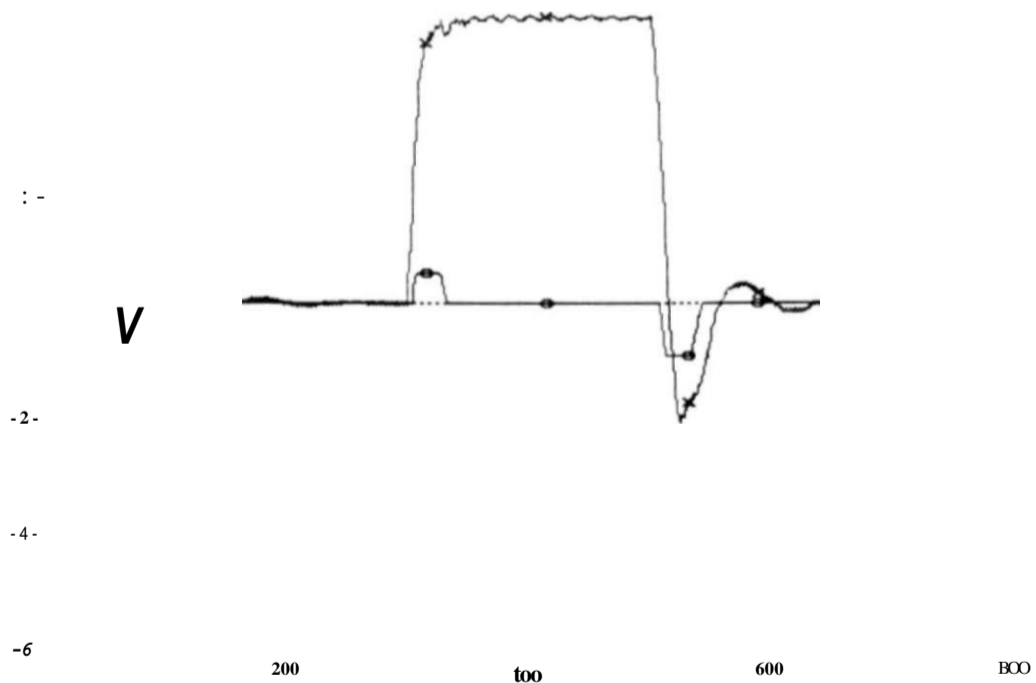
(10) TACS - LINUC a\_ <U> TACS - ENIPI t <12> TACS - SAIPI t Cms]

^ « o ^ ' o S Y W S ^ i K M f í : l o o x C A R D \* 6 9 K U C O M u s u e r E H o  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v/ CU]

09-Na^t-97 18.S4.03

«1



U3) TACS - ENIPI (M> TACS - SAIPO t Cms]

FTNG96L3.DAT CARGA ALEZA ELAIN^ REJP- IOOX CARGA 69KU COM USUB SEM G  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO "REGULAOOR PD DO CE FORTALEZA

print date: 9. May 1997

- Trecho II ( $V < 0,95$ )

Para atingir este trecho da curva, o CE foi levado ao seu limite capacitivo. mas não conseguiu manter sua tensão terminal acima do limite mínimo estabelecido em projeto, uma vez que a sua potência nominal capacitiva não foi suficiente para fazer face à demanda do sistema elétrico, na situação estudada. Assim, como nesta situação o sistema de controle ajusta o ângulo de disparo no valor máximo possível ( $\alpha = \pi$ ), praticamente anulando a corrente no reator controlado a tiristores, o compensador estático passará a se comportar como um banco fixo de capacitores convencional, representado na barra de baixa tensão pela relação  $V = X_c J$ , sendo  $X_c = (\cos \phi)^{-1} X_c'$  a reatância do banco fixo de capacitores. Caso a demanda de potência reativa da rede elétrica não se estabilize e continue a aumentar, a tensão terminal continuará a cair, teoricamente podendo chegar a um valor nulo.

- Trecho III ( $V > 1,05$ )

Para atingir este trecho da curva, o CE foi levado ao seu limite indutivo e não conseguiu manter sua tensão terminal abaixo do limite máximo estabelecido em projeto, uma vez que a sua potência nominal indutiva não foi suficiente para fazer face à demanda do sistema elétrico, na situação estudada. Assim, como o sistema de controle ajustou o ângulo de disparo no mínimo valor possível ( $\alpha = \pi/2$ ), inserindo totalmente o reator controlado a tiristores. o compensador estático passa a operar como um reator fixo convencional, representado pela equação  $V = X_L I$ , sendo  $X_L$  a reatância equivalente a ligação em paralelo do banco de capacitores e do reator controlado totalmente inserido. Caso a demanda de potência reativa indutiva da rede não se estabilize e continue a aumentar, a tensão terminal continuará a subir, até que haja a atuação de algum dispositivo de proteção desligando linhas de transmissão ou outros equipamentos.

Na análise dos trechos II e III da curva característica estática do CE, foi desprezada, em prol da simplificação, a impedância de dispersão do transformador abaixador, o que em nada altera o aspecto qualitativo das conclusões obtidas.

Pode-se ter também o compensador estático operando na chamada "operação manual", onde o referido equipamento trabalha com um ângulo de disparo fixo e, como consequência da Eq.(3.16), com a admitância normalizada  $Y$  constante, que pode ser ajustada pelo operador, independentemente das variações de tensão que se verifiquem na rede elétrica. Nesta situação, o regulador de tensão é bloqueado e o CE passa a comportar-se como um elemento shunt fixo, indutivo ou capacitivo, a depender do ângulo de disparo selecionado. E evidente que em operação comercial, o CE deve trabalhar no modo automático, onde ele exerce a sua função primordial que é o controle da tensão terminal. Entretanto, em algumas situações de recomposição do sistema elétrico após grandes perturbações e durante a realização de certos ensaios, é necessário ter o CE operando em um ponto fixo, o que se consegue com a operação manual.

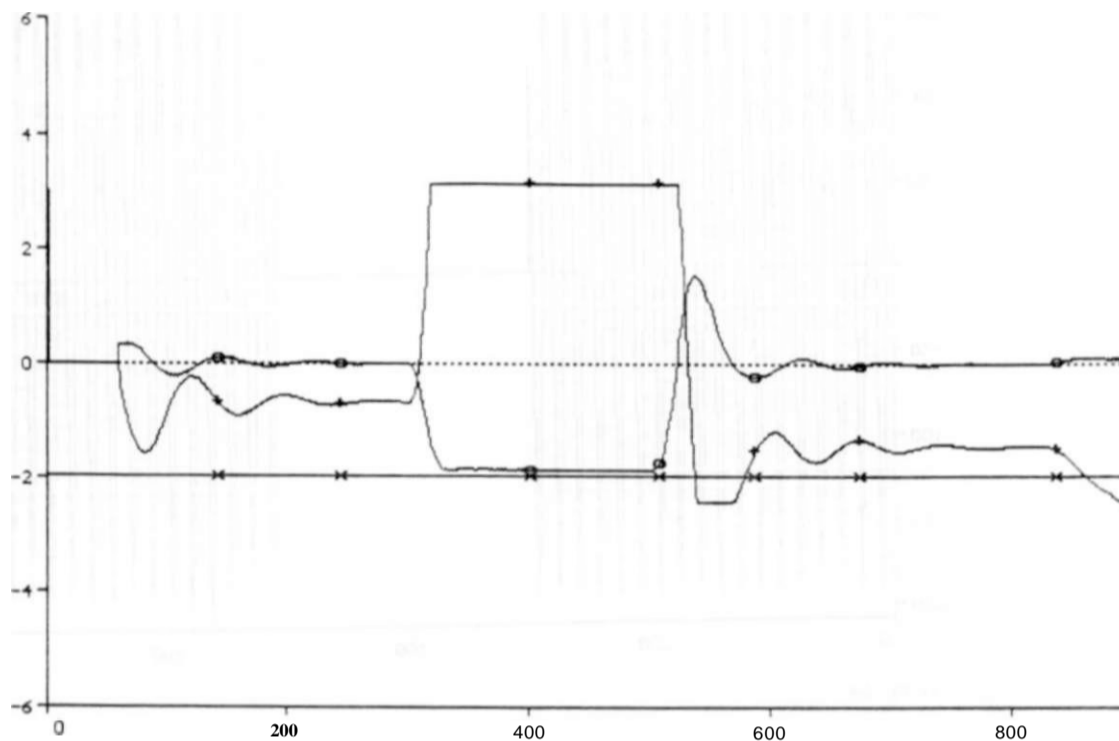
#### 4.3.3 - Grandezas de entrada

O regulador de tensão dos compensadores estáticos de Fortaleza e Milagres, cujo diagrama de blocos simplificado é mostrado na Fig.4.2, é um sistema de controle analógico de



v CU]

Q9-May-97 18.54.03

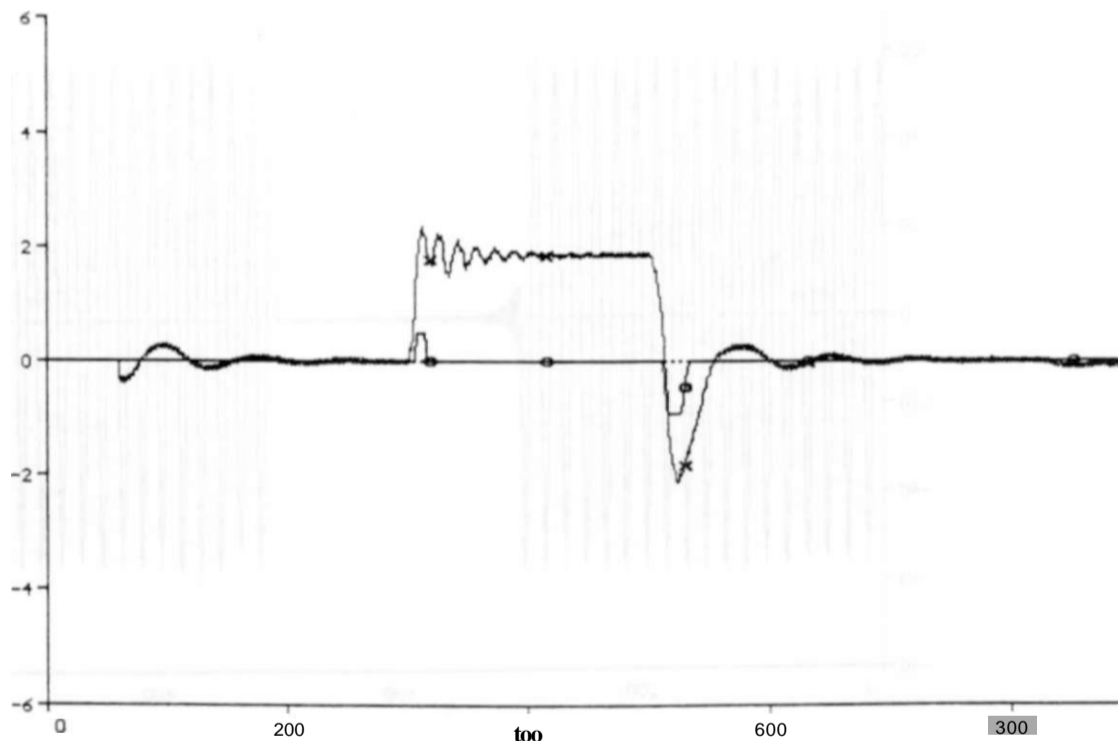


(15) TACS - LINUCfl (16) TACS - ENTPin » (17) TACS - SAIPIM t Cms]

r5?Ho°6L3°sv \$Bfâffli9£9t&£. I o o x C A R G A 6 9 K U C O M # S U O S E M G  
TENSÕES DE EN.RADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES

v CU]

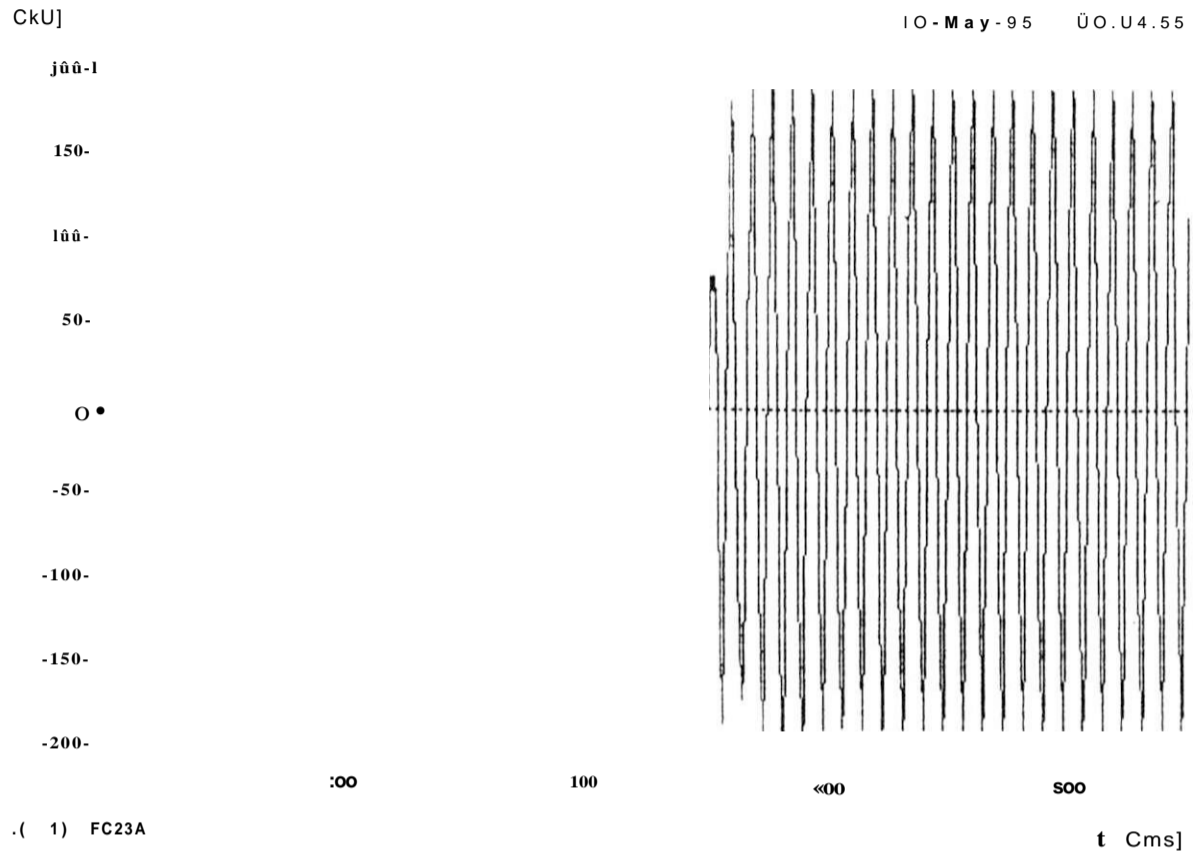
Q9-Na\*\*-97 18.S4.03



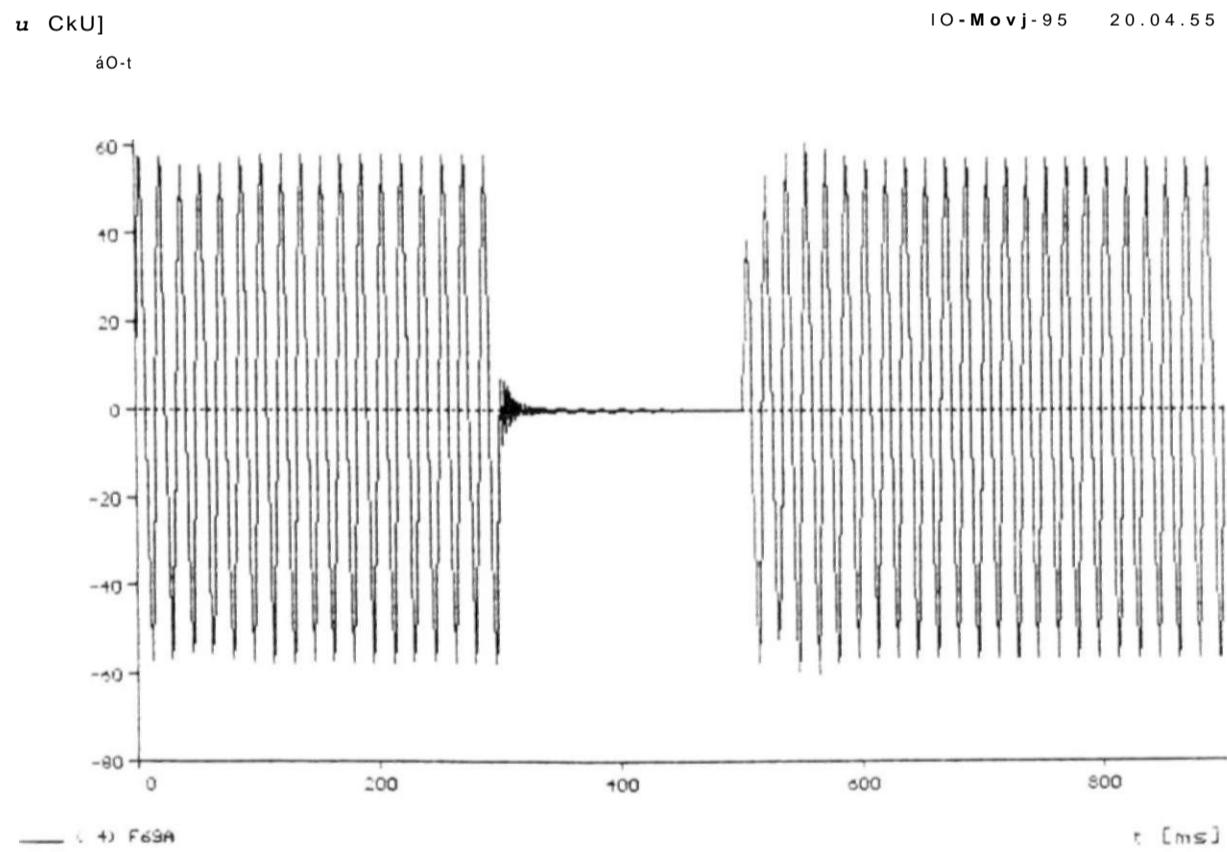
(18) TACS - ENTPDI (19) TACS - SAIPOM t Cms]

Jf7.'."2!<v FORTALEZA ELIN. REJ. ÍOOX CARGA <>9KU CON USUB SEN G  
AT CARGA MININR DEZ/96  
ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE HILRGRES

print date: 9. May 1997

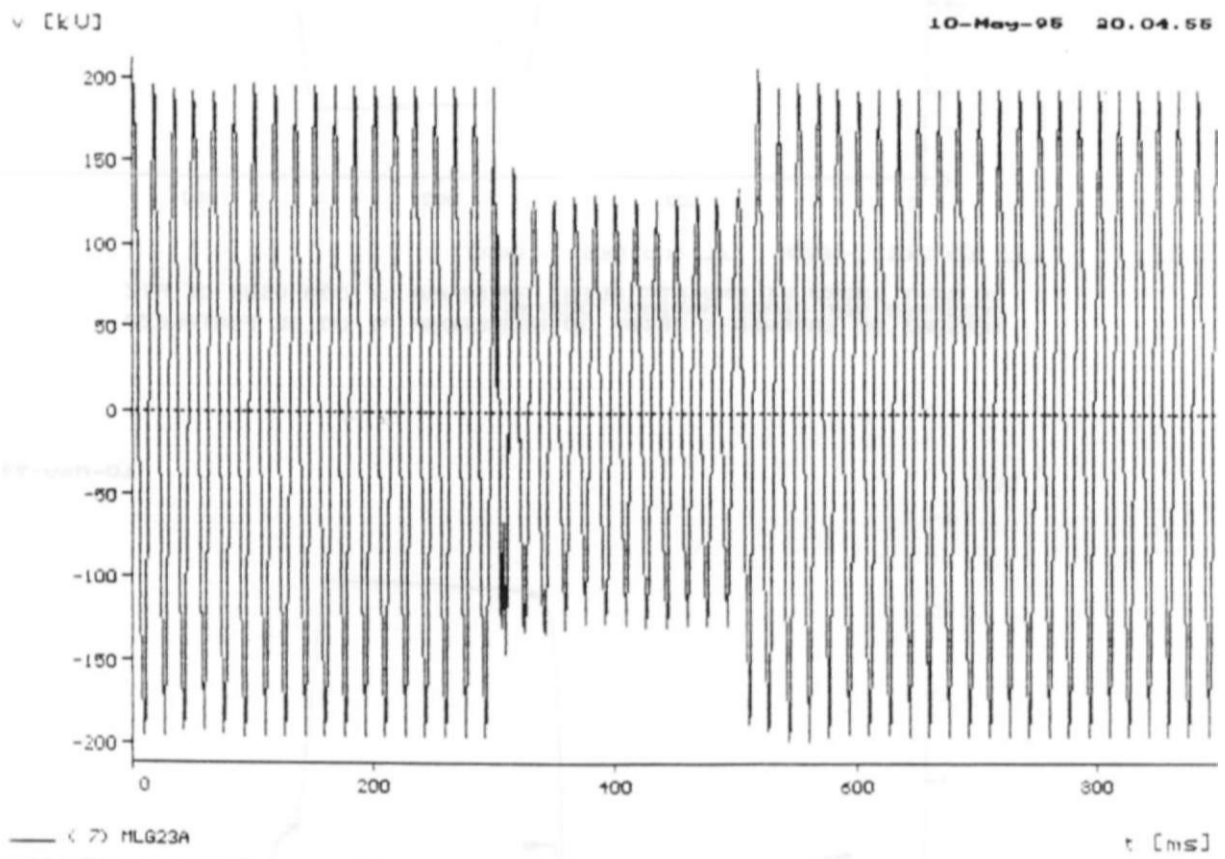


TENSAO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A



CC 3F-T 230KV LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT COM USUB CE FTZ  
 CC23F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSAO 69KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

25. 01. 95 20.04.55



CC 3F-T 230KV LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT COM USUB CE FTZ  
CC23F96P.DAT CARGA MAXIMA, DEZ/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

print date: 10. May 1995

000 100 200 300 400 500 600 700 800

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

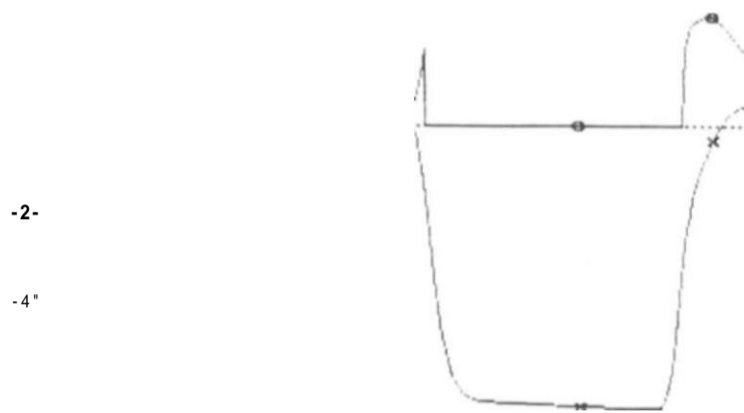
CU]

IO-M «M-95 aO.O\*.55

) -i

6 -1

1 -



.10) TrtCS - ENTPI

.1i) TrtCS irtlPI

C msJ

CC\_3F-T\_230KU\_LT\_BNB-FTZ\_EHri\_ABERTURA\_LT\_COR\_USUB\_CE\_FTZ  
 CCZ3F96P.DAT\_CARGR\_MAXIMA\_DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

CU]

IO-HSM-95 30.04.55

3-1

6"

1 -

2-

-2-

-4-

-9

100

100

400

500

.12) TrtCS - ENTPO

.12) TrtCS irtlPO

[ms]

CC\_3F-J\_230KU\_LT\_BNB-FTZ\_ELIN\_ABERTURR\_LT\_CON\_USUB\_CE\_FTZ  
 CCZ3F96P.DAT\_CARGA\_MAXIMA\_DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PD DO CE FORTALEZA

CU]

10-Moy-95 30.04.55

3-i

t •

•9

:00

too

soo

300

1 t J TrtCS - ENTIPIM

•15) TrtCS - irtIPIM

i Crns]

CC 3F-T Z3DKU LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT COR USUB CE FTZ  
CCZ3F96P DAT. CARGR FAXIPIA. DEZ/96  
TENSORES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES

CU]

10-Mo., - « 30.04.55

9-i

1-



-2-

-1-

200

too

400

EOO

(16) TrtCS - ENIPOM

U?) TrtCS - SrdPOM

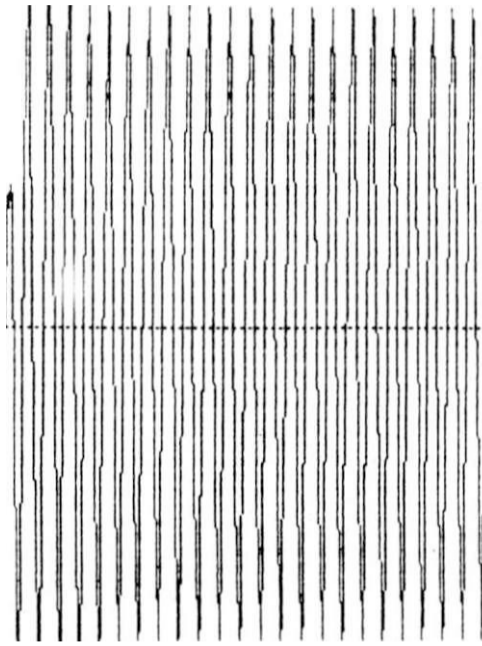
t Crns]

CC3F-T230KULT BNB-FTZ ELIN. ABERTURR LT COM USUB CE FTZ  
CcE?n?e^A2^X^^25S° NAXIHA, DEZ/96  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PD DO CE NILAGRES

CKU]

10-N «\*, -95 31.15.19

:00 -I



:00

too

600

300

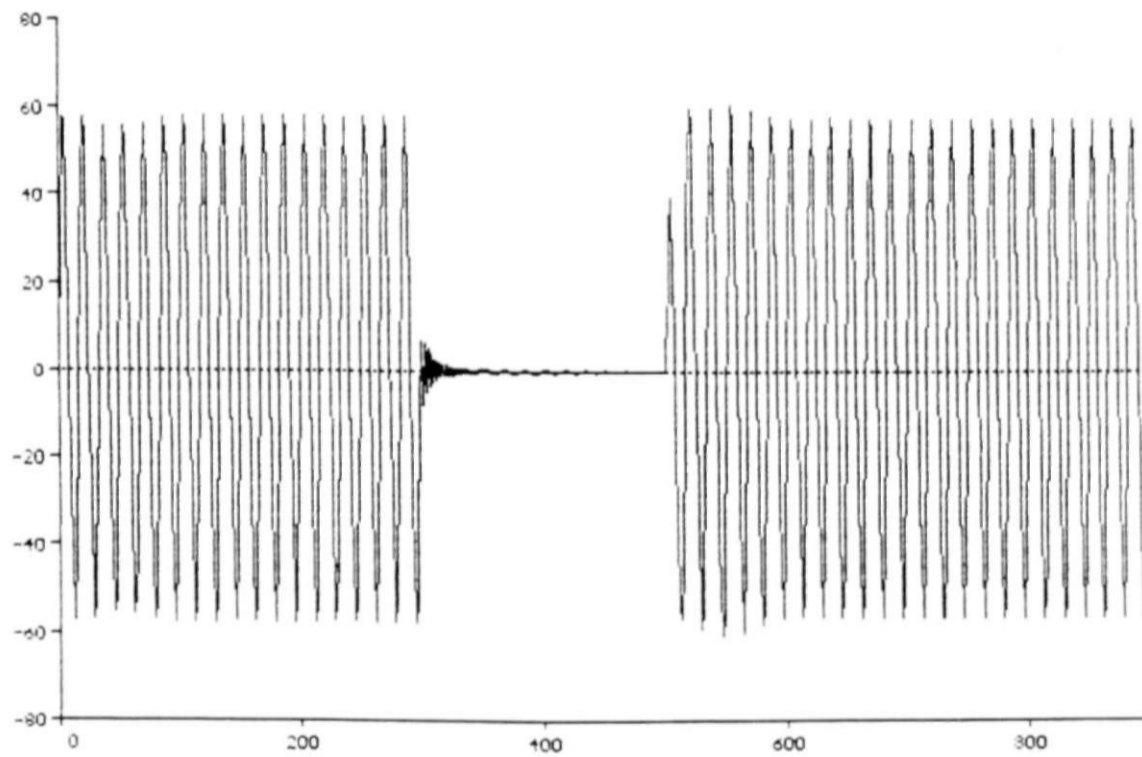
- 1J FC23A

Crns]

TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

[kU]

10-May-95 21.15.10



- ( 4) F63A

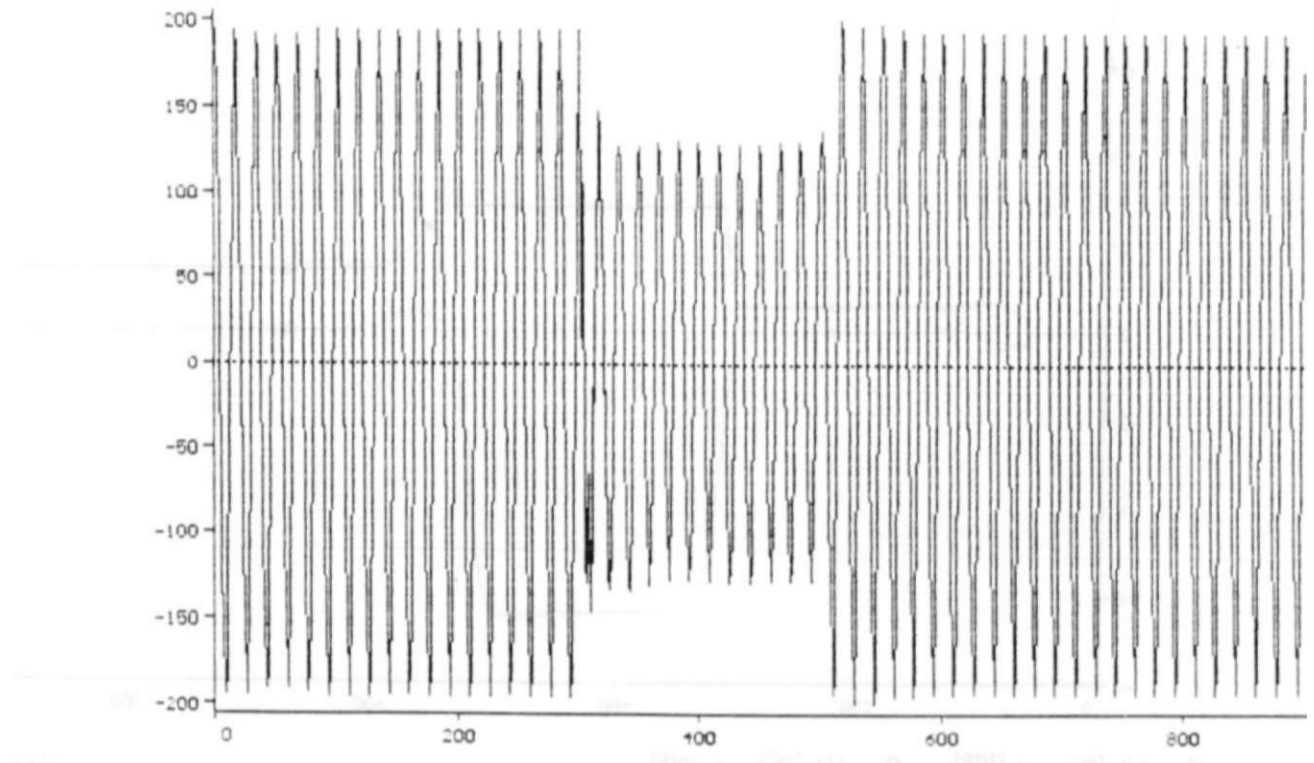
t [ms]

CC 3F-T 230KV LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT SEM USUB CE FTZ  
CC23F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 69KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

SI 91 24 20-000 111

10-May-95 21.15.18

v [kV]



(7) NL622A t [ms]

CC 3F-T 230KV LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT SEM USUB CE FTZ  
 CC23F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

SI 91 24 20-000 021



(7) NL622A t [ms]

CC 3F-T 230KV LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT SEM USUB CE FTZ  
 CC23F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

CUJ

10-Mo-95 31.15.10

i-1

-4-

-8-

:00

-00

i00

300

LO) TrCS - eNPI

11J TrCS - brIPI

Crns]

CC 3F-T 230KU LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT SER USUB CE FTZ  
CC23F96P.DAT CARGA MÁXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRRDR E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

cu]

10-Hs^95 ai.15.10

3-1

6 1

1 •

2-

-2-

-d

200

too

400

200

12; TrCS - ENIPO

•13) TrCS - SAIPO

Crns]

CC23F96P.DAT CARGA MÁXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE FORTALEZA



CU]

10-May-95 21.15.18

61

-2H

-41

-8'

200

100

600

100

tM> TrCS - ENTPIM

15) TrCS - irIPiI

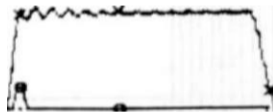
r Cms]

CC 3F-T 230KU LT BNB-FTZ ELIN. ABERTURR LT SER USUB CE FTZ  
CC23F96P.DAT CORGO NAXINA, DEZ/96  
TENSÕES DE ENTRROR E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES

CU]

10-HSM-95 ai.is.ie

ti



-1

200

100

100

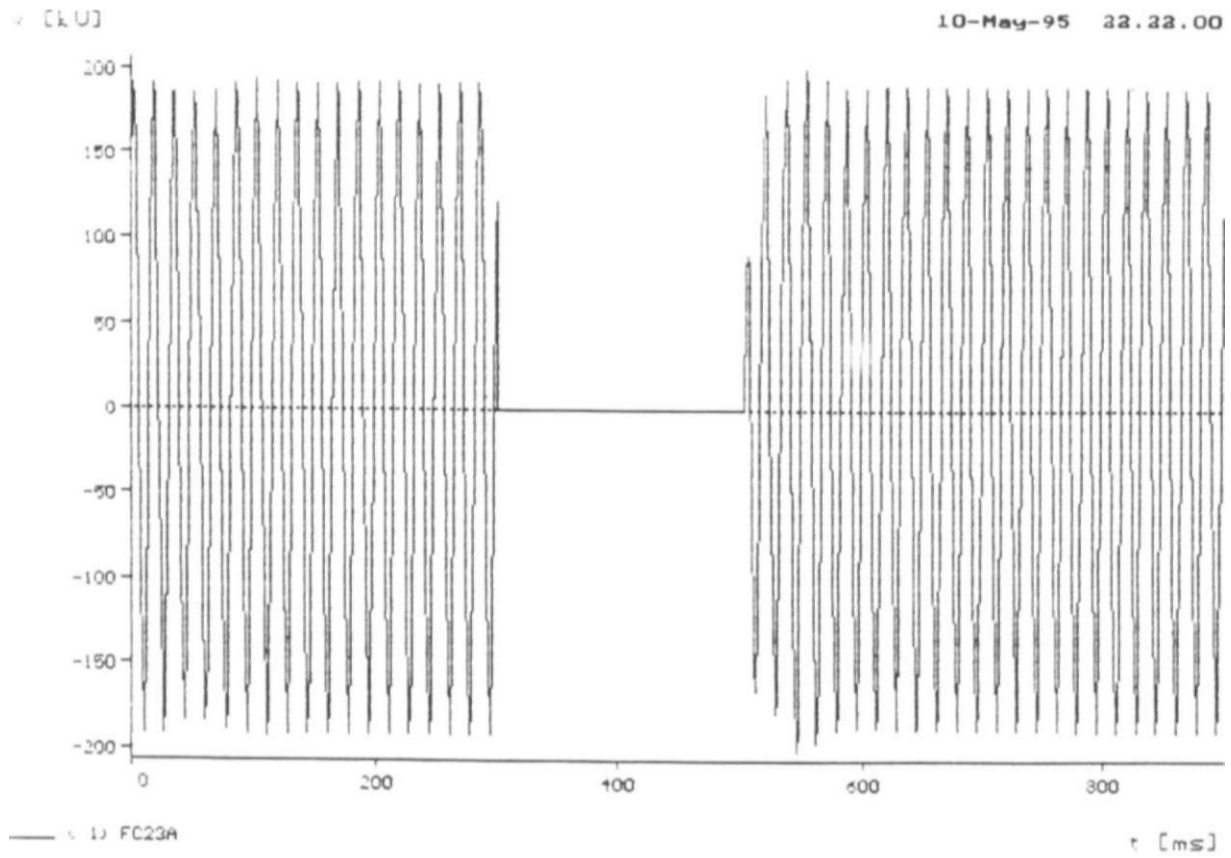
500

16J TrCS - ENTPOI

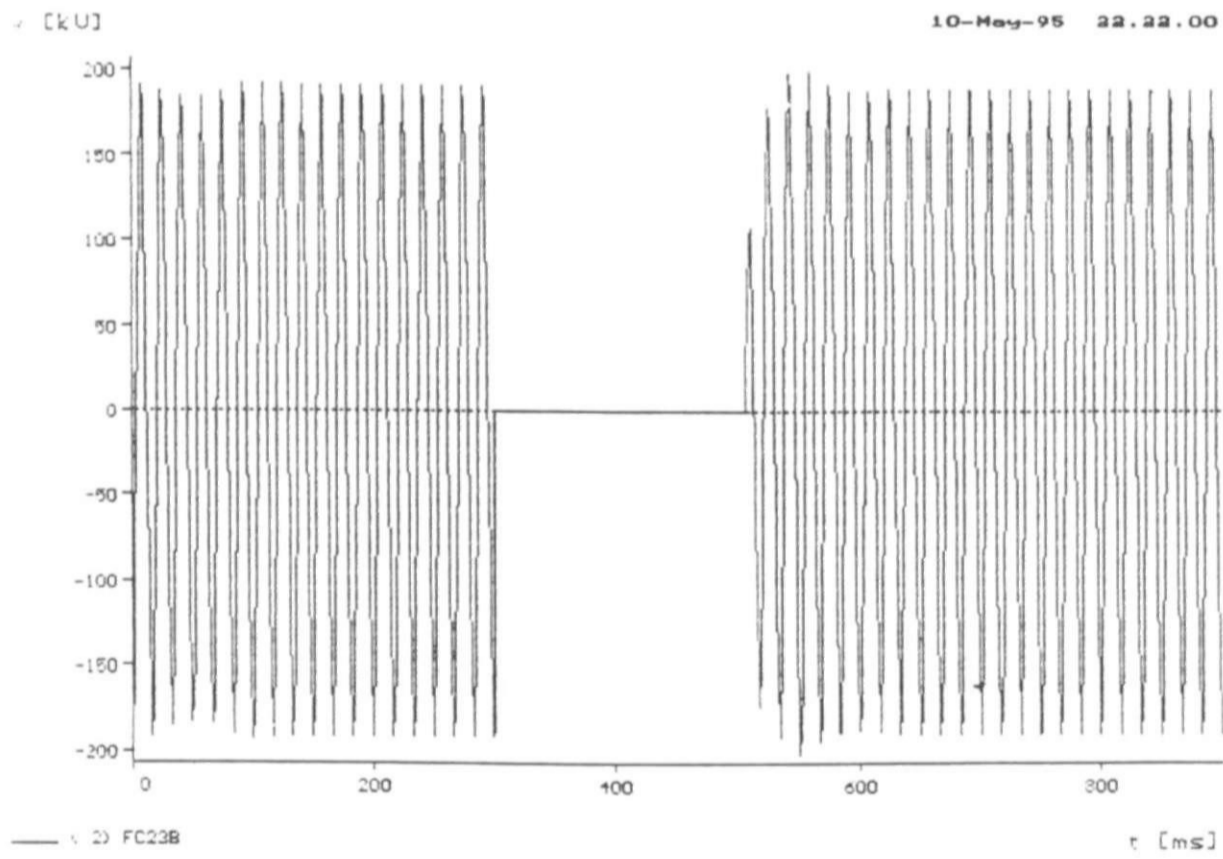
17) TrCS - brIPiN

Crns]

CC 3F-T 230KU LT BNB-FTZ ELIN. ABERTURR LT SEN USUB CE FTZ  
CC23F96P.DAT CARGA NAXINA, DEZ/96  
TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PD DO CE NILAGRES



CC 2F-T LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT COM USUB CE FTZ  
 CC22F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A



CC 2F-T LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT COM USUB CE FTZ  
 CC22F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE B

malha fechada que coleta as informações relativas as grandezas do sistema de transmissão ao qual estão ligados os compensadores, processa tais informações e envia aos tiristores os pulsos de disparo necessários de forma a anular o sinal de erro na sua entrada. As grandezas de entrada do referido regulador são listadas a seguir:

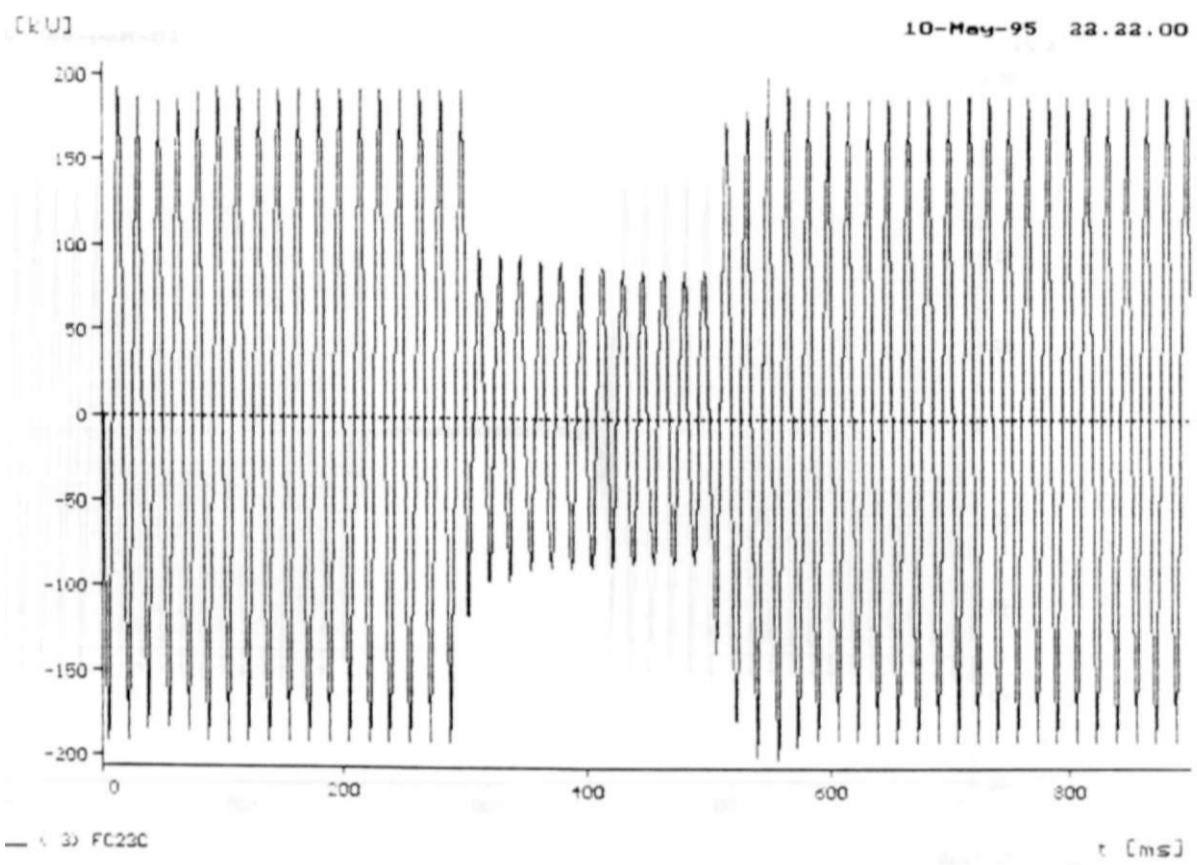
- Tensões fase-neutro da barra de 230kV, utilizadas para a composição dos sinais de erro e do bloqueio do regulador de tensão pela lógica de subtensão.
- Tensões fase-fase da barra de 230kV, utilizadas para a composição do sinal de bloqueio do regulador de tensão pela lógica de subtensão.
- Tensões fase-neutro da barra de 69kV, utilizadas para a composição do sinal de bloqueio do regulador de tensão pela lógica de subtensão.
- Correntes injetadas pelo compensador na barra de 230kV, utilizadas para a composição do sinal de erro de entrada do regulador de tensão.
- Tensões fase-fase da barra de baixa tensão (26kV no CE Fortaleza e 12,3kV no CE Milagres) para formação do sinal de limitação de tensão no referido barramento e de limitação de potência reativa capacitiva nos enrolamentos secundários do transformador abaixador. Devido ao longo tempo de atuação destas funções, optou-se por não representá-las no modelo de CE desenvolvido para o ATP.
- Correntes de linha injetadas nos barramentos de baixa tensão para formação do circuito limitador de potência reativa capacitiva nos enrolamentos secundários do transformador abaixador.
- Correntes no interior dos reatores controlados a tiristores conectados em delta para formação do sinal do circuito limitador de corrente nas válvulas de tiristores.
- Tensões fase-fase aplicadas as válvulas de tiristores, para formação dos sinais de disparo protetivo nas referidas válvulas.

#### 4.3.4 - Formação do sinal de erro do regulador de tensão

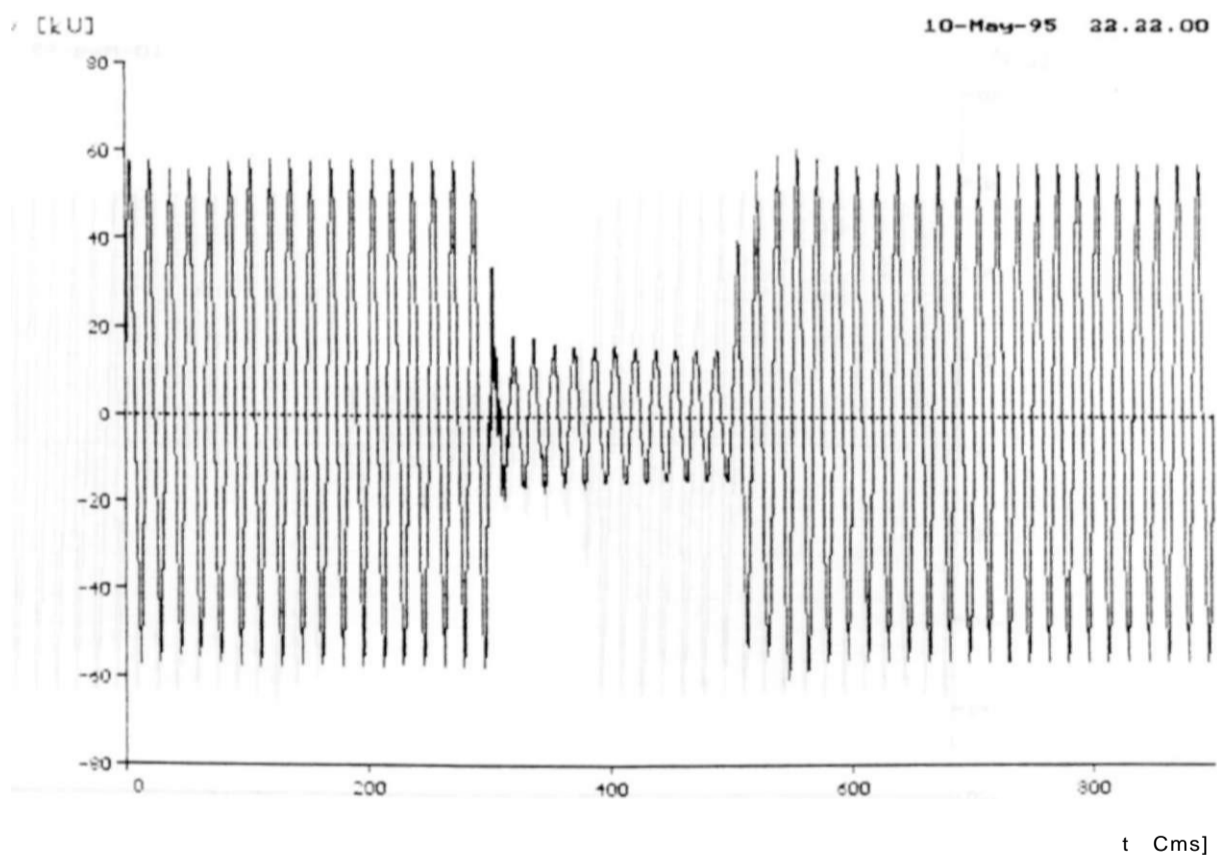
A formação do sinal de erro do regulador de tensão tem início com a medição, através de transformadores de potencial, das tensões fase-neutro da barra de alta tensão à qual está conectado o CE (230kV), que são utilizadas para o cálculo das respectivas tensões entre fases,  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$  e  $V_{CA}$ -- Em seguida, tais tensões são compostas com as correntes injetadas pelo CE na barra de 230kV, medidas através dos correspondentes transformadores de corrente e multiplicadas pelo estatismo na seqüência indicada a seguir, dando origem aos sinais  $V_{AB}^*$ ,  $V_{BC}^*$  e  $V_{CA}^*$ , definidos, respectivamente, pelas expressões.

$$V_{AB}^* = \quad (4.6)$$

$$V_{BC}^* = \quad (4.7)$$

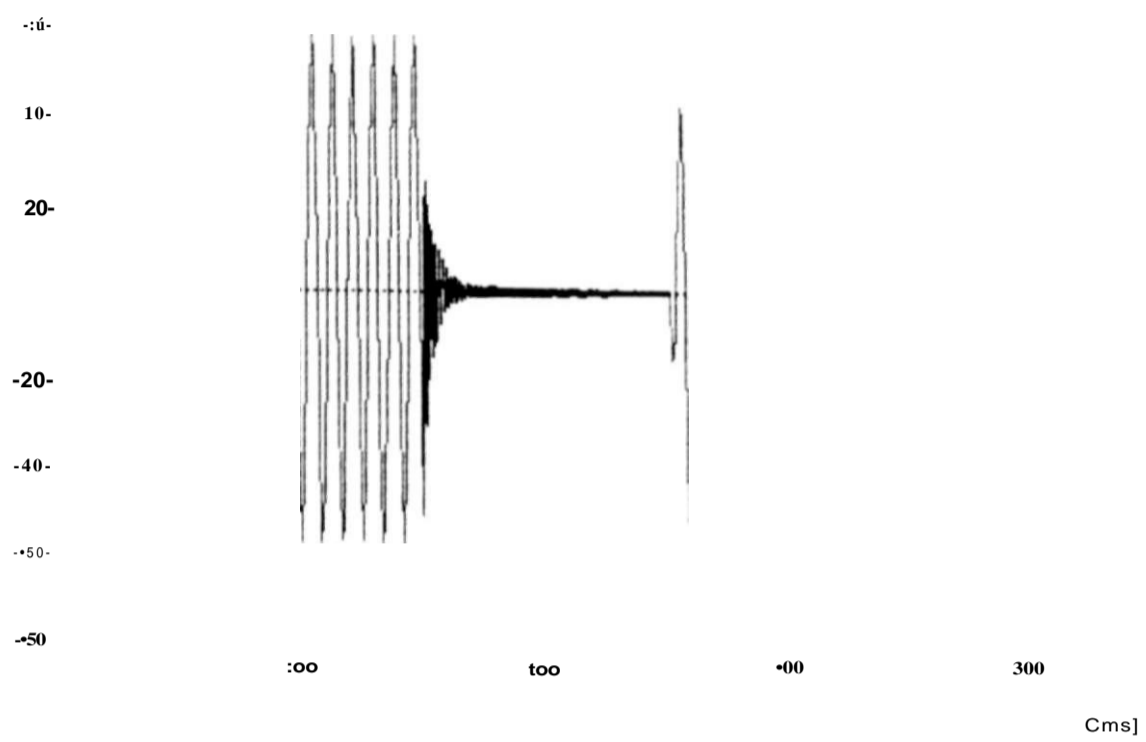


CC 2F-T LT 8MB-FTZ ELIM. ABERTURA LT COM USUB CE FTZ  
 CC22F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE C



CkU]

io-M«^-95 [aa.3a.0o](#)

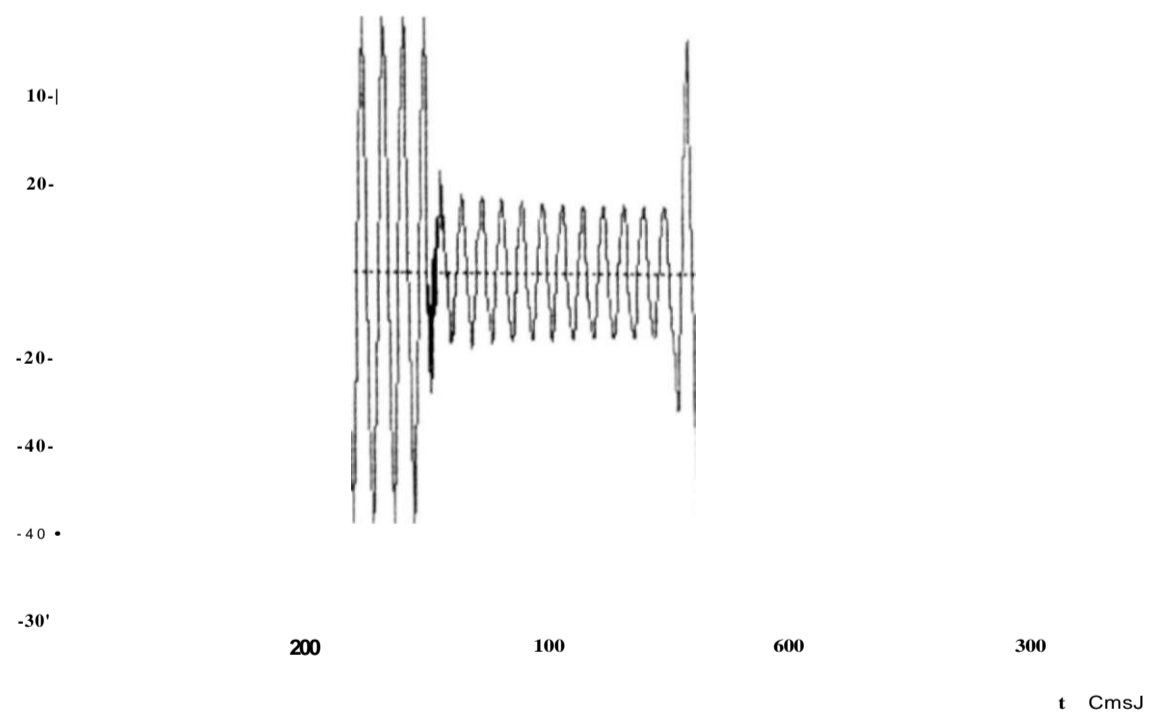


c B z l ^ P ^ ^ R R G ã N Ê Í X I N R ^ Í Z ^ L T C O N U S U B C E F T Z  
TENSÃO 69KU FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE B

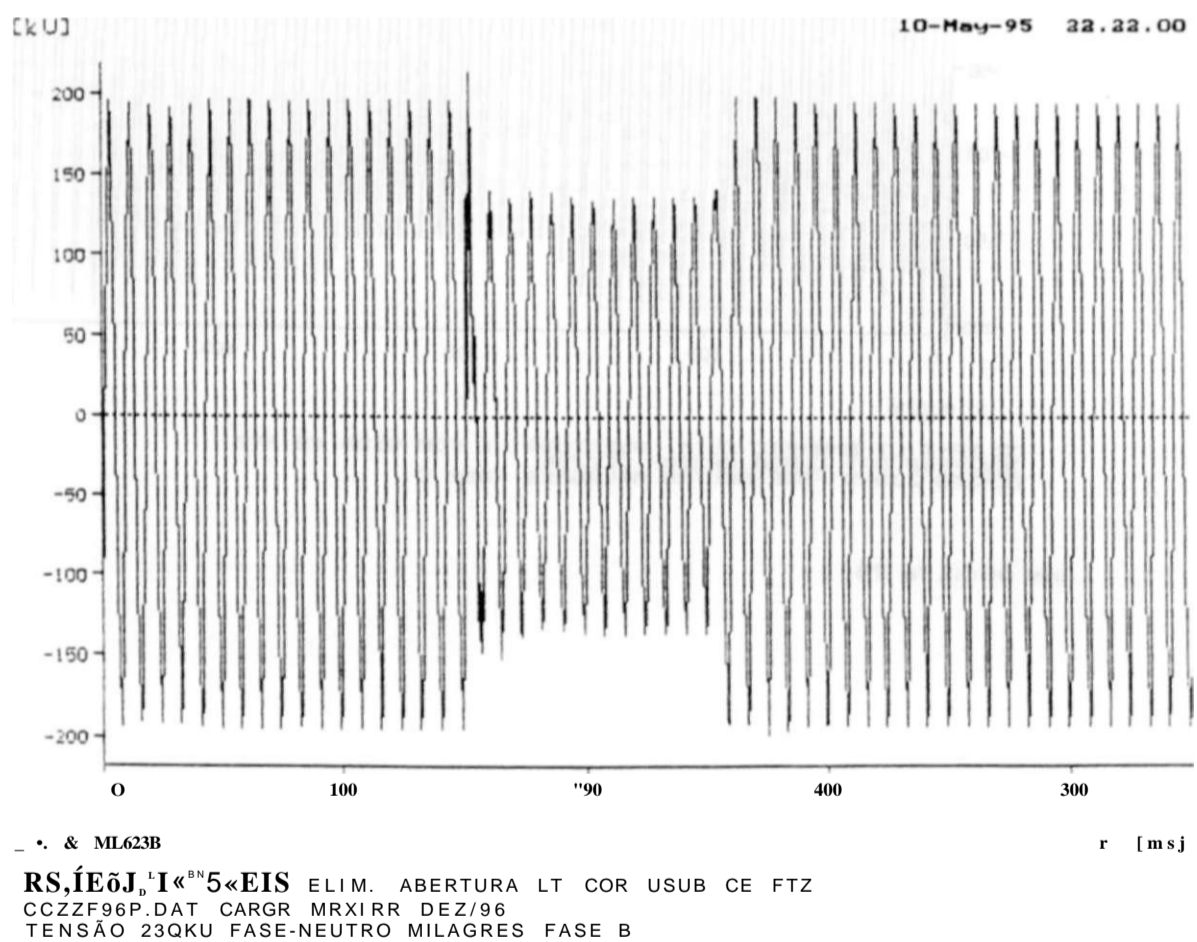
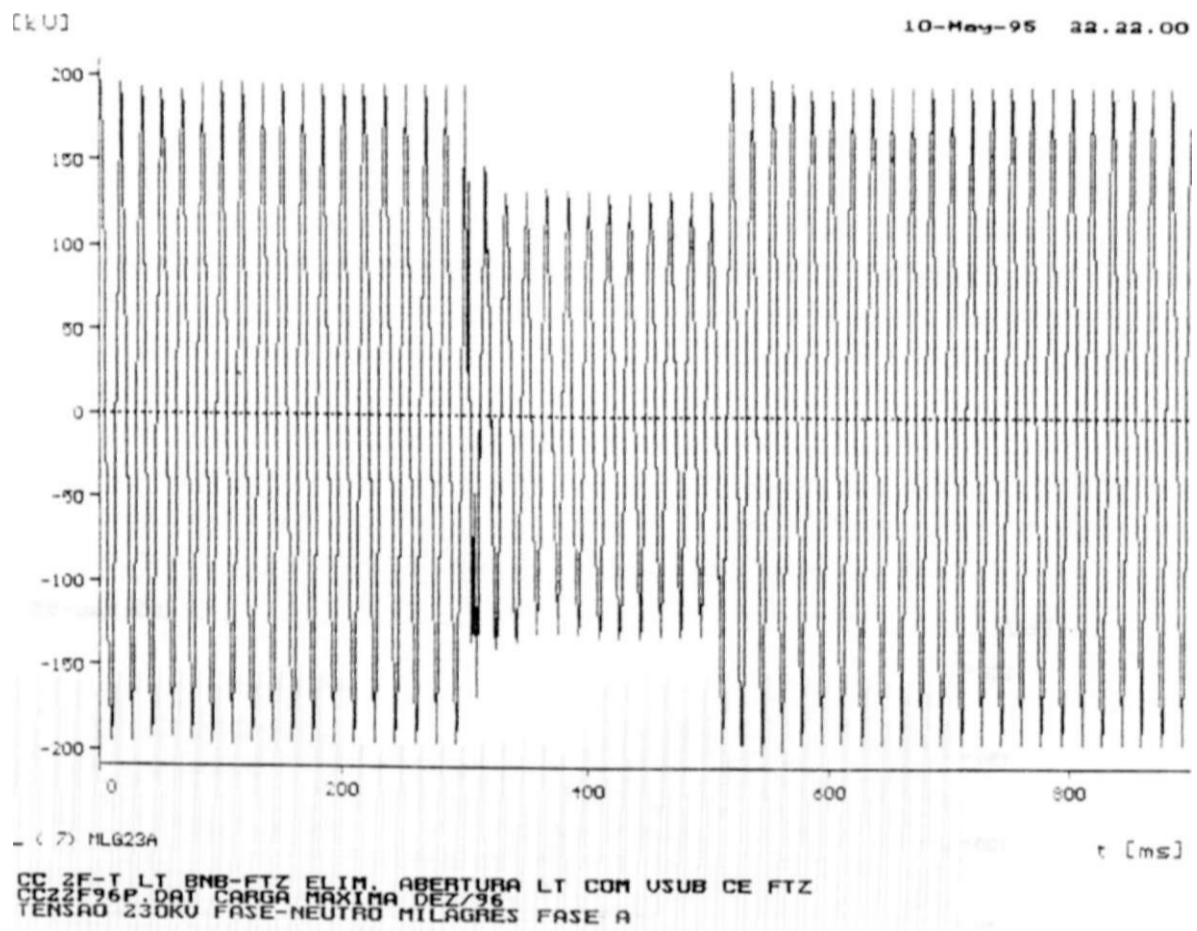
CkU]

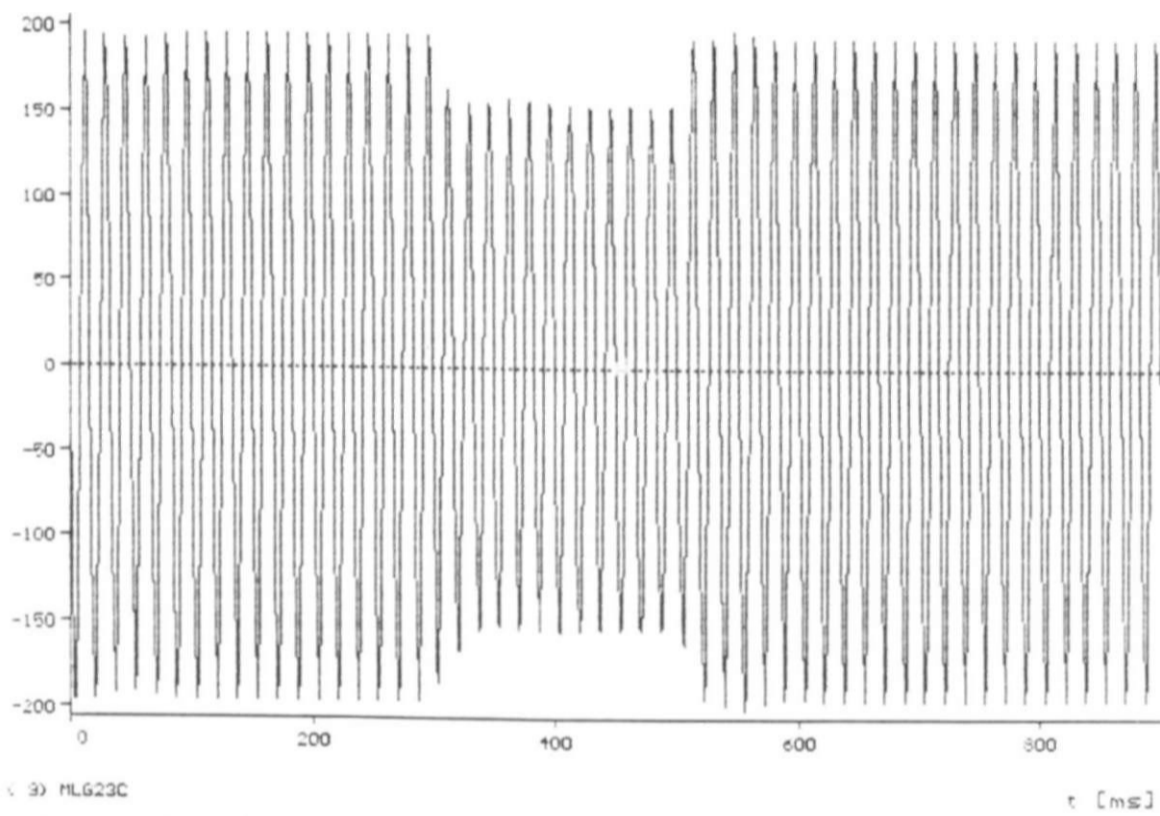
io-M«y-95 [23.2a.OQ](#)

so-i



TENSÃO 69KU FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE C





— ( 3) HL623C

t [ms]

CC 2F-T LI 8MB-FTZ ELIM. ABERTURA LI COM USUB CE FTZ  
CC22F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE C

-2-

200 100 400 300  
120 TrtCS - ENTPI .133 TrtCS - irtIPI r C.ns]  
CC 2F-T LT BNB-FTZ ELIPI. ABERTURA LT COR USUB CE FTZ  
CCZ2F96P.OAT CARGR MAXINA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

CU] iO-N«»i-95 [aa.22.00](#)

61

4-



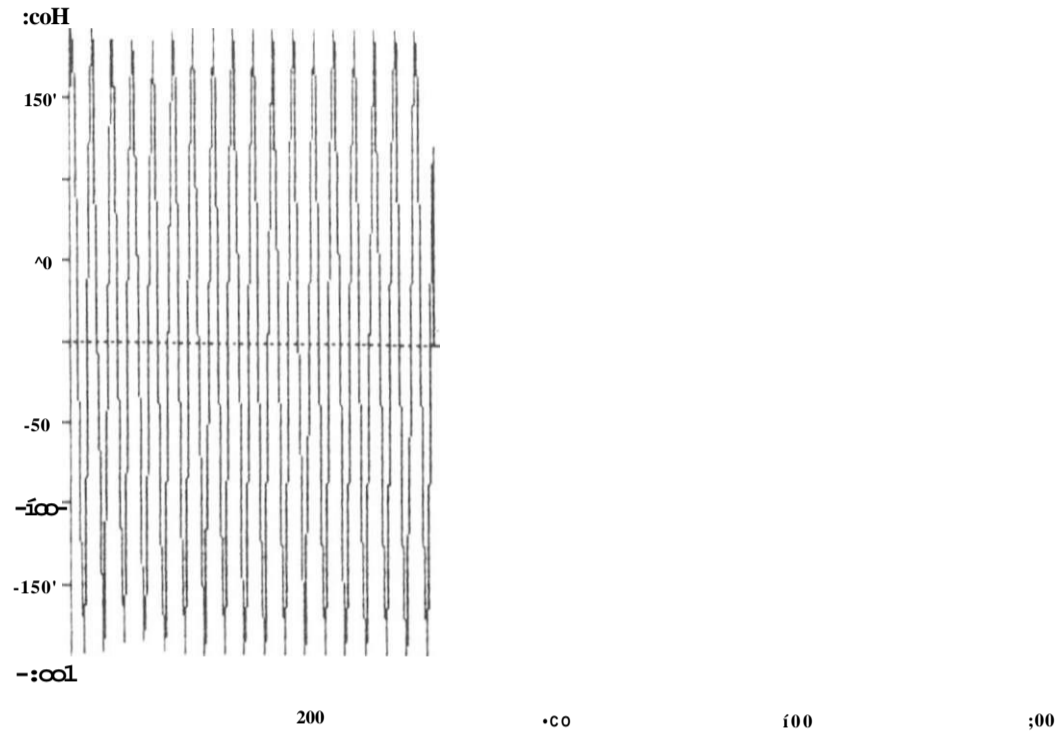
\

200 400 600 800  
16 TrtCS - ENPIM 17) Trtes - irtiPin r [ms]  
CC 2F-T LT BNB-FTZ ELIN. ABERTURR LT COR USUB CE FTZ  
CCZ2F96P.OAT CARGR MAXINA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES



;ku]

10 - M a y - 9 5 2 3 . 1 1 . 2 7



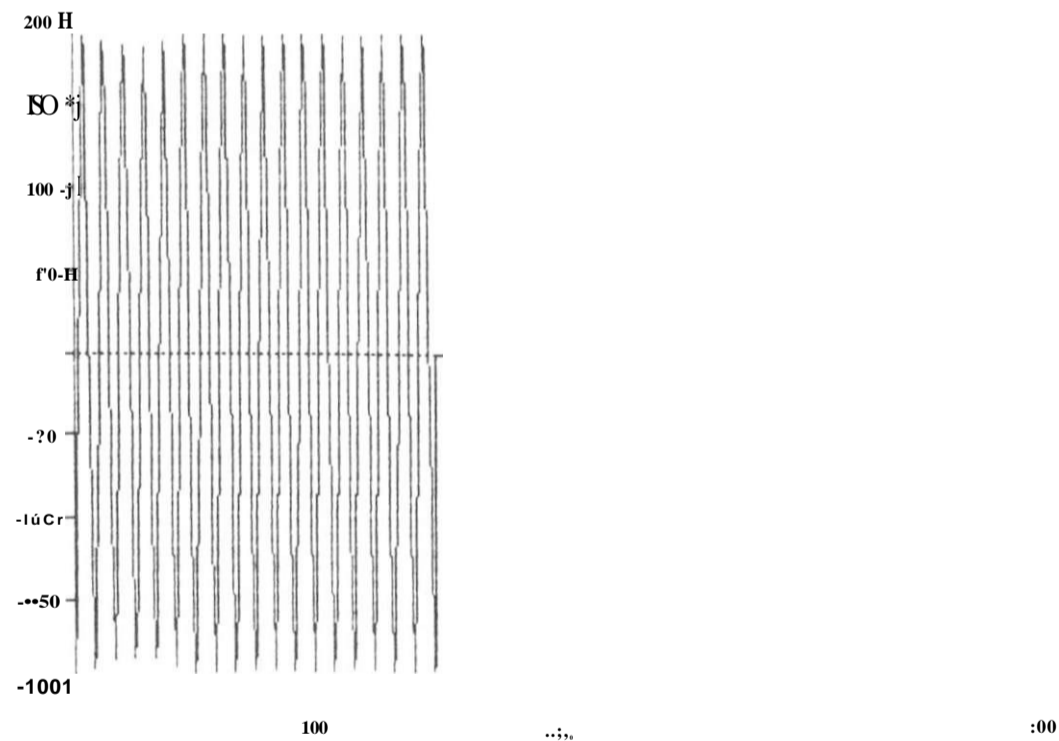
.. > 1) FC22rt

t CmsJ

TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTRELEZR FOSE R

[LU]

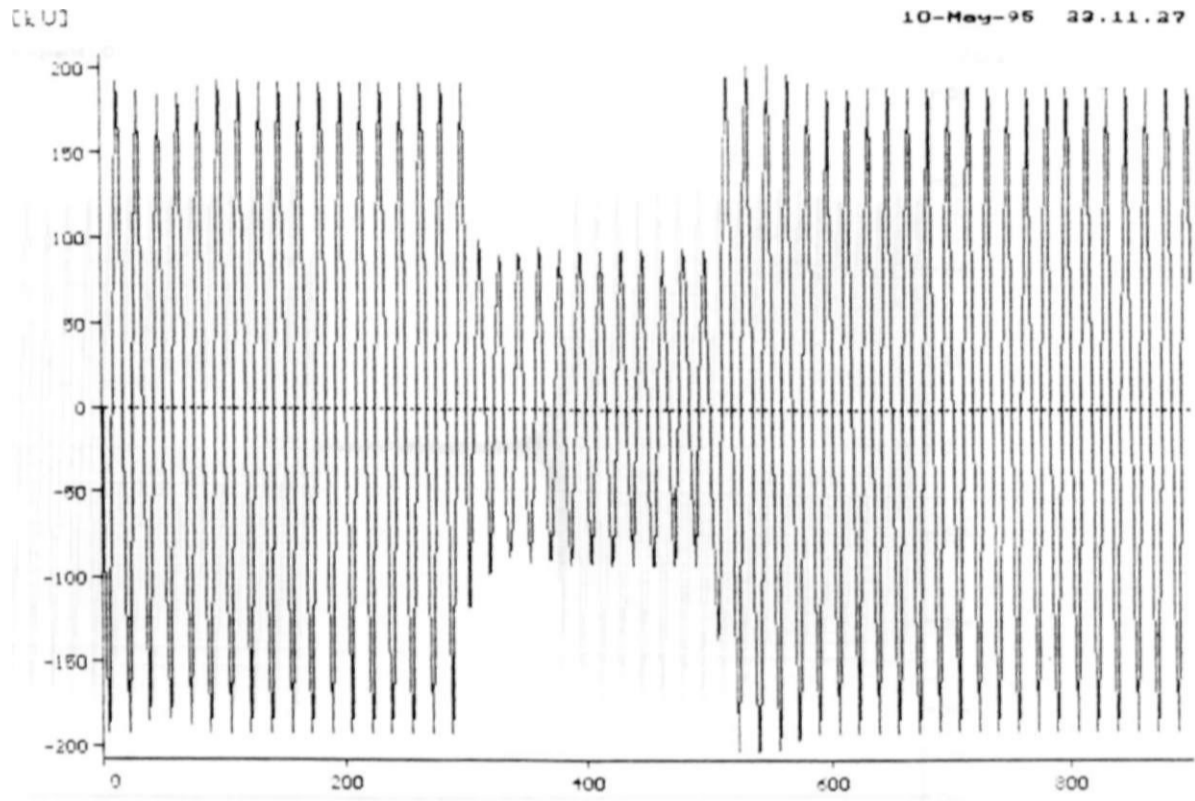
10 - R e v - 9 5 3 3 . 1 1 . 2 7



- 20 FC2JB

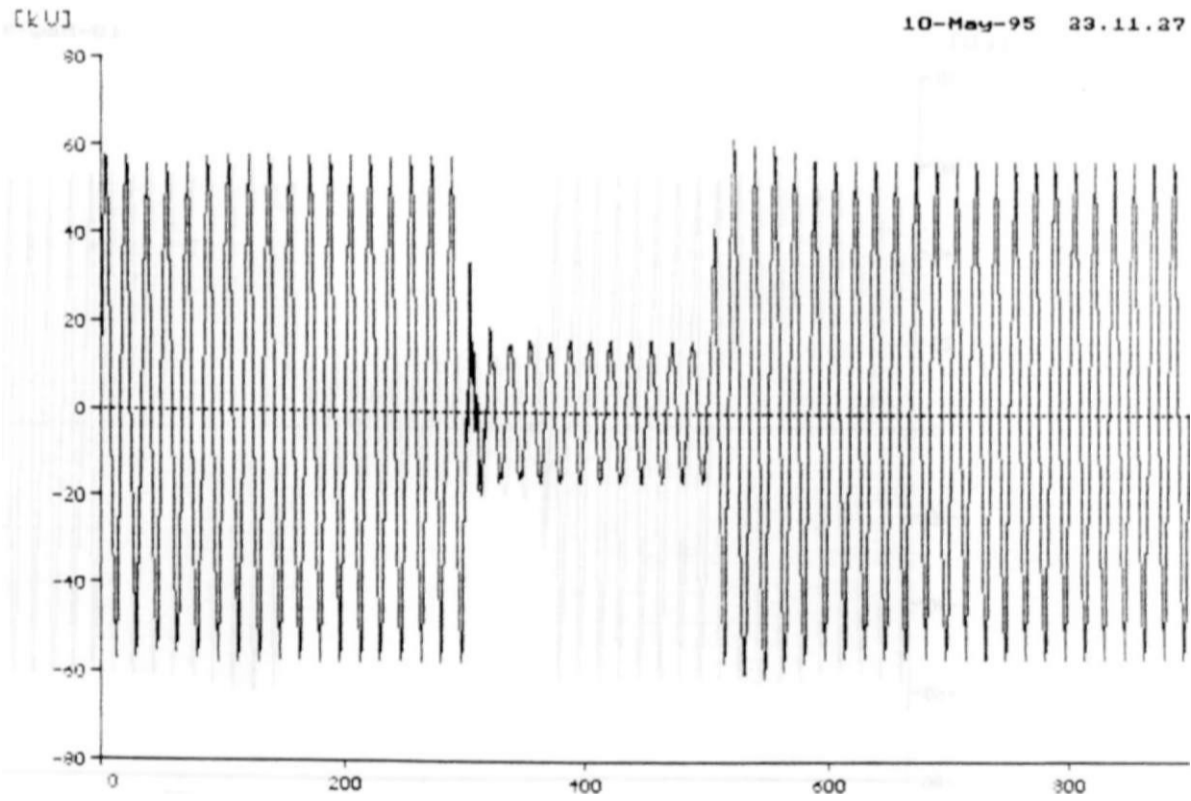
[ms]

CC 2 F - T LT BNB - FTZ ELIN . ABERTURA LT SEN USUB CE FTZ  
 CC2F96P.DAT CARGA MÁXIMA DEZ/96  
 TENSRO 230KV FRSE-NEUTRO FORTRELEZR FRSE B



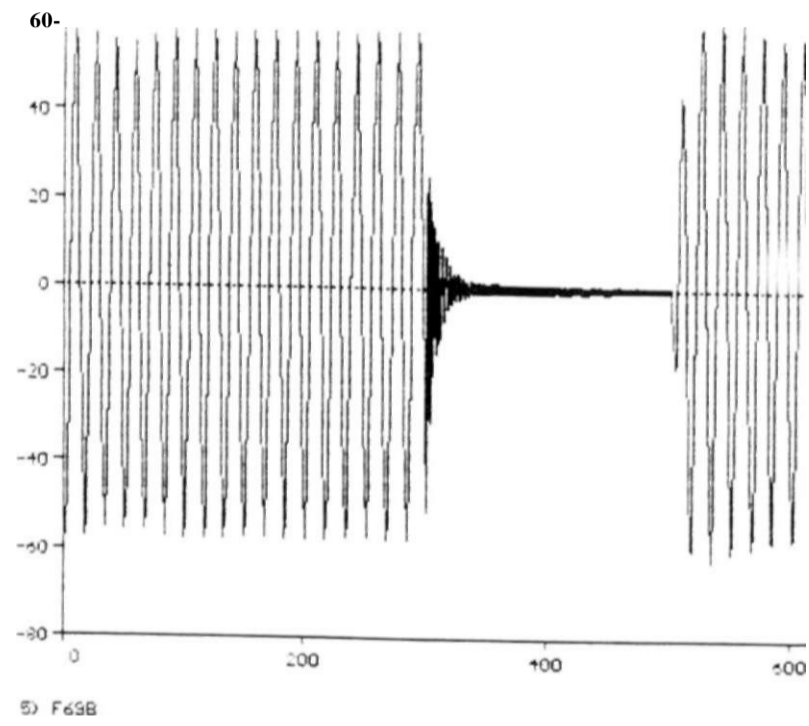
— (3) FC23C t [ms]

CC 2F-T LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT SEM USUB CE FTZ  
 CC22F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE C



Cms]

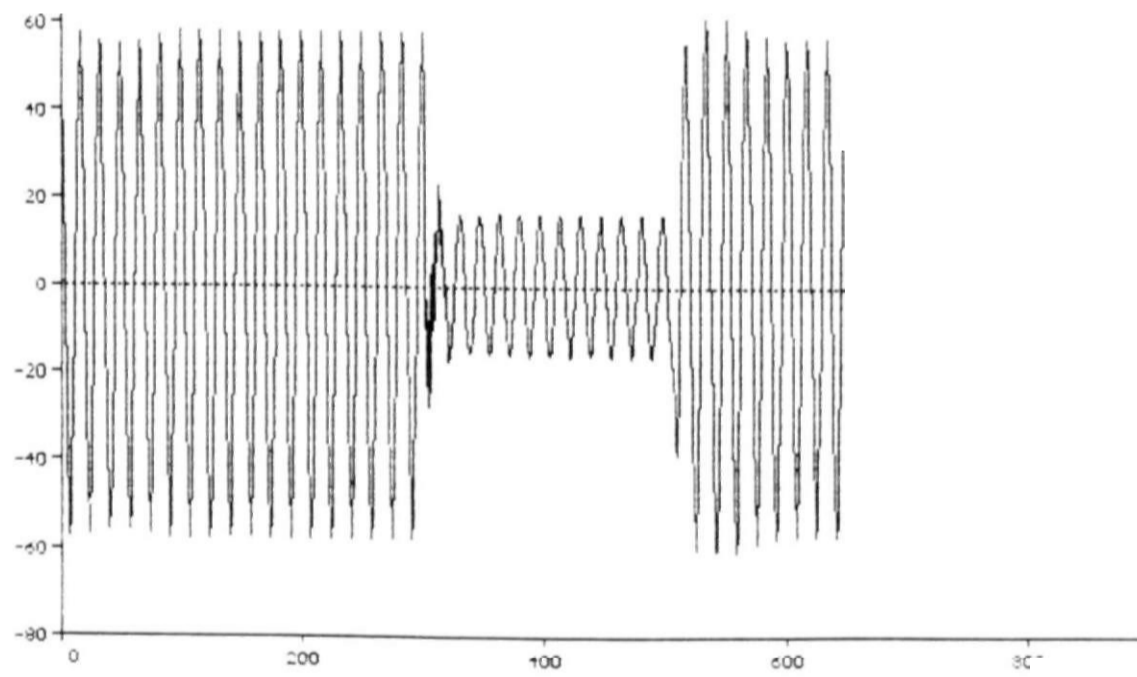
\* Cí. U]



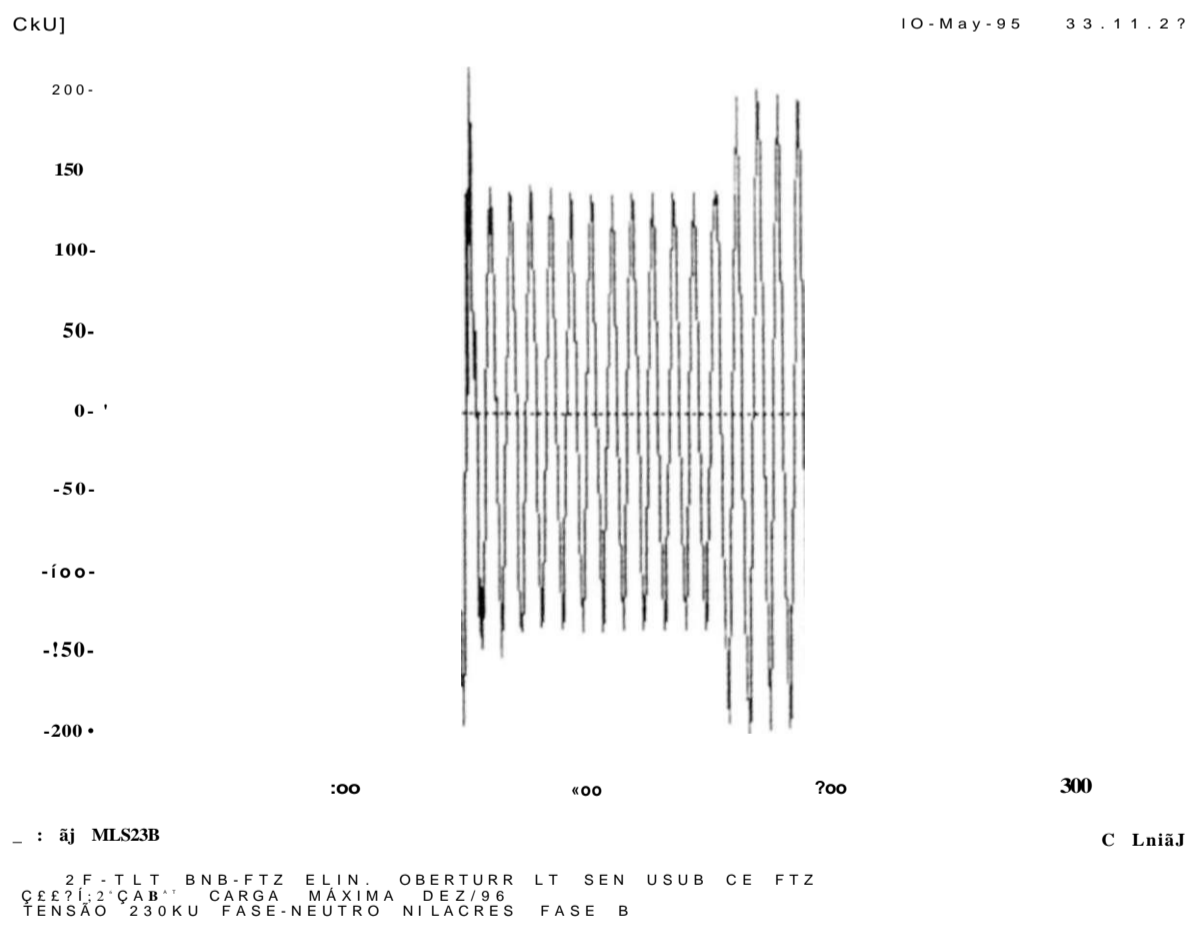
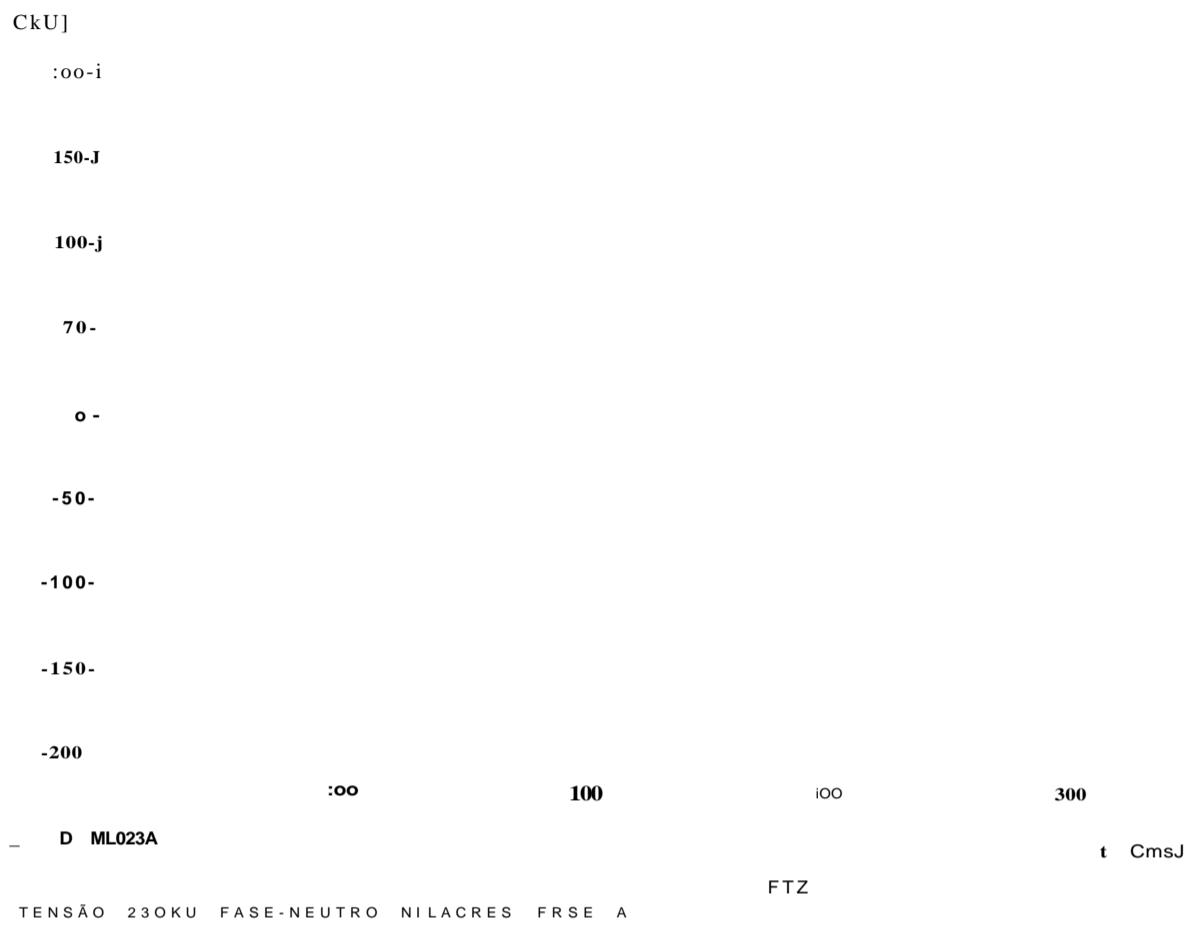
TENSRO 69KU FOSE-NEUTRO FORTALEZA FOSE B

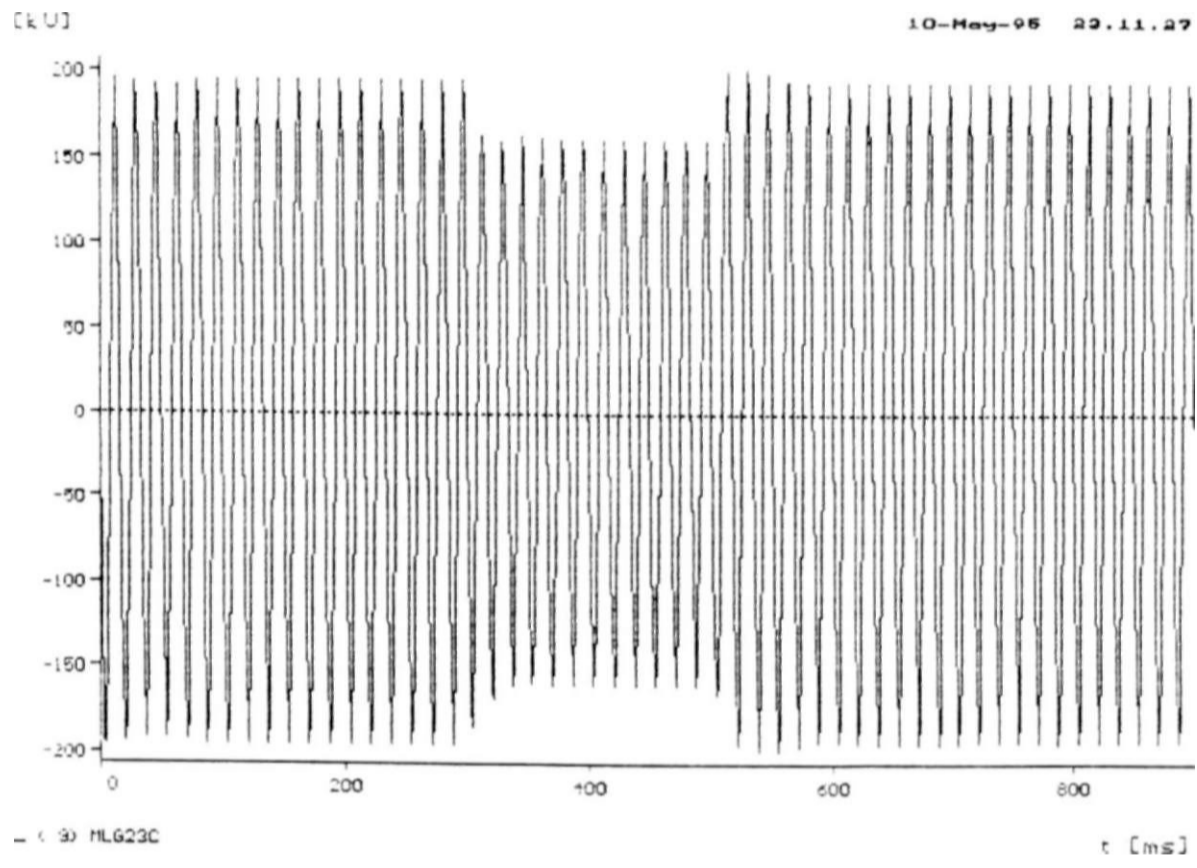
CKU]

» 1



CC 2F-T LT 8NB-FTZ ELIM. ABERTURA LT SEM USUB CE FTZ  
CC22F96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSÃO 69KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE C





CE FTZ

$$R \gg (4.8)$$

Conforme pode ser visto através da Fig.4.5, devido ao defasamento de  $120^\circ$  existente entre as tensões do sistema trifásico e ao fato de as correntes injetadas pelo CE no sistema de transmissão estarem sempre defasadas de  $90^\circ$  das respectivas tensões, os sinais  $V$  e  $I$  estarão sempre em fase ou defasados de  $180^\circ$ , permitindo que na formação dos sinais  $V^*$  eles sejam somados algebricamente.

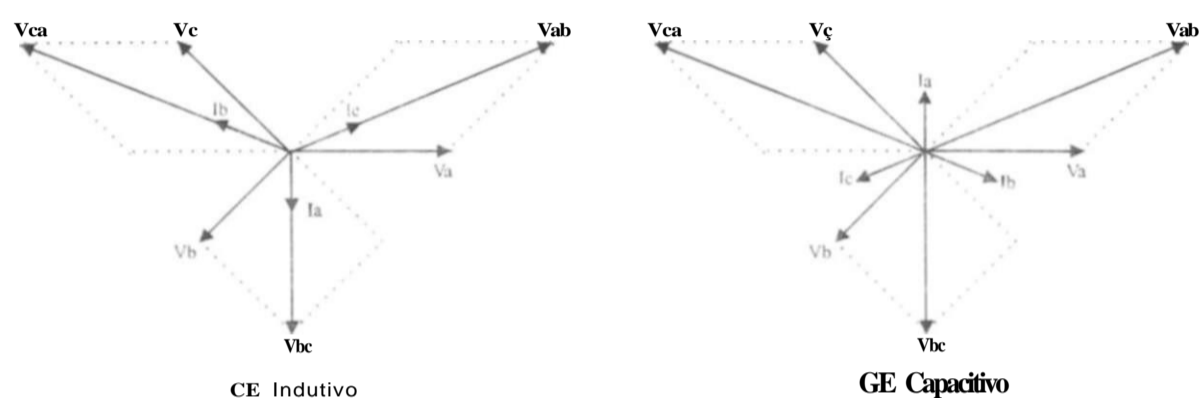


Fig.4.5 Diagramas fasoriais das tensões e correntes de entrada do sistema de controle do compensador estático.

Em seguida, os sinais  $V$  relativos as três fases passam por um processo de retificação de onda completa, filtragem passa-baixa, cálculo da média aritmética e multiplicação por uma constante, sendo obtido um sinal contínuo proporcional à média das tensões fase-neutro da barra de 230kV. denominado  $V_{MED}$ .

Nos CEs Fortaleza e Milagres, as constantes internas ao regulador de tensão são definidas de forma que um valor unitário da tensão normalizada do 230kV corresponda a 6.45V na tensão  $V_{MED}$  do regulador de tensão. Na modelagem dos referidos compensadores desenvolvida pela CHESF para utilização no ATP. procurou-se manter tal correspondência, de forma que os ajustes definidos nos estudos podem ser diretamente transportados para os equipamentos reais no campo.

Em seguida, o sinal  $V_{MED}$  é subtraído de um valor de referência, denominado  $V_{REF}$ , dando origem ao sinal de erro  $A$ , que serve de entrada aos canais normal e rápido do regulador de tensão, a serem descritos no decorrer deste trabalho. Antes de chegar à entrada dos canais normal e rápido, o sinal de erro é filtrado por dois filtros corta faixa de frequências 120 e 60Hz e submetido a um alisamento de primeira ordem, de forma a torná-lo o mais próximo possível de um sinal contínuo. As etapas de medição, geração do sinal de erro e filtragem são representadas em termos de diagrama de blocos da subrotina TACS do ATP, ilustrado na Fig.4.6.

CUJ

IO-May-95 23.11.27

4-

\

-2"

100 "00 -00 300

'110 TrCS - ENTPI 12) THLS - LrtPI  
CC 2F-T LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURA LT SER USUB CE FTZ  
CC22F96P.DAT CRRGR riOXirifi DEZ/96  
TENSOES DE ENTRRDR E SRIDR DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

CUJ

IO-Na^-98 29.11.27

4-

2-

1  
\  
1

-2-

100 •00 500 -00

«16) TACS - ENTMM .17) TrCS - irtIPIM Cnisj  
CC 2F-T LT BNB-FTZ ELIM. ABERTURR LT SER USUB CE FTZ  
CC22F96P.DAT CARGA MÁXIMA DEZ/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

9.6-2 - Registros de Aplicação de Defeitos na SE Delmiro Gouveia



CKUJ

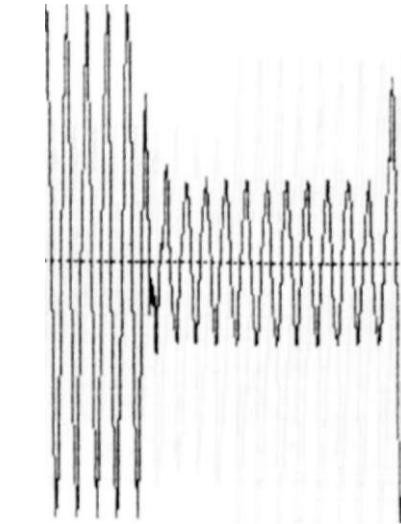
ia-Ma^95 01.43.40

2001

100-

-100-

-:00i



300

400

600

300

\_ \* 1J FC22rt

' Cms j

**BH61r3;Jp'ooV** BAS «<sup>R</sup>AXVÁSD<sup>A</sup>96<sup>100v</sup>: cprg<sup>69KU</sup> se<sup>11</sup> usub ftz  
 TENSÃO 230KU FOSE-NEUTRO FORTRLEZR FRSE R

CLUJ

ia-Ha^95 01.43.40

200 -

100-

-100-

-200-

200

400

600

:C0

\_ \* 2) FC226

t CrnsJ

Ep. 2F-T 69KU DELMIRO ELIN. REJ. ÍOOX CRRGR 69KU SEN USUB FTZ  
**Cl&Is? . ^P.9<sup>T</sup>** CRRGR NRXINR DEZ/96  
 TENSRO 230KU FRSE-NEUTRO FORTRLEZR FRSE B

:00-

;00-

0--

-!X3-

-200-

:00

-00

i00

i00

\_ . SJ FC23C

r CmsJ

**££,§E«J,,2Cy** DELMIRO ELIR. REJ. IOOV. CRRGR 69KU SER USUB FTZ  
 CC62D96P.DRT CORGO MRXIMR DEZ/96  
 TENSRO 23OKU FRSE NEUTRO FORTLEZR FRSE C

CkUJ

>20-

60-

40-

20-

-20-

-40-

i f '

-i0

100

-00

800

i00

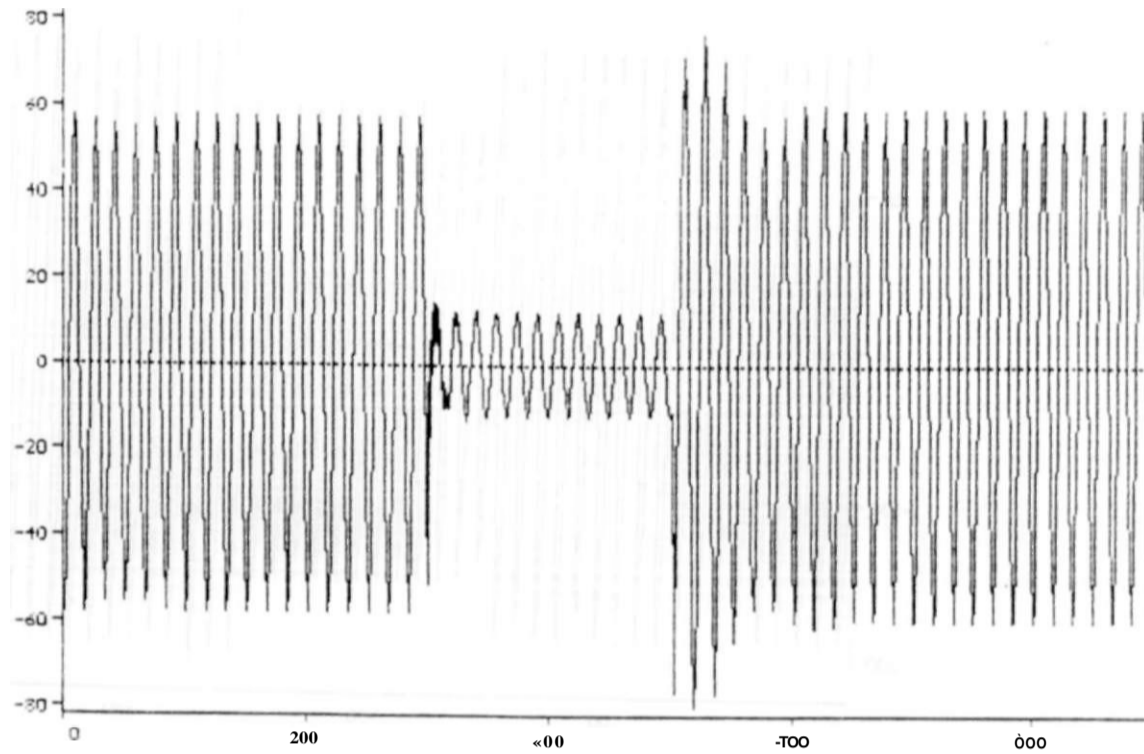
\_ . 4) F6ã«

Cfnsj

SHSÍDÍ^DSY BRRGR^RXVMR" DEZ/96 .....  
 TENSRO 69KU FRSE-NEUTRO FORTLEZR FRSE R

CkUI

12-M«M-S»5 01.43.40

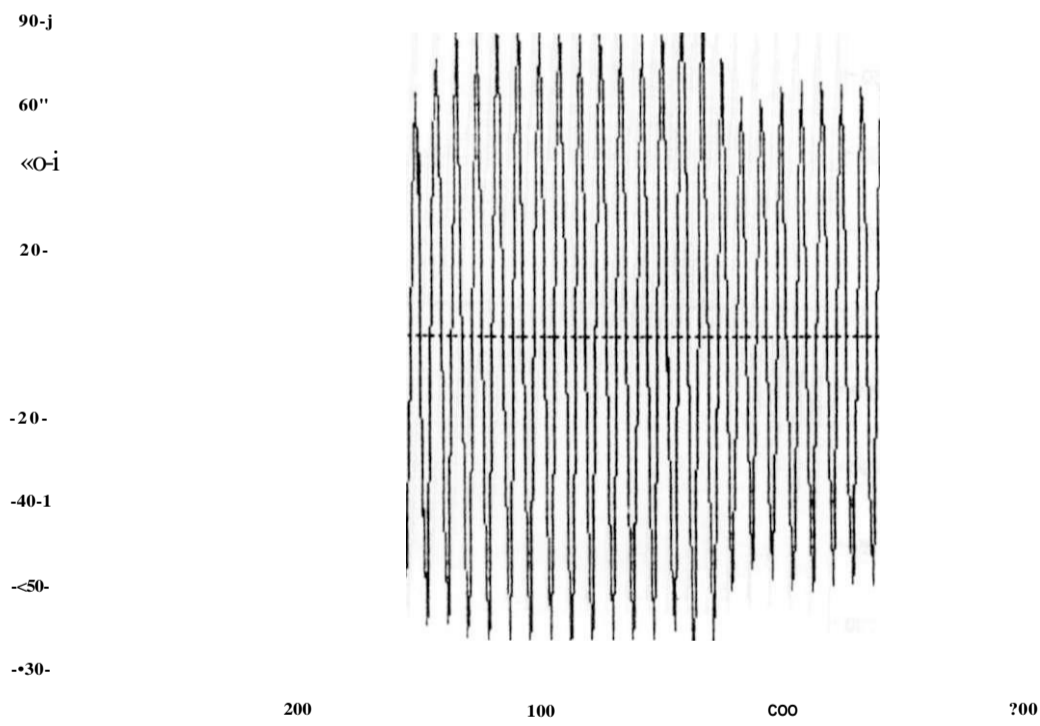


Cms]

SsiKípíogV B&K^VW-oS&e<sup>100</sup>\* COBG\* 69KÜ 5E|| USUB FTZ  
 TENSRO 69KU FOSE-NEUTRO FORTRLEZR FRSE B

CkUJ

ia-Hay-95 01.43.40



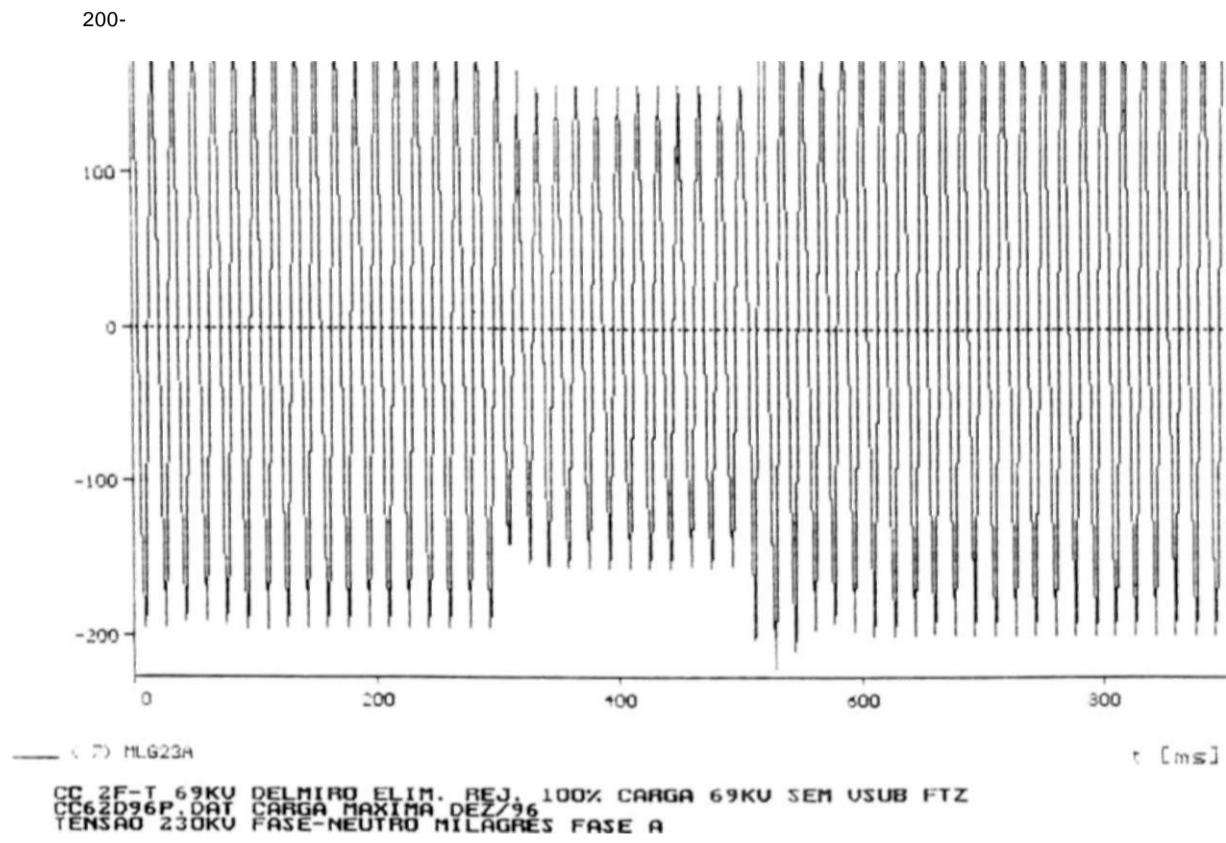
Cms]

• 6J Fé9C

^EfeíS» 8aaR^a«svK-gi^6\*\*\*\*\* CARGHERKÜ SEHVSUB FTZ  
 TENSRO 69KU FRSE-NEUTRO FORTRLEZR FRSE C

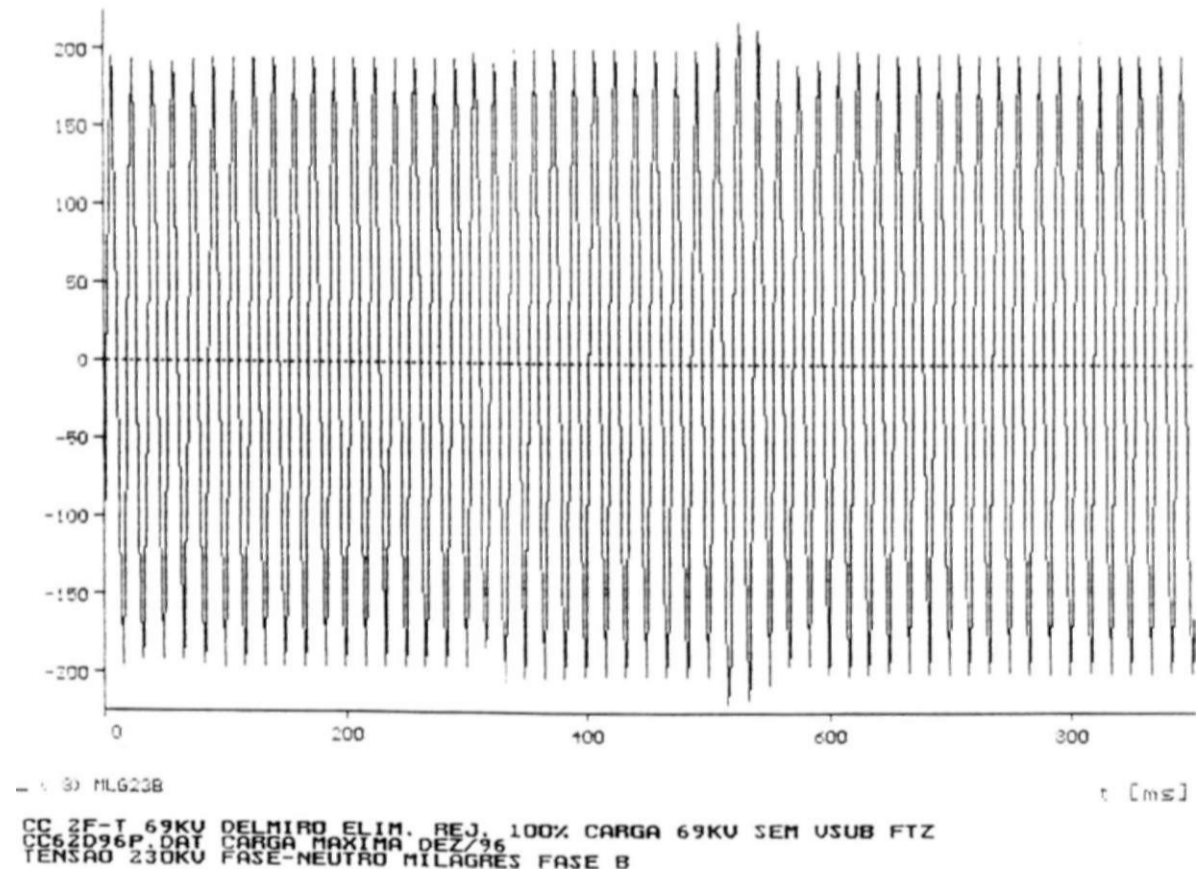
CKU]

12-May-95 01.43.40



[kU]

12-May-95 01.42.40



CkU]

12-MEM-95 OI.42.11)

:00-

:00-

0-

-100-

-100

:00

»00

000

500

1

\_ : b) MLG22C

i C.-ns]

g&iRípiSgY SSMi^Va-ogI^s 100"Λ CÍRGH 69KU SEM ÜSUB FTZ  
TENSRO 230KU FRSE-NEUTRO NILOGRES FRSE C

CkU]

ia-May-95 OI.42.40

'00i

300-

:00-

100-

-i •

-100-

-200

-300-

-400"

200

«00

»00

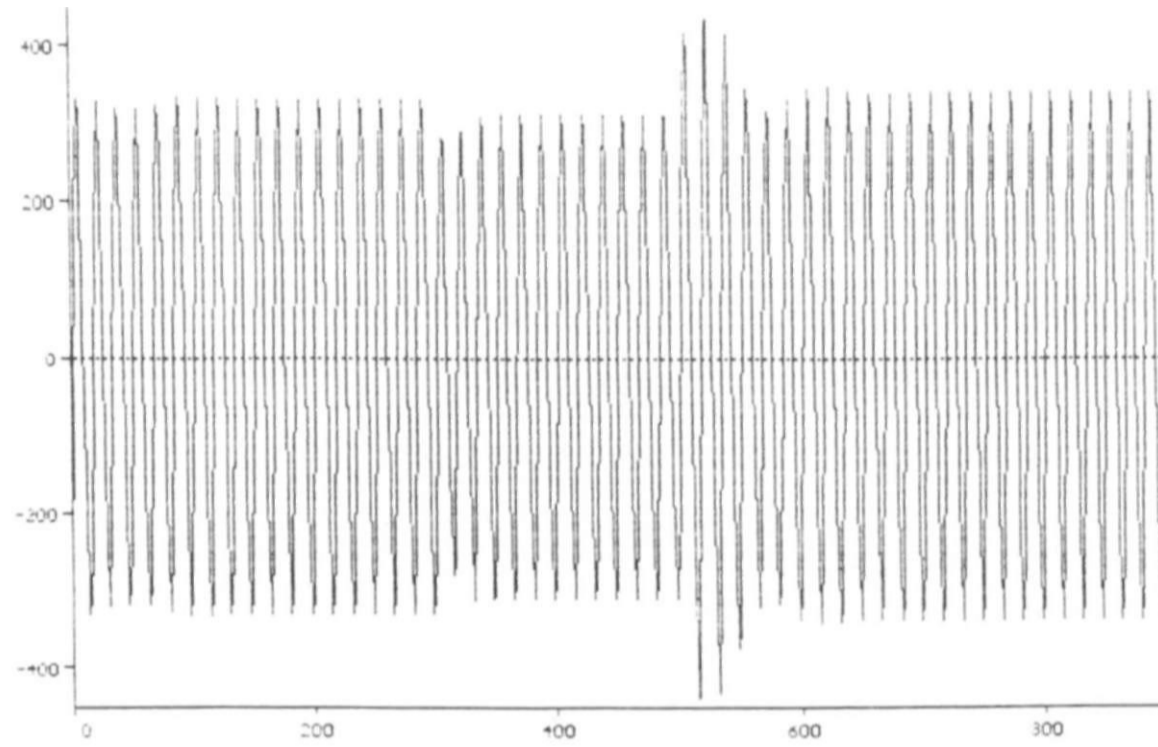
000

\_ .10) TrCS - U23HB

t Cmc]

BB6p;íp°«v 8aa°s«§Vna-Dai996 100x CRRGEE 69XÜ SEM ÜSUB FTZ  
TENSRO 230KU FRSE-FRSE FORTRLEZR RB

12-May-95 01.43.40



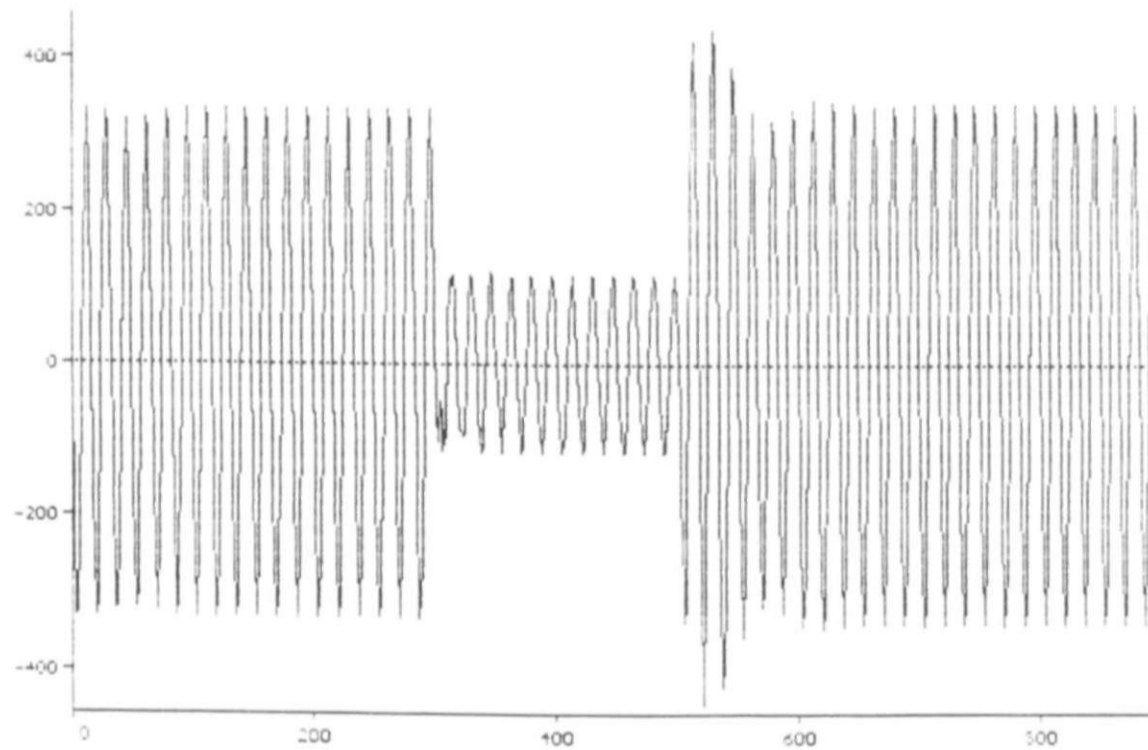
(11) TACS - U23BC

t [ms]

CC 2F-T 69KV DELMIRO ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB FTZ  
CC62D96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV FASE-FASE FORTALEZA BC

[kV]

12-May-95 01.42.40



(12) TACS - U23CA

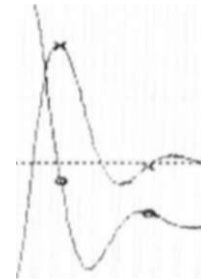
t [ms]

CC 2F-T 69KV DELMIRO ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB FTZ  
CC62D96P.DAT CARGA MAXIMA DEZ/96  
TENSAO 230KV FASE-FASE FORTALEZA CA

CUJ

12-Ma<4-95 H1 . '12 . -H)

\*1



:00

000

800

t!3J TriCi - ENTPI

\*.14> TACS - LAIPI

t Cm\*]

CC 7.F-T 69KU DELMIRO ELIH. REJ. 10OV. CARGR 69KU SEM USUB FTZ  
 CC62D96P.OAT CARGA MÁXIMA ÚEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

CUJ

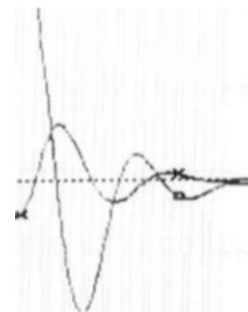
ia-Ho^ -95

01.48.40

é-i

4"

$L^f$



-6 't

:00

400

400

800

17) TMCS - ENTPIM

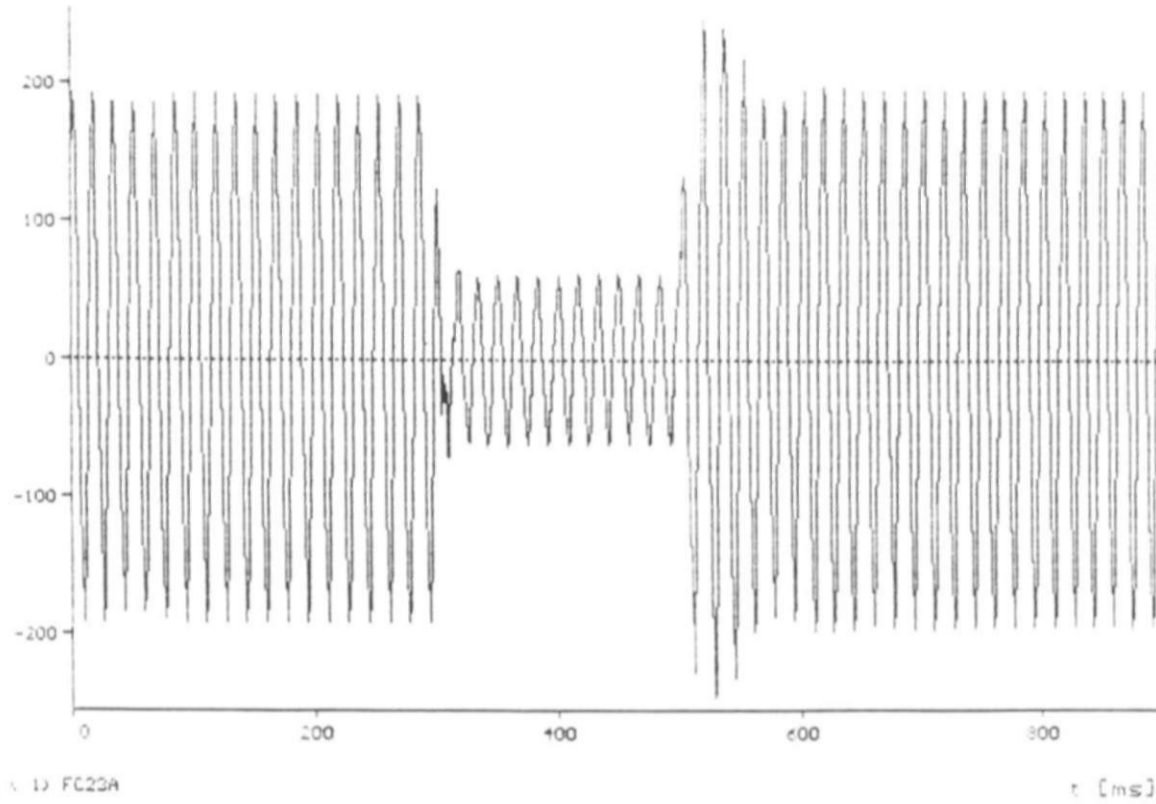
\*.13) THCS - LAIPIM

t Cm\*]

CC 2F-J 69KU DELMIRO ELIN. REJ. 10OV. CARGR 69KU SEN USUB FTZ  
 CC62D96P.DAT CARGA MÁXIMA DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

CKUI

12-May-95 00.50.52



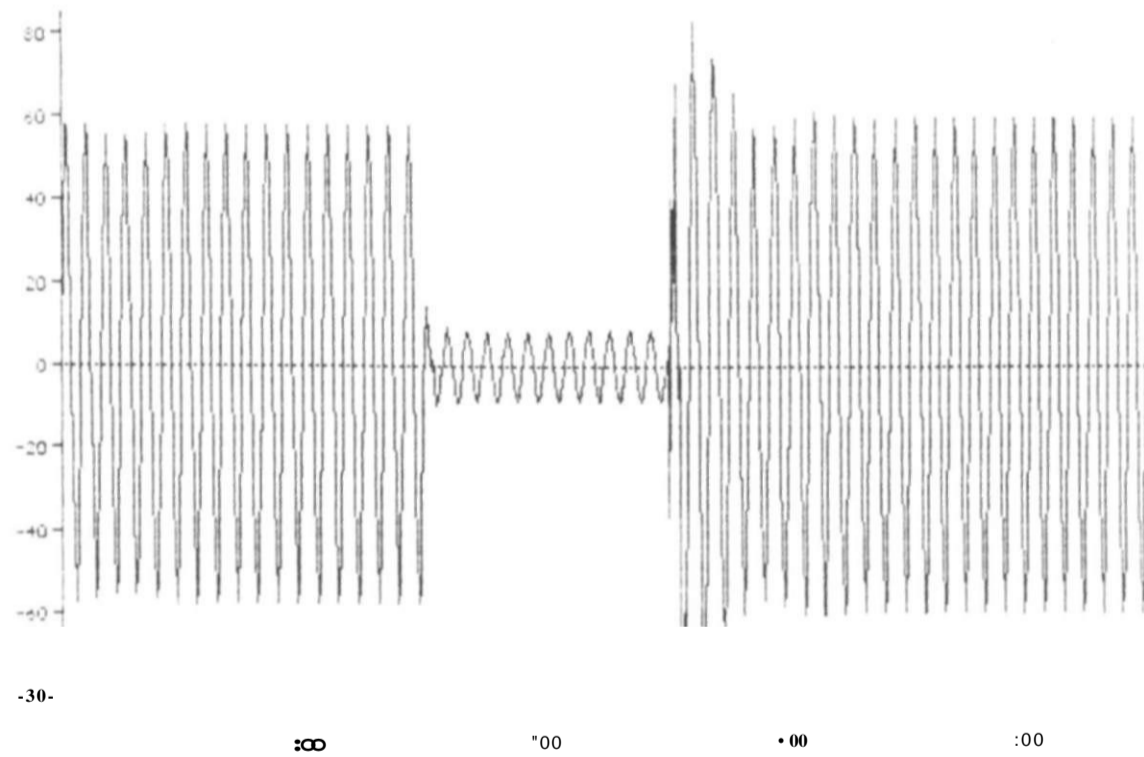
4) F022A

t [ms]

CC 3F-T 69KV DELMIRO ELIM. REJ. 100% CARGA 69KV SEM USUB FTZ  
CC63D96P.DAT. CARGA MAXIMA, DEZ/96  
TENSAO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

CKUJ

12-May-95 00.50.52

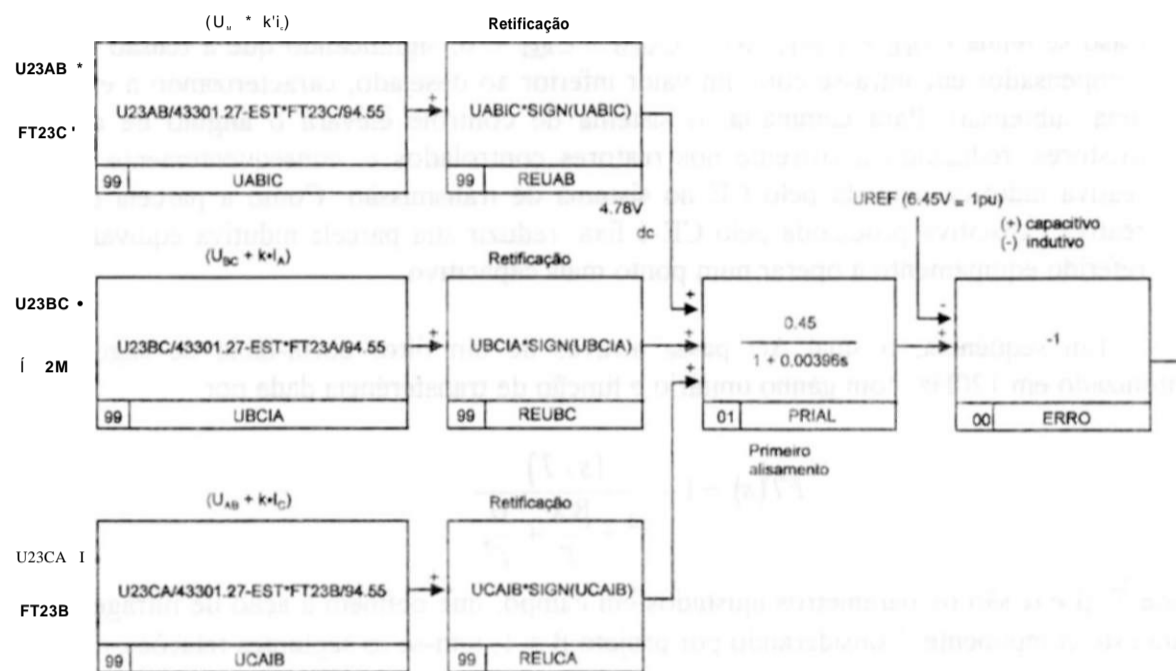


4) F0art

[ms]

CC 3F-T 69KV DELMIRO ELIM. REJ. 100% CARRGR 63KV SEM USUB FTZ  
CC63D96P.DAT. CARRGR MAXIMA, DEZ/96  
TENSAO 69KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A





(\*) capacitivo  
) indutivo

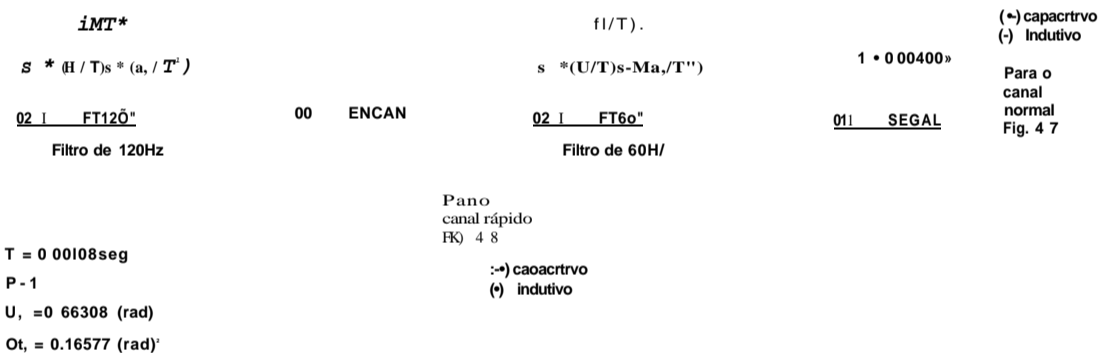


Fig.4.6 Etapas de medição, geração de sinal de erro e filtragem do regulador de tensão.

Com relação ao sinal de erro  $\Delta U$ , há três situações possíveis:

1. Caso se tenha  $i/MED = i/REF$ ,  $\Delta U = i/MED - i/REF = 0$ , significando que a tensão terminal do compensador encontra-se igual ao valor desejado, a menos do estatismo. Isto significa que o ângulo de disparo dos tiristores está adequado as necessidades do sistema de transmissão, não devendo ser alterado pelo sistema de controle.
2. Caso se tenha  $i/MED > i/REF$ ,  $\Delta U = i/MED - i/REF > 0$ , significando que a tensão terminal do compensador encontra-se com um valor superior ao desejado, caracterizando a existência de uma sobretensão. Para eliminá-la, o sistema de controle reduzirá o ângulo de disparo dos tiristores, elevando a corrente nos reatores controlados e, conseqüentemente, a potência reativa indutiva injetada pelo CE no sistema de transmissão.

:ku]

.. -Mo-, >5 00.50.53

:GO-

100-

3 i

-100-

--∞-

-00

\*00

<00

?00

7i MLG23H

[ Cms]

SR<sub>c</sub>?S<sub>õ</sub>I<sub>n</sub>?^y ^kSJ-E<sup>o</sup> ELIN. REJ. 100V. COROO 69KU SER USUB FTZ  
CC63D96P.ORT. CARGA MAKINA. DEZ/96  
fEMSRO 23QKU FOSE-MEUTRO MÍLRGRES FRSE R

CtUJ

18-MV9-0C 00.60.6S

-∞-

\*∞-

:∞-

100-

0 -

-100-

--00-

-T00-

-400 "

200

400

600

800

..10) TACS - U23MB

t [ms]

CC 3F-T 69KU DELMIRO ELIH. REJ. 100V. CRRGR 69KU SEM USUB FTZ  
C&IR?, CAR... CRRGR MAXIMA, DEZ/96  
TENSRO 230KU FRSE-FASE FORTALEZA RB

CUJ

i3-Ma«}-95 oo.so.sa

0

-2H

<00 500 300  
 •120 TACS - EMIPI -14) TACS - iriIPI Cms]  
 CC 3F-T 69KU DELMIRO ELIM. REJ. 100V. CRRGR 69KU 5ER USUB FTZ  
 CC63D96P.DRT. CRRGR MAXIMA. DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRADA E SRIDR DO REGULROOR PI DO CE FORTRLEZR

CUJ

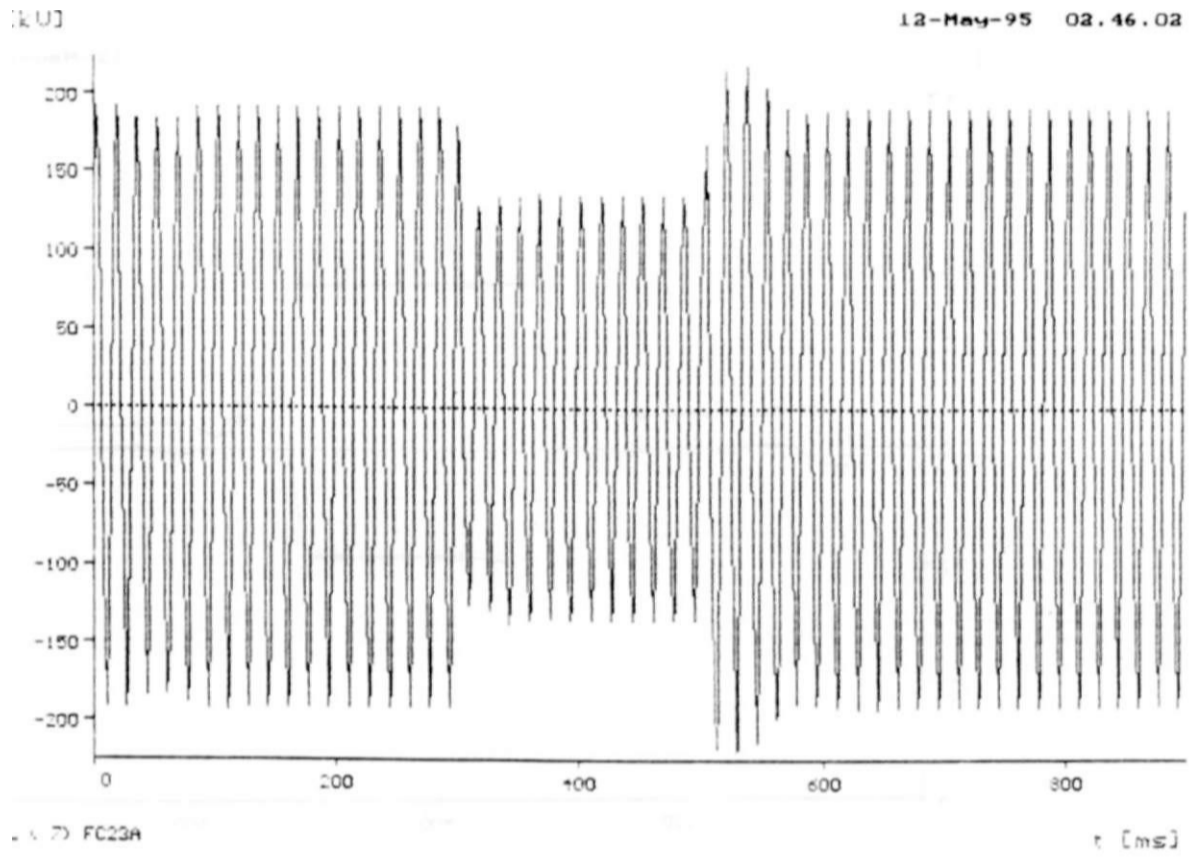
ia-Mav.-95 00.50.53

6 -i

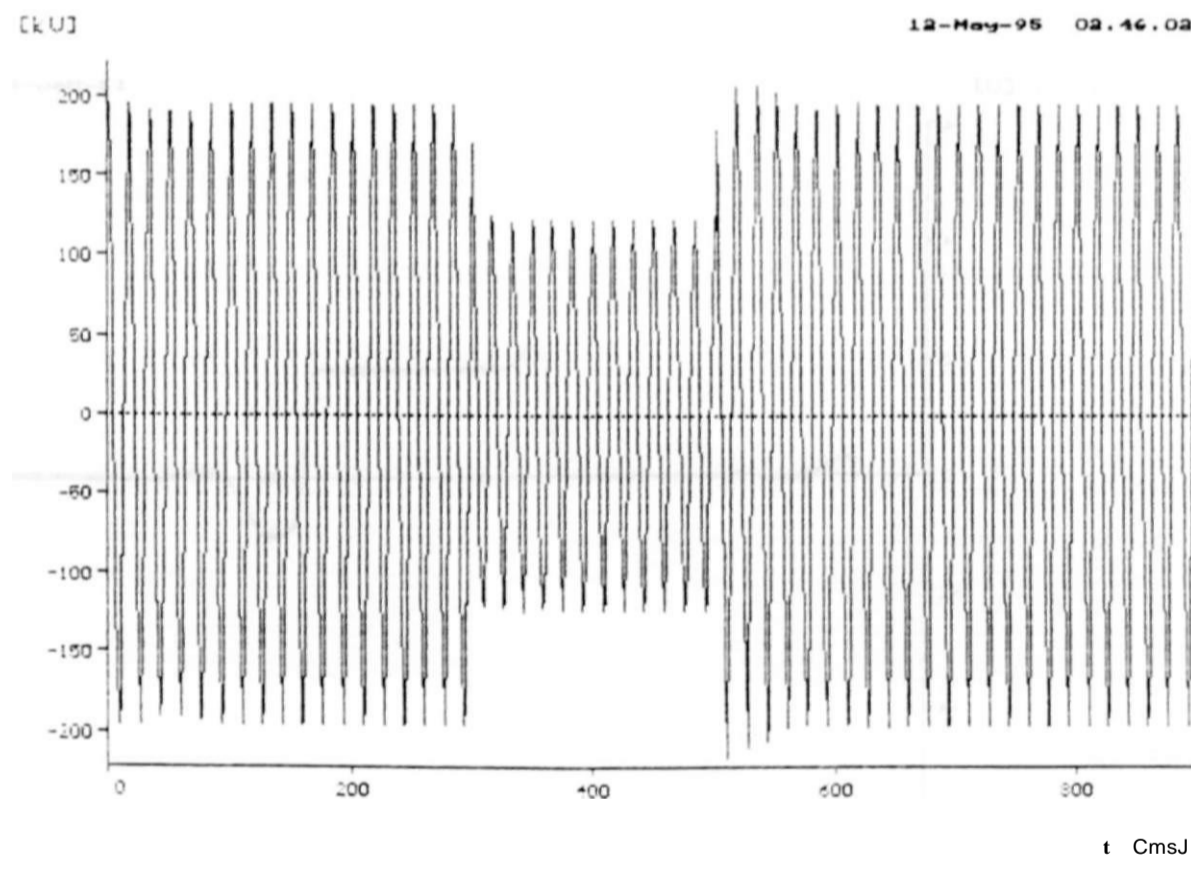
-2H

200 •00 -00 500  
 17) TACS - ENIPIM 13) TACS - iriIPIM Cms]  
 SE A S O I R ' 2 ^ ° ° t n ' \* ° E l i n . R E J . 1 0 0 - / . C R R G R 6 9 K U S E R U S U B F T Z  
 CC63D96P.DRT. CRRGR MAXIMA. DEZ/96  
 TENSÕES DE ENTRRDR E SRIDR DO REGULADOR PI DO CE MILOGRES

- Registros de Aplicação de Defeitos na SE Milagres



FC23A  
 CC 3F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE ALG  
 MGFT96P2.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A



CUJ

ia-Mo^-95 oa.46.oa

-2H

			00	00	300	
.10) TACS	- ENIPI	11J TACS	- irdPI			Cms]

TENSÕES DE ENTRODO E SAIDFI DO REGULRDOR PI DO CE FORTRLEZR

CUJ

ia-Mo^-115 oa.-«6.oa

H

1 ^ .

