

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

*Este exemplar
corresponde à monografia
final de tese defendida por
João Roberto Cogo e aprovada pela
comissão julgadora em 12 de
dezembro de 1986.*

[Assinatura]
15-01-87

ANÁLISE DE PONTES CONVERSoras MONOFÁSICAS COM
COMUTÇÃO FORÇADA EM SISTEMAS ELÉTRICOS

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR NA ÁREA DE AUTOMAÇÃO

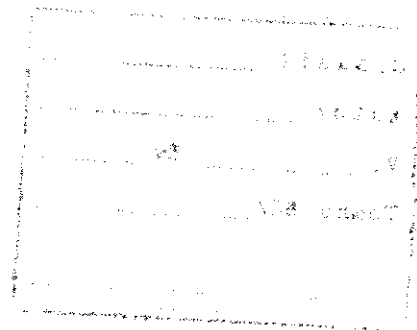
JOÃO ROBERTO COGO

ORIENTADOR: PROF. DR. MAURO SÉRGIO MISKULIN

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

UNICAMP - 1986

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL



À MINHA ESPOSA HELOISA E
AO MEU FILHO ROBERTO

A MEUS PAIS, IRMÃS E SOBRINHOS.

AO GRUPO DE ACIONAMENTOS ELÉTRICOS
INDUSTRIAIS DA ESCOLA FEDERAL DE EN
GENHARIA DE ITAJUBA - EFEI

A G R A D E C I M E N T O S

- . Ao Prof. Mauro Sérgio Miskulin pela orientação segura, sugestões e a incansável dedicação demonstrada não só durante a elaboração deste trabalho mas em todos os momentos.
- . Ao Prof. Dêlvio Franco Bernardes pela ajuda na parte de desenvolvimento do circuito de controle, pelo apoio técnico e pessoal.
- . Ao Wesley Mattiello, pela valiosa e grande ajuda na parte computacional.
- . Aos professores e funcionários que trabalham nos laboratórios do DET pela ajuda não só durante a realização deste trabalho , mas em todos os momentos.
- . À minha esposa Heloísa e meu filho Roberto, pela paciência, compreensão, incentivo e confiança que me depositaram durante toda a execução deste trabalho .
- . À Rita de Cássia Guimarães Araújo pela dedicação e eficiência na datilografia dos originais.
- . Aos professores da EFEI e particularmente àqueles do Departamento de Eletrotécnica pelas ajudas diretas ou indiretas que prestaram durante a realização deste trabalho.
- . A realização deste trabalho e do curso na UNICAMP foi possível graças ao apoio financeiro da EFEI e CAPES.

SIMBOLOGIA

A - Ampere

A_n - Coeficiente da transformada de Fourier

AO - Amplificador operacional

B_n - Coeficiente da transformada de Fourier

C - Capacitância

CA - Corrente alternada

CC - Corrente contínua

CI - Circuito integrado

C_n - Coeficiente de transformada de Fourier

H - Henries

(i) - Numeração de barra ($i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$)

I_{fuga} - Corrente elétrica de fuga

$i(t)$ - Valor instantâneo de corrente elétrica

$k\Omega$ - $10^3\Omega$

L - Indutância

mA - Miliampere

n - Número de pontos obtidos durante a simulação

r - Resistência elétrica

R - Resistência elétrica equivalente: $R = \frac{2L}{\Delta t}$ ou $R = \frac{\Delta t}{2C}$ ou $R = r$

R_{blo} - Resistência elétrica fictícia a ser colocada entre o anodo e o catodo de um semicondutor quando este estiver em bloqueio.

R_{cond} - Resistência elétrica fictícia a ser colocada entre o anodo e o catodo de um semicondutor quando este estiver em condução.

seg - Segundos

- t - Tempo
 T - Período de uma função periódica qualquer
 $T_{\max}$ - Tempo total de simulação ($T_{\max} = n\Delta t$)
 U_{BO} - Tensão anodo-catodo de um semiconductor no estado de blo
queio
 U_{AC} - Tensão anodo-catodo de um semiconductor
 U_{ANC} - Tensão anodo-catodo nominal de um semiconductor em condução
 $u(t)$ - Valor instantâneo de tensão elétrica
 V - Volt
 α - Ângulo de disparo de tiristor
 ΔH - Intervalo de tempo para o cálculo de harmônicos de uma fun
ção discretizada
 Δt - Passo de integração
 Ω - Ohm
 - Diodo
 - Tiristor (SCR - Retificador controlado de silício)
 $[Y]$ - Matriz (dois traços sob a letra)
 $[I]$ - Vetor (um traço sob a letra)
MIT - Motor de indução (assíncrono) trifásico
 $[i]$ - Referências bibliográficas ($i = 1, 2, 3, \dots, 46, 47$)
 M - Conjugado
 S_{cc} - Potência de curto circuito
 X - Reatância

EMTP - Electromagnetic Transients Program

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas

I_d - Corrente elétrica no lado de corrente contínua das pontes con
versoras

F_d - Fator de deslocamento (é o coseno do ângulo de defasagem en-
tre os componentes fundamentais da tensão e da corrente).

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento completo de um sistema de controle para pontes conversoras monofásicas de modo que seja possível alterar o ângulo de fase da componente fundamental da corrente em relação à componente fundamental da tensão, permitindo que a mesma se apresente, ao sistema de suprimento de energia elétrica, com característica capacitiva. Além dos aspectos teóricos envolvidos na determinação das formas de onda (como por exemplo: cálculos de harmônicos), construiu-se um protótipo a nível de laboratório com o objetivo de obter-se resultados de ordem prática, os quais mostraram-se compatíveis com os resultados teóricos esperados. Adicionalmente, elaborou-se um programa digital que simula, no domínio do tempo, sistemas elétricos que possuam pontes conversoras. Ressalte-se que este mostrou-se também eficiente e confiável estando em conformidade com a literatura técnica existente na área.

ABSTRACT

ANALYSIS OF SINGLE PHASE CONVERTER BRIDGES WITH FORCED
COMUTATION IN ELECTRIC SYSTEMS

This thesis presents the complete development of a control system for single phase converter bridges, by means of which it is possible to modify the phase difference between the fundamental components of voltage and current in such a way that, for the power supply system, the current appears as being of a capacitive nature. The theoretical aspects involved in the evaluation of the waveshapes are presented and the results obtained with a prototype built at laboratory level, confirmed the general conclusions formulated. In addition, an efficient digital computer program, which simulates, in the time domain, electric circuits and systems with converter bridges, was developed and implemented. The program produced reliable results, comparable with those encountered in the available literature.

S U M Á R I O

	<u>PÁG</u>
APRESENTAÇÃO GERAL.....	01
 <u>CAPITULO I - UTILIZAÇÃO DE PONTES CONVERSoras</u> MONOFÁSICAS.....	 05
1 - INTRODUÇÃO.....	05
2 - UTILIZAÇÃO DOS CONVERSORES ESTÁTICOS EM SISTE MAS DE TRACÇÃO.....	 05
2.1 - ANÁLISE DOS DIVERSOS TIPOS DE ACIONAMENTOS PA RA OS SISTEMAS DE TRACÇÃO CA.....	 07
2.1.1 - VEÍCULO COM ALIMENTAÇÃO CA E CONTROLE CC.....	08
2.2 - UTILIZAÇÃO DA PONTE CONVERSORA MONOFÁSICA COM CONTROLE DO ÂNGULO DE FASE.....	 14
3 - POSSÍVEIS APLICAÇÕES DAS PONTES CONVERSoras MO NOFÁSICAS.....	 18

CAPÍTULO II - PROGRAMA PARA COMPUTADOR DIGITAL
PARA DETERMINAÇÃO DE GRANDEZAS
CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS ELÉ
TRICOS COM CONVERSORES ESTÁTICOS..

		19
1	- INTRODUÇÃO	19
2	- REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA ELÉTRICO COM CON VERSORES ESTÁTICOS	21
3	- MODELAGEM DOS COMPONENTES DOS SISTEMAS ELÉTRI COS DE POTÊNCIA	23
3.1	- REPRESENTAÇÃO DE INDUTORES VISANDO SUA APLICA ÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPUTADORES DIGITAIS ..	25
3.2	- REPRESENTAÇÃO DE CAPACITORES VISANDO SUA APLI CAÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPUTADORES DIGITAIS.	27
3.3	- REPRESENTAÇÃO DE RESISTORES VISANDO SUA APLICA ÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPUTADORES DIGITAIS ..	30
4	- REPRESENTAÇÃO DOS SEMICONDUTORES DE POTÊNCIA VISANDO SUA APLICAÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPU TADORES DIGITAIS	31
5	- SIMULAÇÃO EM COMPUTADORES DIGITAIS	35

6	- CÁLCULOS DE HARMÔNICOS.....	47
7	- EXEMPLOS DE APLICAÇÃO E COMENTÁRIOS GERAIS....	49
	 <u>CAPITULO III</u> - ELIMINAÇÃO DA INSTABILIDADE NUMÉRICA NO MÉTODO DESENVOLVIDO..	85
1	- INTRODUÇÃO.....	85
2	- SISTEMÁTICA DESENVOLVIDA PARA ELIMINAÇÃO DA INSTABILIDADE NUMÉRICA.....	86
	 <u>CAPITULO IV</u> - SISTEMA DE CONTROLE DE PONTES CONVERSoras MONOFÁSICAS COM COMUTAÇÃO FORÇADA.....	102
1	- INTRODUÇÃO.....	102
2	- DESCRIÇÃO SUCINTA DO FUNCIONAMENTO DE UMA PONTE CONVERSORA SEMICONTROLADA ASSIMÉTRICA.....	104
2.1	- DESPREZANDO-SE O EFEITO DA INDUTÂNCIA EQUIVALENTE DO LADO CA ($L_C=0$).....	104
2.2	- CONSIDERANDO-SE O EFEITO DA INDUTÂNCIA EQUIVALENTE DO LADO CA ($L_C \neq 0$).....	107

3	- ANÁLISE DE PONTES CONVERSoras COM COMUTACÃO FORCADA UTILIZANDO CAPACITORES CARREGADOS PELA REDE COM CONTROLE POR TIRISTORES.....	113
4	- ANÁLISE DE PONTES CONVERSoras COM COMUTACÃO FORCADA CONTROLADA POR DOIS CAPACITORES E DOIS DIODOS.....	117
<u>CAPITULO V - IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITO ELETRÔNICO PARA CONTROLE DO ÂNGULO DE DEFASAGEM DA CORRENTE EM RELAÇÃO À TENSÃO DE ENTRADA EM PONTES CONVERSoras MONOFÁSICAS</u>		
1	- INTRODUÇÃO.....	130
2	- SISTEMA DE POTÊNCIA PARA CONVERSÃO CA/CC.....	130
3	- DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DOS PULSOS DE DISPARO DOS TIRISTORES.....	137
3.1	- DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE DISPARO DOS TIRISTORES.....	138
3.2	- DEFINIÇÃO DO INSTANTE DE GERAÇÃO DOS PULSOS DE DISPAROS.....	139

3.3	- AMPLIFICAÇÃO DOS PULSOS NECESSÁRIOS AO DISPARO DOS TIRISTORES.....	144
4	- SIMULAÇÕES EM COMPUTADOR E MEDIÇÕES EFETUADAS...	146
4.1	- SIMULAÇÕES EM COMPUTADORES DIGITAIS.....	146
4.2	- MEDIÇÕES EFETUADAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS...	154
4.3	- COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS.....	172
 <u>CAPITULO VI - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....</u>		 179
 <u>ANEXO 1 - RESULTADOS PRÁTICOS E PROJETO COMPLETO DO SISTEMA DESENVOLVIDO.....</u>		 183
 <u>ANEXO 2 - REPRESENTAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO E CABOS MONOFÁSICOS SEM PERDAS POR UM CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE.....</u>		 230
 <u>ANEXO 3 - ANÁLISE DO BLOQUEIO DOS TIRISTORES PRINCIPAIS.....</u>		 236
 <u>ANEXO 4 - REPRESENTAÇÃO DE CHAVES E DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES INICIAIS DOS INDUTORES E CAPACITORES.....</u>		 238

<u>ANEXO 5</u>	- CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS E FLUXOGRAMAS DO PROGRAMA DESENVOLVIDO.....	242
<u>ANEXO 6</u>	- CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE TRACÇÃO.....	268
	BIBLIOGRAFIA.....	270

APRESENTAÇÃO GERAL

Neste trabalho pretende-se desenvolver:

1. Um circuito eletrônico para efetuar o controle do ângulo de defasagem entre os componentes fundamentais da corrente e da tensão em pontes conversoras monofásicas, e
2. Um programa para computadores digitais para determinar as formas de onda da tensão e corrente, em sistemas elétricos que possuam pontes conversoras.

As locomotivas que recebem, através de pantógrafo, energia elétrica em corrente alternada, utilizam pontes conversoras monofásicas visando a transformação de energia elétrica de corrente alternada para corrente contínua com a finalidade de efetuar o acionamento e controle de velocidade de seus motores de tração.

Normalmente, nos casos de tração em corrente alternada, as pontes conversoras monofásicas apresentam um sistema de controle que visam não só o acionamento dos motores de tração mas, também, a redução dos harmônicos de corrente injetados no sistema de suprimento de energia elétrica.

As pontes conversoras monofásicas com controle por setor, utilizadas em tração, despertam interesse maior, uma vez que possuem um tipo de controle, que além de reduzir os harmônicos injetados na rede de suprimento de energia elétrica tem a possibilidade de controlar o ângulo de defasagem entre os componentes fundamentais da corrente e da tensão. Este controle normalmente, busca um ângulo de defasagem igual a zero, ou seja, procura atingir um fator de deslocamento (F_d) igual a unidade.

Assim, as pontes conversoras com controle por setor, que a literatura técnica registra ([21], [22], [24], [26]; [27] e [47]), não possuem um controle de modo que o ângulo de defasagem entre o componente fundamental da corrente fique adiantado em relação ao componente fundamental da tensão. Logo, desenvolve-se neste trabalho um método para efetuar o controle do ângulo de defasagem entre os componentes fundamentais da corrente e da tensão, de modo que, para o sistema de suprimento de energia elétrica a ponte conversora se apresente com características capacitivas propiciando desta maneira um controle de tensão.

Uma vez que, atualmente, no Brasil não se faz grandes investimentos no setor de tração elétrica em corrente alternada, havendo, entretanto, preocupação com o consumo de energia elétrica, a ponte conversora com as características apresentadas neste trabalho pode ser aplicada em setores prioritários ao país neste momento. Assim a utilização das pontes conversoras com controle por setor, possuindo características capacitivas para a rede de suprimento de energia elétrica, pode ser utilizada em Pequenas Centrais Hidrelétricas monofásicas com a finalidade de servir como estágio inicial da conversão de energia elétrica de monofásica para trifásica visando o acionamento de máquinas de indução ou, por outro lado como, parte principal do controle de velocidade de máquinas de corrente contínua.

Com relação ao desenvolvimento do controle da ponte conversora, a maior preocupação é mostrar a característica capacitiva que ela possui em relação a rede de suprimento de energia elétrica, visando-se constatar as vantagens que as pontes conversoras monofásicas tem quando se apresentam com tais características.

Para tanto, neste trabalho, executa-se ainda o projeto e a construção de um protótipo, a nível de laboratório referente tanto a parte do sistema de potência da ponte conversora monofásica com comutação forçada bem como a parte referente ao sistema de controle de modo que a mesma tenha a tal característica capacitiva, ou seja, propicia a variação do ângulo de defasagem entre os componentes fundamentais das ondas de tensão e corrente. Os resultados encontrados a nível de laboratório são apresentados através de medições e fotografias.

Por outro lado, o programa para computadores digitais desenvolvido visa obter, em sistemas elétricos, principalmente, aqueles que possuem conversores estáticos (retificadores, inversores controlados pela rede e autocontrolados, recortadores, etc) as formas de onda de tensão e corrente em relação ao tempo. A técnica matemática empregada nesta parte do trabalho é a integração numérica, e os componentes que fazem parte do sistema elétrico (capacitores, transformadores, reatores, linhas de transmissão e cabos) são representados por elementos a parâmetros concentrados (resistores, indutores e capacitores). É conveniente destacar que a técnica numérica usada no estudo de fenômenos transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos de potência quando aplicada a sistemas que possuam pontes conversoras não é tão simples, usando-se a versão do programa digital EMTP - "Electromagnetic Transients Program" -, comercialmente disponível no Brasil e no exterior. Assim sendo, desenvolve-se neste trabalho um programa digital que além de apresentar facilidades para efetuar a simulação de pontes conversoras, permite ainda, de modo simples e eficiente, evitar o problema da instabilidade numérica comum neste tipo de simulação.

Como as variáveis de saída, do programa apresentado, são as tensões nas diversas barras e as correntes nos ramos que compõem o sistema elétrico em relação ao tempo pode-se com bastante facilidade, determinar harmônicos de tensão e/ou corrente em condições normais e transitórias, valores eficazes dessas tensões e correntes e a potência, em qualquer ponto do sistema elétrico que está sendo simulado. Mesmo para sinais de tensão e/ou corrente não senoidais, o programa para computadores digitais desenvolvido mostra-se bastante eficiente quando os resultados, são comparados com os da literatura técnica ([1], [2], [3], [19] e [29]) existente na área.

CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DE PONTES CONVERSoras MONOFÁSICAS

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se apresentar de modo descritivo as formas de utilização das pontes conversoras monofásicas que transformam a energia elétrica de corrente alternada para corrente contínua ou de corrente contínua para corrente alternada.

Uma das grandes aplicações das pontes conversoras monofásicas ocorre em sistemas de tração em corrente alternada, essa a razão de se iniciar este capítulo dentro desta linha de aplicação. Todavia, em circuitos de controle do campo de máquinas de corrente contínua, com excitação independente, este tipo de ponte também se faz presente.

Por outro lado, a utilização das pontes conversoras monofásicas de baixas potências com fontes de suprimento de energia elétrica em circuitos eletrônicos é bastante comum. Além disso, as Pequenas Centrais Hidrelétricas com potência inferior a 10 kW são em alguns casos, monofásicas e portanto, a utilização das pontes conversoras monofásicas, é também, de grande utilidade.

2. UTILIZAÇÃO DOS CONVERSORES ESTÁTICOS EM SISTEMAS DE TRACÇÃO

Os conversores estáticos, podem desempenhar nos veícu -

los à tração elétrica, as seguintes funções básicas [8],[23],[26]:

- a. Conversão da tensão de alimentação de corrente alternada, disponível no veículo, em uma tensão na qual exista vantagens para o sistema.
- b. Possibilita uma regulação contínua e rápida da tensão de alimentação dos motores, permitindo nestes um conjugado contínuo. Com isto tira-se toda vantagem da aderência entre as rodas e os trilhos, compensando alguma tendência de patinação das rodas. No caso do uso do motor assíncrono (de indução) isto é mais acentuado ainda, uma vez que este motor desenvolve seu conjugado, conforme é solicitado, e sua velocidade é inversamente proporcional ao mesmo. Com um controle estático contínuo não é necessário usar resistência de partida e, praticamente nenhuma energia é consumida neste estágio, representando só aí uma economia de 15% a 21% em relação aos equipamentos convencionais. Além disto, as subestações não sofrem mais o efeito de cargas bruscas, o que pode permitir seu dimensionamento mais exato e econômico.
- c. Em tração, os conversores podem ser empregados, por exemplo, como retificador e inversor controlado, conversor estático com comutação forçada para controle nos 4 (quatro) quadrantes ou ainda como recortador ("chopper").

O uso de conversores estáticos em sistemas de tração

com alimentação em corrente alternada no pantógrafo da locomotiva, pode propiciar um controle bastante eficiente nas máquinas elétricas aí empregadas.

2.1. ANÁLISE DOS DIVERSOS TIPOS DE ACIONAMENTOS PARA OS SISTEMAS DE TRAÇÃO CA

Os fatores importantes na escolha do sistema de controle em tração são [8]; [36]:

- o sistema de alimentação (tensão de alimentação, transformador, tipo de estrutura para suporte dos condutores), e
- o tipo de máquina (motor de tração).

Dividindo-se primeiramente os veículos naqueles de operação CA (em corrente alternada) e naqueles de operação CC (em corrente contínua), pode-se providenciar uma subdivisão de acordo com o tipo de acionamento empregado. A figura 1 ilustra este fato e nela inclui-se, também, os antigos sistemas com regulação de tensão eletromecânica para fins de comparação.

No caso dos veículos com alimentação CA, os motores e as pontes conversoras são instalados internamente a locomotiva otimizando-se as variações de tensões pelo uso das facilidades nas quais a tensão do sistema possa ser transformada. A variante A_3 é usada quase que exclusivamente, hoje em dia, estando o uso da A_4 em crescimento. Isto porque elas apresentam as propriedades básicas para um esforço de tração contínua, e conseqüentemente, melhoram as propriedades de aderências.

A variante A_4 tem adicionado algumas vantagens para o

motor assíncrono trifásico (MIT) o qual tem peso reduzido se comparado com os motores de corrente contínua.

Os controles B_2 e B_3 propiciam, nos sistemas com suprimento de energia elétrica em corrente contínua ao pantógrafo das locomotivas, a vantagem de um controle contínuo no processo de tração e também apresentam alta eficiência nas partidas podendo se dispensar resistores de partida. É portanto possível uma efetiva utilização da frenagem (devolução de energia à rede) durante toda a variação de velocidade.

Na figura 1, tem-se:

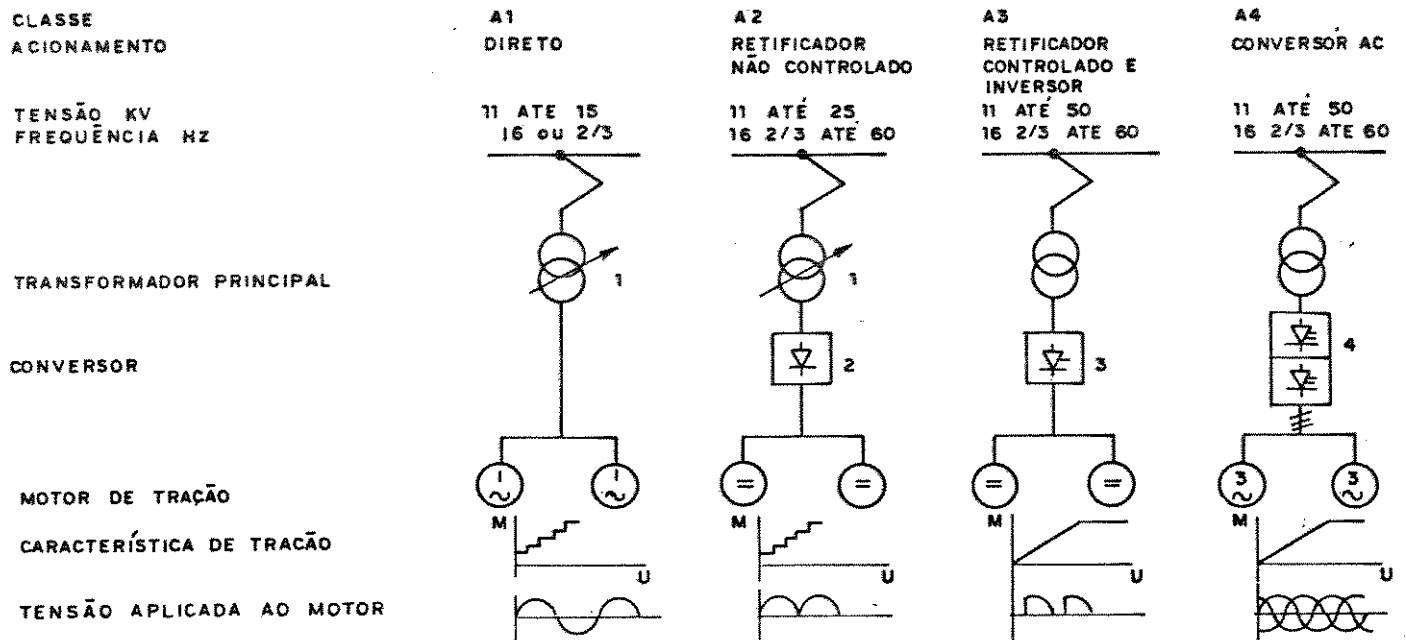
1. Transformador com comutador de níveis de tensão;
2. Retificador não controlado;
3. Retificador controlado e inversor;
4. Conversor estático (retificador controlado e inversor);
5. Resistor chaveado por contator;
6. Recortador ("chopper").

2.1.1. VEÍCULO COM ALIMENTAÇÃO CA E CONTROLE CC

Nos veículos com tração elétrica alimentados por tensão monofásica CA, o controle CC através de pontes conversoras com controle do ângulo de disparo é amplamente utilizado; tanto para a frequência industrial como para a frequência de $16 \frac{2}{3}$ Hz.

A Figura 2, a seguir, ilustra um tipo básico de suprimento de energia em corrente alternada e seus componentes mais importantes.

a - ACIONAMENTO EM CORRENTE ALTERNADA



b - ACIONAMENTO EM CORRENTE CONTÍNUA

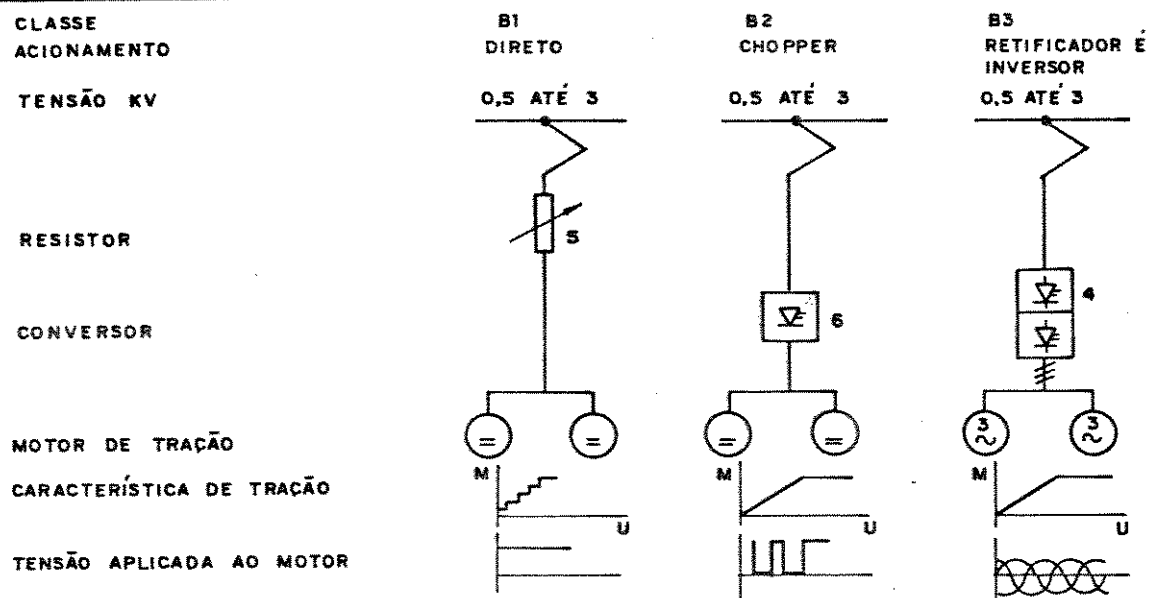


FIGURA 1: CLASSIFICAÇÃO DO ACIONAMENTO EM SISTEMAS DE TRACÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA E EM CORRENTE CONTÍNUA [36]

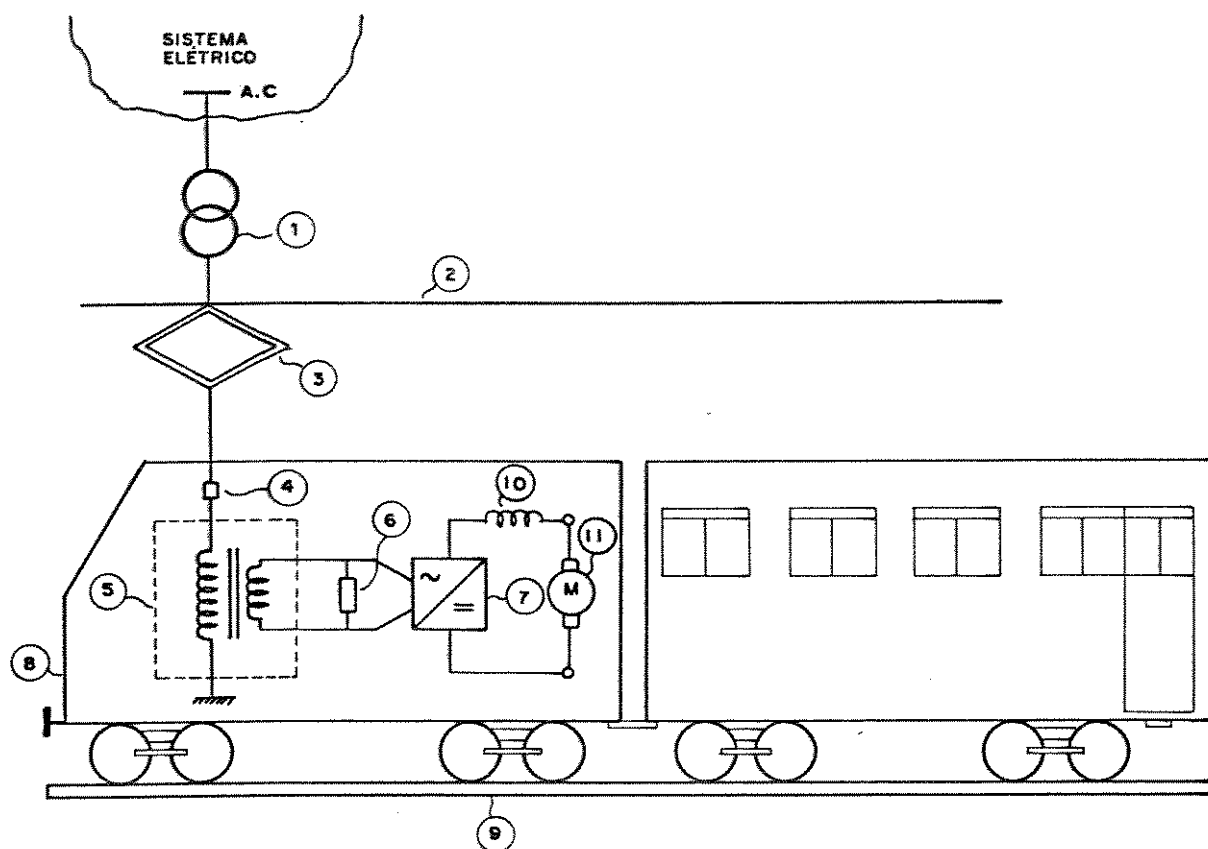


FIGURA 2: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM SISTEMA DE TRACÇÃO COM SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA E CONTROLE DE TENSÃO ATRAVÉS DE PONTES CONVERSoras COM TIRISTORES E DIODOS [15].

Na figura 2 tem-se:

1. transformador da subestação alimentado pela rede de distribuição primária (138 ou 220 kV);
2. linha de alimentação da locomotiva na faixa de 11 a 50 kV ;
3. pantógrafo para a coleta de energia pela locomotiva;
4. chave ou disjuntor para seccionamento;
5. transformador da locomotiva com tensão de saída em nível compatível ao controle do motor de tração;

- 6. filtros;
- 7. ponte conversora CA/CC;
- 8. locomotiva;
- 9. trilho;
- 10. reator de alisamento;
- 11. motor de tração.

O circuito básico comumente encontrado para a ponte conversora, no tipo de acionamento mostrado na Figura 2, está ilustrado na Figura 3.

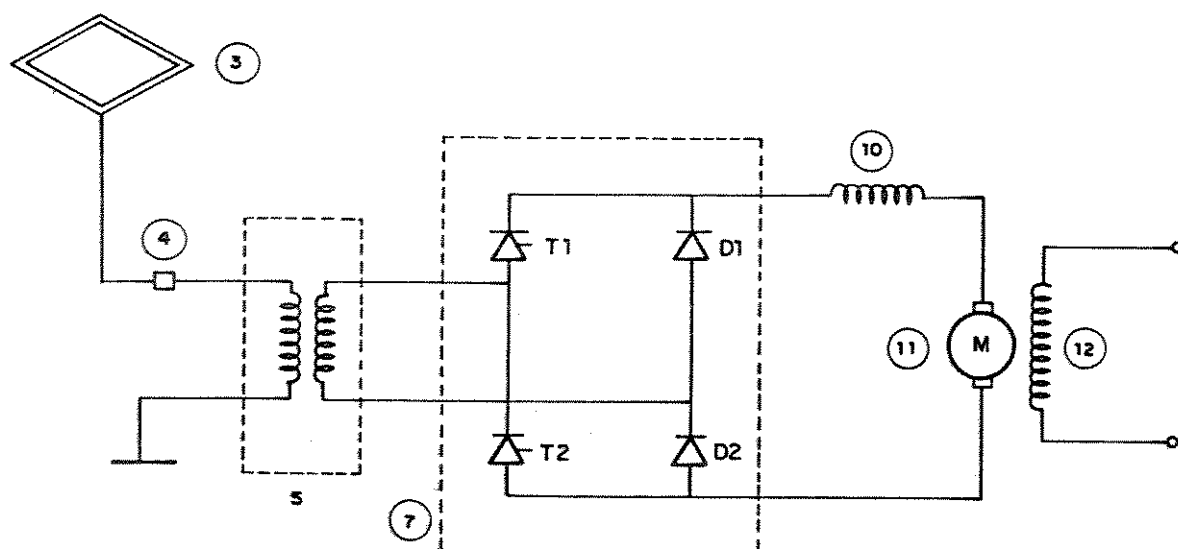


FIGURA 3: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MOSTRANDO A PONTE CONVERSORA USADA EM SISTEMA DE TRAÇÃO.

Na figura 3 tem-se:

- 3, 4, 5, 7, 10 e 11 já mencionados na Figura 2;
- 12. sistema de excitação;
- T1 e T2 - tiristores;
- D1 e D2 - diodos.

A ponte conversora da Figura 3 não é a usual, na prática, para este tipo de acionamento. É comum ter-se uma associação

série de pontes conversoras como mostrado na Figura 4.

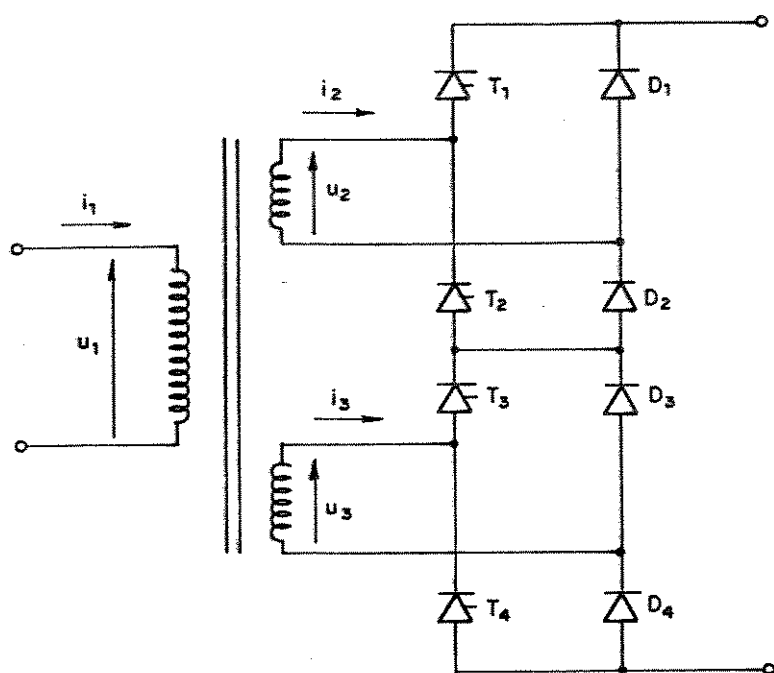


FIGURA 4: ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE PONTES CONVERSORAS USADAS EM TRACÇÃO.

O tipo de ponte mostrado na Figura 4 apresenta as formas de onda de corrente em relação à tensão CA de suprimento de energia como ilustrado na Figura 5, onde se desprezou o efeito da comutação, e se admitiu que a corrente de carga é constante e a fonte de suprimento de energia possui uma forma de onda perfeitamente senoidal à frequência industrial.

Podem-se destacar, do circuito apresentado na Figura 4, as seguintes características básicas:

- a. Conexão direta dos componentes semicondutores no secundário do transformador, isto é, não existem reatores para propiciar uma efetiva distribuição de corrente entre as pontes.

- b. Simplicidade do circuito de disparo. Os pulsos de disparo são obtidos a partir da comparação direta da tensão de alimentação com a tensão de saída.

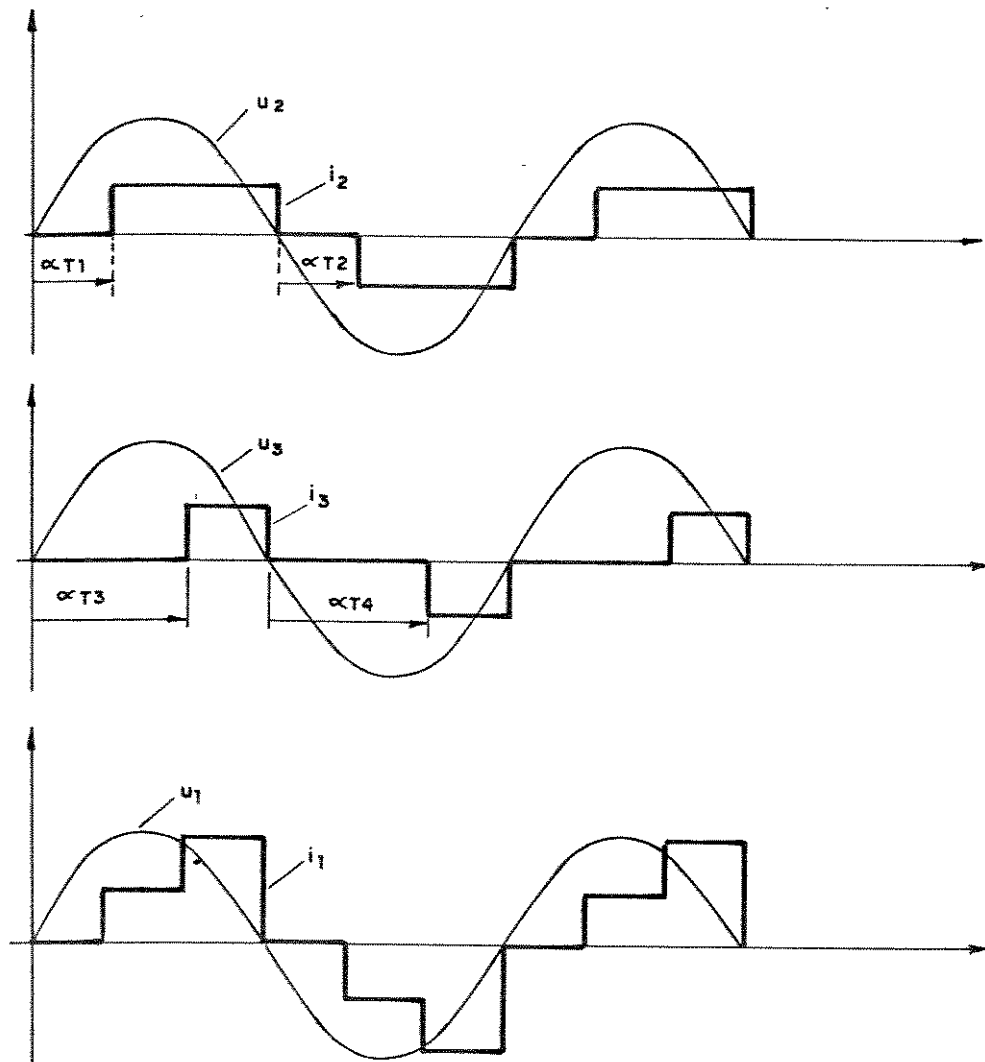


FIGURA 5: FORMAS DE ONDA DE CORRENTE E TENSÃO PARA A PONTE CONVERSORA DA FIGURA 4 (α - ÂNGULO DE DISPARO DOS TIRISTORES).

2.2. UTILIZAÇÃO DA PONTE CONVERSORA MONOFÁSICA COM CONTROLE DO ÂNGULO DE FASE (CONTROLE POR SETOR)

Uma alternativa para trabalhar na frequência industrial é o circuito conversor com controle por setor (Figura 7) que apresenta algumas vantagens em 50 e 60 Hz.

No circuito da Figura 7 pode se notar, por exemplo, que o tiristor T_3 pode ser ligado em qualquer instante onde a onda de tensão u_f é positiva e também, ser desligado sem que a mesma passe por zero.

O controle por setor permite a redução ou mesmo elimina a defasagem entre os componentes fundamentais da corrente e da tensão, além de provocar uma baixa geração de harmônicos no sistema de suprimento de energia [23], [26].

O uso da ponte conversora identificada por 15 na Figura 7, tem por finalidade efetuar o corte de corrente antes da tensão passar por zero, executando o que é denominado controle de ângulo de fase.

Naturalmente, existem outras variantes ([13] e [21]) para o sistema de comutação forçada apresentado na Figura 7.

No circuito indicado na Figura 7, note que se o tiristor T_3 entrar em condução em qualquer instante onde a tensão u_f for positiva ele será bloqueado com auxílio do tiristor T_5 sem ter que esperar a corrente i_{T_3} atingir o seu valor zero, simplesmente carregando-se e descarregando-se convenientemente o capacitor C_1 .

Desta forma, pode-se controlar a fase da componente fun

damental da corrente de linha e portanto a potência reativa e o fator de potência como consequência. Além disso, a injeção de harmônicos de corrente na rede de suprimento de energia elétrica é baixa, também para este tipo de ponte [8], [23], [26], [50].

A forma de onda da corrente obtida por este processo está indicada na figura 6.

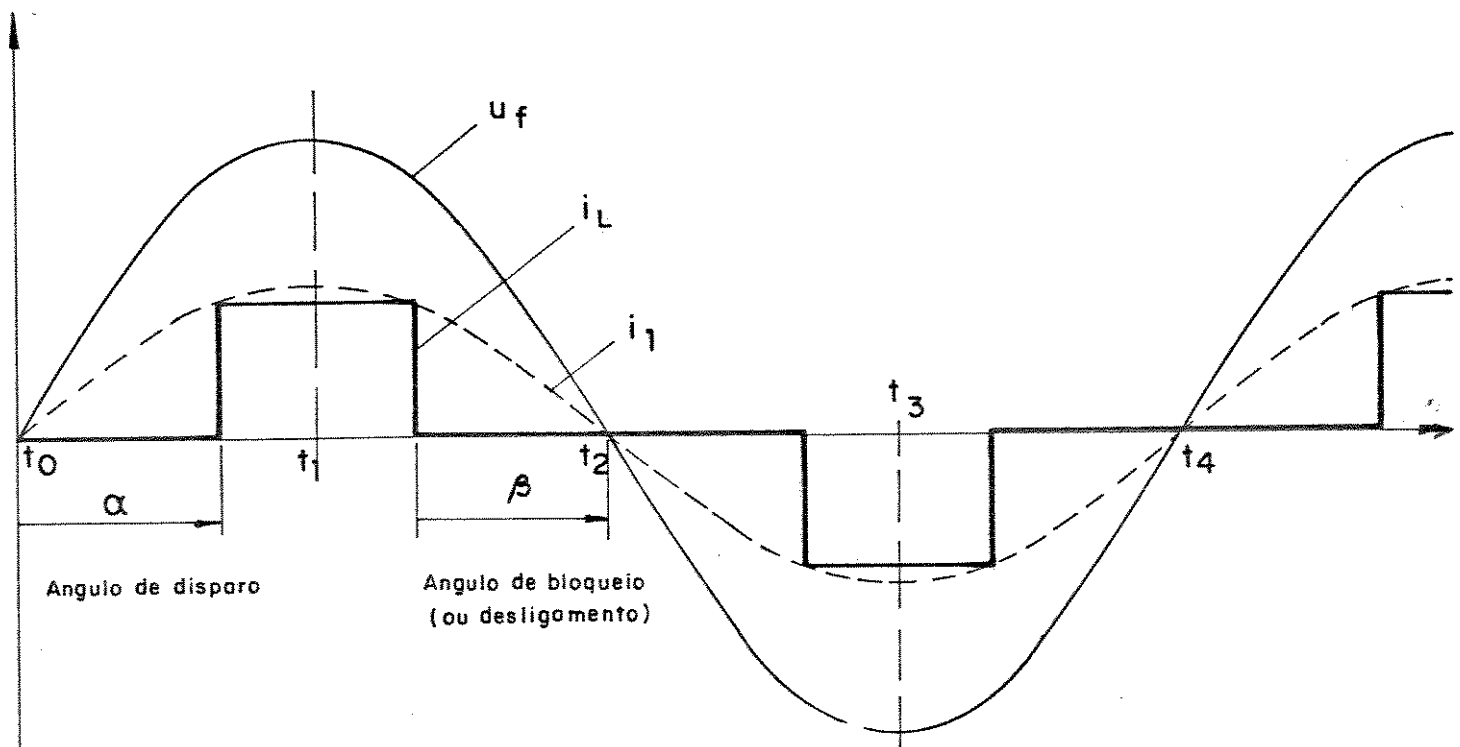


FIGURA 6: FORMAS DAS ONDAS (SIMPLIFICADA) DE TENSÃO E CORRENTE PARA O SISTEMA DA FIGURA 7 CONSIDERANDO-SE O CONTROLE DO ÂNGULO DE FASE (A FIGURA NÃO ESTÁ EM ESCALA) [26]

Na figura 6 tem-se:

- u_f - forma de onda da tensão da fonte de suprimento de energia;
- i_L - forma de onda da corrente de linha;
- i_1 - componente fundamental da corrente i_L .

Note que se $\alpha = \beta$, as componentes fundamentais da corrente e da tensão estão em fase. Desta forma, o fator de deslocamento é unitário. (Vide Figura 6).

Convém notar na Figura 6 que se α for menor que β a componente fundamental da corrente ficará adiantada em relação a componente fundamental da tensão, apresentando-se, para o sistema de suprimento de energia, com característica capacitiva que irá propiciar uma regulação de tensão nesta rede.

Dentro deste contexto, com base no sistema apresentado na Figura 7 ([15]), propõe-se, neste trabalho, (vide Capítulos IV e V) apresentar um sistema de controle, para as pontes conversoras com controle por setor, de modo que a componente fundamental da corrente tenha uma característica capacitiva e não apenas um fator de deslocamento unitário.

Ressalte-se, neste trabalho, que foi utilizado apenas o tipo de ponte conversora, comum em sistemas de tração elétrica, com controle por setor (bloco 15 - Figura 7), e a partir deste tipo de ponte, uma vez que o controle de fase da corrente é feito, normalmente, até o fator de deslocamento unitário, propõe-se, analisar a mesma objetivando-se que se apresente para a rede elétrica de suprimento de energia, com características capacitivas.

Cabe ressaltar que a ponte conversora monofásica com controle por setor deverá então, para atender as características apresentadas, possuir um sistema de controle adequado. Assim, dentro deste objetivo, desenvolve-se este sistema de controle, no Capítulo V, podendo-se verificar que a implementação do mesmo, como foi feito, é bastante simples, o que irá trazer vantagem em se usar este tipo de acionamento não só em tração CA mas também em outras aplicações, como será visto a seguir.

3. POSSÍVEIS APLICAÇÕES DAS PONTES CONVERSoras MONOFÁSICAS

Cabe lembrar que, conforme [16], na faixa de 0 a 5 kW atualmente, o uso de inversores aplicados a motores de indução trifásicos substitui com vantagens os acionamentos convencionais, devido a elevada performance, confiabilidade e baixo custo para estes tipos de máquinas.

A utilização de tiristores para a construção de inversor auto-controlado, com a finalidade de controlar a tensão e a frequência aplicada aos terminais do motor, apresenta dificuldades nos sistemas de bloqueio e a sincronização necessária para compensar os tempos de liberação dos mesmos.

O desenvolvimento de transistores de potência mais eficientes, sugere que no caso de pequenos motores, o controle possa ser efetuado de uma maneira mais simples e conveniente mediante o uso deste tipo de tecnologia. Assim neste tipo de acionamento, as pontes retificadoras monofásicas servirão para efetuar a transformação de energia elétrica de CA para CC, caracterizando-se, portanto, como sendo o primeiro estágio do inversor. Se estas pontes se apresentarem com características capacitivas pode-se ter uma melhor regulação de tensão nos terminais da mesma.

Deve-se ressaltar também que no caso de eletrificação rural a obtenção de energia elétrica de monofásica para trifásica atualmente é feita com um sistema que possua as seguintes fases:

- a. Conversão de energia elétrica monofásica de CA para CC;
- b. Transformação de energia elétrica de CC para CA, porém, trifásica.

Assim para a primeira fase pode ser usado o sistema de conversão proposto neste trabalho.

CAPÍTULO II

PROGRAMA PARA COMPUTADOR DIGITAL PARA DETERMINAÇÃO
DE GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS
ELÉTRICOS COM CONVERSORES ESTÁTICOS

1. INTRODUÇÃO

Apesar da grande utilização dos semicondutores de potência (diodos, transistores e tiristores) nas mais diversas aplicações, nota-se uma grande dificuldade, ainda nos dias de hoje, em obter-se por exemplo as formas de onda de tensão e corrente, e a intensidade dos harmônicos produzidos o mais próximo possível da realidade. Em outras palavras, ao efetuar-se modelamentos de sistemas elétricos que possuem conversores estáticos, visando-se cálculos e simulações depara-se, com as dificuldades naturais de representá-las de modo eficiente.

Assim, de um modo geral, se faz algumas simplificações para a obtenção de formas de onda de tensão e corrente em sistemas elétricos que possuam conversores estáticos. Estas simplificações, normalmente, visam simplificar o modelo. Como exemplo de hipóteses simplificadoras, pode-se citar, entre outras:

- a consideração da corrente constante no lado de corrente contínua em pontes retificadoras.
- a consideração do sistema elétrico de suprimento de energia, às pontes retificadoras e/ou inversoras, como sendo equilibrado.

- a consideração de pulsos de disparo, em pontes conver
soras controladas, como sendo igualmente espaçados.

Neste trabalho procura -se desenvolver um procedimento, mais especificamente, um programa para computador digital com nú
mero mínimo de hipóteses simplificadoras, ou artifícios para efetuar-se os cálculos ou as simulações desejadas.

Para o desenvolvimento do programa digital partiu-se da idéia já utilizada em cálculos de sobretensões devido a chaveamentos, faltas, descargas atmosféricas, etc. em sistemas elétricos de potência [1], [2], [4], [5] e [19]. Alguns artifícios [19] foram introduzidos para tratar sistemas que possuem pontes conversoras.

Basicamente, a técnica matemática utilizada, para a re
solução das equações diferenciais que compõem o modelo matemático do sistema, no programa desenvolvido, é a da integração numérica , [1], [2], [3] e [19]. O programa EMTP quando empregado no cálculo de transitórios eletromagnéticos, apresenta dificuldades de uso , em sistemas onde exista um grande número de chaveamentos, como é o caso de estudos envolvendo conversores estáticos. Assim sendo, to
mando como base a técnica empregada, normalmente, para cálculo de sobretensões, desenvolve-se um programa para computador digital pa
ra resolver os problemas de simulação em sistemas elétricos com conversores estáticos.

2. REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA ELÉTRICO COM CONVERSORES ESTÁTICOS

De um modo geral, os sistemas elétricos que possuem conversores estáticos tem a configuração básica mostrada na figura 1, onde:

S.E.P - Sistema elétrico equivalente;

LT - Linha de transmissão;

T - Transformador da ponte conversora;

PR - Ponte conversora (retificadora, neste caso);

RA - Reator de alisamento.

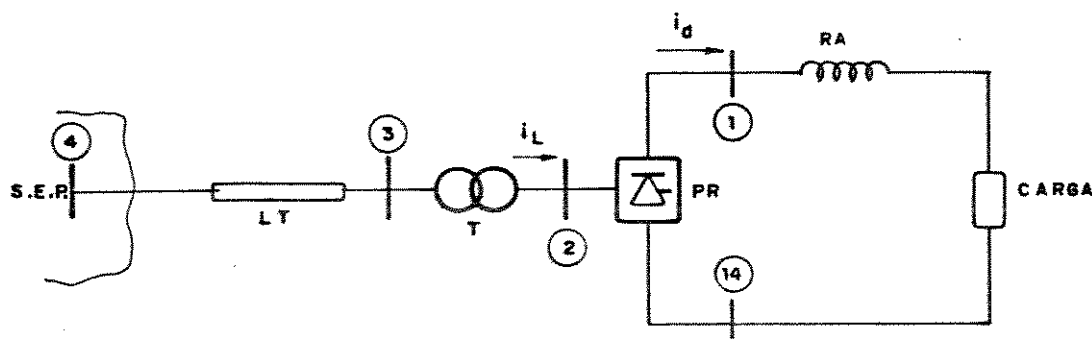


FIGURA 1: REPRESENTAÇÃO UNIFILAR DE UM SISTEMA ELÉTRICO TÍPICO CONTENDO PONTE CONVERSORA.

O diagrama de impedâncias para o sistema mostrado na figura 1 já referido ao secundário do transformador, está ilustrado na figura 2.

Nota-se na figura 2 que, na representação completa do sistema aparecem os seguintes elementos:

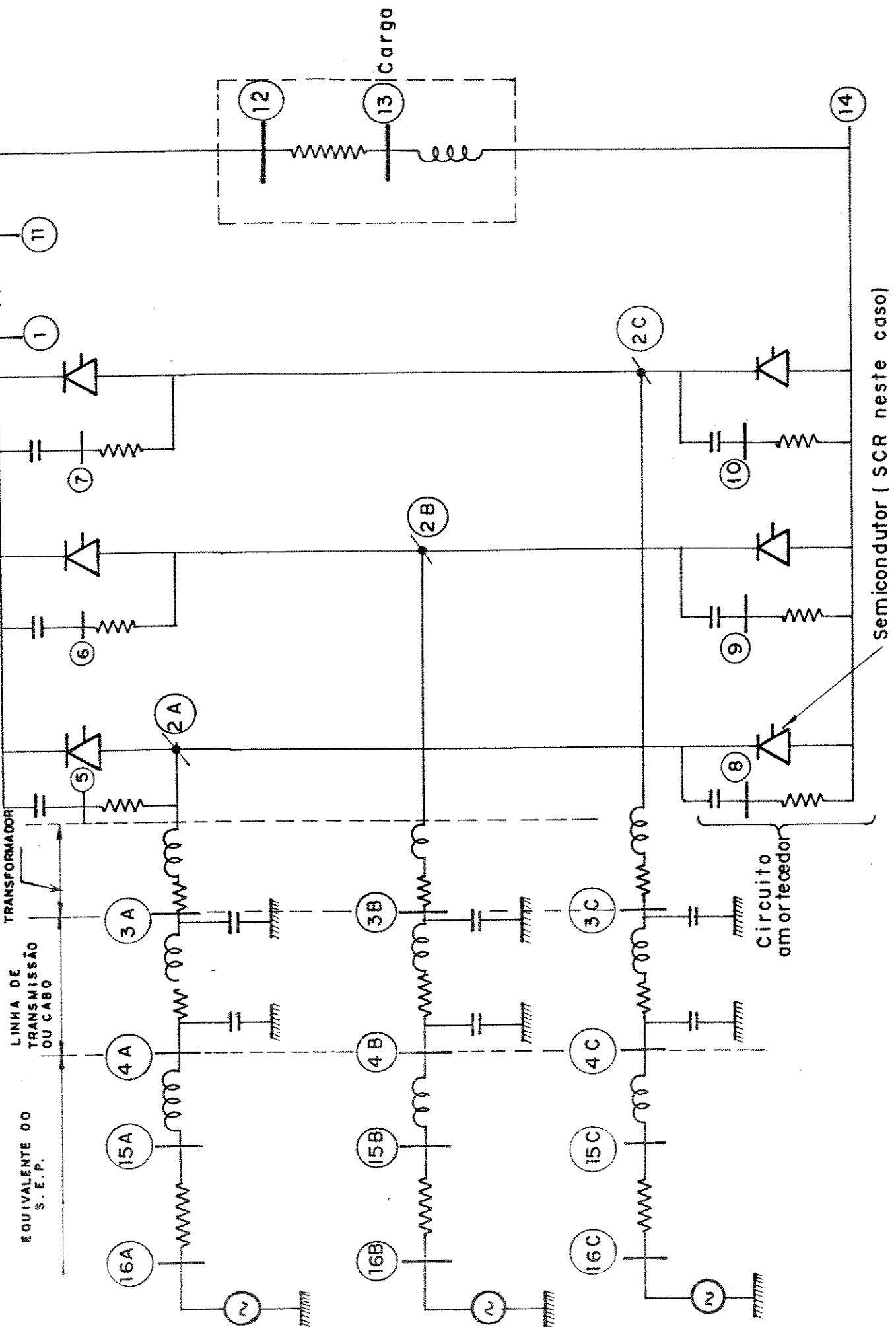
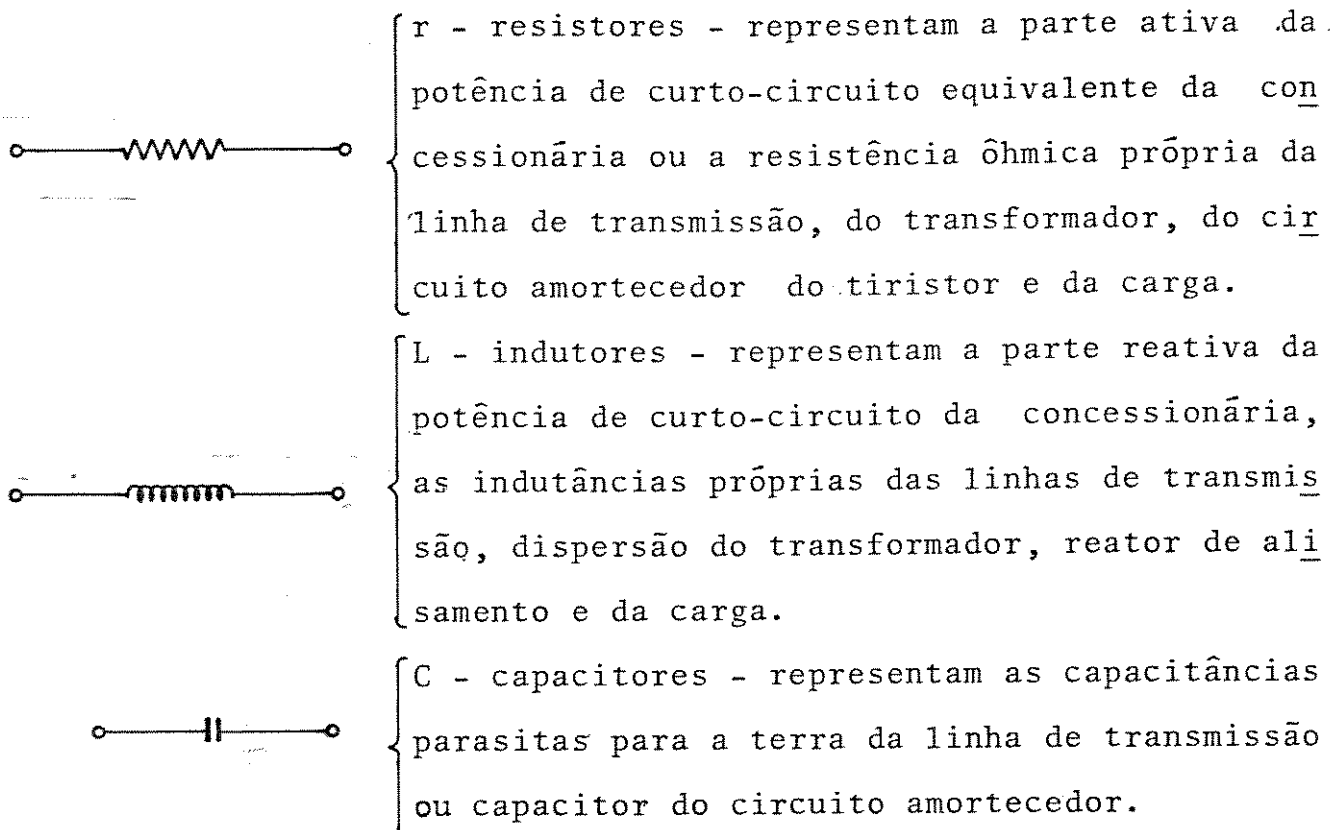


FIGURA 2: DIAGRAMA TRIFILAR PARA O SISTEMA DA FIGURA 1.



Assim, os três elementos, r , L e C formam os componentes imprescindíveis para a representação, por parâmetros concentrados, do sistema em análise. Logo, se houver um tratamento matemático eficiente para estes elementos aliados à representação dos semicondutores, obtêm-se um modelo para o sistema.

3. MODELAGEM DOS COMPONENTES DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

Para efetuar a modelagem dos elementos de sistemas elétricos de potência, tais como indutores, capacitores, resistores, considerar-se-á que as variáveis de interesse são conhecidas no instante $t - \Delta t$, e procurar-se-á identificar o comportamento das

mesmas durante um intervalo de tempo Δt , para então obtê-las em um novo instante t . A figura 3 ilustra [1], [2], [4], [5] e [19].

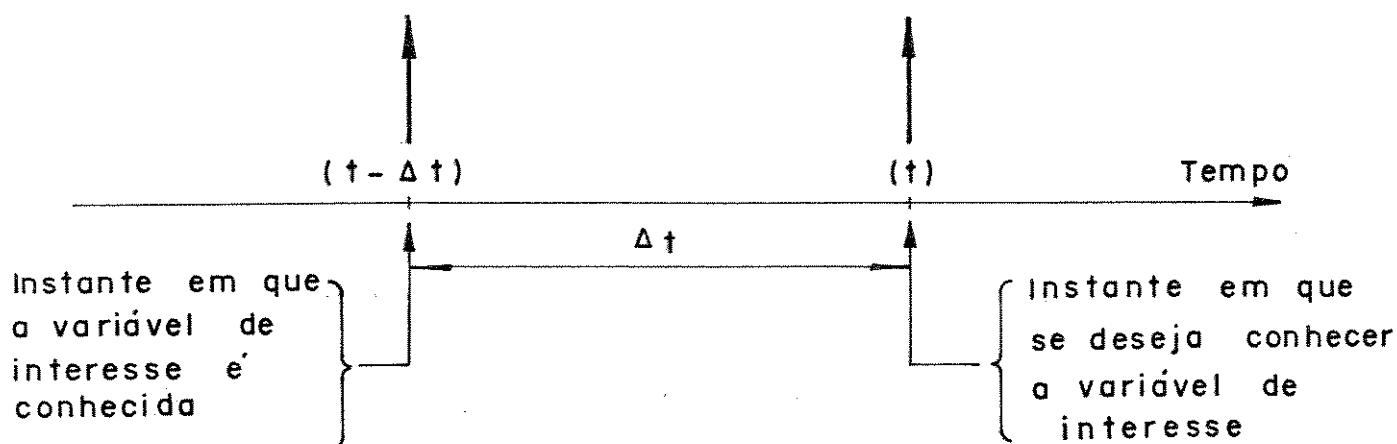


FIGURA 3: DISCRETIZAÇÃO DE TEMPO VISANDO O CÁLCULO DOS VALORES INSTANTÂNEOS DE TENSÃO E/OU CORRENTE.

A escolha do intervalo de tempo Δt (ou passo de integração) é feita, de forma que as equações diferenciais representativas do comportamento dos elementos que compõem o sistema elétrico, possam ser discretizadas, ou seja, as grandezas diferenciais serão tratadas através de valores incrementais. Por exemplo: as variações da tensão e/ou corrente em relação ao tempo (du/dt e di/dt) serão substituídas pelos seus valores incrementais correspondentes ($\Delta u/\Delta t$ e $\Delta i/\Delta t$).

A figura 3 apresenta uma interpretação gráfica da metodologia.

3.1. REPRESENTAÇÃO DE INDUTORES VISANDO SUA APLICAÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPUTADORES DIGITAIS [1], [2], [4] E [19]

Considere o indutor representado na figura 4.

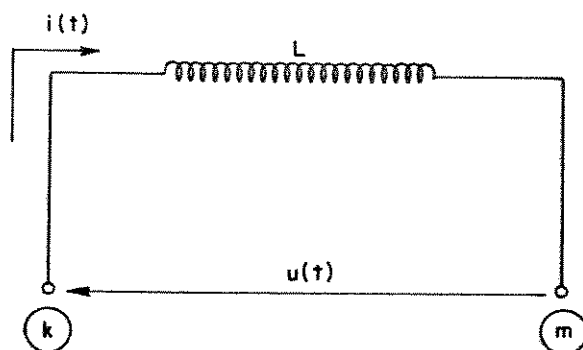


FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DE UM INDUTOR CONCENTRADO ENTRE DUAS BARAS K E M.

Supondo o indutor representado na figura 4 ideal, pode-se escrever:

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L} u(t) \quad (1)$$

logo, a corrente $i(t)$ será dada por:

$$i(t) = \int \frac{1}{L} u(t) dt \quad (2)$$

A solução da equação (2) através do método trapezoidal é dada por:

$$i(t) = i(t - \Delta t) + [\Delta i(t - \Delta t) + \Delta i(t)]/2 \quad (3)$$

onde, na equação (3), se tem:

$$\Delta i(t - \Delta t) = \left. \frac{di}{dt} \right|_{(t - \Delta t)} \Delta t = \left[\frac{1}{L} u(t - \Delta t) \right] \cdot \Delta t \quad (4)$$

e

$$\Delta i(t) = \left. \frac{di}{dt} \right|_{(t)} \Delta t = \left[\frac{1}{L} u(t) \right] \cdot \Delta t \quad (5)$$

levando-se (4) e (5) em (3) se tem:

$$i(t) = i(t - \Delta t) + \left\{ \left[\frac{1}{L} u(t - \Delta t) \right] \Delta t + \left[\frac{1}{L} u(t) \right] \Delta t \right\} / 2$$

ou ainda:

$$i(t) = [\Delta t / 2L] u(t) + i(t - \Delta t) + (\Delta t / 2L) u(t - \Delta t)$$

observando a equação anterior, nota-se o termo:

$$\Delta t / 2L$$

cujo inverso deste termo é dimensionalmente equivalente a uma re sistência elétrica pois:

$$\left[\frac{2L}{\Delta t} \right] = \left[\frac{H}{SEG} \right] = \left[\frac{\Omega \cdot SEG}{SEG} \right] = [\Omega]$$

Por conveniência faz-se:

$$R = 2L / \Delta t$$

e

$$I = i(t - \Delta t) + u(t - \Delta t) / R$$

Assim, a corrente no instante t é dada por:

$$i(t) = u(t) / R + I \quad (6)$$

Nota-se em (6) dois aspectos importantes:

- 1º - R é uma resistência elétrica fictícia de valor constante, independente do tempo.
- 2º - I pode ser imaginado como uma fonte de corrente de valor conhecida no instante $t - \Delta t$ (representa a "história passada" [1]).

A representação do indutor da figura 4, por um circuito equivalente pode ser obtido de (6) e está mostrada na figura 5.

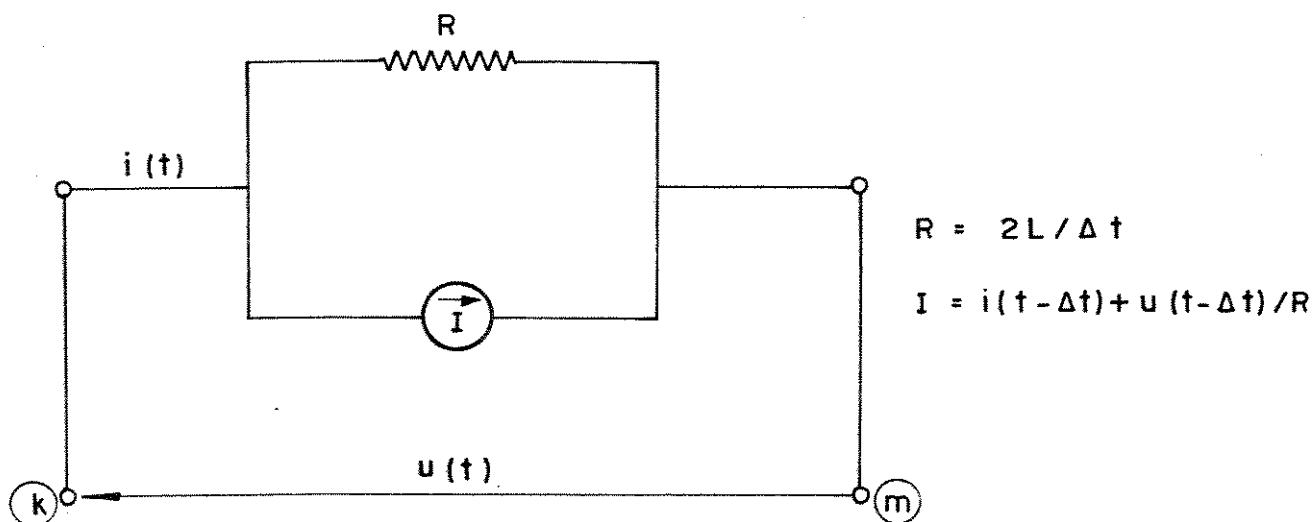


FIGURA 5: REPRESENTAÇÃO DE INDUTOR POR UM CIRCUITO EQUIVALENTE.

3.2. REPRESENTAÇÃO DE CAPACITORES VISANDO SUA APLICAÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPUTADORES DIGITAIS [1], [2], [4] E [19]

Da mesma forma que a do item anterior, procura-se, a seguir um modelo digital para o capacitor ideal ilustrado na figura 6.

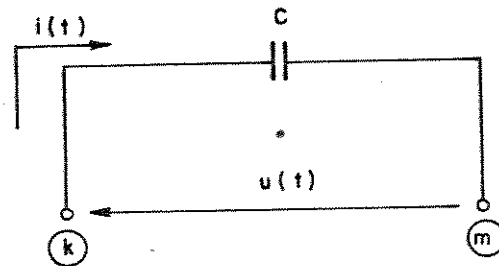


FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DE UM CAPACITOR IDEAL ENTRE DUAS BARRAS K E M.

Da figura 6 pode-se escrever que:

$$u(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (7)$$

ou ainda:

$$\frac{du(t)}{dt} = \frac{1}{C} i(t) \quad (8)$$

Com o uso do método trapezoidal pode-se escrever:

$$u(t) = u(t - \Delta t) + [\Delta u(t - \Delta t) + \Delta u(t)]/2 \quad (9)$$

onde em (9) se tem:

$$\Delta u(t - \Delta t) = \left. \frac{du}{dt} \right|_{(t - \Delta t)} \Delta t = \left[\frac{1}{C} i(t - \Delta t) \right] \Delta t \quad (10)$$

e

$$\Delta u(t) = \left. \frac{du}{dt} \right|_{(t)} \Delta t = \left[\frac{1}{C} i(t) \right] \Delta t \quad (11)$$

Substituindo (10) e (11) em (9) se tem:

$$u(t) = u(t - \Delta t) + \left[\left(\frac{\Delta t}{C} \right) i(t - \Delta t) + \left(\frac{\Delta t}{C} \right) i(t) \right] / 2$$

logo, explicitando-se $i(t)$ se tem:

$$i(t) = u(t)/R + I \quad (12)$$

onde

$$R = \frac{\Delta t}{2C}$$

e

$$I = -i(t - \Delta t) - u(t - \Delta t)/R$$

logo, a equação (12) permite obter o circuito equivalente para o capacitor representado na figura 6.

Neste ítem são válidas as seguintes observações:

- 1º - R - é uma resistência elétrica fictícia invariante, dada por $\Delta t/2C$;
- 2º - I - representa uma fonte de corrente de valor conhecido no instante $t - \Delta t$.

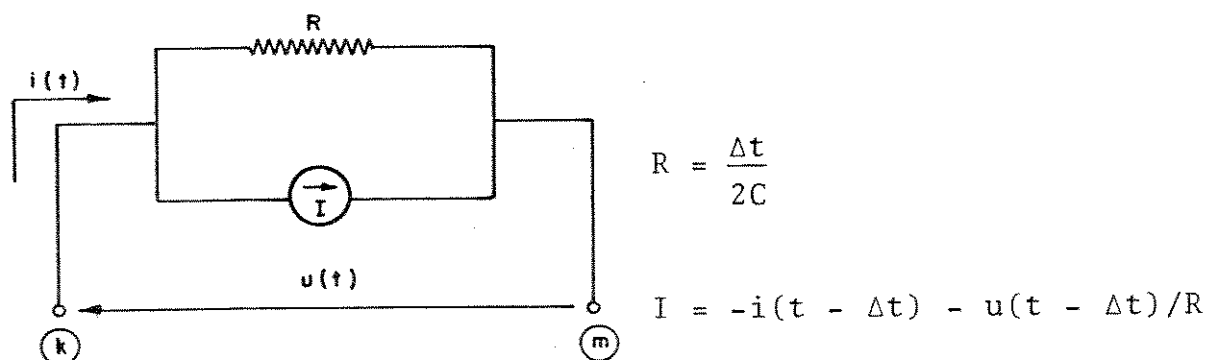


FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO DO CAPACITOR POR UM CIRCUITO EQUIVALENTE

3.3. REPRESENTAÇÃO DE RESISTORES VISANDO SUA APLICAÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPUTADORES DIGITAIS [1], [2], [4] E [19]

Considere o resistor representado na figura 8.

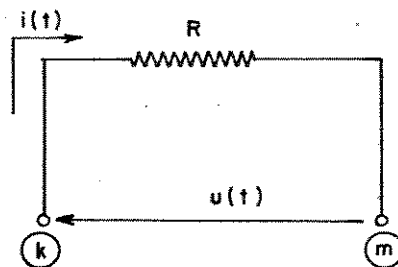


FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DE UM RESISTOR IDEAL ENTRE DUAS BARRAS K E M.

Da figura 8, pode-se escrever:

$$u(t) = ri(t) \quad (13)$$

neste caso,

$$\Delta u(t) = r \Delta i(t) \quad (14)$$

De maneira óbvia, o circuito equivalente para o resistor é o mostrado na figura 9, onde neste caso:

$$I = 0 \quad \text{e} \quad R = r \text{ (constante)}$$

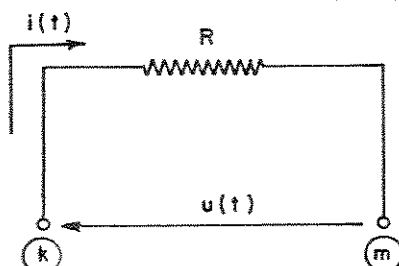


FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO DO RESISTOR POR UM CIRCUITO EQUIVALENTE.

4. REPRESENTAÇÃO DOS SEMICONDUTORES DE POTÊNCIA VISANDO SUA APLICAÇÃO EM PROGRAMAS PARA COMPUTADORES DIGITAIS

Os semicondutores de potência que podem ser utilizados no programa desenvolvido são diodos, tiristores (retificadores controlados de silício, SCR) e transistores.

Os diodos [7] são elementos que entram em condução ao terem uma tensão anodo-catodo positiva e bloqueiam quando a corrente por ele atingir um valor negativo pré-determinado. Já os tiristores tem a mesma situação de bloqueio dos diodos, porém a sua entrada em condução, normalmente, irá depender da existência de um pulso de gatilho e de uma tensão anodo-catodo positiva. Os transistores comportam-se como os tiristores, à exceção de que o bloqueio dos mesmos ocorre simplesmente com a eliminação do pulso de gatilho (ou base). A figura 10 ilustra a representação destes elementos.

Na figura 10, se tem:

A - anodo

C - catodo

G - gatilho

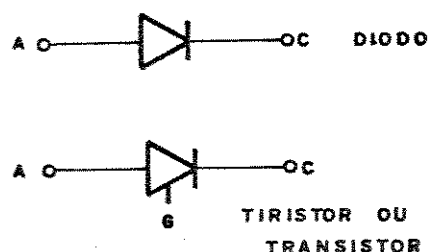


FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO DOS SEMICONDUTORES

A curva característica de um semiconductor de potência com exceção dos detalhes devido ao disparo está representada na figura 11, a seguir.

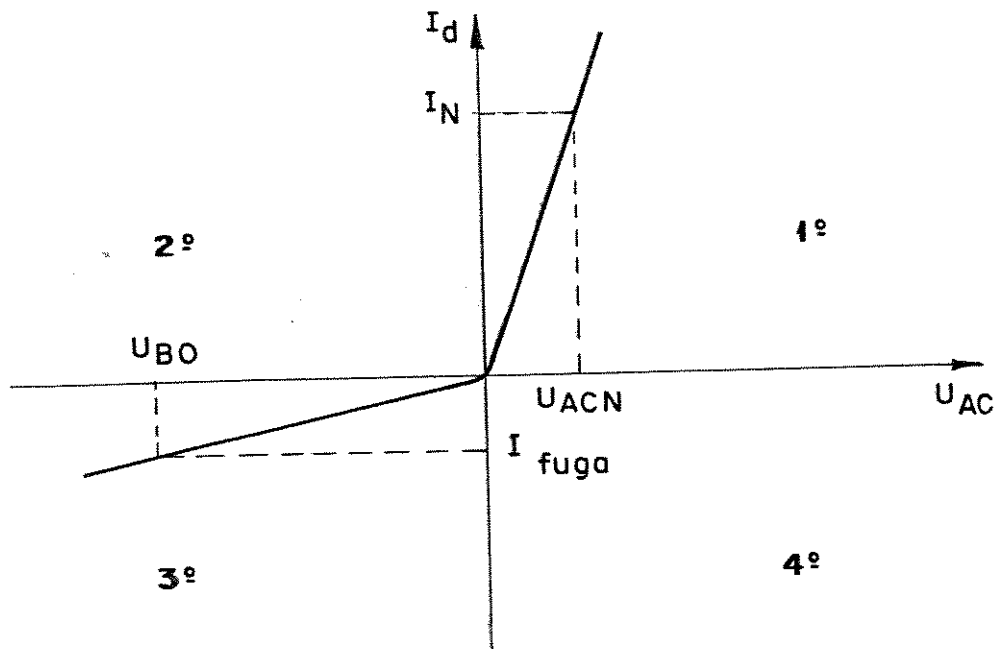


FIGURA 11: CURVA CARACTERÍSTICA DE UM SEMICONDUTOR

Na figura 11, se tem:

- 1º Quadrante - Região de condução (U_{ACN} e I_N correspondem a tensão direta no estado de condução e a corrente nominal, respectivamente)
- 3º Quadrante - Região de bloqueio (U_{BO} e I_{fuga} correspondem a tensão reversa nominal e corrente de fuga, respectivamente).

Cada semiconductor tem os seus valores característicos para U_{ACN} , I_N , U_{BO} , I_{fuga} . Estes valores podem ser estimados através de valores típicos ou obtidos, diretamente, junto a folha de

dados de fabricantes.

Exemplo para o semicondutor BStP49 [14], tem-se:

$$U_{ACN} = 1,6 \text{ V}$$

$$I_N = 1100 \text{ A}$$

$$U_{BO} = 600 \text{ a } 900 \text{ V}$$

$$I_{fuga} = 100 \text{ mA}$$

Para a finalidade a que se propõe este capítulo, e também este trabalho, o semicondutor quando em condução ou em bloqueio será representado por uma resistência, de valores R_{cond} e R_{blo} , respectivamente, como ilustra a figura 12.

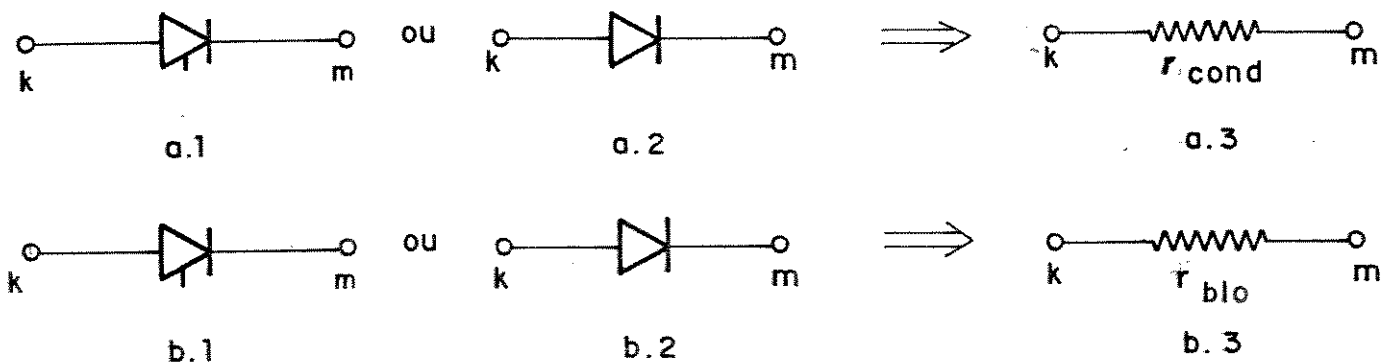


FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO DE UM SEMICONDUTOR QUANDO SUBSTITUIDO POR RESISTOR.

A. EM CONDUÇÃO POR R_{COND}

B. EM BLOQUEIO POR R_{BLO}

Note-se que, no modelo apresentado no item anterior, o resistor tem a representação mais simples, ou seja, não possui fontes de corrente em paralelo, e neste caso tem-se, para o estado de

condução:

$$R = r_{\text{cond}} = R_{\text{cond}} = \frac{U_{\text{ACN}}}{I_N}$$

e para o estado de bloqueio:

$$R = r_{\text{blo}} = R_{\text{blo}} = \frac{U_{\text{BO}}}{I_{\text{fuga}}}$$

No programa desenvolvido, a ausência destes dados impli
ca em:

$$R_{\text{cond}} = 10^{-3} \quad \Omega$$

e

$$R_{\text{blo}} = \infty (\text{infinito}) \text{ ou um valor da ordem de } 100 \quad \text{M}\Omega$$

na falta de melhores dados

Para o semiconductor BStP49 [14], tem-se:

$$R_{\text{cond}} = \frac{1,6}{1100} = 0,0015 \quad \Omega$$

$$R_{\text{blo}} = \frac{600}{100 \cdot 10^{-3}} \quad \text{a} \quad \frac{900}{100 \cdot 10^{-3}} \quad \text{ou} \quad R_{\text{blo}} = 6 \text{ a } 9 \quad \text{k}\Omega$$

Desta forma, nota-se de imediato, as seguintes vanta
gens ao se representar os semicondutores da maneira proposta:

1. Quando um semiconductor entra em condução, sua representação é um resistor de valor R_{cond} ; logo, o seu modelo, para a finalidade proposta, apresenta grande facilidade em termos de elaboração de programa para computadores digitais.
2. Não há, em princípio, limite para o número de semicondutores em uma mesma barra, resultando uma grande facilidade para a representação de pontes conversoras com elevado número de pulsos.

3. Quando um semicondutor entrar em bloqueio sua representação é um resistor de valor R_{blo} ou um resistor de valor infinito. Neste último caso está sendo desprezada a corrente de fuga em relação à corrente de carga.

5. SIMULAÇÃO EM COMPUTADORES DIGITAIS

A representação dos componentes que compõem um sistema elétrico, visando sua simulação, através do EMTP (Electromagnetic Transients Program [19]) apresenta um aumento significativo no número de barras representativas do sistema quando existe a necessidade de se utilizar mais de uma chave em um mesmo barramento. Além disso, existem grandes dificuldades quando se deseja operar uma mesma chave mais de uma vez.

No caso de sistema elétrico com pontes conversoras monta-se várias chaves, chaves estáticas (diodos ou tiristores), em um mesmo barramento (vide figura 2). Além disso o fechamento e a abertura destas chaves é feito cíclicamente. Desta forma, o uso do programa comercial EMTP [19], neste caso, apresenta dificuldades. Assim, desenvolve-se a seguir, um programa para computador digital que visa basicamente o seguinte:

- a. Os elementos r , L e C que compõem um sistema elétrico serão representados da forma convencional apresentada em [1], [2], [4] e [19].
- b. Os semicondutores de potência e as chaves convencionais (disjuntores e seccionadores) serão representados por resistores entre

as barras onde os mesmos se encontram, tomando o cuidado, em representar por R_{cond} o semiconductor quando estiver em condução (ou chave convencional fechada) e por R_{blo} quando o semicondutor estiver em bloqueio (ou chave convencional aberta). Neste caso, ressalva-se que uma chave convencional no estado aberta , terá R_{blo} igual a infinito.

c. As fontes de corrente e de tensão serão representadas de forma convencional [1], [2], [4] e [19].

Com a metodologia apresentada em b unida àquelas apresentadas em a e c desenvolve-se a seguir uma sequência para obtenção de um programa para computador digital que tenha por objetivo determinar as formas de onda de tensão e corrente em pontes conversoras.

O programa a ser desenvolvido irá fornecer em cada instante para qualquer barra do sistema o seguinte par ordenado:

$$t, u(t) \rightarrow (\text{tempo, tensão})$$

e para qualquer ramo do sistema ter-se-á o seguinte par ordenado:

$$t, i(t) \rightarrow (\text{tempo, corrente})$$

Desta forma, findo o tempo de simulação, que deverá durar T_{max} , tem-se n pares ordenados para as correntes dos ramos e n pares ordenados para as tensões de barras onde:

$$n = \frac{T_{m\acute{a}x}}{\Delta t}$$

Note que o conjunto de valores tempo, corrente e/ou tensão propicia uma visualização global do sistema em análise.

Com a finalidade de apresentar a metodologia de execução

ção do programa para computador digital, usar-se-á como exemplo um sistema elétrico monofásico com uma ponte retificadora semicontr_olada. Naturalmente, o programa desenvolvido é geral e o uso do sistema mostrado na figura 13 tem por objetivo apresentar a visualiza_cção e o acompanhamento das etapas principais do programa desenvol_vvido.

Considere o sistema elétrico ilustrado pelo seu diagrama unifilar na figura 13 e pelo seu circuito elétrico equivalente na figura 14.

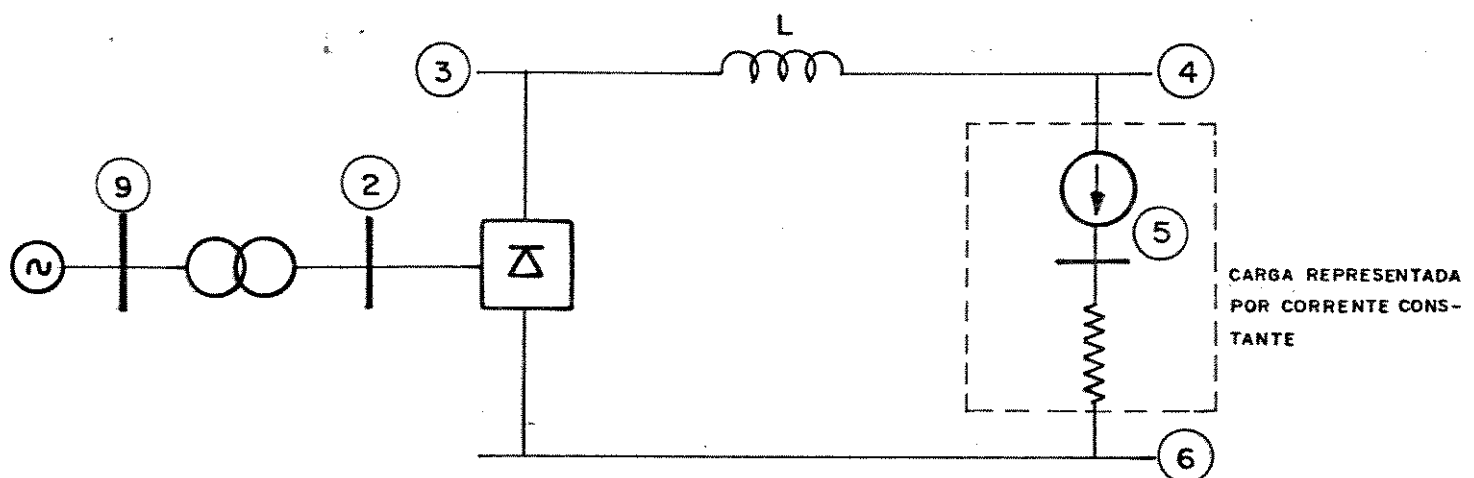


FIGURA 13: PONTE SEMICONVERSORA - DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO

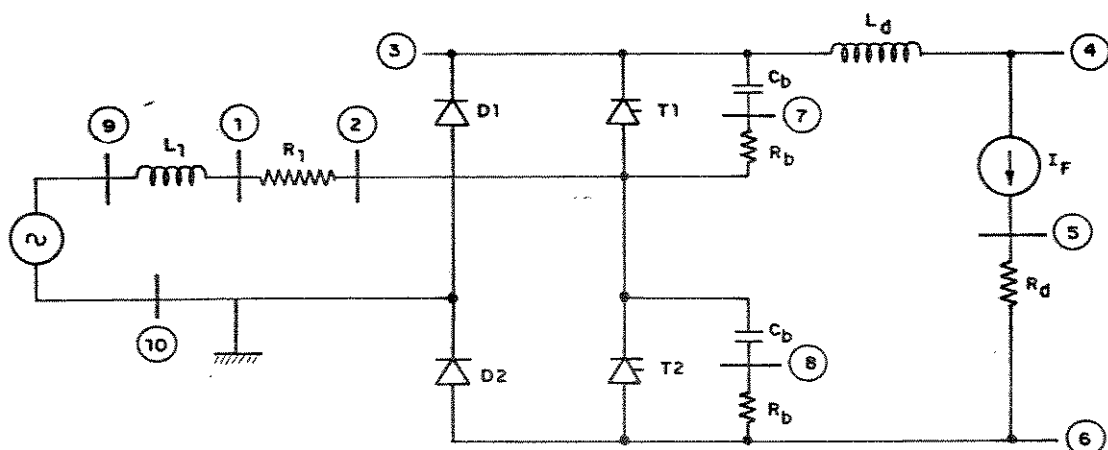


FIGURA 14: PONTE SEMICONVERSORA - CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE.

Na figura 13 o número no círculo corresponde à numeração das barras, tomada de modo conveniente.

A figura 14 ilustra a mesma figura 13 porém a nível de um circuito elétrico equivalente.

Da figura 14 pode-se observar que, em cada instante, um ou mais semicondutores estarão em condução, podendo acontecer si tuação análoga na fase de bloqueio.

Usando a modelagem apresentada anteriormente, e conside rando-se o diodo D2 e o tiristor T1 em condução e o diodo D1 e o tiristor T2 em bloqueio, tem-se o circuito equivalente, nesta si tuação, como sendo aquele mostrado na figura 15.

Na figura 15 tem-se:

$$R_{19} = \frac{2L_1}{\Delta t}; R_{37} = R_{28} = \frac{\Delta t}{2C_b}; R_{34} = \frac{2L_d}{\Delta t}; R_{27} = R_{68} = R_d; R_{12} = R_1 \text{ e}$$

$$R_{56} = R_d$$

R_{BD1} e R_{BT2} - representam as resistências durante a con dição de bloqueio de D1 e T2.

R_{CT1} e R_{CD2} - representam as resistências quando T1 e D2 estão em condução.

Com o auxílio da técnica nodal pode-se obter o sistema de equações a partir da matriz nodal e da injeção de corrente nas barras como ilustrado a seguir.

Para a situação ilustrada na figura 15, onde apenas um diodo (D2) e um tiristor (T1) estão em condução, tem-se neste ins tante (t), em particular, as seguintes equações, para cada barra:

BARRA 1

$$\frac{u_9(t) - u_1(t)}{R_{19}} + I_1 = \frac{u_1(t) - u_2(t)}{R_{12}}$$

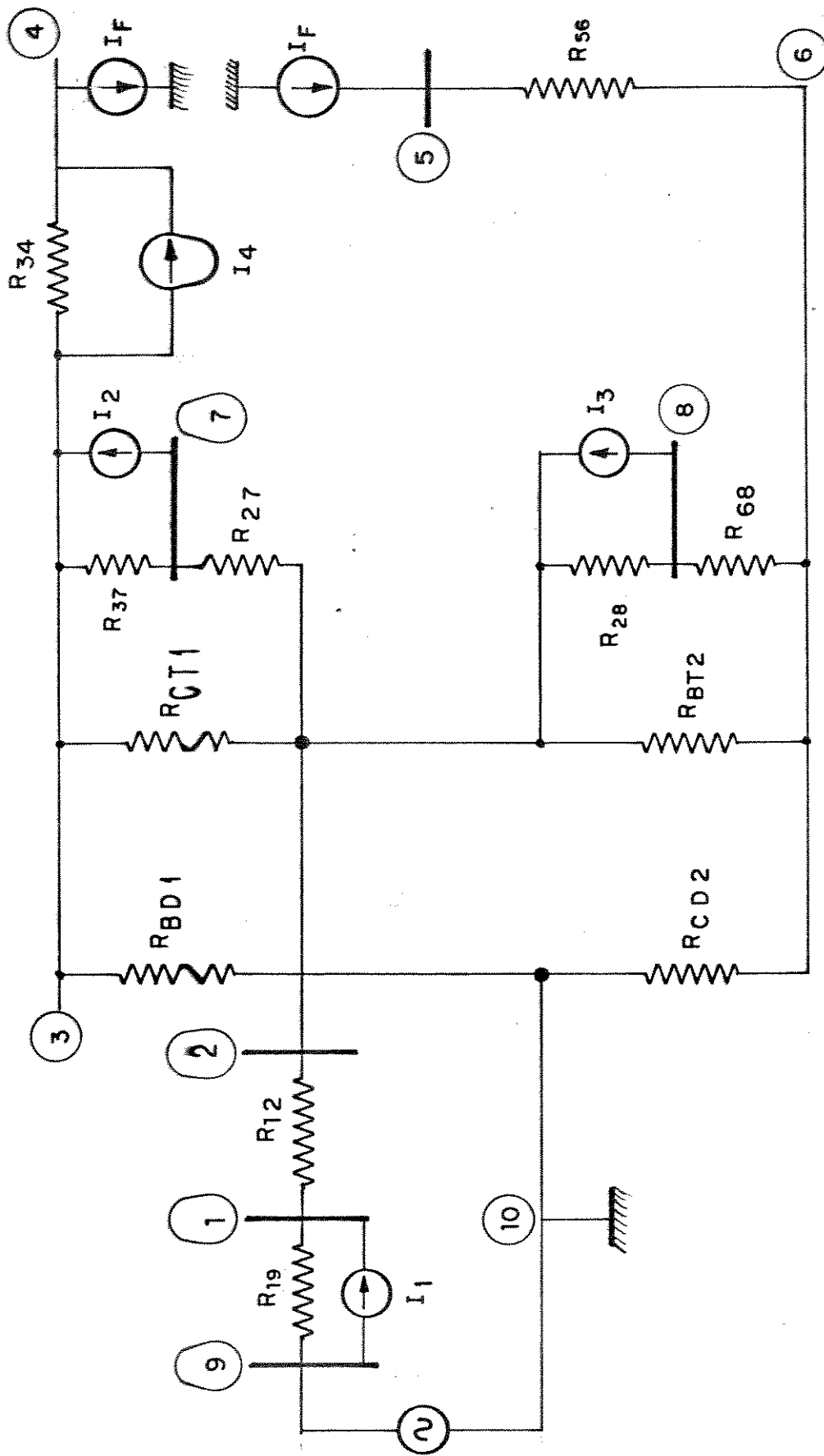


FIGURA 15: CIRCUITO EQUIVALENTE PARA REALIZAR OS CÁLCULOS (AS FONTES DE TENSÃO OU CORRENTE SEMPRE DEVEM SER CONECTADAS DE UMA BARRA PARA A REFERÊNCIA).

da equação anterior pode-se escrever:

$$-\left(\frac{1}{R_{19}} + \frac{1}{R_{12}}\right) u_1(t) + \frac{1}{R_{12}} u_2(t) + \frac{1}{R_{19}} u_9(t) = -I_1$$

analogamente para as barras de 2 até 10 tem-se:

BARRA 2

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{12}} u_1(t) - \left(\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{27}} + \frac{1}{R_{CT1}} + \frac{1}{R_{BT2}} + \frac{1}{R_{28}}\right) u_2(t) + \\ + \frac{1}{R_{CT1}} u_3(t) + \frac{1}{R_{BT2}} u_6(t) + \frac{1}{R_{27}} u_7(t) + \frac{1}{R_{28}} u_8(t) = -I_3 \end{aligned}$$

BARRA 3

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{CT1}} u_2(t) - \left(\frac{1}{R_{CT1}} + \frac{1}{R_{37}} + \frac{1}{R_{34}} + \frac{1}{R_{BD1}}\right) u_3(t) + \frac{1}{R_{34}} u_4(t) + \\ + \frac{1}{R_{37}} u_7(t) + \frac{1}{R_{BD1}} u_{10}(t) = -I_2 + I_4 \end{aligned}$$

BARRA 4

$$\frac{1}{R_{34}} u_3(t) - \frac{1}{R_{34}} u_4(t) = -I_4 + I_F$$

BARRA 5

$$-\frac{1}{R_{56}} u_5(t) + \frac{1}{R_{56}} u_6(t) = -I_F$$

BARRA 6

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{BT2}} u_2(t) + \frac{1}{R_{56}} u_5(t) - \left(\frac{1}{R_{BT2}} + \frac{1}{R_{56}} + \frac{1}{R_{68}} + \frac{1}{R_{CD2}}\right) u_6(t) + \\ + \frac{1}{R_{68}} u_8(t) + \frac{1}{R_{CD2}} u_{10}(t) = 0 \end{aligned}$$

BARRA 7

$$\frac{1}{R_{27}} u_2(t) + \frac{1}{R_{37}} u_3(t) - \left(\frac{1}{R_{27}} + \frac{1}{R_{37}}\right) u_7(t) = I_2$$

BARRA 8

$$\frac{1}{R_{28}} u_2(t) + \frac{1}{R_{68}} u_6(t) - \left(\frac{1}{R_{28}} + \frac{1}{R_{68}} \right) u_8(t) = I_3$$

BARRA 9

É uma fonte de tensão conhecida, portanto, em cada instante conhece-se o valor de tensão da mesma.

BARRA 10

É a barra de referência, em qualquer instante a tensão na mesma é zero e portanto não é necessário utilizá-la nos cálculos.

Assim, nota-se pelo aspecto das equações nodais das barras 1 até 8 o seguinte:

1. os valores de I_1 , I_2 , I_3 , I_4 e I_F no instante t são conhecidos, pois:

$$I_1 = I_1(t) = \frac{u_9(t - \Delta t) - u_1(t - \Delta t)}{R_{19}} + I_1(t - \Delta t)$$

$$I_2 = I_2(t) = \frac{u_7(t - \Delta t) - u_3(t - \Delta t)}{R_{37}} + I_2(t - \Delta t)$$

$$I_3 = I_3(t) = \frac{u_8(t - \Delta t) - u_2(t - \Delta t)}{R_{27}} + I_3(t - \Delta t)$$

$$I_4 = I_4(t) = \frac{u_3(t - \Delta t) - u_4(t - \Delta t)}{R_{34}} + I_4(t - \Delta t)$$

$I_F = I_F(t)$ é um valor conhecido em cada instante t pelo fato de ser uma fonte de corrente conhecida.

2. pode-se usar a notação matricial, ou seja a técnica nodal [1], [2], [3].

Para se utilizar a técnica nodal faz-se necessário o conhecimento da matriz nodal $[\underline{Y}]$. A matriz nodal $[\underline{Y}]$ é dada em (16). A equação matricial no instante t que representa o sistema dado na figura 15 está apresentada em (15).

$$[\underline{Y}] \cdot [\underline{U}] = [\underline{I}] \quad (15)$$

Para o sistema em particular, tem-se: matriz $[\underline{Y}]$ com elementos conhecidos no instante t , tem dimensão 8×9 ; vetor $[\underline{U}]$ com elementos a se determinar no instante t , tem dimensão 9×1 ; vetor $[\underline{I}]$ com elementos conhecidos no instante t , tem dimensão 8×1 .

$$[\underline{Y}] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & Y_{11} & \frac{1}{R_{12}} & & & & & & \frac{1}{R_{19}} \\ 2 & \frac{1}{R_{12}} & Y_{22} & \frac{1}{R_{CT1}} & & \frac{1}{R_{BT2}} & \frac{1}{R_{27}} & \frac{1}{R_{28}} & \\ 3 & & \frac{1}{R_{CT1}} & Y_{33} & \frac{1}{R_{34}} & & \frac{1}{R_{37}} & & \\ 4 & & & \frac{1}{R_{34}} & Y_{44} & & & & \\ 5 & & & & Y_{55} & \frac{1}{R_{56}} & & & \\ 6 & & \frac{1}{R_{BT2}} & & \frac{1}{R_{56}} & Y_{66} & & \frac{1}{R_{68}} & \\ 7 & & \frac{1}{R_{27}} & \frac{1}{R_{37}} & & & Y_{77} & & \\ 8 & & \frac{1}{R_{28}} & & & \frac{1}{R_{68}} & & Y_{88} & \end{bmatrix} \quad (16)$$

Onde em 16 tem-se:

$$Y_{11} = -\left(\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{19}}\right); \quad Y_{22} = -\left(\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{CT1}} + \frac{1}{R_{BT2}} + \frac{1}{R_{27}} + \frac{1}{R_{28}}\right)$$

$$Y_{33} = -\left(\frac{1}{R_{BD1}} + \frac{1}{R_{CT1}} + \frac{1}{R_{37}} + \frac{1}{R_{34}}\right); Y_{44} = -\frac{1}{R_{34}}; Y_{55} = -\frac{1}{R_{56}}$$

$$Y_{66} = -\left(\frac{1}{R_{56}} + \frac{1}{R_{68}} + \frac{1}{R_{BT2}} + \frac{1}{R_{CD2}}\right); Y_{77} = -\left(\frac{1}{R_{37}} + \frac{1}{R_{27}}\right)$$

$$Y_{88} = -\left(\frac{1}{R_{68}} + \frac{1}{R_{28}}\right).$$

O vetor injeção de correntes e o vetor de tensões, para o sistema da figura 15, são apresentados a seguir:

$$[\underline{I}] = \begin{array}{c|c} 1 & -I_1 \\ \hline 2 & -I_3 \\ \hline 3 & -I_2 + I_4 \\ \hline 4 & -I_4 + I_F \\ \hline 5 & -I_F \\ \hline 6 & 0 \\ \hline 7 & I_2 \\ \hline 8 & I_3 \end{array} \quad e \quad [\underline{U}] = \begin{array}{c|c} 1 & u_1(t) \\ \hline 2 & u_2(t) \\ \hline 3 & u_3(t) \\ \hline 4 & u_4(t) \\ \hline 5 & u_5(t) \\ \hline 6 & u_6(t) \\ \hline 7 & u_7(t) \\ \hline 8 & u_8(t) \\ \hline 9 & u_9(t) \end{array}$$

Na matriz $[\underline{Y}]$, mostrada em (16), os elementos não indicados são nulos. O vetor $[\underline{I}]$ contém elementos conhecidos I_1 , I_2 , I_3 e I_4 que representam a "história passada" e I_F (fonte de corrente). O vetor $[\underline{U}]$ corresponde às tensões a se determinar. No caso são conhecidas u_9 (tensão de fonte) e u_{10} (tensão de referência), logo estas não precisam ser determinadas.

Assim, uma vez que em um sistema elétrico real sempre haverá barras com fontes de tensão conhecidas e naturalmente uma barra de referência, pode-se montar, com estas considerações, as

matrizes $[Y_A]$ e $[Y_B]$ e os vetores $[U_A]$ e $[U_B]$ sendo que $[U_A]$ é o vetor de tensões a se determinar e $[U_B]$ é o vetor de tensões conhecidas. A equação nodal (16) transforma-se em:

$$[Y_A] \cdot [U_A] = [I] - [Y_B] [U_B] \quad (17)$$

onde na equação anterior se tem:

- $[Y_A]$ - é a matriz de admitância nodal com dimensão i igual a $n_B \times n_B$
- $[Y_B]$ - é a matriz de admitância associada às barras de tensão conhecidas com dimensão igual a $n_B \times n_F$
- $[U_A]$ - é o vetor de tensões a serem determinadas em cada instante t , com dimensão $n_B \times 1$
- $[U_B]$ - é um vetor que contém as informações correspondente, em cada instante, às fontes de tensões conhecidas, com dimensão $n_F \times 1$
- $[I]$ - é o vetor que contém as informações sobre as fontes de corrente ("história passada") em cada instante é conhecido, com dimensões $n_B \times 1$
- n_B - número total de barras do sistema que não possuem fontes de tensões conhecidas
- n_F - número total de barras do sistema que possuem fontes de tensões conhecidas
- n_T - número total de barras do sistema ($n_T = n_B + n_F + 1$)

Para o sistema apresentado na figura 15 se tem:

$n_B = 8$ (barras - com os números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8)

$n_F = 1$ (barra - com número 9)

$$n_T = 8 + 1 + 1 = 10$$

Nesta modelagem empregada nota-se que com os semicondutores sendo representados por resistência, quer na condução, ou no bloqueio, não há a necessidade em cada comutação de alterar o número de barras da matriz representativa do sistema elétrico. Assim, devido à sequência de operação dos semicondutores altera-se apenas o valor dos elementos das matrizes, o que representa uma grande vantagem na construção das rotinas para execução do programa.

Assim, no caso em particular do sistema da figura 15, apenas quando ocorrer o bloqueio do tiristor T1 (devido, por exemplo, à entrada do diodo D1 em condução) altera-se na matriz $[Y_A]$ somente os elementos Y_{33} , Y_{23} e Y_{32} , da seguinte forma:

$$Y_{33} = -\left(\frac{1}{R_{BD1}} + \frac{1}{R_{CT1}} + \frac{1}{R_{37}} + \frac{1}{R_{34}}\right) \rightarrow Y_{33} = -\left(\frac{1}{R_{CD1}} + \frac{1}{R_{BT1}} + \frac{1}{R_{37}} + \frac{1}{R_{34}}\right)$$

$$Y_{23} = Y_{32} = \frac{1}{R_{CT1}} \rightarrow Y_{23} = Y_{32} = \frac{1}{R_{BT1}}$$

O fluxograma simplificado para um programa visando a aplicação desta técnica em um sistema qualquer é apresentado na figura 18. No anexo 5 encontram-se desenvolvidos os fluxogramas detalhados. Os detalhes sobre condições iniciais e representação de chaves comuns estão no Anexo 4 e a representação de linhas de transmissão por parâmetros distribuídos encontra-se no Anexo 2.

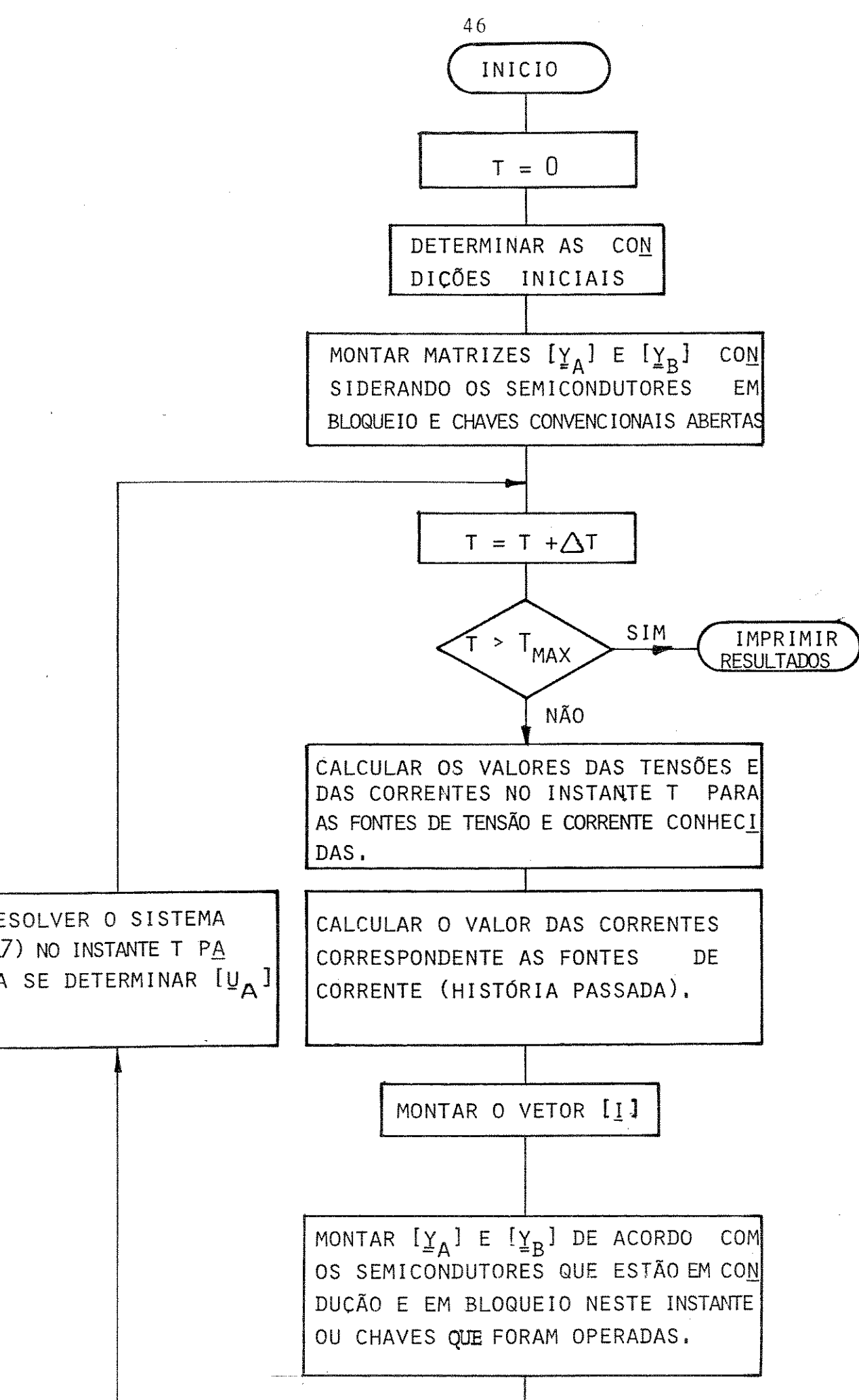


FIGURA 18 - FLUXOGRAMA BÁSICO PARA A EXECUÇÃO DO PROGRAMA

6. CÁLCULO DE HARMÔNICOS

De posse dos resultados obtidos através do conjunto de pares ordenados em cada instante (t ; u) para qualquer barra e/ou (t ; i) para qualquer ramo, pode-se então, usá-los no cálculo de harmônicos existentes nas respectivas formas de onda. A técnica usada neste caso é a aproximação da forma de onda desejada por uma sequência de degraus. A figura 19 ilustra.

Naturalmente, o cálculo do harmônico tem sua precisão em função de número de pontos disponíveis. O programa desenvolvido para o cálculo dos harmônicos (de tensão ou corrente), toma como base uma forma de onda discretizada como indica a figura 19.

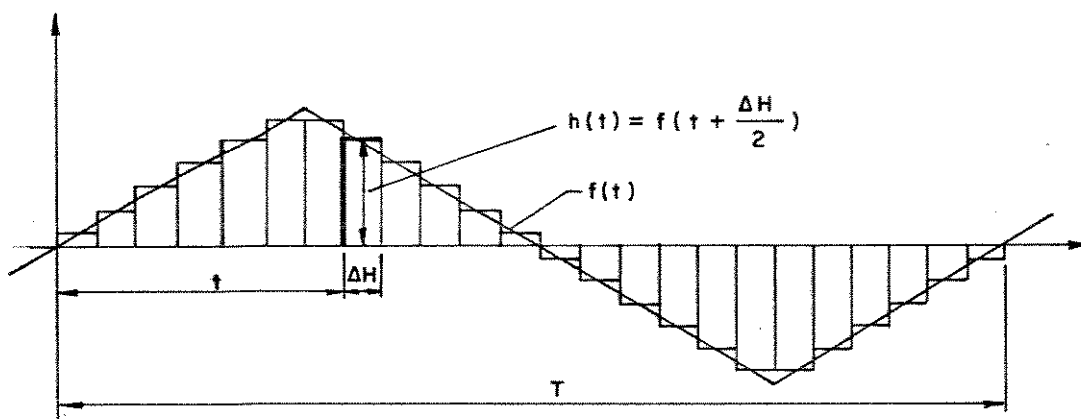


FIGURA 19: DISCRETIZAÇÃO DE UMA FUNÇÃO PARA O CÁLCULO DOS HARMÔNICOS

O cálculo dos harmônicos existentes em uma função periódica qualquer, $f(t)$, é feito usando-se os coeficientes da expansão trigonométrica de FOURIER [37], dados a seguir:

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} [A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t)] \quad (18)$$

ou ainda:

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{n_{\max}} C_n \cos(n\omega t - \psi_n) \quad (19)$$

onde:

$$A_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) \cdot dt \quad (20)$$

$$B_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) \cdot dt \quad (21)$$

$$C_n = \sqrt{(A_n)^2 + (B_n)^2} \quad (22)$$

$$\operatorname{tg} \psi_n = \frac{B_n}{A_n} \quad (23)$$

$n_{\max}$ - ordem do harmônico de mais alto grau da função $f(t)$ obtida.

Como a função está discretizada (vide figura 19) os valores de A_n e B_n são dados por:

$$A_n = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{k_{\max}} h_k(t) \cdot \cos \left[n\omega \left(t + \frac{\Delta H}{2} \right) \right] \cdot \Delta H \quad (24)$$

$$B_n = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{k_{\max}} h_k(t) \cdot \sin \left[n\omega \left(t + \frac{\Delta H}{2} \right) \right] \cdot \Delta H \quad (25)$$

sendo

$h_k(t)$ o valor da função $f(t)$ durante o intervalo de tempo $(t + \Delta H)$

$k_{\max}$ é o número de pontos em que a função é discretizada por período, ou seja:

$$k_{\max} = \frac{T}{\Delta H} \text{ (deve ser um número inteiro)}$$

A frequência do harmônico de mais alta ordem (f_c) que po

de ser obtido da função $f(t)$ discretizada [37] é dado por:

$$f_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\Delta H} \quad (26)$$

7. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO E COMENTÁRIOS GERAIS

Pelo que se pode observar, esta metodologia pode ter uma vasta aplicação na área de eletrônica de potência.

A técnica utilizada no programa para computador digital desenvolvida apresenta uma contribuição à literatura de Eletrônica de Potência, principalmente, na parte de simulação de pontes conversoras quer no cálculo de formas de ondas de tensão e corrente quer no cálculo dos harmônicos envolvidos nas mesmas. Para tanto, foi necessário buscar subsídios na literatura, normalmente, usada no cálculo de transitórios eletromagnéticos [1], [2], [4] e [19].

No anexo 5, encontram-se os diagramas de blocos detalhados das rotinas desenvolvidas para executar este programa.

EXEMPLO 1

A Figura 20 mostra uma ponte conversora onde deseja-se determinar as diversas formas de onda de tensão e corrente. As formas de onda de tensão e corrente encontram-se nas figuras 20.A e 20.B. Para a simulação da ponte conversora da figura 20 admitiu-se que a mesma estava funcionando em regime permanente.

No circuito elétrico mostrado na figura 20, se tem:

$$u = 440 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$L = [(0,0584 \cdot (0,44)^2 / 0,015) / 377] = 0,002 \text{ H} = 2 \text{ mH}$$

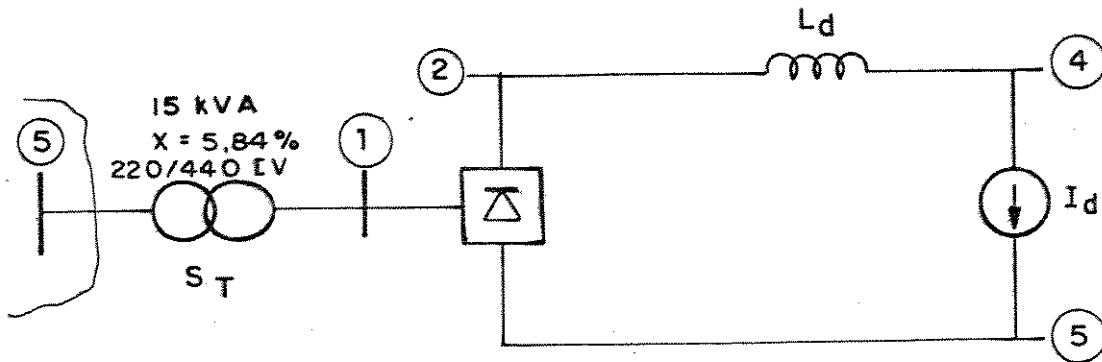
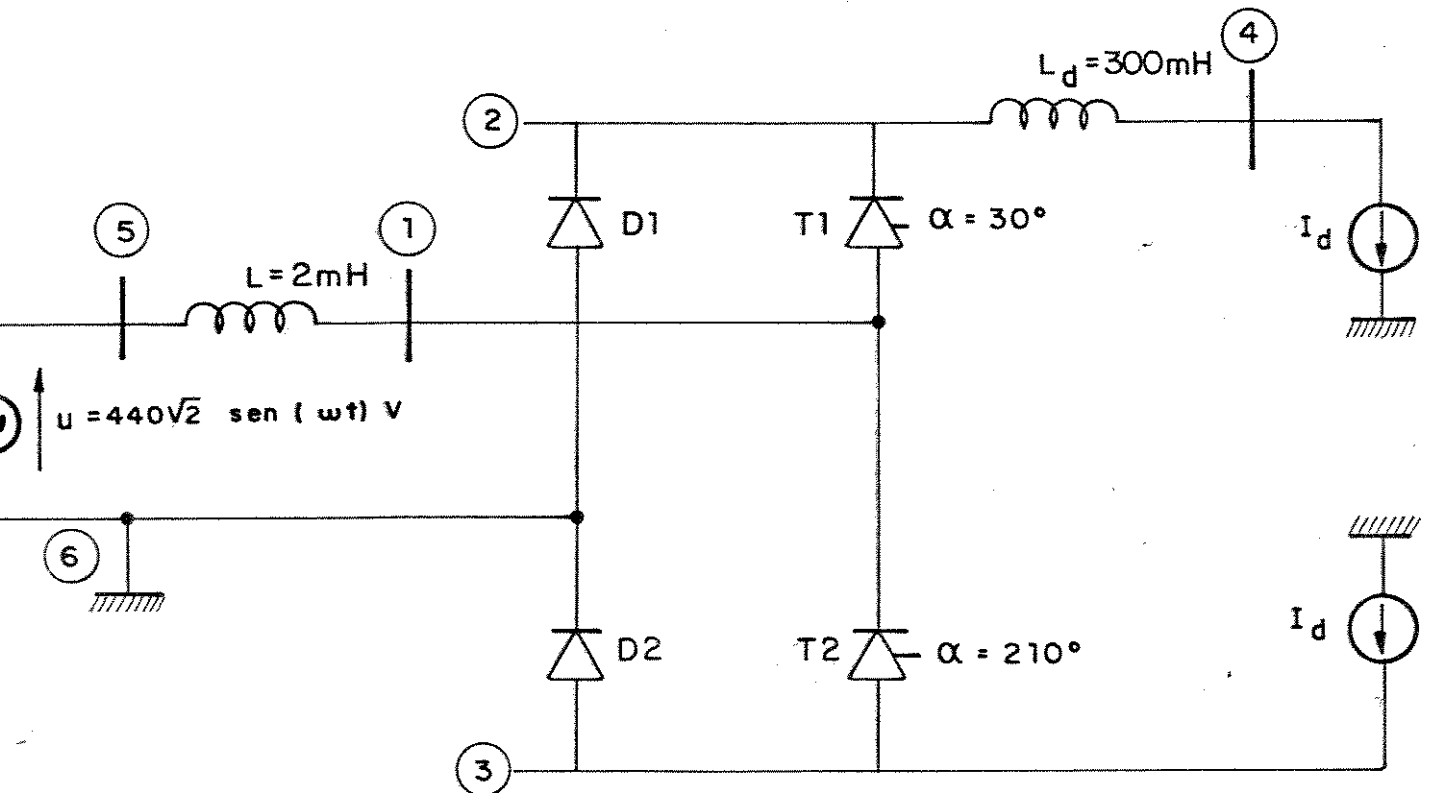


DIAGRAMA UNIFILAR



CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE

FIGURA 20: SISTEMA EM ANÁLISE CONTENDO PONTE SEMICONVERSORA.

O reator de alisamento L_d será admitido de 300 mH e a fonte de corrente I_d , representando uma carga de corrente constante, será suposta de 20 A.

Em $t = 0$ (início da contagem dos tempos) admite-se que os diodos D1 e D2 estão em condução. Admitindo-se ainda $R_{\text{cond}} = 0,05 \, \Omega$ e $R_{\text{blo}} = \infty \, \Omega$, tem-se $u_3(0) = 1 \, \text{V}$ e $u_2(0) = -1 \, \text{V}$.

A figura 20.C mostra o espectro dos harmônicos de corrente existentes na forma de onda da corrente i_{51} mostrada na figura 20.B. Já a figura 20.D representa a recomposição da onda de corrente partindo dos harmônicos calculados em 20.C de acordo com a expressão (18).

EXEMPLO 2

A figura 21 mostra um sistema de retificação a diodos, com uma ponte conversora de 6 pulsos. O sistema da figura 21 corresponde a uma unidade retificadora de 2 MW para alimentação de Troleibus [32].

Na figura 21 se tem:

$$u_{10} = 280 \cdot \sqrt{2} \, \text{sen}(\omega t) \, \text{V}$$

$$u_{11} = 280 \cdot \sqrt{2} \, \text{sen}(\omega t - 120^\circ) \, \text{V}$$

$$u_{12} = 280 \cdot \sqrt{2} \, \text{sen}(\omega t - 240^\circ) \, \text{V}$$

$$L = \left[\left(\frac{2,2}{86} + 0,08 \right) \frac{(0,484)^2}{2,2} \right] / 377 = 2,98 \cdot 10^{-5} \, \text{H} \approx 0,03 \, \text{mH}$$

$$R = 0,016 \cdot \frac{(0,484)^2}{2,2} = 0,0017 \, \Omega \approx 0,002 \, \Omega$$

$$R_{\text{cond}} = 0,001 \, \Omega ; R_{\text{blo}} = \infty$$

$$L_d = 300 \, \text{mH} ; R_c = 0,5 \, \Omega$$

Para o circuito elétrico da figura 21 admitiu-se as condições iniciais dadas a seguir:

$$i_{78}(0) = 1300 \, \text{A}$$

$$i_{11,2}(0) = -1300 \text{ A}$$

$$i_{12,3}(0) = 1300 \text{ A}$$

$$u_9(0) = 1,3 \text{ V}$$

$$u_7(0) = -1,3 \text{ V}$$

A figura 21.A mostra as formas de onda da tensão mais importante e a figura 21.B mostra as formas de onda das correntes.

A figura 21.C mostra os harmônicos de corrente existentes em uma das formas de onda da corrente (i_{14} no caso). Já a figura 21.D representa a forma de onda de i_{14} , obtida a partir da recomposição dos harmônicos de corrente ilustrado em 21.C.

Convém ainda notar que existe a facilidade intrínseca para a obtenção de grandezas em situações transitórias. Como citado em [33], [34] e [35] o cálculo da corrente quando ocorre um curto-circuito no lado CC é feito tradicionalmente, usando-se um método iterativo estático como o método de Newton-Raphson. Por outro lado, com a metodologia aqui proposta as correntes de curto-circuito podem ser calculadas simplesmente com a simulação do fechamento da chave SW mostrada na figura 21.

As figuras 21.E e 21.F representam, respectivamente, as formas de onda de tensões e correntes durante o regime permanente e após a ocorrência de um curto-circuito no lado CC. O instante de fechamento da chave SW, que representa o curto-circuito, é correspondente a $t = 0,007$ [seg] (início de uma comutação que conforme [33], [34] e [35] corresponde a um caso crítico).

Já a figura 21.G e 21.H representam a simulação das tensões e correntes, respectivamente, supondo um defeito no diodo 3, ramo 5,7 (entrou em curto permanente).

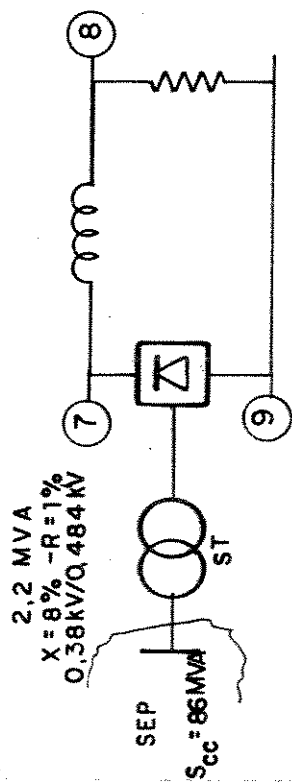
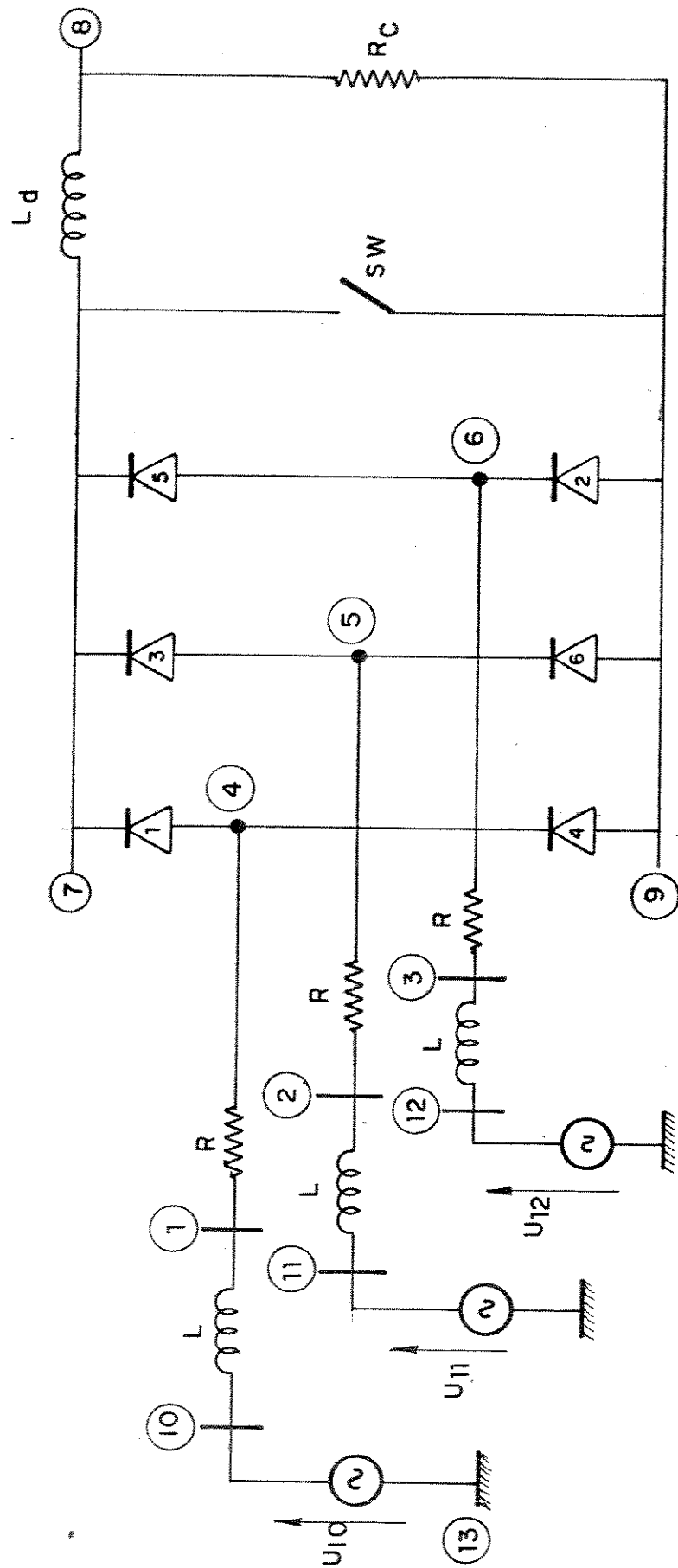
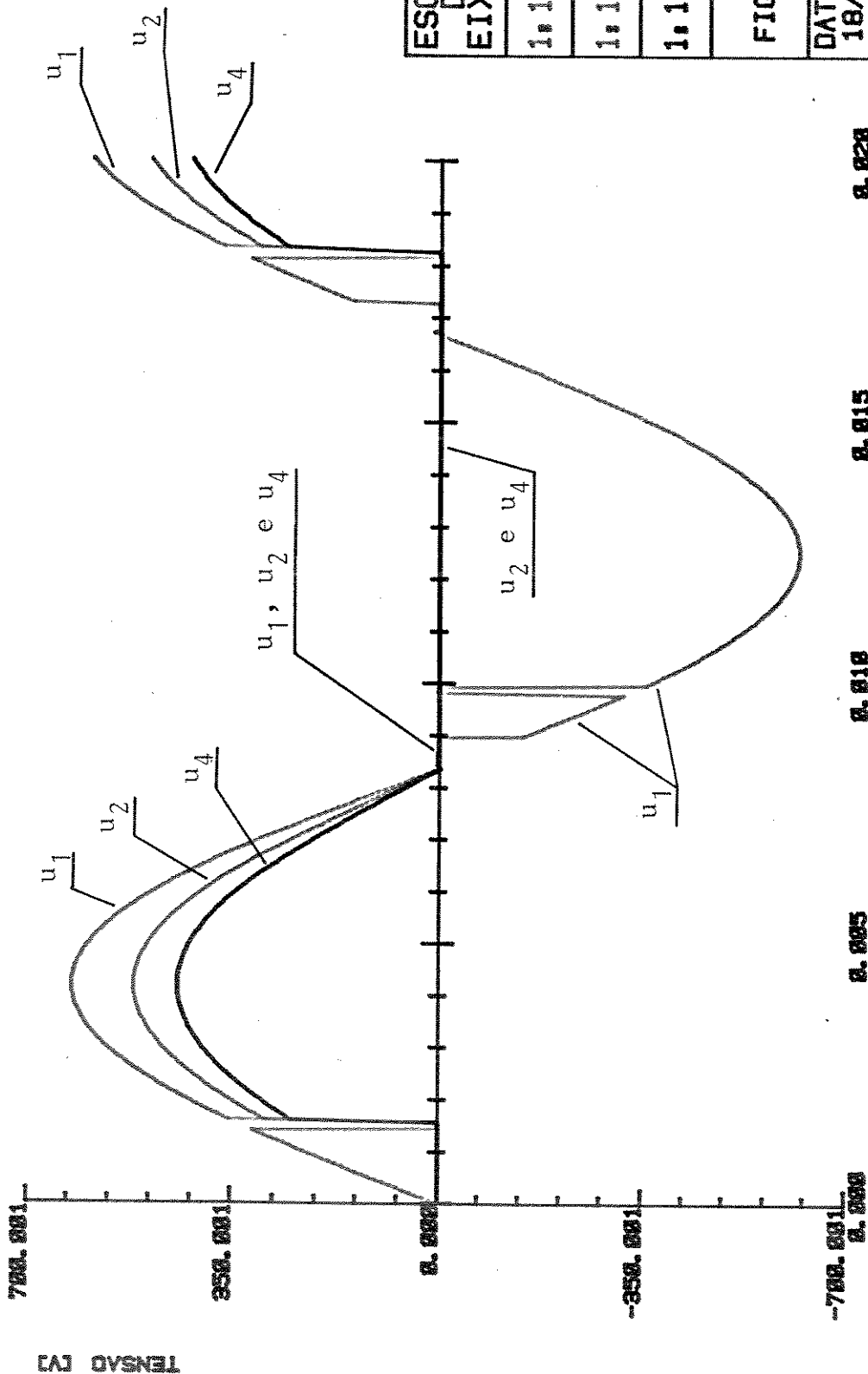


DIAGRAMA UNIFILAR



CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE

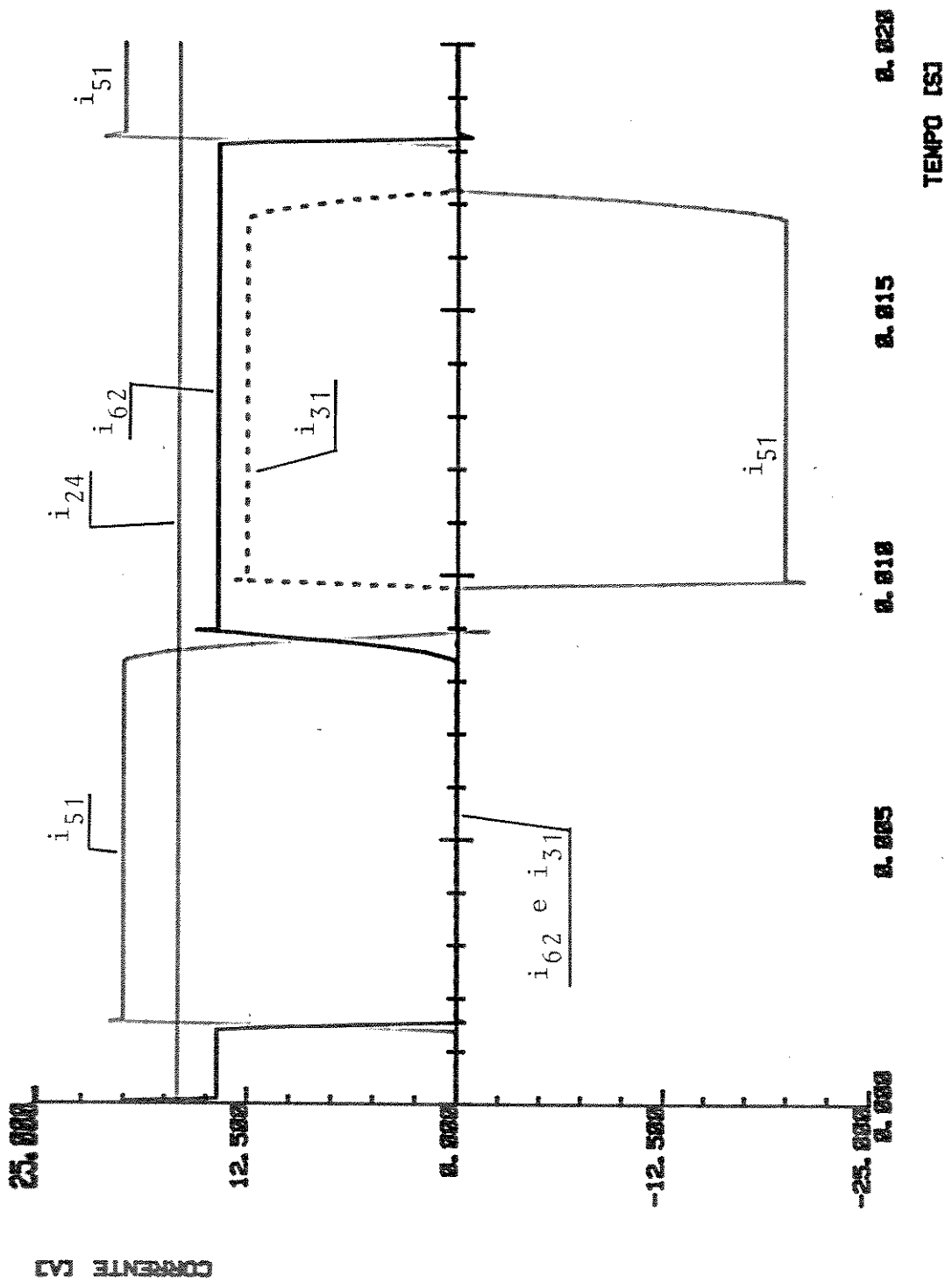
FIGURA 21: SISTEMA DE RETIFICAÇÃO A DIODOS COM 6(SEIS) PULSOS.