**U**

-2H

		00	00	00	300	
. ISi THCS	- ENIPI	a 4) TACS	- SAIPO			Cms]

TENSÕES DE ENTRODO E SRIDR OO REGULRDOR PD DO CE FORTRLEZR

CUJ

12-Ha^--95 02.46.02

```
              :00          *00          i00          300
•15) TrCS - ENTIPM          TrCS - SAIPIM          r [ms]
CC 3F-T 69KU MILOGRES ELIM. REJ. I00X CRRGR COR USUB CE MLG
NGFT96PZ.DAT CRRGR MAXIMA. DEZEMBRO/96
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES
```

CUJ

As

```
              200          400          <00          300
12) TrCS - ENTOOU          19) TrCS - irtdPDM          t [ms]
CC 3F-T 69KU NILOGRES ELIN. REJ. LQ3C CARGA COR USUB CE NLG
MGFT96PZ.DAT CARGA MAXIMA. DEZEMBRO/96
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PD DO CE MILAGRES
```

v CkU]

12-M«v-97 08.58.S0

200-  
150-  
100-  
50-  
-50-  
-100-1  
-150-  
-200-

200

400

feOO

800

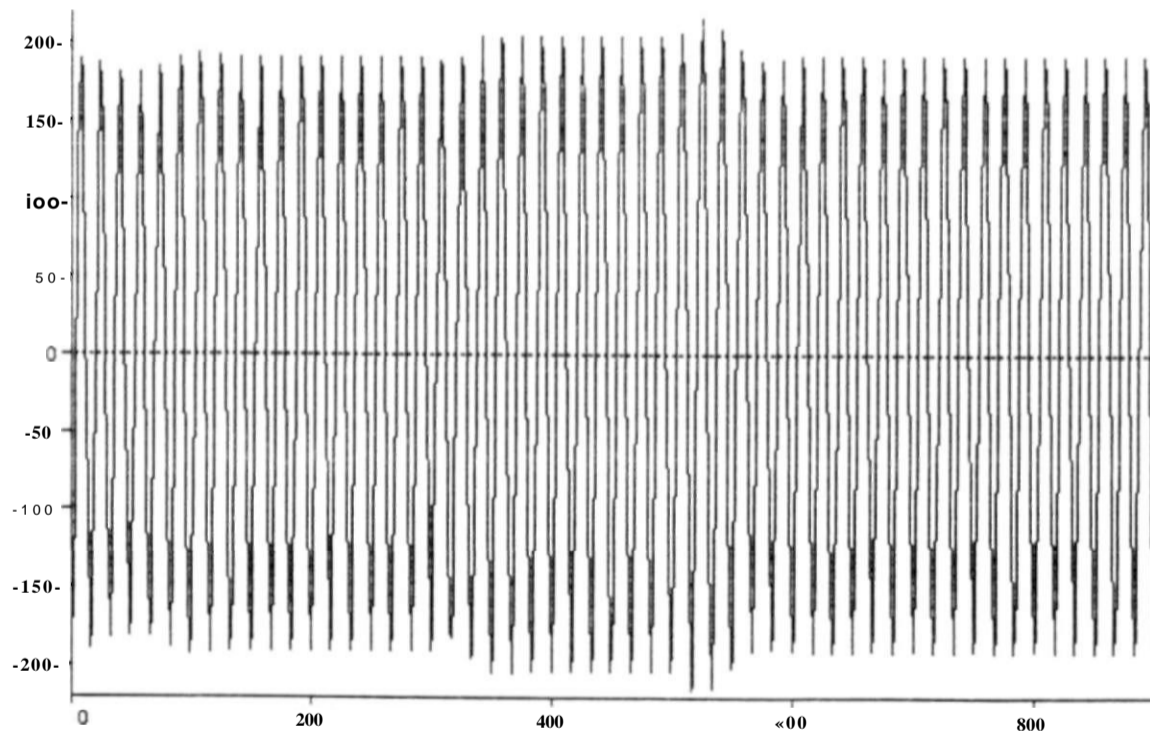
< 7) FC23A

t Cms]

V. CARGO COR USUB CC RLQ  
E A

v CkU]

12-M»w#-97 08.38.S0



< 8) FC23B

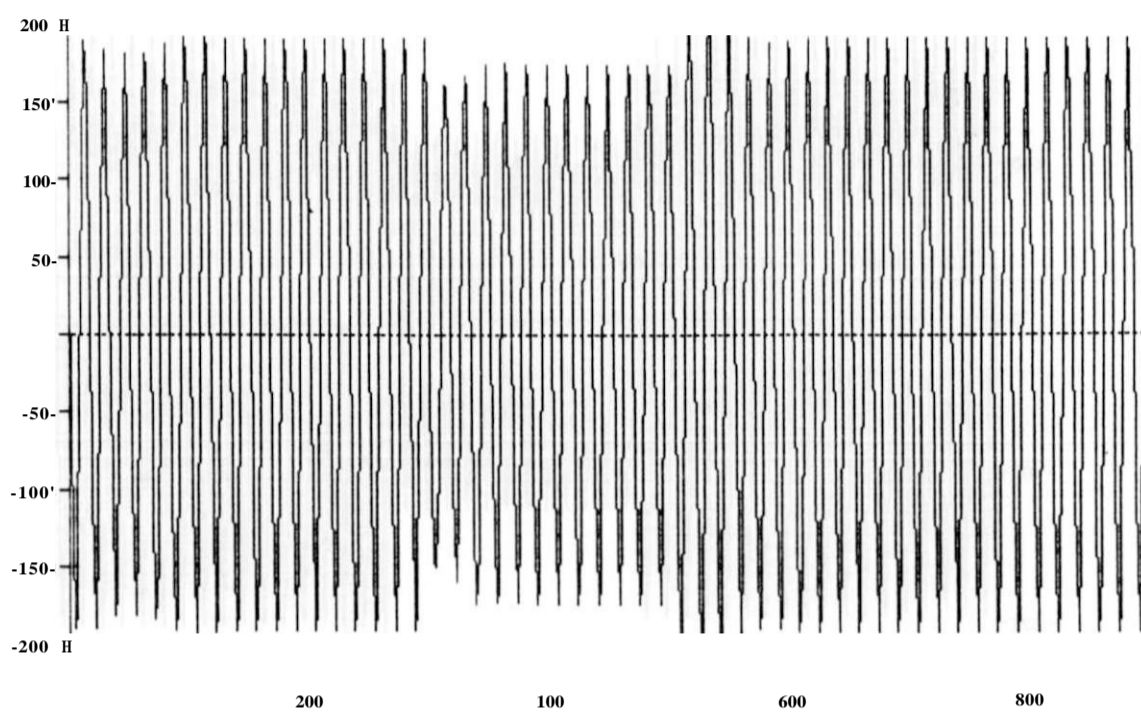
t Cms]

print dace: 12. May 1997



/ CkU]

12-M3M-97 08.38.S0



\_ < 9) FC23C

C C 2 F - T 69KU M

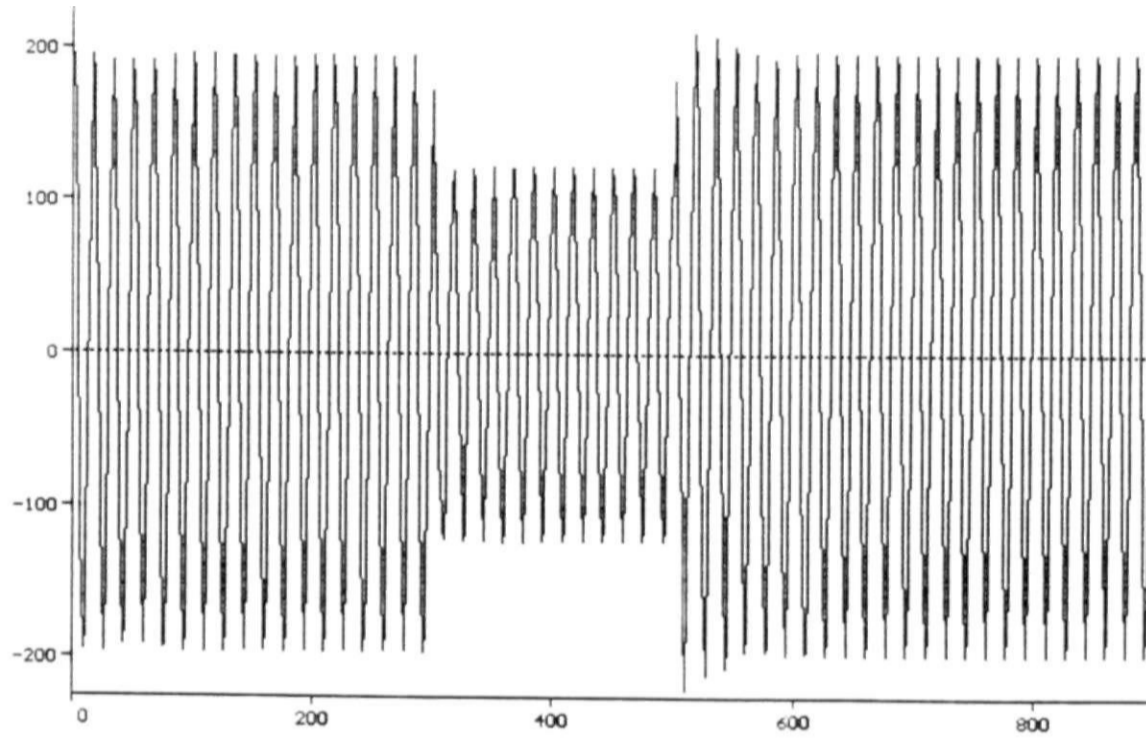
y. CARGA COti USU8 CE MLO  
E C

t Cms]

print date: 12. May 1997

v CkUJ

12-May-97 08.38.30



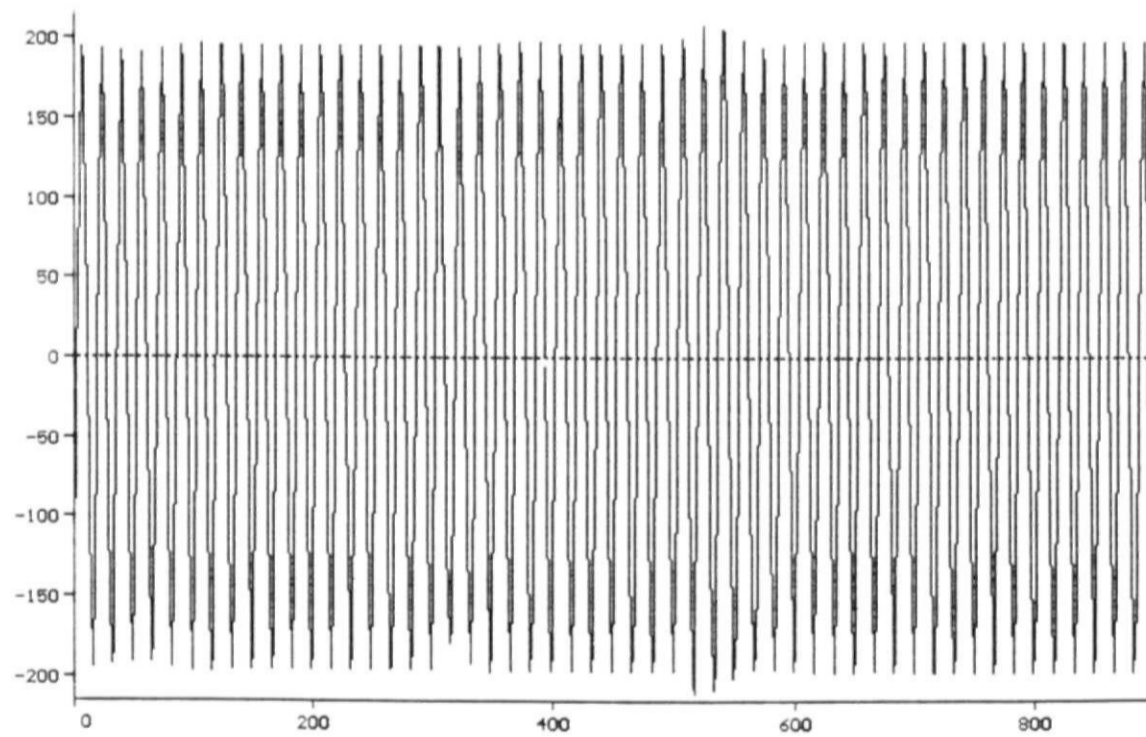
— ( 1 ) ML623A

t [ms]

CC 2F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
MGFT96PS DAT CARGA MAXIMA DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

v [kV]

12-May-97 08.58.50



— ( 2 ) ML623B

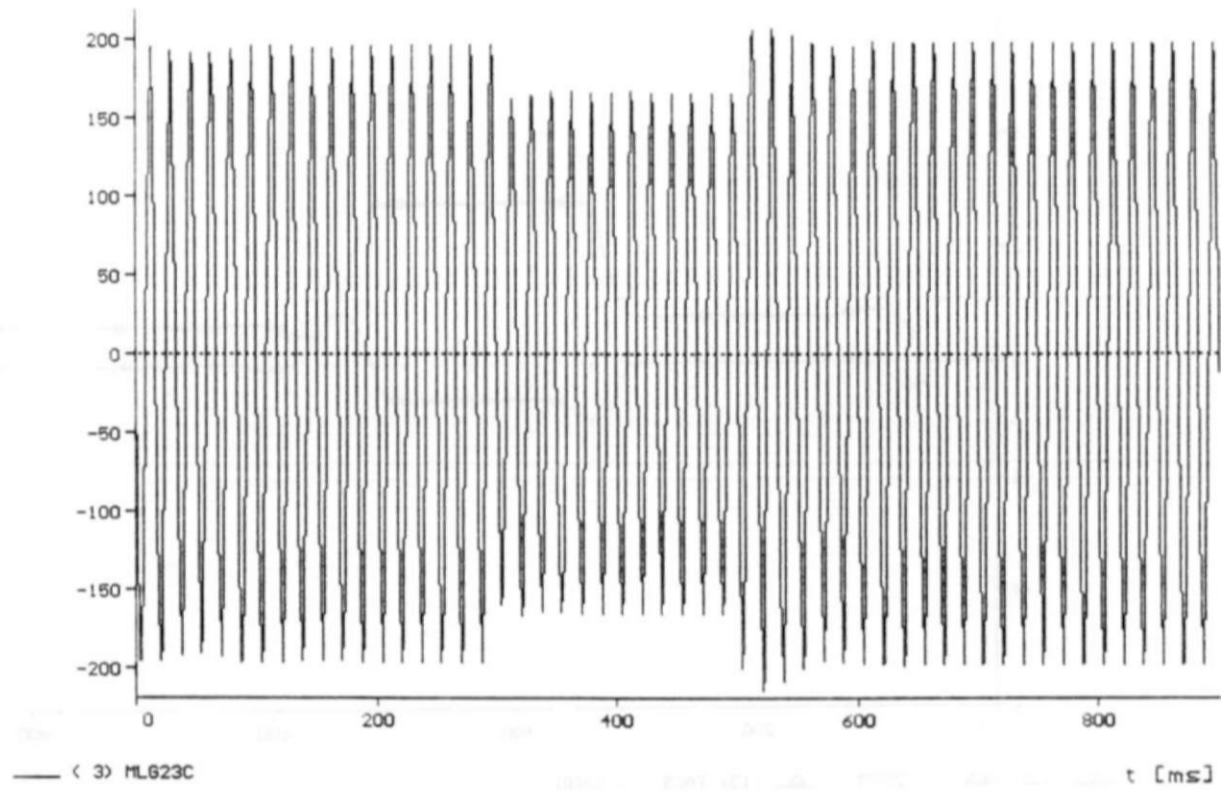
t [ms]

CC 2F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
MGFT96PS DAT CARGA MAXIMA DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE B

print date: 12. May 1997

v [kV]

12-May-97 08.58.50



CC 2F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
REF 96P3 DAT CARGA MAXIMA DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE C

print date: 12. May 1997



CC 2F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
REF 96P3 DAT CARGA MAXIMA DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE C

print date: 12. May 1997

3. Caso se tenha  $u_{MED} < i_{REF}$ ,  $AU = u_{MED} - u_{REF} < 0$ , significando que a tensão terminal do compensador encontra-se com um valor inferior ao desejado, caracterizando a existência de uma subtensão. Para eliminá-la, o sistema de controle eleva o ângulo de disparo dos tiristores, reduzindo a corrente nos reatores controlados e, conseqüentemente, a potência reativa indutiva injetada pelo CE no sistema de transmissão. Como a parcela da potência reativa capacitiva produzida pelo CE é fixa, reduzir sua parcela indutiva equivale a levar o referido equipamento a operar num ponto mais capacitivo.

Em seqüência, o sinal  $AU$  passa através de um filtro corta-faixa de segunda ordem sintonizado em 120Hz, com ganho unitário e função de transferência dada por

$$FT(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\zeta T s + 1}, \quad (4.9a)$$

onde  $T$ ,  $\zeta$  e  $\omega_n$  são os parâmetros ajustados em campo, que definem a ação de filtragem desejada para este componente. Considerando por projeto  $\zeta = 1$ , tem-se as seguintes relações:

$$T = \frac{1}{\omega_n} \quad (4.9b)$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{\omega_n}{\omega_d} \quad (4.9c)$$

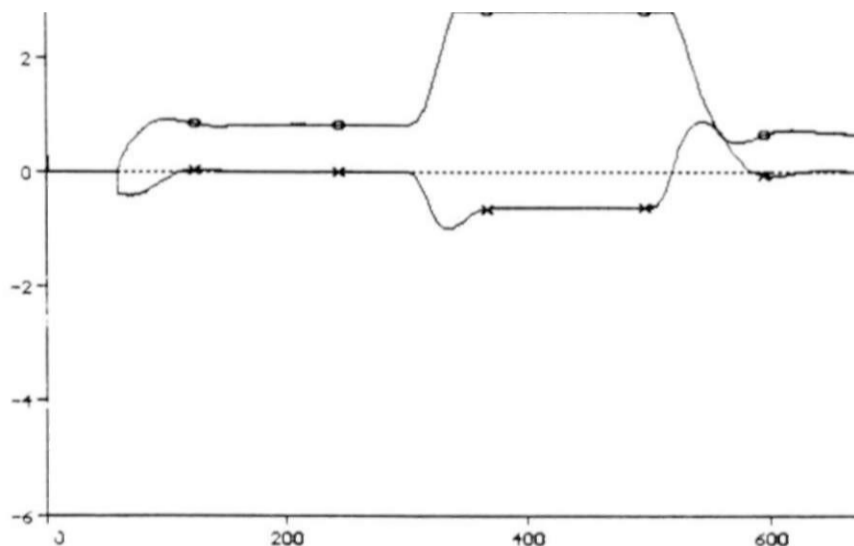
onde  $\zeta$  e  $\omega_n$  são, respectivamente, o coeficiente de amortecimento e a freqüência natural não amortecida do sistema sob análise, conforme estabelecido em [14].

Este filtro tem por finalidade suprimir a componente de 120Hz presente na retificação de onda completa do sinal  $i_{MED}$ , sendo o sinal filtrado levado à entrada dos canais normal e rápido do regulador de tensão.

#### 4.3.5 - Canal normal de regulação

O canal normal de regulação possui na sua entrada um filtro corta-faixa de segunda ordem, sintonizado em 60Hz, com ganho unitário e função de transferência similar àquela dada pelas Eqs. (4.9), tendo por finalidade suprimir a componente de 60Hz presente na retificação de onda completa do sinal  $i_{MED}$ . Em seguida, o sinal de erro passa por um retardo de primeira ordem e é aplicado ao controlador proporcional-integral (PI) que compõe o canal normal de regulação. Conforme estabelecido em [15], a função de transferência deste controlador é dada por,

$$FT(s) = K_p \frac{s + z}{s + p}, \quad (4.10)$$

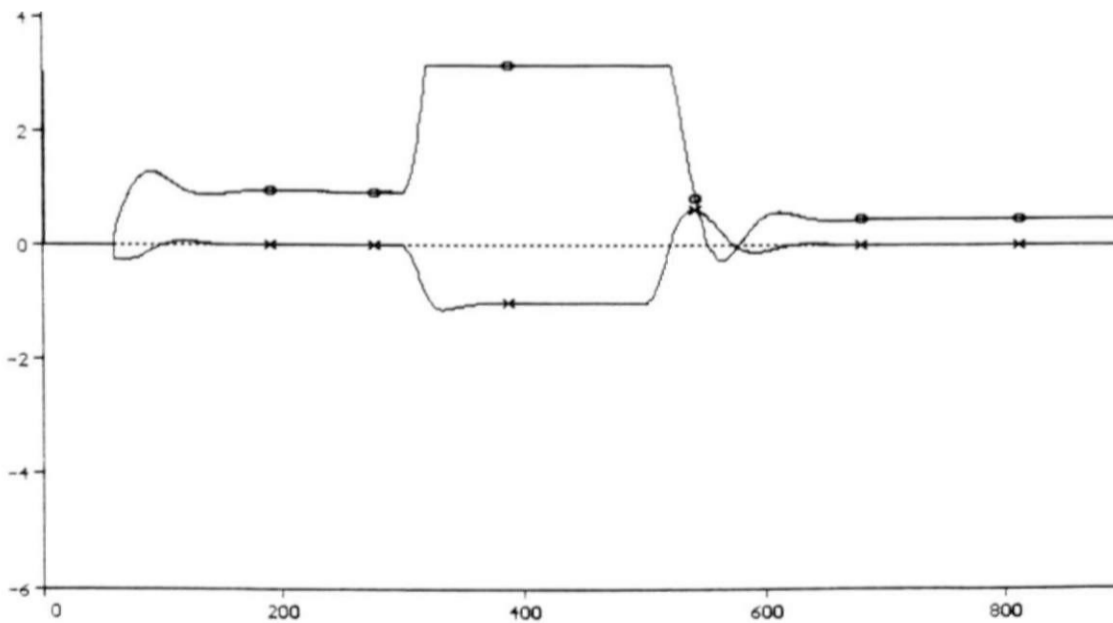


800

x (12) TACS - ENTP (13) TACS - SAIP

r. CmcJ

CC 2F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
MGFT96P5.DAT CARGA MAXIMA DEZEMBRO/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA



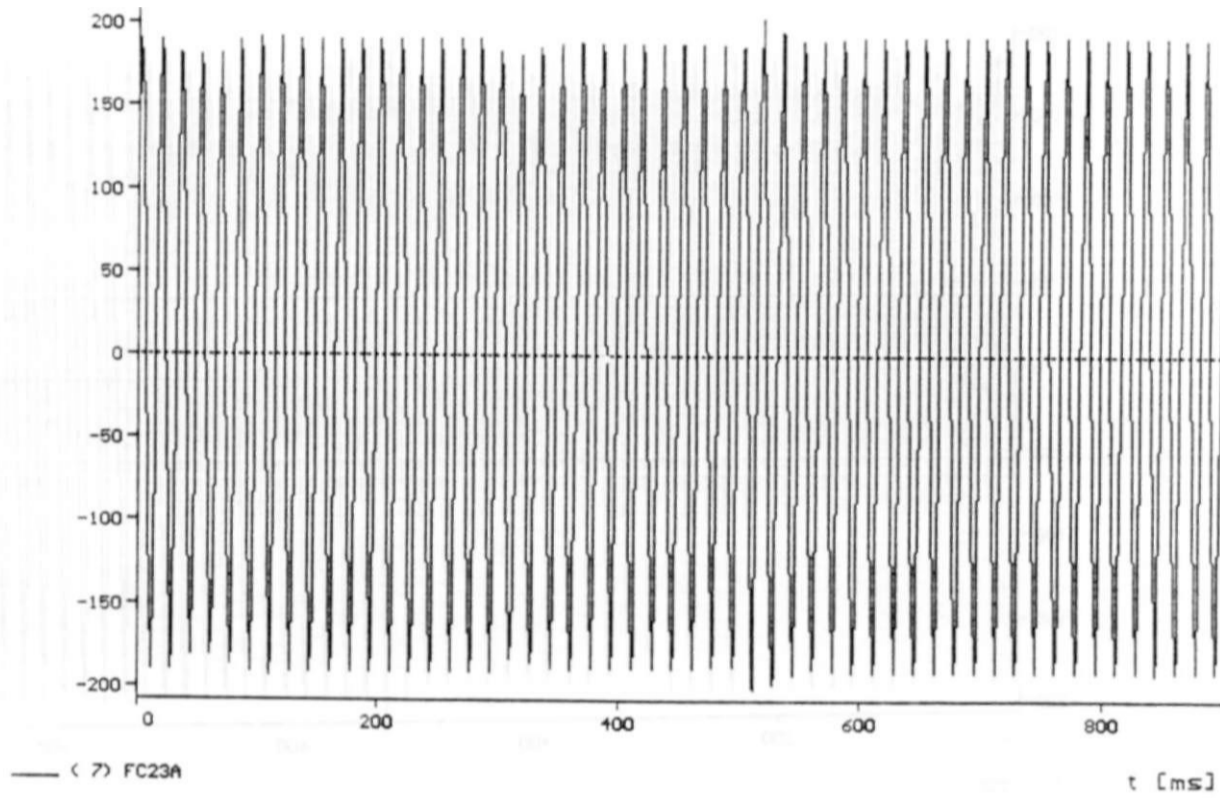
t [ms]

x (20) TACS - ENTP (21) TACS - SAIP

CC 2F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
MGFT96P5.DAT CARGA MAXIMA DEZEMBRO/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v CKU]

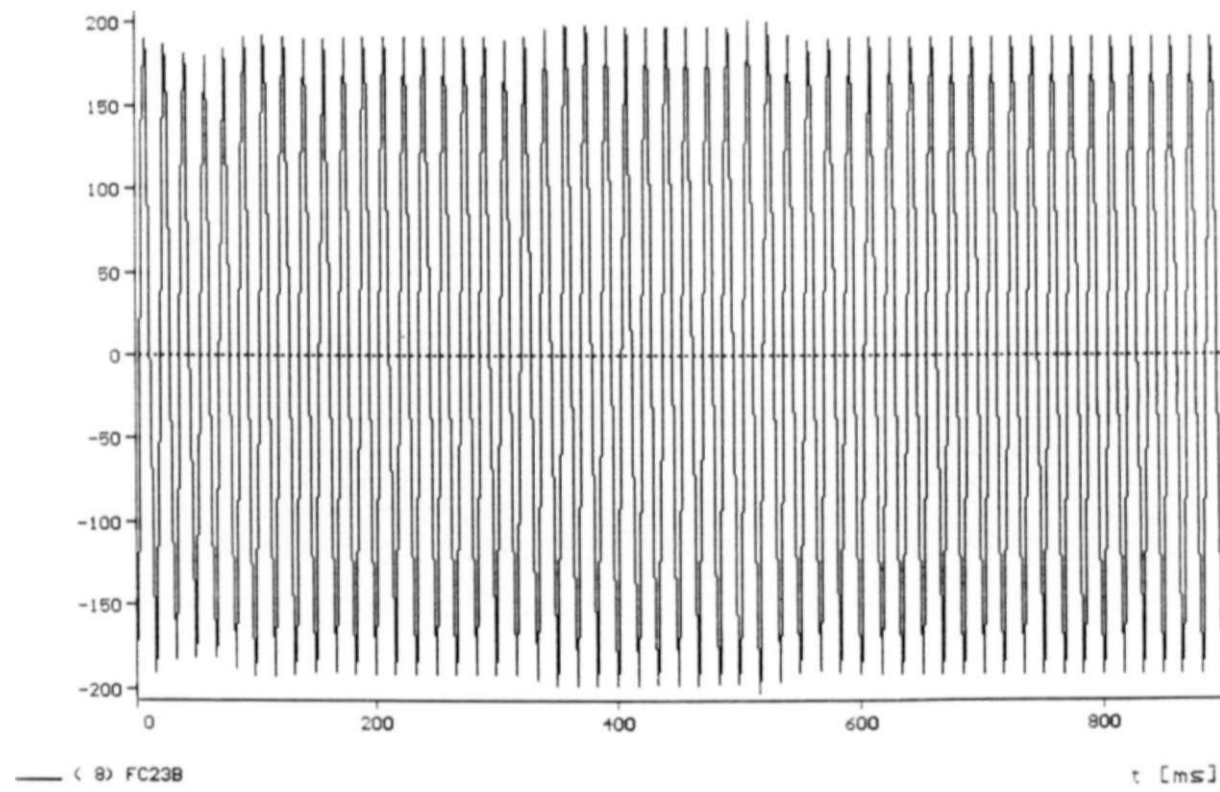
12-Mat#-97 09.53.18



CC 1F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
HGFT96P8.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

. fku]

12-MaM-97 09.55.18

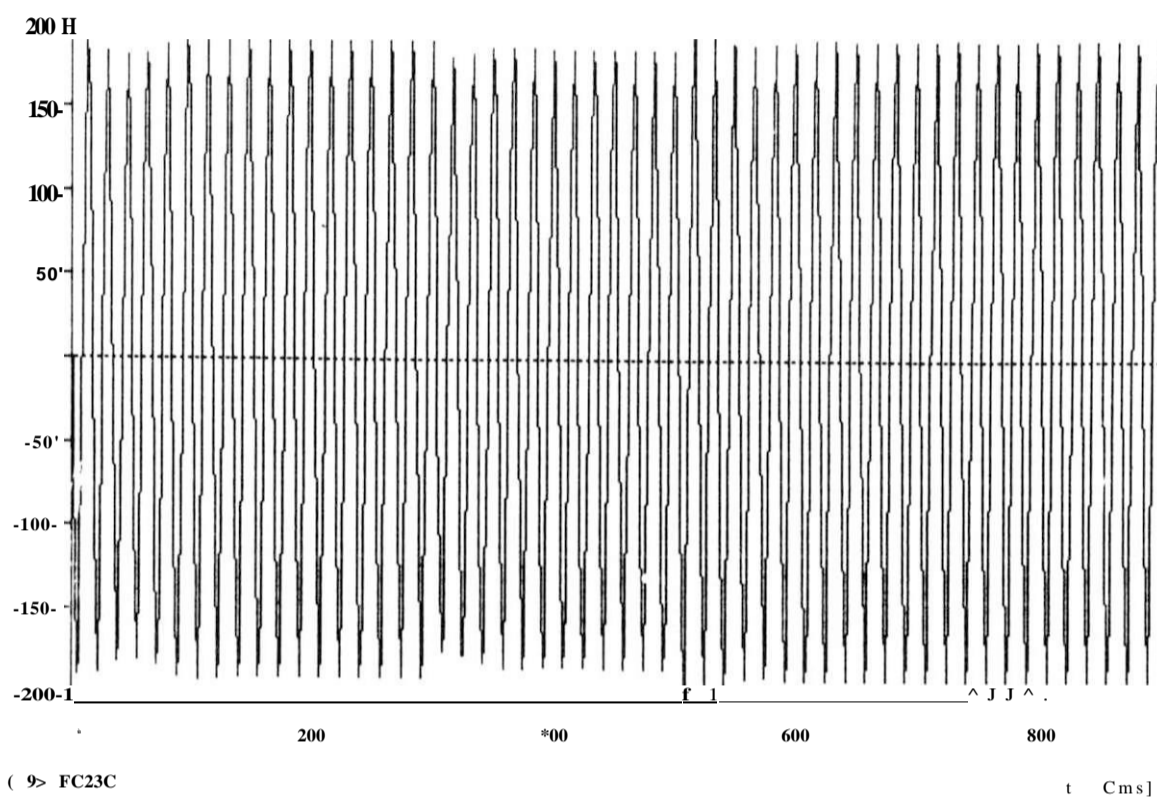


CC 1F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
HGFT96P8.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE B

print date: 12. May 1997

v CkU]

12-Ma«-97 09.55.18

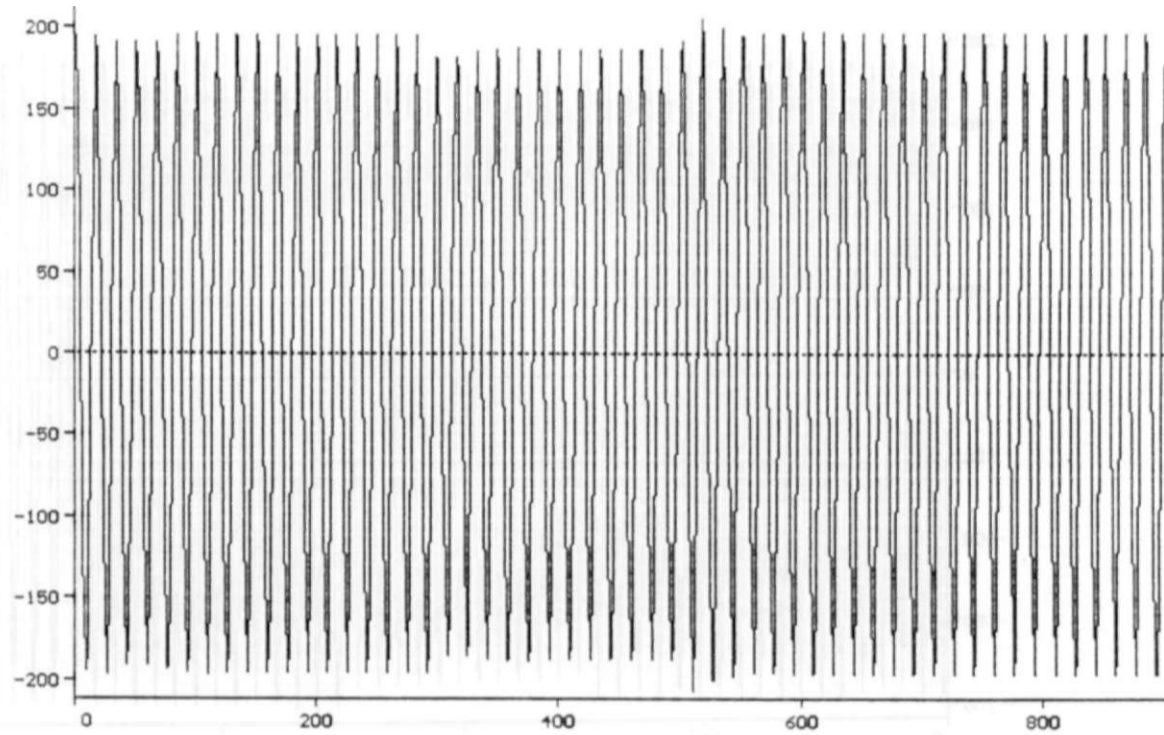


„CARGA COH USUB CE MLO  
FOSE C

print date: 12. May 1997

v CkU]

12-Mavr-97 09.SS.18



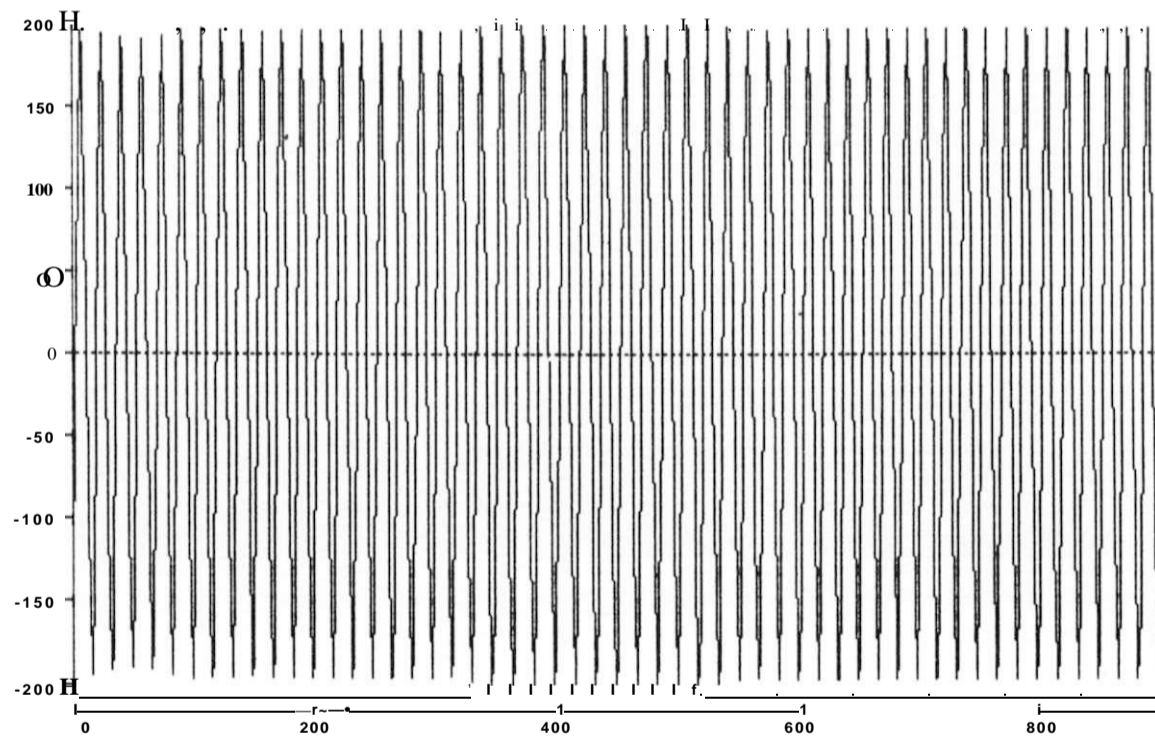
( 1) HLG23A

t [ms]

CC 1F-T 69KV MILAGRES ELIM. REJ. 100% CARGA COM USUB CE HLG  
MGFT96P8.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

. Ck U]

12-Ma\_-97 09.55.18



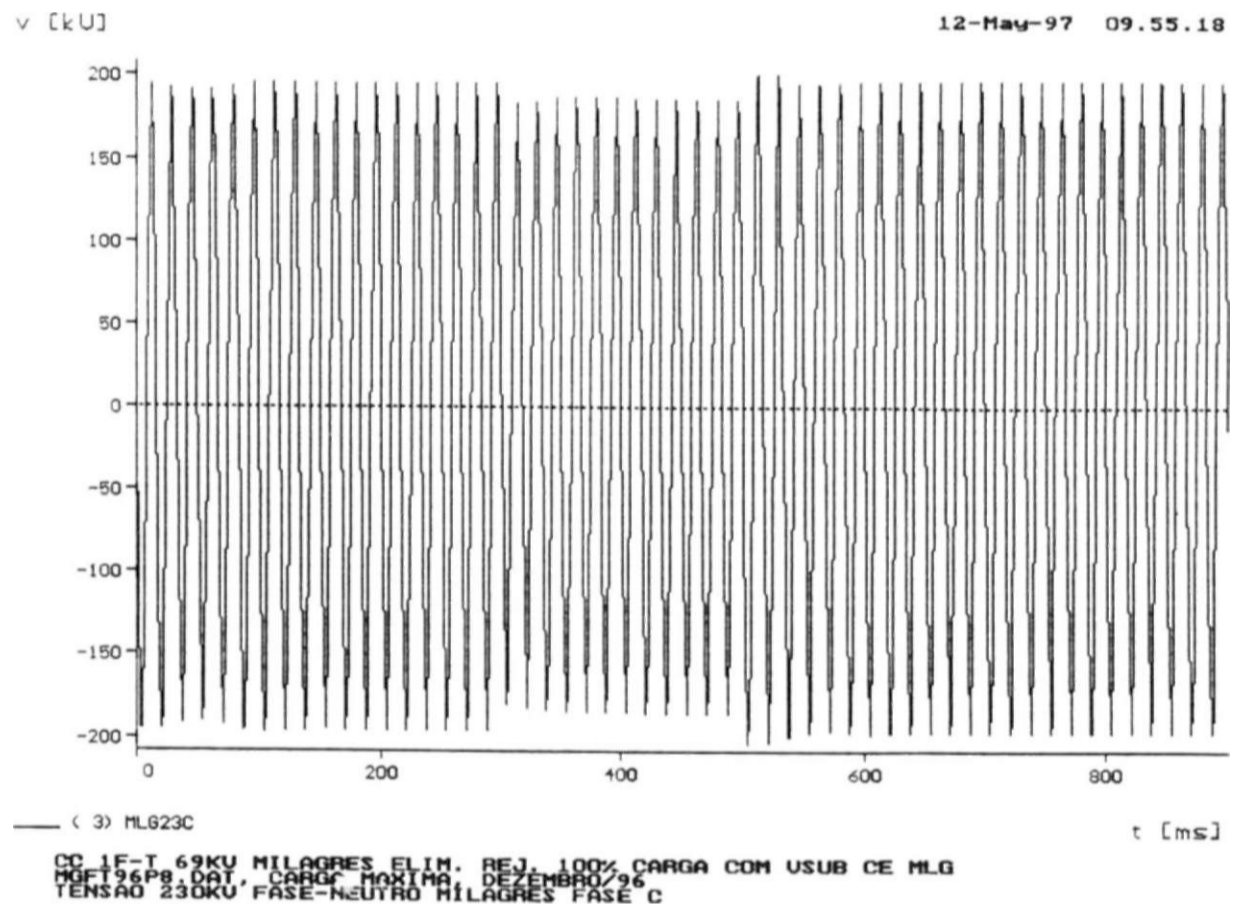
< 2) HLG23B

Cm=3

- T96P8  
4SAO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE B

print date: 12. May 1997





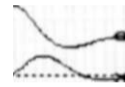
print date: 12. May 1997

v [CU]

12-May-97 09.53.18

6-1

2H



-2-

200

400

600

800

<10> TICS - ENIPI

(11) TACS - SAIP

t [Cms]

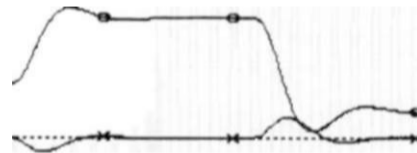
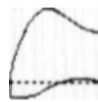
CC1F-T 69KU MILAGRES ELIN. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
 MGFT96P8.DAT CARGA MÁXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v [CU]

12-May-97 09.55.18

6-1

2H



-2 H

-4 H

200

400

600

800

<21> TACS - ENIPI

<22> TACS - SAIPIM

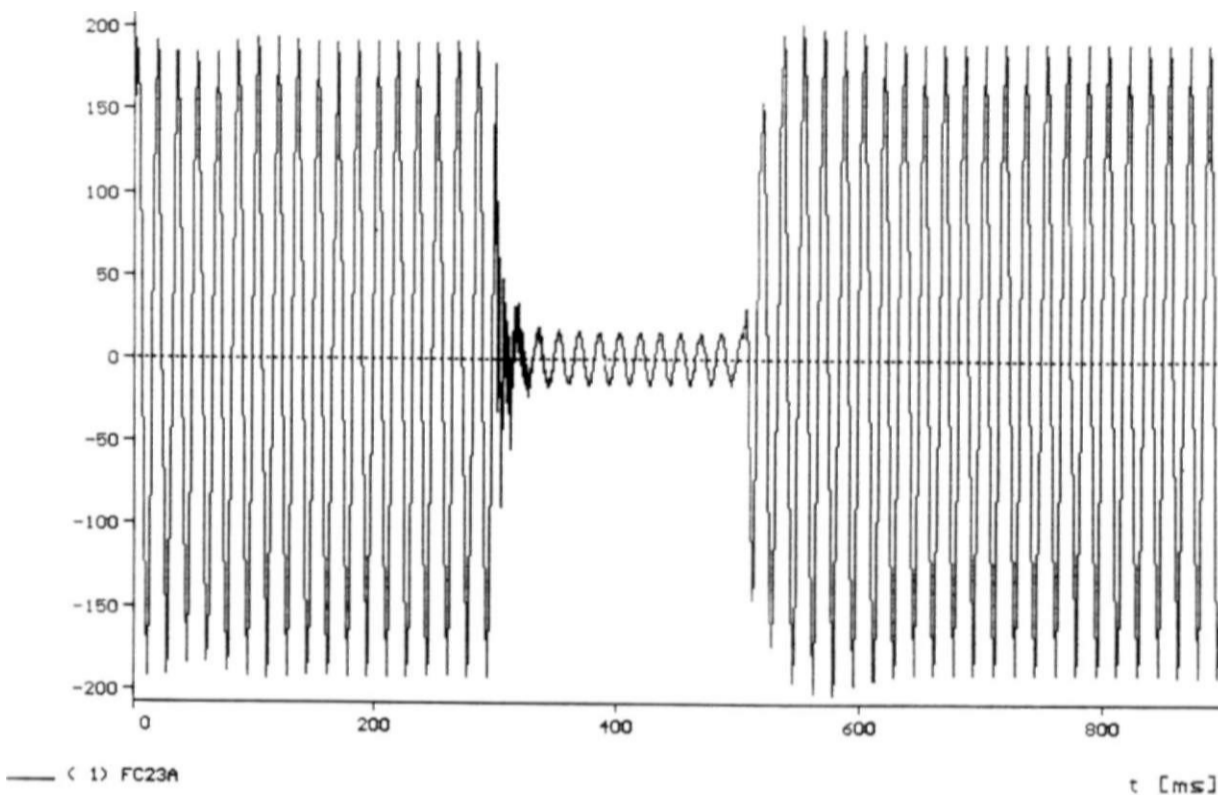
t [ms]

CC1F-T 69KU MILAGRES ELIN. REJ. 100% CARGA COM USUB CE MLG  
 MGFT96P8.DAT CARGA MÁXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE NILAGRES

print date: 12. May 1997

v

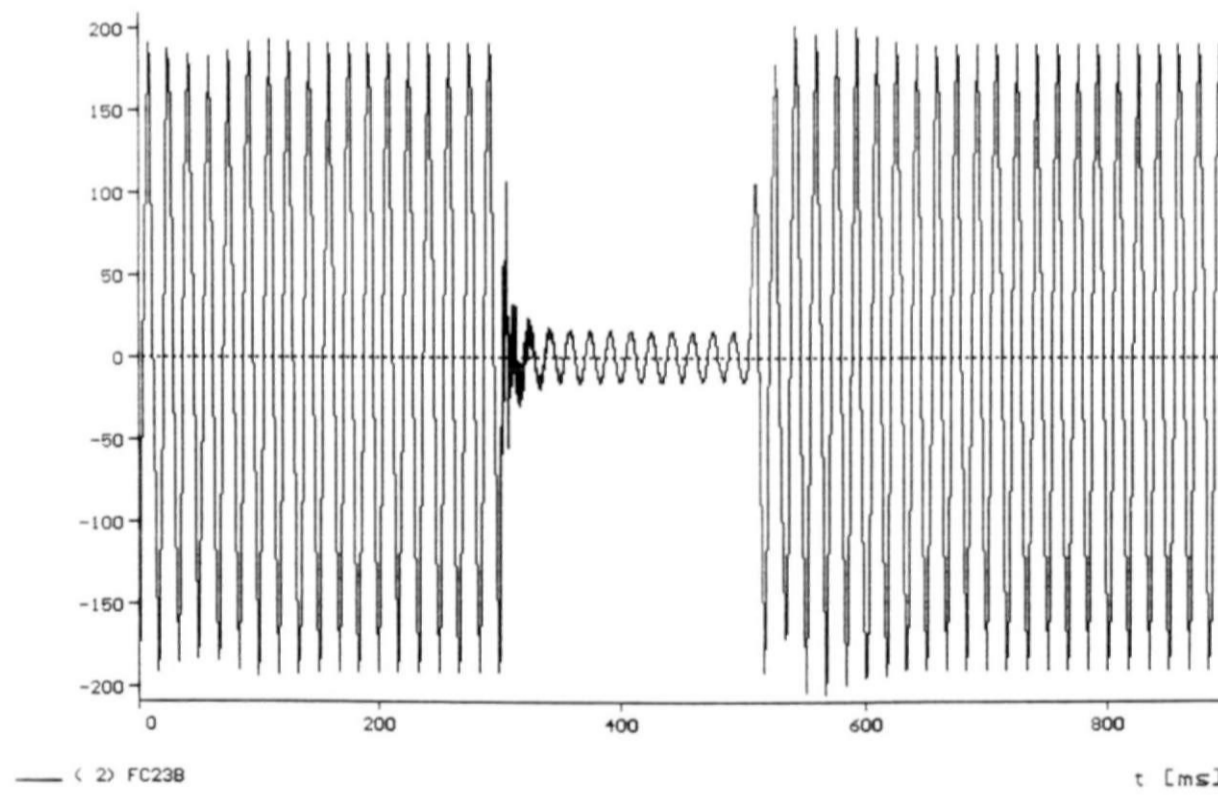
12-M-97 10.33.33



CC 3F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT COM USUB CE MLG  
CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

v [kU]

12-May-97 10.33.35

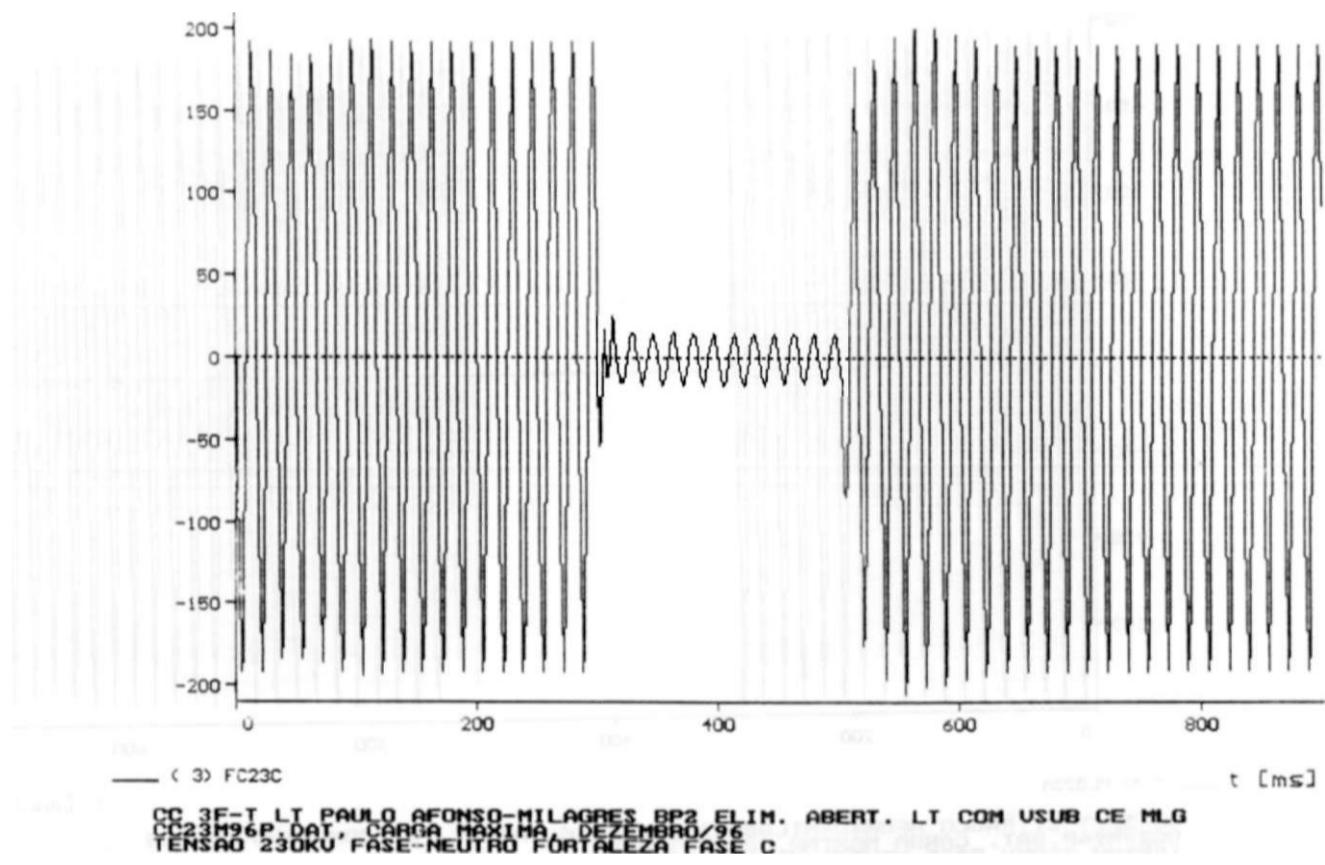


CC 3F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT COM USUB CE MLG  
CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE B

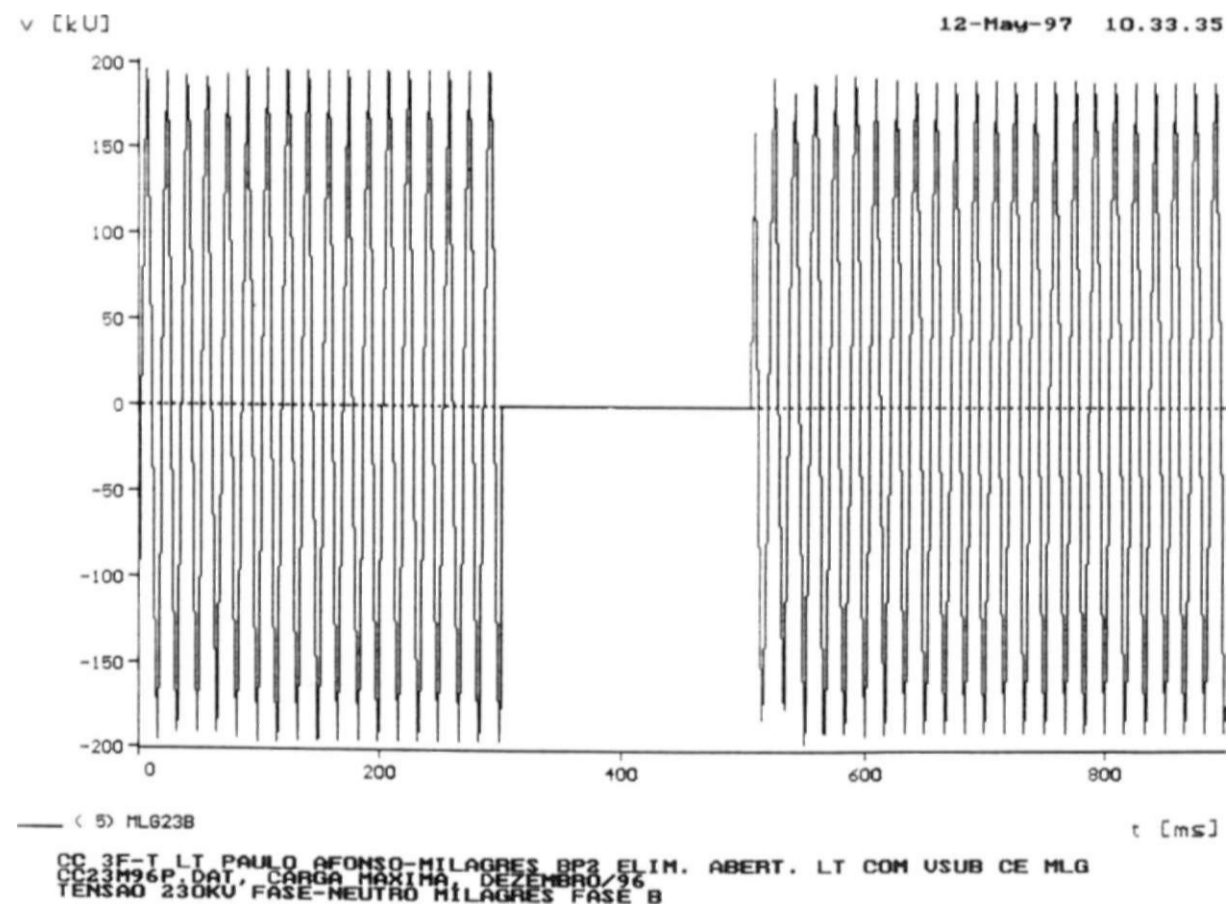
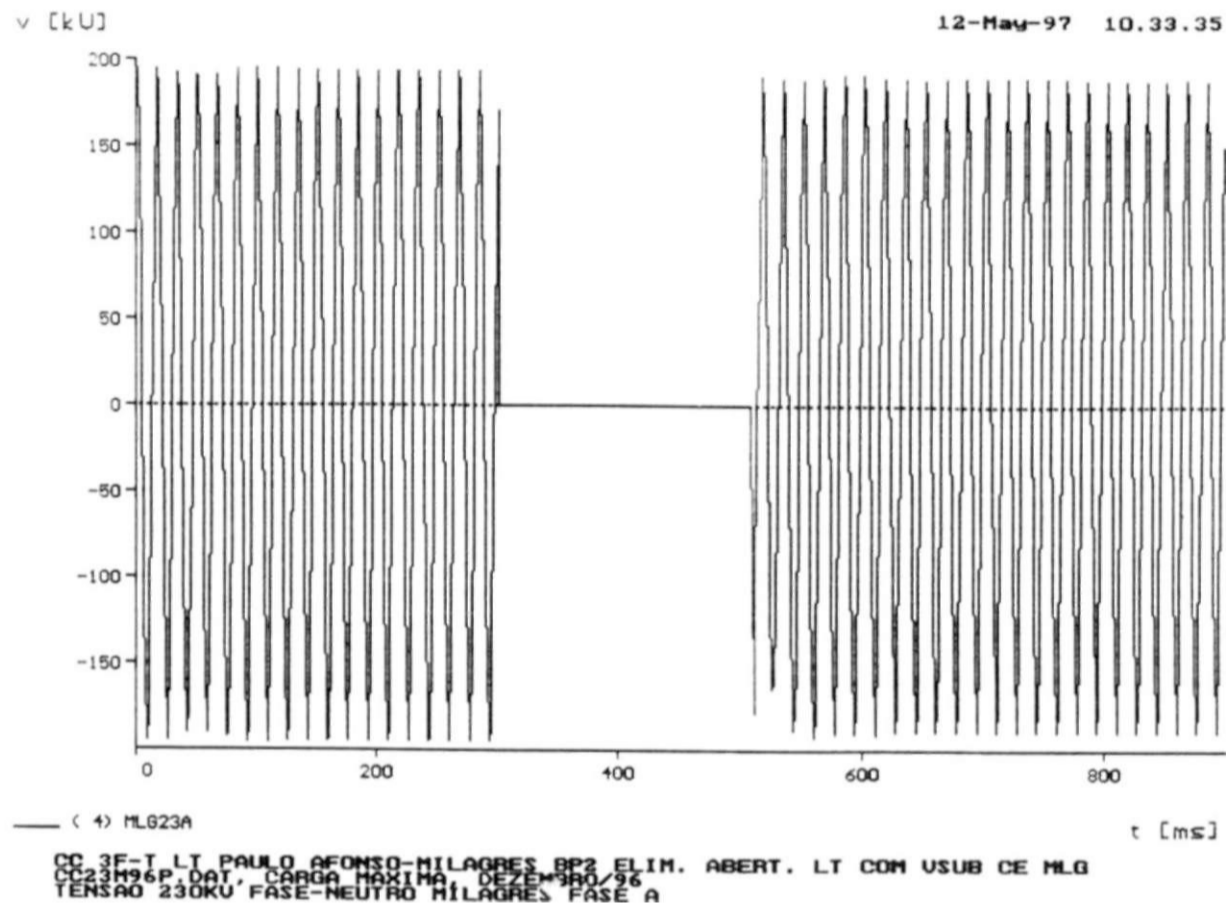
print date: 12. May 1997

/ CkU]

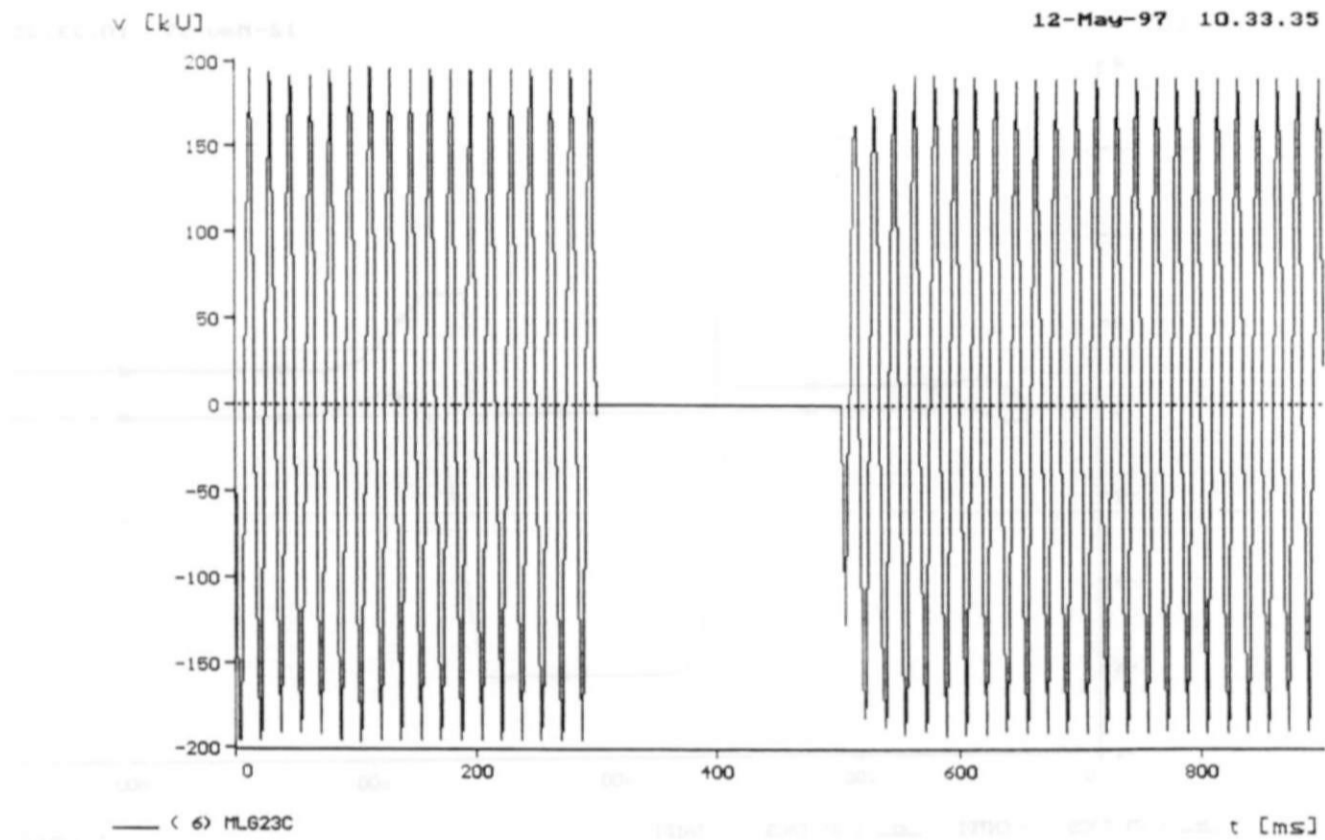
12-M«\_-97 10.33.3S



print date: 12. May 1997



print date: 12. May 1997



CC 3F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT COM USUB CE MLO  
 CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE C

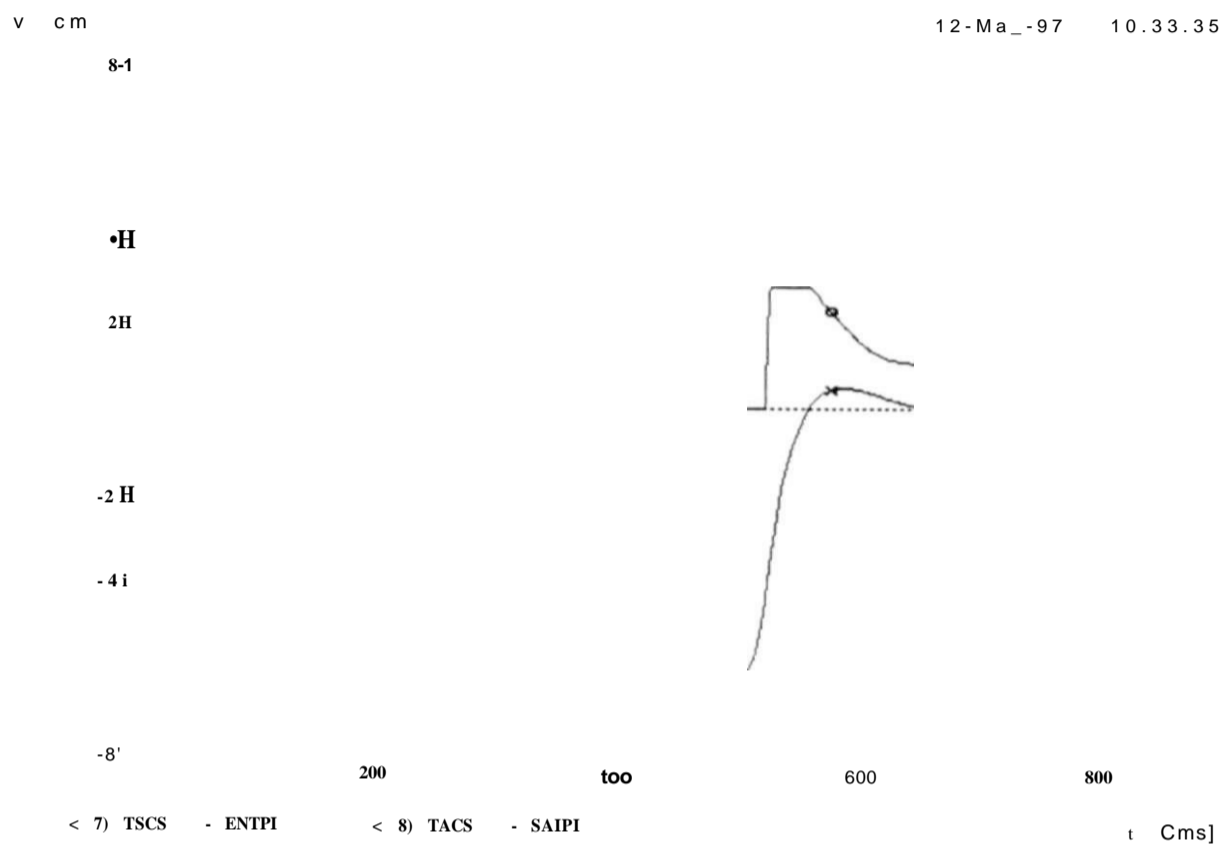
print date: 12. May 1997



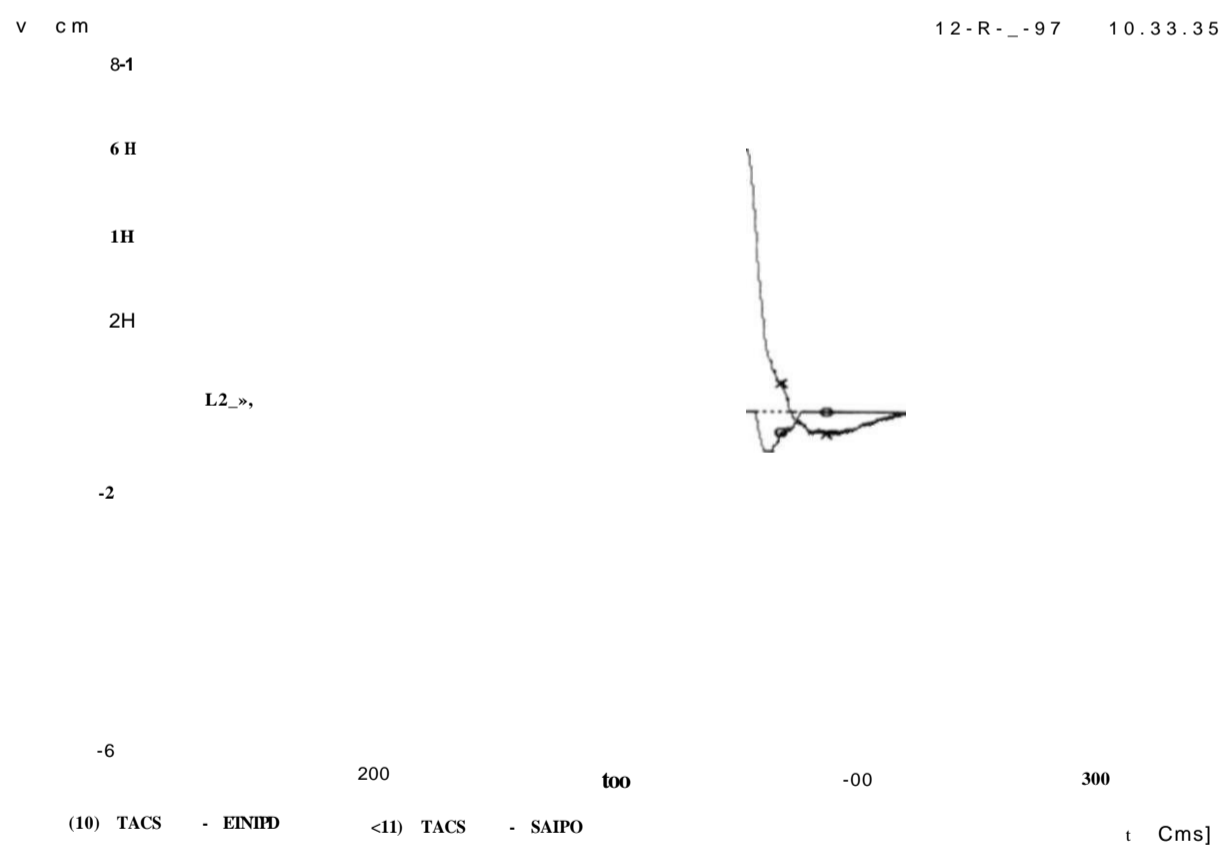
print date: 12. May 1997

onde  $K_p$  representa o ganho proporcional e  $x$ , a constante de tempo integral. Conforme estabelecido em [16], a principal característica deste controlador é que, através da adição do fator  $1/s$  na função de transferência, elimina-se a possibilidade da existência de erro de regime permanente para uma entrada degrau, que existe quando se emprega um ganho proporcional puro, funcionando, desta forma, como um controle de precisão. A saída do canal normal de regulação, identificada pela variável TACS SAIPI, é uma das parcelas do sinal de controle que define o ângulo de disparo dos tiristores e é o principal responsável pelo controle da tensão terminal do CE.

O canal normal de regulação, sob forma de diagrama de blocos da subrotina TACS, é mostrado na Fig.4.9. Vale destacar que o controlador PI é dotado de limitação dinâmica, que durante grandes perturbações, onde são atingidos os limites nominais de potência reativa do compensador, anula a entrada do circuito integrador, fazendo com que sua saída permaneça "congelada" no valor correspondente ao limite atingido. Com isto, evita-se que a saída do circuito integrador atinja o valor de saturação ( $\pm 15V$ ) e que seja introduzido um retardo indesejável na ação do referido controlador quando este for solicitado a atuar no sentido contrário ao do limite atingido. Tais limites são ajustados nos valores correspondentes aos limites nominais de potência reativa do CE e são representados no modelo do ATP pelas variáveis TACS LMIND (limite nominal indutivo) e LMCAP (limite nominal capacitivo). Esta representação está também ilustrada no diagrama de blocos da Fig.4.7.



-NSOES DE EMTRAOA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA



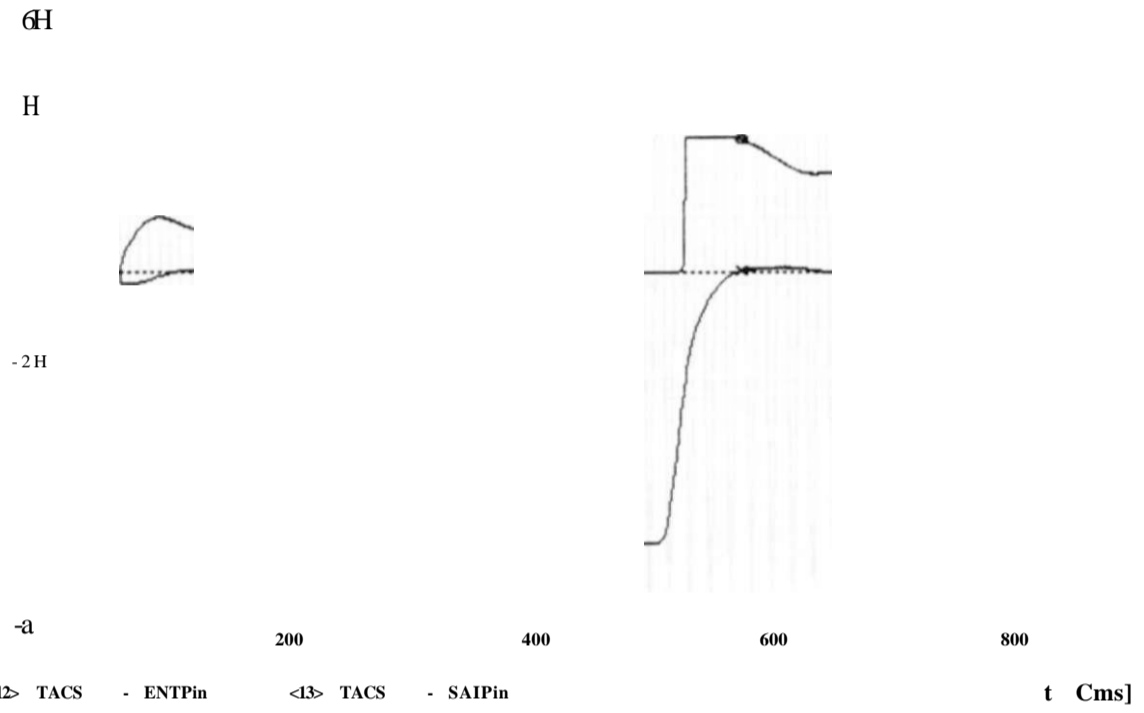
ABERT. LT COR USUB CE MLQ  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR DO CE FORTALEZA

print date: 12. May 1997



v CU]

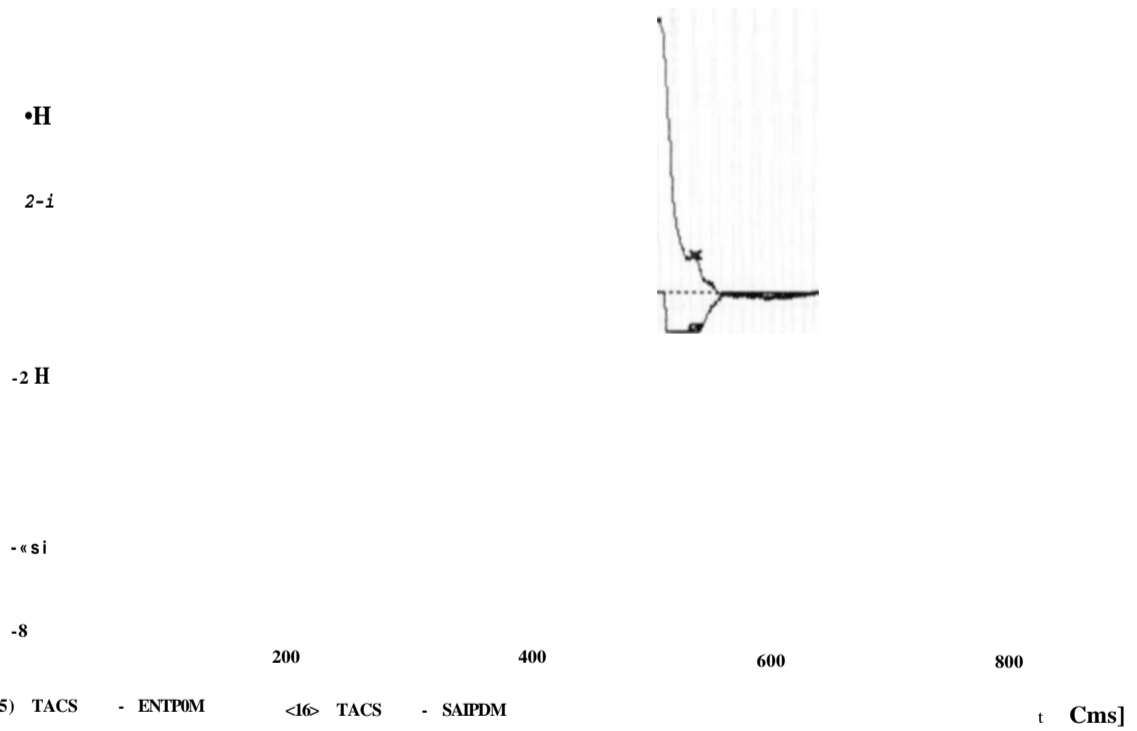
12-May-97 10.33.35



CC 3F-T LT PAULO AFONSO-NILAGRES BP2 ELIN. ABERT. LT COM USUS CE MLG  
CC23M96P.DAT. CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO CONTROLADOR PI DO CE NILACRES

v CU]

12-N»\_-97 10.33.35

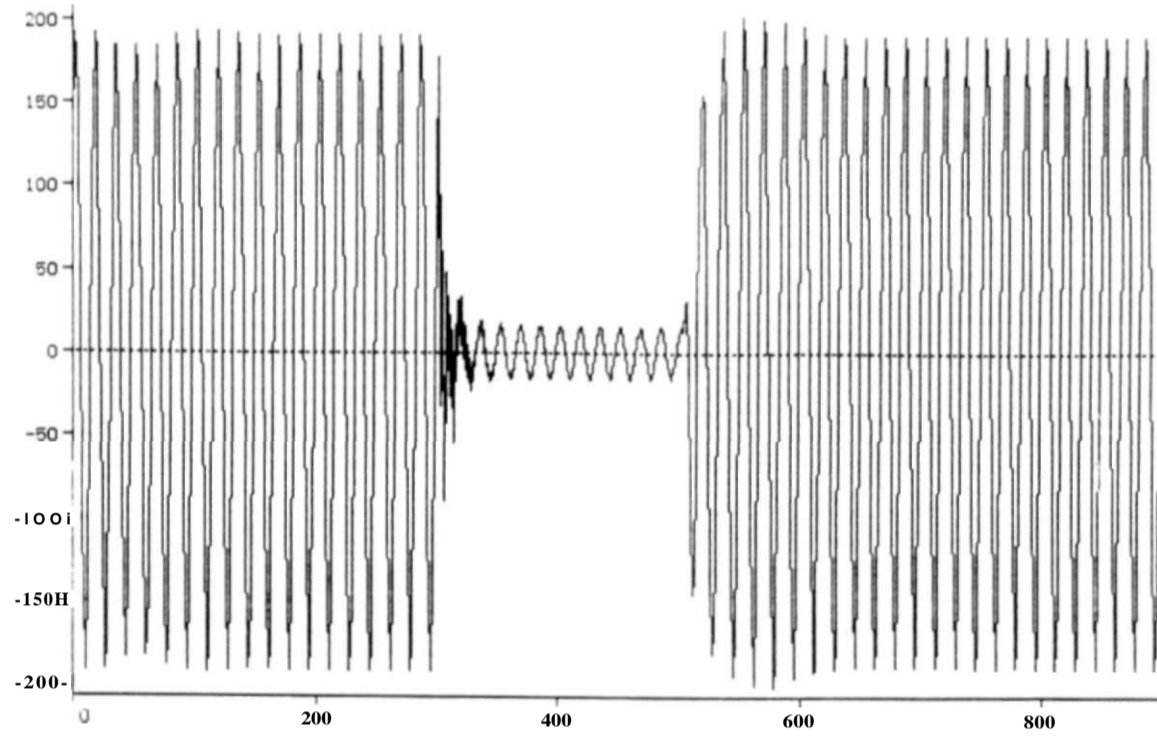


^ELIH. ABERT. LT COM USUB CE MLG  
ADOR PD DO CE MILAGRES

print date: 12. May 1997

v [kU]

12-Ma-97 11.03.47



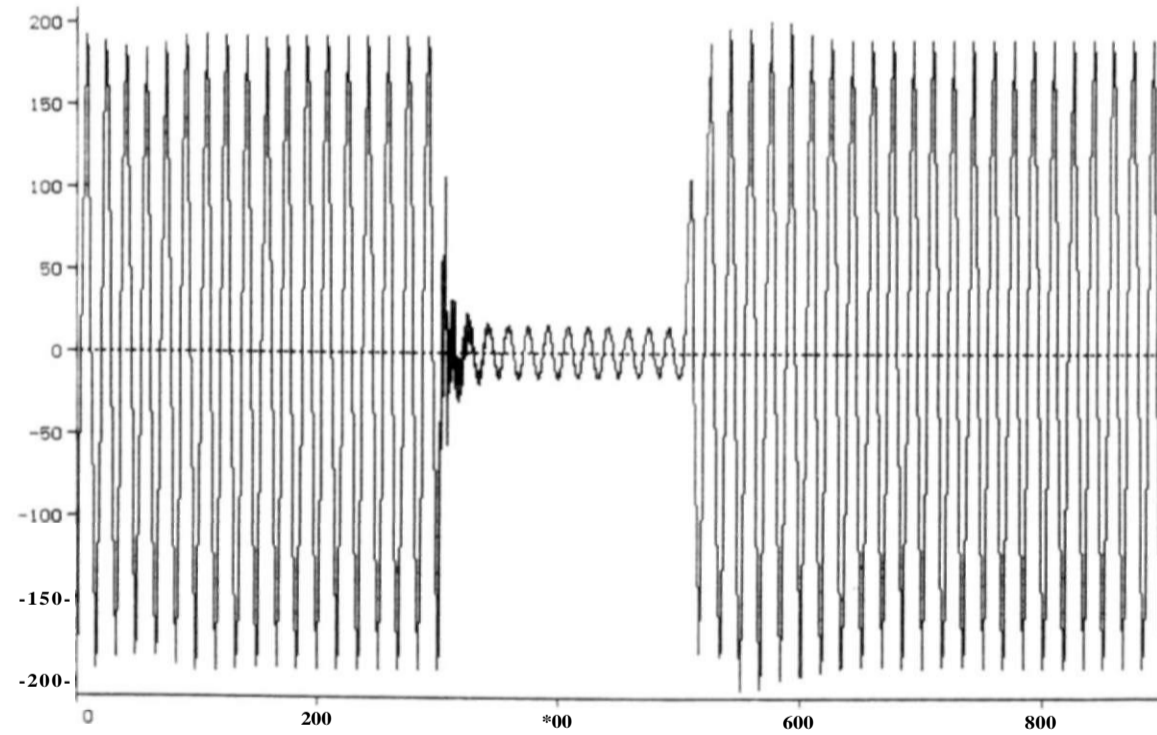
< 1) FC23A

t [ms]

CC 3F-T LT PAULO AFONSO-M IH. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
CC23M96P.DAT, CARGA MAXIM\*,  
TEMSAO 230KV, FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

v [kU]

12-Ma-97 11.03.47



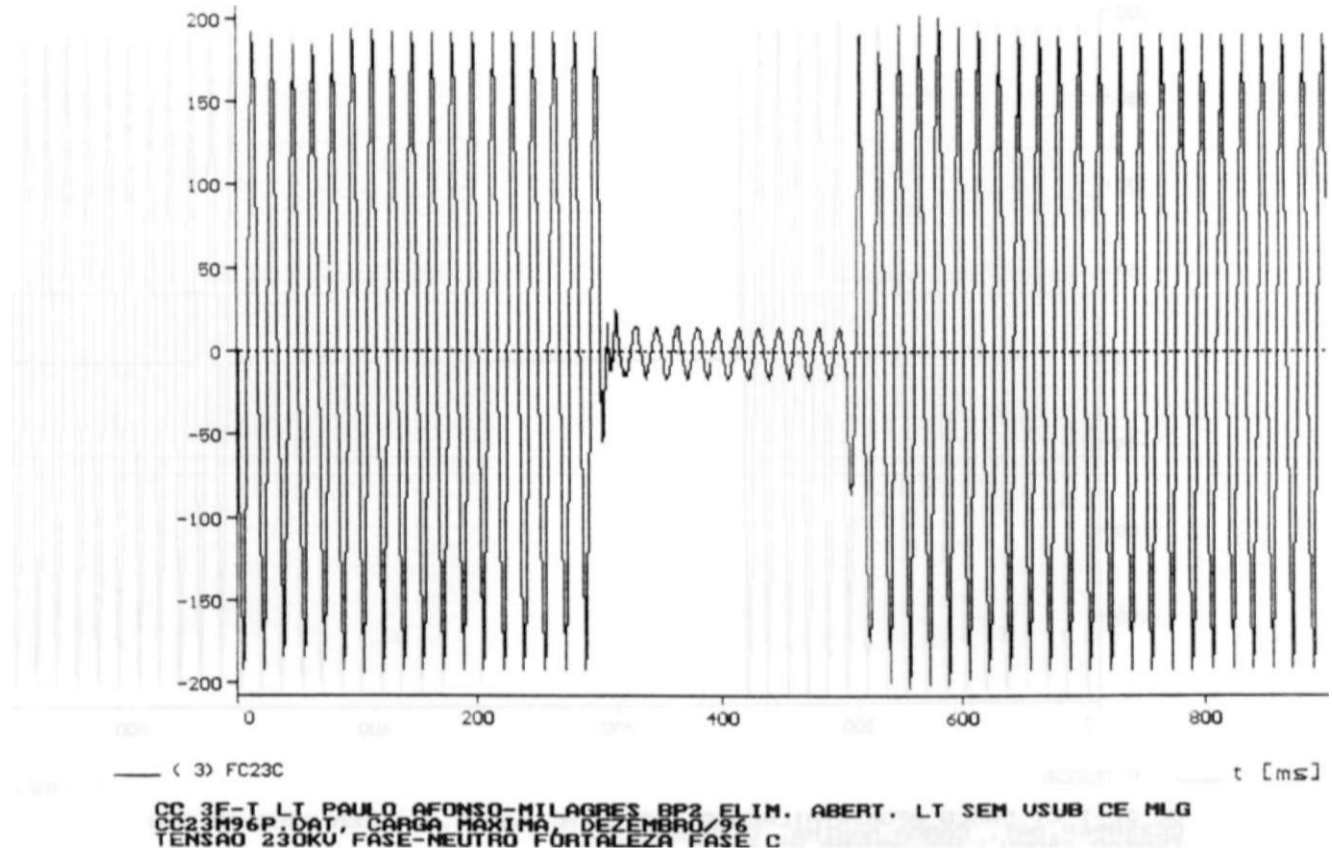
( 2) FC238

t [ms]

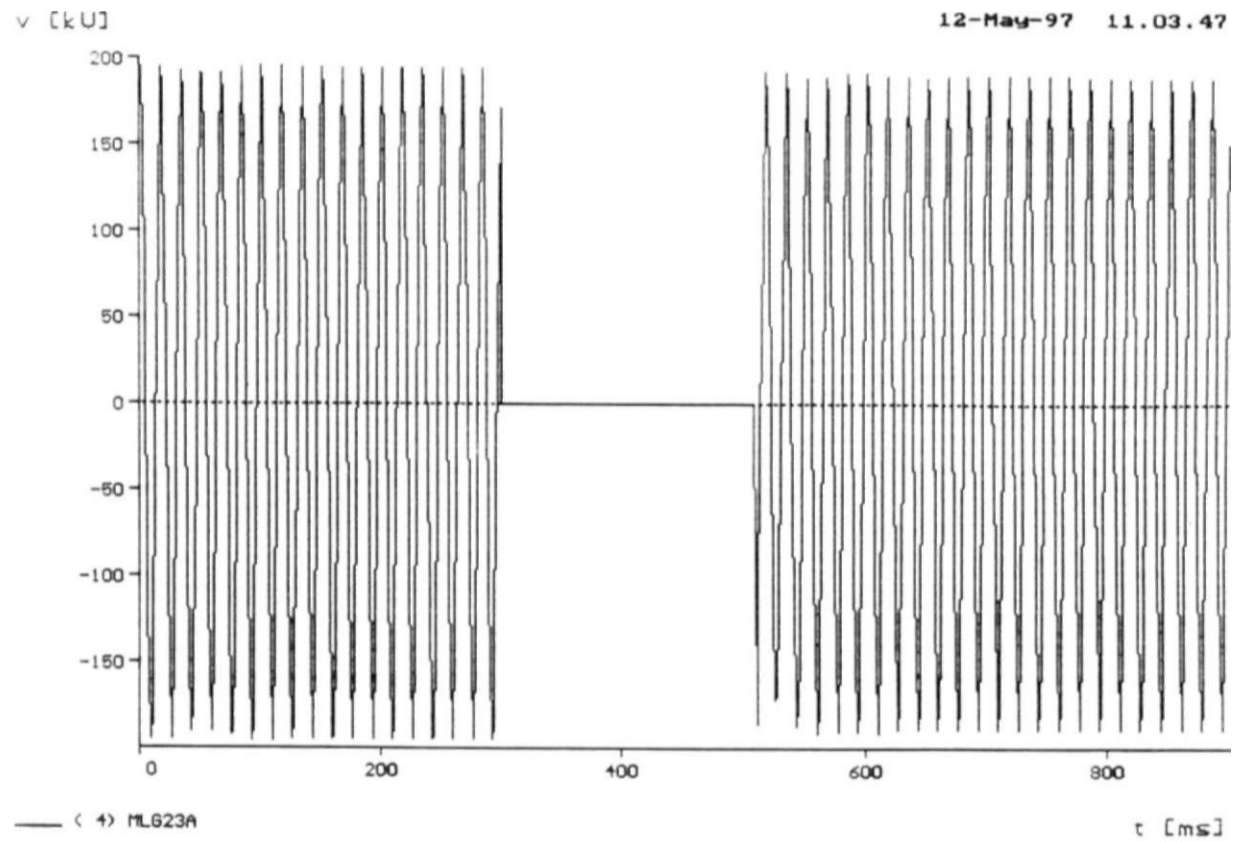
CC 23M96P.DAT, A «Of t ^ , ,  
? \$ N I A O ' 2 ^ 0 ' F S ! E ^ n ^  
B ABERT. LT SEM USUB CE MLG

print date: 12. May 1997

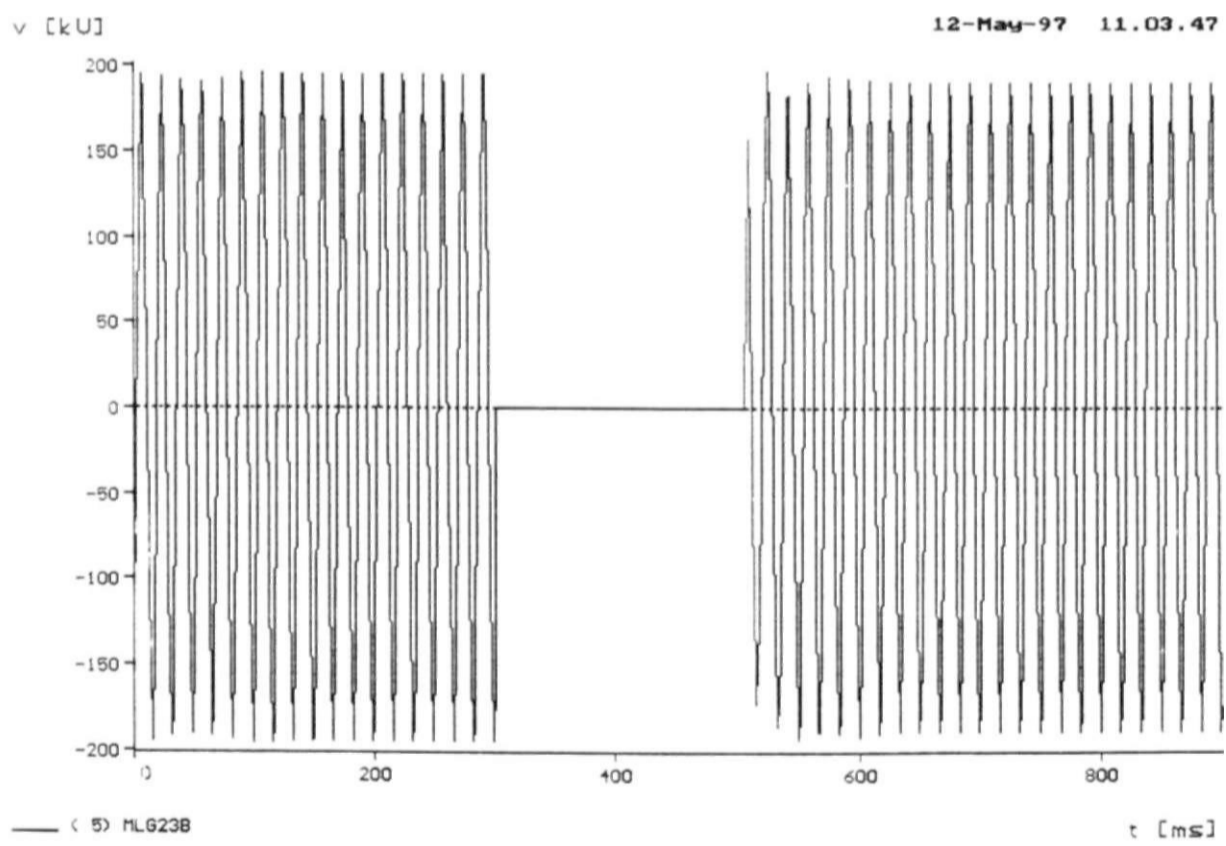
12-Mavi-97 11.03.47



print date: 12. May 1997

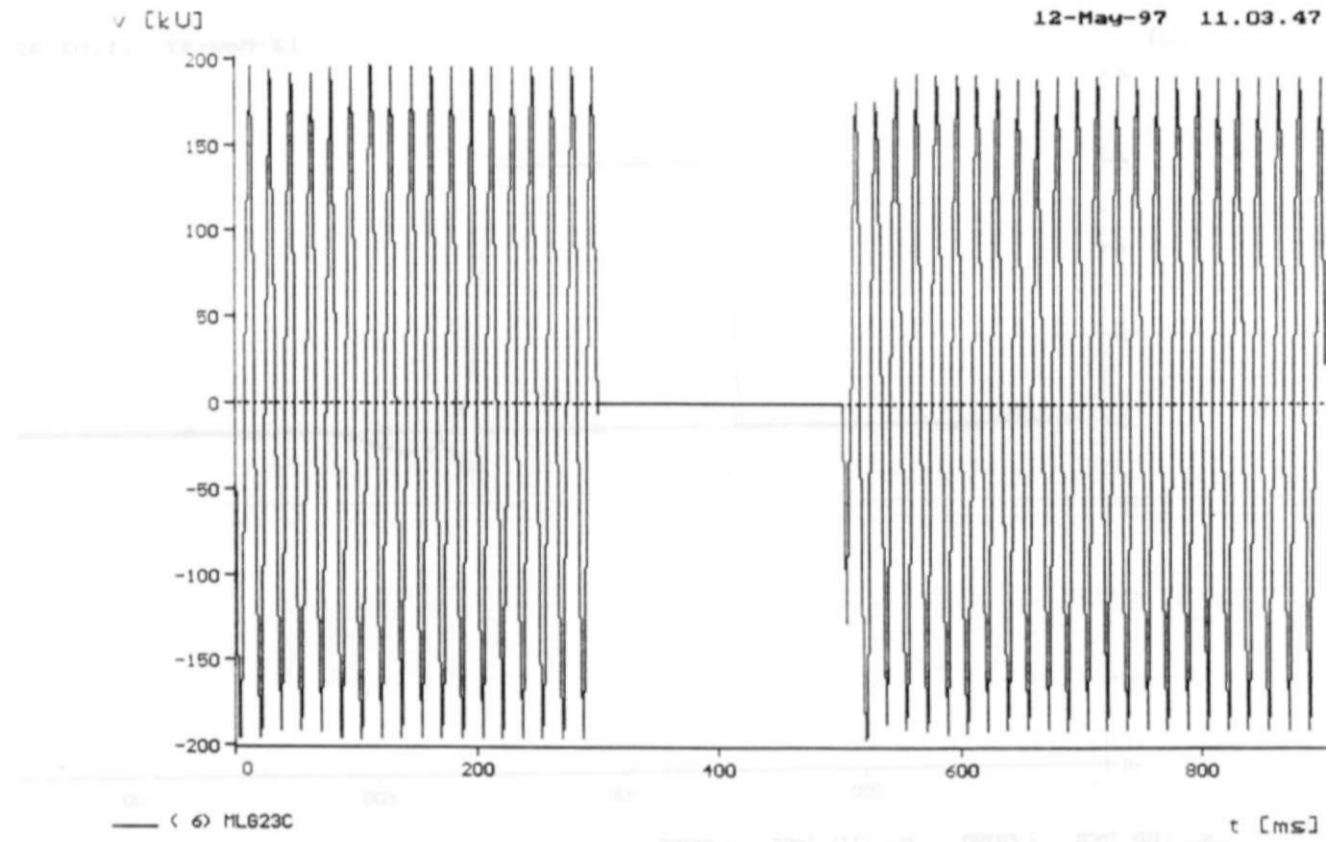


CC 3F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
 CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A



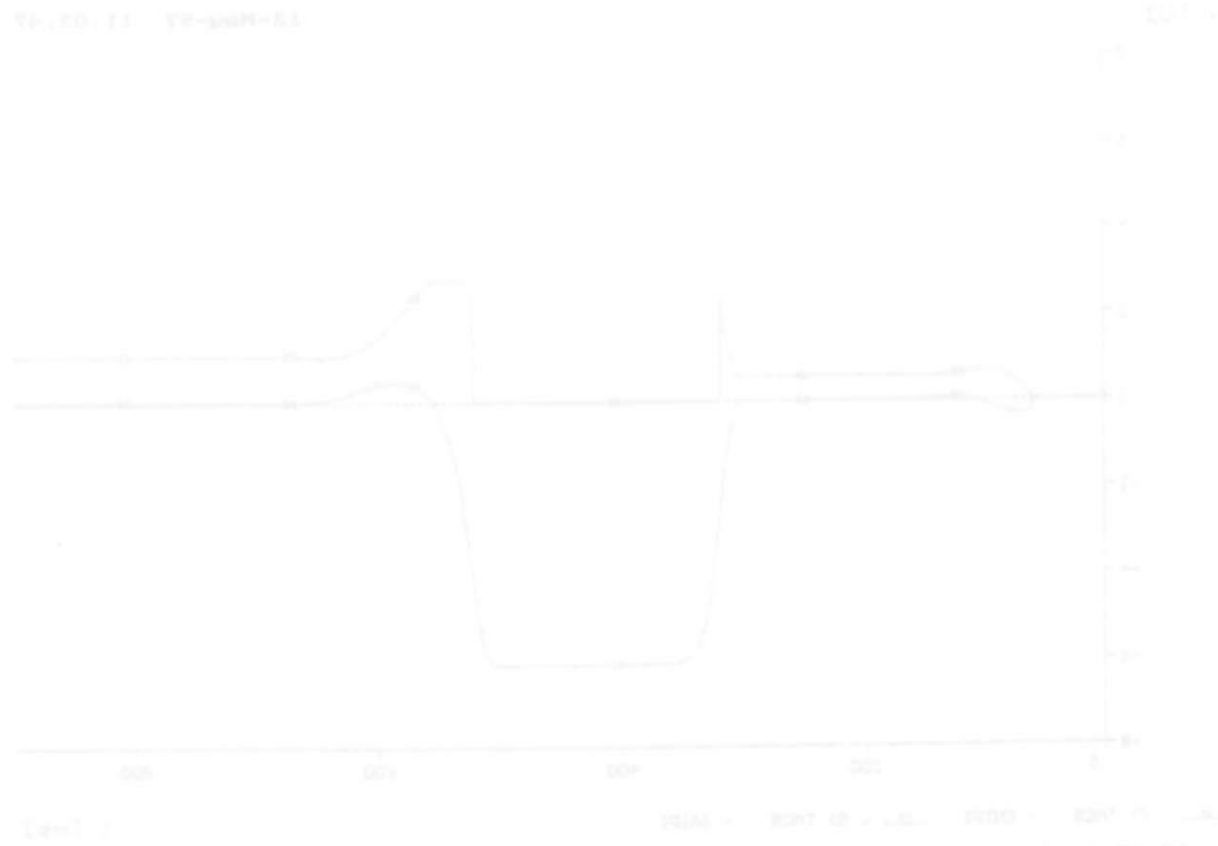
CC 3F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
 CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE B

print date: 12. May 1997



CC 3F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
 CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE C

print date: 12. May 1997



CC 3F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
 CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE C

v CUJ

12-M--97 11.03.47

si

2 1



-8

200

too

600

300

<10> TACS - CNIPO

<11> TACS - SAIPO

t Cms]

A8ERT. LT SEN USUB CE NLQ  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO CONTROLADOR PD DO CE FORTALEZH

v CUJ

12-Na\_-97 11.03.47

2H

-2H

-H

-8

200

too

600

300

< 7) TACS - ENIPI

< 8) TACS - SAUPI

t Cms]

3F-T L  
C23M96P.DAT  
ENSOES DE ENT

IN. ABEET. LT SEN USUB CE NLQ  
RÔLADOR PI DO CE FORTALEZA

print date: 12. May 1997

v CU]

12-ri«\_-97 [LI.03.47](#)

31

\*1

«M

2H

-21

-6 i

-8

ü

300

100

600

800

(12) TACS - ENTPIH O (13) TACS - SAIPIM

t Cms]

Sf-2EZI p LT PAULQAFONSO-MILAGI

ABERT - LT SEM ÜSUB CE MLG

S » 61 n M! ^

TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO CONTROLADOR PI DO CE NILACRES

v CU]

12-Na\_-97 11.03.47

8-1

4H

2H

-2

-4 H

-6 H

-8

200

400

600

300

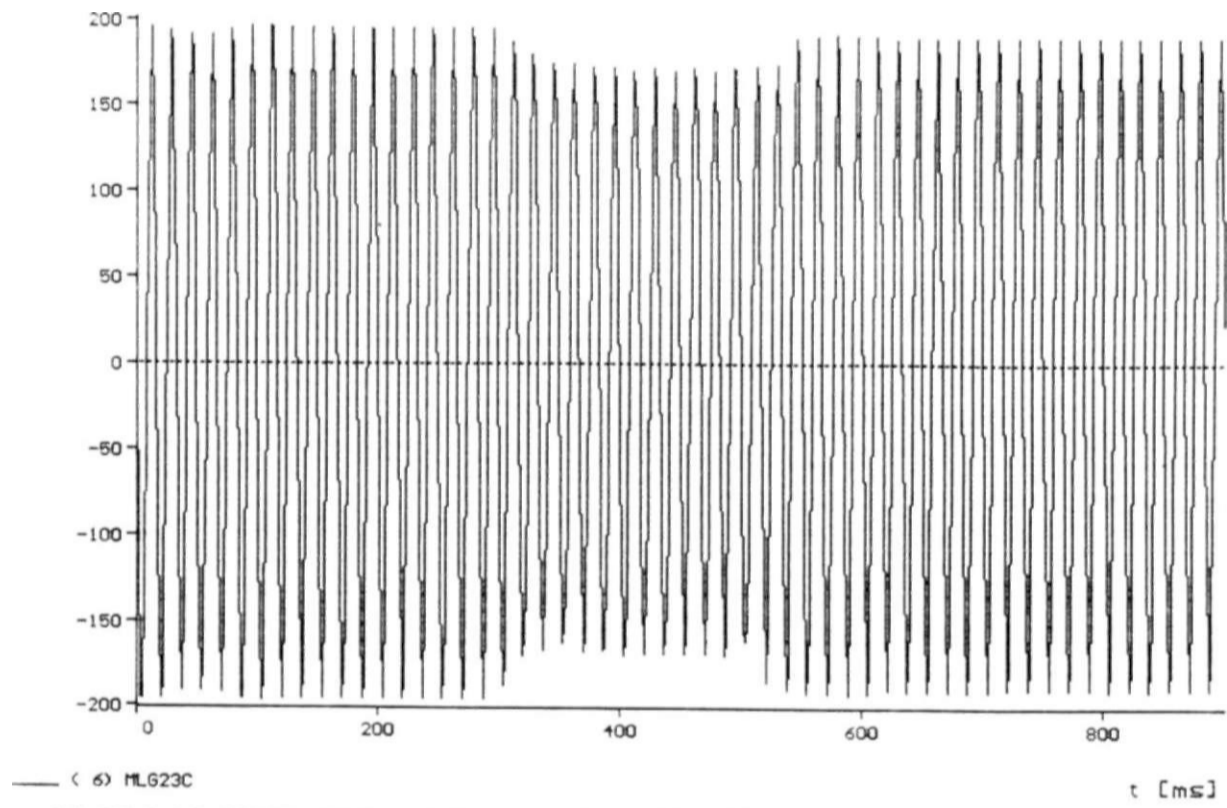
(15) TACS - ENTPOñ (16) TACS - SAIPOn

t Cms]

^H^EaSK^w^HJtt\*1'' - ñBERI!LT SE!USUB TM !!LQ

TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO CONTROLADOR PD DO CE NILACRES

print date: 12. May 1997



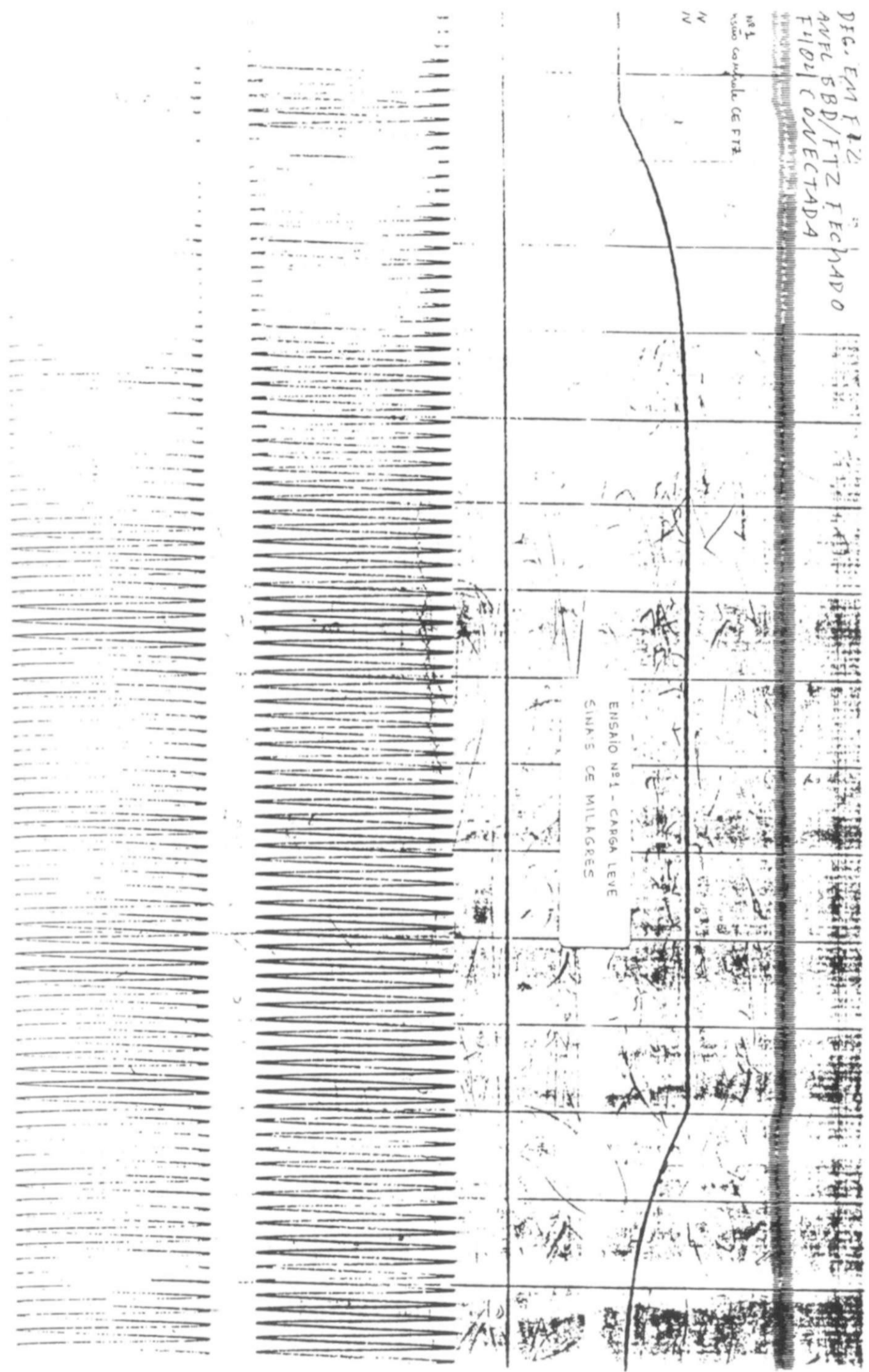
print date: 12. May 1997



DIC. EM F 12  
ANFL RBD/FTZ FECHADO  
F1101 CONECTADA

Nº 1  
CARGA CE FTZ  
N  
N

ENSAYO Nº 1 - CARGA LEVE  
SINUS CE MILAGRES



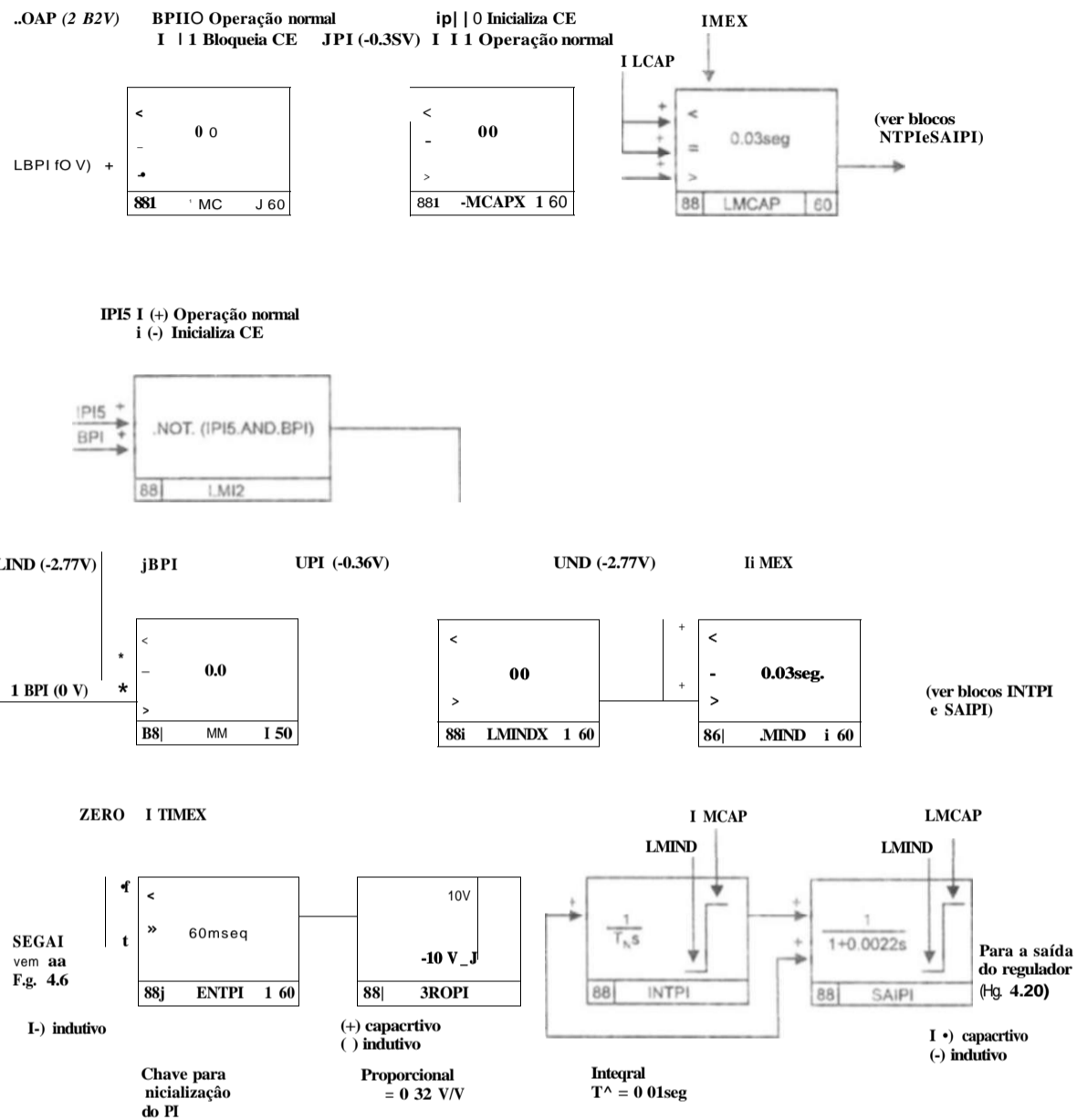
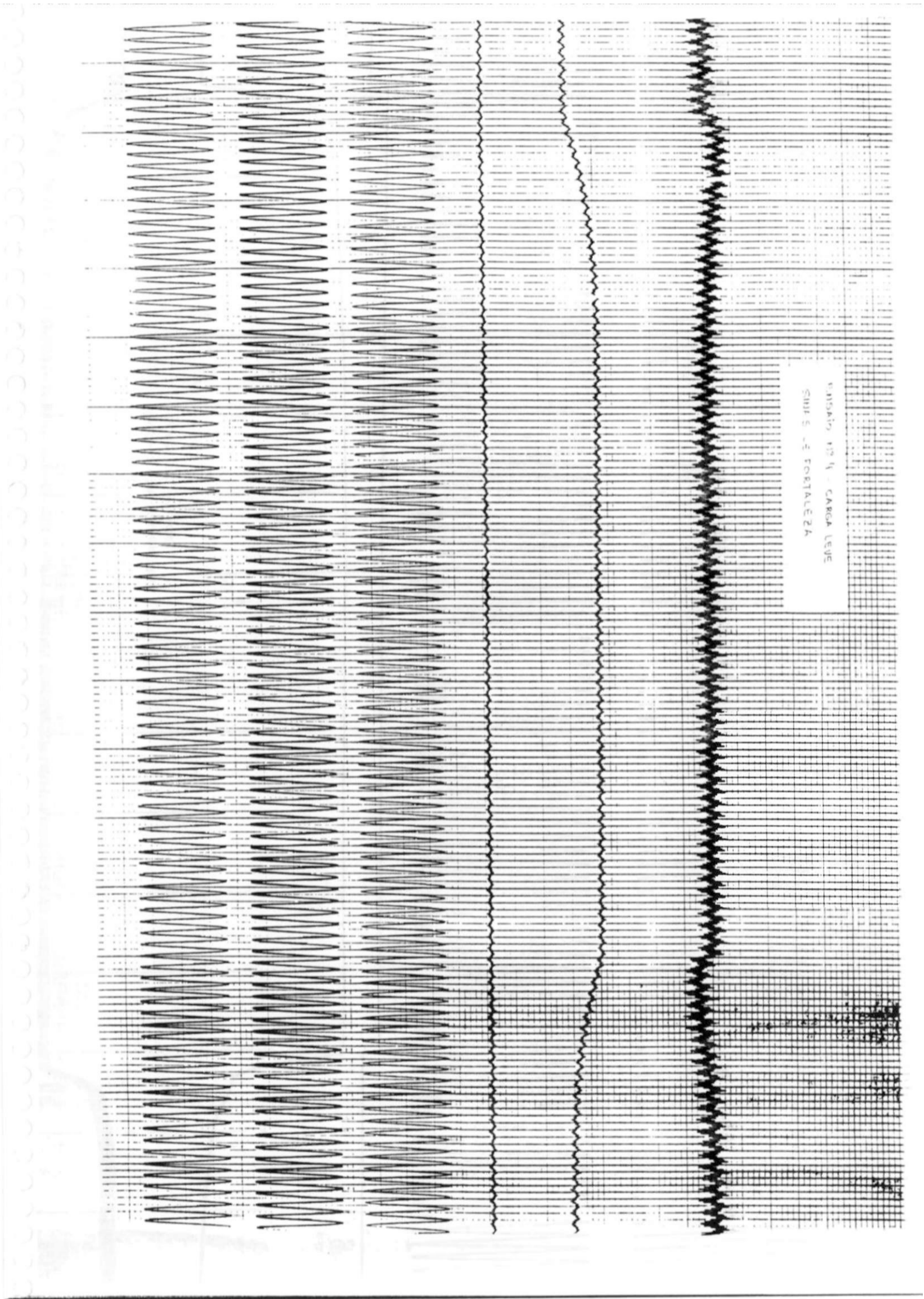


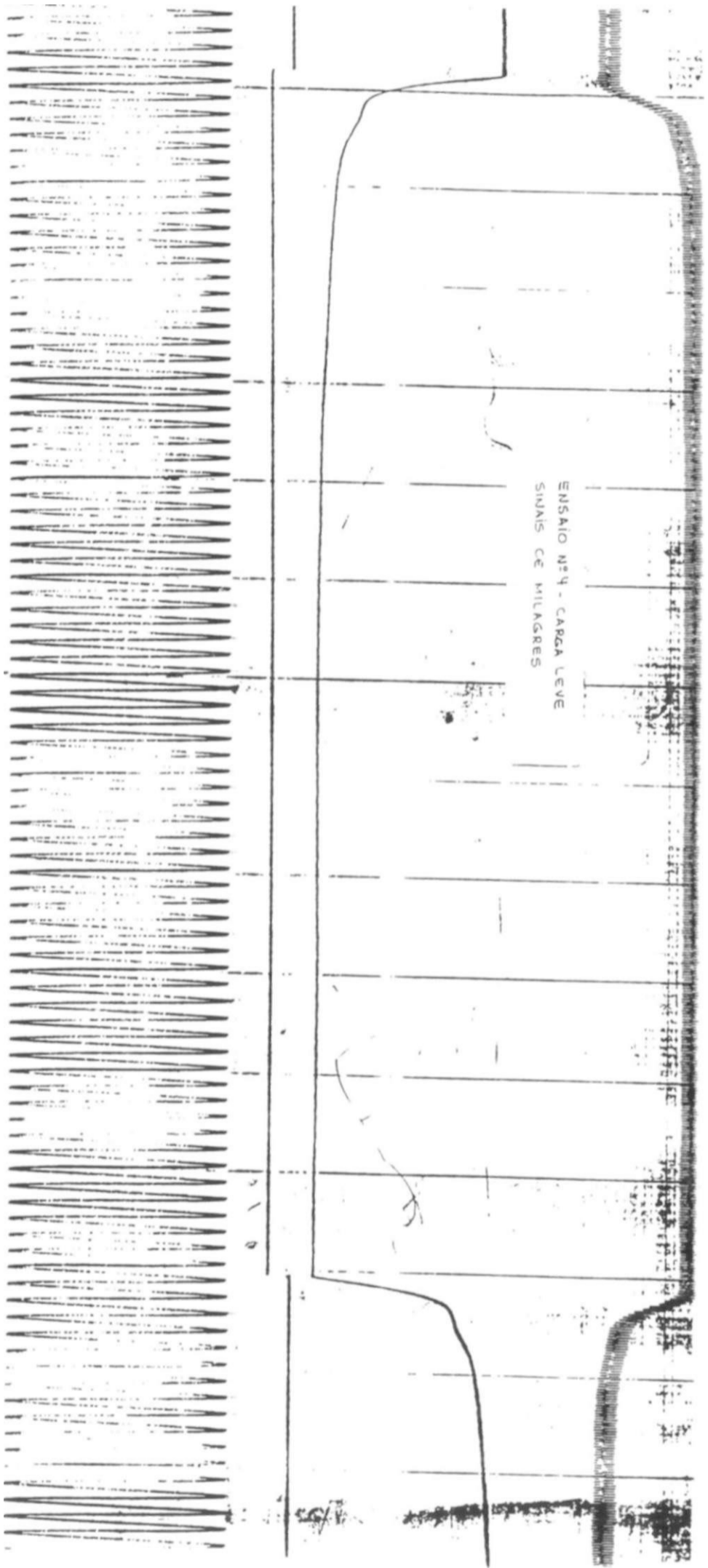
Fig.4.7 Canal normal de regulação.

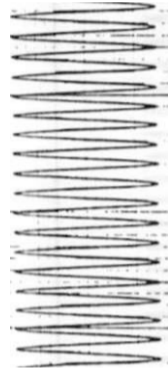
Conforme já discutido anteriormente, o canal normal de regulação é o principal responsável pelo controle da tensão terminal do CE, tanto durante grandes e pequenas perturbações quanto em regime permanente, quando o seu integrador anula o sinal de erro na entrada do controlador PI, obtido da expressão.

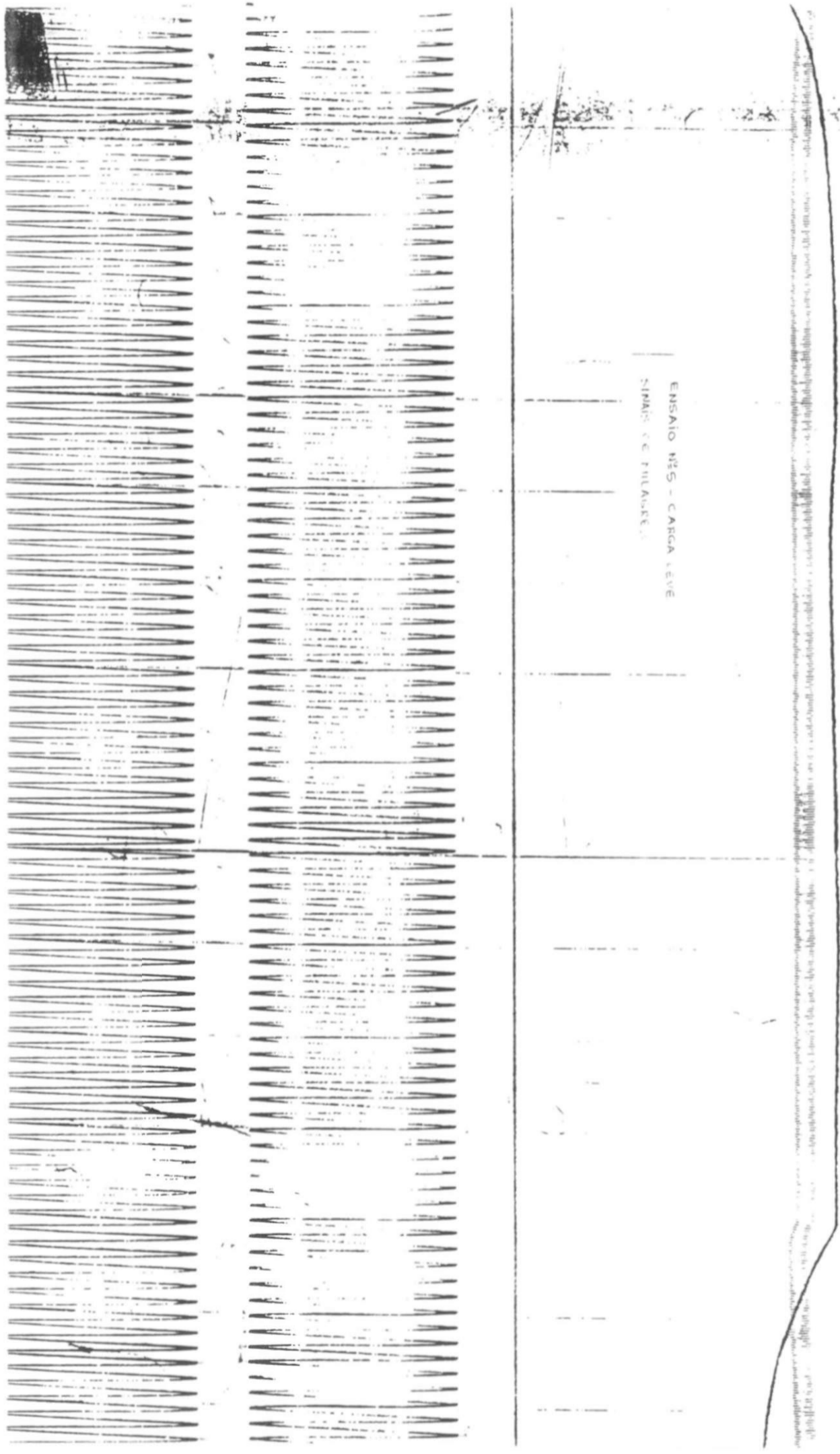
$$AV = y + KI-K \quad (4. II)$$

A Eq.(4.11) define a característica estática do compensador, que é uma relação linear entre os parâmetros  $AVeL$  com o coeficiente linear sendo definido pelo estatismo  $k$ .





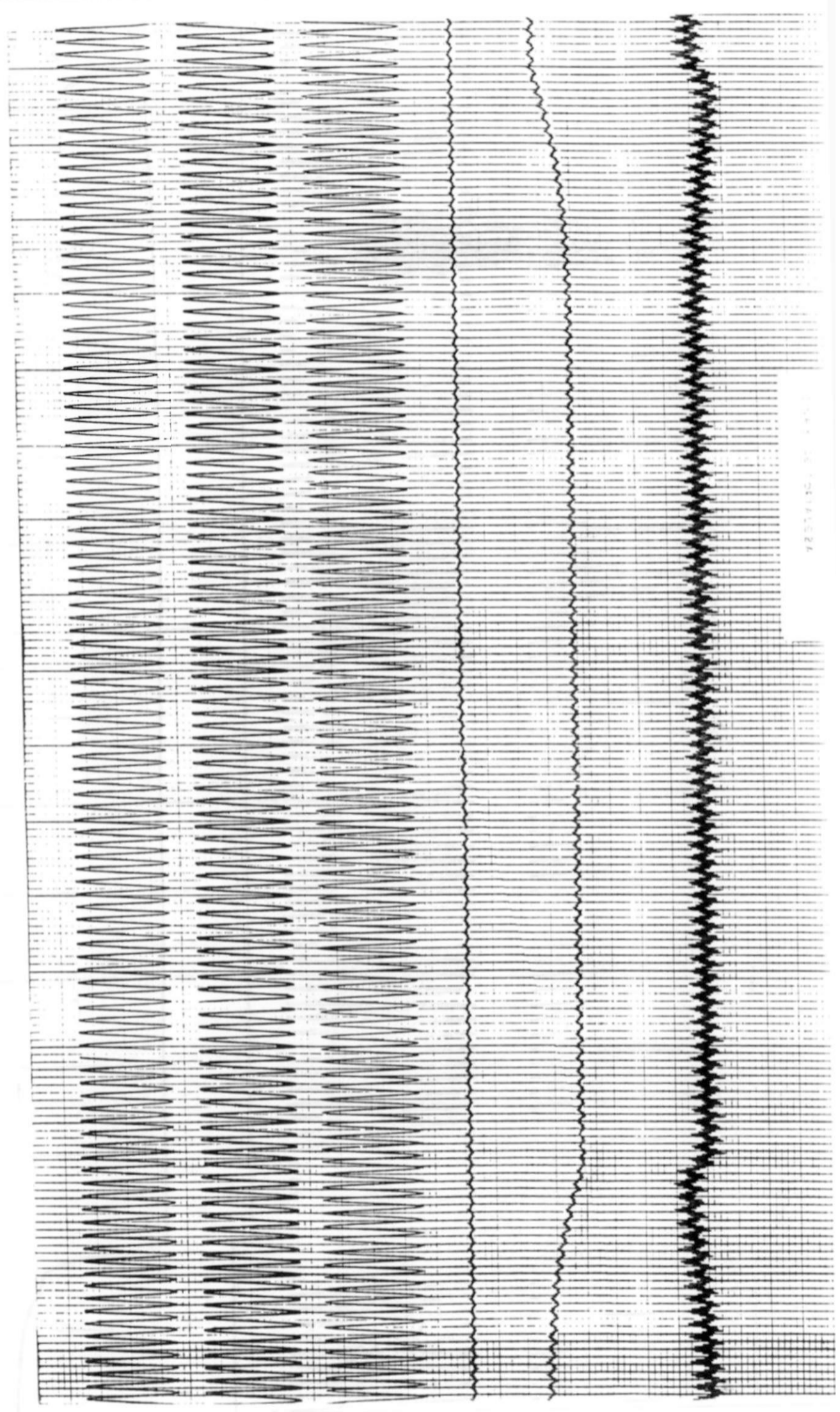




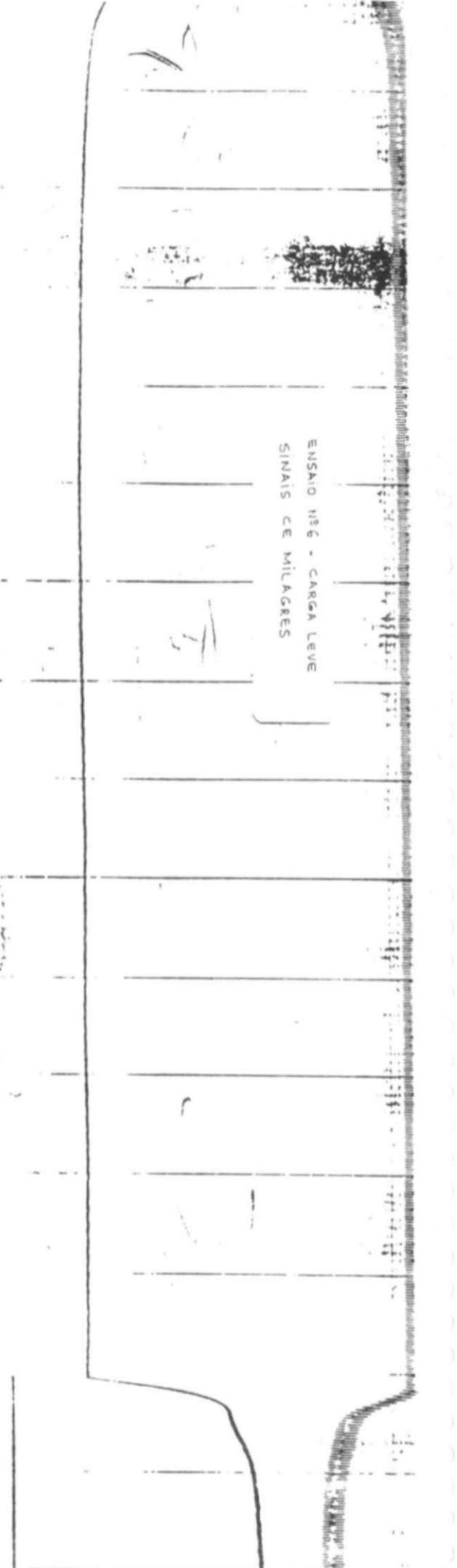
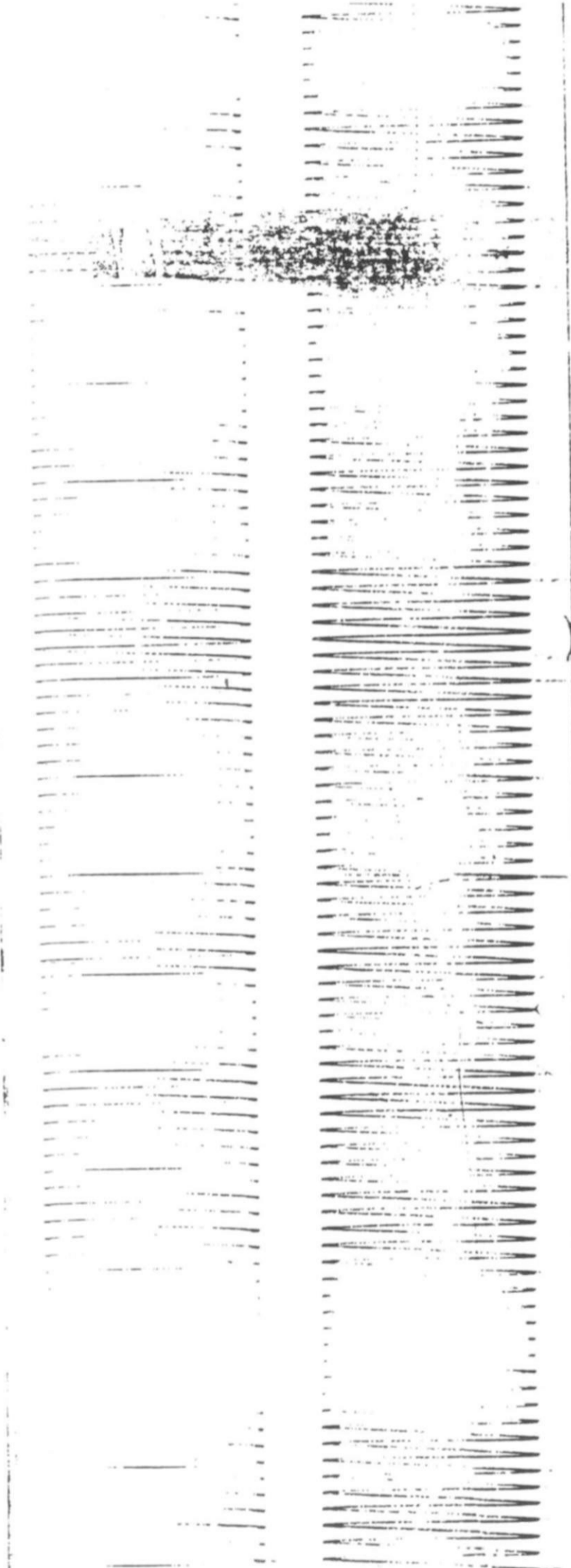
ENSAIO NRS - CARCA LEVE  
NIPALIC DE FILAARRE



Handwritten notes and a small diagram on the left side of the page. The notes are faint and difficult to read, but appear to contain some technical information. A small diagram is visible below the notes.

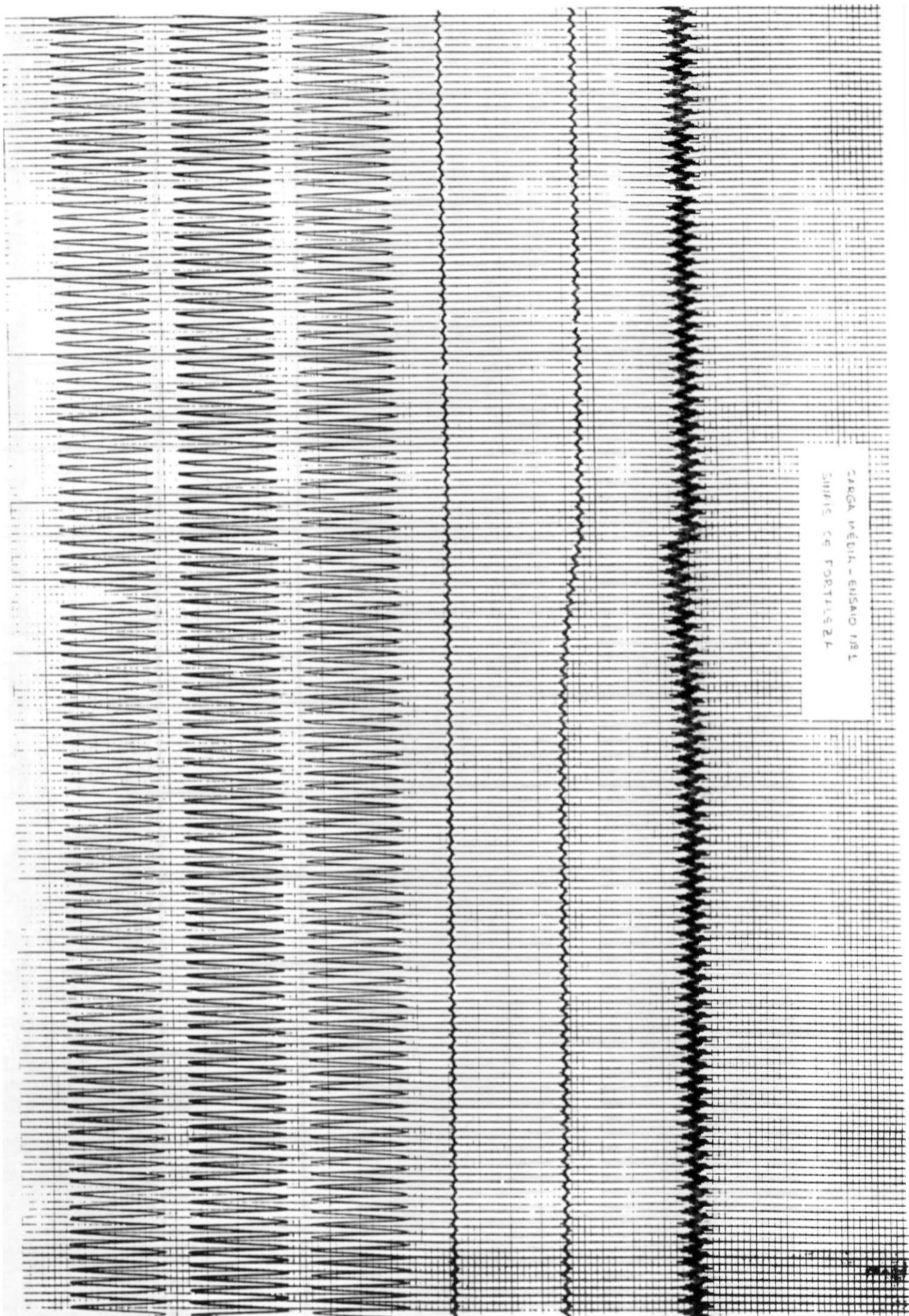


Vertical text on the right side of the grid, possibly a label or a reference number.