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	---	TENSÃO NA BARRA 1
1:1.20	---	TENSÃO NA BARRA 2
1:1.40	---	TENSÃO NA BARRA 4

FIG. No 20-A

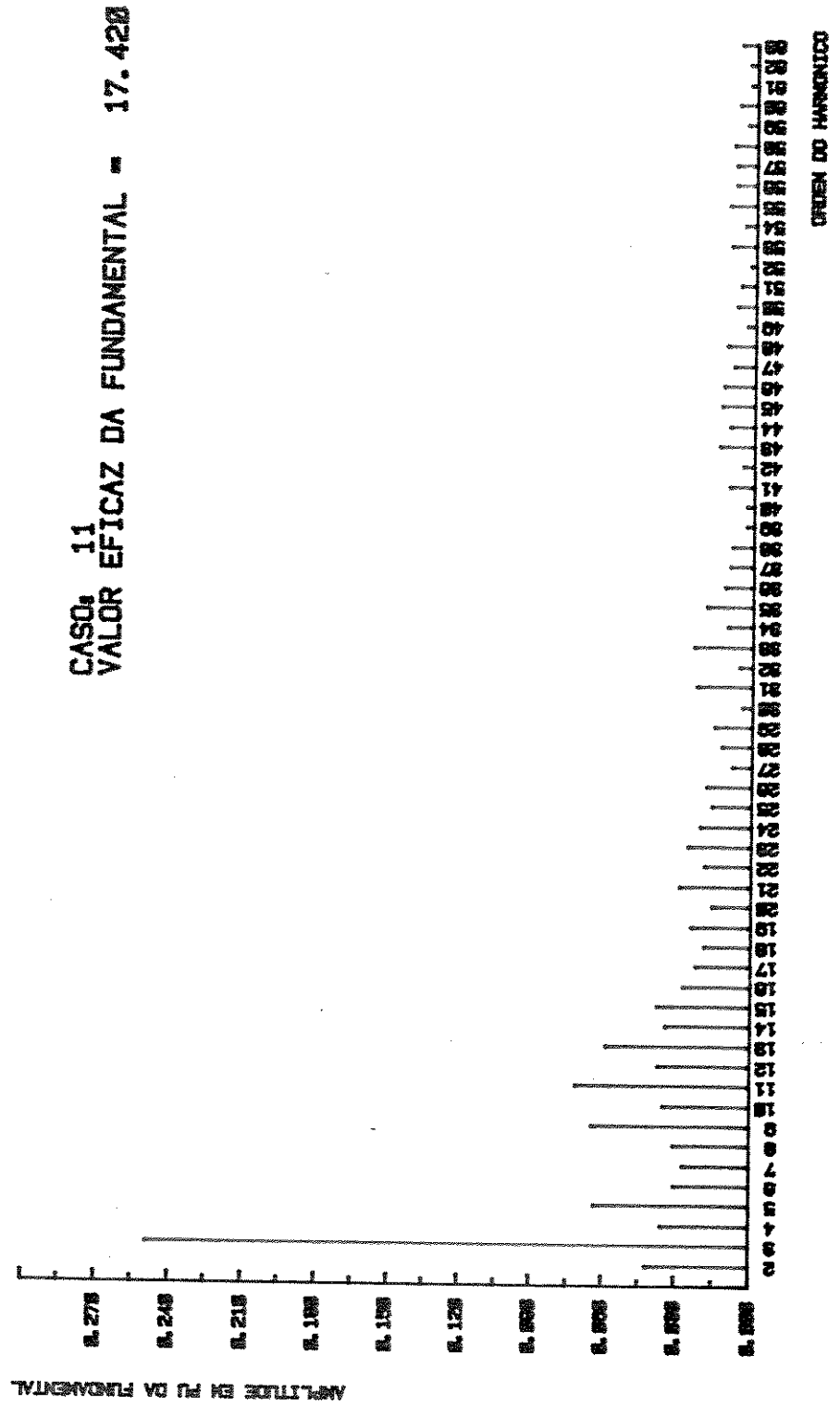
DATA 18/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 11 ARQUIVO DOS PONTOS: TENCAS11 STEP = 50 u8	

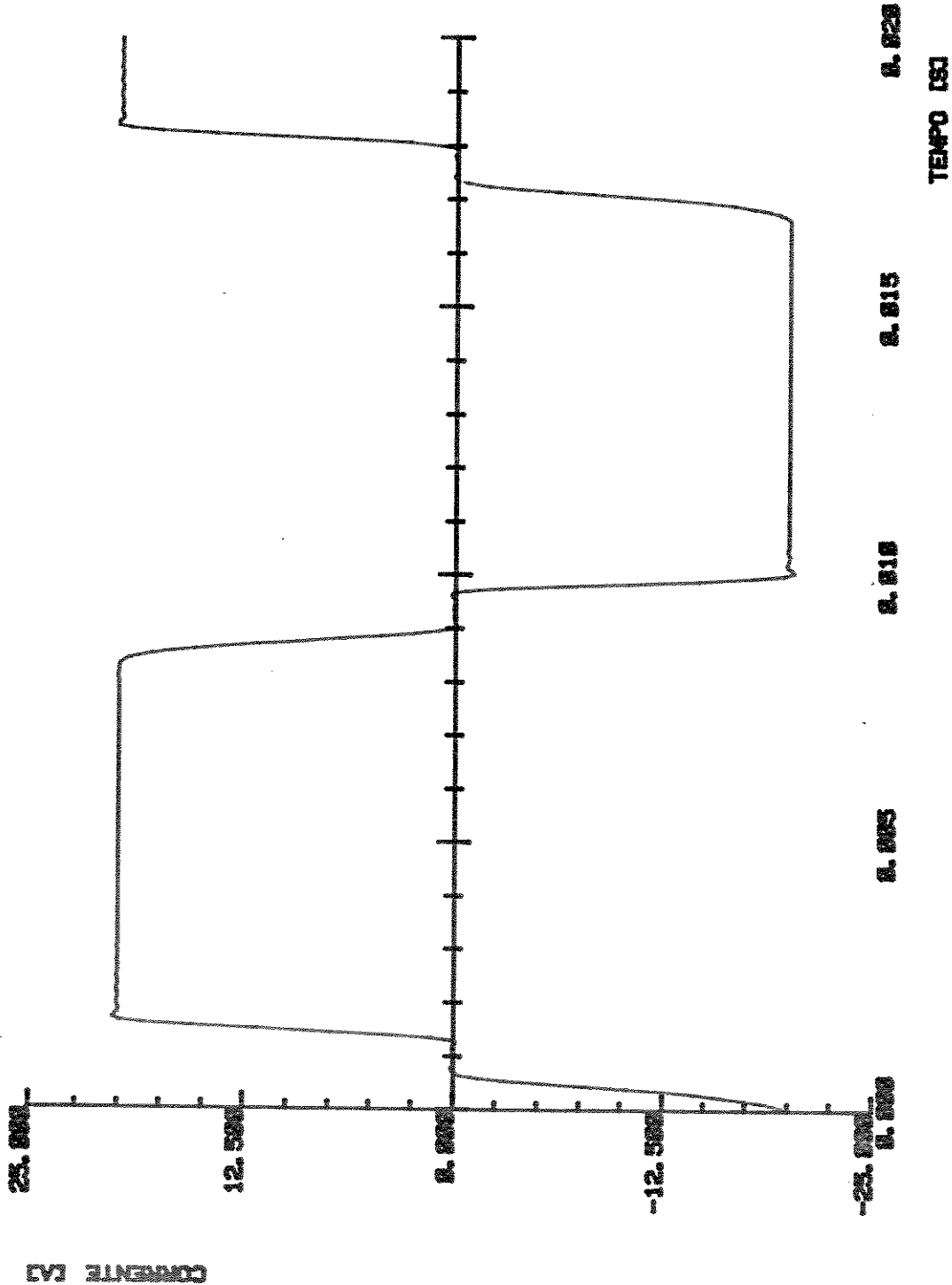


ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	CORRENTE NO RAMO 3-1
1:1.20	—	CORRENTE NO RAMO 2-4
1:1.40	—	CORRENTE NO RAMO 0-2
1:1.60	- - - - -	CORRENTE NO RAMO 3-1

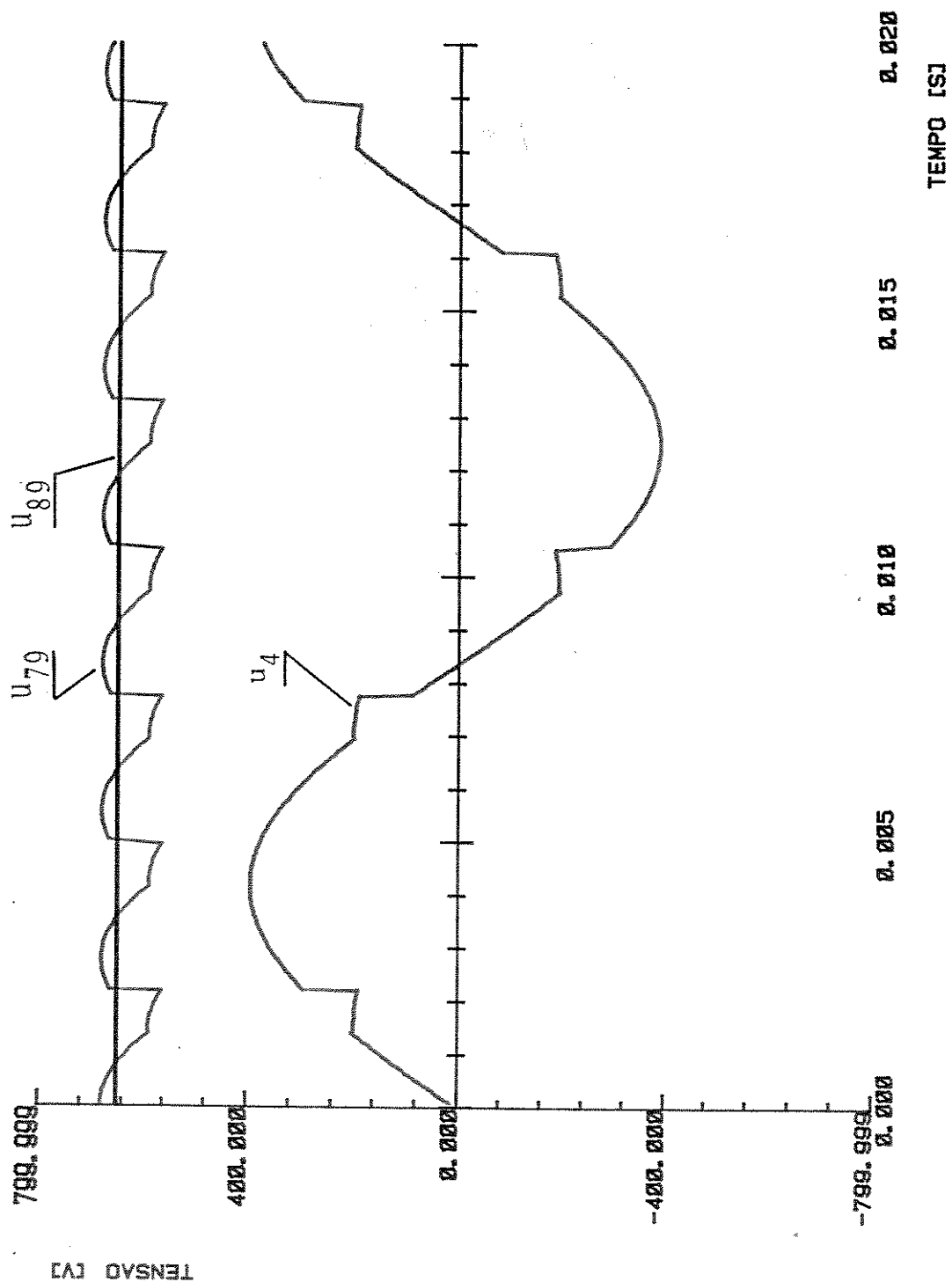
FIG. No 20.B

DATA 18/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 11 ARQUIVO DOS PONTOS: CORCAS11 STEP = 50 US	





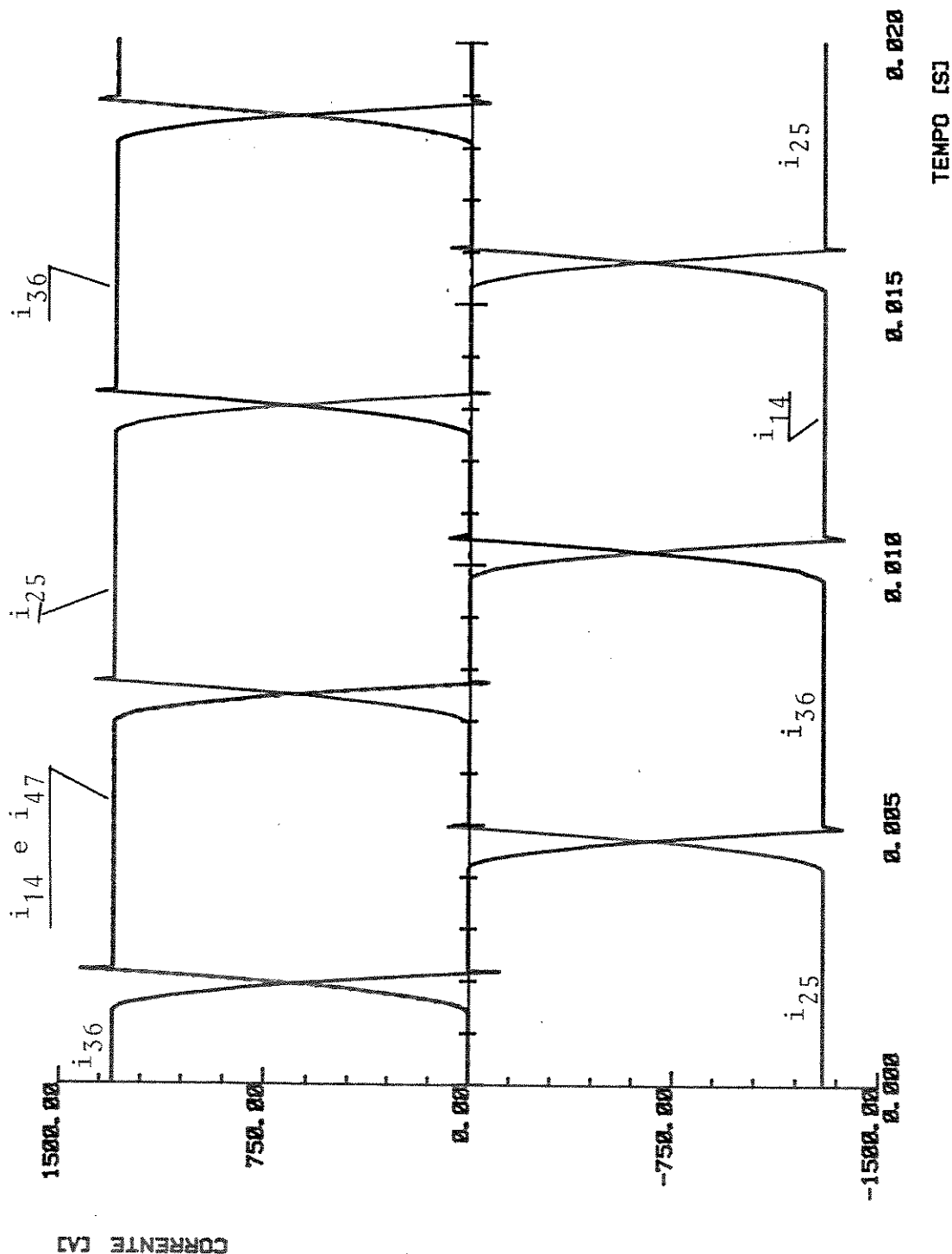
ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	---	CORRENTE NO RAMO B-1
FIG. No 20.D		
DATA 14/05/88	JOAO ROBERTO COGO	
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 11 FORMA DE ONDA OBTIDA COM O SONDADEIRO DOS HARMONICOS		



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 4
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 7-9
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 8-9

FIG. No 21.A

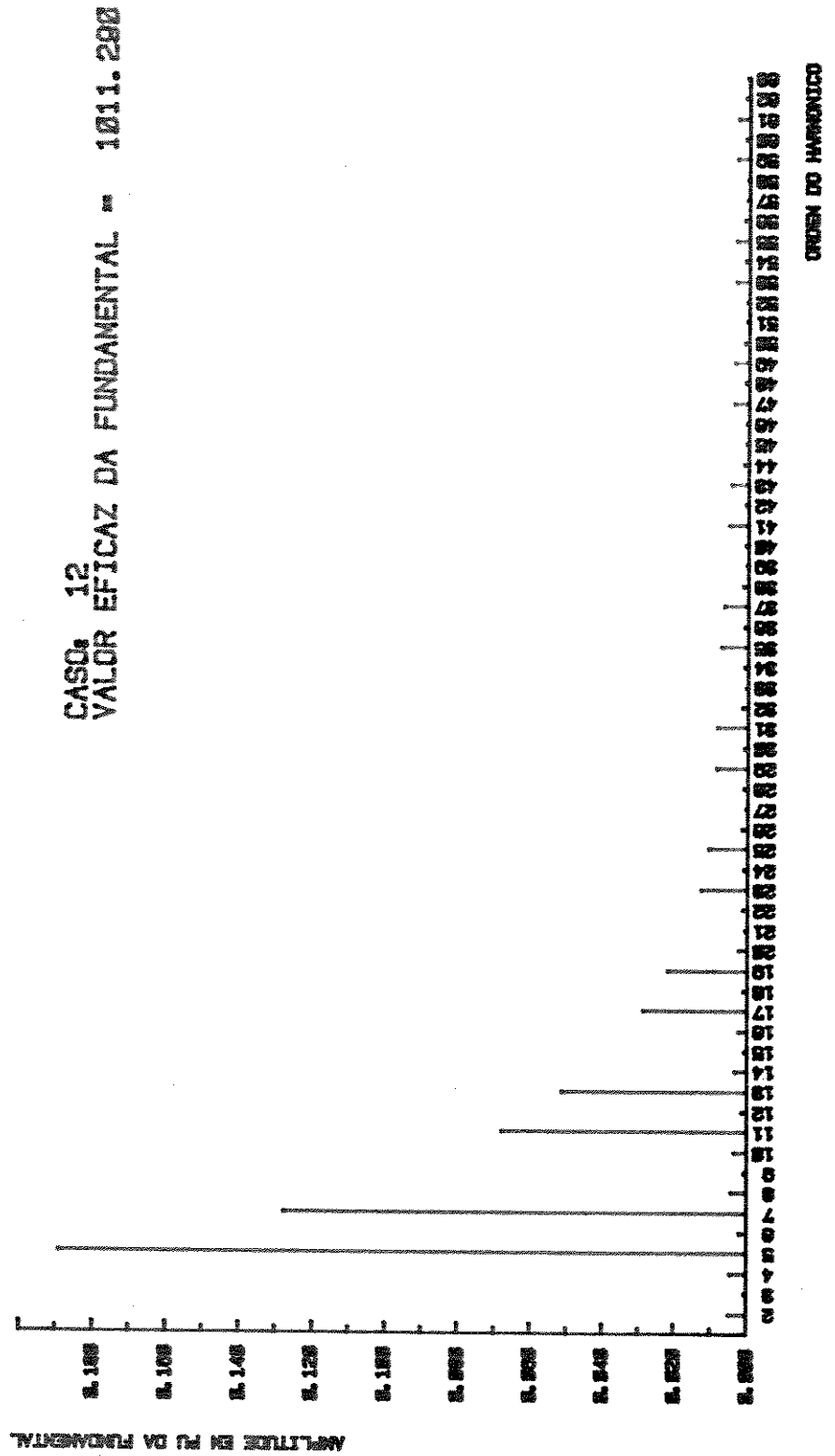
DATA 30/04/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 12 ARQUIVO DOS PONTOS: TENCAS12 STEP = 58 uS	

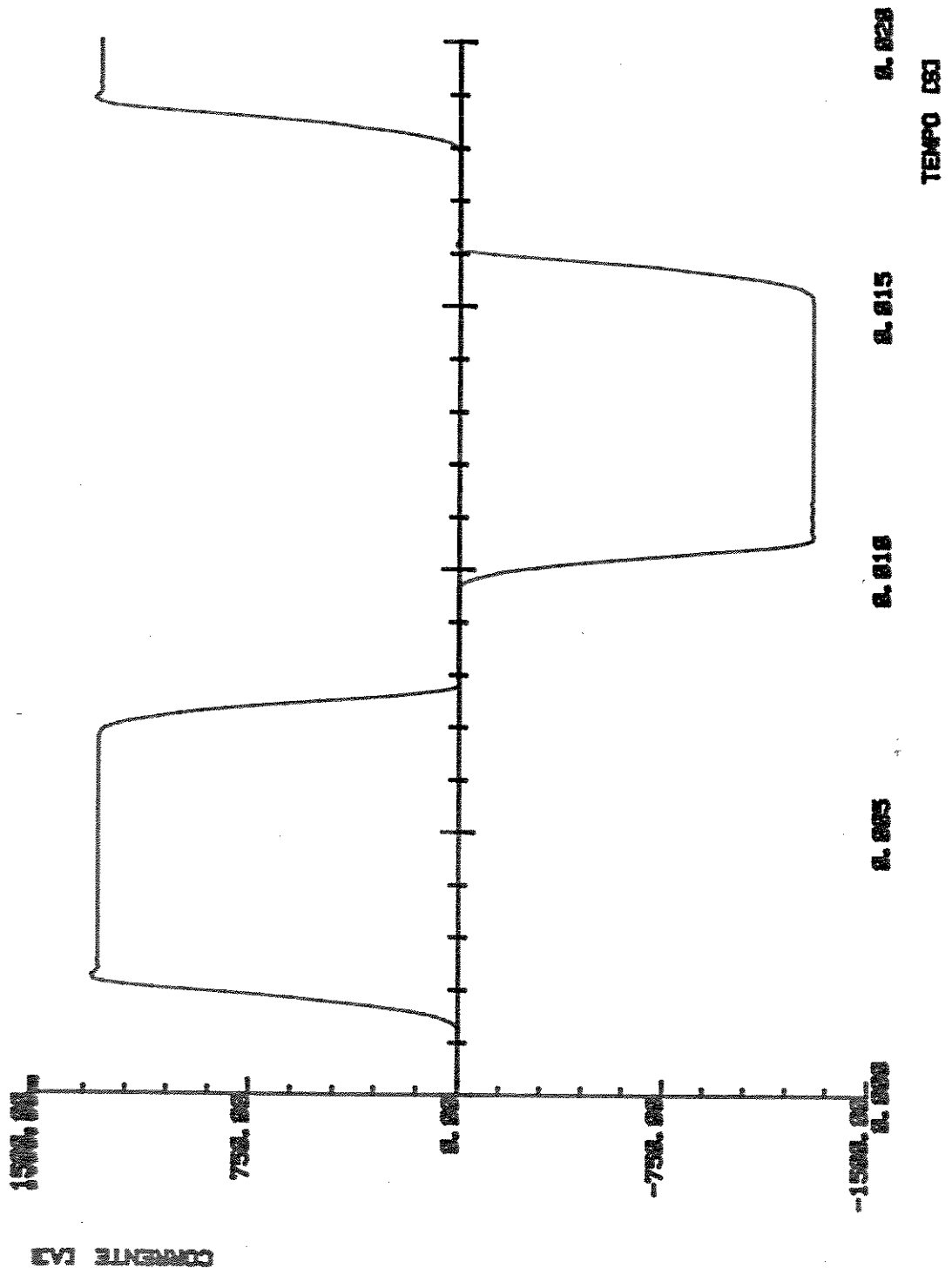


ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	CORRENTE NO RAMO 1-4
1: 1.00	—	CORRENTE NO RAMO 2-3
1: 1.00	—	CORRENTE NO RAMO 3-6
1: 1.00	-----	CORRENTE NO RAMO 4-7

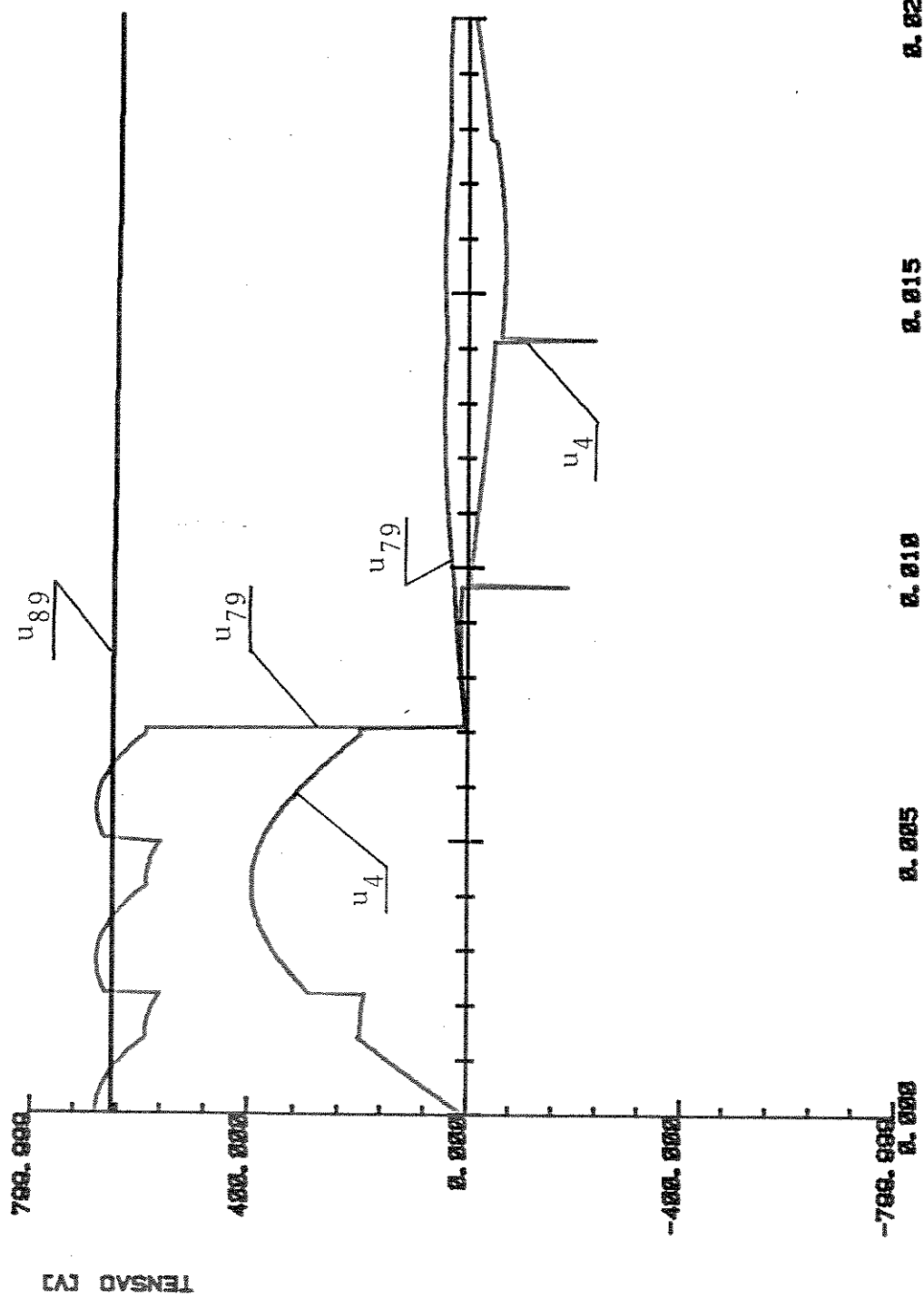
FIG. No 21.B

DATA 30/04/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 12 ARQUIVO DOS PONTOS: CORCAS12 STEP = 50 US	





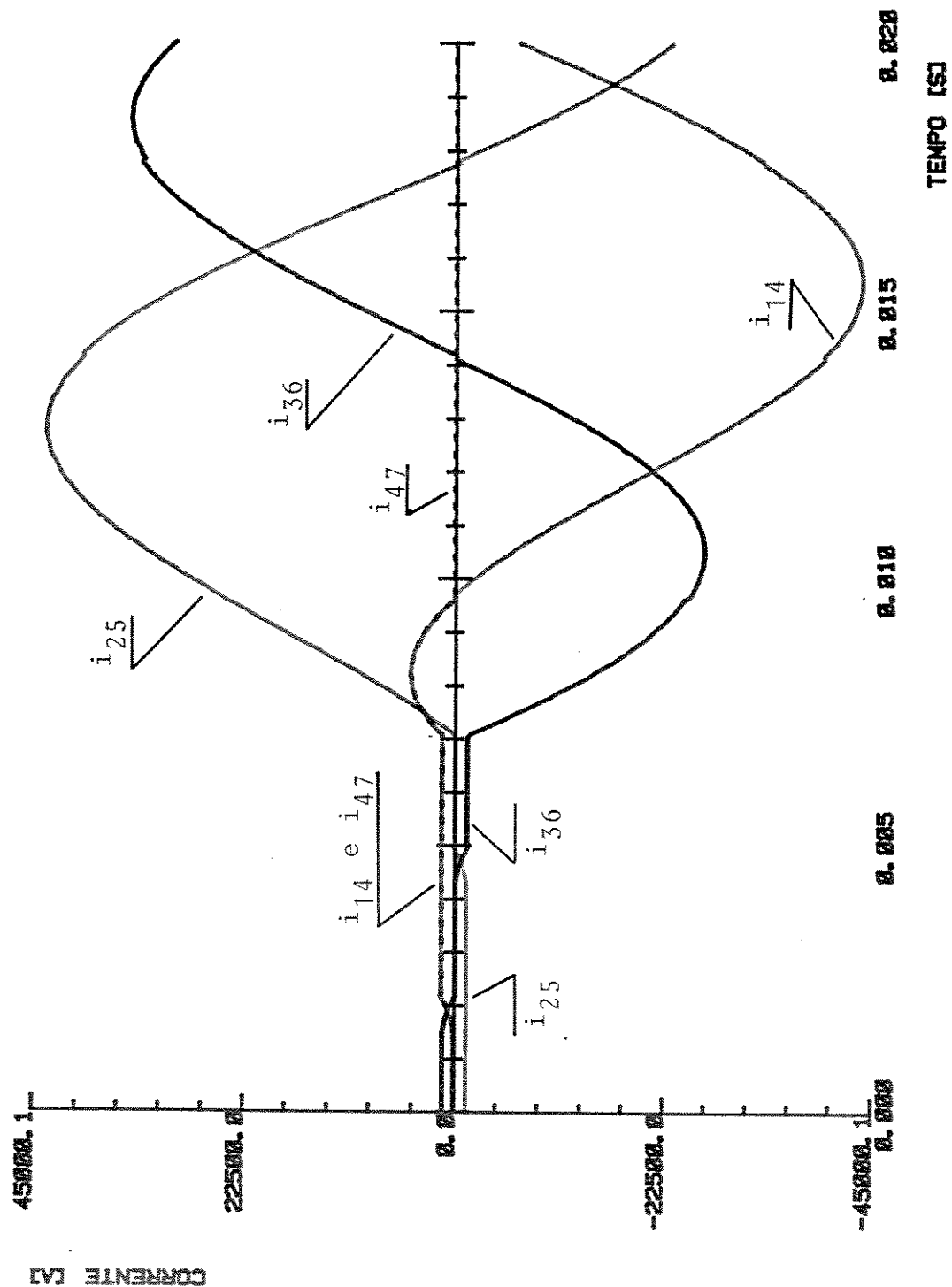
ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	CORRENTE NO RAMO 1-4
FIG. No 21.D		
DATA 30/04/88	JOAO ROBERTO COGO	
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO, CASO 12 CURVA OBTIDA COM O SONOTOMO DOS HARMONICOS		



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 4
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 7-9
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 8-9

FIG. No 21.E

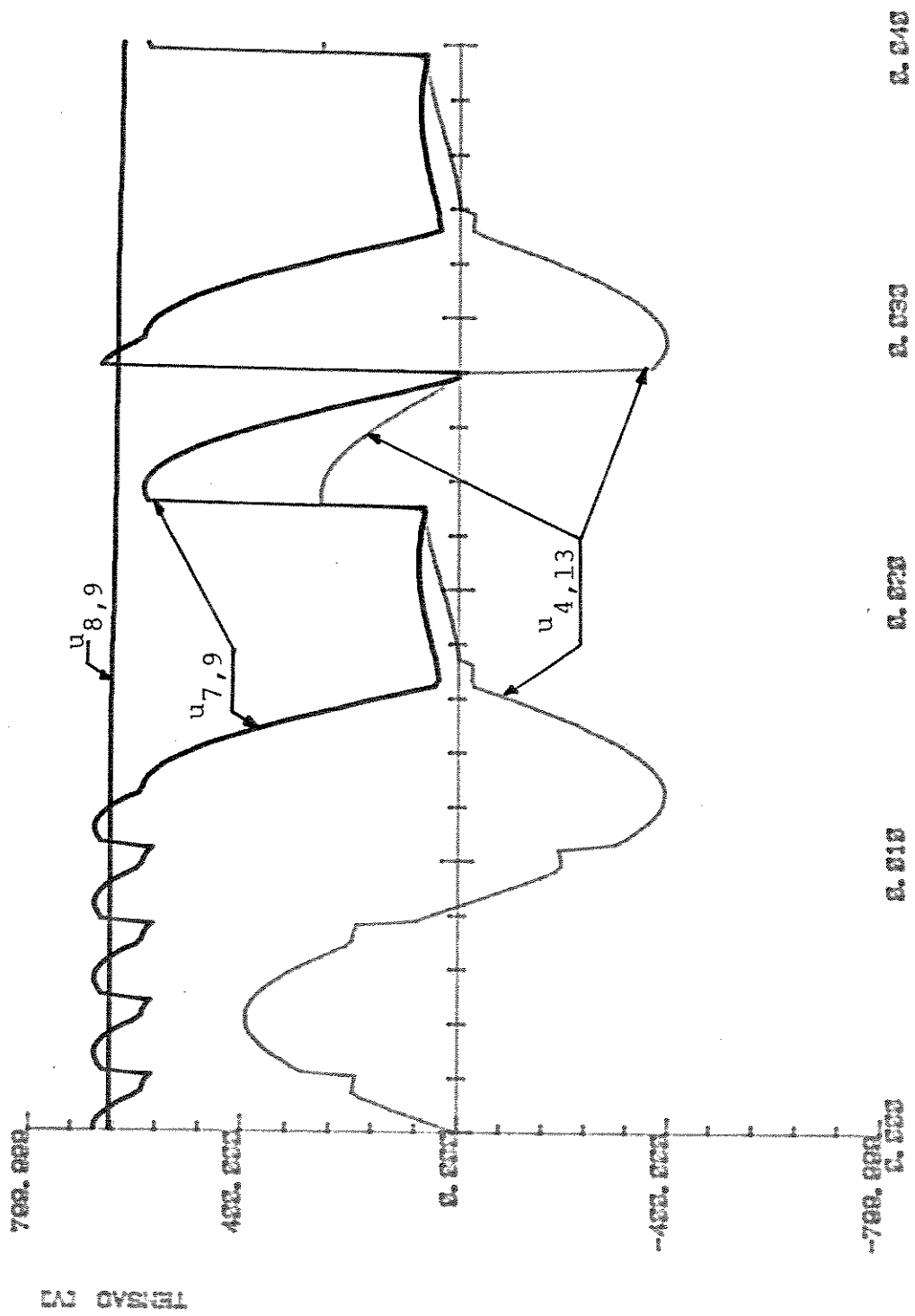
DATA 08/05/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 12 CURTO-CIRCUITO OCORRIDO NO INSTANTE 0.007 [S]	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	CORRENTE NO RAMO 1-4
1: 1.00	—	CORRENTE NO RAMO 2-3
1: 1.00	—	CORRENTE NO RAMO 3-0
1: 1.00	-----	CORRENTE NO RAMO 4-7

FIG. No 21.F

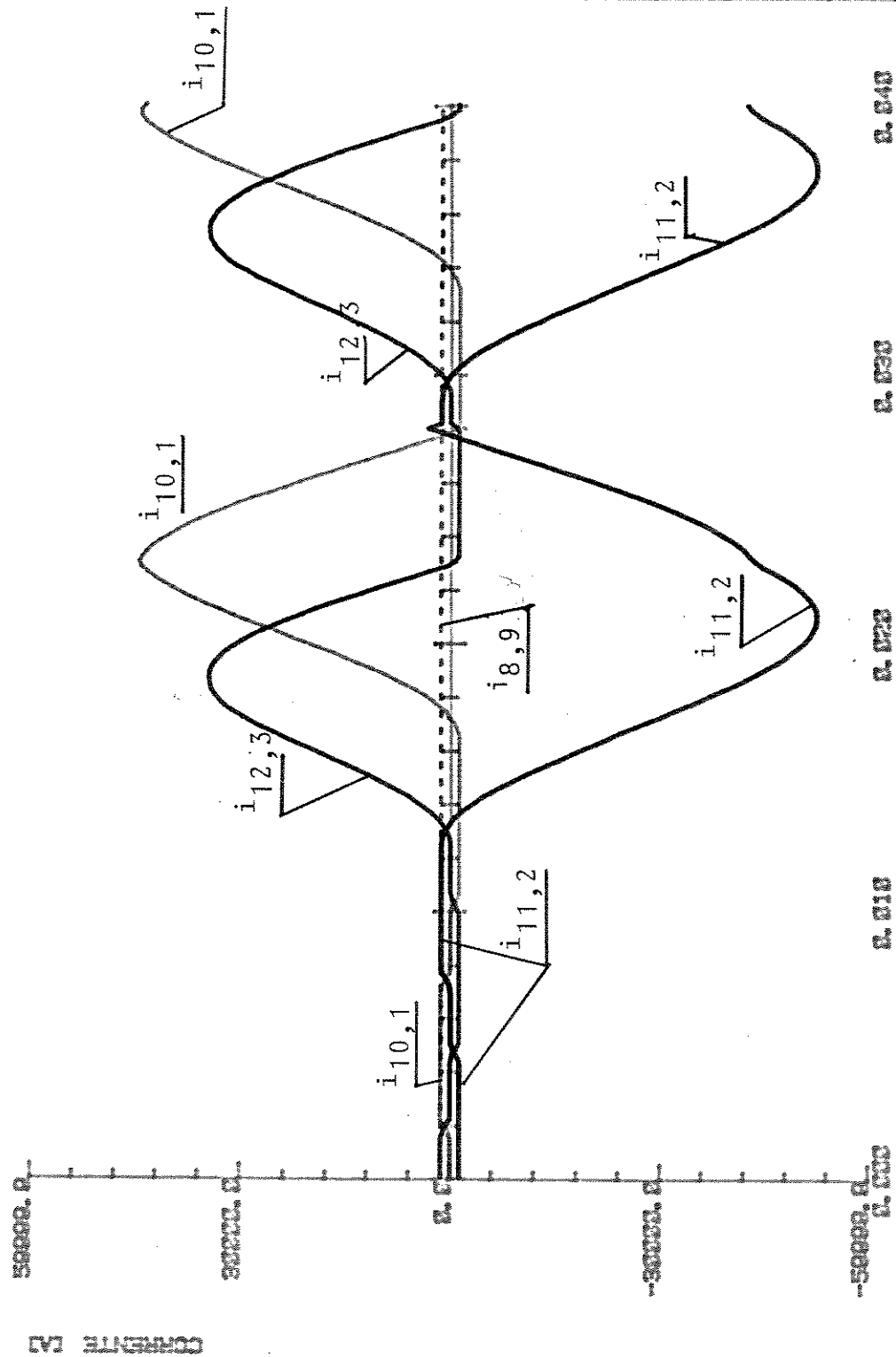
DATA 08/05/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 12 CURTO-CIRCUITO OCORRIDO NO INSTANTE 0.007 S	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 4,13
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 7,9
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 8,9

FIG. No 21.6

DATA 24/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO 12 - SIMULACAO DE DEFEITO NO DILCDO 5,7	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	CORRENTE RAMO 10.1
1: 1. 00	—	CORRENTE RAMO 11.2
1: 1. 00	—	CORRENTE RAMO 12.3
1: 1. 00	----	CORRENTE RAMO 8.9

FIG. No 21.H

DATA 24/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO 12 - SIMULACAO DE DEFEITO NO DIODO 5.7	

EXEMPLO 3

Considere o sistema apresentado na figura 22.

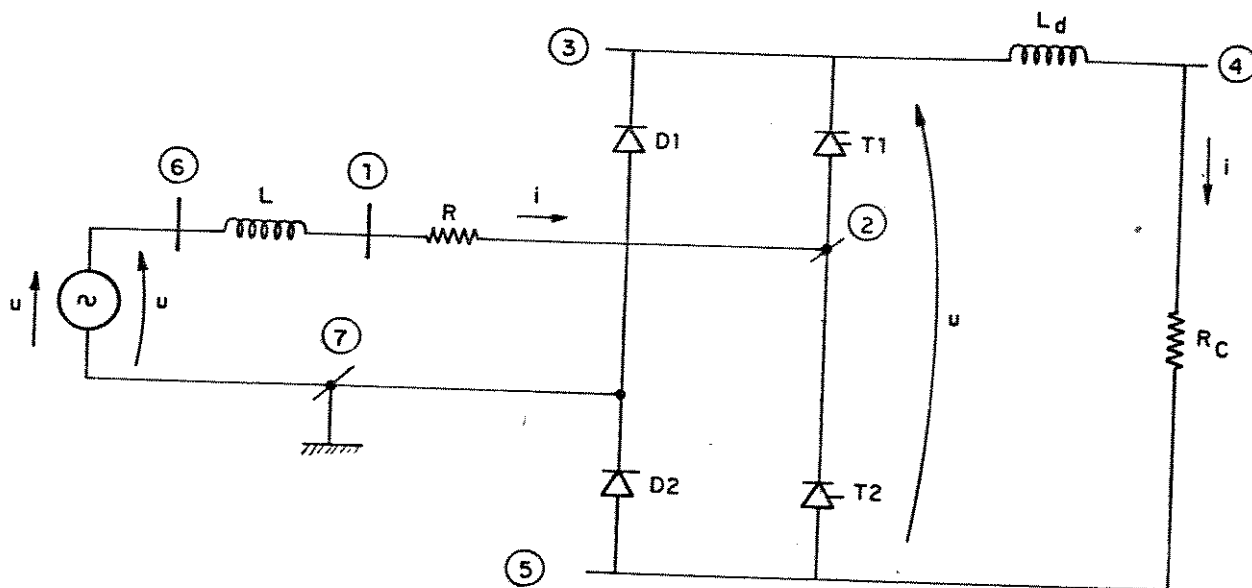


FIGURA 22: SISTEMA COM PONTE CONVERSORA MONOFÁSICA.

Na figura 22 admite-se os seguintes dados:

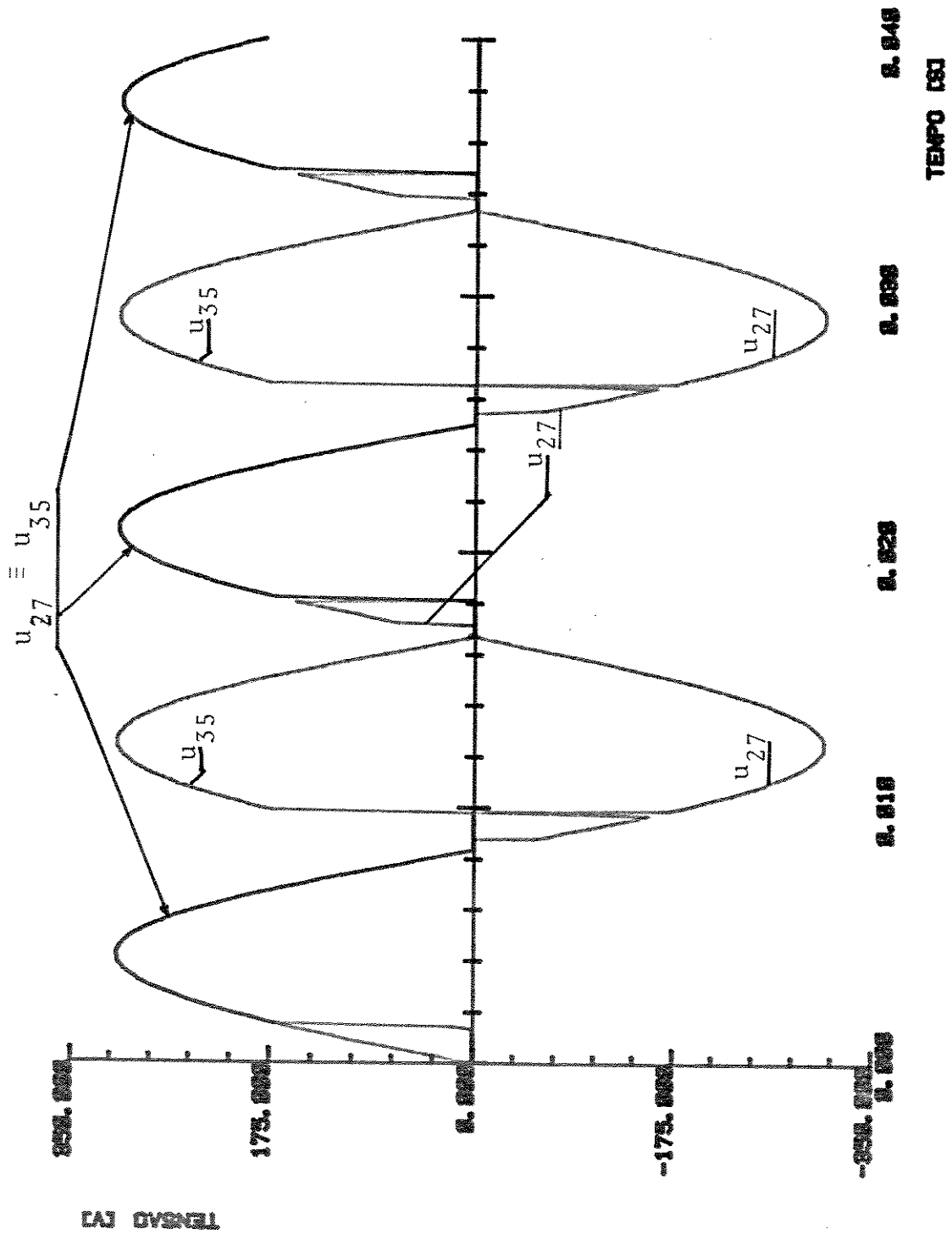
$$u = 220 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \text{ V}, \quad L = 3 \text{ mH}$$

$$R = 0,1 \text{ } \Omega \quad L_d = 300 \text{ mH}$$

$$R_c = 50 \text{ } \Omega \quad f_{\text{rede}} = 60 \text{ Hz}$$

$$\alpha_{T1} = 30^\circ \text{ e } \alpha_{T2} = 210^\circ \text{ (contados a partir do zero natural da tensão)}$$

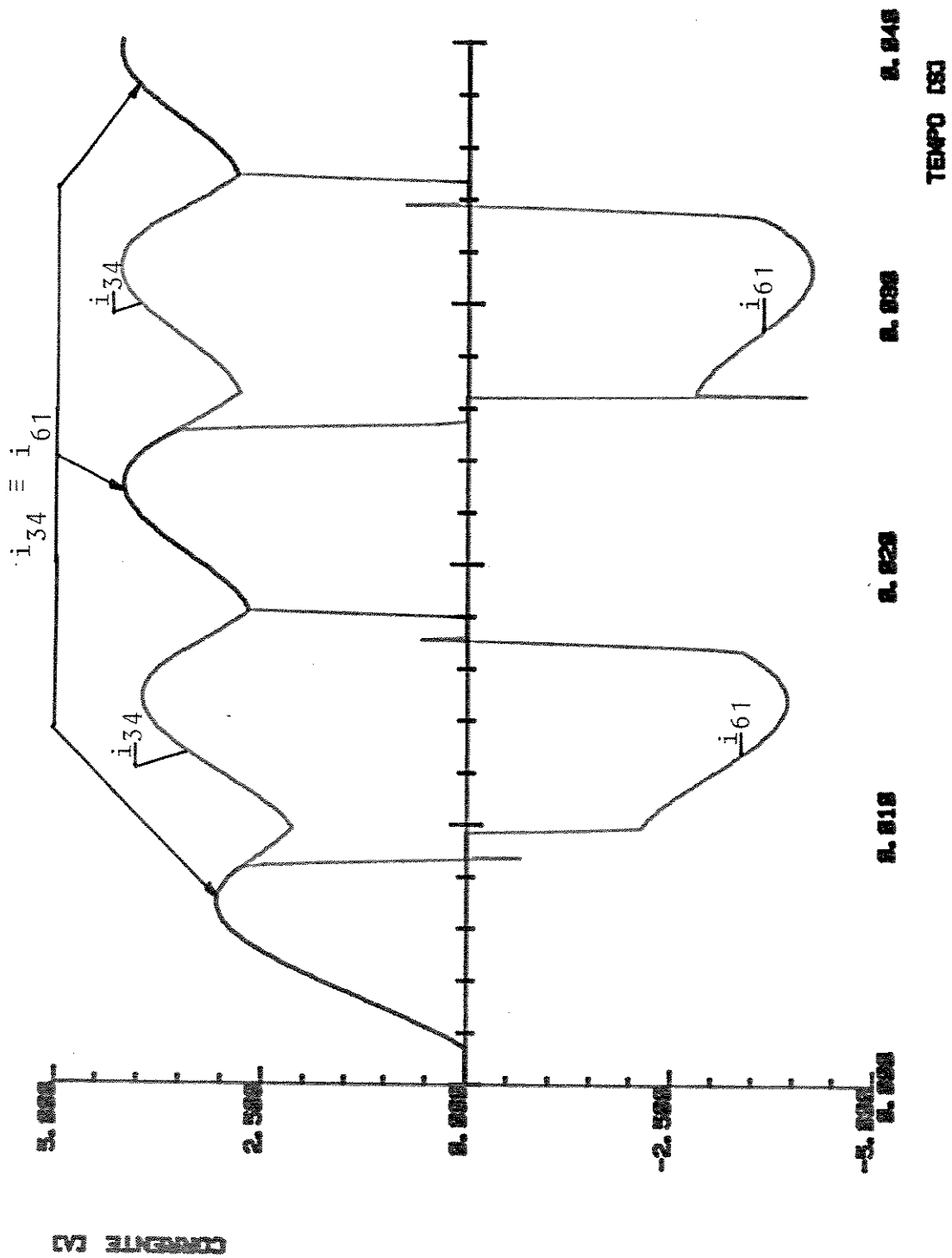
As figuras 22.A e 22.B representam as formas de ondas das correntes e das tensões supondo uma energização inicial do sistema e o circuito de disparo que gera os pulsos para os gatilhos dos tiristores entrando neste instante. Nota-se que a simulação propicia, como esperado, uma evolução da corrente desde seu valor nulo até seu estabelecimento em regime permanente.



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 3-5
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 2-7

FIG. No 22.A

DATA 24/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 18	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	---	CORRENTE NO RAMO 8-1
1: 1.00	---	CORRENTE NO RAMO 3-4

FIG. No 22.B	
DATA 24/08/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 18	

EXEMPLO 4

Analisa-se a seguir o sistema de tração ferroviária mostrada na figura 23. No sistema em análise a frequência da rede é de 50 Hz e a tensão na linha CA que faz o suprimento ao pantógrafo é de 25 kV. No programa desenvolvido pode-se efetuar simulações de regime ou de situações transitórias e até mesmo admitir que a locomotiva esteja recebendo energia elétrica não de um único ponto mas de pontos sucessivos da rede. Em outras palavras, simula-se o seu deslocamento no espaço em função do tempo.

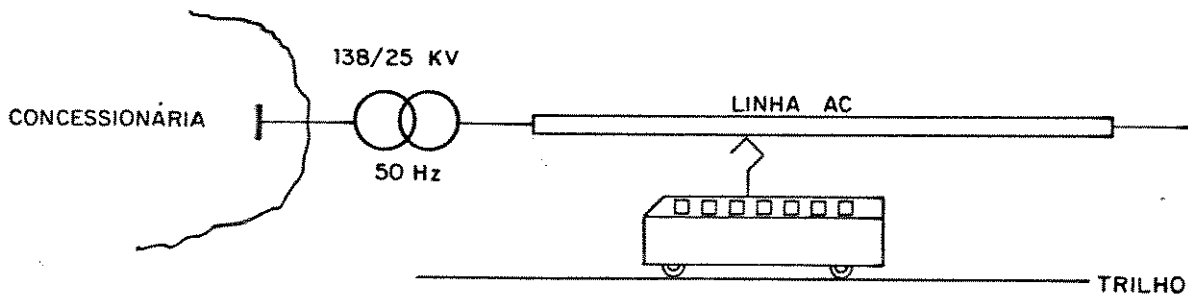


FIGURA 23: SISTEMA DE TRACÇÃO EM ANÁLISE.

Conforme [8], [22], [25], [26], [36] e [41] para um sistema de tração ferroviário CA típico, tem-se os seguintes valores para suas grandezas principais:

- tensão de suprimento de energia (subestação conversora) 138 kV
- tensão de suprimento de energia à locomotiva - 25 kV
- frequência da tensão de suprimento de energia - 50 Hz
- transformador com 4 enrolamentos como mostra a figura 24 sendo que a potência total para os 4 enrolamentos principais é de 4400 KVA.
- transformador auxiliar - 435 KVA ;
- peso da locomotiva - 9500 kg ;

- . corrente nominal por enrolamento primário - 44 A ;
- . tensão secundária - 1000 V ;
- . potência média do sistema de tração - 2490 kW ;
- . sistema SAR (South African Railways);
- . potência média ativa - 3000 kW ;
- . potência média reativa - 2600 kVAr ;
- . linha CA bitola - 40 mm^2 (cobre equivalente);
- . altura média da linha CA ao trilho - 6,00 m ;
- . impedância do transformador - 6%.

Com os filtros normalmente existentes, e principalmente no caso do controle por setores, pode-se admitir que para a rede CA a corrente absorvida pela locomotiva é senoidal para fins de análise do perfil de tensão em regime permanente [8], [27], [50] e [44].

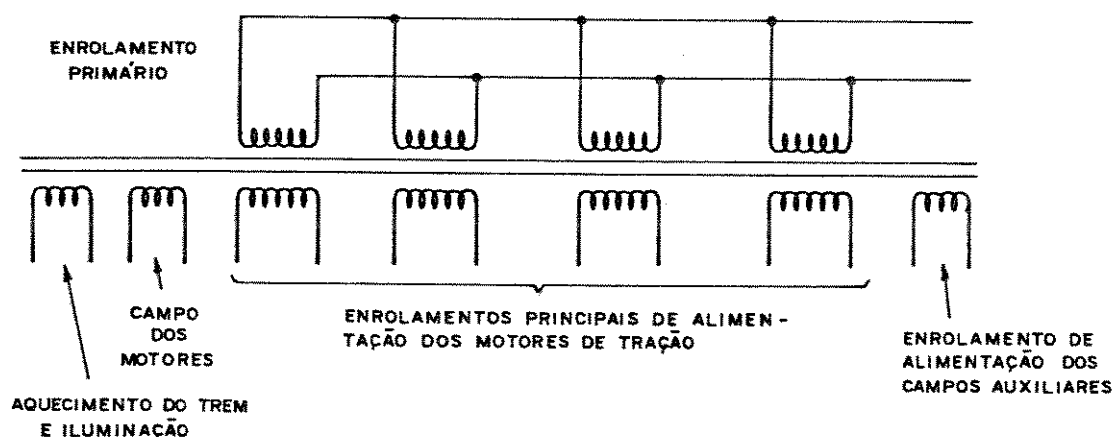


FIGURA 24: TRANSFORMADOR PARA TRACÇÃO CA ILUSTRANDO OS ENROLAMENTOS ENVOLVIDOS [8].

Assim sendo, considerando uma potência de curto-circuito no lado de 138 kV de 3000 MVA tem-se o circuito equivalente mostrado na figura 25, onde se admitiu que a linha que efetua o su

primento de energia a locomotiva é dividida em 4 trechos de 10 km cada um.

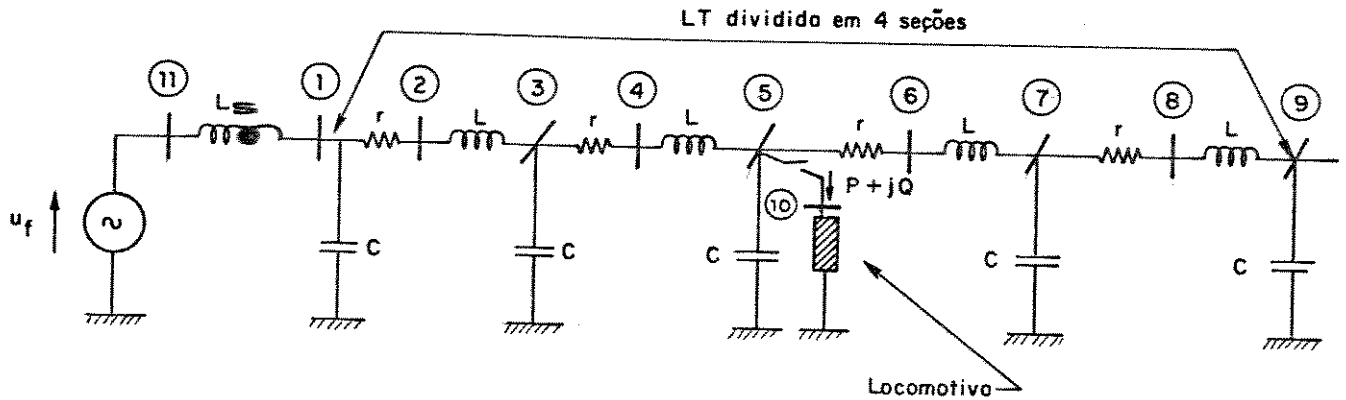


FIGURA 25: SISTEMA EM ANÁLISE PARA O CÁLCULO DA TENSÃO AO LONGO DA LINHA DE TRANSMISSÃO.

Os parâmetros r , L e C para o sistema da figura 25 foram obtidos através do programa específico para cálculo de parâmetro de linha [45] e os resultados estão no Anexo 6.