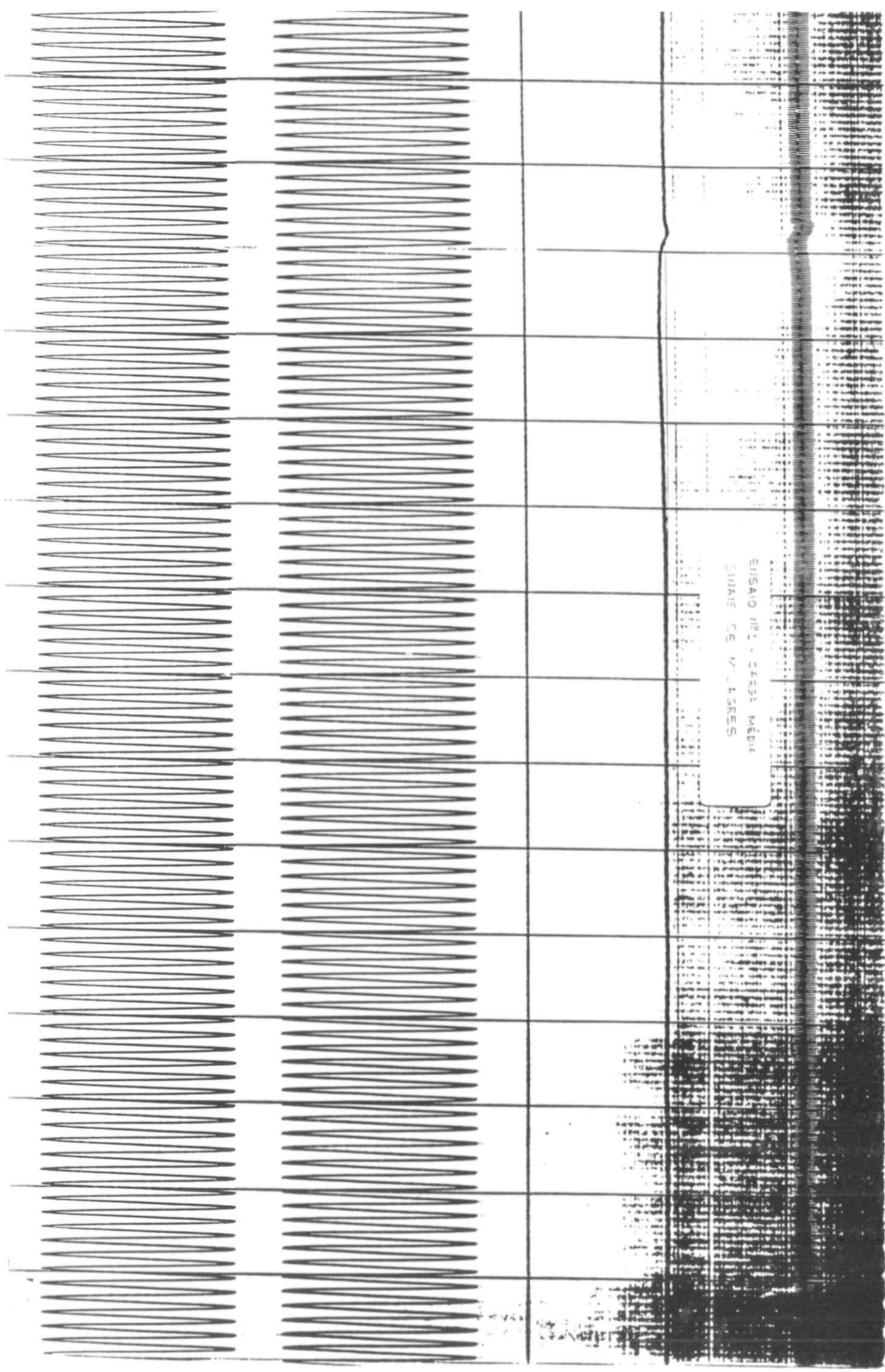


ENSAIO Nº 6 - CARGA LEVE  
SINAIS DE MILAGRES



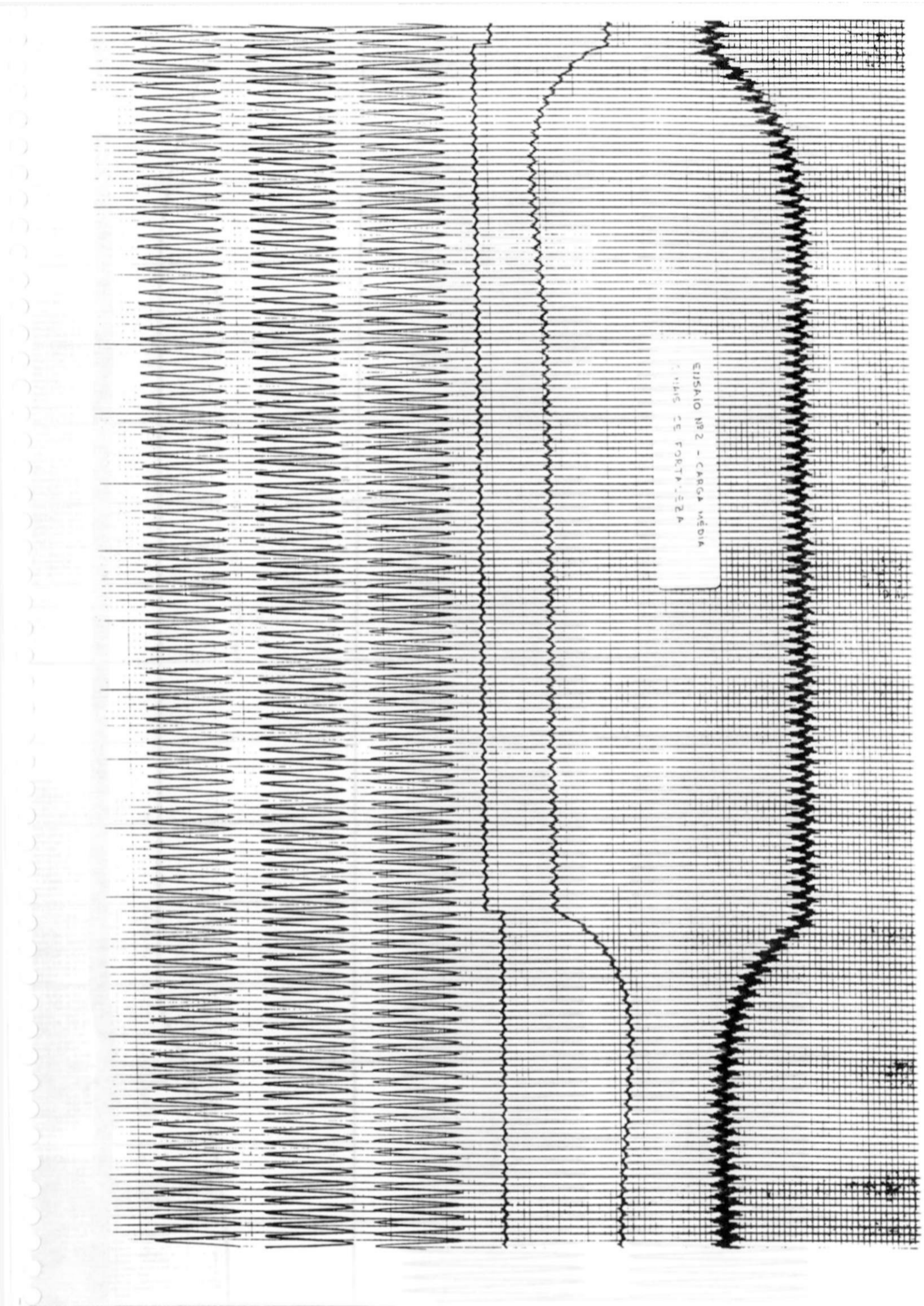


CARGA MÉDIA - ENSAIO 191  
SINUS DE FORTÍSSZA



EMSAO INT. CARES MEDIC  
SHANE GE W. L. GRES





v CU]

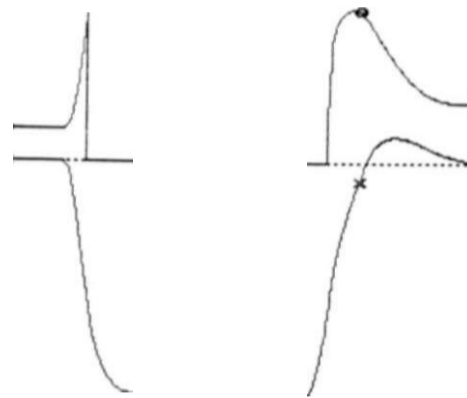
12-Ma«ti-97 11.43.20

- 1

H

2H

-2H



200

\*XD

600

800

< 7) TACS - ENTPI \_Q\_ < 8) TACS - SAIPi

t Cms]

ABERT. LT COM USUB CF Mi.Q  
ÛULĂDÖR PI DO CE FORTALEZA

v CU]

12-Mai\*-9? [i1.43.20](#)

4H

2H

-2H

-4H



200

400

600

300

- <12> TACS - ENTPIii <13) TACS - SAIPin  
5Ç\_2F-T\_LT Pi

t CmsJ

ABERT. LT COM USUB CE MLQ  
DO CE MILAGRES

print date: 12. May 1997

Um parâmetro de importância no controle da corrente no reator é o ângulo de disparo  $\alpha$ , definido pela relação

$$\alpha = \omega t$$

onde  $\omega$  é a frequência da rede elétrica e  $t$  é o instante de tempo, medido em relação ao início do ciclo de tensão, em que o conjunto de tiristores entra em condução. Variando-se, através de um adequado sistema de controle, o ângulo de disparo, varia-se o valor eficaz da corrente no reator, conforme pode ser visto através da Fig.3.3. Tal variação de corrente corresponde a uma variação de potência reativa indutiva que, combinada com a potência reativa produzida pelo capacitor fixo, representa um fluxo de potência reativa que varia de maneira contínua do valor nominal indutivo ao valor nominal capacitivo, de forma a manter a tensão na barra especificada dentro dos limites fixados em projeto.

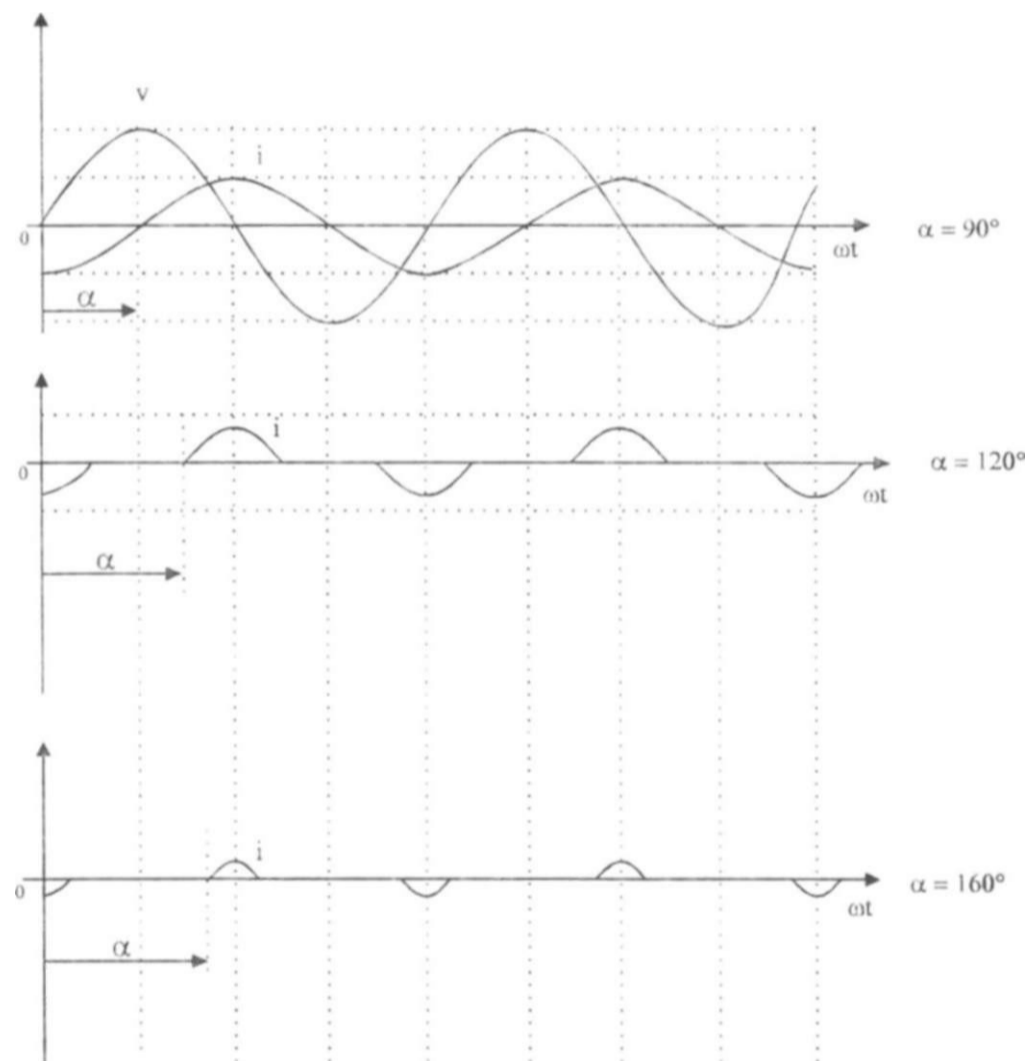


Fig. 3.3 Corrente através de um reator controlado a tiristores.

#### 4.3.6 - Canal rápido de regulação

O canal rápido de regulação é composto de um controlador proporcional com realimentação integral, cuja ação pode ser aproximadamente descrita como similar a de um controle proporcional-derivativo com função de transferência,

$$FT(s) = \frac{K_p}{1 + sT_d} \left( 1 + \frac{1}{sT_i} \right) \quad (4.12)$$

onde  $K_p$  representa o ganho proporcional e  $T_d$ , a constante de tempo derivativa.

A atuação do canal rápido de regulação é desejada apenas durante a ocorrência de grandes perturbações no sistema elétrico, devido à sua característica de atuação (atua com base na derivada do sinal de erro) e à menor filtragem que possui o seu sinal de entrada, quando comparada à do canal normal (só possui um filtro sintonizado e um retardo de primeira ordem). Tal efeito é obtido através da ação de uma banda morta, sendo sua atuação, de forma a se preservar a estabilidade do sistema de controle, limitada a uma fração da potência nominal do compensador definida através de estudos de sistema.

O canal rápido de regulação, sob forma de diagrama de blocos da subrotina TACS, é mostrado na Fig.4.8, sendo seus sinais de entrada e saída identificados respectivamente pelas variáveis TACS ENTPD e SAIPD.

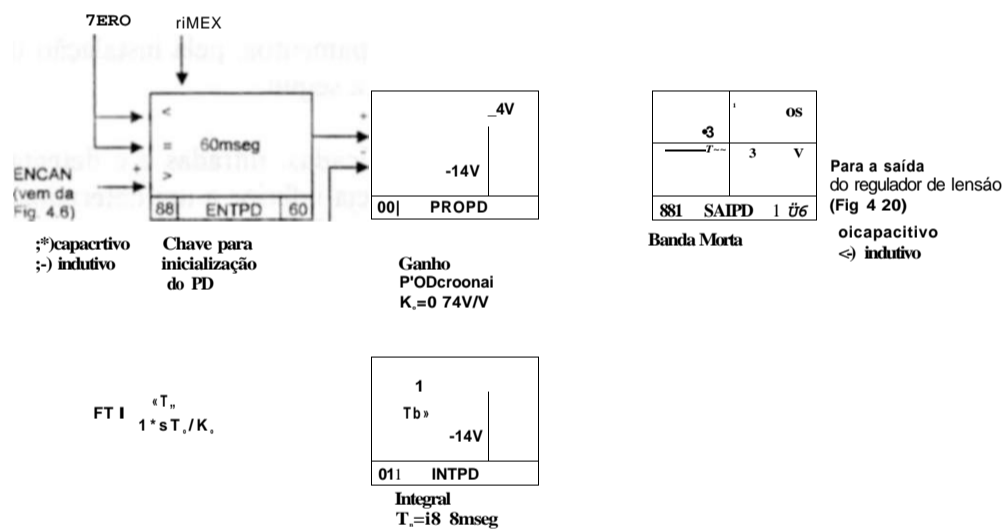
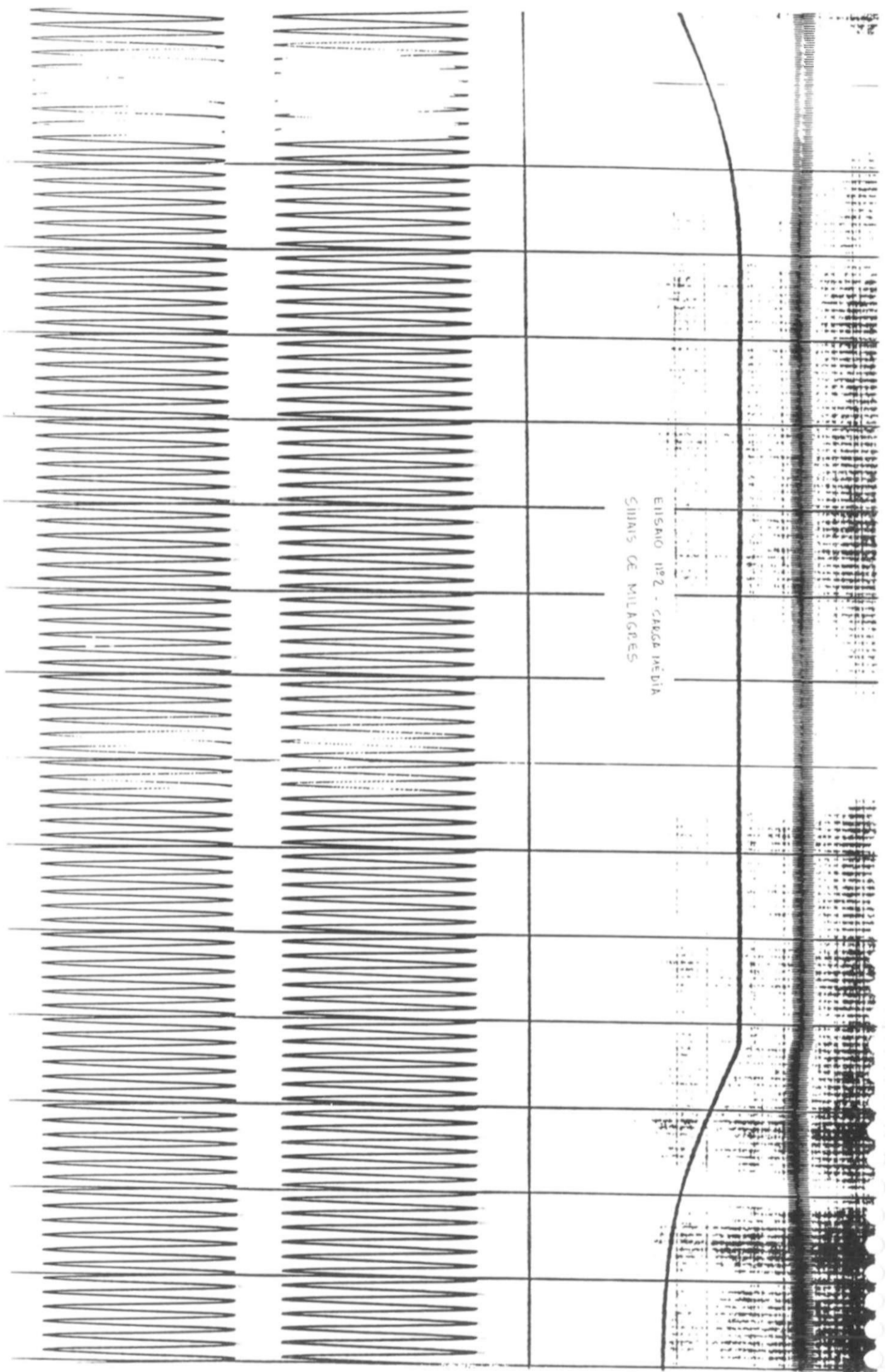


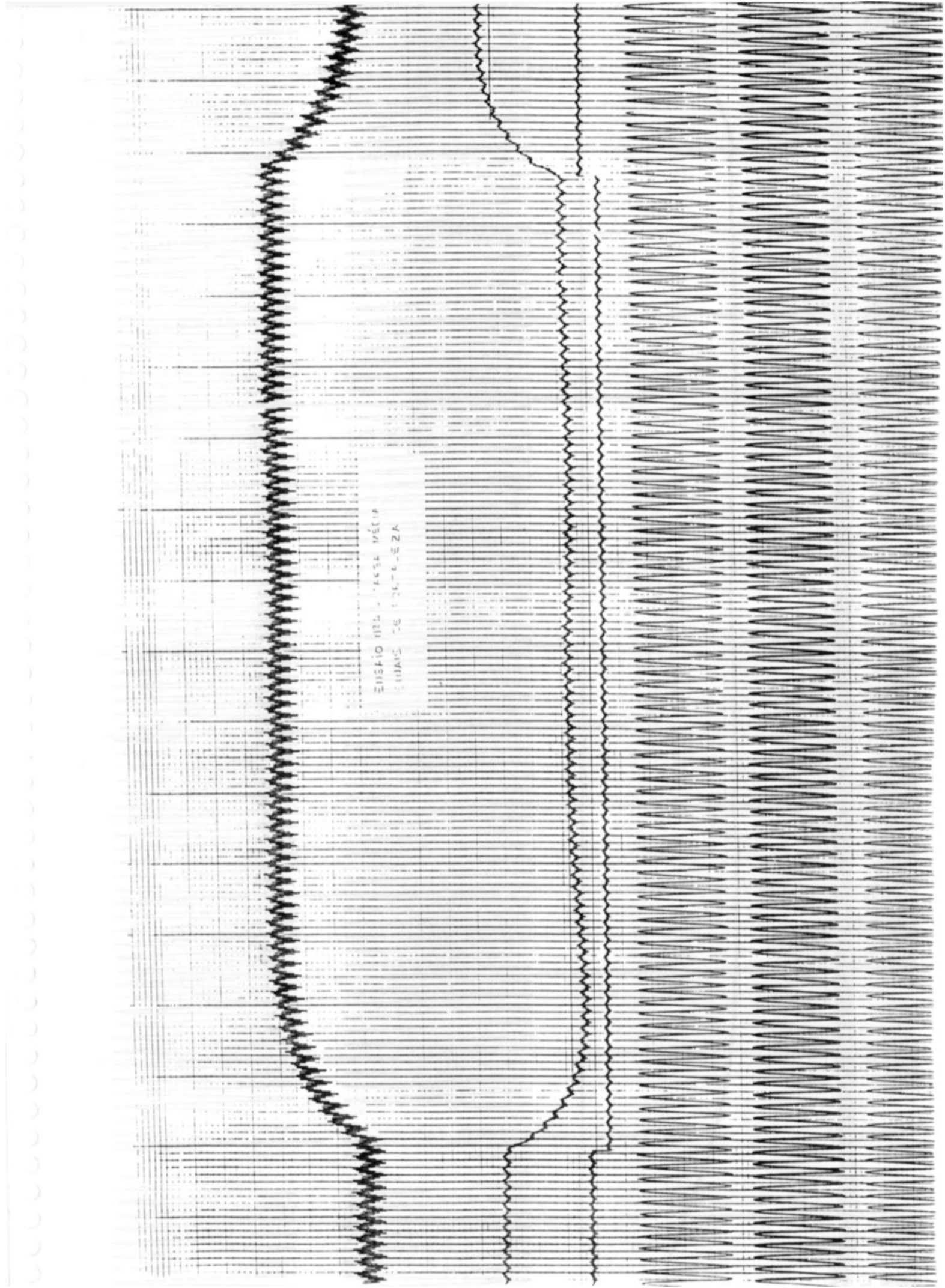
Fig.4.8 Canal rápido de regulação.

#### 4.3.7 - Composição dos sinais dos canais normal e rápido

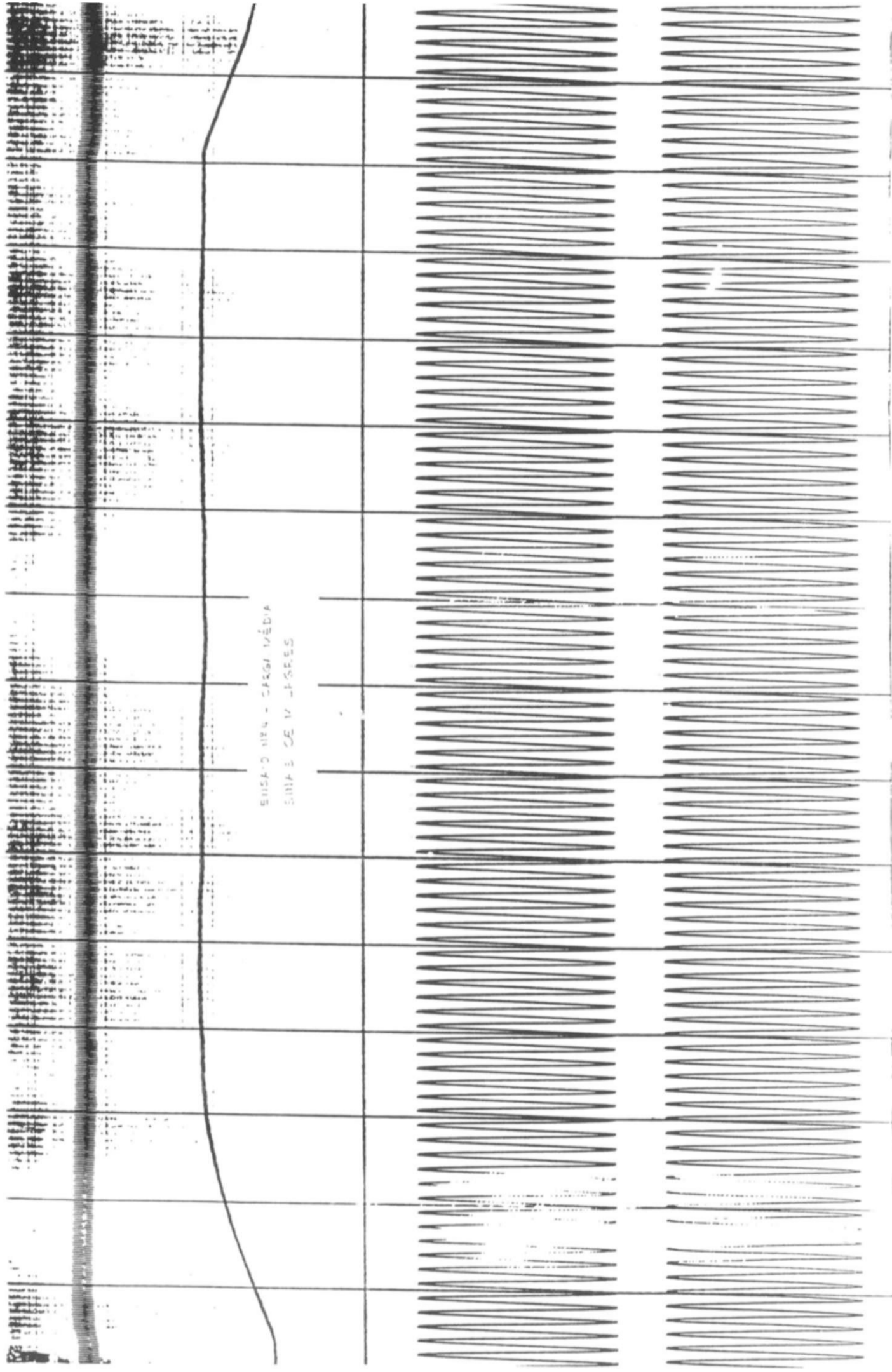
Os sinais de saída dos canais normal e rápido são somados, dando origem a um sinal denominado tensão de controle do regulador de tensão ( $l/c$ ), que é adicionado a um valor constante, denominado "Sinal do Ponto de Trabalho". Este sinal é ajustável e nos CEs Milagres e Fortaleza é adotado o valor que corresponde a potência reativa líquida nula injetada na barra de 230kV (OMVAr). O sinal resultante servirá de entrada aos módulos de











ANEXO 99 - LISTAGEM DO ARQUIVO DE ENTRADA DO ATP CONSIDERANDO A REPRESENTAÇÃO DOS COMPENSADORES ESTÁTICOS DE FORTALEZA E MILAGRES E DE UM MOTOR DE INDUÇÃO CORRESPONDENTE A 35% DA CARGA DO 69KV DA SE FORTALEZA, PARA APLICAÇÃO DE CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO NUMA DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO BANABUIU-FORTALEZA 230KV E ELIMINAÇÃO COM ABERTURA DESTA LT

BEOIN NEW DATA CASE

C  
C MAIORES DETALHES NA UTILIZAÇÃO DO MODELO  
C ESTÃO CONTIDAS NO RT DOEP 01 '91(VOL.I) - RT DES 05/90(VOL.II)  
C  
C 1- ESTE ARQUIVO SE REFERE A UMA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA  
C NORTE/OESTE DEZEMBRO/96 CARGA MÁXIMA COM APLICAÇÃO DE  
C CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO A TERRA NUMA DAS LTS BANABUIU- FORTALEZA  
C 230 KV E ELIMINAÇÃO COM ABERTURA DESTA LT  
C  
C 2- A ADAPTAÇÃO DA REDE AO CASO A SER ESTUDADO DEVE  
C SER FEITA MANTENDO-SE INALTERADOS OS CIRCUITOS DE  
C POTENCIA DO CE. OS NOMES DOS BARRAMENTOS FORTALEZA 230KV  
C E MILAGRES 230 KV DEVEM SER MANTIDOS - FC23A FC23B E PC23C  
C E MLG23A. MLG23B. MIXJ23C.  
C  
C 3- PARA INICIALIZAÇÃO DA REDE E NECESSÁRIO DEFINIR NOS CAMPOS  
C INDICADOS AS TENSÕES -MODULO E ANGULO DAS FONTES DE INICIALIZAÇÃO  
C  
C 4- PARA INICIALIZAR O SISTEMA DE CONTROLE DEVEM SER DEFINIDOS OS  
C VALORES DE VERIFICAÇÃO (TACS ) E UPK (CONDIÇÃO INICIAL) NOS  
C CAMPOS INDICADOS.  
C  
C 5- CES FTZ E MLG COM REPRESENTAÇÃO COMPLETA (12 PULSOS) E SISTEMAS  
C DE CONTROLE. COM PARTE DA CARGA DE FORTALEZA MODELADA COMO MOTOR  
C DE INDUÇÃO (UM TYPE 3)  
C  
C 6- PROCESSADO O REGIME TRANSITÓRIO COM ATUAÇÃO DE ESQUEMA DE SOBRETENSÃO  
C NO 69 KV DA SE FORTALEZA (RETIRADA DE BCS)  
C  
C 7-PARAMETROS DO MI CALCULADOS PELA ÚLTIMA VERSÃO IX) INDMOT (ABRIL'97)  
C  
C 8- LISTA DAS VARIÁVEIS DO ABSOLUTE TACS DIMENSION (PG 4-SEC II-A VOL I)  
C  
C LT1: NUMERO MÁXIMO DE BLOCOS TACS TIPO FUNDAÇÃO DINÂMICA REPRESENTADOS POR  
C FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE I-APLACE  
C  
C LT2: NUMERO MÁXIMO DE FATORES NÃO NULOS DA MATRIZ TRIANGULARIZADA TACS DA REDE  
C  
C LT3: NUMERO MÁXIMO TOTAL DE VARIÁVEIS DE ENTRADA PARA FUNÇÕES DINÂMICAS TACS  
C E DEVICES SUPLEMENTARES  
C  
C LT4: NÚMERO MÁXIMO DE FONTES TACS (FONTES BUILT-IN E VARIÁVEIS PASSADAS DA  
C REDE • TACS)  
C  
C LT5: NÚMERO MÁXIMO DE VARIÁVEIS SUPLEMENTARES E DEVICES  
C  
C LT6: NÚMERO MÁXIMO TOTAL DE APONTADORES INTERF. GER EXTRAS ASSOCIADOS A VARIÁVEIS  
C SUPLEMENTARES E DEVICES  
C  
C LT7: NÚMERO MÁXIMO TOTAL DE CÉLULAS REAIS ASSOCIADAS ÀS VARIÁVEIS TACS  
C  
C LT8: NUMERO MÁXIMO DE VARIÁVEIS TACS DISTINTAS USADAS NA ESPECIFICAÇÃO  
C (IXS DAIXS) DA TACS  
C  
C SCLOSE, UNIT-4 STATUS-DELETE  
C SOPEN. UNIT-4 FILE-ITMGMPJ.PL4 PORM-UNFORMATTED STATUS-UNKNOWN RECL-8000  
C ABSOLUTE TACS DIMENSIONS  
C 300 950 500 300 500 3800 1500 900  
C 1.66E-5 2.550 60. 60.  
C 15000 1 0 1 1 0 2  
C TACS HYBRID  
C  
C I I L L L L L L L L L L REGULADOR - LIMITADOR DE CORRENTE CE FTZ L L L L L L L L L L  
C  
C 01LCALY LCABY "ICBCY ILCCAY 5.  
C  
C 1  
C 1 0 00044

```

c
OILCALD »LCABD H.CBCD +LCCAD 5.
  I
  I. 0.00044
G
01LCPE1 -LC471 -IX!MED
  I
  I. 0.001X8
00LCPE3 -LCPE2 1E3 -9. 4.
01LCPE5 -LCPE3 -22 2.2
  I
  I. 0.205
00LCPE6 -LCPE5 -10. 0.
C
01LCSE1 -LC314 -LCMED
  I
  I. 0.0088
001CSK3 HX.SE2 1E3 -9. 4.
01LCSBS -LCSE3 -408 3.77
  I
  I. 0.287
00LCSE6 -LCSE5 -10. 0.
C
01JCMPI -LCMED tl-CMIN 11X691 -1.73 0.
  I
  I. 0.020
00IXMP2 »IEMP1 -10. 0.
00LINUC LC227 -LCMP2
C IJ.LI.1.11.LLLLLL REGULADOR - LIMITAIXR DE CORRENTE CE FTZ IJ.LLIJ.L
C
C REGULAIIXR - PRIMEIRO A1.SAMENrO E ERRO CE FTZ
C
UIPRIAL REUAB +REUBC +REUCA 0.45
  I
  I. 0.00480
00ERRO -PRIAL -IFREF -1.
C
C REGUIADOR - FILTROS CE FTZ
C
02FT120 'ERRO
  925 926
  568484.2 925.926 1.
C
00ENCAN *FRRO -FT120
02FT60 'ENCAN
  925.926
  142121.1 925.926 1.
01SEGAL 1 ENCAN -1T60 -1.
  10
  10 0.0048
c
t REGUIADOR - CANAL L5NTO CE FT7.
C
00PROPI -F:NTPI -.40-10. 10.
01INTPI 'PROPI IAUND LMCAPI
  I
  I. 0.0110000
01SAIPI tINTPI *PROPI LMIND LMCAPI
  1.0
  10 0.0022
c
C RIÍGUIJVIXOR - CANAL RÁPIDO CE FTZ
C
(H)PROPD *i;NTPD -INTPD .75 -14. 14.
01INTPD tPROPD -14. 14.
  I
  I. 0.0190
C
C REGI!LAIXR - SOMA DOS CANAIS/S AIDA CE FTZ
C
00SOMA -SAIPI +SAIPD
00UC SOMA +PT 2.32LINUC
C
C SSSSSSSSSSSS REGULADOR - DETETOR DE SI 'BTENSAO CE FTZ SSSSSS
C FILTRO DE 120 HZ - 230 KV F-F CE FTZ
e
02DFTAB *R23AB
  757.580
  570000.0 757.580 I.
02DFTBC R23BC

```

757.580  
570000.0 757.580  
02DFTCA +R23GA  
757.580  
570000.0 757.580  
C  
C FILTRO DE 120 HZ 230 KV F-T CE FTZ  
C  
02DITA -RE23A  
757.580  
570000.0 757.580  
02DFTB RE23B  
757.580  
570000.0 757.580  
02DFTC -RE23C  
757.580  
570000.0 757.580  
C  
C FILTRO DE 120 HZ 69 KV F-T CE FTZ  
C  
U2D69FA -RE69A  
757.580  
570000.0 757.580  
02D69FB ' RE69B  
757.580  
570000.0 757.580  
02D69FC -RE69C  
757.580  
570000.0 757.580  
C  
C ALISAMENTO DA MEDIÇÃO- 230 KV F-F CE FTZ  
C  
OIDALAB -DFTAB •R23AÜ  
15  
1.0.0019800  
01DALBC -DFTBC R23BC  
15  
1.0.0019800  
01DALCA -DFTCA -R23CA  
15  
1.0.0019800  
C  
C ALISAMENTO DA MEDIÇÃO - 230 KV F-T CE FTZ  
C  
OIDALA -DFTA +RE23A  
15  
1.0.0019800  
01DALB -DFTB IRE23B  
15  
1.0.0019800  
01DALC -DFTC -RE23C  
15  
1.0.0019800  
ALISAMENTO DA MEDIÇÃO - 69 KV F-T CE FTZ  
01D69AA -D69FA RE69A  
15  
1.0.0019800  
01D69AB -D69FB I RE69B  
15  
1.0.0019800  
01D69AC -D69FC -RE69C  
15  
1.0.0019800  
C  
C SCHMITT-TRIGGER CE FTZ  
C  
00DSFF2 ^DSFF1 1000.-15. 15.  
00DSFT2 DSFT1 1000.-15. 15.  
00DS692 -DS691 1000. -15. 15.  
C SSSSSSSSSSSS REGUL\DOR - DETETOR DE SUBTENSAO CE FTZ SSSSSSSSSSSS  
C  
C DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD DDISPARO CE FTZDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD  
C CIRCUITO INICIALIZADOR IX) PI CE FTZ  
C  
00BDP4 -D50MS -BDP2  
00BDP3 -BDP2  
C

00IPI4 <<UEZMS -IPI3  
 00IPI5 +IPI3  
 C  
 C FORMAÇÃO DAS RAMPAS CE FTZ  
 C  
 00CZ6YA \*C/.5YA 1200. 0. 11  
**00CZ6YB** \* C/5 YB 1200. 0. 14.  
 00CZ6YC C/5 VC 1200. 0. 14.  
 00CZ6DA 1 C/5 DA 1200. 0. 14.  
 00CZ6DB K/5 DB 1200. 0. 14  
 00CZ6DC \*C/5 DC 1200. 0. 14  
 C DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD DISPARO CEFTZ DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD  
 c  
 C FILTRO APOS O TRANSFORMAIX)R DE SINCRONIZAÇÃO CE FTZ  
 C  
 01CZIYA +TSYA .1791  
 L  
 L .0055  
 01CZIYB +TSYB .1791  
 L  
 L .0055  
 01CZIYC 4TSYC 1791  
 L  
 L .0055  
 01CZIDA +TSDA .1791  
 L  
 L .0055  
 01CZIDB 4TSDB 1791  
 L  
 L .0055  
 01CZIDC HSDC 1791  
 L  
 L .0055  
 C  
 C IULIJLLLLLLL REGULADOR -1.IMITADOR DE CORRENIT:CE MLG I.LLLLLL.L  
 C  
 01LCALYM +LCABYM+LCBCYM +IXXAYM 5.  
 L  
 L 0.00044  
 C  
 01LCALDM +ICABDM+IXBCDM+IX-CADM 5.  
 L  
 L 0.00044  
 C  
 C PRIMEIRO ESTt.GIO DO LIMITADOR DE CORREND?.(1.42 PU) CE MIX3  
 C  
 00IXPE1M +IC720M-LCMEDM  
 00ICPE3M 4LCPE2M 1E3 -9. 4.  
 01LCPE5M -IXTE3M -6.67 2.0  
 L  
 L 0.045  
 00IXPE6M -IXTE5M -10. 0.  
 C  
 C SEGUNDO ESTt.GIO DO LIMITADOR DE CORRENTE (1.20 PU) CE MIX1  
 C  
 01LCSE1M +IC610M-1CMEDM  
 L  
 L 0.00188  
 00LCSE3M »ICSE2M 1E3 -9. 4.  
 01ICSE5M -ICSE3M -0.41 3.10  
 L  
 L 0.560  
 00LCSE6M -IXSE5M -10. 0.  
 C  
 C TERCEIRO ESTt.GIO DO LIMITADOR DE CORRENTE (1 PU) CE MLG  
 C  
 01ICTE1M +IC505M -LCMEDM  
 L  
 L 0.0088  
 00IJCTE3M +ICTE2M 1E3 -9. 4.  
 01ICTE5M -ICTE3M -6.63 4.15  
 L  
 L 8.380  
 00IXTE6M -IXTE5M -10. 0.  
 c  
 C MAIÛA PRINCIPAL DO UMITAIX)R DE CORR:NrE (1.82 PU) CE MUí  
 C  
 01ICMP1M -IXMEDM+ICMINM+IX920M -1.33 0.  
 L  
 L 0.020

00LCMP2M +LCMPIM -10. 0  
00LINUCM f.C195M-LCMP2M  
C  
C LLLLLLLL.I.I.LL REGULADOR - LIMITADOR DE CORRENTE CE MLG LLLLLL  
C  
C REGLI-ADOR - PRIMEIRO ALISAMENTO E ERRO CE MLG  
e  
OIPRIALM HREUABM +REUBCM +REUCAM 0.45  
L  
L 0.00396  
00ERROM -PRIALM -LREFM -1.  
C  
C RECITADOR - FILTROS CE MLG  
C  
02FT120M •FRROM  
925.926  
568484.2 925.926 1.  
C  
00ENCANM +ERROM -FT120M  
02FT60M t ENCANM  
925.926  
142121.1 925.926 1.  
01SEGALM +ENCANM -FT60M -1.  
L  
L 0.0040  
C  
C REGULADOR - CANAL LENIO CE MI ü  
c  
00PROPIM -ENTPIM 175 -10. 10.  
01INTPIM +PROPIM LMIND2LMCAP2  
L  
L 0.0110000  
OIS.AIPLM +INTPIM+PROPIM LMIND2LMCAP2  
L  
L 0.0022  
C  
C REGULADOR - CANAL RÁPIDO CE MLG  
C  
00PROPDM tENTPDM -INTPDM 1.00-14. 14.  
01INTPDM +PROPDM -14. 14.  
L  
L 0.0190  
Q  
C REGULADOR - SOMA DOS CANAIS/S AIDA CE MLG  
C  
00SOMAM <S AIPIM+SAIPDM  
OOUCM ^SOMAM +PTM 2.65LINUCM  
C  
C SSSSSSSS REGI LADOR - DETETOR DE SUFIENSAO CE MLG SSSSSSS  
C FILTRO DE 120 HZ - 230 KV F-F CE MIG  
C  
02DFTABM •R23ABM  
757.580  
570000.0 757.580 1.  
02DFTBCM \*R23BCM  
757.580  
570000.0 757.580 1.  
02DFTCAM \*R23CAM  
757.580  
570000.0 757.580 1.  
C  
C FTIXRO DE 120 HZ - 230 KV F-T CE MIXI  
C  
02DFTAM IRE23AM  
757.580  
570000.0 757.580 1.  
02DFTBM 4-RB23BM  
757.580  
570000.0 757.580 1.  
02DFTCM IRE23CM  
757.580  
570000.0 757.580 1.  
C  
C ALISAMENTO DA MFTMCAO- 230 KV F-F CE MIXI  
C  
01DALABM -DFTABM »R23ABM  
L5  
L 0.019800  
01D.\LBCM -DFTBCM +R23BCM  
L5



MIMAI	0.	-I.
C II LI LELLI.LLII RI GUIADOR - LIMITADOR DK CORR FNT E LLLLLLLLLLLLLL		
C CE FORTALEZA		
C		
11LC691	6.91	-I.
11XT471	4.71	-I.
11LC314	3.14	-I.
11X227	-2.27	-I.
C CE MILAGRES		
11X920M	9.20	-I.
11LC720M	7.20	-I.
11X610M	6.10	-I.
11X505M	5.05	-I.
11X195M	-1.95	-I.
C LLLLLLLLLLLLLL REGULA JX)R -1 IMITVDOR DE CORRENTE LLLLLLLLLLLLLL		
C ALFAM 119.29 GRAUS (PONTO DE TRABALHO CE FORTALEZA)		
11ALFAM	0055226	-I.
11DEZMS	.010	-I.
11D50MS	250	-I.
MLIPI	-0.36	-I.
MLBPI	0.	-I.
11LIND	-2.77	-I.
11LCAP	2.82	-I.
C VSUB CE FTZ EH DESAIVADO ATRAVÉS DO SINAL NEGATIVO		
C NOVOS AJUSTES IMPLANTADOS NO VSUB CE FTZ		
11D5P32	1.90	-I.
MD3P90	1.95	-I.
11D3P62	1.09	-I.
11FMM	1.	-I.
C A VARIÁVEL INIBO DESATIVA O CIRCUITO G CE FTZ		
11INIBG	0.0	-I.
C		
C ALFAM-114.97 GRAUS (PONTO DE TRABALHO CE MILAGRES)		
11ALFAM1	.0053237	-I.
11LIPIM	-0.618	-I.
MLBPIM	0	-I.
11LINDM	-2.43	-I.
11LCAPM	3.15	-I.
C O SINAL NEGATIVO DESATIVA VSUB NO CE MLG		
C		
11D5P32M	-3.80	-I.
11D3P90M	-3.90	-I.
11FMM1	1.	-I.
C		
C TENSÃO FASE TERRA NO 230 KV DE FORTALEZA		
C		
90FC23A		-I.
90FC23B		-I.
90FC23C		-I.
C		
C TENSÃO FASE-TERRA NO KV DE FORTALEZA		
C		
90F69A		-I.
90F69B		-I.
90F69C		-I.
C		
C TENSÃO NO 26KV CE FTZ		
C		
90BY26A		-I.
90BY26B		-I.
90BY26C		-I.
C		
90BD26A		-I.
90BD26B		-I.
90BD26C		-I.
C		
C TRANSFORMADOR DE SINCRONIZAÇÃO CE FTZ		
C		
90TSYA		-I.
90TSYB		-I.
90TSYC		-I.
90TSDA		-I.
90TSDB		-I.
90TSDC		-I.
C		
C MEDIÇÃO DE TENSÃO NA VÁLVULA CE FTZ		
C		
90FY26AB		-I.
90FY26BC		-I.
90FY26CA		-I.



uação de pulsos de disparo dos tiristores, ou simplesmente, módulos de disparo, descritos no decorrer deste trabalho.

#### 4.3.8 - Bloqueio do regulador de tensão pelo esquema de subtensão

Devido à característica predominantemente radial da rede em estudo, a ocorrência de curto-circuitos em pontos eletricamente distantes da principal fonte de alimentação provoca grandes afundamentos de tensão nas suas proximidades. Quando isto ocorre na região de influência dos CEs, durante o período de aplicação de curto-circuitos surgem nas entradas dos seus reguladores de tensão elevados valores de sinal de erro, levando tais equipamentos a operar nos seus limites nominais capacitivos, bloqueando totalmente o reator controlado a tiristores, na tentativa de combater o afundamento de tensão provocado pelos defeitos.

Durante o curto-circuito, a contribuição do CE para combater o afundamento de tensão é tão pequena quanto maior for o citado afundamento, pois, desprezando-se a impedância do transformador abaixador, tem-se  $Q_{az} \approx V_Y$ , sendo  $K_a$  admitância equivalente dos bancos de capacitores do CE. Para tensões muito baixas, portanto, a potência reativa produzida será praticamente nula. Entretanto, na eliminação do defeito o CE estaria operando no limite nominal capacitivo, contribuindo assim para o acréscimo das sobretensões de eliminação de defeito, principalmente quando esta eliminação for seguida de rejeição de carga.

Para evitar este comportamento indesejável, já que durante o período de aplicação do curto, o CE em quase nada contribui para a elevação da tensão e na sua eliminação, a presença deste equipamento contribui para a elevação das sobretensões de eliminação do defeito, optou-se, durante o projeto dos referidos equipamentos, pela instalação do esquema de bloqueio por subtensão, que atua conforme descrito a seguir.

As tensões do sistema de transmissão são retificadas, filtradas e é detectado o valor mínimo instantâneo das três fases. Caso este mínimo seja inferior a um determinado valor de ajuste por mais de 10mseg, o sinal de saída do canal normal será levado a OV, o que equivale a forçar o CE a operar no ângulo de disparo correspondente a OMVAr, desprezando-se a contribuição do canal rápido, que é praticamente nula, pois durante a falta, a tensão terminal do CE é muito baixa. Uma vez eliminado o defeito e caso a tensão terminal do CE permaneça em valor superior ao definido para desbloqueio por um intervalo de tempo maior ou igual a 10mseg, o canal normal será desbloqueado e o CE voltará a, efetivamente, controlar sua tensão terminal.

Desta forma, consegue-se que no instante de desbloqueio do CE, a tensão não esteja tão abaixo do seu valor nominal devido a sua recuperação natural e que o sinal de erro na entrada do canal normal não esteja tão elevado, de forma que o referido equipamento não será levado a operar no seu limite nominal capacitivo e não irá contribuir para o agravamento do quadro de sobretensões pós-defeito.

O intervalo de 10mseg para bloqueio e desbloqueio do CE pelo esquema de subtensão foi definido durante os estudos realizados em simulador analógico (TNA), sendo comprovada a adequação do mesmo através da experiência operacional.

90FY26BA	-I.
90FY26CB	-I.
90FY26AC	-I.
C	
90F1>26AB	-I.
90FD26BC	-I.
90FD26CA	-I.
90FD26BA	-I.
90FD26CB	-I.
90FD26AC	-I.
C	
C	ITNSAO FASE: TERRA NO 230 KV MILAGRES
C	
90MLG23A	-I.
90MIX123B	-I.
90MLG23C	-I.
C	
C	TF:NSAO FASE-TERRA NO 69 KV MILAGRES
C	
90MIX169A	-I.
90MIX169B	-I.
90MIX169C	-I.
C	
C	TENSÃO NO 123 KV CE MLG
C	
90BYM12A	-I.
90BYM12B	-I.
90BYM12C	-I.
C	
90BDM12A	-I.
90BDM12B	-I.
90BDM12C	-I.
C	
C	TRANSFORMADOR DE SINCRONIZAÇÃO CE MIACIRES
C	
90TSYMA	-I.
90TSYMB	-I.
90TSYMC	-I.
90TSDMA	-I.
90TSDMB	-I.
90TSDMC	-I.
C	
C	MEDIÇÃO DE TENSÃO NA VALVIA-A CE MILAGRES
C	
90FY12AB	-I.
90FY12BC	-I.
90FY12CA	-I.
90FY12BA	-I.
90FY12CB	-I.
90FY12AC	-I.
C	
90FD12AB	-I.
90FD12BC	-I.
90FD12CA	-I.
90FD12BA	-I.
90FD12CB	-I.
90FD12AC	-I.
C	
C	CORRENTE DE LINHA NO 230 KV CE FTZ
C	
91FT23A	
91FT23B	
91F"mC	
C	
C	
C	CORRENTE NA VALVIA. DE TIRISTORES (PARA O LIMITADOR DE CORRENTE. CE FTZ)
C	
91LCYAB	
91LCYBC	
91LCYCA	
91LCDAB	
91IXDBC	
91LCDCA	
C	
C	CORRENIT. DE UNHA NO 230 KV CE MILAGRES
C	
91MIJ3A	
91MIJ3B	
91MIJ3C	
C	

C CORRENTE NA VÁLVULA DE TIRISTORES(PARA O LIMITADOR DE CORRENTE CE MLG)

C

91LCYMAB  
91LCYMBC  
91LCYMCA  
91LCDMAB  
91LCDMBC  
91LCDMCA

C

C TENSÃO FASE-FASE NO 26 KV CE FTZ

C

99Y26AB BY26A -BY26B  
99Y26BC -BY26B -BY26C  
99Y26CA -BY26C -BY26A

C

99D26AB BD26A -BD26B  
99D26BC BD26B -BD26C  
99D26CA BD26C -BD26A

C

C TENSÃO NA VAI.VI1.A CE FTZ

C

99TVYAB -FY26AB -FY26BA  
99TVYBC -FY26BC -FY26CB  
99TVYCA -FY26CA -FY26AC  
99TVYBA =-TVYAB  
99TVYCB — TVYBC  
99TVYAC —TVYCA

C

99TVDAB - FD26AB -1 D26BA  
99TVDBC FD26BC -FIW6CB  
99TVDCA -FD26CA -FD26AC  
99TVDBA --TVDAB  
99TVIX:B — TVDBC  
99TVDAC --TVDCA

C

C TENSÃO FASE- FASE NO 210 KV CE FTZ

C

99U23AB FC23A-FC23B  
23BC -FC23B -FC23C  
99U23CA -FC23C-FC23A

C

C MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE CE FTZ

C

99UABIC - U23AB'43301.27-EST\*FT23C794.55  
99UBCIA -U23BC/43301.27-EST\*FT23A^.SS  
99UCAIB -1Í23CA/43301.27-EST\*FT23B/94.55

C

( RFI h I.AIXJR - RETIFICAÇÃO IX)S SINAIS DE TENSÃO. C<)\I ESTATISMO,CB FTZ

C

99REI AB i ABIC\*SIGN(N('ABIC)  
99REUBC -UCIA^SIGNfUBCIA)  
99REUCA -UCAIB\*SIGN(UCAIB)

C

C SSSS REGULADOR - DETETOR DE SUBTENSAO CE FTZ SSSSS

C

C RETIFICAÇÃO DOS SINAIS DE TENSÃO CE FTZ

C

C FASE FASE 230 KV CE FTZ

C

99R23 AB / '23 AB»SIGN(1123 ABV4330L27  
99R23BC -U23BCSIGNfU23BCV4330L27  
99R2.3CA U23CA'SIGN(U23CAy43301.27

G

C FASE-TERRA 230KV CE FEZ

C

99RE23A -FC23A»SIGN(FC23AV25000.  
99RE23B -FC23B\*SIGN(FC23By25000.  
99RE23C FC23C\*SIGN(FC23C)/25000.

C FASE-TERRA 69KV CE FTZ

99RE69A =F69A»SIGN(F69A)'8660.25  
99RE69B =F69B\*SIGN(F69BV8660.25  
99RF.69C F69C\*SIGN(F69Cy8660.25

C

C TENSÃO FASE-FASE NO 123 KV CE MLG

C

99Y12ABM =BYMI 2A -BYM12B  
99Y12BCM BYM12B -BYM12C  
99Y12CAM -BYM 12C -B Y MI2 A

c  
 WD12ABM BDM12A-BDM12B  
 99D12BCM BDM12B -BDM12C  
 99D12CAM =B)MI2C-BDM12A  
 C  
 C TKNSAO NA VÁLVULA CE MILAGRES  
 C  
 99TVYABM -FY12AB -FY12BA  
 99TVYBCM FY12BC -FY12CB  
 99TVYCAM -FY12CA -FY12AC  
 99TVYBAM -TVYABM  
 99TVYCBM =-TVYBCM  
 99TVYACM --TVYCAM  
 c  
 99TVDABM ID12AB-FD12BA  
 99TVDBCMM FD12BC-FD12CB  
 99I VDCAM «FD12CA-FD12 AC  
 99 TVDBAM -TVDABM  
 99TVDCBM -TVDBCMM  
 99TVDACM • -TVBCAM  
 C  
 C TENSÃO FASE- FASE NO 230 KV CE MHAGRES  
 C  
 99U23ABM MLG23A-MLG23B  
 99U23BCM MLG23B-MIXI23C  
 99U23CAM MIXI23C-MIXI23A  
 C  
 C MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE CE MIIAGRES  
 C  
 99UABICM U23ABM/4330L27-F.STM»MH.23C/47.27  
 99IIBCIA M U23BCM/4330L27-ESTMMIL23A/47.27  
 99UCAIBM i;23CAM/4330L27-ESTMMIL23IV47.27  
 C  
 C REGULADOR - RETIFICAÇÃO IX)S SINAIS DE TENSÃO. COM F;STATISMO CE MIXI  
 C  
 99REUABM UABICM)SIGN(UABICM)  
 99REUBCM -=UBCIAM\*SIGN(UBCTAM)  
 99REUCAM UCAIBM)SIGN(UCAIBM)  
 C  
 C REGULADOR DE TENSÃO - DETETOR DE SUBTENSÃO CI MI CI  
 C  
 C RETInCA CAO IX)S SINAIS DE TENSÃO CE MLG  
 C  
 C FASE FASE 230 KV CE MLG  
 C  
 99R23ABM U23 ABM\*SIQN(U23 ABMV4330L27  
 99R23BCM =1 '23BCM\*Siñ(U23BCM)/4330L27  
 99R23CAM T :23CAM\*SIGN(U23CAMy4330L .27  
 C  
 C FASE-TERRA 230KV CE MIX)  
 C  
 99RE23AM MLG23A«SI(iN(MIX)23AV25000.  
 99RE23BM .MLG23BSIGN(MIX)23BV25000.  
 99RE23CM MIXI23C)SIGN(MLG23Cy25000.  
 c  
 C i); n l'()R D)E MINIMA TENSÃO CE FTZ  
 l l . VSE-FASE 230 KV CE FTZ  
 C  
 XXDFMI 63 H)ALAB +DALBC +DALCA -1.  
 c  
 C FASE-TERRA 230 KV  
 C  
 XXDFTMI63HÍALA +DALB +DALC -1.  
 c  
 C FASE-TERRA 69 KV  
 C  
 XXItt9MI63 + D69AA >D69AB + D69AC -1.  
 C  
 C SCHMITT-TRIGGER CE FTZ  
 c  
 88DSFF3 DSFF2\*0.02439  
 88DSFF1 -DFFMI+DSFF3-D5P32  
 XXDSFF4 .NOT.DSFF2  
 G  
 88DSFT3 DSFT2\*0.02439  
 K8DSFT1 DFTMI • DSFT3-D3P90  
 XXDSFT4 NOT.DSFT2  
 G  
 XXDS693 DS692\*0.02439  
 XXDS691 D69MI+DS693-D3P62

```

88DS694 - NOT.DS692
C
C FORMAÇÃO IX) SINAL DE BLOQUEIO CE FTZ
C
880TU DSFK4.0R.DSFT4.0R.OS694
C
C TIMER 1 CE FIZ
C
X8DT12 NOT.DT11
88DT13 -DT12-0.50
88DT14 53+DT13 DELTAT
X8DT15 1)T13*DT14
88DT16 58+DT11 LO 00 1.0DT15 ZERO
88DT17 DT 16-0.010
88DT18 NOT.DT17
C
C TIMER 2 CE FTZ
C
88DT21 NOT.DT18
X8DT22 -DT21-0.50
88I123 53-1)122 DELTAT
X8DT24 DT22*DT23
X8DT25 58+DT18 10 00 1.0DT24 ZERO
X8DT26 DT25-0.010
C
XXBPI NOT.DT26
C
C DETETOR DE MÍNIMA TENSÃO CE MLO
C FASE-FASE 230 KV CE MLG
C
S8DFFMIM63+DALAUM +DALBCM +DALCAM -1.
C
C FASE-TERRA 230 KV
C
88DFTMIM63+DAIAM +DA1ÜM +DALCM -1.
.
i
C SCHMITT-TRIGGER CE MLG
C
XXDSFF3M -DSFF2M<0.02439
88DSFF1M DTMIM+DSFF3M-D3P32M
X8DSFF4M NOT.DSFF2M
c
88DSFT3M -DSFT2M*0.02439
XXDSIT1M -DFTMIM+DSFT3M-D3P90M
X8DSFT4M NOT DSFT2M
C
C 1°ORM.^CAO DO SINAL DE BLOQUEIO CE MLG
C
X8DT11M DSFF4M.OR.DSFT4M
C
C TIMER 1 CE MIXI
C
X8DT12M NOT.DT11M
88DT13M DT12M-0.50
88DT14M53+DT13M DELTAT
88DT15M DT13M*DT14M
X8DT16M58+DT11M 1 0 00 1 0DT15MZERO
88DT17M DH6M-0.010
X8DT18M -.NOT.DT17M
C
C TIMER 2 CE MIX)
C
X8DT21M -.NOT.DT18M
X8DT22M -DT21M-0.50
88DT23M 53 M)T22M DELTAT
88DT24M -DT22M»DT23M
XXDT25M 58+DT18M 10 00 1 0DT24M ZERO
X8DI26M -DT25M-0.010
C
X8BPIM NOT.DT26M
C
C
C SSSSSSSSSSSSS REG11 .AIX)R - DETETOR DE SIIBTENSÃO SSSSSSSSSSSSSSSSS
c
C DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD DISPARO CE FTZ DDDDDDDDDDDDDDDDDDD)
C BOI)
C
99DPABY60+ZERO ^PLUSI +PLUS1 64.E3 1AYAB
99DPBCY60+ZERO PLUS1 PLUS1 64.E3 TvTBC

```

99DPCAY 60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 64.E3 TVYCA  
 WDPBAY 60+ZERO +PUIS1 tPLUS1 64.E3 TVYBA  
 99DPCBY 60+ZERO +PLUS1 tPLUS1 64.E3 TVYCB  
 99DPACY 60+ZERO +PLUS1 tPLUS1 64.E3 TVYAC  
 G  
 99DPABD 60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 64.E3 TVDAB  
 99DPBCD 60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 64.E3 TVDBC  
 99DPCAD 60+ZERO -> PLUS1 +PLUS1 64.E3 TVDCA  
 99DPBAD 60+ZERO +PIAIS1 +PLUS1 64.E3 TVDBA  
 99DPCBD 60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 64.13 TVDCB  
 99DPACD 60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 64.E3 TVDAC  
 C  
 99DPYAB 60+ZERO ' ZERO • DP AH Y 0.060 TIMEX  
 99DPYBC 60+ZERO +ZERO +DPBCY 0.060 TIMEX  
 99DPYCA 60+ZERO +ZERO • DPCAY 0.060 TIMEX  
 99DPYBA 60+ZERO 4 ZERO -> OPBAY 0.060 TIMEX  
 99DPYCB 60+ZERO +ZERO +DPCBY 0.060 TIMEX  
 99DPYAC 60+ZERO +ZERO +DPACY 0.060 TIMEX  
 C  
 99DPDAB 60+ZERO +ZERO +DPABD 0.060 TIMEX  
 99DPDBC 60+ZERO +ZERO +DPBCD 0.060 TIMEX  
 99DPDCA 60 +ZERO +ZERO iDPCAD 0.060 TIMEX  
 99DPDBA 60+ZERO +ZERO +DPBAD 0.060 TIMEX  
 99DPDCB 60+ZERO +ZERO +DPCBD 0.060 TIMEX  
 99DPDAC 60+ZERO +ZERO +DPACD 0.060 TIMEX  
 C  
 99DPY -(DPYAB.OR.DPYBC.OR.DPYCA.OR.DPYBAOR.DPYCB.OR.DPYAC)  
 99DPD (DPDAB.OR.DPDBC.OR.DPDC AOR.DPDB AOR.DPDCB.OR.DPDAC)  
 99DP (DPY.OR.DPD)  
 C DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD DISPARO CE MIJG DDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD  
 C BOD  
 C  
 99DPAIJYM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40. E3 TVYABM  
 99DPBAYM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40.E3 TVYBCM  
 99DPCA YM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40. E3 TVYCAM  
 99DPBAYM60+ZERO +PLUS1 iPLUS1 40. E3 TVYBAM  
 99DPCBYM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40.E3 TVYCBM  
 99DPACYM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40.E3 TVYACM  
 C  
 99DPABDM60+ZERO +PIAIS1 +PLUS1 40.E3 TVDABM  
 99DPBCDM60+ZERO +PLUS1 4 PLUS1 40.E3 TVDBC M  
 99DPCADM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40.F3 TVDCAM  
 99DPBADM60+ZERO UMUS1 +PLUS1 40. E3 TVDBAM  
 99DPCBDM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40.E3 TVDCB M  
 99DPACDM60+ZERO +PLUS1 +PLUS1 40.E3 TVDAC M  
 C  
 99DPYABM60+ZERO +ZERO +DPABYM 0.060 TIMEX  
 99DPYBCM60+ZERO +ZERO t-DPBYM 0.060 TIMEX  
 99DPYCAM60+ZERO ^ ZERO +DPCAYM 0.060 TIMEX  
 99DPYBAM60+ZERO +ZERO +OPBAYM 0.060 TIMEX  
 99DPYCBM60+ZERO HZERO +DPCBYM 0.060 TIMEX  
 99DPYACM60+ZERO • ZERO +DPACYM 0.060 TIMEX  
 C  
 99DPDABM60\*ZERO • ZERO +DPABDM 0.060 TIMEX  
 99DPDBC M60+ZERO .ZERO +DPBCDM 0.060 TIMEX  
 99DPDCAM60+ZERO t-ZERO • D PC A I) M 0.060 TIMEX  
 99DPDBAM60+ZERO i-ZERO +DPBAOM 0.060 TIMEX  
 99DPDCBM60+ZERO • ZERO +DPCBDM 0.060 TIMEX  
 99DPDACM60+ZERO ' ZERO +DPACDM 0.060 TIMEX  
 C  
 99DPYM (DPYABM.OR.DPYBCM.OR.DPYCAM.OR.DPYBAM.OR.DPYCBM.OR.DPYACM)  
 99DPDM (DPDABM.OR.DPDBC M.OR.DPDCAM.OR.DPDBAM.OR.DPDCBM.OR.DPDACM)  
 99DPM (DPYM.OR.DPDM)  
 C CIRCUITO INICIALIZADOR DO PI  
 C BIJOQUEIO DO SINAL DO BOD POR 250 MS APOS  
 C INICIADO O PROCESSO DE INICIALIZAÇÃO DO PI.  
 C  
 C A VARIÁVEL INIBG DESATIVA O CIRCUITO G CE FTZ  
 C NO CASO ORIGINAL TINHA-SE DP EM LUGAR DE INIBG  
 X8BDP1 INIBG.OR.BDP3  
 88BDP2 58+BDP1 1.0 0.0 1.0BDP4 ZERO  
 C  
 C CIRCUITO INICIALIZADOR DO PI CE FTZ  
 C INICIALIZAÇÃO IX) PI POR 10 MS.  
 C  
 C A VARIÁVEL INIBG DESATIVA O CIRCUITO G CE FTZ  
 C NO CASO ORIGINAL TINHA-SE DP EM LUGAR DE INIBG  
 88IPI1 -INIBG\*(.NOT.BDP3)  
 88IPI2 1PI1OR.IPI5  
 88IPI3 58+IPI2 1.0 0.0 1.0IPI4 ZERO









K8CZ5YCM58+FMMI 1. 0. 1.CZ4YCMZERO  
 88CZ5DAM58+FMMI 1. 0. 1.CZ4DAMZERO  
 88CZ5DBMS8+FMMI 1. 0. 1.CZ4DBMZERO  
 X8CZ5IX'M58+FMMI 1. 0. 1.CZ4IXJMZERO  
 C  
 98CZ7YA CZ6YA>CZ2YA  
 98CZ7YB CZ6YB>CZ2YB  
 98CZ7YC CZ6YCCZ2YC  
 98CZ7DA CZ6DA>CZ2DA  
 98CZ7DB CZ6DB>CZ2DB  
 9XCZ7IX' CZ6DC>CZ2IXJ  
 C  
 9XGYABI SIGN(CZ7YA-ALFAV)  
 98GYBC1 SIGN(CZ7YB-ALFAV)  
 98GYCA1 SIGN(CZ7YC-ALFAV)  
 98GDAB1 SIGN(CZ7DA-ALFAV)  
 98GDBC1 SIGN(CZ7DB-ALFAV)  
 98GDCA1 SIGN(CZ7DC-ALFAV)  
 C  
 98GY AB2 54+GY ABI 2.5E-4  
 98GYBC2 54+GYBC1 2.5E-4  
 98GYCA2 54+GYCA1 2.5E-4  
 98GDAB2 54+GDAB1 2.5F-4  
 98GDBC2 54KJDBC1 2.5K-4  
 98GIXJA2 54+GDCA1 2.5F>4  
 C  
 98GYAB3 SIGN(GYAB1-2.\*GYAB2)  
 9XGYBC1" S( IN(GYBC1-2.\*GYBC2)  
 98GYCA3 SIGN(GYCA1-2.\*GYCA2)  
 98GDAB3 SIGN(GDAB1-2.\*GDAB2)  
 98GDBC3 SIGN(GDBC1-2.GDBC2)  
 980DCA3 SIGN(GDCA1-2.>GDCA2)  
  
 98GYBA1 SIGN(-CZ7YA-AIJAV)  
 98GYCB1 SIGN(-CZ7YB-ALFAV)  
 98GYAC1 SIGN(-CZ7YC-AI.I AV)  
 98GDBA1 SIGN(-CZ7DA-ALFAV)  
 98GIXJB1 =SIGN(-CZ7DB-ALFAV)  
 98GDAC1 SIGN(-CZ7DC-AIJ-AV)  
 C  
 98G FIA2 54+GYBA 2.5E-4  
 98GYCB2 54+GYCB1 2.5E-4  
 98GYAC2 54+GY ACI 2.5E-4  
 98GDBA2 54+GDBA1 2.5E-4  
 98GIXJB2 54KÍDCB1 2.5P>4  
 98GDAC2 54 • GDAC 1 2.5E-4  
 C  
 9XGYBA3 SIGN(GYBAI-2.\*GYBA2)  
 98GYCB3 SIGN(GYCB1-2.\*GYCB2)  
 98GYAC3 SIGN(GYAC1-2.\*GYAC2)  
 9XGDBA3 SIGN(GDBAI-2.>GDBA2)  
 980DCB3 SIGN(GDCB1-2.\*GDCB2)  
 98GDAC3 SIGN(GDAC 1-2.'GDAC2)  
 C  
 C DISPARO - SINAL FLNVIADO PARA O TIRISTOR  
 C  
 98GYAB GYAB3.0R.DPYAB  
 98GYBC GYBC3.0R.DPYBC  
 98GYCA CíYC A3.0R.DPYCA  
 98GYBA GYBA3.0R.DPYBA  
 98GYCB GYCB3.0R.DPYCB  
 9XGYAC (iYAC3.0R.DPY AC  
 C  
 98GDAB GDAB3.0R.DPDAB  
 980DBC GDBC3.0R.DPDBC  
 98GDCA GDCA3.0R.DPDCA  
 98GDBA GDBA3-OR.DPDBA  
 98GDCB GDCB3.0R.DPDCB  
 98GDAC GDAC3 OR.DPDAC  
 C  
 C 2 PU (2053 A)  
 98IYAB =IXYAB/5806.76  
 98IDAB I C'DAB/5806.76  
 C I PU ( 26 KV )  
 98VYAB TVYAB/36769.55  
 98VDAB TVDAB/36769.55  
 C  
 98PULSOY <GYAB3.0R.GYBA3V2.5-2.5  
 98PULSOD (GDAB3.0R.GDBA3V2.5-2.5  
 C

98DISABY -<DPYAB.OR.DPYBA)/2.3-3.0  
 98DISABD -(DPDABOR.DPDBA)/2.5-3.0  
 C  
 98BODYY H)O(K) »DPY-80000.  
 98BODDO -!ii(KK).»I)Pi>KOOOO.  
 C  
 98ELXO 2000.  
 98COR23A =FT23A< 2000.  
 98COR23C -FT23C-2000.  
 C  
 98CZ7YAM -CZ6YAM\*CZ2YAM  
 98CZ7YBM -CZ6YBM\*CZ2YBM  
 98CZ7YCM -CZ6YCM\*CZ2YCM  
 98CZ7DAM -CZ6DAM\*CZ2DAM  
 98CZ7DBM -CZ6DBM\*CZ2DBM  
 98CZ7DCM -CZ6DCM\*CZ2DCM  
 C  
 98GYAB1M -SIGN(CZ7YAM-ALFAVM)  
 98GYBC1M -SIGN(CZ7YBM-ALFAVM)  
 98GYCA1M [SIGN\(CZ7YCM-ALFAVM\)](#)  
 98GDAB1M SIGN(CZ7DAM-ALFAVM)  
 98GDB1M SIGN(CZ7DBM-ALFAVM)  
 98GDCA1M -SIGN(CZ7DCM-ALFAVM)  
 C  
 98GYAB2M54+GYAB1M 2.5E-4  
 98GYBC2M54+GYBC1M 2.5E-4  
 98GYCA2M54K»YCA1M 2.5E-\*  
 98GDAB2M541GDAB1M 2.5E-4  
 98GDCC2M54^G I)B' 1 M 2.5E-4  
 98GDCA2M54+GDCA1M 2.5E-4  
 C  
 98GYAB3M -SIGN(GYAB1 M-2.\*GYAB2M)  
 98GYBC3M -SIGN(GYBC1 M-2.\*GYBC2M)  
 98GYCA3M -SIGN(GYCA1M-2.\*GYCA2M)  
 98GOAB3M -SIGN(GDAB1 M-2.\*GDAD2M)  
 98GDBC3M -SIGN(GDBC1M-2.\*GDBC2M)  
 98GDCA3M -SIGN(GDCA1M-2.\*GDCA2M)  
 C  
 98GYBA1M -SIGN(-CZ7YAM-ALFAVM)  
 98GYCB1M -SIGN(-CZ7YBM-ALFAVM)  
 98GYAC1M SIGN(-CZ7YCM-ALFAVM)  
 98GDBA1M SIGN(-CZ7DAM-ALFAVM)  
 98GDCB1M SIGN(-CZ7DBM-ALFAVM)  
 98GDAC1M -SIGN(-CZ7DCM-ALFAVM)  
 C  
 98GYBA2M54+GYBA1M 2.5E-4  
 98GYCB2M54+GYCB1M 2.5E-4  
 98GYAC2M541GYAC1M 2.5E-4  
 >x(j)BA2M54KiDBA1M 2.5E-4  
 98GDCB2M54+GDCB1M 2.5E-4  
 98GDAC2M54+GDAC1M 2.5E-4  
 C  
 98GYBA3M -SIGN(GYBA1M-2.\*GYBA2M)  
 98GYCB3M SIGN(GYCB1M-2.\*GYCB2M)  
 98GYAC3M -SIGN(GYAC1M-2.\*GYAC2M)  
 98GDBA3M -SIGN(GDBA1M-2.\*GDBA2M)  
 98GDCB3M -SIGN(GDCB1M-2.\*GDCB2M)  
 98GDAC3M -SIGN(GDAC1M-2.\*GDAC2M)  
 C  
 C DISPARO - SINAL ENVIADO PARA O TIRISTOR  
 C  
 98GYMAB GYAB3M OR DPYABM  
 98GYMBC GYBC3M OR DPYBCM  
 98GYMCA GYCA3M OR DPYCAM  
 98GYMBA =GYBA3M OR DPYBAM  
 98GYMCB GYCB3M OR DPYCBM  
 98GYMAC -GYAC3M OR DPYACM  
 C  
 98GDMAB GDAB3M OR DPDAHM  
 98GDMBC GDBC3M OR DPDBCM  
 98GDMCA GDCA3M OR DPICAM  
 98GDMBA GDBA3M OR DPDBAM  
 98GDMCB =GDCB3M OR DPDCBM  
 98GDMAC -GDAC3M OR DPDACM  
 C  
 C 2.00 PU DE 2200 A  
 98XIYABM -LCYMAB/6222.54  
 98IDABM -ICDMAB/6222.54  
 C 1 PU (12.3 KV)  
 98VYMAB -rVYABM/17394.83

A lógica de subtensão é composta por detectores de subtensão que monitoram as tensões fase-fase e fase-neutro do 230kV e fase-neutro do 69kV da SE Fortaleza e as tensões fase-fase e fase-neutro do 230kV da SE Milagres. Devido ao reduzido valor da carga do 69kV da SE Milagres, estudos realizados em simulador analógico quando da entrada em operação deste equipamento [5], [6], concluíram não ser necessária a instalação de bloqueio do CE Milagres através da tensão de 69kV.

Com relação ao bloqueio por subtensão do CE Fortaleza, os dois primeiros detectores, que monitoram as tensões do 230kV, atuam diretamente sobre o canal normal, levando sua saída a OV (OMVAr) quando da sua atuação, enquanto que o detector de subtensão do 69kV atua enviando um sinal que, por um intervalo de tempo de 30mseg, eleva os valores de referência para bloqueio dos detectores de 230kV. Este artifício foi empregado para que o esquema de bloqueio por subtensão pudesse diferenciar a simples perda da barra de 69kV de um curto-circuito nesta barra, eliminado com rejeição de carga, pois na primeira situação, é desejado que o CE esteja apto a controlar a tensão, combatendo as sobretensões decorrentes da perda da carga ligada a barra de 69kV. enquanto que na segunda situação, deseja-se que o referido equipamento seja levado a operar em OMVAr pelas razões anteriormente apresentadas.

Assim, quando a tensão do 69kV cair abaixo do valor de bloqueio, será enviado por 30mseg um sinal que elevará as tensões de referência dos detectores de 230kV para o valor normalizado de 0,95. Caso a queda da tensão de 69kV tenha sido provocada por um curto-circuito, as tensões do 230kV também cairão, ficando abaixo de 0,95 e produzindo assim o bloqueio do CE. Por outro lado, caso o afundamento da tensão do 69kV tenha sido provocado pela simples perda desta barra, as tensões do 230kV tenderão a subir devido à perda da carga conectada à barra desligada, não serão sensibilizados os seus detectores de subtensão e não haverá o bloqueio do CE.

Nas Figs. 4.9 a 4.12 são apresentados diagramas de blocos indicando, em termos de variáveis da subrotina TACS do ATP, as etapas de medição, retificação, filtragem, detecção do valor mínimo instantâneo e produção dos sinais de bloqueio e desbloqueio do CE pelo esquema de subtensão. As constantes indicadas nos referidos diagramas representam as relações de transformação que as tensões de 230 e 69kV sofrem ao longo do processo de geração do sinal de bloqueio. A variável TACS BPI representa o sinal de saída do esquema de bloqueio por subtensão e informa ao canal normal de regulação se o CE deverá ser bloqueado (BPI= 1) ou não (BPI = 0).

9.7-Registros de Simulações de Grandes Perturbações Para Reavaliação do Desempenho dos CEs Milagres e Fortaleza Considerando Parte da Carga de Fortaleza Representada Como Motor de Indução

I

)

98VDMAB 1 VI)ABM/17394.83  
C  
98PULSYM (GYAB3M.OR.GYBA3MV2.5-2 5  
98PUIEDM (GDAB3M.OR.GDBA3Mv2.5-25  
C  
98DIABYM (DPYABMOR.DPYBAMv2.5-30  
98DIABDM (DPDABM.OR.DPDBAMV2.5-3.0  
C  
98BODYYM 10000.\*DPYM-80000.  
98BODDDM 10000.\*DPDM-8(0)000.  
C  
98EDÍOM 2000.  
98CRM23A MIL23A+2000.  
98CRM23C MIL23C-2000.  
C

.....  
C

C VARIÁVEIS DATA CS QIJE SERÃO IMPRESSAS CE FIZ  
C  
C 33BPI EMIND LMCAP PRIAE  
C 33COR23AFmBCOR23CE:IXO  
C 33FC23A FC23B FC23C  
C 33U23AB U23BC U23CA  
C 33F69A F69B F69C  
C 33TVYAB TVYBC TVYCA BODYY  
C 33ICYAD IX.YBC ICYCA  
C 33TVDAB TVDBC TVDCA BODDD  
C 33LCDAB ICDBC IXJDCA  
C 33DDFMI DSFF1 DSFF2 DSFF3  
C 33DFEMI DSFT1 DSFT2 DSFT3  
C 33D69MI DS691 DS692 DS693  
C 33LCPE1 IXPE2 IX.PE3 I.CPE4  
C 33LCSE1 I.CSE2 ICSE3 ICSE4  
C 33ICMIN IX,'MP2  
C 33ERRO  
33ENTPI SAIPI EIMJC  
C 33ALEAG  
C 33IYAB VYAB PULSOYDISABY  
C 33IDAB VDAB PULSODDISABD  
C 33ENTPD SAIPD  
C 33Y26AB Y26BC Y26CA  
C 33D26AB D26BC D26CA  
C 33BY26A BY26B BY26C  
C 33BD26A BD26B BD26C  
C

C VARIÁVEIS DA TACS QIE SERÃO IMPRESSAS CE MIXI  
C

C 33BPIM I.MINDMLMCAPMPRIAI.M  
C 33CRM23AMIL23BCRM23CEIXOM  
C 33M1X)23AM1XÍ23BMKÍ23C  
C 33H23ABMI 23BCMU23CAM  
C 33M1XÍ69AMIX}69BMIX)69C  
C 33TVYAHMTVYBCMTVYC;\MBODYYM  
C 33IXYMABICYMBCLCYMCA  
C 33TVDABMTVDBC{fTVDCAMBODDDM  
c 33ECDMABIX:DMBCIX:DMCA  
C 33DDFMIMDSFF1MDSFF2MDSFF3M  
C 33DDFMIMDSFT1MDSFT2MDSFT3M  
C 33D69MIMDS691MDS692MDS693M  
C 33LCPE1MLCPE2MLCPE3MLCPE4M  
C 33IX.SE 1MLCSE2MLCSE3MLCSE4M  
C 33IXJMINMLCMP2M  
C 33ERROM  
33ENTPMSAIPIMLTNUCM  
C 33ALFAGM  
C 33IYABM VYMAB PUI5YMDIABYM  
C 33IDABM VDMAB PULSDMDIAI3DM  
C 33ENTPDMSAIPDM  
C33Y12ABMY12BCMY12C A1  
C 33D12ABMD12BCMD12CAM  
C 33BYM12/BY12BMY12C  
G 33BDM12ABDM12BBDM12C  
C

\*..\*.....\*.....\*.....\*.....\*.....\*.....\*.....\*.....\*.....\*.....\*  
C O VAIX)R DE INTPI DEVI-: SER DEFINIDO NO CAMPO ABAIXO EM CONFORMIDADE  
C COM INSTRUÇÕES DO RT-DOEP 01/91 O CARTÃO BRANCO SEGUINTE • OBRIGATÓRIO

.....  
C CONDIÇÕES INICIAIS  
77INTPI .55380  
77INTPIM 1.07332

BLANK

G

C SISTEMA DE POTENCIA - AREA NORTE/OESTE - CARGA MÁXIMA DEX/96

C

C

C———LINHAS REPRESENTADAS DE 230 KV ——

e

C

C

C

C LT PAULO AFONSO BP-1 - BOM NOME 230 KV - CIRCUITO I

C

-IBP123ABN023A 4890 1.450 2.351 1700

-2BP123BBN023B .0976 .5096 3.257 170.0

-3BP123CBN023C

C

C LT PAULO AFONSO BP-1 - BOM NOME 230 KV - CIRCUITO 2

C

-IBP123ABN023A 4613 1.417 2.206 170.0

-2BP123BBN023B .0977.5196 3.195 170.0

-3BP123CBN023C

C

C LT PAULO AFONSO BP-2 - BOM NOME 230 KV

C

-IBP223ABN023A .5130 1.328 2.425 170 0

-2BP223BBN023B .0979.5146 3.205 170.0

-3BP223CBN023C

C

C LT PAIX) AFONSO BP-1 - MILAGRES 230 KV

C

-IBP123AMLG23A .3916 1.262 2.504 254.0

-2BP123BMLG23B .0488 .3370 5.015 254.0

-3BP123CMLG23C

C

C LT PAULO AFONSO BP-2 - MILAGRES 230 KV

C

-IBP223AMLG23A .3911 1.263 2.535 254.0

-2BP223BMLG23B .0490 .3370 5.017 254.0

-3BP223CMLG23C

C

C IT BOM NOME 230 KV - MILAGRES 230 KV - 04L1

C

-IBN023AMLG23A 5144 1.397 2.288 84.0

-2BN023BMLG23B .0977 .5096 3.252 84.0

-3BN023CMLG23C

C

C I,T BOM NOME 230 KV - MILAGRES 230 KV - 04L2

C

•IBN023AMLG23A 5277 1.342 2.334 84 0

-2BN023BMLG23B 0979 .5196 3.197 84.0

-3BN023CMLG23C

C

C LT BOM NOME 230 KV - MILAGRES 230 KV - 04L3

C

-IBN023AMLG23A 5085 1.348 2.309 84.0

-2BN023BMLG23B 0977.5197 3.191 84.0

-3BN023CMLG23C

C

C LT MILAGRES 230 KV - BANABUIU 230 KV - CIRCUITO 1 (04M1)

C

-1MIX123ABNB23A 4986 1.417 2.324 225.0

2ML023BBNB23B .0976 .5197 3.189 225.0

-3MLG23C BNB23C

C

C LT MILAGRES 230 KV - ICO 230 KV - SEC LT MLG/BNB C2

C

-1MIX123AIC023A 5269 1 473 2 384 102.0

-2MLG23BIC023B .0976 .5197 3.197 102.0

-3MLG23CIC023C

C

C LT ICO 230 KV - BANABUIU 230 KV - SEC LT MLG/BNB C2

C

-1IC023ABNB23A .5242 1.481 2.382 123.0

-2IC023BBNB23B .0976 .5197 3.197 123.0

-3IC023CBNB23C

C

C IT MILAGRES 230 KV - BANABUIU 230 KV - CIRCUITO 3 (04M3)

C

-1MLG23 ABNB23A 4955 1.435 2.032 225.0

-2MLG23BBNB23B .0976 .4979 3.319 225.0  
 -3MLG23CBNB23C  
 C  
 C I I MILAGRES 230 KV - BANABUIU 230 KV - CIRCUITO 4 (04M4)  
 C  
 -1.MLG23ABNB23A .4186 1.319 2.488 225.0  
 -2MLG23BBNB23B 0488.3371 5.013 225.0  
 +3MLG23CBNB23C  
 C  
 C II MILAGRES 230 KV - BANABUIU 230 KV - CIRCUITO 5 (04M5)  
 C  
 -1MLG23ABNB23A 4086 1.334 2.476 225.0  
 -2MLG23BBNB23B .0488.3371 V013 225.0  
 -3MLG23CBNB23C  
 C  
 C I T BANABI I U 230 KV - FORTALEZA 230 KV - CIRCUITO 1  
 C  
 -1DNB23AFC23A .5172 1.456 2.558 177.5  
 -2BNB23BFC23B .0976.5197 3.224 177.5  
 +3BNB23CFC23C  
 C  
 C I T BANABI II U 230 KV - FORTALEZA 230 KV - CIRCUITO 2  
 C  
 +1BNB23AFC23A 5256 1.486 2.286 176.0  
 -2BNB23BFC23B .0978 .4978 3.345 176.0  
 -3BNB23CFC23C  
 C  
 C LT BANABUIU 230 KV - FORTALEZA 230 KV - CIRCUITO 4  
 C LT ONDE SERA APLICADO O CURTO NO 230 KV  
 C  
 -1BNBUXAFCUXA 3002 1.419 2.896 180.0  
 -2BNBUXBFCUXB 0488 .2717 6.306 180.0  
 -3BNBUXCFCUXC  
 C  
 C LT BANABUIU 230 KV - FORTALEZA 230 KV - CIRCUITO 5  
 C  
 -1BNB23AFC23A 3316 1.357 3.162 180.0  
 -2BNB23BFC23B 0488 .2717 6.317 180.0  
 -3BNB23CFC23C  
 C  
 C LT BANABUIU 230 KV - FORTALEZA FICTICIA  
 C  
 -1BNB23AFCFICA .5324 1.506 2.170 176.0  
 -2BNB23BFCF1CB 0979 .4978 3.336 176.0  
 -3BNB23CFCFICC  
 C  
 C LT FORTALEZA 230 KV - DELMIRO (XXJVEIA 230 KV)  
 C  
 -1FC23A DMG23A .2178 1.202 2.828 7.0  
 -2FC23B DMG23B 0477 .3615 4.616 7.0  
 +3FC23C DMG23C  
 C  
 C LT FORTALEZA FICTICIA - DELMIRO CXM V'VIA 230 KV  
 C  
 -1FCFICADMG23A .2178 1.202 2.828 7.0  
 -2FCFICBDMG23B .0477 .3615 4.616 7.0  
 -3FCFICCDMG23C  
 C  
 C LT FORTALEZA 230 KV - SOBRAL 230 KV  
 C  
 -1FC23A SBD23A 4669 1.627 2.196 219.0  
 -2FC23B SBI>23B 0976 .5197 3.182 219.0  
 -3FC23CSBD23C  
 C  
 C LT SOBRAL 230 KV - PIRIPIRI 230 KV  
 C  
 -1SBD23APRI23A .4619 1.635 2.208 167.5  
 -2SBD23BPRI23B 0975 .5197 3.182 167.5  
 -3SBD23CPRI23C  
 C  
 C LT PIRIPIRI 230 KV - TERF: SINA 230 KV  
 C  
 -1PRI23ATS23A 4629 1.635 2.176 154.5  
 -2PRI23BTS23B .0976.5197 3.180 154.5  
 -3PRI23CTS23C  
 C  
 C  
 C  
 C — I.INIIAS REPRESENTADAS DE 69 KV <—



G  
C LT FORTALEZA 69 KV - DELMIRO GOUVEIA 69 KV - CIRCUITO 1  
C  
-IF69A DMG69A 2942 1.764 1.680 6 1  
-2F69B DMG69B . 1160 .4450 3.994 6.1  
-3F69C DMG69C  
C  
C LT FORTALEZA 69 KV - DELMIRO (KM VEIA 69 KV - CIRCUITO 2  
C  
-IF69A DMG69A .2941 1.764 1.677 5.81  
-2F69B DMG69B . 1160 .4230 3.977 5.81  
-3F69C DMG69C  
G  
C DADOS DE REATORES  
C REATOR DE 30.0 MVAR/230 KV (V=1.040 PU/32.4 MVAR) MIJG  
G  
MLG23A 1766.0  
MLG23B 1766.0  
MLG23C 1766.0  
C  
G REATOR DE 30.0 MVAR/230 KV (X I 041 PI' 32.5 MVAR) BNB  
C  
BNB23A 1763.9  
BNB23B 1763.9  
BNB23C 1763.9  
G  
C REATOR DE 10.0 MVAR/230 KV (V-1.022 PU/10.4 MVAR) FTZ FIC  
C  
FCFICA 5312.8  
FGFICB 5312.8  
FCHCC 5312.8  
C  
C REATOR DE 30.0 MVAR/230 KV (V-1.022 PU/31.3 MVAR) FTZ  
C  
FC23A 1765.3  
IC23B 1765.3  
FC23C 1765.3  
C  
C REATOR DE 20.0 MVAR/230 KV (V-1.018 PU/20.7 MVAR) SBD  
G  
SRD23A 2648.4  
SBD23B 2648.4  
SBD23C 2648.4  
C  
C  
C DAIX)S DE BANCO DE CAPACITORES  
C  
C BANCO DE CAPACITORES 23.2MVAR/69KV (1.044PU/23.2MVAR) MILAGRES  
C  
MLG69A 4471.0  
MLG69B 4471.0  
MLG69C 4471.0  
C  
G BANCO DE CAPACITORES 43.15MVAR/69KV (L028PU/43.15MVAR) FORTALEZA  
C  
F69A XI 15.0  
F69B 8115.0  
F69C 8115.0  
C  
C BANCO DE CAPACITORES 43.15MVAR/69KV (L.028PU/43.15MVAR) FORTALEZA  
C  
F69A 8115.0  
F69B 8115.0  
F69C 8115.0  
C  
C BANCO DE CAPACITORES 90.1 69KV (L.028/90.1 MVAR) DELMIRO  
C  
DMG69A 17908.  
DMG69B 17908.  
DMG69C 17908.  
C  
C BANCO DE CAPACITORES 6.4MVAR/13.8KV (1.052PU/6.4MVAR) FORTALEZA  
G

```

F131A          30366.
F131B          30366.
F131C          30366.
C
C BANCO DE CAPACIDADES 0.9MVAR/13.8KV (1.032PU/0.9MVAR) 1-ORTAJA
C
1-132A         4437.4
F132B         4437.4
F132C         4437.4
C
C***
C DADOS DE TRANSFORMADORES
C " "
C
C TRANSFORMADOR MILAGRES 230/69/13.8 kV 100 MVA (04T3)
C TAP 1.000 PU
C
TRANSFORMER          TMLG1A
9999
IMIX123A           73.61 132.79
2MIXJ69AMIXJ69B   -0.921 69.0
3MLG13A            0.212 7.97
TRANSFORMER TMLG1A      TMIX11B
IMIX123B
2MIX169DMIX169C
3MLG13B
TRANSFORMER TMIX11A      TMIX11C
IMLG23C
2MIX169CMIX169A
3MIX113C
C
C TRANSFORMADOR MILAGRES 230/69/13.8 kV 100 MVA (04T4)
C TAP 1.000 PU
C
TRANSFORMER          TMIX12A
9999
IMIXJ23A           73.346132.79
2MLG69AMIXJ69B     -0.907 69.0
3MLG13A            0.210 7.97
TRANSFORMER TMLG2A      TMIX12B
IMIX123B
2MLG69BMLG69C
3MIX113B
TRANSFORMER TMLG2A      TML02C
IMIX123C
2ML069CMIX369A
3MIX113C
C
C TRANSFORMADOR FORTAJAZA 230/69 KV 100 MVA (04T1)
C TAP = 0.974PU
C
TRANSFORMER          TFTZ1A
9999
IFC23A             35.10 129.34
2F69A F69B         9.477 69.0
TRANSFORMER TFTZ1A      TFTZ1B
IFC23B
2F69B F69C
TRANSFORMER TFTZ1A      TFTZ1C
IFC23C
2F69C F69A
C
C
C TRANSFORMADOR FORTAJLZA 230/69 KV 100 MVA (04T2)
C TAP = 0.974PU
C
TRANSFORMER          TFTZ2A
9999
IFC23A             34.13 129.34
2F69A F69B         9.216 69.0
TRANSFORMER TFTZ2A      TFTZ.2B
IFC23B
2F69B F69C
TRANSFORMER TFTZ2A      TFTZ2C
IFC23C
2F69C F69A
C
C
C TRANSFORMADOR FORTAIEZA 230/69/13.8 kV 100 MVA (04'B)
C TAP 0.974PU

```

C  
TRANSFORMKR TFTZ3A  
9999  
1FC23A 75.17 129.34  
2F69A F69B -1.75 69.0  
// III A .1377 7.97  
TRANSFORMER TFTZ3A TFTZ3B  
1FC23B  
2F69B F69C  
3F131B  
TRANSFORMER TITZ3A ri-TZJC  
1FC23C  
2F69C F69A  
3F1.31C  
C  
C TRANSFORMADOR FORTALEZA230/69/13.8 kV 100 MVA(f04T4)  
C TAP-0.974PU  
C  
TRANSFORMER TFTZ4A  
9999  
1FC23A 75.28 129.34  
2F69A F69B -1.80 69.0  
3F132A .1370 7.97  
TRANSFORMKR TFTZ4A TFTZ4B  
1FC23B  
2F69B F69C  
1F132B  
TRANSFORMKR TFTZ4A TFTZ4C  
1FC23C  
2F69C F69A  
3F132C  
C  
C TRANSFORMADOR DELMIRO GOUVEIA 230/69 KV  
C TAP NO LADO DE 230KV V D EQUIVALENTE 02 TRAPOS  
C TAP - 1.004PU  
C  
TRANSFORMKR TDMG1A  
9999  
1DMG23A 16.538133.32  
2DMG69ADMG69B 4.465 69 0  
TRANSFORMKR TDMG1A TDMG1B  
1DMG23B  
2DMG69BDMG69C  
TRANSFORMKR TDMG1A TDMG1C  
1DMG23C  
2DMG69CDMG69A  
C  
C  
C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69/13.8 KV-20 MVA DELTA-KSTRKLA  
C PARA LIGAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO NO LADO 13.8 KV  
C CONSIDERADO TAP - 1.00 PU TRAF0 T1  
C  
TRANSFORMKR ITMIA  
9999  
1F69A F69B 35.71 69.00  
2I131 A 4761 7.97  
TRANSFORMKR TITMIA TITMD3  
1E69B F69C  
2I-T3LB  
TRANSFORMKR TITMIA TITMIC  
1F69C F69A  
2F13LC  
C  
C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69/13.8 KV-20 MVA DELTA-ESTRELA  
C PARA LIGAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO NO LADO 13.8 KV  
C CONSIDERADO TAP - 1.00 PU TRAF0 12  
C  
TRANSFORMKR TITMIA  
9999  
1F69A F69B 35.71 69.00  
2F13LA .4761 7.97  
TRANSFORMER TITMIA TITMIB  
1F69B F69C  
2F131B  
TRANSFORMKR TITMIA TITMIC  
1F69C F69A  
2F13LC  
C  
C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69/13.8 KV-20 MVA DELTA-ESTRELA  
C PARA LIGAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO NO LADO 13.8 KV

C CONSIDERADO TAP = 1.00 PU TRAF0 T3

C

TRANSFORMER	TFTMIA	
9999		
1F69A F69B	35.71	69.00
2F13LA	.4761	7.97
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIB
1F69B F69C		
2F13LB		
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIC
1F69C F69A		
2F13LC		

C

C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69 13.8 KV-20 MVA DELTA-ESTREIA

C PARA LIGACAO DO MOTOR DE INDUÇAO NO I ADO 13.8 KV

C CONSIDERADO TAP = 1.00 PU TRAF0 T4

C

TRANSFORMER	TFTMIA	
9999		
1F69A F69B	35.71	69.00
2F13LA	.4761	7.97
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIB
1F69B F69C		
2F13LB		
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIC
1F69C F69A		
2F13LC		

C

C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69/13.8 KV-20 MVA DELTA-ESTREIA

C PARA LIGACAO IX) MOTOR DE INDUÇAO NO I.AIX) 13.8 KV

C CONSIDERADO TAP = 1.00 PU TRAF0 T5

C

TRANSFORMER	TFTMIA	
9999		
1F69A F69B	35.71	69.00
2F13IA	.4761	7.97
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIB
1F69B F69C		
2F13LB		
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIC
1F69C F69A		
2F13LC		

e

C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69/13.8 KV-20 MVA DELTA-ESTREIA

C PARA LIGACAO IX) MOTOR DE INDUÇAO NO LAIX) 13.8 KV

C CONSIDERADO TAP - 1.00 PU TRAF0 T6

C

TRANSFORMER	TFTMIA	
9999		
1F69A F69B	35.71	69.00
2F13LA	.4761	7.97
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIB
1F69B F69C		
2F13LB		
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIC
1F69C F69A		
2F13LC		

C

C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69/13.8 KV-20 MVA DELTA-ESTREIA

C PARA LIGACAO DO MOTOR DE INDUÇAO NO LADO 13.8 KV

C CONSIDERADO TAP - 1.00 PU TRAF0 T7

C

TRANSFORMER	TFTMIA	
9999		
1F69A F69B	35.71	69.00
2F13LA	.4761	7.97
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIB
1F69B F69C		
2F13LB		
TRANSFORMER TFTMIA		TFTMIC
1F69C F69A		
2F13LC		

C

C TRANSFORMADOR FORTALEZA 69/13.8 KV-20 MVA DELTA-ESTREIA

C PARA LIGACAO DO MOTOR DE INDUÇAO NO LADO 13.8 KV

C CONSIDERADO TAP - 1.00 PU TRAF0 T8

C

TRANSFORMER	TFTMIA	
9999		
1F69A F69B	35.71	69.00

2F13LA 4761 7.97  
 TRANSFORMER TFTMIA TFTMIB  
 1I69B F69C  
 2II.II,B  
 rANSFORMER TFT MIA TFTMIC  
 1F69C F69A  
 2F1.3LC  
 C  
 C  
 C CAPACITANCIÁS PARA ATERRAMENTO IX)S DEITAS DOS TRANSFORMADORES E NEUTROS DE BC

MLG69A	1.131
MLG69B	1.131
MLG69C	1.131
F69A	1.131
F69B	1.131
F69C	1.131
DMG69A	1.131
DMG69B	1.131
DMG69C	1.131
YCAP	1.131
DCAP	1.131
VCAPM	1.131
DCAPM	1.131

C  
 C  
 C  
 C —> CARGAS NOS BARRAMENTOS <—  
 C  
 C  
 C CARGA BOM NOME 230 KV (56.10MW/2.76MVAR. V 1.037 PU )  
 C  

BNQ23A	1011.6	49.77
BN023B	1011.6	49.77
BN023C	1011.6	49.77

 C  
 C CARGA MILAGRES 230 KV (62.86MW/6.67MVAR. V-1.040 PU)  
 C  

MLG23A	900.09	95.51
MLG23B	900.09	95.51
MLG23C	900.09	95.51

 C  
 C CARGA MILAGRES 69 KV (63.5 MW/8.5MVAR. V 1.044 PU)  
 C  

<a href="#">11.G69A</a>	80.28	10.75
<a href="#">MLG69B</a>	80.28	10.75
<a href="#">aXJ69C</a>	80.28	10.75

 C  
 C CARGA BANABUTI7 230 KV (146.70MW'-21.14 MVAR. V-1.041 PI')  
 C  

BNB23A	>82	83	1S127.
BNB23B	382.83		18127.
BNB23C	382.83		18127.

 C  
 C CARGA FORTALEZA 69 KV- 65% DA CARGA (250.25MW/89.7MVAR. V-1.028 PU )  
 C 40% DA C.VRGA MODEIADA COMO UNIVERSAL MACIUNE TYPE 3 CONFORME ABAIXO  
 C  

F69A	17.82	6.39
F69B	17.82	6.39
F69C	17.82	6.39

 C  
 C  
 C CARGA DELMIRO GOUVEIA 69 KV REF. 70% DA CARGA TOTAL.  
 C (119.0MW745.08MVAR. V-1.028 PU)  
 C  

DMG69A	36.97	14.01
DMG69B	36.97	14.01
DMG69C	36.97	14.01

 C  
 C CARGA DELMIRO GOUVEIA 69 KV REF. 30% DA CARGA TOTAL  
 C (510MW<19.32MVAR. V 1.028 PU)  
 C  

DMG69A	86.27	32.68
DMG69B	86.27	32.68
DMG69C	86.27	32.68

 C  
 C CARGA SOBRAL 230 KV (95.30MW/-23.74MVAR. V-1 018 PI D)  
 C  

SBD23A	541.64	7411.4
--------	--------	--------



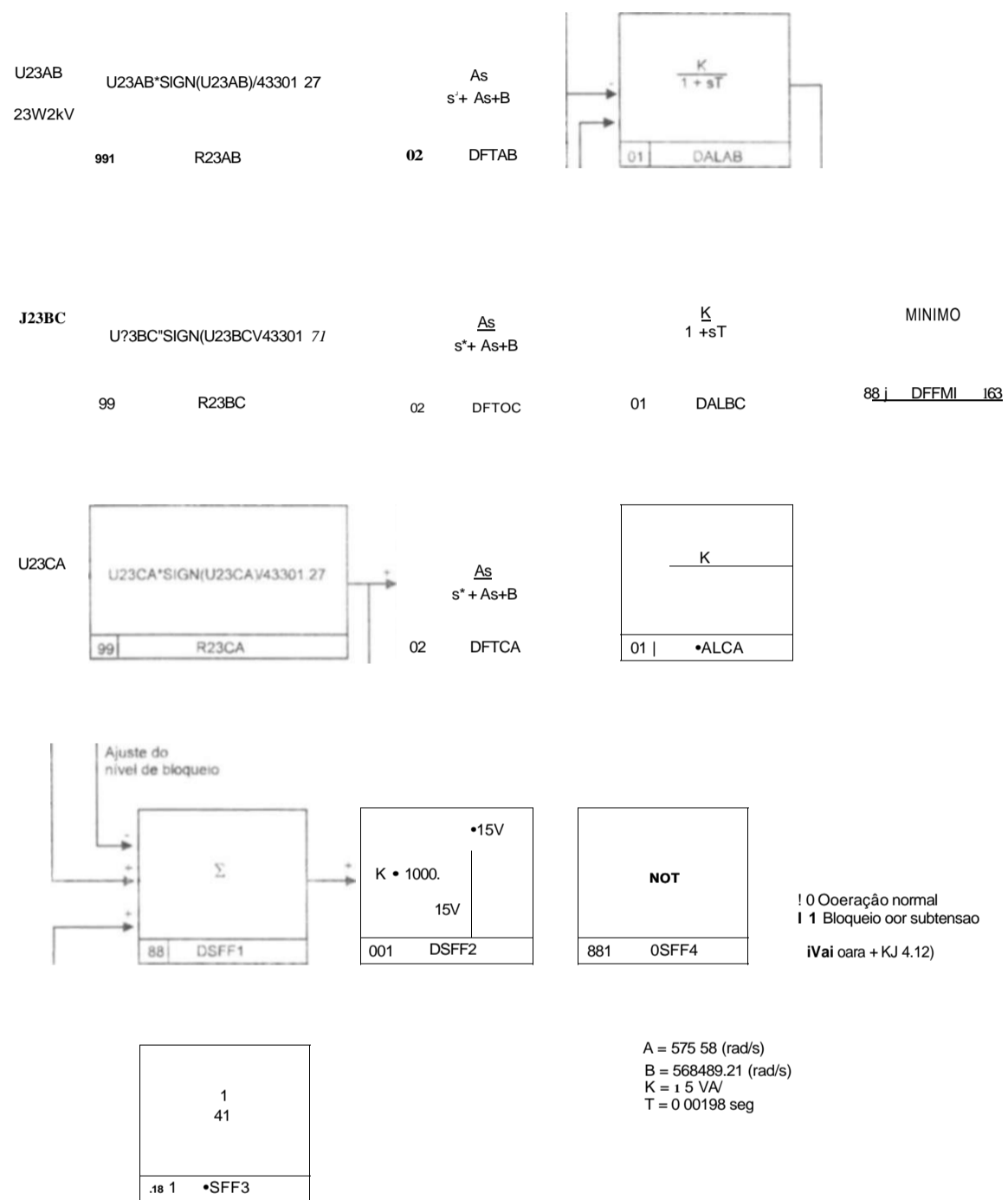


Fig.4.) Detecção do valor mínimo instantâneo do esquema de bloqueio por subtensão 230kV fase-fase.

C  
TRANSFORMES                      TSA  
<math>4 \times 10^{-8}</math>  
1FC23A FC2.3B                      4    23.E04  
2TSYA TSZA                      1.9K-8 8.346  
3TSZA                      2.3E-8 8.167  
4TSZB TSDB                      2.3E-8 8.167  
TRANSFORMER TSA                      TSB  
1FC23B FC23C  
2TSYB TSZB  
3TSZB  
4TSZC TSDC  
TRANSFORMER TSA                      TSC  
1FC23C FC23A  
2TSYC TSZC  
3TSZC  
4TSZA TSDA

C  
CAPACRrOR DE SURTO ( 0.1 MICRO FARADAY )  
C  
TY26A                      37.7  
TY26B                      37.7  
TY26C                      37.7

C  
TD26A                      37.7  
TD26B                      37.7  
TD26C                      37.7

C  
BANCOS DE GAPACITORES DO COMPENSADOR ESTÁTICO  
C ( 373 MICROFARADAY )  
C  
BY26AYCAP                      141E6  
BY26B YCAP                      141E6  
BY26CYCAP                      141E6  
BD26ADCAP                      141E6  
BD26BDCAP                      141E6  
BD26CDCAP                      141E6

C  
REATORES DO COMPENSADOR ESTATKXX 2X11.4 MH EM C.ADA RAMO )  
C  
LADO ESTRELA Q = 247  
C  
BY26A FY26AB                      .0174 4.2977  
BY26A LCYAC                      4.2977  
LCYCA FY26AC                      .0174  
BY26B FY26BC                      0174 4.2977  
BY26B LCYBA                      4.2977  
LCYAB FY26BA                      .0174  
BY26C FY26CA                      .0174 4.2977  
BY26C LCYCB                      4.2977  
LCYBC FY26CB                      .0174

G  
LADO DELTA Q - 247  
C  
BD26A FD26AB                      .0174 4.2977  
BD26A LCDAC                      4.2977  
LCDCA FD26AC                      0174  
BD26B FD26BC                      0174 4.2977  
BD26B LCDBA                      4.2977  
LCDAB FD26BA                      0174  
BD26C FD26CA                      .0174 4.2977  
BD26C ICDCB                      4.2977  
ICDBC FD26CB                      .0174

C  
RESISTÊNCIA DAS VÁLVULAS ( 5 MILIOHMS )  
C  
FY26/VBYYAB                      .0025  
TYAB FY26BA                      0025  
FY26BAVYBA                      .0025  
TYBA FY26AB                      0025  
1Y26BCVYBC                      .0025  
TYBC FY26CB                      0025  
FY26CBVYCB                      0025  
TYCB FY26BC                      0025  
FY26CAVYCA                      .0025  
TYCA FY26AC                      0025  
FY26ACVYAC                      .0025  
TYAC FY26CA                      0025

G  
FD26ABVDAB                      0025



TDAB	FD26BA	0025	
FD26BA	VDDBA	0025	
TDBA	FD26AB	.0025	
FD26BC	VDDBC	.0025	
TDBC	FD26CB	.0025	
FIW6CB	VDVCB	0025	
TDCB	FD26BC	0025	
ID26CA	VDCA	.0025	
TDCA	FD26AC	0025	
FD26AC	VDAC	0025	
TDAC	FD26CA	0025	

C

C SNUBER

C

FY26AB	FY26BA	864.	94.248
FY26BC	FY26CB	864.	94.248
FY26C	/FY26AC	864.	94.248

C

FD26AB	FD26BA	864.	94.248
1 D26BC	FD26CB	864.	94.248
FD26C	/FD26AC	864.	94.248

C

C RAMOS DE INTERLIGAÇÃO COM GERADOR DE INICIALIZAÇÃO

C

GY26A	BY26A	0001	
GY26B	BY26B	.0001	
GY26C	BY26C	.0001	
GD26A	BD26A	0001	
GD26B	BD26B	0001	
GD26C	BD26C	0001	

C

C ..... ..

C

C CIRCUITO DE POTENCIA DO COMPENSADOR ESTÁTICO DE MILAGRES

C

C ..... ..

C

C TRANSFORMADOR 230/12.3/12.3 - 100 MVA - Y Y D - MILAGRES

C

TRANSFORMER	CEMLGA		
9999			
IMIL23A	8.432132.79		
2TYM12	ATY12	0.405	7.10
3TDM12	ATDM12B	1.254	12.30
TRANSFORMER	CEMLGA		CEMLGB
IMIL23B			
2TYM12	BTY12		
1IDM12	BTDM12C		
TRANSFORMER	CEMLGA		CEMLGC
IMIL23C			
2TYM12	CTY12		
3TDM12	CTDM12A		

C

C TRANSFORMADOR DE SINCRONIZAÇÃO D/Y ZIGZAG 230KV/28.6V/24.5V

C

TRANSFORMER	TSMA		
9999			
1MLG23A	AMIX123B	4.	23.E04
2TSYMA	TSZMA	3.9E-8	8.346
3TSZMA		2.3E-8	8.167
4TSZMB	TSDMB	2.3E-8	8.167
TRANSFORMER	TSMA		TSMB
1MLG23B	BMLG23C		
2TSYMB	TSZMB		
3TSZMB			
4TSZMC	TSDMC		
TRANSFORMER	TSMA		TSMC
1MIX323	CMIX}23A		
2TSYMC	TSZMC		
3TSZMC			
4TSZMA	TSDMA		

C

C CAPACITOR DE SURTO ( 0.07 MICRO FARADAY )

C

1YM12A	26.39
TYM12B	26.39
TYM12C	26.39

C

IDM12A	26.39
TDM12B	26.39

IDM12C 26.39

C

C BANCOS DE CAPACITORES DO COMPENSADOR ESTÁTICO  
C ( 808.55 MICROFARADAY COM FILTRO DE 0.35 mH )

C

BYF12AYCAPM	305E6
BYF12BYCAPM	305E6
BYF12CYCAPM	» 5 E i
BDIT2.YDCAPM	305E6
BDF12BDCAPM	W5E6
BDF12CDCAPM	.305E6
BYM12ABYF12A	.1319
BYM12BBYF12B	.1319
BYM12CBYF12C	.1319
BDM12ABDF12A	.1319
BDM12BBDF12B	.1319
BDM12CBDF12C	.1319

C

C REATORES DO COMPENSADOR ESTÁTICO ( 2 \ 6.0 MH EM CADA RAMO )

C

C LADO ESTRELA Q-322.15

C

BYM12AFY12AB	.0078	2.2808
BYM12ALCYMAC		2.2808
LCYMCAFY12AC	.0078	
BYM12BFY12BC	.0078	2.2808
BYM12BLCYMB		2.2808
LCYMABFY12BA	.0078	
BYM12CFY12CA	.0078	2.2808
BYM12CLCYMCB		2.2808
LCYMBCFY12CB	.0078	

C

C LADO DELTA Q- 322.15

C

BDM12AFD12AB	.0078	2.2808
BDM12AIXDMAC		2.2808
ICDMCAF12AC	.0078	
BDM12BFD12BC	.0078	2.2808
BDM12BLCDMBA		2.2808
ICDMABFD12BA	.0078	
BDM12CFD12CA	.0078	2.2808
BDM12CICDMCB		2.2808
ICDMBCFD12CB	.0078	

C

C RESISTÊNCIA DAS VÁLVULAS ( 3 MILIOHMS )

C

FY12ABVYMAB	.0015
FY12BAYMAB	.0015
FY12BAVYMBA	.0015
FY12BAYMBA	.0015
FY12BCVYMBC	.0015
FY12BCVYMCB	.0015
FY12CAVYMCA	.0015
FY12CAVYMCB	.0015
FY12ACVYMAC	.0015
FY12ACVYMCB	.0015
FY12CAVYMCB	.0015

C

FD12ABVDMAB	.0015
FD12BAYDMAB	.0015
FD12BAYDMBA	.0015
FD12BAYDMBA	.0015
FD12BCVDMI3C	.0015
FD12BCVDMICB	.0015
FD12CAVDMCA	.0015
FD12CAVDMCB	.0015
FD12ACVDMAC	.0015
FD12ACVDMCB	.0015
FD12CAVDMCB	.0015

C

C SNUBER

C

FY12.ABFY12BA	240.	105.6
FY12BCFY12CB	240.	105.6
FY12CAFY12AC	240.	105.6

C

ID12ABFD12BA	240.	105.6
--------------	------	-------

FD12BCFD12CB	240.	105.6
FD12CAFD12AC	240.	105.6

C RAMOS DE INTERLIGAÇÃO COM GERADOR DE INICIAL I7.ACAO\*

C  
GY12ABYM12A .0001  
GY12B BYM12B .0001  
GY12C BYM12C .0001  
GD12A BDM12A .0001  
GD12B BDM12B .0001  
GD12C BDM12C .0001

C IMPEDÂNCIAS EQUIVALENTES COM MUTUAS EM PAI- 230 BP1

C  
51PF1UXABP123A .1584 5.819  
52P1TUXBBP123B 1588 9.786  
53PFTUXCBP123C

C IMPEDÂNCIAS EQUIVALENTES COM MUTUAS EM PAF 230 BP2

C  
51PF2UXABP223A .3179 7.882  
52PF2UXBBP223B .2649 11.58  
53 PF2UXCBP223C

C IMPEDÂNCIAS EQUIVALENTES COM MUTUAS EM TERESINA 230 KV

C  
51TSAUXATSA23A .6095 20.78  
52TSAUXBTA23B 10.01 72.42  
53TSAUXCTSA23C

C IMPEDÂNCIAS DE TRANSFERENCIA KNTRE PAFBPI E PAFBP2

C  
51BP123ABP223A .6336 23.12  
52BP123BBP223B .9535 15.82  
53BP123CBP223C

C  
BLANK

C PONTES DO COMPENSADOR ESTÁTICO CE FORTALEZA

C  
VYAB TYAB CIA )S11) CIYAB  
VYBC TYBC CLOSF1) GYBC  
VYCA TYCA CIX)SED GYCA  
  
NABA TYBA CLOSED GYBA  
VYCB TYCB CLOSED GYCB  
VYAC TYAC CIA )S1:D GYAC  
  
\ DAB TDAB CLOSED CIDAB  
VDBC TDBC CIX)SED ODBC  
VDCA TDCA CLOSED GDCA  
  
VDBA TDBA CL< >SFI) GDBA  
VDCB TDCB CLOSED GDCB  
VDAC TDAC CTJOSED GDAC

MEDIÇÃO DE CORRENTE NO 230 KV IX) CE FORTALEZA

IC23A FT23A	MEASURING
FC23B FT23B	MEASURING
FC23C FT23C	MEASURING

BY26A TY26A-1  
BY26B TY26B-1  
BY26CTY26C-1  
BD26ATD26A-1  
BD26BTD26B-1  
BD26CTD26C-1

CHAVES PARA APLICAÇÃO DO CURTO TRIFÁSICO NO 230 KV DE FORTALEZA

FCUXA	0.4	0.6
FCUXB	0.4	0.6
FCUXC	0.4	0.6

C CHAVE PARA ABERTURA DA LT BNB-FTZ 230 KV APOS ELIMINAÇÃO DO CURTO

C  
FC23A FCUXA -1. 0.6  
FC23B FCUXB -1. 0.6  
FC23C FCUXC -1. 0.6

BNB23ABNBUXA-L 0.6  
BNB23BBNBUXB-1. 0.6  
BNB23CBNBUXC-1. 0.6

C

C

C CHAVE PARA O GERADOR DE INICIALIZAÇÃO  
GIY26AGY26A .020  
GIY26BGY26B -1. (020)  
GIY26CGY26C -1. .020  
GID26AGD26A .020  
GID26BG1>26B .020  
GID26CGD26C .020

INDICAÇÃO DO CIRCUITO I.IMITADOR DE CORRENTE CE ET/

I.CYAB LCYÛA MEASURING  
I.CYBC IJCYCB MEASURING  
I.CYCA LCYAC MEASURING

LCDAB LCDBA MEASURING  
ICDBC LCDCB MEASURING  
LCDCA LCDAC MEASURING

C

C

C PONTES DE 1 IRIS TORES IX) COMPENSADOR ESTÁTICO DE MILAGRES

C

11VYMAB TYMAB CIJOSED GYMAB  
11VYMBCTYMBC CLOSED GYMBC  
11VYMCA TYMCA CLOSED GYMCA

C

11VYMBA TYMBA CIJOSED GYMBA  
11VTMCB TYMCB CLOSED GYMCB  
11VYMAC TYMAC CLOSED GYMAC

C

11VT)MAB TDMAH CLOSED GDMAB  
11VDMBC TDMBC CUBED GDMBC  
11VDMCA TDMCA CLOSED GDMCA

C

11VDMBA IDMBA CLOSED GDMBA  
11VDMCB TDMCB CLOSED ODMCB  
11VDMAC TDMAC CIJOSED GDMAC

C

C MEDIÇÃO DE CORRENTE NO 230 KV

C

MIX523AMIL23A MEASURING  
MLG23BMIL23B MEASURING  
MLG23CMIL23C MEASURING

C

BYM12ATYM12A-1. 4.  
BYM12BTYM12B-1. 4.  
BYM12CTYM12C-1. 4  
BDM12ATDM12A-1. 4.  
BDM12BTDM12B-1. 4  
BDM12CTDM12C-1. 4

C

C CHAVE PARA O GERADOR DE INICIALIZAÇÃO

GIY12AGY12A -1. 020  
GIY12BGY12B -1. .020  
GIY12CGY12C -1. 020  
GID12AGD12A -1. .020  
GID12BGD12B -1. (120)  
GID12CGD12C -1. .020

C

C

C MEDIÇÃO DO CIRCUITO LIMITADOR DE CORRENTE CE MI.G

C

ECYMABI CYVBA MEASURING  
LCYMBCLCYMCB MEASURING  
LCYMCALCYMAC MEASURING

C

LCDMABICDMBA MEASURING  
LCDMBCLCDMCB MEASURING  
ECDMCAICDMAC MEASURING

C

BLANK

C

C PONTES EQUIVALENTES

c .....\*\*.....

G  
C FONTE EQUIVALENTE EM PAULO AFONSO 230 KV -BP1  
C  
14PF1UXA 197444.87 60. -1.326 -1.  
14PF1UXB 197444.87 60. -121.326 -1.  
14PF1UXC 197444.87 60. 118.674 -1.  
C  
C FONTE EQUIVALENTE EM PAUXJ AFONSO 230 KV -BP2  
C  
14PF2UXA 197156.19 60. -1.851 -1.  
14PF2UXB 197156.19 60. -121.851 -1.  
MPI-^1'XC 197156.19 60. 118.149 -1.  
C  
I I (>NTE EQUIVALENTE EM TERESINA 230 KV  
C  
14TSAUXA 188646.75 60. -16.10 -1.  
14TSAUXB 188646.75 60. -136.10 -1.  
14TSAUXC 188646.75 60. 103.90 -1.  
C  
C .....  
C AS FONTES DE INICIALIZAÇÃO DEVEM SER DEFINIDAS CONFORME INSTRUÇÕES IX)  
C RT IX)EP 01/91. SAO AS GIY26 A.B.C EGID26 A.B.C.  
C .....«  
C  
14GIY26A 22102.98 60. -50.8604 -1. 4.  
14GIY26B 22102.98 60. -170.8604 -1. 4.  
14C.IY26C 22102.98 60. 69.1396 -1. 4.  
14(iID26A 22104.58 60. -80.9183 -1. 4.  
14GID26B 22104.58 60. 159.0X17 -1. 4.  
14GID26C 22104.98 60. 39 0817 -1. 4.  
e  
14GIY12A 11132.54 60. -28.6451 -1. 4.  
14GIY12B 11132.54 60. -148.6451 -1. 4.  
14(iY12C 11132.54 60. 91 3549 -1. 4.  
14GID12A 11155.80 60. -58.6451 -1. 4.  
14GID12B 11155.80 60. -178.6451 -1. 4.  
14GID12C 11155.80 60. 61.3549 -1. 4.  
C  
C  
C MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO TIPO GAi 3LA SIMPIES, 13.8 KV. 160000 HP  
C REPRESENTANDO 35% DA CARGA DE FORTAIJvZA (TYPE 3 UM)  
C  
C——MECHANICAL IX)AD TORQUE ( ACTUAL VALUE SET BY SS INITIALIZATION )  
C  
C 14BUSMS-1 6.19E5 0.00001 -1.0  
C  
14BUSMS -1 0.000010.00001 -1.0  
C  
C STEP IX)WN IN IX)AD TORQUE AFTER 0.1 SECONDS  
C  
C 14BUSMS-1 3000.0 0 00001 0.1  
G  
C——UM DATA  
19 UM  
1 1  
C  
BLANK  
C——1iM MACHINE-TABLE  
C——UM TYPE 3 ( INDUCTION MACHINE ) DATA  
C  
3 1 1111BUSMG 2  
0.024146  
0.024146  
G  
C STEADY-STATE INITIALIZATION REQUEST AT 29 % SLIP  
C  
29 BUSMS  
C——I'M COIL-TABLE  
C THE POWER (ARMATURE/STATOR) COILS :  
C  
F13LA 1  
C REMARK: IF NO ZERO CURRENT OF THE POWER COWS IS DESIRED. THEN SIMPLY IEAVE  
C THE RESISTANCE AS WEIX AS THE INDUCTANCE IN THE CARD ABOVE BIANK.  
C  
0 007094 0.0004580 IT 3LB 1  
0.007094 0.0004580 F13IC 1  
C  
C THE EXCITATION (ROTOR) COILS :  
C  
0.039134 0.0004580 1

0.039134 0.00045X0 1  
C  
BLANK  
iii ANK  
C-----REQUEST FOR OITPUT OF NODE VOLTAGES  
C  
I13LA F13LB F13LC BUSMG FC23A FC23B FC23C \ILG23AMLG23BMLG23C  
BLANK  
SCI.OSE.1 MI 4. STATUS KEEP  
BLANK  
III.ANK

## ANEXO 9 10 - LISTAGENS DE SAÍDA DO PROGRAMA INDMOT

### 9.10.1 - Motor de Indução Correspondente a 10% da Carga do 69kV da SE Fortaleza

#### Input data

Type of motor \_\_\_\_\_ Single cage

System frequency Hz \_\_\_\_\_ 60  
 Rated voltage kV \_\_\_\_\_ 13.8  
 Horse power rating hp \_\_\_\_\_ 45000  
 Synchronous speed r.p.m. \_\_\_\_\_ 1800  
 Rated power factor \_\_\_\_\_ .9414  
 Full load slip % \_\_\_\_\_ 1  
 Full load efficiency \_\_\_\_\_ .98  
 Direct across line starting current p.u. - 6  
 Starting torque p.u. \_\_\_\_\_ .95  
 Pull-out (maximum) torque p.u. \_\_\_\_\_ 3.02  
 Inertia kg.m-2 \_\_\_\_\_ 1961.687  
 Load torque N-m \_\_\_\_\_ 173979.14  
 Leakage reactance saturation  
 threshold current p.u. \_\_\_\_\_ 2

#### Motor equivalent circuit parameters

adjusted for consistent performance data

Italic numbers in brackets are the specified values

All quantities on MVA rating

Motor rated voltage kV 13.80 ( 13.8 )  
 Motor HP rating HP 45000.00 ( 45000 )  
 Slip % 2.90 ( 1 )  
 Power factor 0.925 ( .9414 )  
 Efficiency 0.966 ( .98 )  
 Starting torque p.u. 0.93 ( .95 )  
 Pull-out torque (max. torque) 3.02 ( 0 )  
 Starting current p.u. 6.03 ( 6 )  
 Inertia m4cg2 or Farad 196.69 ( .97kWs/kVA )  
 Load torque N-m or A 173979.14  
 Damping I / (N-m/(rad/s)) or ohm 0.04  
 Stator resistance p.u. 0.004755  
 Stator xl non saturated \* p.u. 0.057907  
 Stator xlsat saturated \* p.u. 0.024113  
 Rotor xl's same as stator  
 Magnetizing reactance p.u. 6.101319  
 Rotor outer cage resistance p.u. 0.026230  
 Rotor inner cage resistance p.u. 0.000000  
 Rotor inner cage reactance p.u. 0.000000  
 Rotor type single cage

\* unsaturated and saturated components respectively

• the total stator or rotor leakage reactances are

$2 \cdot x_l$  for the unsaturated and  $x_{ln} \cdot x_{ls}$  for the saturated conditions  
 the saturated condition is taken at the value of the starting current

the values of the cage factor assumed are:

$m = 1$  for double cage -  $m = 6$  for deep bar rotor

#### Coil parameters for #3 type U.M.machtne

Direct axis common inductance  $l_m$  0.085854  
 Quad, axis common inductance  $l_m$  0.085854  
 d axis resistance blank  
 q axis inductance blank  
 d axis resistance  $r_s$  0.025222  
 d axis leakage inductance unsaturated  $l_{stn}$  0.001630  
 d axis leakage inductance saturated  $l_{sts}$  0.001154  
 q axis resistance  $r_{st}$  0.025222  
 q axis leakage inductance unsaturated  $l_{stn}$  0.001630  
 q axis leakage inductance saturated  $l_{sts}$  0.001154  
 Rotor coils d axis  
 d axis resistance  $r_{rotl}$  0.139144  
 d axis leakage inductance unsaturated  $l_{rotln}$  0.001630  
 d axis leakage inductance saturated  $l_{rotls}$  0.001154  
 Rotor coils q axis  
 same as for the d axis

### 9.10.2- Motor de Indução Correspondente a 20% da Carga do 69kV da SE Fortaleza

Input data

Type of motor \_\_\_\_\_ Single cage

System frequency Hz \_\_\_\_\_ 60  
Rated voltage kV \_\_\_\_\_ 13.8  
Horsepower rating hp \_\_\_\_\_ 90000  
Synchronous speed r.p.m. \_\_\_\_\_ 1800  
Rated power factor \_\_\_\_\_ .9414  
Full load slip % \_\_\_\_\_ 1  
Full load efficiency \_\_\_\_\_ .98  
Direct across line starting current p.u. - 6  
Starting torque p.u. \_\_\_\_\_ .95  
Pull-Out (maximum torque) pu \_\_\_\_\_ 0  
Inertia kg.m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 3923.373  
Load torque N-m \_\_\_\_\_ 347958.28  
Cage reactance saturation  
threshold current p.u. \_\_\_\_\_ 2

Motor equivalent circuit parameters

adjusted for consistent performance data

The numbers in brackets are the specified values

All quantities on MVA rating

Motor rated voltage kV 13.80 ( 13.8 )  
Motor HP rating HP 90000.00 ( 90000 )  
Slip % 2.90 ( 1 )  
Power factor 0.925 ( .9414 )  
Efficiency 0.966 ( .98 )  
Starting torque p.u. 0.93 ( .95 )  
Pull-out torque (max. torque) 3.02 ( 0 )  
Starting current p.u. 6.03 ( 6 )  
Inertia m-kg<sup>2</sup> or Farad 3923.37 ( .97kWs/kVA)  
Load torque N-m or A 347958.28  
Damping F (N-nv(rads)) or ohm 0.02  
Stator resistance p.u. 0.004755  
Stator x<sub>l</sub> mm saturated \* p.u. 0.057907  
Stator x<sub>lsat</sub> saturated \* p.u. 0.024113  
Rotor x<sub>l</sub>'s same as stator  
Magnetizing reactance p.u. 6.101319  
Rotor outer cage resistance p.u. 0.026230  
Rotor inner cage resistance p.u. 0.000000  
Rotor inner cage reactance p.u. 0.000000  
Rotor type single cage

\* unsaturated and saturated components respectively

\* the total stator or rotor leakage reactances are

2\*x<sub>l</sub> for the unsaturated and x<sub>ln</sub> + x<sub>ls</sub> for the saturated conditions

the saturated condition is taken at the value of the starting current

the values of the cage I factor assumed are:

m = 1 for double cage - m = .6 for deep bar rotor

Coil parameters for >3 type I.M. machine

Direct axis common inductance l<sub>m</sub> 0.042927  
Quad. axis common inductance l<sub>m</sub> 0.042927  
0 axis resistance blank  
0 axis inductance blank  
d axis resistance r<sub>s</sub> 0.012611  
d axis leakage inductance unsaturated l<sub>stn</sub> 0.000815  
d axis leakage inductance saturated l<sub>sts</sub> 0.000577  
q axis resistance r<sub>sl</sub> 0.012611  
q axis leakage inductance unsaturated l<sub>stn</sub> 0.000815  
q axis leakage inductance saturated l<sub>sts</sub> 0.000577  
Rotor coils d axis  
#1 resistance r<sub>rotl</sub> 0.069572  
#1 leakage inductance unsaturated l<sub>rotln</sub> 0.000815  
#1 leakage inductance saturated l<sub>rotls</sub> 0.000577  
Rotor coils q axis  
same as for the d axis

9.10.3- Motor de Indução Correspondente a 30% da Carga do 69kV da SE Fortaleza

Input data

Type of motor \_\_\_\_\_ Single cage

System frequency Hz \_\_\_\_\_ 60



Rated voltage kV———13.8  
 Horse power rating hp———133000  
 Synchronous speed r.p.m.———1800  
 Rated power factor———0.9414  
 Full load slip %———1  
 Full load efficiency———0.98  
 Direct across line starting current p.u.———6  
 Starting torque p.u.———0.95  
 Pull-out (maximum) torque p.u.———0  
 Inertia kgm<sup>2</sup>———5885.06  
 Load torque N-m———521937.41  
 Leakage reactance saturation  
 threshold current p.u.———2

**Motor equivalent circuit parameters**  
 adjusted for consistent performance data  
 The numbers in brackets are the specified values  
 \II quantities on MVA rating

Motor rated voltage kV 13.80 ( 13.8 )  
 Motor HP rating HP 135000.00 ( 135000 )  
 Slip % 2.90 ( 1 )  
 Power factor 0.925 ( .9414 )  
 Efficiency 0.966 ( .98 )  
 Starting torque p.u. 0.93 ( .95 )  
 Pull-out torque (max. torque) 3.02 ( 0 )  
 Starting current p.u. 6.03 ( 6 )  
 Inertia  $\text{nvkg}^2$  or Farad 5885.06 ( 97kVVkVA )  
 Load torque N-m or A 521937.41  
 Damping F (N-nv(rauVs)) or olim 0.01  
 Stator resistance p.u. 0.004755  
 Stator  $x_l$  non saturated \* p.u. 0.057907  
 Stator  $x_{lsat}$  saturated \* p.u. 0.024113  
 Rotor  $x_l$ 's same as stator  
 Magnetizing reactance p.u. 6.101319  
 Rotor outer cage resistance p.u. 0.026230  
 Rotor inner cage resistance p.u. 0.000000  
 Rotor inner cage  $e_{aCtnCC}$  p.u. 0.000000  
 Rotor type sinec cage  
 \* unsaturated and saturated on  $\wedge$  onenls respectively  
 \* the total stator or rotor : ... a  $\tilde{c}$  reactances are  
 $2 * x_l$  for the unsaturated and  $x_{ln} + x_{ls}$  for the saturated conditions  
 the saturated condition is taken at the value of the stator current

the values of the cage factor assumed are:  
 $m = 1$  for double cage -  $m = .6$  for deep bar rotor

Coil parameters for »3 type I 'M.machine

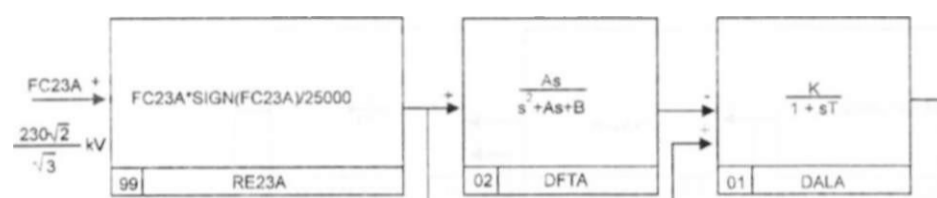
Direct axis common inductance  $L_m$  0.028618  
 $t^{\wedge}$ uad. axis common inductance  $L_m$  0.028618  
 d axis resistance blank  
 q axis inductance blank  
 d axis resistance  $r_s$  0.008407  
 d axis leakage inductance unsaturated  $L_{stn}$  0.00054 \*  
 d axis leakage inductance saturated  $L_{sLs}$  0.000385  
 q axis resistance  $r_{st}$  0.008407  
 q axis leakage inductance unsaturated  $L_{stn}$  0.000543  
 q axis leakage inductance saturated  $L_{sts}$  0.000385  
 Rotor coils d axis  
 d axis resistance  $r_{rotl}$  0.046381  
 \* d axis leakage inductance unsaturated  $L_{rot In}$  0.000543  
 d axis leakage inductance saturated  $L_{rot Is}$  0.000385  
 Rotor coils q axis  
 same as for the d axis

#### 9.10.4- Motor de Indução Correspondente a 35% da Carga do 69kV da SE Fortaleza

Input data

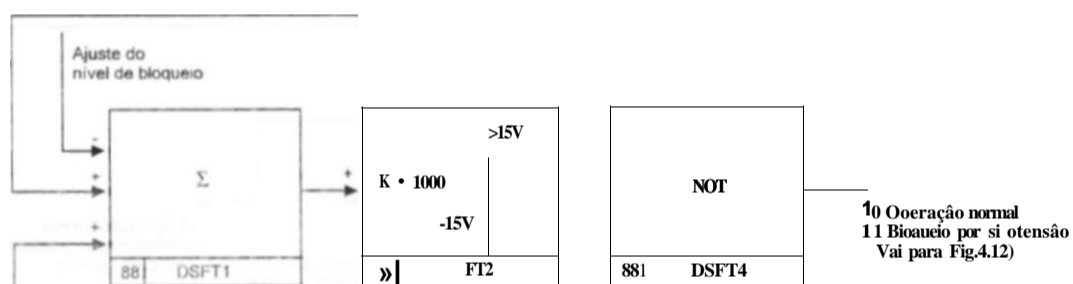
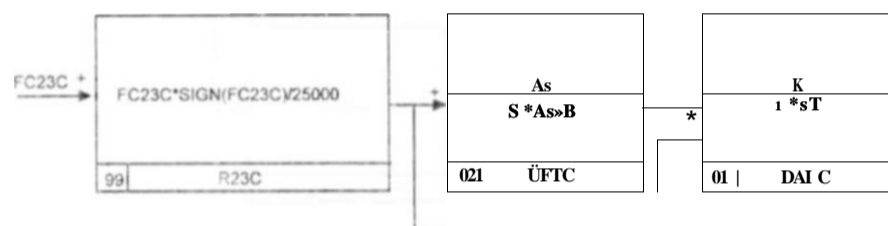
Type of motor———Single cage

System frequency Hz———60  
 Rated voltage kV———13.8  
 Horse power rating hp———160000  
 Synchronous speed r.p.m.———1800  
 Rated power factor———0.9414  
 Full load slip %———1



hC23B      rC23B\*SIGN(FC23BV26GOO       $\frac{As}{s*As+B}$       1-sT      AiNIMO

09      R23B      02      DFTB      01      DALB      881 CFFMI | 63



A = 575 58 (rad/s)  
 B = 568489 21 (rad/sV)  
 K = 1 5 VA/  
 T = 0 00198 seg

88 ÜSFT3

Fig.4.10 Detecção do valor mínimo instantâneo do esquema de bloqueio por subtensão 230kV fase-neutro.

Full load efficiency-----.98  
 Direct across line starting current p.u.--(>  
 Starting torque . p.u. ----- .95  
 Pull-out (maximum torque) p.u.-----0  
 Inertia kgm<sup>2</sup>-----6974.886  
 load torque \-m-----618592.50  
 Leakage reactance saturation  
 threshold current p.u.-----2

Motor equivalent circuit parameters  
 listed for consistent performance data  
 The numbers in brackets are the specified values  
 All quantities on MVA rating

Motor rated voltage kV 13.80 ( 13.8 )  
 Motor HP rating HP 160000.00 ( 160000 )  
 Slip "o 2.90 ( 1 )  
 Power factor 0.925 ( .9414 )  
 Efficiency 0.966 ( .98 )  
 Starting torque p.u. 0.93 ( .95 )  
 Pull-out torque (max. torque) 3.02 ( 0 )  
 Starting current p.u. 6.03 ( 6 )  
 Inertia mkg<sup>2</sup> or farad 6974.89 ( .97 kW&TVA )  
 load torque N-m or A 618592.50  
 Damping I' (N-m/(rad's)) or ohm 0.01  
 Stator resistance p.u. 0.004755  
 Stator xl non saturated \* p.u. 0.057907  
 Stator xlsat saturated \* p.u. 0.024113  
 Rotor xl's same as stator  
 Magnetizing reactance p.u. 6.101319  
 Rotor outer cage resistance p.u. 0.026230  
 Rotor inner cage resistance p.u. 0.000000  
 Rotor inner cage reactance p.u. 0.000000  
 Rotor type single cage  
 \* unsaturated and saturated components respectively  
 \* the total stator or rotor leakage reactances are  
 2\*xl for the unsaturated and xln + xls for the saturated conditions  
 the saturated condition is taken at the value of the starting current

the values of the cage factor assumed are:  
 m = 1 for double cage - m = .6 for deep bar rotor

Coil parameters for #3 type U.M. machine

Direct axis common inductance Im 0.024146  
 Quad, axis common inductance Im 0.024146  
 d axis resistance blank  
 d axis inductance blank  
 d axis resistance rs 0.007094  
 d axis leakage inductance unsaturated Istn 0.000458  
 d axis leakage inductance saturated Ist 0.000325  
 q axis resistance rst 0.007094  
 q axis leakage inductance unsaturated Istn 0.000458  
 q axis leakage inductance saturated Ist 0.000325  
 Rotor coils d axis  
 -I resistance mill 0.039134  
 -I leakage inductance unsaturated Irotln 0.000458  
 -I leakage inductance saturated Irotls 0.000325  
 Rotor coils q axis  
 same as for the d axis

### 9.10.5- Motor de Indução Correspondente a 40% da Carga do 69kV da SE Fortaleza

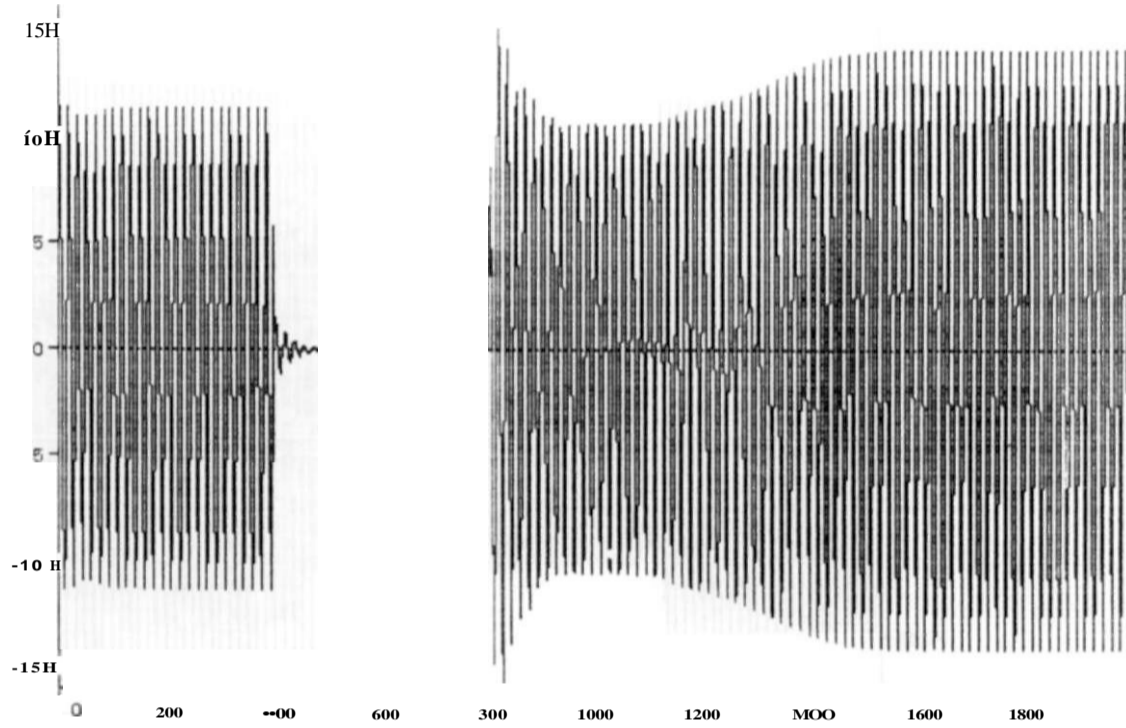
Input data

Type of motor-----Single cage

System frequency 11/-----60  
 Rated voltage kV-----13.8  
 Horse power rating hp-----182000  
 Synchronous speed r.p.m.-----1800  
 Rated power factor-----.9414  
 full load slip %-----1  
 full load efficiency-----.98  
 Direct across line starting current p.u.-----6  
 Starting torque . p.u.-----.95  
 Pull-out (maximum) torque p.u.-----0  
 Inertia kgm<sup>2</sup>-----7933.933

v CkU]

12-M» «i-97 15.04.39



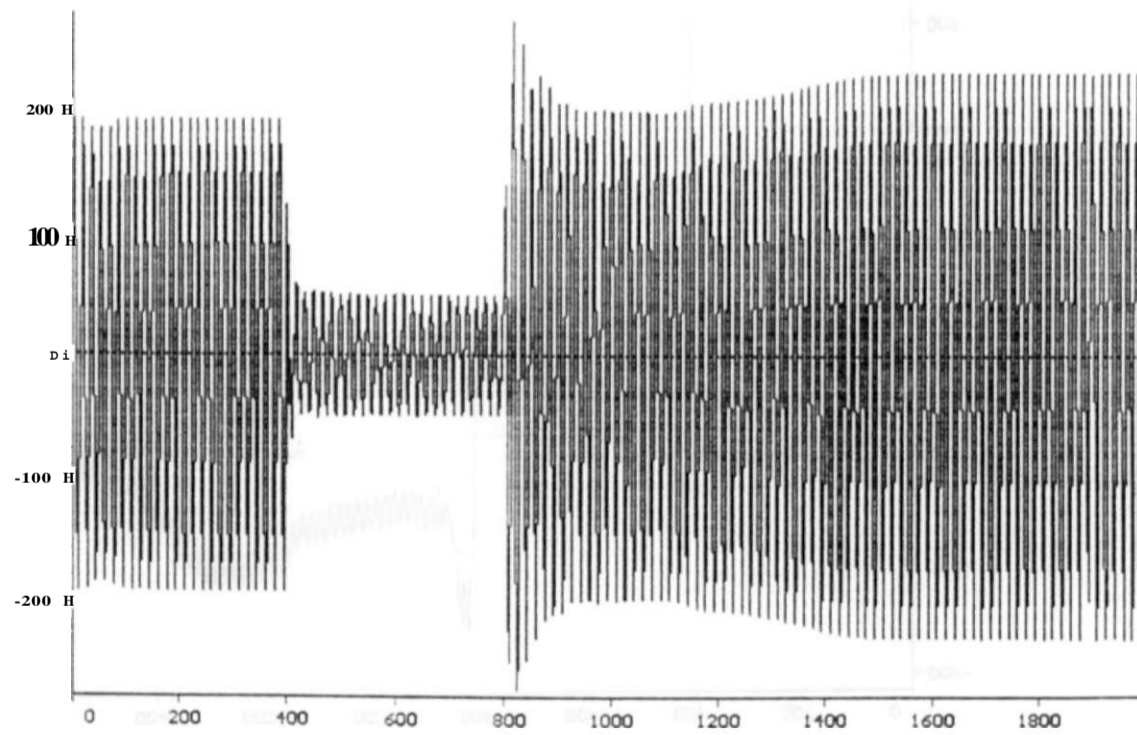
( > F13LA

t [ms]

CCJF-T FORTALEZA REJ. 90V. CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
T ^ A ^ T E R S I M ^ A ^ A

v CkU]

12-May-97 15.04.39



< 5) FC23A

t [ms]

OSM 250V 60KV FORTALEZA REJ. 90V CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
TIIS80ia8M HSETSBS FASE-NEUTRO^FASE^A^A^A

print date: 12. May 1997

Load torque \-m \_\_\_\_\_ 701648.94  
 Leakage reactance saturation  
 threshold current p.u. \_\_\_\_\_

Motor equivalent circuit parameters  
 adjusted for consistent performance data  
 The numbers in brackets are the specified values  
 All quantities on MVA rating

Motor rated voltage kV 13.80 ( 13.8 )  
 Motor IIP rating IIP 182000.1 ( 182000 )  
 Slip % 290 ( .1 )  
 Power factor 0.925 ( .9414 )  
 Efficiency 0.966 ( .98 )  
 Starting torque p.u. 0.93 ( .95 )  
 Full-out torque (max. torque) 3.02 ( 0 )  
 Starting current p.u. 6.03 ( 6 )  
 Inertia  $\text{m}^2 \text{kg}^{-2}$  or Farad 7933.93 ( 97kWs7kVA )  
 Load torque N-m or A 703648.94  
 Damping  $1/\text{fN} \cdot \text{nv}(\text{rad}'\text{s})$  or ohm 0.01  
 Stator resistance p.u. 0.004755  
 Stator  $x_l$  non saturated \* p.u. 0.057907  
 Stator  $x_{lsat}$  saturated \* p.u. 0.024113  
 Rotor  $x_l$ 's same as stator  
 Magnetizing reactance p.u. 6.101319  
 Rotor outer cage resistance p.u. 0.026230  
 Rotor inner cage resistance p.u. 0.000000  
 Rotor inner cage reactance p.u. 0.000000  
 Rotor type smglc cage  
 \* unsaturated and saturated components respectively  
 \* the total stator or rotor leakage reactances are  
 $2 \cdot x_l$  for the unsaturated and  $x_{ln} + x_{ls}$  for the saturated conditions  
 the saturated condition is taken at the value of the starting current

the values of the cage factor assumed are:  
 in  $\sim 1$  for double cage - m .6 for deep bar rotor

Coil parameters for 3 type 1AM machine

Direct axis common inductance  $I_m$  0.021228  
 Quad axis common inductance  $I_m$  0.021228  
 D axis resistance blank  
 D axis inductance blank  
 D axis resistance  $r_s$  0.006236  
 D axis leakage inductance unsaturated  $I_{sm}$  0.000403  
 D axis leakage inductance saturated  $I_{sts}$  0.000285  
 Q axis resistance  $r_{st}$  0.006236  
 Q axis leakage inductance unsaturated  $I_{sm}$  0.000403  
 Q axis leakage inductance saturated  $I_{sts}$  0.000285  
 Rotor coils d axis  
 $r_{rotl}$  resistance  $r_{rotl}$  0.034404  
 $I_{rotl}$  leakage inductance unsaturated  $I_{rotln}$  0.000403  
 $I_{rotls}$  leakage inductance saturated  $I_{rotls}$  0.000285  
 Rotor coils q axis  
 same as for the d axis

## 9.10.6- Motor de Indução Correspondente a 50% da Carga do 69kV da SE Fortaleza

Input data

Type of motor \_\_\_\_\_ Single cage

System frequency Hz \_\_\_\_\_ 60  
 Rated voltage kV \_\_\_\_\_ 13.8  
 Horse power rating hp \_\_\_\_\_ 278000  
 Synchronous speed r.p.m. \_\_\_\_\_ 1800  
 Rated power factor \_\_\_\_\_ 0.9414  
 Full load slip % \_\_\_\_\_ 1  
 Full load efficiency \_\_\_\_\_ 0.98  
 Direct across line starting current p.u. - 6  
 Starting torque p.u. \_\_\_\_\_ 0.95  
 Full-out (maximum) torque p.u. \_\_\_\_\_ 3.02  
 Inertia  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$  \_\_\_\_\_ 12118.86  
 Load torque N-m \_\_\_\_\_ 701648.94  
 Leakage reactance saturation  
 threshold current p.u. \_\_\_\_\_ 2

Motor equivalent circuit parameters  
 adjusted for consistent performance data  
 The numbers in brackets are the specified values  
 All quantities on MVA rating

Motor rated voltage kV 13.80 | 13.8 )  
 Motor HP rating IIP 278000.00 ( 278000 )  
 Slip % 2.90 ( 1 )  
 Power factor 0.925 ( .9414 )  
 Efficiency 0.966 ( .98 )  
 Starting torque p.u. 0.93 ( .95 )  
 Pull-out torque (max. torque) 3.02 ( 0 )  
 Starting current p.u. 6.03 ( 6 )  
 Inertia m-kg<sup>2</sup> or Farad 12118.86 ( .97 kWVVA )  
 load torque N-m or A 1074804.38  
 1)amping 1 \* (N''-nv(rad/s)) or ohm 0.01  
 Stator resistance p.u. 0.004755  
 Stator xl non saturated \* p.u. 0.057907  
 Stator xlsal saturated \* p.u. 0.024113  
 Rotor xl's same as stator  
 Magnetizing reactance p.u. 6.101319  
 Rotor outer cage resistance p.u. 0.026230  
 Rotor inner cage resistance p.u. 0.000000  
 Rotor inner cage reactance p.u. 0.000000  
 Rotor type single cage  
 \* unsaturated and saturated components respectively  
 \* the total stator or rotor leakage reactances are  
 $2 \cdot x_l$  for the unsaturated and  $x_{ln} + x_{ls}$  for the saturated conditions  
 the saturated condition is taken at the value of me statrmg current

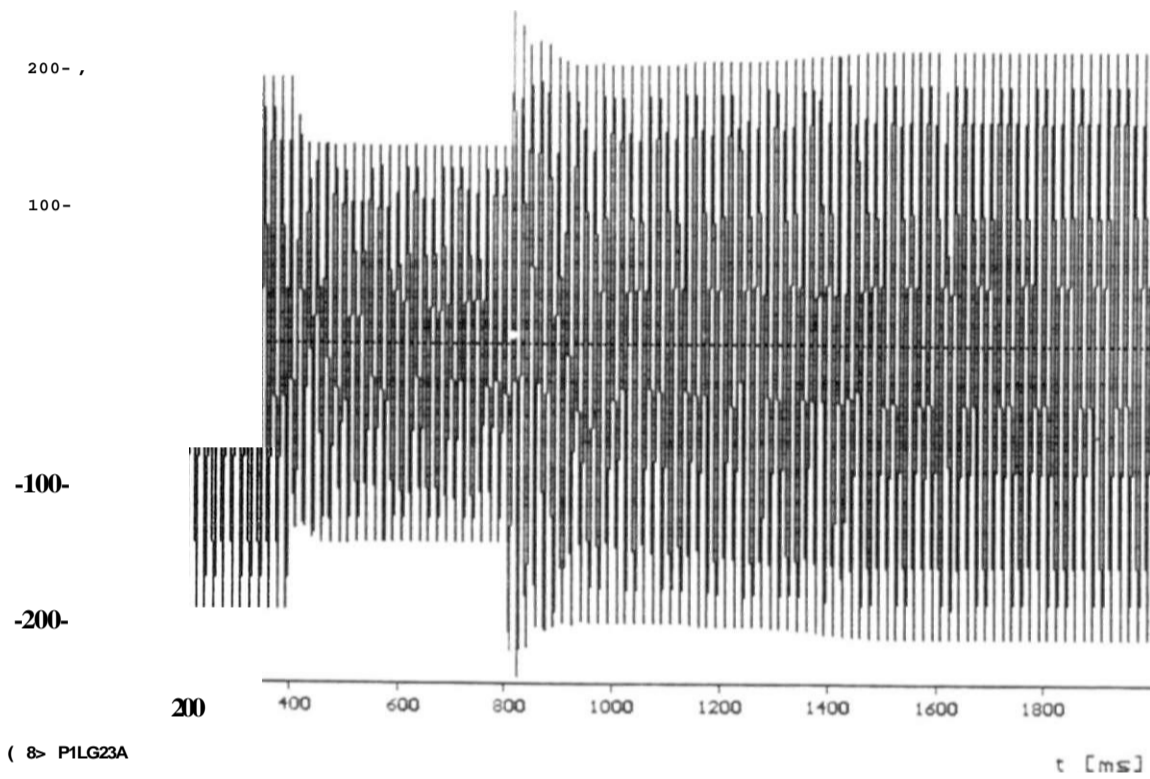
the values of the cage factor assumed are:  
 $m = 1$  for double cage -  $m = .6$  for deep bar rotor

Coil parameters for #3 type U.M. machine

Direct axis common inductance  $L_m$  0.013897  
 Quad, axis common inductance  $L_m$  0.013897  
 D axis resistance blank  
 Q axis inductance blank  
 d axis resistance  $r_s$  0.004083  
 d axis leakage inductance unsaturated  $L_{stn}$  0.000264  
 d axis leakage inductance saturated  $L_{sls}$  0.000187  
 q axis resistance  $r_{st}$  0.004083  
 q axis leakage inductance unsaturated  $L_{stn}$  0.000264  
 q axis leakage inductance saturated  $L_{sls}$  0.000187  
 Rotor coils d axis  
 D resistance  $r_{rotl}$  0.022523  
 - Meakage inductance unsaturated  $L_{rotln}$  0.000264  
 D leakage inductance saturated  $L_{rotls}$  0.000187  
 Rotor coils q axis  
 same as for the d axis

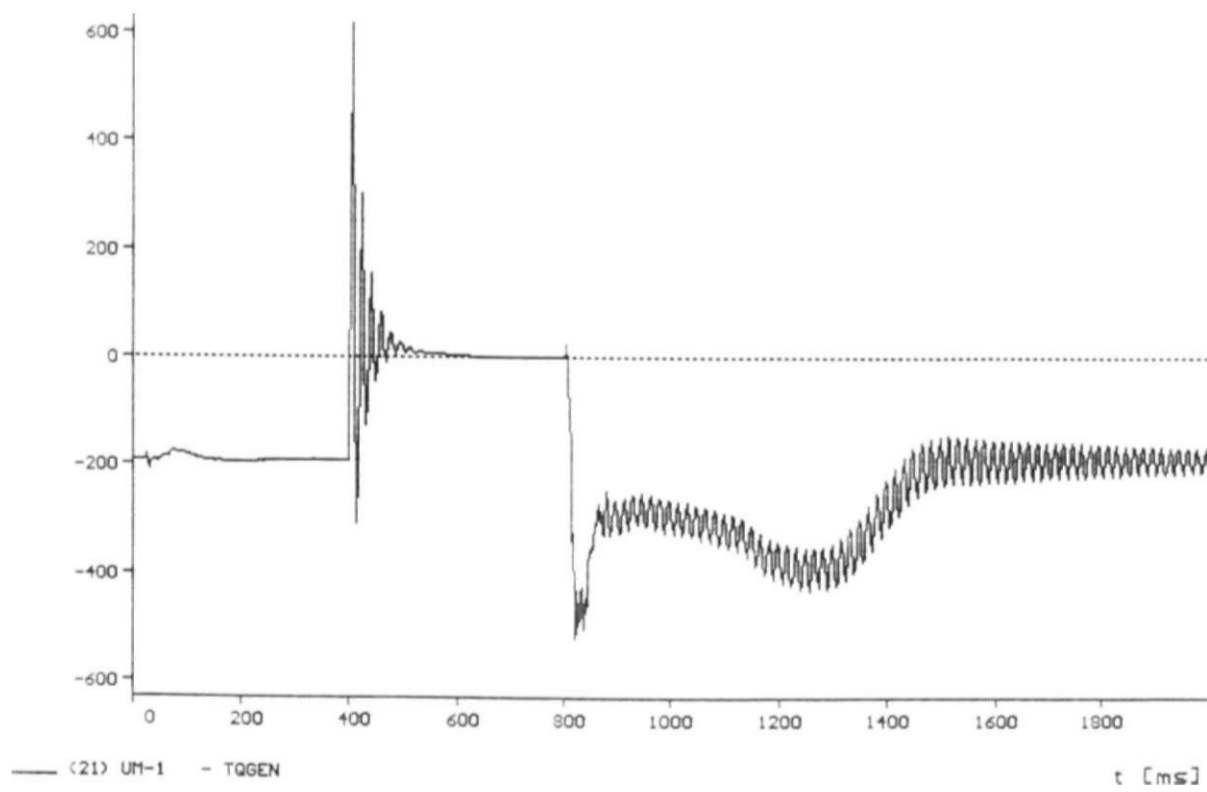
v CkU]

12-M»\|-97 15.04.39



[kNM]

12-M»y-97 13.04.39

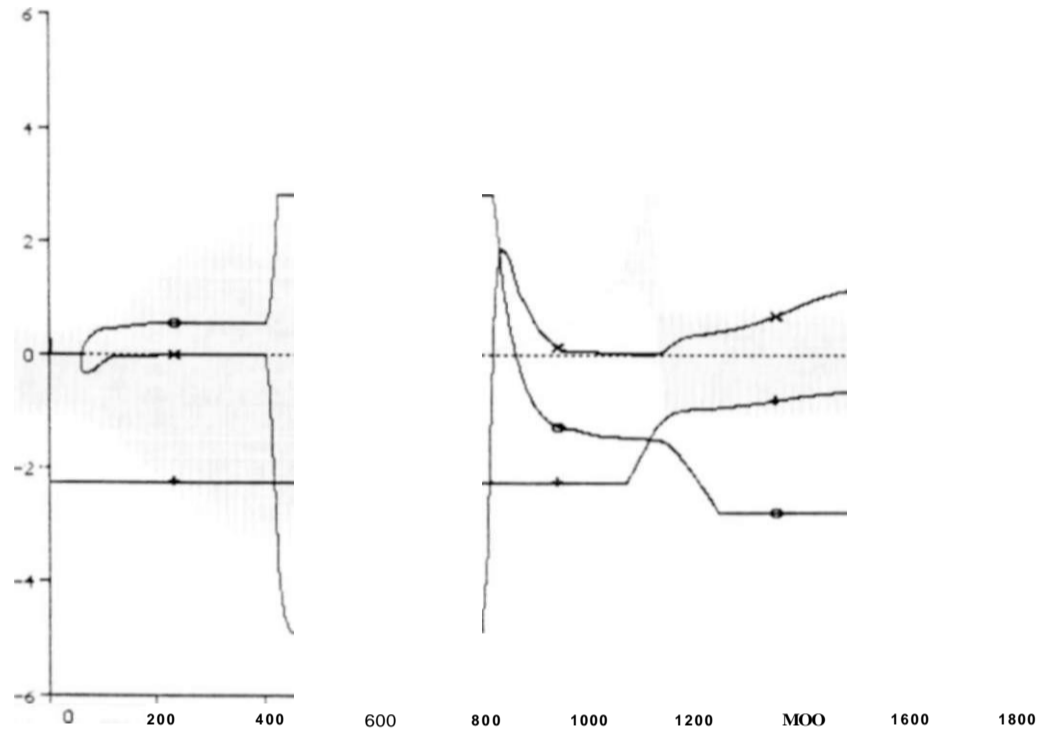


CC 3F-T 69KU FORT«LI \*9 PÉ»J'~?ºx CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
28 ETZ INDMOT. ABRIL/97 SEM USUB CE FTZ  
IO NO MOTOR DE INDUÇÃO

print date: 12. May 1997

v [CU]

12-Maκ-97 15.04.39



(15) TACS - ENTPI (16) TACS - SAUPI (17) TACS - LINUC t [ms]

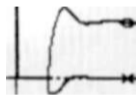
CC 3F-T 69KU FORTALEZA REJ. 90X CARGA SEM FONTES CORR. E TERM. MI  
 CTMOMIPI.DAT IO/ CARGA FTZ MI INDMOT ABRIL/97 SEM USUB Cg FTZ  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v [CU]

12-May-97 1S.U4.39

*il*

2-



-2



-4-

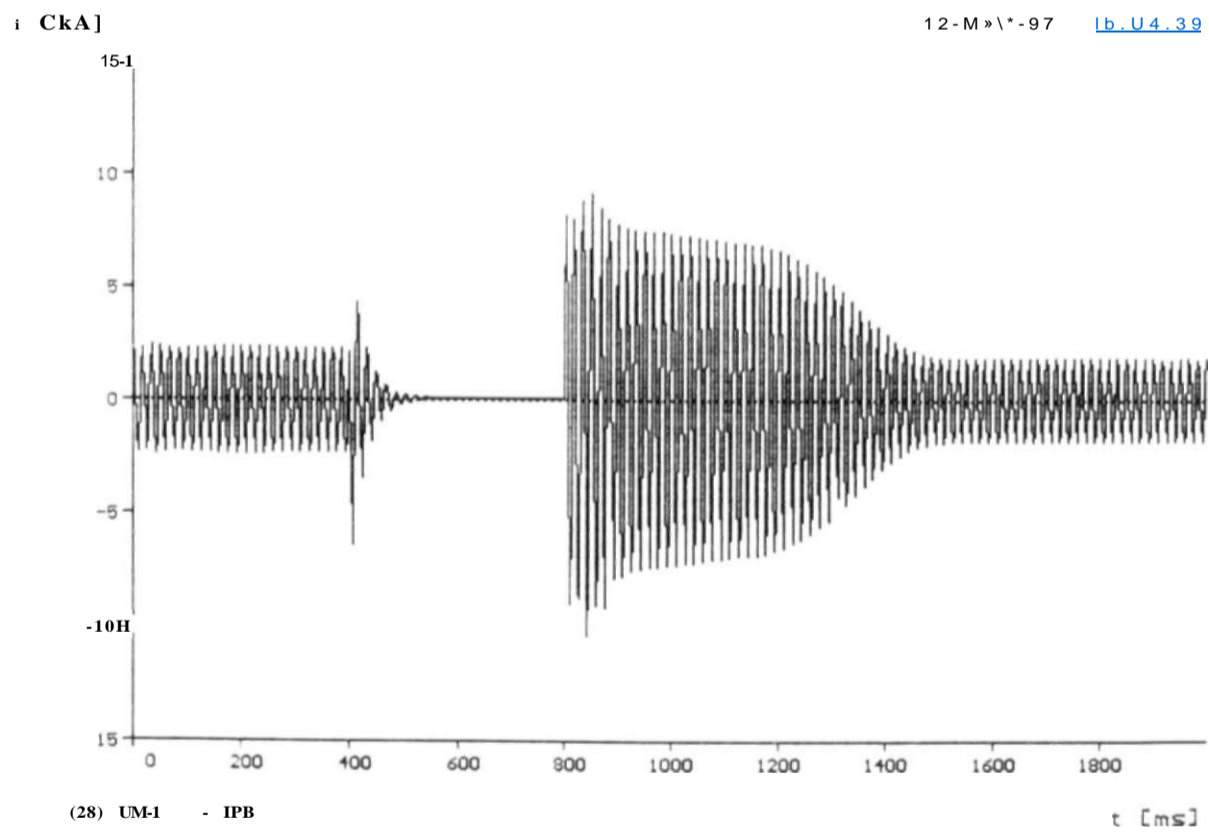
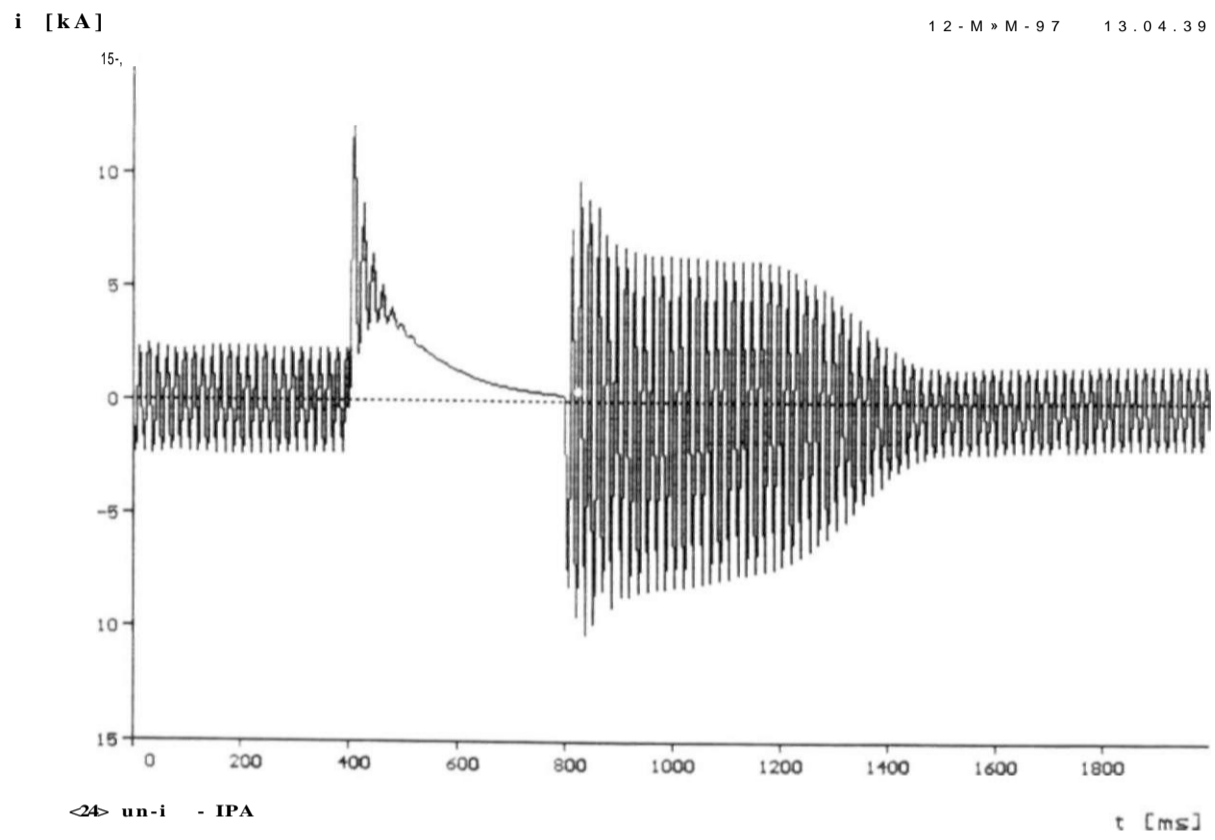
100 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

(18) TACS - ENTPIM (19) TACS - SAIPIM (20) TACS - LINUCM r [Cms]

^MãmIPI'DAV 10/CARGA PH'M Í ^ N S ^ M ^ ST"! I M ^ Ó c f I ? ^ \*\*  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 12. May 1997



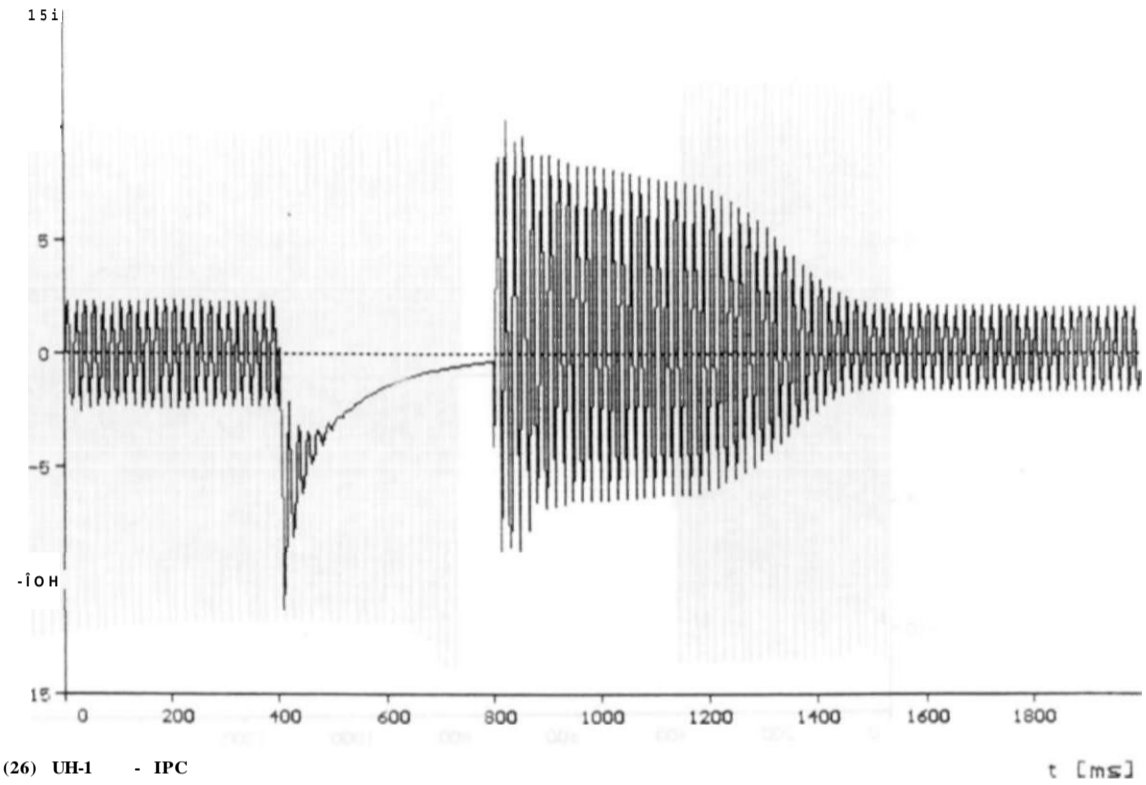


QCAETI.69KV FORTALEZA REJ. 90VC C FONTES CORR. EXTERN.  
 PTMGMPI.DAT 97 SEM USUB CE FTZ  
 CORRENTE DT NOT ABRIL/97 INDUCAO FAS E B

print date: 12. May 1997

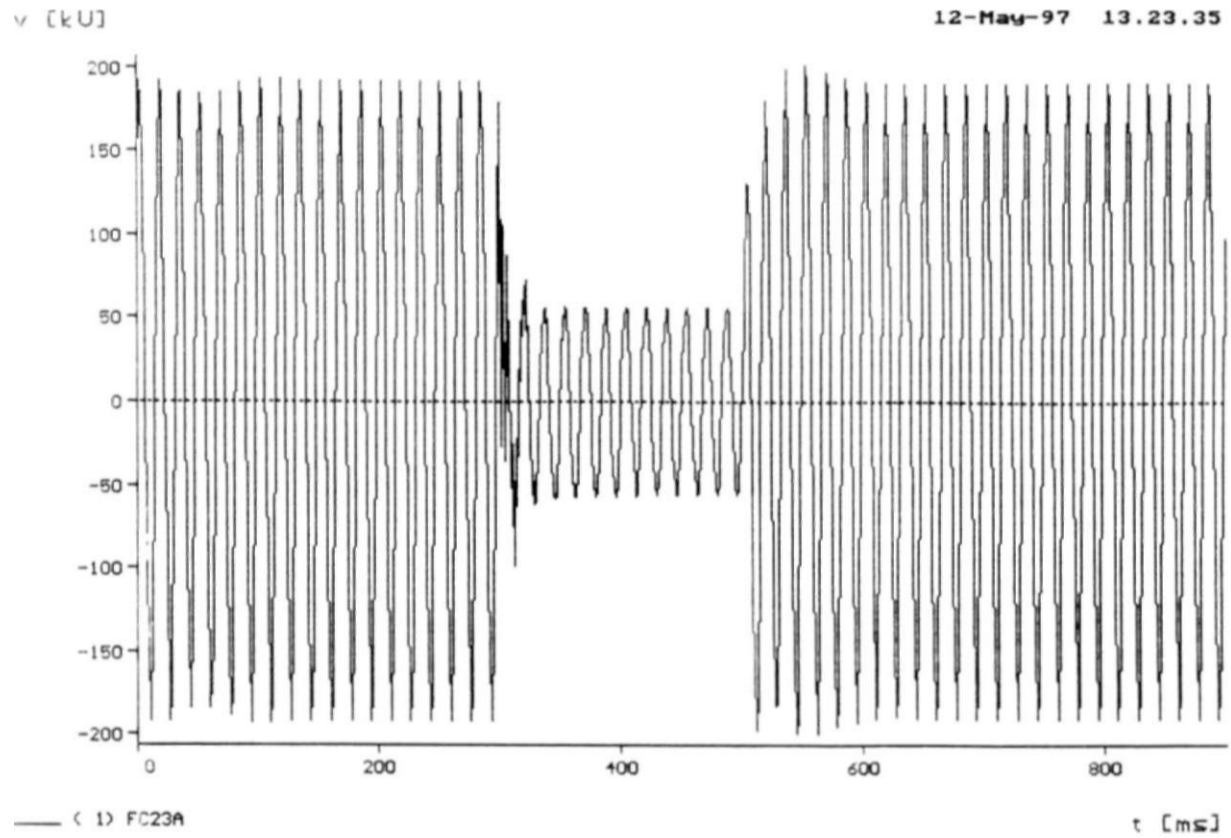
i [kA]

12-Ma\*-97 IS.04.39

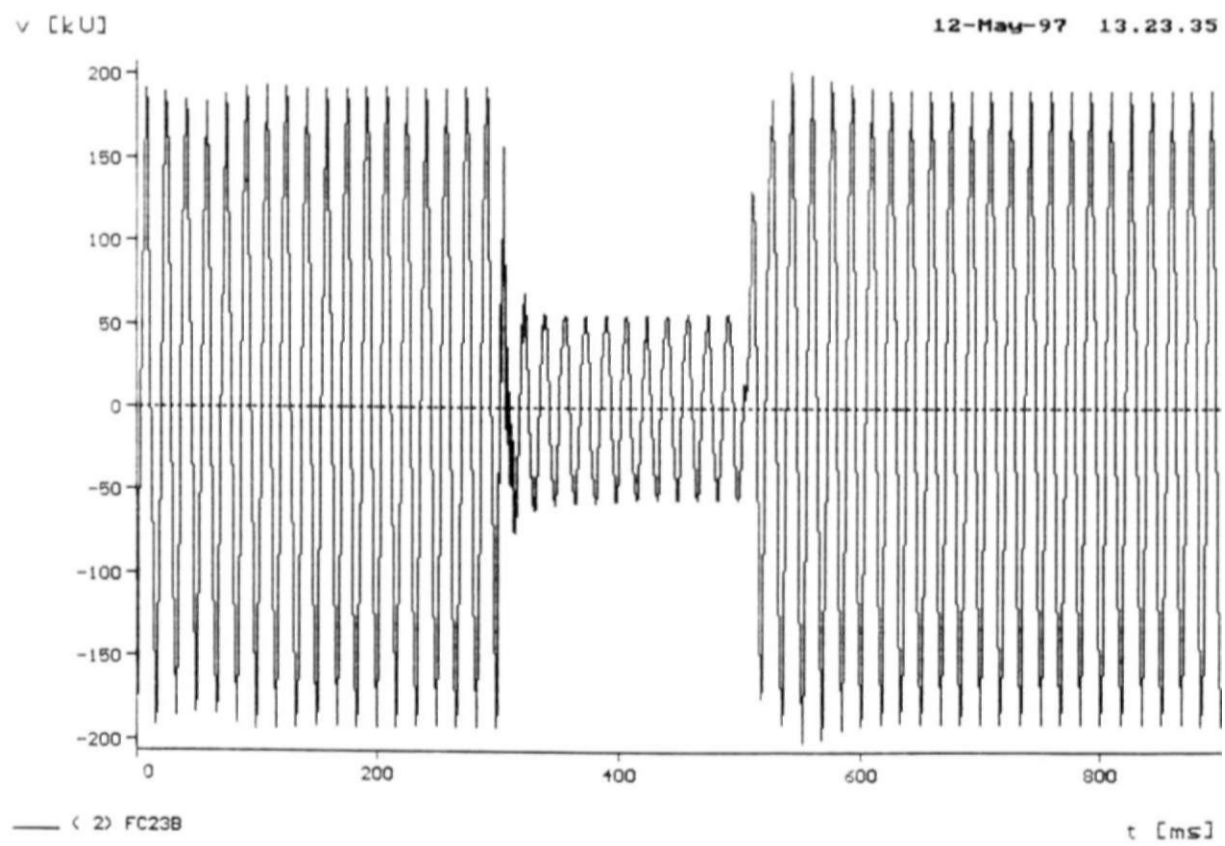


CC 3F-T 69KU FORTALEZA REJ. 90K CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
EJJ3SI? i. v. a. IO/- CARGA FTZ MI INDMOT ABRIL/97 SEM USUB CE FTZ  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE C

print date: 12. May 1997



CC 2E-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
 CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO F FORTALEZA FASE A

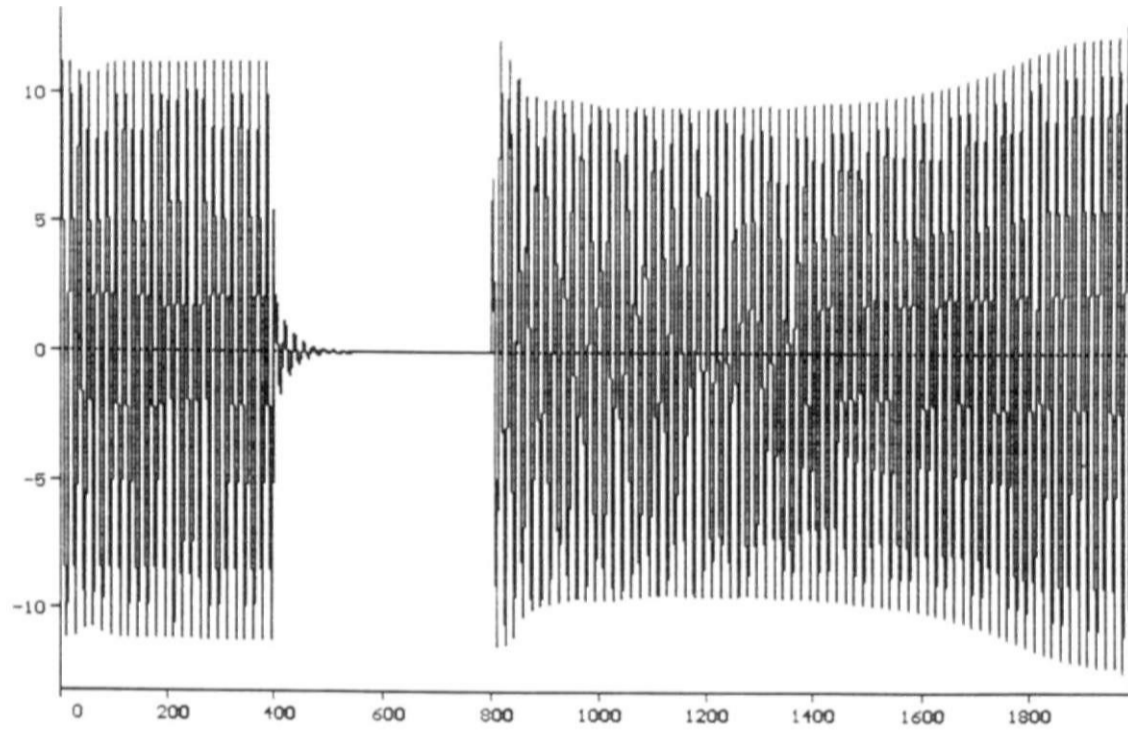


CC 2E-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
 CC23M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE B

print date: 12. May 1997

v [kV]

12-May-97 13.56.08



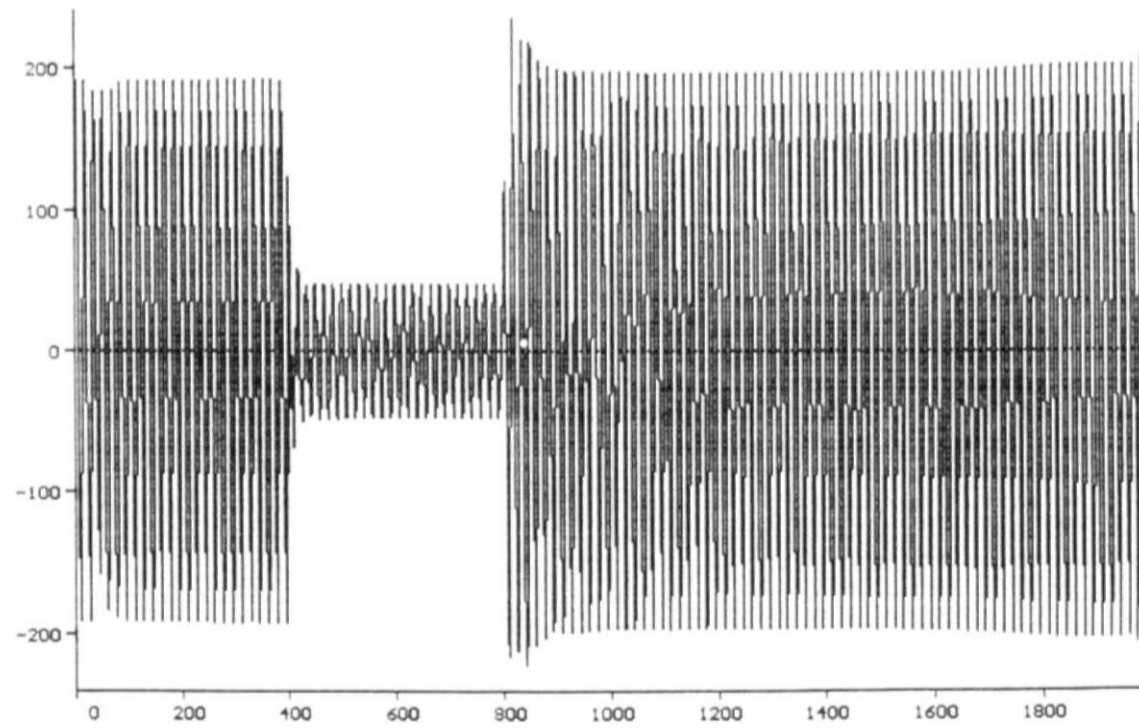
( 1 ) F13LA

t [ms]

CC 3F-I 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
FTMGIP2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI COM USUB CE FTZ  
TENSÃO TERMINAL FASE-NEUTRO 13.8KV MI FASE A

v [kV]

12-May-97 15.56.08



( 5 ) FC23A

t [ms]

CC 3F-I 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
FTMGIP2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI COM USUB CE FTZ  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

print date: 12. May 1997

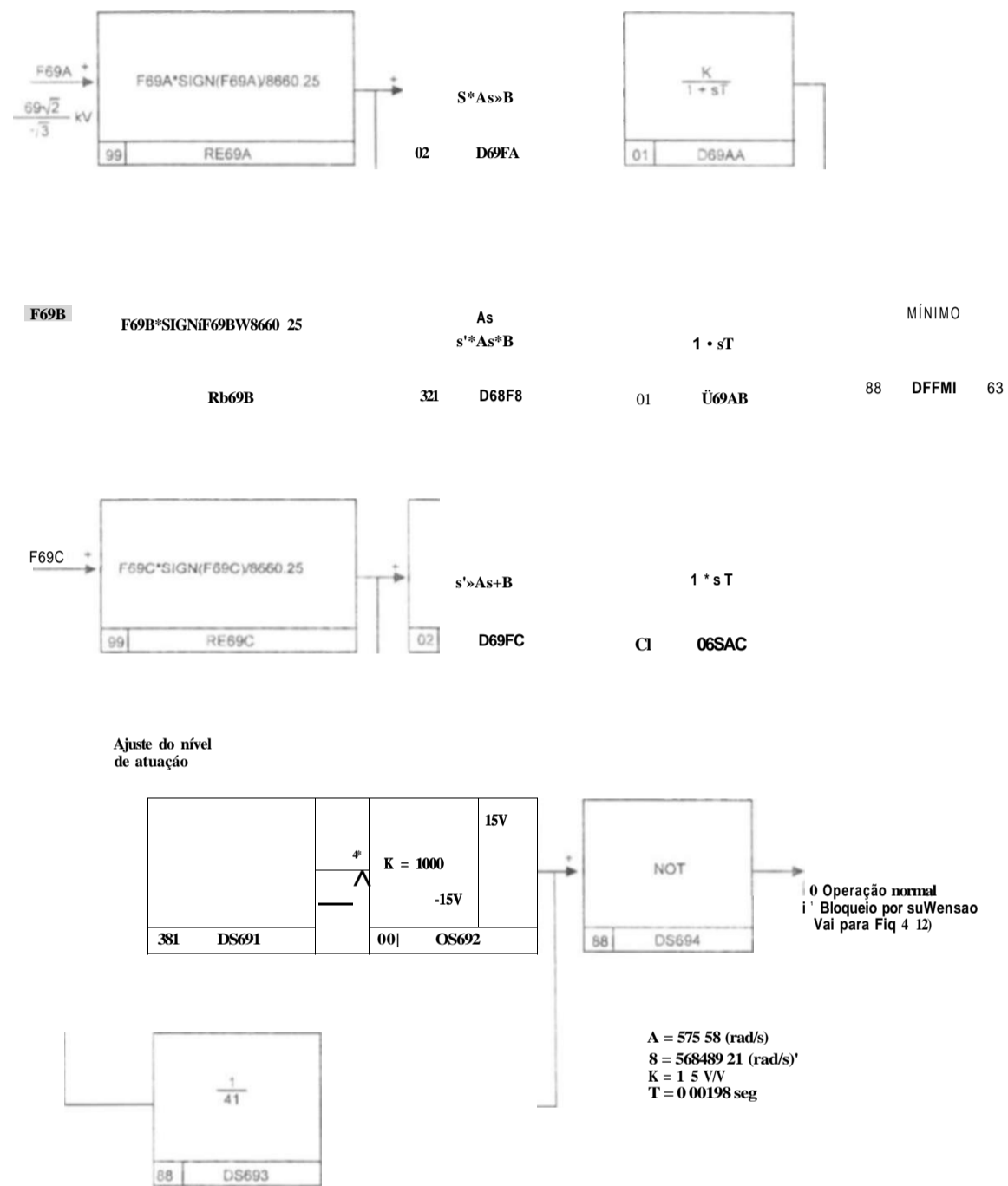
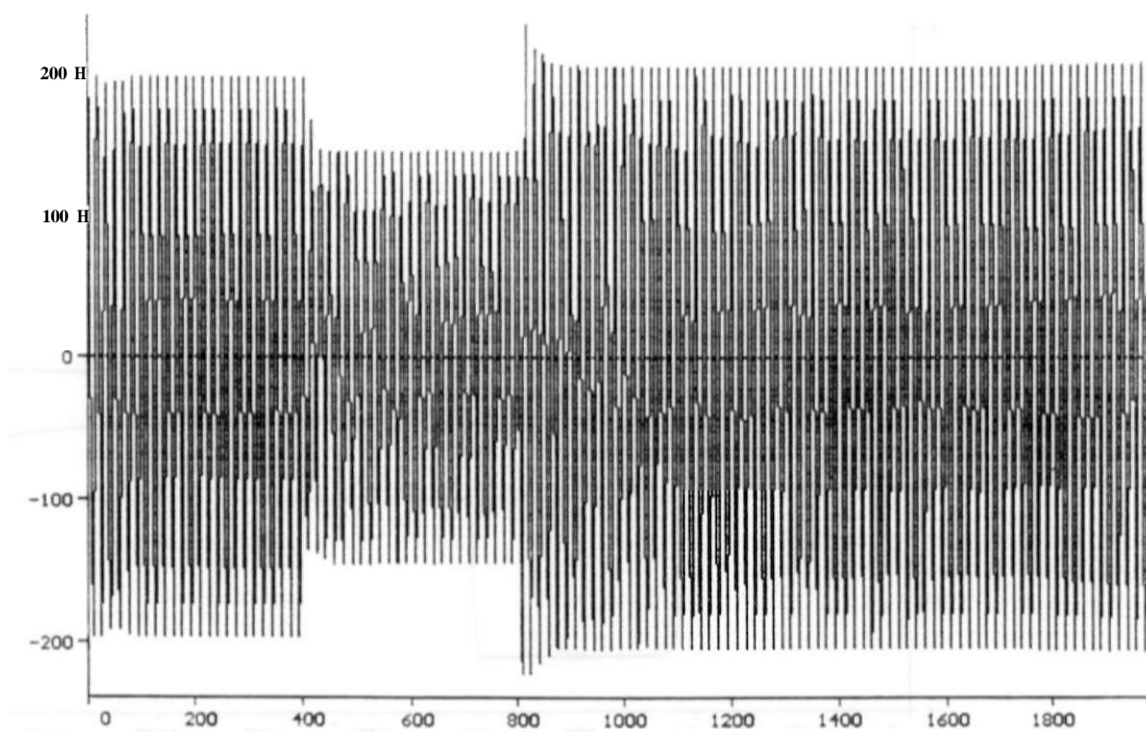


Fig.4.11 Detecção do valor mínimo instantâneo do esquema do bloqueio por subtensão 69kV fase-neutro.

v CkU3

12-M «-97 1S.S6.08



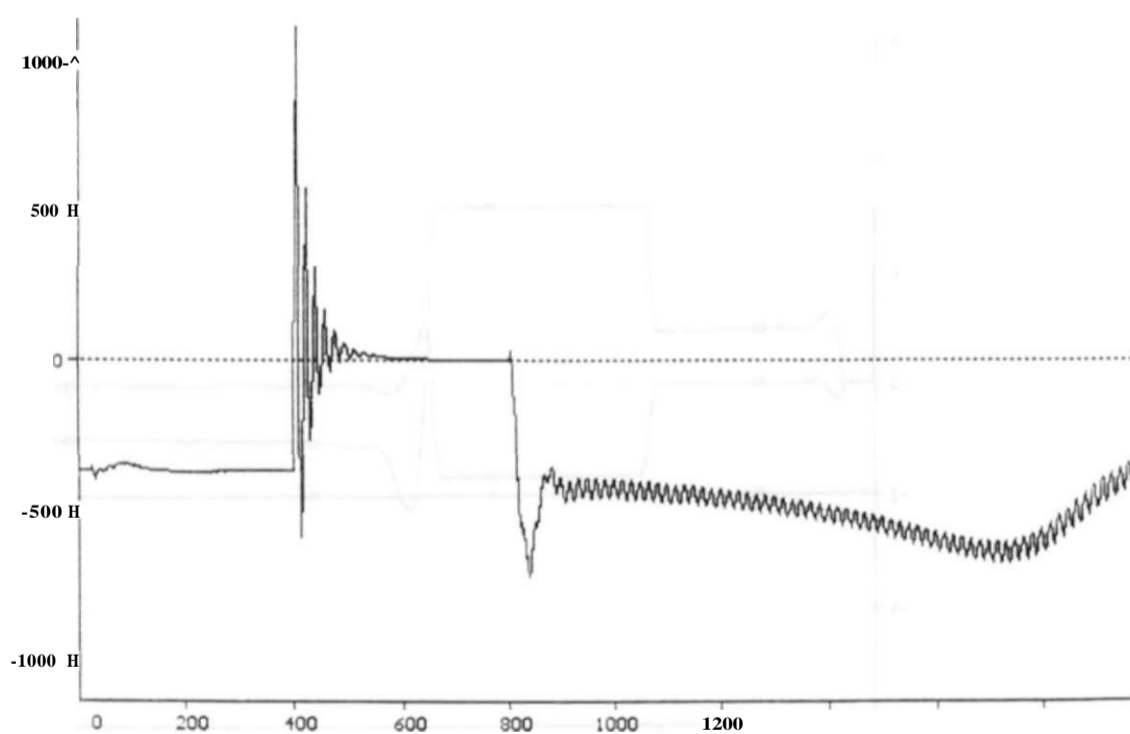
(B) ML623A

t Cms3

CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM, REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
FTMBURa. P. 91 INOMOT ABRIL/97 20V CARGA FTZ MI COM USUB CE FTZ  
TENSAO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

CkNMJ

12-M «v»-97 1S.S6.08



(21) UM-1 - TQGEN

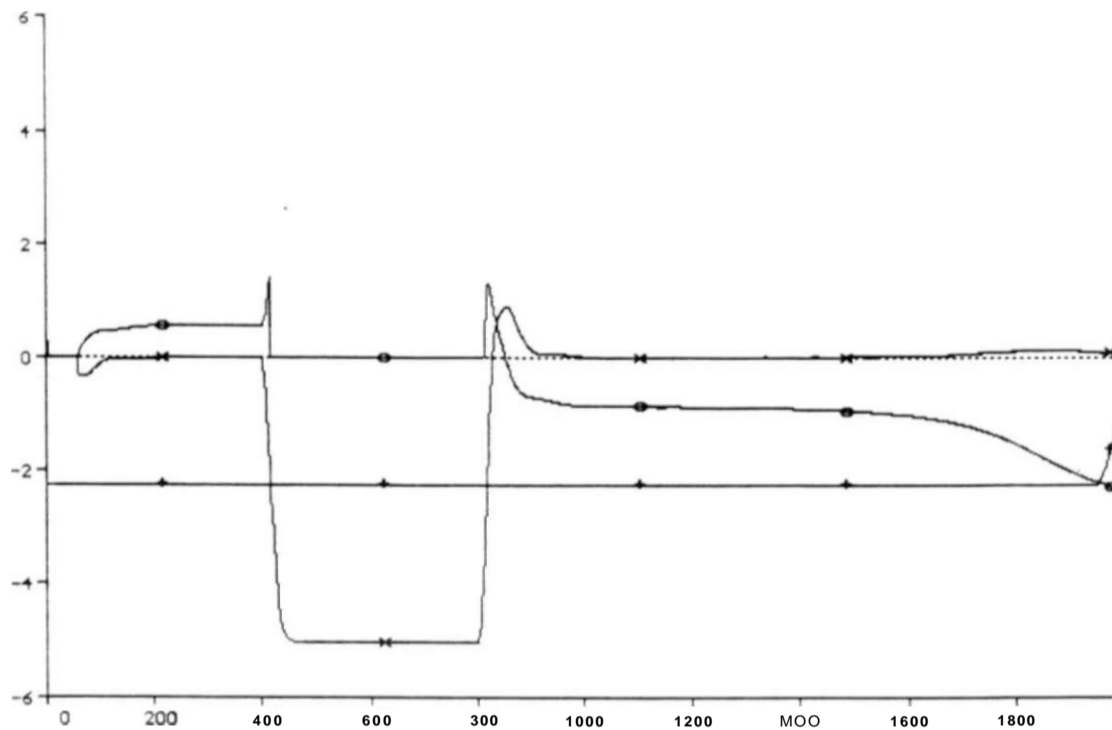
t CmsJ

CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM, REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
FTMBURa. P. 91 INOMOT ABRIL/97 20V CARGA FTZ MI COM USUB CE FTZ  
TORQUE ELETROMAGNETICO NO MOTOR DE INDUÇAO

print date: 12. May 1997

v CUJ

12-Ma\*-97 1S.56.08



(15) TACS - EJNTPI (16) TACS - SAIP1 (17) TACS - LINUC t CmsJ

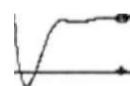
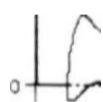
CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIM. REJ. 80V. CARGA 69KU SEM FONTES EXT. MI  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PF DO CE FORTALEZA

v CUJ

12-Ma\*-97 1S.S6.08

6 I

1•



-2

-4-

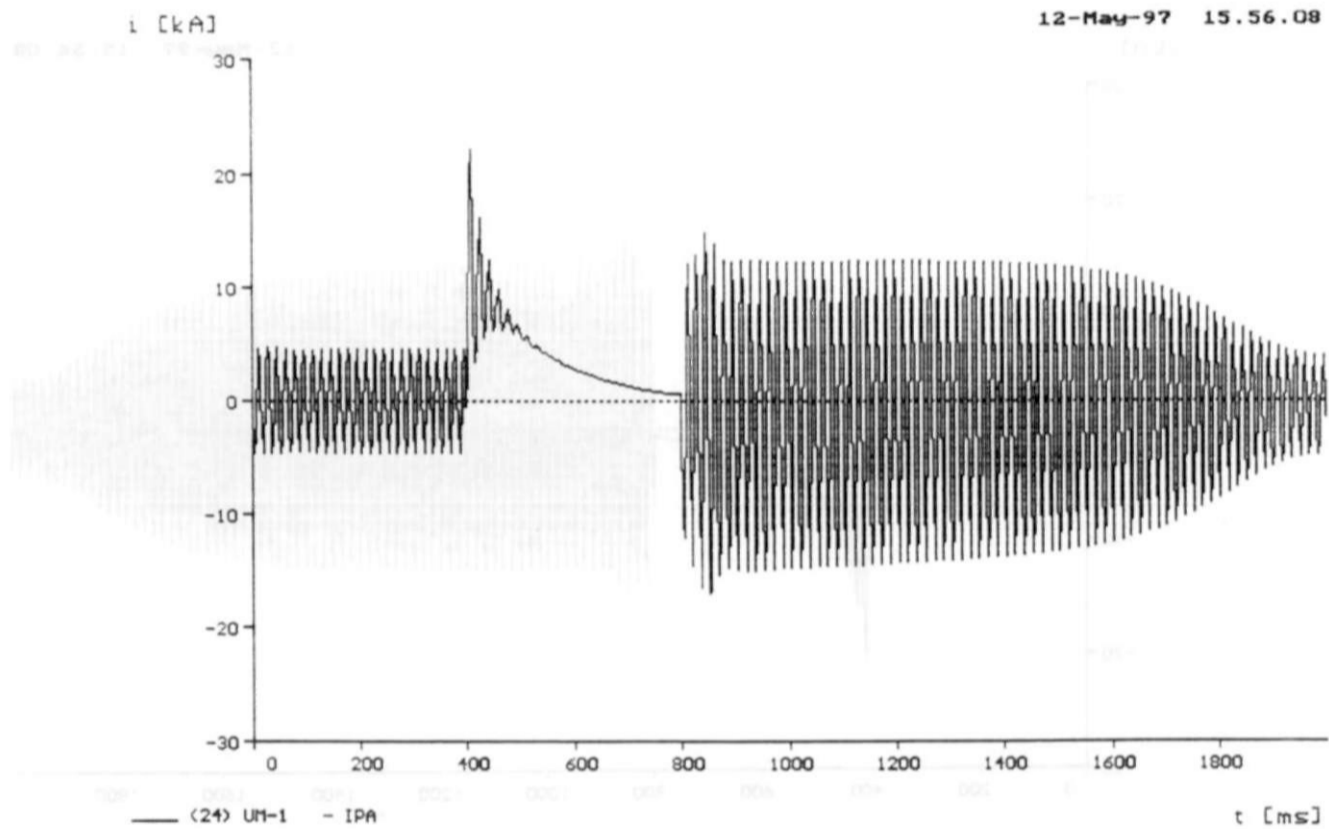
-6

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

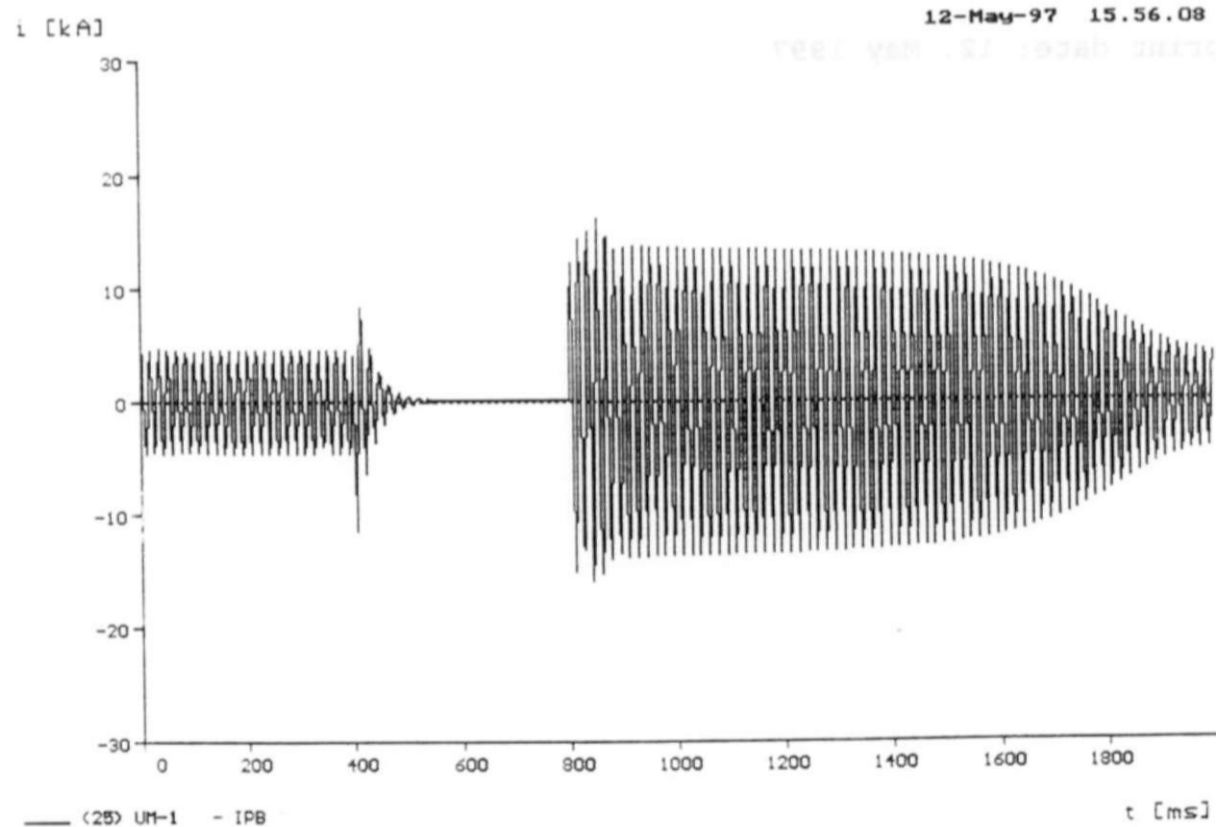
(18) TACS - ENTPIM (19) TACS - SAIPIM (20) TACS - LINUCn t CmsJ

PIMOTIO: 20 A T2R11V S r: 11? A. 9P- 9Jf CARGA 69KU SEM FONTES EXT. MI  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PF DO CE MILAGRES

print date: 12. May 1997



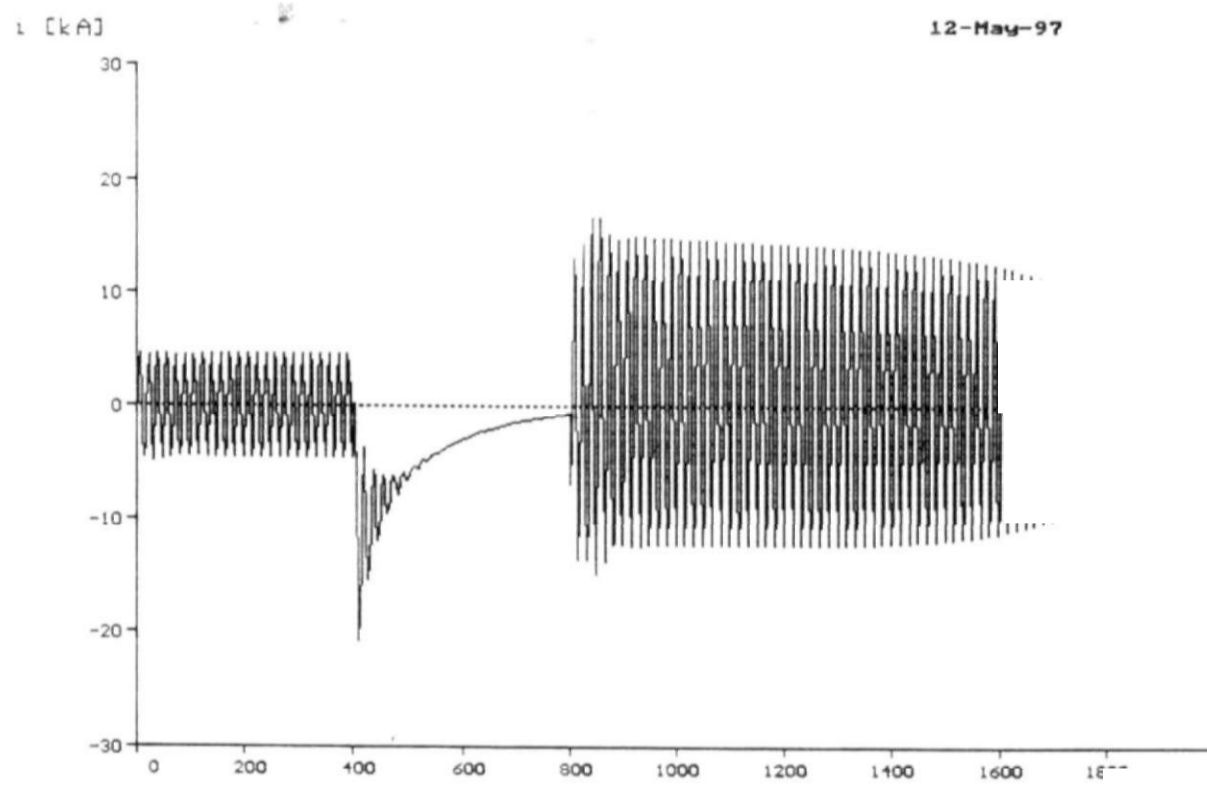
CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
 FTMGH1P2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI COM USUB CE FTZ  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE A



CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
 FTMGH1P2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI COM USUB CE FTZ  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE B

print date: 12. May 1997



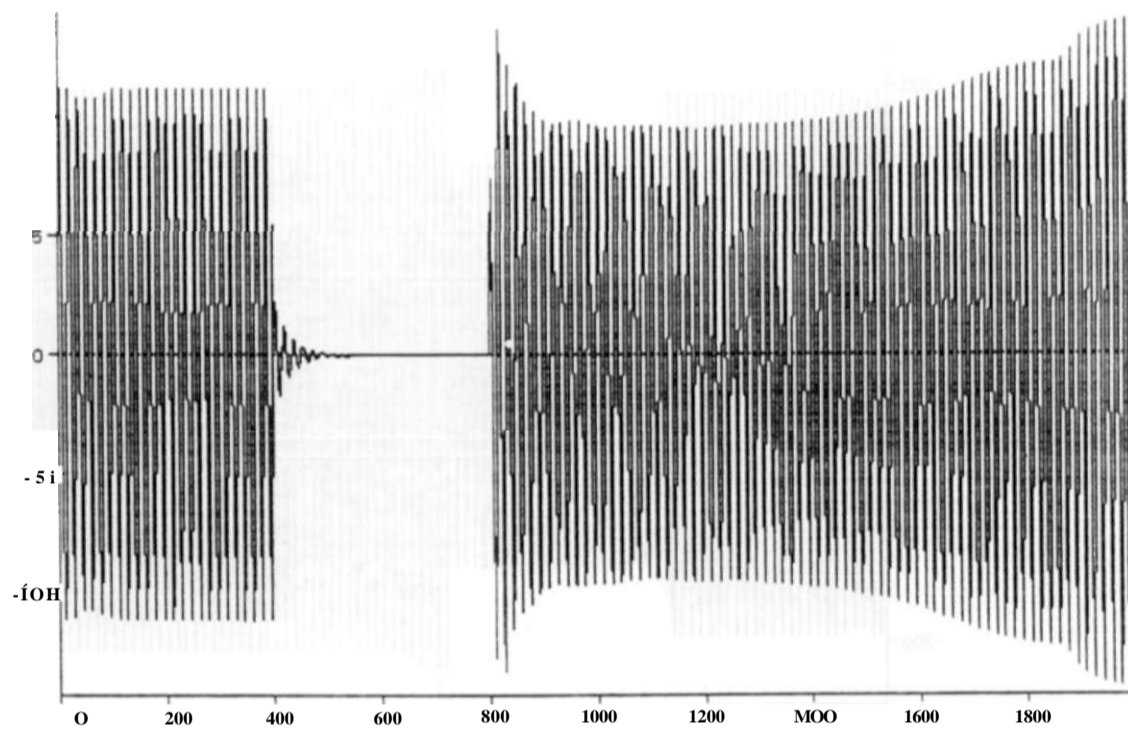


CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
 FTGHIP2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI COM USUB CE FTZ  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 12. May 1997

v CkU]

13-Ma»j-97 08.39.14



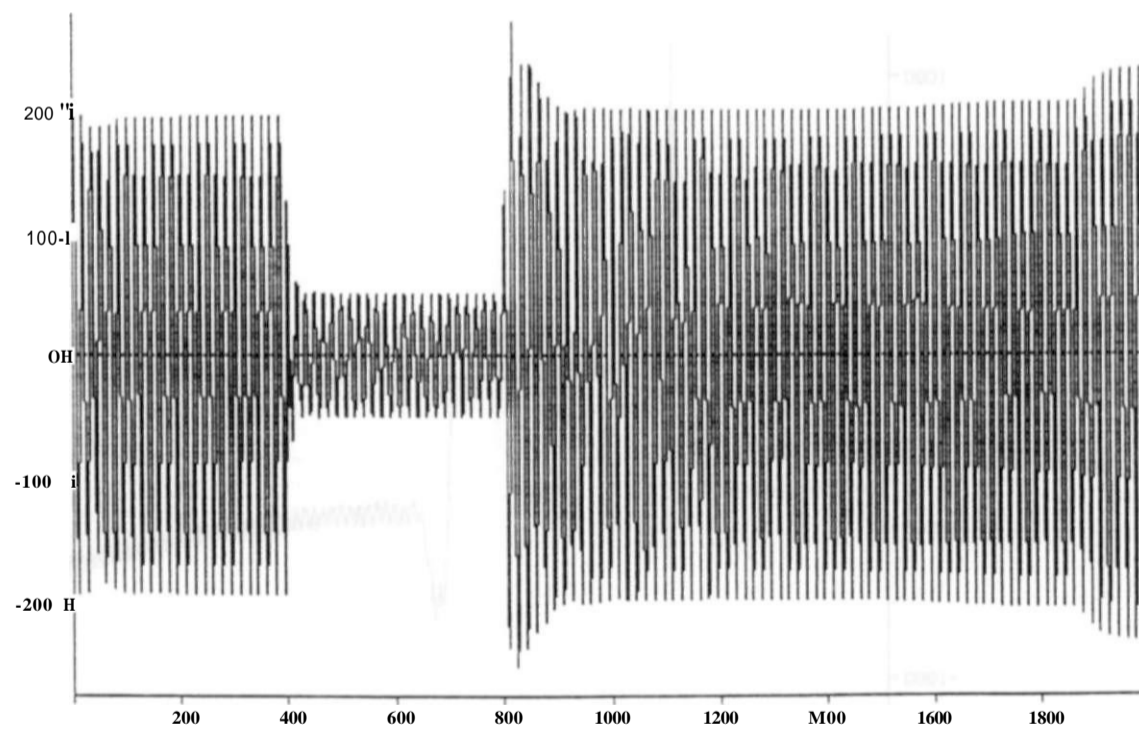
< 1) F13LA

t Cms]

CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIM REJ. 80VJ CARGA 69KU SEM FONTES EXT. MI  
FTMGMIP2.DAT INOMOT ABRIL/97 20/ CARGA FTZ MI SEM USUB CE FTZ  
TENSAO TERMINAL FASE-NEUTRO 13.8KU MI FASE A

v CkU]

13-Maw-97 08.39.14



( 5> FC23A

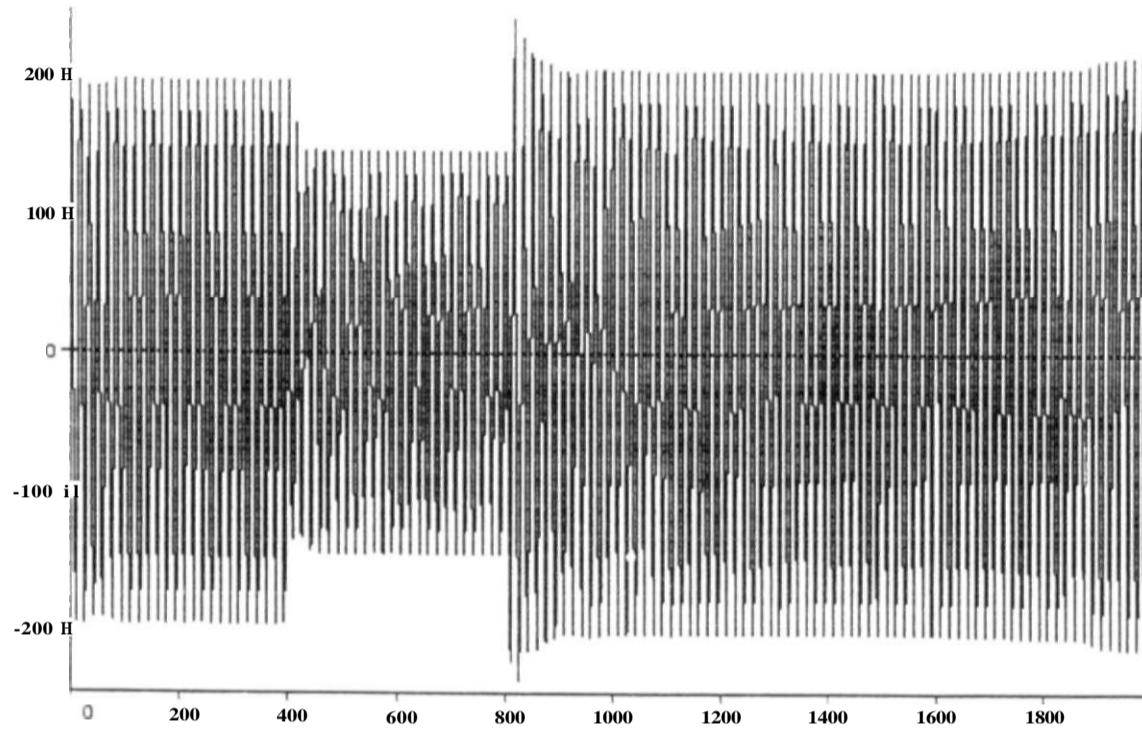
t [ms]

KU SEM FONTES EXT. MI  
SEM USUB CE FTZ

print date: 13. May 1997

v CkU]

13-M «%#-97 08.39.14



< 8) rU\_G23A

t Cms]

CC 3F-T 69KU FORTI 15+ °S. J' «59X<sup>c</sup>W<sup>v</sup>\* 69KVI SEN FONTES EXT. NI  
 ETMOMIP2.DAT I NDML E-NEuTRu FASS\$ " USUB CE FTZ  
 TENSÃO 230KU MILAGRES

CkNM]

13-N » » \*-97 08.39.14

i000i

500 H

oi-

-500 H

-1000 H

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

(21) UM-1 - TQ6EN

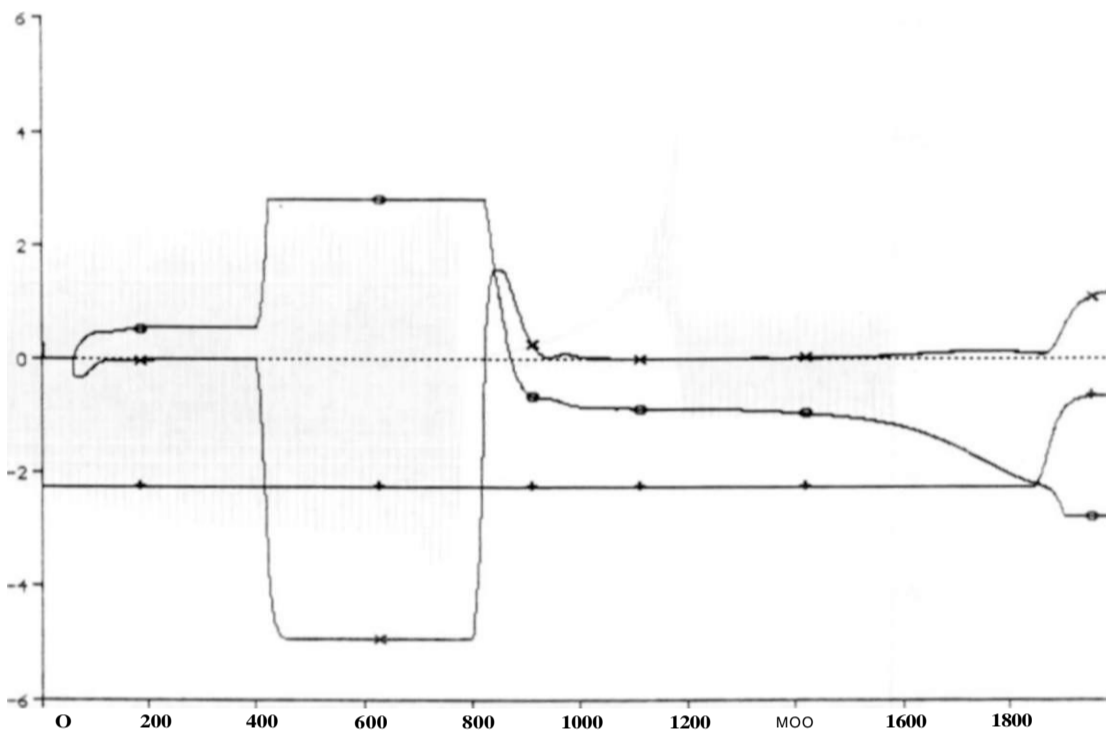
t Cms]

cÇ. » ? «7&0' r ^ Ky ^ P&J ^ UEZA ELIH. REJ. 80V. CARGO 69KU SEN FONTES EXT. MI

print date: 13. May 1997

v CUJ

13-M»v97 08.39.14

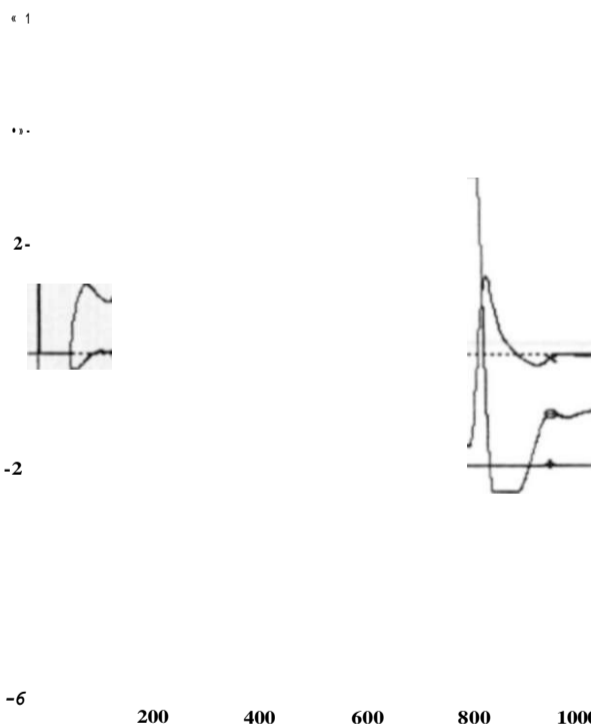


<15> TACS - ENTPI U6> TACS - SAIPi \_±\_ (17) TACS - LINUC t Cms]

8( 69KU SEM FONTES EXT. MI  
MI SEM USUB CE FTZ  
PI DO CE FORTALEZA

v CUJ

13-Ma«\*-97 08.39.14



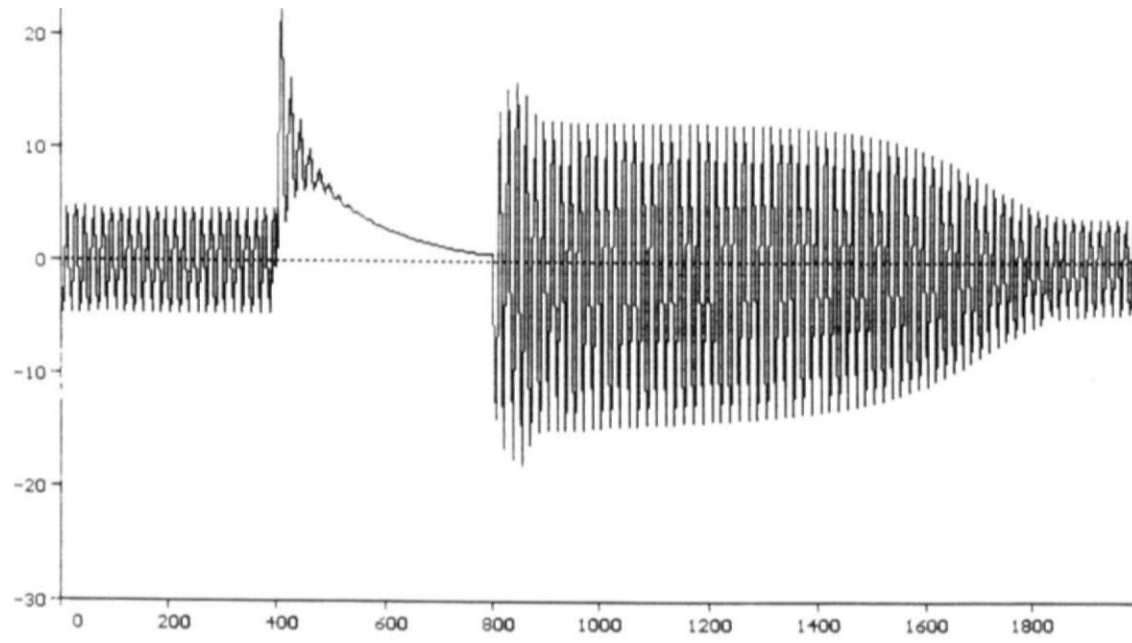
(18) TACS - ENTPI (19) TACS - SAIPin <20> TACS - LINUC t Cms]

CC 3F-T 69KU FORTALEZA ELIM. REJ. 80V. CARGA 69KU SEN FONTES EXT. MI  
FTMGMP2.DAT INDMOT ABRIL/97 20V. CARGA FTZ MI SEM USUB CE FTZ  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 13. May 1997

i [kA]  
30 -1

13-H>v-97 08.39.14



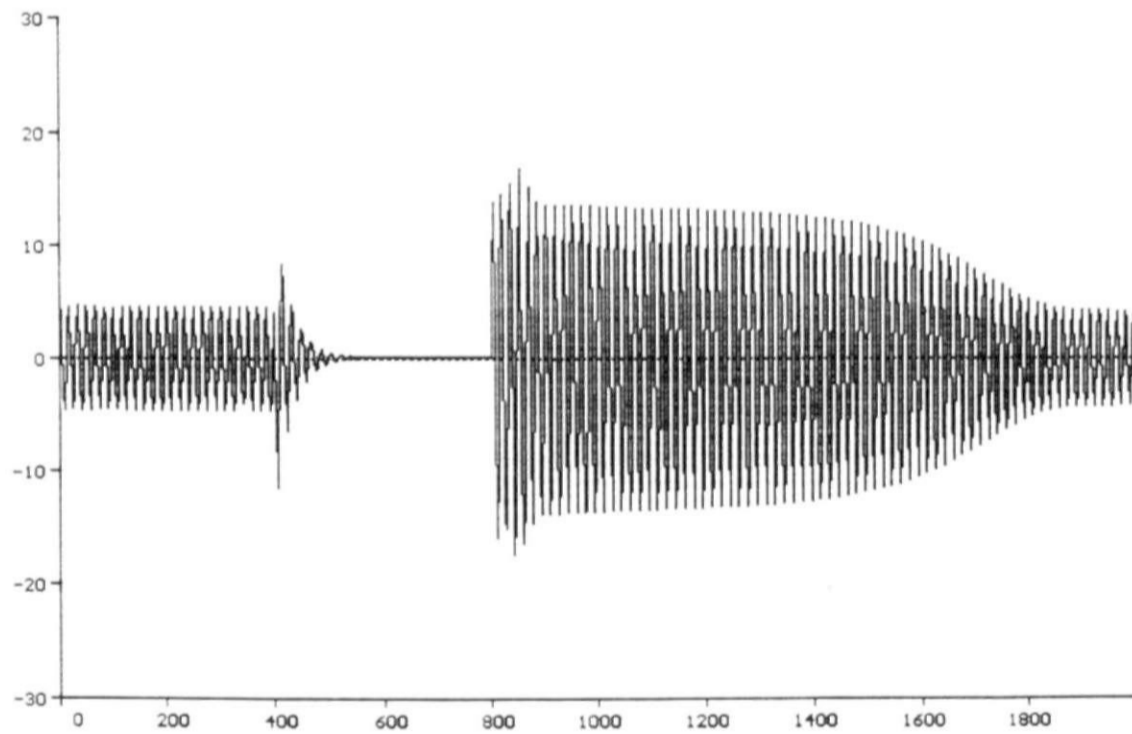
(24) UR-1 - IPA

t [ms]

CC 3F-I 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
FTMGIP2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI SEM USUB CE FTZ  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE A

i [kA]

13-May-97 08.39.14

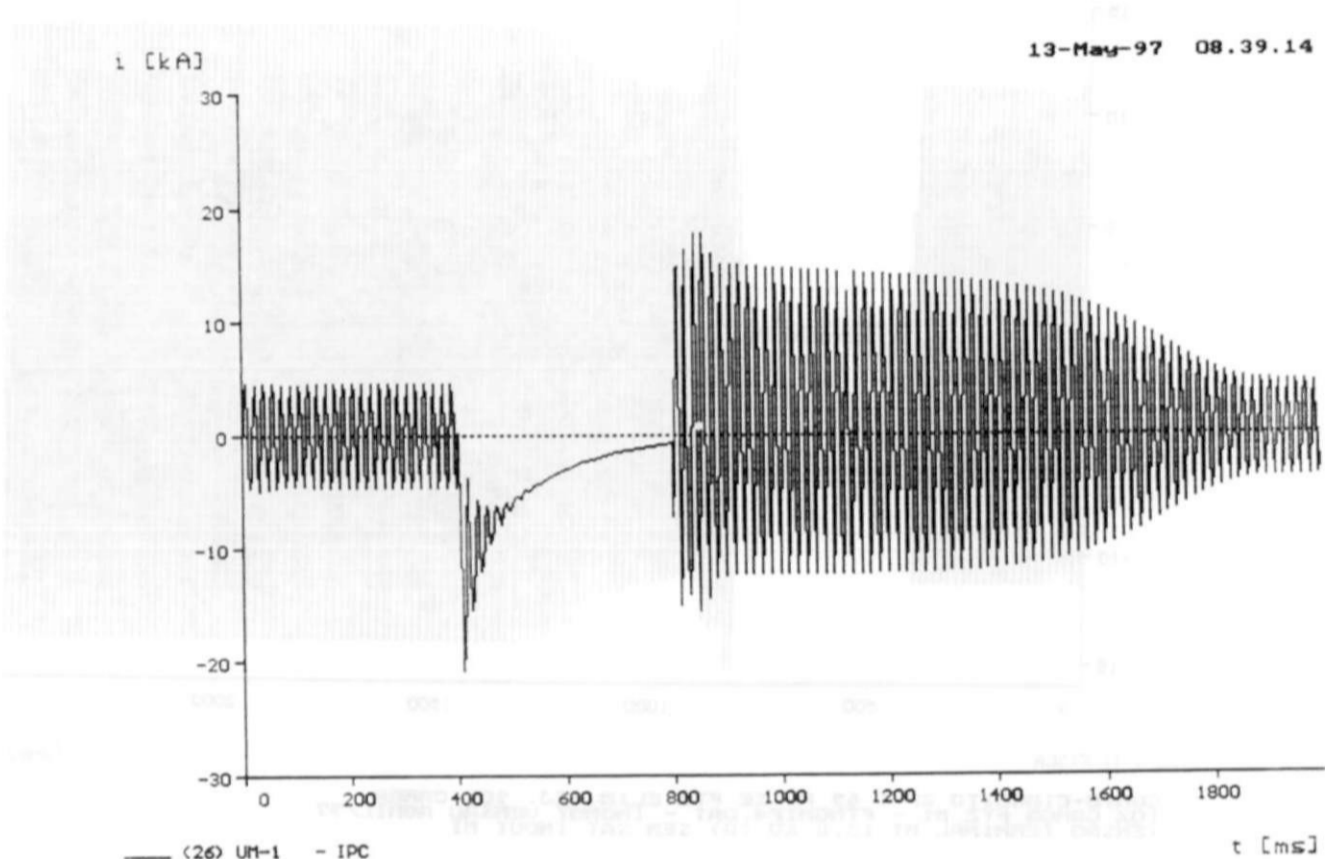


(25) UR-1 - IPB

t [ms]

CC 3F-I 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
FTMGIP2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI SEM USUB CE FTZ  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE B

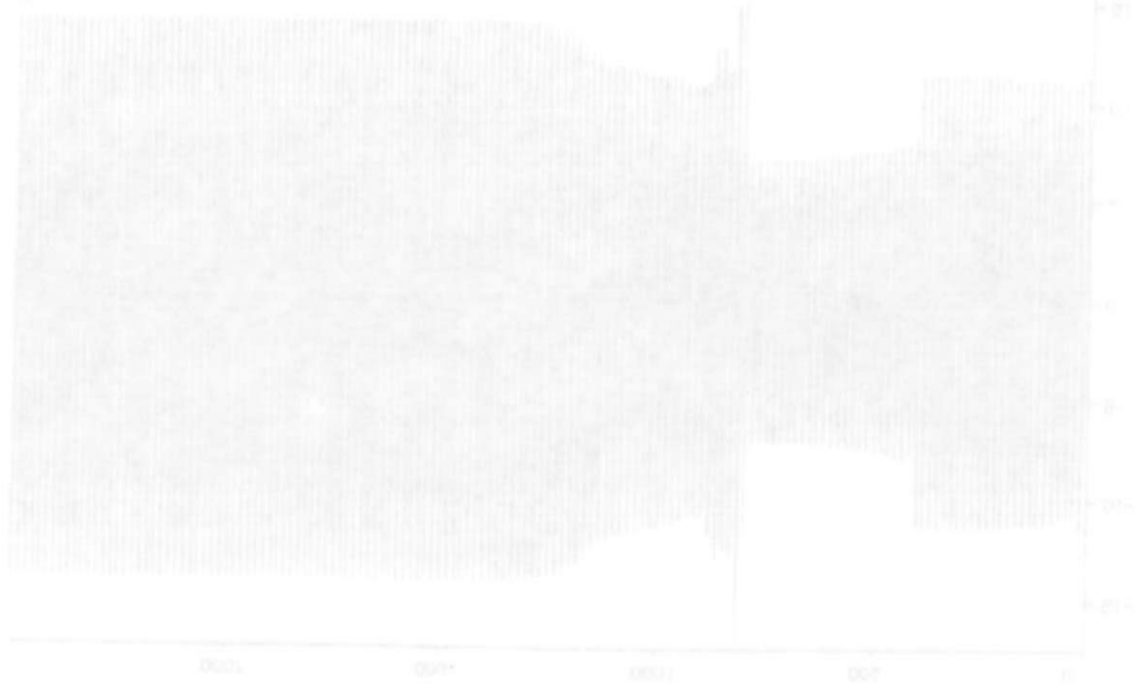
print date: 13. May 1997



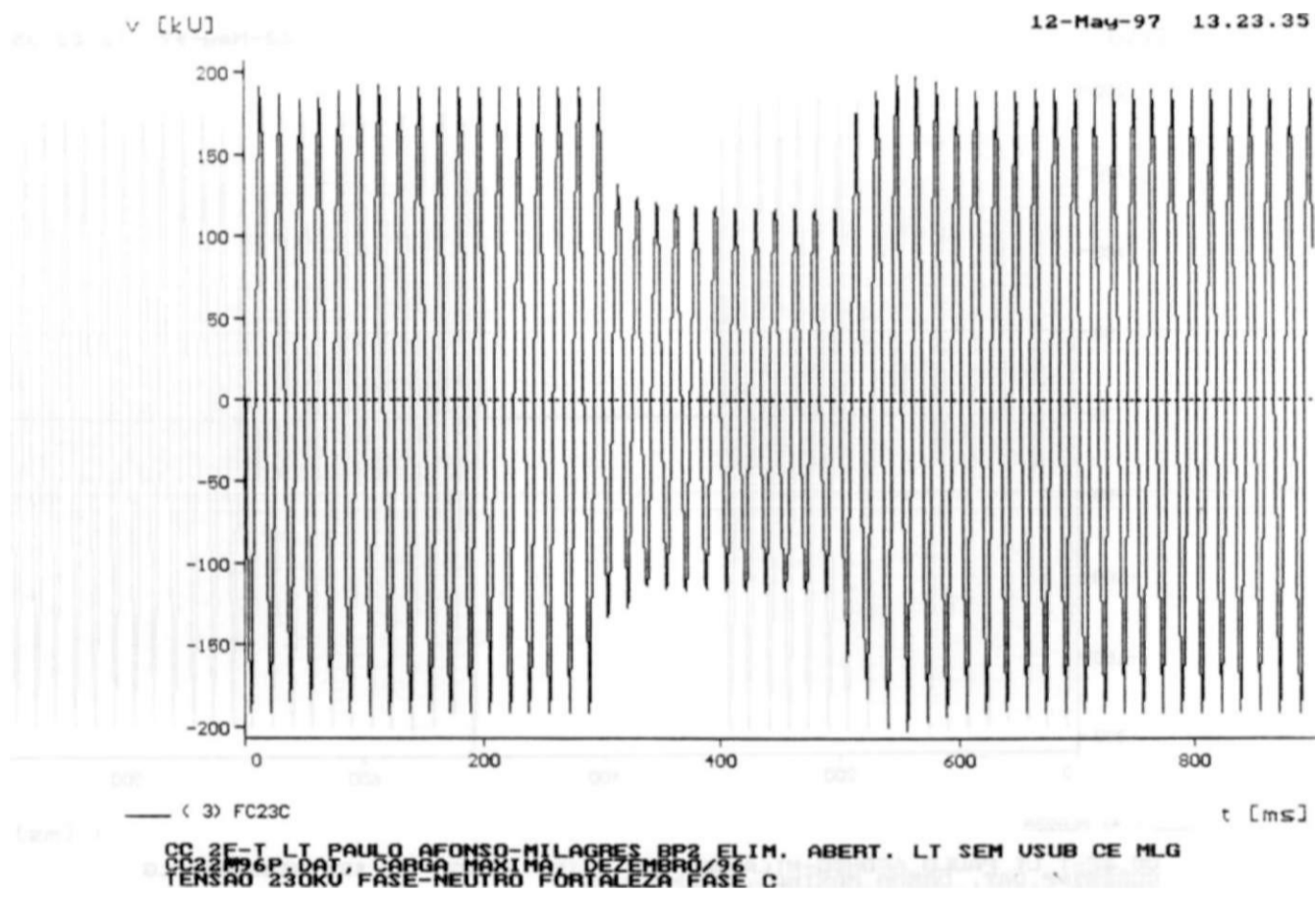
13-May-97 08.39.14

CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
 FTMGH1P2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI SEM USUB CE FTZ  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 13. May 1997



CC 3F-T 69KV FORTALEZA ELIM. REJ. 80% CARGA 69KV SEM FONTES EXT. MI  
 FTMGH1P2.DAT INDMOT ABRIL/97 20% CARGA FTZ MI SEM USUB CE FTZ  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C



print date: 12. May 1997



Fig.4.12 Geração do sinal de bloqueio do canal normal de regulação pelo esquema de subtensão.

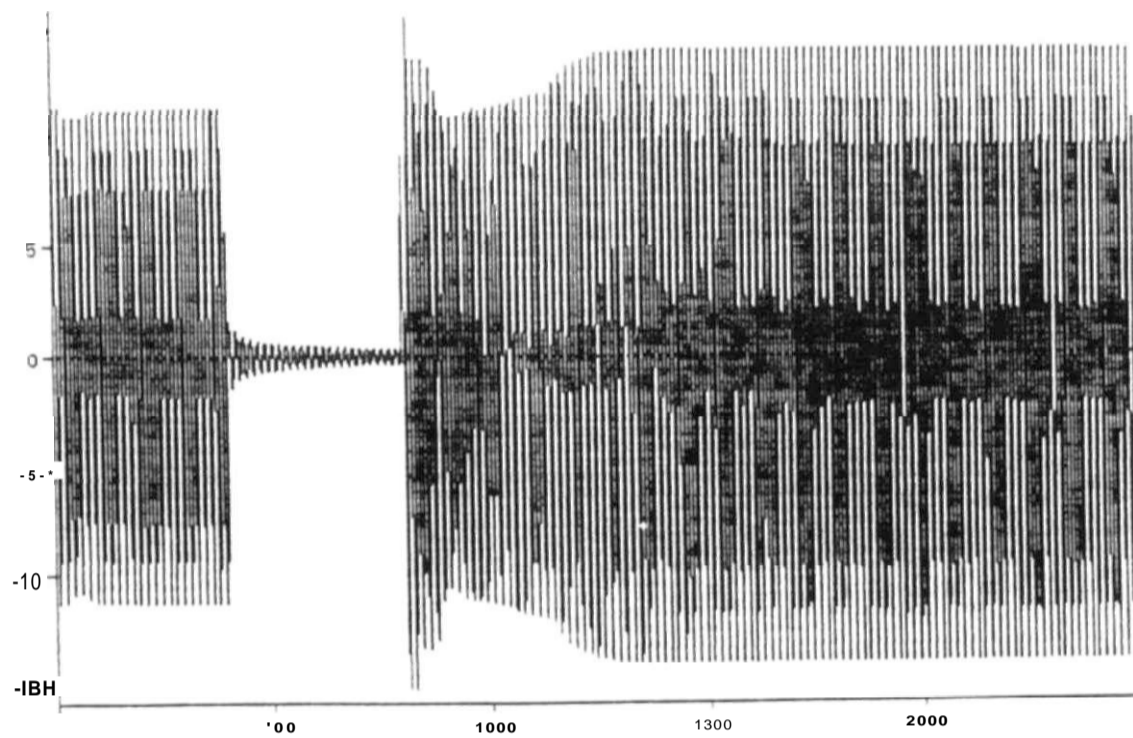
\ ação da variável BPI sobre o controlador PI do canal normal se dá conforme descrito a seguir.

A limitação dinâmica deste controlador foi representada através dos limites dinâmicos disponíveis na TACS, identificados como LMCAP e LMIND. sendo tais limites controlados através de cinco variáveis TACS, LMC e LMCAP para o limite capacitivo e LMI1, LMI2 e LMIND para o limite indutivo. Em condições normais de operação (sem nenhum bloqueio do regulador ativado), tem-se  $LMIND = -2.77V$  e  $LMCAP = +2.82V$ , valores que correspondem, em termos de ângulo de disparo, às potências nominais indutiva e capacitiva do CE. Tais limites dependem do estado das variáveis TACS BPI (saída da lógica de bloqueio por subtensão), IPI e IPT5 (saídas do circuito inicializador do controlador PI. a ser posteriormente comentado). Quando ocorre a atuação do esquema de subtensão. tem-se BPI



CkU]

23-Apr-93 03.46.25



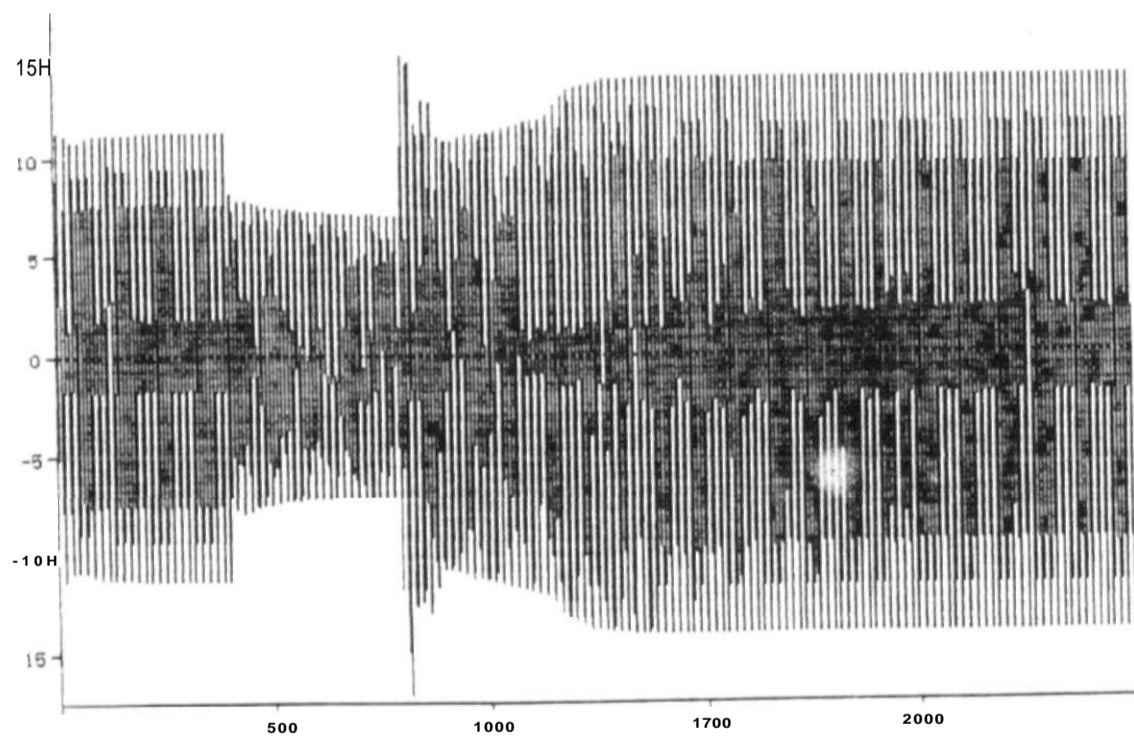
1) F13LA

CmsJ

CURTO-CIRCUITO 2F-T 69 KU SE FTZ ELIH REJ. 90X CARGA  
IO/ CfrGfi FTZ MI - FTMGHIP4.ORT - INDIOT UERS9C ABRIL/97  
TENSÃO TERMINAL MI 13.8 KU CA> SEM SAT INDUT MI

CkU]

33-Apr-95 03.46.25



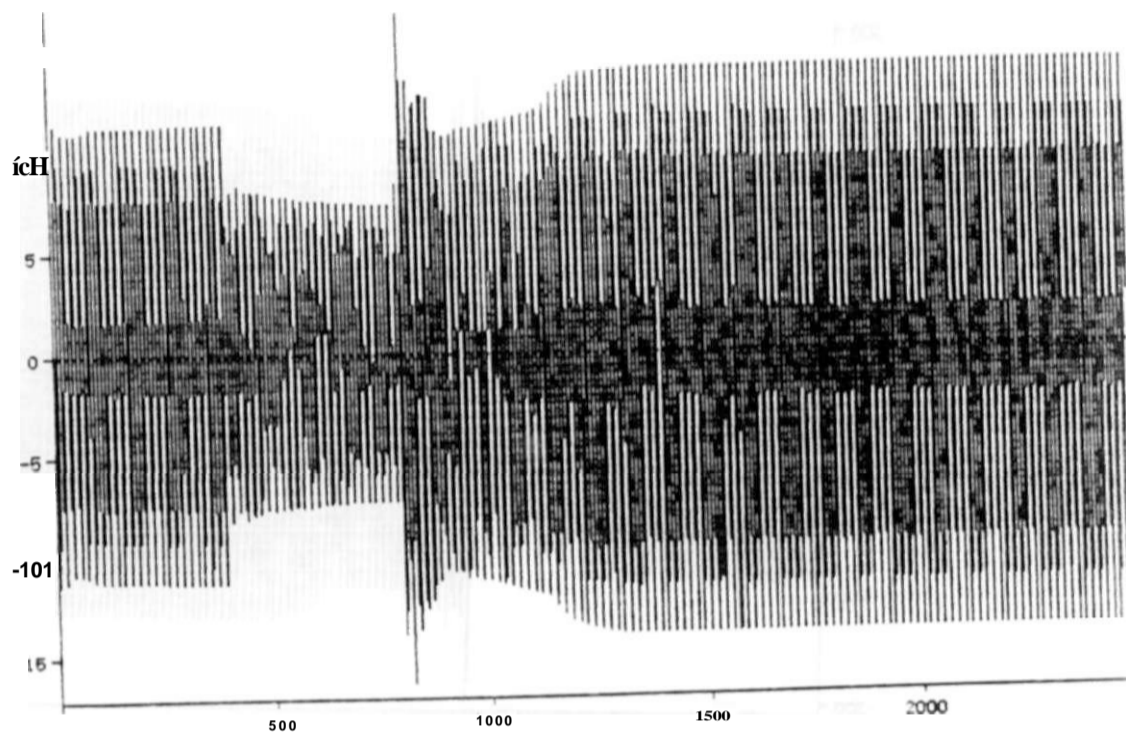
2> F13LB

t [ms]

TENSÃO TERMINAL MI 13.8 KU CB> SEN SAT INDUT MI

23 - Apr - 95 03.44.35

CKUJ



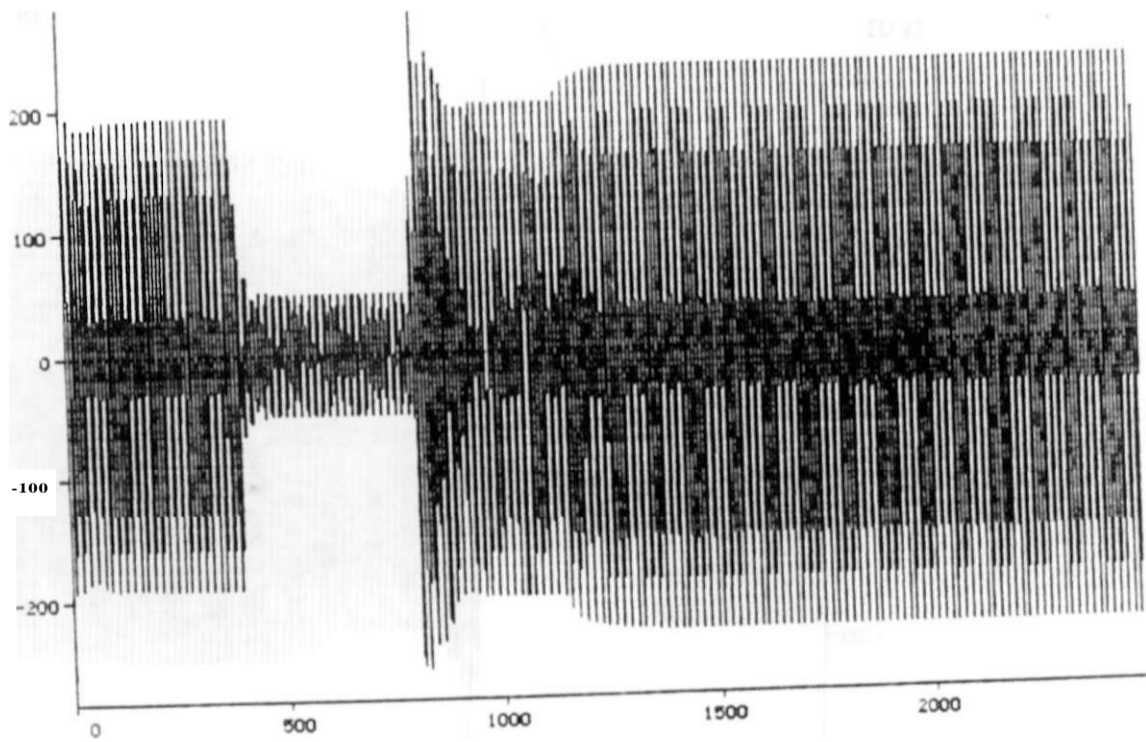
3) F13LC

r. íms.

CURTO-CIRCUITO ZF-T 69KU SE FTZ\_ ^I&^ÔB8% »^8BR?W^''

a 3 - Apr - 98 03.44.35

CKUJ



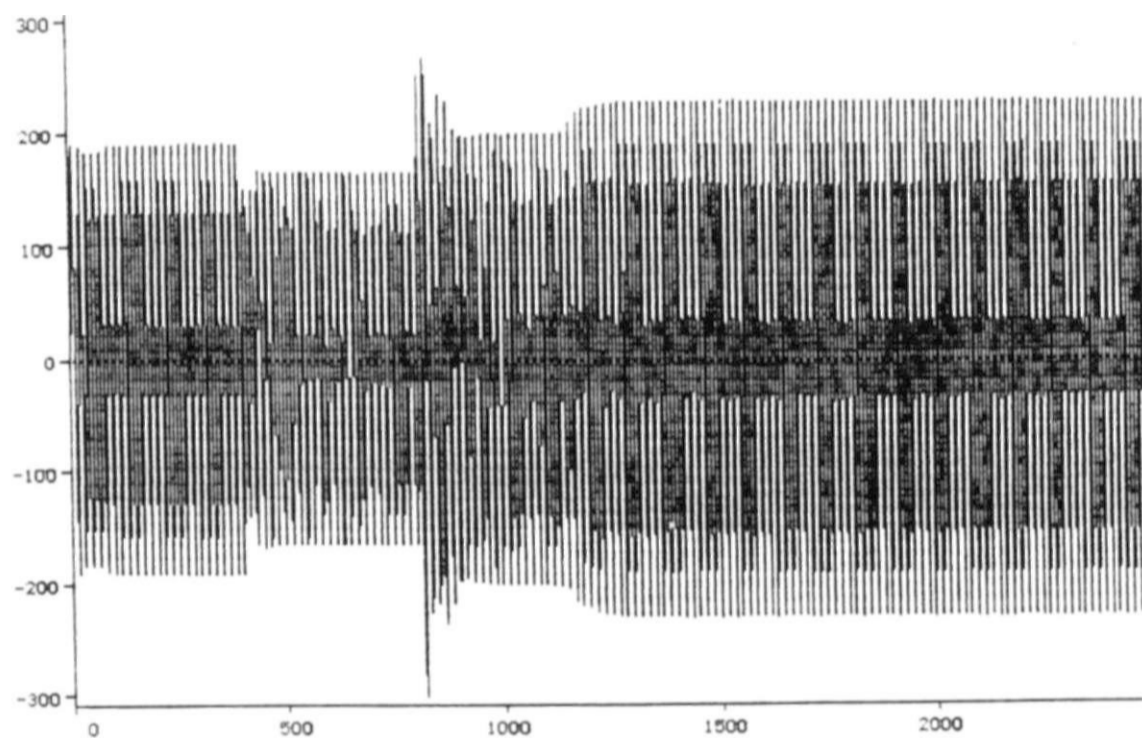
5> FC23A

r Cms]

UEFSRO ABRIL/97  
IrHIWWW PoilífISPJS?!"!» SRT INOUT Ri

CkU3

23-Apr-95 03.46.25



FC23B

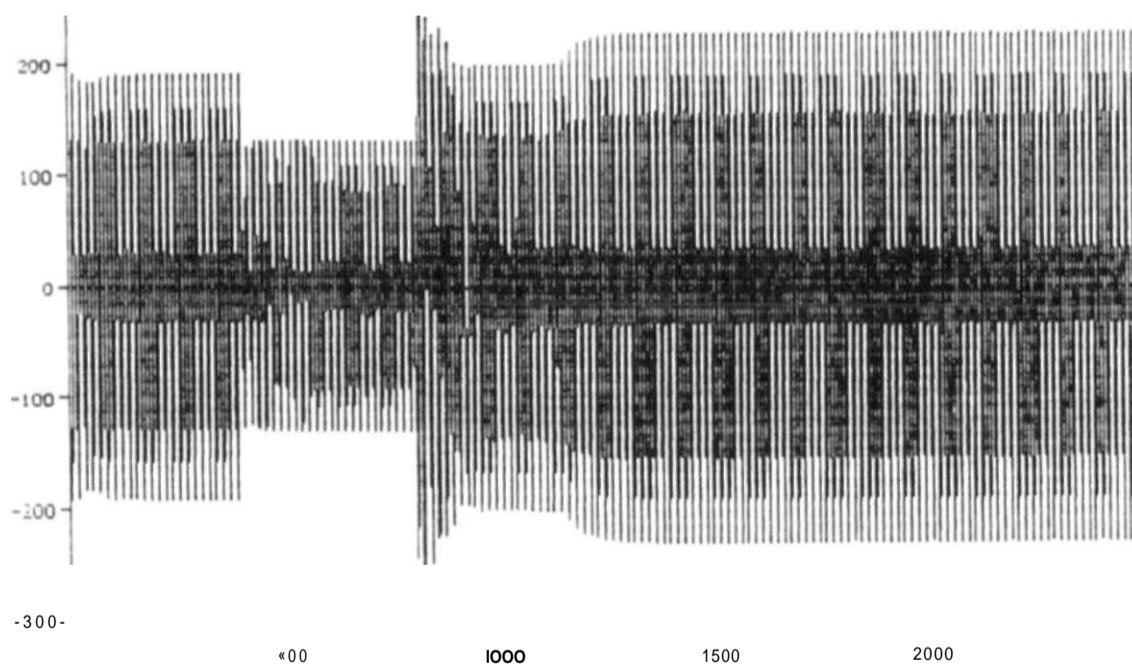
t [ms]

CURTO-CIRCUITO ZF-T 69 KV SE FTZ ELIM REJ. 90% CARGA  
10% CARGA FTZ MI - FTZMIP4.DAT - INDMOT VERSAO ABRIL/97  
TENSÃO 230 KV FORTALEZA (B) SEM SAT INOUT MI

CkU]

aa-Apr-93 03.46.35

300 H



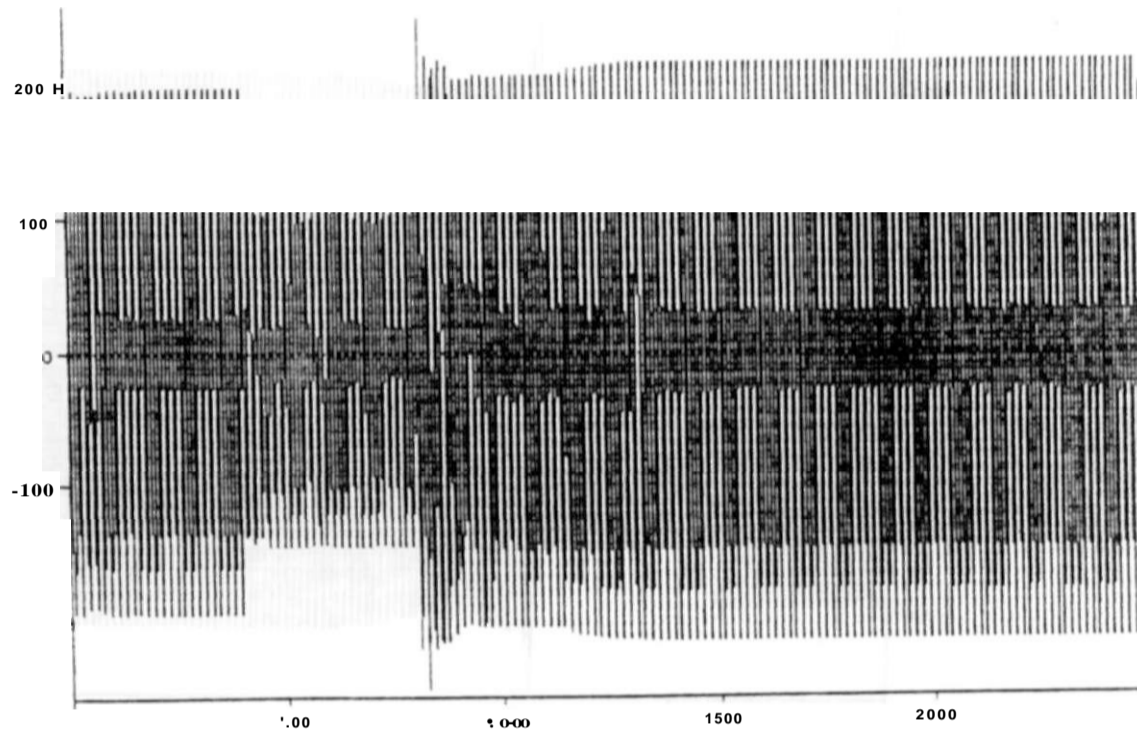
D FC23C

Cms]

CURTO-CIRCUITO ZF-T 69 KV SE FTZ ELIM REJ. 90% CARGA  
10% CARGA FTZ MI - FTZMIP4.DAT - INDMOT VERSAO ABRIL/97  
TENSÃO 230 KV FORTALEZA (C) SEM SAT INOUT MI

v CKU3

23-Aor-93 03.4\*.35



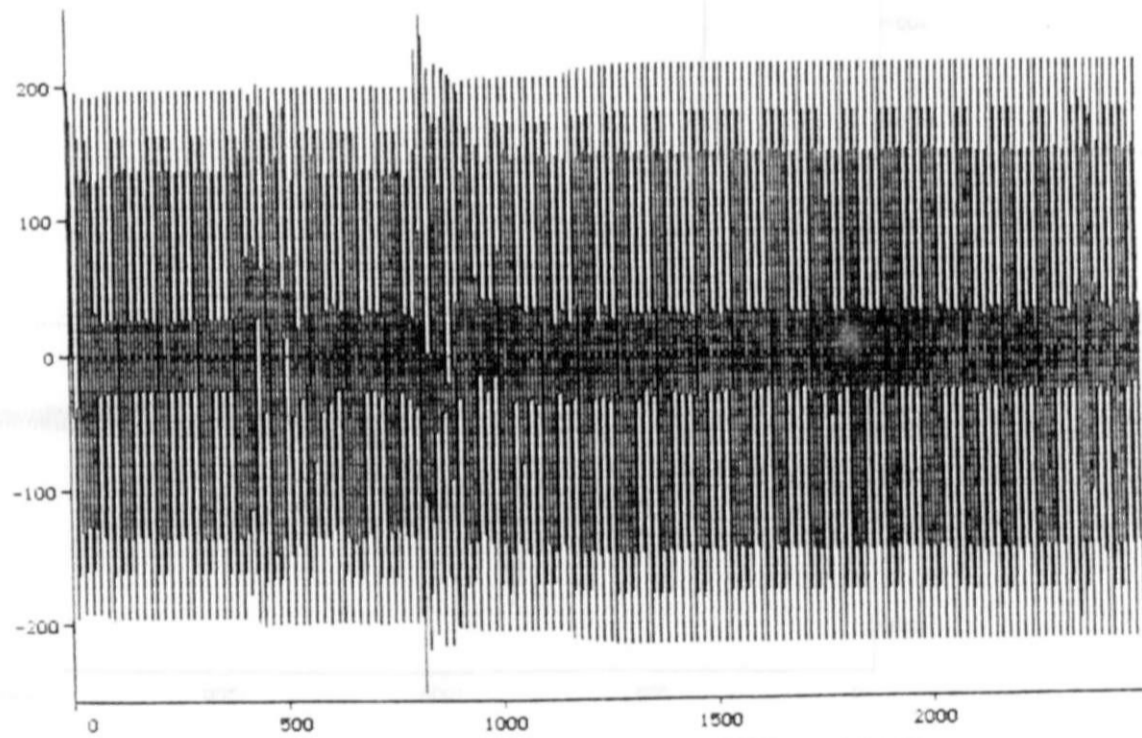
3) MLG23A

r CmEJ

10y: CRRGR^FT Z^n I^-1 FT MGm P4^DRT^ -^ANDnOT^UERFFIV3^R^RI^1-/97  
TENSIO 230 KU MILAGRES (A) SEM SRT INDUT MI

v [kU]

23-Apr-95 03.46.25



( 9) MLG23B

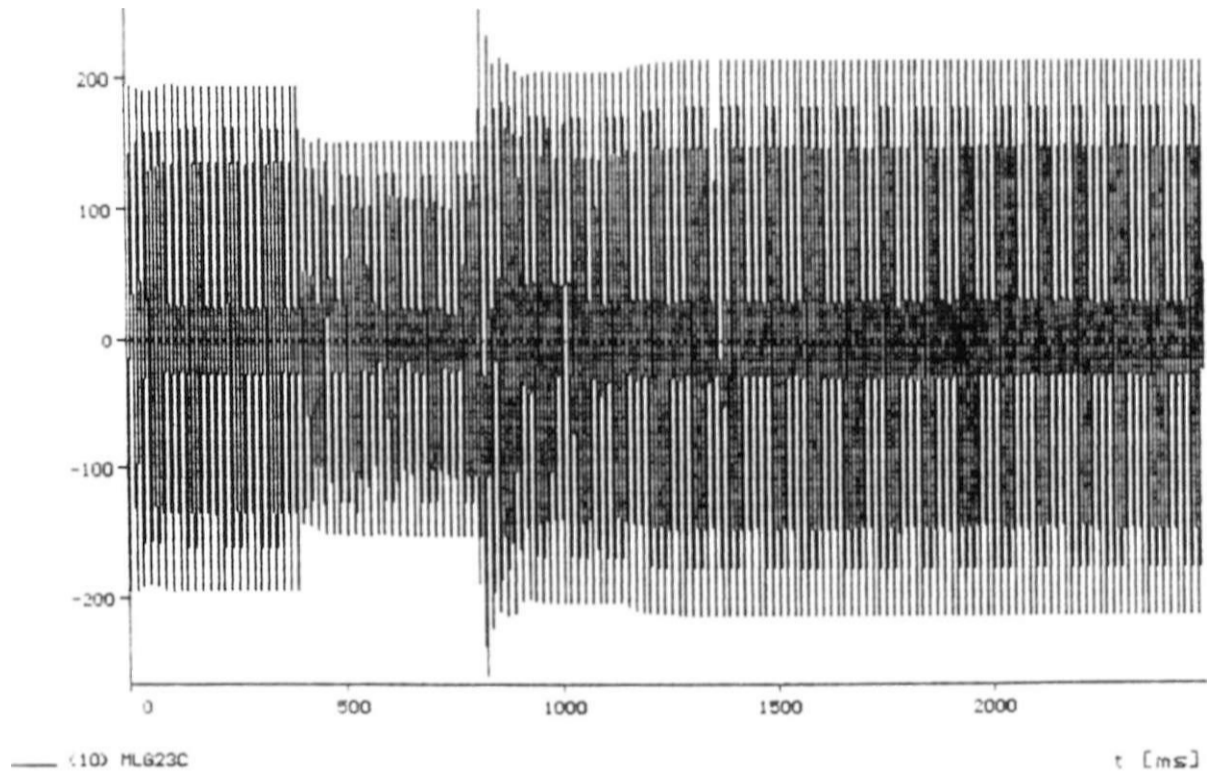
t [ms]

CURTO-CIRCUITO 2F-T 69 KU SE FTZ ELIM REJ. 90% CARGA  
10% CARGA FTZ MI - FTZMI P4.DAT - INDMOT VERSAO ABRIL/97  
TENSÃO 230 KU MILAGRES (B) SEM SAT INDUT MI



CUJ]

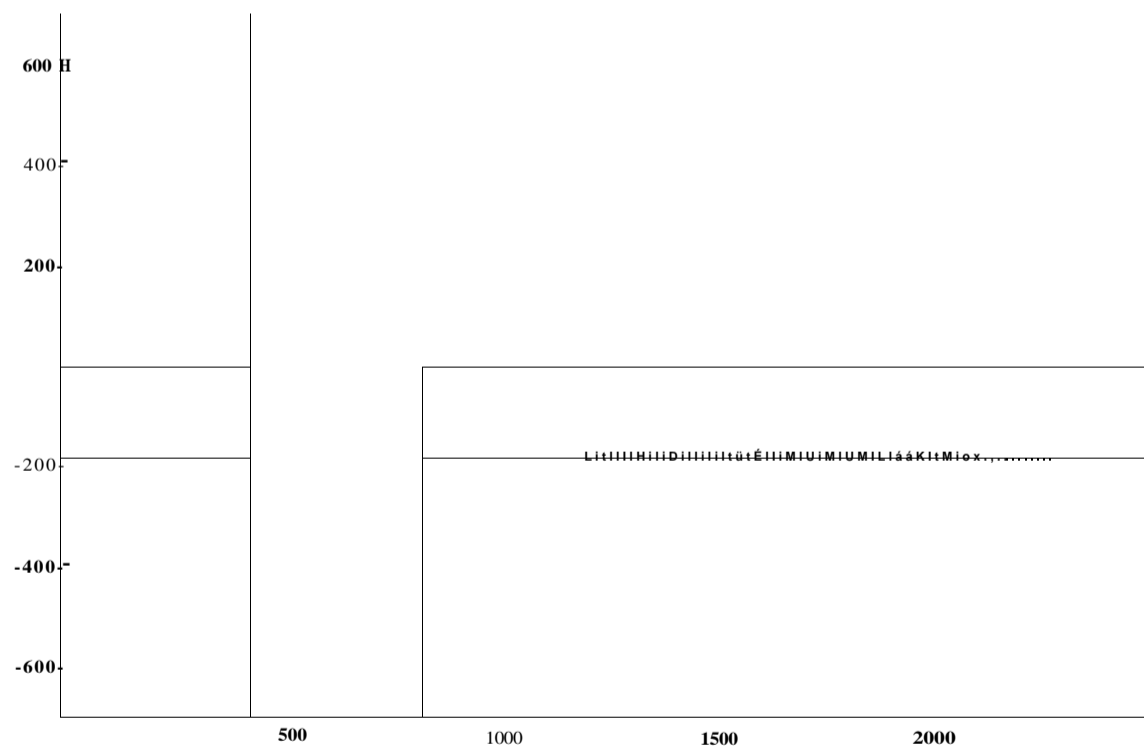
aa-Apr-93 03.46.23



CURTO-CIRCUITO 2F-T 69 KV SE FTZ ELIM REJ. 90% CARGA  
10% CARGA FTZ MI - FTGHIP4.DAT - (NOMOT VERSAO ABRIL/97  
TENSÃO 230 KV HILAGRES (C) SEM SAT INDUT MI

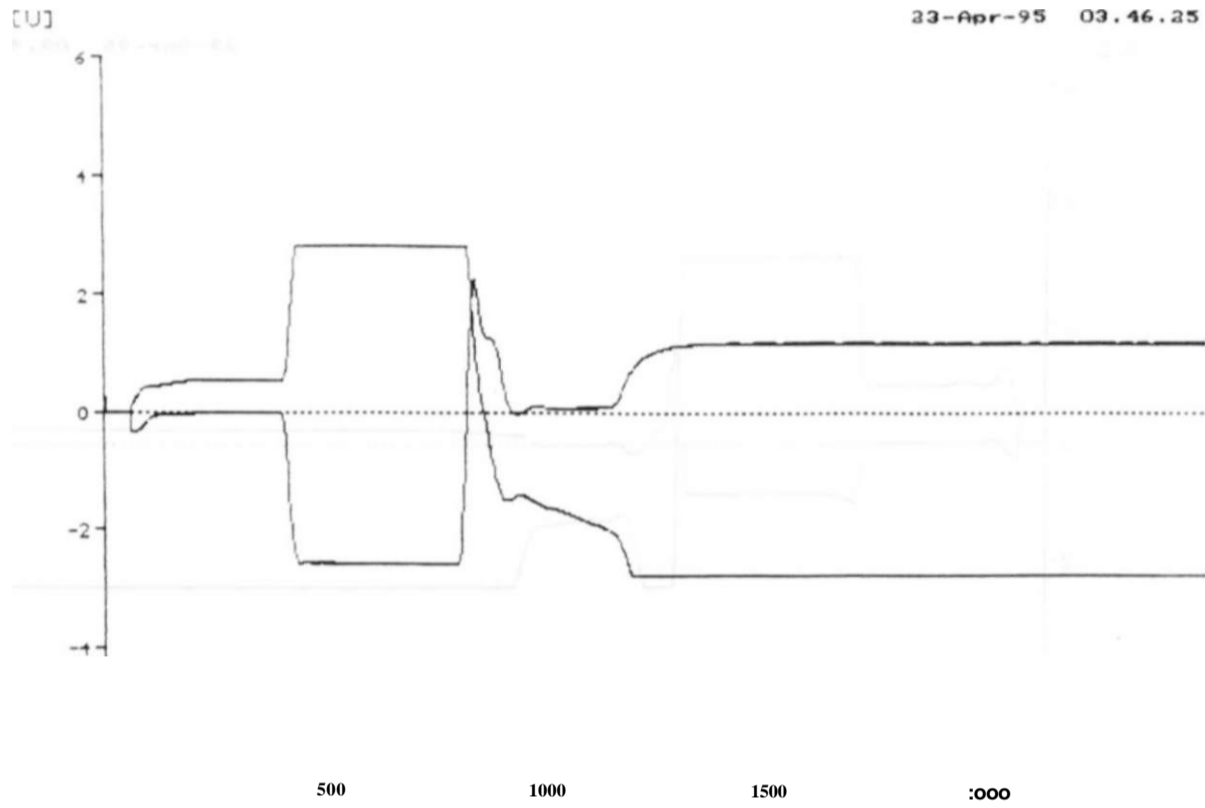
CKT]

23 - Apr - 95 03.41c.25

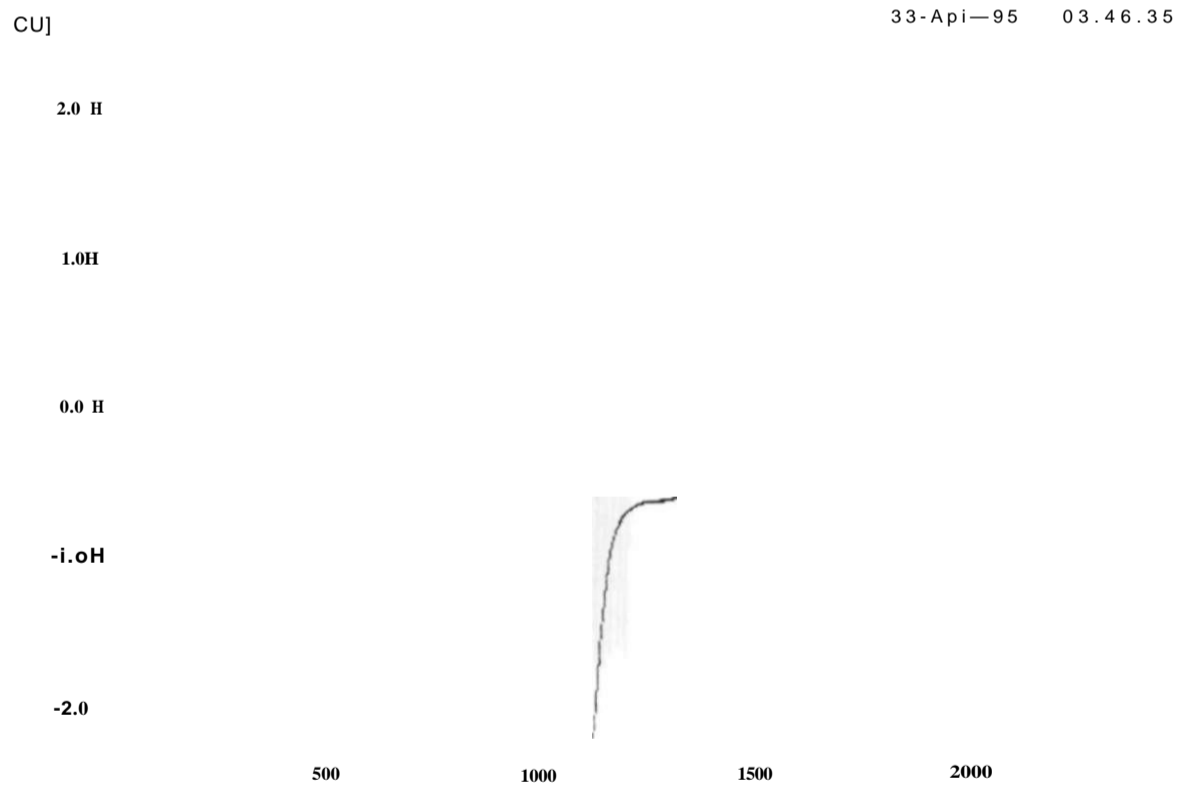


r CmsJ

CURTO-CIRCUITO 2F-T 69 KV FTZ ELIM. REJ. 90V. CARGA

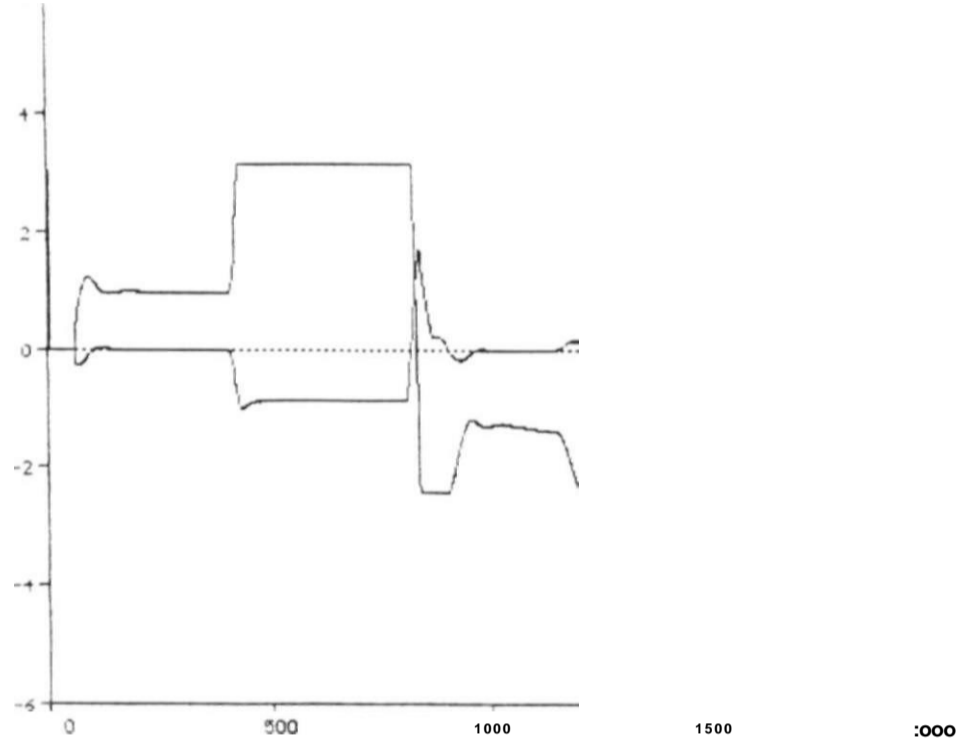


15) TACS - ENTPI (IAH TAGS - iAIPi  
 CURTO-CIRCUITO 2F-T 69 KU FTZ ELIN. REJ. 90X CORO«  
 IOV. CARGA MI FTZ - FTMGHIP4.DAT - INOHOT UER5RO ABRIL/97  
 TEMSOES ENTRRDR E SRIDR REGULADOR CE FTZ



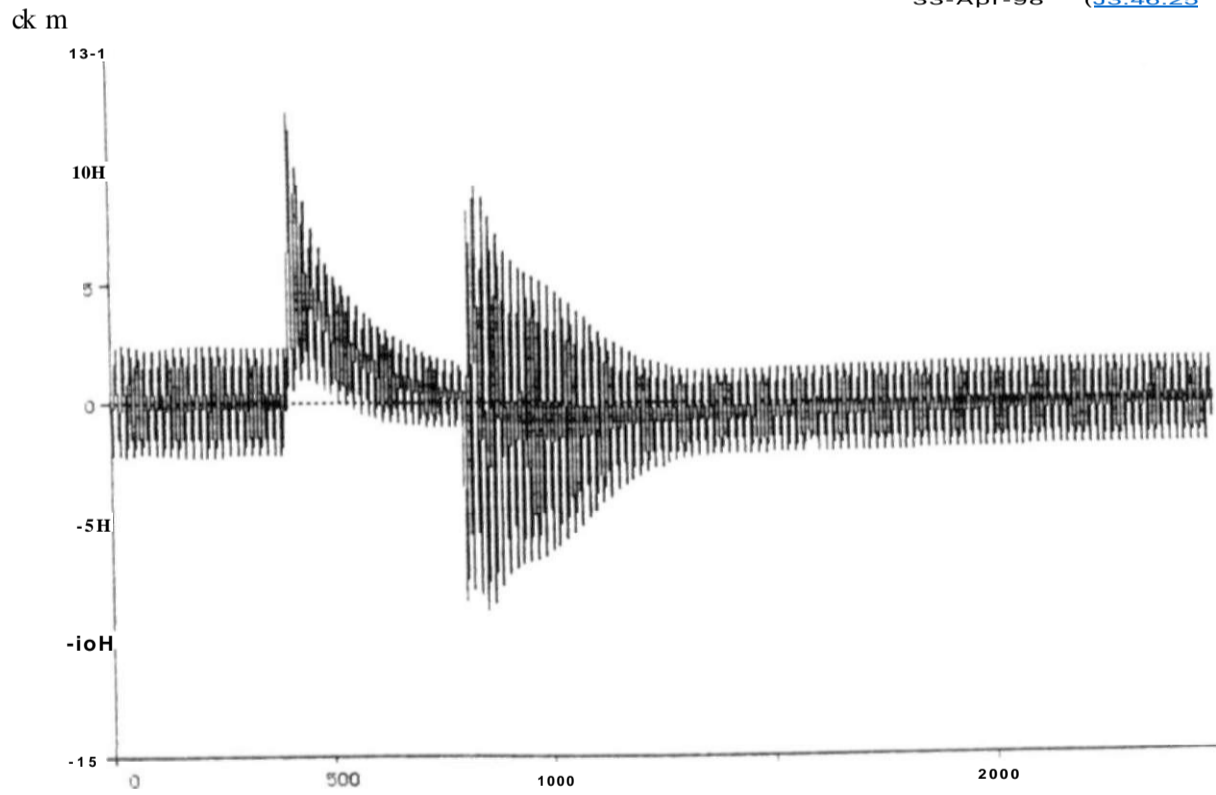
•17) TrCS - LINUC [ms]

CURTO-CIRCUITO 2F-T 69 KU FTZ ELIM. REJ. 90 / CARGA  
 IOV. CARGA MI FTZ - FTMGHIP4.DAT - INDMOT UERSAO ABRIL/97  
 SAIDA LIMITADOR CORRENTE CE FTZ INDUT. DISPERS. LINEARES MI



.20) TACS - ENTIPIM C21) TACS - irilPIM t CmsJ

CURTO-CIRCUITO 2F-T 69 KU FTZ ELIN. REJ. 90X CRRGR  
 LOX CRRGR HI FTZ - FTIGHIP4.ORT - INOFIOT UERSAO RBRIL/97  
 TENSOES ENTRROR E SRIOR REGULRDOR CE MLG

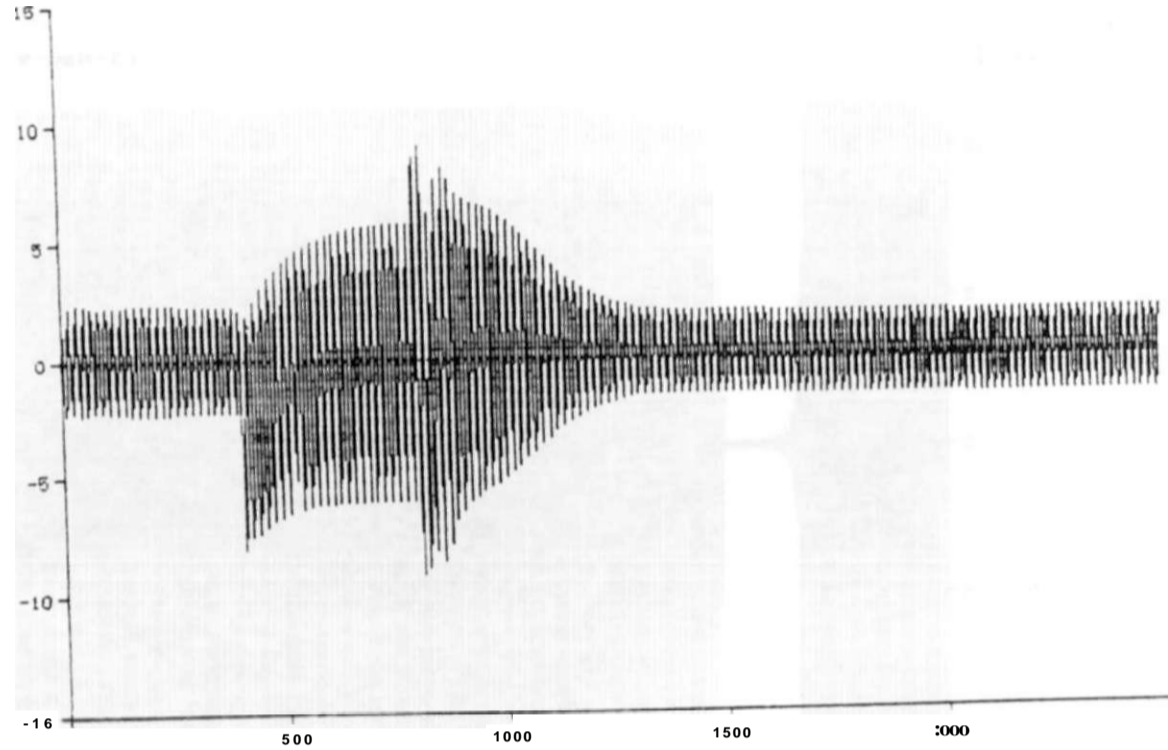


\_(28) UM-1 - IPA LmsJ

CURTO-CIRCUITO ZF-T 69 KU FTZ ELIM. REJ. 90X CRRGR  
 LOX CRRGR MI FTZ - FTMG11P4.DRI - INOFIOT UERSAO RBRIL/97  
 CORRENTE ESTRTOR MI CR) SEN SRT INDUT. fii

23-Apr-95 03.46.25

Ck 03



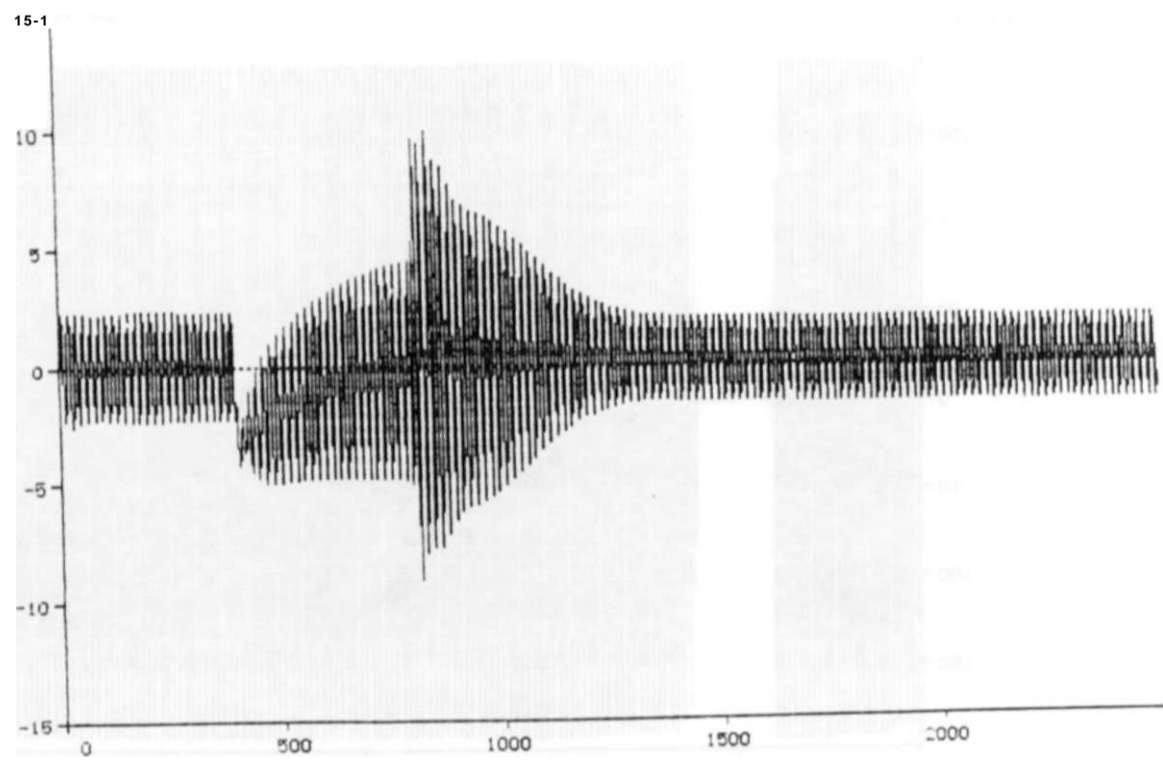
.19> UML - IPB

Cms]

CORRENTE ESTIÍOR III (B) SEU SRT INDUT. MI

aa-Apr-95 03.46.25

[kft]

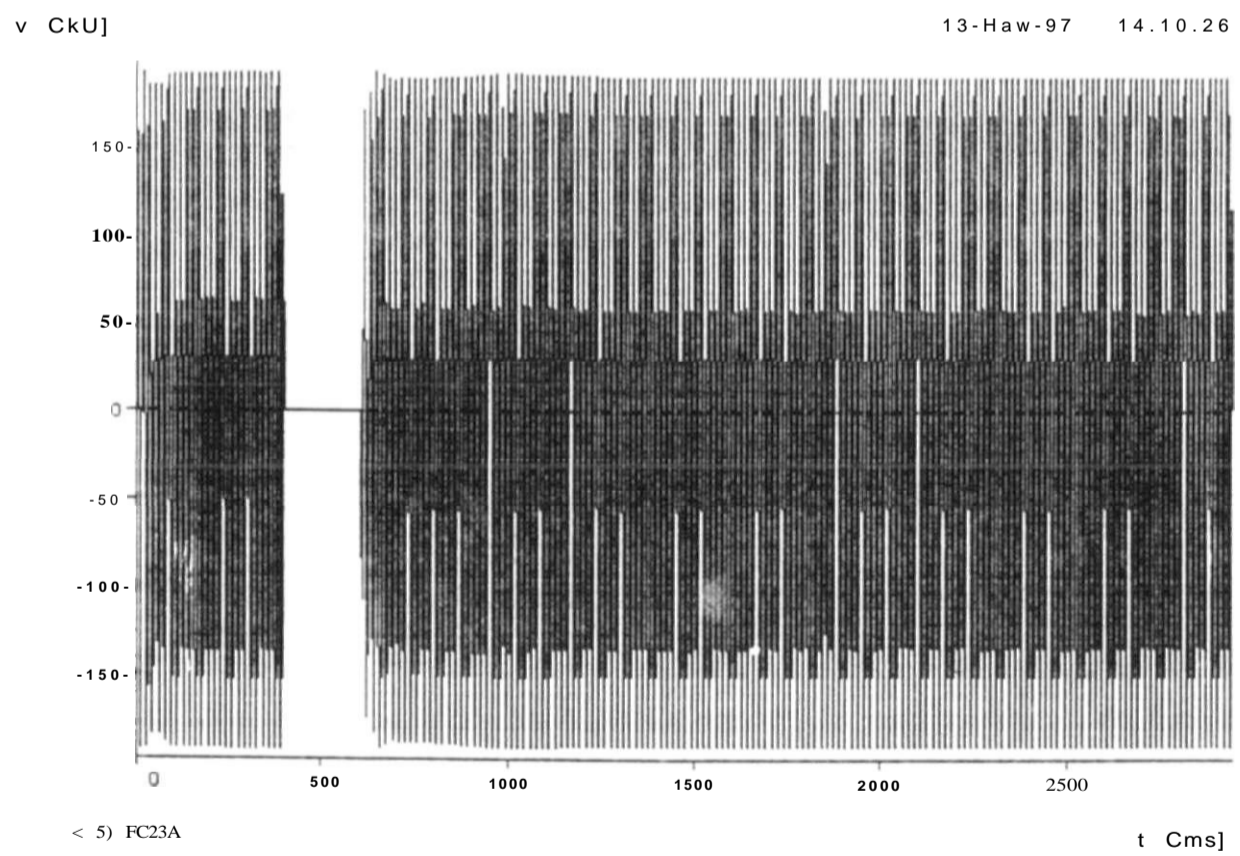
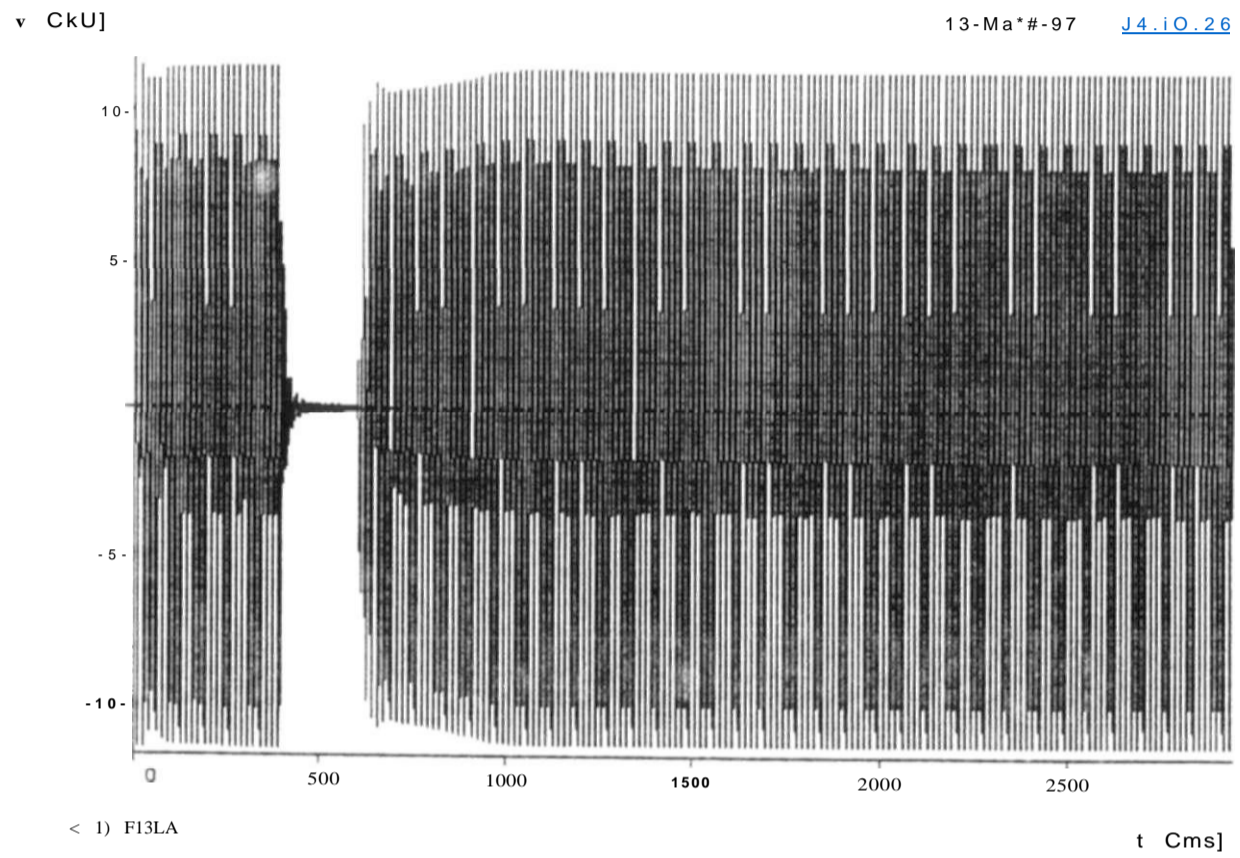


\_(30) UML - IPC

r Cms]

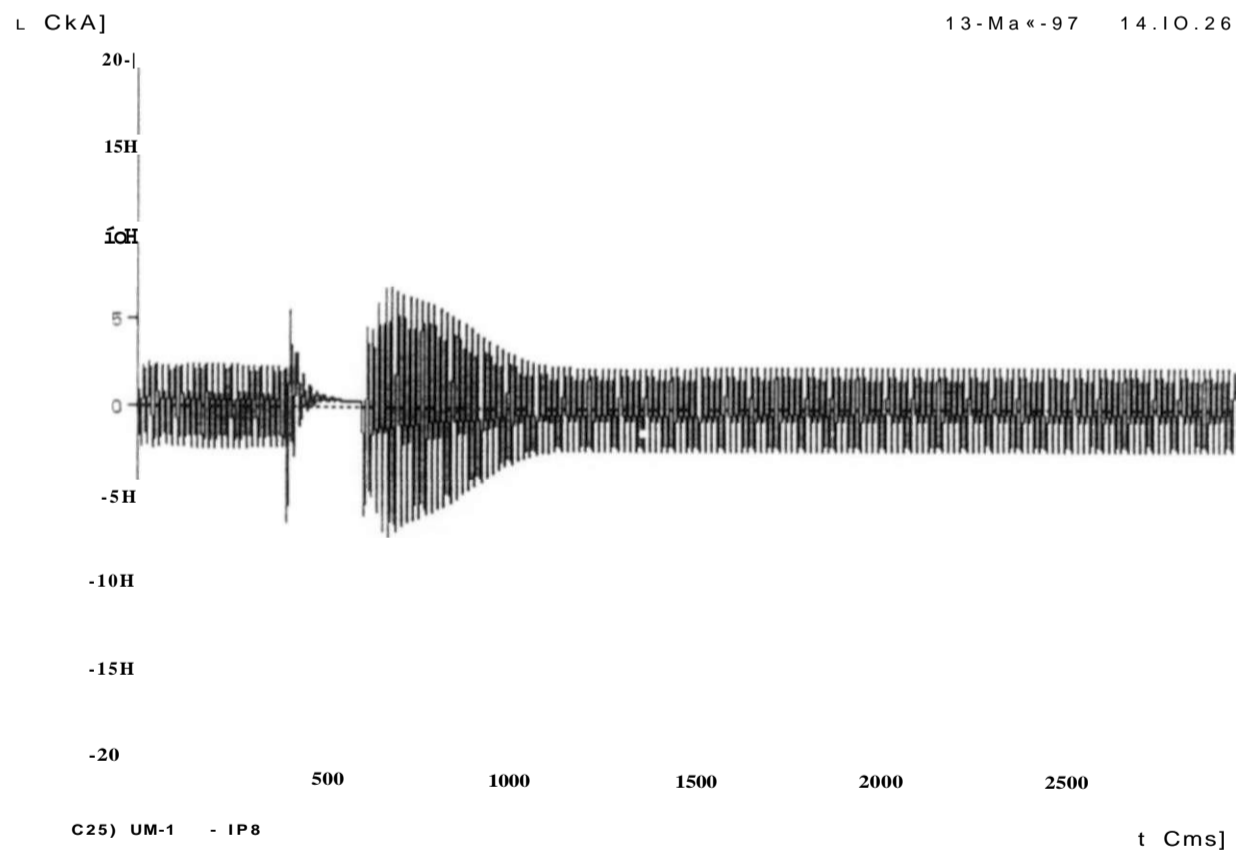
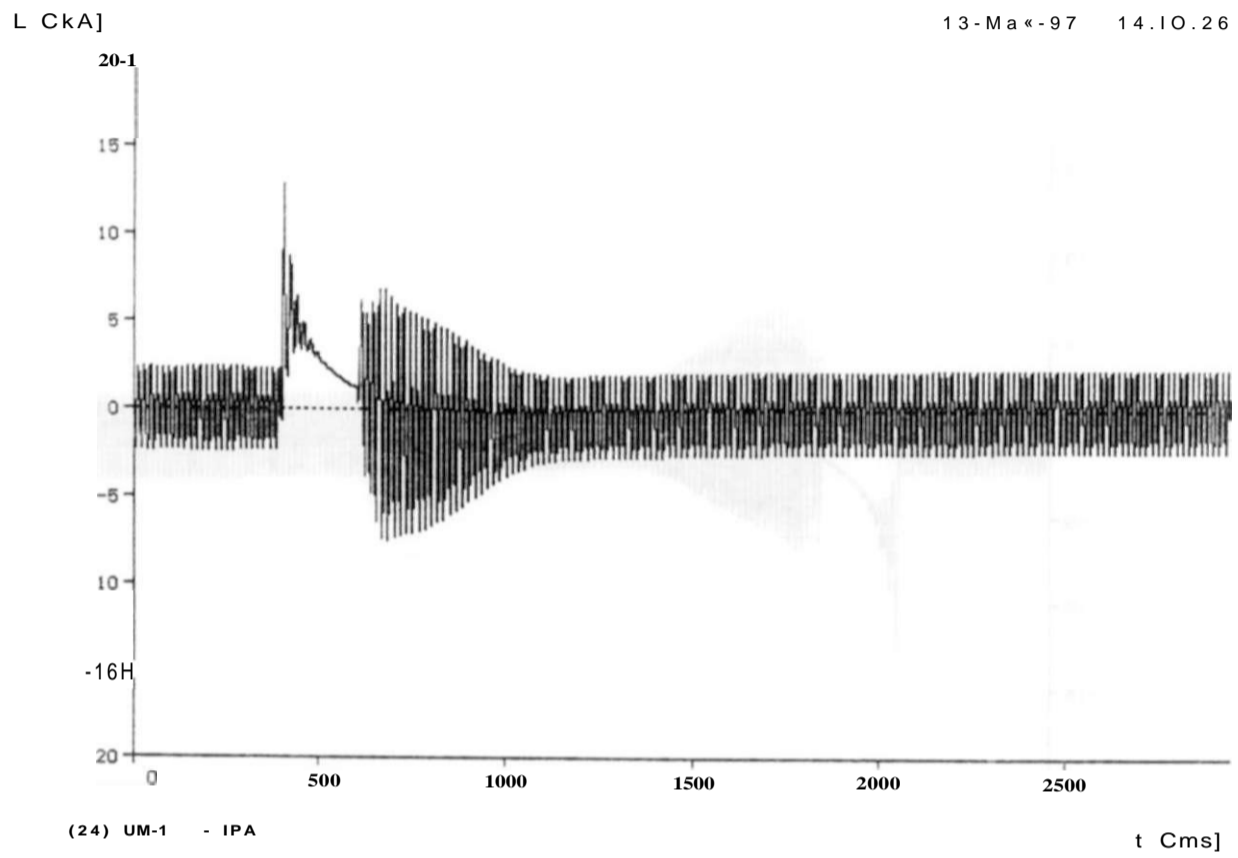
?OX'CRR7Í2^  
CORRENTE ESTRTOR MI CO SEM SRT INDUT. MI





A\_ELIM, ABERT, LT IOM CAROA FTZ HI  
 FTZ SEH SRT. INDUT. MI

int date: 13. May 1997



FTM? MÍPo no? AíííÁy-5SStr:7g" ELIM. ABERT. LT IOM CARGA FTZ MI  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE B

srint date: 13. May 1997

1, tornando  $LMIND = LMCAP = OV$ , o que leva a saída do controlador PI para OV e o CE para OMVAr.