Na figura 25 tem-se:

$$L_s = \left[\left(\frac{4,400}{3000} + 0,06 \right) \frac{(25)^2}{4,4} \right] / 314 = 0,028 \text{ H} = 28,000 \text{ mH}$$

$$L = 27,61 \text{ mH}$$

$$C = 0,07 \text{ } \mu\text{F}$$

$$r = 5,24 \text{ } \Omega$$

$$u_f = 25000 \cdot \sqrt{2} \text{ sen } (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t) \text{ V}$$

Para representar a locomotiva admite-se uma carga de potência constante com:

$$P = 3000 \text{ kW}$$

$$Q = 2600 \text{ KVAR}$$

Os valores da indutância e da resistência equivalentes da carga são:

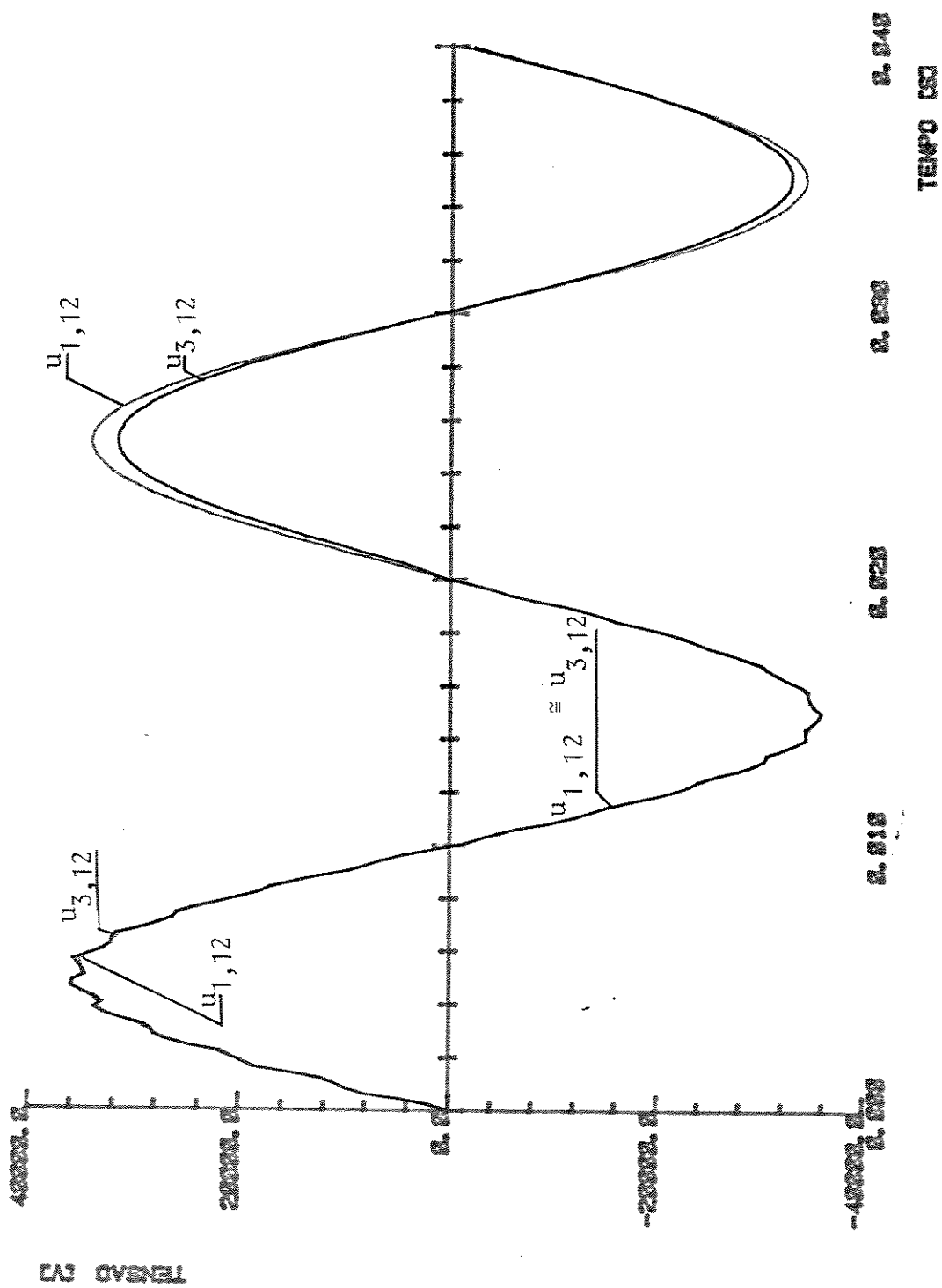
$$R_L = \frac{(25)^2}{3} = 208,33 \text{ } [\Omega]$$

$$L_L = \left[\frac{(25)^2}{2,6} / 314 \right] \cdot 1000 = 765,556 \text{ } [\text{mH}]$$

As figuras 25.A, 25.B e 25.G ilustram as formas de onda das tensões nas barras 1, 3, 9 e 10 para a locomotiva na barra 5 (locomotiva situada na metade da linha). Já a figura 25.D ilustra as formas de ondas das correntes nos ramos 11,1 e 5,10.

As figuras de 25.E até 25.G ilustram as formas de onda das tensões nas barras 1, 3, 9 e 10 para a locomotiva situada na barra 7 (locomotiva situada a 75% do trecho total da linha em relação ao transformador). Já a figura 25.H ilustra as correntes nos ramos 11,1 e 7,10.

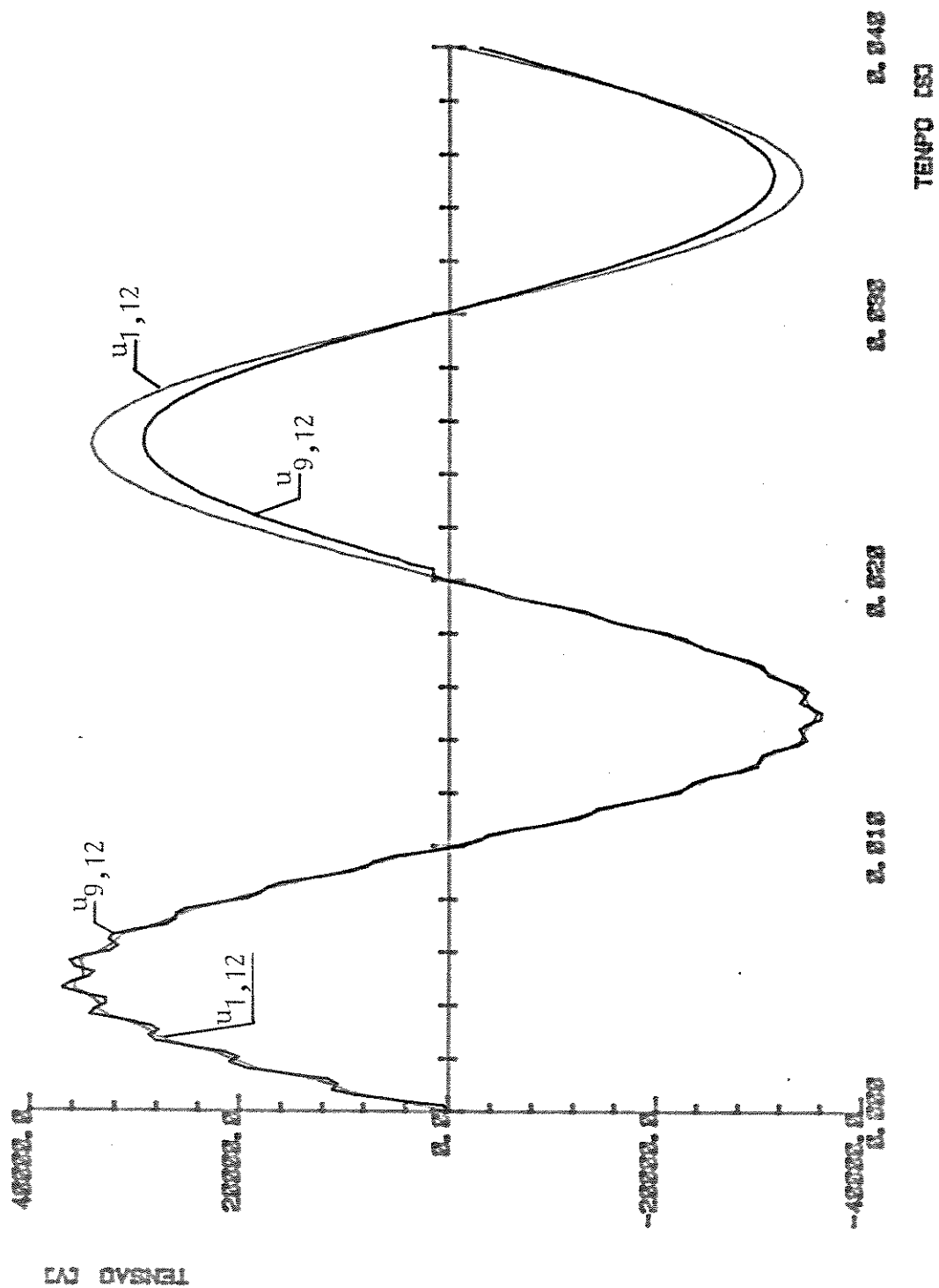
Nas figuras de 25.A até 25.H admitiu-se que o pantógrafo atinge o cabo energizado no instante 20 mseg ($t_{\text{close}} = 20 \text{ mseg}$). Logo, o transitório é mínimo. Por outro lado, as figuras de 25.I , até 25.L ilustram um transitório devido, por exemplo, a um levantamento do pantógrafo estando a locomotiva no meio da linha CA, isto é, na barra 5. Neste caso, a energização do circuito ocorreu em 25 mseg ($t_{\text{close}} = 25 \text{ mseg}$). A forma de onda da corrente para o transitório de energização em $t_{\text{close}} = 25 \text{ mseg}$ está ilustrada na figura 25.L para os ramos 11,1 e 5,10.



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 1. 12
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 3. 12

FIG. Nº 25.A

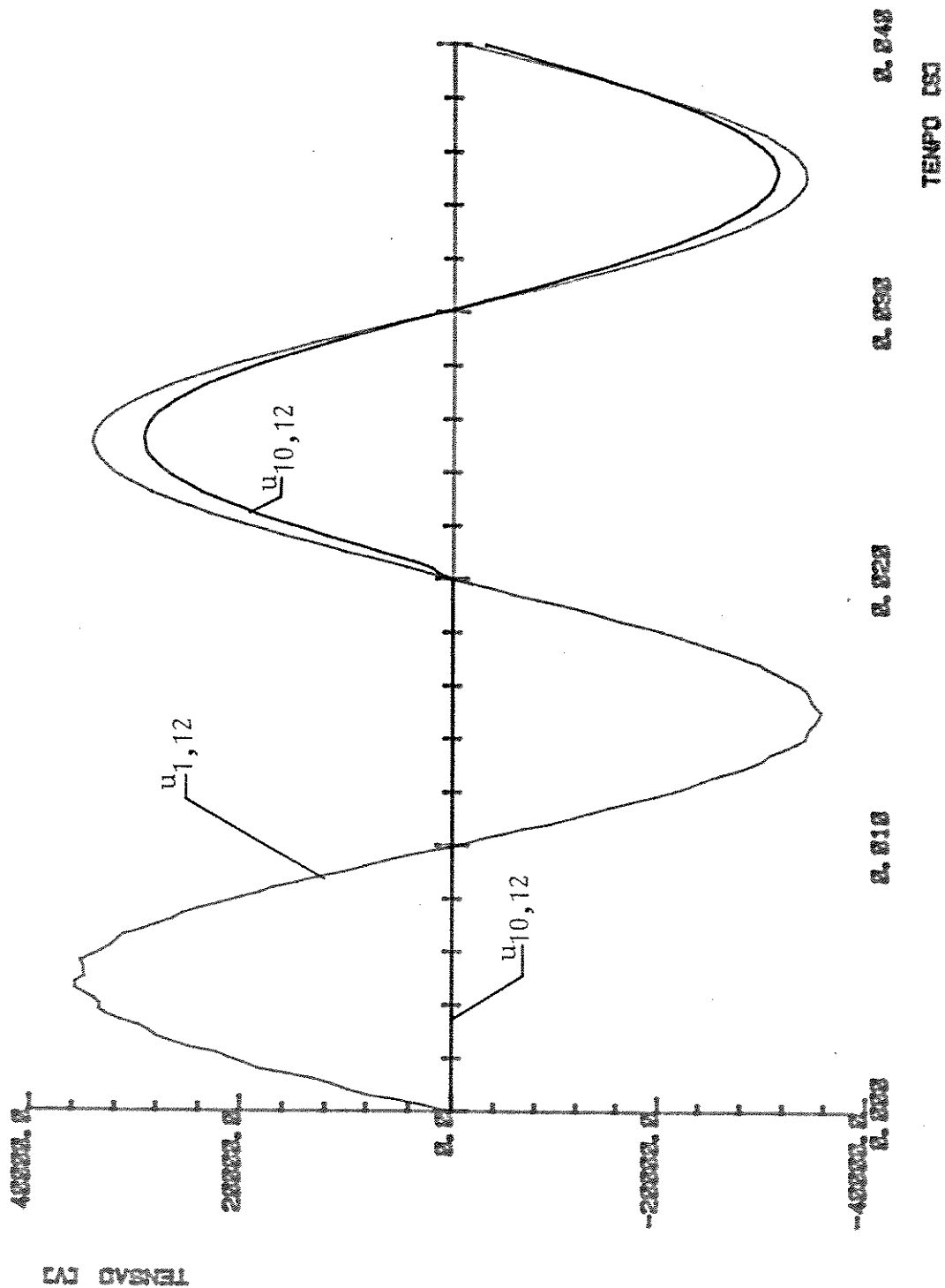
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CARROS • TRACAO AC 23 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 1. 12
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 9. 12

FIG. Nº 25.B

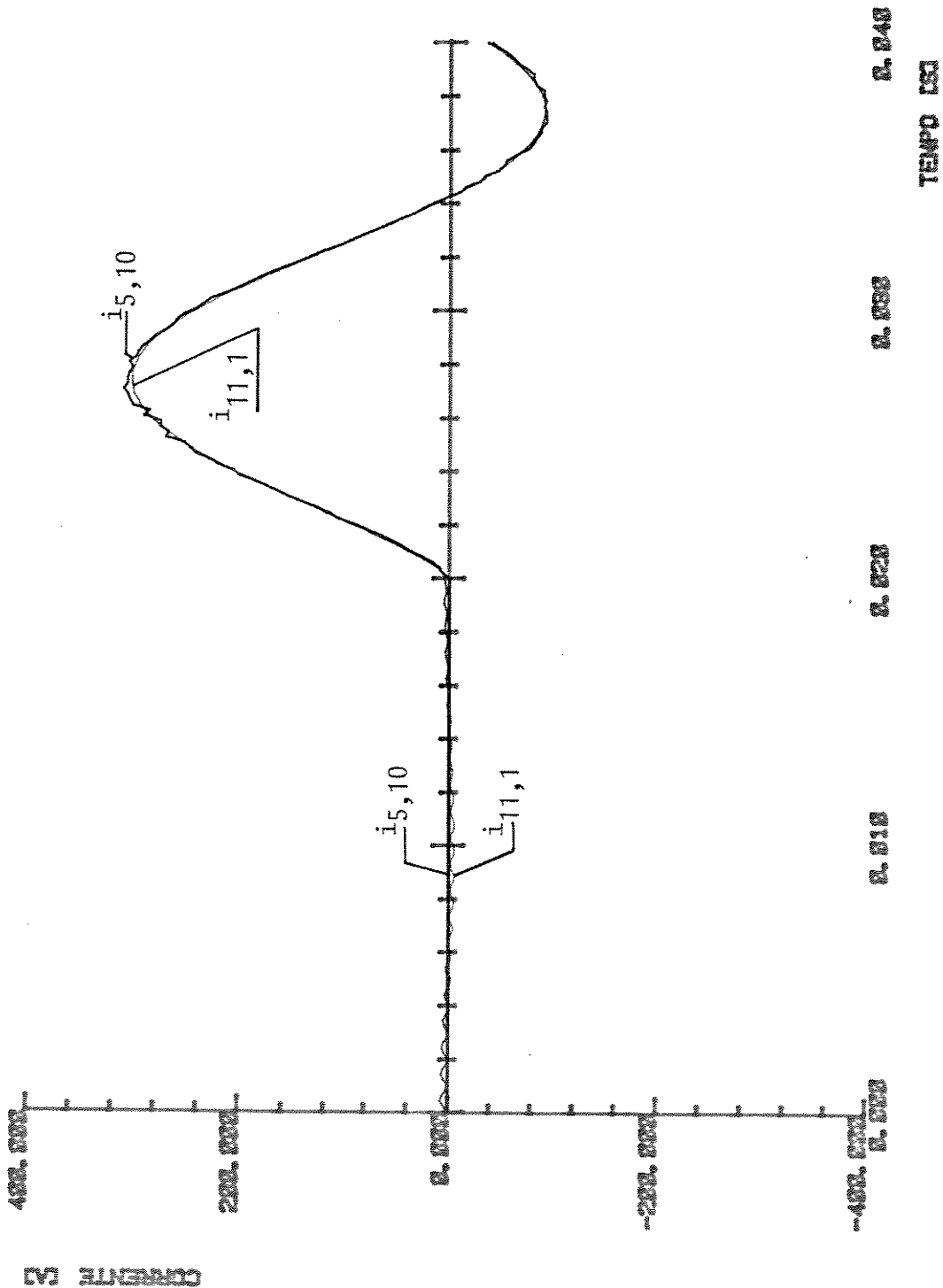
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CANAL 9 - TRACAO AC 25 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1: 1. ØØ	—	TENSAO NA BARRA 1.12
1: 1. ØØ	—	TENSAO BARRA 10.12

FIG. Nº 25.C

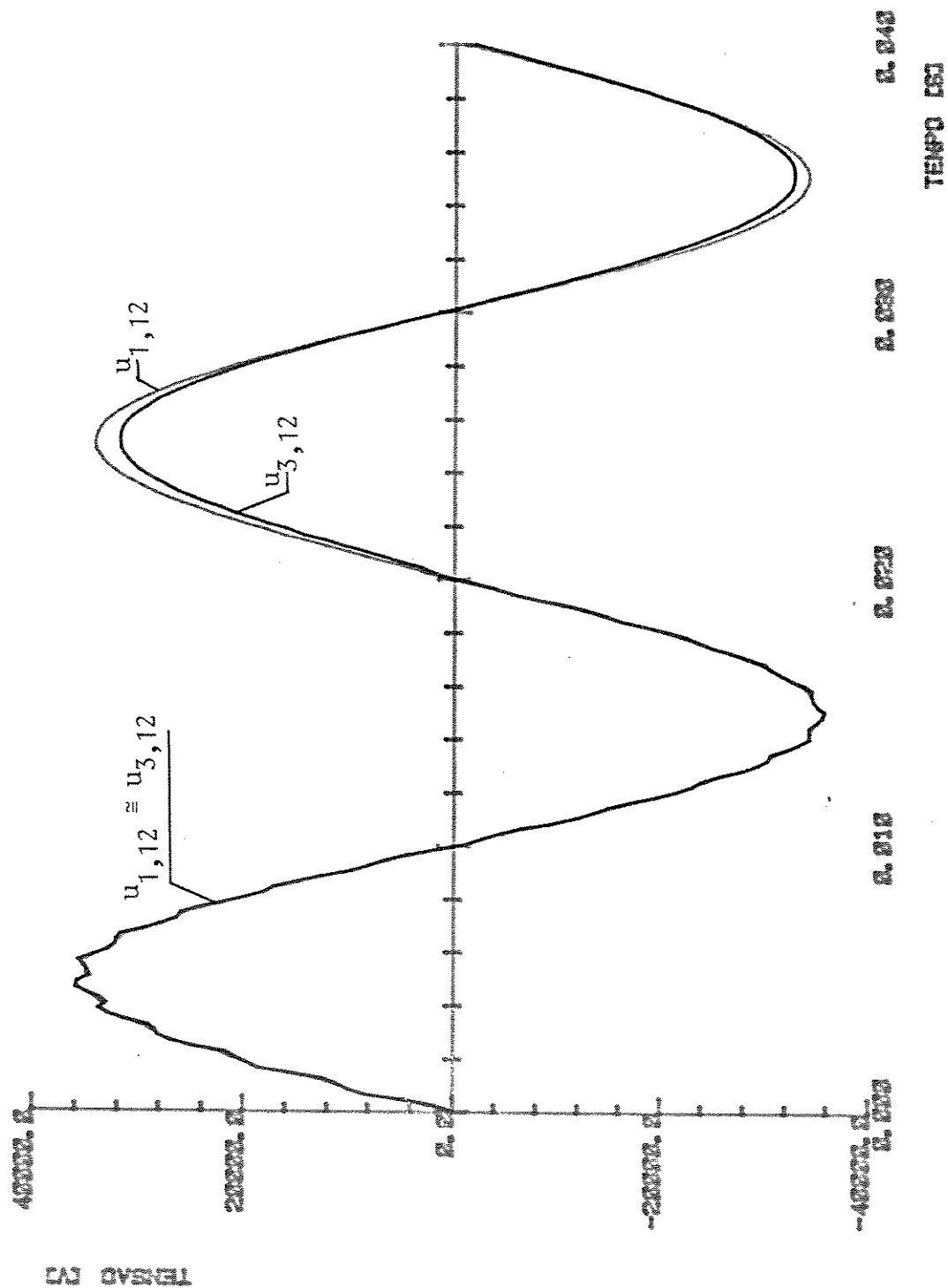
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES CARGAS • TRACAO AC 25 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	CORRENTE RAMO 11.1
1:1.00	—	CORRENTE RAMO 5.10

FIG. No 25.D

DATA 25/08/98	JOAD ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CAMPOS - TRACAO AC 23 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 3

FIG. Nº 25.E

DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CARGA : TRACAO AC 25 KV	

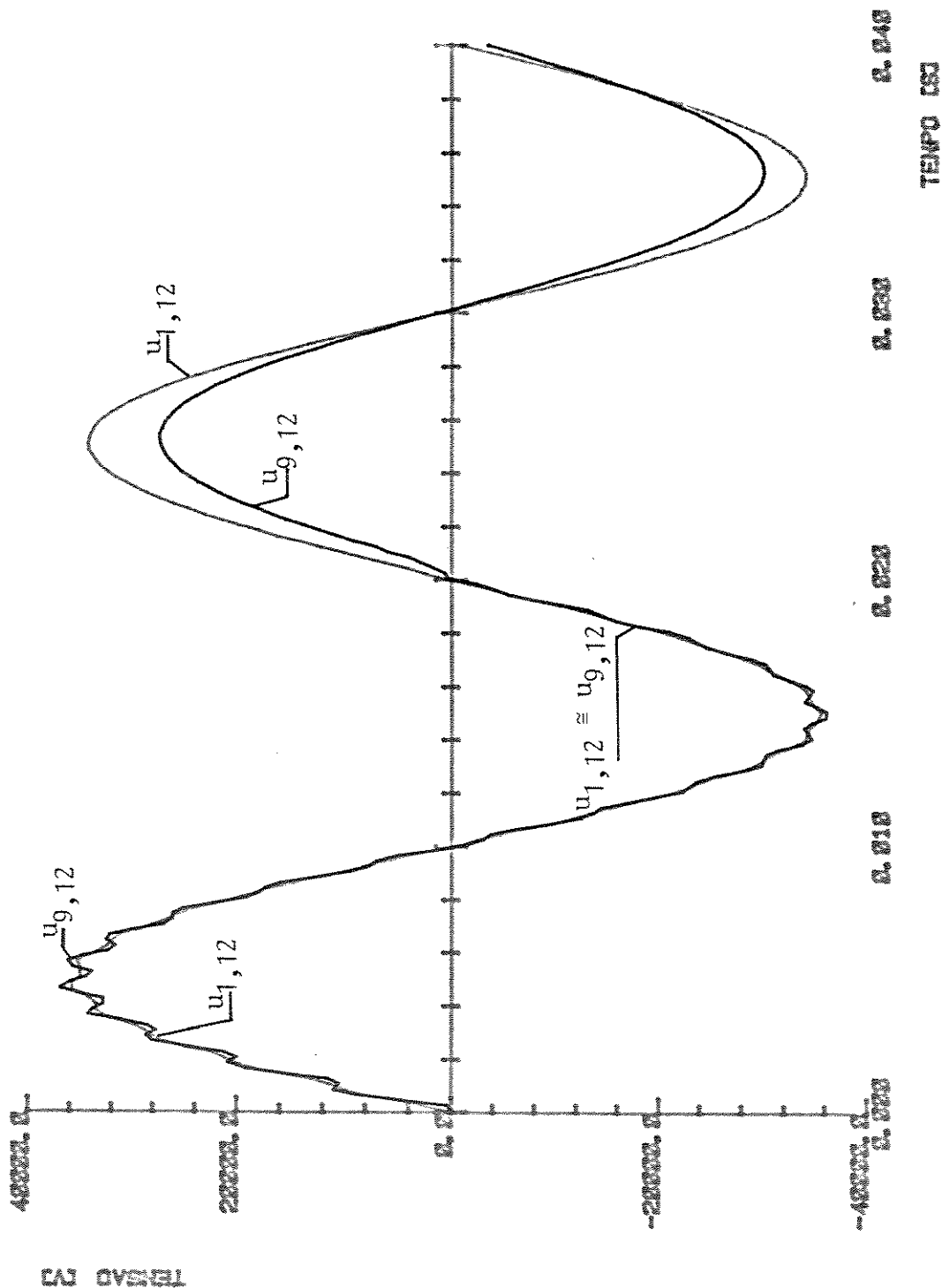
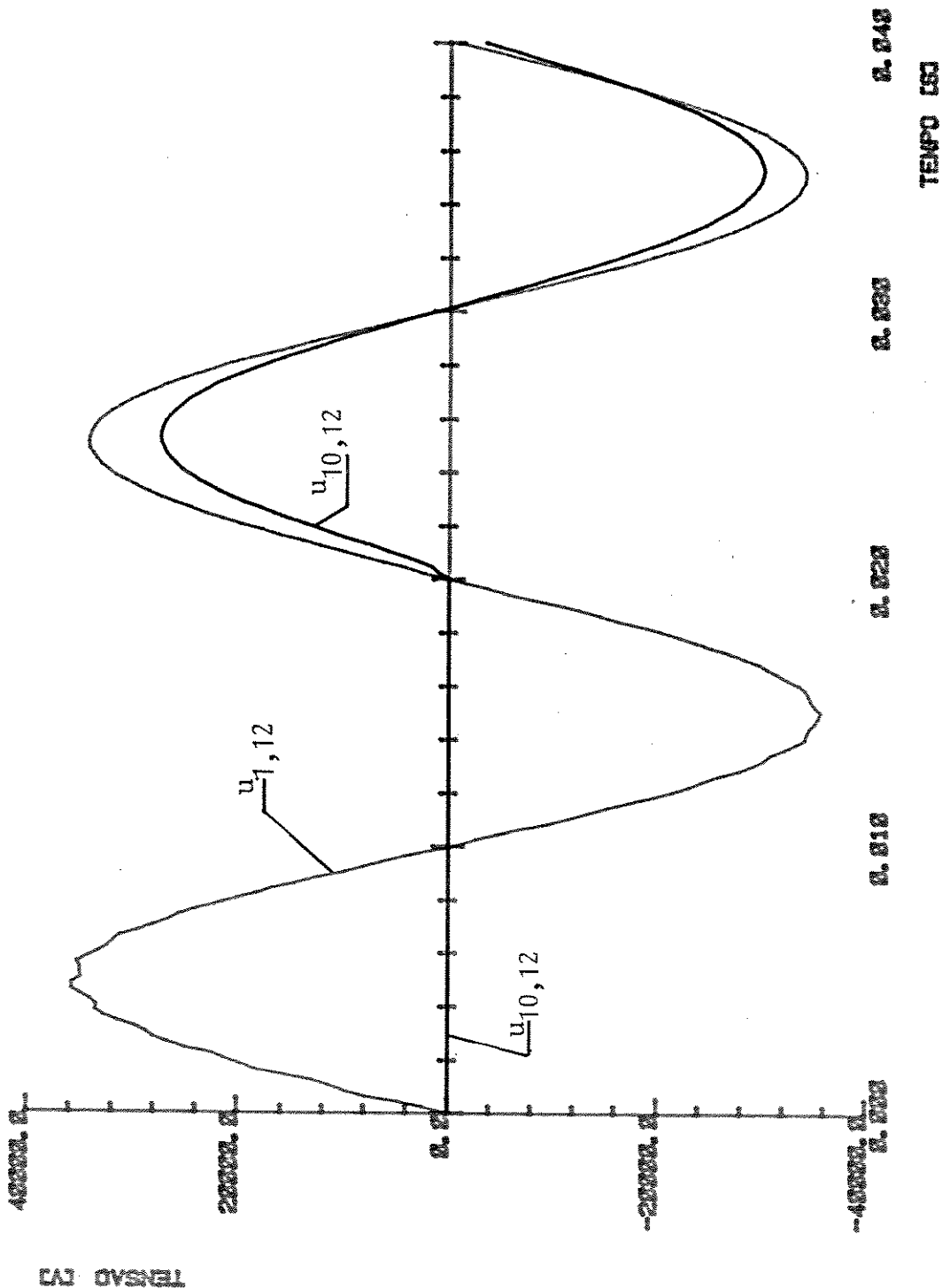


FIG. Nº 25.F

ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1 : 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1 : 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 9

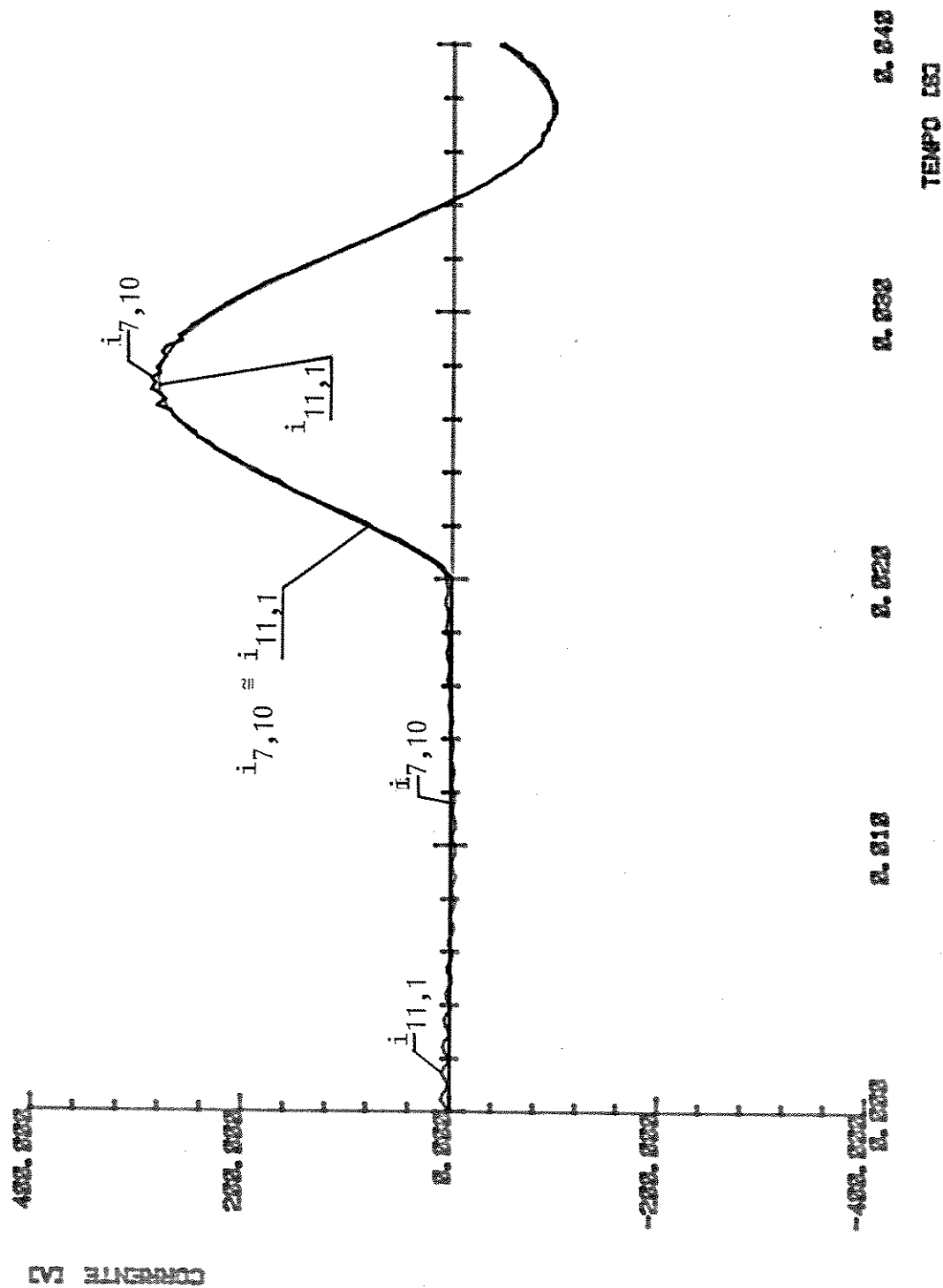
DATA 25/08/88	JOAD ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CAUSADO O TRACAO AC 25 NY	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 10

FIG. No 25.6

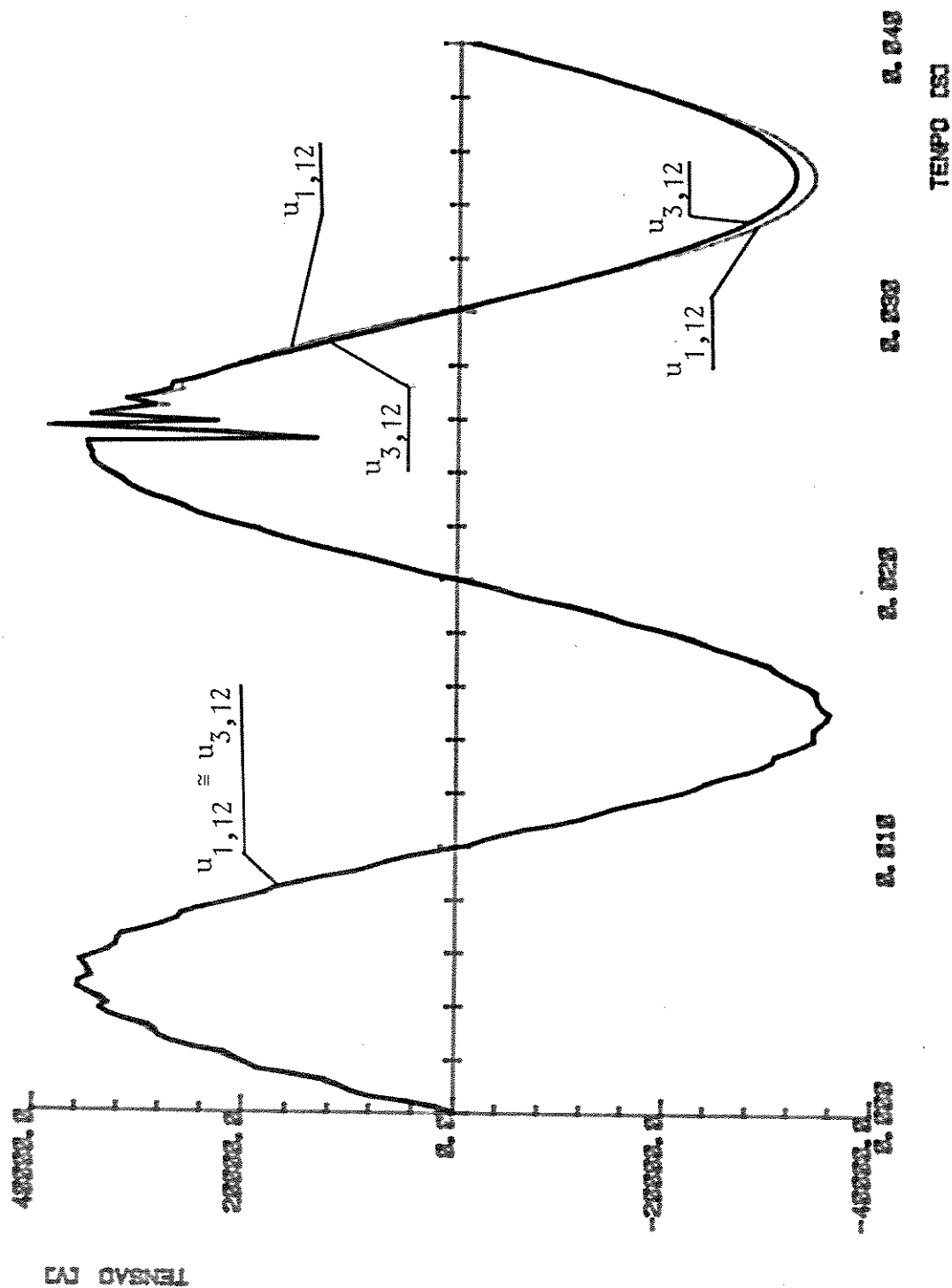
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO 08 - TRACAO AC 25 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	CORRENTE RAMO 11.1
1:1.00	—	CORRENTE RAMO 7.10

FIG. No 25.H

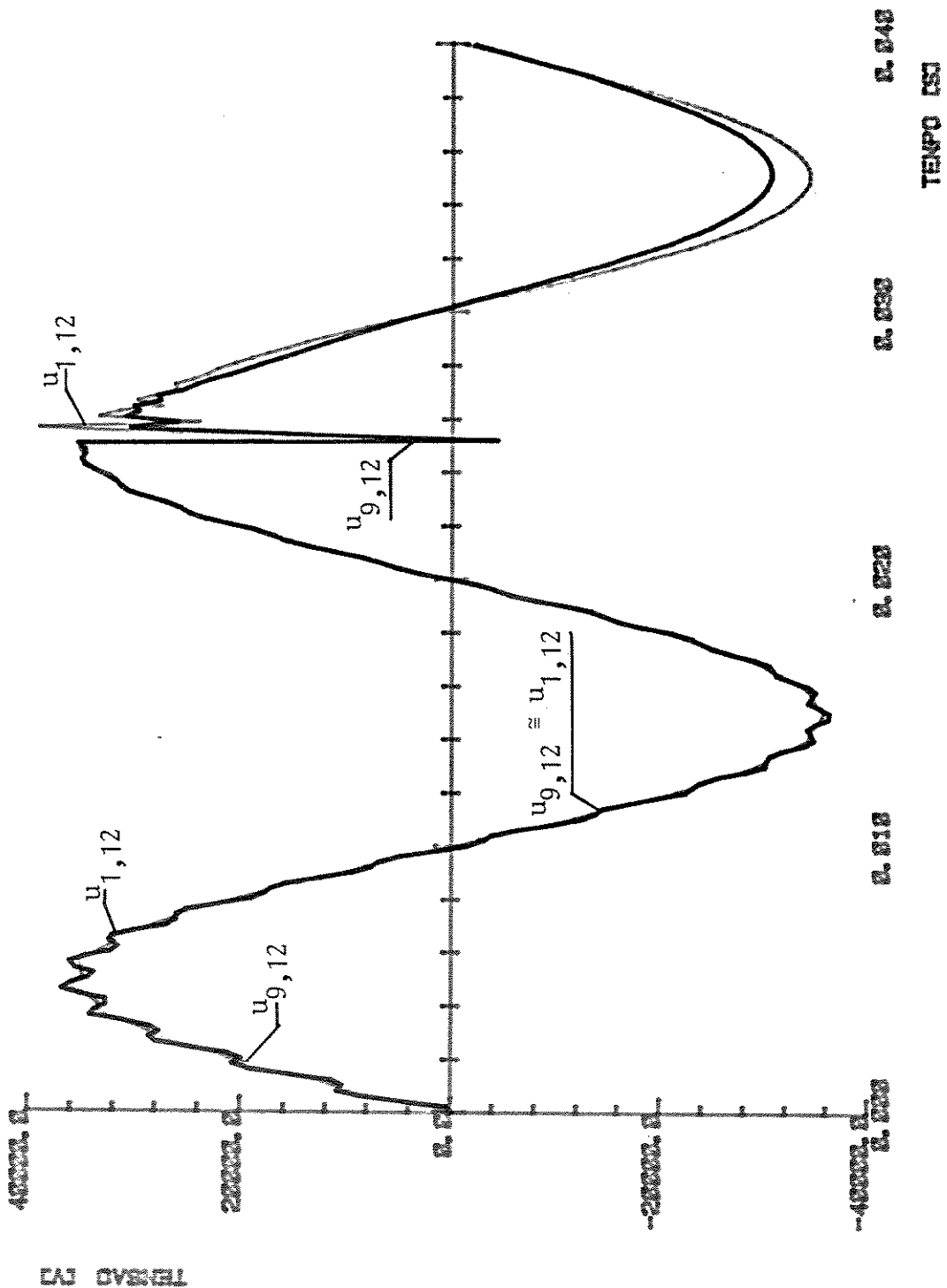
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO 000 - TRACAO AC 230 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 3

FIG. No 25.1

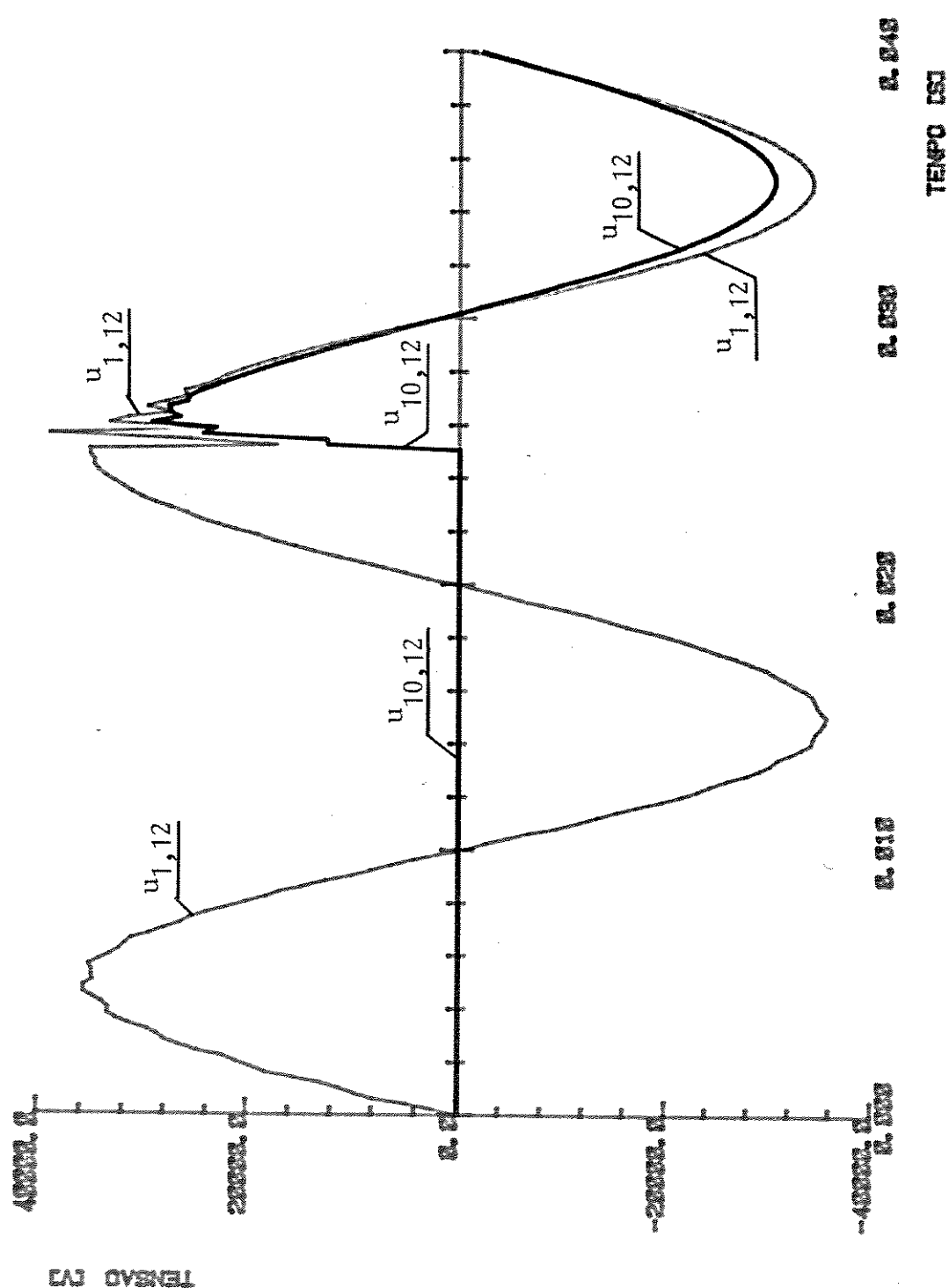
DATA 28/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO 07 - TRACAO AC 25 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 9

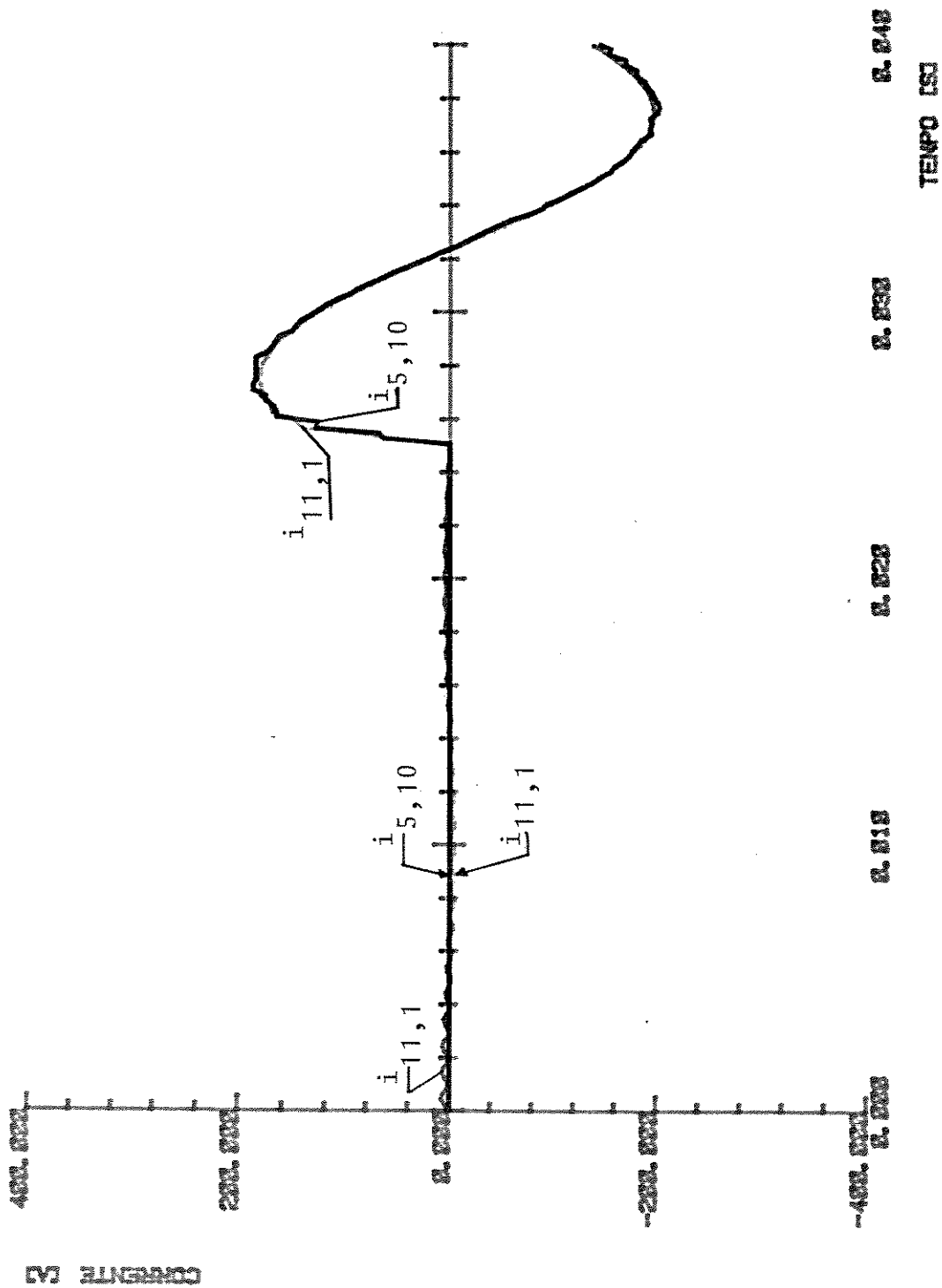
FIG. Nº 25.J

DATA 28/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CARGA 7 • TRACAO AC 25 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 10

DATA	JOAO ROBERTO COGO
28/08/88	
OBSERVACOES:	
CAN007 • TRACAO AC 25 KV	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	CORRENTE RAMO 11.1
1:1.00	—	CORRENTE RAMO 5.10

FIG. No 25.L

DATA 28/08/98	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO 07 - TRACAO AC 25 KV	

CAPÍTULO III

ELIMINAÇÃO DA INSTABILIDADE NUMÉRICA NO MÉTODO DESENVOLVIDO

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas, senão o maior deles, na solução de equações diferenciais é aquele que ocorre quando se tem um degrau de variação na variável que se deseja obter. Por exemplo, se houver uma variação em degrau na corrente através de um indutor a tensão nos terminais do mesmo será um impulso. Como os processos de integração numérica, devido ao fato de trabalharem com valores discretos, possibilitam variações em degrau, e causam o problema denominado de instabilidade ou oscilação numérica.

Para o circuito em que se tem interesse neste trabalho os problemas com instabilidade numérica ocorrem nas diferenças de potencial nos terminais das indutâncias e na corrente através das capacitâncias. Assim, a variável de estado para a indutância é a corrente e a variável de estado para o capacitor é a tensão, em outras palavras:

- para o indutor tem-se: $i(t^+) = i(t^-)$
- para o capacitor tem-se: $u(t^+) = u(t^-)$

Oscilações numéricas tem sido registradas durante a simulação envolvendo chaveamento com o uso do EMTP [38]. Entretanto, até recentemente [38], o mecanismo exato do aparecimento da instabilidade numérica não tinha sido bem entendido. Com o crescimento e complexidade dos sistemas a serem analisados, tem aumentado tam

bem os problemas vinculados às oscilações numéricas e da mesma forma à solução destes problemas [38].

No caso de oscilações numéricas envolvendo circuitos indutivos existe a sugestão de se colocar em paralelo com o indutor onde apareça oscilação numérica uma resistência de valor apropriado [38]. E no caso de oscilações numéricas envolvendo circuitos com características capacitivas sugere-se ([39]) a colocação de resistores em série, com os capacitores, de valores adequados. Contudo, estas soluções alteram a estrutura do sistema em análise.

Outra alternativa de solução para o problema da instabilidade numérica ([29]) é a reinicialização das variáveis seguido de alteração da estrutura da rede em análise. O método desenvolvido em [29], conforme [38] não elimina discrepâncias entre a situação de regime permanente e a evolução das grandezas no tempo. Além disso, a reinicialização das variáveis feita em [29] envolve um procedimento computacional com base na mudança do passo de integração, durante as fases de reinicialização.

2. SISTEMÁTICA DESENVOLVIDA PARA ELIMINAÇÃO DA INSTABILIDADE NUMÉRICA

Conforme [19] o circuito indicado a seguir, na figura 1, ilustra o caso de oscilação numérica de tensão após a ocorrência de um chaveamento de abertura utilizando-se a técnica convencional de integração numérica. Considere que a chave fecha em $t = 0$ e abre novamente quando a corrente passar pelo primeiro zero. No instante em que a corrente é extinta, devido a abertura da chave,

tem-se um degrau na mesma. Assim, a derivada di/dt e também a tensão nos terminais do indutor ($L di/dt$) sofrerão as consequências deste degrau.

A figura 2 mostra o resultado encontrado por [19] na obtenção da solução do circuito da figura 1. Este resultado ocorre devido ao fato de a regra de integração trapezoidal para o indutor fornecer a seguinte equação:

$$u_L(t + \Delta t) = 2L/\Delta t i(t + \Delta t) - [2L/\Delta t i(t) + u_L(t)]$$

imaginando-se a abertura da corrente no instante t , para o instante correspondente a $t + \Delta t$ tem-se que a corrente por ela é nula , logo:

$$u_L(t + \Delta t) = -u_L(t)$$

pois no instante t devido ao processo de integração numérica, normalmente, a corrente não atinge exatamente o valor zero.

Com o uso da técnica empregada para o cálculo de transitório eletromagnético [1], [2], [4] e [19] desenvolveu-se um programa digital como mostra o Capítulo II deste trabalho. Ao efetuar-se a simulação do sistema indicado na figura 1, supondo a abertura da chave quando a corrente passa pelo seu primeiro zero, usando-se o programa desenvolvido neste trabalho, encontrou-se os resultados mostrados nas figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

Como a base do programa desenvolvido é a mesma base do programa EMTP, à menos da representação dos semicondutores e da rotina de eliminação da instabilidade numérica, pode-se chegar ao mesmo resultado que em [19] para o sistema da figura 1 fazendo-se na rotina ABRE a variável $FLAG = 0$, ou seja, não se considera a ro

tina para a eliminação da instabilidade numérica. Assim sendo, o programa desenvolvido sem esta rotina também apresenta os resultados que levam à instabilidade numérica.

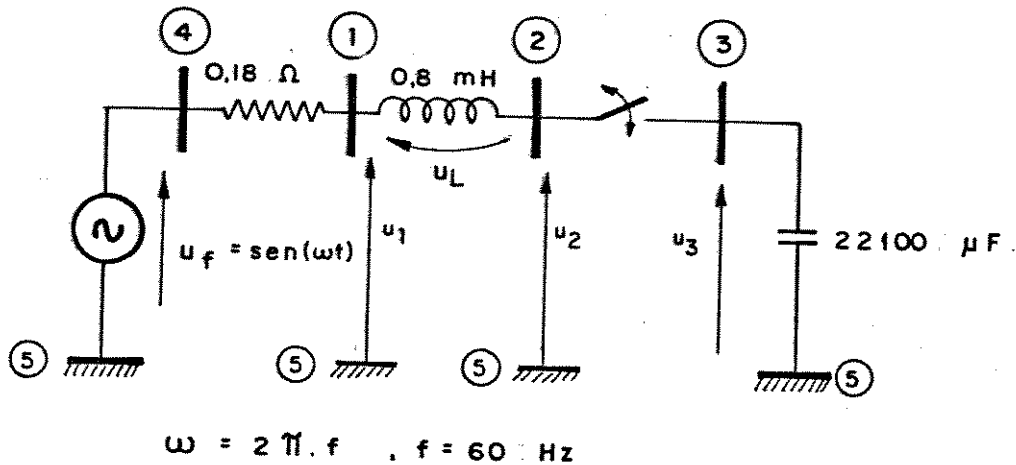


FIGURA 1: CIRCUITO EM ANÁLISE.

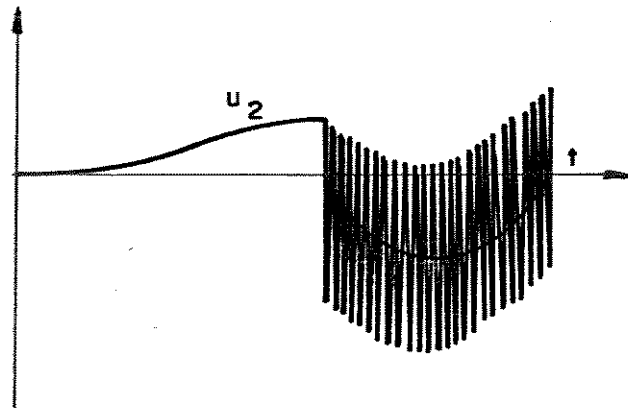


FIGURA 2: TENSÃO NOS TERMINAIS 2 E 5 [19].

As figuras 3 e 4 representam as formas de onda de tensão e corrente, respectivamente, por um intervalo de tempo de 0 a 20 msec de simulação para o sistema da figura 1. Já as figuras 5 e 6 representam os mesmos resultados das figuras 3 e 4, porém com um intervalo de tempo de 0 a 11[mseg] de simulação. A figura 7 representa as formas de onda de tensão nos diversos pontos da figura 1, porém efetuando-se uma expansão no intervalo de tempo desde 5

até 11 mseg .

Nota-se tanto na figura 2 como nas figuras 3, 5 ou 7 a existência do problema da instabilidade numérica, ou seja, a tensão na barra 2 (u_2) fica oscilando entre dois limites em torno do valor correto.

Conforme [19], para resolver este problema deve-se resolver a equação diferencial correspondente ao circuito no instante $T_0 - \xi$ (com a chave ainda fechada) sendo as condições iniciais recalculadas com a chave aberta em $T_0 + \xi$ (a solução das equações diferenciais são reiniciadas a partir de $T_0 + \xi$, sendo ξ um número infinitamente pequeno e positivo). Todavia, ainda conforme [19] , isto não é feito no programa de transitórios eletromagnéticos[EMTP] usado nas empresas de energia elétrica, pelo fato da reinicialização ser, de um modo geral, muito complicada. Assim, cria-se artifícios, como já mencionado, para resolver o problema de instabilidade numérica através de:

- a- colocação de resistores fictícios em paralelo com indutores (de valor $R_{Lp} \leq \frac{6\pi}{\Delta t} \cdot L$) [38];
- b- colocação de resistores fictícios em série com capacitores (de valor $R_{cp} \equiv 0,15 \frac{\Delta t}{2C}$) [39];
- c- desenvolvimento de rotinas que forneçam o valor médio das grandezas, onde ocorrem oscilações numéricas, em instantes sucessivos [19].