Quando ocorre a atuação do circuito inicializador do controlador PI, tem-se  $IP1 = 0$  e  $IPI5 > 0$ , fazendo  $LMCAP = -0.36V$  e mantendo  $LMIND = -2.77V$ , limitando a operação do CE à faixa de ângulo de disparo compreendida entre  $92.5^\circ$  e  $115^\circ$ , conforme determinado em projeto. Em caso da atuação simultânea do circuito inicializador do PI e da lógica de bloqueio por subtensão, deseja-se que a ação do primeiro prevaleça e, para tal, foi acrescentada a variável LMI2, que, nesta situação, faz  $LMIND = -0,36V$ , reproduzindo o comportamento do equipamento real.

Os valores em Volts das grandezas internas do canal norr, . de regulação indicadas neste item referem-se ao CE Fortaleza. Tais grandezas são ligeiramente diferentes para o CE Milagres, o que em nada modifica a filosofia de operação do esquema apresentado.

#### **4.3.9 - Circuito inicializador do controlador PI**

Durante os estudos em simulador analógico (TNA) realizados para definição das modificações no sistema de controle do CE Fortaleza [4], verificou-se que na aplicação de um curto-circuito bifásico no 69kV da SE Fortaleza com rejeição total da carga desta subestação e considerando a não atuação, devido a um defeito eletrônico, do bloqueio do CE pelo esquema de subtensão, havia oscilações de longa duração entre o esquema de disparo protetivo nas válvulas de tiristores e o circuito limitador de corrente, descritos nos itens subsequentes, considerando a configuração da rede elétrica da época da realização dos estudos (1986).

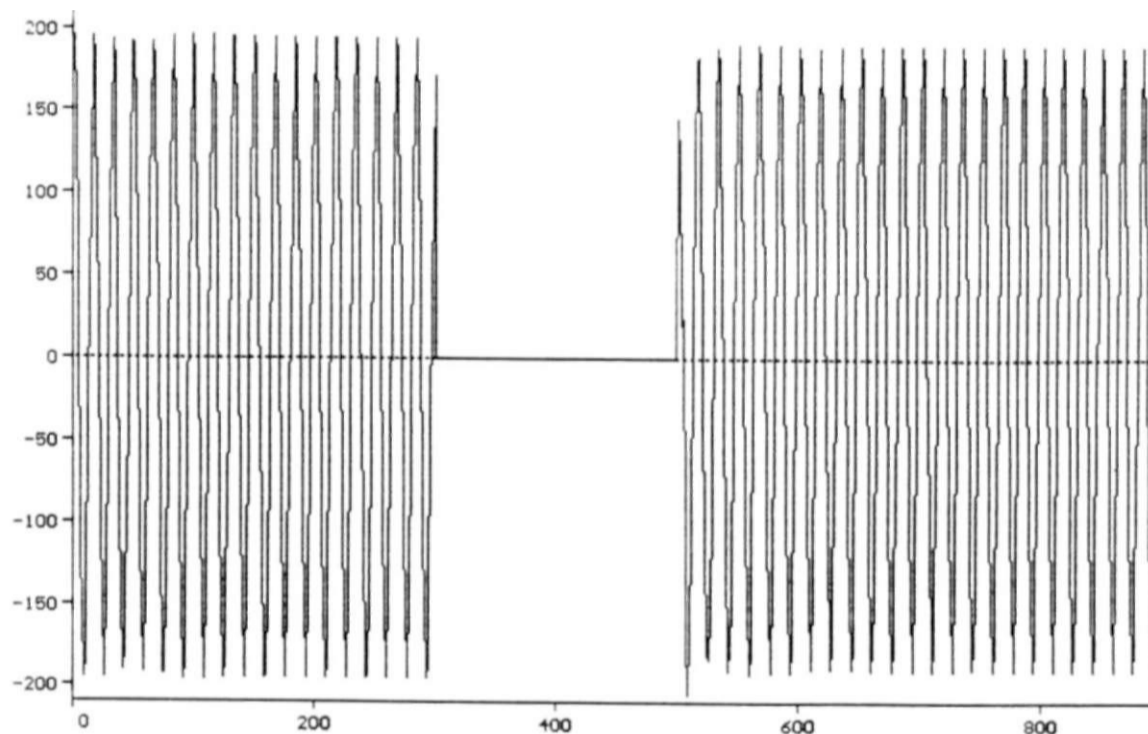
Isto se dava devido aos elevados níveis de sobretensão produzidos na eliminação do defeito, agravado pelo fato de, nesta situação, o CE estar operando no seu limite nominal capacitivo, devido à não atuação do esquema de subtensão. Assim, as sobretensões provocavam o surgimento de disparos protetivos, que provocavam sobrecorrentes nos reatores controlados a tiristores, que provocavam a atuação do circuito limitador de corrente, reduzindo a corrente nos reatores controlados, dando origem a novas sobretensões, que levavam ao surgimento de novos disparos protetivos, que implicavam em novas sobrecorrentes e novas atuações do circuito limitador de corrente, caracterizando um comportamento oscilatório, que se mantinha por vários ciclos depois de eliminado o defeito.

Para evitar este comportamento indesejável por parte do CE, foi introduzida no seu sistema de controle uma malha adicional denominada circuito inicializador do controlador PI, que atua conforme descrito a seguir.

- Na ocorrência de um disparo protetivo nas válvulas de tiristores, o circuito inicializador do controlador PI reduz o limite capacitivo do citado controlador, alterando sua faixa de operação para  $92.5^\circ < a < 115^\circ$ , por cerca de 10ms. Isto equivale a forçar o CE a operar durante este intervalo no ângulo de disparo de  $115^\circ$ , já que após a ocorrência de disparos protetivos, o referido equipamento tende a se deslocar no sentido capacitivo, na tentativa de compensar o afundamento de tensão provocado pela repentina inserção do reator controlado provocada pela atuação do esquema de disparo protetivo.

v [kV]

12-M\*V#-97 13.23.35



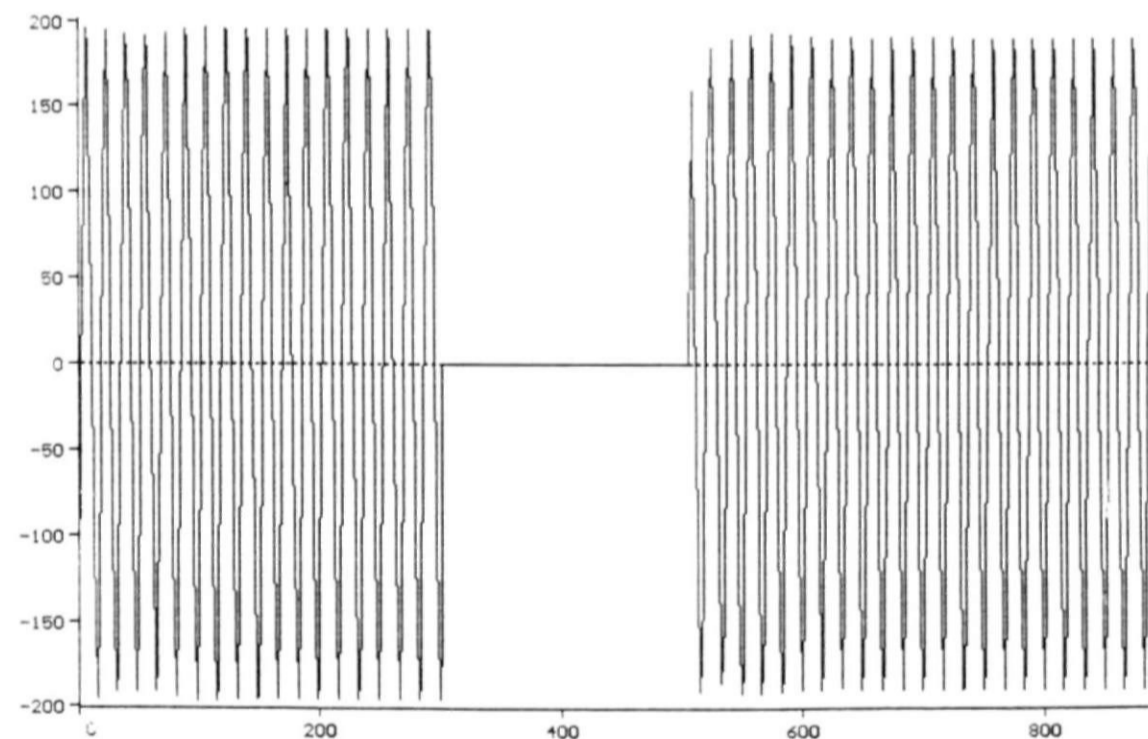
— ( 4 ) ML623A

t [ms]

CC 2F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
CC22M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

v [kV]

12-May-97 13.23.35



— ( 5 ) ML623B

t [ms]

CC 2F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
CC22M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE B

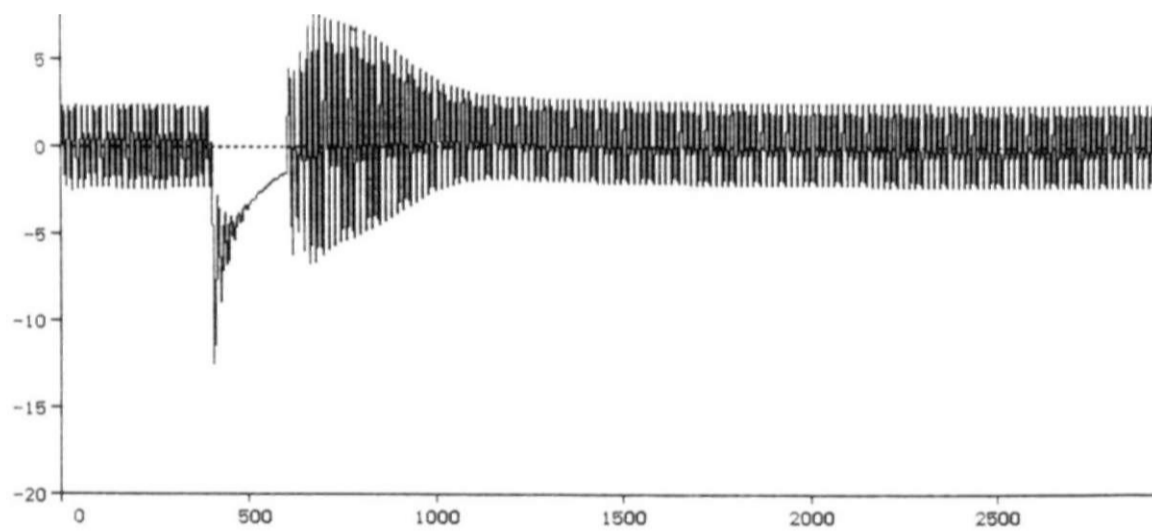
print date: 12

i CkA]

13-Ma«\*-97 14.10.26

20

!5H



(26) UM-1 - IPC

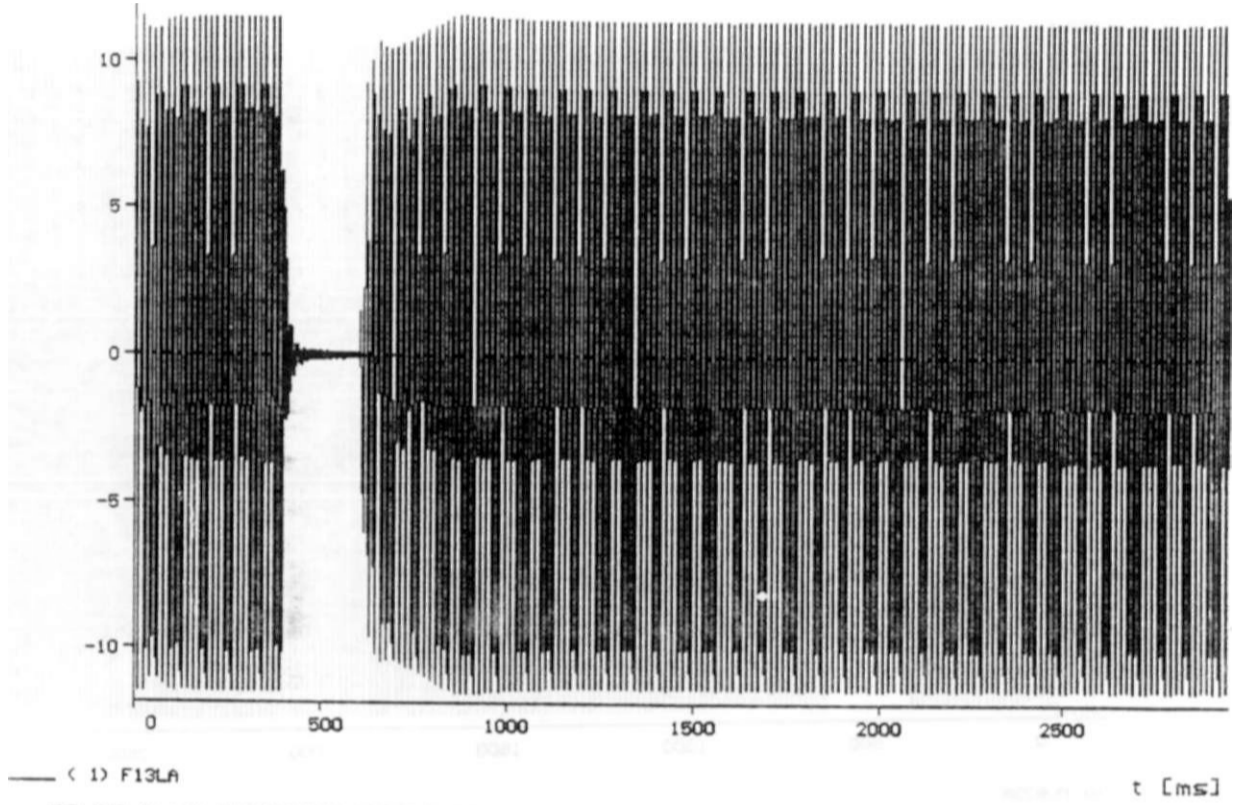
t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA ELIM. ABERT. LT 10% CARGA FTZ MI  
FTMGHIPA.DAT INDMOT ABRIL 97 COM USUB DE FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

int date: 13. May 1997

v [kV]

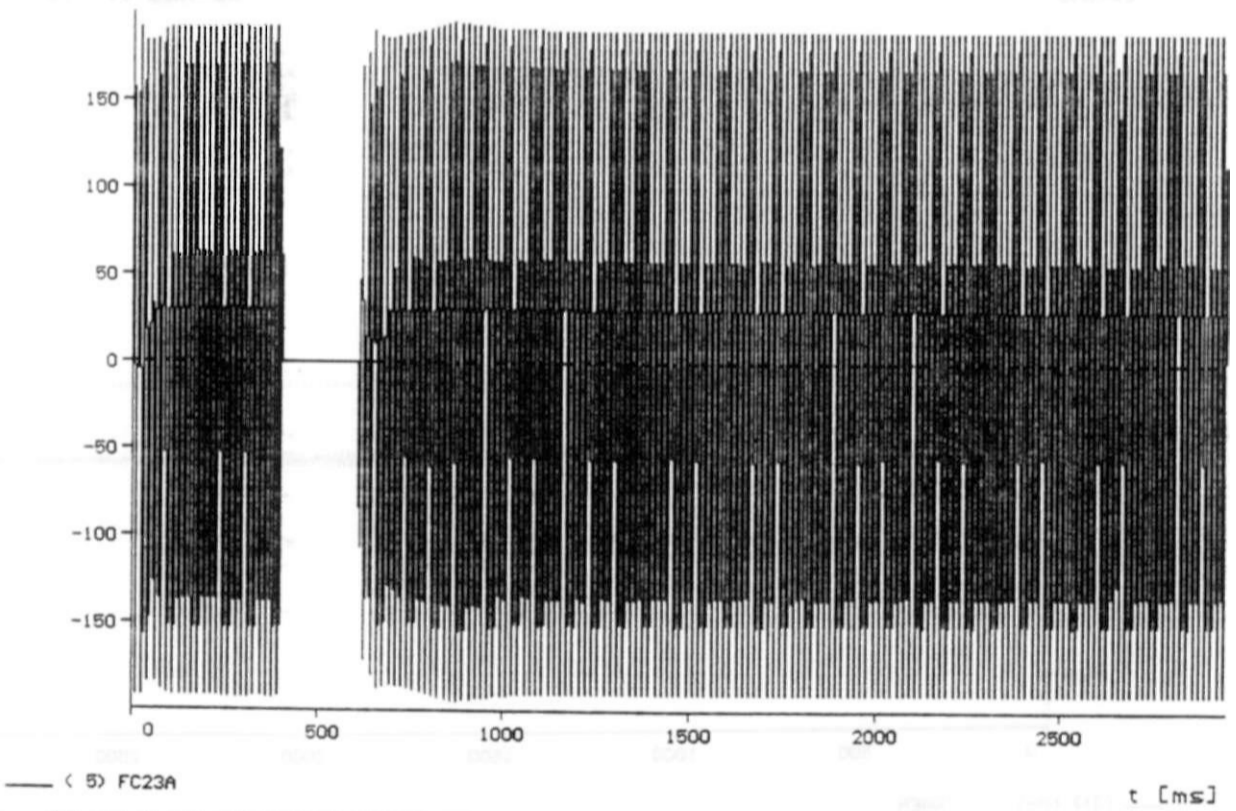
13-H«v-97 13.29.31



CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 10% CARGA FTZ MI  
FTMGRIPE.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ COM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO TERMINAL MOTOR DE INDUÇÃO FASE-NEUTRO 13.8KV FASE A

v [kV]

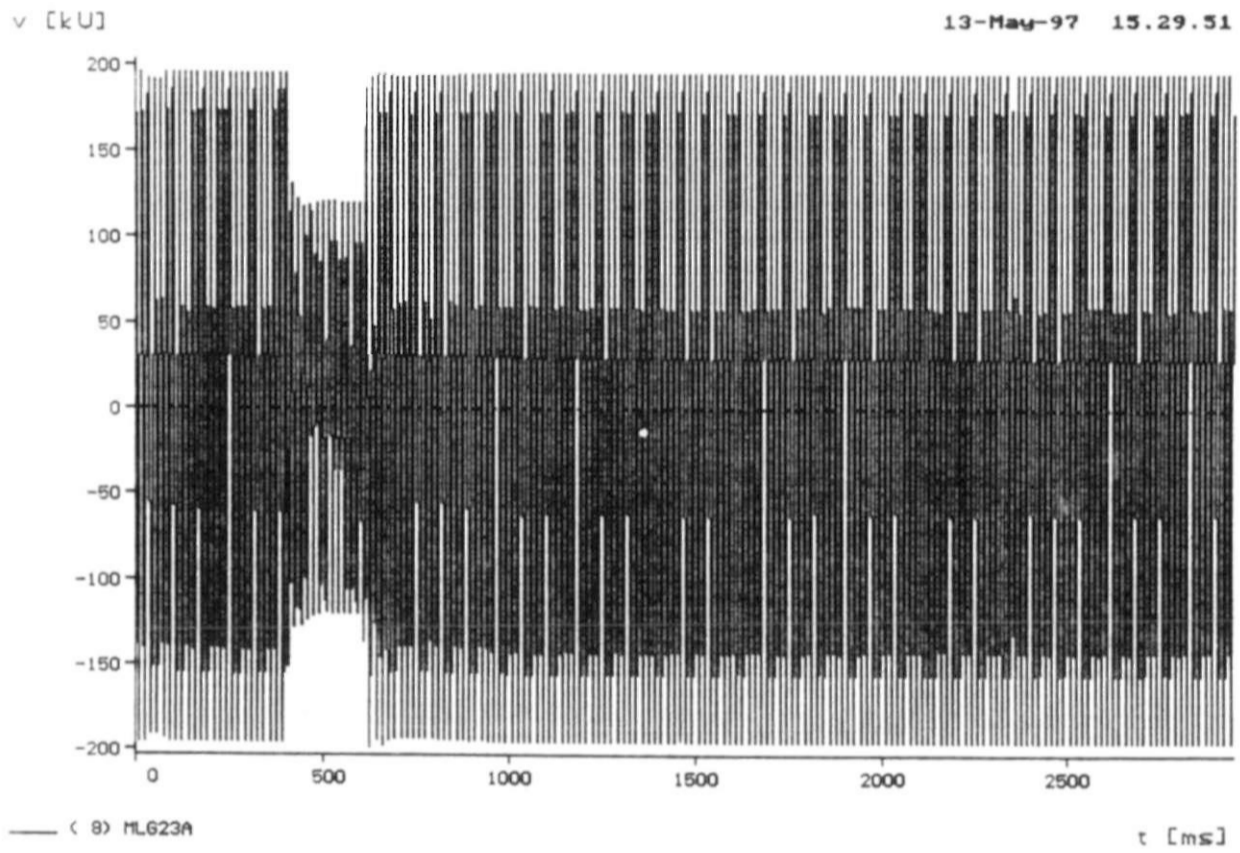
13-May-97 15.29.51



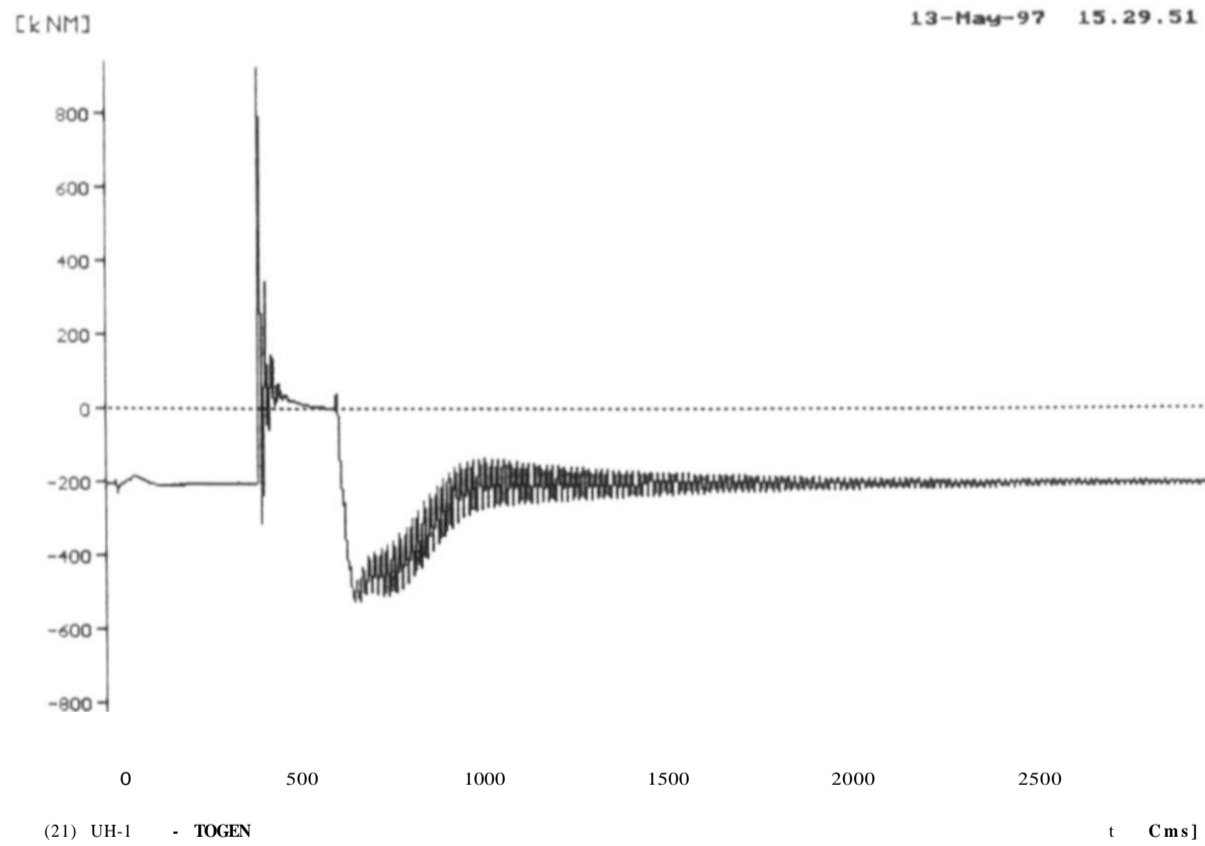
CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 10% CARGA FTZ MI  
FTMGRIPE.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ COM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE A

-int date: 14. May 1997





CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 10% CARGA FTZ MI  
 FIMCHIPE DAT INDIOT APRIL 7/97 COM USUB CE FTZ COM SAT. INDUT. MI  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A



CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT IOV. CARGA FTZ MI

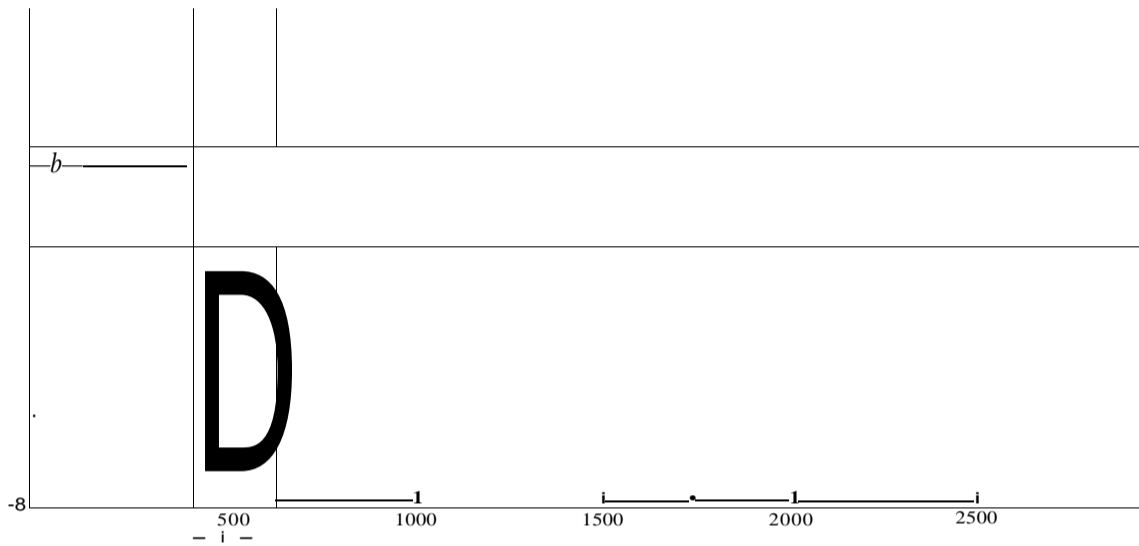
int date: 14. May 1997

v CUJ

13-M»v\*-97 15.29.51

3n

si

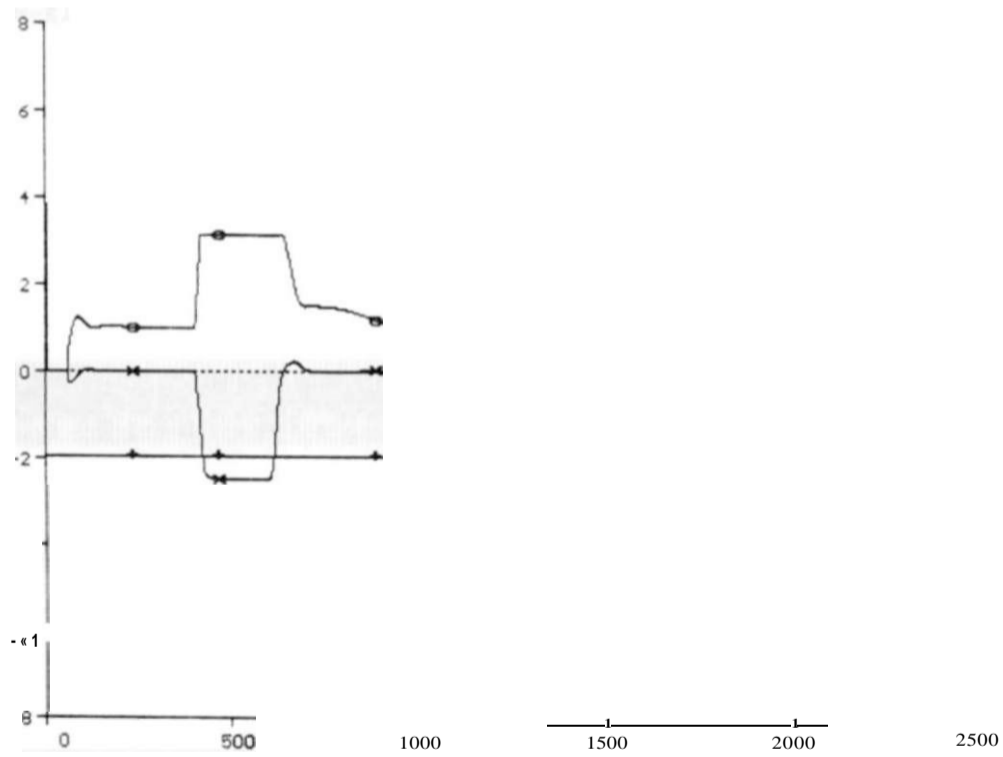


<15> TACS - ENTPi q <16> TACS - SAIPi t <17> TACS - LINUC t Cms]

CC 3F-TLTBRNABUIU-FORTALEZA 230KU ELIN. ABERT. LT 10% CARGA FTZ MI  
 ETMGPEDAT INDMOT ABRIL 1997 COM USUB GE FTZ COM SAT INDOT. MI  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v CUJ

13-M«M-97 15.29.51



(18) TACS - ENTPIM (19) TACS - SAIPin Jt\_ <20> TACS - LINUCM t Cms]

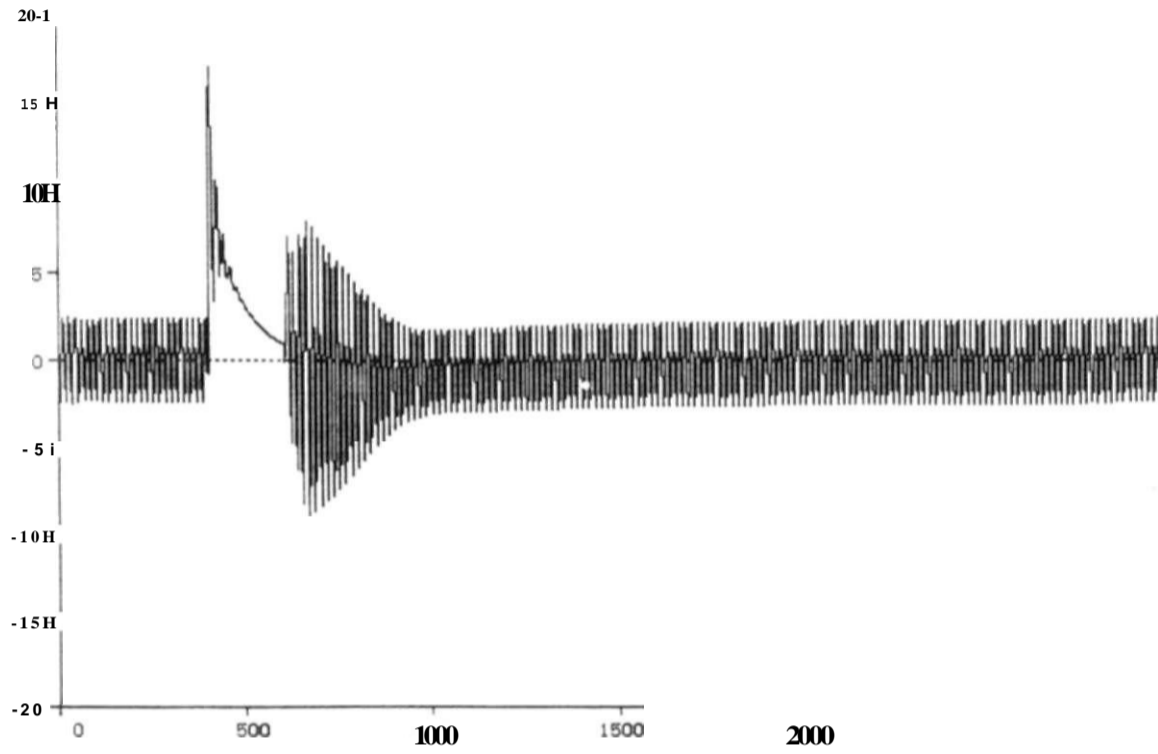
CC 3F-TLTBANABUIU-FORTALEZA 230KU ELIN. ABERT. LT 10% CARGA FTZ MI  
 ETMGPEDAT INDMOT ABRIL 1997 COM USUB GE FTZ COM SAT INDOT. MI  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

int date: 14. May 1997



i CkA]

13-M»M-97 15.29.51



C24) Uri-1 - IPrt

t Cms]

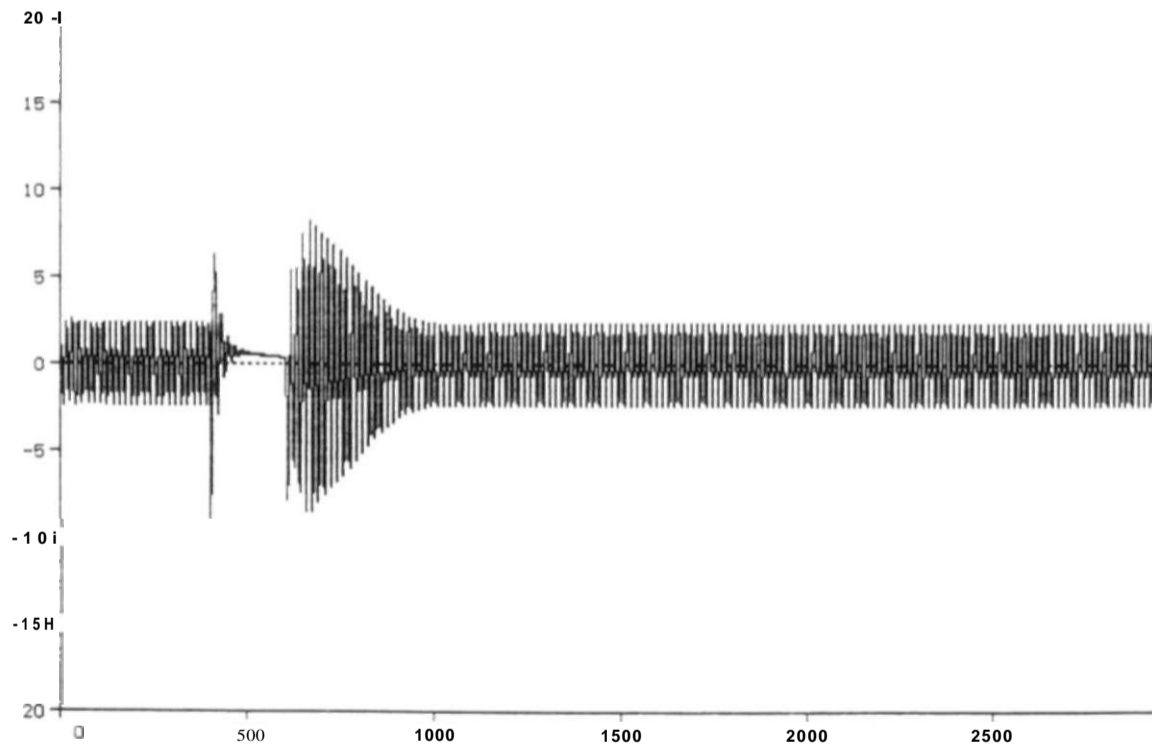
*mm*<sup>1</sup>

[A 230K

ABERT. LT IOX CAROA FTZ MI  
FASE A COM SAT. TMOOT. MI

L CkA]

13-Mav»-97 15.29.51

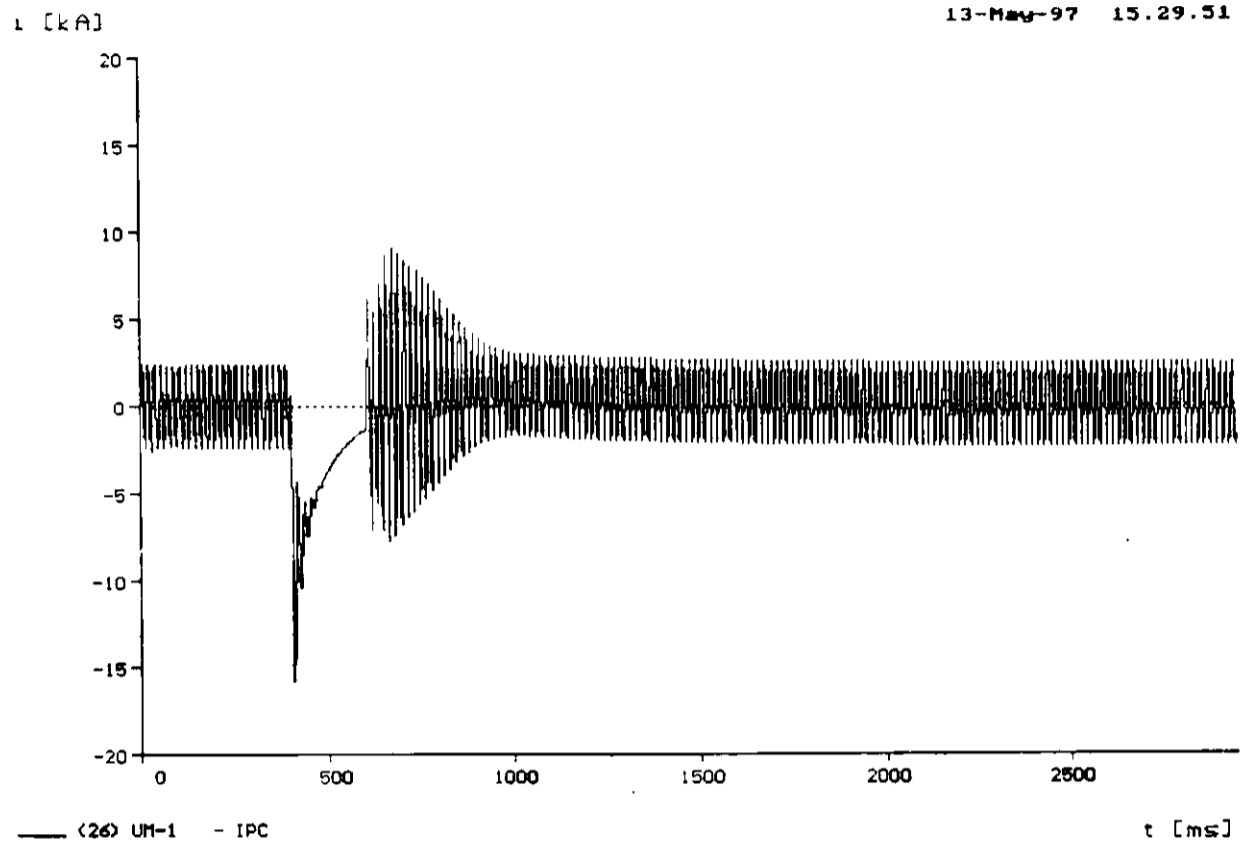


(25) Ut-1 - IPB

t Cms]

c9\_u^E7lc'I\_A?^fiSyjLy~E2^TALEZA 230KU ELIM. ABERT. LT LUX CAROA FTZ MI  
COR^ATT8§^EST^ OTMOT'OR SE^IJC^FAIE g^o^ DATA INOUT. MI

print date: 14. May 1997

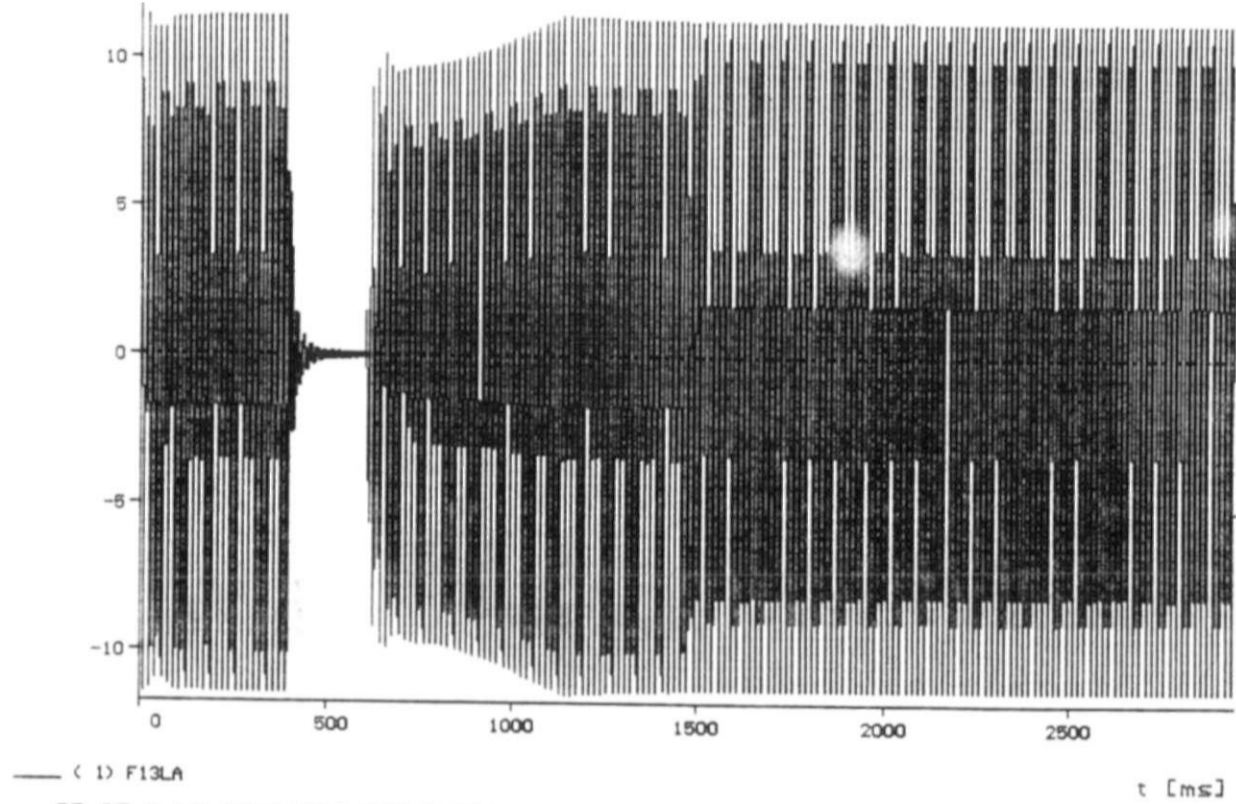


CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 10% CARGA FTZ MI  
 FTZMIPE.DAT INDIOT ABRIL/97 COM USUR CE FTZ COM SAT. INDUT. MI  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 14. May 1997

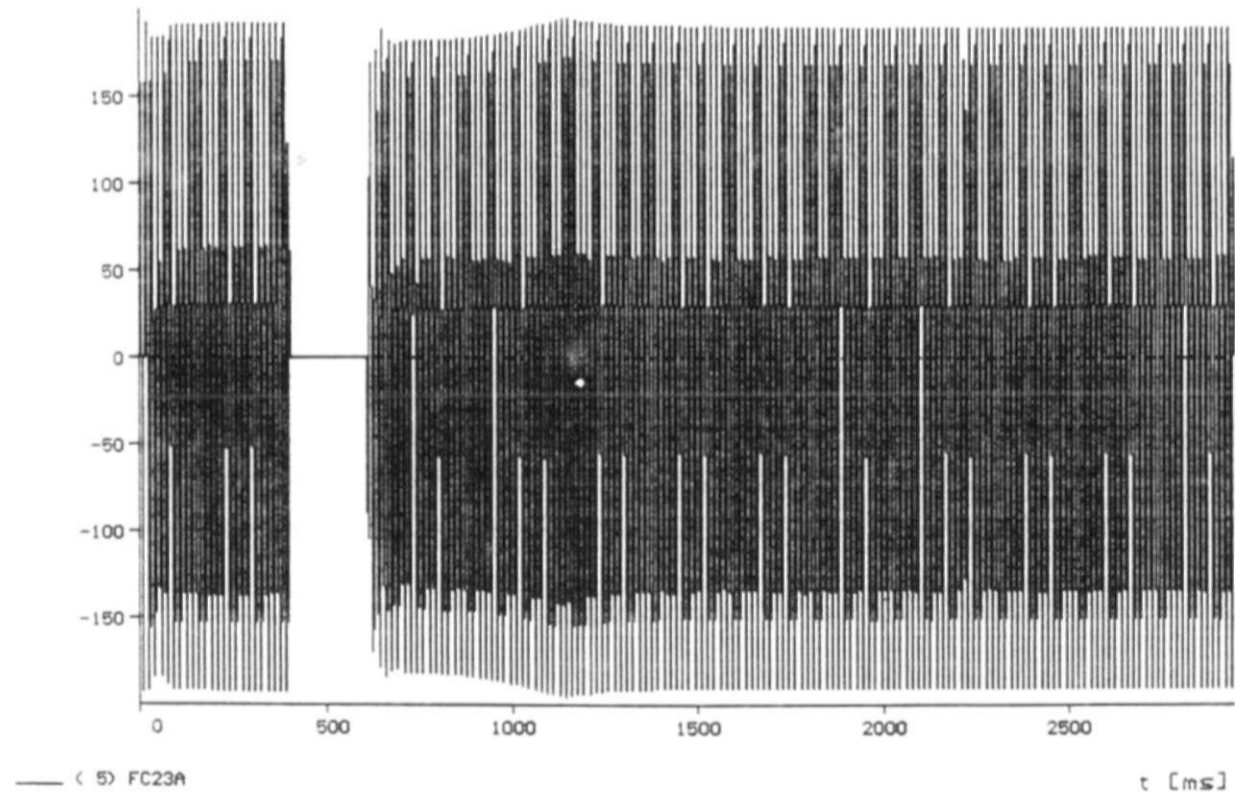
v CKUD

14-M\* M-97 09.47.37



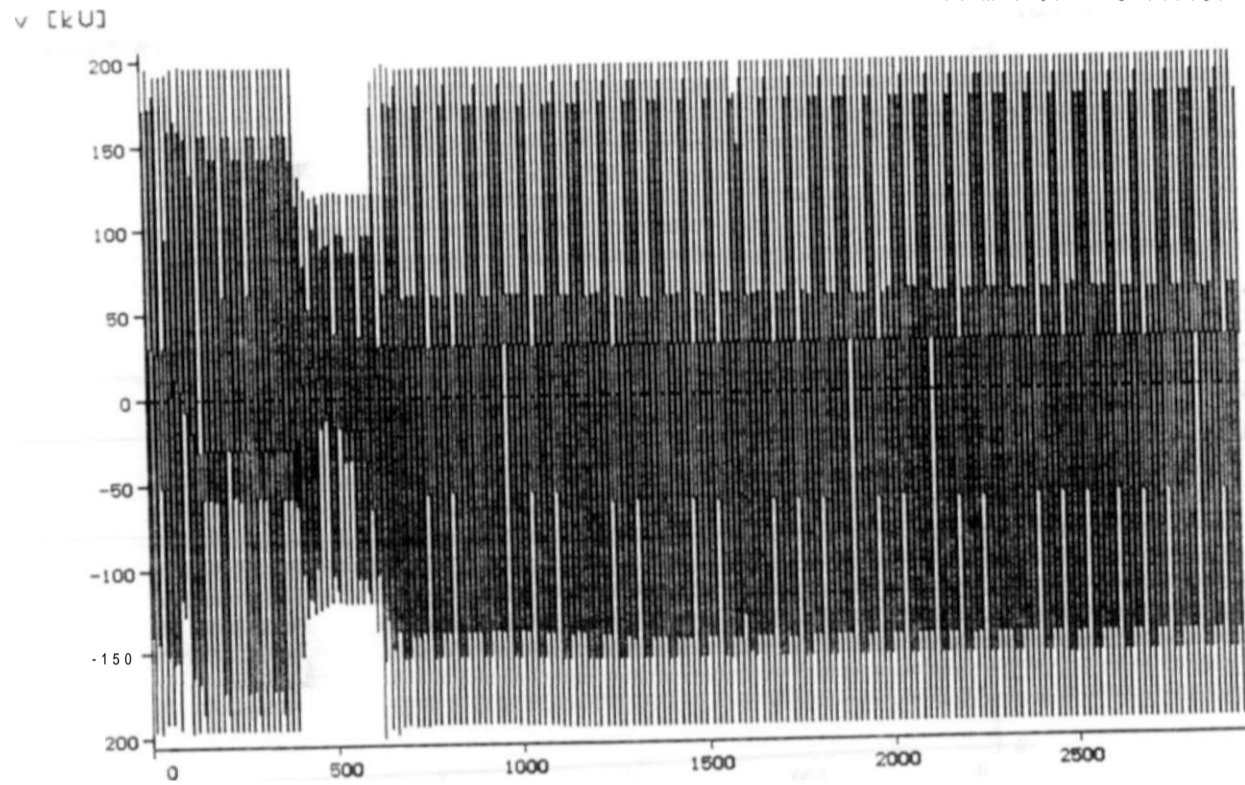
v [kU]

14-May-97 09.47.37



print date: 14. May 1997

14-M-V-97 0\*.47.37

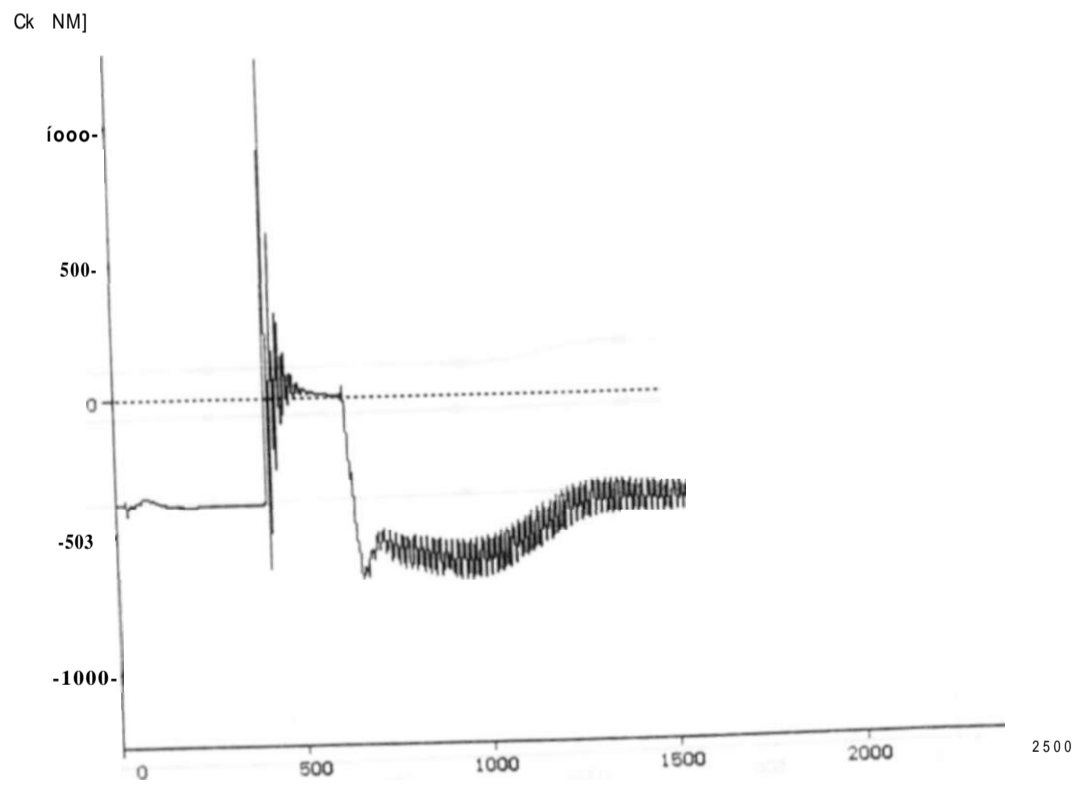


( 8) ML623A

t [Cms]

FTZ MI

14-Maw-97 09.47.37

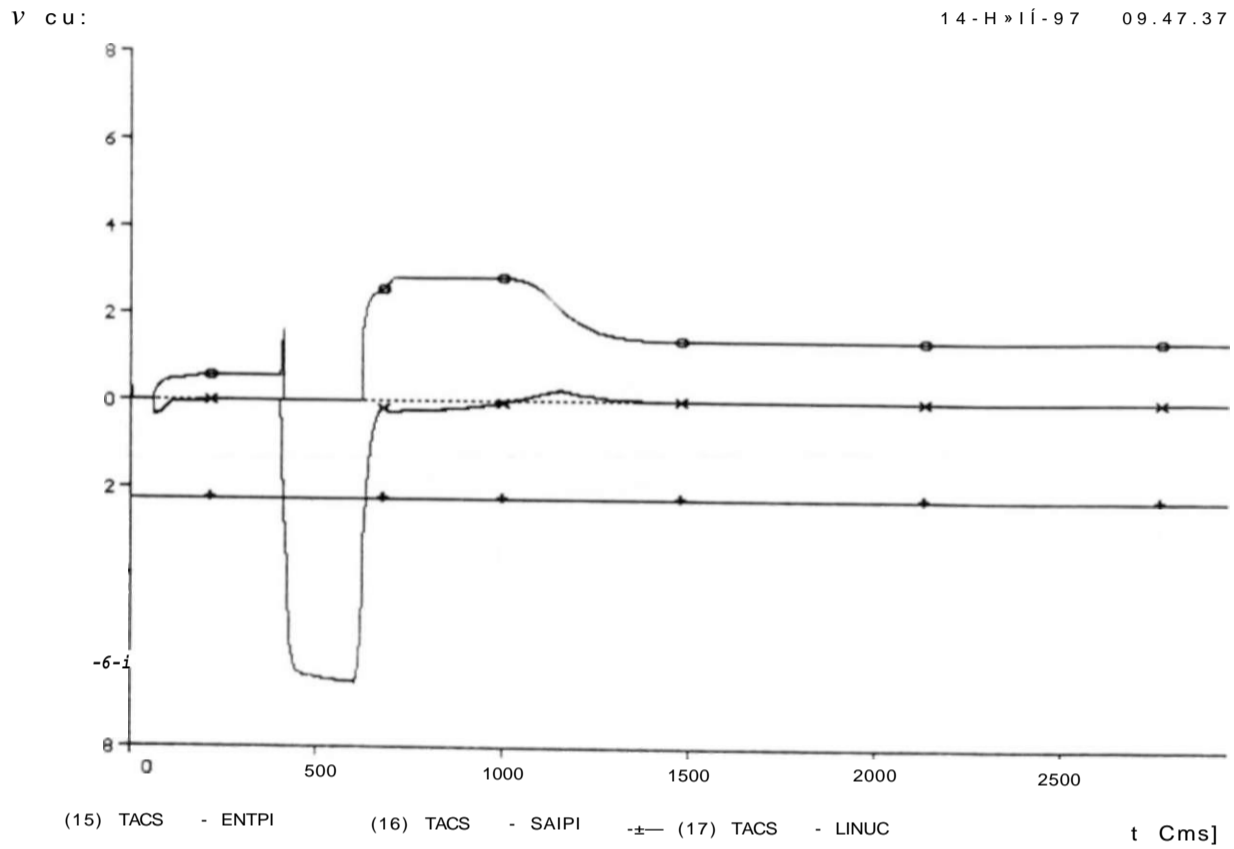


(21; UH-1 - TQ6EN

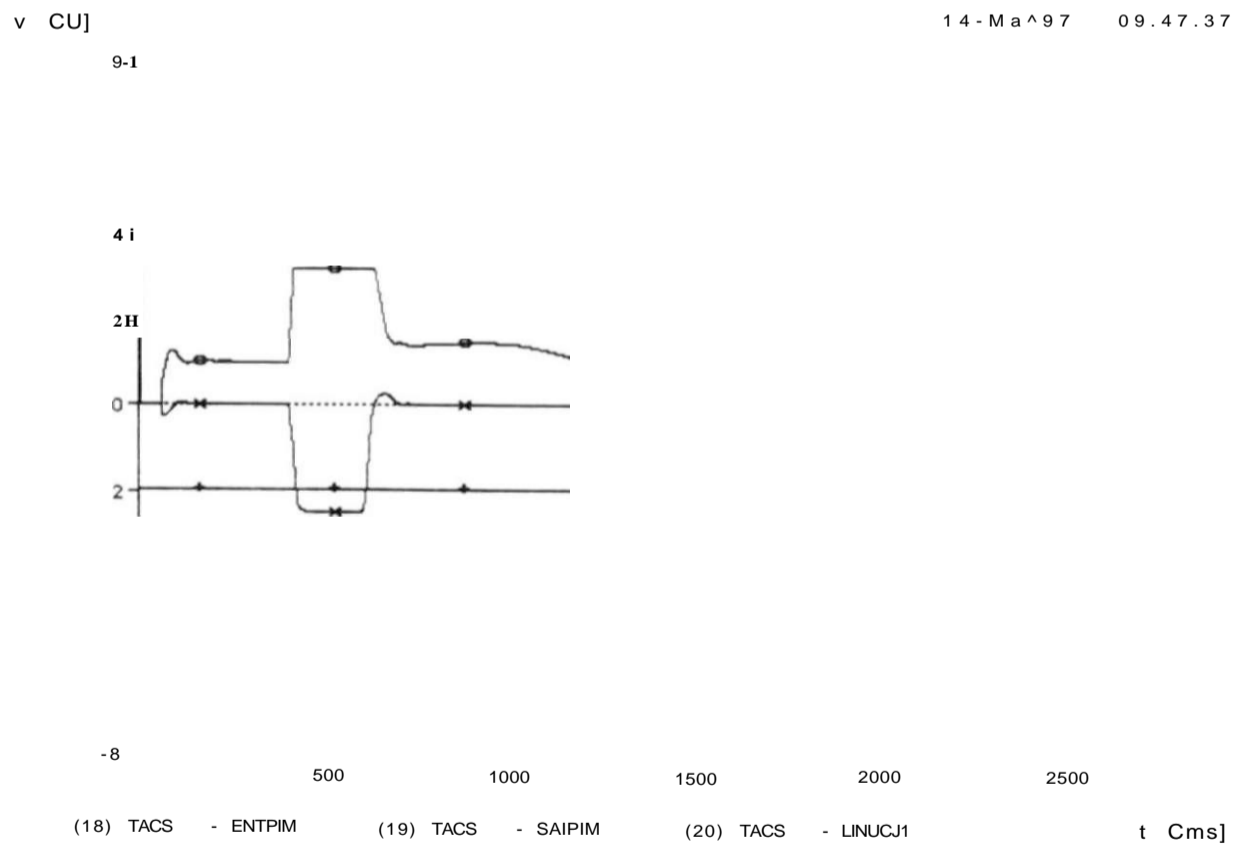
t [Cms]

FTZ MI

print date: 14. May 1997



Jiy-Fibril/EZA 230KU ELIN. ABERT. LT 20VC CARGA FTZ NI  
E SAIDA DO NI



CC 3 F-T LT FORTALEZA 230KU ELIN. ABERT. LT 20VC CARGA FTZ NI  
FTNGNI PB. DL. DE ENT APRIL 97 COM USUB DE FTZ SEM SAT. INPUT. MI  
TENSÕES DE ENT E SAIDA DO REGULADOR PO DO CE MILAGRES

print date: 14. May 1997

- Além disso, o circuito integrador do controlador PI é carregado com o valor correspondente a  $\alpha = 115^\circ$ , o que faz com que, decorridos os 10mseg iniciais, o controlador PI passe a regular a tensão a partir deste valor.
- Caso no intervalo compreendido entre 150 e 250mseg contados a partir do instante em que ocorreu o disparo protetivo que deu origem à atuação do circuito inicializador do controlador PI ocorra um novo disparo protetivo, o CE será desligado por uma proteção específica, denominada "Disparo Protetivo Repetitivo" para evitar oscilações de tensão.

A Fig.4.13 exibe um diagrama do esquema aqui abordado, em termos de blocos da TACS. A variável DP, ao atingir valor 1, sinaliza a ocorrência de disparos protetivos nas válvulas de tiristores. Os seus sinais de saída são IP1 e IP15, que atuam sobre o controlador PI conforme descrito anteriormente

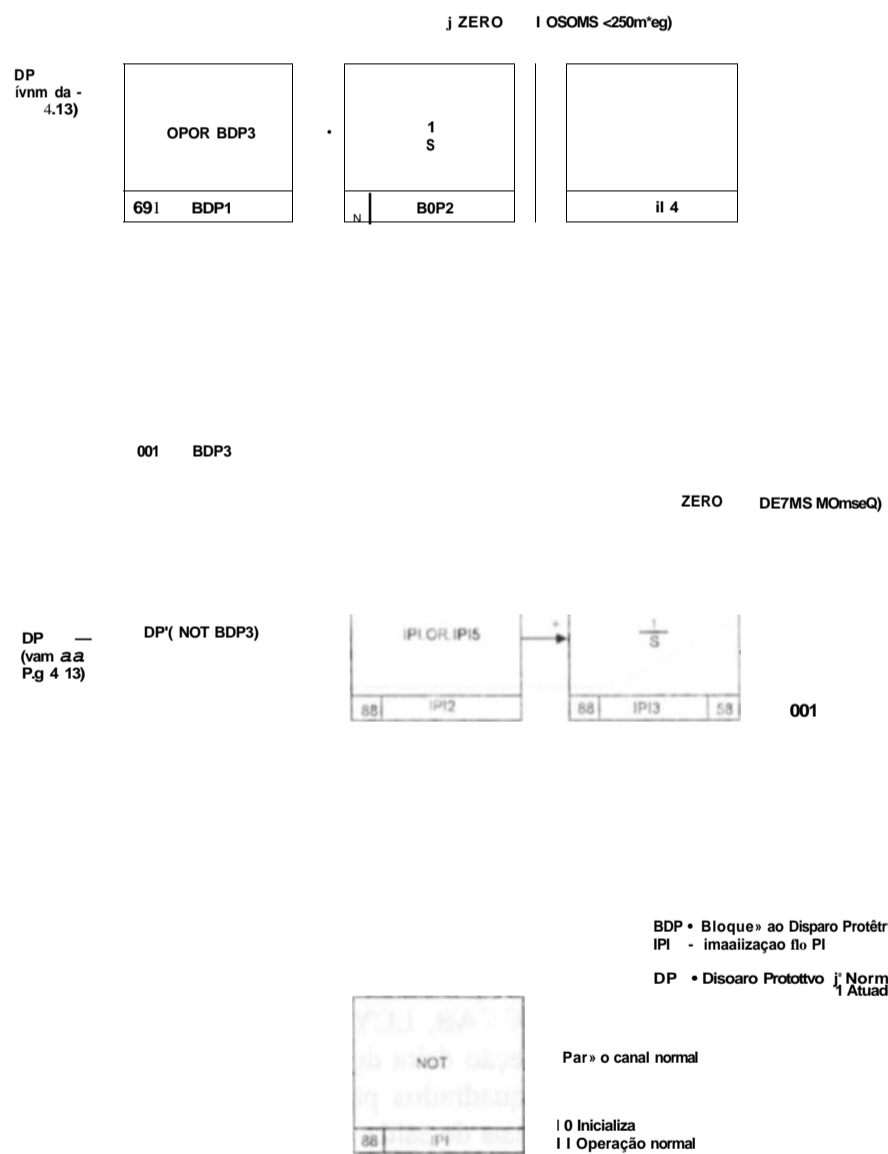
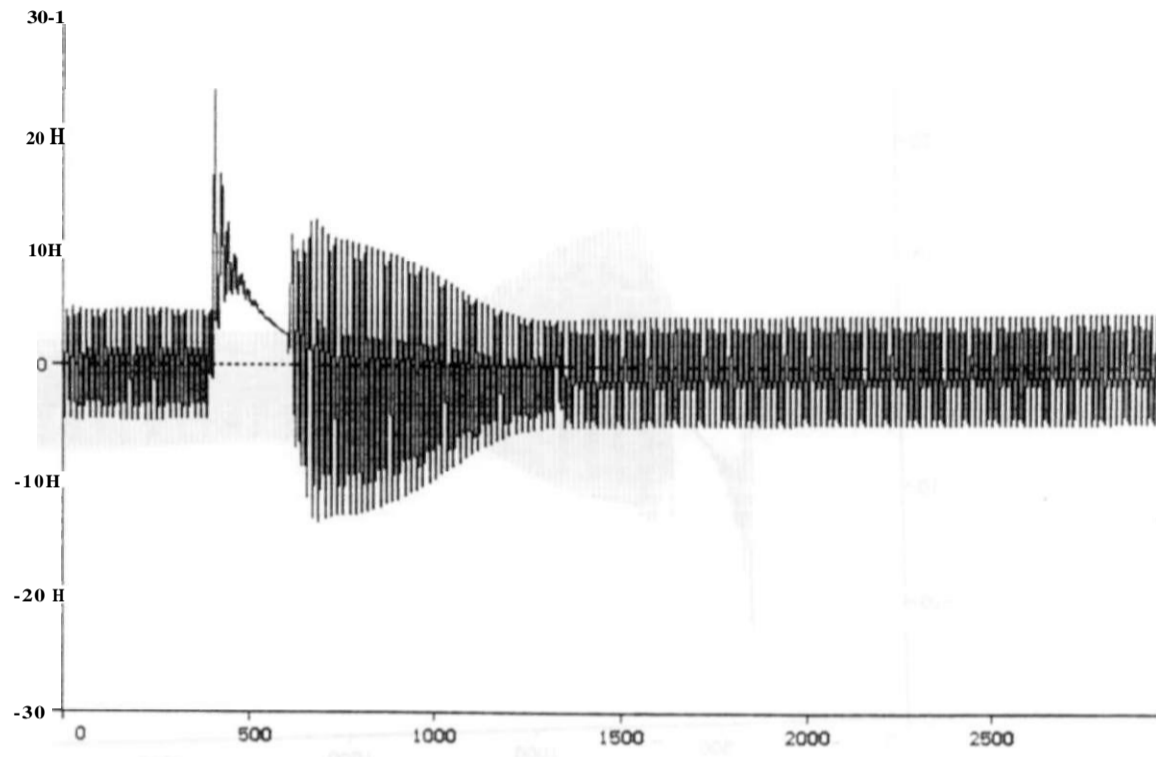


Fig.4.13 Circuito inicializador do controlador proporcional-integral.

i CkA3

14-M>y-97 09.47.37

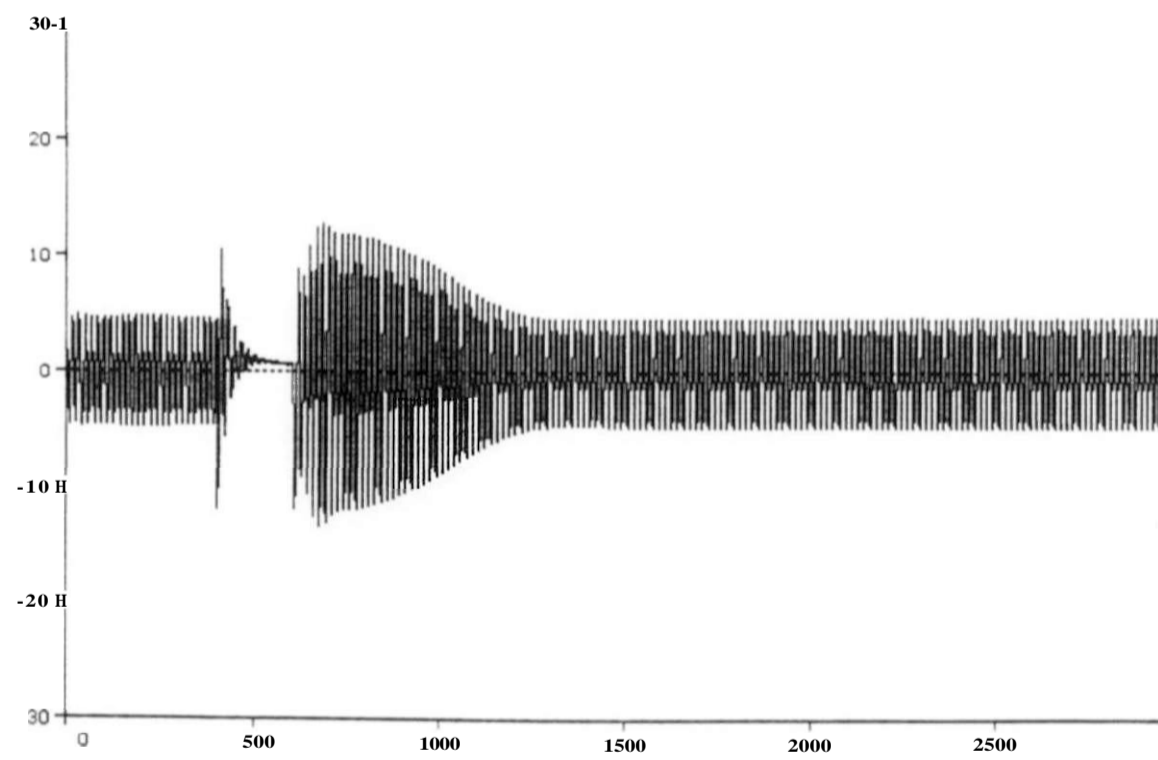


(24) Utt-1 - IPA

t Cms]

i CkA]

14-May-97 09.47.37



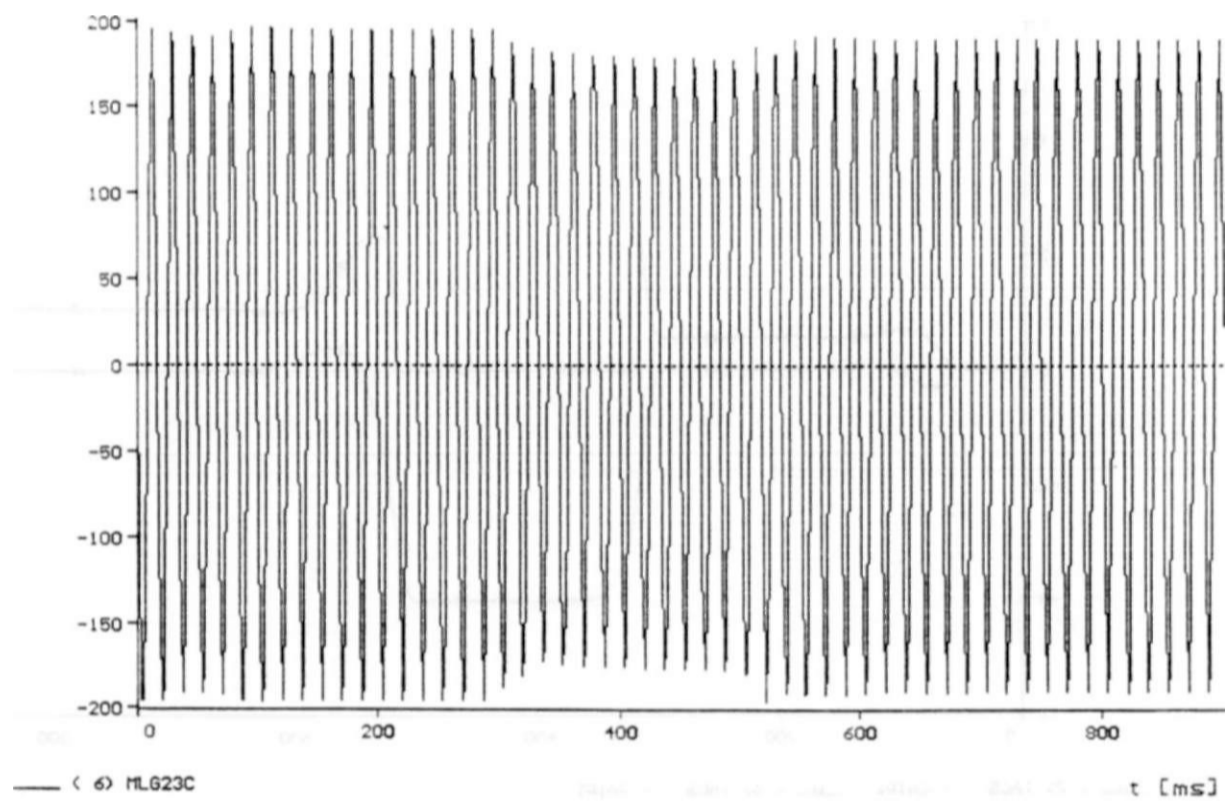
(26) Utt-1 - IPB

t Cms]

CC 3F-TLTRANAeviv-FORTALEZA 23OKU ELIM: ABERT. LT 20V. CARGA FTZ MI  
0J» 2S 21Ci-Révl 5179i ABRIL/97 COM USUB. CE FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇAO FASE B

print date: 14. May 1997

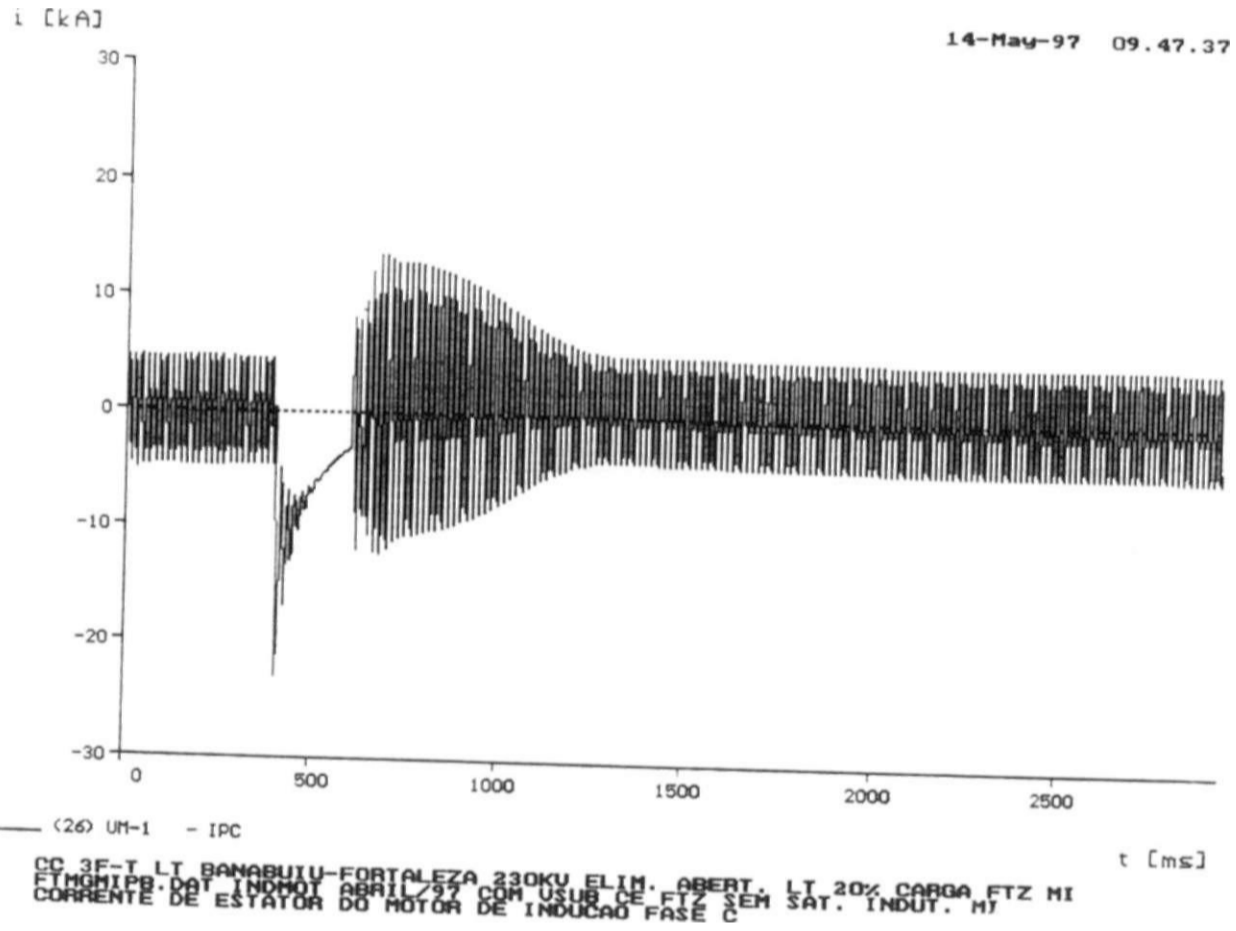
12-May-97 13.23.3S



CC 2E-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
CC23M96P.DAT. CARGA MAXIMA DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE C

print date: 12. May 1997

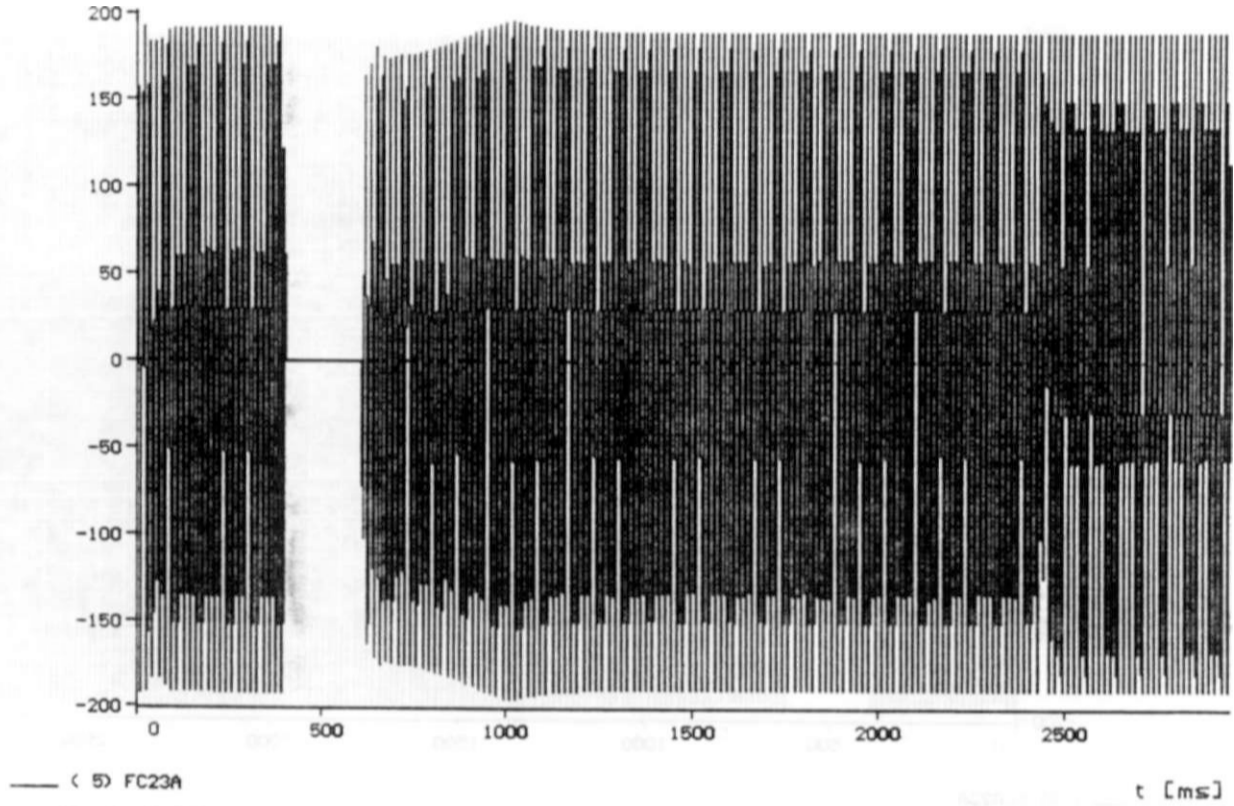




print date: 14. May 1997

V [kV]

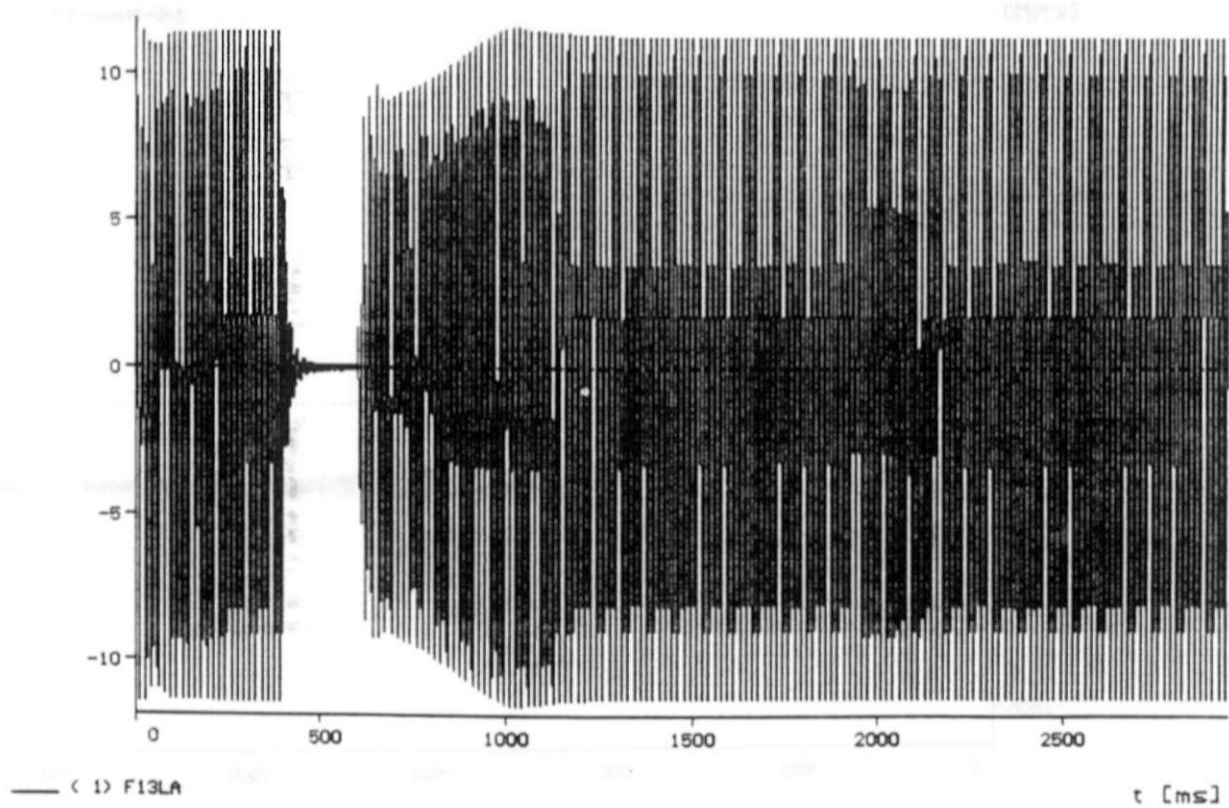
14-M.M-97 11.07.16



CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 20% CARGA FTZ MI  
FTZGRIFE.DAT INDIHOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

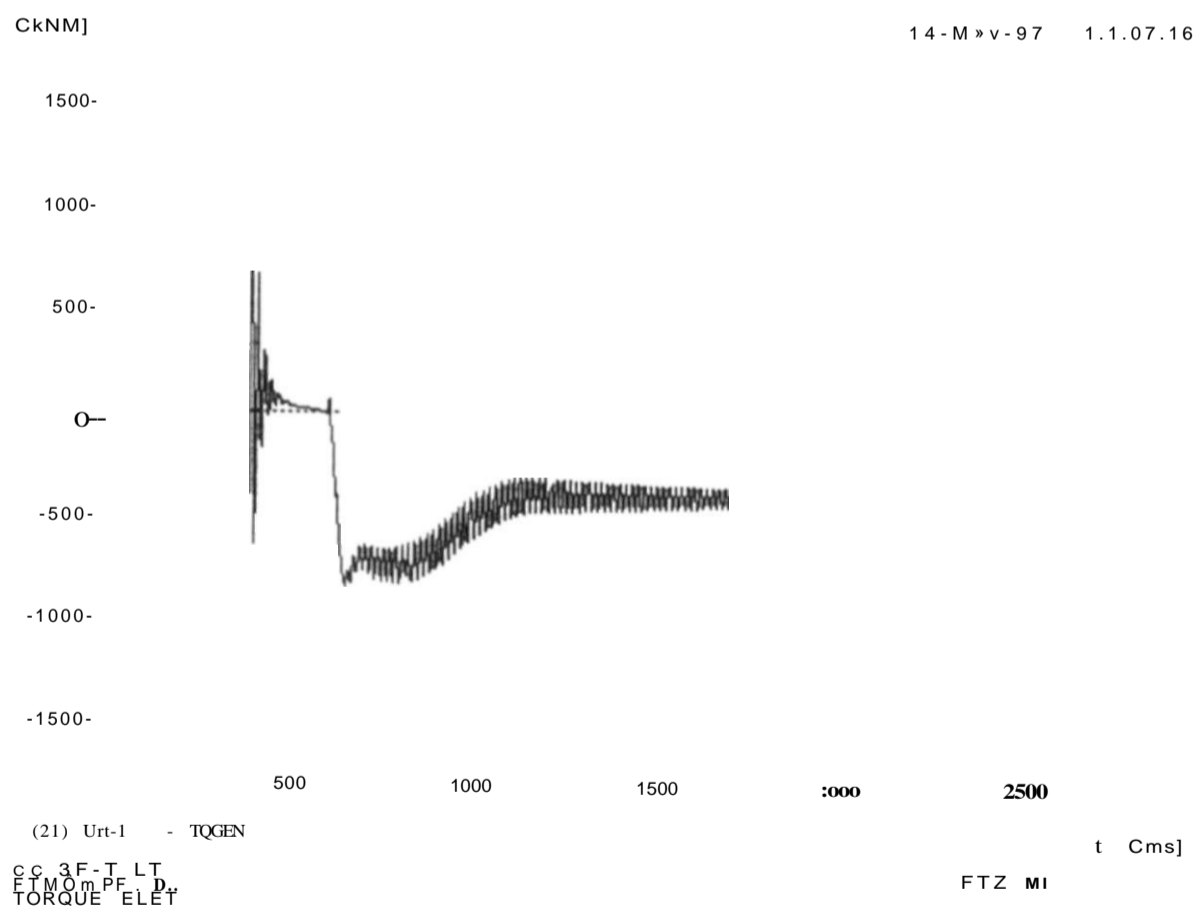
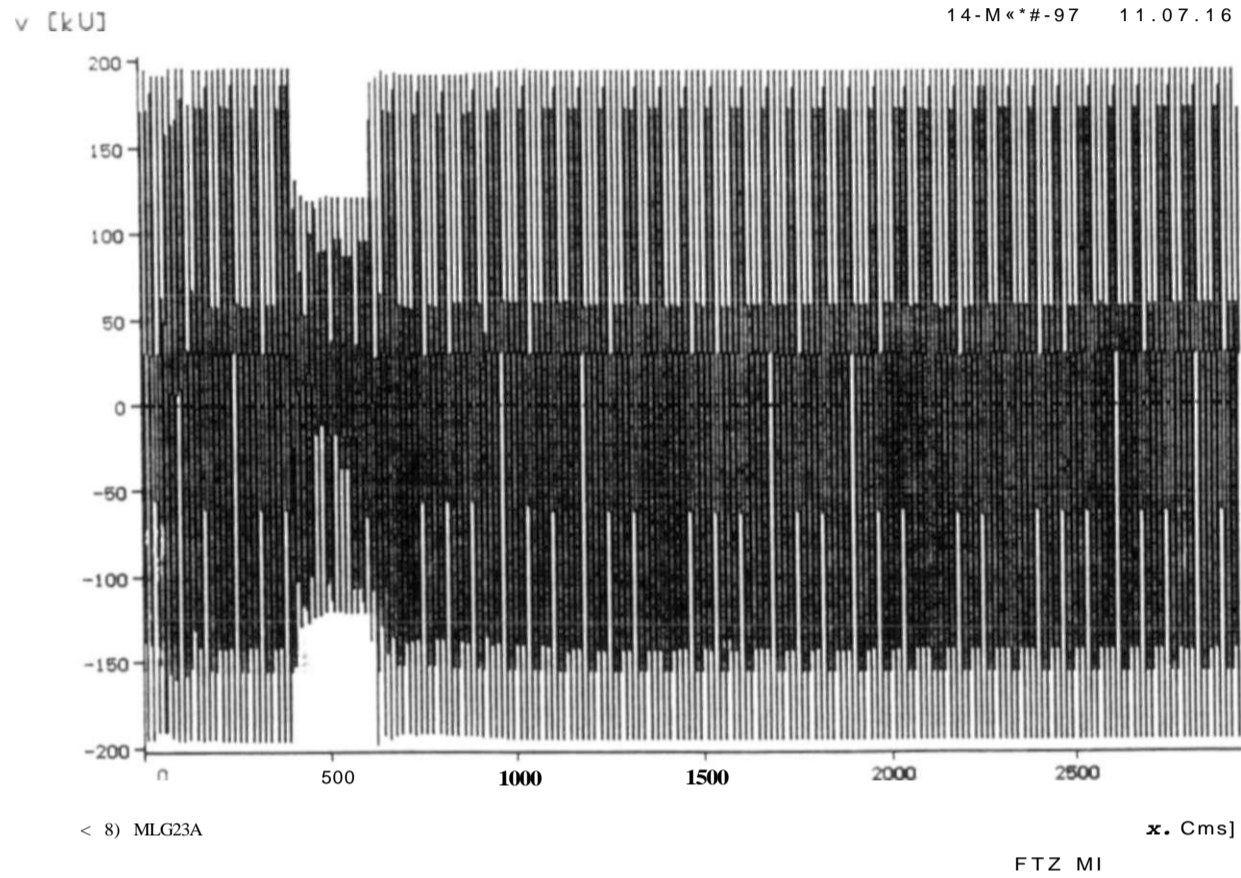
v [kU]

14-May-97 11.07.16



CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 20% CARGA FTZ MI  
FTZGRIFE.DAT INDIHOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO TERMINAL MOTOR DE INDUCAO 13.8KV FASE A

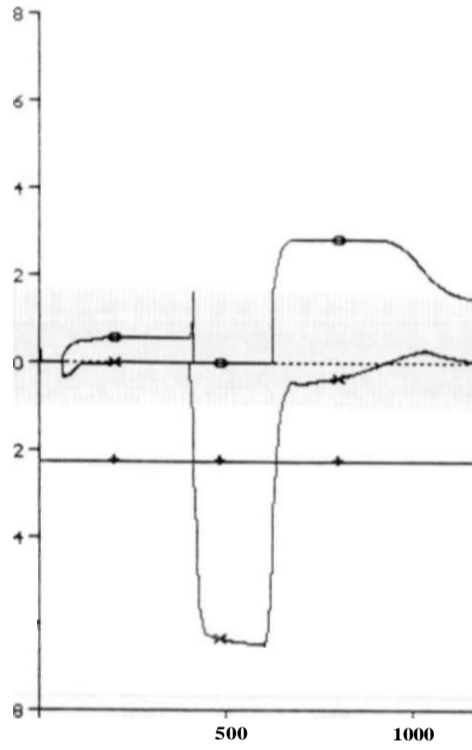
print date: 14. May 1997



print date: 14. May 1997

v eu:

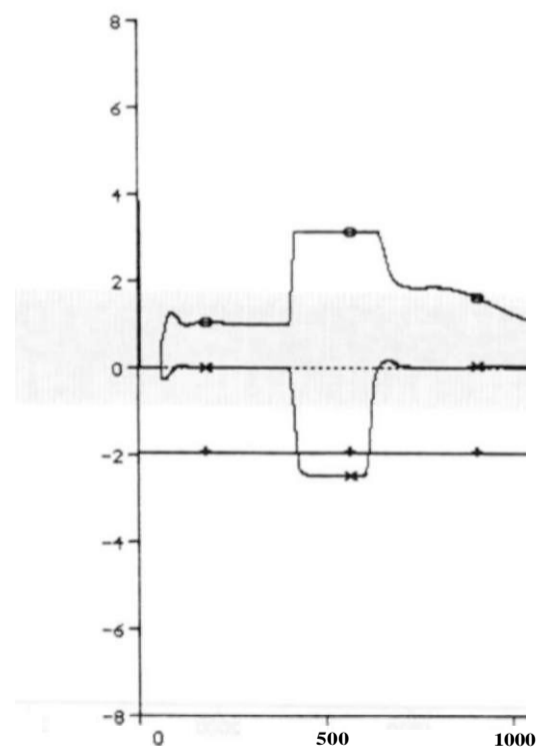
14-May\*-97 11.07.16



<15> TACS - ENTPI      <16> TACS - SAIPi      <17> TACS - LINUC      t Cms]  
 CARGA FTZ MI  
 T ftLEZA

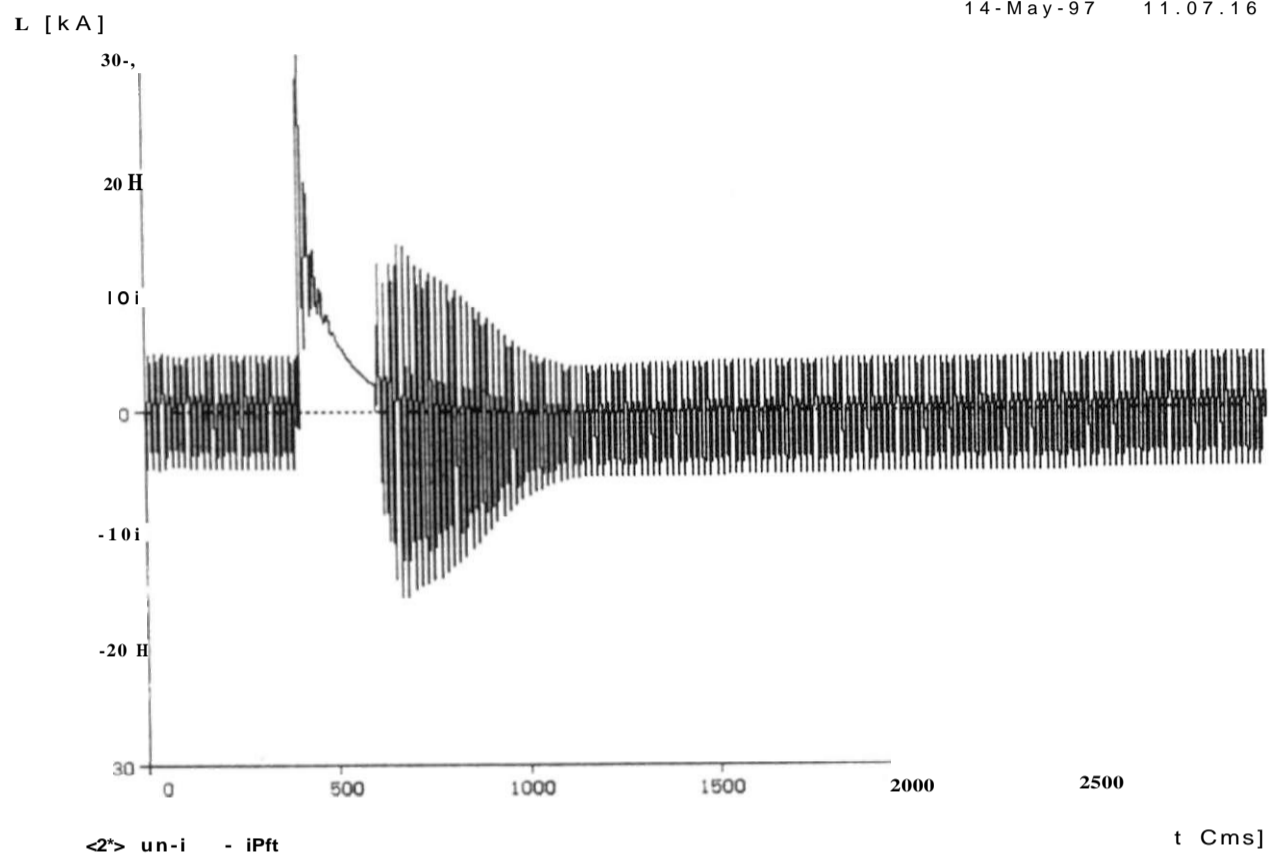
v [U]

14-M«»j-97 [11.07.16](#)

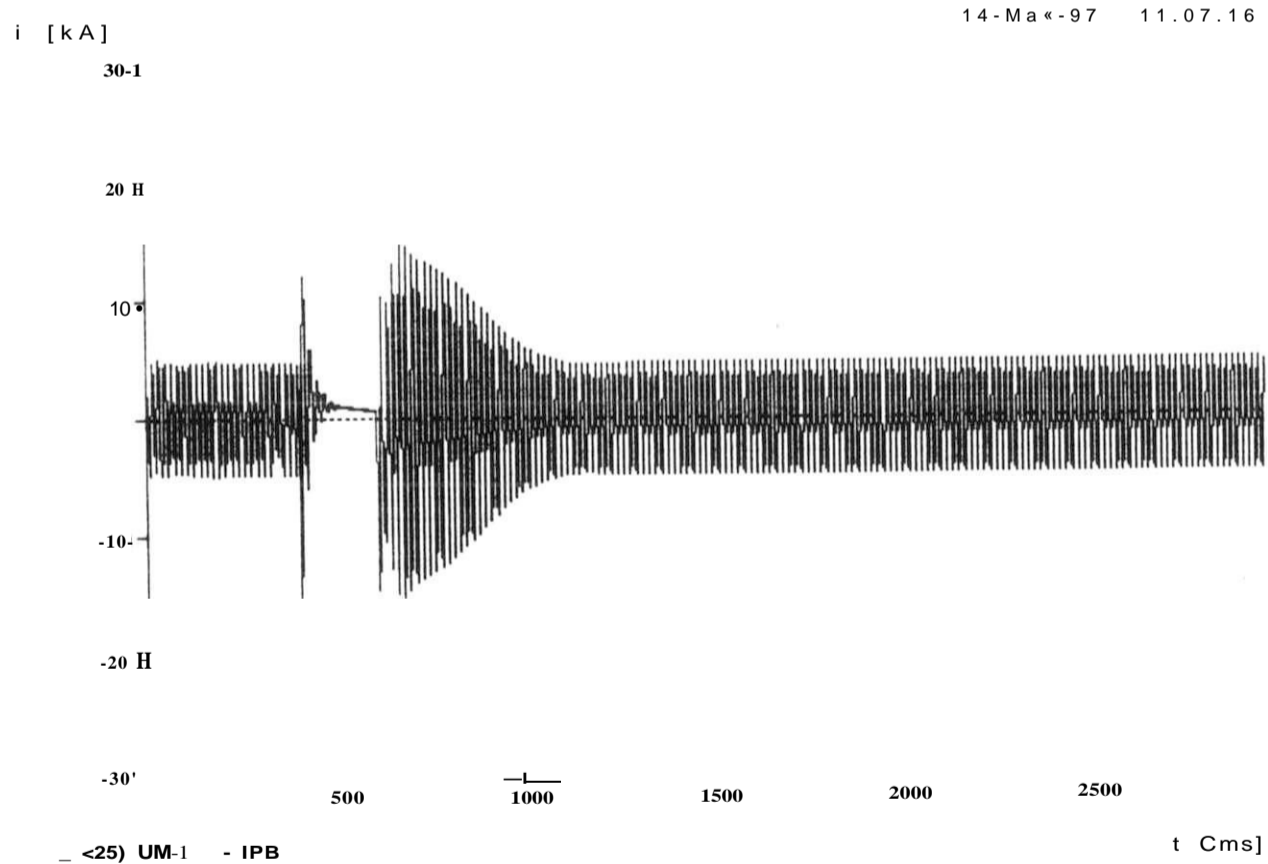


<18> TACS - ENTPI      (19) TACS - SAIPin      <20> TACS - LINUC      t Cms]  
 -TMQMIPF      FTZ MI  
 TENSOES D

print date: 14. May 1997



<2> un-i - iPft  
 CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT, LT 20X CARGA FTZ MI  
 ESKA-ffiMiffIH DO^MOTORrSE\* INOUCAO FASEIA " INOUT. MI



<25> UM-1 - IPB  
 CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT, LT 20X CARGA FTZ MI  
 FIMWI^PAT.INGM^J L DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE B COM SAT. INOUT. MI  
 CORRENTE DE ESTI

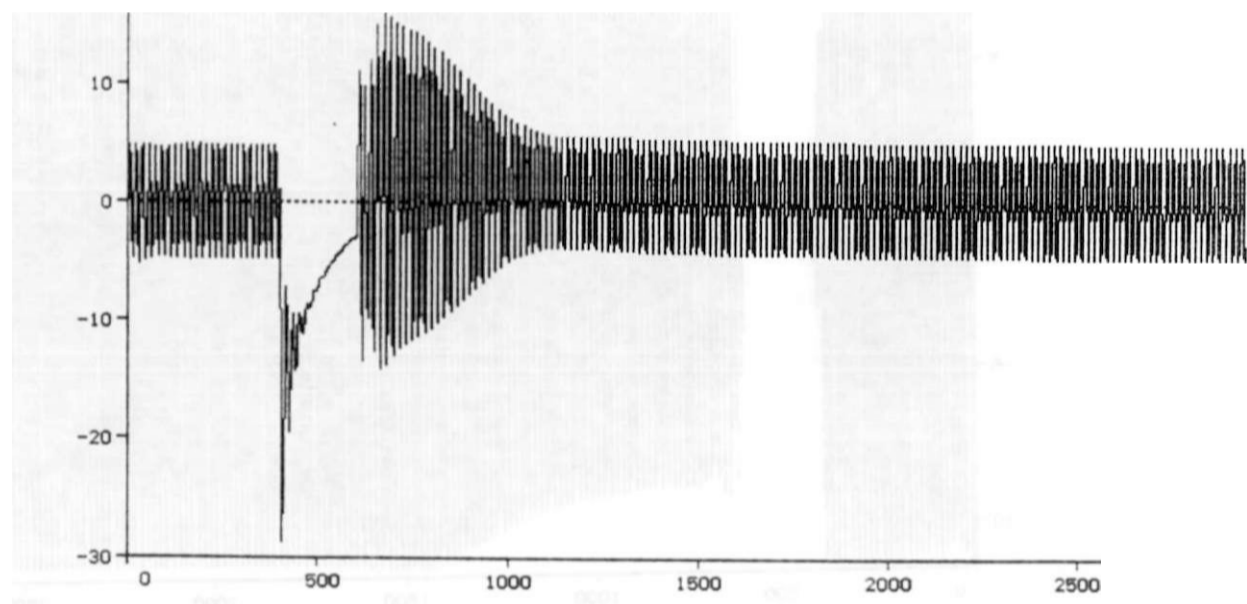
print date: 14. May 1997

L Ck A3

14-Mav#-97 11.07.16

30

20 H



(26) UM-1 - IPC

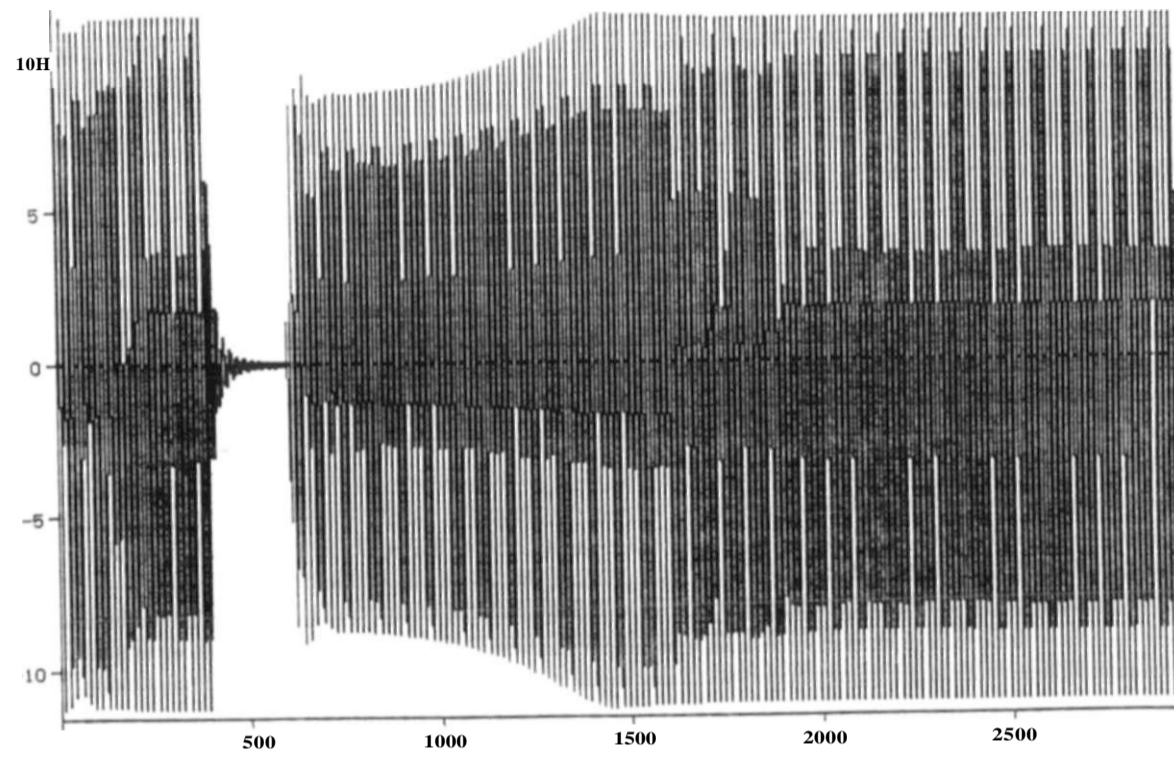
t Cms]

CC 3F-T LI BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 20% CARGA FTZ MI  
FTMGHIPP.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 14. May 1997

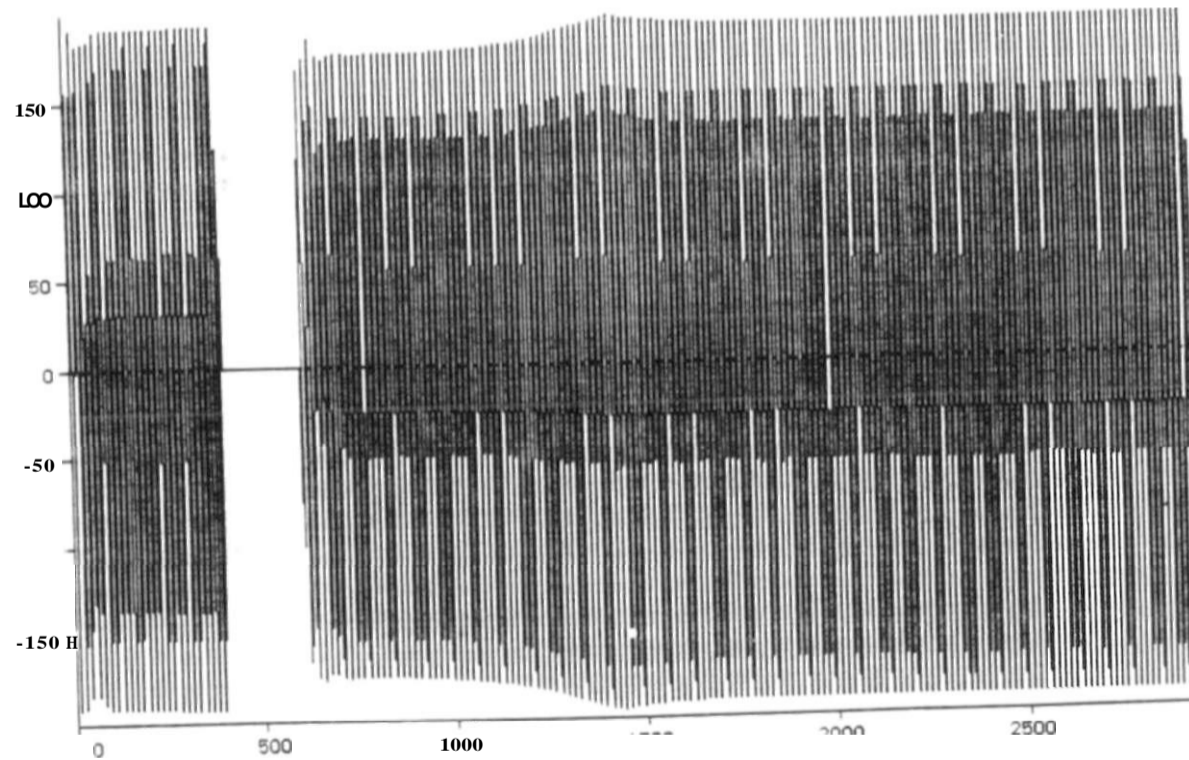
14-M»\*\*-97 13.13.17

v CkU]



< 1) F13LA  
 CC 3F-T LT BANAeUIU-FORTf^§Z\* «OKU ELIM. ABERT. LT 30/ C M M FTZ HI

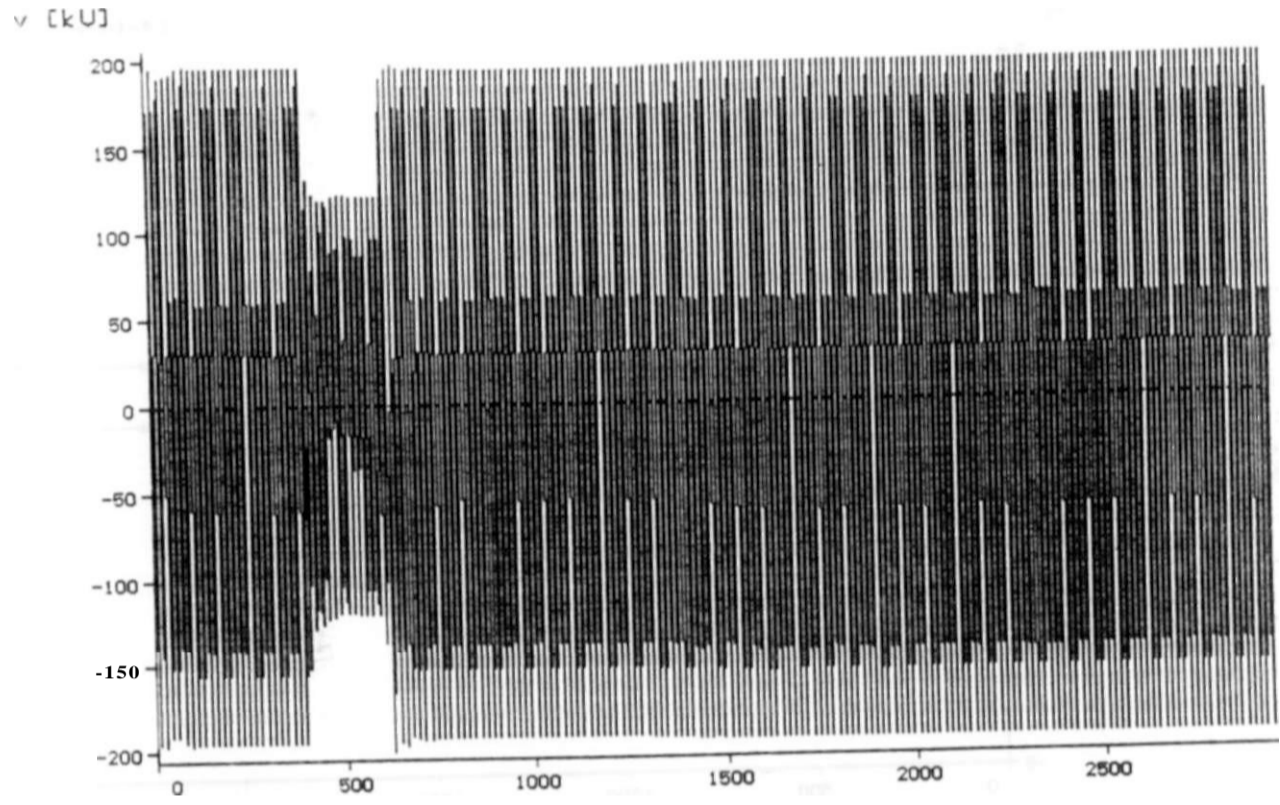
14-H«\*-97 13.15.17



( 5) FC23A  
 CC 3F -  
 TÉR§8à  
 . LT 30V. CARGR FTZ HI

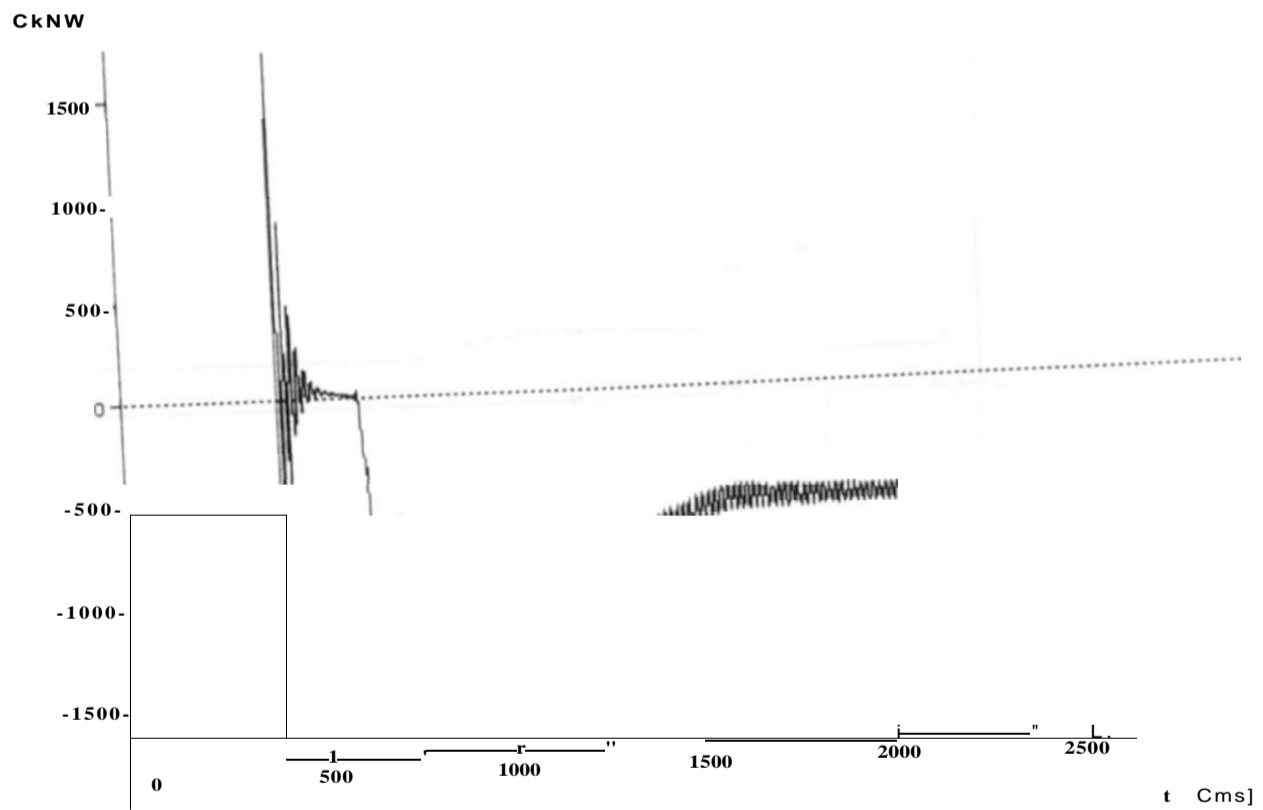
print date: 14. May 1997

14-Ma»\*-97 13.15.17



< 8) HL623A  
C 3F-T LT RINFI BUIU-FORTALEZA 23OKU ELIM: ABE BT.LT.3.g.C.» « FTZ ».  
1 0

14-M.M-97 13.15.17



(21) Un-1 - TQGEN

print date: 14. May 1997



#### 4.3.10 - Circuito limitador de corrente

Este dispositivo tem por finalidade proteger de maneira dinâmica as válvulas de tiristores contra sobrecorrentes, impedindo que haja atuação da proteção de sobrecorrente e que os reatores controlados sejam retirados de operação em condições adversas, quando a presença do CE é fundamental para o combate às sobretensões. Seu funcionamento se dá através da construção de uma curva sobrecorrente x tempo fornecida pelo fabricante e que possui três patamares para o CE Fortaleza e quatro patamares para o CE Milagres, conforme indicado na Fig.4.14.

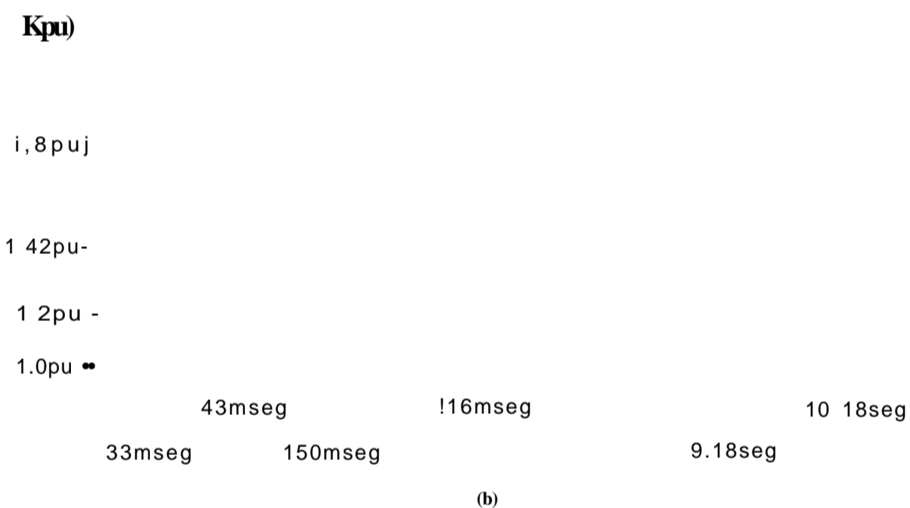
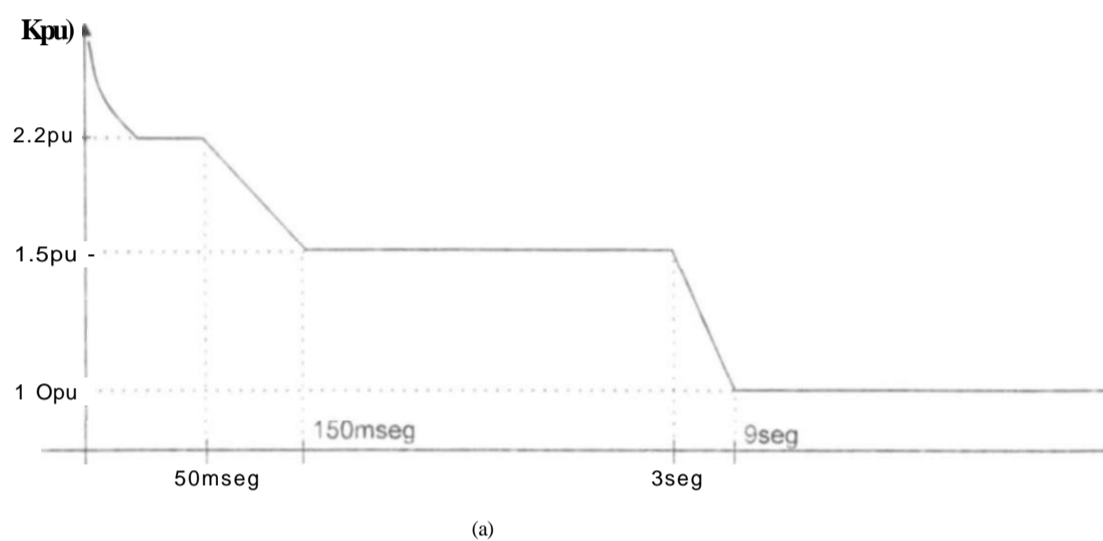


Fig.4.14 Curvas de sobrecarga dos CEs Fortaleza (a) e Milagres (b).

A Fig.4.15 mostra, através de um diagrama de blocos da TACS, a etapa de medição das correntes nas válvulas de tiristores (IX AB, LCYBC, LCYCA para a seção estrela do CE e LCDAB, LCDBC, LCDCA para a seção delta do CE), onde as referidas correntes são elevadas ao quadrado, a soma dos seus quadrados passa através de um filtro de primeira ordem e é extraída a raiz quadrada dos sinais de saída dos filtros, sendo gerados dois sinais, um para cada seção do CE, proporcionais ao valor eficaz das correntes nos reatores em condições equilibradas, denominados LCRZY (lado Y) e LCRZD (lado A).