Os procedimentos mencionados em a e b trazem como desvantagem a alteração da estrutura do sistema em análise e o procedimento mencionado em c requer uma experiência na interpretação de resultados para verificar se é necessário ou não o uso da rotina SMOOTH

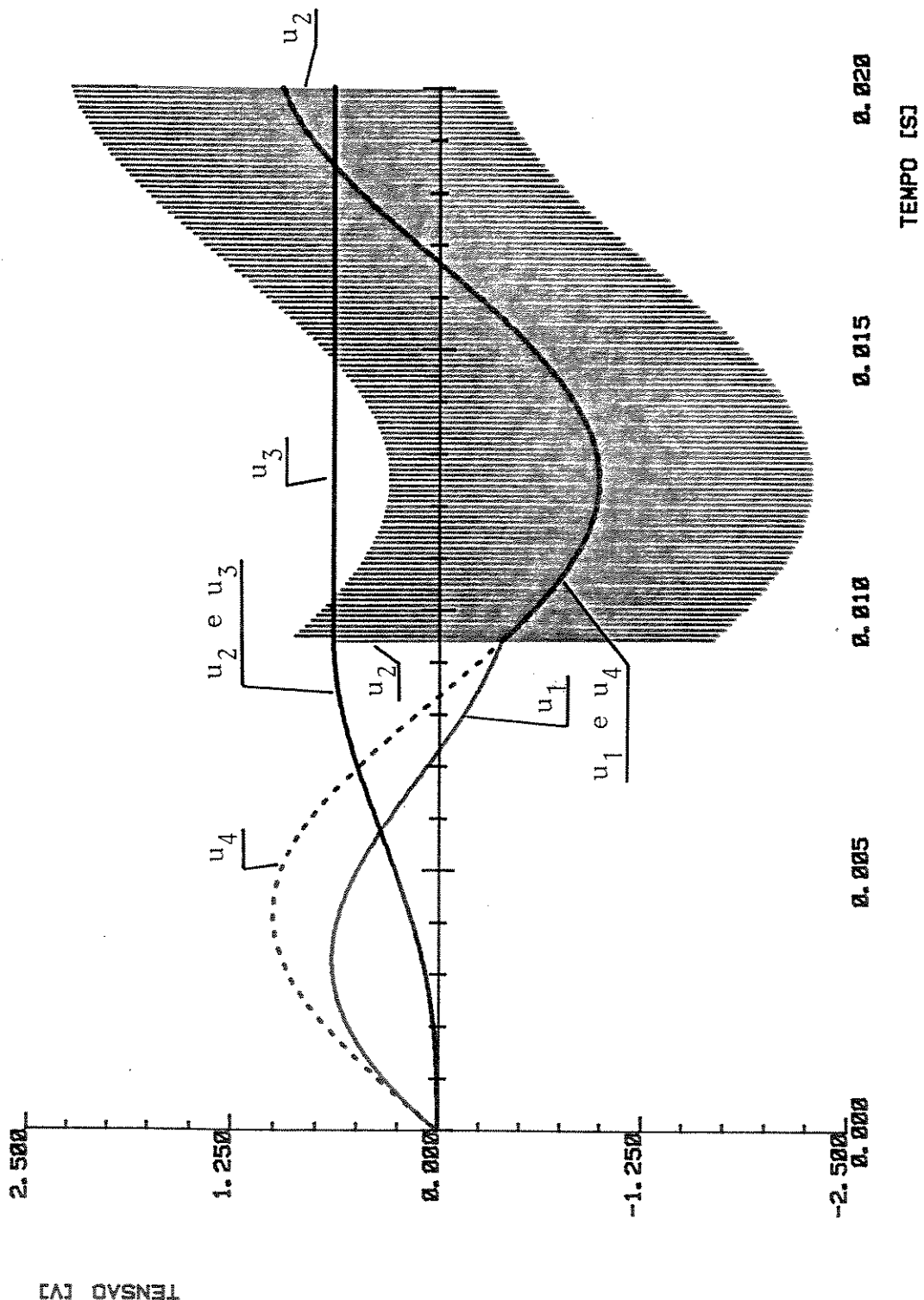
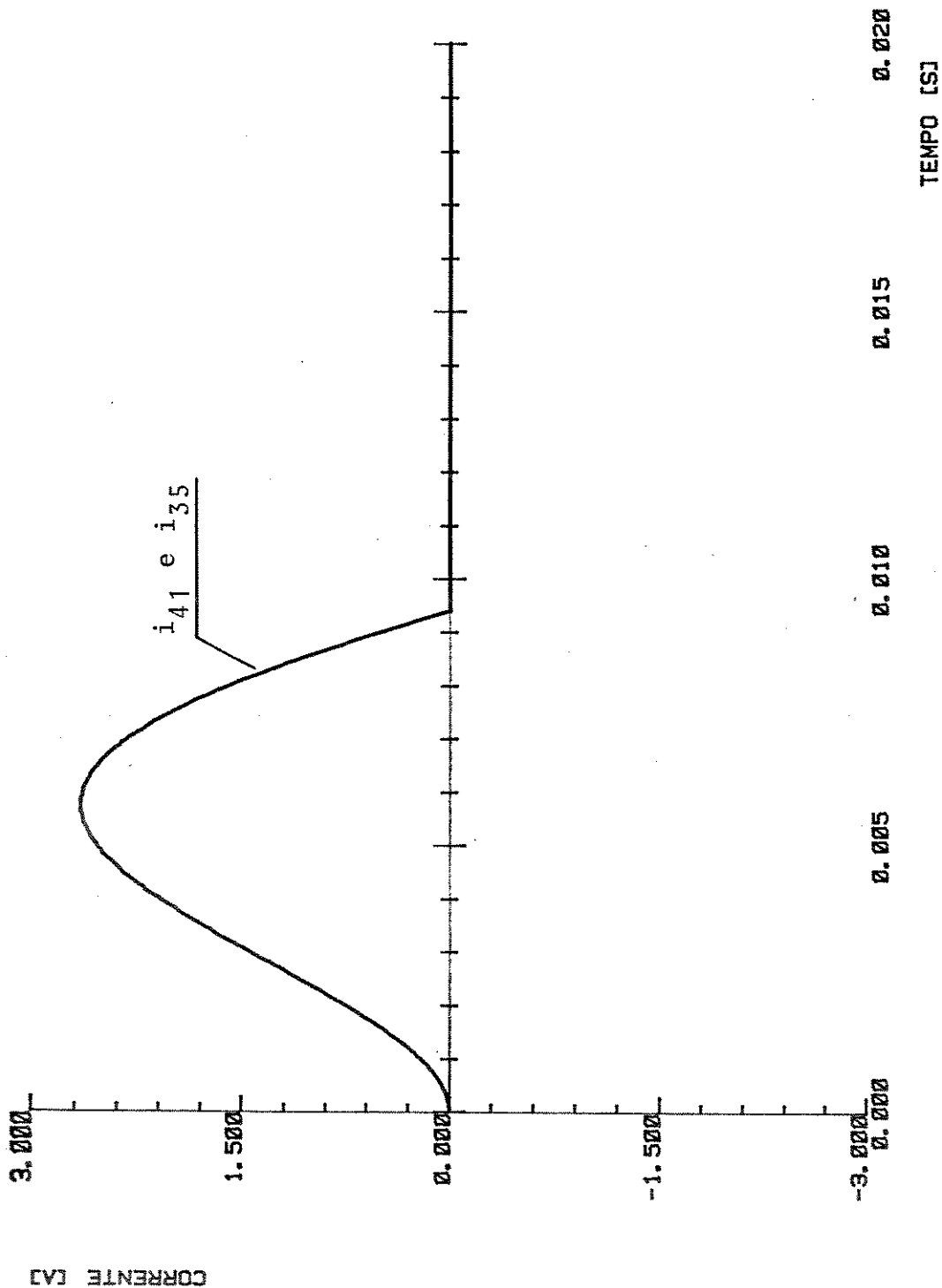


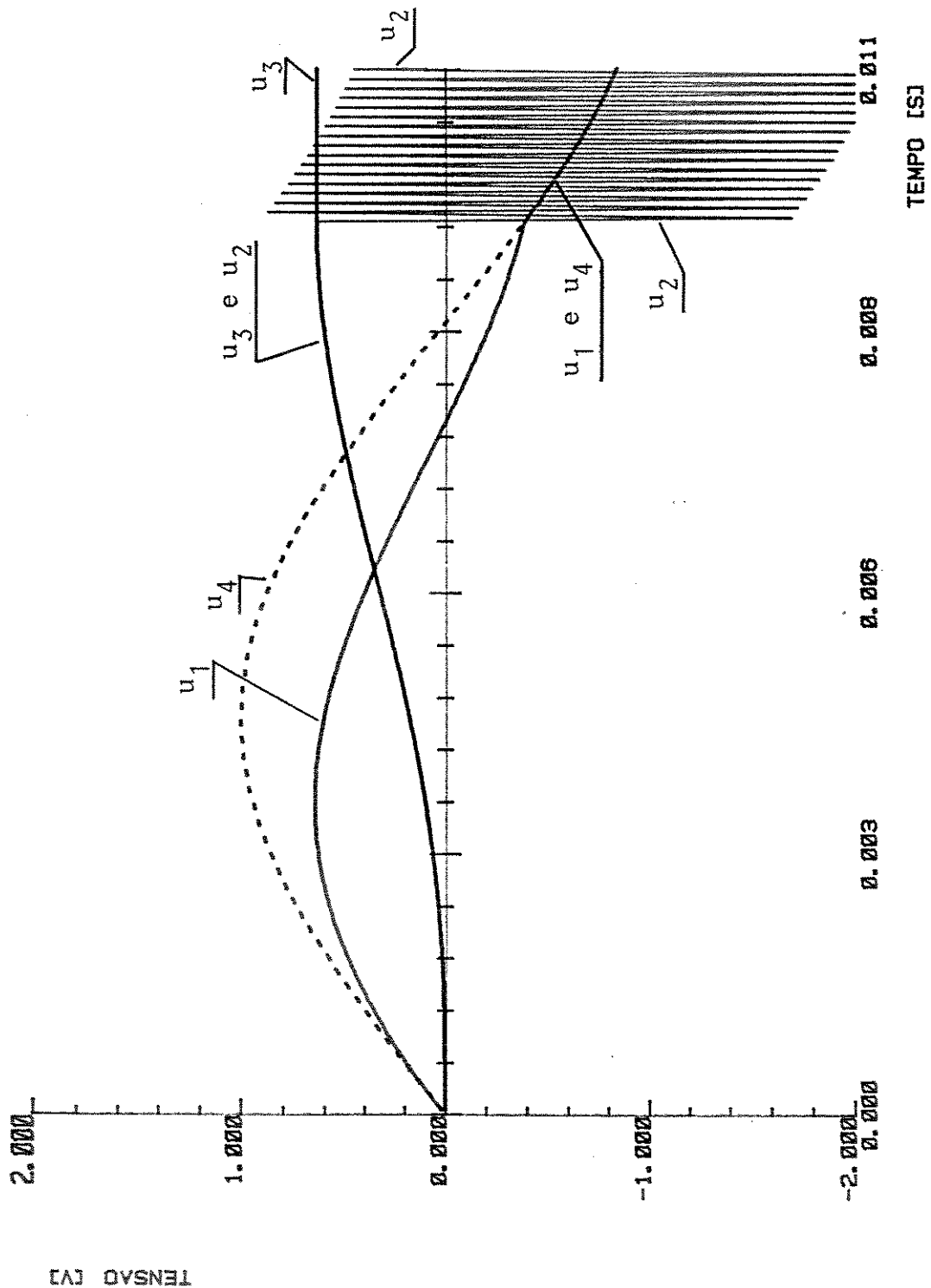
FIG. No 3			
ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA	
1: 1. 00	—————	TENSAO NA BARRA 1	
1: 1. 00	—————	TENSAO NA BARRA 2	
1: 1. 00	—————	TENSAO NA BARRA 3	
1: 1. 00	-----	TENSAO NA BARRA 4	
OBSERVACOES:			
DATA 17/02/86		JOAO ROBERTO COGO	
CASO EM ESTUDO: CASO 15 VERIFICACAO DE INSTABILIDADE NUMERICA NA TENSAO			



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	CORRENTE NO RAMO 4-1
1: 1. 00	—	CORRENTE NO RAMO 3-3

FIG. No 4

DATA 17/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 15 VERIFICACAO DE NAO INST. NUME- RICA NA CORRENTE, NESSE CASO	

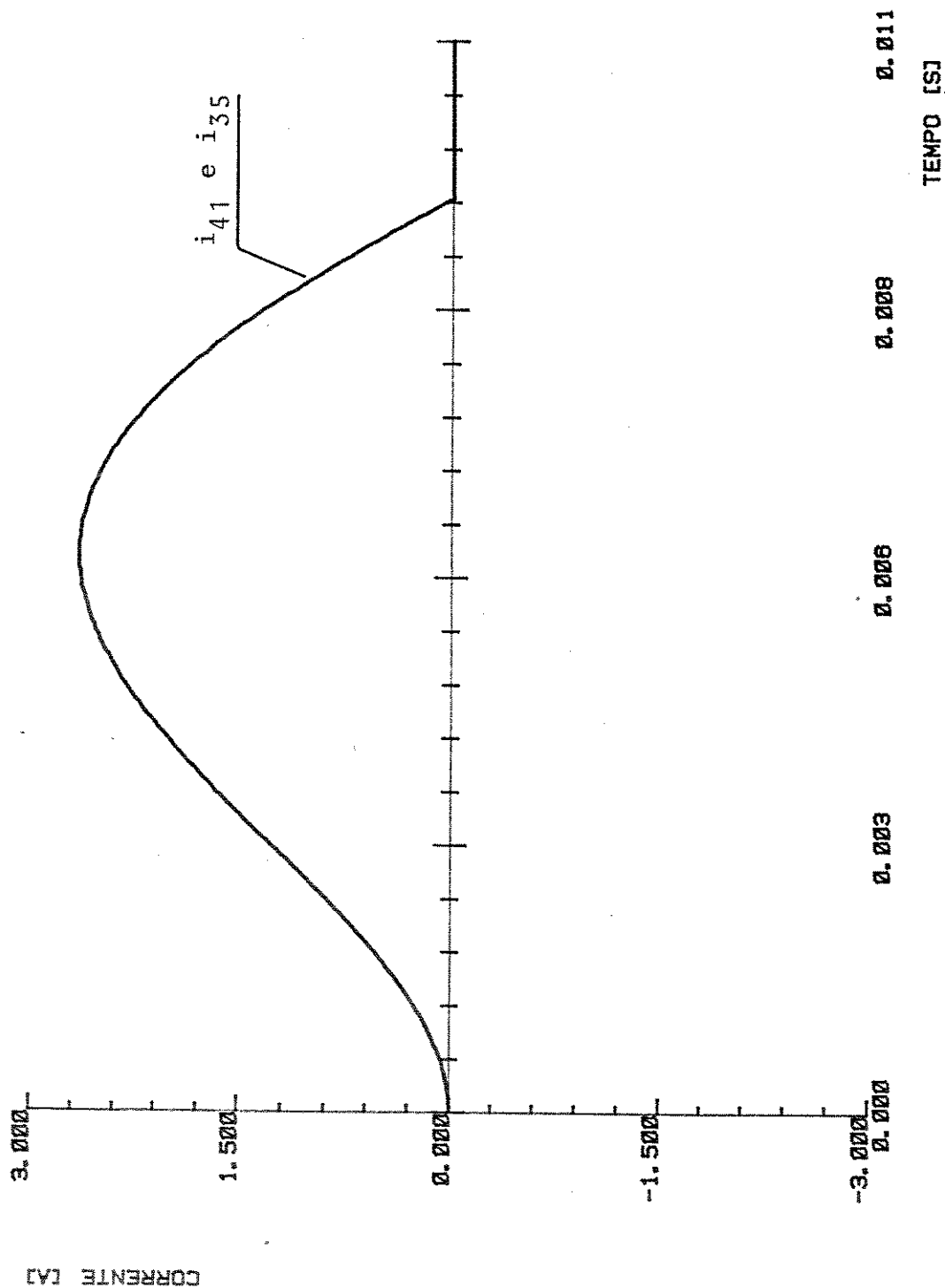


ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 2
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 3
1: 1.00	-----	TENSÃO NA BARRA 4

FIG. No 5

DATA 18/02/86	JOAO ROBERTO COGO
------------------	-------------------

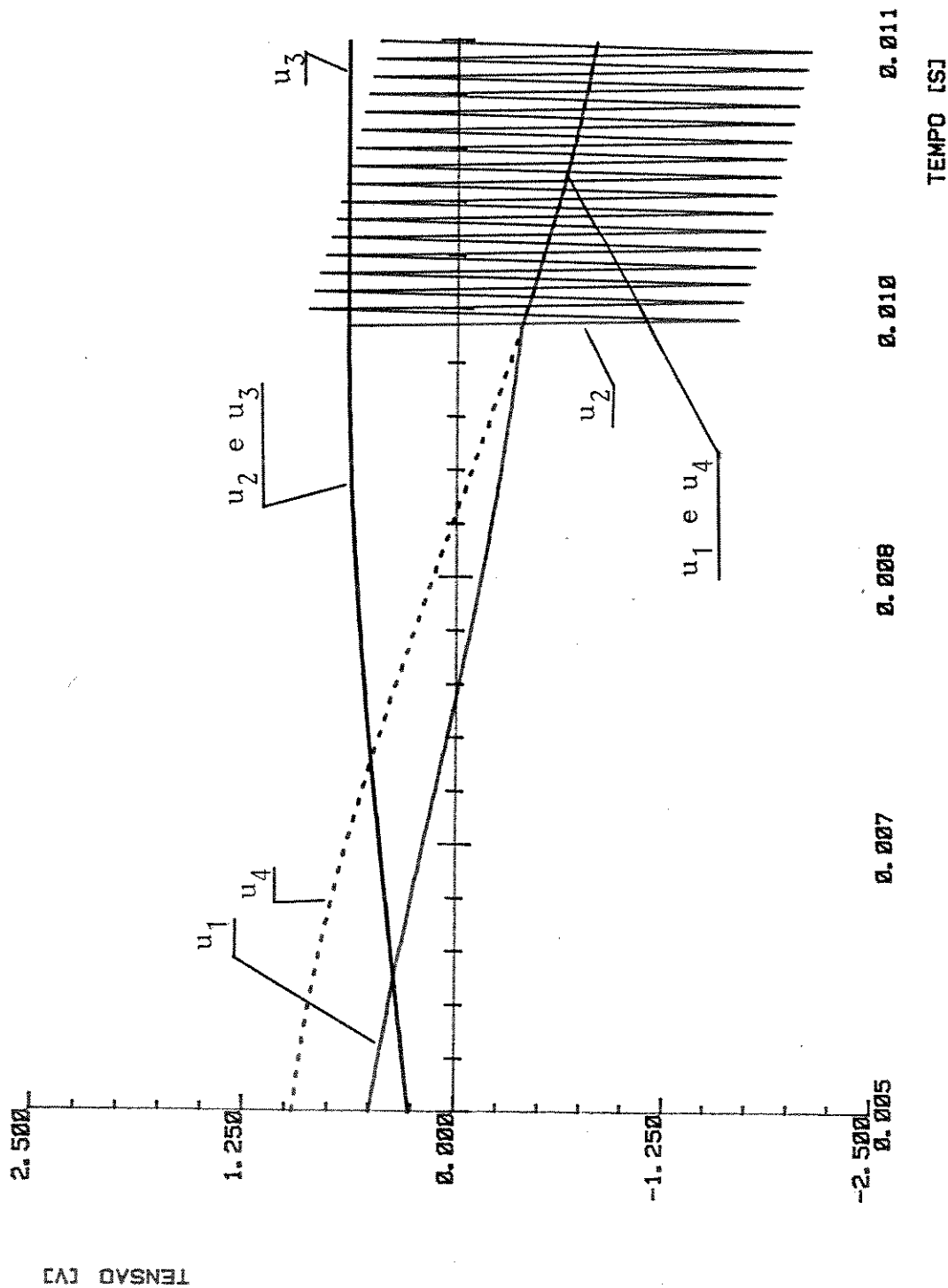
OBSERVACOES:
CASO EM ESTUDO, CASO 15
ARQUIVO DOS PONTOS, TENCAS15
STEP = 50 μ S



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	CORRENTE NO RAMO 4-1
1:1.00	—	CORRENTE NO RAMO 3-5

FIG. No 6

DATA 18/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 15 ARQUIVO DOS PONTOS: CORCAS15 STEP = 50 uS	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 2
1:1.00	—	TENSÃO NA BARRA 3
1:1.00	-----	TENSÃO NA BARRA 4

FIG. No 7

DATA 18/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO, CASO 15 ARQUIVO DOS PONTOS, TENCAS15 STEP = 58 US	

do programa EMTP [19].

No caso de simulações envolvendo pontes conversoras, a frequência com que os chaveamentos ocorrem é bastante grande. Isto, naturalmente, pode trazer dificuldades no uso de programas que não possuam forma de eliminação de instabilidade numérica.

Desenvolveu-se, neste trabalho, uma técnica eficiente de reinicialização, que pode ser entendida observando os passos mencionados no fluxograma mostrado na figura 9.

Na figura 8 tem-se uma situação típica para a corrente em um ramo qualquer de um sistema (o mesmo vale para a tensão em uma barra).

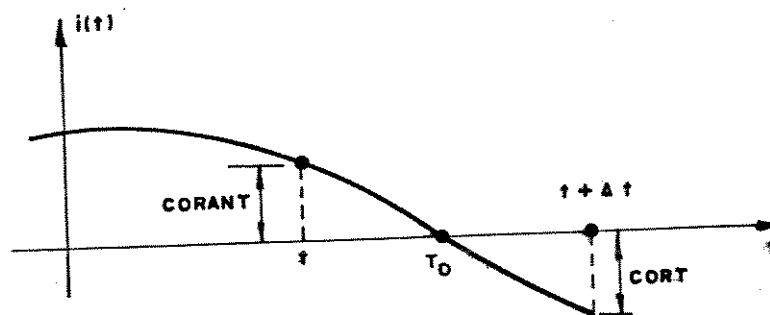


FIGURA 8: CORRENTE ATRAVÉS DA CHAVE (OU SEMICONDUTOR) QUE SERÁ A BERTA.

Na figura 8 se tem:

$CORANT$ - valor da corrente no instante t ;

$CORT$ - valor da corrente no instante $t + \Delta t$;

T_0 - instante onde a corrente passa por zero.

Como entre dois instantes admite-se uma variação linear o valor de T_0 pode ser calculado como segue:

$$A = \frac{|\text{CORANT}|}{|\text{CORT}|} = \frac{T_0 - t}{t + \Delta t - T_0}$$

logo:

$$T_0 = t + \Delta t \frac{A}{1 + A}$$

Assim, com esta técnica mostrada no fluxograma da figura 9, para o circuito da figura 1, obteve-se os resultados mostrados nas figuras 10, 11, 12 e 13.

A figura 10 corresponde ao mesmo caso da figura 3, porém, nota-se a inexistência da instabilidade numérica na tensão u_2 . Já as figuras 11, 12 e 13 são as correspondentes àquelas as figuras 4, 5 e 6 não apresentam o problema de instabilidade numérica.

As figuras 10, 11, 12 e 13 foram obtidas fazendo-se, na rotina ABRE do programa, a variável FLAG = 1, ou seja, a variável FLAG = 1 no programa insere o uso da rotina que elimina a instabilidade numérica.

Convém notar que conseguiu-se desta maneira, evitar instabilidade numérica, sem gasto de memória ou de tempo computacional. Em [29] tem-se um método para evitar instabilidade numérica, porém naquele caso a técnica envolvida gasta mais tempo computacional e possui estrutura mais complexa que a apresentada neste trabalho.

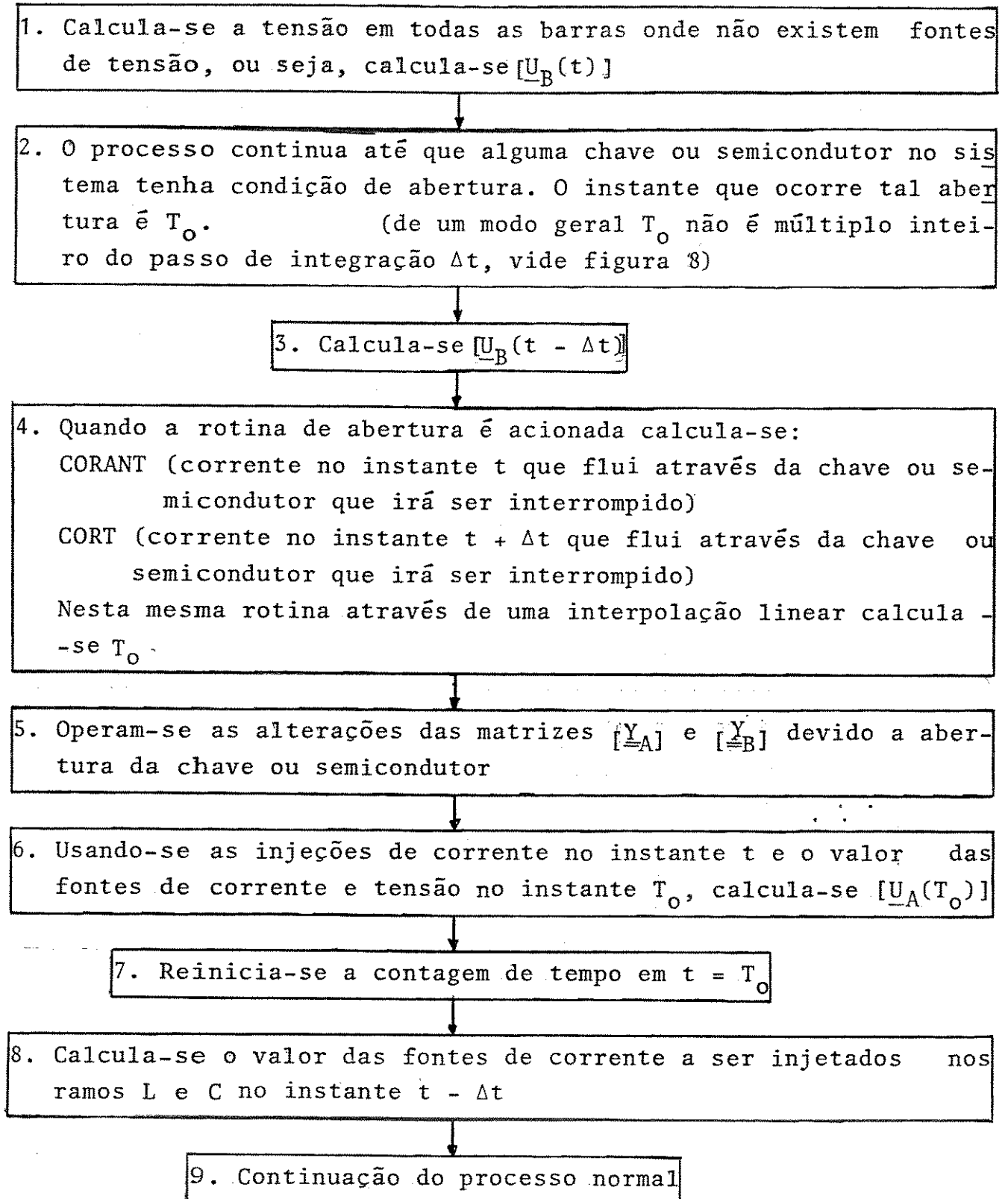
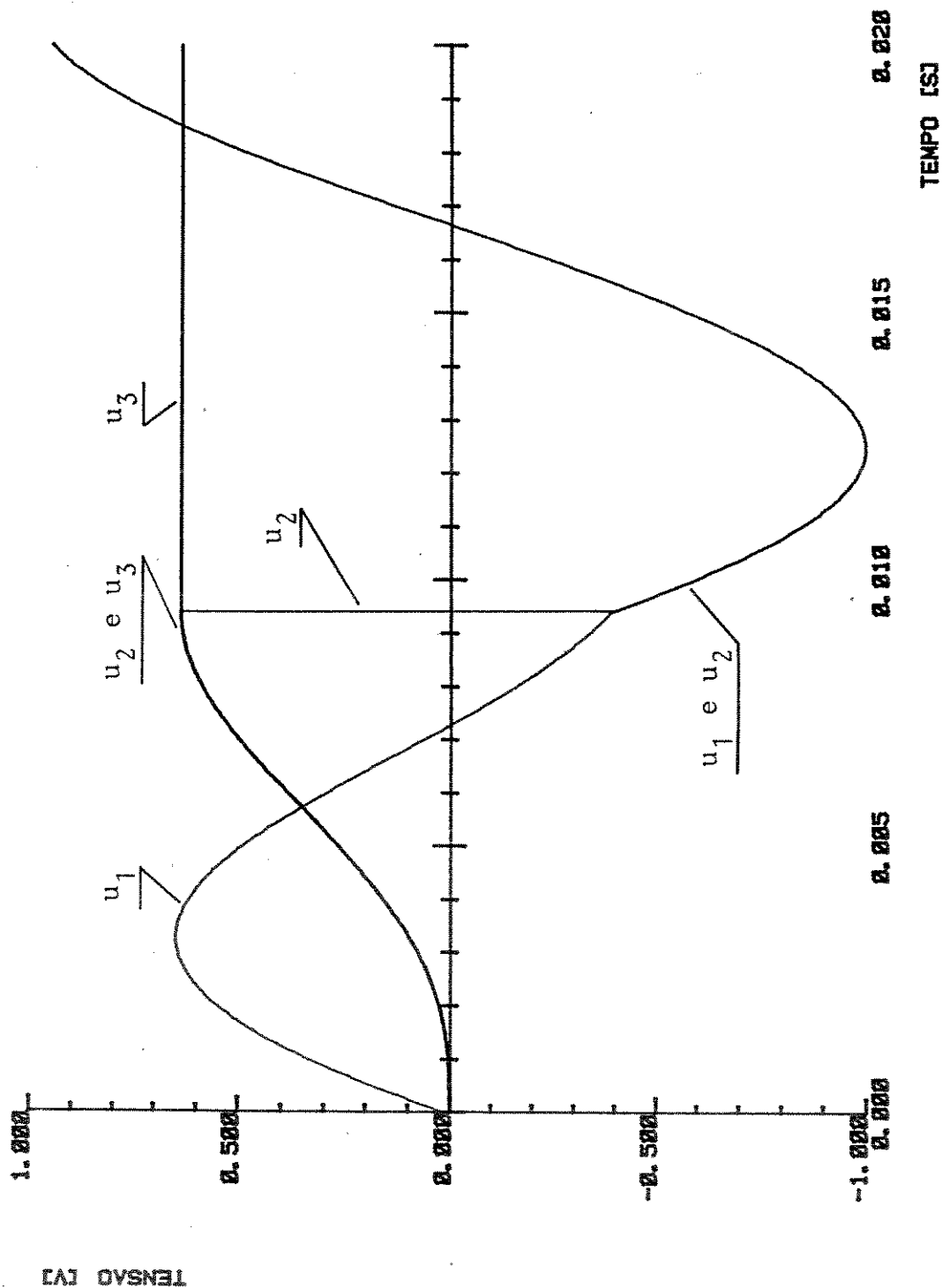


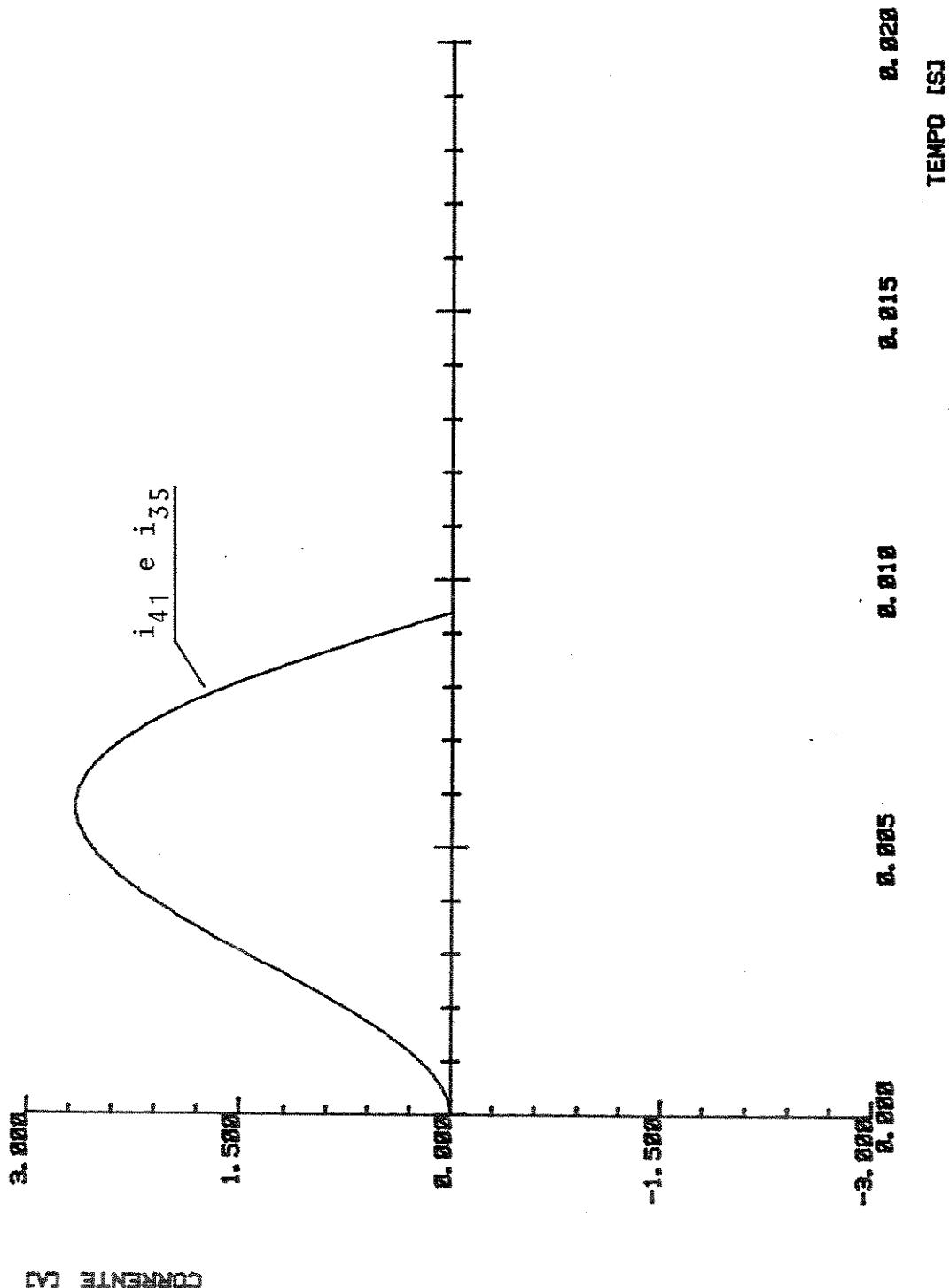
FIGURA 9: FLUXOGRAMA PARA ELIMINAÇÃO DA INSTABILIDADE NUMÉRICA.



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 2
1: 1.00	—	TENSÃO NA BARRA 3

FIG. No 10

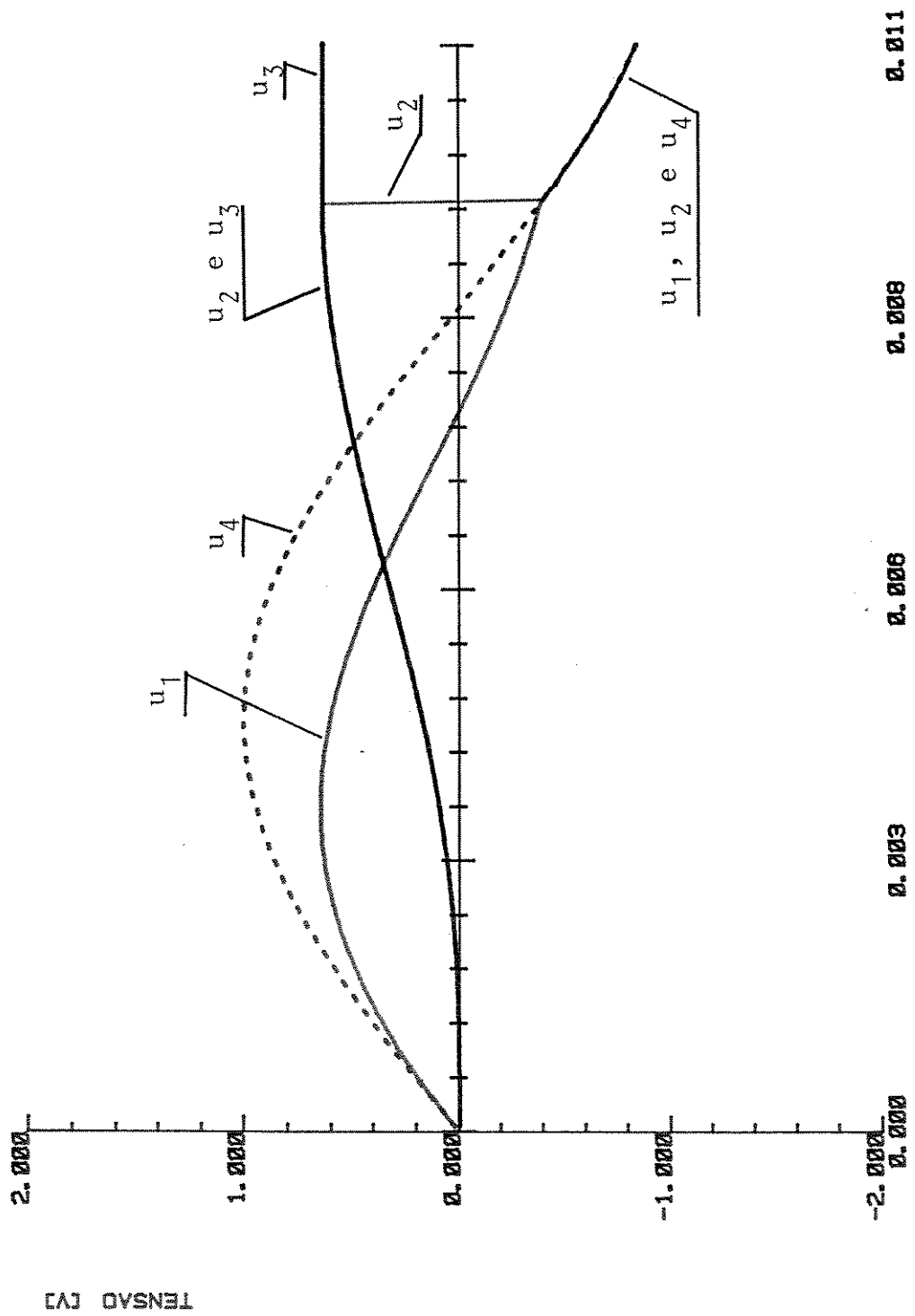
DATA 17/02/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 18 ARQUIVO DOS PONTOS: TENCAS18 STEP = 58 u8	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	CORRENTE NO RAMO 4-1
1: 1. 00	—	CORRENTE NO RAMO 3-5

FIG. No 11

DATA 17/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 18 ARQUIVO DOS PONTOS: CORCAS18 STEP = 50 u6	

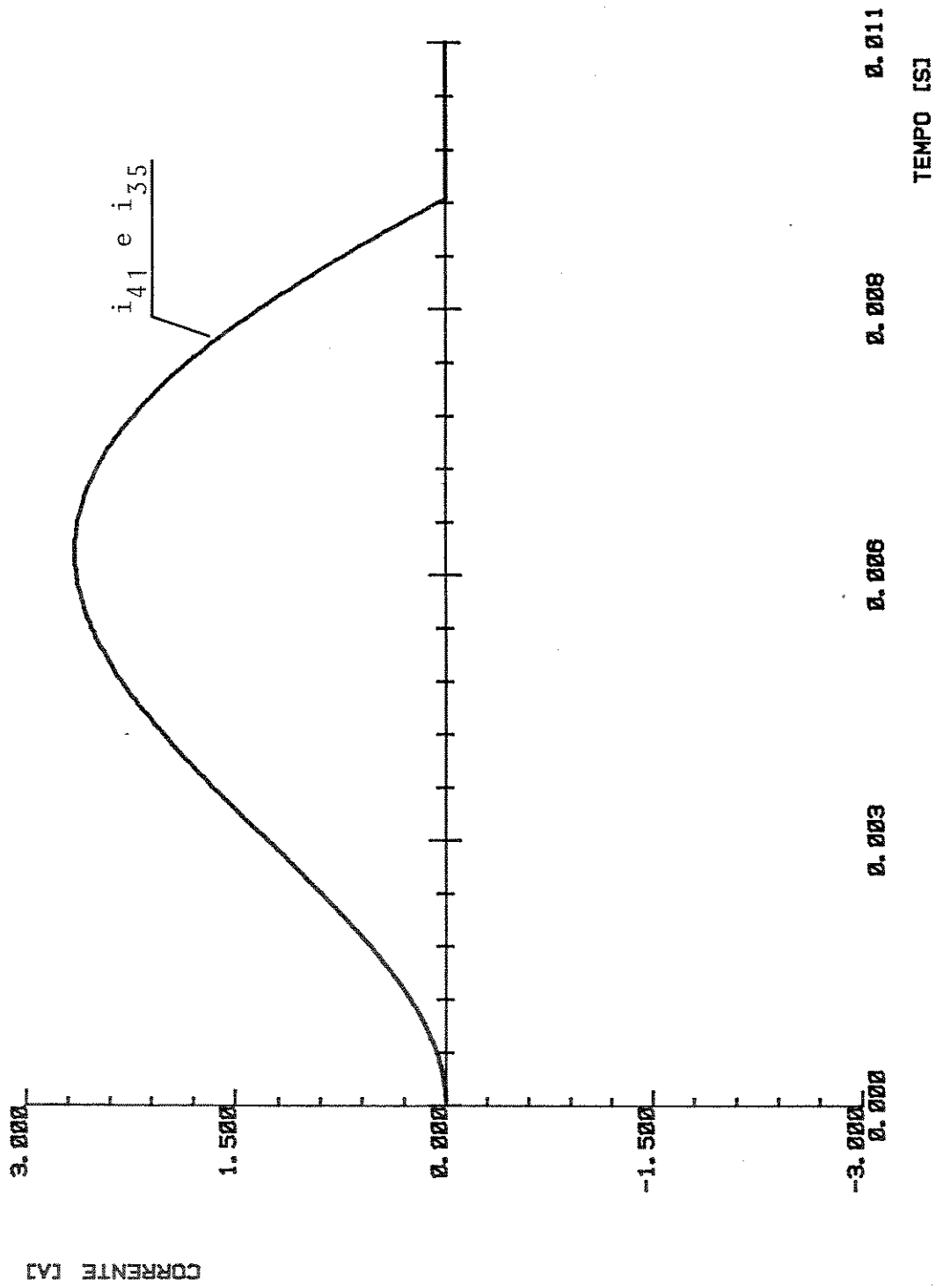


100

ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 1
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 2
1: 1. 00	—	TENSÃO NA BARRA 3
1: 1. 00	- - - - -	TENSÃO NA BARRA 4

FIG. Nº 12

DATA 18/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 14 ARQUIVO DOS PONTOS: TENCAS14 STEP = 50 uS	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	CORRENTE NO RAMO 4-1
1: 1. 00	—	CORRENTE NO RAMO 3-5

FIG. No 13

DATA 18/02/86	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 14 ARQUIVO DOS PONTOS: CORCAS14 STEP = 58 us	

CAPÍTULO IV

SISTEMAS DE CONTROLE DE PONTES CONVERSoras
MONOFÁSICAS COM COMUTAÇÃO FORÇADA

1. INTRODUÇÃO

Em alguns acionamentos de pequena potência, por motivos econômicos, são empregadas pontes conversoras monofásicas semicontroladas, como por exemplo, em sistemas de excitação de máquinas síncronas e fontes auxiliares de circuitos eletrônicos. Em sistemas de tração esse tipo de ponte é bastante usual [8], [26], [27], [50].

Por outro lado, atualmente já pode ser vantajoso o uso de pontes retificadoras monofásicas como estágio inicial de um inversor para acionar motores em PCH ou em transmissão rural.

As pontes monofásicas simétricas, ou seja, aquelas que possuem 4 (quatro) tiristores, ao invés de 2 (dois) tiristores e 2 (dois) diodos, apresentam dificuldades ao realizar o corte de corrente quando o circuito que as mesmas alimentam tiverem características indutivas.

A ponte monofásica semicontrolada mostrada na figura 1 é conhecida na prática como sendo uma ponte monofásica semicontrolada assimétrica pelo fato de possuir dois tiristores e dois diodos. Normalmente, no tipo de ponte apresentada na figura 1, os pulsos de disparo dos tiristores estão defasados de 180° .

O ângulo de disparo (α), (que coincide com o instante a partir do qual o tiristor particular recebe os pulsos de diparo)co

mo pode ser visto na figura 2 e, para a referência considerada, pode variar entre 0° e 180° . Assim sendo, o valor médio da tensão de saída $\bar{U}_d$ irá variar desde um valor máximo (quando $\alpha = 0^\circ$) até um valor nulo (quando $\alpha = 180^\circ$).

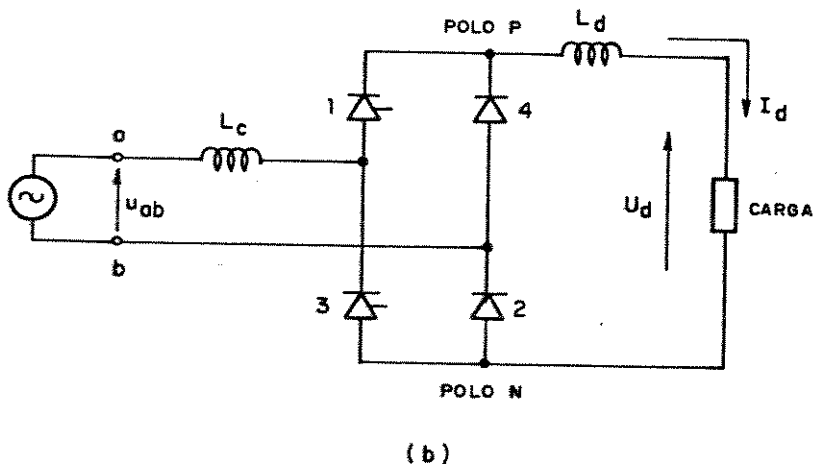
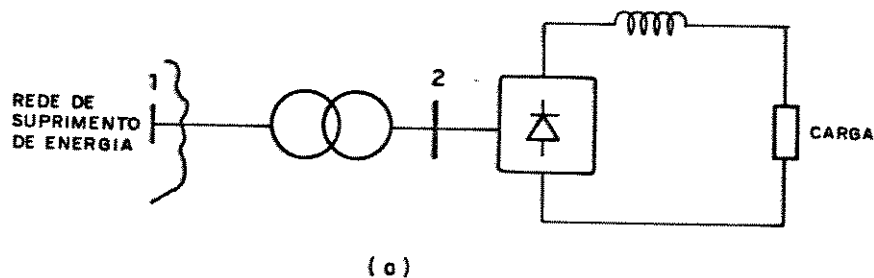


FIGURA 1: PONTE MONOFÁSICA SEMICONTROLADA ASSIMÉTRICA

A. DIAGRAMA UNIFILAR

B. CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE

Na figura 1:

L_c - Indutância equivalente do lado CA.

O cálculo de L_c é feito como mostrado no Capítulo II.

L_d - Reator de alisamento.

2. DESCRIÇÃO SUCINTA DO FUNCIONAMENTO DE UMA PONTE CONVERSORA SEMICONTROLADA ASSIMÉTRICA

2.1. DESPREZANDO-SE O EFEITO INDUTÂNCIA EQUIVALENTE DO LADO CA ($L_C = 0$)

A figura 2 a seguir, ilustra o comportamento das tensões e correntes do circuito da figura 1 para $\alpha = 60^\circ$, supondo-se que a corrente na carga seja constante.

A indutância equivalente do lado CA é também denominada por indutância de comutação, uma vez que se a corrente de carga é constante o efeito de L_C apenas se faz presente durante as comutações entre os diodos e os tiristores e vice-versa.

Com o disparo do tiristor 1, a tensão u_{ab} da rede é aplicada à carga e força a circulação da corrente pelo tiristor 1, pela carga, e o retorno da corrente à rede é feito através do diodo 2.

Quando a tensão alternada se anula, os diodos 2 e 4 assumem a condução de corrente, funcionando como diodos de passagem livre, durante este intervalo de tempo e tensão u_d é nula.

Tão logo o tiristor 3 seja disparado (instante t_3), a rede assume o fornecimento da corrente. A corrente circula pelo tiristor 3, pela carga e pelo diodo 4 durante o período de tempo entre t_3 e t_4 . Neste período $u_d = u_{ba}$.

Quando a tensão u_{ab} se anula, novamente, no instante t_4 os diodos 2 e 4 voltam a funcionar como diodos de passagem livre, assumindo a condução da corrente.

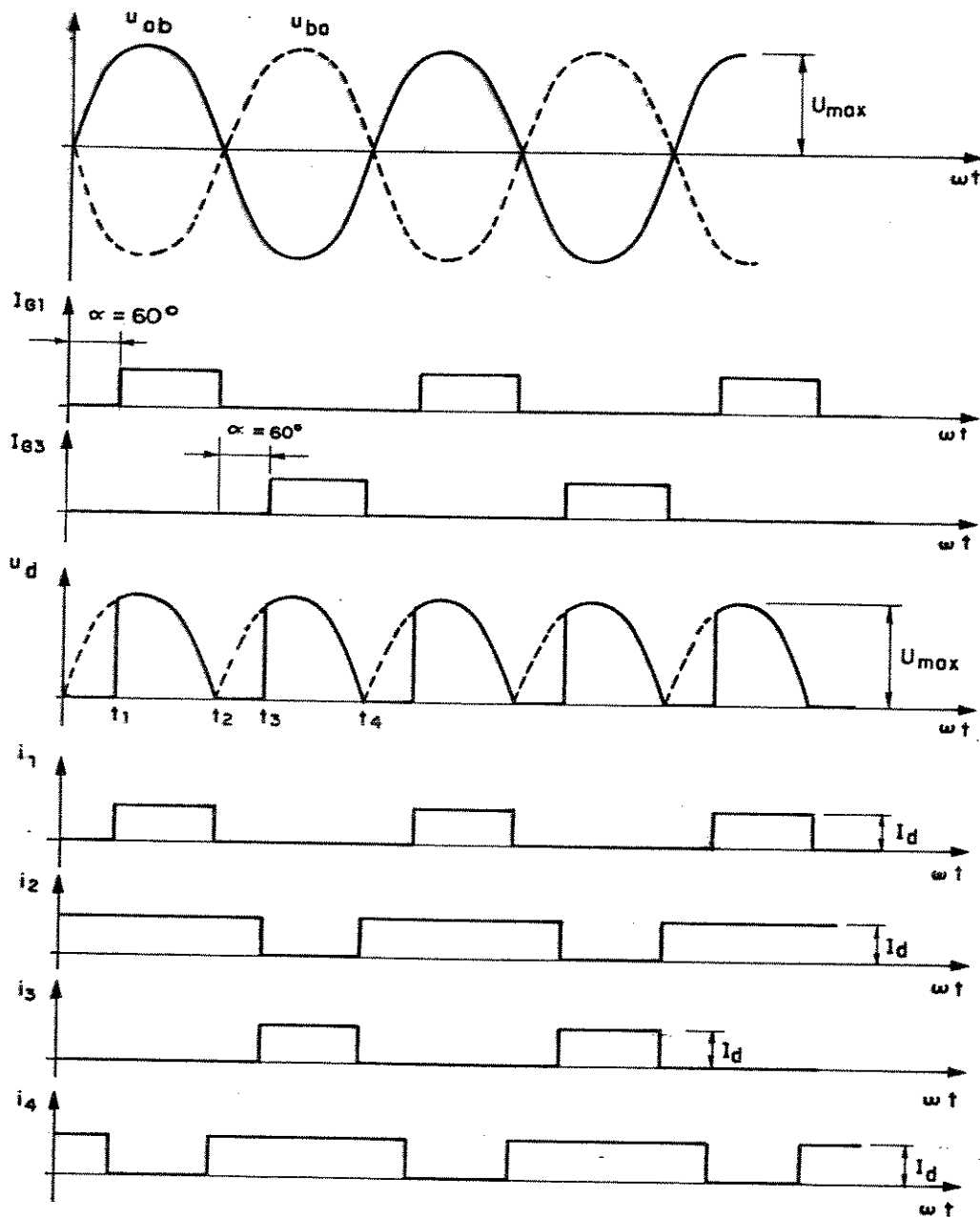


FIGURA 2: TENSÕES E CORRENTES DE UMA PONTE MONOFÁSICA SEMICONTROLADA PARA $\alpha = 60^\circ$ (DESPREZANDO O EFEITO DA COMUTAÇÃO)

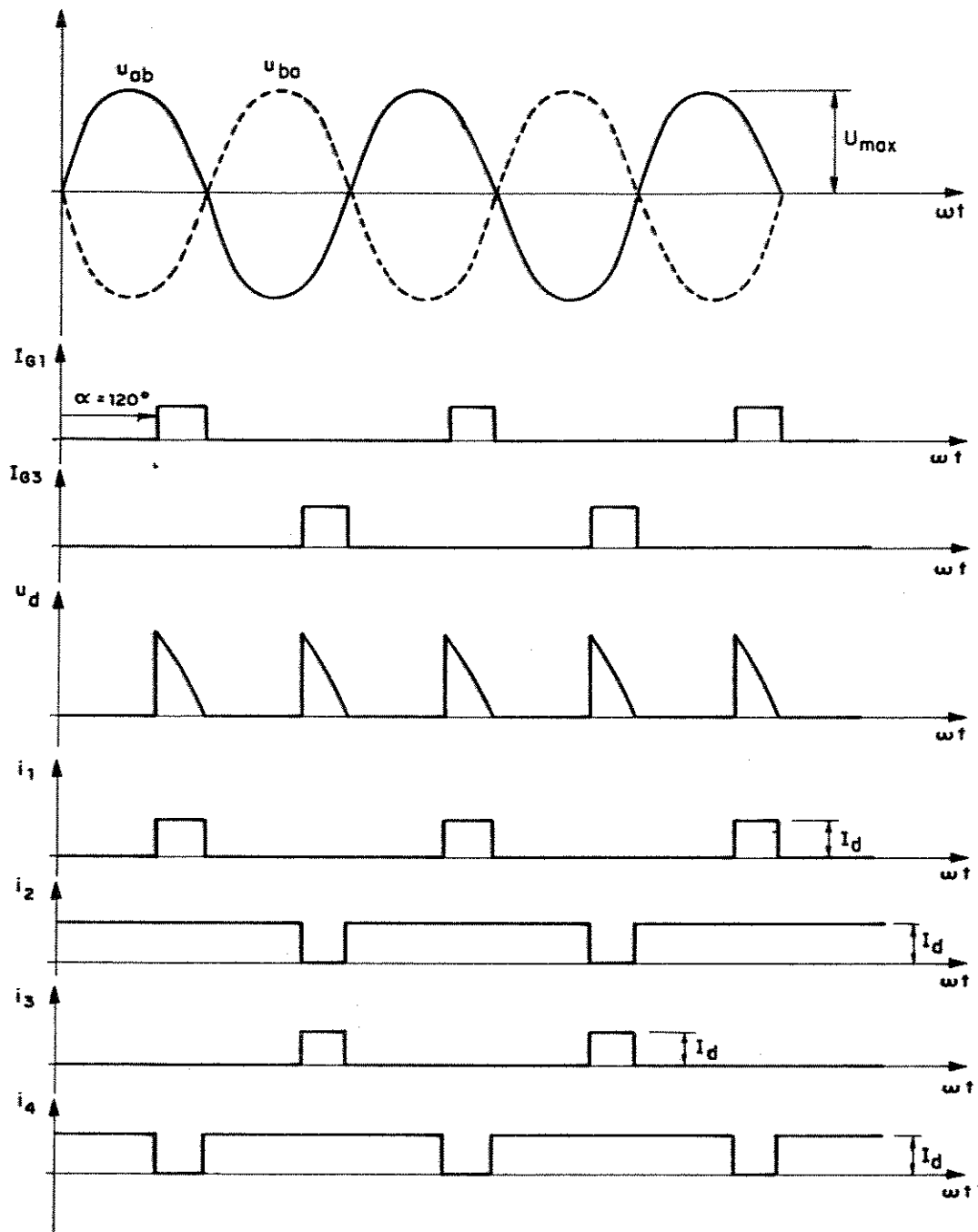


FIGURA 3: TENSÕES E CORRENTES DE UMA PONTE MONOFÁSICA SEMICONTROLADA PARA $\alpha = 120^\circ$ (DESPREZANDO O EFEITO DA COMUTAÇÃO)

A figura 3 mostra as mesmas variações de tensão e corrente para $\alpha = 120^\circ$. Observa-se que para um ângulo de disparo maior, o tempo de condução dos tiristores diminui e o dos diodos aumenta, naturalmente com a consideração de que a carga mantém a corrente constante ($i_d = I_d = \text{constante}$).

2.2. CONSIDERANDO-SE O EFEITO DA INDUTÂNCIA EQUIVALENTE DO LADO CA ($L_C \neq 0$)

A figura 4 ilustra o comportamento das tensões e correntes do circuito da figura 1 para $\alpha = 60^\circ$, supondo-se que a corrente na carga seja constante e L_C diferente de zero ($L_C \neq 0$).

No instante anterior a t_1 (figura 4) admite-se que estão conduzindo os diodos 2 e 4. Nota-se que a partir de t_0 o tiristor 1 já tem condição de entrar em condução. Todavia, o tiristor 1 só entra em condução após receber um pulso de disparo, o que acontece no instante t_1 .

Em t_1 é enviado um pulso para disparar o tiristor 1. Como a tensão u_{ab} é positiva haverá uma comutação entre o tiristor 1 e o diodo 4 (vide figura 1.B), com uma tendência ao bloqueio do diodo 4.

Como existe o efeito indutivo do lado CA a corrente através do indutor não cresce instantaneamente mas sim leva um curto intervalo de tempo para atingir o valor I_d . A este intervalo de tempo medido em graus elétricos denomina-se ângulo de comutação μ_1 .

Ao terminar a comutação, ficará conduzindo o tiristor 1 e o diodo 2. O circuito durante esta comutação está mostrado na figura 5.

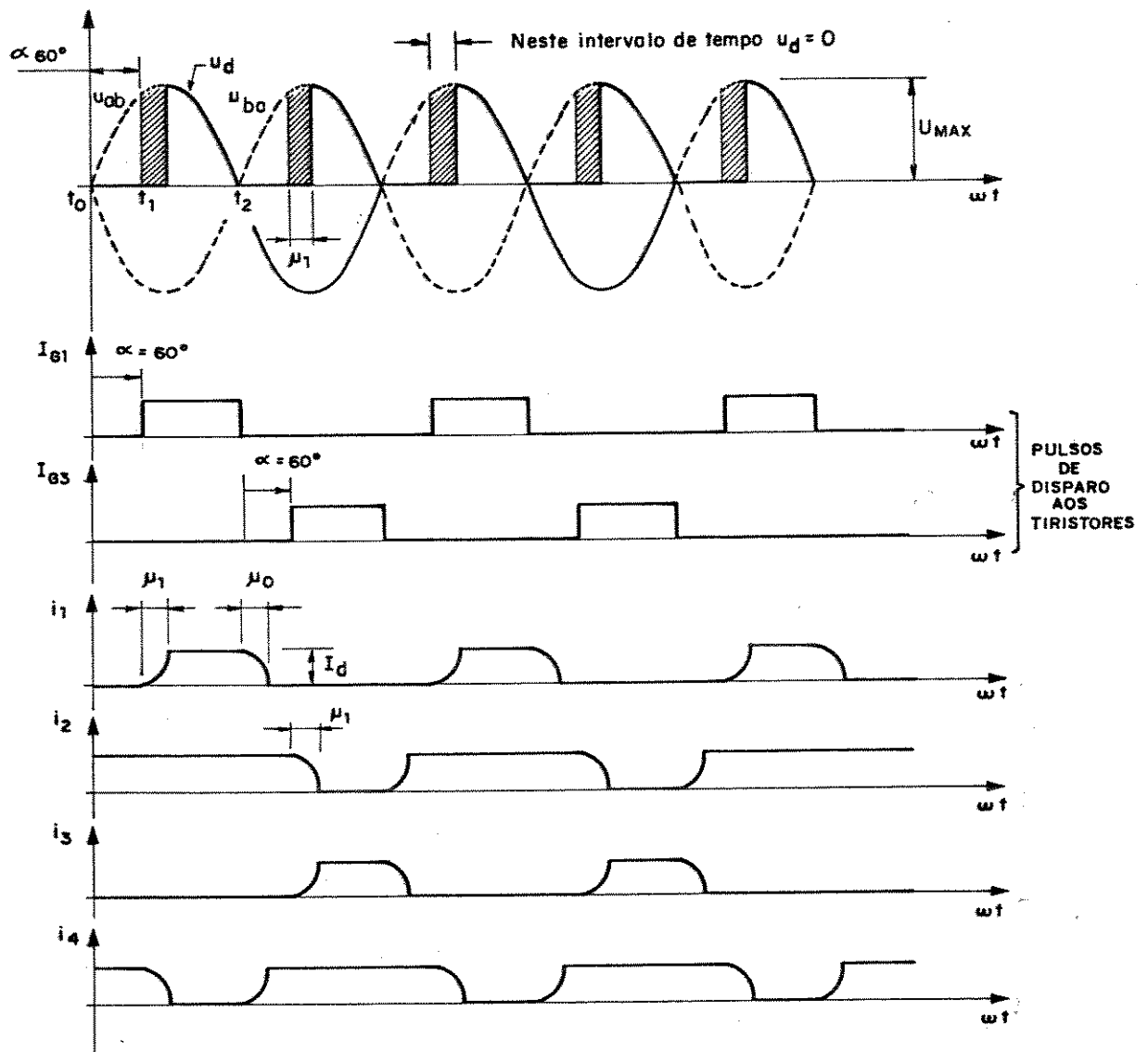


FIGURA 4: TENSÕES E CORRENTES DE UMA PONTE MONOFÁSICA SEMICONTROLADA PARA $\alpha = 60^\circ$ (CONSIDERANDO-SE O EFEITO DA COMUTAÇÃO)

A partir de t_2 a tensão u_{ab} torna-se negativa, isto significa que o diodo 4 ficará novamente polarizado diretamente, logo existirá uma nova comutação entre o tiristor 1 e o diodo 4. O circuito equivalente é o mesmo da comutação anterior, ou seja é aquele indicado na figura 5.

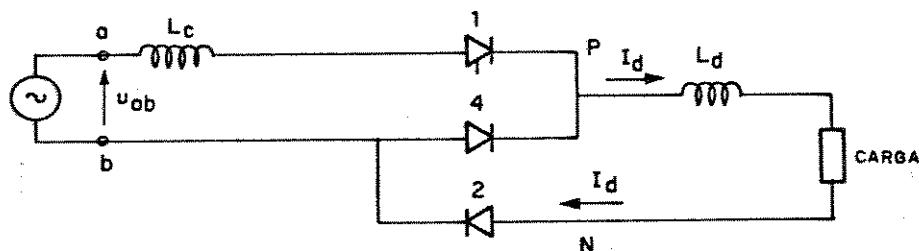


FIGURA 5: CIRCUITO EQUIVALENTE DURANTE A COMUTAÇÃO ENTRE O TIRISTOR 1 E O DIODO 4.

Para o cálculo do ângulo de comutação considere o circuito da figura 6.

O circuito equivalente àquele mostrado na figura 6 está indicado na figura 7, onde admite-se que a carga mantém a corrente.

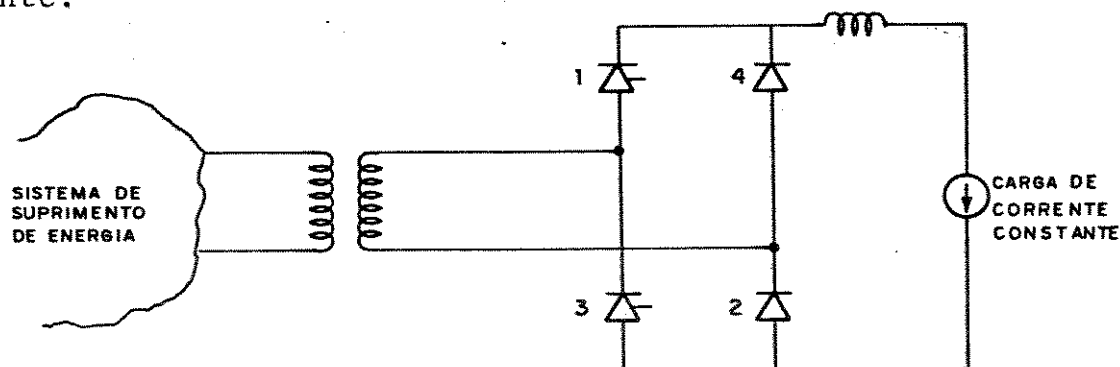


FIGURA 6: CIRCUITO UTILIZADO PARA ANÁLISE DA COMUTAÇÃO

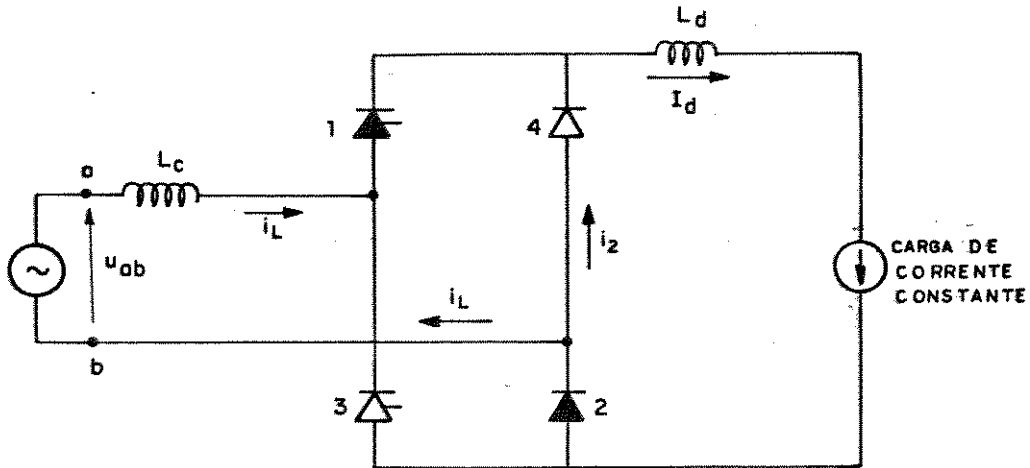


FIGURA 7: CIRCUITO UTILIZADO PARA O CÁLCULO DO ÂNGULO DE COMUTAÇÃO

Admitindo que o diodo 4 e o tiristor 1 estão em condução, no instante correspondente a $\omega t = 180^\circ$ (instante t_2 - figura 4), a tensão da ponte tende a tornar-se negativa e a corrente de linha i_L começa a diminuir. A partir deste instante existe uma queda de tensão na indutância L_c , que tende a manter i_L circulando pelo tiristor 1. Todavia, a indutância L_c não consegue manter esta corrente indefinidamente. Admitindo-se que o intervalo de tempo necessário para a corrente i_L sair do valor I_d e chegar a zero, corresponde a μ_0 , se tem:

para $\omega t \leq 180^\circ$

$$i_L = I_d \quad \text{e} \quad i_2 = 0 \quad (1)$$

para $(180^\circ) < \omega t \leq (180^\circ + \mu_0)$

$$i_L = I_d - i_2 \quad \text{e} \quad i_2 \neq 0 \quad (2)$$

assim:

$$u_d = u_{ab} - L_c \frac{di_L}{dt} = u_{ab} - L_c \frac{d(I_d - i_2)}{dt} \quad (3)$$

De (2) se tem:

$$\frac{di_L}{dt} = - \frac{di_2}{dt} \quad (4)$$

Como durante a comutação $u_d = 0$, se tem:

$$u_{ab} - L_c \frac{di_L}{dt} = 0 \quad (5)$$

Como:

$$u_{ab} = U_{\max} \sin \theta \quad (6)$$

pode-se obter:

$$L_c \frac{di_L}{dt} = U_{\max} \sin(\omega t) = U_{\max} \sin \theta \quad (7)$$

Como:

$$\theta = \omega t \quad (8)$$

vem:

$$d\theta = \omega dt \quad (9)$$

De (7) e (9) se tem:

$$L_c \frac{\omega di_L}{d\theta} = U_{\max} \sin \theta \quad (10)$$

$$\int_{I_d}^0 di_L = \frac{1}{L_c} \int_{180^\circ}^{(180^\circ + \mu_o)} U_{\max} \sin \theta d\theta \quad (11)$$

Logo:

$$I_d = \frac{U_{\max}}{\omega L_c} (1 - \cos \mu_o) \quad (12)$$

Para a comutação entre os diodos 2 e 4 e o tiristor 3
pode se obter, analogamente:

$$I_d = \frac{U_{\max}}{\omega L_c} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu_1)] \quad (13)$$

Sendo:

μ_0 - ângulo de comutação entre tiristor 1 (3) com o diodo 4 (2)

μ_1 - ângulo de comutação entre o diodo 4 (2) com o tiristor 1 (3)

α - ângulo de disparo do tiristor 1

$\pi + \alpha$ - ângulo de disparo do tiristor 3

Por outro lado, o valor médio da tensão nos terminais da carga é dado por:

- desprezando-se o efeito da comutação:

$$U_{d\alpha 0} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{180^{\circ}} U_{\max} \sin \theta \, d\theta \quad (14)$$

$$U_{d\alpha 0} = \frac{U_{\max}}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (15)$$

- Considerando-se o efeito da comutação

$$U_{d\alpha} = \int_{\alpha}^{180^{\circ}} \left(U_{\max} \sin \theta - L_c \frac{di_L}{dt} \right) d\theta \quad (17)$$

Logo:

$$U_{d\alpha} = U_{d\alpha 0} - 2f \cdot L_c \cdot I_d \quad (18)$$

Onde:

f - frequência da rede

Nota-se nesta análise que, para obter-se as formas de onda levou-se em conta uma série de simplificações. Se a carga fosse por exemplo RL, esta análise já seria mais trabalhosa. Assim, usando-se a metodologia desenvolvida no Capítulo II pode-se deter

minar, para o tipo de ponte mostrado na figura 1, deste capítulo o comportamento da ponte quando esta alimenta uma carga RL ou quando mantém a corrente constante.

Neste ítem pode-se verificar como é trabalhoso efetuar a análise do comportamento do circuito em pauta, mesmo à luz das simplificações que foram feitas. No caso do programa desenvolvido no Capítulo II os resultados podem ser obtidos com grande facilidade.

3. ANÁLISE DE PONTES CONVERSoras COM COMUTAÇÃO FORÇADA UTILIZANDO CAPACITORES CARREGADOS PELA REDE COM CONTROLE POR TIRISTORES

A figura 8 a seguir ilustra uma ponte conversora monofásica onde a carga do capacitor é controlada pela rede e pelos tiristores T3 e T4, denominadas neste trabalho de tiristores de bloqueio.

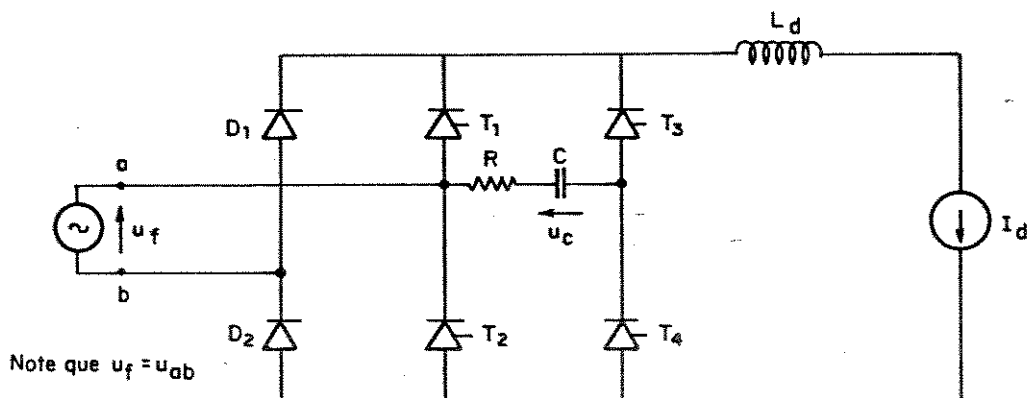


FIGURA 8: PONTE CONVERSORA MONOFÁSICA COM POLARIDADE DO CAPACITOR CONTROLADA PELOS TIRISTORES DE BLOQUEIO T3 E T4

No circuito da figura 8, visando simplicidade desprezou-se a indutância da fonte e admitiu-se que a carga mantenha a corrente em um nível I_d , fixo.

Para ser possível haver a comutação da corrente antes da tensão u_{ab} passar por zero^(*), a polaridade da tensão nos terminais do capacitor (u_c) deve ser conveniente. Se a tensão u_c (vide figura 8) tiver polaridade negativa, bloqueia-se T_1 , caso contrário, bloqueia-se T_2 .

O tempo necessário para o capacitor ser polarizado depende do instante em que os tiristores T_3 e T_4 recebem os pulsos de ignição.

Para o sistema mostrado na figura 8, a polaridade e o valor de tensão u_c dependerá do instante de liberação dos pulsos de disparo para o tiristor T_3 (T_4) (vide figuras 9 e 10). Se estes pulsos forem liberados entre os instantes t_0 e t_1 (t_2 e t_3) a tensão no capacitor u_c fica no valor máximo positivo^(**) (negativo) e o bloqueio do tiristor T_3 (T_4) ocorrerá no instante t_1 (t_3). Por outro lado, se os pulsos de disparo do tiristor T_3 (T_4): (vide figura 10), estiverem entre os instantes t_1 e t_2 (t_3 e t_4) o valor da tensão atingida por u_c será uma função do tempo necessário ao bloqueio da corrente, bem como do início do disparo.