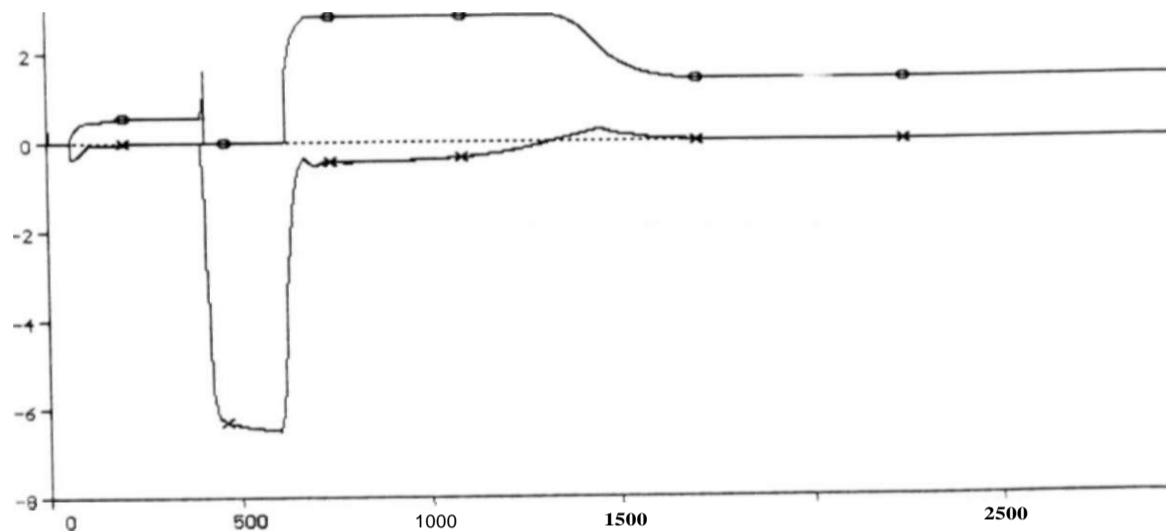
CU]

14-May-97 13.13.17

3-1

51

• 1



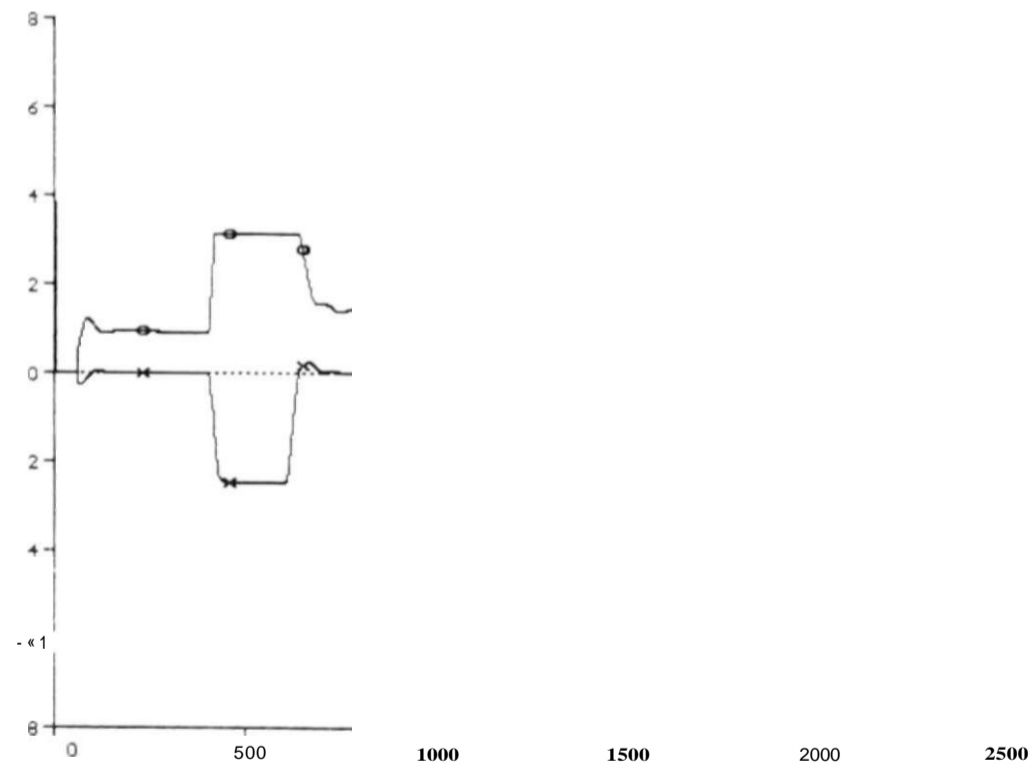
<15) TACS - ENTP

(16) TACS - SAIP

t Cms]

•j CU]

14-May-97 13.15.17



-2i\_ <18) TACS - ENTP

(19) TACS - SAIP

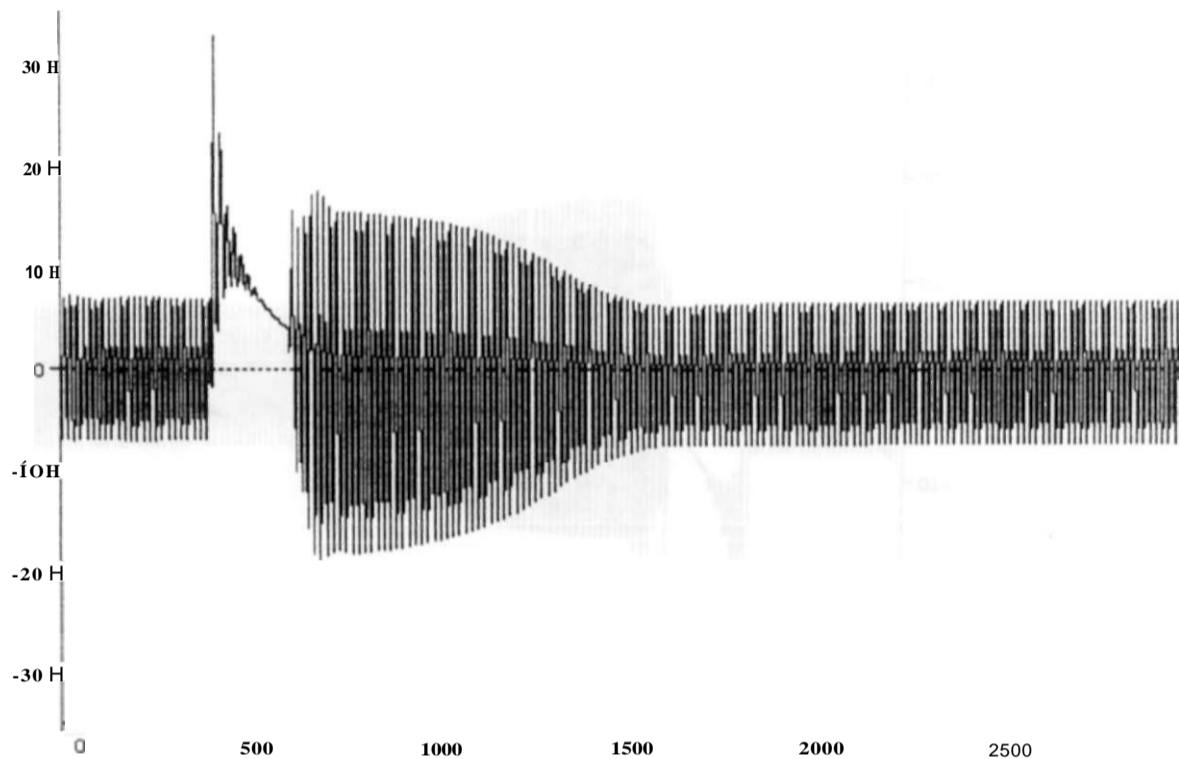
t Cms]

CC 3F-T LT BANFIBUIU-FORTALEZA 230KV ELIN. ABERT. LT 30M CARGA FTZ MI  
CTMGMIPC.DAT INDMQT RBRIL/97 CON USUB FTZ SEM SRT. INDUT. MI  
TENSOES DE ENTRADA E SRIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 14. May 1997

L [kA]

14-Ma\*\* -97 13.15.17



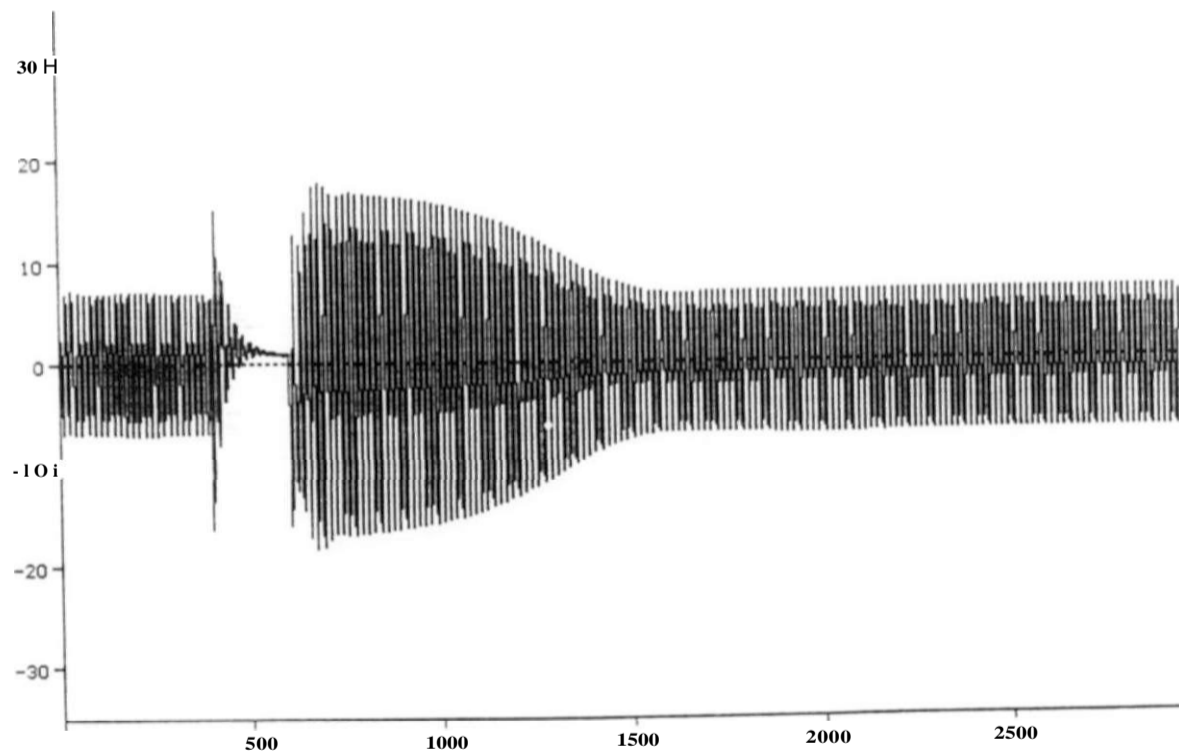
(24) UM-1 - IPA

t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 30V. CARGA FTZ MI  
C ^ H T I ^ E S W G S D « ^ M ^ o T D ? ^ M I N m £ ^ t f A I I V ^ A I r - \*\*DUT. MI

L [kA]

14-Ma« -97 13.15.17



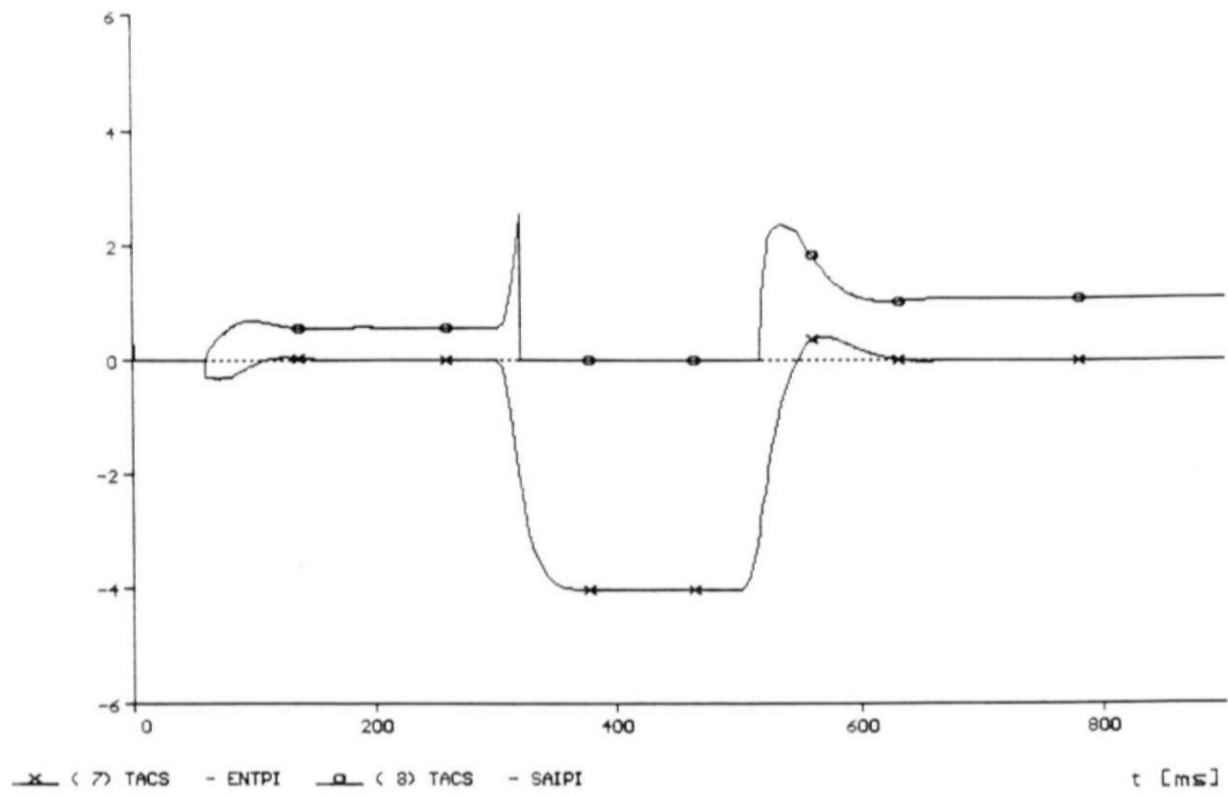
(25) UH-1 - IPB

t [ms]

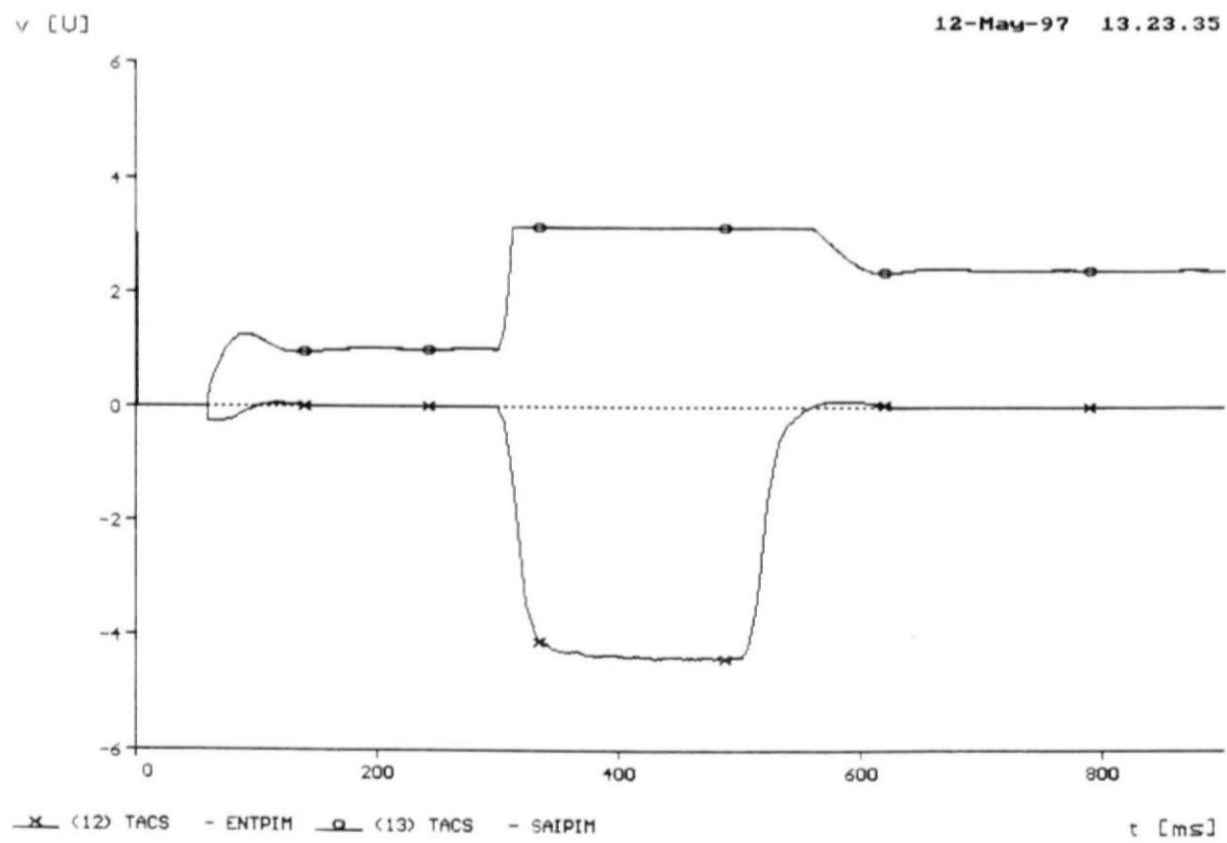
CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 30V. CARGA FTZ MI  
FTMGMIIPC.DAT INDMQT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. ni  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE B

print date: 14. May 1997

12-M»M-97 13.23.35

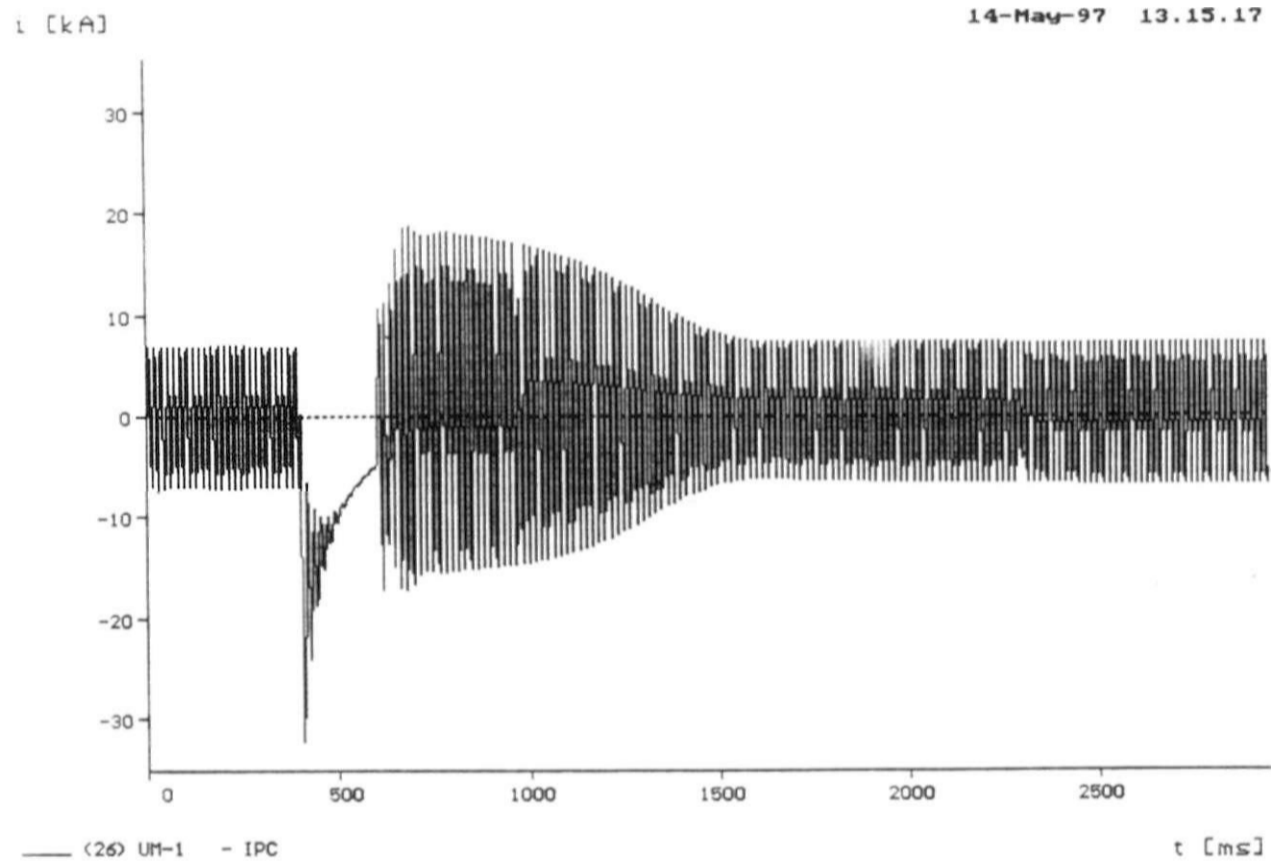


CC 2E-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
CC22M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR P. DO CE FORTALEZA



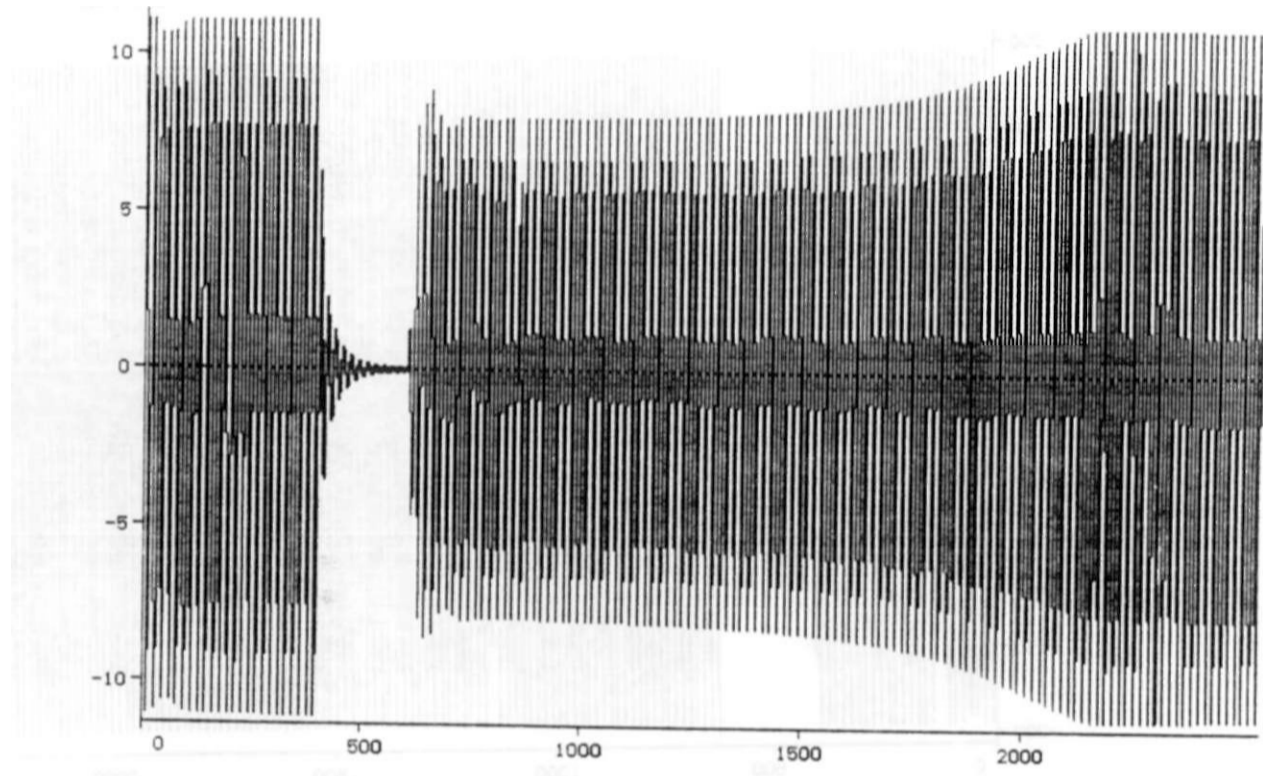
CC 2E-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT SEM USUB CE MLG  
CC22M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

print date: 12. May 1997

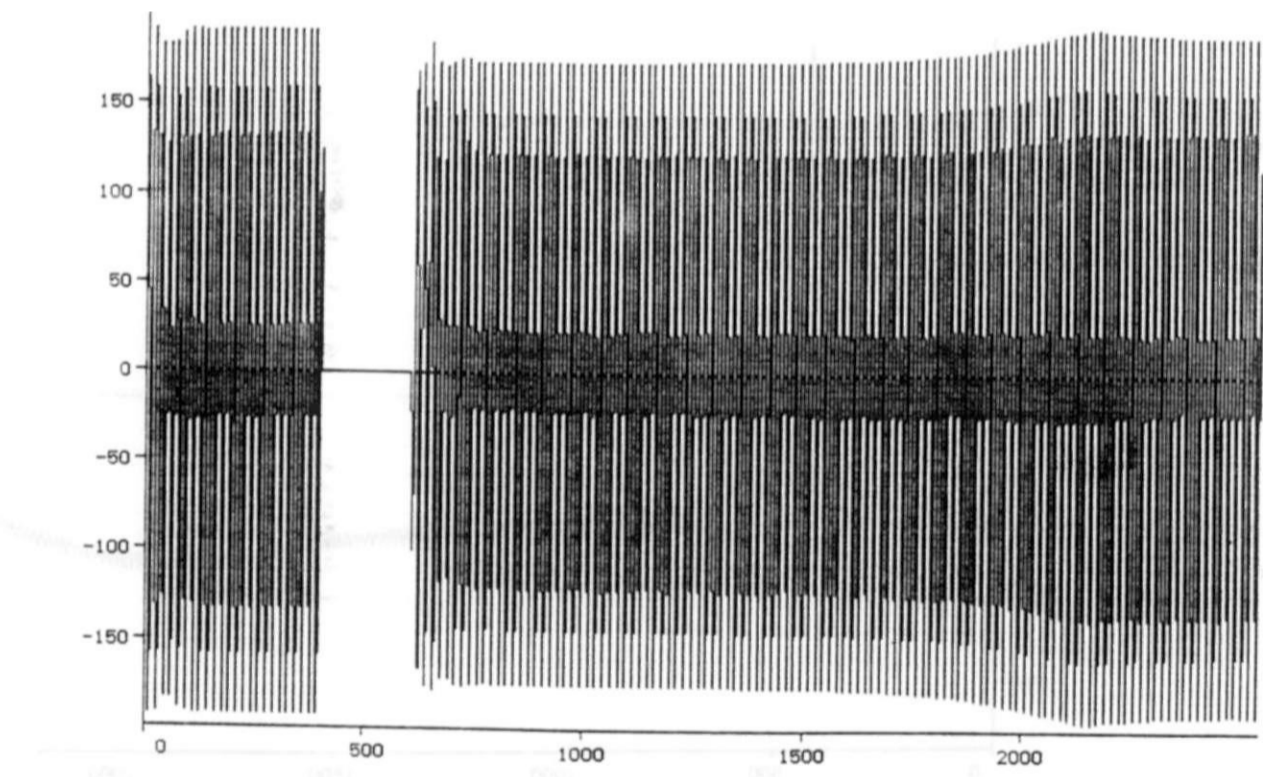


CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 30% CARGA FTZ MI  
 FTGHIPC.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ 30% CARGA SAT. INDUT. MI  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 14. May 1997



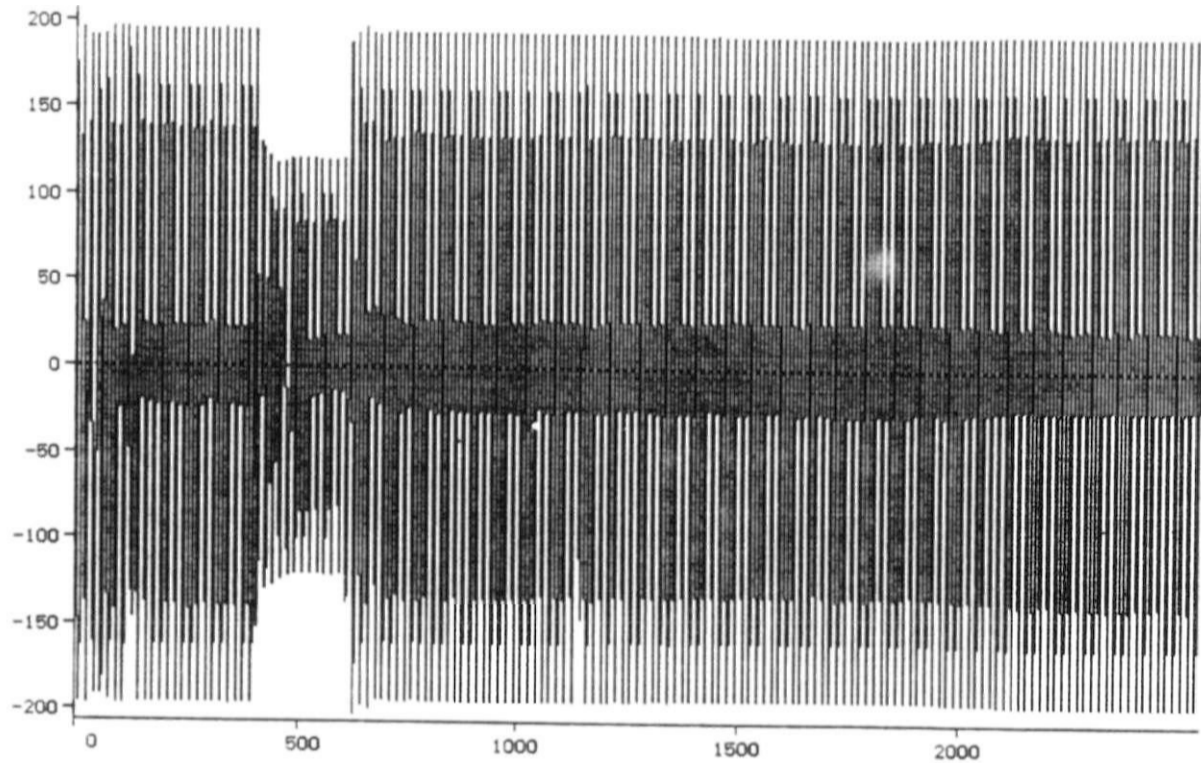
( 1 ) F13LA t [ms]  
CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
FTMGIPJ.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO TERMINAL MOTOR DE INDUÇÃO 13.8KV FASE-NEUTRO FASE A



( 5 ) FC23A t [ms]  
CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
FTMGIPJ.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

v CKU]

14-Ma«\*-97 14.26.00



( 8) MLG23A

t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
 FTMGMPJ.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A

Ck NM]

14-M»vr-97 14.26.00

1500 H  
 1000H  
 500 H  
 0T  
 -500 H  
 -1000 H  
 -1500H

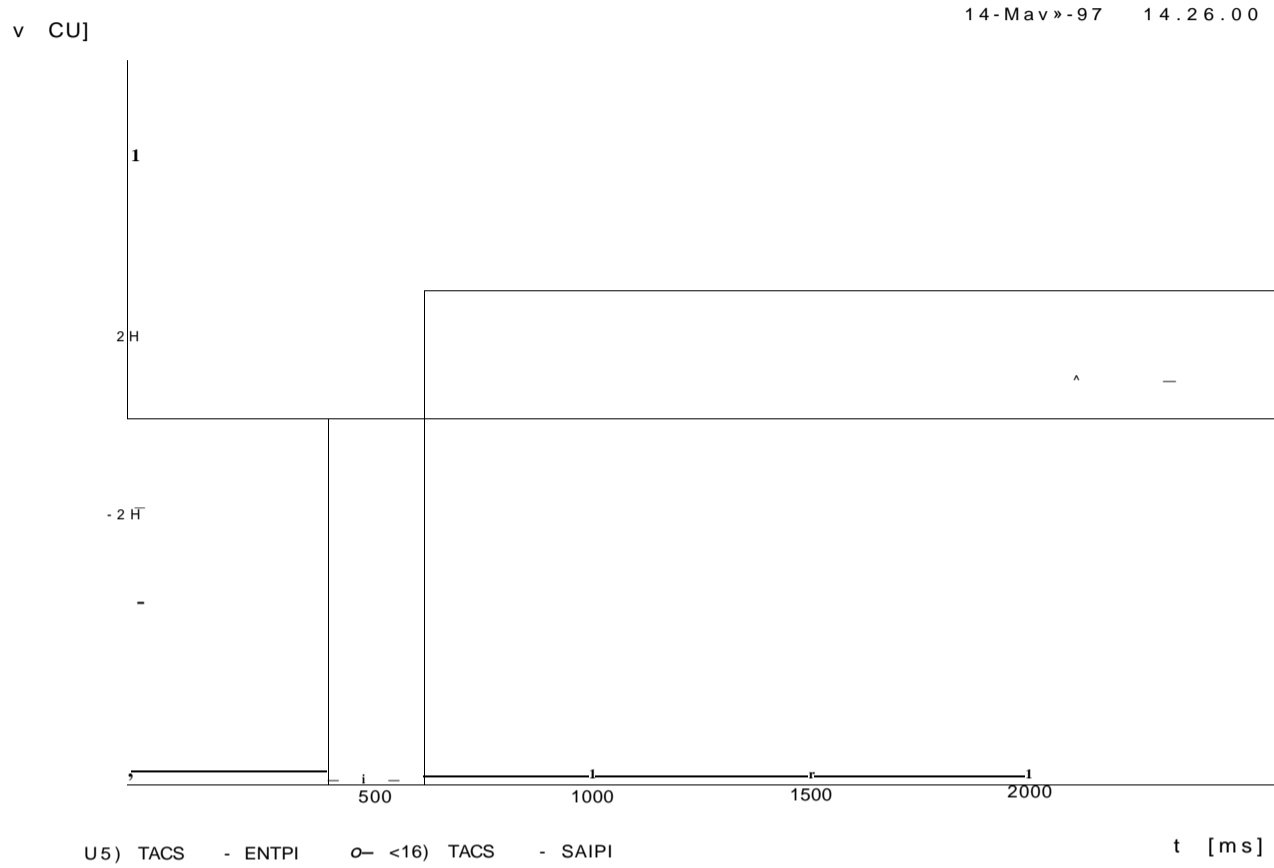
500 1000 1500 2000

(2i) un-i - TQ6EN

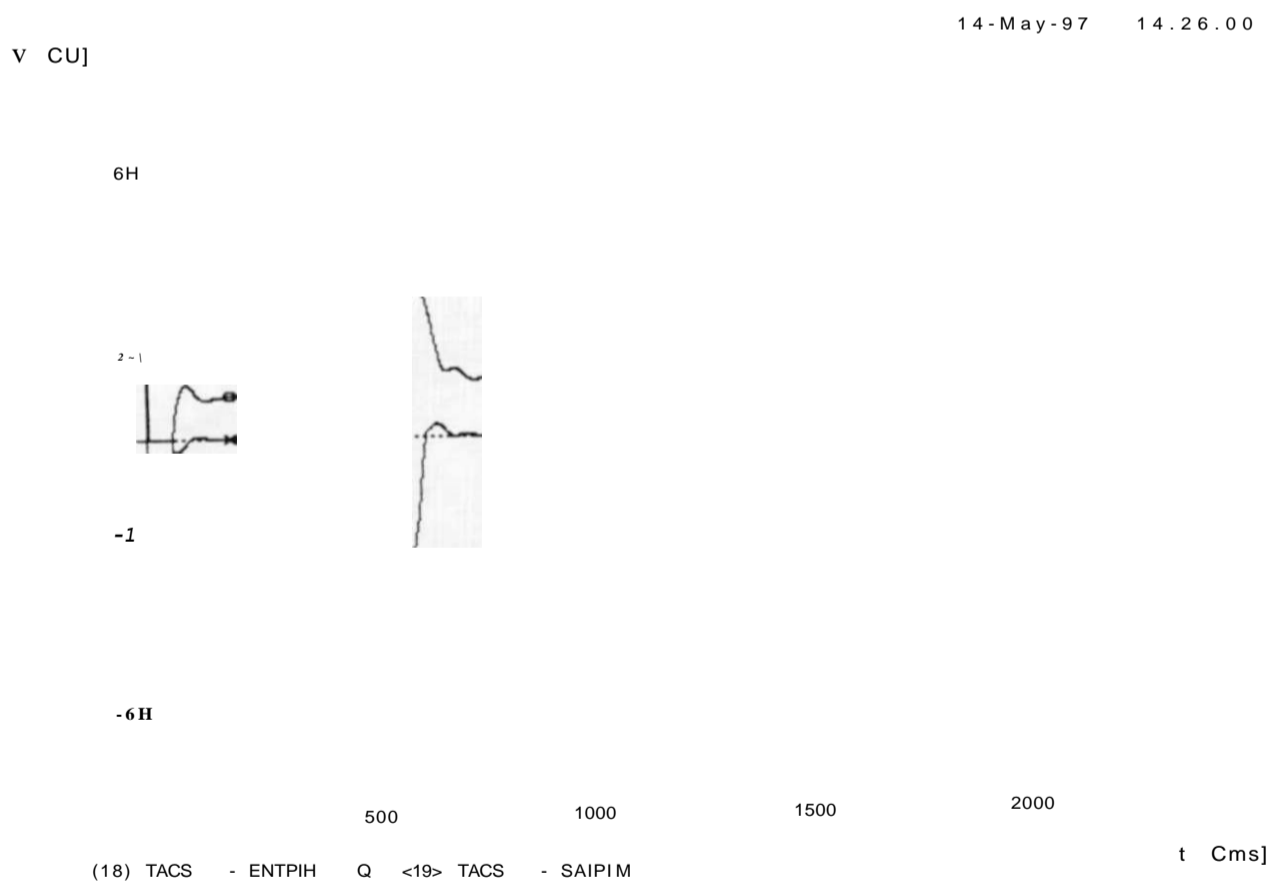
t Cms]

.3F-T LT BANABUIU-FORTFILI 130KV ELIM. ERT. LT 35% CARGO FTZ MI  
 I SAT. INDUT. MI

print date: 14. May 1997



CC 3F-T LT BfimiWULU-FORTALEZA t 230KU ELIM. 8811AT 8SU1» W FTZ MI  
 FIMGMPJ.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT INDUT MI  
 TENSOES DE ENTRADA E SAIDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

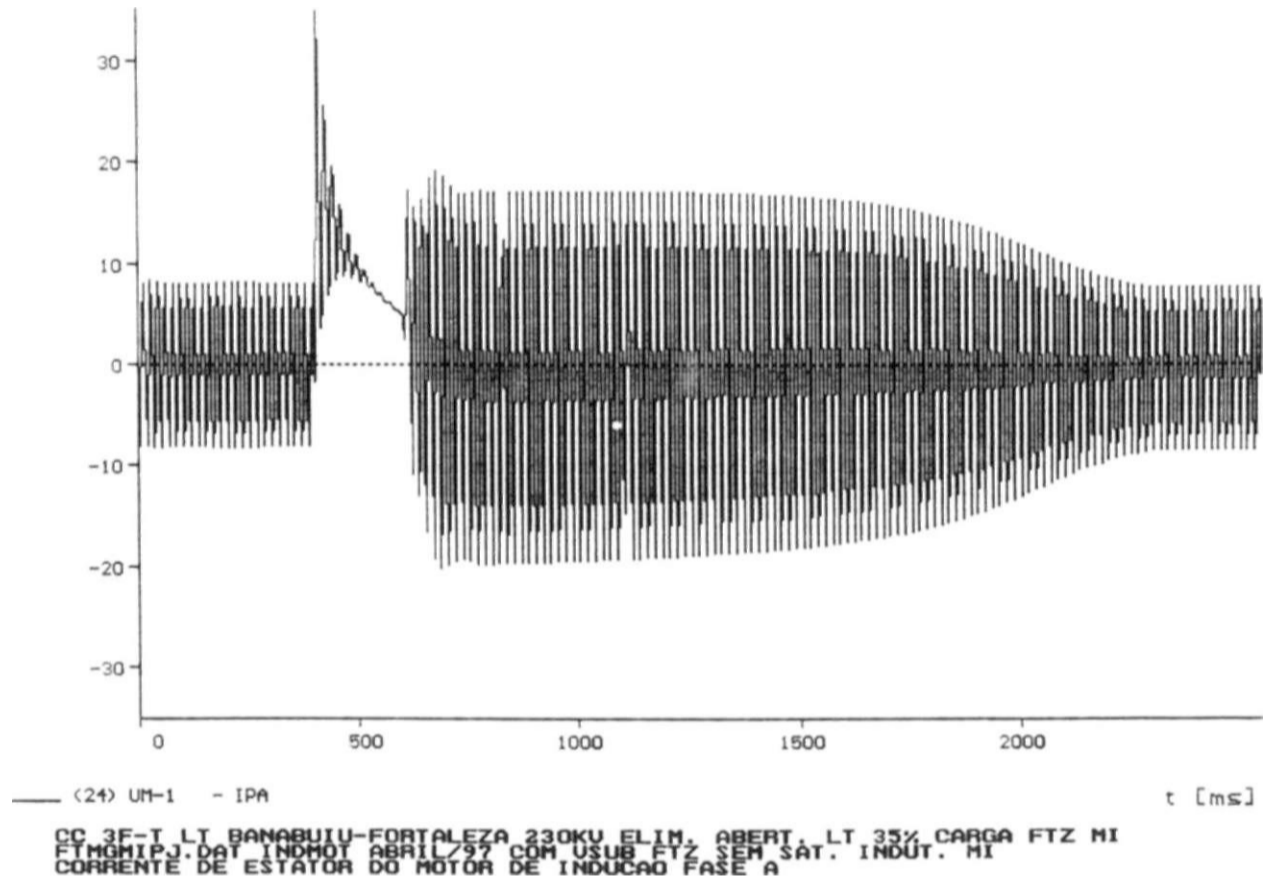


arint date: 14. May 1997



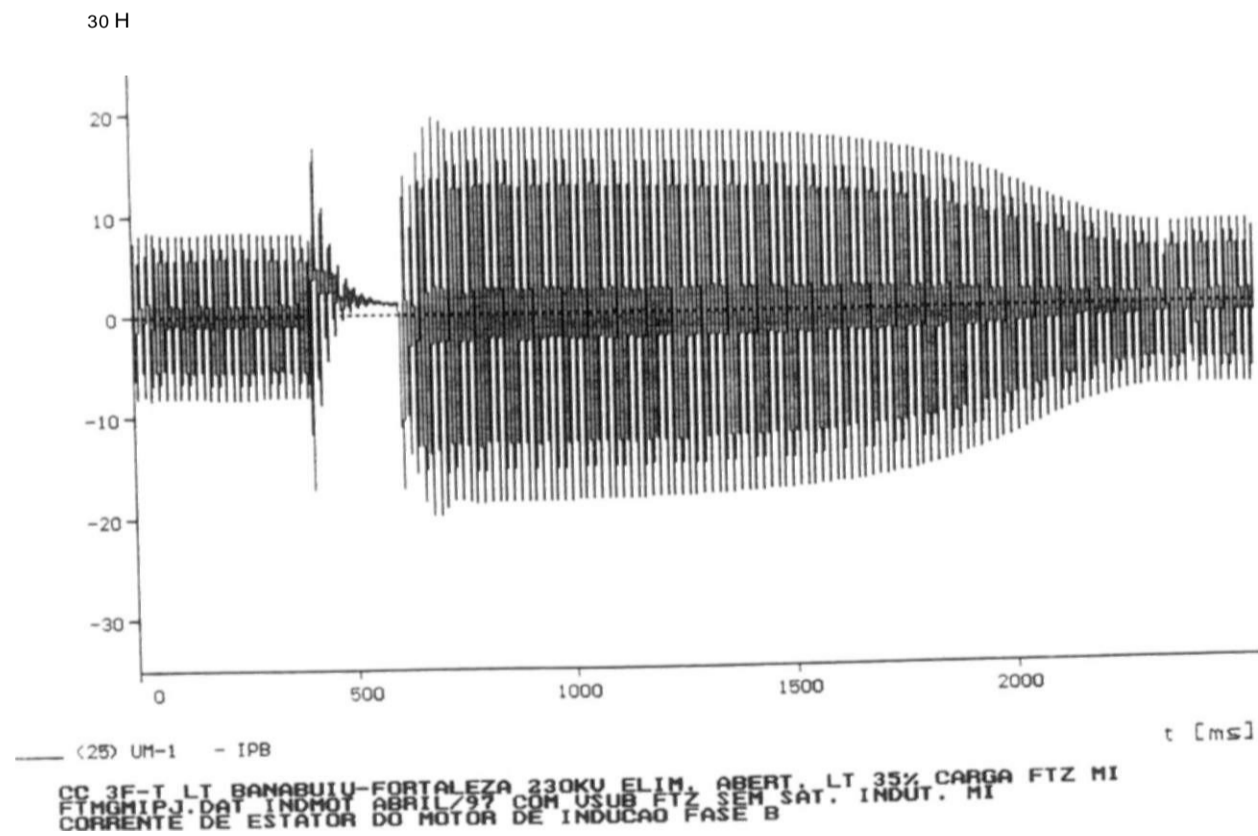
Ck A3

14-May-97 14.26.00



L CkAD

14-M » «-97 14.26.00

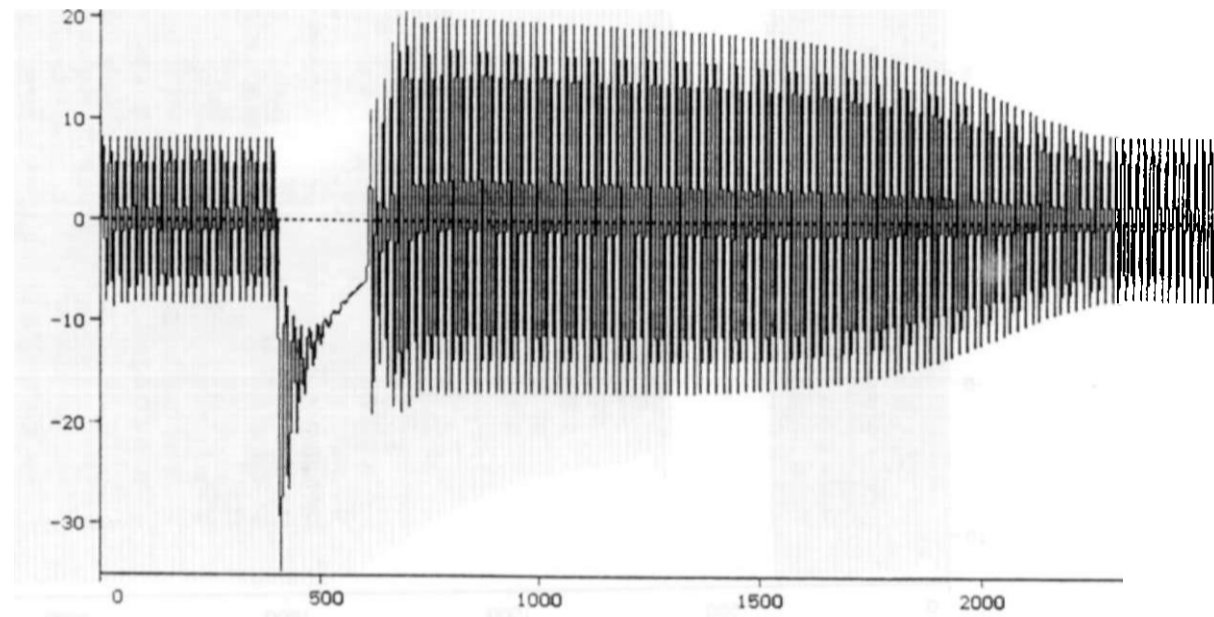


print date: 14. May 1997

[- CkA]

14-Ma«4-97 14.26.00

30 H



-(26) UM-1 - IPC

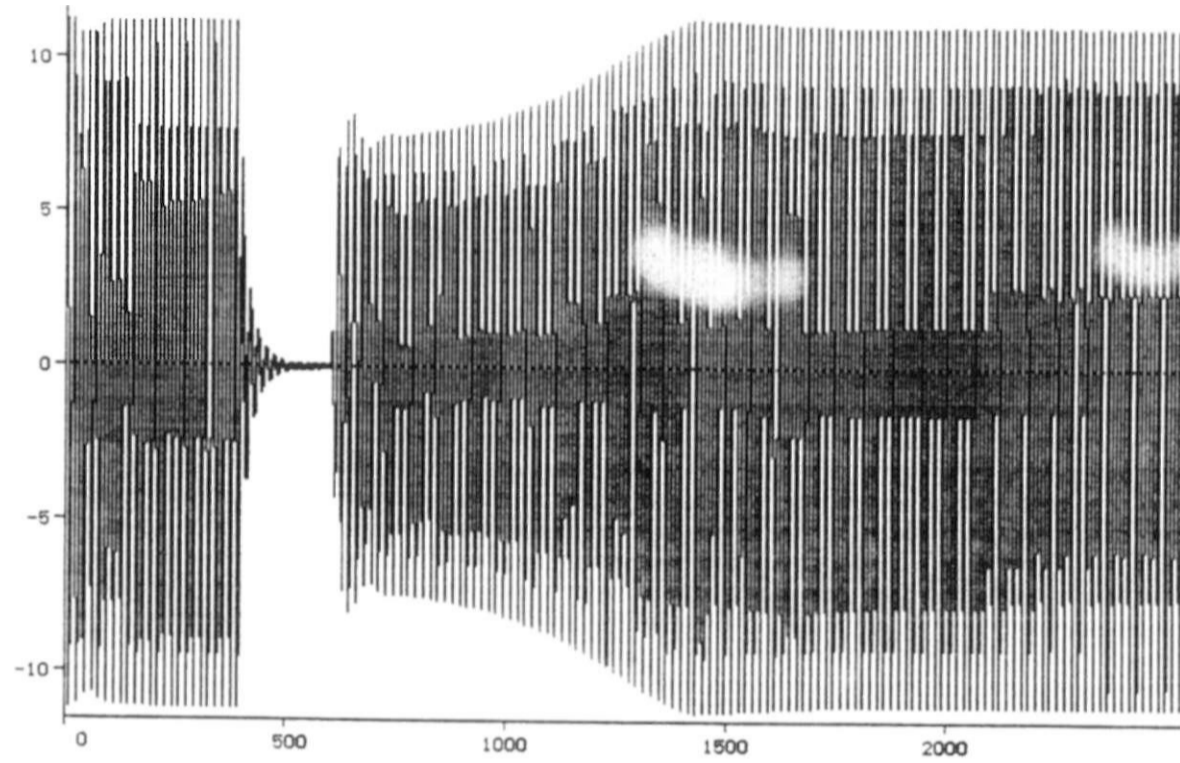
I Cms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
FIMGIPJ.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 14. May 1997

•/ CkU3

13-M»M-97 09.21.40



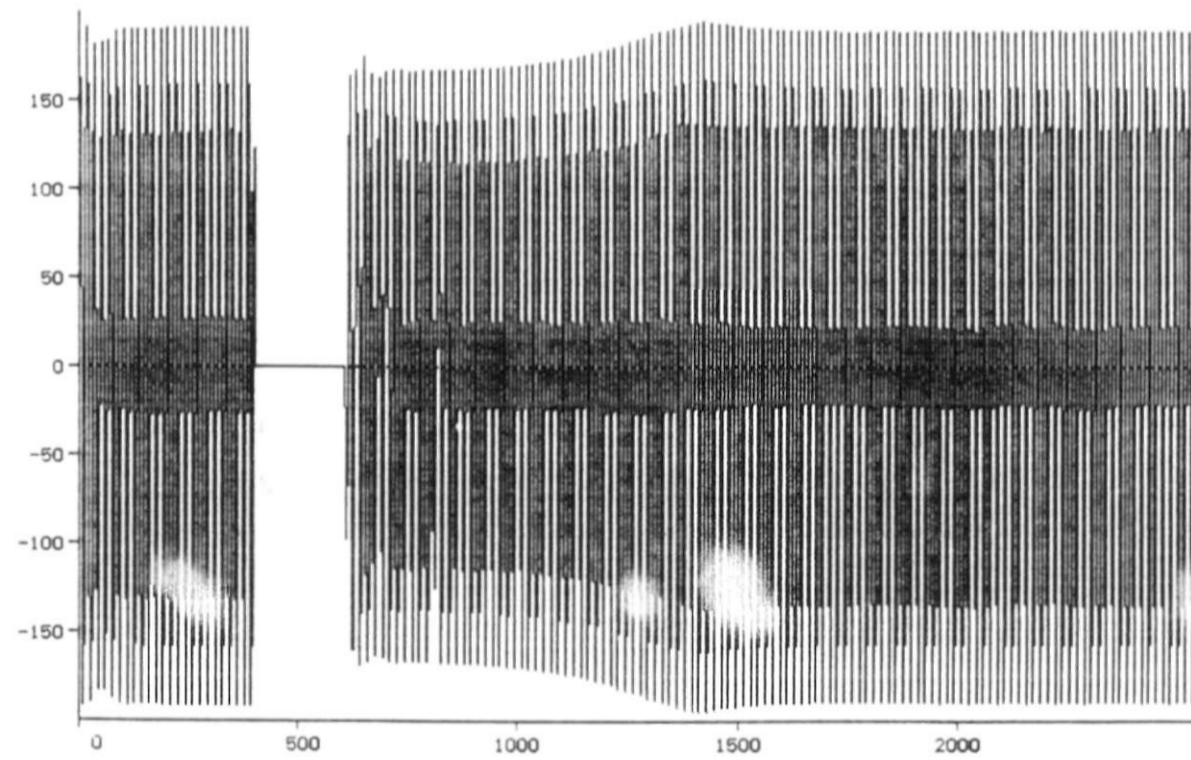
— ( 1 ) F13LA

t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
FTMGMPK.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO TERMINAL ROTOR DE INDUÇÃO 13.8KV FORTALEZA FASE A

v [kV]

15-May-97 09.21.40



— ( 5 ) FC23A

t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
FTMGMPK.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO 230KV FORTALEZA FASE-NEUTRO FASE A

print date: 15. May 1997

Assim, este tipo de compensador estático pode ser representado por uma admitância capacitiva fixa, correspondente ao banco de capacitores, em paralelo com uma admitância indutiva variável, representativa do reator, função do ângulo de disparo dos tiristores.

A parcela variável da admitância pode excursionar do seu valor máximo, obtido para um ângulo de disparo teórico de  $90^\circ$  e correspondendo ao reator totalmente inserido, a um valor nulo, obtido para um ângulo de disparo teórico de  $180^\circ$ , o que corresponde ao reator totalmente bloqueado. Na primeira situação, o compensador opera no seu limite máximo de fornecimento de potência reativa indutiva (nominal indutivo), enquanto que no segundo caso, ele opera no seu limite máximo de fornecimento de potência reativa capacitiva (nominal capacitivo). Após atingidos os respectivos limites, o compensador deixa de efetuar o controle da tensão, passando a comportar-se como um elemento shunt fixo (reator ou capacitor, conforme o limite atingido), sendo este comportamento descrito através da curva característica estática do equipamento, mostrada na Fig. 3.4.

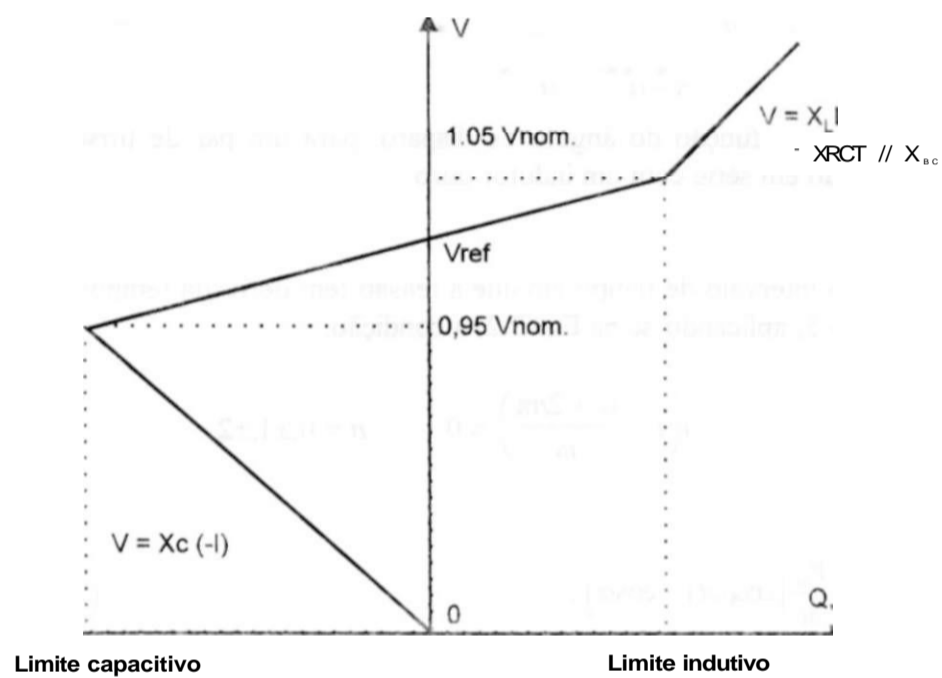


Fig. 3.4 Curva característica estática do CE tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo.

No circuito da Fig. 3.5, representando a uma indutância pura conectada a uma fonte de tensão por um par de tiristores, a corrente pode ser calculada, admitindo-se inicialmente a tensão de entrada na forma [9],

$$v(t) = V_m \text{sen}(\omega t) . \quad (3.1)$$

Com pelo menos um dos tiristores operando no regime de condução, tem-se que.

$$L \frac{di}{dt} = V_m \text{sen}(\omega t) .$$

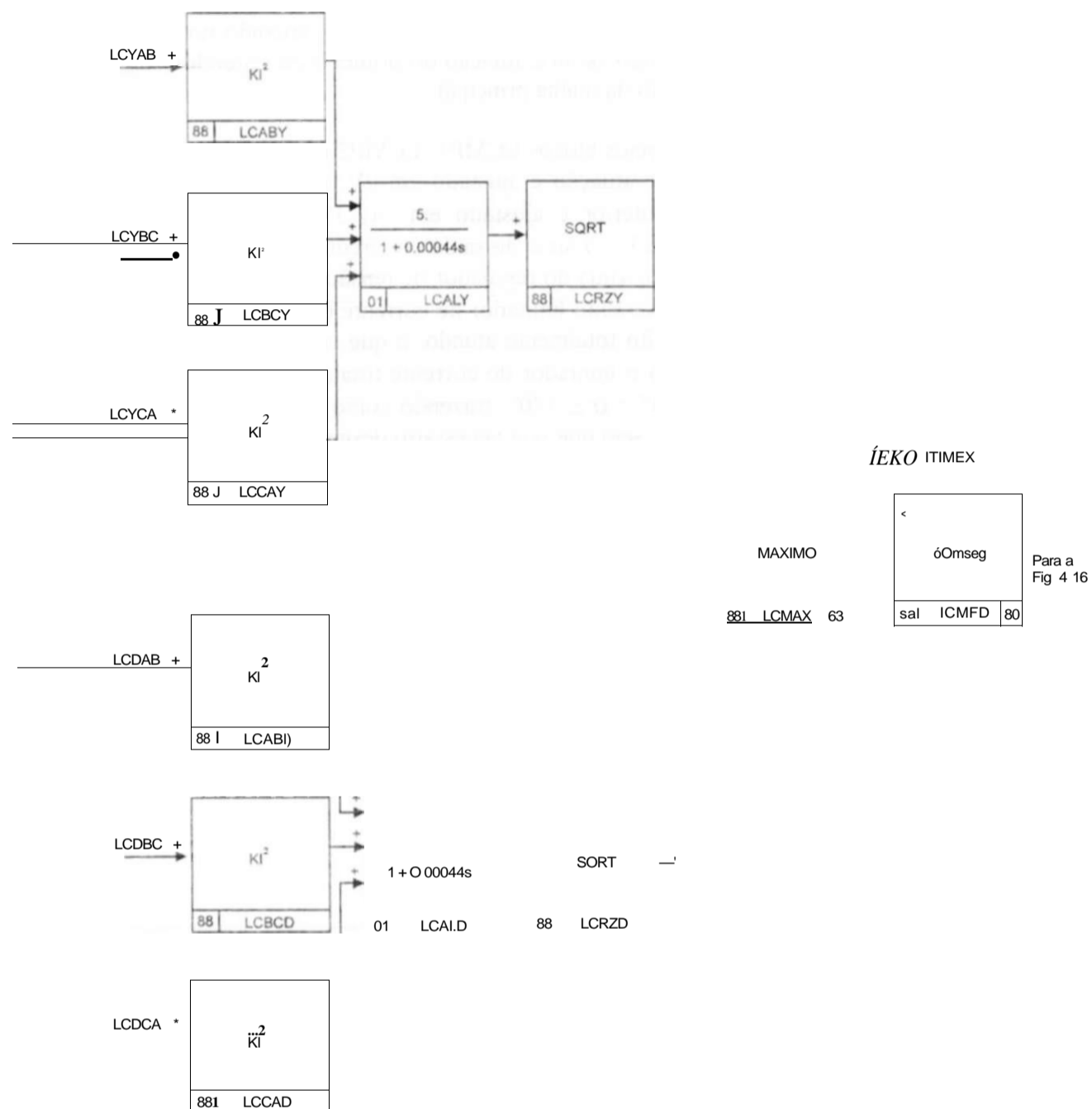
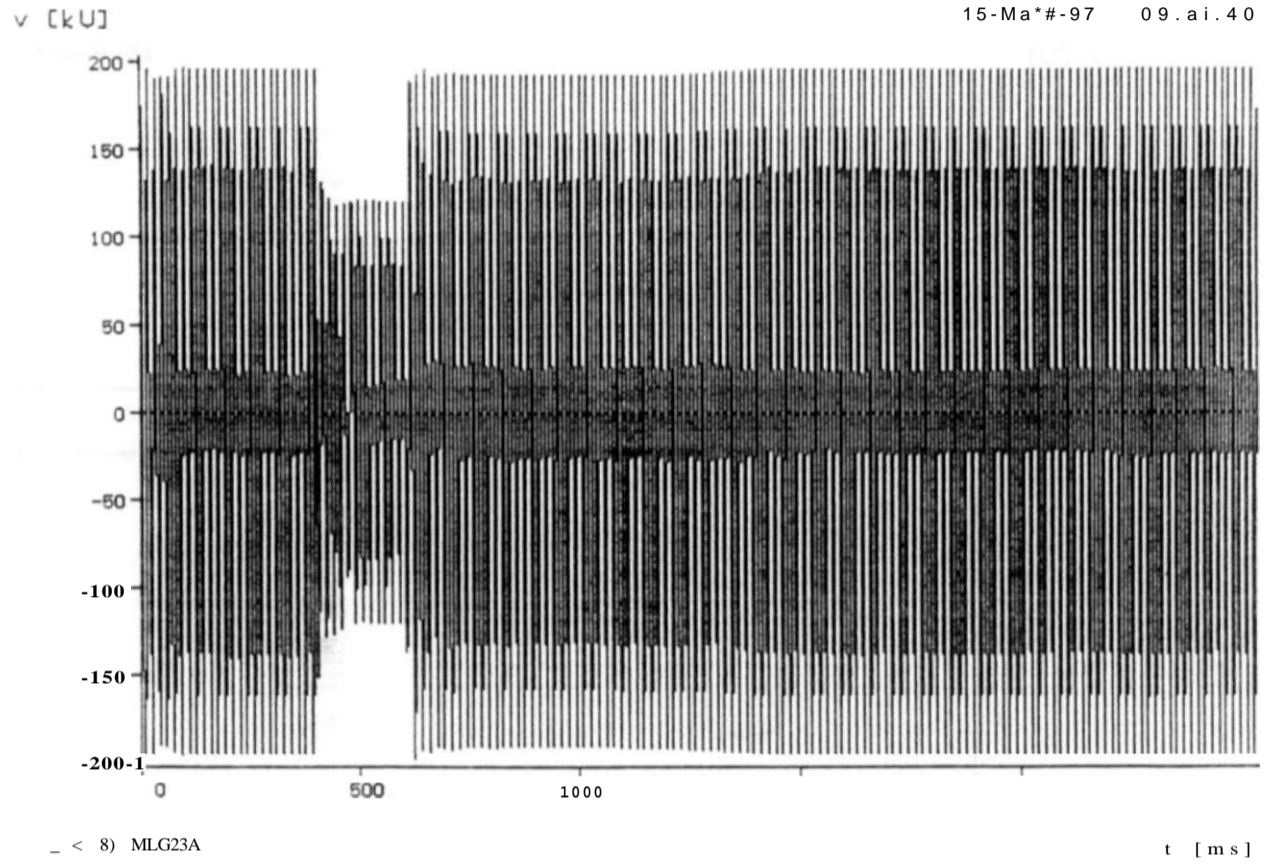


Fig.4.15 Detecção do valor máximo instantâneo da corrente nos reatores controlados a tiristores.

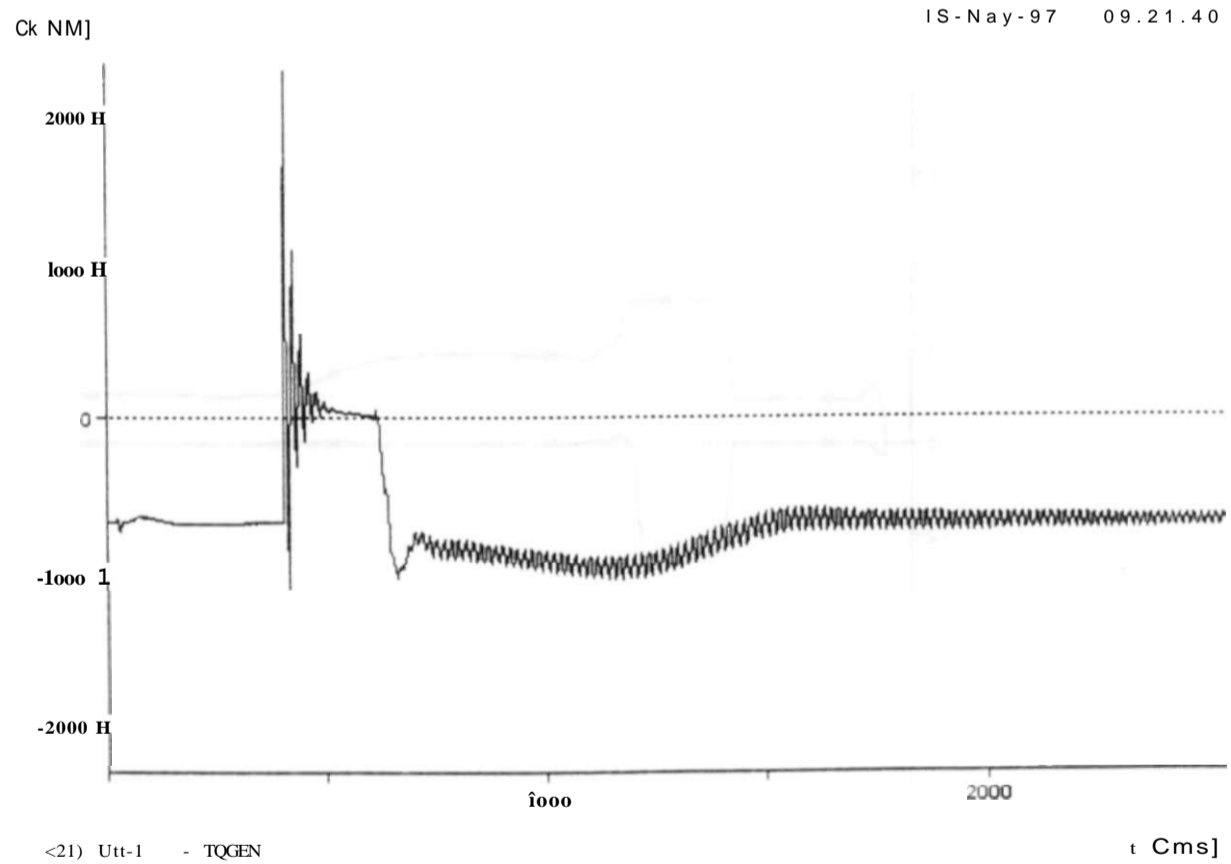
Em seguida, é selecionado o valor máximo instantâneo entre as duas seções, denominado LCMAX, que serve de entrada ao circuito limitador de corrente propriamente dito, representado na Fig.4.16 para o CE Fortaleza e na Fig.4.17 para o CE Milagres por meio de diagramas de blocos da TACS.

Para o CE Fortaleza, existem três estágios de circuito limitador de corrente, denominados malha principal de controle (ajustado a um valor normalizado de 2.2), primeiro estágio (ajustado a um valor normalizado de 1,5) e segundo estágio (ajustado a um valor normalizado unitário) de redução do valor de referência. Através da Fig.4.16, pode-se verificar que é selecionado o menor dos sinais relativos ao primeiro e segundo estágio do



< 8) MLG23A

CG 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KU ELIM. ABERT. LT 33X CARGA FTZ MI  
 FTMGMPK.DAT INDNOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SRT. INDUT. NI  
 TENSÃO 230KU MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A



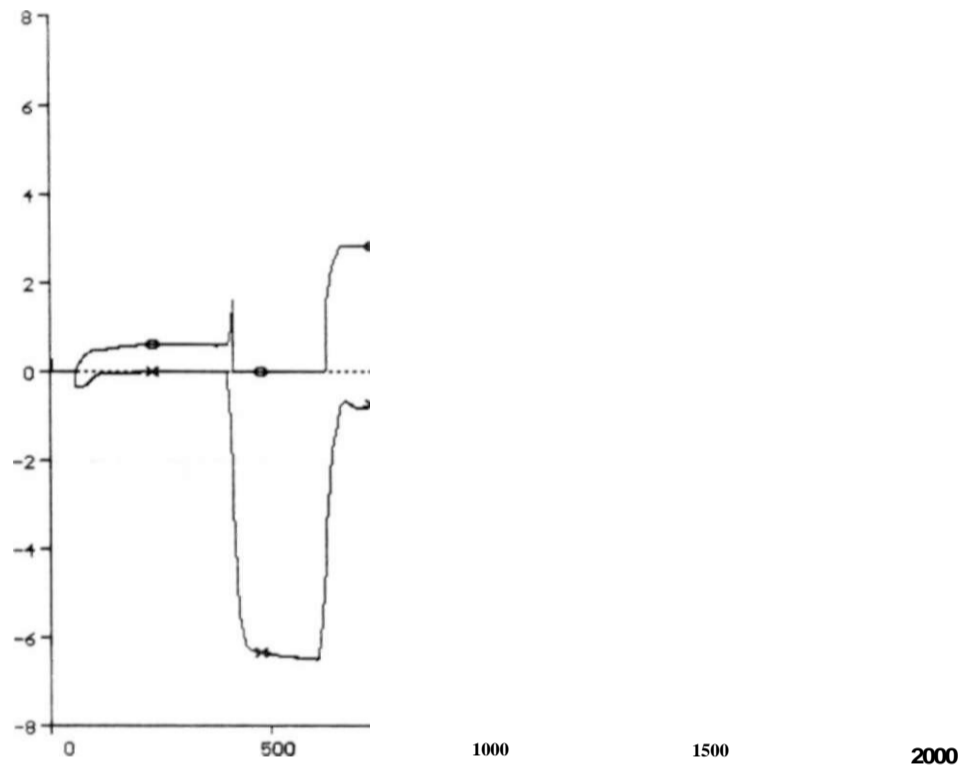
<21) Utt-1 - TQGEN

CG 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KU ELIN. ABERT. LT 33X CARGA FTZ MI  
 FTMGMPK.DAT INDNOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
 TORQUE ELETROMAGNÉTICO NO MOTOR DE INDUÇÃO

print date: 15. May 1997

v CUJ

15-M\*\*#-97 09.21.40



(15) TACS - ENTPI <14> TACS - SAIP t Cms]

CC 3F-T LT BANftBUIU-FORTALEZA 23OKU ELIM. ABERT. LT 33x. CARGA FTZ MI  
T ^ O ^ E ' ' É N T R < A ^ CE ^ FORTALEZA ^ "

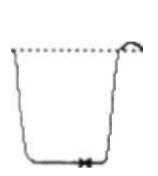
v CUJ

13-Mavi-97 09.21.40

6H

2H

-2H



500 1000 1500 2000

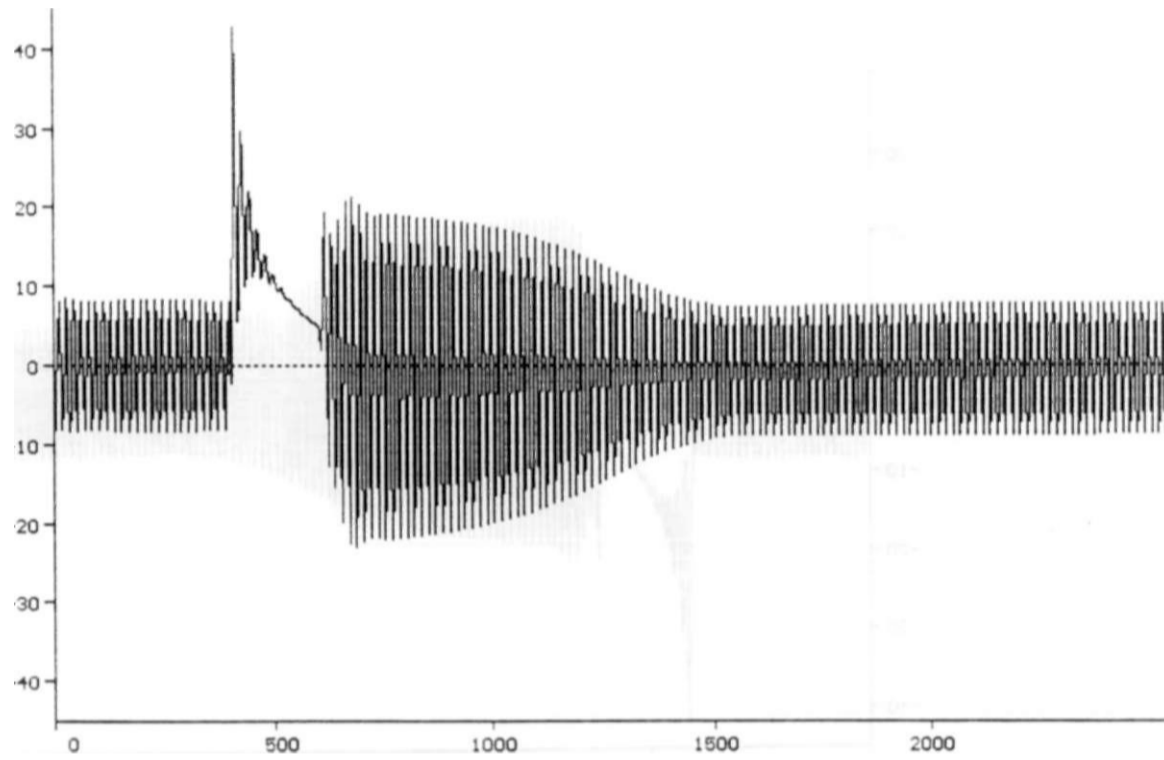
<18> TACS - ENTPIM <19> TACS - SAIPIM t Cms]

F?MGMIPK.DAT INDMOT AI EZA 230KU ELIN. ABERT. LT 35%. CARGA FIZ MI  
TÊNSES DE ENTRADA E SAIDA

print datei: 15. May 1997

L CkAJ

15-Ma«-97 09.21.40



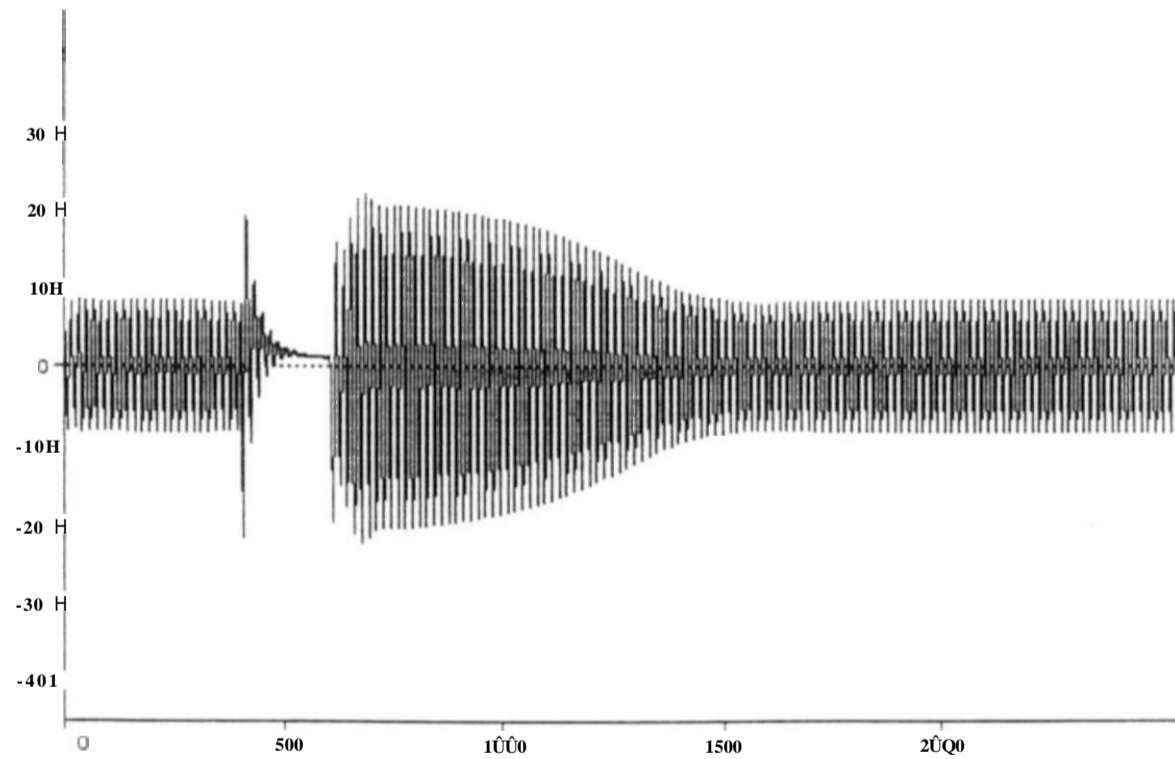
(24) Utt-1 - IPA

t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 33\* CARGA FTZ MI  
FTMGMPK.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE A

L ikM

13-Mau-97 09.21.40



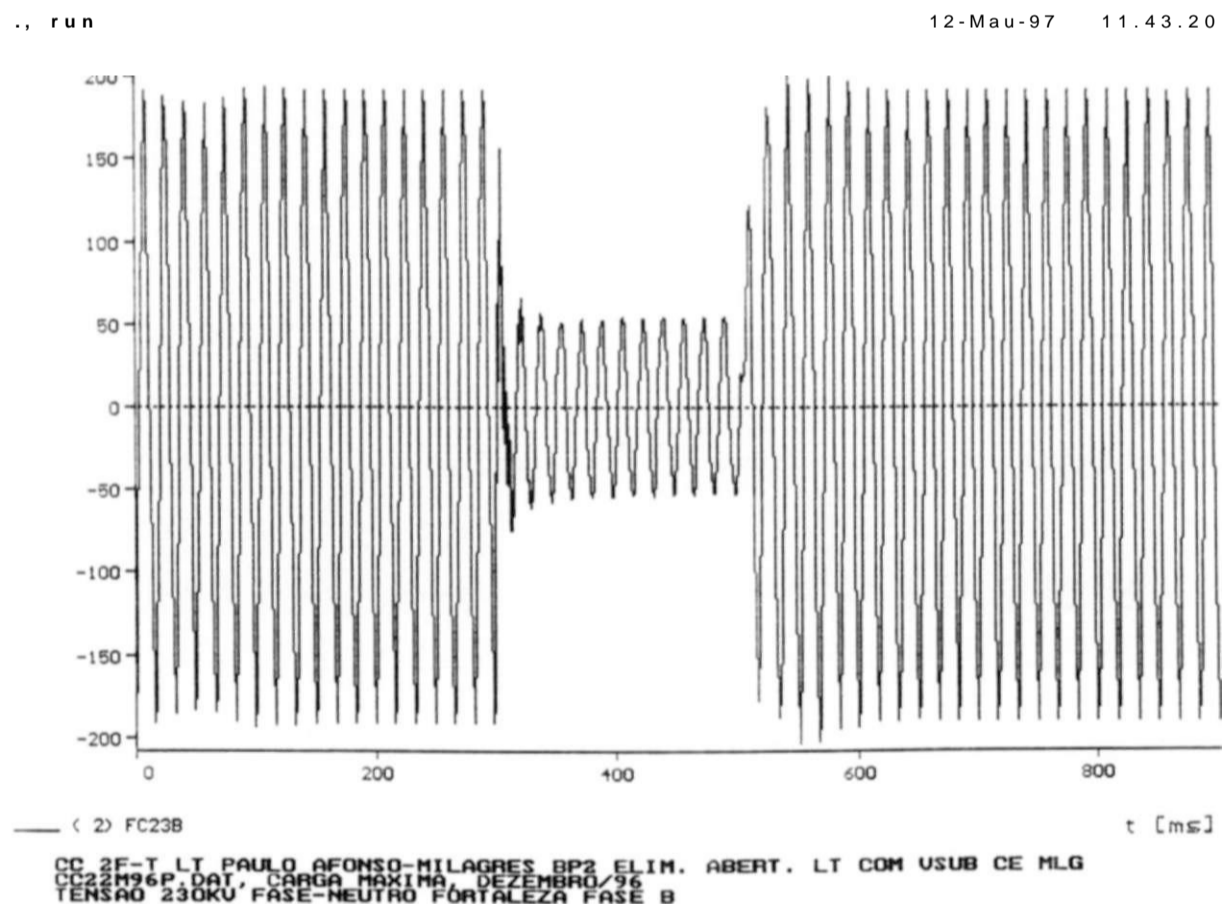
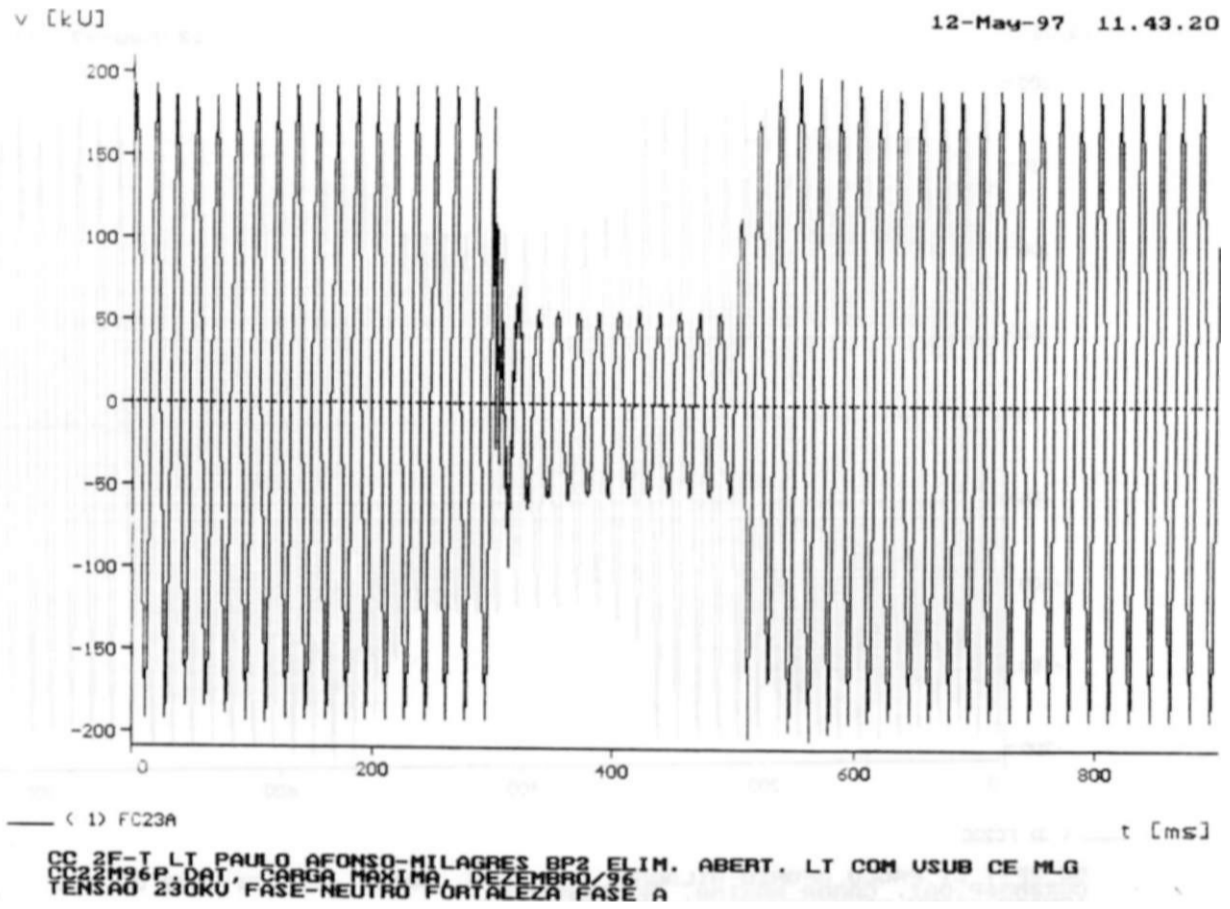
C25) UM-i - IPB

t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 33X CARGA FTZ MI  
FTNGHIPK.DAT INONOT ABRIL/97 COM USUB FTZ COM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE B

print date: 15. May 1997

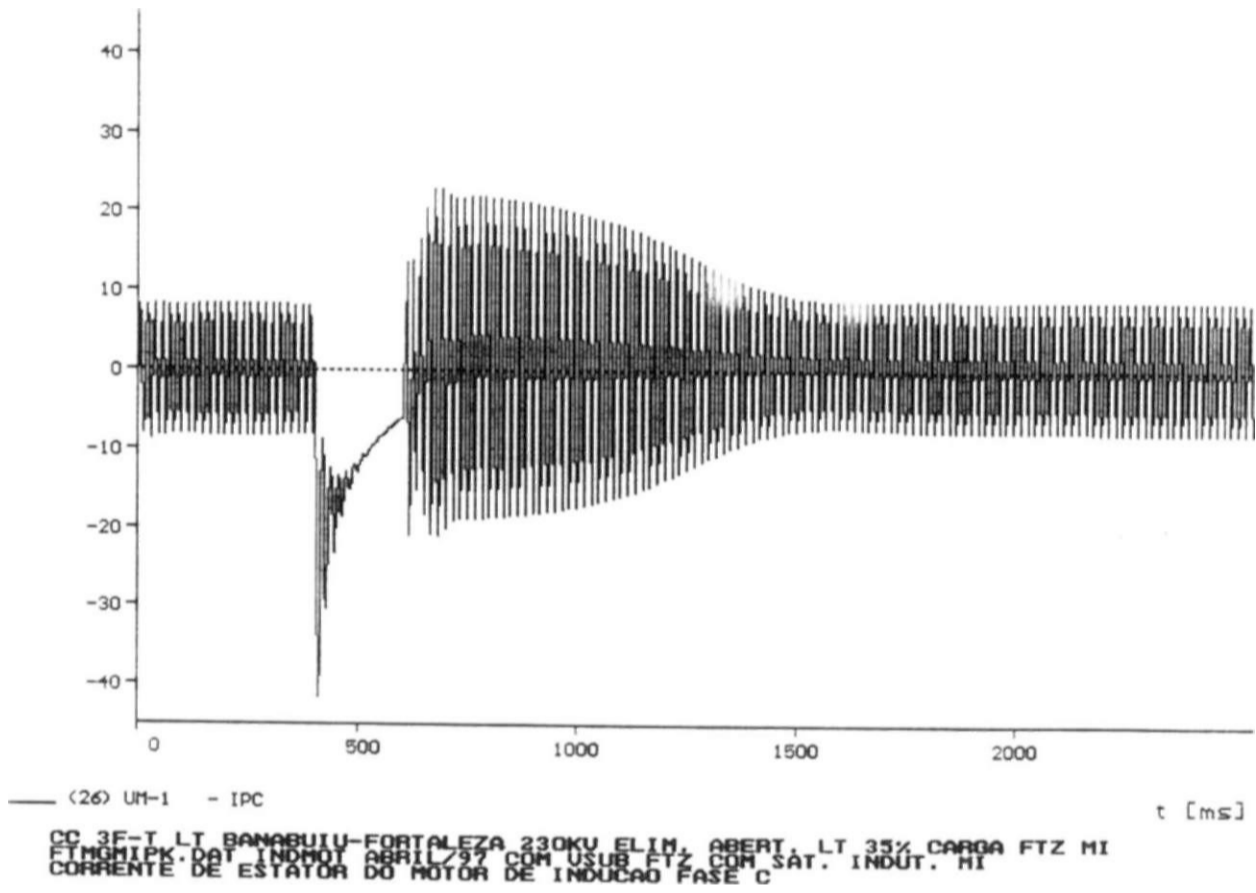




print date: 12. May 1997

i CKA3

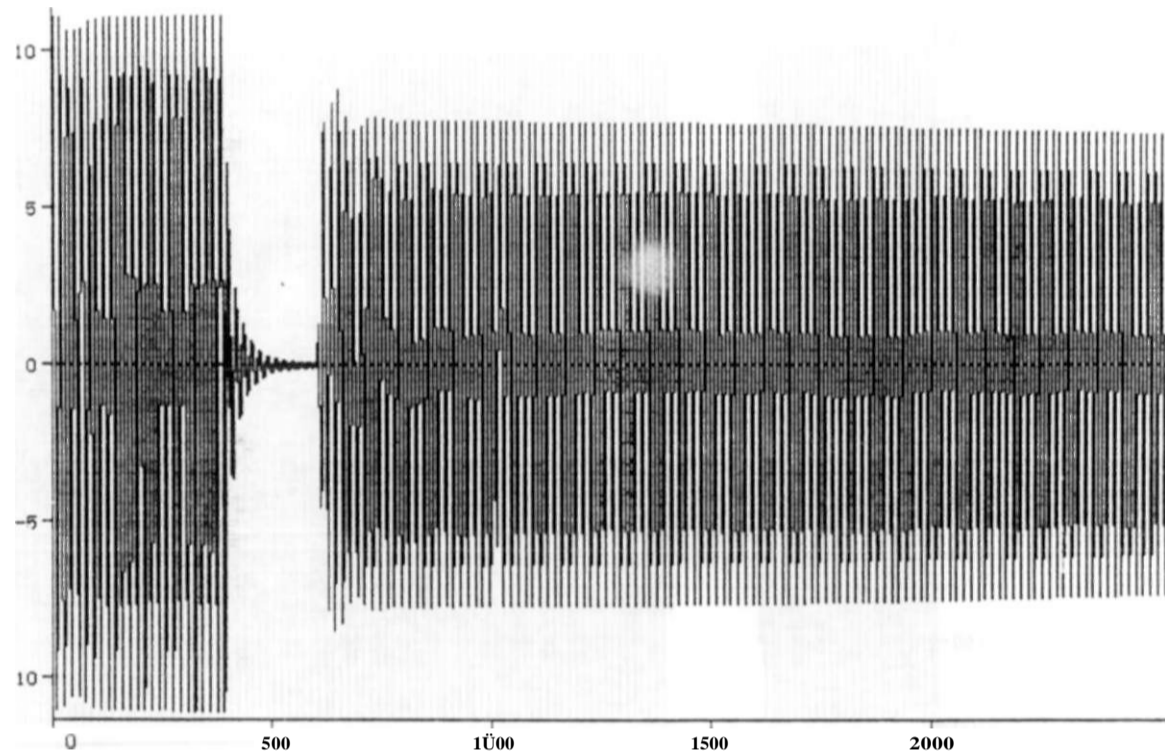
15-MaM-97 09.21.40



print date: 15. May 1997

v CkU]

13-Ma«-97 11.17.37



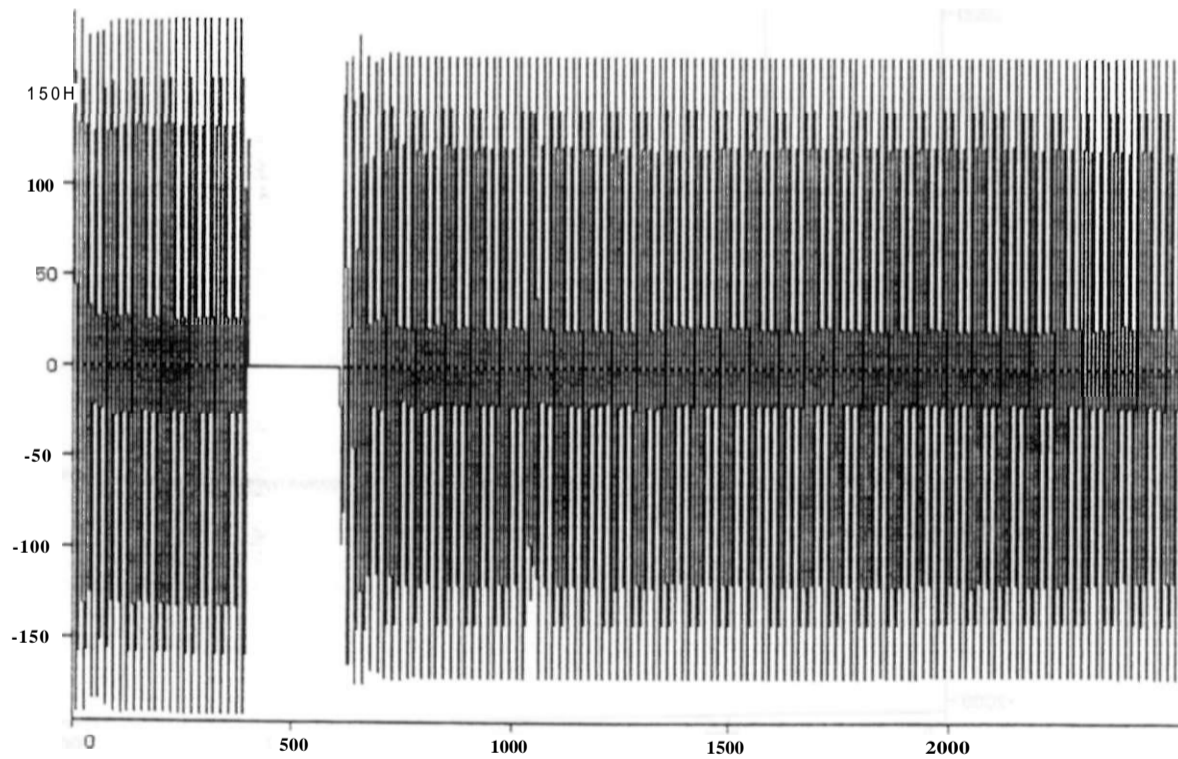
< 1) F13LA

r Cms3

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 40V: CARGA FTZ MT  
FTMGMIPI.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO TERMINAL MOTOR DE INDUÇÃO 13.8KV FORTALEZA FASE A

v CkU]

15-M»M-97 11.17.37

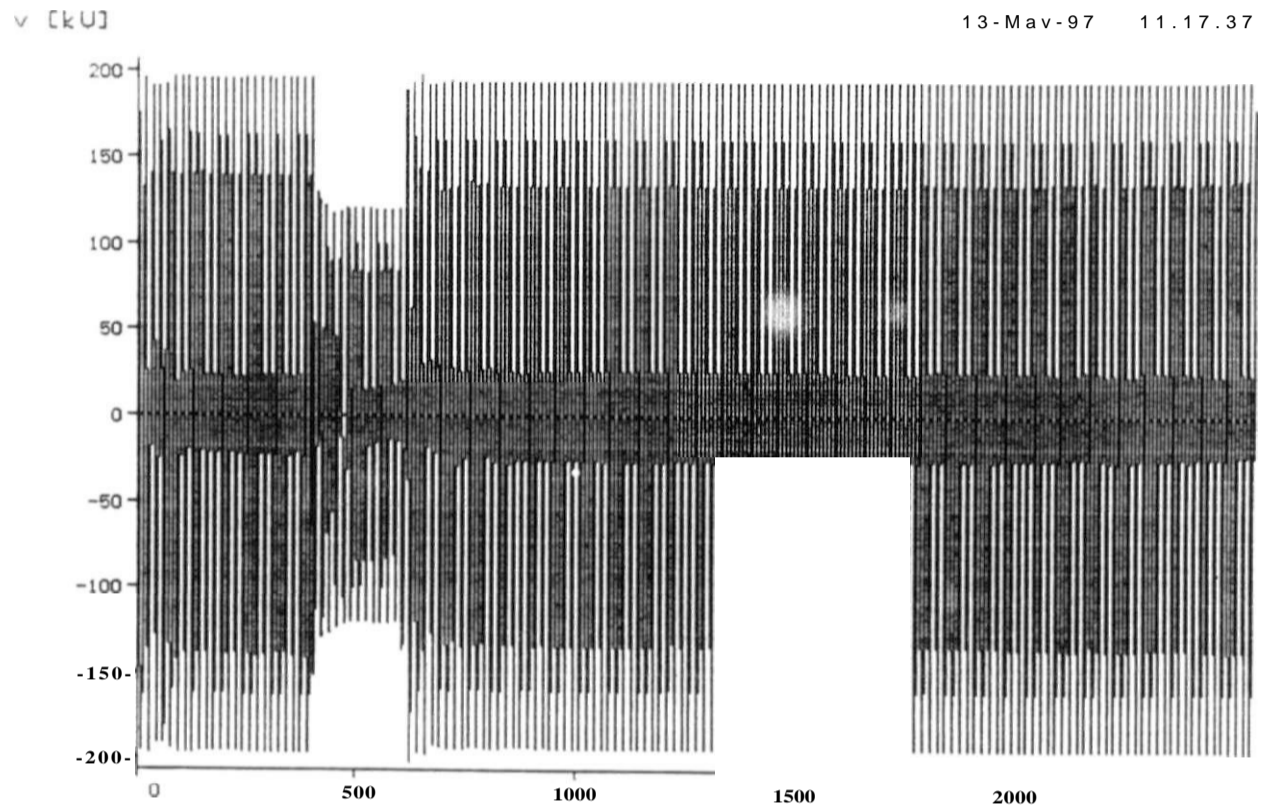


< 5) FC23A

t Cms]

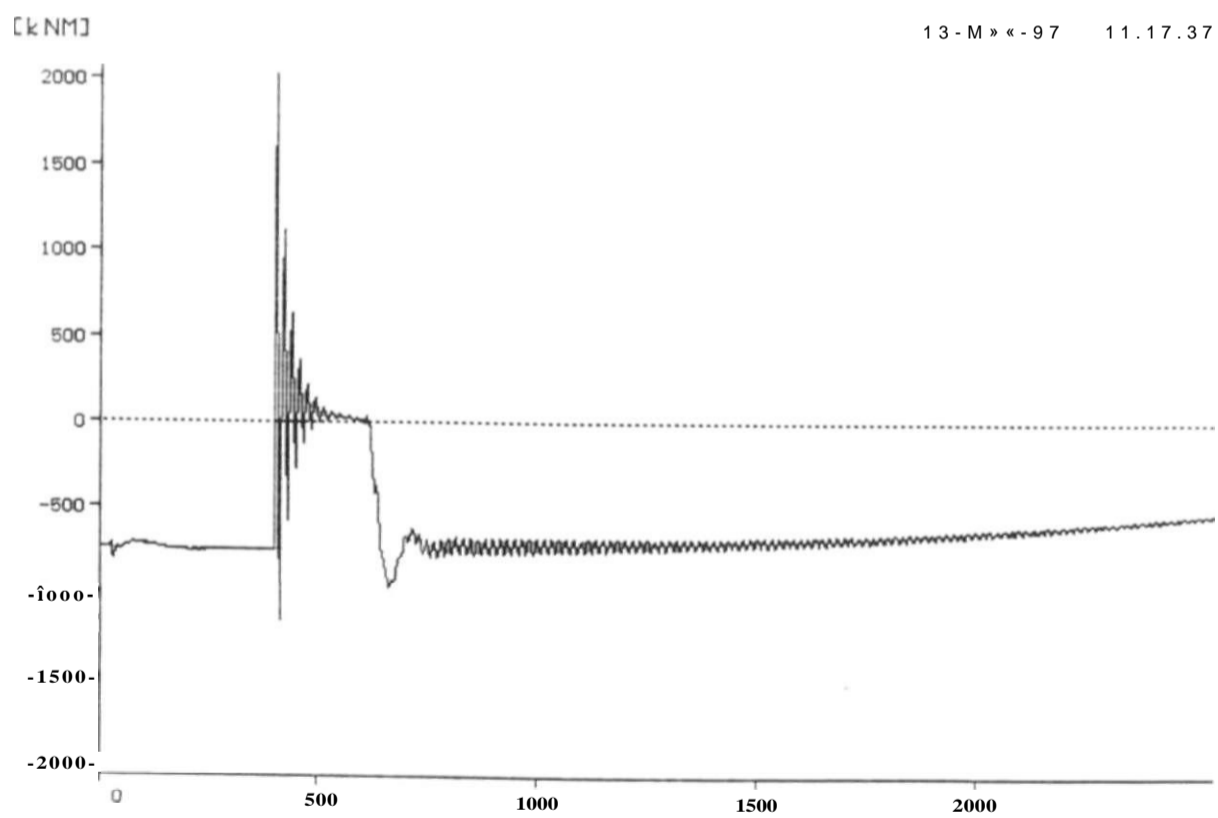
FTM7MIPI.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
TENSÃO TERMINAL MOTOR DE INDUÇÃO 13.8KV FORTALEZA FASE NEUTRO FASE A

print date: 15. May 1997



< 8) MLG23A

*mpùknmgsdmm\** ^^^^ <<< << t Cms]



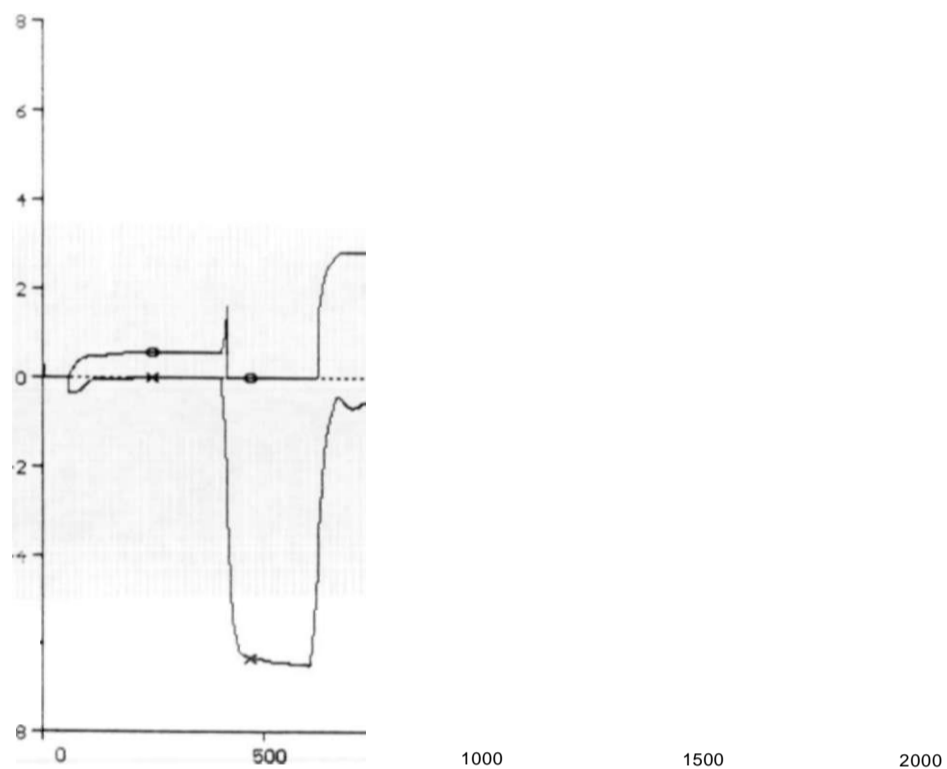
(21) UM-1 - TQGEN

t Cms]

print date: 15. May 1997

v cu:

15-Ma«i-97 11.17.37



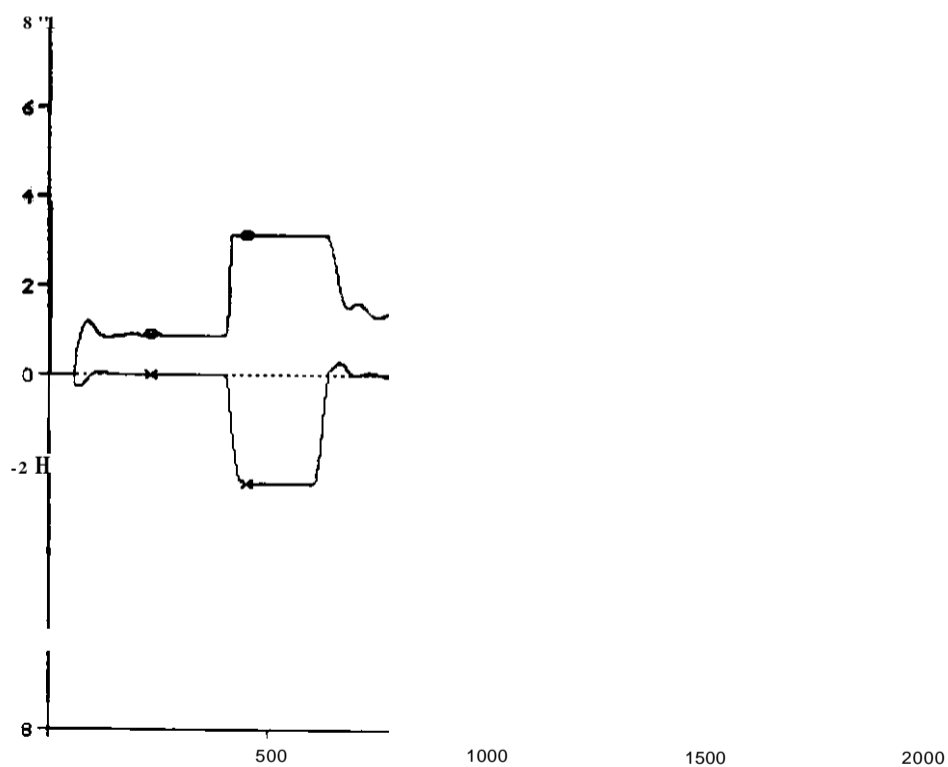
<15> TACS - ENTPI <15> TACS - SAUPI

t Cms]

PTM 7. TIT S811A~ SSI 7A 230KV ELIM. ABERT. LT 40V. CARGA FTZ MI  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

CU]

15-N«M-97 11.17.37

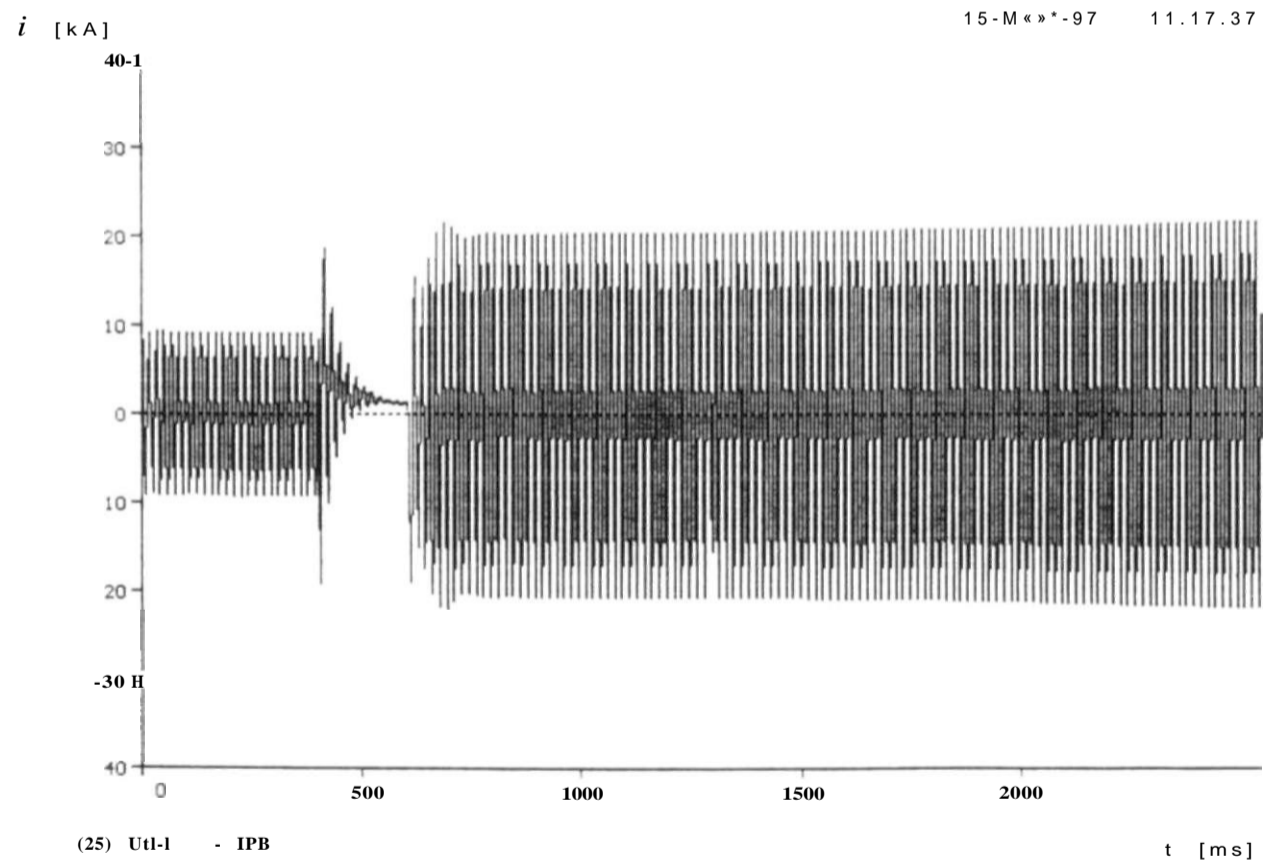
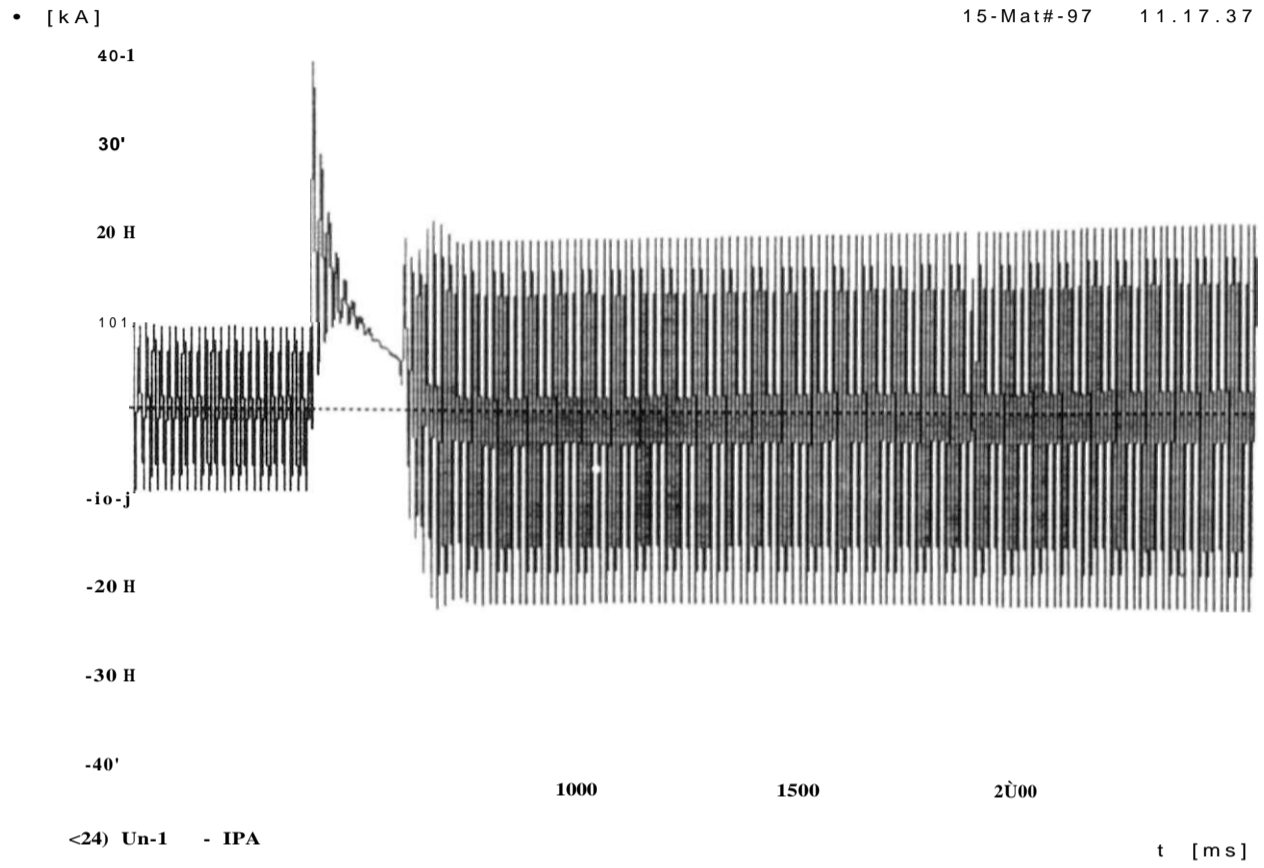


<18> TACS - ENTPIM C18) TACS - SAIPIM

t Cms]

PTM 7. TIT S811A~ SSI 7A 230KV ELIM. ABERT. LT 40V. CARGA FTZ MI  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

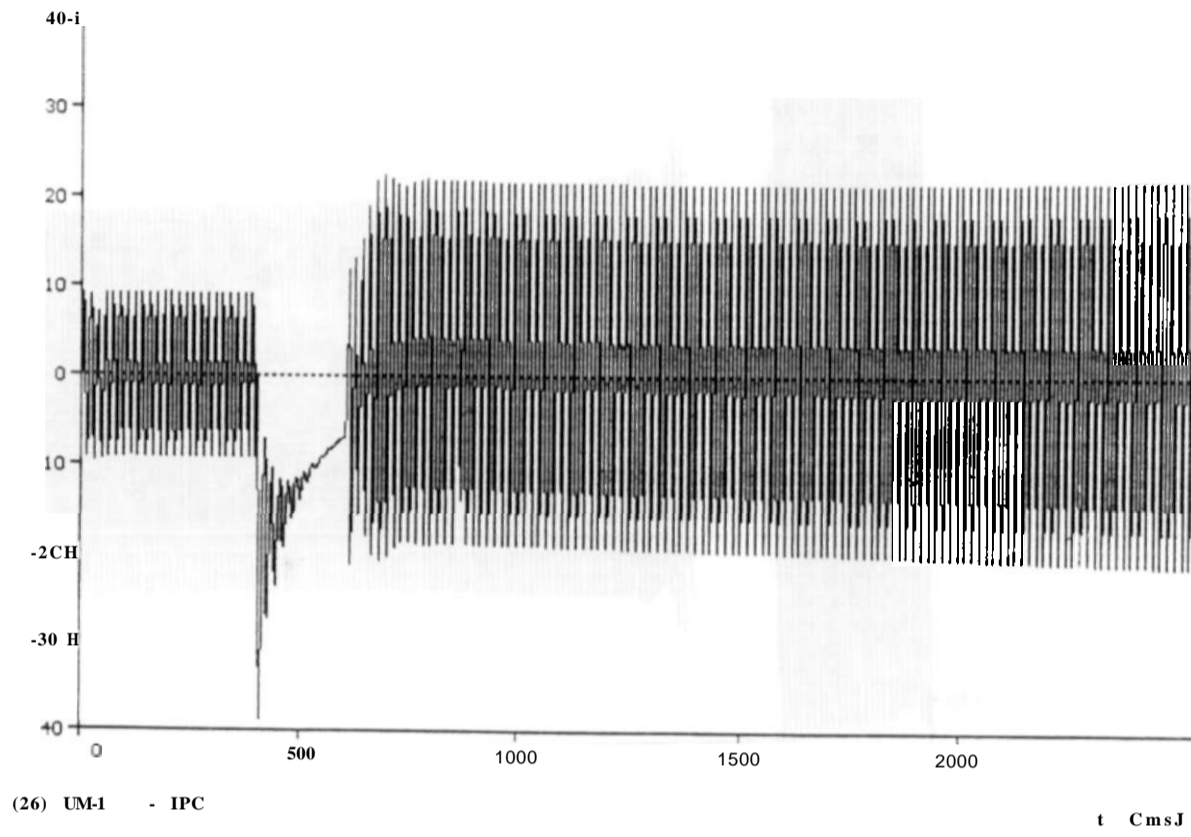
print date: 15. May 1997



90-15711-1 BAN. C. S. A. FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 40/ CARGA FTZ MI  
 DJBSB&R-1-VCISX ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUST. MI  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE B

print date: 15. May 1997

15-May-97 11.17.37



print date: 15. May 1997

limitador de corrente e este sinal serve de entrada à malha principal, atuando no sentido de reduzir seu nível de atuação e propiciando assim a atuação do primeiro ou segundo estágio de limitação de corrente através da atuação da malha principal.

Na malha principal, composta pelos blocos LCMP1, LCMP2 e LINUC e cujo nível de atuação é de 2.2. o limite superior de atuação é ajustado em 0V, proporcionando atuação instantânea, enquanto que o limite inferior é ajustado em -1,73V, proporcionando uma profundidade máxima de atuação de 113°. O sinal de saída do circuito limitador de corrente, LCMP2, atua sobre o limite indutivo de saída do regulador de tensão (LINUC), fazendo com que este limite varie de -2.27V com o circuito limitador de corrente desatuado até -0.54V (-2.27V + 1.73V), com o referido circuito totalmente atuado, o que corresponde a um ângulo de disparo de 113°. Desta forma, com o limitador de corrente totalmente atuado, a faixa de operação do CE é deslocada para  $113^\circ < a < 170^\circ$ , trazendo como consequência a redução das correntes nas válvulas de tiristores, sem que seja necessário desligar o compensador.

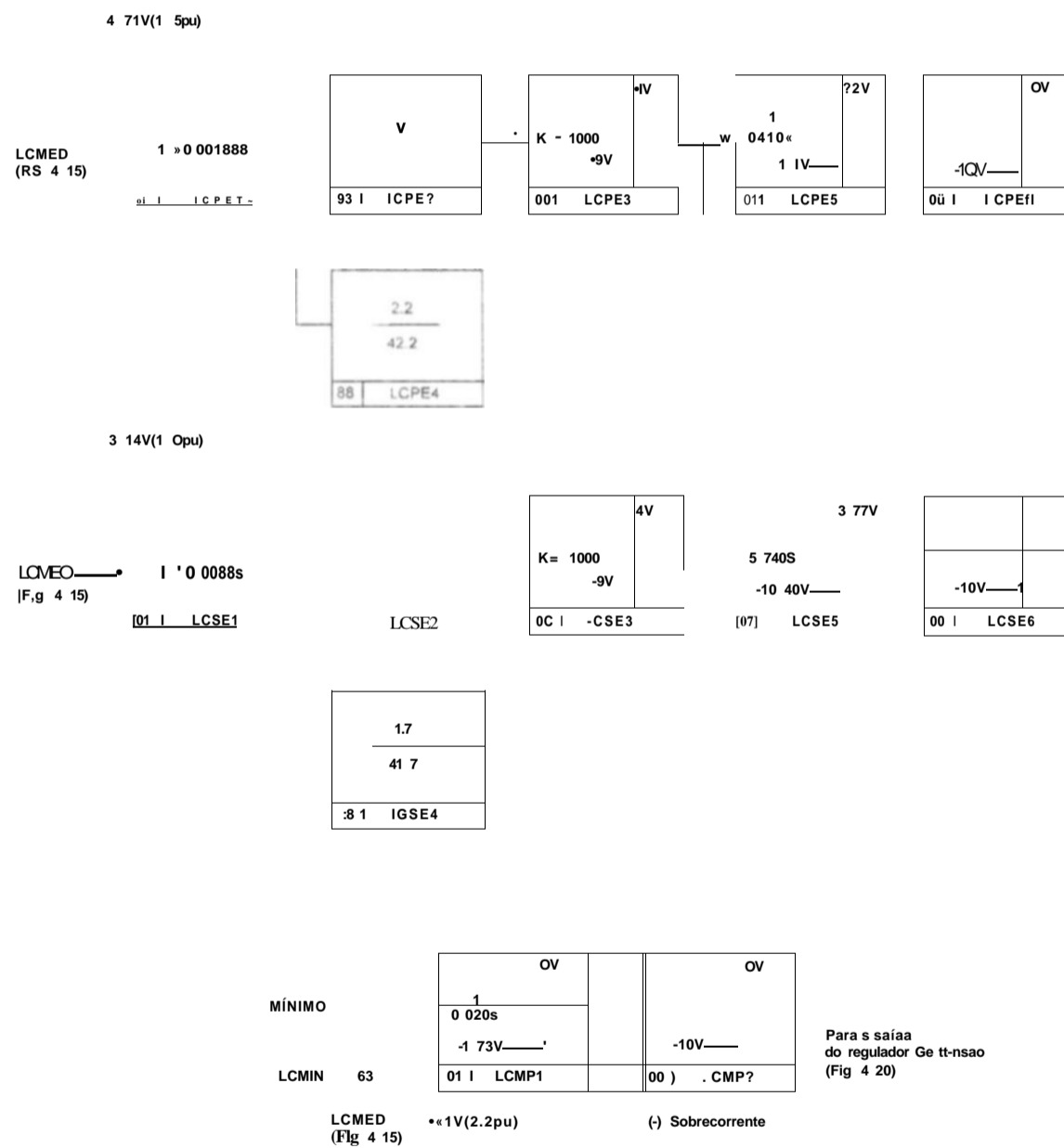
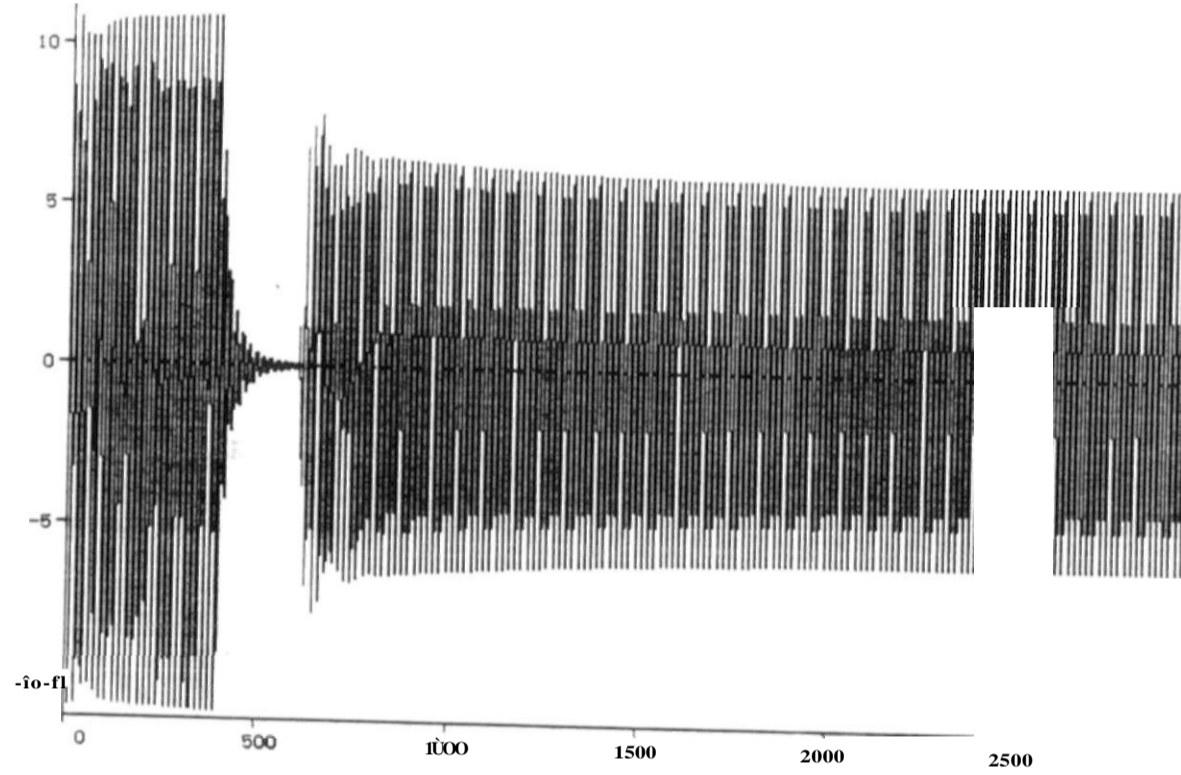


Fig.4.16 Circuito limitador de corrente do CE Fortaleza.



v CkU]

15-Ma\\*-97 13.03.38



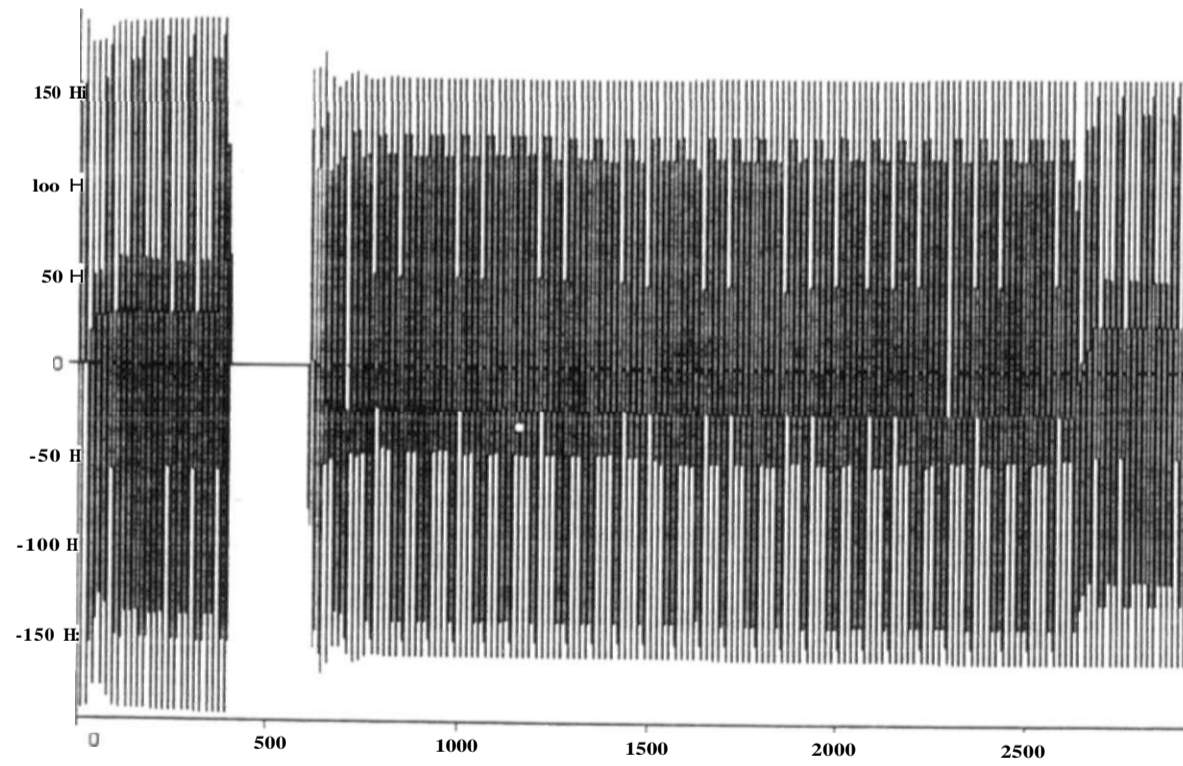
< 1) F13LA

t Cms]

rENS

v CkU]

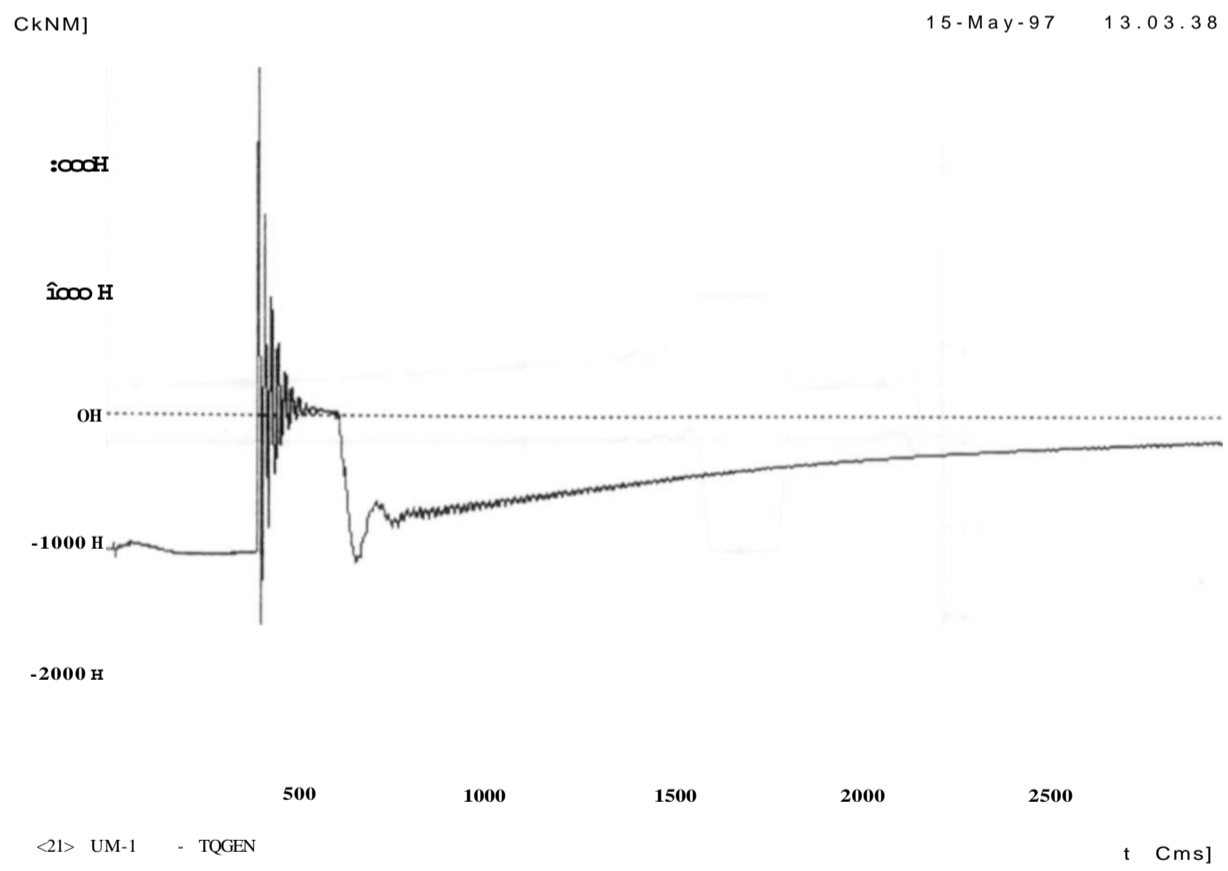
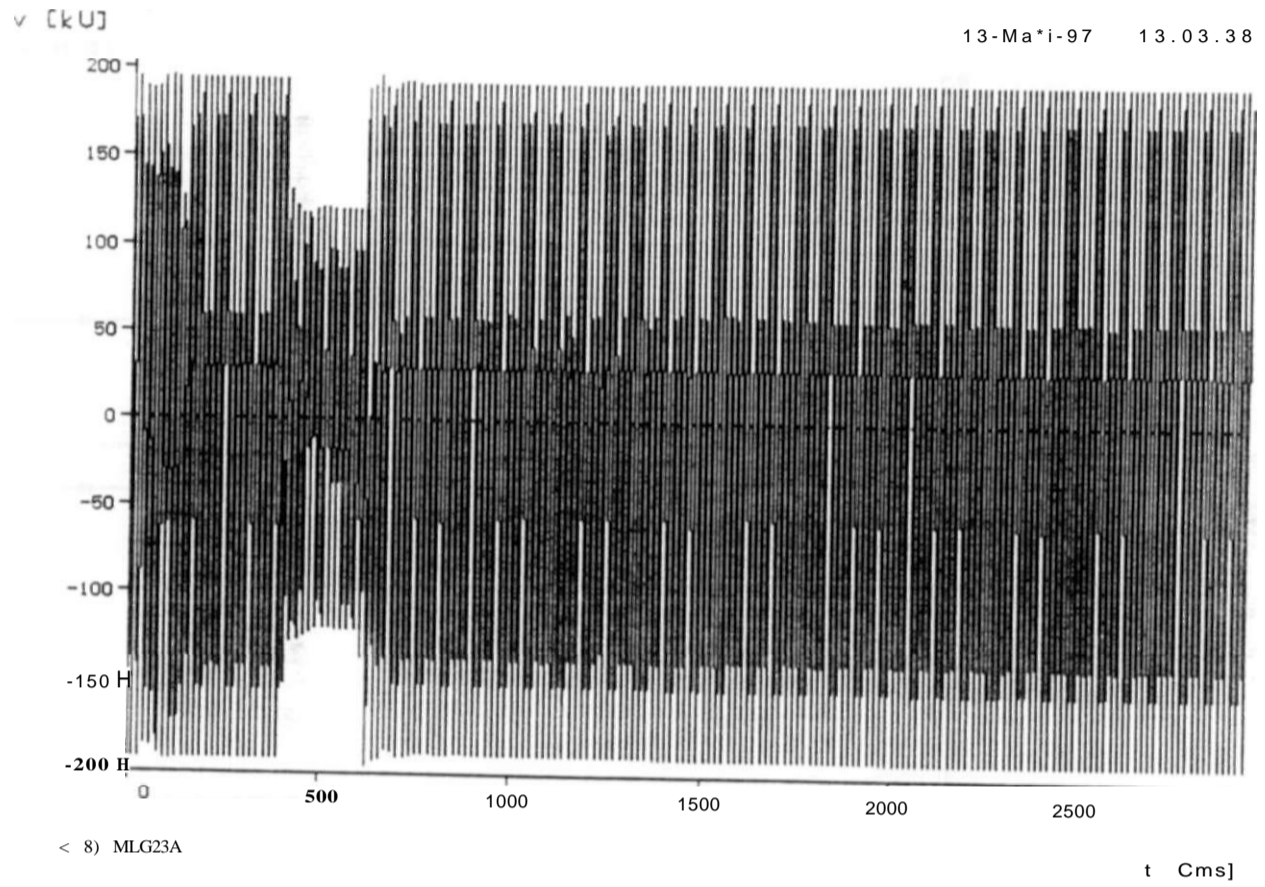
15-H>\*r-97 13.03.38



< 5) FC23A

t Cms]

print date: 15. May 1997

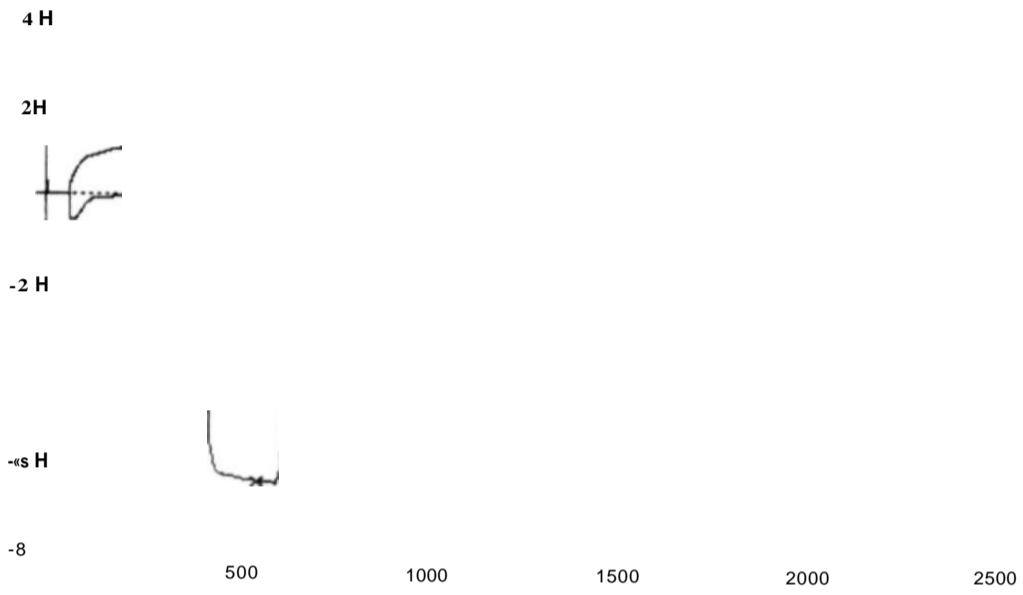


P7MAM16r)1s\*\*a5.Üa Py: C 251 \*\*\*\*\* 230KU ELIM. HERT.  
 TISSIAPR21111RZ1.4 L/97 COM USUB FTZ SEM SI  
 TORQUE ELETROMAGNETICO NO MOTOR DE INDUCRO

print date: 15. May 1997

v CU]

13-Ma\*-97 13.03.38

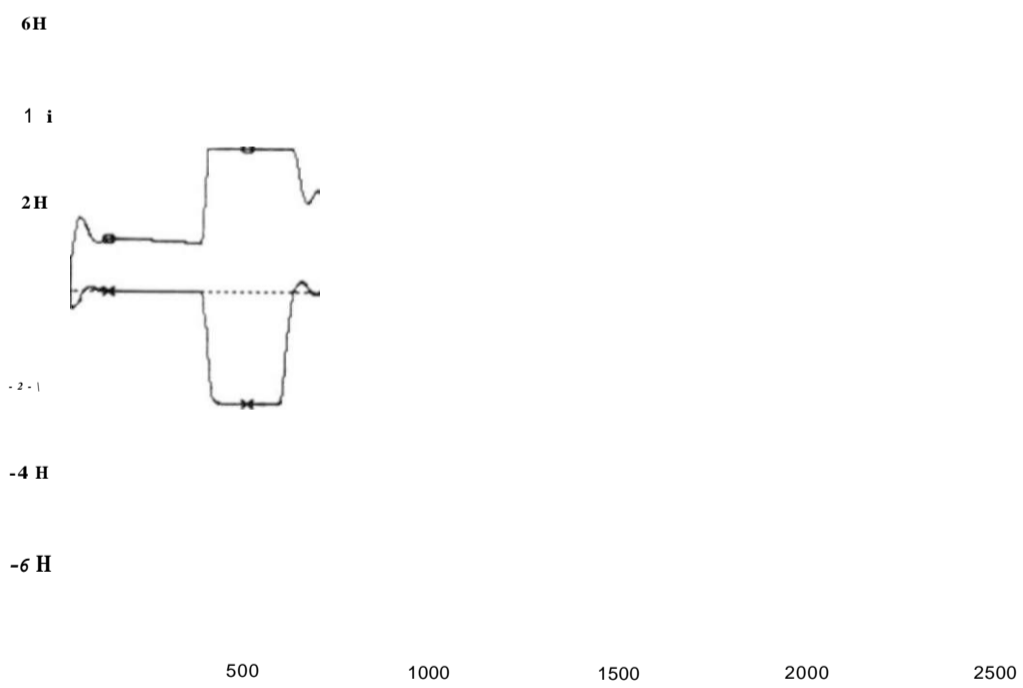


(15) TACS - ENTPI (16) TACS - SAUPI t Cms]

CC 3F-T LT BANFIBUIO-FORTOLEA 23OKU ABERT. LT 50V. CARGA FTZ NI  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR SEM SRT INDUT MI  
 DE CE FORTALEZA

v CU]

13-May-97 13.03.38



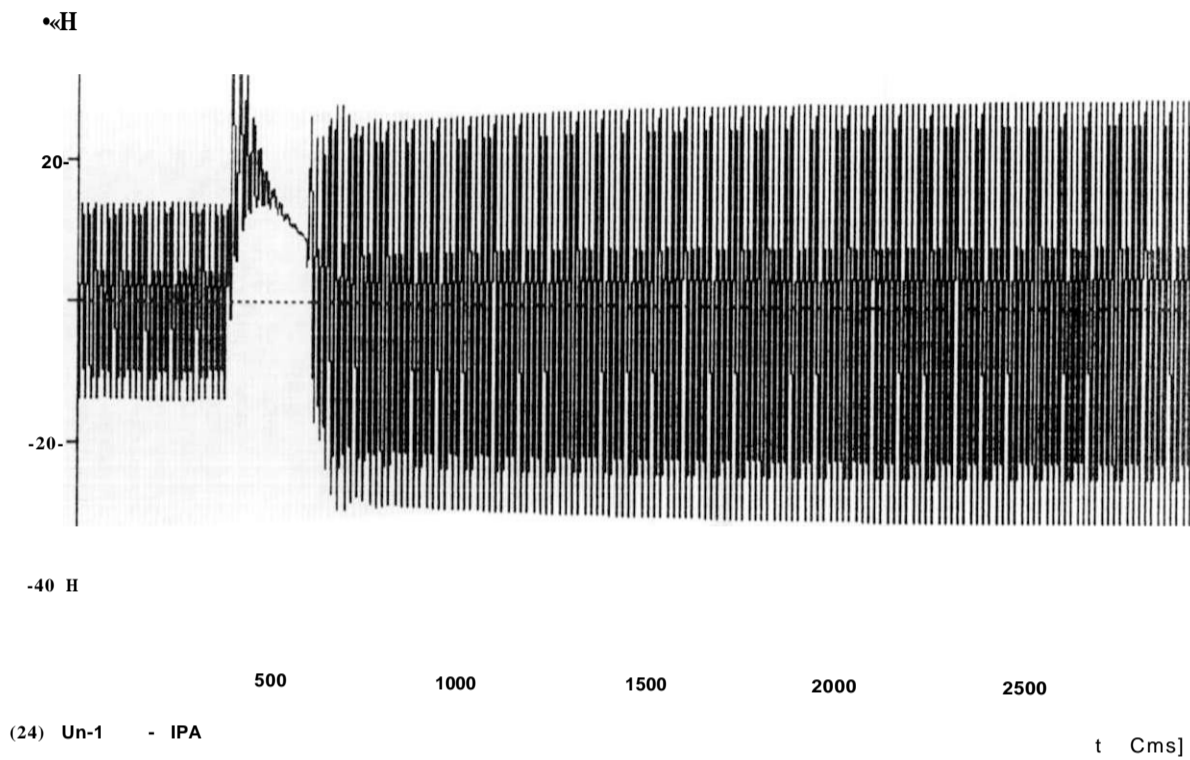
(18) TACS - ENTPIM (19) TACS - SAIPIM t Cms]

PTM?M7>r ^/%\*\*&Süi.y-CsHT^\*^zA 23OKU ELIN ABERT. LT 50V/ CARGR FTZ NI  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PP DO CE MILAGRES SEM SAT INDUT MI

print date: 15. May 1997

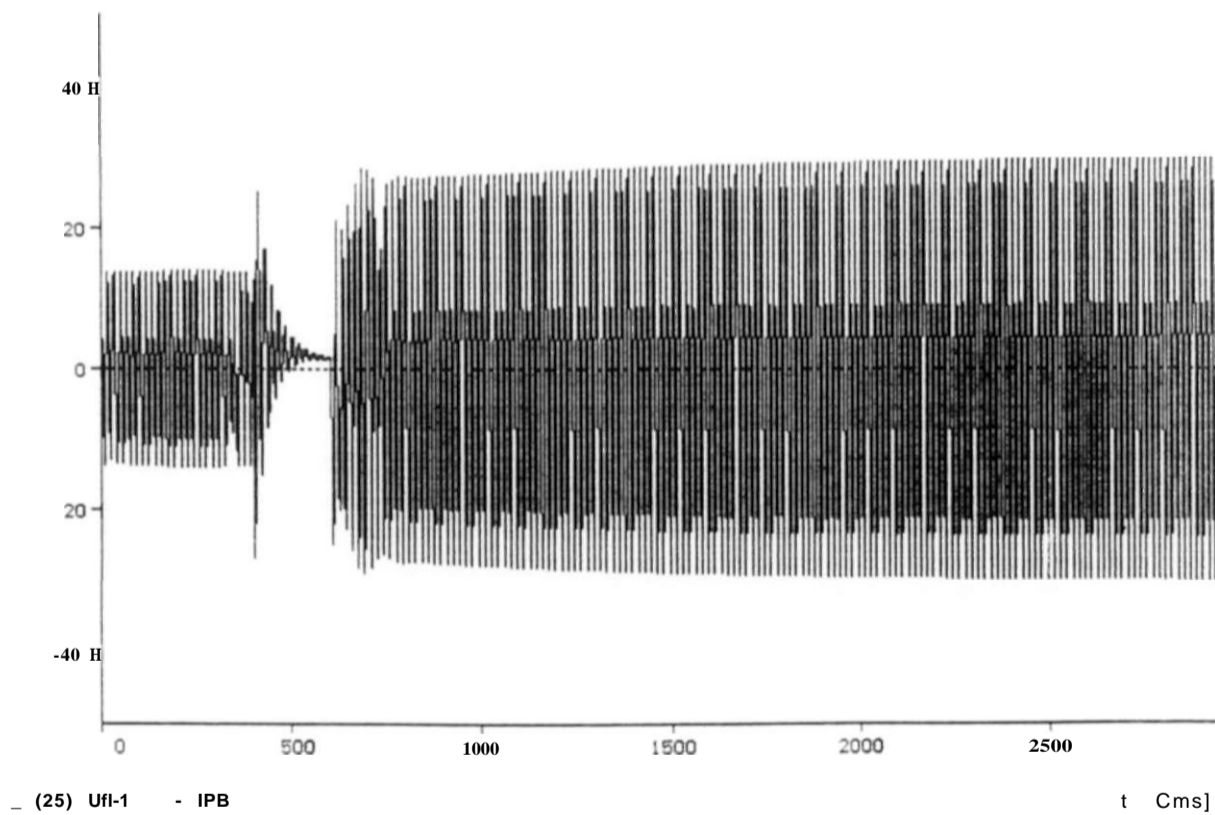
L [kA]

13-M>\*r-97 13.03.38



L [kA]

15-May-97 13.03.38

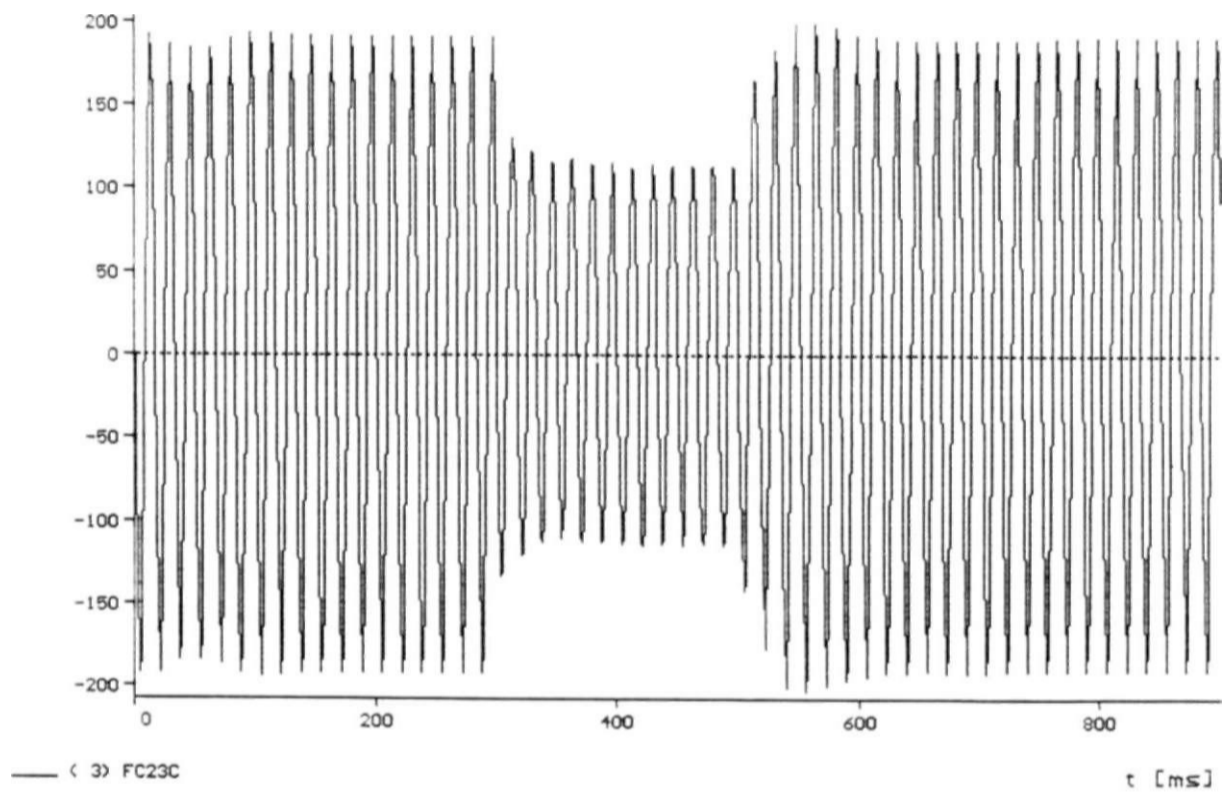


CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 50X CARGA FTZ MI  
FTMGMIPO.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUÇÃO FASE B

print date: 15. May 1997

v Ck Un

12-Ma\*j-97 11.43.20



— ( 3) FC23C

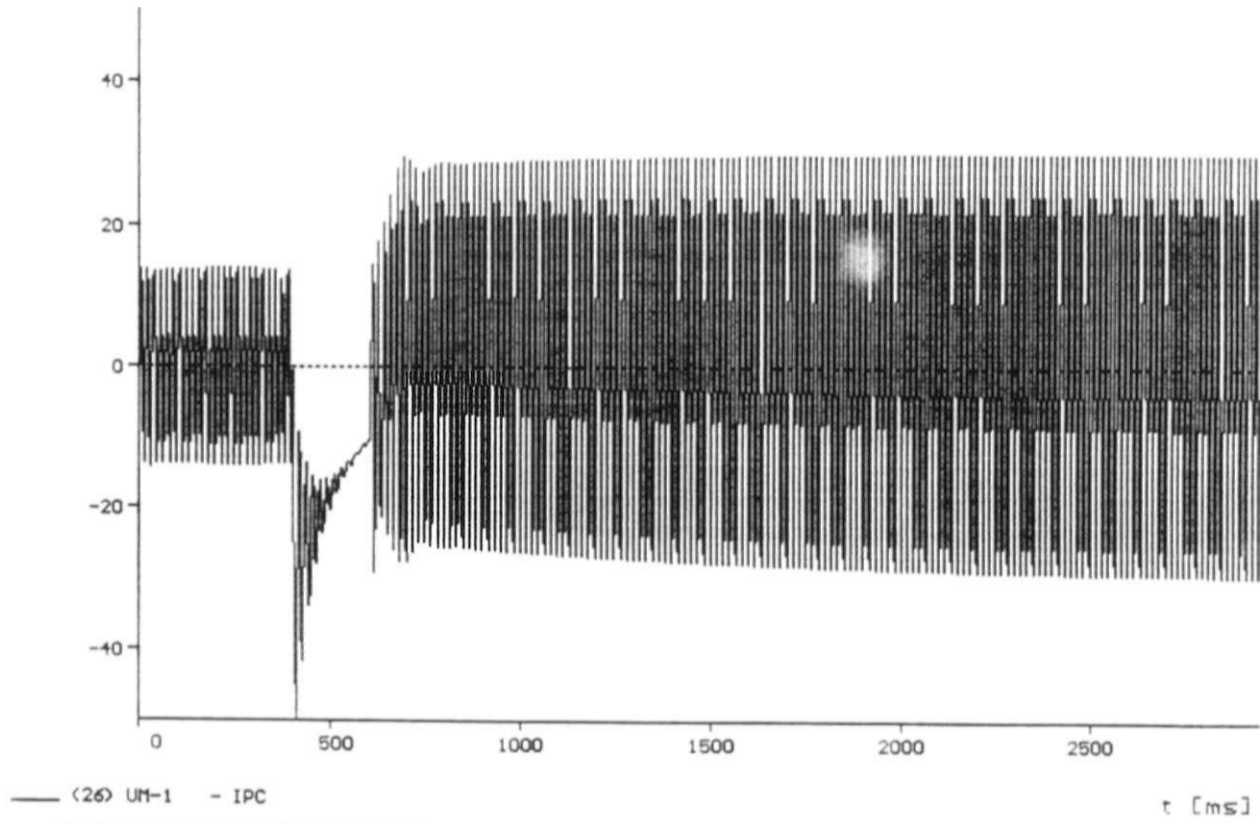
t [ms]

CC 2F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT COM USUB CE MLG  
CC22M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 30KV FASE-NEUTRO FORTALEZA FASE C

print date: 12. May 1997

L CkA]

15-MaM-97 13.03.38

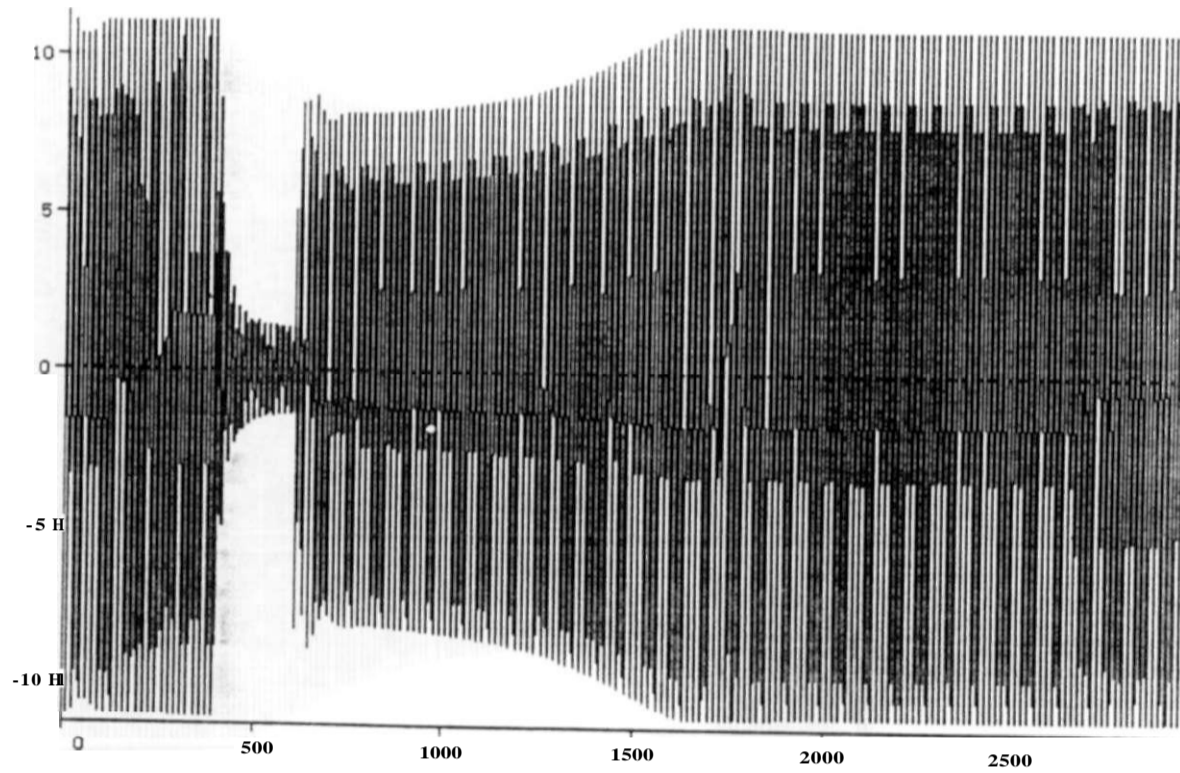


CC 3F-T LI BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LI 50% CARGA FTZ MI  
FTMHPD.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB FTZ SEM SAT. INDUT. MI  
CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 15. May 1997

v CkUJ

13-Ma«^97 12.43.37

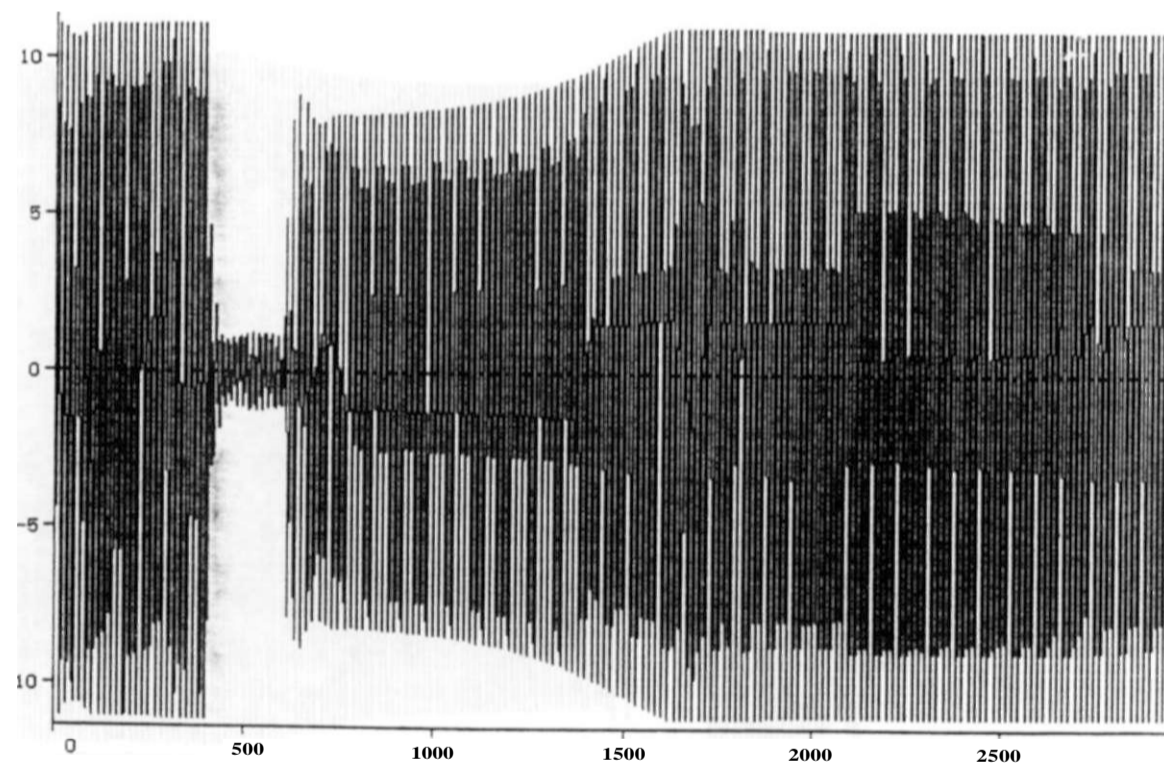


< 1) F13LA

t CmsJ

v CkUD

13-M»n-97 12.43.37



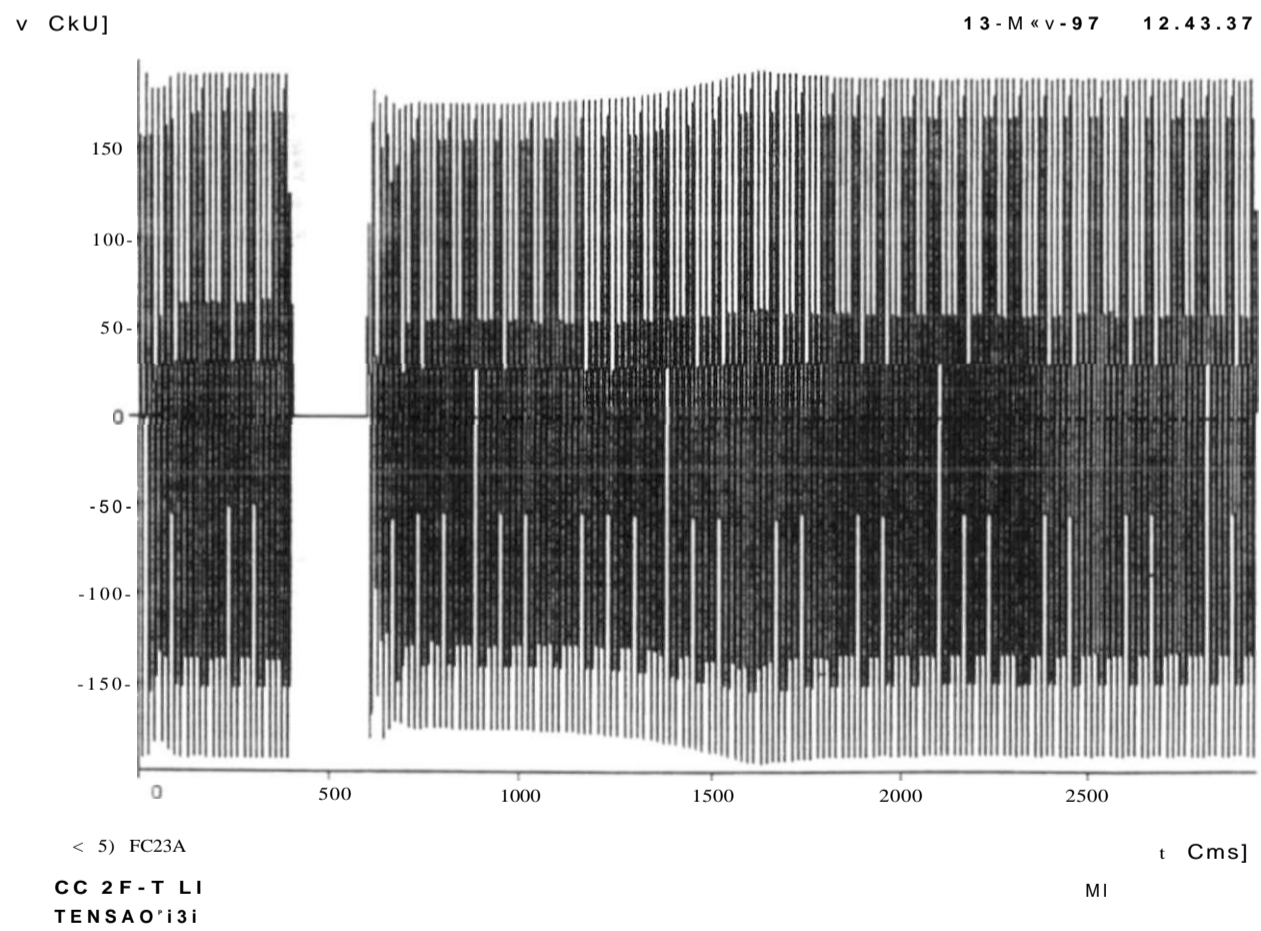
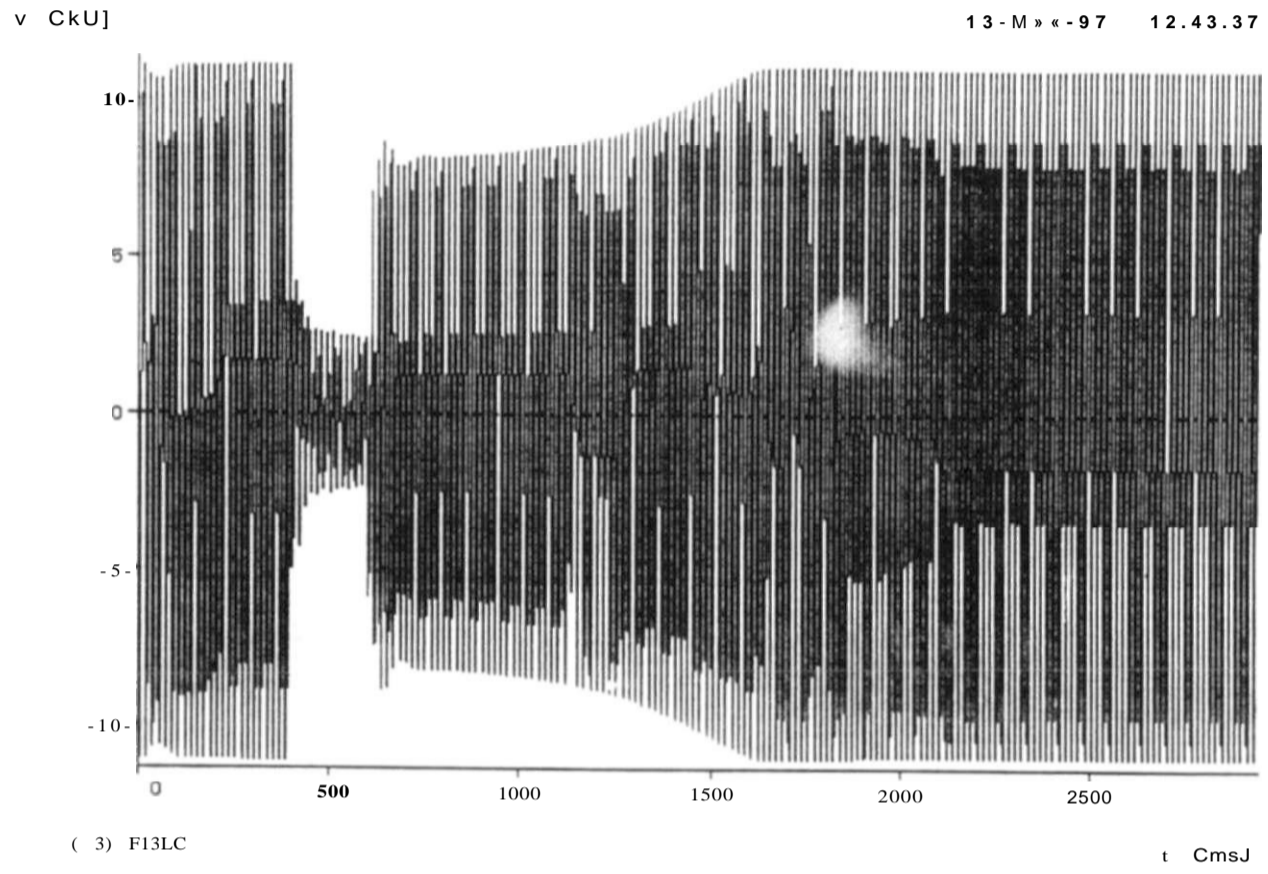
C 2) F13LB

t Cmsj]

CÇM^CTi^i^@''ABUIU-FORTALEZO 23OKU ELIM. ABERT. LT 33'/ PARfãA FT7 MI

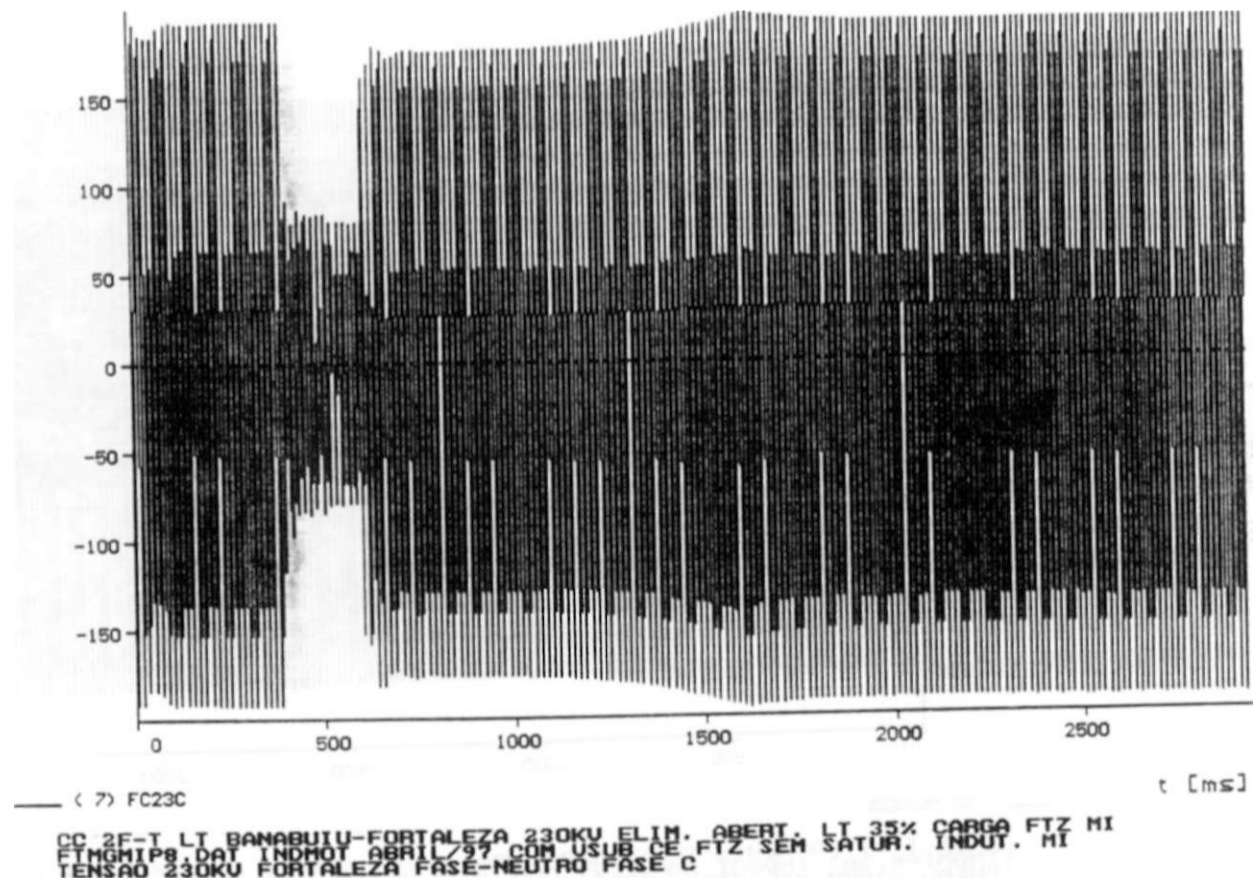
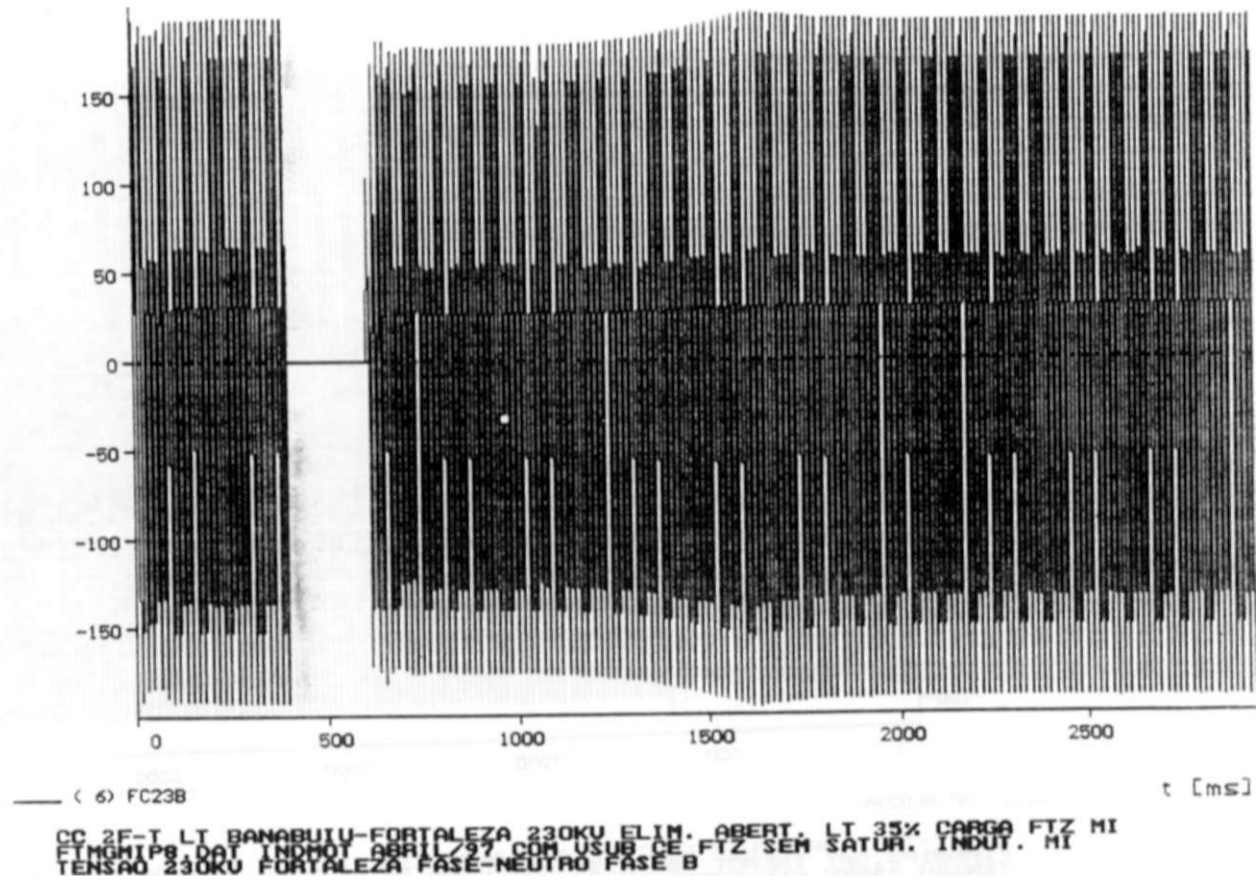
print date: 13. May 1997

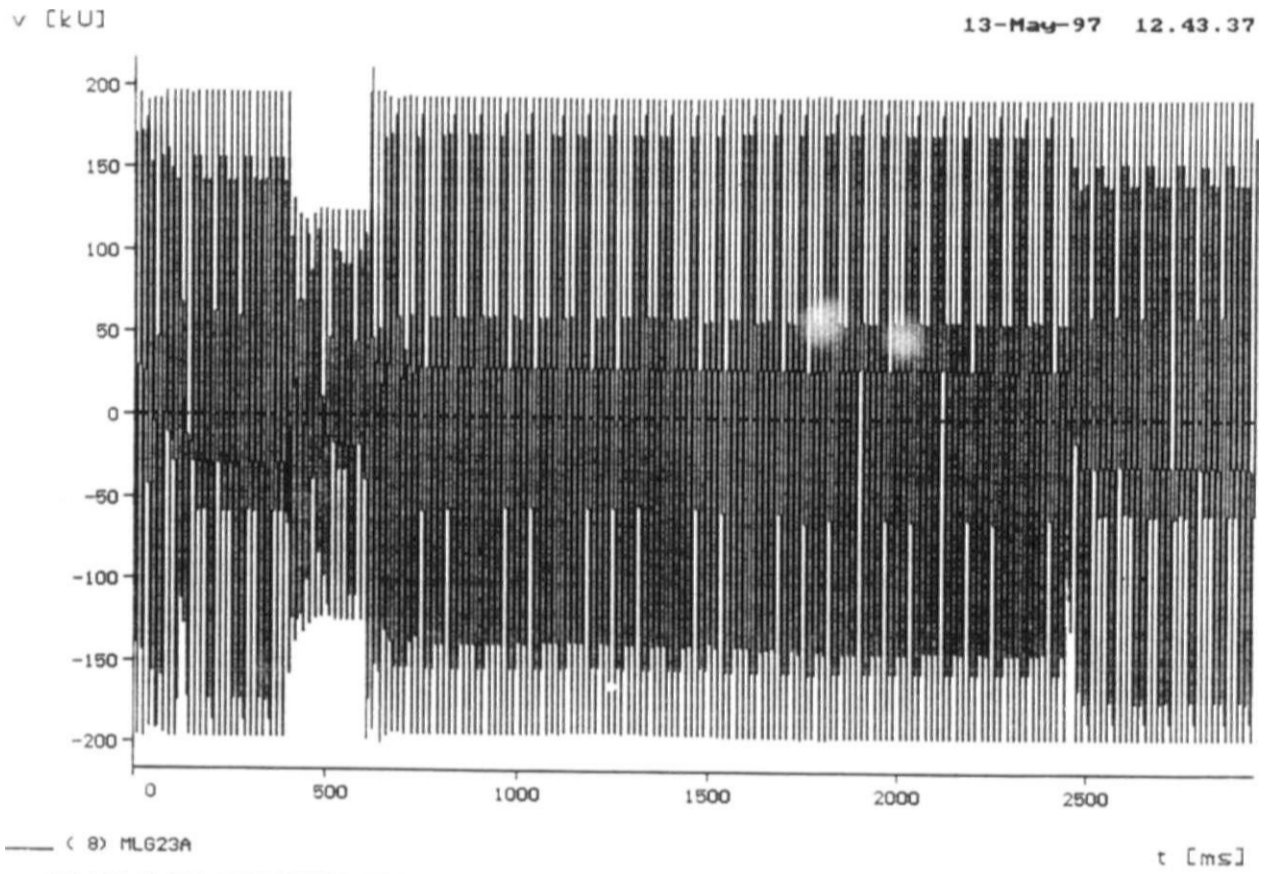




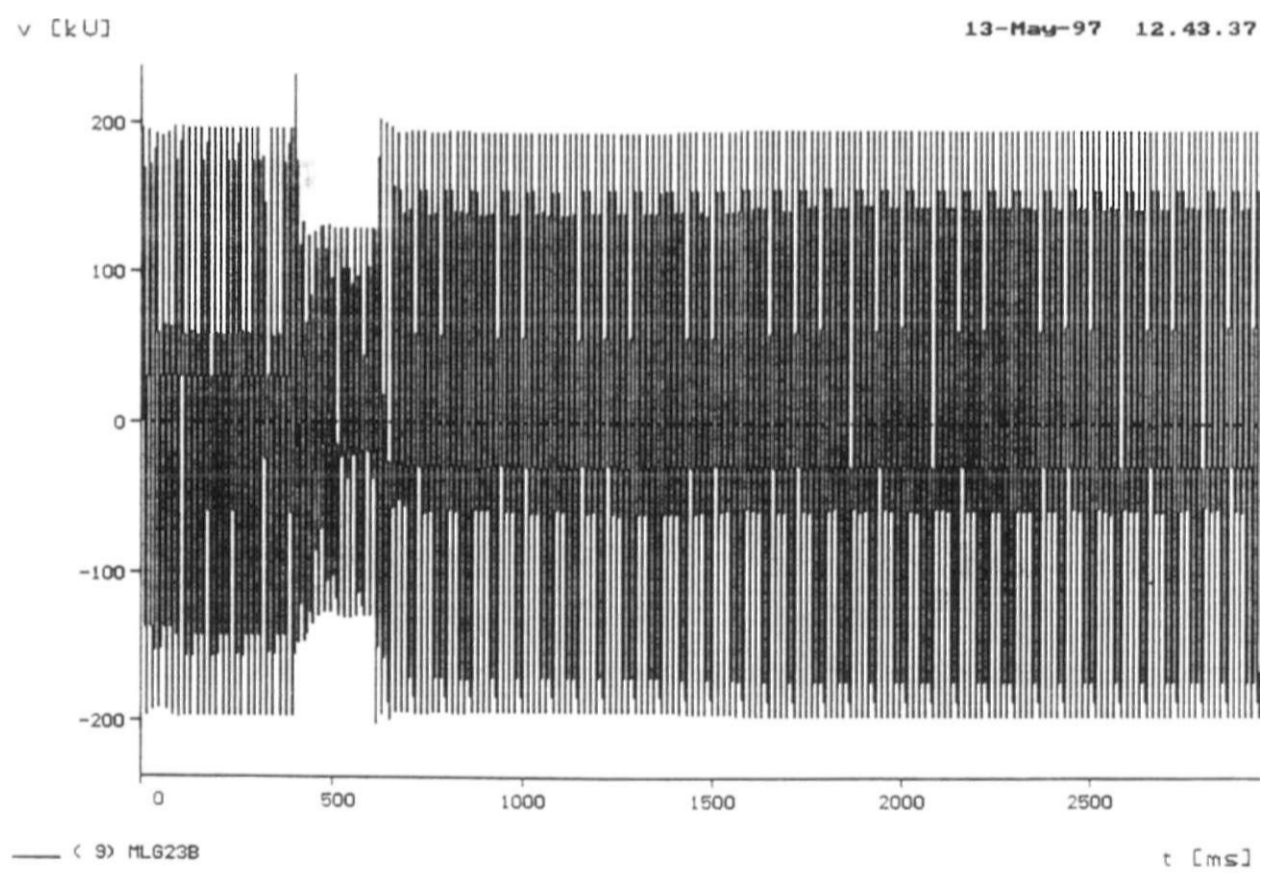
print date: 13. May 1997







CC 2F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
 FTGHIP8.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ SEM SATUR. INDUT. MI  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE A



CC 2F-T LT BANABUIU-FORTALEZA 230KV ELIM. ABERT. LT 35% CARGA FTZ MI  
 FTGHIP8.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ SEM SATUR. INDUT. MI  
 TENSÃO 230KV MILAGRES FASE-NEUTRO FASE B

print date: 13. May 1997

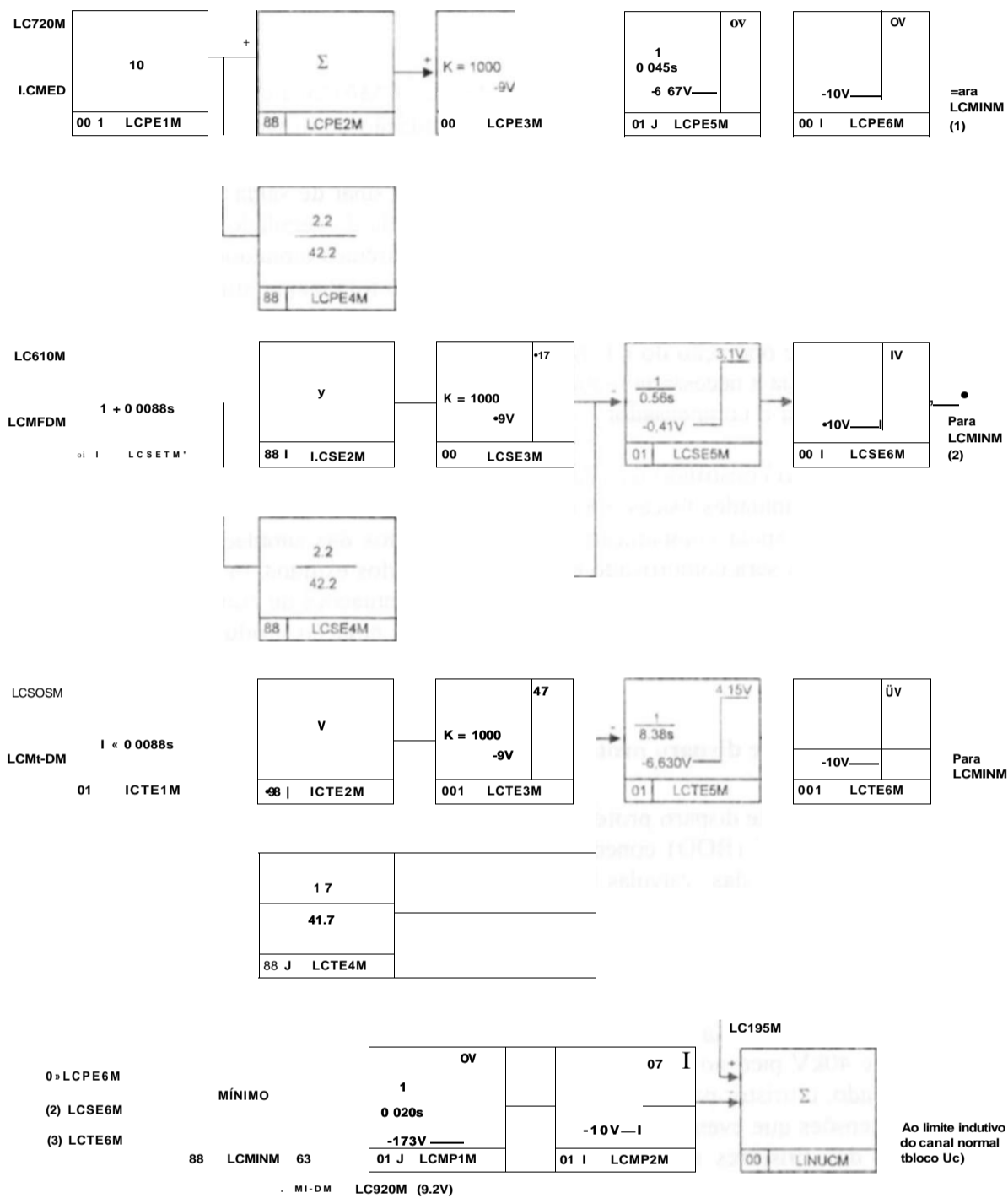
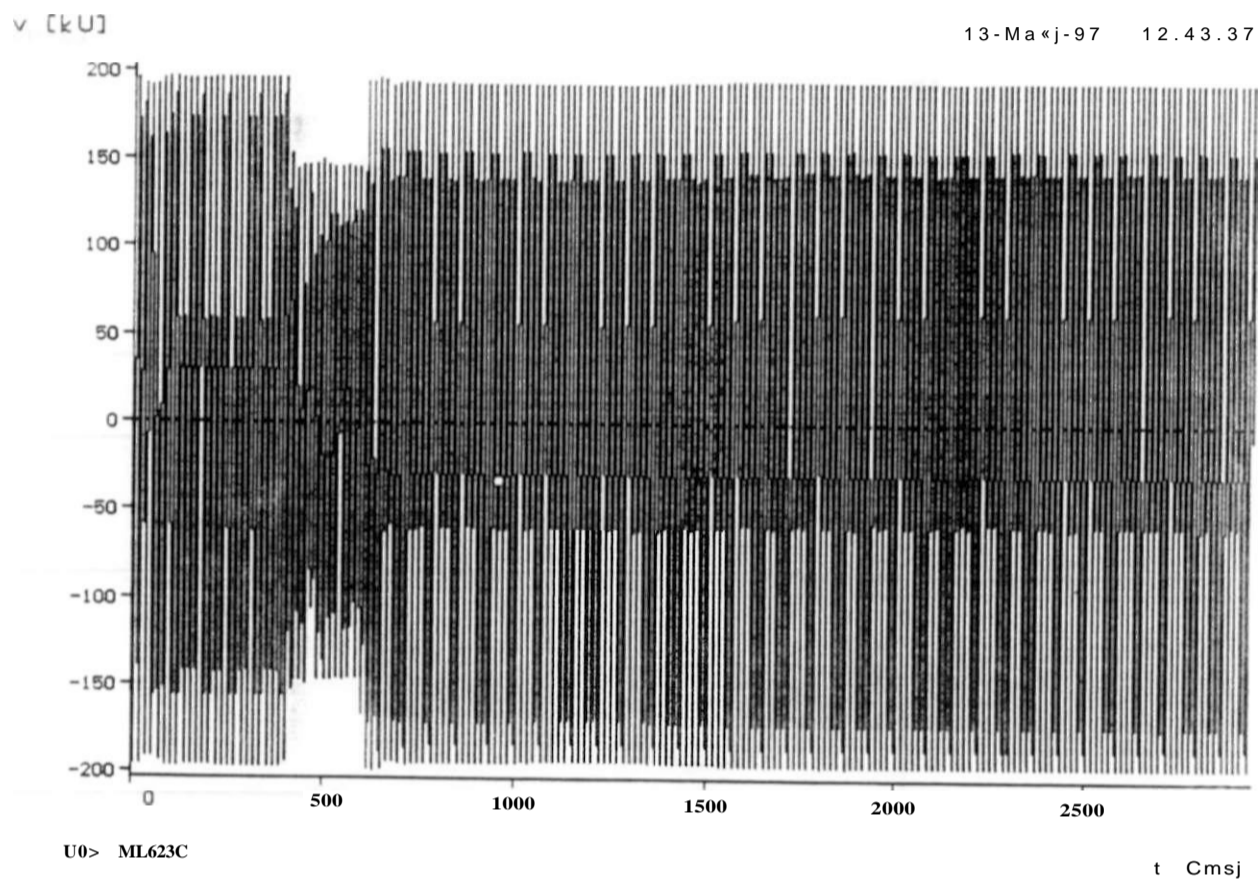
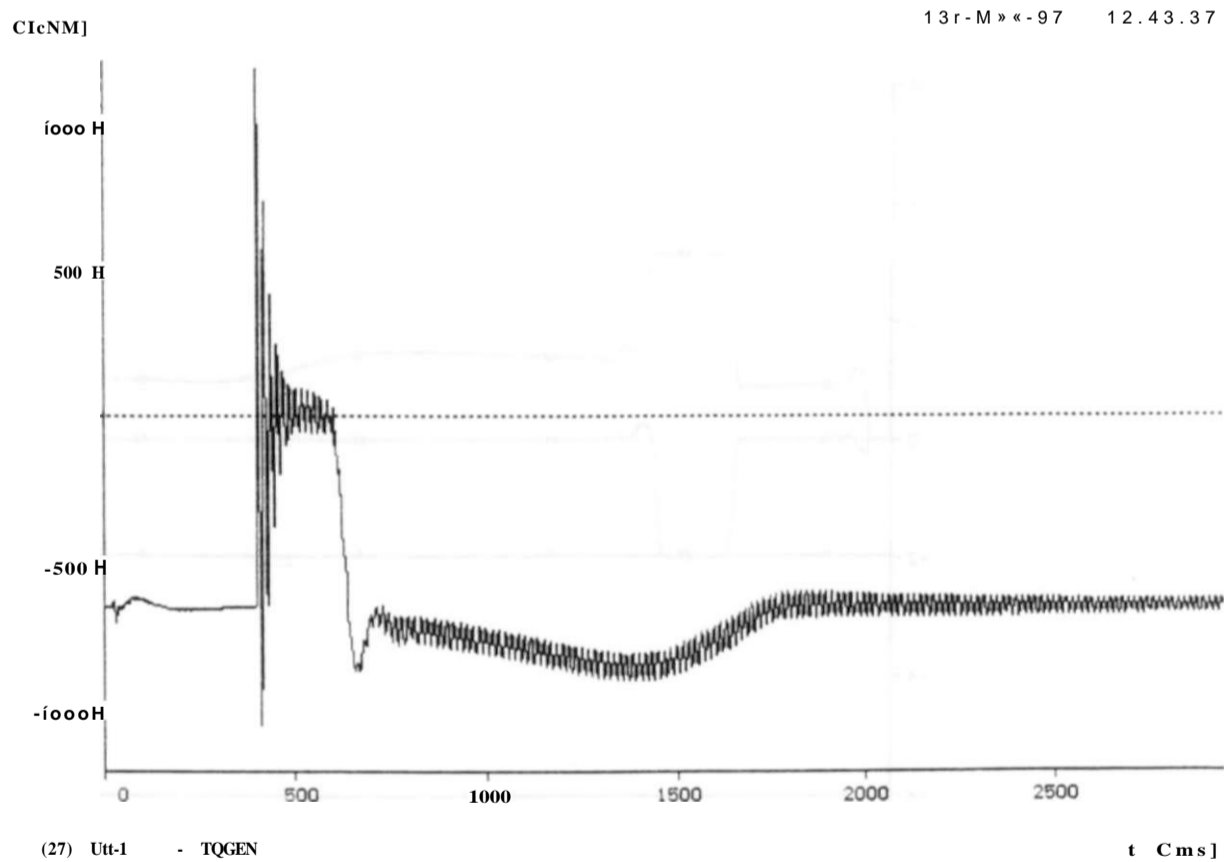


Fig.4.17 Circuito Limitador de Corrente do CE Milagres.

Para o CE Milagres, existem quatro estágios de limitação de corrente, denominados malha principal de controle (ajustada a um valor normalizado de 1,82), primeiro estágio de atuação (ajustado a um valor normalizado de 1,42), segundo estágio de atuação (ajustado a um valor normalizado de 1,2) e terceiro estágio de atuação (ajustado a um valor normalizado unitário). Através da Fig.4.17, pode-se verificar que é selecionado o menor dos sinais relativos ao primeiro, segundo e terceiro estágios do limitador de corrente e este sinal serve de entrada à malha principal, atuando no sentido de reduzir seu nível de atuação e



ABERT. LT 33X CARGA FTZ MI  
 FTZ SEM SATUR. TMOU. MT

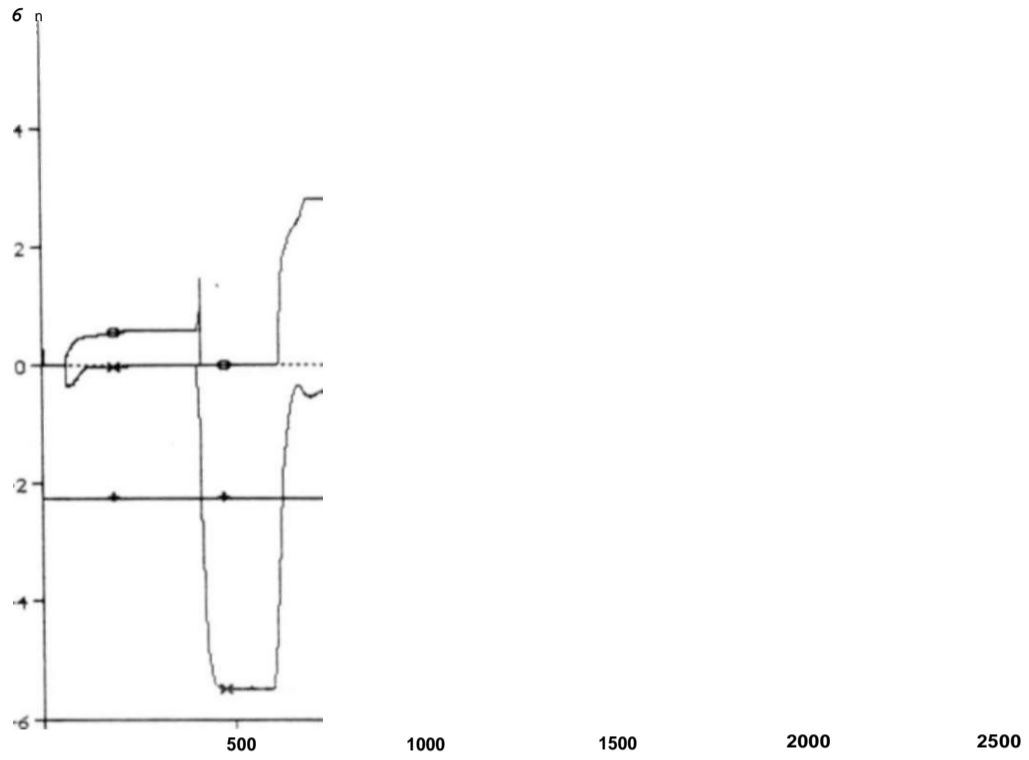


CC 2F-T LT BANABUIY-FORTALEZA 230KU ELIM. ABERT. LT 33X CARGA FTZ MI  
 FTMGMIP8.DAT INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ SEM SATUR. INDUT. MT  
 TORQUE ELETROMAGNETICO NO MOTOR DE INDUÇAO

print date: 13. May 1997

v CUJ

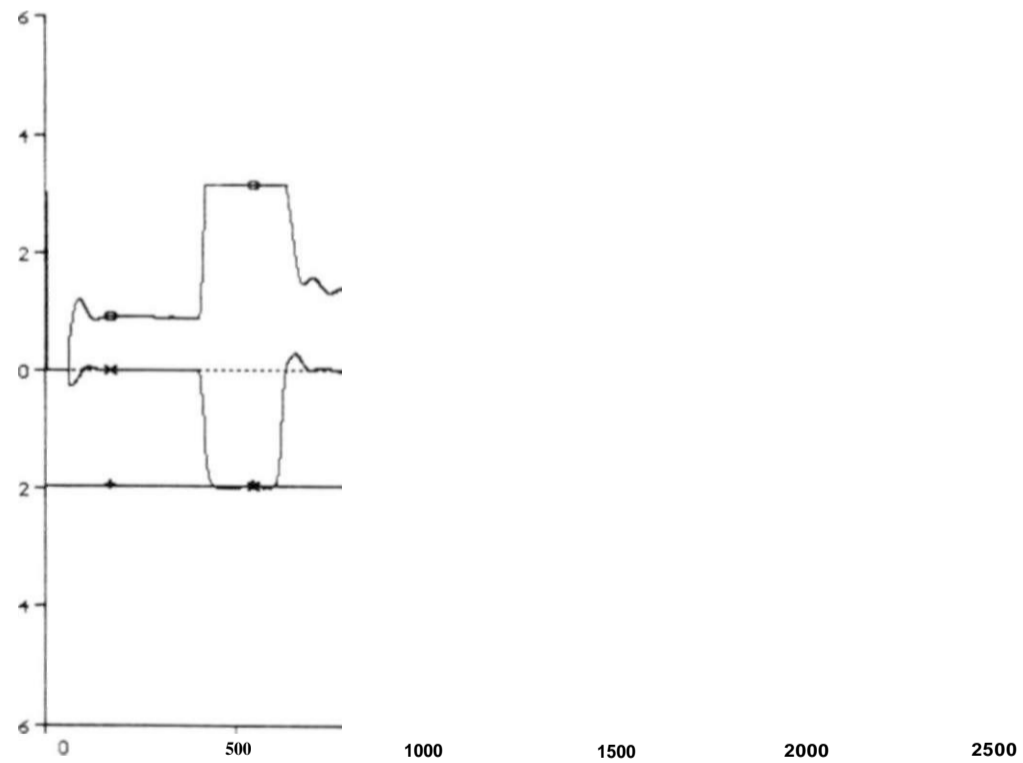
13-Ma%#-97 12.43.37



JK\_ <18) TACS - ENTPI    n <19) TACS - SAIPi    • <20) TACS - LINUC    t CmsJ  
 CÇ 2F-T LT BANABUIU-FORTOLEZft 230KU ELIM. ABERT. LT 3SX ÇRRGA FTZ MI  
**fifgBK<sup>s</sup>ör<sup>h</sup>İHiB888<sup>E</sup>n!Sibi'2o<sup>c</sup>CEii8£æoS<sup>E</sup>pr5o<sup>s</sup>ffi ^SVSL<sub>E</sub>iS<sup>DUT</sup> • <sup>m</sup>**

v CUD

13-Ma«j-97 12.43.37

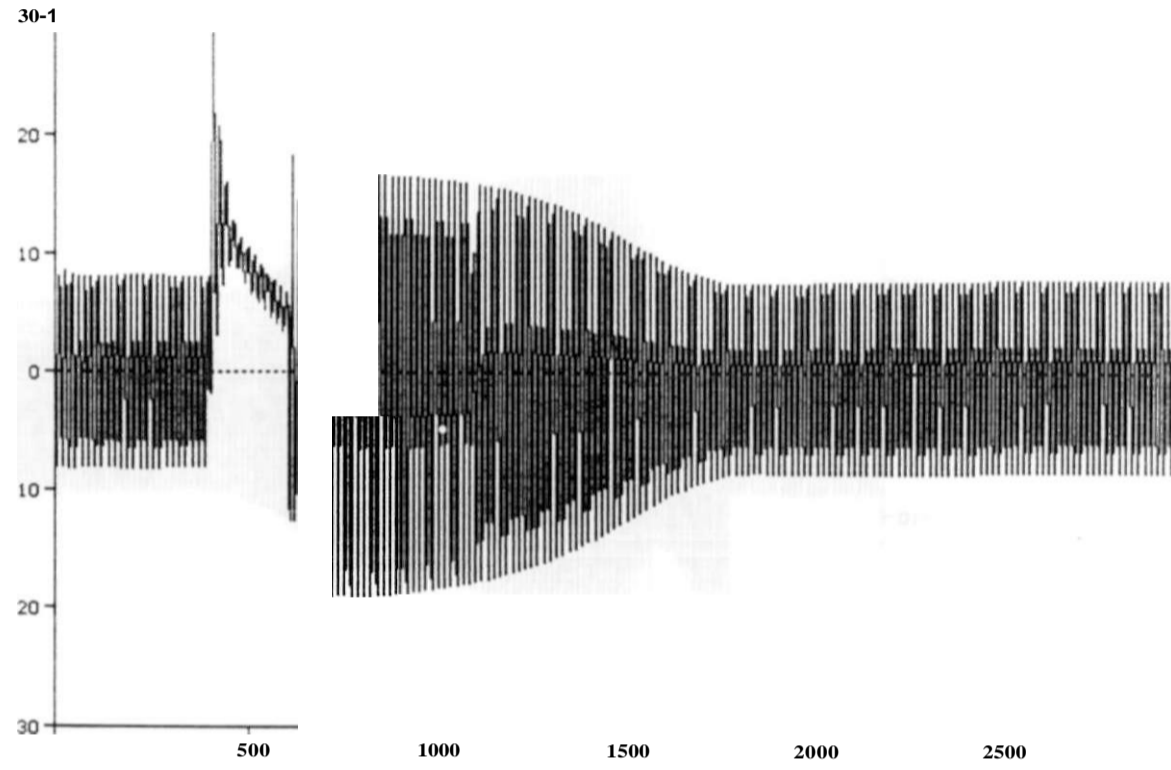


(24) TACS - ENTPIM    (25) TACS - SAIPin    . <26) TACS - LINUCfi    t CmsJ

print date: 13. May 1997

i [kA]

13-Ma\*\*97 12.43.37



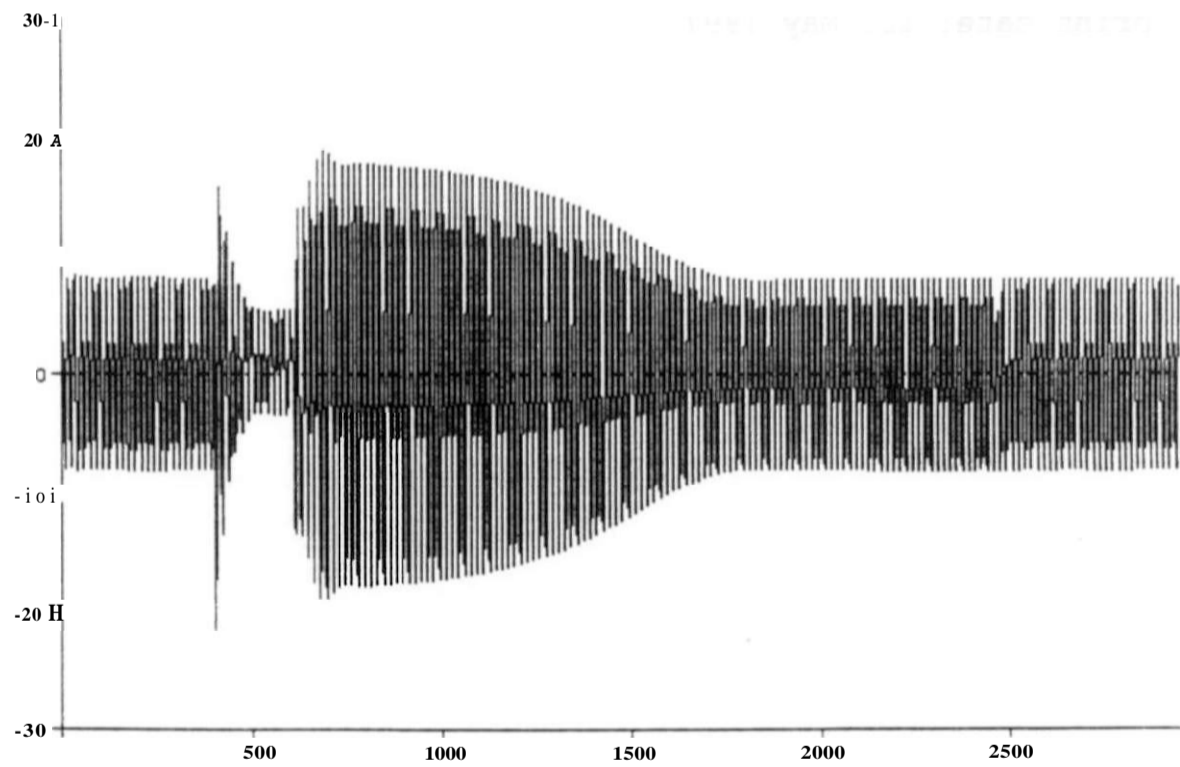
<30) Utl-1 - IPA

t [ms]

CC 2F.T.LT.BANABUIUF 230KV ELIN. ABERT. LT 335\* CARGA FTZ MI  
 FPMGMP8.DAT JABNOT A0 102 SE^NS^ASSÍ A EM SATUR. INOUT MI  
 CORRENTE DE ESTATOR DO

L [kA]

13-Ma\*\*97 12.43.37



(3D uri-i - IPB

t [ms]

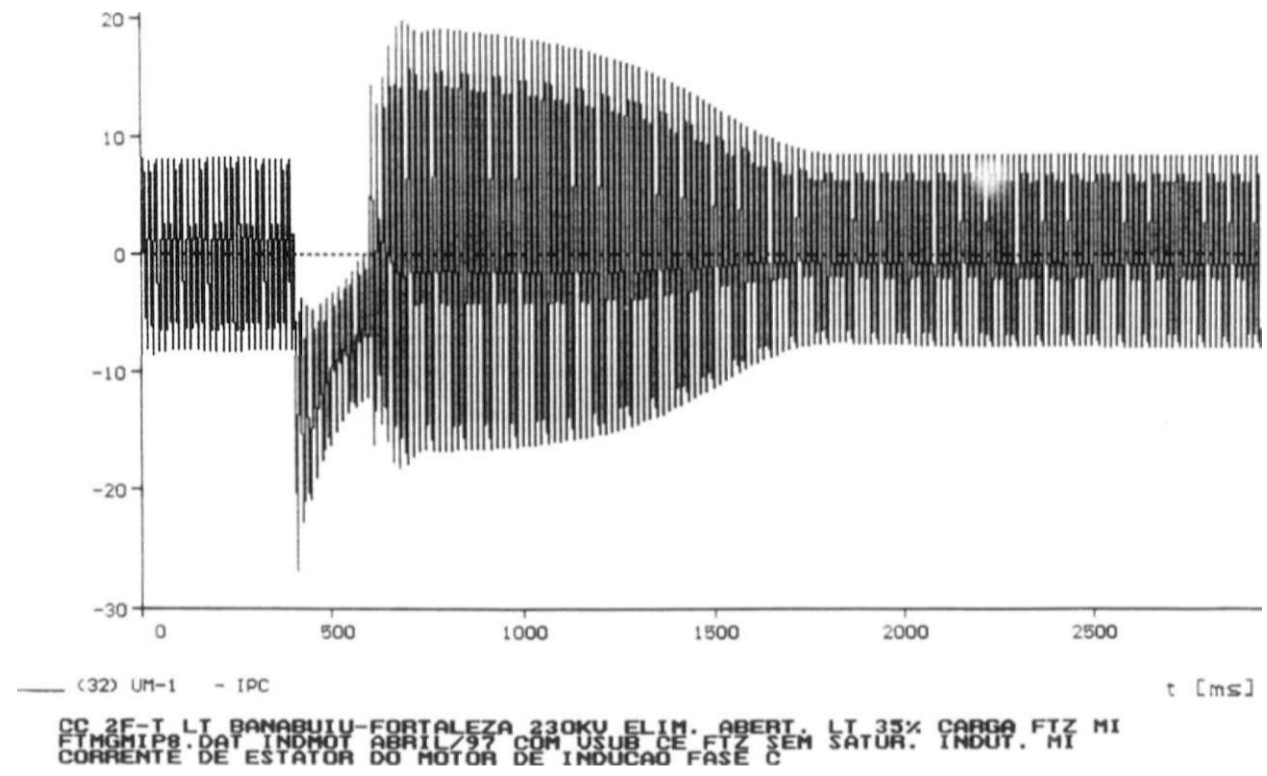
CC 2F.T.LT.BANABUIUFORTALEZA 230KV ELIN. ABERT. LT 35X CARGA FTZ MI  
 FPMGMP8.DAT INDNOT ABR11/97 COM USUE CE FTZ SEM SATUR. INDUT. MT  
 CORRENTE DE ESTATOR DO MOTOR DE INDUCRO FASE B

print date: 13. May 1997

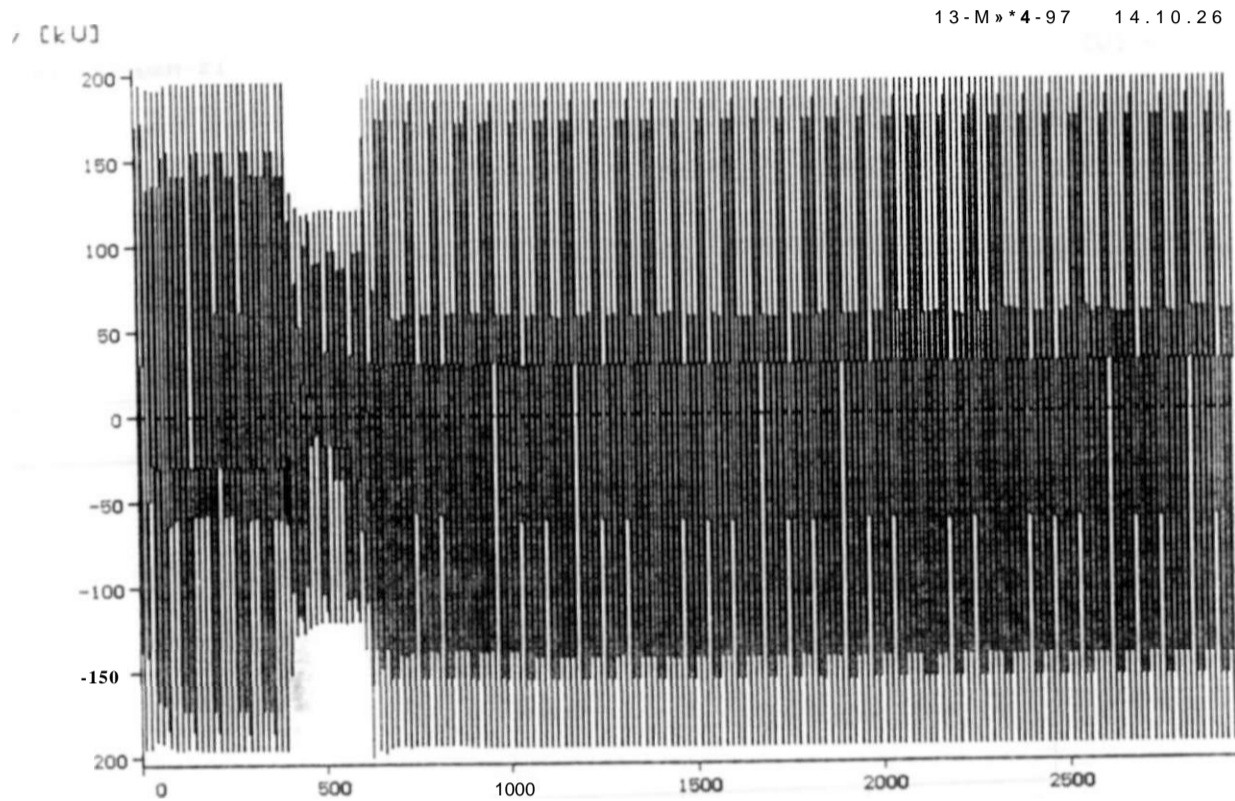
i CKA]

13-Mau-97 12.43.37

30-1



print date: 13. May 1997

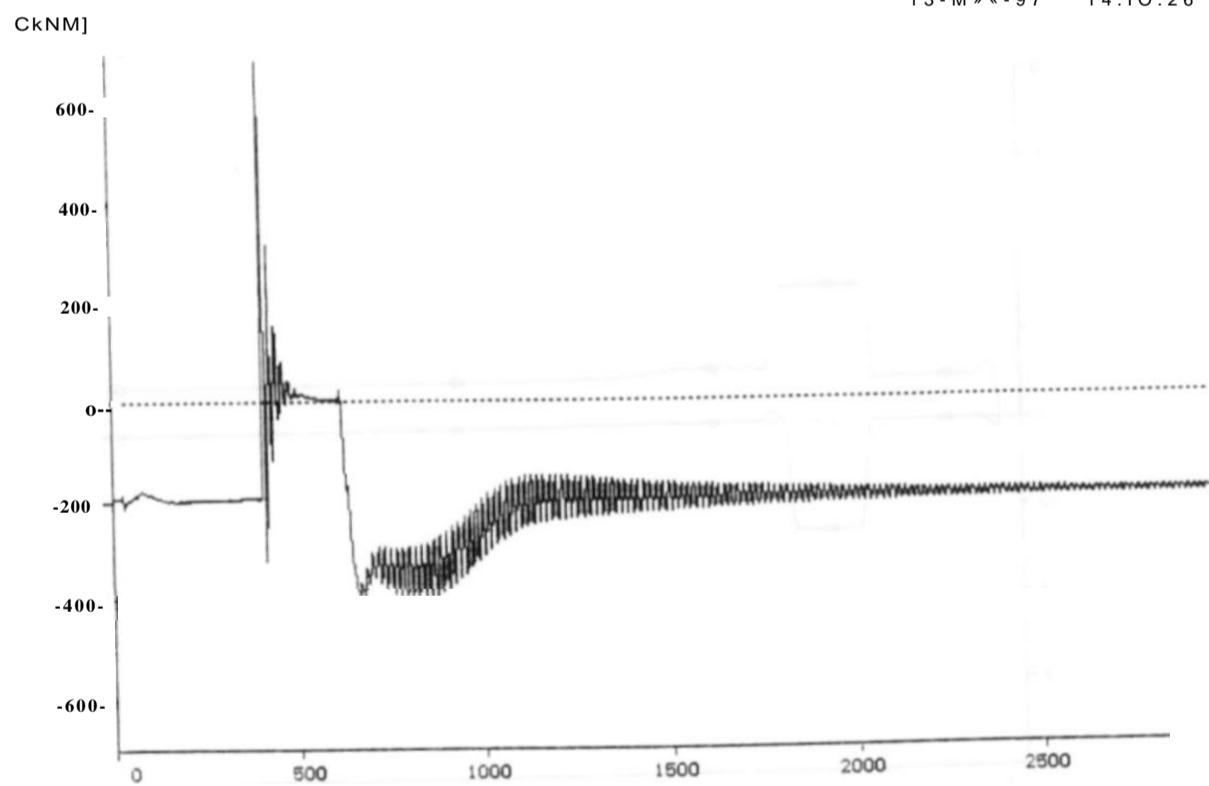


13-M»\*4-97 14.10.26

< 8) MLG23A

t [ms]

CC 3F-T LT BANABUIU-FORTALEZA ELIM. ABERT. LT OSC. C\*^\*^\* " I,  
 FTMGMI PA.DAT INOMOT ABRIL/97 COM USU8 CE FTZ SEM SRT. INOUT. MI  
 TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A



13-M»«-97 14.10.26

(21) UH-1 - TOGEN

t [ms]

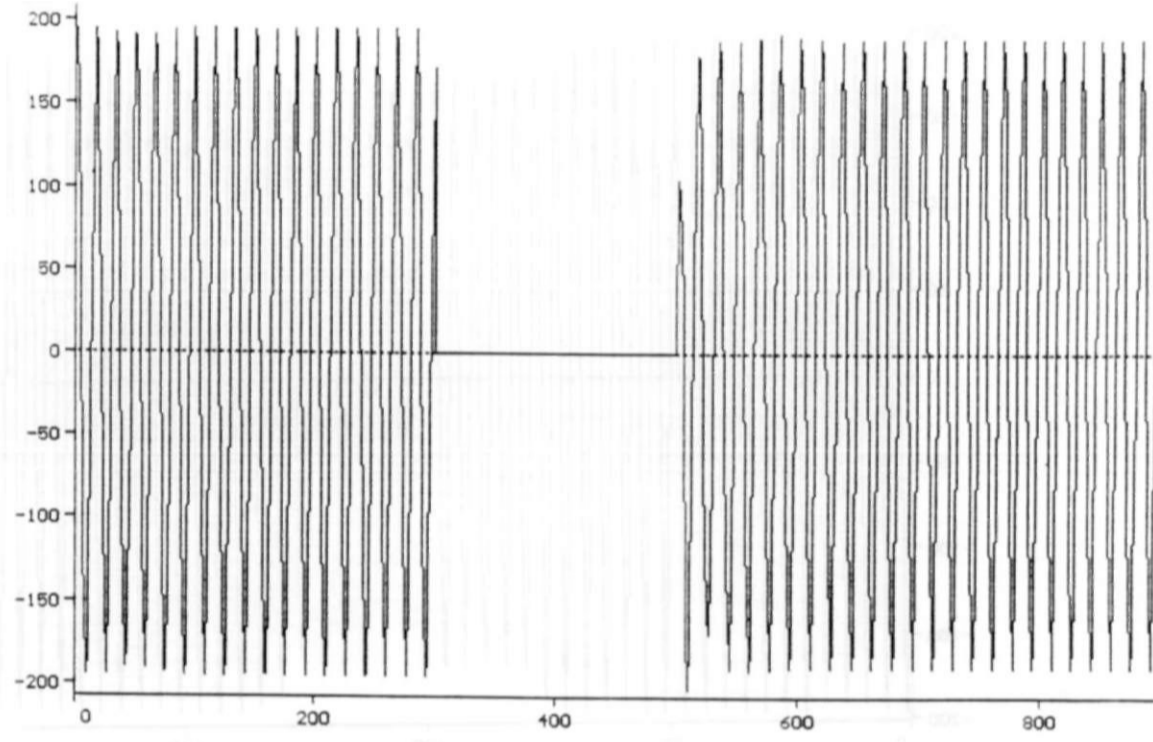
.Q 3P-T i\_T BANABUIy-FORTALEZA ELIH.. «BERT. \_UT.«pc.çBBoç„Bif." „

;int date: 13. May 1997



v [kV]

12-May-97 11.43.20



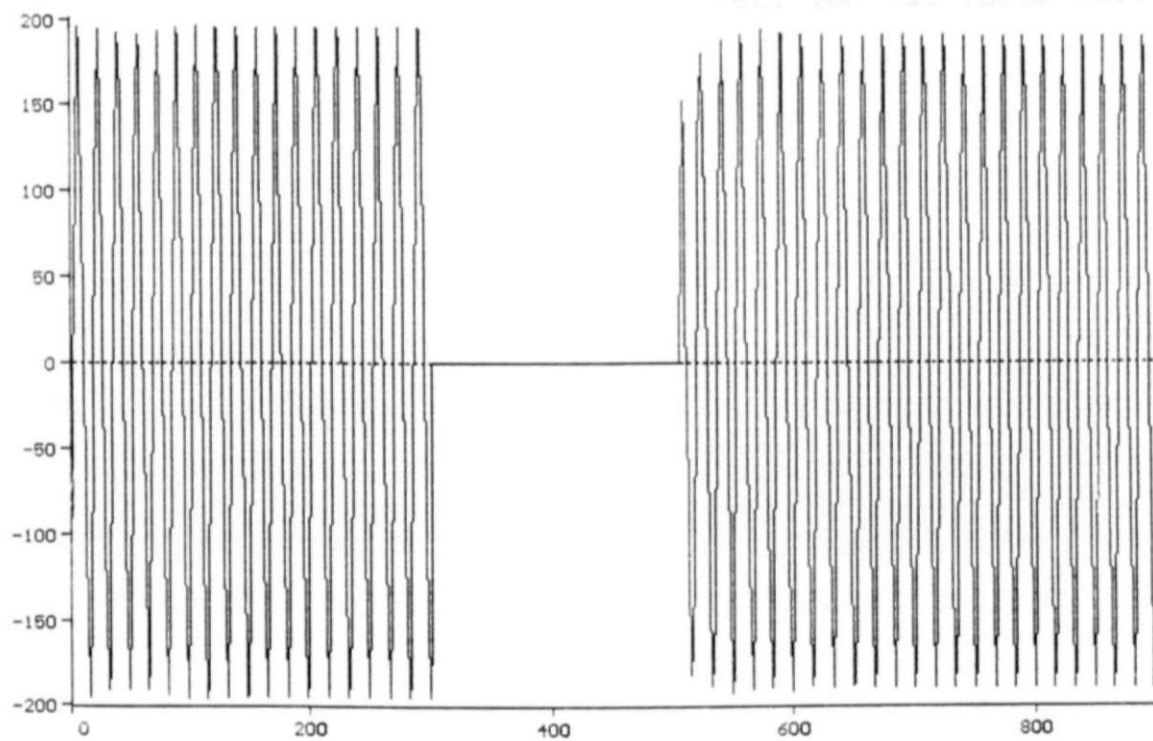
— ( 4 ) MLG23A

t [ms]

CC 2F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT COM USUB CE MLG  
CC22M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE A

v [kV]

12-May-97 11.43.20



— ( 5 ) MLG23B

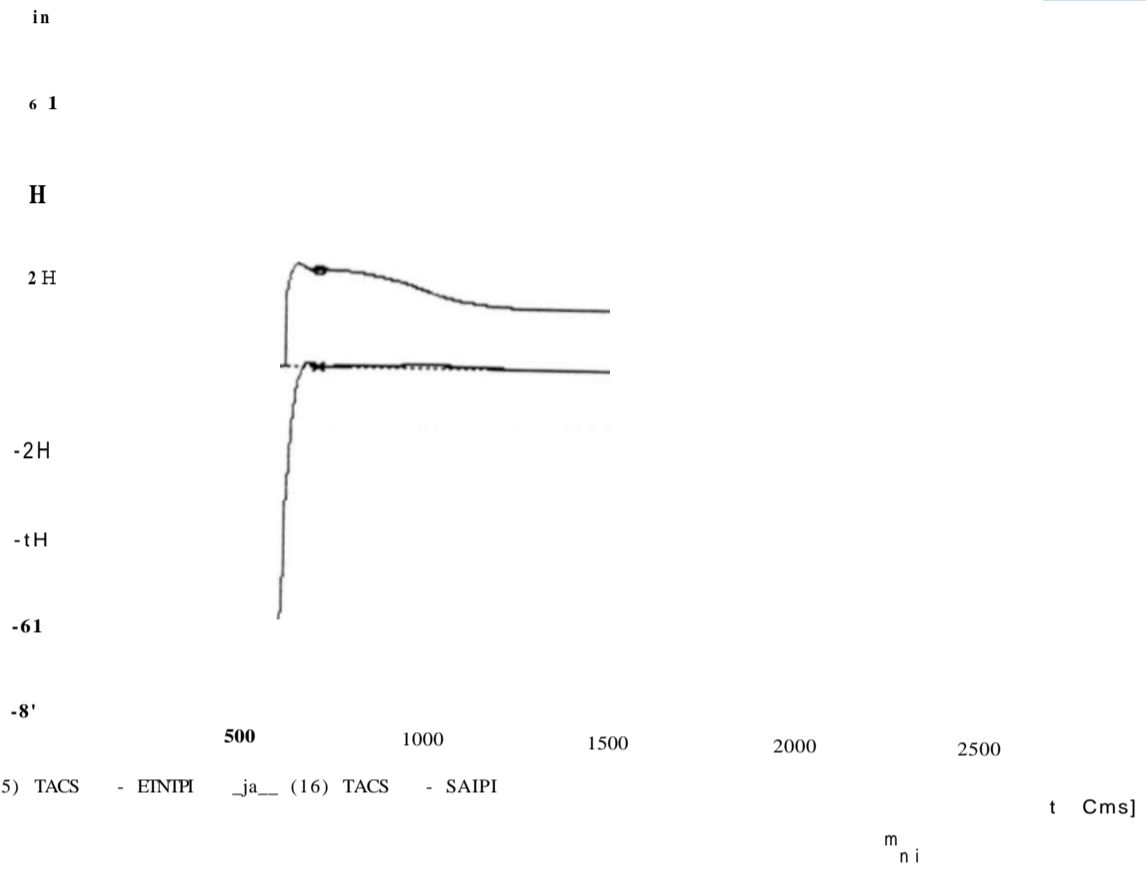
t [ms]

CC 2F-T LT PAULO AFONSO-MILAGRES BP2 ELIM. ABERT. LT COM USUB CE MLG  
CC22M96P.DAT, CARGA MAXIMA, DEZEMBRO/96  
TENSÃO 230KV FASE-NEUTRO MILAGRES FASE B

print date: 12. May 1997

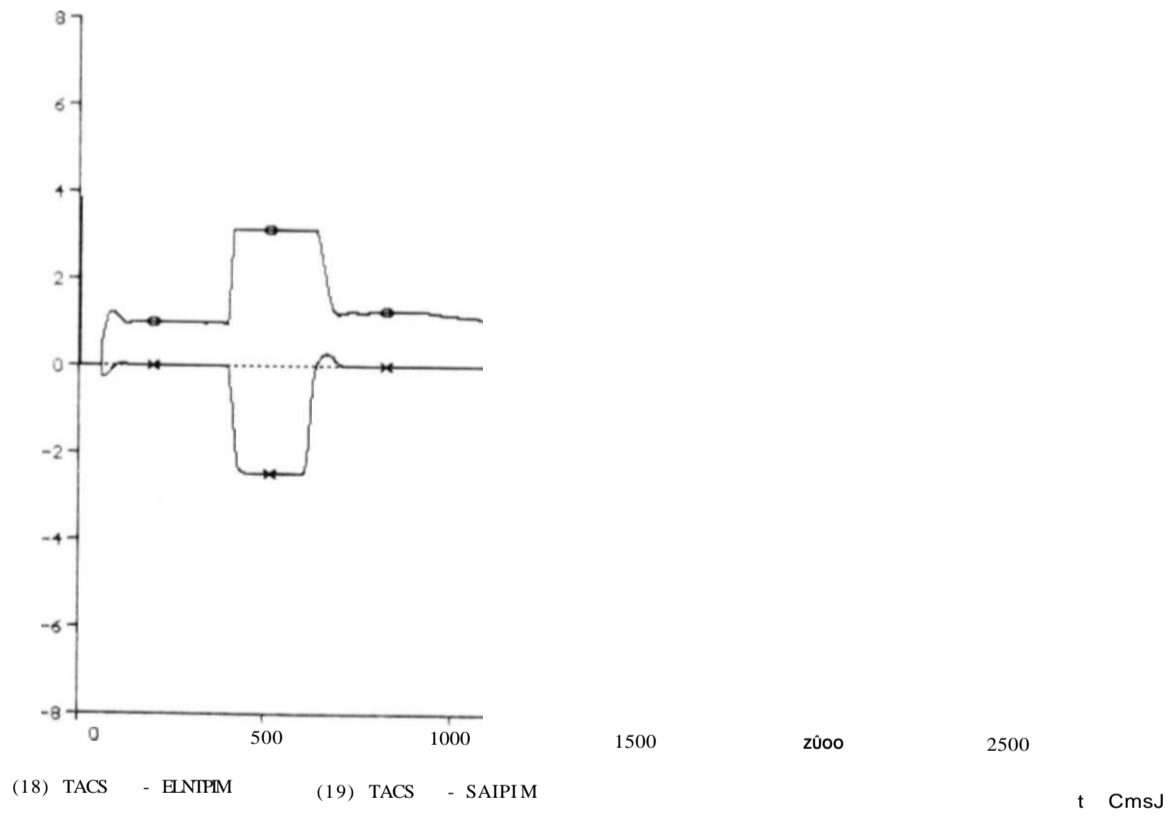
v eu:

13-May-97 14.10.26



v EU]

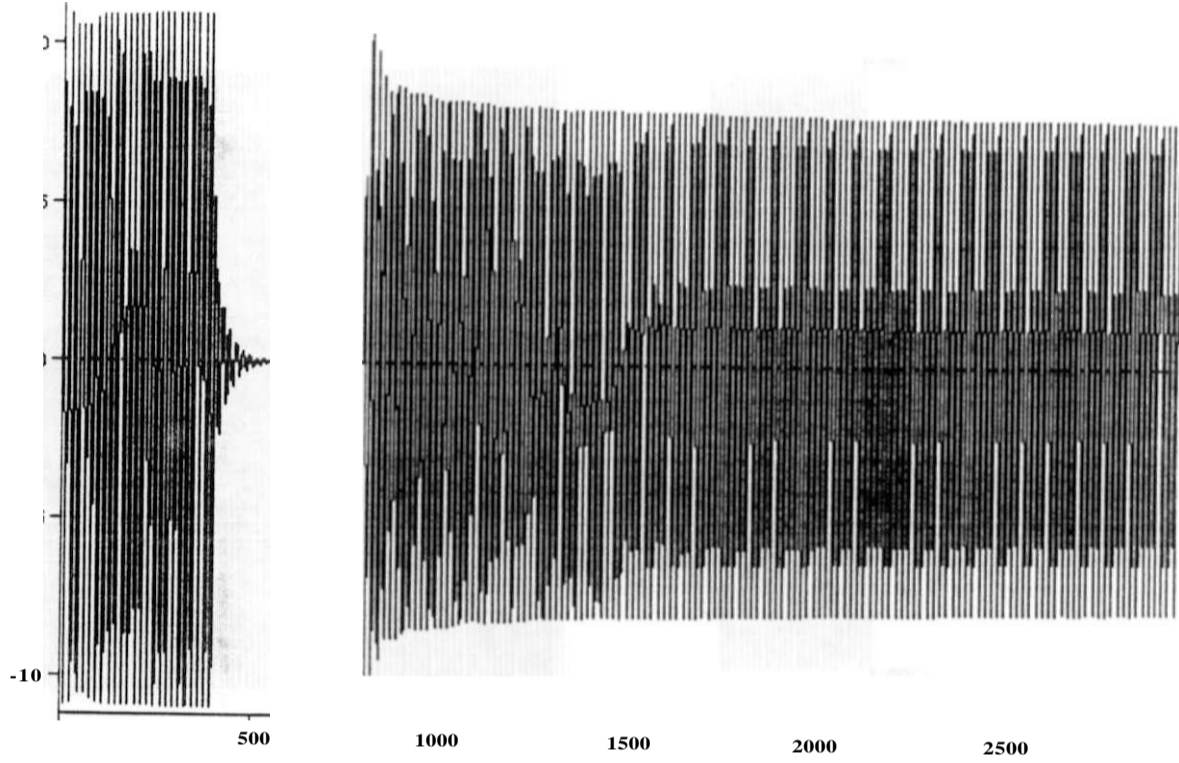
13-May-97 14.10.26



int date: 13. May 1997

v CkU]

16-M»%\*-97 08.49.35

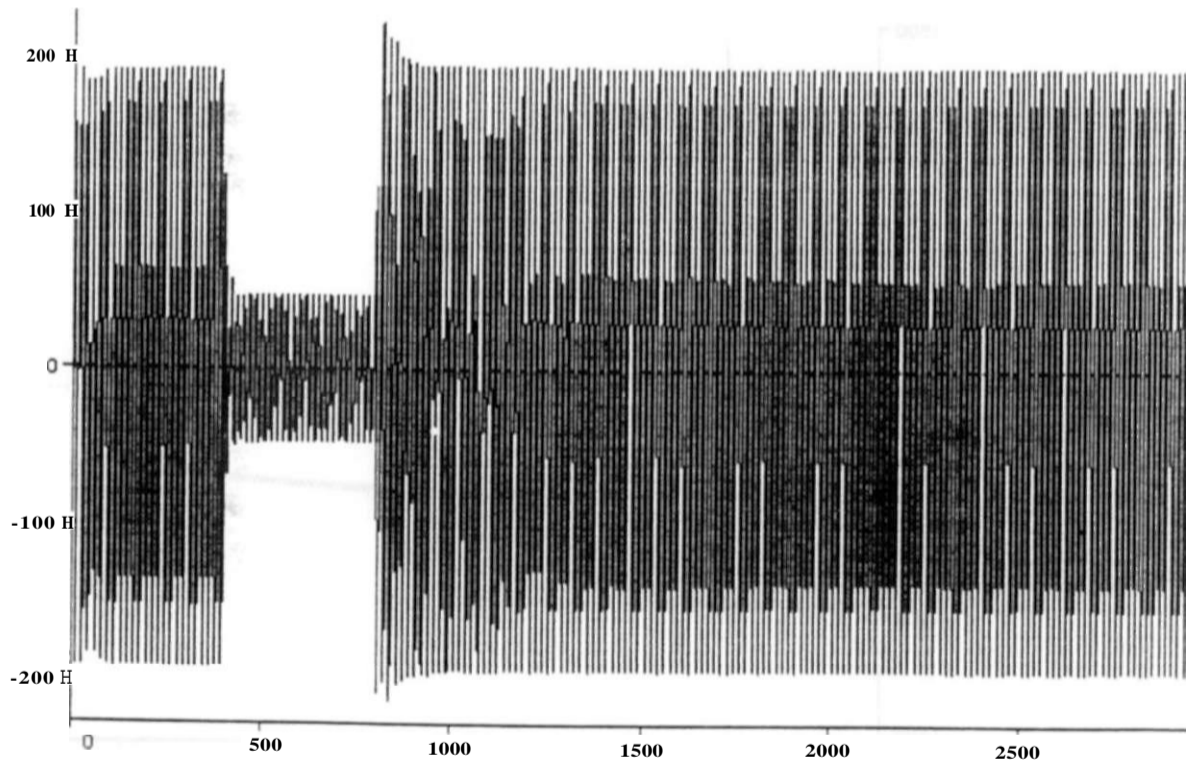


< 1) F13LA

t Cms]

v CkU]

16-M»\*\*-97 08.49.35



< 5) FC23A

t Cms]

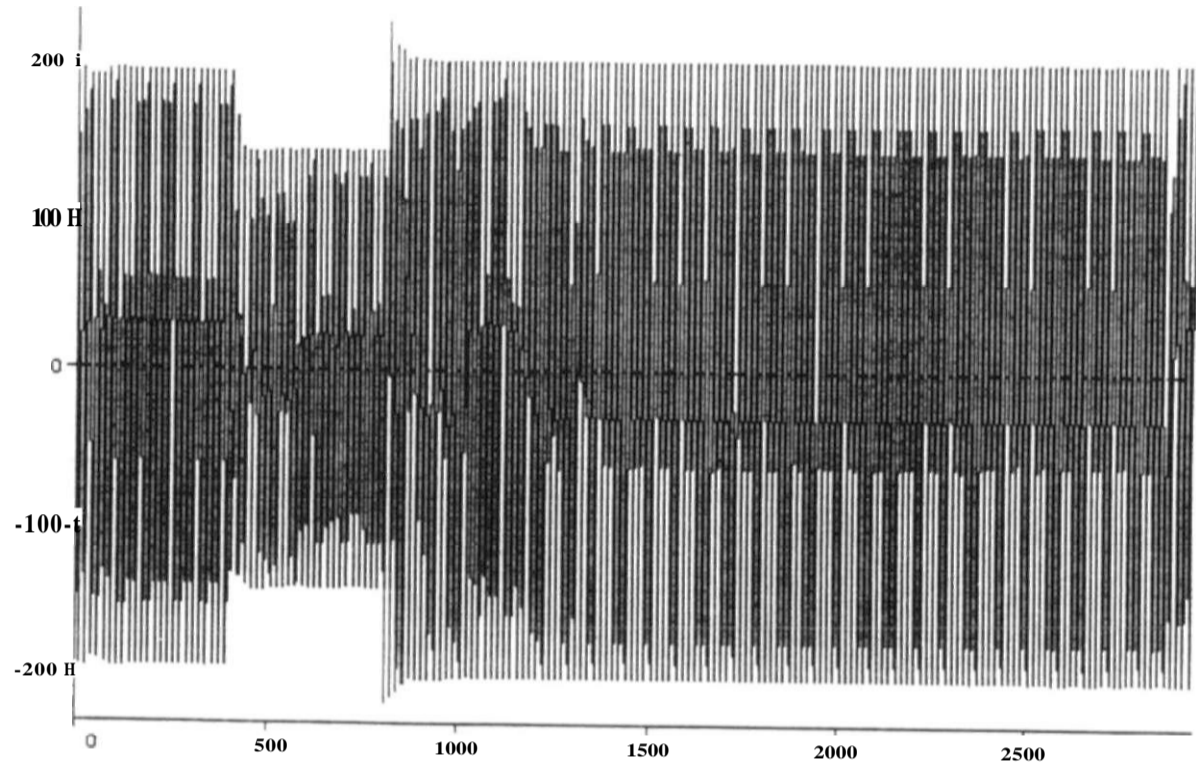
F?MGHIPn^nSV P,3Sfe18 BW'^TOX CARGA SEM FONTES CORP..  
rIHSSo^oeSu ?WTSL@8 FRSE-NEUTR^FRSE^R L/197 COH USUB

RN. MI

print date: 16. May 1997

v CkU]

16-M>\*Í-97 08.49.33



( 8) MLG23A

t CmsJ

CkNM]

16-N « w \* -97 08.49.35

1500-1

1000H

500 H

0i

-500 H

-1000H

-1500

500

1000

1500

2000

2500

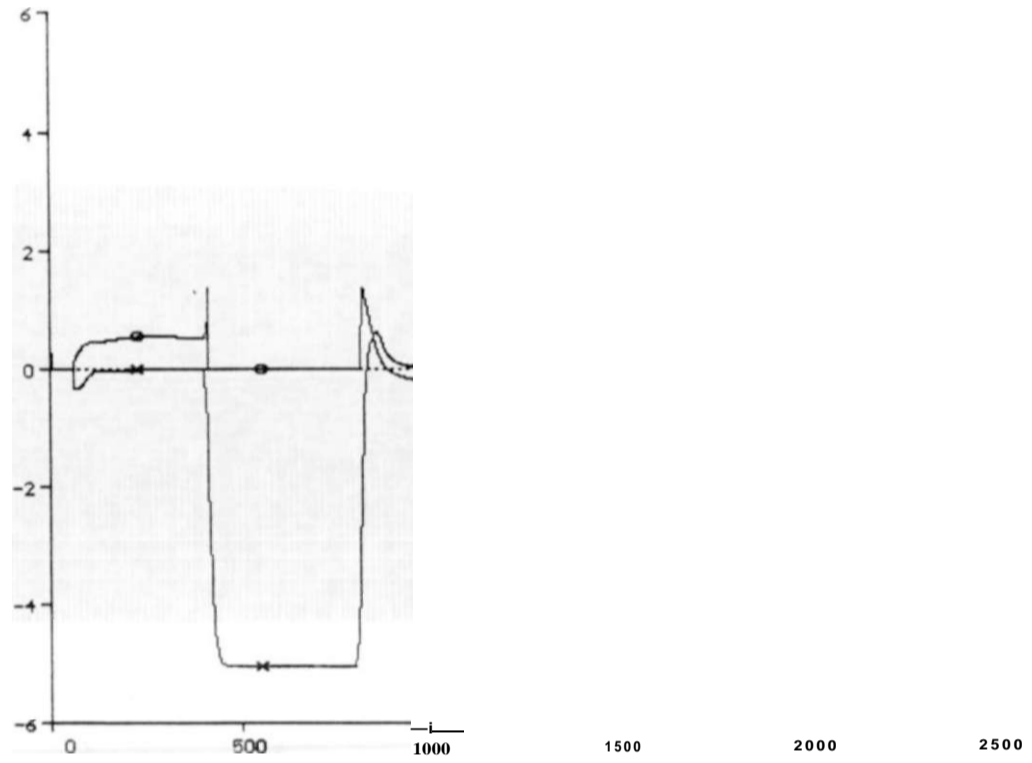
(2i> un-i - TQGEN

t [ms]

85 3471 49 10 18  
 08.49.33 VISY FORTALEZA R.E.J. 70V. CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
 CHS/P. P91 22i 199 2 INOMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ  
 PORQUE ELETROMAGNETICO NO MOTOR DE INDUÇAO

print date: 16. May 1997

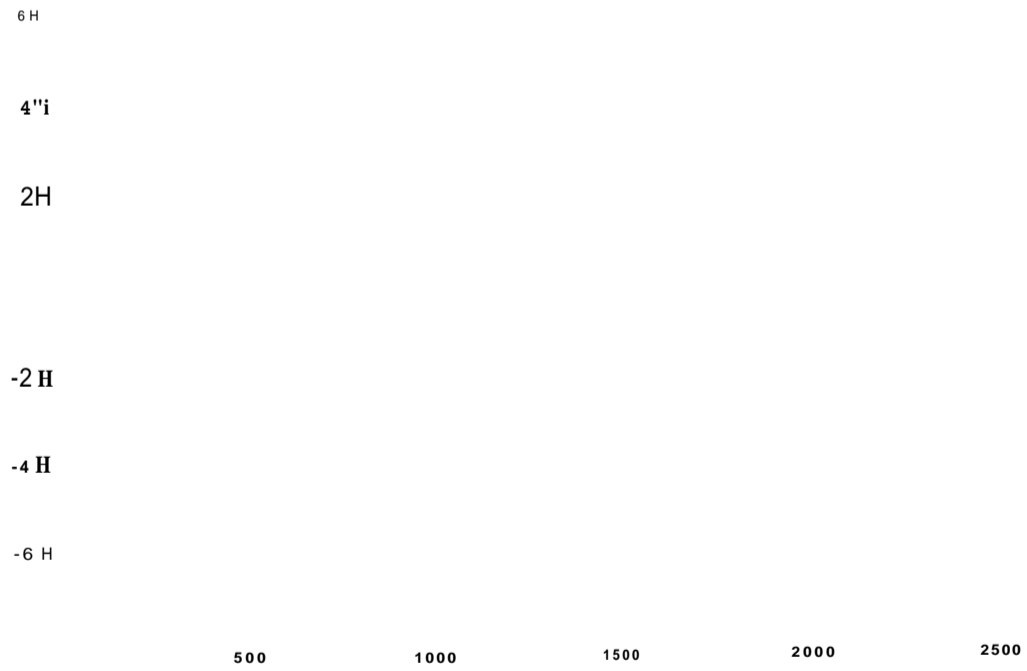
v CU]



(15) TACS - ENTPI (16) TACS - SAIPI t [ms]

ce 3F-T 69KU FORTALEZA RI 70M CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
 FTMGHIPO.DAT 30V CARGA FTZ MI INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE FORTALEZA

v CU]



(18) TACS - ENTPIM (19) TACS - SAIPIM t [ms]

CC 3F-T 69KU FORTALEZA REJ. 70V CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
 FTMGHIPO.DAT 30V CARGA FTZ MI INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ  
 TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REGULADOR PI DO CE MILAGRES

propiciando assim a atuação do correspondente estágio de limitação de corrente através da atuação da malha principal.

Na malha principal, composta pelos blocos LCMP1M, LCMP2M e L1NUCM e cujo nível de atuação é de 1,82, o limite superior de atuação é ajustado em  $\ddot{U}V$ , proporcionando atuação instantânea, enquanto que o limite inferior é ajustado em  $-1.33V$ , proporcionando uma profundidade máxima de atuação de  $107.91^\circ$ . O sinal de saída do circuito limitador de corrente, LCMP2, atua sobre o limite indutivo de saída do regulador de tensão (L1NUCM), fazendo com que este limite varie de  $-1.95V$  com o circuito limitador de corrente desatuado até  $-0.62V$  ( $-1.95V + 1.33V$ ), com o referido circuito totalmente atuado, o que corresponde a um ângulo de disparo de  $107.91^\circ$ . Desta forma, com o limitador de corrente totalmente atuado, a faixa de operação do CE Milagres é deslocada para  $107.91^\circ$  a  $170^\circ$ , trazendo como consequência a necessária redução das correntes nas válvulas de tiristores, sem que seja necessário desligar o compensador.

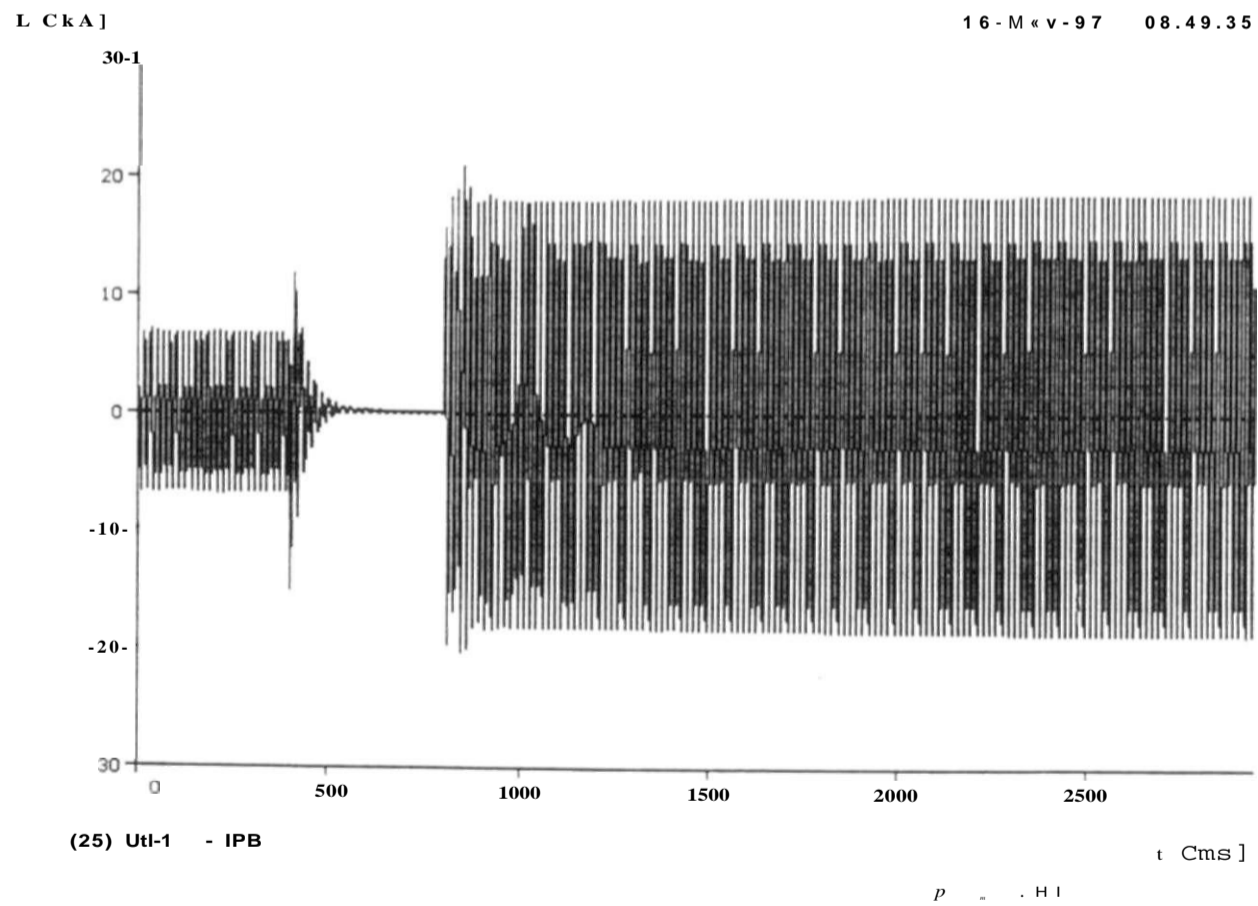
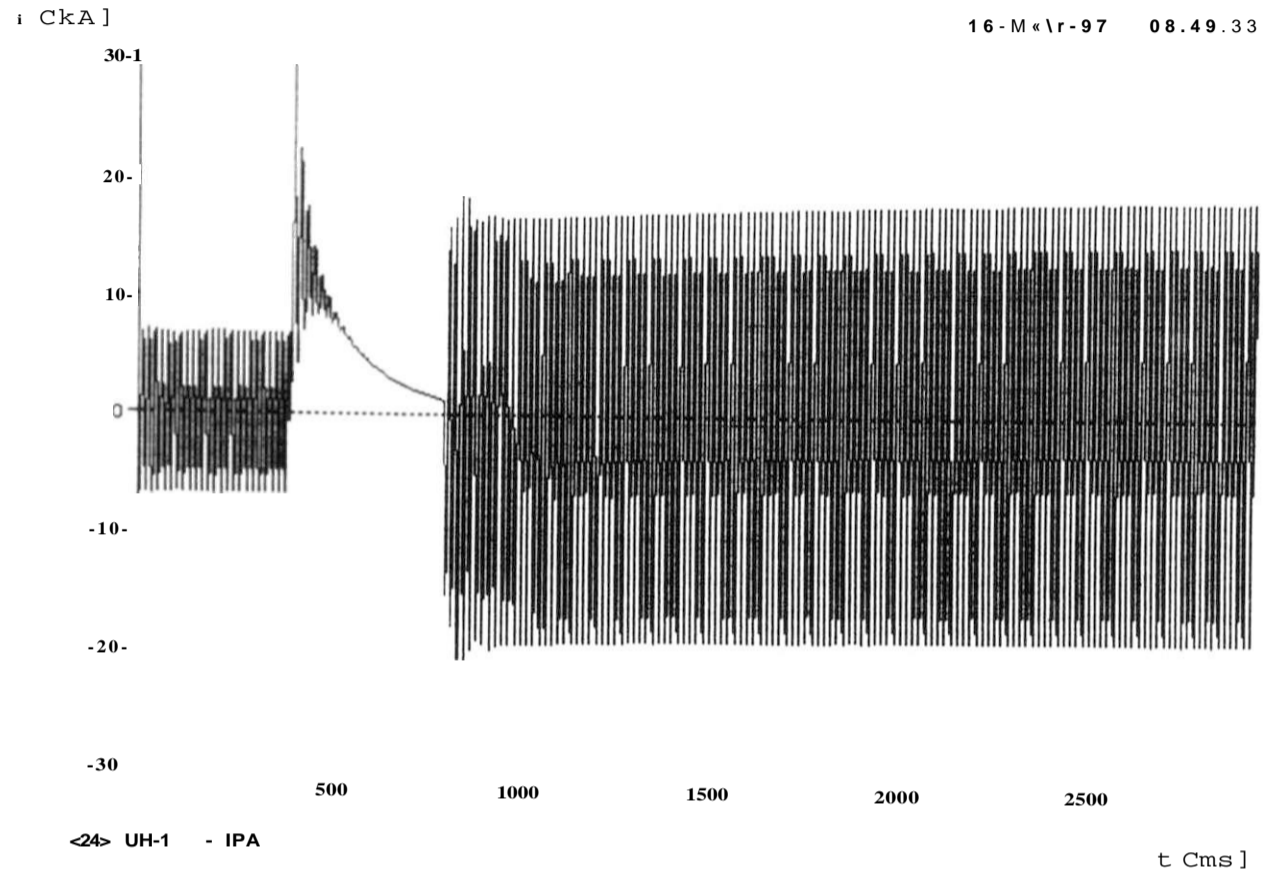
No modelo construído na TACS, os valores de ganhos, constantes de tempo e limites são tratados em unidades físicas, de maneira idêntica ao que ocorre nos equipamentos reais, permitindo uma rápida comparação entre os resultados das simulações e os de ensaios de campo. Conforme será comprovado com a realização dos estudos, os circuitos limitadores de corrente desempenham papel de alta relevância nas simulações de curto-circuito no 69kV das subestações de Milagres e Fortaleza, uma vez que sua atuação produz a redução da corrente nos reatores controlados, propiciando que haja acréscimo nas sobretensões.

#### 4.3.11 - Esquema de disparo protetivo nas válvulas de tiristores

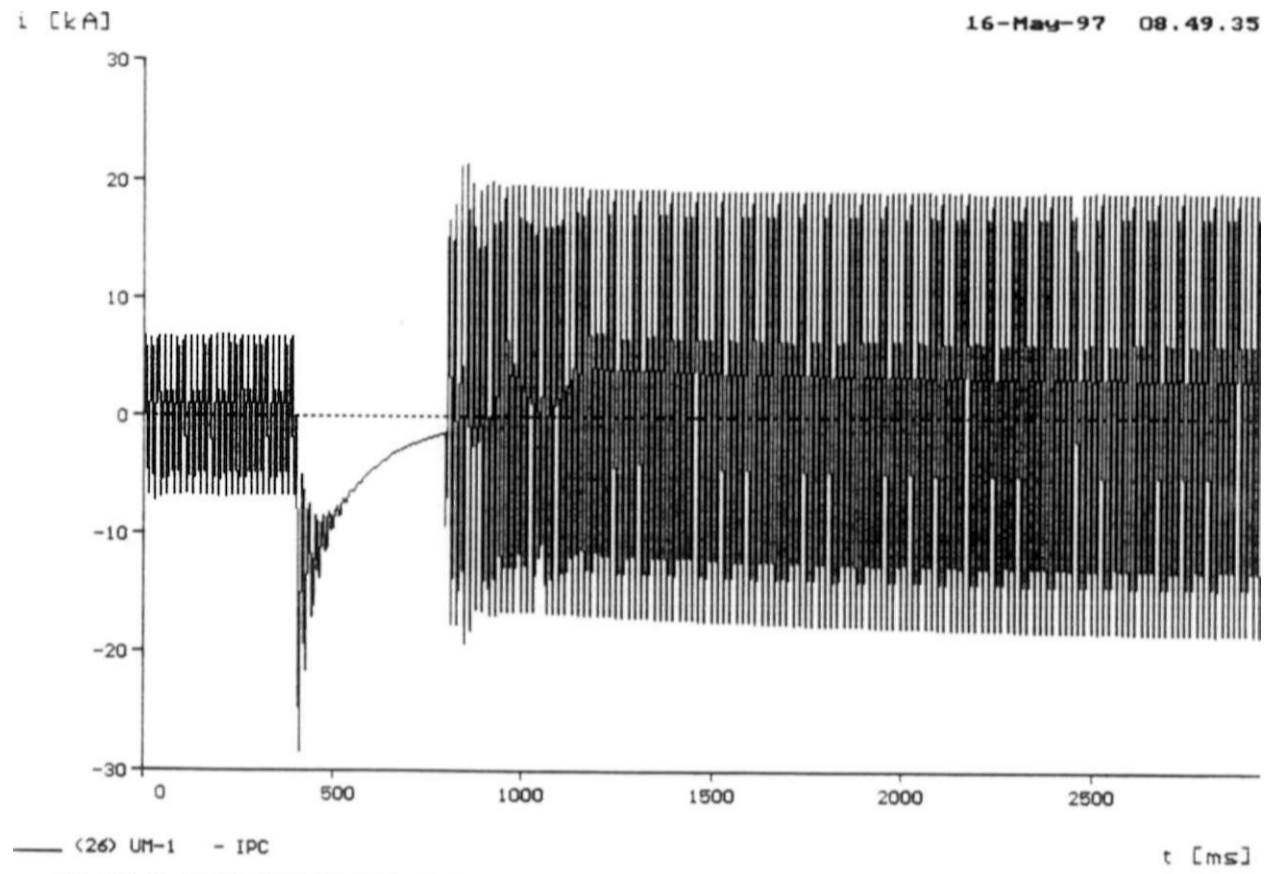
O esquema de disparo protetivo nas válvulas de tiristores é ativado através da ação de diodos "break over" (BOD) conectados em paralelo com cada nível de tiristores e é uma proteção intrínseca das válvulas de tiristores, cuja atuação tem grande influência no desempenho do sistema de controle do CE, razão pela qual decidiu-se representá-la no modelo desenvolvido para o ATP.

O disparo protetivo funciona efetuando o disparo da válvula de tiristores caso a tensão nos seus terminais atinja um determinado valor previamente definido (64kV pico no CE Fortaleza e 40kV pico no CE Milagres), independente da ação do regulador de tensão. Uma vez disparado, o tiristor passará a operar na região de condução e estará protegido dos efeitos das sobretensões que eventualmente surjam na rede elétrica. Como o referido esquema efetua o disparo dos tiristores independente do disparo principal do sistema de controle e este disparo corresponde a inserção integral dos reatores controlados, sua atuação provocará picos de sobrecorrente nas válvulas de tiristores. Embora não seja um regime de operação desejável, é necessário conviver com este eventual inconveniente para proteger a válvula de tiristores em condições de sobretensão no sistema elétrico.

A Fig.4.18 mostra o que é implementado, para o ramo AB da válvula de tiristores, o esquema de disparo protetivo, também conhecido como disparo BOD. A chave DPYAB tem como função inibir o funcionamento do disparo BOD nos 60ms iniciais da simulação, o que corresponde ao período de inicialização dos modelos de CE, conforme será discutido no decorrer deste trabalho. Na modelagem do CE no ATP, as válvulas de tiristores foram representadas por apenas um par de tiristores conectados em anti-paralelo, de forma que o disparo ocorresse quando o nível de tensão ajustado (DPABY) for atingido (64kV para o CE



print date: 16. May 1997

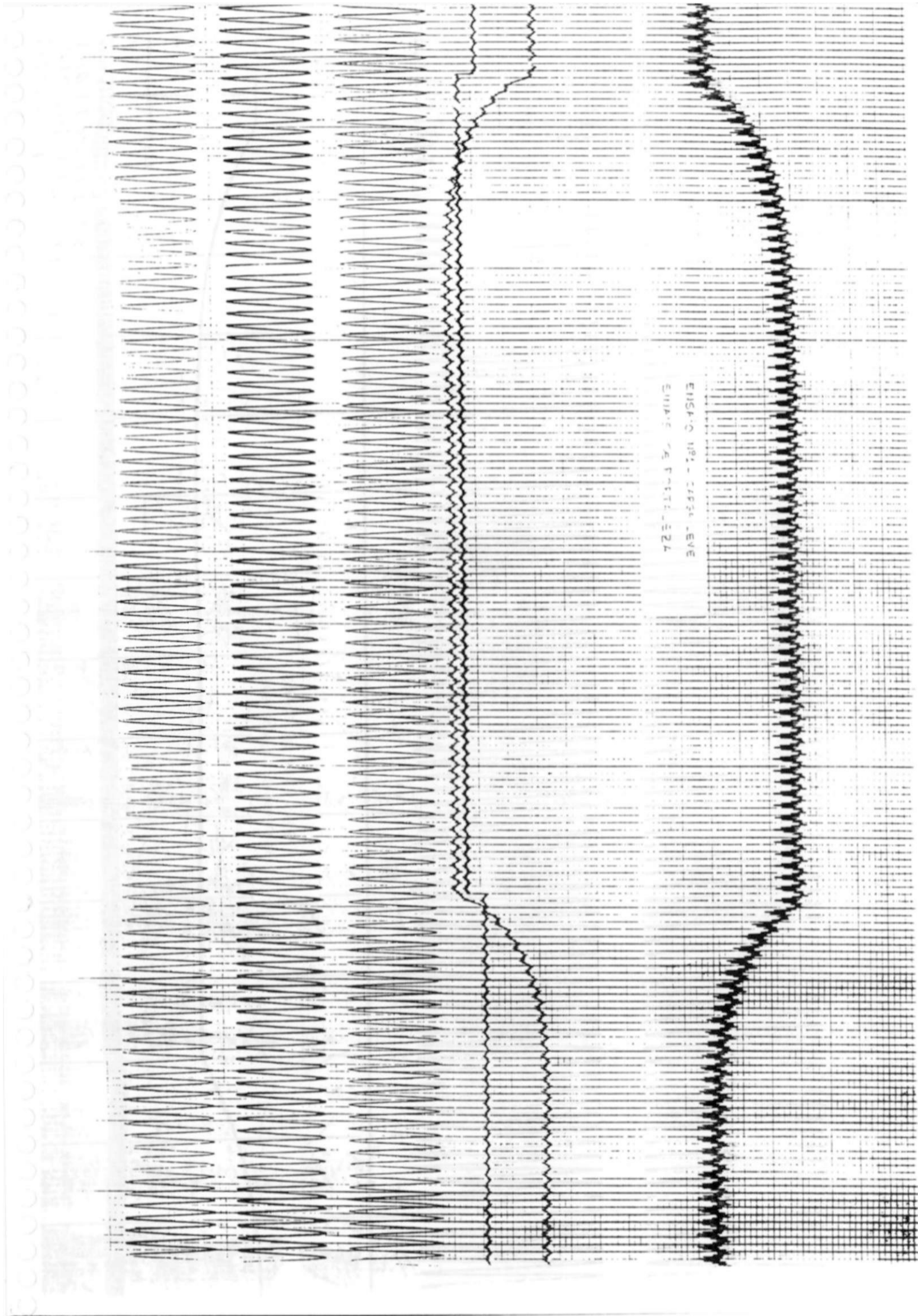


CC 3F-T 69KV FORTALEZA REJ. 70% CARGA SEM FONTES CORR. EXTERN. MI  
 FTMGHPO.DAT 30% CARGA FTZ MI INDMOT ABRIL/97 COM USUB CE FTZ  
 CORRENTE DE ESTATOR NO MOTOR DE INDUCAO FASE C

print date: 16. May 1997



9.8 - Registros dos Ensaio de Aplicação de Step na Pensão de Controle dos CEs Milagres e Fortaleza Efetuados em Campo



Fortaleza e 40kV para o CE Milagres). A partir daí, são produzidos doze sinais de disparo **BOD**, correspondentes aos tiristores que conduzem nos semi-ciclos positivo e negativo, para os três ramos dos reatores controlados ligados em delta, para as duas seções do CE e a variável **DP**, que informa ao circuito inicializador do controlador **PI**, descrito anteriormente, se ocorreu disparo protetivo em alguma das válvulas de tiristores. Na Fig.4.18 é mostrado, em termos de um diagrama de blocos da TACS, o esquema de disparo protetivo das válvulas de tiristores do CE Fortaleza.

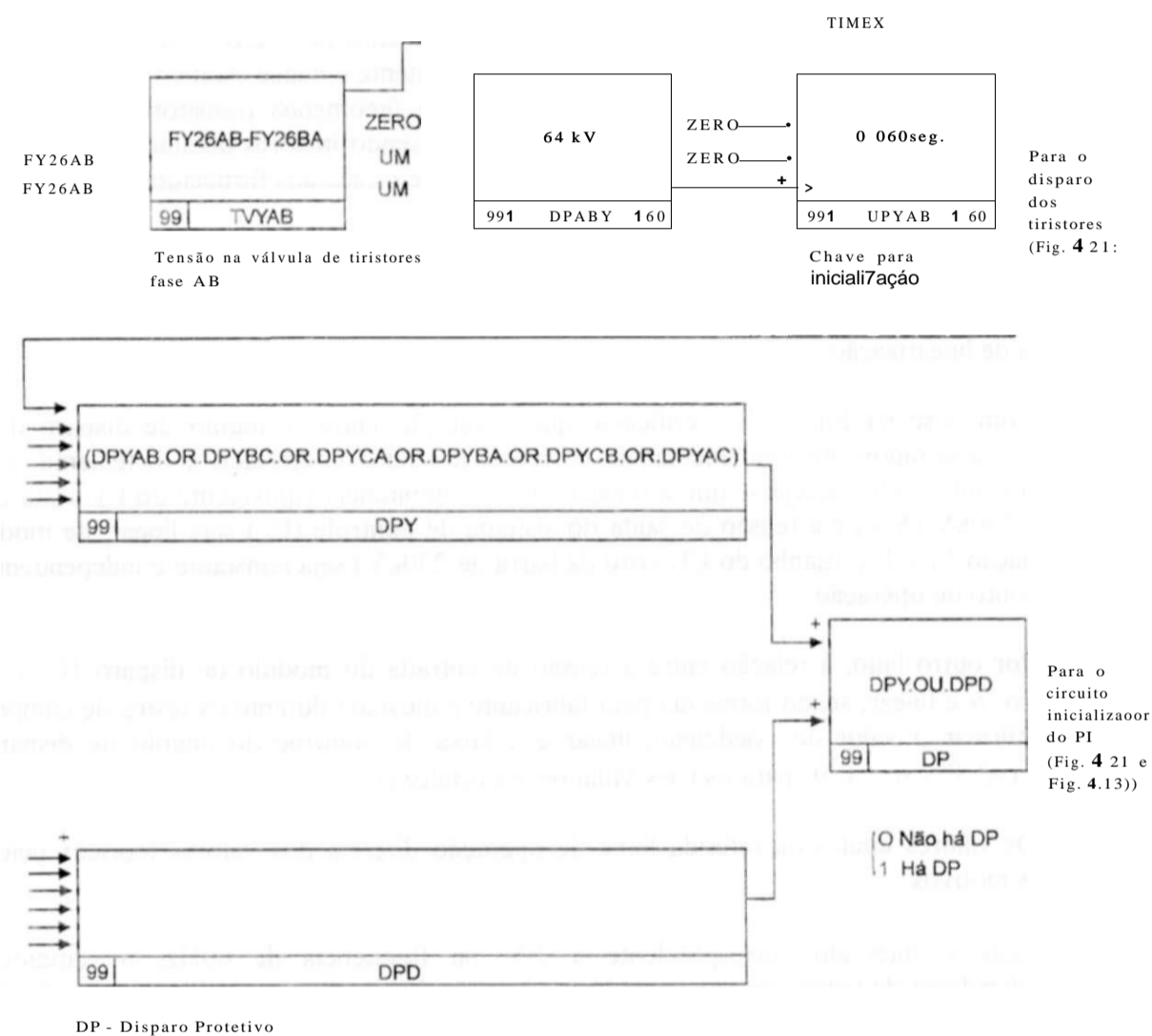


Fig.4.18 Esquema de disparo protetivo (**BOD**).

#### 4.3.12 - Sistema de geração de pulsos de disparo

O sistema de geração de pulsos de disparo dos CEs Milagres e Fortaleza é formado por dois subsistemas, denominados sistema de geração de pulsos igualmente espaçados e sistema de geração de pulsos por cruzamento pelo zero.

O primeiro é um controle de precisão e baseia-se na existência de um módulo de malha de fase bloqueada (phase locked loop - **PLL**), que é ativado sempre que os instantes de produção dos pulsos gerados pelos dois sistemas diferirem de um intervalo de tempo inferior

a 92,0ms (cerca de 2° elétricos na frequência de 60Hz). Isto se dá em condições de regime permanente ou quase estático.

Por outro lado, na ocorrência de grandes perturbações na rede elétrica, as variações de fase provocadas pelos desequilíbrios de tensão introduzidos fazem com que os instantes de produção dos pulsos dos dois sistemas difiram de mais de 2°. Nesta situação, são selecionados para disparo dos tiristores os pulsos produzidos pelo método dos cruzamentos pelo zero, que será descrito em seqüência. Deve ser entendido que este sistema de disparo funciona como um módulo de precisão, pois enquanto sua precisão máxima é da ordem de 0,2°, a precisão máxima do pulso produzido pelo cruzamento por zero é da ordem de 2°. Como o referido sistema atua somente nos regimes permanente e quase estático, optou-se por representar no modelo de ATP, destinado a análise de fenômenos transitórios, apenas o sistema de disparo com base nos cruzamentos por zero, sendo maiores detalhes relativos ao funcionamento do sistema de geração de pulsos igualmente espaçados fornecidos em [4]

O sistema de geração de pulsos de disparo representado no modelo do ATP pode ser subdividido nos seguintes blocos:

- Curva de linearização

Com base na Eq.(3.13), verifica-se que a relação entre o ângulo de disparo dos tiristores e a componente fundamental da corrente no reator controlado é fortemente não linear. Por outro lado, deseja-se que a relação entre a admitância equivalente do CE vista da barra de 230kV ( $Y_{ce}$ ) e a tensão de saída do sistema de controle ( $U_c$ ) seja linear, de modo que a relação  $(\frac{dI}{d\alpha})$  (ganho do CE visto da barra de 230KV) seja constante e independente do seu ponto de operação.

Por outro lado, a relação entre a tensão de entrada do módulo de disparo  $\frac{U_c}{E}$  e o parâmetro  $\alpha$  é linear, sendo fornecida pelo fabricante e ajustada durante os testes de campo, para confirmar o valor do coeficiente linear e a faixa de controle do ângulo de disparo utilizada ( $92.5^\circ < \alpha < 170^\circ$  para os CEs Milagres e Fortaleza).

Os valores limites da referida faixa de operação diferem dos valores teóricos pelos seguintes motivos:

- Durante o intervalo correspondente a  $2.5^\circ$  na frequência de 60Hz, os circuitos equalizadores de tensão (circuitos snubber) das válvulas de tiristores utilizam a tensão da rede para acumular energia, que será utilizada para efetuar o disparo dos tiristores.
- Devido as características físicas do módulo de disparo real, para ângulos de disparo superiores a  $170^\circ$ , a curva característica  $\frac{dI}{d\alpha}$  é praticamente constante, não justificando a operação em ângulos de disparo superiores a este valor. Ensaios de campo comprovaram que utilizando-se a faixa de ângulo de disparo  $92.5^\circ < \alpha < 170^\circ$ , são plenamente atingidos os limites nominais de potência reativa de ambos os CEs.

Com base em tais informações, é calculada uma curva não linear  $U_c \times \frac{dI}{d\alpha}$  denominada curva de linearização e ajustada para que se tenha a linearidade desejada entre as grandezas  $U_c$  e  $K_{CE}$ , conforme mostrado na Fig.4.19.

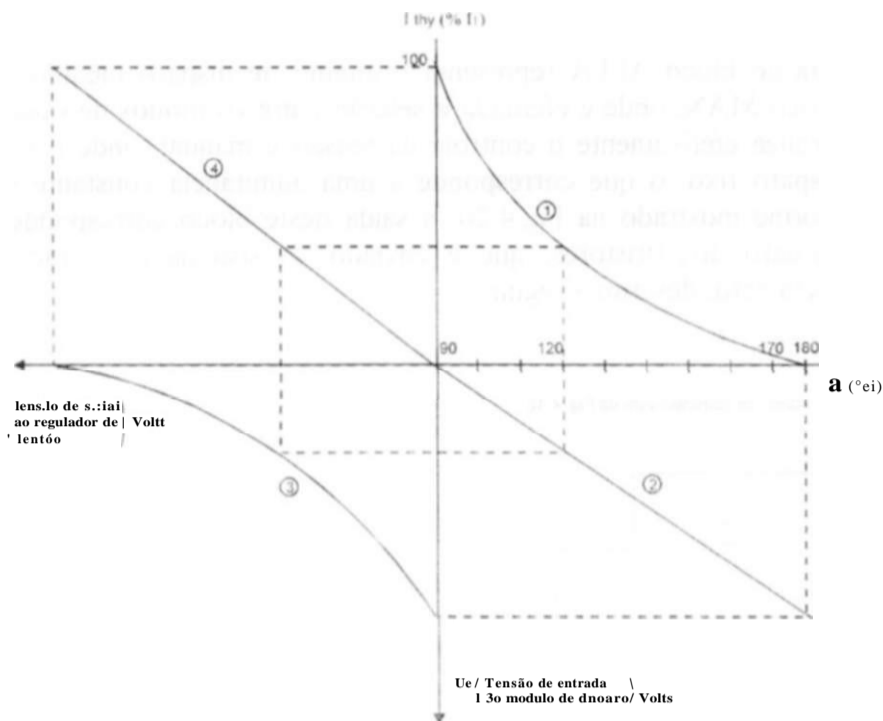


Fig.4.19 Curvas de linearização do CE.

Como no modelo de CE desenvolvido para o ATP o disparo dos tiristores é efetuado em condições ideais, não é necessária a representação das curvas  $I_{thy} \times U_e$  e assim, é implementada no modelo diretamente a relação desejada entre  $(h- e a$ , conforme indicado nas Tabelas 4.1 e 4.2 e na Fig.4.20.

Tabela 4.1 Valores do par  $(U_c, a)$  para o CE Fortaleza

$U_c$ (Volts)	$a$ (mseg)	$a$ (graus)
-2.270	4.2824	92.5
0.713	5.9259	128.0
1.549	6.4814	140.0
2.048	7.0370	152,0
2.268	7.5462	163.0
2.320	7.8703	170,0

Tabela 4.2 Valores do par  $(U_r, a)$  para o CE Milagres.

$U_r$ (VoltS)	$a$ (Miliseg)	$a$ (Graus)
-1.950	4 2833	92.5
1.036	5.8854	127.1
1.872	6.4828	140.0
2.316	6.9412	149.9
2.547	7.3579	158.9
2.640	7.7099	166.5
2.650	7.8719	170.0

A saída do bloco ALFA representa o ângulo de disparo medido em segundos e é enviado ao bloco MAN, onde é efetuada a seleção entre os modos de operação automático, onde o CE realiza efetivamente o controle da tensão e manual, onde o CE opera com um ângulo de disparo fixo, o que corresponde a uma admitância constante vista da barra de 230kV. Conforme mostrado na Fig.4.20, a saída deste bloco corresponde efetivamente ao ângulo de disparo dos tiristores, que é enviado ao sistema de geração de pulsos por cruzamento pelo zero, descrito a seguir.

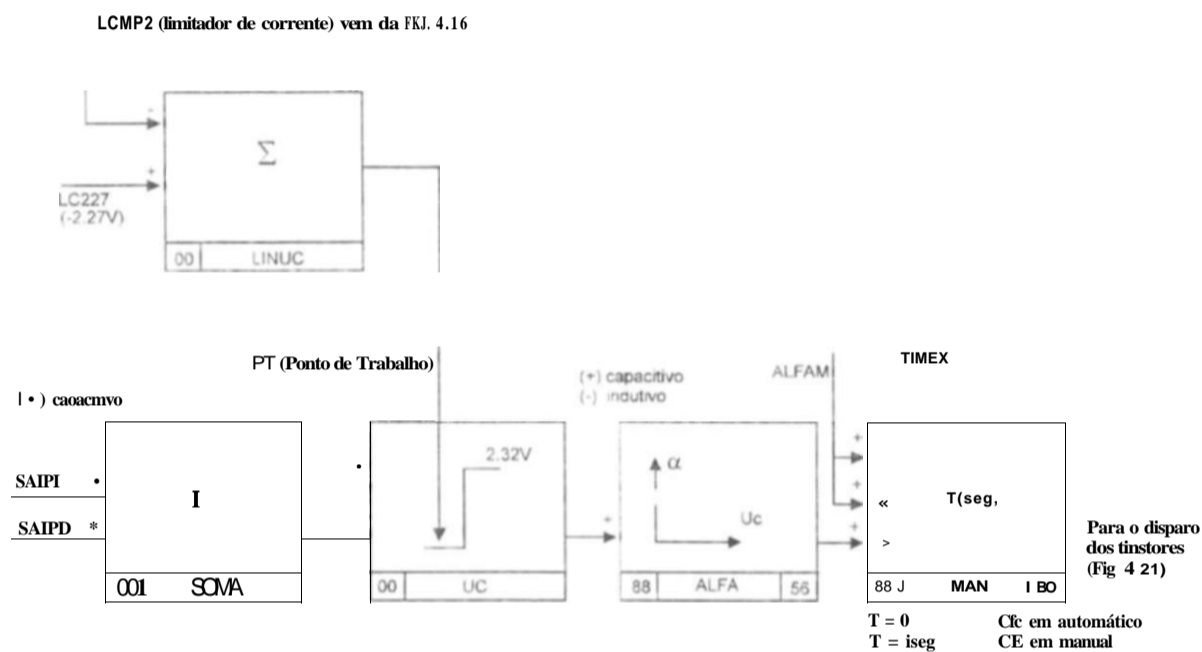


Fig.4.20 Composição dos canais normal e rápido de regulação.

- Sistema de geração de pulsos por cruzamento pelo zero

O referido sistema baseia-se na determinação do instante de disparo dos tiristores a partir da identificação dos cruzamentos pelo zero da tensão aplicada as válvulas de tiristores, que são as tensões das barras de 26 e 12,3kV para, respectivamente, os CEs Fortaleza e Milagres. Entretanto, como o conteúdo harmônico presente em tais tensões é elevado e isto prejudica a perfeita identificação dos seus cruzamentos pelo zero, optou-se por utilizar a tensão da barra de 230kV, cujo conteúdo harmônico é menor, para produzir as grandezas conhecidas como tensões de sincronização, a partir das quais o sistema de disparo irá identificar os cruzamentos pelo zero para produzir os sinais de disparo.

A partir do transformador de potencial de relação de transformação 230kV / 115V, as tensões do 230kV são levadas a um transformador de três enrolamentos cujas tensões são 115V(A), 28,6V(Y) e 24,5V(Zig-Zag). O enrolamento de 24,5V alimentará o módulo de disparo da seção delta do CE, enquanto que o enrolamento de 28,5V alimentará o módulo de disparo da seção estrela. Por meio deste artifício, demonstra-se, com base em diagramas fasoriais, que as tensões aplicadas aos módulos de disparo, embora produzidas através das

tensões da barra de 230kV, encontram-se em fase com as tensões efetivamente aplicadas as válvulas de tiristores.

Na Fig.4.21 é mostrado como, através de um diagrama de blocos da TACS, foi modelado o sistema de geração de pulsos por cruzamento pelo zero no ATP, para a seção estrela dos CEs, ramos AB e BA. O referido sistema possui como entradas o sinal de saída do regulador de tensão, MAN, que representa o ângulo de disparo dos tiristores e a tensão de sincronização. TSYA, que informa ao módulo de disparo os instantes onde se dão os cruzamentos pelo zero das tensões aplicadas a válvula de tiristores. De forma a eliminar eventuais harmônicos presentes nas tensões do 230kV, que, em condições transitórias como energização de transformadores, curto-circuitos, etc, possuem níveis de distorção que poderiam vir a comprometer a correta identificação dos cruzamentos pelo zero. as tensões de sincronização são submetidas a uma filtragem passa-baixa de primeira ordem, que introduz um retardo de  $64,25^\circ$  na frequência fundamental. Para compensar este retardo, o sinal MAN, proveniente do regulador de tensão, também é atrasado de  $64,25^\circ$  no bloco ALM64 e é convertido em Volts no bloco ALFAV, para em seguida ser comparado com o sinal proveniente do bloco CZ7YA.

Através dos blocos CZ2YA, CZ3YA e CZ4YA é efetuada a detecção dos cruzamentos pelo zero da tensão de sincronização. Quando ocorre um cruzamento por zero, tem-se  $CZ4YA = -1$  durante um período igual ao intervalo de integração utilizado pelo ATP (A) e a partir daí, tem início o crescimento de um sinal tipo rampa, produzido pela aplicação de uma corrente constante a um capacitor, que será resetado no cruzamento pelo zero subsequente. O pulso de disparo do tiristor é produzido no instante em que a tensão do sinal tipo rampa (CZ7YA) iguala-se ao sinal de saída do regulador de tensão (ALFAV). Esta comparação é efetuada através dos blocos GYAB1, GYAB2, GYAB3 e GYAB para o semi-ciclo positivo da tensão aplicada à válvula de tiristores e GYBA1, GYBA2, GYBA3 e GYBA para o semi-ciclo negativo. Pelo exposto, quando se dá a intercessão entre sinais CZ7YA e ALFAV, os sinais GYAB e GYBA tornam-se iguais a 1 e são enviados aos gates dos tiristores sob forma de instantes de fechamento das chaves controladas que representam os respectivos componentes, para, efetivamente, realizar o disparo.

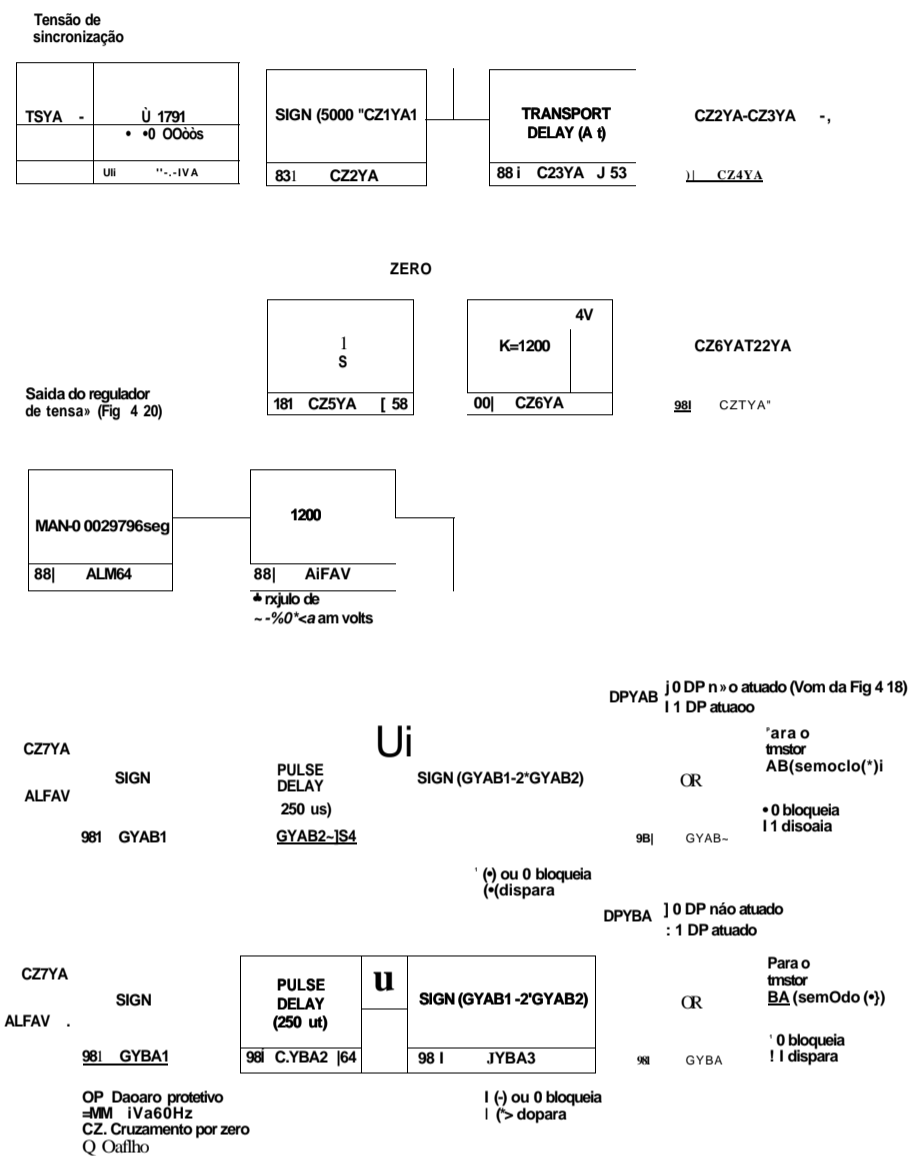


Fig.4.21 Geração de pulsos de disparo pelo método dos cruzamentos por zero.