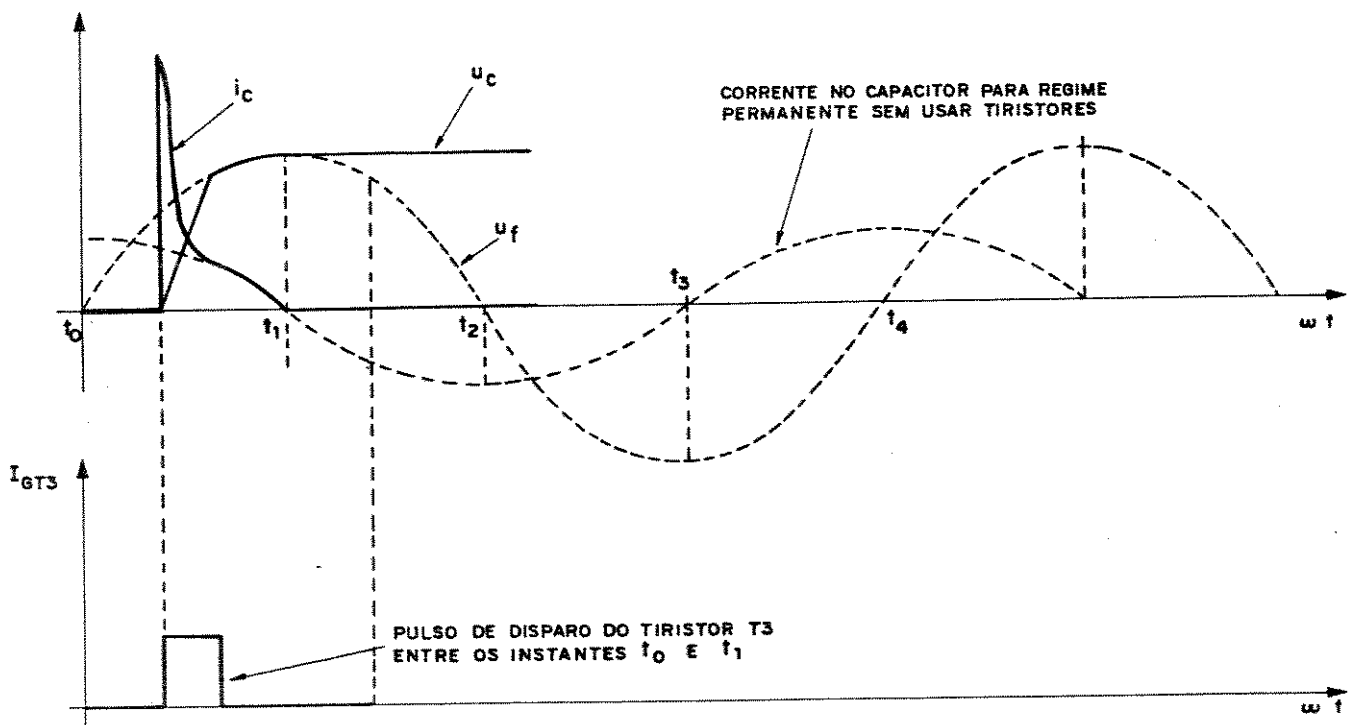
A figura 9 ilustra a forma de onda da tensão obtida por u_c apenas considerando o disparo do tiristor T_3 (para o T_4 é análogo, porém, a polaridade da tensão no capacitor será inversa).

(*) Quando então, os tiristores (T_1 / T_2) comutariam com os diodos (D_1 / D_2)

(**) Neste caso, a corrente de carga do capacitor estabelece-se pela fonte, capacitor C, tiristor 3, reator L_d , carga e diodo 2.

Desta forma, o conjunto T_1 , C e T_3 (T_2 , C e T_4) pode ser imaginado como tiristor de dois gatilhos; um gatilho para o início da condução e outro para o bloqueio (vide figura 11), pois quando o capacitor estiver carregado com polaridade positiva (negativa), o bloqueio do tiristor T_1 (T_2) pode ocorrer, simplesmente, com o disparo de T_3 (T_4). Todavia, devido à característica do circuito, o capacitor tem um limite para o tempo de carga [8], [13].

Quando o disparo do tiristor T_3 (T_4) ocorre entre os instantes t_0 e t_1 (t_2 e t_3) o bloqueio do mesmo só ocorre no instante t_1 (t_3), vide figura 9.



(a)

FIGURA 9: FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE, DISPARO DO TIRISTOR 3 ENTRE t_0 E t_1

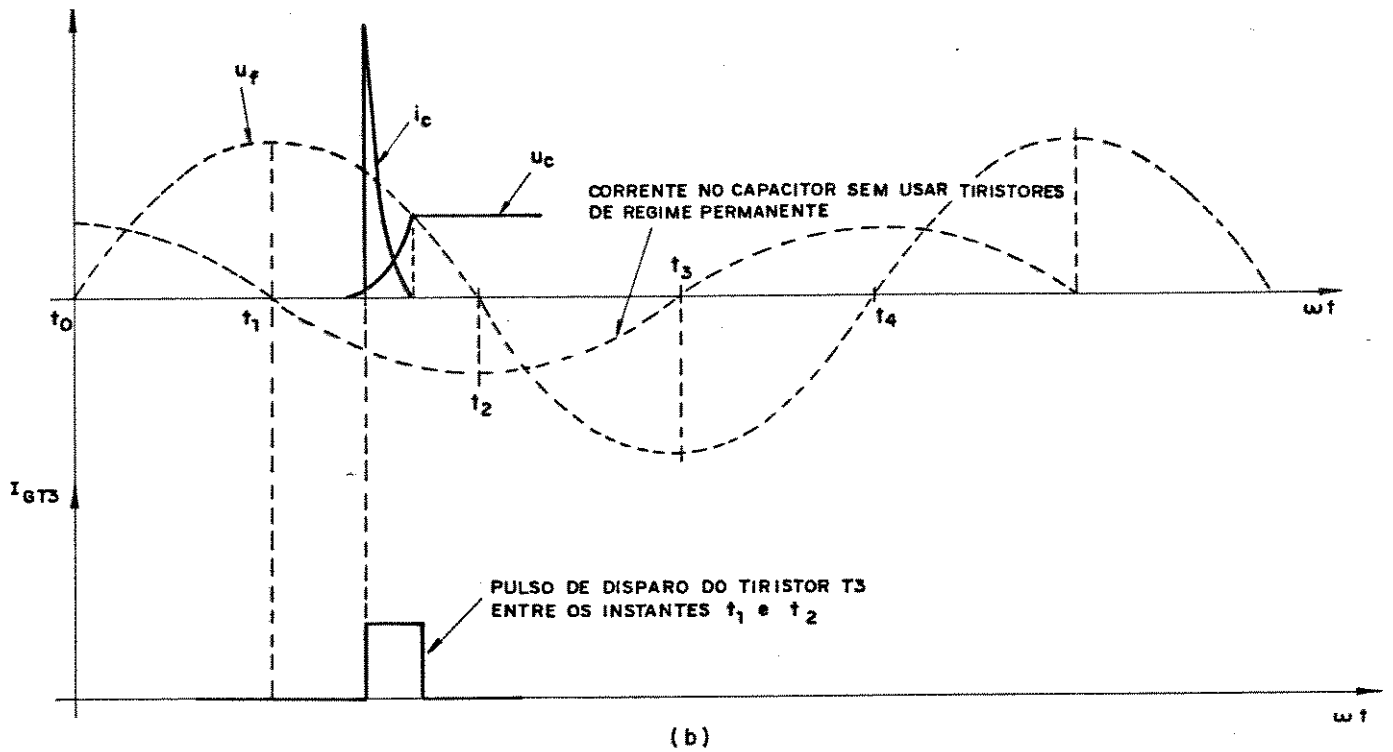


FIGURA 10: FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE, DISPARO DO TIRISTOR 3 ENTRE T_1 E T_2

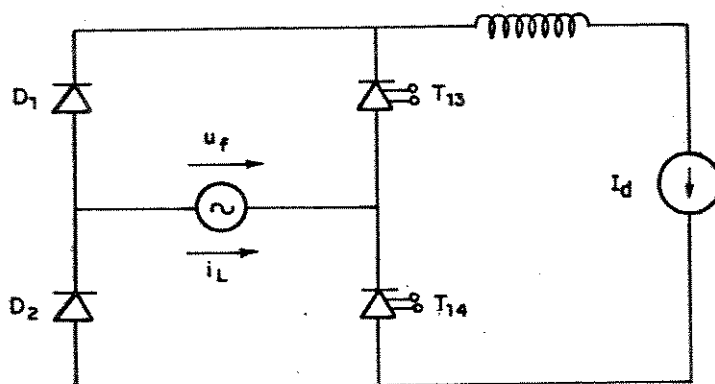


FIGURA 11: CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO PARA O SISTEMA DA FIGURA 8

Para este sistema nota-se que a tensão no capacitor é função do instante de disparo do tiristor T_3 para a sua polaridade positiva e de T_4 para a sua polaridade negativa.

Se o disparo de T_3 (T_4) ocorrer após o instante t_1 (t_3) mostrado na figura 9, a tensão no capacitor não se mantém no valor de pico. Isto pode ser visto pela figura 10.

Do exposto, nota-se que a utilização do circuito ilustrado na figura 8, para efetuar o controle da corrente de linha e do fator de potência, aparece a necessidade da tensão do capacitor ter uma polaridade conveniente (figuras 9 e 10) e a necessidade de dois tiristores para controle de tensão (figura 8) o que origina um circuito de controle complexo. Assim, propõe-se um sistema mais simples para efetuar a comutação forçada da corrente e, além disso, efetuar o controle de fase da corrente de linha de modo que a componente fundamental da mesma se apresente para a rede adiantada em relação à tensão (característica capacitiva).

4. ANÁLISE DE PONTES CONVERSoras COM COMUTAÇÃO FORÇADA CONTROLADA POR DOIS CAPACITORES E DOIS DIODOS

A figura 12 ilustra, simplificada, o circuito apresentado para controle do fator de potência em sistemas de tração [8], [26].

No circuito indicado na figura 12 os tiristores tanto podem ser ligados em qualquer instante do ciclo positivo da onda de tensão, como também podem ser desligados sem ter que esperar a onda de tensão passar pelo zero (controle por setor) [26].

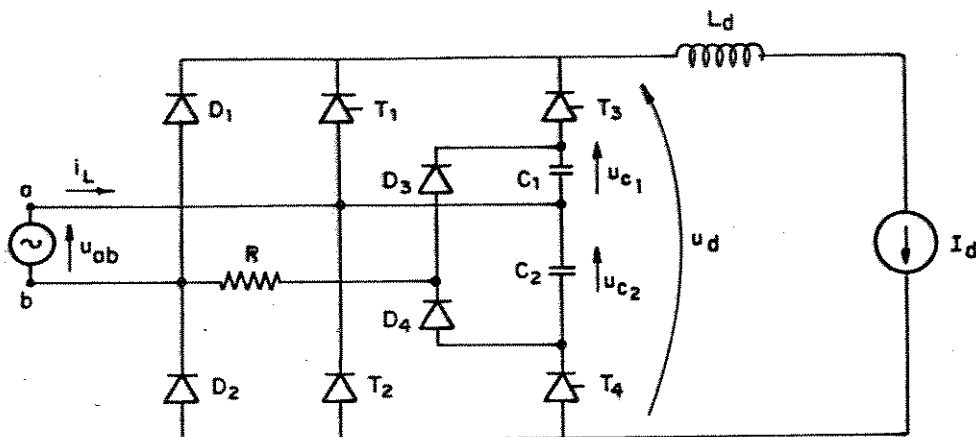


FIGURA 12: PONTE CONVERSORA MONOFÁSICA COM COMUTAÇÃO FORÇADA CONTROLADA POR DOIS CAPACITORES, DOIS DIODOS E DOIS TIRISTORES.

A figura 13 mostra uma comparação entre as formas de onda da corrente de linha (i_L) para o circuito da figura 12 e aquele da figura 1 (sem considerar o efeito da indutância L_C).

FIGURA 13.A: Controle com ângulo de fase - ponte semicontrolada - tensão e corrente no lado CA.

FIGURA 13.B: Controle por setor - tensão e corrente no lado CA.

FIGURA 13.C: Tensão de saída da ponte conversora no sistema sem controle de ângulo de fase.

FIGURA 13.D: Tensão de saída da ponte conversora no sistema com controle por setor.

FIGURA 13.E: Fator de potência.

$\bar{U}_d$ - valor médio da tensão u_d para um sistema de tração típico e/ou tensão média de saída no lado de corrente contínua.

u - tensão da fonte no lado de corrente alternada.

i_1 - componente fundamental da corrente de linha (i_L).

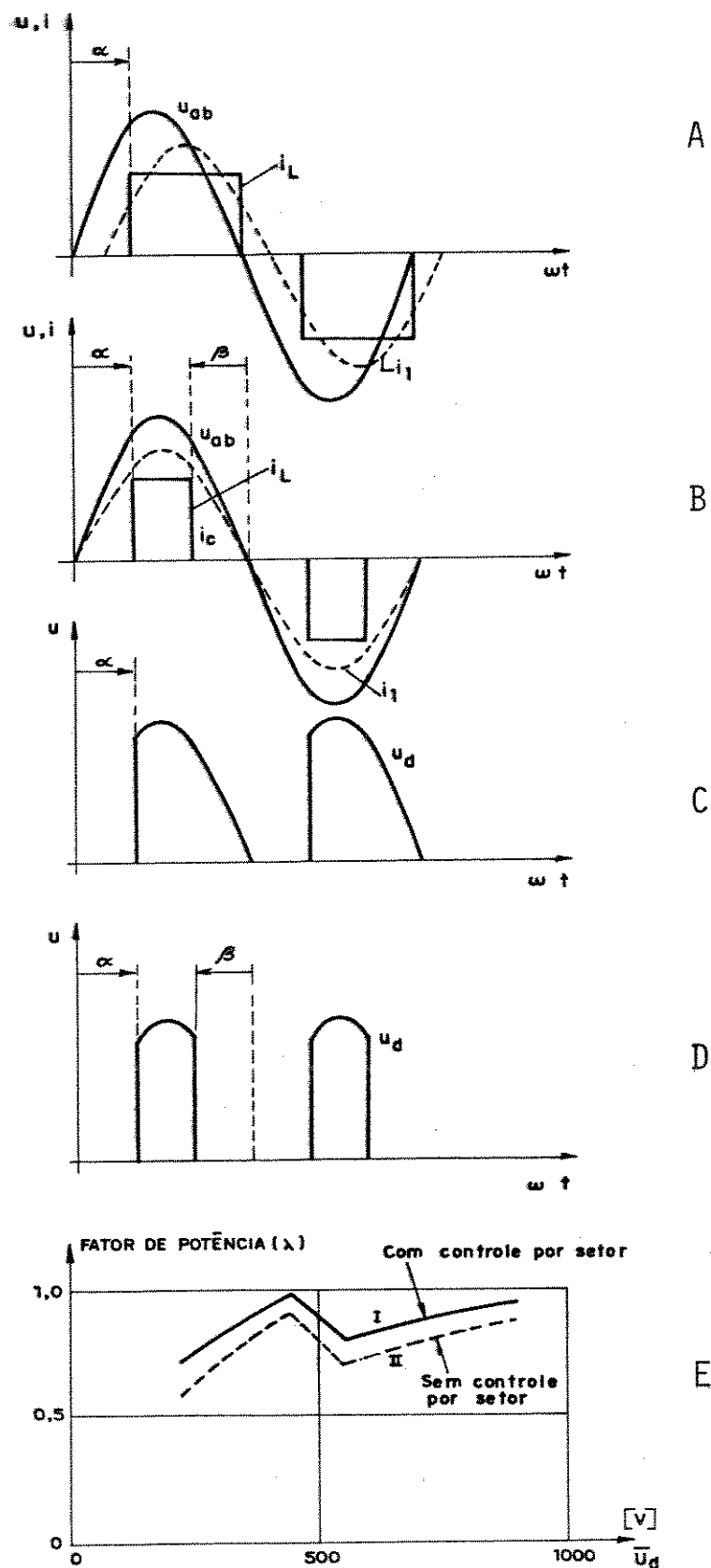


FIGURA 13: FORMAS DE ONDA, DE TENSÃO E CORRENTE, COMPARATIVAS ENTRE OS SISTEMAS COM PONTE SEMI CONTROLADA E AQUELE COM CONTROLE POR SETOR [26].

u_d - tensão de saída nos terminais da ponte conversora.

α - ângulo de disparo.

β - ângulo de desligamento.

Como a análise deste circuito é um dos objetivos principais deste trabalho, admite-se neste capítulo, algumas simplificações. Supõe-se aqui que a corrente de carga é constante e R tem por finalidade evitar um impulso na corrente. No Capítulo V, mostrar-se-ã as formas de onda para o circuito em pauta usando-se a técnica digital desenvolvida no Capítulo II resultando desta forma, uma análise bastante completa.

Como a corrente de carga é suposta constante para esta análise inicial, sempre deverá haver um caminho fechado para a mesma. Assim, esta análise supõe que no instante, inicial, t_0 , os diodos D_1 e D_2 já estão conduzindo a corrente I_d . A figura 14 ilustra o circuito da figura 12, admitindo que os diodos D_1 e D_2 estão conduzindo em $t = t_0$. Note nas figuras 14 e 15 que no lugar dos diodos ou tiristores quando em condução, usa-se uma chave fechada para representá-los; assim tem-se sempre a configuração global do sistema em análise.

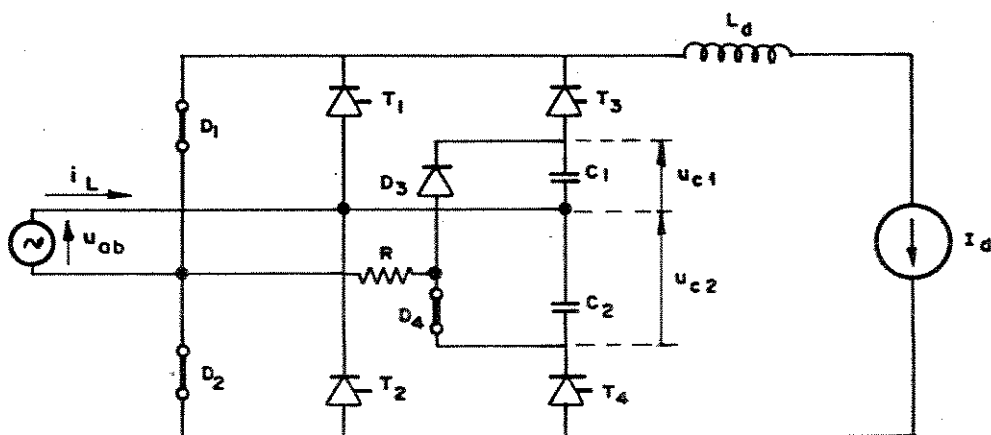


FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DE 12 PARA O SEMICICLO POSITIVO DA TENSÃO DA FONTE CONSIDERANDO-SE OS TIRISTORES BLOQUEADOS

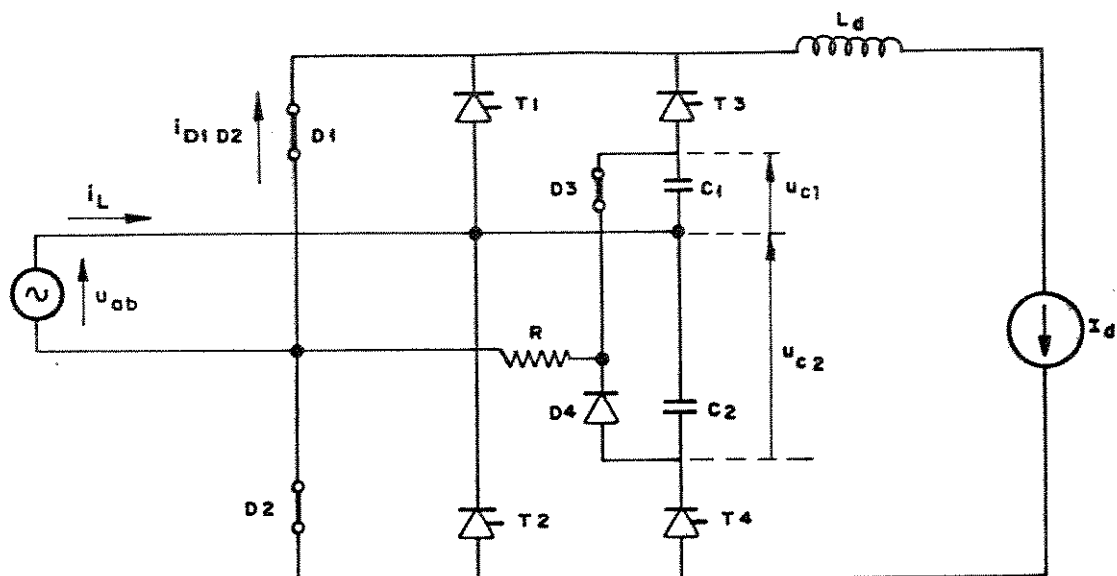


FIGURA 15: IDEM FIGURA 14 PORÉM, PARA O SEMICICLO NEGATIVO.

A figura 16 ilustra as formas de onda indicadas nas figuras 14 e 15 para o circuito original da figura 12.

Da figura 16 nota-se que a partir do instante t_4 no segundo ciclo da tensão da rede, os capacitores já estão carregados com a máxima tensão da fonte e portanto aptos a efetuar o bloqueio dos tiristores T_1 e T_2 quando solicitados.

O bloqueio de T_1 é feito via C_1 e T_3 e o bloqueio de T_2 é feito via C_2 e T_4 . A forma de bloqueio é a mesma já mencionada no item anterior após o capacitor estar carregado.

Convém notar que se comparado ao sistema da figura 8, o apresentado na figura 12 possui um circuito de controle mais simples e barato (evita um estágio de sincronismo para monitoração da tensão no capacitor) apresentando uma tensão no capacitor no instante do bloqueio igual ao valor máximo da tensão da rede; nota-se também que o controle de carga dos capacitores é apenas função da polaridade da tensão da rede e da condução normal dos diodos. Nes

te caso, não é necessário um circuito de controle para a carga dos capacitores.

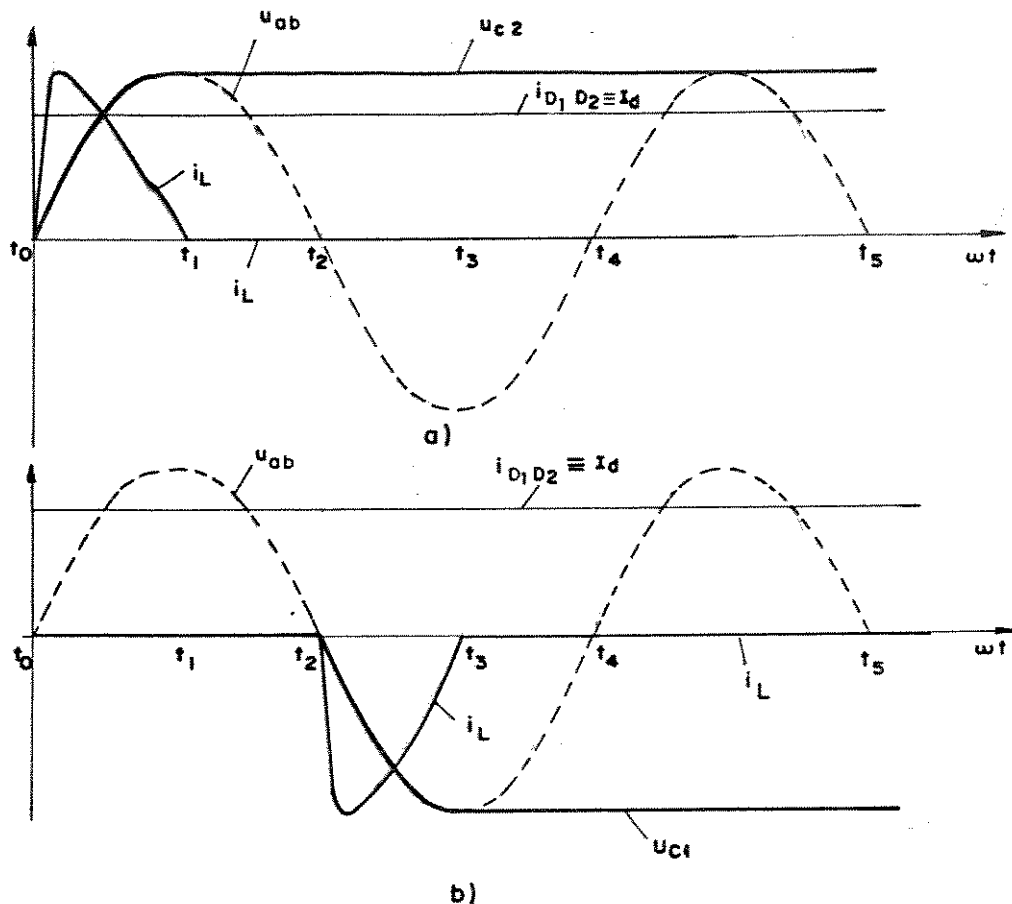


FIGURA 16: FORMAS DE ONDA NO CIRCUITO DA FIGURA 12

(A FIGURA NÃO ESTÁ EM ESCALA)

A. FORMA DE ONDA PARA O SEMICICLO POSITIVO - FIGURA 14

B. FORMA DE ONDA PARA O SEMICICLO NEGATIVO - FIGURA 15

Observa-se na figura 16 que, idealmente, a partir de t_4 o tiristor T_1 já pode ser bloqueado. Para T_2 o bloqueio do mesmo pode ocorrer idealmente, a partir de t_5 . O primeiro ciclo (t_0 a t_1) é suposto ser usado para o carregamento inicial dos capacitores.

Assim, o conjunto T_1 , D_3 , C_1 e T_3 e o conjunto T_2 , D_4 , C_2 e T_4 podem funcionar como tiristores de dois gatilhos, um para

o início da condução e outro para o bloqueio da corrente pelo tistor principal. A figura 17 ilustra o exposto.

Desta maneira, as formas de onda de tensão da fonte (u_{ab}) e corrente na linha (i_L) para um caso idealizado, estão mostrados na figura 18.

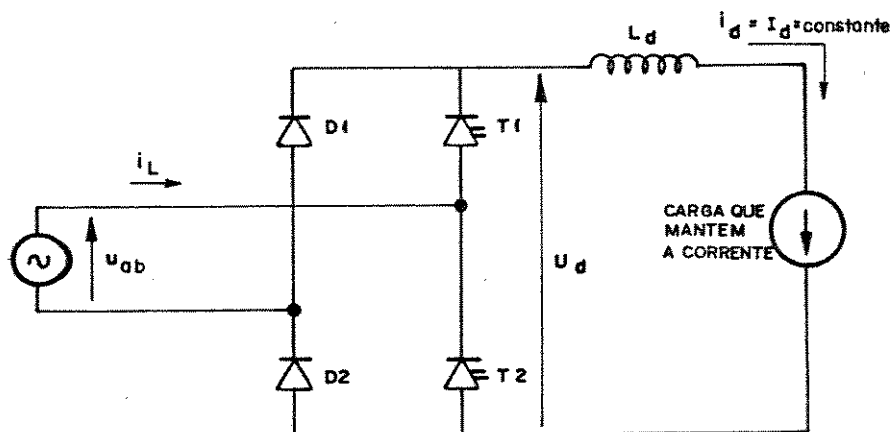


FIGURA 17: CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO PARA O CIRCUITO DA FIGURA 12

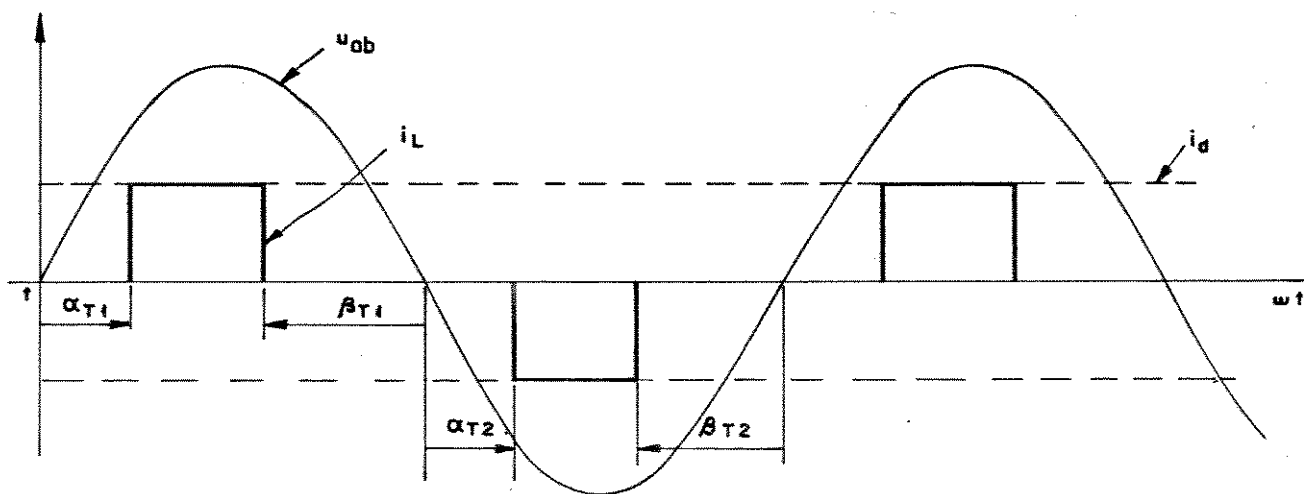


FIGURA 18: FORMAS DE ONDA DA TENSÃO u_{ab} E CORRENTE i_L PARA O SISTEMA DA FIGURA 17

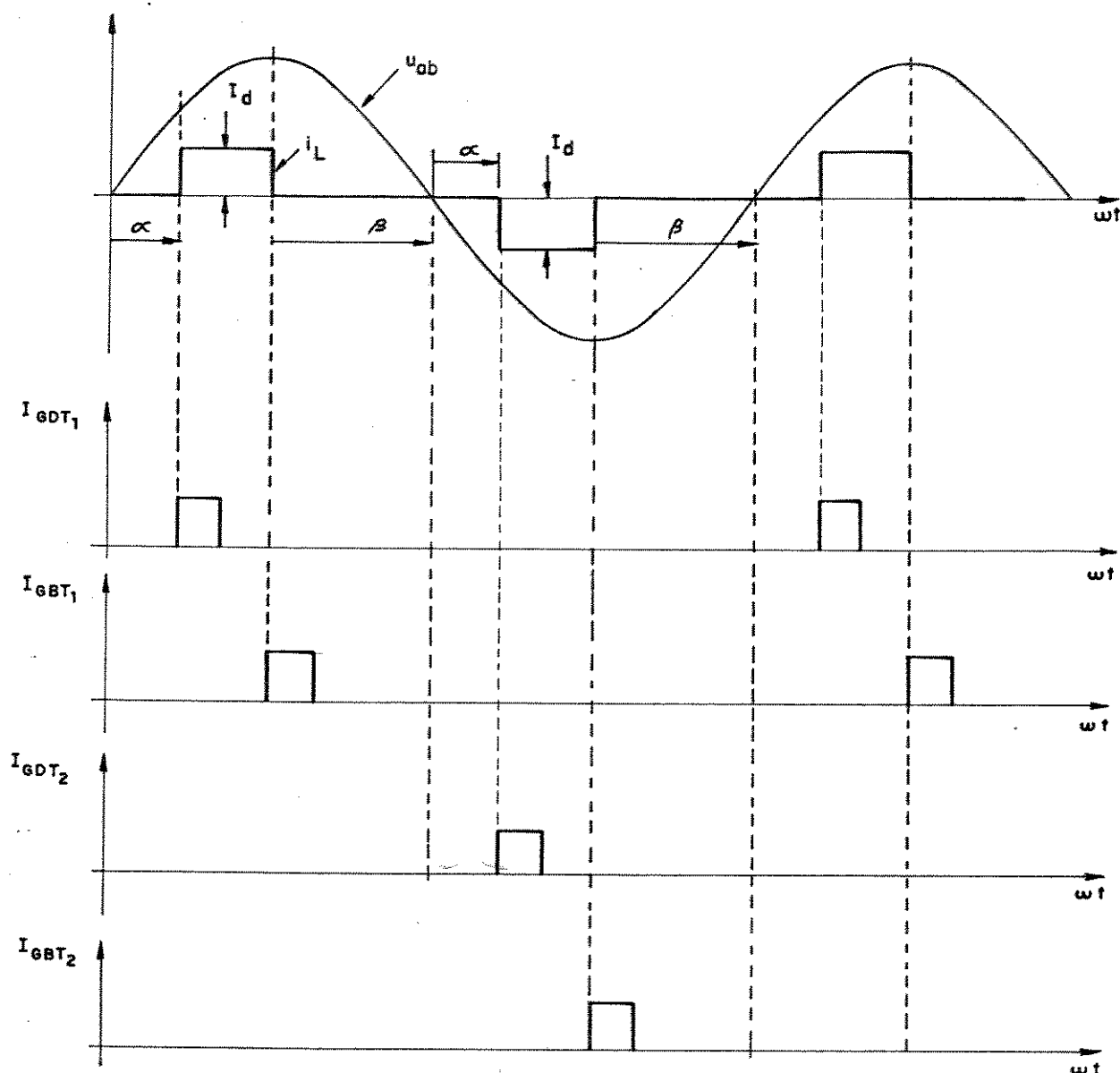


FIGURA 19: FORMA DE ONDA i_L CONSIDERANDO A SEQUÊNCIA DE PULSOS PARA DISPARO (I_{GBT1} E I_{GBT2}) E DE PULSOS PARA BLOQUEIO (I_{GBT1} E I_{GBT2}) COM A FINALIDADE DE PROPICIAR UMA CARACTERÍSTICA ASSIMÉTRICA NA FORMA DE ONDA DA CORRENTE i_L (REFERÊNCIA FIGURA 17)

Na figura 18, α_{T_1} (α_{T_2}) corresponde ao ângulo que o "tiristor de dois gatilhos" T_1 (T_2) entra em condução e β_{T_1} (β_{T_2}) correspondente ao ângulo complementar de desligamento do mesmo.

Convém notar que o instante t onde ocorre o primeiro zero de u_{ab} corresponderia, na figura 16, ao instante t_4 . Nota-se ainda que, independentemente de estar T_1 ou T_2 conduzido, se:

$$\alpha \neq \beta \quad \text{e} \quad \beta > \alpha$$

a corrente da linha se apresenta com uma característica capacitiva, o que é bastante interessante, como mencionado no Capítulo I, tanto em sistemas de tração como em sistemas alimentados por Pequenas Centrais Hidrelétricas ou transmissão rural.

Considerando-se a sequência de disparo ilustrada na figura 19, observa-se que sendo α diferente de β ($\alpha < \beta$), a componente fundamental da corrente fica adiantada com relação à tensão da fonte (com característica capacitiva) como pode ser observado pela tabela 1.

A tabela 1 juntamente com a figura 20 apresenta o comportamento da corrente i_L no circuito da figura 17.

Na tabela 1, I_n representa a amplitude do harmônico de ordem n (n ímpar de 1 a 13) da corrente i_L . Os fluxogramas nas figuras 12 a 14 no Anexo 5, mostram como os harmônicos foram calculados no programa desenvolvido. A figura 20 ilustra o comportamento do ângulo de fase da componente fundamental e o fator de potência.

A tabela 2 representa parte da tabela 1, porém com mais clareza, (foi extraída da parte da tabela 1).

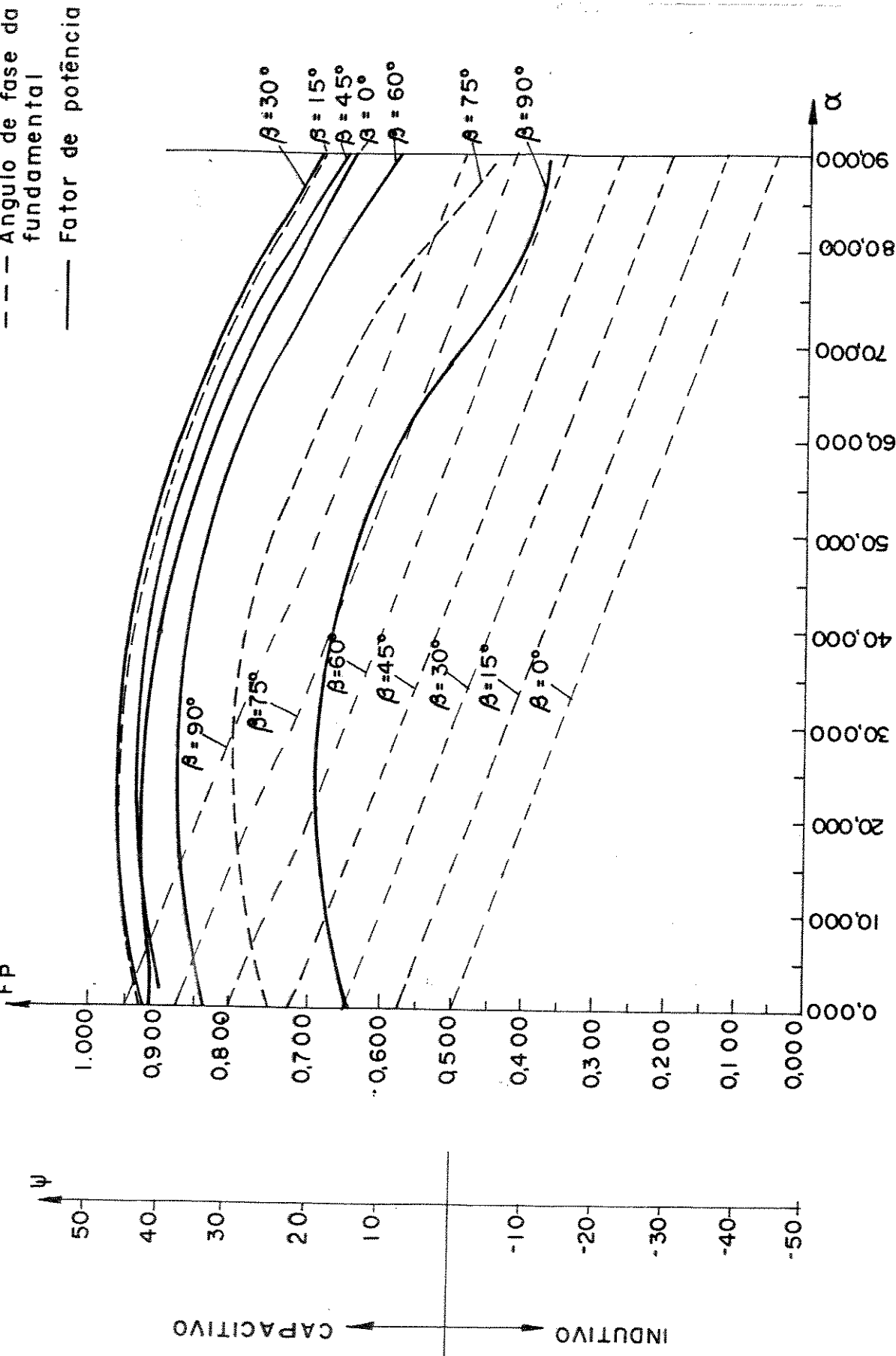


FIGURA 20: CURVA CARACTERÍSTICA DO FATOR DE POTÊNCIA (FP) E DO ÂNGULO DE FASE (ψ) ENTRE A COMPONENTE FUNDAMENTAL DA CORRENTE EM RELAÇÃO A TENSÃO EM FUNÇÃO DOS ÂNGULOS DE DISPARO α E DE BLOQUEIO β [15]

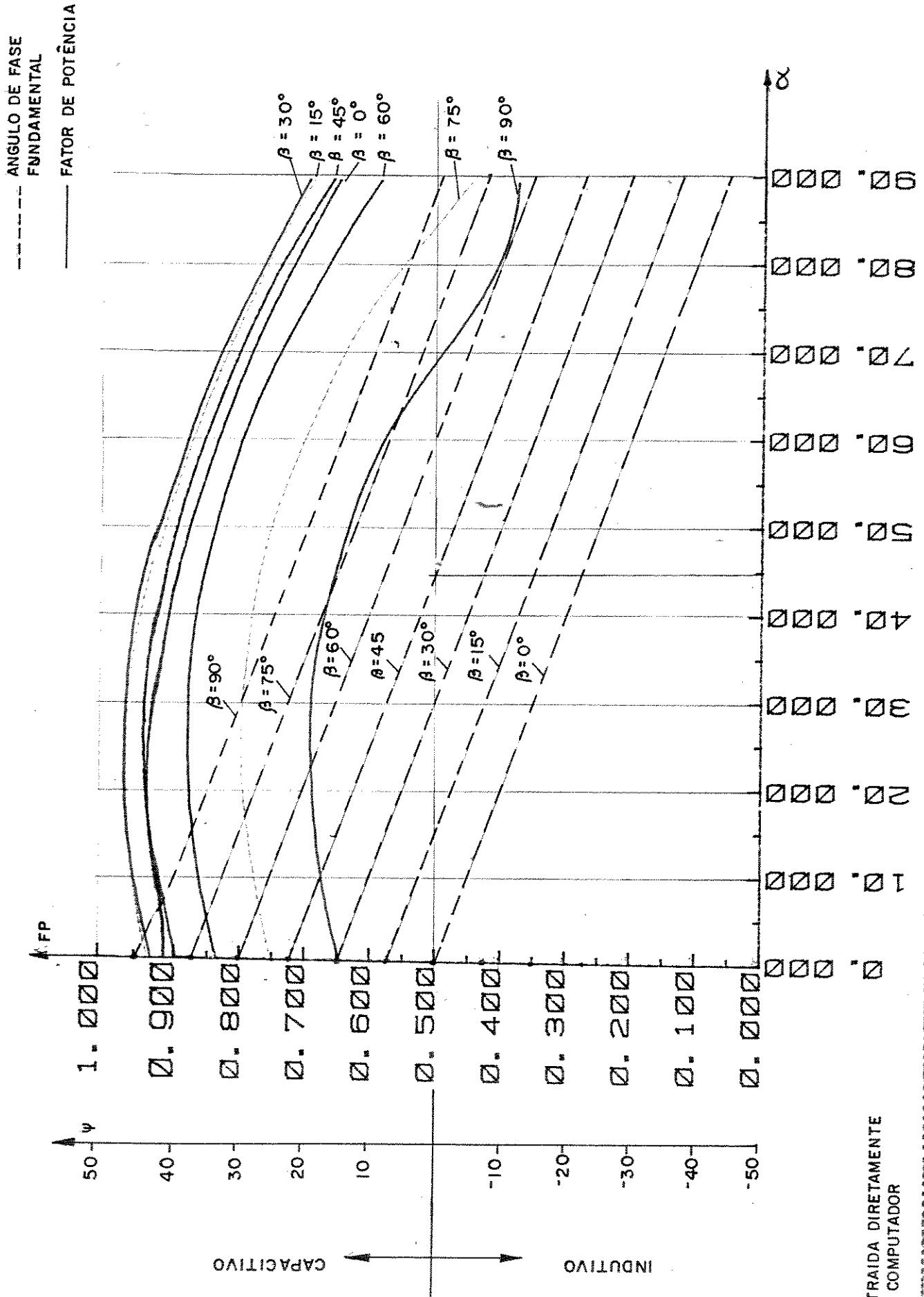


FIGURA 20 - EXTRAIDA DIRETAMENTE DO COMPUTADOR

TABELA 1

AMPLITUDE DO HARMONICO DE ORDEM N PARA:

Id = 1.00 [p.u.]

ALFA	BETA	11	13	15	17	19	111	113	ANGULO DE FASE DA COMPONENTE FUNDAMENTAL	FATOR DE POTENCIA
0.	90.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	45.	.646
15.	90.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	37.	.685
30.	90.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	29.	.692
45.	90.	.34	.28	.17	.05	.04	.08	.06	22.	.654
60.	90.	.23	.21	.17	.12	.07	.02	.02	15.	.580
75.	90.	.12	.11	.11	.10	.09	.03	.07	7.	.443
90.	90.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	0.	.000
0.	75.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	37.	.752
15.	75.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	29.	.791
30.	75.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	22.	.798
45.	75.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	14.	.771
60.	75.	.34	.28	.17	.05	.04	.08	.06	7.	.702
75.	75.	.23	.21	.17	.12	.07	.02	.02	0.	.600
90.	75.	.12	.11	.11	.10	.09	.03	.07	-7.	.443
0.	60.	.78	.00	.16	.11	.00	.07	.06	29.	.835
15.	60.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	22.	.875
30.	60.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	14.	.862
45.	60.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	7.	.856
60.	60.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	0.	.798
75.	60.	.34	.28	.17	.05	.04	.08	.06	-7.	.702
90.	60.	.23	.21	.17	.12	.07	.02	.02	-15.	.580
0.	45.	.83	.11	.07	.12	.09	.03	.03	22.	.897
15.	45.	.78	.00	.16	.11	.00	.07	.06	15.	.932
30.	45.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	7.	.939
45.	45.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	0.	.914
60.	45.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	-7.	.856
75.	45.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	-15.	.771
90.	45.	.34	.28	.17	.05	.04	.08	.06	-22.	.654
0.	30.	.87	.21	.05	.03	.07	.08	.07	15.	.927
15.	30.	.83	.11	.07	.12	.09	.03	.03	7.	.962
30.	30.	.78	.00	.16	.11	.00	.07	.06	0.	.965
45.	30.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	-7.	.939
60.	30.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	-15.	.882
75.	30.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	-22.	.798
90.	30.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	-30.	.692
0.	15.	.89	.28	.14	.08	.04	.01	.01	7.	.932
15.	15.	.87	.21	.05	.03	.07	.08	.07	0.	.960
30.	15.	.83	.11	.07	.12	.09	.03	.03	-7.	.962
45.	15.	.78	.00	.16	.11	.00	.07	.06	-15.	.932
60.	15.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	-22.	.875
75.	15.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	-30.	.791
90.	15.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	-37.	.685
0.	0.	.90	.30	.18	.13	.10	.08	.07	0.	.914
15.	0.	.89	.28	.14	.08	.04	.01	.01	-7.	.932
30.	0.	.87	.21	.05	.03	.07	.08	.07	-15.	.927
45.	0.	.83	.11	.07	.12	.09	.03	.03	-22.	.897
60.	0.	.78	.00	.16	.11	.00	.07	.06	-30.	.835
75.	0.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	-37.	.752
90.	0.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	-45.	.646

AMPLITUDE DO HARMONICO DE ORDEM N PARA:

Id = 1.00 [p.u] + TABELA 2 (copiada da Tabela 1)

ALFA	BETA	I1	I3	I5	I7	I9	I11	I13	ANGULO DE FASE DA COMPONENTE FUNDAMENTAL	FATOR DE POTÊNCIA
0.	90.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	45.	.646
15.	90.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	37.	.685
30.	90.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	29.	.692
45.	90.	.34	.28	.17	.05	.04	.08	.06	22.	.654
60.	90.	.23	.21	.17	.12	.07	.02	.02	15.	.580
75.	90.	.12	.11	.11	.10	.09	.08	.07	7.	.443
90.	90.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		
0.	75.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	37.	.752
15.	75.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	29.	.791
30.	75.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	22.	.798
45.	75.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	14.	.771
60.	75.	.34	.28	.17	.05	.04	.08	.06	7.	.702
75.	75.	.23	.21	.17	.12	.07	.02	.02	0.	.600
90.	75.	.12	.11	.11	.10	.09	.08	.07	-7.	.443
0.	60.	.78	.00	.16	.11.	.00	.07	.06	29.	.835
15.	60.	.71	.11	.18	.02	.09	.05	.04	22.	.875
30.	60.	.64	.21	.13	.09	.07	.06	.05	14.	.882
45.	60.	.55	.28	.02	.13	.04	.06	.05	7.	.856
60.	60.	.45	.30	.09	.06	.10	.04	.03	0.	.798
75.	60.	.34	.28	.17	.05	.04	.08	.06	-7.	.702
90.	60.	.23	.21	.17	.12	.07	.02	.02	-15.	.580

CAPÍTULO V

IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITO ELETRÔNICO PARA CONTROLE DO
ÂNGULO DE DEFASAGEM DA CORRENTE EM RELAÇÃO A TENSÃO
DE ENTRADA EM PONTES CONVERSoras MONOFÁSICAS

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo apresentar não só as partes de potência do circuito desenvolvido mas também apresentar os detalhes construtivos do protótipo estudado neste trabalho, com a finalidade de se obter os resultados práticos.

O protótipo do circuito será descrito nos itens que estão a seguir neste capítulo. Todavia, as fotografias, resultados de medição e detalhes construtivos encontram-se no Anexo I.

2. SISTEMA DE POTÊNCIA PARA CONVERSÃO CA/CC

A figura 1 ilustra a ponte conversora a ser usada neste trabalho. A tensão de suprimento da rede é de 127 V , 60 Hz .

Na figura 1 tem-se:

- 1 e 2 - tiristores principais;
- 3 e 4 - tiristores de bloqueio;
- 5 e 6 - diodos de passagem livre;

7 e 8 - diodos do circuito de carga dos capacitores;

A, B, D, E - pontos de conexão de interesse;

R - resistência limitadora da corrente de carga dos capacitores;

L - indutores para limitar o di/dt dos tiristores;

C - capacitor de comutação.

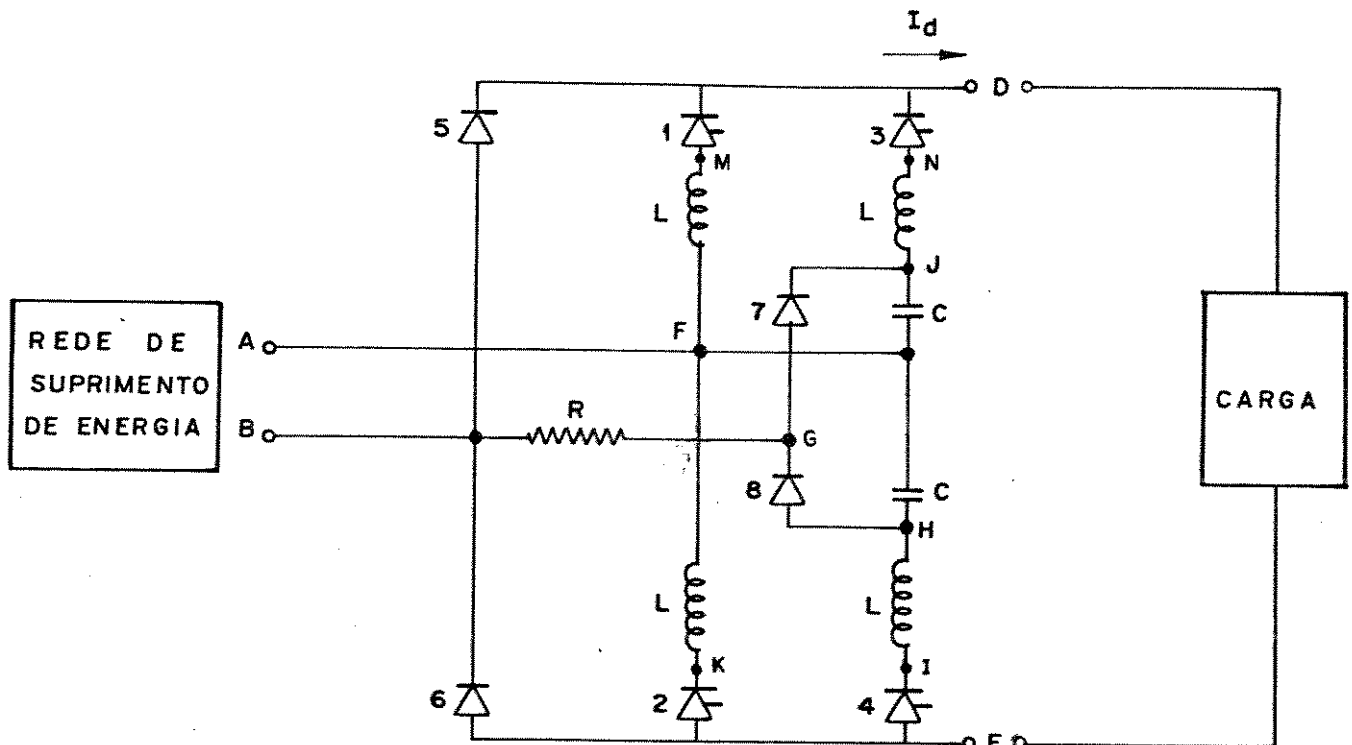


FIGURA 1: PONTE CONVERSORA A SER UTILIZADA NESTE TRABALHO.

No Anexo I tem-se os detalhes construtivos da ponte con
versora.

Tomando-se como base a tensão e a corrente envolvidas ,
optou-se pelo tiristor disponível, 2N3898 RCA e 8231 [31] com 400
V de bloqueio e corrente média de 22 A bem como pelos diodos
SKR 21/16 [30] com 1600 V de bloqueio e corrente média de 20 A .

O dimensionamento do indutor L pode ser feito supondo que o capacitor está polarizado com tensão máxima e descarrega-se sobre o tiristor.

Nota-se que ao disparar o tiristor T_3 estando o capacitor do ramo FJ carregado, bolqueia-se o tiristor T_1 . Da mesma forma, o disparo do tiristor T_4 com o capacitor do ramo FH convenientemente carregado, provoca-se o bloqueio do tiristor T_2 . Como os circuitos fechados através dos ramos FH, HI, IE, EK, KF e FJ, JN, ND, DM, MF possuem, na prática, uma frequência de oscilação bastante superior à frequência da rede. Pode-se admitir portanto, que durante estas etapas, quando operam simultaneamente T_1 e T_3 ou T_2 e T_4 o circuito equivalente é aquele indicado na figura 2.

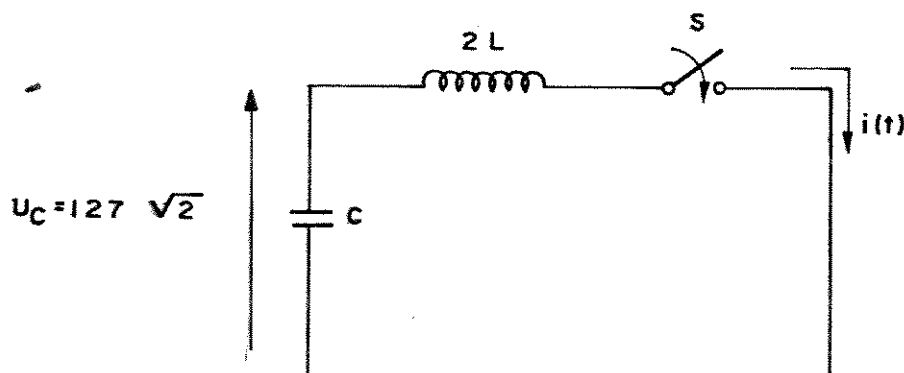


FIGURA 2: CIRCUITO EQUIVALENTE PARA O DIMENSIONAMENTO DO REATOR L .

Para o sistema da figura 2, tem-se:

$$i(t) = \frac{U_C}{\sqrt{\frac{2L}{C}}} \sin \omega_0 t \quad (1)$$

onde:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{2L.C}} \quad (2)$$

O maior valor para di/dt ocorre para $t = 0$ (instante em que ocorre o fechamento da chave S).

Para verificar se a escolha dos componentes que compõem a ponte conversora em análise é adequada considera-se que:

1. a corrente média pelo tiristor principal (conforme catálogo de fabricante [31]) seja de 22 A. Logo, a máxima corrente disponível na carga é de 44 A (o tiristor conduzindo por meio ciclo e o diodo conduzindo por meio ciclo e a carga mantendo a corrente constante).

Assim, os tiristores 1 e 2 que serão do tipo disponível (2N3898) apresentam as seguintes características [31]:

- corrente média - 22 A
- di/dt - 200 A/ μ seg
- dv/dt - 100 V/ μ seg
- I^2t - 300 A²seg
- máxima tensão de bloqueio - 400 V

logo:

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{\max} = \frac{U_c}{\sqrt{2L/C}} \cdot \omega_o = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ A}/\mu\text{s} \quad (3)$$

Assim:

$$\frac{U_c}{\sqrt{2L/C}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2L/C}} = \frac{U_c}{2L} = 160 \quad (4)$$

Logo:

$$2L = \frac{127 \cdot \sqrt{2}}{160} = 1,12253 \quad (5)$$

ou ainda:

$$L = 0,5613 \text{ } \mu\text{H} \text{ (valor m\u00ednimo)}$$

A escolha de C est\u00e1 vinculada ao tempo m\u00e1ximo que se de seja efetuar o corte da m\u00e1xima corrente direta que circula pelos tiristores 1 e 2 (vide figura 1). A figura 3 ilustra o caso para o corte de uma corrente de carga igual a 12 A . Note que este valor de corrente est\u00e1 sendo usado em fun\u00e7\u00e3o da carga dispon\u00edvel no labor\u00e1t\u00f3rio (corrente m\u00e1xima 10 A). O mesmo procedimento poderia ser usado para um outro valor de corrente. No caso da figura 3 tem-se o efeito de uma corrente cont\u00ednua superposta \u00e0 uma corrente alternada gerada por um circuito do tipo mostrado na figura 2.

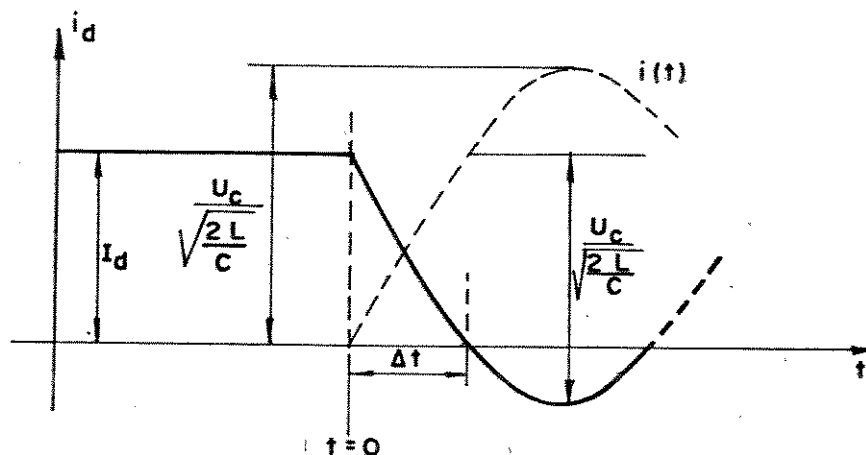


FIGURA 3: AN\u00c1LISE DO CORTE DA CORRENTE.

Ap\u00f3s $t = 0$ na figura 3 tem-se:

$$i(t) = \frac{U_c}{\sqrt{2L/C}} \text{ sen}(\omega_o t) \quad (7)$$

Admitiu-se que o bloqueio do tiristor principal leva um tempo m\u00ednimo que corresponda a um \u00e2ngulo el\u00e9trico de 5° .

Logo, neste caso tem-se:

$$\omega_o t = 5^\circ \quad (8)$$

Levando (8) em (7) tem-se no instante correspondente a 50° o seguinte valor de corrente:

$$i(t) = \frac{U_c}{\sqrt{2L/C}} \sin(50^\circ) = 12 \text{ [A]} \quad (9)$$

ou ainda:

$$\frac{U_c \sin(50^\circ)}{12} = \sqrt{\frac{2L}{C}} \quad (10)$$

Logo,

$$C = \frac{(2L)}{\left(\frac{U_c \sin 50^\circ}{12}\right)^2} = \frac{(2L) \cdot (12)^2}{(U_c \sin 50^\circ)^2} = \frac{2 \cdot 0,5613 \cdot 144}{(127 \cdot \sqrt{2} \sin 50^\circ)^2} \cdot 10^{-6} \quad (11)$$

Assim, o valor da capacitância C deverá ser:

$$C = 0,6597 \text{ [}\mu\text{F]} \quad (12)$$

Modificando-se os valores de L e C altera-se o di/dt nos tiristores, bem como a frequência de oscilação para bloqueio dos tiristores principais.

Uma vez que o valor da capacitância para os capacitores de comutação é padronizado em: 5; 10; 16,5; 30 e 50 μF em 440 V e como em pequena quantidade não é possível adquiri-los no mercado, uma vez que eles são feitos apenas por encomenda e só em grande quantidade, utilizar-se-á um capacitor, obtido por doação, de:

$$C = 5 \text{ } \mu\text{F}$$

Os componentes da parte de potência mostrados na figura 1, incluem quatro indutores a núcleo de ar de:

$$L = 20 \text{ } \mu\text{H}$$

$$R_{DC} = 0,22 \text{ } \Omega \text{ (resistência própria dos indutores)}$$

Note que com estes valores tem-se:

$$i(t) = \frac{127 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{\frac{2 \cdot 20}{5}}} \cdot \sin(\omega_0 t) = 63,50 \cdot \sin(\omega_0 t)$$

onde:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{2L \cdot C}} = \frac{10^6}{\sqrt{2 \cdot 20 \cdot 5}} = 70710,67 \text{ rd/seg}$$

logo

$$f_0 = 11,25 \text{ kHz}$$

e

$$\frac{di}{dt} = \frac{127 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot 20} = 4,49 \text{ [A/}\mu\text{seg]} < 200 \text{ [A/}\mu\text{seg]}$$

portanto, atende a solicitação do tiristor quanto ao di/dt .

Como os diodos 5 e 6 irão suportar também uma corrente de 12 A , devem ser conforme recomendado pelo fabricante [17] e [18] do tipo SKR 21/16.

Como a comutação entre o diodo 5(6) e o tiristor 1(2) ocorre através da rede de suprimento de energia (circuito compreendido pelos ramos FM, MD, DB e FONTE na figura 1) o efeito do capacitor durante a comutação não é necessário ser levado em conta. Os diodos escolhidos SKR 21/16 possuem as seguintes características [30]:

- tensão máxima de bloqueio - 1600 V
- corrente média - 20 A
- corrente de surto - 350 A
- I^2t - 510 A²seg

O dissipador recomendado [17], [30] é o tipo K5, K3 ou BR 812. Devido o valor de R poder ser escolhido e a corrente de

carga do capacitor obrigatoriamente passar através deste elemento (figura 1), pode-se usar o mesmo tipo de diodo.

Já os diodos 7 e 8 deverão suportar, normalmente, a corrente de carga dos capacitores na frequência da rede. O valor de pico desta corrente devido à energização do capacitor é limitado pelo instante de energização da rede e o valor de R utilizado, no circuito (figura 1). A proteção é feita por um fusível recomendado pelo fabricante do tiristor 2N3898 [31].

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DOS PULSOS DE DISPARO DOS TIRISTORES

Para o circuito mostrado na figura 1 deverá ser acrescentado o módulo que defina os instantes de disparo dos tiristores. Este módulo é indicado simplificado na figura 4.

Na figura 4, $IGTi$ e KTi para $i = 1, 2, 3$ e 4 representam respectivamente, os terminais de gatilho e do cátodo para cada tiristor.

A figura 5 ilustra o sistema de controle desenvolvido que passa a ser descrito no ítem a seguir.

O circuito de controle será descrito em três etapas:

- a. Parte de recebimento de sinal e geração do nível CC correspondente ao ângulo de disparo dos tiristores principais e de bloqueio.
- b. Sistema para definição do instante de geração dos pulsos de disparo.
- c. Amplificação dos pulsos necessários ao disparo dos tiristores.

A figura 7 do Anexo 1 mostra com mais detalhes a figura

5 deste capítulo. Convém notar que a numeração dos componentes da figura 5 é a mesma da figura 7 do Anexo 1.

3.1. DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE DISPARO DOS TIRISTORES

O sinal de sincronismo é obtido da rede como mostra a figura 4 (u_f'), todavia a amplitude do mesmo é diminuída através de um transformador (TF 40 - figura 7 do Anexo 1) para um sinal (u_f) compatível com o controle. O resistor R_{43} e os diodos D_{200} e D_{201} reduzem a amplitude deste sinal a um valor (barreira de potencial), que seguramente não danificará os circuitos eletrônicos onde ele será aplicado. Os amplificadores operacionais CI 14 e CI 10 tem ganho de tensão igual a 1 e nesta configuração atuam como seguidores de tensão proporcionando ao circuito uma elevada impedância de entrada com uma capacidade de corrente de saída compatível com as necessidades (as numerações dos componentes estão na figura 5).

O potenciômetro ajustável para um valor fixo (trimpot), T_{21} e o potenciômetro P_{10} constituem um circuito divisor de tensão que em uma certa escala definem uma tensão $U_{\alpha D}$ a qual corresponderá à referência do ângulo de disparo dos tiristores principais T_1 e T_2 da figura 4 (ou SCR_{10} e SCR_{12} da figura 7 - Anexo 1). Este sinal de referência é, primeiramente, aplicado ao CI 13 que possui a mesma função que os CI 10 e CI 14 e após ao CI 16, o qual possui, nesta configuração, ganho igual a -1 (a impedância de entrada neste caso é o próprio valor do resistor R_{41}). A função deste último

amplificador operacional é inverter o sinal de referência para que este possa ser injetado no pino 11 do CI 21.