#### 4.4 - Modelagem dos componentes de potência dos CEs Fortaleza e Milagres no ATP

##### 4.4.1 Introdução

O CE Fortaleza é do tipo reator controlado a tiristores e banco fixo de capacitores, utiliza o arranjo 12 pulsos e e conectado à barra de 230kV através de um banco de transformadores monofásicos de três enrolamentos 230/26/26kV - 200MVA. cujas conexões são, respectivamente, estrela aterrada, delta e estrela não aterrada. Em cada um dos enrolamentos secundários estão conectados um banco de capacitores lixo com capacitância de 373uF por fase, ligado em estrela não aterrada, um banco de reatores controlados conectado em delta, com indutância de 22.8mH para cada ramo do delta e um capacitor de surto de 0.1 pF por fase. ligado em estrela aterrada



Integrando ambos os membros da expressão anterior, resulta,

$$i = -\frac{V_m}{\omega L} \cos(\omega t) + C, \quad (3.2)$$

onde  $C$  é uma constante de integração cujo valor depende do intervalo de tempo considerado.

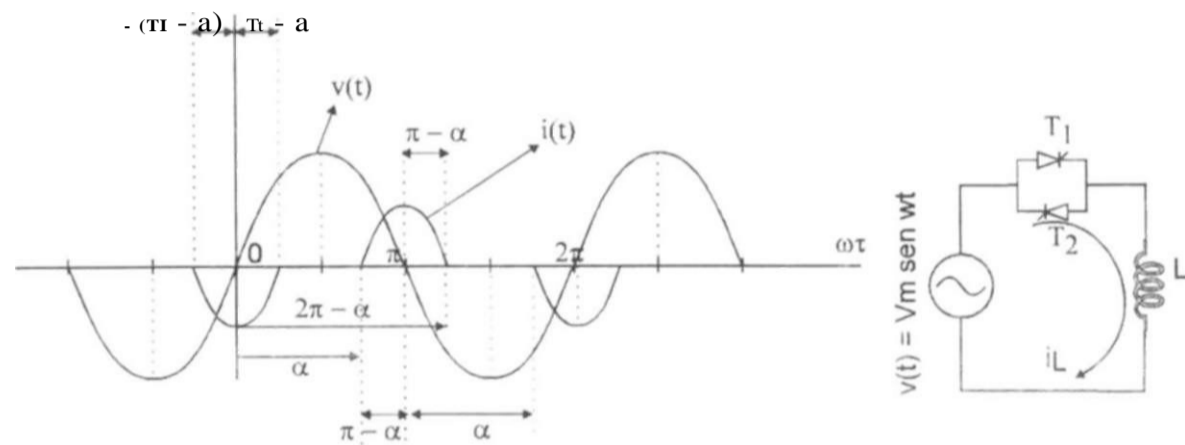


Fig. 3.5 Corrente em função do ângulo de disparo, para um par de tiristores em anti-paralelo conectado em série com um indutor puro.

Durante o intervalo de tempo em que a tensão tem derivada temporal negativa, conforme ilustrado na Fig.3.5, aplicando-se na Eq.(3.2) a condição,

$$t = \frac{a + 2m\pi}{\omega}$$

resulta,

$$i = -\frac{K}{\omega L} \cos(\omega t) - \cos a, \quad (3.3)$$

$$\frac{a + \pi}{\omega} < t < \frac{2\pi - a + 2\pi}{\omega}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Durante o intervalo de tempo em que a tensão tem derivada temporal positiva, aplica-se na Eq.(3.2) a condição,

$$i = \frac{\pm(i-a) + 2n\pi}{\omega} = 0, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

que fornece,

$$\cos(\omega t) + \cos a = \frac{-(\pi - a) + 2n\pi}{\omega L} \frac{(n - a) + 2n\pi}{\omega}, \quad n = (\pm 1, \pm 2, \dots) \quad (3.4)$$

Em resumo, a dependência temporal da corrente no reator controlado pelo par de tiristores é da forma.

O CE Milagres e do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo, utiliza o arranjo 12 pulsos e é conectado à barra de 230kV através de um banco de transformadores 230/12,3/12,3kV - 100MVA, cujas conexões são, respectivamente, estrela aterrada, delta e estrela não aterrada. Em cada um dos enrolamentos secundários estão conectados um banco de capacitores fixo com capacitância de 808,55u.F, ligado em estrela não aterrada, em série com um reator de indutância igual a 0,35mH , formando um filtro sintonizado na frequência de 300Hz (5° harmônico), um banco de reatores controlados conectado em delta, com indutância de 12,0mH para cada ramo do delta e um capacitor de surto de 0,1 u.F por fase. ligado em estrela aterrada.

É importante representar os capacitores de surto nas barras de 26 e 12,3kV dos CEs Milagres e Fortaleza, pois os mesmos fornecem uma referência para a terra aos enrolamentos dos respectivos transformadores abaixadores, contribuindo para a não existência de instabilidades numéricas nas simulações.

Os elementos que integram o circuito de potência dos CEs foram modelados no ATP de maneira convencional. Atenção especial foi dedicada à representação das válvulas de tiristores, que são trifásicas, refrigeradas a água desionizada e possuem em paralelo com cada nível de tiristores um circuito RC, denominado circuito snubber, cujas funções são equalizar a distribuição das tensões nas válvulas, armazenar energia durante os intervalos de bloqueio para efetuar o disparo dos tiristores e reduzir as tensões de restabelecimento transitórias sobre tais componentes nos instantes de bloqueio.

As válvulas de tiristores foram modeladas através de chaves tipo 11 do ATP, cuja operação é controlada por variáveis TACS, no caso, os sinais provenientes do circuito de disparo, além de um circuito snubber equivalente para cada ramo do reator controlado a tiristores. Para os valores de resistências das válvulas de tiristores, resistências e capacitâncias dos circuitos snubber, foram utilizados os valores reais colhidos no campo.

#### **4.4.2 - Inicialização da rede elétrica**

Antes de efetuar a simulação do regime transitório do sistema elétrico que se deseja analisar, o programa ATP efetua o cálculo dos fluxos de potência e tensões da rede elétrica em regime fasorial complexo, representando a condição inicial da qual se partirá para o estudo do regime transitório.

Quando se representa os compensadores estáticos do tipo reator controlado a tiristores, onde se tem, para ângulos de disparo diferentes de 90°, correntes periódicas não-senoidais injetadas na rede elétrica, não se aplica a solução fasorial para determinação da condição inicial. Para contornar esta dificuldade, foram desenvolvidos pela equipe da CHESF que concebeu o modelo de CE para uso no ATP os procedimentos a seguir descritos [8].

Ao ser processado o regime permanente para cálculo das tensões e fluxos de potência anteriores à simulação do transitório, há duas situações possíveis com relação ao estado dos tiristores:

- a) Todos bloqueados: nesta situação, ao ser iniciado o processamento do regime transitório, o sistema de controle efetua o disparo dos tiristores no ângulo de disparo por ele definido.
- b) Todos em condução: nesta situação, o ATP automaticamente bloqueia os tiristores que não satisfazem às condições de condução.

Entretanto, em qualquer das situações acima, os resultados do fluxo de potência em regime permanente não refletirão as condições iniciais reais de operação. O transitório de inicialização da rede poderá ser bastante severo, dependendo das condições de partida, pois as tensões desequilibradas e distorcidas presentes na rede elétrica durante o período transitório provocam a ocorrência de disparos assimétricos, que distorcem as correntes nos reatores controlados, que por sua vez, distorcem mais ainda as tensões a eles aplicadas. Tem origem, deste modo, um efeito de realimentação positiva que alonga o transitório de inicialização da rede, podendo em alguns casos extremos, produzir situações de instabilidade.

Para evitar este efeito indesejável e abreviar o período transitório de inicialização da rede, são conectadas as barras de baixa tensão dos CEs fontes de tensão senoidais ideais tipo 14 (fontes de inicialização), com valores de tensão em módulo e ângulo iguais aos calculados no seu regime permanente. Assim, com o estabelecimento do regime permanente na simulação, as componentes fundamentais das correntes nas fontes de inicialização deverão ser nulas, significando que as referidas fontes absorvem os harmônicos produzidos ao longo do período transitório e garantindo distorção nula ou muito pequena nas barras de baixa tensão dos CEs. Nesta situação, as fontes de inicialização serão desligadas e o sistema (rede elétrica + compensadores) estará operando em regime permanente no ponto desejado.

As tensões das fontes de inicialização são obtidas através do processamento do regime permanente do ATP, considerando todas as válvulas de tiristores bloqueadas (chaves do ATP na posição OPEN) e os reatores controlados representados por reatores fixos, cuja indutância e calculada de forma a reproduzir o ponto de operação do CE em regime permanente, em termos de tensão e potência reativa. Depois de processado este regime permanente, tais reatores fixos são retirados, as válvulas de tiristores são desbloqueadas (chaves do ATP colocadas na posição CLOSED) e o modelo estará apto a ser utilizado para a análise do período transitório.

Os valores de indutância correspondente ao ponto de operação do CE em regime permanente são calculados a partir de um programa auxiliar, denominado ESTÁTICO e disponível na CHESF, o qual, a partir da especificação da tensão terminal e da potência reativa injetada no sistema de transmissão, calcula as correntes e tensões internas ao equipamento, bem como o seu ângulo de disparo.

Utilizando-se esta metodologia, foi obtida uma adequada inicialização do sistema (CEs e rede elétrica) em um período da ordem de 20mseg, instante no qual as chaves de conexão das fontes de inicialização podem ser abertas. Para acelerar o processo de inicialização, o sistema de controle do CE permanece no modo de operação manual por cerca de 80mseg, com ângulo de disparo ALFAZERO, correspondendo a zero MV Ar injetado no 230kV. Por outro lado, caso não fossem utilizadas tais fontes, o transitório de inicialização poderia levar até 80mseg.

Com a introdução do segundo CE, instalado na SE Milagres, observou-se que na grande maioria dos casos simulados, o intervalo de 20mseg para a desconexão das fontes auxiliares foi suficiente para se ter uma adequada inicialização do conjunto (rede elétrica + CEs). Apenas em situações caracterizadas por reduzidos valores de potência de curto-circuito (recomposição da Área Norte da CHESF), foi necessário elevar o tempo de desbloqueio das fontes de inicialização para 40mseg e o tempo de liberação do regulador de tensão dos CEs para 80mseg, o que resultou em uma inicialização satisfatória. Maiores detalhes relativos a estes procedimentos são fornecidos na Seção 4.4.3 a seguir. Por outro lado, a introdução do motor de indução representando parte da carga de Fortaleza em nada dificultou o processo de inicialização do sistema, sendo maiores detalhes relativos à inicialização deste componente fornecidos na Seção 4.4.4 deste trabalho.

#### 4.4.3 - Inicialização do sistema de controle dos CEs

Pelo exposto nos itens anteriores, o sistema de controle dos CEs só deverá ser efetivamente liberado para atuar em malha fechada depois de extinto o transitório de inicialização. Caso isto não seja feito, o sistema de controle tentará regular a tensão durante o referido transitório, alongando ainda mais a sua duração. Isto é feito através do bloqueio dos seguintes componentes do sistema de controle:

- Esquema de Disparo Protetivo: As chaves DPYAB (CE FTZ) e DPYABM (CE MLG) bloqueiam por 0mseg os sinais de disparo protetivo para todos os ramos dos reatores controlados, evitando que haja disparos protetivos devido ao transitório de energização, o que poderia alongar a sua duração.
- Circuito Limitador de Corrente: As chaves LCMED (CE FTZ) e LCMEDM (CE MLG) bloqueiam por 0mseg a ação do limitador de corrente, evitando a sua atuação devido a sobrecorrentes nos reatores durante o transitório de inicialização.
- Canais Normal e Rápido de Regulação: As chaves ENTPD e ENTPI (CE FTZ) e ENTPIM e ENTPDM (CE MLG) permitem que os respectivos controladores PI e PD sejam inicializados, o que contribuirá para abreviar a duração do transitório de inicialização.

Para garantir que durante o transitório de inicialização o sistema de controle permaneça operando em um ângulo de disparo fixo, é fornecida ao controlador PI uma condição inicial, denominada INTPI. Ao término do referido transitório, é necessário que transcorra um pequeno intervalo de tempo, necessário para que a tensão medida atinja seu valor de regime permanente, de forma que esta grandeza se estabilize num valor bastante próximo a UREF, que representa para o sistema de controle o valor de tensão desejada na barra de 230kV.

Os valores da tensão de referência  $U_{REF}$  e da condição inicial do PI (INTPI), a serem fornecidos ao modelo de CE para ATP são calculados a partir da expressão,

$$U_{REF} = \sqrt{43301 + \frac{Q/K}{94,55V3C/y}} \pi \quad (4,3)$$

onde:

$U_{REF}$  = Tensão de referência do CE no ponto de operação correspondente ao definido pelos estudos de fluxo de potência

$(U)$  = Tensão do 230kV do CE no ponto de operação correspondente ao definido pelos estudos de fluxo de potência, calculada através do programa auxiliar ESTÁTICO

$(Q)$  = Potência reativa do CE no ponto de operação correspondente ao definido pelos estudos de fluxo de potência, calculada através do programa auxiliar ESTÁTICO

Para o cálculo da condição inicial do controlador PI, denominada INTPI, devem ser adotados os seguintes procedimentos:

- Com base no valor do ângulo de disparo correspondente ao ponto de operação do CE em regime permanente, calculado através do programa utilitário NOMINAIS, é identificado o trecho correspondente da curva Tensão de Controle ( $U_c$ ) x Ângulo de Disparo ( $\alpha$ ).
- É calculada, através das Tabelas 4.1 e 4.2, a declividade em Volts/grau do trecho correspondente na referida curva.
- É calculado o valor desejado da variável INTPI através da expressão,

$$INTPI = U_{co} + k \cdot (\alpha - \alpha_0), \quad (4.14)$$

onde:

$k$  - Declividade do trecho correspondente na curva  $U_c$  x  $\alpha$  em Volts / grau.

$U_{co}$  = Tensão de controle do extremo inferior do trecho correspondente na curva  $U_c$  x  $\alpha$  em Volts.

$\alpha_0$  = Ângulo de disparo do extremo inferior do trecho correspondente na curva  $U_c$  x  $\alpha$  em graus.

$\alpha$  = Ângulo de disparo correspondente ao ponto de operação do CE em regime permanente, fornecido pelo programa NOMINAIS, em graus.

#### 4.4.4 - Inicialização do modelo "Motor Universal", utilizado na representação do motor de indução

Para a inicialização em regime permanente do modelo de motor de indução, foi utilizada a opção de inicialização automática, que efetua a inicialização do modelo, juntamente com a da rede elétrica utilizando um fluxo de potência fasorial calculado pelo ATP [7]. Esta opção requer apenas o fornecimento da velocidade angular, através do escorregamento percentual (slip) de regime permanente calculado a partir dos dados de placa do motor pelo programa INDMOT, a ser abordado no item 6 deste trabalho. Existe uma restrição do ATP com relação à presença de fontes não senoidais ativas durante o processo de inicialização do modelo de motor de indução.

Tal restrição é atendida pelos procedimentos de inicialização do sistema de controle dos modelos de compensador estático, descritos nas Seções 4.4.2 e 4.4.3 deste trabalho.

O processo de inicialização automática do modelo de motor de indução é executado através das seguintes etapas:

- a) As tensões e impedâncias do equivalente Thévenin da rede elétrica à qual o motor encontra-se conectado são convertidas pelo ATP para o domínio da frequência das equações internas do motor (frequência do rotor), que é diferente da frequência da rede elétrica e é calculada através do escorregamento de regime permanente.
- b) Através da solução de tais equações, são determinadas as correntes que circulam nos enrolamentos da máquina e, conseqüentemente, as correntes que serão injetadas pela mesma na rede elétrica.
- c) Com as correntes determinadas na etapa anterior, são calculados o torque eletromagnético e as tensões nos enrolamentos da máquina.
- d) A fonte de corrente presente no circuito mecânico é calculada de forma a representar os efeitos de uma carga mecânica adicional conectada ao eixo do motor.

Deve ser destacado que a opção de inicialização automática só é possível se for utilizada a representação das grandezas mecânicas através do circuito elétrico análogo descrito na Seção 6.1. Como em regime permanente tal circuito comporta-se como um circuito de corrente contínua e como no processo de inicialização, apenas fontes senoidais devem estar ativadas para  $t < 0$ , as fontes de corrente necessárias para representar os efeitos da carga mecânica no eixo do motor devem ser modeladas por fontes senoidais de frequência muito pequena, inferior a 0,001 Hz. Não há qualquer restrição ao uso de outros tipos de fontes, bem como dos demais recursos da TACS, desde que elas sejam ativadas apenas para  $t > 0$ .

Conforme recomendado por Hian Lauw [17], o interfaceamento do motor de indução com a rede elétrica através dos seus enrolamentos de estator foi efetuado utilizando-se a opção *prediction*. Verifica-se que o uso desta opção não introduz restrições quanto à conexão diretamente ao motor em estudo de elementos não lineares ou de um outro motor de indução, além de proporcionar vantagens em termos de velocidade de processamento, quando comparado à opção **compensation**.

Não foi constatada nas simulações realizadas nenhuma dificuldade para a inicialização dos compensadores estáticos devido à presença do modelo de motor de indução, de onde se pode concluir que os procedimentos aqui descritos encontram-se adequados às necessidades práticas de um sistema elétrico de grande porte.

## 5. DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 - Especificações de desempenho

No decorrer desta Seção é comentada a metodologia utilizada para a definição dos ajustes dos parâmetros dos sistemas de controle dos CEs Milagres e Fortaleza.

De modo genérico, um determinado conjunto de especificações de desempenho deve atender aos seguintes requisitos:

- Expressar de maneira adequada, concisa e sem ambigüidades os requisitos impostos ao sistema de controle.
- Não devem ser impostas ao sistema em estudo restrições que uma severa avaliação de engenharia não considere absolutamente necessárias.
- Não devem ser especificadas figuras de mérito apenas por sua facilidade em receber um adequado tratamento matemático, mas sim por sua concreta utilidade em caracterizar o desempenho do sistema sob análise.

Existe na literatura uma grande quantidade de figuras de mérito. Na área de controle de sistemas de potência, é bastante utilizado o conjunto de especificações de desempenho a seguir listado, que através de cinco grandezas escalares, fornece uma idéia adequada sobre o formato da resposta transitória do sistema em estudo [18].

1. Tempo de atraso,  $T_i$ .
2. Tempo de subida,  $T_r$ .
3. Percentual *overshoot*, PO.
4. Tempo de estabilização,  $t_s$ .
5. Erro de regime permanente, FVE.

Tais grandezas são representadas na Fig.5.1. Deve ser destacado que nem todas as grandezas acima são aplicadas simultaneamente em cada caso, cabendo ao analista efetuar a adequada seleção, com base nos requisitos apresentados.

$\frac{t}{P_0} / r$		Tolerância permissível	
			t
← Tp			t

Fig.5.1 Especificações de desempenho no domínio do tempo.

As especificações de desempenho citadas apresentam uma evidente desvantagem: o projetista/analista de sistemas de controle deve, simultaneamente, tentar atender a alguns limites de projeto difíceis de serem alcançados de uma só vez, o que, na maior parte dos casos, só é possível parcialmente e através do método conhecido como "trial and error". Em muitos casos práticos, este é o único caminho possível, considerando o modo como as especificações de desempenho são usualmente colocadas, devendo ser lembrado que este método exige daquele que se dispõe a aplicá-lo habilidade, experiência e intuição.

A característica principal desta técnica consiste em partir-se de um conjunto subótimo de especificações de desempenho e através de tentativas, procurar atender, dentro das limitações impostas, às especificações desejadas. A seguir, são listadas as principais vantagens e desvantagens relativas ao emprego do método aqui apresentado.

**Vantagens:**

- Requer ferramentas matemáticas relativamente simples.
- Apresenta vasta experiência acumulada na sua utilização.
- Pode ser usado tanto em simuladores analógicos, quanto digitais.
- Aproximações lineares podem ser utilizadas.

**Desvantagens:**

- Podem eventualmente ser encontradas especificações de desempenho inconsistentes, ou mesmo impossíveis de serem atendidas.
- Os resultados nem sempre correspondem ao de um projeto ótimo.



O método é mais adequado a sistemas *single input - single output* (SISO), embora possa ser aplicado, com algumas limitações, a sistemas *multiple input - multiple output* (MIMO).

\ Fig.5.2 mostra um diagrama de blocos que resume a aplicação do método *trial and error* .

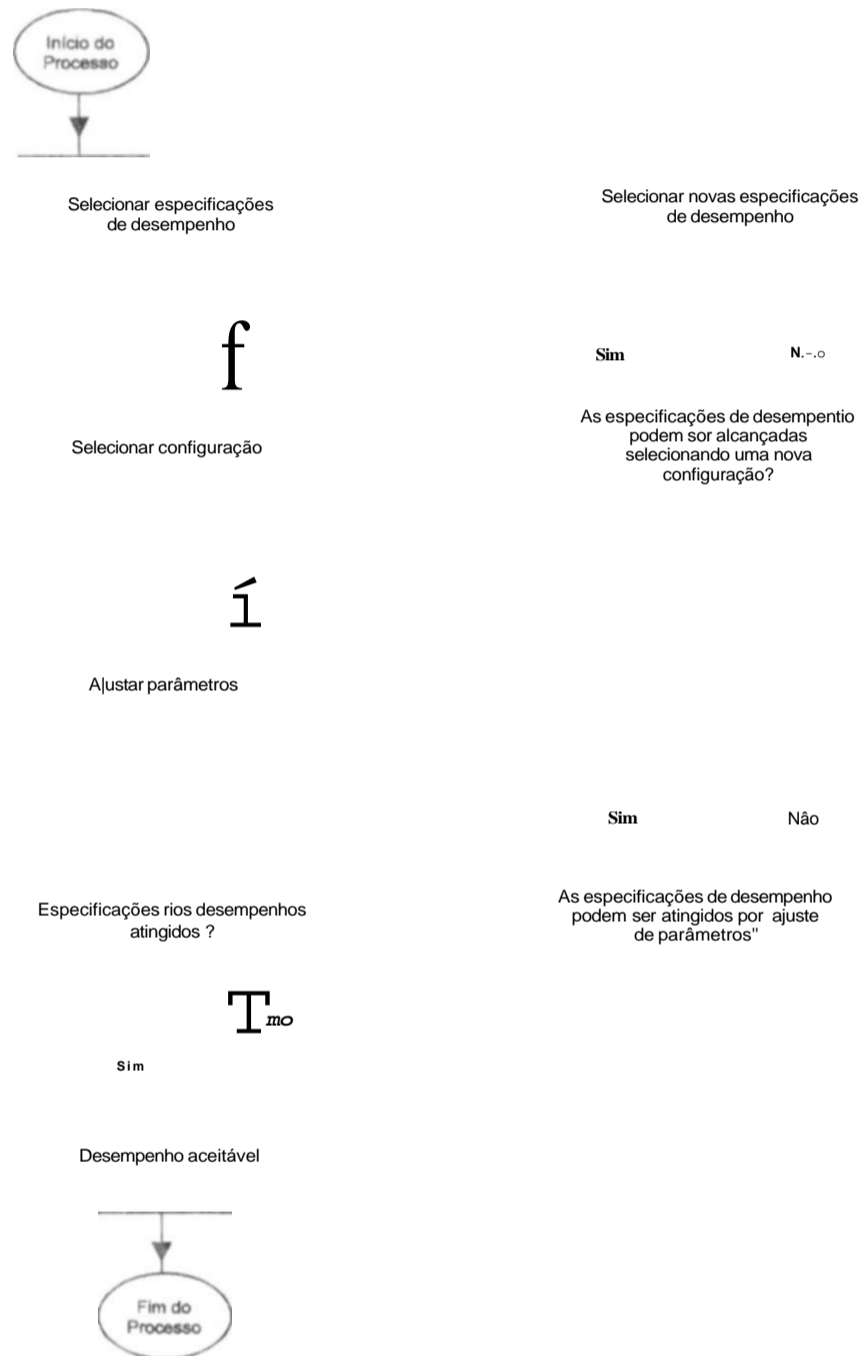


Fig.5.2 Diagrama de blocos representativo do método *trial and error*.

## 5.2 - Estudo da resposta dos CEs a pequenas perturbações

Em grande parte dos casos práticos, as características desejadas de desempenho dos sistemas de controle são especificadas com base em grandezas definidas no domínio do tempo. Tais características são especificadas com base na resposta transitória para uma entrada degrau, com base nos seguintes argumentos:

- A função degrau é um sinal de fácil obtenção em laboratório
- É suficientemente severo quando comparado a outros sinais, permitindo uma boa avaliação da performance do sistema
- Caso seja determinada a resposta a uma entrada degrau, é matematicamente possível calcular a resposta a outros tipos de sinais de entrada
- Existe disponível na literatura grande quantidade de informações sobre este tipo de sinal de entrada.

A resposta transitória de um sistema de controle eventualmente apresenta oscilações amortecidas antes de ser atingido o seu regime permanente e na definição dos seus ajustes, procura-se minimizar a duração de tais oscilações, afastando o sistema da instabilidade.

A semelhança entre a resposta transitória e a entrada degrau é medida através do sobrenível percentual (percentual **overshoot**, PO) e do tempo de estabilização, conforme definido a seguir e indicado na Fig.5.1.

**Percentual overshoot (PO):** é a grandeza que representa o valor de pico da resposta transitória do sistema de controle. Seu valor é uma indicação direta da estabilidade relativa do sistema em estudo [14], [18], sendo calculado, em valores percentuais, pela expressão

$$PO = \frac{C(T_p) - C(\infty)}{C(\infty)} 100, \quad (5.1)$$

onde  $C(f)$  é a resposta transitória do sistema em estudo

**Tempo de pico ( $T_p$ ):** representa o tempo necessário para a resposta transitória atingir seu primeiro pico.

**Tempo de estabilização ( $T_s$ ):** representa o tempo necessário para que a resposta transitória alcance e permaneça dentro de uma faixa em torno do valor final, faixa esta especificada em percentagem do referido valor.

Quando submetido a pequenas perturbações, a experiência mostra que o sistema de controle utilizado nos CEs Milagres e Fortaleza com a realimentação do sistema elétrico pode ser aproximado por um sistema de controle de segunda ordem [14], [16]. Deste modo, foi utilizada a aplicação de steps no sinal de erro na entrada dos sistemas de controle dos CEs ( $A_i$ ) para reavaliação dos ajustes dos parâmetros dos respectivos canais normais, ou seja: ganho proporcional ( $K_p$ ) e constante de tempo ( $\tau$ ). Para tal, partiu-se dos ajustes atualmente implantados e utilizou-se o método "trial and error" anteriormente descrito.

### 5.3 - Aplicação de degraus de tensão no sinal de controle dos CEs

Nesta etapa dos trabalhos, as simulações foram divididas nos seguintes grupos:

#### 5.3.1 - Configuração do sistema elétrico de dezembro/95

As diversas condições simuladas na configuração de dezembro/95 são mostradas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Simulações de aplicação de degrau no sinal de erro na entrada do regulador de tensão dos CEs Fortaleza e Milagres na configuração dezembro/95.

Simulação	CE Fortaleza	CE Milagres	Carga Mínima	Carga Máxima
Degrau CE Fortaleza	Automático	Elemento shunt fixo	*	*
	Automático	Automático	*	*
Degrau CE Milagres	Elemento shunt fixo	Automático	*	*
	Automático	Automático	*	*

Tais simulações tiveram por objetivo explorar os limites máximos dos parâmetros envolvidos, possíveis de serem utilizados em ambos os CEs, sem que seus controles sejam levados à instabilidade. O "ajuste fino" dos referidos parâmetros foi efetuado através das simulações listadas na Seção 5.3.2, onde foram consideradas, inclusive, restrições de natureza operacional, tais como a recomposição do subsistema Norte da CHESF a partir da subestação de Paulo Afonso após um colapso de tensão.

#### 5.3.2 - Configuração do sistema elétrico de dezembro / 96

As diversas condições simuladas na configuração de dezembro/96 são mostradas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Simulações de aplicação de degrau no sinal de erro na entrada do regulador de tensão dos CEs Fortaleza e Milagres na configuração dezembro/96.

Simulação	CE Fortaleza	CE Milagres	Carga Mínima	Carga Máxima	Configuração Mínima (1)	Recomposição (2)
Degrau CE Fortaleza	Automático	Elemento shunt fixo	*	*	-	
Degrau CE Fortaleza	Automático	Automático		*	*	*
Degrau CE Milagres	Elemento shunt fixo	Automático	*	*	-	-
Degrau CE Milagres	Automático	Automático	*		*	*

(1) Carga mínima, configuração de mínima potência de curto circuito em condições normais de operação da rede elétrica

$$i = -\frac{V_m}{\omega L} \cos(\omega t) + \cos a, \quad \frac{-iC - a) + 2nn}{\omega} < / < -\frac{(n-a) + 2mt}{\omega}.$$

, = 0,

$$(\omega - a) \cdot 2 i m \wedge \wedge \xi \dots j m .$$

$$i = \frac{V_m}{\omega L} \cos(\omega t) - \cos a. \frac{a + 2n7i}{\omega} < / \xi \frac{27i - (x + 2nn)}{\omega}$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Para o cálculo da componente fundamental da corrente no reator, expande-se a função periódica dada pela Eq.(3.5) em uma série de Fourier. Notando que a corrente é uma função par na variável  $t$ , com média nula, a série representativa daquela função se reduz à forma.

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega t). \quad (3.6)$$

O coeficiente  $a_k$  é obtido da expressão integral.

$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} i(\omega t) \cos(k\omega t) d(\omega t), \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (3.7)$$

Fazendo  $k=1$  na Eq(3.7), o que corresponde ao cálculo da componente fundamental, tem-se,

$$a_1 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} i(\omega t) \cos(\omega t) d(\omega t). \quad (3.8)$$

Substituindo a expressão dada pela Eq.(3.5) na Eq.(3.8), tem-se,

$$a_1 = -\frac{2V_m}{\pi \omega L} \int_0^{\pi} [\cos(\omega t) + \cos a] \cos(\omega t) d(\omega t) + \int_0^{\pi} [\cos(\omega t) - \cos a] \cos(\omega t) d(\omega t), \quad (3.9)$$

Para o cálculo das integrais do segundo membro da Eq.(3.9), define-se,

com,

$$f_1 = \int_0^{\pi} [\cos^2(\omega t) + \cos a \cdot \cos(\omega t)] d(\omega t), \quad (3.11)$$

$$f_2 = \int_0^{\pi} [\cos^2(\omega t) - \cos a \cdot \cos(\omega t)] d(\omega t), \quad (3.12)$$

(2) Recomposição após um desligamento total do subsistema Norte da CHESF a partir das barras de 230kV da SE Paulo Afonso

Nos modelos empregados para representação dos CEs no ATP, os degraus foram aplicados através das variáveis DEGRAU. SEGAL (CE Fortaleza) e SEGALM (CE Milagres).

### 5.3.3 - Análise das simulações realizadas

As cargas e a impedância de Thévenin equivalente vistas do ponto do sistema onde são aplicados os degraus funcionam como fatores de amortecimento, de modo que, quanto maior a carga e menor a impedância equivalente (maior a potência de curto-circuito), mais estável será o sistema de controle em estudo. Assim, aceita-se um PO máximo de 30% e dois ciclos de oscilações amortecidas em condições de reduzido amortecimento do sistema em estudo, para em condições de elevado amortecimento, obter-se uma resposta criticamente amortecida.

.Além disso, a adequacidade dos ajustes selecionados deve ser testada na configuração de mínima potência de curto-circuito possível de se verificar em condições normais de operação e em condições de recomposição após a ocorrência de um desligamento total do sistema, que representam as situações mais severas do ponto de vista da estabilidade e, caso necessário, reavaliados.

Como estratégia de ajuste, manteve-se a constante de tempo  $T_c$ , no valor atual de 11 msec e variou-se os ganhos proporcionais, para obter-se a resposta desejada, partindo dos maiores atualmente implantados de  $K_p$  (0,40V/V no CE Fortaleza e 1,75V/V no CE Milagres). Com base na metodologia descrita nas Seções 5.1 e 5.2, foram pré-selecionados os valores de 0,70V/V e 2,00V/V respectivamente para os ganhos proporcionais dos CEs Fortaleza e Milagres e partindo de tais valores, foi efetuada a análise descrita nas Seções subseqüentes.

Os Registros 9.1-1 a 4 do Anexo 9.1 mostram os resultados selecionados das simulações para ajuste dos ganhos proporcionais dos CEs Milagres e Fortaleza realizadas em carga mínima, na configuração de mínima potência de curto-circuito.

- a) Considerando os valores de ganho proporcional atualmente implantados (0,40 V/V-CE FTZ e 1,75V/V-CE MLG), a aplicação de degraus no CE Fortaleza produz respostas tendendo para criticamente amortecidas em ambos os CEs, mostrando que sua rapidez de resposta encontra-se aquém da desejada e que o desempenho destes equipamentos pode ser melhorado através da elevação dos seus ganhos proporcionais. A aplicação de degraus no CE Milagres produz respostas tendendo para criticamente amortecidas no CE Fortaleza e respostas com pequeno *overshoot* e rápido amortecimento no CE Milagres.
- b) Elevando-se o ganho proporcional do CE Fortaleza para 0,70V/V e mantendo-se o referido parâmetro do CE Milagres em 1,75V/V, tem-se respostas com pequeno *overshoot* e rápido amortecimento em ambos os CEs, quando é aplicado degrau no CE Fortaleza. Na aplicação de degrau no CE Milagres, tem-se respostas com pequeno *overshoot* e rápido amortecimento no CE Fortaleza e respostas com características sobre-amortecidas, mas com uma oscilação

amortecida superposta para o CE Milagres. Embora tal resposta não se enquadre nas respostas padrão presentes na literatura, seu amortecimento é rápido e não há nenhum sinal de instabilidade.

Os Registros 9.2-1 a 4 mostram os resultados das simulações para ajuste dos ganhos proporcionais dos CEs Milagres e Fortaleza realizadas em carga mínima, na configuração normal.

- a) Considerando os valores de ganho proporcional atualmente implantados, os ensaios de aplicação de degraus de tensão no CE Fortaleza apresentam respostas superamortecidas para os CEs Fortaleza e Milagres, mostrando que a sua rapidez de resposta e, conseqüentemente, o seu desempenho podem ser melhorados através da elevação dos respectivos ganhos proporcionais. Os ensaios de aplicação de degrau no CE Milagres apresentam respostas superamortecidas no CE Fortaleza e com um pequeno **overshoot** mas com uma oscilação de amplitude um tanto quanto elevada no CE Milagres. A resposta do CE Milagres não se enquadra nas respostas padrão dos sistemas de controle definidas pela bibliografia consultada [14], [15], [16], [18] e apesar da amplitude da primeira oscilação ser um pouco elevada, ela é rapidamente amortecida, não havendo qualquer sinal de instabilidade.
- b) Elevando-se o valor do ganho proporcional do CE Fortaleza para 0,70V/V e mantendo o referido parâmetro do CE Milagres em 1,75V/V, tem-se respostas de ambos os compensadores com um pequeno **overshoot** e oscilações rapidamente amortecidas para degrau no CE Fortaleza. Para degrau no CE Milagres, tem-se respostas com pequeno **overshoot** e oscilações rapidamente amortecidas para o CE Fortaleza e respostas similares às encontradas no item a para o CE Milagres.

Os Registros 9.3-1 a 4 mostram os resultados das simulações para ajuste dos ganhos proporcionais dos CEs Milagres e Fortaleza realizadas em carga máxima, na configuração normal de operação. A análise deste grupo de simulações permite que sejam efetuadas as seguintes observações:

- a) Considerando os ajustes atualmente implantados, as simulações de aplicação de tensões degrau no CE Fortaleza produzem respostas fortemente superamortecidas em ambos os compensadores. As simulações de degrau no CE Milagres produzem respostas fortemente superamortecidas no CE Fortaleza e com um pequeno percentual de **overshoot** no CE Milagres. Tais resultados indicam que o desempenho de tais equipamentos pode ser melhorado através da elevação dos seus ganhos proporcionais
- b) Elevando-se os ganhos proporcionais dos CEs Milagres e Fortaleza para, respectivamente, 2,00V/V e 0,70V/V, tem-se, para simulações de step no CE Fortaleza, respostas quase criticamente amortecidas no CE Fortaleza e com um pequeno **overshoot** no CE Milagres. As simulações de step na referência do CE Milagres produzem respostas quase criticamente amortecidas no CE Fortaleza e com percentual de **overshoot** um tanto quanto elevado, mas rapidamente amortecido no CE Milagres. Tais resultados indicam que, com base nas simulações de carga mínima, será necessário promover alterações nos ajustes utilizados neste item das simulações.

- c) Reduzindo-se o ganho proporcional do CE Milagres para o seu valor original, 1,75V/V e mantendo-se o referido parâmetro para o CE Fortaleza em 0,70V/V, tem-se para simulações com entrada degrau no CE Fortaleza, respostas quase criticamente amortecidas para os CEs Fortaleza e Milagres. Simulações de degrau no CE Milagres apresentam resposta quase criticamente amortecida para o CE Fortaleza e com um pequeno *overshoot* para o CE Milagres.

Foram efetuadas também simulações de aplicação de degraus de tensão nos CEs Milagres e Fortaleza considerando a operação em seis pulsos (uma seção fora de operação) dos referidos equipamentos. A razão da realização de tais simulações é que ao ser retirada uma seção de operação, altera-se a admitância equivalente do CE vista da barra de conexão com o sistema elétrico e, como consequência, o ganho global do CE, dado pela relação  $AYEQ(X)/AI/C$ , onde  $YV.Q$  representa a referida admitância equivalente do CE, o que justifica a avaliação do desempenho destes equipamentos em tal situação. Com este objetivo, foram realizadas as simulações descritas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Simulações de aplicação de degrau na tensão de controle dos CEs Milagres e Fortaleza em carga mínima, configuração de mínima potência de curto-circuito, CEs operando em seis

Simulação	CE Fortaleza	CE Milagres	Arquivo ATP	Kr GE Fortaleza (V/V)	K <sub>p</sub> CE Milagres (V/V)
Degrau CE Fortaleza	Automático	Automático	FTMG96M6	0.40	1.75
				0.70	1.75
Degrau CE Milagres	Automático	Automático	MGFT96M6	0.40	1.75
				0.70	1.75

Os resultados das referidas simulações, cujos registros encontram-se no Anexo 9.4, são semelhantes, em termos qualitativos, aos já anteriormente abordados. O uso dos ganhos atuais (0,40V/V-CE Fortaleza e 1,75V/V-CE Milagres) resulta em respostas superamortecidas, enquanto que o uso dos novos ganhos (0,70V/V-CE Fortaleza e 1,75V/V-CE Milagres) resulta em respostas tendendo a criticamente amortecidas, para ambos os CEs. Com este comportamento em carga mínima, configuração mínima, certamente nas demais condições de carga, os compensadores fornecerão respostas superamortecidas, apresentando assim um desempenho aquém do desejado em termos de rapidez de resposta. Como os ganhos selecionados devem atender de modo satisfatório a todas as condições de operação, e inevitável que se sacrifique a rapidez de resposta em determinadas configurações, em prol da estabilidade do controle em outras. Para solucionar este tipo de impasse, teria de ser implementado no sistema de controle dos compensadores um esquema de controle adaptativo, que alterasse o ganho proporcional do canal normal de acordo com as variações da admitância equivalente do CE vista da barra de 230kV de conexão com o sistema elétrico ( $YEQ$ ).

Pelo exposto, à luz das simulações de carga máxima, carga mínima e configuração mínima, apresentam-se como adequados para os CEs Milagres e Fortaleza os ganhos proporcionais iguais a, respectivamente, 1,75V/V e 0,70V/V.

Para comprovar que os valores de ganho proporcional aqui selecionados asseguram um desempenho estável aos compensadores, mesmo em condições extremamente desfavoráveis, como a recomposição da área Norte da CHESF a partir de subestação de Paulo Afonso, após a ocorrência de uma perda total de suprimento àquela região, foi simulada a aplicação de steps nos CEs em tais condições.

As configurações de recomposição caracterizam-se por apresentar reduzidos valores de potência de curto-circuito, ou seja, elevadas impedâncias entre as barras de conexão dos CEs e o principal centro gerador, a barra de Paulo Afonso 230kV. As equações de fluxo de carga em regime permanente senoidal mostram que a variação de tensão num dado nó da rede elétrica devido à manobra de um determinado montante de potência reativa é diretamente proporcional à potência reativa manobrada e inversamente proporcional à potência de curto-circuito calculada naquele nó. Assim, quanto menores as potências de curto-circuito consideradas, como é o caso das configurações de recomposição, maior será a variação de tensão para um montante fixo de potência reativa manobrada e maior será a tendência a instabilidade.

Desta forma, foram efetuadas simulações de aplicação de degraus de tensão no sinal de controle dos CEs Milagres e Fortaleza, considerando os valores de ganho proporcional atualmente implantados (0,4V/V-CE FTZ e 1,75V/V-CE MLG) nas configurações de recomposição descritas na Tabela 5.4.



Tabela 5.4 Configurações de recomposição da area Norte da CHESF a partir de Paulo Afonso 230kV. com base na Fig.4.1.

Configuração	Linhas de Transmissão em Operação	Cargas instaladas
I	01 Paulo Afonso BP1-Bom Nome 01 Paulo Afonso BP2-Milagres 01 Bom Nome-Milagres 01 Milagres-Banabuiu 01 Banabuiu-Fortaleza 01 Fortaleza- Delmiro 230kV	20MVV Fortaleza 69kV 20MW Delmiro 69kV
II	01 Paulo Afonso BP1-Bom Nome 01 Paulo Afonso BP2-Milagres 01 Bom Nome-Milagres 02 Milagres-Banabuiu 02 Banabuiu-Fortaleza 01 Fortaleza- Delmiro 230kV	20MW Fortaleza 69kV 20MW Delmiro 69kV
III	01 Paulo Afonso BP1-Bom Nome 01 Paulo Afonso BP2-Milagres 01 Paulo Afonso BP2-Bom Nome 02 Bom Nome-Milagres 02 Milagres-Banabuiu 02 Banabuiu-Fortaleza 01 Fortaleza-Delmiro 230kV	40MW Fortaleza 69kV 40MW Delmiro 69kV
IV	02 Paulo Afonso BP1-Bom Nome 01 Paulo Afonso BP2-Milagres 01 Paulo Afonso BP2-Bom Nome 02 Bom Nome-Milagres 03 Milagres-Banabuiu 02 Banabuiu-Fortaleza 01 Fortaleza- Delmiro 230kV	50MW Fortaleza 69kV 70MW Delmiro 69kV 130MW repartidas entre as demais subestações da área Norte da CHESF
V	02 Paulo Afonso BP1-Bom Nome 01 Paulo Afonso BP2-Milagres 01 Paulo Afonso BP2-Bom Nome 03 Bom Nome-Milagres 03 Milagres-Banabuiu 03 Banabuiu-Fortaleza 01 Fortaleza-Delmiro 230kV 01 Sobral-Fortaleza 02 Fortaleza-Delmiro 69kV	50MW Fortaleza 69kV 70MW Delmiro 69kV 130MW repartidas entre as demais subestações da área Norte da CHESF
VI	02 Paulo Afonso BP1-Bom Nome 01 Paulo Afonso BP2-Milagres 01 Paulo Afonso BP2-Bom Nome 03 Bom Nome-Milagres 04 Milagres-Banabuiu 03 Banabuiu-Fortaleza 01 Fortaleza-Delmiro 230kV 02 Fortaleza-Delmiro 69kV	50MW Fortaleza 69kV 70MW Delmiro 69kV 130MW repartidas entre as demais subestações da área Norte da CHESF

Os resultados das simulações na configuração 1 são resumidos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Aplicação de degrau de tensão no sinal de controle dos CEs Milagres e Fortaleza na configuração I.

DEGRAU	CE FORTALEZA		CE MILAGRES	
	OPERAÇÃO	RESPOSTA	OPERAÇÃO	RESPOSTA
CE FTZ	Automática	Instável	Automática	Instável
CE FTZ	Automática	Instável	Manual	-x-
CE MLG	Automática	Instável	Automática	Instável
CE MLG	Manual	-x-	Automática	Estável

Através da análise deste grupo de simulações, pode-se concluir que:

- Apenas para valores muito reduzidos de ganho proporcional do CE Fortaleza, da ordem de 0,10V/V, é obtida operação estável com ambos os CEs em automático nesta configuração.
- O uso de tais valores de ganho compromete o desempenho do equipamento, no que diz respeito a sua velocidade de resposta, nas demais condições de operação, inviabilizando o seu emprego.

Na tentativa de eliminar este desempenho indesejável dos compensadores em operação automática, foram repetidas as simulações de aplicação de degraus na tensão de controle destes equipamentos, na configuração II, descrita na Tabela 5.4. Os resultados das simulações na configuração II são resumidas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Aplicação de degrau de tensão no sinal de controle dos CEs Milagres e Fortaleza na configuração II.

DEGRAU	CE FORTALEZA		CE MILAGRES	
	OPERAÇÃO	RESPOSTA	OPERAÇÃO	RESPOSTA
CE FTZ	Automática	Instável	Automática	Instável
CE FTZ	Automática	Instável	Manual	-x-
CE MLG	Automática	Instável	Automática	Instável
CE MLG	Manual	-x-	Automática	Estável

Uma vez que não houve alteração do quadro apresentado na configuração anterior, na tentativa de se determinar a configuração na qual pode-se ter ambos os CEs operando em automático sem risco de instabilidade nos seus controles, prosseguiu-se com as simulações de degraus em tais equipamentos na configuração III descrita na Tabela 5.4. Os resultados das simulações realizadas utilizando-se a referida configuração são resumidas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 Aplicação de degrau de tensão no sinal de controle dos CEs Milagres e Fortaleza na configuração III.

DEGRAU	CE FORTALEZA		CE MILAGRES	
	OPERAÇÃO	RESPOSTA	OPERAÇÃO	RESPOSTA
CE FTZ	Automática	Instável	Automática	Instável
CE FTZ	Automática	Estável	Manual	-x-
CE MLG	Automática	Instável	Automática	Instável
CE MLG	Manual	-x-	Automática	Estável

Conforme pode ser verificado através da análise das simulações apresentadas neste item, o problema de instabilidade é mais pronunciado no CE Fortaleza, que possui maior potência nominal (200MVA contra 100MVA do CE Milagres) e encontra-se mais distante eletricamente da principal fonte geradora (Paulo Afonso 230kV), o que o torna mais sensível a variações de tensão e mais propenso a um comportamento instável. Desta forma, apenas o CE Milagres poderá ser liberado para operação automática na configuração 1 aqui descrita. Nesta situação, o CE Fortaleza só é liberado para operar em manual (sistema de controle bloqueado).

De forma a determinar com segurança a configuração de recomposição onde se pode ter ambos os compensadores operando em automático em condições estáveis, foram efetuadas as simulações a seguir descritas.

Com base em estudos de sobretensão anteriormente realizados, a entrada em operação dos CEs Milagres e Fortaleza é atualmente liberada na configuração IV indicada na Tabela 5.4. Nesta configuração, tem-se comportamento estável com ambos >s CEs em operação automática, considerando os valores dos ganhos proporcionais atualmente implantados (0,4V/V-CE FTZ e 1,75V/V-CE MLG). Os registros das simulações de degrau no CE FTZ na configuração IV, variando-se os ganhos proporcionais dos CEs são resumidos na Tabela 5.8 e mostradas no Anexo 9.5.

A elevação do ganho do CE Fortaleza para 0,60V/V é possível caso a passagem do referido equipamento para automático só se dê com a configuração V descrita na Tabela 5.4. Observa-se, entretanto, que com a abertura da LT Sobral-Fortaleza, tem-se um comportamento instável do sistema em estudo. Para se ter um comportamento estável com a referida LT fora de operação, é necessário reduzir-se o ganho proporcional do CE Fortaleza para 0,50V/V e operar o sistema de transmissão na configuração VI da Tabela 5.4.

Os registros das simulações das simulações na Configuração VI de transmissão acima, com  $K_{FTZ} = 0,60V/V$  e  $K_{MLG} = 1,75V/V$ , com e sem a LT Sobral - Fortaleza, são mostrados no Anexo 9.5. A Tabela 5.8 resume os resultados decorrentes da parametrização dos ganhos proporcionais dos CEs descritos neste item.

Tabela 5.8 Desempenho do sistema de transmissão frente a variações dos ganhos proporcionais dos CEs e da configuração do sistema de transmissão.

Configuração	K, CE Fortaleza (V/V)	K, CE Milagres (V/V)	Desempenho do Sistema
IV	0,4	1,75	Estável
	0,5	1,75	Instável
V	0,6	1,75	Estável
V sem LT Sobral Fortaleza	0,6	1,75	Instável
VI	0,5	1,75	Estável
	0,6	1,75	Instável

Após discussões efetuadas junto aos órgãos de operação da CHESF, chegou-se à conclusão que a presença dos CEs em automático é de grande importância na recomposição do sistema Norte, devido à capacidade de tais equipamentos de combater as sobretensões que existem em um sistema pouco carregado, como é o caso em estudo. Desta forma, optou-se por sacrificar a rapidez de resposta destes equipamentos nas demais condições de operação, para que seja possível tê-los em operação automática já na Configuração IV de recomposição, e para tal, é necessário manter os valores dos ganhos proporcionais em 0,40V/V e 1,75V/V, respectivamente para os CEs Fortaleza e Milagres. Deve ser lembrado que o CE Milagres encontra-se disponível para operação automática já na Configuração I.

Os resultados aqui apresentados mostram que a solução para o compromisso rapidez de resposta versus estabilidade é a adoção de um sistema de controle adaptativo para os CEs Milagres e Fortaleza, de forma que os ganhos proporcionais dos seus canais normais sejam automaticamente variados, de modo a compensar as mudanças ocorridas no sistema de transmissão ou mesmo na configuração dos CEs (operação em 6 e 12 pulsos) Este sistema de controle adaptativo poderia ser implementado, por exemplo, através da medição da impedância equivalente de Thévenin calculada na barra de conexão do CE com o sistema de transmissão e da admitância equivalente do CE conectado àquela barra. Os registros deste grupo de simulações encontram-se no Anexo 9.5.

#### 5.3.4 - Ensaio de campo realizados nos CEs Milagres e Fortaleza

##### 5.3.4.1 - Descrição dos Ensaio

De forma a consolidar os resultados obtidos na Seção 5.3.3. foram efetuados ensaios de aplicação de degraus de tensão no sinal de controle dos CEs Milagres e Fortaleza em condições de carga leve e carga média, considerando os ajustes atualmente implantados para os ganhos proporcionais dos CEs Milagres e Fortaleza, respectivamente 1,75V/V e 0,40V/V. Devido às variações de tensão provocadas pela aplicação dos degraus, não foi liberada pelos órgãos de operação da CHESF a realização de ensaios de aplicação de degraus em carga pesada. Foram realizados, nesta etapa dos trabalhos, os ensaios indicados nas Tabelas 5.9 e 5.10.

Tabela 5.9 Ensaios de aplicação de degrau de  $\pm 5\%$  na tensão de controle dos CEs Milagres e

Ensaio	Local	LT Sobral-Fortaleza	LT Paulo Afonso <b>BP1</b> -Milagres
1	CE Fortaleza	Conectada	Conectada
3	CE Fortaleza	Conectada	Desconectada
4	CE Milagres	Conectada	Desconectada
5	CE Fortaleza	Desconectada	Desconectada
6	CE Milagres	Desconectada	Desconectada

Tabela 5.10 Ensaios de aplicação de degrau de  $\pm 5\%$  na tensão de controle dos CEs Milagres e

Ensaio	Degrau	LT Sobral-Fortaleza	LT Paulo Afonso <b>BP1</b> -Milagres
2	CE Fortaleza	Desconectada	Conectada
3	CE Milagres	Desconectada	Conectada
4	CE Fortaleza	Conectada	Conectada

Além disso, foi realizado também em carga média o ensaio de manobra (inserção) de um banco de capacitores de 20,4MVar/69kV na SE Fortaleza, LT Sobral-Fortaleza desconectada e LT Paulo Afonso BP1-Milagres conectada, denominado ensaio número I da carga média.

Foram supervisionadas através de oscilógrafo externo as seguintes grandezas referentes aos compensadores de Milagres e Fortaleza:

- Sinal de erro na entrada do controlador PI
- Sinal de saída do canal normal
- Sinal do degrau aplicado
- Tensão da barra de 230 kV das SEs Fortaleza e Milagres (fase a)

A seguir, é efetuada a análise dos resultados dos referidos ensaios.

#### 5.3.4.2 - Análise dos resultados

##### **Caso í: Carga leve**

- Aplicação de degraus de tensão no sinal de controle do CE Fortaleza (1.3.5)

O elevado nível de *ripple* presente nos sinais do CE Fortaleza não é real, conforme verificado em medições efetuadas com osciloscópio, mas devidas ao uso de cabos não adequadamente blindados, que trazem os respectivos sinais do painel do regulador de tensão do CE Fortaleza ao oscilógrafo instalado para a realização dos ensaios. Os registros comprovam a adequada coordenação entre os dois compensadores, que apresentam respostas com característica sobreamortecida. O nível de amortecimento observado nos registros apresenta-se superior ao presente nas simulações, o que, em termos qualitativos, é esperado, pois no sistema elétrico real há vários fatores de amortecimento, tais como fatores de qualidade de reatores e capacitâncias parasitas, além da própria característica da carga, difíceis de modelar com exatidão em uma

simulação digital. A manobra das linhas Paulo Afonso BP1-Milagres e Fortaleza-Sobral praticamente não influencia a resposta dos CEs na configuração utilizada para a realização dos ensaios.

Ratifica-se aqui a importância de se dispor de um esquema de controle adaptativo que varie o ganho dos CEs de acordo com a configuração do sistema, uma vez que as suas respostas encontram-se sobreamortecidas já em carga leve, sugerindo que em carga máxima, sua rapidez de resposta encontra-se bastante aquém do desejado.

- Aplicação de degraus de tensão no sinal de controle do CE Milagres(4.6)

São ratificadas as constatações realizadas durante os ensaios de aplicação de degrau no CE Fortaleza, no que diz respeito ao *ripple* presente nos sinais, amortecimento, influência das manobras efetuadas e rapidez de resposta dos CEs. As respostas dos referidos equipamentos apresentam característica sobreamortecida. embora no sinal de saída do CE Milagres se verifique a presença de uma oscilação rapidamente amortecida superposta ao sinal sobreamortecido, conforme verificou-se nas simulações da Seção 5.3. Este fato fortalece a convicção de que o modelo desenvolvido para o ATP reproduz adequadamente o comportamento dos compensadores estáticos reais.

#### **Caso 2: Carga média**

- Aplicação de degraus de tensão no sinal de controle do CE Fortaleza(2,4)

São ratificadas as constatações efetuadas durante a realização dos ensaios em carga leve.

- Aplicação de degraus de tensão no sinal de controle do CE Milagres (3)

São ratificadas as constatações efetuadas durante a realização dos ensaios em carga leve. Mais uma vez, verifica-se a presença de uma oscilação rapidamente amortecida superposta à resposta sobreamortecida do CE Milagres, tal como se dá nas simulações da Seção 5.3.

- Ensaio de inserção de banco de capacitores na SE Fortaleza (I)

O impacto desta manobra é bastante reduzido na SE Fortaleza e, por maioria de razão, na SE Milagres. Mesmo assim, os registros mostram a ação dos CEs atuando no sentido de compensar as variações transitórias de tensão provocadas pela inserção do banco de capacitores. Ratifica-se aqui o fato de a rapidez de resposta dos compensadores encontrar-se aquém do desejado.

Os registros dos ensaios realizados considerados mais relevantes encontram-se no Anexo 9.8.

#### **5.4 - Resposta dos CEs a Grandes Perturbações**

resultando em.

$$\begin{aligned}
 & \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2} + \cos a \int \cos(\omega t) dt \\
 & \frac{\sin[2(\omega t - a)]}{2\omega} + \cos a \sin(\omega t - a) \\
 & \frac{\sin(2a)}{2\omega} + \cos a \sin a, \\
 & \omega t - a \quad \sin(2a)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AS & \int \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2} dt - \cos a \int \cos(\omega t) dt \\
 TE & - a \sin(2a) \quad \cos a \sin a, \\
 \hat{I}_2 & = \frac{K - a \sin(2a)}{2} +
 \end{aligned}$$

Utilizando os resultados obtidos para  $\hat{I}_2$  na Eq.(3.10), obtém-se,

$$\hat{I}_2 = \frac{1}{\omega} [2(\omega t - a) + \sin(2a)], \quad (3.11)$$

e a dependência temporal da componente fundamental da corrente no reator e da forma.

$$f_1(t) = \hat{I}_1 \cos(\omega t - a), \quad (3.12)$$

com.

$$\hat{I}_1(a) = \frac{2(\omega t - a) + \sin 2a}{2\omega} \quad (3.13)$$

O parâmetro  $\hat{I}_1(a)$  dado pela Eq.(3.13) representa o valor relativo do módulo da componente fundamental da corrente no reator com respeito ao valor  $\hat{I}_1(0)$ , este último correspondendo à amplitude da corrente que seria obtida para um ângulo de disparo  $a = \omega t / 2$ .

Considerando por um momento a resposta do circuito com respeito apenas a componente fundamental e notando que os fasores representativos da tensão de entrada e da componente

#### 5.4.1 - Reavaliação dos ajustes do canal rápido

Inicialmente foi testada a ação do canal rápido do CE Fortaleza em simulações de curto-circuitos no 69kV da SE Fortaleza e eliminação do defeito com rejeição total da carga desta barra, o que provoca o surgimento de sobretensões pós-defeito. De forma a aumentar o grau de severidade das simulações, optou-se por desativar o esquema de bloqueio por subtensão e o circuito inicializador do controlador PI.

Foram realizadas as simulações indicadas na Tabela 5.11 na configuração correspondente a dezembro de 1996. todas com ambos os CEs representados de maneira completa:

Tabela 5.11 Simulações de grandes perturbações efetuadas para reavaliação dos parâmetros do canal rápido do CE Fortaleza.

Ensaio	Carga	Arquivo ATP	Eliminação
Curto-circuito monofásico a terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Máxima	FTMG96P8	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito bifásico à terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Máxima	FTMG96P5	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito trifásico a terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Máxima	FTMG96P2	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito bifásico a terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Mínima	TMG96L2	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito trifásico à terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Mínima	FTMG96L3	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito trifásico a terra cm linha Banabuiu-Fortaleza 230kV. terminal Fortaleza, duração 200mseg	Máxima	CC23F96P	Abertura da linha onde se deu o defeito
Curto-circuito bifásico a terra cm linha Banabuiu-Fortaleza 230kV. terminal Fortaleza, duração 200mseg	Máxima	CC22F96P	Abertura da linha onde se deu o defeito

Ao longo das simulações de curto-circuito no 69kV de Fortaleza, variou-se a banda morta do canal rápido do CE Fortaleza de  $\pm 3,0V$ , passando por  $\pm 1,5V$  (valor atualmente implantado) e chegando a  $\pm 1,2V$ , tendo este procedimento mostrado que a ação do canal rápido provoca uma pequena redução nas sobretensões pós-defeito; esta contribuição altera-se muito pouco quando se varia o ajuste da banda morta no intervalo compreendido entre 1,5V e 1,2V.

Em seguida, alterou-se o ajuste do limite indutivo do canal rápido de -0,9V (valor atualmente implantado) para -1,8V, observando-se que não houve alteração significativa na contribuição desta malha de controle para a redução das sobretensões pós-defeito. Tal fato se justifica pela filosofia de operação do canal rápido, que atua com base na taxa de variação do seu sinal de entrada.



Foi também testada a ação do canal rápido em simulações de defeito em linhas de 230kV. também indicadas na Tabela 5.11, eliminados com abertura das linhas em defeito, dando origem a subtensões pos-falta, com o objetivo de verificar se a atuação deste canal não dificulta a recuperação das tensões na eliminação do defeito. A análise das referidas simulações permitiu efetuar as seguintes constatações:

- Nas simulações onde há subtensão na eliminação da falta, o canal rápido atua com a tensão ainda muito baixa e se recuperando. Isto se dá porquê embora sua amplitude esteja baixa, sua derivada é alta, levando o canal rápido a operar no seu limite indutivo com a tensão ainda em processo de recuperação, o que pode dificultar o seu crescimento.
- Verifica-se alguma dificuldade em coordenar a atuação conjunta de duas malhas de controle com filosofias diferentes, o canal normal, proporcional-integral e o canal rápido, proporcional-derivativo. Optou-se então por priorizar a ação do canal normal, que possui maior precisão e tempo de resposta adequado às necessidades do sistema elétrico.
- Desta forma, optou-se por manter os atuais ajustes do canal rápido, mantendo a ação do mesmo bastante limitada, uma vez que a alteração dos seus valores apresentou mínimos benefícios em simulações de defeitos com sobretensão e desvantagens em simulações de defeitos com subtensão.
- Para reduzir a probabilidade de o canal rápido atuar dificultando a recuperação da tensão na eliminação de defeitos, optou-se por manter o bloqueio pela lógica de subtensão atuando também sobre a referida malha de controle.
- Tais conclusões, com exceção da última, são aplicadas também ao CE Milagres.

#### **5.4.2 - Reavaliação da Filosofia de Atuação e Ajustes da Lógica de Subtensão e do Circuito Inicial/ador do Controlador PI**

##### **5.4.2. J - C Fortaleza**

De forma a se adquirir maior sensibilidade com relação ao comportamento das tensões da área de Fortaleza em condições de defeito, iniciou-se este grupo de simulações com a aplicação de defeitos no 69kV da SE Fortaleza eliminados com rejeição de 50% e 70% da carga desta barra. Entretanto, devido ao baixo grau de severidade encontrado em tais casos, decidiu-se efetuar a análise apenas com base nas simulações que contemplavam rejeição de 100% da carga de Fortaleza. Tais simulações são descritas na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 Simulações de grandes perturbações efetuadas para reavaliação da filosofia de atuação e ajustes do esquema de bloqueio por subtensão e do circuito inicializador do controlador

Simulação	Carga	Arquivo ATP	Eliminação
Curto-circuito trifásico a terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Máxima	FTMG96P2	Rejeição total carga e retirada de dois bancos de capacitores 69kV Fortaleza
Curto-circuito bifásico à terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Máxima	FTMG96P5	Rejeição total carga e retirada de dois bancos de capacitores 69kV Fortaleza
Curto-circuito monofásico a terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Máxima	FTMG96P8	Rejeição total carga e retirada de dois bancos de capacitores 69kV Fortaleza
Curto-circuito monofásico a terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Mínima	FTMG96L1	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito bifásico a terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Mínima	FTMG96L2	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito trifásico à terra 69kV Fortaleza duração 200mseg	Mínima	FTMG96L3	Rejeição total carga Fortaleza
Curto-circuito trifásico à terra em linha Banabuiu-Fortaleza 230kV. terminal Fortaleza, duração 200mseg	Máxima	CC23F96P	Abertura da linha onde se deu o defeito
Curto-circuito bifásico à terra em linha Banabuiu-Fortaleza 230kV. terminal Fortaleza, duração 200mseg	Máxima	CC22F96P	Abertura da linha onde se deu o defeito
Curto-circuito trifásico a terra 69kV Delmiro Gouveia duração 200mseg	Máxima	CC63D96P	Rejeição total carga Delmiro Gouveia
Curto-circuito bifásico à terra 69kV Delmiro Gouveia duração 200mseg	Máxima	CC62D96P	Rejeição total carga Delmiro Gouveia
Curto-circuito trifásico a terra em linha Sobral-Fortaleza duração 200mseg	Máxima	CC23S96P	Abertura da linha onde se deu o defeito

O desempenho dos CEs Milagres e Fortaleza durante tais simulações é comentado nas seções subsequentes e resumido na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 Resumo do desempenho dos CEs Milagres e Fortaleza em simulações de curto-circuito no 09kV de Fortaleza em carga máxima.

Arquivo ATP	CE	Bloqueio Subtensão	Circuito Inicializador do PI	Operação Durante Defeito	Ponto de Operação Após Defeito	Atuação Limitador Corrente (ILIM)	Tensão de Erro com Atuação ILIM (V)
<b>FTMG96P5</b>	Fortaleza	Ativado	Ativado	OMVAr	Limite Indutivo	Sim	1,20
	Milagres	Ativado	Ativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Não	0,1835
	Fortaleza	Desativado	Ativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Sim	1,20
	Milagres	Ativado	Ativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Não	0,1835
	Fortaleza	Desativado	Desativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Sim	1,20
	Milagres	Ativado	Ativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Não	0,1835
<b>FTMG96P2</b>	Fortaleza	Ativado	Ativado	OMVAr	Limite Indutivo	Sim	1,20
	Milagres	Ativado	Ativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Não	0,1835
	Fortaleza	Desativado	Ativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Sim	1,23
	Milagres	Ativado	Ativado	Limite Capacitivo	Limite Indutivo	Não	0,1758

A seguir, é efetuada uma análise detalhada das referidas simulações, bem como do desempenho dos CEs Milagres de Fortaleza.

- Arquivo FTMG96P5:

a) Esquema de bloqueio por subtensão e circuito inicializador do controlador PI ativados

CE Fortaleza: Durante o período de aplicação do defeito, desloca-se para OMVAR. devido a atuação do esquema de bloqueio por subtensão. Após a eliminação do defeito, o sinal de saída do controlador PI (SAIPI) apresenta um pequeno pico capacitivo e em seguida desloca-se para o limite indutivo, na tentativa de anular o sinal de erro na sua entrada, que se estabelece devido à sobretensão de rejeição de carga. Em seguida, o sinal de erro é reduzido pela ação do CE, que permanece no limite indutivo até que ocorre a atuação do circuito limitador de corrente, reduzindo sua potência reativa indutiva. Nesta situação, surge um sinal de erro no regulador de tensão, que corresponde a uma sobretensão sustentada, a ser eliminada através da atuação das proteções da SE Fortaleza, uma vez que foram utilizados todos os recursos disponíveis em ambos os CEs.

CE Milagres: Durante o defeito, desloca-se para o limite capacitivo, mas como esperado, não consegue anular o sinal de erro na sua entrada. Na eliminação do defeito, desloca-se para o limite indutivo, com o objetivo de combater as sobretensões decorrentes da eliminação do defeito em Fortaleza. Em seguida, o sinal de erro é anulado e o sinal de saída desloca-se para um ponto

de operação medianamente indutivo, até que ocorre a atuação do circuito limitador de corrente do CE Fortaleza. Nesta situação, o CE desloca-se para o limite indutivo, mas não consegue anular totalmente o erro na sua entrada, o que se dará através da atuação de proteções na subestação de Fortaleza.

- b) Esquema de bloqueio por subtensão desativado e circuito inicializador do controlador PI ativado

CE Fortaleza: Durante o defeito, desloca-se para o limite capacitivo, na tentativa de reduzir o afundamento de tensão decorrente da falta, o que não impede o surgimento de um elevado sinal de erro na entrada do controlador PI, devido ao efeito analisado na Seção 4.3.8. Na eliminação do defeito, o CE encontra-se no seu limite capacitivo e a sobretensão decorrente da rejeição de carga provoca o surgimento de disparos protetivos nas válvulas de tiristores e, como consequência, a atuação do circuito inicializador do controlador PI, que atua conforme descrito na Seção 4.3.9. A partir daí, o CE FTZ desloca-se para seu limite indutivo, na tentativa de combater as sobretensões decorrentes da eliminação da falta, mas mesmo permanecendo neste limite, não consegue fazê-lo integralmente, ocorrendo o surgimento de uma pequena sobretensão sustentada. Em seguida, ocorre a atuação do circuito limitador de corrente, que reduz a potência reativa indutiva do CE, provocando um aumento na sobretensão sustentada, que deveria ser eliminada através da atuação de proteções da subestação, uma vez que foram utilizados todos os recursos de ambos os CEs.

CE Milagres: Durante o defeito, desloca-se para o limite capacitivo, mas como esperado, não consegue anular o sinal de erro na sua entrada. Na eliminação do defeito, desloca-se para o limite indutivo para combater as sobretensões decorrentes da sua eliminação. Em seguida, o sinal de erro é anulado e o CE desloca-se para um ponto de operação medianamente indutivo, até que ocorre a atuação do circuito limitador de corrente do CE Fortaleza. Nesta situação, o CE desloca-se para o limite indutivo, mas não consegue anular totalmente o erro na sua entrada, o que se dará através da atuação de proteções na subestação de Fortaleza

- c) Esquema de bloqueio por subtensão e circuito inicializador do controlador PI desativados

O desempenho dos CEs é bastante similar ao da situação descrita no item b. Observa-se que não há nenhum sinal de instabilidade nas tensões nem de oscilação entre o circuito limitador de corrente e o esquema de disparo protetivo, ao contrário do que se verificou no estudo de TNA realizado no CEPTEL e que considerando-se ativado o esquema de bloqueio por subtensão, obtém-se uma pequena redução nos picos de sobretensão na eliminação do defeito.

- Arquivo FTMG96P2

- a) Esquema de bloqueio por subtensão e circuito inicializador do controlador PI ativados

CE Fortaleza: Durante o defeito, desloca-se para OMVAR, devido à atuação do esquema de bloqueio por subtensão. Após a eliminação do defeito, a saída do controlador PI apresenta um pequeno pico capacitivo e em seguida desloca-se para o limite indutivo, na tentativa de anular o sinal de erro na sua entrada, que se estabelece devido à sobretensão de rejeição de carga. Em seguida, o sinal de erro é reduzido e o CE permanece no limite indutivo até que ocorre a atuação

do circuito limitador de corrente, reduzindo a sua potência reativa indutiva e provocando o surgimento de uma sobretensão sustentada, que deverá ser eliminada através da atuação de proteções da subestação, uma vez que foram utilizados todos os recursos de ambos os CEs.

CE Milagres: Durante o defeito, desloca-se para o limite capacitivo. mas, conforme esperado, não consegue anular o sinal de erro na sua entrada. Na eliminação do defeito, desloca-se para o limite indutivo, para combater as sobretensões decorrentes da sua eliminação em Fortaleza, que produzem um sinal de erro na sua entrada. Em seguida, o sinal de erro é anulado e o CE desloca-se para um ponto de operação medianamente indutivo, até que ocorre a atuação do circuito limitador de corrente do CE Fortaleza, provocando o surgimento de uma sobretensão sustentada, que será eliminada através de atuação de esquemas de proteção, uma vez que foram utilizados todos os recursos disponíveis em ambos os CEs.

b) Esquema de bloqueio de subtensão desativado e circuito iniciador do controlador PI ativado

CE Fortaleza: Durante o defeito, desloca-se para o limite capacitivo para reduzir o afundamento de tensão provocado pela falta, o que não impede o surgimento de um elevado sinal de erro na sua entrada, devido ao efeito analisado na Seção 4.3.8. Na eliminação do defeito, o CE encontra-se no seu limite capacitivo. a sobretensão decorrente da rejeição de carga provoca o surgimento de disparos protetivos nas válvulas de tiristores e, como consequência, a atuação do circuito iniciador do controlador PI, que atua conforme descrito na Seção 4.3.9. A partir daí. o CE desloca-se para o limite indutivo para combater as sobretensões decorrentes da eliminação da falta, mas mesmo lá permanecendo, surge uma pequena sobretensão sustentada. Em seguida, ocorre a atuação do circuito limitador de corrente, que reduz a potência reativa indutiva do CE. provocando um aumento na sobretensão sustentada, que será eliminada através da atuação de proteções da subestação, pois já foram utilizados todos os recursos disponíveis em ambos os CEs.

CE Milagres: Durante o defeito, desloca-se para o limite capacitivo. mas, conforme já comentado, não consegue anular o sinal de erro na sua entrada. Na eliminação do defeito, o CE desloca-se para o limite indutivo para combater as sobretensões decorrentes da eliminação do defeito em Fortaleza, que produzem um sinal de erro na entrada do controlador PI. Em seguida, o sinal de erro é anulado e o CE desloca-se para um ponto de operação medianamente indutivo, até que ocorre a atuação do circuito limitador de corrente do CE Fortaleza. Nesta situação, o CE desloca-se para o limite indutivo, mas não consegue anular totalmente o erro na sua entrada, dando origem a uma sobretensão sustentada, a ser eliminada através da atuação de proteções da SE Fortaleza.

Resumindo, verifica-se que o desempenho dos CEs aqui descrito é bastante próximo do verificado no caso anterior. Similarmente a simulação de curto bifásico. não há nenhum sinal de instabilidade nem de oscilação entre o circuito limitador de corrente e o esquema de disparo protetivo, ao contrário do que se verificou no estudo de TNA realizado no CEPEL. Além disso, considerando-se ativado o esquema de bloqueio por subtensão, obtém-se uma pequena redução nos picos de sobretensão decorrentes da eliminação do defeito

- Arquivo FTMG96P8:

Os resultados das simulações de aplicação de curto monofásico no 69kV da SE Fortaleza são, em termos qualitativos, idênticos aos registrados nas Seções anteriores. Em termos quantitativos, as subtensões registradas durante a aplicação do defeito e as sobretensões registradas na sua eliminação são ligeiramente inferiores às das simulações de curto bifásico e trifásico, devido ao menor grau de severidade apresentado pelo defeito monofásico. São ratificadas, desta forma, as conclusões anteriores.

A Tabela 5.14 exhibe os valores máximos de sobretensão registrados nas simulações analisadas nesta Seção.

Tabela 5.14 Valores máximos de sobretensão registrados nas simulações de curto-circuito no 69kV da SE Fortaleza em carga máxima.

	1 TMG96P2 (H)				FTMG96P5(2<O				IFMC196P8(1{>)			
	Vsub" ON		Vsub OFF		Vsub ON		Vsub OFF		Vsub ON		Vsub OFF	
Nível de tensão (kV)	230	69	230	69	230	69	230	69	230	69	230	69
Pico de tensão máximo <sup>b</sup>	1.51	1.86	1.65	1.99	1.52	1.77	1.70	1.99	1.52	1.68	1.68	1.87
Tensão regime pós-defeito <sup>b</sup>	1.094	1.14	1.088	1.13	1.084	1.13	1.084	1.13	1.077	1.13	1.075	1.13
Tensão regime com atuação IL1M <sup>b c</sup>	1.23	1.30	1.23	1.29	1.23	1.29	1.24	1.29	1.23	1.29	1.23	1.27

<sup>a</sup> Vsub = Esquema de bloqueio por subtensão

<sup>b</sup> Valores normalizados

<sup>c</sup> IL1M = Circuito limitador de corrente

As simulações de aplicação de defeitos em carga mínima apresentam comportamento similar, em termos qualitativos, as de carga máxima. Em termos quantitativos, os valores das sobretensões pós-defeito são inferiores aos desta última, devido aos menores montantes de carga rejeitada e à menor quantidade de elementos de compensação reativa shunt em operação. Ficam ratificadas, desta forma, as conclusões dos itens anteriores. Os valores máximos de sobretensão registrados são mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.15 Valores máximos de sobretensão registrados nas simulações de curto-circuito no 69k V da SE Fortaleza em carga mínima.

	FTMG96L1(1<D>)				FTMG96L2(26)				FTMG96L3(4<D>)			
	Vsub UN		Vsub OFF		Vsub ON		Vsub OFF		Vsub ON		Vsub OIT	
Nível de tensão (kV)	230	69	210	69	230	69	230	69	230	69	230	69
Pico de tensão máximo <sup>1</sup>	1.466	1.66	1.627	1.807	1.602	1.60	1.752	1.807	1.573	1.53	1.778	1.775
Tensão regime pós-defeito <sup>2</sup>	1.026	1.042	1.026	1.042	1.026	1.065	1.026	1.065	1.026	1.058	1.026	1.058
Tensão regime com atuação ILIM <sup>3</sup>	1.094	1.123	1.094	1.123	1.094	1.130	1.094	1.13	1.094	1.123	1.094	1.123

<sup>1</sup> Valores normalizados

- Arquivo CC22F96P

a) Esquema de bloqueio por subtensão ativado

**CE Fortaleza:** Antes da aplicação do defeito, opera num ponto medianamente capacitivo. Durante o defeito, opera em OMVAR e na eliminação, desloca-se no sentido capacitivo, anula o sinal de erro na sua entrada e passa a operar num ponto mais capacitivo que o registrado antes da falta, para compensar a saída da linha.

**CE Milagres:** Antes do defeito, opera num ponto medianamente capacitivo. Durante o período do defeito, não atua o esquema de bloqueio por subtensão. desloca-se para o limite capacitivo. mas não consegue anular o sinal de erro na sua entrada, conforme já discutido nas seções anteriores. Na eliminação da falta, surge um pequeno sinal de erro no sentido de sobretensão, que é rapidamente anulado pelo sistema de controle, passando o CE a operar em regime permanente pos-defeito num ponto mais capacitivo que o registrado antes da falta para compensar o desligamento da linha.

b) Esquema de bloqueio por subtensão desativado

**CE Fortaleza:** Durante o defeito, desloca-se para o limite capacitivo, mas não consegue contribuir de modo efetivo para a redução do sinal de erro, conforme já discutido nos itens anteriores. Na eliminação da falta, seu desempenho é idêntico ao da simulação com o esquema de bloqueio por subtensão ativado.

**CE Milagres:** Antes, durante e após a eliminação da falta, apresenta comportamento similar ao da simulação com o esquema de bloqueio por subtensão ativado.

- Arquivo CC23F96P

Em termos qual Uivos, tais simulações apresentam resultados similares as de curto bifásico a terra, analisadas anteriormente. Devido a natureza da falta, os afundamentos de tensão

registrados durante o período de aplicação do curto-circuito são ligeiramente superiores aos do caso de defeito trifásico, o que em nada modifica, também em termos qualitativos, o desempenho dos CEs.

Pelo exposto, optou-se por, a priori, manter ativado o esquema de bloqueio do CE Fortaleza pelo esquema de subtensão, uma vez que o mesmo em nada prejudica a recuperação da tensão na eliminação de faltas com perda de linha de transmissão e contribui para uma pequena redução das sobretensões de eliminação de faltas com rejeição de carga.

Quanto ao circuito inicializador do controlador PI do CE Fortaleza, as simulações realizadas ao longo deste trabalho mostram que o mesmo não é mais necessário, pois a instabilidade verificada nas simulações realizadas no estudo em simulador analógico realizado no CEPEL que motivaram a sua instalação, em nenhum dos casos aqui simulados se verificou. Optou-se assim por sua desativação.

A seguir, é efetuada a reavaliação dos valores dos ajustes atualmente implantados no esquema de bloqueio de subtensão do CE Fortaleza. A decisão aqui tomada de manter ativado o referido esquema será reavaliada no Capítulo 6 deste trabalho, onde será considerado o comportamento dinâmico da carga de Fortaleza.

Para a reavaliação dos ajustes atualmente implantados no esquema de bloqueio por subtensão do CE Fortaleza, foram efetuadas as simulações de aplicação de defeitos nas proximidades da SE Fortaleza, descritas na Tabela 5.12 e identificadas pelos arquivos ATP CC23S96P, CC63D96P e CC62D96P. Os valores de tensão na Subestação Fortaleza obtidos durante a aplicação dos curto-circuitos são indicados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 Tensões em valores normalizados na subestação Fortaleza durante a aplicação de curto-circuitos remotos.

Caso	V 69kV fase-neutro	V 230kV fase-neutro	V 230kV fase-fase
CC23S96P	0,85	0,85	0,85
CC63D96P	0,15	0,33	0,33
CC62D96P	0,22	0,34	0,36

O primeiro grupo de simulações apresentou reduzido grau de severidade, com afundamentos de tensão insignificantes na SE Fortaleza, não se prestando para a definição dos níveis de atuação do esquema de bloqueio por subtensão do CE Fortaleza.

Deseja-se que, devido ao seu reduzido grau de severidade para a subestação de Fortaleza, não haja, no segundo e terceiro grupos de simulação, atuação do esquema de bloqueio de subtensão do CE Fortaleza.

Desta forma, para que não haja atuação do esquema de subtensão do CE Fortaleza em tais situações, foi adotada na definição dos ajustes, uma margem de segurança de 20%, o que resultou nos ajustes a indicados na Tabela 5.17 para o referido esquema.



Tabela 5.17 Níveis de atuação do esquema de bloqueio por subtensão do CE Fortaleza em valores normalizados.

	V 69kV fase-neutro	V 230kV fase-neutro	V 230kV fase-fase
Valor anterior	0.50	0.50	0.50
Valor recomendado	0.12	0,25	0.25

Os registros das simulações analisadas nesta seção encontram-se no Anexo 9,6.

#### 5.4.2.2-CE Milagres

Com base na sensibilidade adquirida nas simulações efetuadas para definição dos ajustes do CE Fortaleza e fazendo as devidas adequações à realidade do CE Milagres, considerou-se desnecessária a realização de simulações com rejeição de 70% e 50% da carga do 69kV da SE Milagres. As simulações efetuadas para definição dos ajustes do CE Milagres são listadas na Tabela 5.18, já considerando-se implantados os ajustes definidos na Seção 5.4.2.1 para o CE Fortaleza.

Tabela 5.18 Simulações de grandes perturbações efetuadas para reavaliação da filosofia de atuação e ajustes do esquema de bloqueio por subtensão e do circuito inicializador do controlador

Simulação	Carga	Arquivo ATP	Eliminação
Curto-circuito trifásico à terra 69kV Milagres duração 200mseg	Máxima	MGFT96P2	Rejeição total carga Milagres
Curto-circuito bifásico á terra 69kV Milagres duração 200mseg	Máxima	MGFT96P5	Rejeição total carga Milagres
Curto-circuito monofásico à terra 69kV Milagres duração 200mseg	Máxima	MGFT96P8	Rejeição total carga Milagres
Curto-circuito trifásico à terra em linha Paulo Afonso-Milagres 230kV. terminal Milagres, duração 200mseg	Máxima	CC23M96P	Abertura da linha onde se deu o defeito
Curto-circuito bifásico à terra em linha Paulo Afonso-Milagres 230kV. terminal Milagres, duração 200mseg	Máxima	CC22M96P	Abertura da linha onde se deu o defeito

Anteriormente à conclusão deste trabalho tinha-se implantados no esquema de bloqueio por subtensão do CE Milagres os seguintes ajustes, definidos durante o estudo de TNA realizado no CEPEL em 1987:

Lógica de subtensão 230kV fase-fase: bloqueio do CE a partir de 0,5

Lógica de subtensão 230kV fase-terra: bloqueio do CE a partir de 0,5

Considerando tais ajustes, não há atuação dos referidos esquemas durante as simulações de curto-circuito monofásico, bifásico à terra e trifásico à terra no 69kV com rejeição de 100% da carga do 69kV, fazendo com que o CE Milagres opere no limite capacitivo, sem, como já discutido, contribuir para minimizar o impacto do defeito durante o intervalo de sua aplicação. Na

fundamental da corrente, são respectivamente,  $V = -jV_{ei} = -\frac{V}{\omega L} \sin(\alpha)$ , a admitância de entrada e dada por,

$$Y = \frac{I}{V} = \frac{\sin(\alpha)}{\omega L} \quad (3.14)$$

Definindo o parâmetro  $Y(\alpha)$  como sendo a admitância normalizada com respeito aquela que seria obtida para uma indutância ou seja,

$$Y(\alpha) = \frac{I}{I_0} = \frac{\sin(\alpha)}{\omega L} \cdot \frac{\omega L}{1} = \sin(\alpha) \quad (3.15)$$

o uso das Eqs.(3.13), (3.14) e (3.15) fornece,

$$r(\alpha) = \frac{1}{\sin(\alpha)} \quad (3.16)$$

Assim, quando se analisa o conjunto (conexão anti-paralelo de tiristores + reator), pode-se afirmar que, sob o ponto de vista da componente fundamental, seu comportamento é equivalente ao de uma admitância normalizada variável, dada pela Eq.(3.16).

Um exame da Eq.(3.16) indica que  $Y(\alpha=n/2) = 1$ , o que corresponde ao máximo valor de admitância, significando a condução do reator controlado durante todo o ciclo da tensão fundamental. Por outro lado, para  $\alpha=rc$ , tem-se  $Y = 0$ , o que corresponde ao reator controlado totalmente bloqueado durante todo o ciclo da tensão de entrada. Portanto, os valores obtidos para os ângulos de disparo  $\alpha=n/2$  e  $\alpha=\pi$ , representam, respectivamente, os limites teóricos indutivo e capacitivo do compensador estático.

Conforme pode ser verificado através da Fig.3.3, a corrente que circula no reator controlado só é puramente senoidal para  $\alpha=n/2$ . Para valores de  $\alpha \neq n/2$ , circulará no reator uma corrente cuja forma de onda é periódica e que, quando decomposta em série de Fourier, origina uma componente fundamental e uma série de componentes harmônicas.

Por ser um sinal periódico não senoidal, a corrente no reator possui componentes harmônicas que são filtradas em parte pelo banco fixo de capacitores. cuja impedância diminui com o aumento da frequência e que por este motivo torna-se um caminho de baixa impedância para tais componentes. Ainda assim, uma fração daqueles harmônicos é injetada no sistema de transmissão, com o efeito resultante devendo ser avaliado através de estudos de análise harmônica realizados na etapa de projeto dos compensadores. Caso os níveis de harmônicos encontrados em tais estudos sejam elevados, devido, por exemplo, à existência de ressonâncias na rede elétrica, deverão ser especificados filtros sintonizados, que irão acrescentar custos ao projeto, podendo até mesmo inviabilizar a instalação do compensador em alguns casos.

Uma alternativa utilizada com frequência para reduzir os níveis de harmônicos produzidos por compensadores estáticos é a introdução de um transformador elevador de três enrolamentos, onde os enrolamentos de baixa tensão encontram-se defasados de  $30^\circ$  através da utilização das conexões estrela e triângulo. Os bancos de capacitores e reatores controlados são divididos em dois e cada uma das duas metades é conectada a um dos enrolamentos de baixa tensão do

eliminação do defeito, praticamente não ocorre sobretensão no 230kV da SE Milagres e já no terceiro ciclo após a sua eliminação, o sistema de controle do CE Milagres consegue anular o erro na sua entrada, igualando a tensão do sistema a tensão de referência. Este comportamento é atribuído aos reforços de transmissão instalados no subsistema Norte da CHESF, que reduzem a distância elétrica entre as barras de Paulo Afonso e Milagres, minimizando assim o impacto de um defeito no 69kV desta subestação.

Por outro lado, com base nas simulações de curto-circuitos bifásico e trifásico numa das linhas Paulo Afonso-Milagres 230kV eliminados com abertura da referida linha, consideradas as de maior grau de severidade quanto ao aspecto de subtensão para a área de influência do CE Milagres, verifica-se que:

- Considerando os ajustes anteriormente implantados (bloqueio para afundamentos de 50% da tensão), ocorre a atuação do referido esquema, levando o CE Milagres a operar em OMVAr durante o defeito.
- Na eliminação do defeito, não são registradas sobretensões nas áreas de influência dos CEs Milagres e Fortaleza, considerando ativado ou não o bloqueio do CE Milagres pelo esquema de subtensão. Não obstante, o CE Milagres permanece operando no seu limite capacitivo durante alguns ciclos após a eliminação do defeito, caracterizando a demanda da rede elétrica por potência reativa capacitiva devido a retirada de uma linha de elevada capacidade de transmissão. Esta potência reativa passa a ser suprida pelo CE Milagres.

Desta forma, quando se considera defeitos no 69kV na área de influência do CE Milagres, não há qualquer benefício em efetuar o bloqueio do referido equipamento, devido a ausência de sobretensões na eliminação dos defeitos.

Por outro lado, quando se analisa o desempenho do CE Milagres durante defeitos em linhas de 230kV, verifica-se não haver nenhum benefício em efetuar o bloqueio do CE Milagres pelo esquema de subtensão, uma vez que, ao ser desbloqueado, este equipamento passa a operar no seu limite capacitivo, caracterizando assim a demanda do sistema elétrico por potência reativa capacitiva. Verifica-se também que nas simulações considerando desativado o esquema de bloqueio por subtensão, a recuperação da tensão na eliminação do defeito é um pouco mais rápida, caracterizando um pequeno benefício quanto a não utilização do bloqueio do CE Milagres pelo referido esquema. Deste modo, optou-se por desativar o bloqueio do CE Milagres pelo esquema de subtensão.

Conforme descrito na Seção 4.3.9, o circuito inicializador do regulador PI atua quando da ocorrência de disparos protetivos nas válvulas de tiristores, o que se dá em condições de elevada sobretensão sobre as mesmas, e conseqüentemente, no sistema elétrico. Como pode ser observado na análise aqui efetuada, durante a aplicação e na eliminação de defeitos no 69kV da SE Milagres não ocorre atuação do esquema de bloqueio por subtensão do CE, indicando o seu baixo grau de severidade. Não há também atuação do esquema de disparo protetivo e muito menos, atuação do circuito limitador de corrente.

Além disso, não se verifica em nenhuma condição, qualquer indicio das oscilações detectadas entre o esquema de disparo protetivo e o circuito limitador de corrente do CE

Fortaleza durante o estudo de TNA realizado no CEPTEL. razão pela qual. na época, Foi introduzido o circuito inicializador do controlador PI.

Optou-se assim pela desativação do referido esquema no CE Milagres. Os registros das simulações descritas neste item encontram-se no Anexo 9.6.

## 6 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES CONTEMPLANDO A REPRESENTAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DA CARGA

### 6.1 - Introdução

Ensaio anteriormente realizados e registros oscilográficos colhidos durante a ocorrência de curto-circuitos nas proximidades da subestação Fortaleza mostram a lenta recuperação das tensões nesta subestação, no período subsequente à eliminação dos defeitos. Tais fatos indicam que uma parcela significativa da carga suprida pela SE Fortaleza possui comportamento dinamicamente ativo e o fato de existir na região metropolitana de Fortaleza um grande número de pequenos consumidores industriais, a princípio, justifica este comportamento peculiar.

Nas Figs. 6.1 e 6.2 são mostrados os registros das tensões fase-neutro da barra de 69kV e a soma das correntes nos enrolamentos secundários dos transformadores 230/69kV-100MVA da SE Fortaleza, obtidos durante os ensaios de aplicação de curto-circuito trifásico na LT Sobral-Piripiri 230kV (ver Fig. 4.1), terminal Piripiri, realizados em 1986. As escalas utilizadas nos referidos registros são listadas a seguir:

Corrente: 135,76A/mm      Tensão: 2682,76V/mm      Tempo: 200cm/seg

Tais registros mostram a lenta recuperação da tensão e o crescimento da corrente da carga no período subsequente à eliminação do curto-circuito, comportamento característico de cargas dinamicamente ativas.

Na Fig. 6.3 é mostrado o comportamento do valor eficaz das tensões do 230kV da SE Fortaleza durante a aplicação e eliminação de curto-circuito trifásico à terra em um alimentador de 69kV derivado da subestação Fortaleza, eliminado com rejeição total da carga por ele suprida, obtido através de um registrador de perturbação instalado naquela subestação. Verifica-se também neste registro a lenta recuperação da tensão no período subsequente à eliminação da falta, ratificando a tese da existência de elevada parcela de carga dinamicamente ativa na SE Fortaleza.

Estes resultados motivaram a realização, na etapa final deste trabalho, de simulações considerando a representação de uma parcela da carga suprida através da barra de 69kV da SE Fortaleza como um motor de indução trifásico, com rotor tipo gaiola de esquilo e potência equivalente à parcela da carga representada. Para tal, foi utilizado o modelo UM (Motor Universal) tipo 3, disponível no ATP, sendo maiores detalhes relativos a esta representação fornecidos na Seção 6.2 deste trabalho.

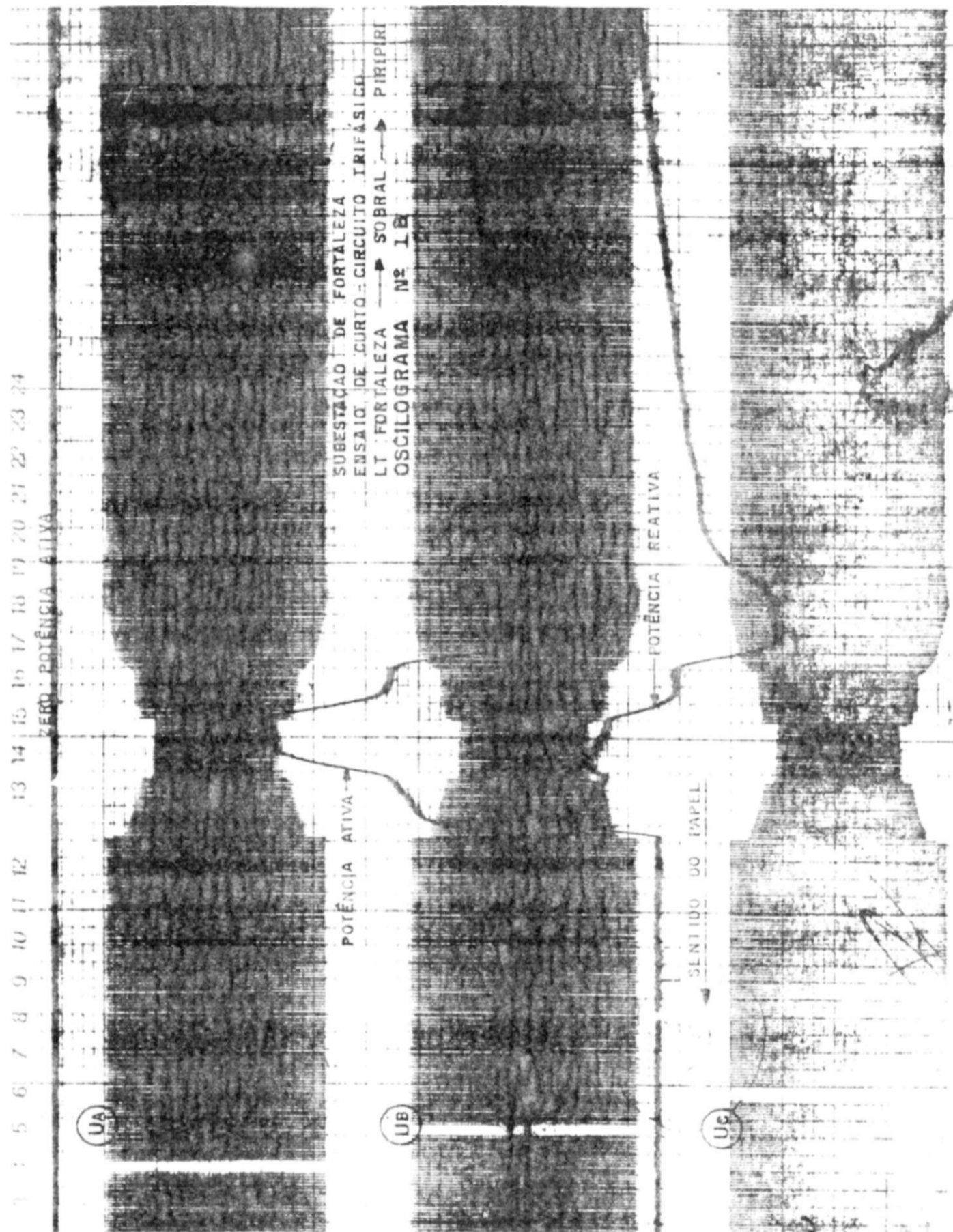


Fig.6 1 Tensões 09kV fase-neutro da SE Fortaleza obtidas durante os ensaios de aplicação de curto-circuito trifásico na LT Sobrai-Piripiri 230kV.

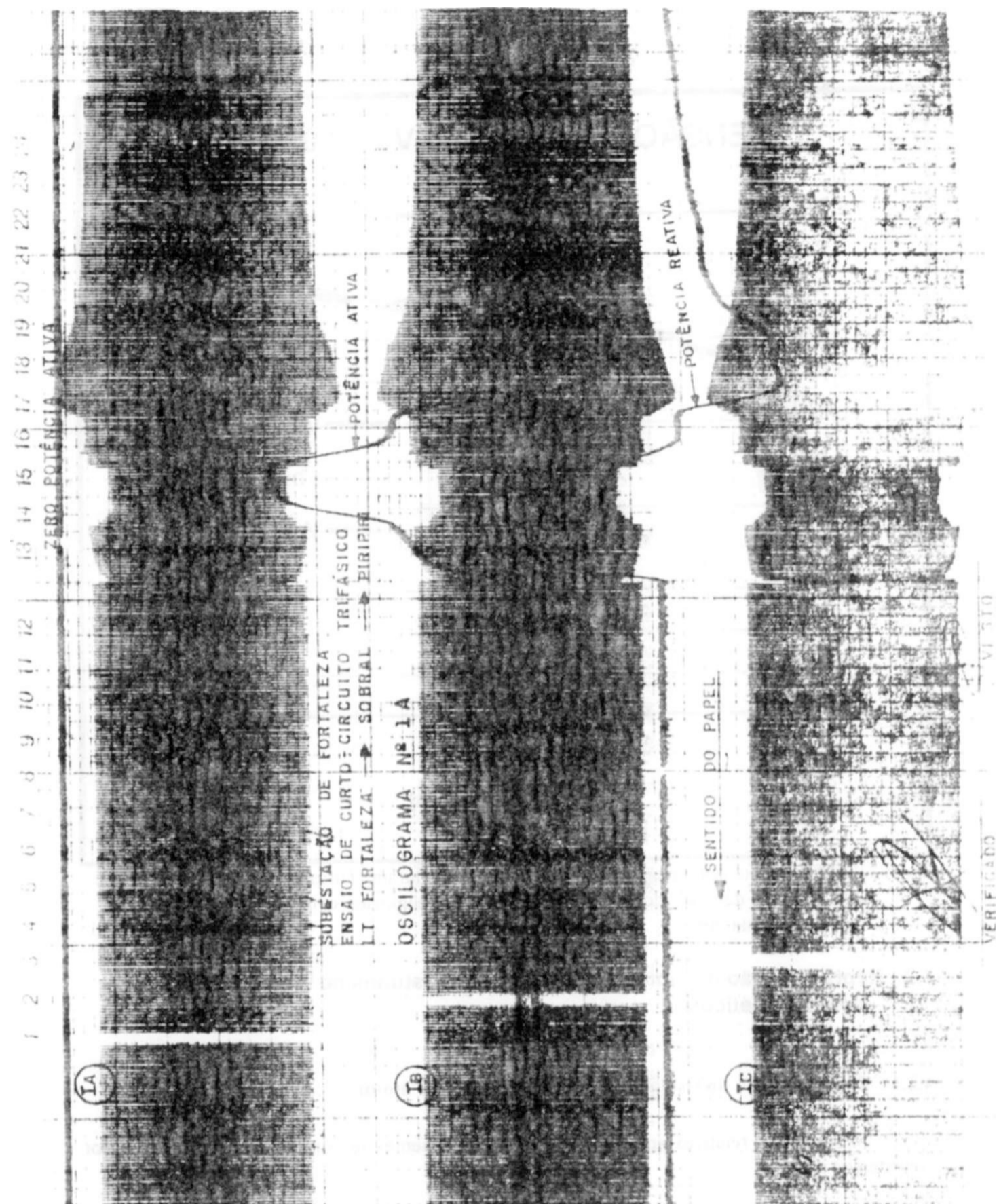


Fig.6.2 Correntes de saída dos transformadores 230/69kV-100MVA da SE Fortaleza obtidas durante ensaios de aplicação de curto-circuito trifásico na LT Sobral-Piripiri 230kV.

## TENSÃO EM FTZ 230 kV -13.07.97

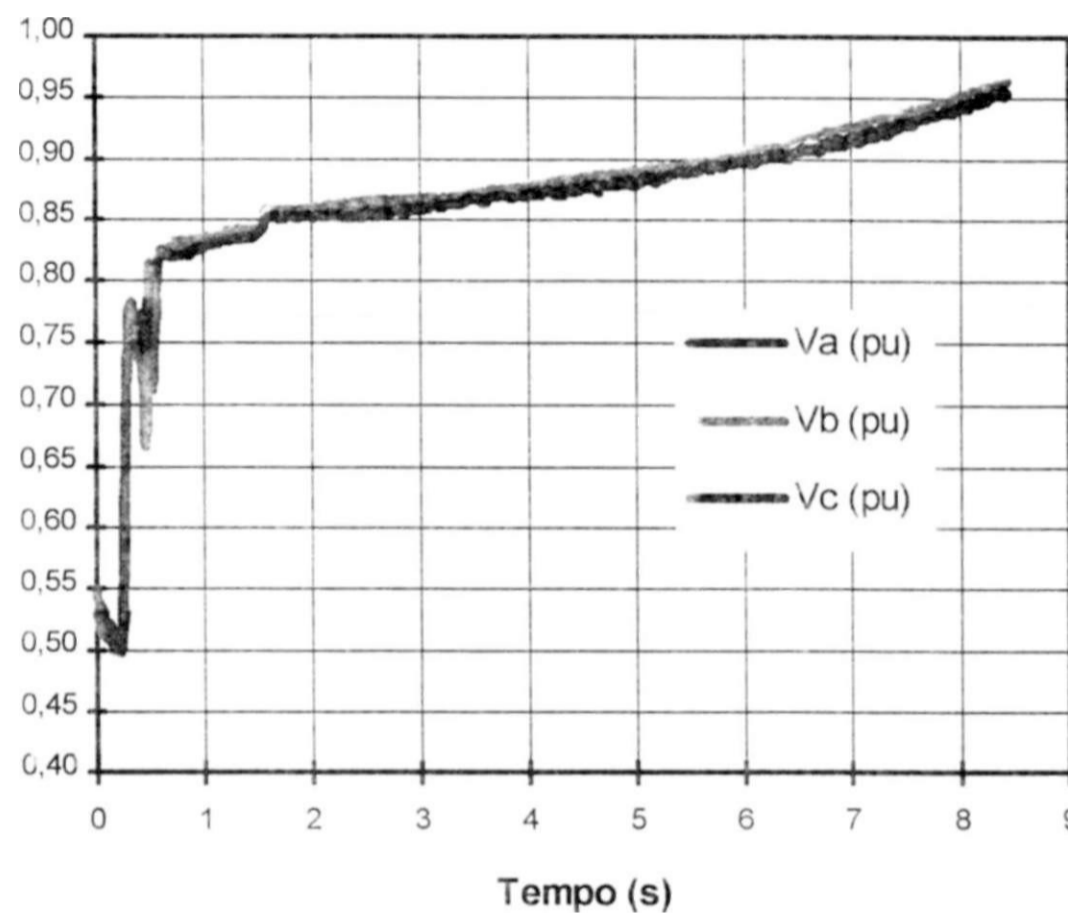


Fig. 6.3 Registro da tensão eficaz no 230kV de Fortaleza durante curto-circuito trifásico a terra em linha de 69kV derivada desta subestação, eliminado com rejeição da carga suprida por esta linha.

### 6.2 - Representação de motores de indução em estudos de transitórios eletromagnéticos

#### 6.2.1 - Representação do sistema mecânico associado ao motor

As equações relativas ao torque para os componentes do sistema mecânico do motor considerado são:

$$T = \frac{1}{s} \cdot (T_e - T_m) = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (6.1)$$



representando os efeitos torsionais devidos a presença de mais de uma massa no seu rotor.

$$\mathbf{r} = D \cdot \mathbf{O}, \quad (6.2)$$

representando os efeitos de amortecimento das massas envolvidas,

representando os efeitos das inércias das massas envolvidas, onde:

$T$  = Torque eletromagnético no eixo do motor

$J$  = Momento de inércia do rotor

$\theta_i$  = Posição angular do rotor do  $i$ -ésimo motor representado

$\omega$  = Frequência angular do rotor

$K$  = Constante elástica de acoplamento

$D$  = Constante de amortecimento mecânico

O modelo utilizado para a representação do sistema mecânico do motor de indução existente no ATP e desenvolvido em [17] utiliza um circuito elétrico análogo ao sistema mecânico, com as grandezas duais elétricas definidas conforme descrito a seguir.

O modelo elétrico análogo é construído de tal forma que para cada massa existente no sistema mecânico, deverá ser definido um nó no circuito elétrico equivalente com uma capacitância entre este nó e a terra, cujo valor em Farads é igual ao momento de inércia  $J$  da massa considerada em unidades MKS. Caso se deseje considerar os efeitos do amortecimento na referida massa, deverá ser conectado em paralelo com a capacitância um resistor cuja condutância em mhos é igual à constante de amortecimento mecânico  $D$  em unidade MKS.

Caso haja mais de uma massa conectada ao mesmo eixo, deverá ser ligada entre os capacitores adjacentes, correspondentes às respectivas massas, uma indutância cujo valor em Henries é igual ao inverso de  $AT$ , sendo  $K$  a constante elástica de acoplamento entre as duas massas adjacentes e para representar um eventual amortecimento associado a tal acoplamento, deverá ser conectada em paralelo com a citada indutância uma resistência de valor apropriado.

Para representar o efeito de um torque externo aplicado ao motor, como por exemplo, uma carga mecânica adicional conectada ao seu eixo, deverá ser conectada em paralelo com o capacitor correspondente a inércia uma fonte de corrente cujo sinal é definido de forma que uma injeção de corrente negativa corresponde a uma carga mecânica. O valor desta fonte de corrente correspondente a 100% da carga definida através do escorregamento de regime permanente é calculado em Amperes pelo programa INDMOT, cujo funcionamento será detalhado ao longo

deste item. As analogias utilizadas entre os parâmetros mecânicos e elétricos estão resumidas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Relações duais entre grandezas elétricas e mecânicas

Parâmetro mecânico	Dual elétrico
Torque, $T$	Corrente, $i$
Momento de inércia, $J$	Capacitância, $C$
Constante elástica de acoplamento, $K$	Inverso da indutância, $1/L$
Frequência angular, $\omega$	Tensão, $v$
Constante de amortecimento mecânico, $D$	Inverso da resistência elétrica, $1/R$
Posição angular, $\theta$	Carga, $q$

Quando se utiliza a opção de inicialização automática no modelo "Universal Machine", é fornecido o escorregamento de regime permanente e o ATP calculará a carga correspondente, não sendo necessário que o usuário a especifique. Qualquer carga especificada pelo usuário será considerada, desta forma, em adição à carga de regime permanente definida por meio do escorregamento. Quanto ao torque eletromagnético proveniente do motor de indução, não há um elemento específico que o represente, sendo sua conexão com o sistema mecânico realizada automaticamente pelo ATP. O referido torque pode ser interpretado como um elemento não-linear oculto, conectado entre o nó ao qual é ligado o capacitor que representa a inércia da massa e a terra.

Com base na Tabela 6.1, as relações entre grandezas mecânicas se transformam nas relações entre grandezas elétricas de acordo com as relações.

$$\frac{dv}{dt} \quad (6.4)$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt} \quad (6.5)$$

$$T = D \theta \quad (6.6)$$

A Fig. 6.4 exibe, de maneira resumida, a analogia entre os circuitos elétrico e mecânico.

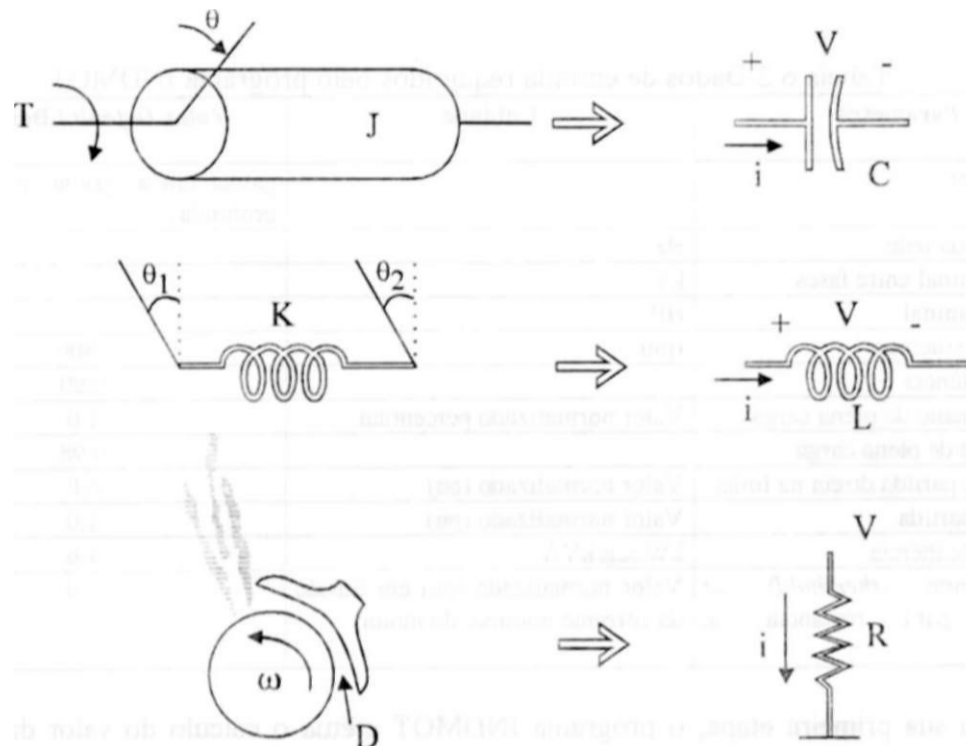


Fig.6.4 Analogia elétrica-mecânica utilizada para a representação do motor de indução no ATP.

A partir do conhecimento dos dados de placa de um dado motor de indução e com base nas especificações de regime permanente, Rogers e Shirmohammadi desenvolveram uma metodologia para obtenção dos parâmetros deste equipamento necessários à realização de estudos transitórios [19]. Baseado nesta metodologia, Gabor Furst, Engenheiro Consultor radicado em Vancouver, Canadá ([grurst@istar.ca](mailto:grurst@istar.ca)) complementou os trabalhos realizados em [19] e desenvolveu um programa utilitário, denominado INDMOT, que fornece os parâmetros do motor de indução tipo 3 necessários à utilização do modelo "Motor Universal", disponível no ATP. A integração entre o INDMOT e o ATP esta sendo atualmente implementada por Gabor Furst e pelo Dr. Scott Meyer.

Os dados de entrada requeridos pelo programa INDMOT estão sumarizados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 Dados de entrada requeridos pelo programa INDMOT.

Parâmetro	Unidade	Valor DefauU I Descrição
Tipo do rotor		gaiola única, gaiola dupla, barras profundas
Frequência da rede	Hz	
Tensão nominal entre fases	kV	
Potência nominal	HP	
Velocidade síncrona	rpm	1800
Fator de potência		0.90
F.scorregamento de plena carga	Valor normalizado percentual	10
Rendimento de plena carga		0.98
Corrente de partida direta na linha	Valor normalizado (pu)	6,0
Torque de partida	Valor normalizado (pu)	10
Constante de inércia	kW.seg/kVA	10
Valor limite (thershoki) de saturação para reatância de dispersão	Valor normalizado (pu) cm função da corrente nominal do motor	2.0

Na sua primeira etapa, o programa INDMOT efetua o cálculo do valor da capacitância equivalente a inércia, da resistência equivalente à constante de amortecimento mecânico e do valor em Amperes da fonte de corrente correspondente à plena carga do motor a ser conectada em paralelo com a referida capacitância, de forma a representar os efeitos de uma carga adicional conectada ao eixo do motor. São também efetuados nos parâmetros fornecidos pelo usuário eventuais ajustes, de modo a serem atingidos os requisitos de regime permanente especificados pelo mesmo e a ser corrigida alguma eventual inconsistência, sendo informadas as diferenças encontradas entre os valores fornecidos e os calculados. Na segunda etapa, são calculados os parâmetros elétricos do motor (*coil data*), necessários à sua representação no modelo "Motor Universal" do ATP.

Com relação ao cálculo da resistência equivalente à constante de amortecimento mecânico, cabem os seguintes esclarecimentos. Discussões entre o autor do INDMOT e o Prof. Gerald Alexander, da Universidade do Estado de Oregon levaram a implementação no referido programa de um fator de amortecimento mecânico equivalente a 1/30 da relação entre o torque de plena carga e a velocidade de plena carga, ou equivalentemente,

$$D(mho) = \frac{(\text{Torque de Pleno } (^{\wedge} \text{arredamento } I \ 30))}{[I.n.rpm \ I \ bO]}, \quad (6.7)$$

Assim, o valor fornecido ao modelo "Motor Universal" do ATP é o de uma resistência em ohms, igual a  $I/D$ , calculada pela Eq.(6.7).

As listagens de entrada e saída do programa INDMOT para os motores considerados no decorrer deste trabalho encontram-se no Anexo 9.10.

transformador, dando origem à configuração mostrada nas Figs.3.2 a e b. Tal configuração, além de implicar na injeção de menores níveis de harmônicos na rede elétrica, possui maior confiabilidade, uma vez que o compensador poderá operar provisoriamente com metade da potência nominal, no caso de defeito ou manutenção em uma das seções.

Em analogia ao estudo de conversores estáticos AC/DC, tal configuração é denominada "arranjo em 12 pulsos". Ainda fazendo uso desta analogia, quando o compensador funciona com uma das seções desligada, é dito que ele estará operando em 6 pulsos.

Devido ao processo de condução e bloqueio dos tiristores conectados em série com o reator controlado implicar na circulação através deste elemento de uma corrente periódica não senoidal, verifica-se através da Fig. 3.5 que, mesmo em condições ideais, para ângulos de disparo diferentes de 90 e 180 graus, haverá circulação de componentes harmônicos através do mesmo. Tais condições ideais são:

- Tensões de alimentação puramente senoidais e de seqüência positiva.
- Ausência de desequilíbrio nas impedâncias do compensador e da rede elétrica.
- Ausência de tolerâncias nos ângulos de disparo dos tiristores.

Os harmônicos produzidos em tal situação são denominados "harmônicos característicos" e conforme demonstrado em [10], a frequência de cada harmônico é dada por,  $\omega_k = k\omega$ , com  $k = 6w \pm 1$ , para operação em 6 pulsos ou  $k = 12n \pm 1$ , para operação em 12 pulsos, com  $n$  representando um número inteiro.

Aos harmônicos produzidos em situações não-ideais, diferentes daquelas anteriormente especificadas, dá-se o nome de "harmônicos não-característicos", sendo os mais relevantes, pela severidade dos efeitos produzidos na rede elétrica, aqueles com frequências múltiplas de dois ou de três da frequência fundamental. O fato de a corrente através do reator controlado ser não senoidal obriga a adoção de certos procedimentos quando da modelagem dos compensadores estáticos no programa ATP, discutidos oportunamente na Seção 4.4.2 deste trabalho.

### 3.3 - Reator controlado a tiristores e capacitor manobrável a tiristores

Este equipamento, cujo diagrama unifilar simplificado é mostrado na Fig.3.6, é composto por um ou mais reatores controlados a tiristores conectados em paralelo com um ou mais bancos de capacitores manobrados a tiristores, comandados por um único sistema de controle. Tal equipamento consegue reunir as vantagens dos dois tipos de compensadores anteriormente abordados, uma vez que como o banco de capacitores é manobrável, é possível se dispor de uma faixa de potência reativa mais ampla quando comparado ao compensador do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo, sem que seja necessário alterar-se os valores das indutâncias e capacitâncias dos seus componentes. Por outro lado, o sistema de controle utilizado para tal fim tem sua complexidade aumentada quando se compara este equipamento ao compensador do tipo reator controlado a tiristores e capacitor fixo e o custo total do equipamento é também mais elevado. Desta forma, sua utilização devera ser submetida a uma

### 6.2.2 - Representação do sistema elétrico associado ao motor de indução

Conforme estabelecido em [19], os dados dos enrolamentos do motor a ser representado no ATP através do modelo "Motor Universal", geralmente disponíveis como impedâncias próprias e mútuas, deverão ser convertidos para o formato de impedâncias principal e de dispersão.

Os procedimentos relativos à obtenção das indutâncias principal e de dispersão de um determinado enrolamento são analisados inicialmente para um transformador de dois enrolamentos. O fato de o transformador não ser uma máquina elétrica girante não implica em perda de generalidade deste procedimento, pois a indutância é um parâmetro que descreve a relação entre uma corrente através de um dado enrolamento e o fluxo magnético abraçado por determinado percurso ao longo deste enrolamento.

Desta forma, são válidas as seguintes equações para o transformador de dois enrolamentos sob análise:

$$44 \quad dX, \quad (6-8)$$

onde:

$V_j$  = Tensão através do enrolamento /

$R_i$  = Resistência do enrolamento /

$i_j$  = Corrente através do enrolamento /

$\Phi$  = Fluxo magnético abraçado pelo enrolamento /

As relações entre corrente e fluxo magnético, em termos das indutâncias próprias e mútuas podem ser obtidas das expressões.

$$\Phi_1 = L_{11} \cdot i_1 + A_{12} \cdot i_2, \quad (6.10)$$

$$\Phi_2 = L_{22} \cdot i_2 + A_{21} \cdot i_1, \quad (6.11)$$

$N_1, N_2$

$$\Lambda = 4, 2 + \Lambda^2 + 2 \ll, \quad (6.14)$$

onde:

$A_{,,}$  = Indutância própria do enrolamento /

= Indutância mútua entre os enrolamentos / e  $k$

$N_j$  = Número de espiras do enrolamento /

$R_m$  = Relutância magnética do percurso considerado

$L_{j,}$  = Indutância de dispersão do enrolamento /

$L_{mj} = L_{j,} 2 =$  Indutância principal dos enrolamentos 1 e 2

Definindo,  $a_2 = N_2 I / V_{,,}$ , as Eqs.(6.9), (6.10) e (6.11) podem ser expressas nas formas,

$$\gg l = -K h - \Lambda r \gg \quad (6.15)$$

$$V_1 = L_{,,} i_1 + L_{m1} i_2, \quad (6.16)$$

$$K = 4, \quad + 4' 2, \quad (6.17)$$

com,

$$\mathcal{L} = \frac{a}{v_2} \quad (6.18)$$

$$v_2 = a_2 v_{22}, \quad (6.19)$$

$$R_2' = a_2 R_2, \quad (6.20)$$

$$i_{22} = a_2^2 L_{m2} \quad (6.21)$$

Utilizando a definição para  $L_{m1}$  obtida da Eq.(6.13), expressões alternativas às Eqs.(6.16) e (6.17) podem ser obtidas nas formas,

$$X_1 = L_{n1} i_1 + \mathcal{L}_{,,} (/, +/;). \quad \langle \text{6-22} \rangle$$

$$X_2 = r_{j2} + (/, +/;), \quad (6.23)$$

com,

Com base no equacionamento aqui apresentado, tem-se as indutâncias de dispersão caracterizadas pelos parâmetros  $L_{\sigma 1}$  e  $L_{\sigma 2}$  e a indutância principal dos dois enrolamentos dada pelo parâmetro  $L_m$ . O transformador poderá então ser representado pelo circuito equivalente mostrado na Fig.6.5.

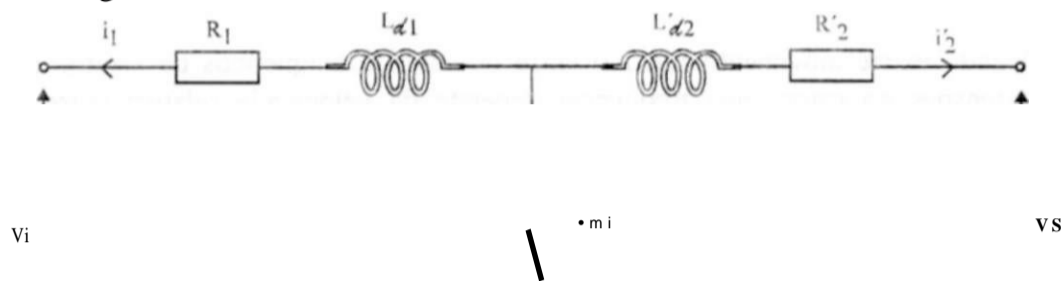


Fig.6.5 Circuito equivalente para o transformador de dois enrolamentos utilizando-se as indutâncias principal e de dispersão.

O emprego do referido circuito equivalente traz as seguintes vantagens:

- O equacionamento apresentado representa a existência de dois enrolamentos abraçados por um fluxo principal, além dos seus fluxos individuais de dispersão e de suas resistências.
- Caso seja conhecido o fator  $a$ , as indutâncias principal e de dispersão são facilmente calculadas a partir das indutâncias próprias e mútua.

O conceito de enrolamentos dispostos ao longo de um mesmo eixo magnético e abraçados por um fluxo magnético principal, em adição ao fluxo individual de dispersão de cada enrolamento, inicialmente desenvolvido para transformadores, pode ser estendido ao arranjo dos enrolamentos de uma máquina elétrica, em particular, no caso estudado, ao de um motor de indução. Nesta situação, no cálculo do fator de redução (análogo do fator  $a$ ) devem ser levados em conta também os efeitos dos fatores de distribuição dos enrolamentos, além do escorregamento.

O motor de indução trifásico é uma máquina elétrica girante na qual circulam correntes alternadas nos enrolamentos de rotor e estator. Os enrolamentos do estator são conectados a uma fonte de alimentação trifásica (sistema de potência) e os enrolamentos de rotor, no qual são induzidas correntes por meio do estator, são curto-circuitados internamente, no caso do motor tipo gaiola de esquilo aqui analisado. Ao serem injetadas nos enrolamentos de estator correntes trifásicas equilibradas de frequência  $f_s$ , medida em Hz, é produzido um campo magnético girante, que se desloca na velocidade síncrona, dada pela relação,

$$\omega_s = \frac{2\pi f_s}{P}, \quad (6.25)$$

onde,  
 $\omega_s$  - velocidade angular síncrona em rotações por minuto



$f_s$  - frequência da rede elétrica conectada ao estator da máquina

$p$  = número de pólos

Quando existe movimento relativo entre os campos magnéticos de estator e rotor, são induzidas tensões no rotor, cuja frequência depende da velocidade relativa entre os campos magnéticos de rotor e estator. As correntes nos enrolamentos do rotor são obtidas dividindo-se as tensões nele induzidas pelas impedâncias do circuito do rotor, na frequência do rotor. A reação das correntes do rotor com o campo magnético do estator produz um torque eletromagnético que acelera o rotor no sentido de rotação do campo magnético do estator.

Para que seja desenvolvido um torque positivo, correspondente à operação como motor, a velocidade do rotor  $\omega_r$  deve ser inferior a velocidade síncrona e à medida que a velocidade do rotor aproxima-se da velocidade síncrona, as correntes e tensões induzidas no rotor tendem a zero. Assim, o rotor se desloca com velocidade  $\omega_s - \omega_r$  em relação ao campo magnético girante do estator, levando à definição do escorregamento representado pelo parâmetro  $s$ , que é a velocidade do rotor normalizada pelo valor da velocidade síncrona de acordo com a relação,

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (6.26)$$

e, como consequência,

$$A = \frac{\omega_s}{\omega_r} > 1 \quad (6-27)$$

com  $\omega_s$  e  $\omega_r$  representando, respectivamente, a frequência e a velocidade angular do rotor.

Sem carga no seu eixo, o motor opera com escorregamento próximo de zero, de forma a suprir a energia referente às suas perdas em vazio. Ao ser aplicada carga ao seu eixo, o escorregamento aumenta, a velocidade do rotor diminui e é produzido o torque eletromagnético desejado.

Conforme estabelecido em [19], [20], as equações que relacionam correntes, tensões e fluxos magnéticos de estator e rotor de uma máquina de corrente alternada, em particular, do motor de indução aqui analisado, contém indutâncias dependentes do ângulo entre o eixo direto, definido como estando centrado magneticamente no centro do pólo norte do rotor da máquina e o eixo da fase  $a$ , denominado  $\theta$ . O fato de este ângulo variar com o tempo introduz uma relativa complexidade na solução das equações usando-se componentes de fase. o que é contornado através da introdução de uma transformação de variáveis de componentes de fase para componentes dispostas ao longo de eixos rotativos ( $d-q-0$ ).

Para motores de indução, os eixos selecionados encontram-se girando na velocidade síncrona. O eixo direto ( $d$ ) é definido de forma a coincidir com o eixo da fase  $a$  no instante  $t=0$ , de forma que o seu defasamento com relação a fase  $a$  em um dado instante  $t$  é  $\omega_s t$  e o eixo em quadratura ( $q$ ) é definido como estando  $90^\circ$  em avanço com relação ao eixo  $d$ , no sentido de rotação da máquina. De modo a fornecer a coerência desejada à transformação de variáveis

selecionada, é definida uma terceira componente, transformando as três correntes de fase em três correntes no novo sistema de variáveis.

Uma vez que as componentes de corrente nos eixos direto e em quadratura produzem um campo magnético idêntico ao produzido pelo conjunto original de componentes de fase, a terceira componente escolhida não devesse produzir campo magnético no entreferro. Isto é obtido definindo-se esta terceira componente como a corrente de seqüência zero, dada pela expressão.

que em condições equilibradas tem valor zero.

Para cada um destes eixos, as expressões de conversão estabelecidas em [17] com base no raciocínio inicialmente desenvolvido para um transformador de dois enrolamentos são aplicadas para máquinas elétricas girantes. As vantagens, em termos de equacionamento, do uso da transformação de variáveis de componentes de fase (*a-b-c*) para componentes (*d-q-0*) para a análise do comportamento de uma máquina elétrica girante são detalhadas em [19], [20].

A transformação das correntes de fase do estator em variáveis *d tq* é obtida das relações.

$$i_{ds} = -[i_a \cos(\omega t) + i_b \cos(\omega t - 120^\circ) + i_c \cos(\omega t + 120^\circ)] , \quad (6.29)$$

$$i_{qs} = -[i_a \sin(\omega t) + i_b \sin(\omega t - 120^\circ) + i_c \sin(\omega t + 120^\circ)] ,$$

com a transformação inversa podendo ser obtida das expressões,

$$i_a = i_{ds} \cos(\omega t) - i_{qs} \sin(\omega t) , \quad (6.30)$$

$$i_b = i_{ds} \cos(\omega t - 120^\circ) - i_{qs} \sin(\omega t - 120^\circ) .$$

$$i_c = i_{ds} \cos(\omega t + 120^\circ) - i_{qs} \sin(\omega t + 120^\circ) .$$

Transformações similares são aplicadas aos fluxos magnéticos e tensões do estator da máquina.

Com referência ao rotor da máquina, seja  $\delta$ , o ângulo de defasamento entre o eixo *d* e o eixo da fase *a* do rotor. Se o escorregamento do rotor é *s*, o eixo *d* avança com relação a um dado ponto no rotor com uma taxa calculada pela equação,

$$\frac{d\delta}{dt} = -s \cdot \omega_c \quad (6.31)$$

Assim, a transformação das correntes do rotor em componentes *d eq* é dada por.

$$\begin{aligned}
 i_{dr} &= \frac{2}{3} \left[ i_a \cdot \cos \theta_r + I_b \cdot \cos(e_r - 120^\circ) + \cos(e_r + 120^\circ) \right], \\
 i_{qr} &= -\frac{2}{3} \left[ i_a \cdot \sin \theta_r + I_b \cdot \sin(e_r - 120^\circ) + \sin(e_r + 120^\circ) \right]
 \end{aligned}
 \tag{6.32}$$

A transformação inversa é definida pelas expressões.

$$\begin{aligned}
 & /i_y \cdot \cos \theta_r - /i_r \cdot \sin \theta_r, \\
 & /i_r \cos(e_r - 120^\circ) - /i_s \sin(e_r - 120^\circ), \\
 & /i_s \cos(e_r - 120^\circ) - /i_t \sin(e_r - 120^\circ).
 \end{aligned}
 \tag{6.33}$$

Com base nas transformações de variáveis aqui descritas, os parâmetros dos enrolamentos (*coil-data*) requeridos para a representação do motor de indução no ATP, conforme modelagem desenvolvida em [19] são os relacionados a seguir e calculados pelo programa INDMOT.

- Indutância comum não-saturada no eixo direto
- Indutância comum não-saturada no eixo em quadratura
- Resistência no eixo direto do estator
- Inatâncias de dispersão não-saturada e saturada no eixo direto do estator
- Resistência no eixo em quadratura do estator
- Indutâncias de dispersão não-saturada e saturada no eixo em quadratura do estator
- Resistência no eixo direto do rotor
- Indutâncias de dispersão não-saturada e saturada no eixo direto do rotor
- Resistência no eixo em quadratura do rotor
- Indutâncias de dispersão não-saturada e saturada no eixo em quadratura do rotor

A experiência demonstra que os efeitos da saturação no fluxo principal só precisam ser considerados em estudos onde se deseje analisar aspectos internos da máquina. Para as reatâncias de dispersão, embora seu efeito tenha um peso maior, a saturação também pode ser desprezada sem maiores inconvenientes. No presente trabalho, foi testada a influência dos efeitos do emprego de indutâncias saturadas e não saturadas nas indutâncias de dispersão do motor equivalente à parcela da carga representada.

Com relação às correntes de seqüência zero, na grande maioria dos motores de indução, verifica-se a não existência de tais componentes para faltas externas ao motor, como é o caso das

simulações efetuadas no decorrer deste trabalho. Grande parte dos motores de indução existentes são ligados em delta ou estrela não aterrada e quando é usada a conexão estrela aterrada, o aterramento é feito através de uma elevada impedância, de forma que não existe caminho através do motor para circulação de correntes de seqüência zero. Desta forma, considerou-se impedâncias de seqüência zero infinitas no decorrer deste trabalho para os motores de indução representados.

### **6.3 - Descrição e análise técnica das simulações efetuadas**

Foram efetuadas, nesta etapa dos trabalhos, as simulações a seguir descritas, considerando-se parcelas da carga da SE Fortaleza de 10% a 50% representadas como motor de indução, utilizando-se o modelo "Motor Universal", tipo 3 do ATP. As simulações efetuadas são resumidas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Resumo das simulações de grandes perturbações com parcelas da carga de Fortaleza

Simulação	Arquivo ATP	Eliminação	Bloqueio CE Fortaleza subtensão	Saturação Indutância:» motor de indução	Percentual motores em Fortaleza (%)
Curto-circuito ntasico à terra 69kV Fortaleza, duração 400mseg	FTMGMP1	Rejeição total da parcela impedância constante da carga	Desativado	Não representada	10
Curto-circuito ntasico a terra 69kV Fortaleza, duração 400mseg	FTMGMP2	Rejeição total da parcela impedância constante da carga	Desativado Ativado	Não representada	20
Curto-circuito bitasico a terra 69kV Fortaleza, duração 400mseg	FTMGMP4	Rejeição total da parcela impedância constante da carga	Desativado	Não representada	10
Curto-circuito trifásico a terra linha Banabuiu-FortalezB 230kV, duração 200mseg	FTMGMPA	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Não representada	10
Curto-circuito ntasico á terra linha Hanabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMOKMPE	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Representada	10
Curto-circuito ntasico á terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMBPB	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Não representada	20
Curto-circuito ntasico a terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMDPF	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Representada	20
Curto-circuito ntasico á terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMIPC	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Não representada	30
Curto-circuito ntasico á terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMIPIJ	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Não representada	35
Curto-circuito trifásico a terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMIPK	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Representada	35
Curto-circuito ntasico a terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMIPI	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Não representada	40
Curto-circuito ntasico a terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMIPD	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Não representada	50
Curto-circuito bitasico a terra linha Banabuiu-Fortaleza 230kV, duração 200mseg	FTMGMIP8	Abertura da linha onde se deu o defeito	Ativado	Não representada	35
Curto-circuito ntasico a terra 69kV Fortaleza, duração 400mseg	FTMGMIPO	Rejeição total da parcela impedância constante da carga	Ativado	Não representada	30

O elenco de simulações aqui abordado procurou cobrir as situações extremas às quais e submetido o sistema de transmissão Norte da CHESF, quando da ocorrência de defeitos, uma vez que faltas na rede de 69kV eliminadas com rejeição de carga provocam sobretensão na sua eliminação, enquanto que faltas na malha de 230kV eliminadas com abertura de linha provocam subtensão na sua eliminação.

Assim, com base nos resultados obtidos em fases anteriores deste trabalho, foram selecionadas para esta etapa simulações de defeitos bifásicos e trifásicos no 69kV de Fortaleza, eliminados com rejeição de carga, representando condições de elevado grau de severidade no que diz respeito a sobretensões e defeitos bifásicos e trifásicos numa das linhas de transmissão Banabuiu-Fortaleza 230kV, representando condições de elevado grau de severidade no que diz respeito a subtensões.

Conforme estabelecido em [21], a redução da tensão terminal de uma máquina de indução em carga provocada pela aplicação de curto-circuitos nas suas proximidades provocará queda na sua velocidade. Na eliminação do defeito, grandes motores de indução, como é o caso dos aqui representados, apresentam elevada demanda de potência reativa, o que poderá retardar o crescimento da tensão, caso a rede elétrica não esteja apta a fornecer o montante requerido. Isto impedirá momentaneamente que a máquina retome a velocidade necessária ao estabelecimento do torque requerido pela carga e atinja um novo regime permanente, podendo levar a um colapso de tensão nas suas proximidades.

De forma a se investigar tais efeitos, foram realizadas simulações considerando diferentes percentuais de carga na SE Fortaleza representada por motor de indução, analisando-se o desempenho dos compensadores estáticos e do sistema de transmissão durante e após a eliminação da falta em condições extremamente severas, no que diz respeito ao percentual de carga representada por motores de indução considerado e também para tentar identificar, em termos aproximados, que percentual de cargas tipo motor de indução mais se aproxima da realidade da SE Fortaleza. Os resultados das simulações são comentados a seguir.

- Arquivo FTMGMIP1: dentre as simulações efetuadas neste item, é esta, a princípio, a de maior grau de severidade no que diz respeito a sobretensões na eliminação do defeito, uma vez que é rejeitada elevada parcela da carga de Fortaleza (90%) e considera-se desativada a lógica de subtensão do CE Fortaleza, fazendo com que, na eliminação do defeito, o referido compensador esteja operando no seu limite capacitivo. Verifica-se, dos resultados das simulações, que as sobretensões decorrentes da eliminação do defeito, que duram cerca de três ciclos e são de natureza eletromagnética, apresentam valor reduzido (cerca de 1,45 no 230kV), pouco superiores à sobretensão de regime permanente que se estabelece ao final da simulação e não representam qualquer risco à integridade dos equipamentos que compõem o sistema de transmissão. Em seguida ao desaparecimento das sobretensões de eliminação da falta, tem início um intervalo de subtensão com duração de cerca de 600ms, devido ao fenômeno eletromecânico de retomada de velocidade do motor de indução de 4500FIP, 13,8kV que representa 10% da carga da SE Fortaleza. Este motor, que durante o intervalo de aplicação do defeito sofre brusca desaceleração, na eliminação do mesmo, com a recuperação da sua tensão terminal, sofre um processo de reaceleração que se assemelha a uma nova partida, caracterizado por elevadas correntes de estator, que retornam aos valores de regime em cerca de 600ms da eliminação da falta e provocam subtensão na rede elétrica. As correntes de

estator registradas durante o defeito possuem uma componente DC que decai exponencialmente e na sua eliminação, estas correntes podem atingir até 20 vezes a corrente nominal de plena carga [21]. Extinto o transitório de retomada de velocidade, o motor equivalente volta a operar em regime permanente, com correntes de estator ligeiramente inferiores às registradas antes do defeito, de forma a manter constante sua potência de saída e seu torque eletromagnético, tendo em vista a sobretensão que se estabelece em regime permanente pos-defeito, provocada pela rejeição de 90% da carga de Fortaleza (toda a parcela representada por impedância constante).

O CE Fortaleza, que operava em um ponto ligeiramente capacitivo antes da aplicação do defeito, vai para o limite capacitivo durante o mesmo e após a sua eliminação, opera num ponto medianamente indutivo, devido à rejeição de 90% da carga do 69kV da SE Fortaleza. Após a extinção do transitório de retomada de velocidade do motor, o CE Fortaleza tenta atingir seu limite indutivo, para combater as sobretensões provocadas pela rejeição da carga. Entretanto, a partir de certo instante, opera o circuito limitador de corrente nas válvulas de tiristores do CE Fortaleza, reduzindo sua potência reativa indutiva e fazendo com que se estabeleça uma sobretensão de regime permanente de cerca de 1,20 no 230kV da SE Fortaleza. Tal valor de sobretensão será eliminado mediante o desligamento de bancos de capacitores no 69kV e de linhas de transmissão derivadas da SE Fortaleza.

O CE Milagres, que operava em um ponto ligeiramente capacitivo antes do defeito, atinge seu limite capacitivo durante o mesmo, e, imediatamente após sua extinção, vai ao limite indutivo, para combater as sobretensões decorrentes da eliminação da falta (valor normalizado de 1,30 por cerca de três ciclos). Em seguida, tem início o período de retomada de velocidade do motor que representa parcela de 10% da carga da SE Fortaleza, fazendo com que o CE Milagres se desloque para um ponto de operação medianamente indutivo e anule, por cerca de 400mseg, o sinal de erro na entrada do seu regulador de tensão, controlando a tensão terminal no valor desejado. A partir da atuação do circuito limitador de corrente do CE Fortaleza, o CE Milagres desloca-se para seu limite indutivo, mas não consegue anular o sinal de erro na entrada do seu regulador de tensão, dando origem a uma pequena sobretensão de regime permanente (1,12).

Com base na presente análise, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- Os valores de sobretensão que se estabelecem nas SEs Fortaleza e Milagres logo após a eliminação do defeito são de valor reduzido e não representam risco para a integridade do sistema de transmissão.
- O impacto do transitório eletromecânico sobre o sistema de transmissão é pequeno, tanto no que diz respeito à magnitude das subtensões quanto à sua duração, sugerindo que se eleve, na busca de situações mais severas do ponto de vista de subtensão, o percentual de cargas da SE Fortaleza representado como motor de indução.
- Com a ativação do bloqueio do CE Fortaleza pelo esquema de subtensão, os picos de sobretensão registrados na eliminação do defeito são ligeiramente menores que os registrados com o referido esquema desativado.