Os potenciômetros ajustáveis de valor fixo T_{10} e T_{20} e o potenciômetro P_{11} constituem o circuito responsável pela geração de um sinal de tensão ($u_{\alpha B}$) que define o sinal para a referência do ângulo de disparo dos tiristores de bloqueio T_3 e T_4 da figura 4 (ou SCR_{11} e SCR_{13} da figura 7 do Anexo 1). Este ângulo de disparo deverá ser maior que o dos tiristores principais. Assim, o citado sinal é somado ao sinal de referência oriundo do circuito divisor de tensão T_{21} e P_{10} , através do CI 15, o qual possui um ganho -1. A saída do CI 15 corresponde a soma das tensões de referência $u_{\alpha D}$ e $u_{\alpha B}$, ou seja:

$$u_7 = k(u_{\alpha D} + u_{\alpha B})$$

Os resistores R_{51} e R_{50} tem a finalidade de balancear as impedâncias de cada terminal de entrada dos amplificadores operacionais, fazendo com que o comportamento deste amplificador seja o mais próximo de um amplificador ideal (ou seja, mínimo erro de "offset").

A geração dos pulsos de controle já sincronizados com a rede é feita pelos CI's 20 e 21. Estes CI's correspondem àqueles disponíveis no mercado para esta função, sendo identificados comercialmente como TCA 780. A seguir, analisa-se o funcionamento destes componentes.

3.2. DEFINIÇÃO DO INSTANTE DE GERAÇÃO DOS PULSOS DE DISPAROS

Na figura 5 o CI 20 e o CI 21 são circuitos integrados

do tipo TCA 780 [40]; o qual foi desenvolvido comercialmente para controlar o ângulo de disparo de tiristores, triacs e transistores, de 0° a 180° , de forma contínua. Sua estrutura interna e a possibilidade de seleção externa do ponto de chaveamento permitem um grande número de opções de funcionamento, o que evita circuitos volumosos.

As principais características do circuito integrado TCA 780 são:

- Alta imunidade à interferências externas;
- Tensão de alimentação simples de 8 a 18 [V];
- Consumo de corrente igual a 5 [mA];
- Compatibilidade com a grande maioria dos circuitos integrados lineares e CMOS;
- Duas saídas de 55 mA para corrente de disparo e duas saídas de função inversa à dos pulsos;
- Função inibidora dos pulsos;
- Duração do pulso de disparo controlado por um capacitor externo;
- Alta sensibilidade no cruzamento de zero;
- Circuito de proteção contra falha de disparo;
- Pode ser usado para chaveamento no ponto zero de tensão.

O diagrama de blocos da figura 6 e os diagramas de nível da figura 7 mostram as funções essenciais que constituem o TCA 780.

A característica principal do circuito é sua estabilidade de face as variações do nível de tensão de alimentação, a qual é aplicada entre os pinos 1 e 16. O valor de tal tensão deverá ficar entre 8 e 18 V em CC. Isto é conseguido mediante uma regulação in

terna que leva o circuito a trabalhar, internamente, com 3,1 V constante. Neste CI, o pino 1 é a referência.

A tensão de 3,1 V regulada internamente pelo CI, é levada externamente, através do pino 8. Para promover uma supressão de interferências, pode-se ligar entre os pinos 8 e 1 um capacitor (com valor típico de 100 nF).

Em circuitos onde são necessários mais que um CI do tipo TCA 780, os pinos 8 deverão ser conectados em paralelo afim de se obter condições de controle similares em todas as fases e retificação controlada corretamente em todos os ramos.

A tensão de sincronismo u_{ca} deverá ser aplicada entre os pinos 5 e 1. A sincronização é obtida por meio de um detetor de zero de alta sensibilidade. Em seguida, vem um registro de sincronismo controlando um gerador de rampa, tipo dente de serra.

O gerador de rampa, basicamente, possui uma fonte de corrente constante a qual alimenta um capacitor externo ligado ao pino 10 ($C_{10} \leq 0,5 \mu F$). Esta alimentação é linear e pode ser ajustada via pino 9 com um resistor externo (R_9 de 20 k Ω até 500 k Ω). A combinação R_9 e C_{10} determina a taxa de crescimento da rampa, ou seja, determina o dv/dt da mesma e pode ser obtida diretamente no pino 10 para fins de comparação e testes.

Toda rampa tem seu início de cruzamento do zero pela tensão de sincronismo e, seu término no próximo cruzamento com o zero. Este término da rampa no capacitor C_{10} é promovido pela condução de um transistor que descarrega o capacitor. O circuito de registro de sincronismo somente permitirá que a informação exibida na saída do detetor de tensão zero se transfira para o circuito seguinte, se um sinal de verificação de final de descarga permitir

essa transferência. Isto é especialmente importante se o TCA 780 for usado para chaveamento no ponto zero de tensão ("zero point switch") e também em conversores que dependam da largura de pulso.

A tensão do controle CC deverá ser aplicada entre os pinos 11 e 1. Este valor é comparado internamente com a rampa de tensão (pino 10) pelo comparador controlador e as respectivas saídas dos pulsos que, quando ativadas, definem o ângulo de disparo α . Diversas formas lógicas podem ser obtidas, com a ajuda de diferentes interligações, variando tanto o tipo quanto a largura dos diferentes pulsos de saídas, sendo que todos eles terão como nível o potencial positivo para a terra.

As duas saídas principais A_1 (pino 14) e A_2 (pino 15) tem uma capacidade máxima de corrente de 55 mA. Os pulsos gerados no pino 15 são para o disparo que caracteriza o semi-período positivo, e os pulsos gerados no pino 14 são para o disparo no semi-período negativo. Lógicamente, terão como ponto de referência, a tensão de sincronismo aplicada ao pino 5. A duração do pulso (a qual não deve ser confundida com o ângulo de disparo α) é aproximadamente de 30 μ s (pulso de curta duração obtido conectando-se o pino 12 à referência). Essa duração poderá ser aumentada por meio de um capacitor externo aplicado ao pino 12 (C_{12}). O valor de duração do pulso em função do tempo pode ser controlado variando-se o valor de C_{12} .

Conectando-se o pino 12 à referência (pino 1), obtêm-se pulsos com largura de $\gamma = 180^\circ - \alpha$, ou seja, pulsos de longa duração.

As saídas auxiliares $\bar{A}_1$ (pino 4) e $\bar{A}_2$ (pino 2) tem capa

cidade para até 1,5 mA . Em ambas as saídas os sinais serão obtidos com a utilização de resistores (R_4 e R_2 de, aproximadamente , 15 k Ω) entre os respectivos pinos de saída e a tensão de alimentação. Estes sinais de saída correspondem ao complemento do sinal de saída do pino 14(A_1) e do pino 15(A_2).

Conectando-se o pino 13 à referência (pino 1), os pulsos de saída do pino 4 ($\bar{A}_1$) e pino 2 ($\bar{A}_2$) serão também de longa duração, ou seja, $\gamma = 180^\circ - \alpha$ mas, para esta situação, as saídas em questão perderão a função de serem complementares às saídas principais (pinos 14 e 15).

As duas saídas auxiliares X(pino 3) e Z(pino 7) podem ser utilizadas, por exemplo, para medidores digitais. Estas saídas quando dispostas em coletor aberto, deve-se conectar resistores de 15 k Ω entre o respectivo pino e o terminal positivo da fonte de alimentação. A saída X oferece um sinal tal como A_1 , porém, com a duração do pulso de 180° . O sinal obtido no pino 7 (saída Z) corresponde à lógica booleana $\overline{A_1 + A_2}$, ou seja, uma porta "NOR" tendo como entrada os sinais A_1 e A_2 .

Nas aplicações efetuadas não foram utilizadas as saídas auxiliares.

Para elevar a imunidade contra ruídos é recomendável, em vários casos, conectar a saída Z (pino 7) à referência.

Para que haja a inibição dos pulsos de saída a partir de um determinado instante é necessário conectar o pino 6 à referência; desta forma, todas as saídas serão inibidas a partir daquele momento. Para desempenhar essa função, pode-se usar uma chave, um contato de relé ou um transistor NPN.

As saídas do TCA 780 devem ser adequadas e estarem disponíveis no instante desejado do disparo dos tiristores. Todavia, a capacidade de corrente destas saídas (pinos 14 e 15) dos circuitos integrados CI 20 e 21 (figura 5) são baixas. Assim, faz-se necessário um estágio de amplificação dos pulsos disponíveis nos pinos 14 e 15 que correspondem ao instante do disparo dos tiristores (tanto os principais como os de bloqueio).

3.3. AMPLIFICAÇÃO DOS PULSOS NECESSÁRIOS AO DISPARO DOS TIRISTORES

Na figura 7 o instante t_1 em relação a t_0 (ou t_3 em relação a t_0) define o cruzamento do sinal de controle com a tensão da rampa. Neste instante, tem-se na saída do pino 14(15) um pulso, o qual deveria propiciar o disparo do tiristor correspondente. Todavia, como já mencionado, a capacidade de corrente deste sinal é pequena e, assim, é conveniente que o mesmo seja injetado em um sistema que tenha a capacidade de amplificá-lo.

Os transistores TR10, TR11, TR12 e TR13 foram utilizados para efetuar a amplificação dos pulsos de saída dos pinos 14 e 15 do CI 20 e do CI 21.

Os transistores TR10, TR11, TR12 e TR13 estão em uma configuração como seguidores de tensão, ou seja, quando houver a presença de um pulso nas suas bases, fornecem correntes de saída pelo emissor. Estes pulsos de corrente irão para os pinos 1 dos acopladores óticos (TIL 111) CI 30, CI 31, CI 32 e CI 33, respecti

vamente, os quais tem por finalidade desacoplar (isolar) o circuito de controle daquele de potência. Todavia, a capacidade de corrente na saída dos acopladores óticos é bastante baixa e, novamente, a amplificação de corrente é conseguida com auxílio dos transistores TR14, TR15, TR16 e TR17 também na configuração de seguidores de tensão.

As tensões contínuas U_{cc1} , U_{cc2} e U_{cc3} tem por objetivo polarizar de modo conveniente os transistores TR14, TR15, TR16 e TR17. Para estas tensões efetua-se as seguintes observações:

- a. Os diodos D104, D105, D106 e D107 juntamente com os capacitores C50, C51, C52 e C53 e os transformadores TF20 e TF30 (vide a figura 7 do Anexo 1) constituem as fontes de suprimento de energia do circuito de disparo no lado de potência. Note que apenas uma fonte é suficiente para o disparo dos tiristores SCR_{10} e SCR_{11} pois os seus cátodos estão, praticamente, em um mesmo potencial.
- b. Os cátodos dos tiristores SCR_{12} e SCR_{13} encontram-se em níveis diferentes de potencial, neste caso, existe a necessidade de usar uma fonte independente para cada circuito de gatilho.

Os diodos D107, D108, D109 e D110 visam evitar surtos oriundos do circuito de potência que poderiam danificar o sistema de controle.

Já os pares de capacitores em paralelo com resistores (C700 e R70, C701 e R71, ..., C711 e R35) tem por função melhorar o desempenho do circuito de amplificação face a um pulso. A inexistência destes tipos de acoplamento leva, como se observa em termos

práticos, à um atraso indesejável no disparo dos tiristores.

Os sinais de controle mais importantes encontram-se na figura 8. Note-se que os sinais de tensão mais importantes aí mostrados (u_f , U_1 , U_2 , U_3 , U_4 , ..., U_{16}) são os mesmos que aparecem na figura 5.

Durante o semiciclo positivo da tensão de sincronismo da rede u_f (vide figuras 5 e 8), existem os sinais de tensão U_8 e U_9 de curta duração (pulsos, portanto) nas saídas do CI 21 e os sinais de tensão U_{11} e U_{10} na saída do CI 20. Note-se que os sinais provenientes dos pinos 15 e 14 (U_9 e U_8) do CI 21 irão propiciar o disparo dos tiristores T_1 e T_2 (figura 4). Os pulsos dos pinos 15 e 14 (U_{11} e U_{10}) irão propiciar o disparo dos tiristores T_3 e T_4 , os quais executam o bloqueio dos tiristores principais T_1 e T_2 , respectivamente.

4. SIMULAÇÕES DIGITAIS E MEDIÇÕES EFETUADAS

4.1. SIMULAÇÕES EM COMPUTADORES DIGITAIS

Para o protótipo desenvolvido usando-se o programa digital mostrado nos Capítulos II e III efetuou-se várias simulações porém, apresenta-se neste trabalho os casos mais interessantes.

A figura 9 ilustra os valores das grandezas envolvidas no protótipo que foram utilizadas na simulação. Os valores das grandezas mostradas na figura 9 foram obtidos com base nos valores que puderam ser extraídos do sistema desenvolvido.

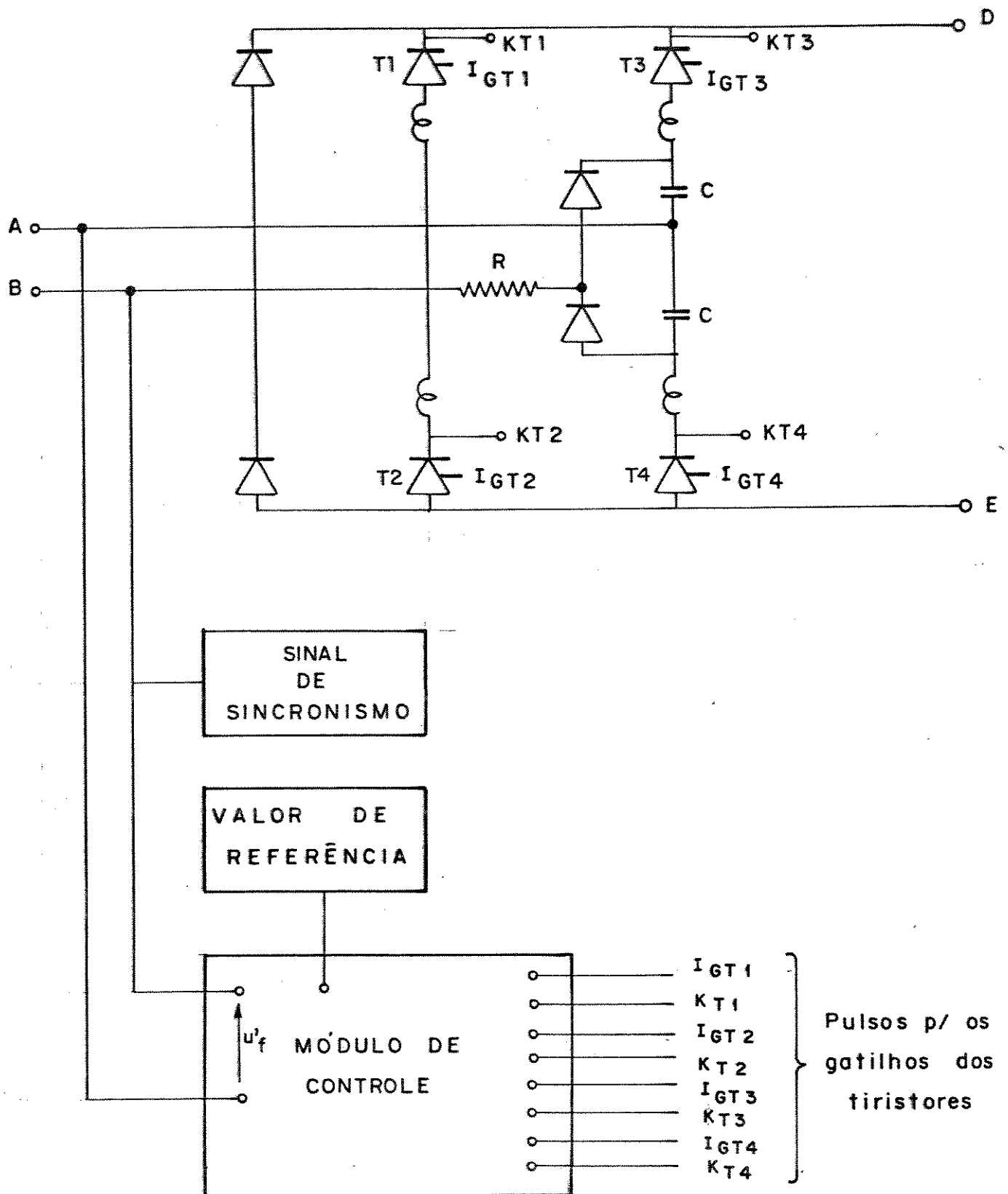


FIGURA 4: SISTEMA DA FIGURA 1 COM O MÓDULO DE CONTROLE.

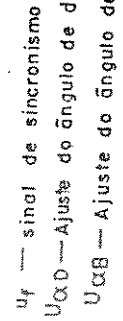


Figura 5 - SISTEMA DE CONTROLE IMPLEMENTADO

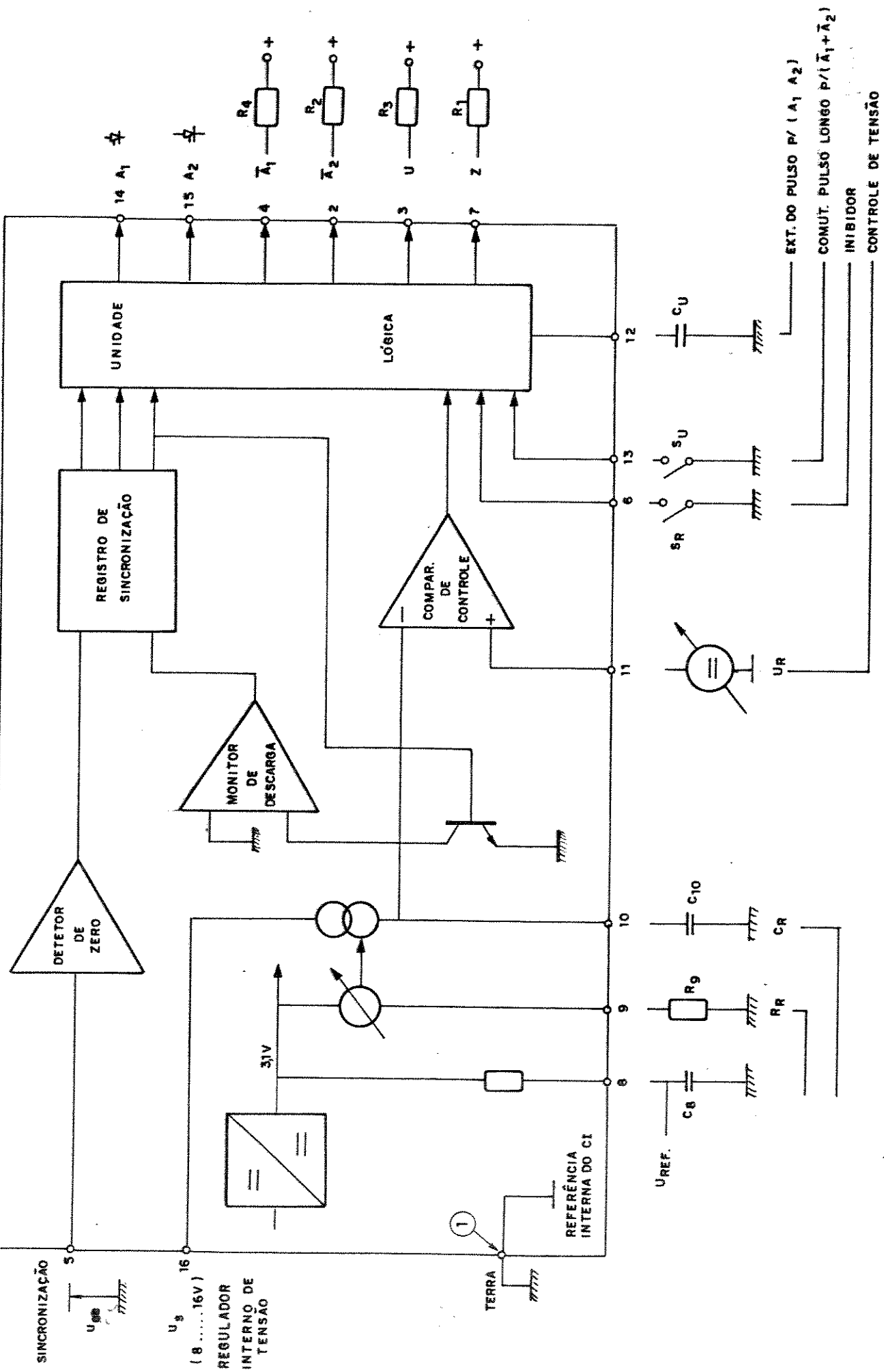


FIGURA 6: DIAGRAMA DE BLOCOS DO TCA 780

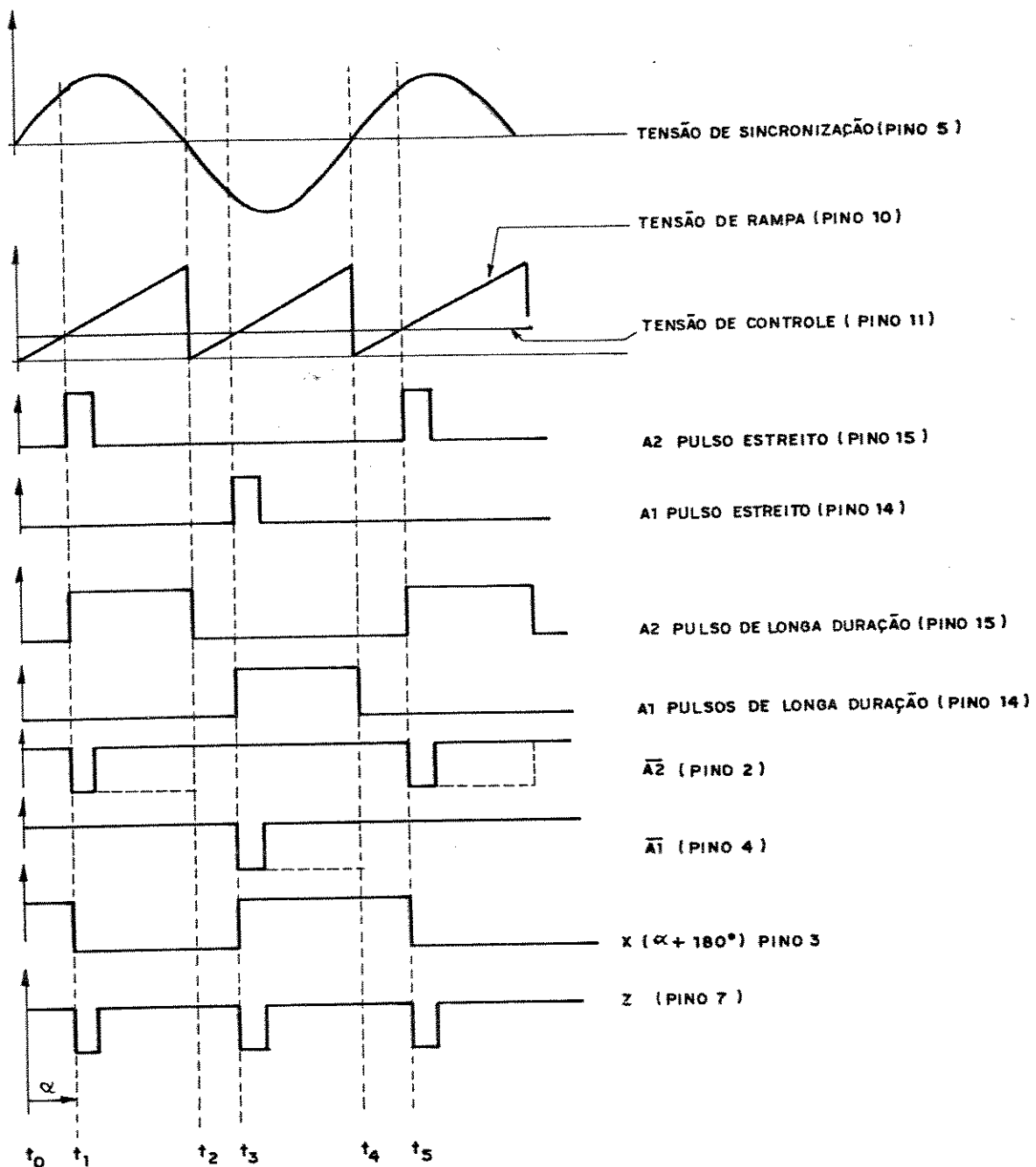


FIGURA 7: FORMAS DE ONDAS DE TENSÃO TÍPICAS NOS PINOS DE SAÍDA/ENTRADA DO TCA 780 MOSTRADO NA FIGURA 6.

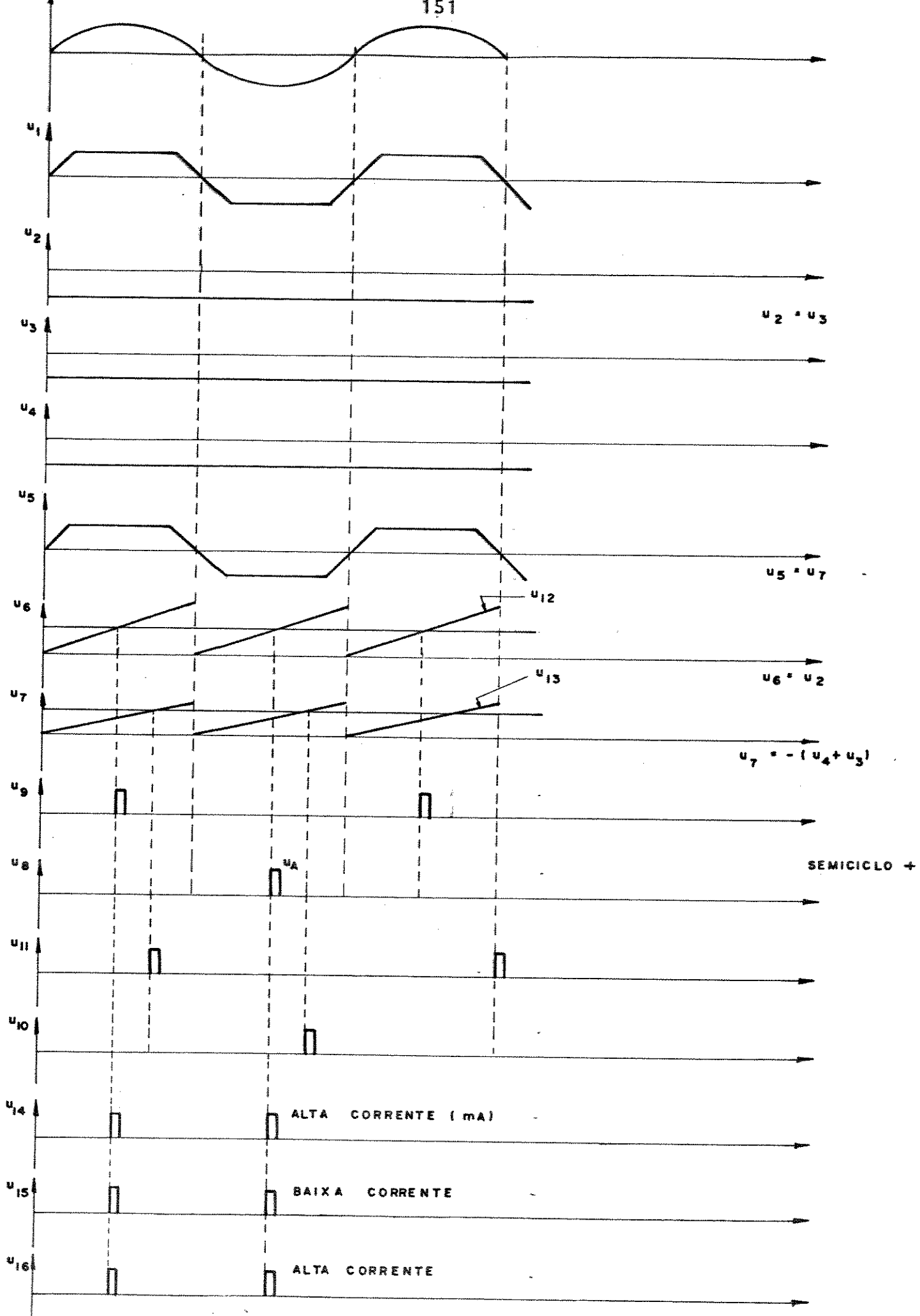


FIGURA 8: SINAIS DE CONTROLE

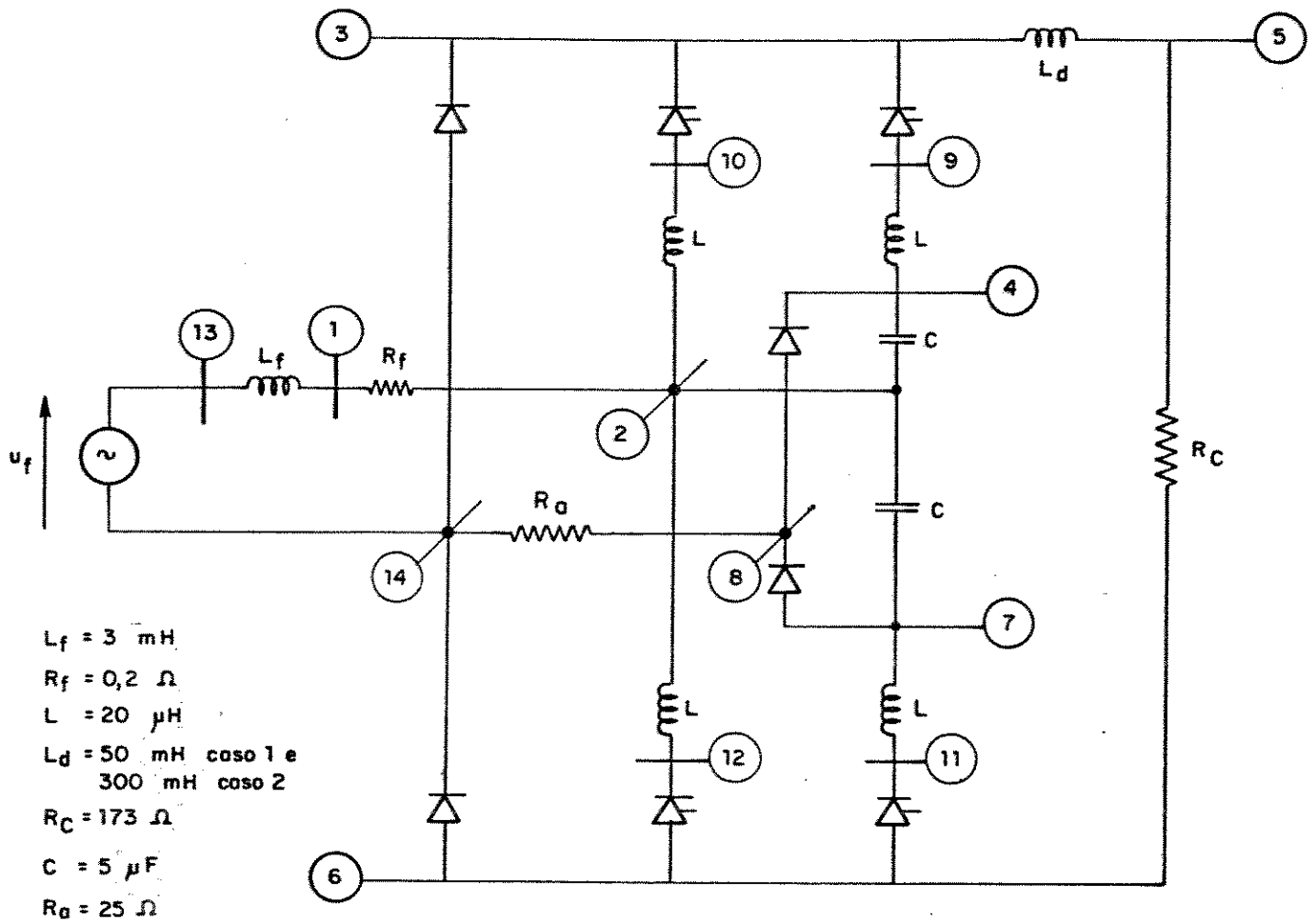


FIGURA 9: PROTÓTIPO DESENVOLVIDO COLOCADO EM CONDIÇÕES DE SE EFE-
TUAR SIMULAÇÕES DIGITAIS.

Para o sistema da figura 9 que representa o protótipo desenvolvido simulou-se dois casos:

CASO 1 - Figura 9 com $L_d = 50 \text{ mH}$

As figuras de 10.A até 10.G ilustram os resultados de tensão nas diversas barras e correntes nos diversos ramos para o caso 1. As figuras 10.A, 10.B ilustram as formas de onda de tensão, as figuras 10.C, 10.D e 10.E as de corrente. A figura 10.F ilustra os harmônicos de corrente do ramo 1,2 (ou 13,1) e a figura 10.G mostra a recomposição da corrente partindo dos harmônicos calculados. A tabela 1 mostra o ângulo de fase dos harmônicos $FI(N)$ e o valor eficaz dos mesmos ($CEF(N)$). Nota-se que para a componente fundamental o ângulo de fase é de $40,5^\circ$ (positivo) ou seja, adiantada da tensão fundamental e portanto, com característica capacitiva.

CASO 2 - Figura 9 com $L_d = 300 \text{ mH}$

As figuras de 11.A até 11.G ilustram os resultados de tensão nas diversas barras e corrente nos diversos ramos para o caso 2. As figuras 11.A e 11.B ilustram as formas de onda de tensão e as figuras 11.C, 11.D e 11.E as de corrente. A figura 11.F ilustra os harmônicos de corrente no ramo 1,2 (ou 13,1) e a figura 11.G mostra a mesma forma de onda obtida a partir da recomposição dos harmônicos. A tabela 2 mostra o valor eficaz dos harmônicos ($CEF(N)$) e o ângulo de fase ($FI(N)$). Também neste caso, o ângulo de fase entre a componente fundamental da corrente e a tensão mostra-se adiantado em $45,4^\circ$, o que confirma a sua característica capacitiva.

Nos dois casos, o ângulo de início da condução do tiris tor principal (T_1) no semiciclo positivo é de 10° ($\alpha = 10^\circ$) e o ângulo de bloqueio do mesmo no semiciclo positivo é de 50° , o que e quivale a $\beta = 130^\circ$. Para T_2 ídem porém, no semiciclo negativo.

Ao comparar os resultados obtidos em simulação do caso 1 com as fotografias apresentadas no Anexo 1 pode-se avaliar a validade do modelo digital desenvolvido.

4.2. MEDIÇÕES EFETUADAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para o protótipo desenvolvido mediu-se a potência, corrente e fator de potência e obteve-se os seguintes resultados:

a- $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 120^\circ$

potência - 52 [W]

corrente - 0,88 [A]

FP = 0,73 (capacitivo)

b- $\alpha = 36^\circ$ $\beta = 36^\circ$

potência - 100 [W]

corrente - 0,88 [A]

FP = 0,97 (indutivo)

ou seja, como concluído no Capítulo IV (vide figura 19 do Capítulo IV) se $\alpha = \beta$ tem-se um fator de potência indutivo e se $\beta > \alpha$ tem-se o fator de potência capacitivo.

Os equipamentos utilizados durante as medições foram:

- Osciloscópio

Trio, modelo CS7577A - Procedência: Japão;

escalas utilizadas: 1 a 10 V/divisão ;

2 canais;

sensibilidade 0,4 mV/divisão.

- Wattímetro

Weston, CA/CC, modelo 310 - Procedência: EUA;

escalas utilizadas: 200 V , 5 A ;

precisão nominal 0,25%.

- Amperímetro

Weston, CA/CC, modelo 370 - Procedência: EUA

escala utilizada: 2,5 A ;

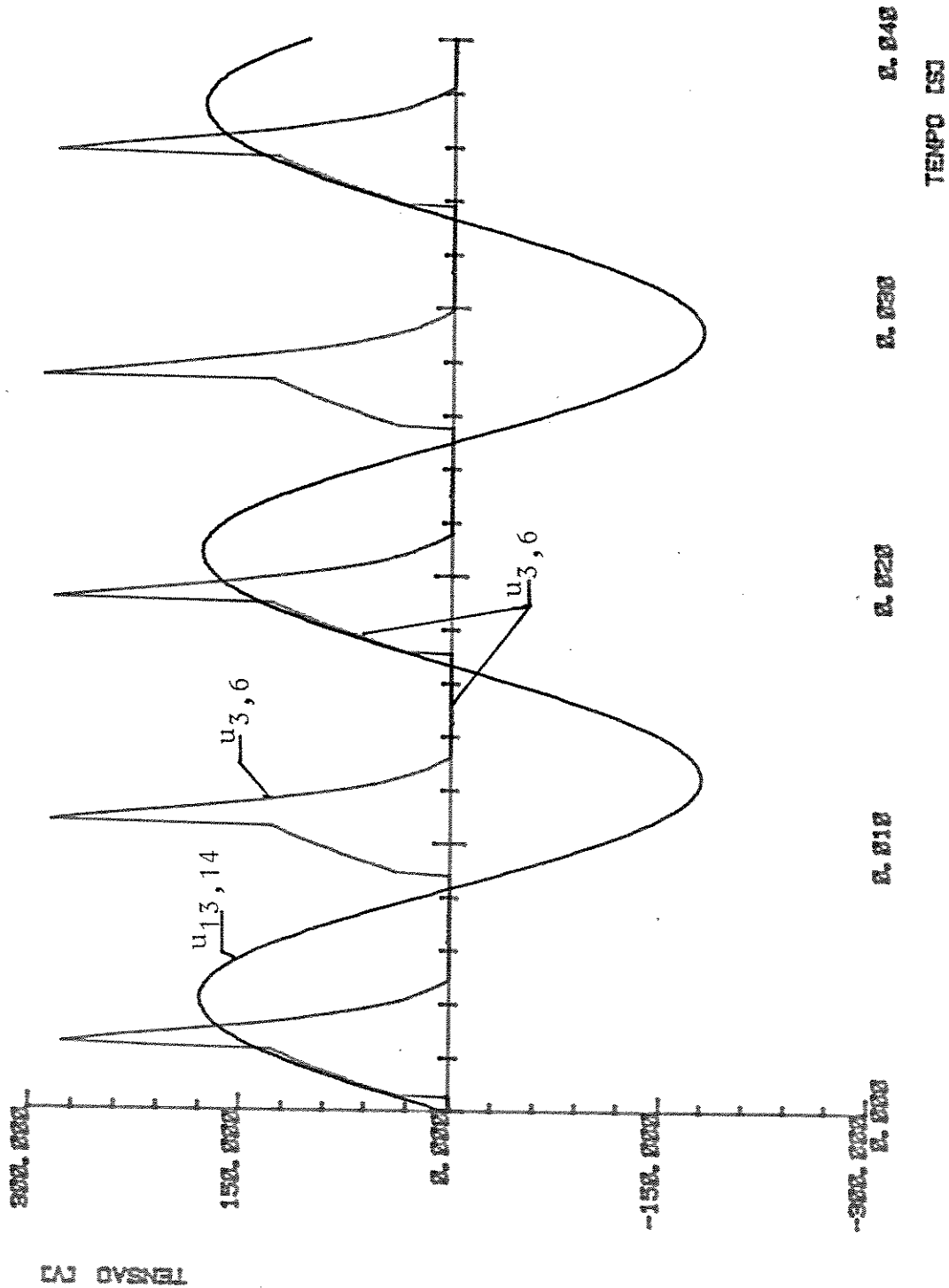
precisão nominal 0,25% .

- Medidor de fator de potência

Hartmann Braun, modelo COS 1 - Procedência: Brasil

escalas utilizadas: 0,4 a 1 indutivo e 0,4 a 1 capacitivo(240 V
5 A);

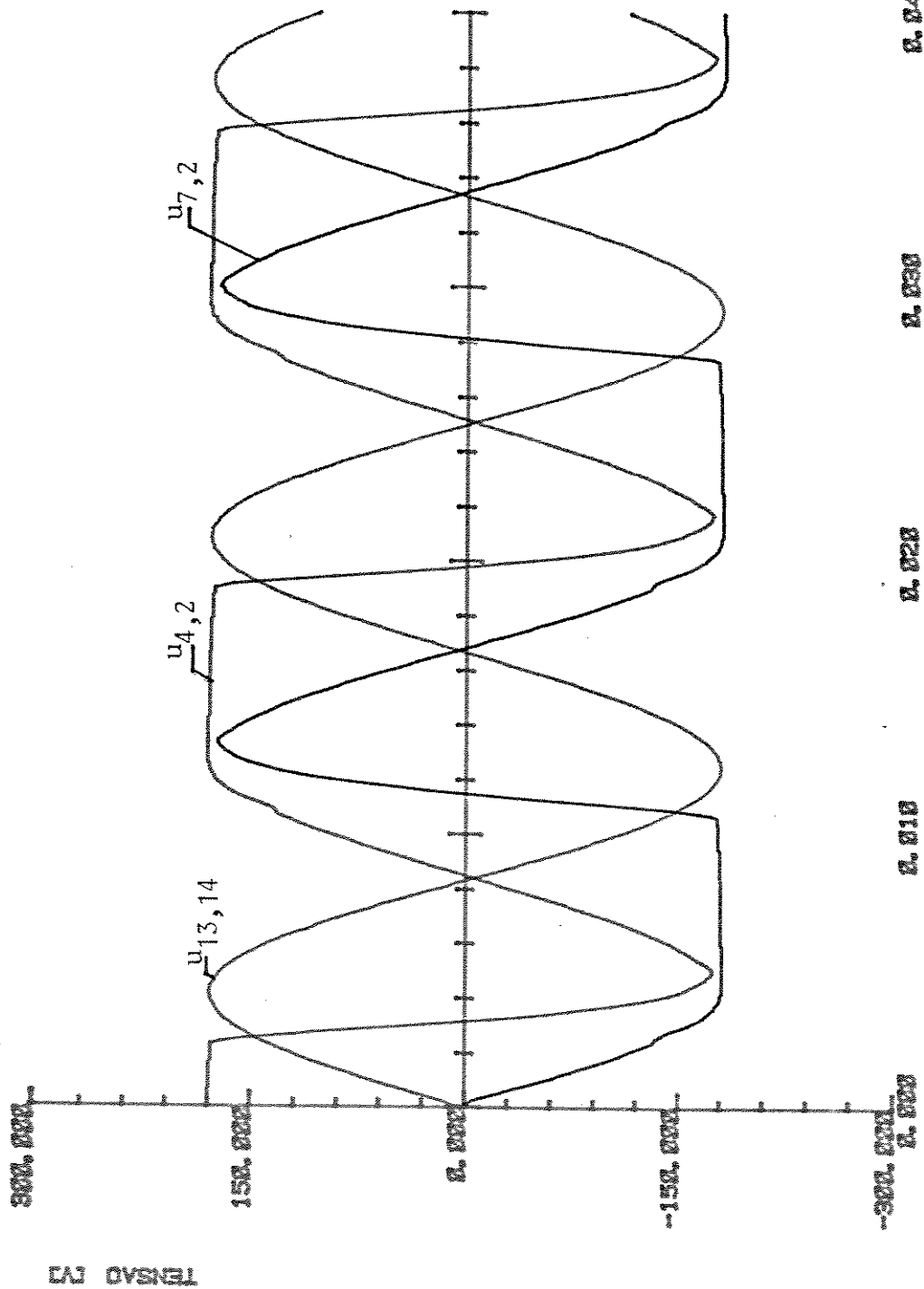
precisão nominal 1%.



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 3-0
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 13-14

FIG. Nº 10.A

DATA 25/08/88	JOAQ ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 22	
$L_d = 50 \text{ mH}$	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 4-2
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 7-2
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 13-14

FIG. No 10.B

DATA 25/08/98	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 22 $L_d = 50 \text{ mH}$	

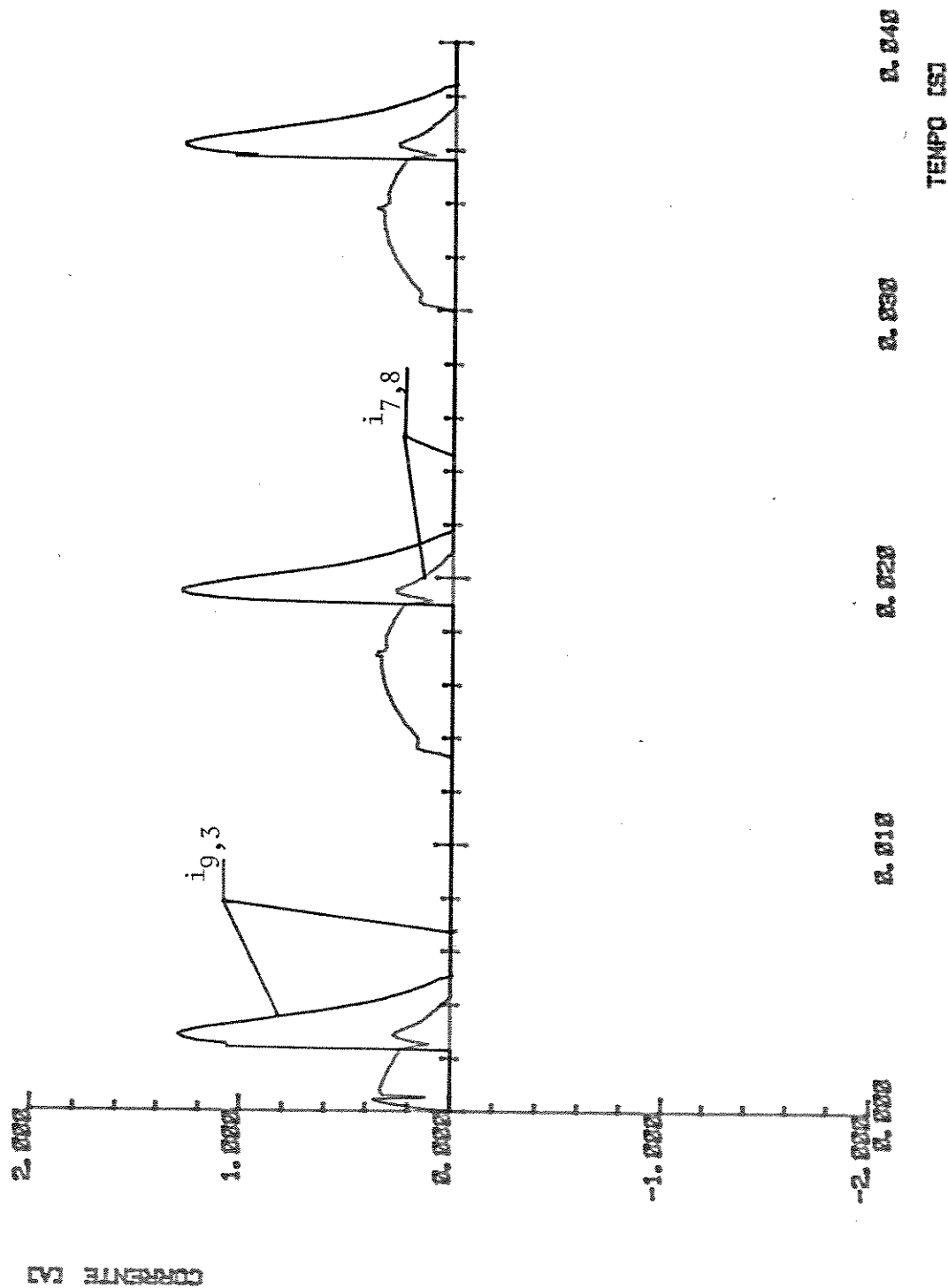
Fig. No 10.C

ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. ØØ	—	CORRENTE RAMO 13-1
1: 1. ØØ	—	CORRENTE RAMO 3-5

OBSERVACÕES

Caso en estudio. Caso 22

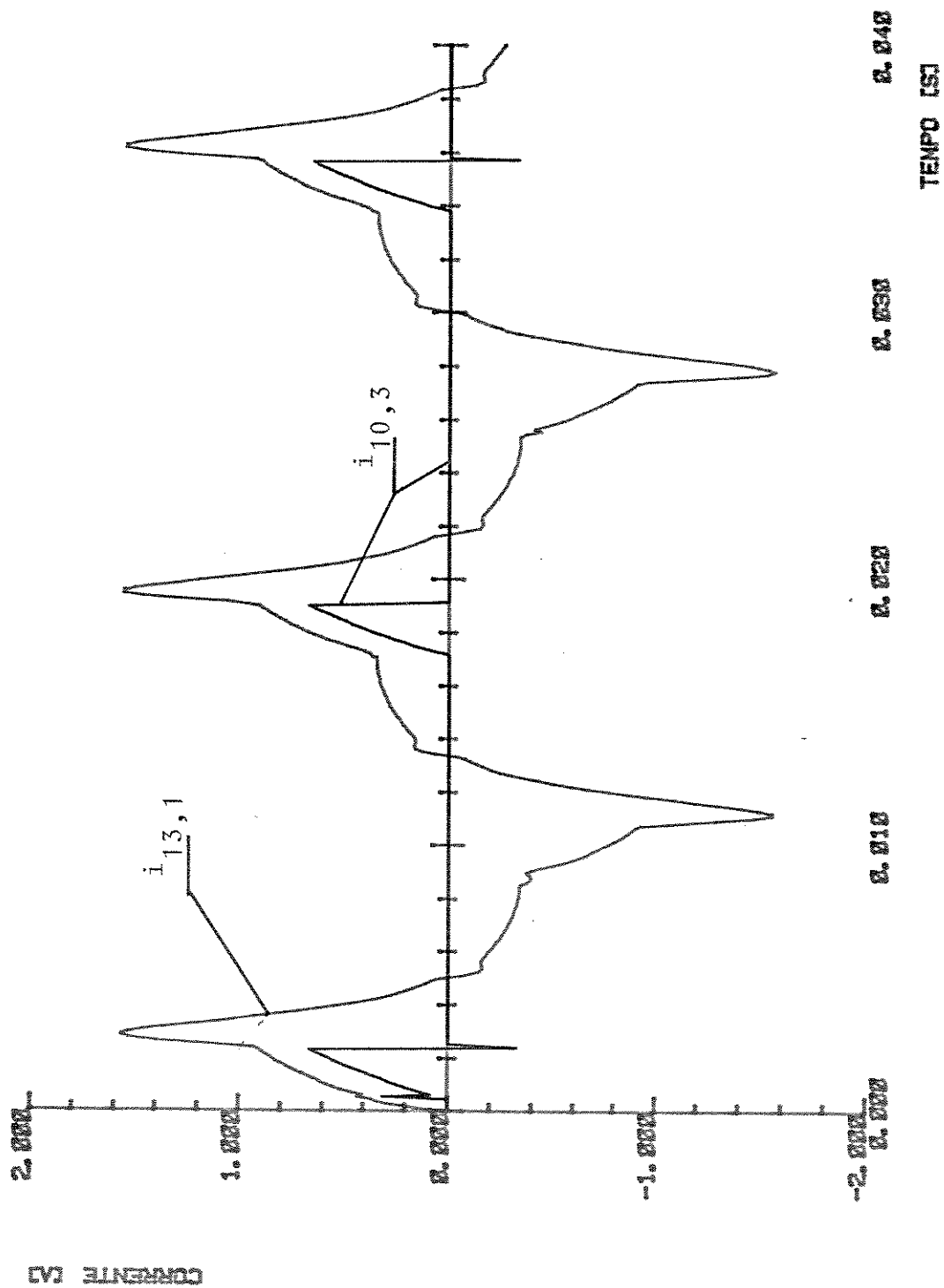
HW 05 = PT



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 7-8
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 8-9

FIG. No 10.D

DATA 25/08/88	JDAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO, CASO 22 $L_d = 50 \text{ mH}$	



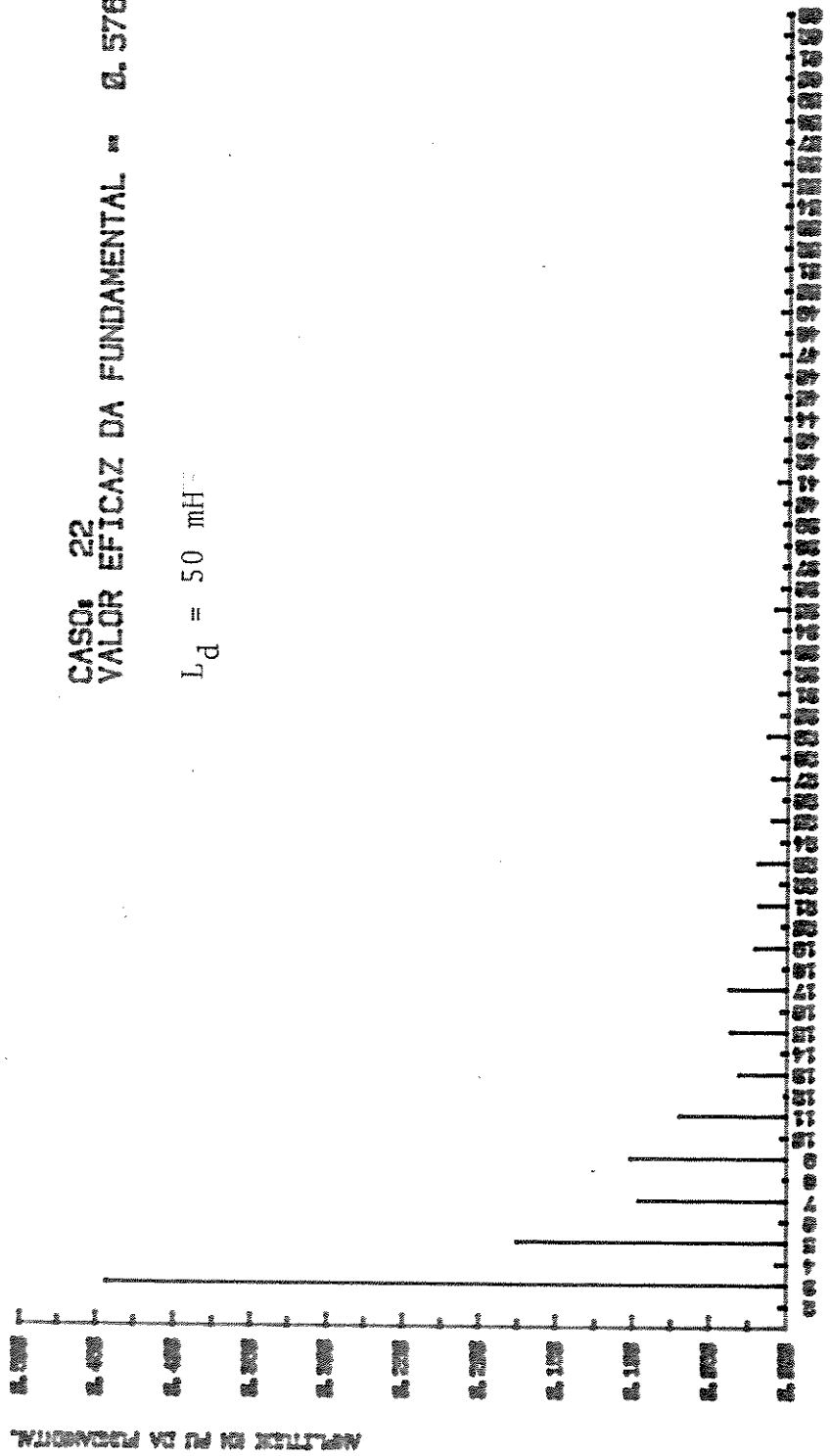
ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	CORRENTE RAMO 13-1
1: 1. 00	—	CORRENTE RAMO 10-3

FIG. Nº 10.E

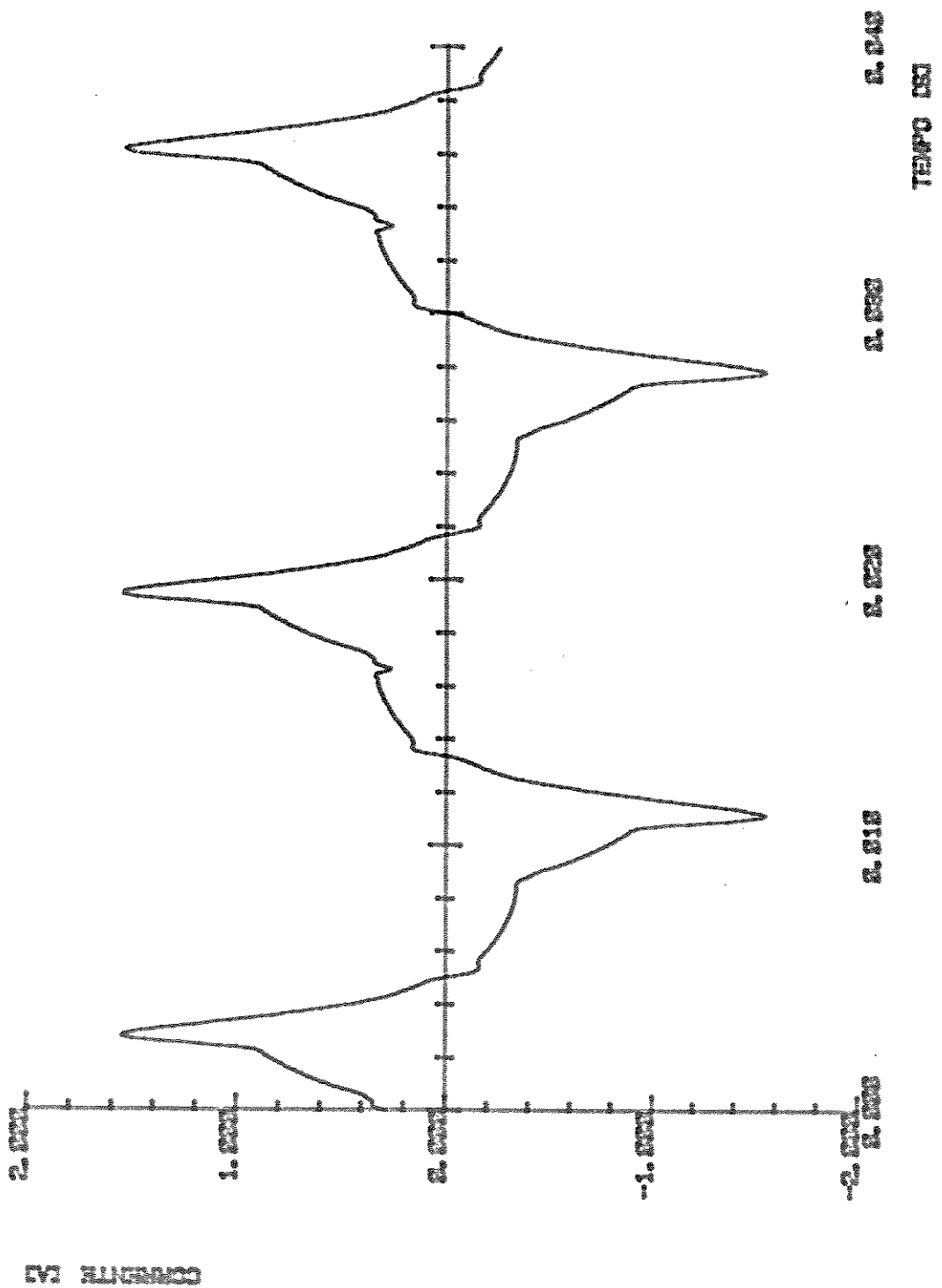
DATA 25/06/88	JOAD ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 22 $L_d = 50 \text{ mH}$	

CASO: 22
VALOR EFICAZ DA FUNDAMENTAL = 0.576

$P_T = 50 \text{ mH}$



ORDEN DO HARMONICO



ESCALA DO EIXO Y	Tipo e cor da linha	Designação da curva
1:1.00	—	CORRENTE NO RAMO 1-2

FIG. No 10 G

DATA	JOAO ROBERTO COGO
01/07/88	
OBSERVAÇÕES:	
CURVA OBTIDA COM O SONATONIC	
DOS OS PRIMEIROS INCREMENTOS	
DA CORRENTE DE LUBR	
(L _d = 50 mH)	

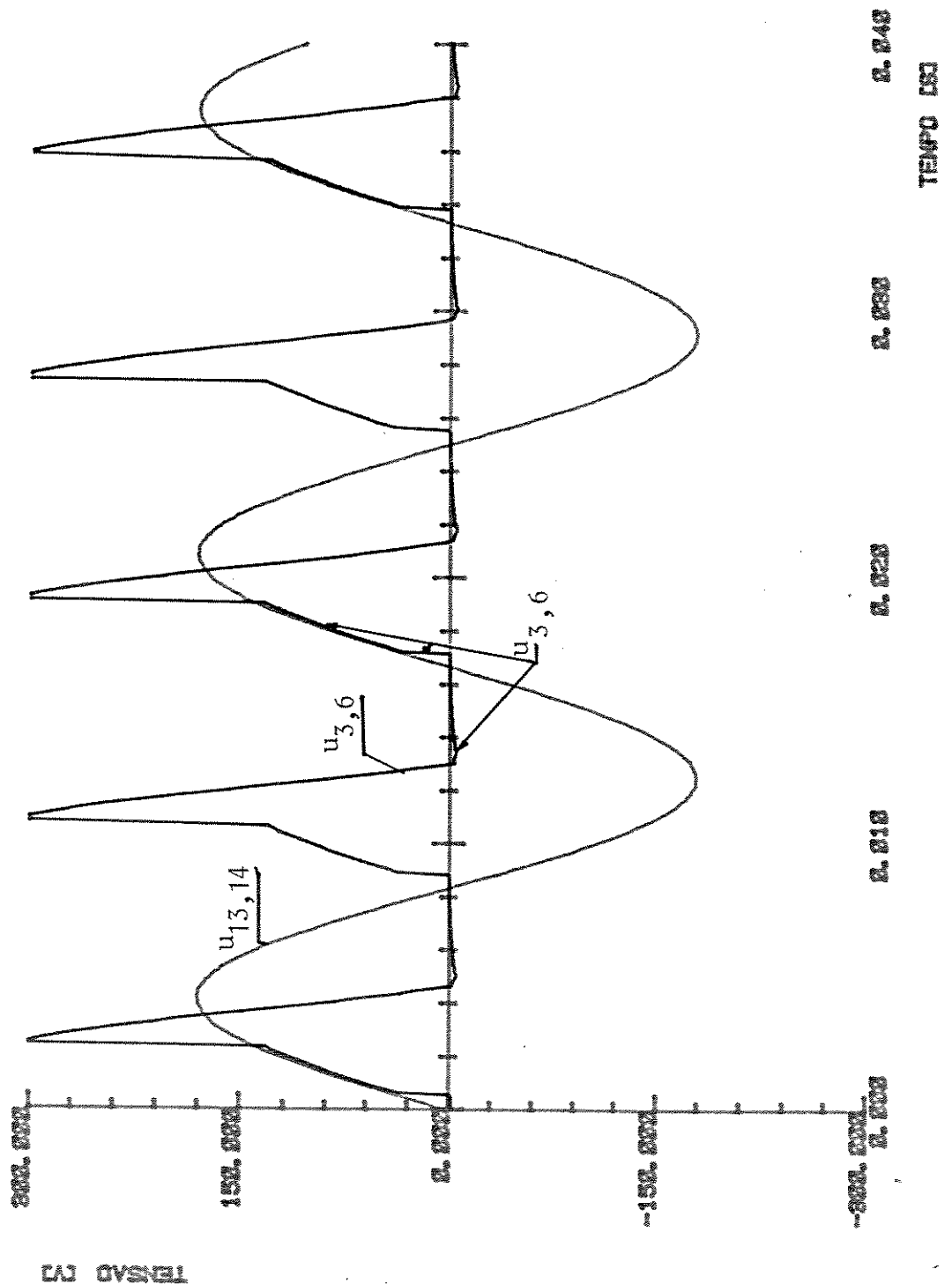
TABELA 1

CASO 1

N	CEF(N)	FI(N)
0	-.002	.0
1	.576	40.5
2	.002	235.8
3	.255	184.4
4	.004	202.0
5	.101	-43.7
6	.002	-83.1
7	.055	99.4
8	.001	139.7
9	.058	216.1
10	.002	195.7
11	.040	-22.1
12	.001	-69.3
13	.018	94.7
14	.001	116.4
15	.021	185.9
16	.002	155.0
17	.021	-42.5
18	.001	195.0
19	.012	88.9
20	.002	128.4
21	.010	155.4
22	.002	155.7
23	.011	-83.1
24	.002	185.7
25	.006	69.9
26	.001	143.1
27	.005	130.1
28	.002	156.6
29	.007	236.2
30	.002	177.9
31	.003	36.6
32	.001	162.0
33	.002	94.7
34	.002	163.9
35	.005	183.3
36	.002	165.1
37	.002	-14.0
38	.001	190.9
39	.002	107.4
40	.002	165.3
41	.004	140.0
42	.002	155.1
43	.001	208.1
44	.001	189.6
45	.001	132.2
46	.001	153.9
47	.003	129.1
48	.001	138.7
49	.003	184.7
50	.001	167.2
51	.002	175.9
52	.001	139.3
53	.001	129.2
54	.001	133.2
55	.003	173.4
56	.002	147.4
57	.001	185.0

58	.002	138.0
59	.001	184.2
60	.001	153.4
61	.002	137.5
62	.002	137.3
63	.001	174.4

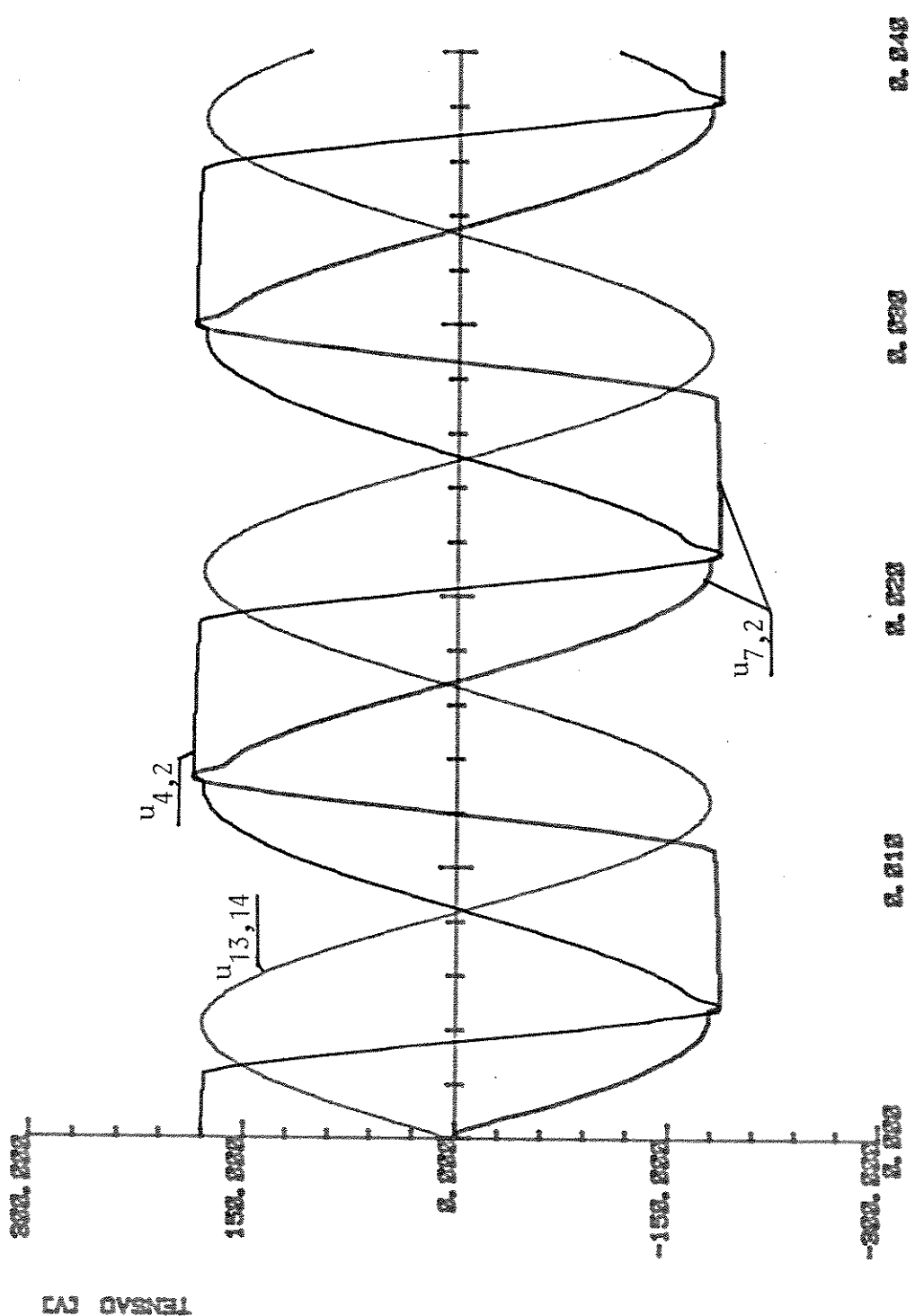
VALOR EFICAZ CALCULADO PELOS HARMONICOS = .645684
 VALOR EFICAZ CALCULADO PELA INTEGRAL = .645504



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 13-14
1:1.00	—	TENSÃO BARRAS 3-6

FIG. No 11.A

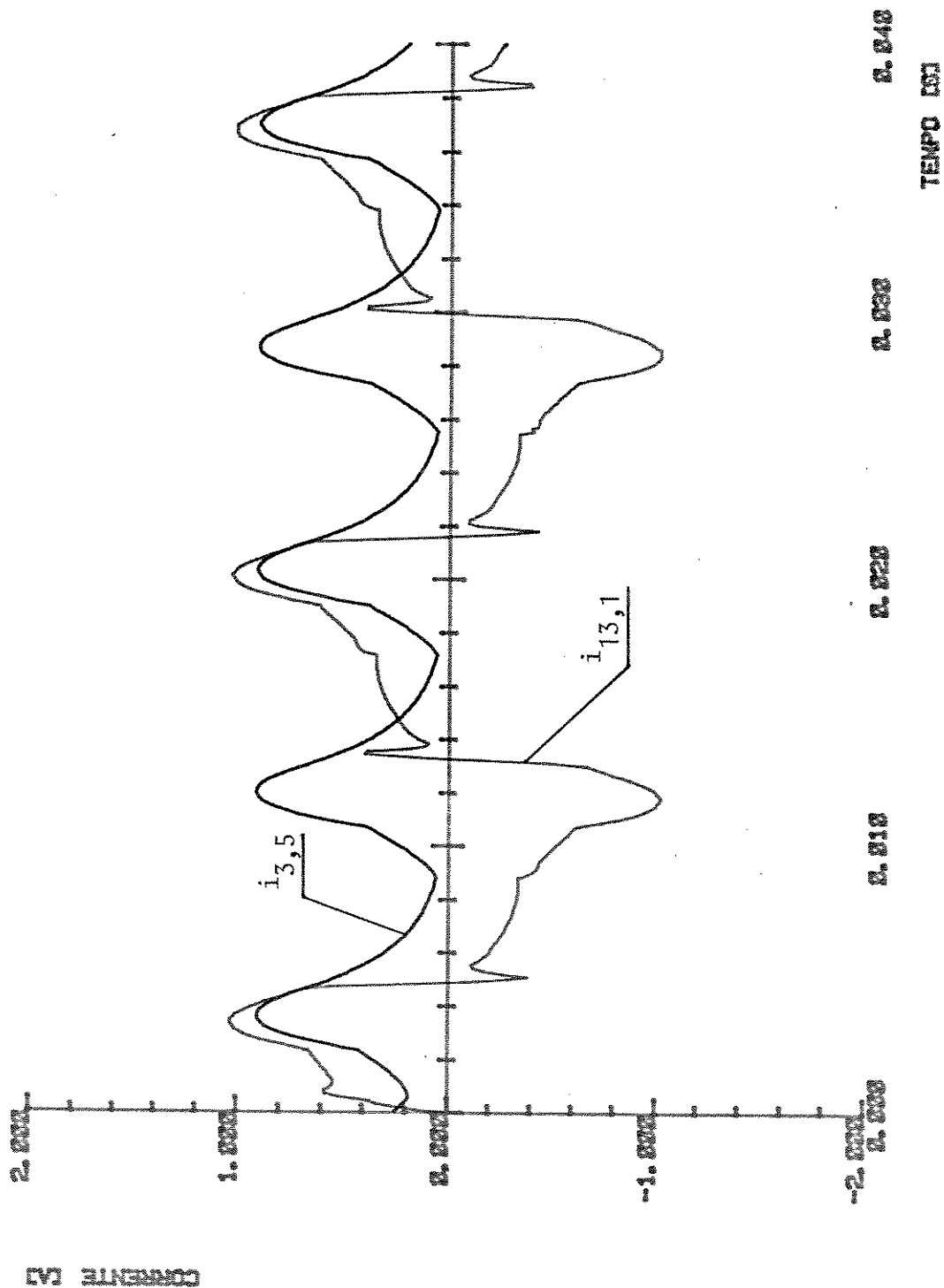
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 22 $L_d = 300 \text{ mH}$	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNAÇÃO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 13-14
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 4-2
1: 1. 00	—	TENSÃO BARRAS 7-2

FIG. No 11.R

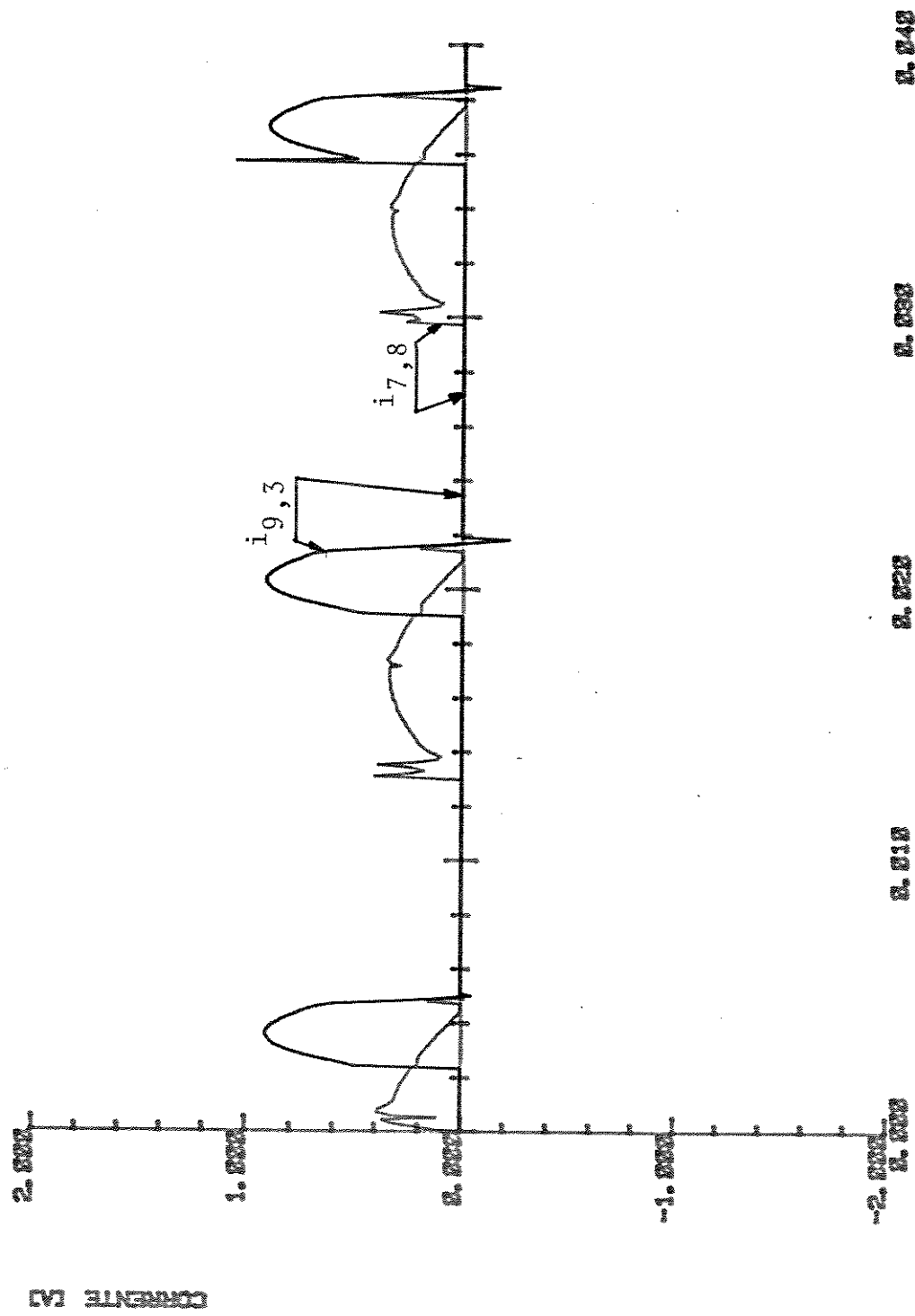
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVAÇÕES: CASO EM ESTUDO: CASO 22 $L_d = 300 \text{ mH}$	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	CORRENTE RAMO 13-1
1: 1. 00	—	CORRENTE RAMO 3-5

FIG. No 11.C

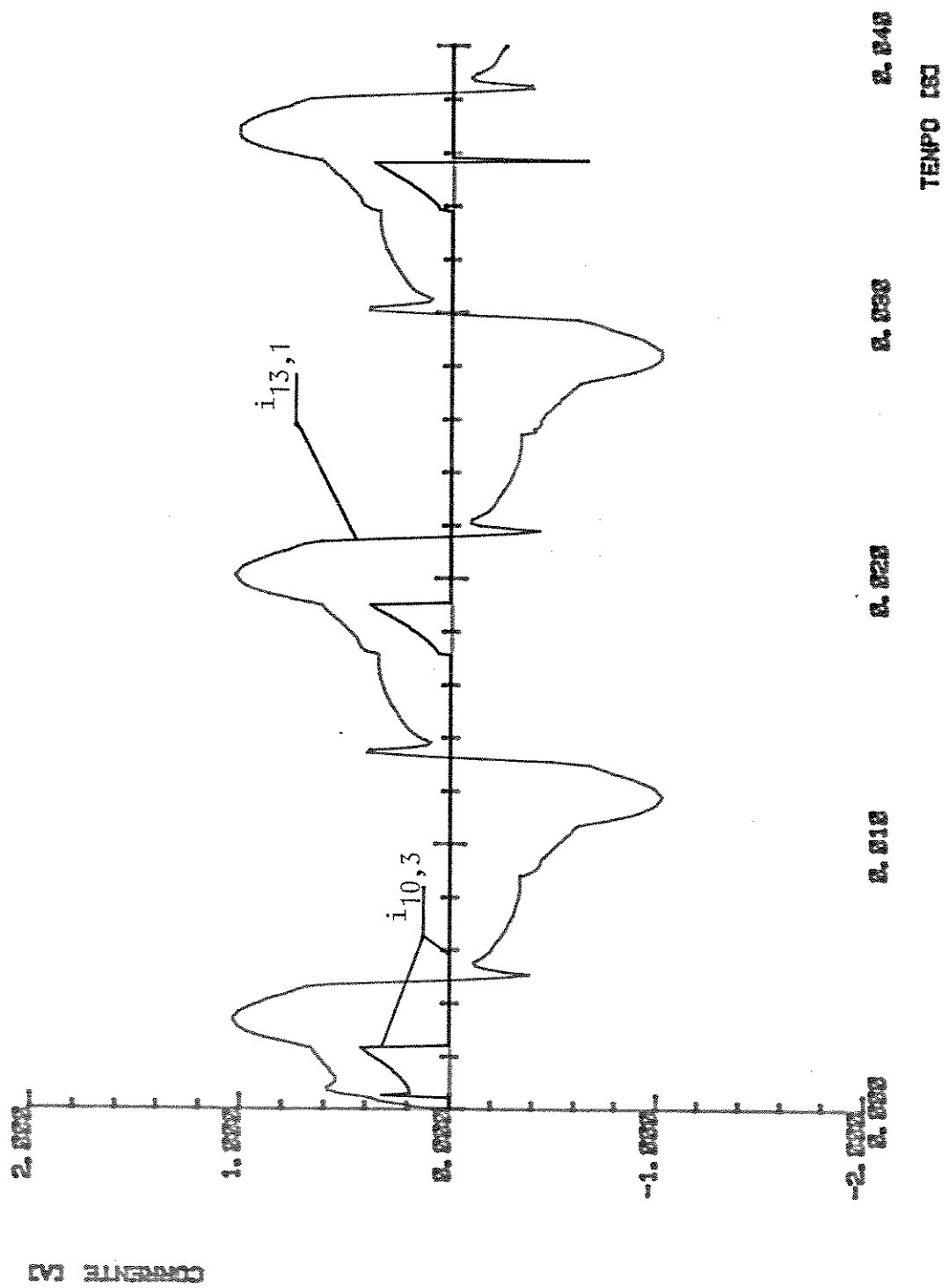
DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CAMO EM ESTUDO: CAMO 22 $L_d = 300 \text{ mH}$	



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 7-8
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 9-3

FIG. No 11.0

DATA 25/08/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO, CASO 22 $L_d = 300 \text{ mH}$	



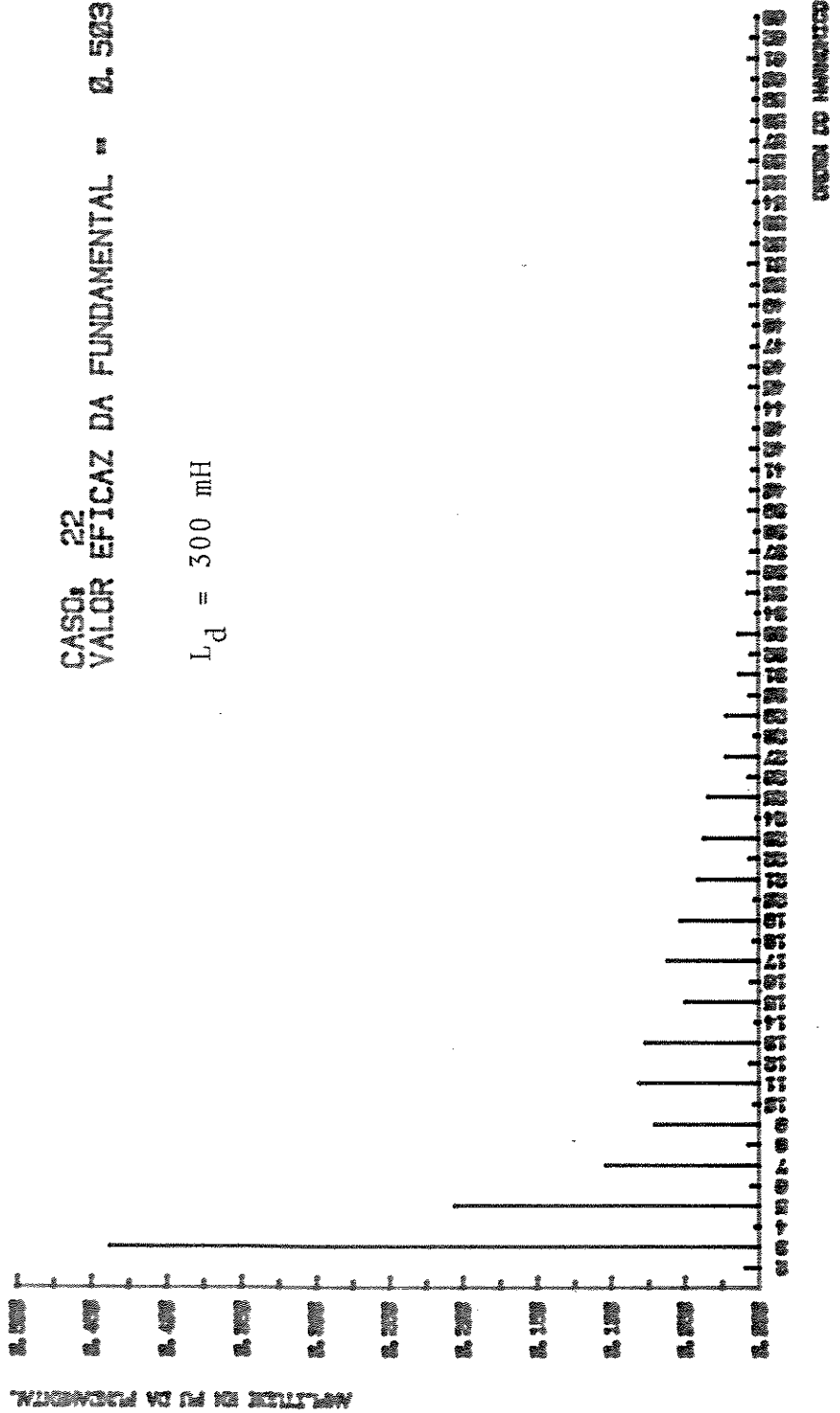
ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 13-1
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 10-3

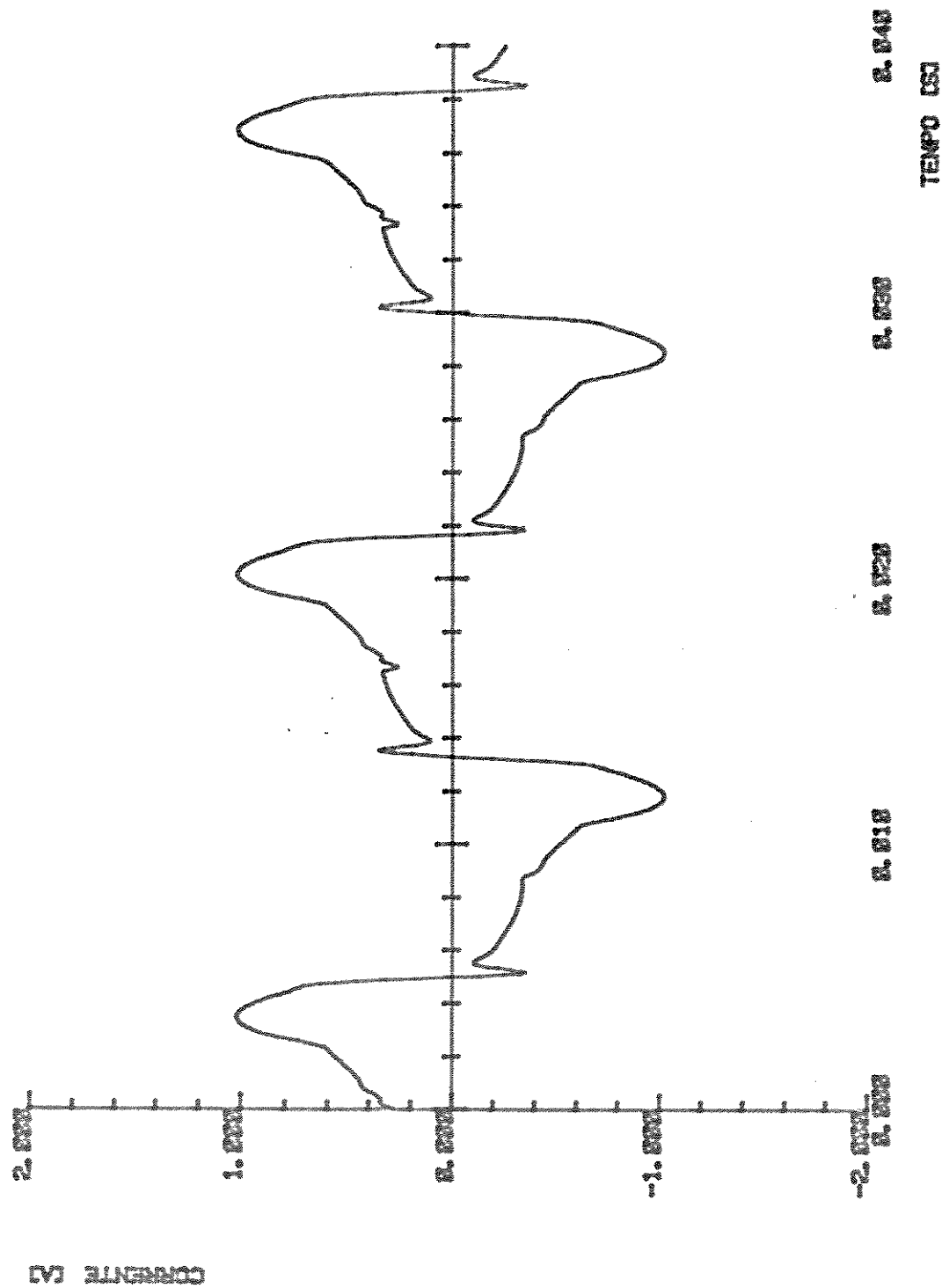
FIG. No 11.E

DATA 25/00/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 02	
L _D = 300 mH	

CASO: 22
VALOR EFICAZ DA FUNDAMENTAL = 0.503

$L_T = 300 \text{ mH}$





ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1:1.00	—	CORRENTE NO RAMO 1-2

FIG. No 11.6

DATA 01/07/88	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CURVA OBTIDA COM O SONATORIO DOS 08 PRIMEIROS MAGNETICOS DA CORRENTE DE LINHA DO CASO 22 (L _d =300ml)	

TABELA 2

N	CEF(N)	FI(N)
0	.000	.0
1	.503	45.4
2	.005	197.4
3	.220	222.8
4	.001	106.1
5	.103	44.9
6	.003	256.3
7	.052	238.2
8	.004	141.9
9	.035	130.5
10	.002	-75.3
11	.041	-28.3
12	.003	179.9
13	.039	179.9
14	.001	65.7
15	.025	38.8
16	.003	196.5
17	.031	262.6
18	.002	107.5
19	.027	113.2
20	.001	206.4
21	.020	-30.0
22	.003	137.1
23	.018	194.3
24	.001	231.5
25	.017	51.5
26	.003	168.1
27	.011	256.2
28	.001	104.3
29	.011	131.6
30	.003	206.0
31	.006	-12.8
32	.003	139.7
33	.007	184.0
34	.001	261.6
35	.004	100.3
36	.003	173.2
37	.002	255.1
38	.001	79.2
39	.003	154.1
40	.002	209.9
41	.002	131.0
42	.002	127.8
43	.001	213.7
44	.001	260.5
45	.002	170.0
46	.003	161.0
47	.002	103.2
48	.001	88.1
49	.002	213.4
50	.002	179.1
51	.003	145.2
52	.002	132.2
53	.001	37.8
54	.001	147.9
55	.003	184.0
56	.002	157.5
57	.002	106.0

CASO 2

58	.002	133.1
59	.001	236.7
60	.002	168.7
61	.003	140.1
62	.002	150.3
63	.000	65.0

VALOR EFICAZ CALCULADO PELOS HARMONICOS = .569016
 VALOR EFICAZ CALCULADO PELA INTEGRAL = .568808

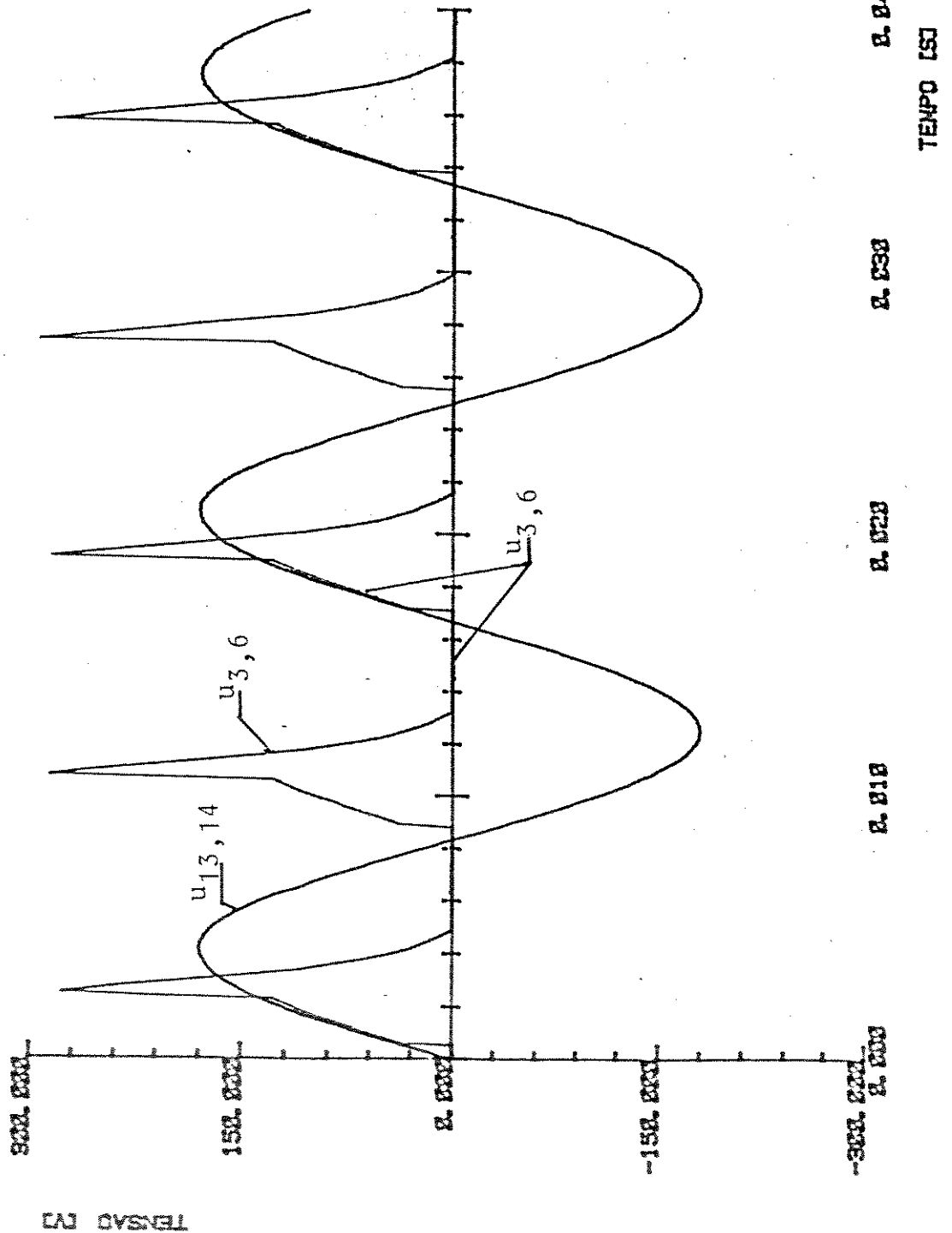
4.3. COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS

Neste ítem apresenta-se a comparação entre as formas de onda obtidas por fotografias e aquelas obtidas através de simulação. Assim, repete-se aqui, por conveniência, as figuras 10A , 10B e 11C e as fotografias 32, 34 e 35 (tabela 1 do anexo 1).

Faz-se neste ítem uma nova numeração tanto para as figuras como para as fotografias com a finalidade de facilitar as comparações.

As comparações entre as formas de onda devem ser as seguintes:

- simulação da figura 12 com fotografia da figura 13;
- simulação da figura 14 com fotografia da figura 15;
- simulação da figura 16 com fotografia da figura 17.



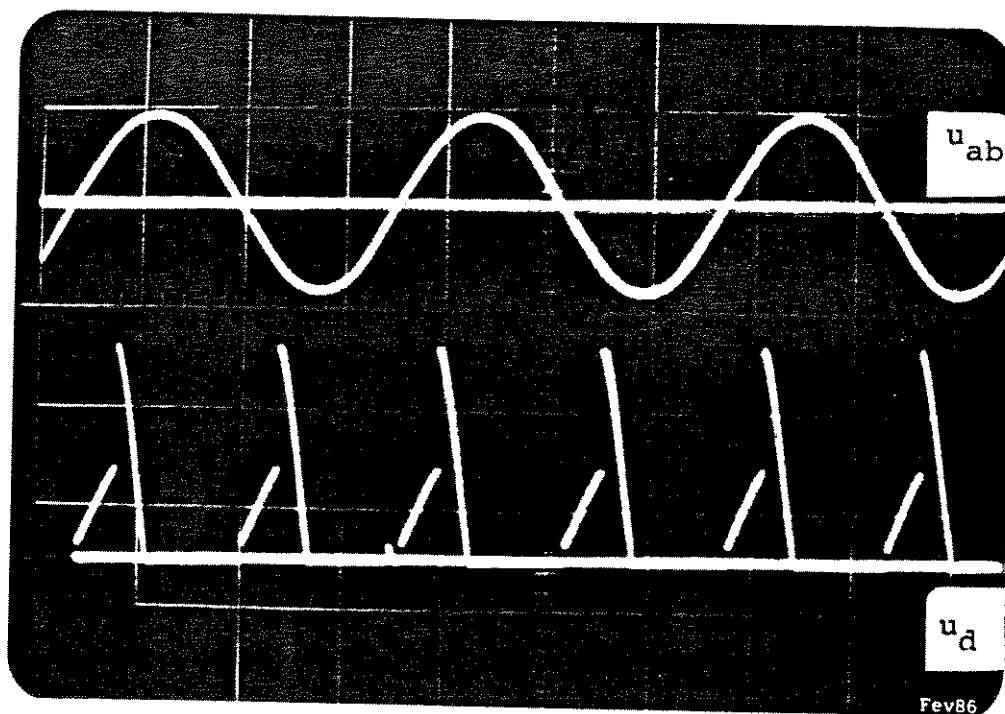


FIGURA 13: FOTOGRAFIA CORRESPONDENTE A TENSÃO DA FONTE E A CORRENTE NOS TERMINAIS DA PONTE CONVERSORA.

$$u_{ab} \equiv u_{13, 14}$$

$$u_d \equiv u_{3, 6}$$

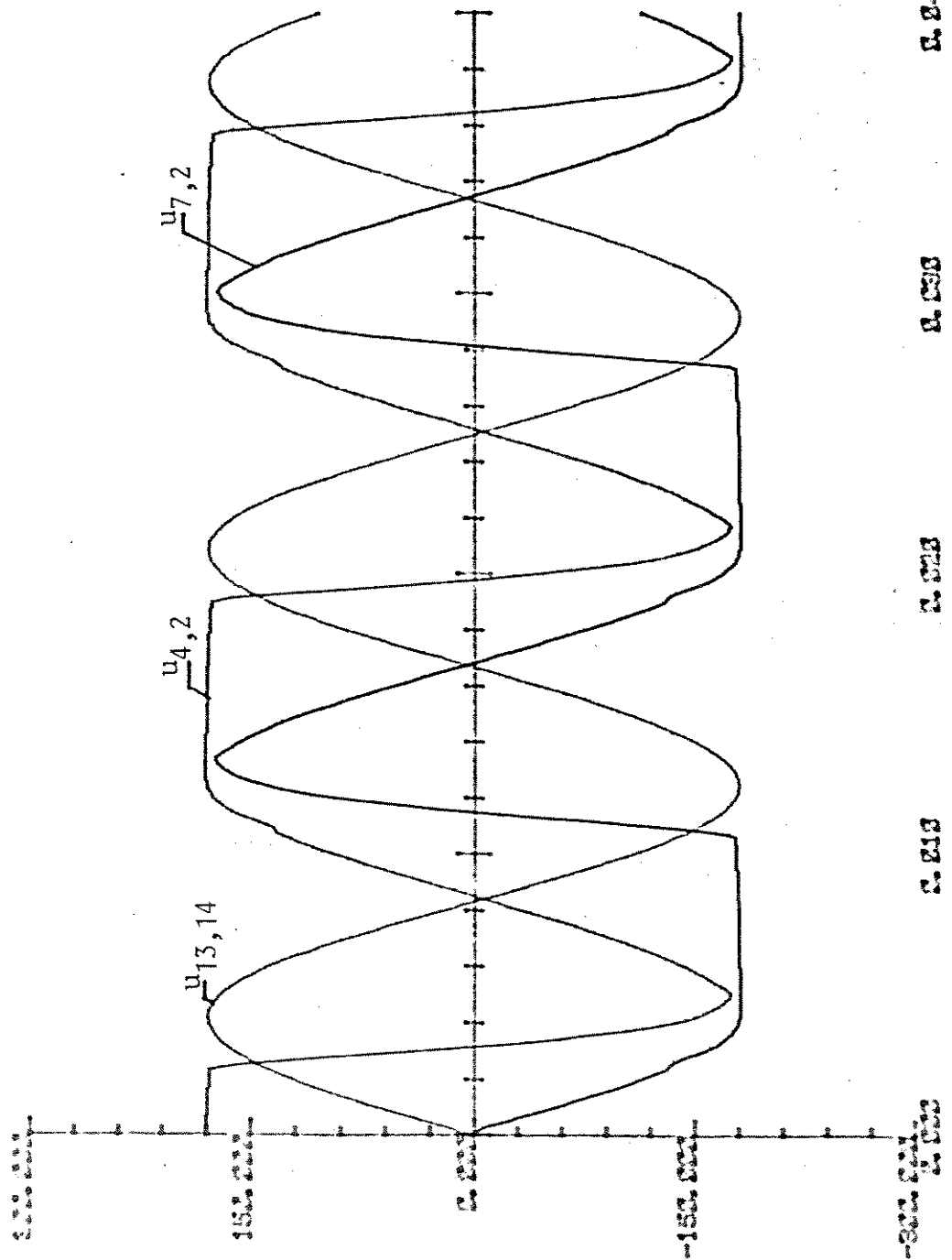


FIG. No 14

ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1. 00	—	TENSAO BARRAS 4-2
1: 1. 00	—	TENSAO BARRAS 7-2
1: 1. 00	—	TENSAO BARRAS 13-14

DATA 25/08/80	JOAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO. CASO 22	

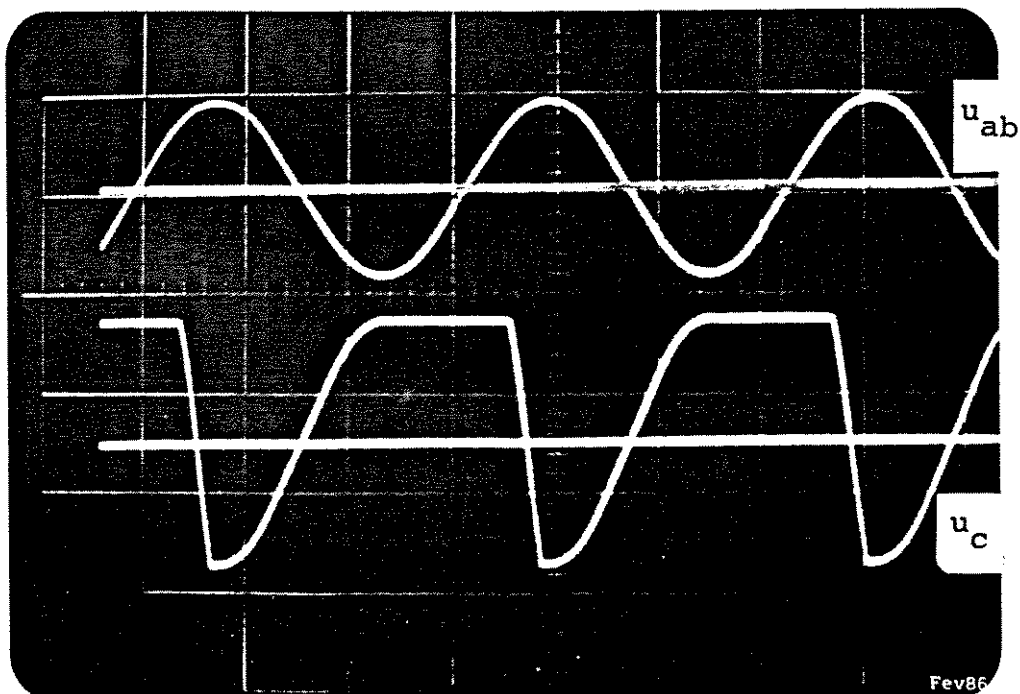
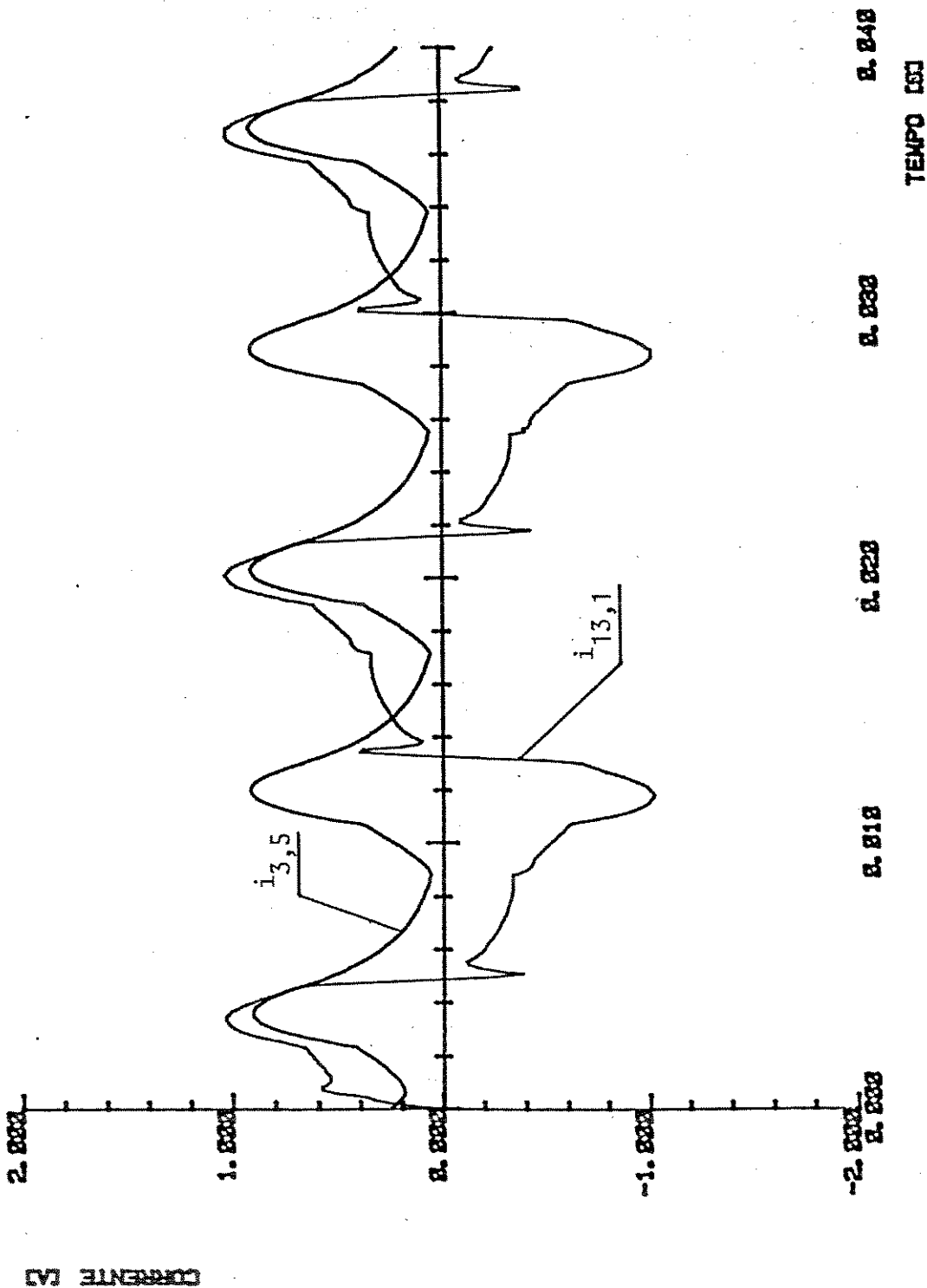


FIGURA 15: FOTOGRAFIA CORRESPONDENTE A TENSÃO DA FONTE E A TENSÃO NOS TERMINAIS DO CAPACITOR.

$$u_{ab} \equiv u_{13, 14}$$

$$u_c \equiv u_{4, 2}$$



ESCALA DO EIXO Y	TIPO E COR DA LINHA	DESIGNACAO DA CURVA
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 13-1
1: 1.00	—	CORRENTE RAMO 3-5

FIG. No 16

DATA 25/08/88	JDAO ROBERTO COGO
OBSERVACOES: CASO EM ESTUDO: CASO 22	

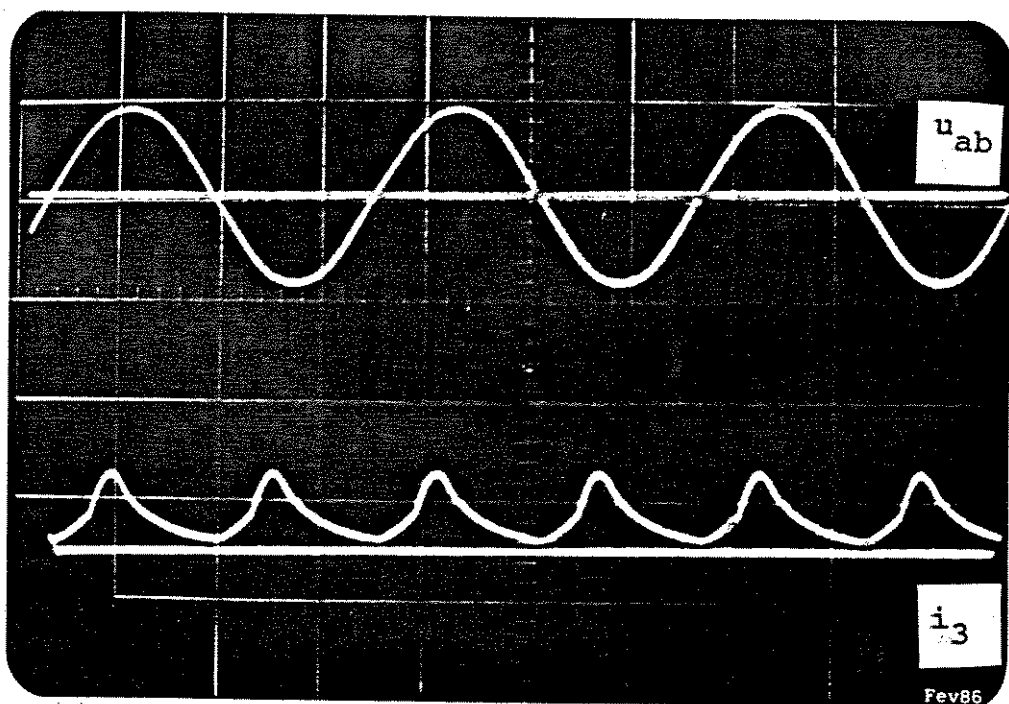


FIGURA 17: FOTOGRAFIA CORRESPONDENTE A TENSÃO DA FONTE E A CORRENTE NA CARGA.

u_{ab} (TENSÃO DA FONTE) $\equiv u_{13, 14}$

$i_3 \equiv i_{3, 5}$

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Durante a elaboração deste trabalho, procurou-se desenvolver um sistema que torne possível efetuar, em pontes conversoras monofásicas, o controle do ângulo de defasagem entre os componentes fundamentais da corrente e da tensão de entrada, de modo que a mesma se apresente à rede de suprimento de energia, com características capacitivas. Normalmente, a literatura técnica apresenta um tipo de controle, de tal modo que a ponte conversora monofásica se apresente para o sistema elétrico de suprimento de energia, com características indutivas e no máximo com fator de deslocamento unitário.

Se a ponte conversora puder se apresentar à rede de suprimento de energia com características capacitivas, permitirá uma melhor regulação de tensão nos terminais da mesma o que é bastante interessante no caso de sistemas de tração ferroviária que recebem energia elétrica, no pantógrafo, em corrente alternada. Assim sendo pode se ter um maior espaçamento entre as subestações conversoras, que transformam o sistema de suprimento de energia elétrica de trifásico para monofásico, permitindo com isto uma redução do número de estações ao longo do percurso.

Note ainda que, se a ponte conversora, se apresenta com característica capacitiva a rede de suprimento de energia pode-se evitar o fluxo de potência reativa ao longo de cabos e transformadores que afetam o for-

necimento de energia a mesma. Isto é, bastante interessante principalmente no caso de PCH ou eletrificação rural, quando feitos em sistemas monofásicos onde, normalmente, a carga está situada eletricamente longe do local de geração de energia.

Mostrou-se no Capítulo I que as pontes conversoras monofásicas, que propiciam o controle do ângulo de defasagem entre os componentes fundamentais da corrente em relação a tensão, podem ser utilizados em diversas aplicações de acionamentos convencionais.

No Capítulo II destaca-se como ponto importante a confiabilidade e a versatilidade do programa desenvolvido, pois além de simular casos típicos de sistemas com pontes conversoras, pode-se e fetuar simulações de modo a se obter as formas de onda das tensões e correntes em condições de regimes permanente ou transitório ou mesmo em situações não idealizadas.

Verifica-se, a seguir, através de cálculos simples a confiabilidade dos resultados, obtidos no Capítulo II:

- O valor do componente fundamental da corrente na figura 21.C é de $I_1 = 1011,290$ A e os harmônicos que se destacam são os de ordem 5, 7, 11, 13, etc.. Se comparado com a literatura técnica a respeito verifica-se que os valores são compatíveis. A referência [12] indica neste tipo de ponte $I_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = 1013,6058$ A, desprezando-se o efeito de comutação e $I_1 = 1008,0310$ A considerando-se o efeito da comutação apenas devido à indutância do sistema. Logo, fazendo-se a comparação entre estes resultados (1011,290 e 1008,0310) verifica-se a compatibilidade entre os mesmos.

Por outro lado, os casos simulados no Capítulo II mostram que as formas de onda de tensão e/ou corrente são típicas e coincidem com a literatura técnica a respeito.

Além disso, a modelagem de semicondutores usada no Capítulo II mostrou-se simples e eficiente.

No Capítulo III viu-se que é possível, através de uma re inicialização das variáveis, eliminar o problema da instabilidade numérica. Este tipo de problema tem gerado muitas dificuldades em programas digitais que usam esta técnica. A solução apresentada mostrou-se bastante segura e eficiente mesmo no caso clássico de instabilidade numérica mencionado em [19].

No Capítulo IV nota-se as vantagens que o sistema proposto para controle do ângulo de fase possui, pois como pode ser constatado (vide tabela 1 ou figura 20 deste Capítulo) o fator de potência chega a apresentar um valor, numericamente, maior que o caso de controle simétrico por setor apresentado em [26]. Além disso, pode-se ainda verificar que mantendo-se o ângulo de condução da corrente a amplitude dos harmônicos se mantêm, quando $\alpha = \beta$ (fator de deslocamento unitário) ou quando $\alpha < \beta$ (componente fundamental da corrente adiantada em relação ao componente fundamental da tensão).

No Capítulo V o desenvolvimento e montagem do protótipo trouxe a confirmação dos resultados teóricos esperados. A constatação deste fato pode ser feita através da comparação entre as fotografias tiradas do protótipo e as formas de onda obtidas em simulação para o mesmo sistema (vide item 4.3 no final do Capítulo V).

Ainda em relação ao Capítulo V, percebe-se juntamente, com o Anexo I todos os detalhes referentes ao projeto do sistema desenvolvido, desde a definição dos componentes utilizados até a implementação do circuito, o que facilita de sobremaneira o perfeito entendimento do funcionamento global do mesmo. Por outro lado, embora o sistema de controle desenvolvido seja em malha aberta, não existe ne

nhuma dificuldade para se implementar um sistema de regulação para controlar, por exemplo, velocidade, corrente ou temperatura (nas devidas prioridades) da máquina que por ventura a ponte conversora esteja alimentando. Para tanto, basta entrar com o sinal de tensão de saída do sistema de regulação nos amplificadores operacionais (CI 11, 12 e 13) mostrados na figura 7 do Anexo 1.

Para futuros trabalhos propõe-se um desenvolvimento de rotina de esparsidade visando deixar o programa para computador digital, apresentado neste trabalho, mais rápido e ocupando apenas o suficiente em termos de memória com o intuito de poder simular casos com grande número de barras; ou mesmo, casos de onde existam modelos mais elaborados para semicondutores de potência. Já para a parte prática, sugere-se a análise do desempenho de motores de corrente contínua, usando-se o tipo de ponte apresentada neste trabalho, bem como verificar o desempenho de inversores para acionar motores de indução em sistemas rurais supridos por pequenas centrais hidrelétricas, ou ainda aqueles que recebem energia elétrica através de linhas monofásicas rurais.

Além destes pode-se sugerir ainda o uso deste tipo de ponte conversora em sistemas trifásicos com intuito de se verificar quais as vantagens e desvantagens que a mesma possui em relação a ponte convencional trifásica.

A N E X O 1

RESULTADOS PRÁTICOS E PROJETO COMPLETO DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Apresenta-se neste anexo o resultado de todo o sistema montado a nível de laboratório. Este anexo esta subdividido da seguinte forma:

PARTE 1

Conjunto de fotografias mostrando o sistema desenvolvido em diversos ângulos.

PARTE 2

Conjunto de 36 (trinta e seis) fotografias mostrando os resultados de corrente nos diversos ramos e de tensão nos diversos pontos. Na relação das fotografias deve-se tomar como base a figura 1 deste anexo com a finalidade de identificar os sinais que foram monitorados. Todas as fotografias tem como base de referência a tensão da fonte.

PARTE 3

Idem parte 2 porém para um conjunto de 20 (vinte e cinco) fotografias.

PARTE 4

Relação dos materiais utilizados e detalhes relativos ao projeto executivo do sistema desenvolvido.

P A R T E 1

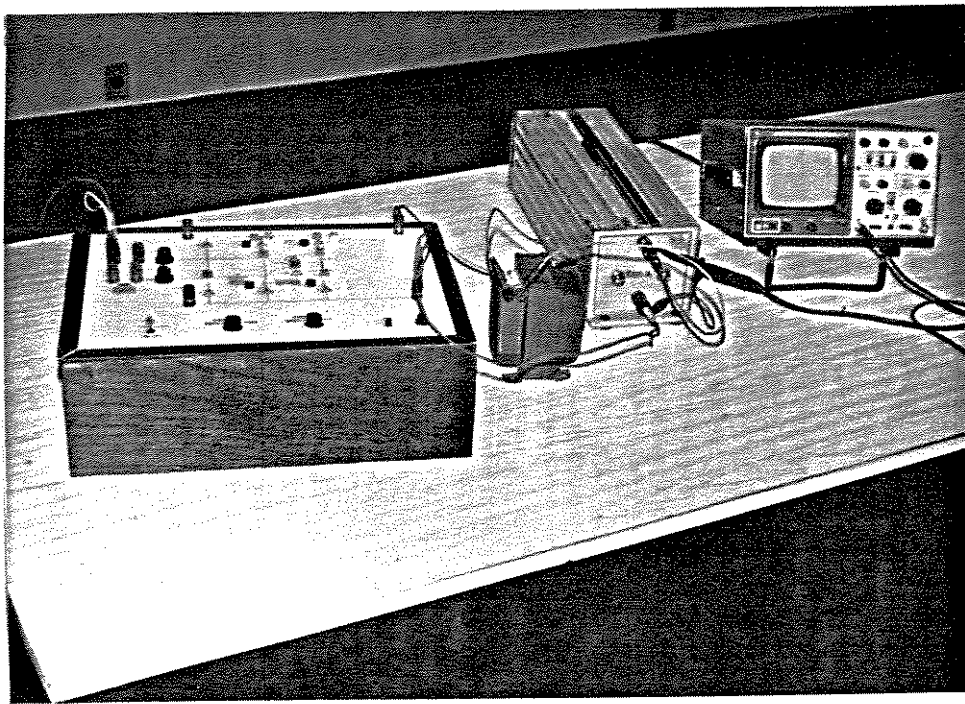


FOTO 1

Vista Geral do
Protótipo Desen-
volvido.

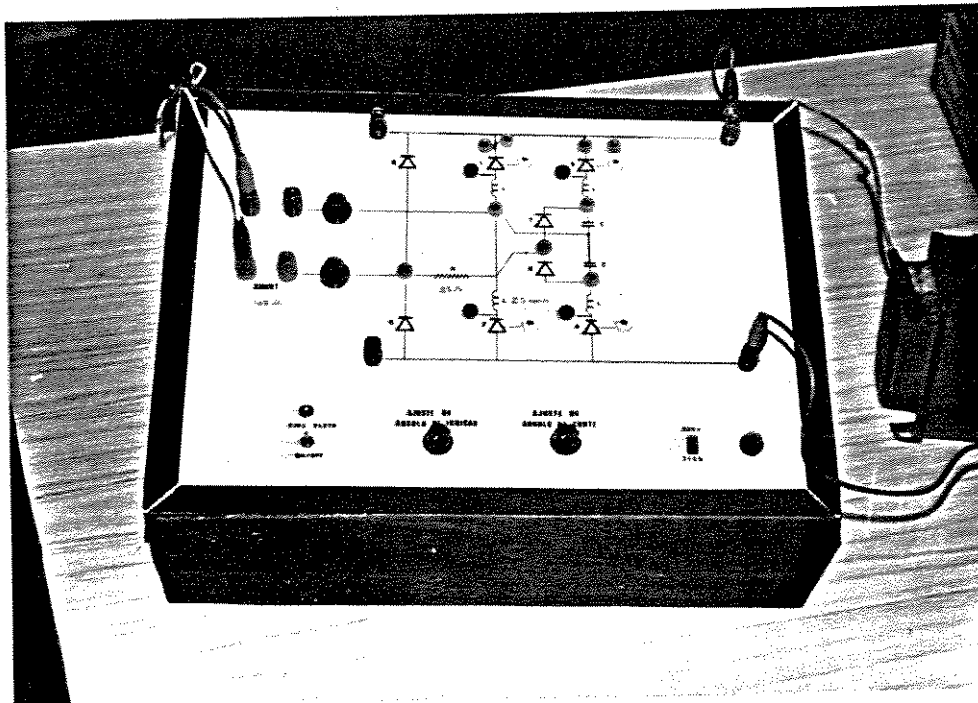


FOTO 2

Detalhe da Par-
te Superior.

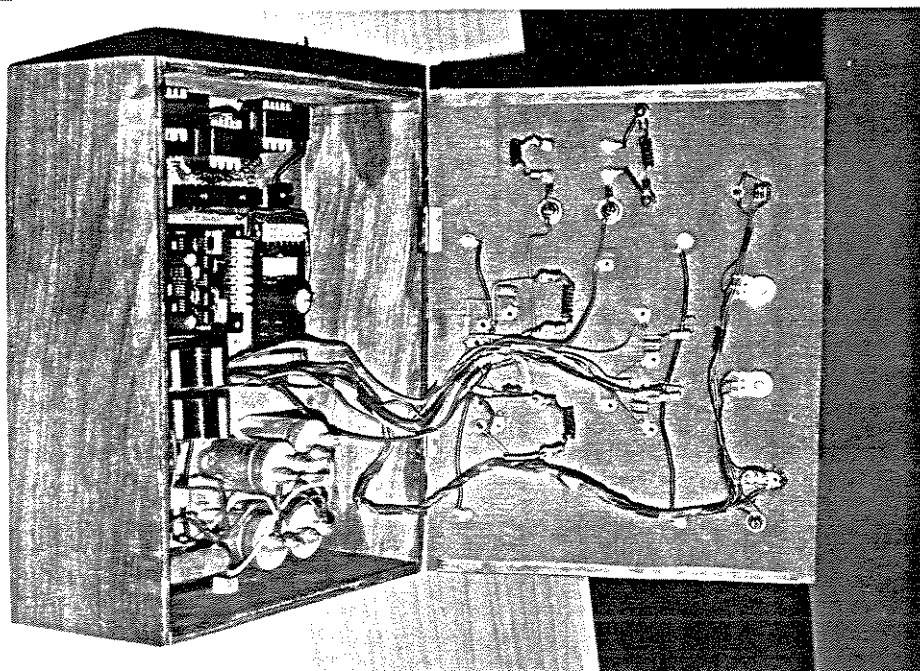


FOTO 3

Vista Geral In-
terna

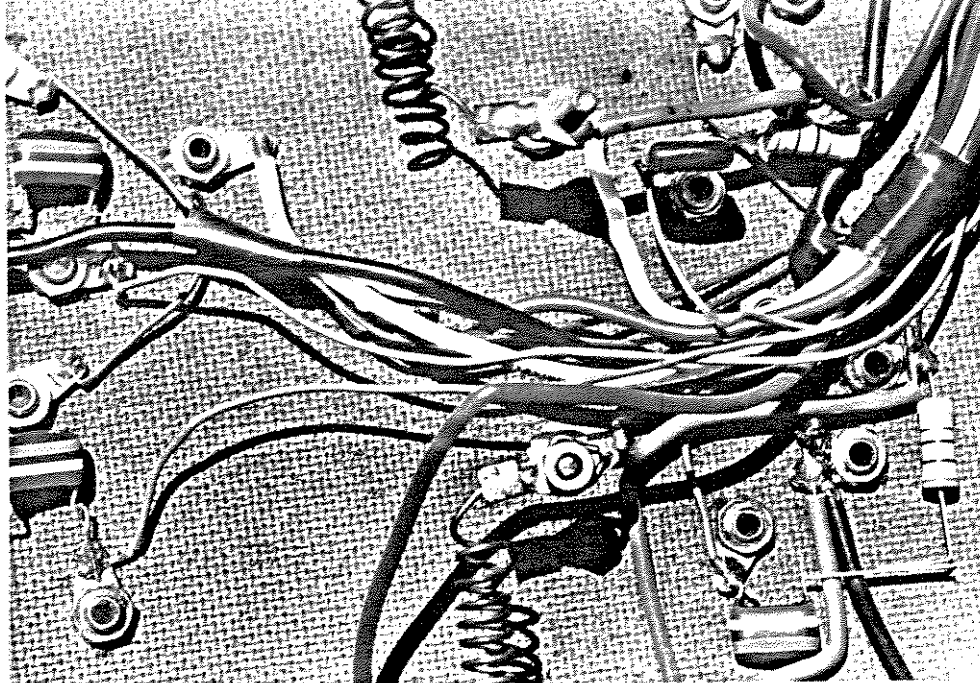


FOTO 4

Fiação e Circuito SNUBBER.

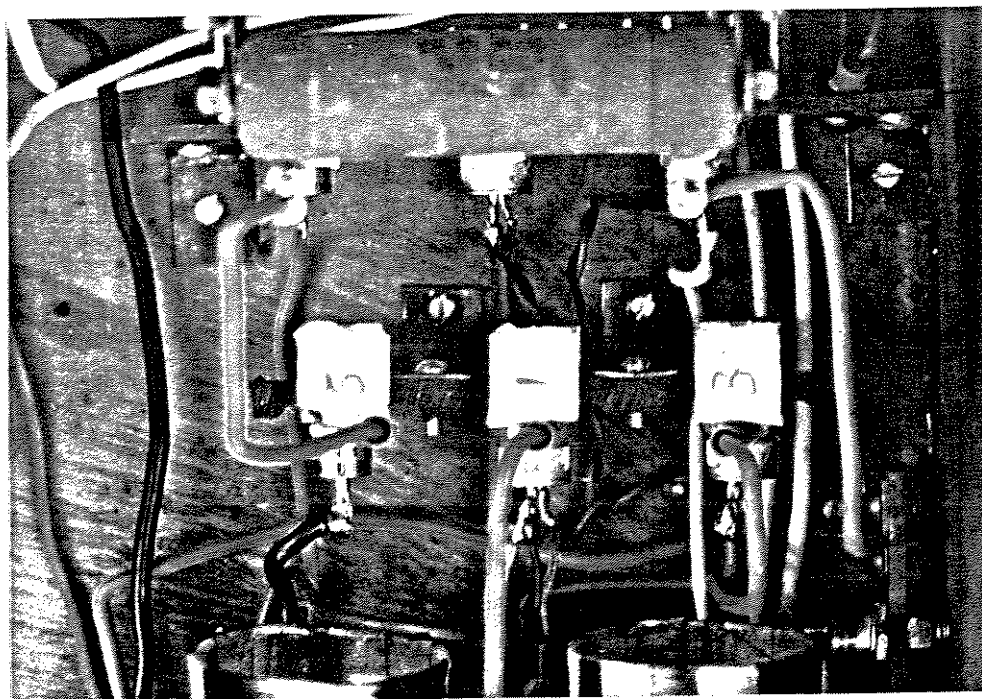


FOTO 5

Vista dos Semicondutores de potência (lado superior da ponte): 1. Tiristor principal ; 3. Tiristor de bloqueio; 5. Diodo.

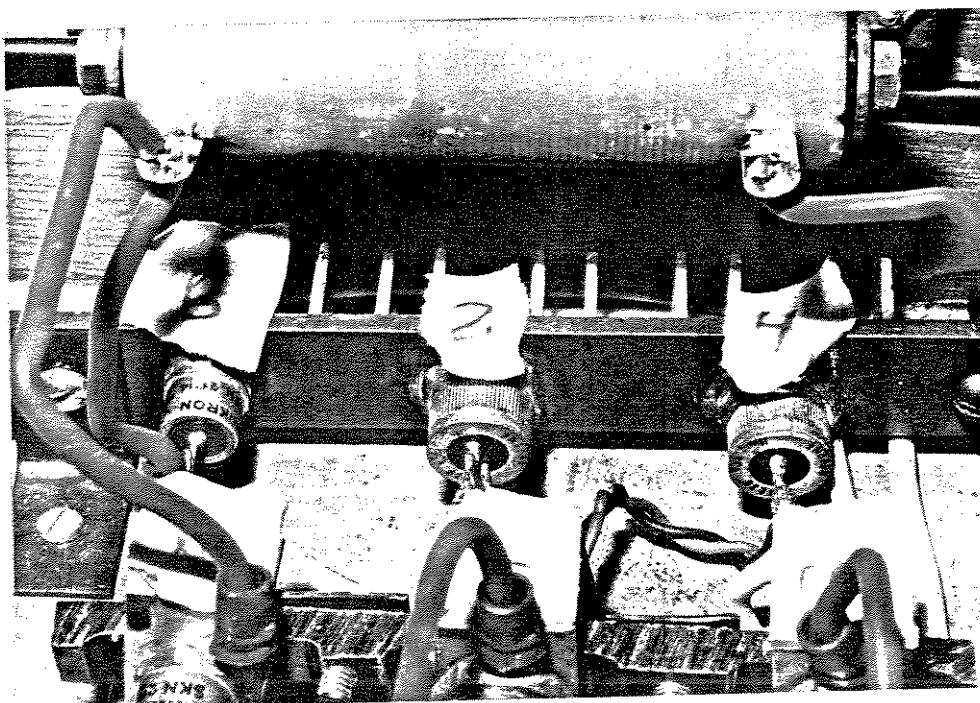


FOTO 6

Vista dos Semicondutores de potência (lado inferior da ponte): 2. Tiristor principal ; 4. Tiristor de bloqueio; 6. Diodo.

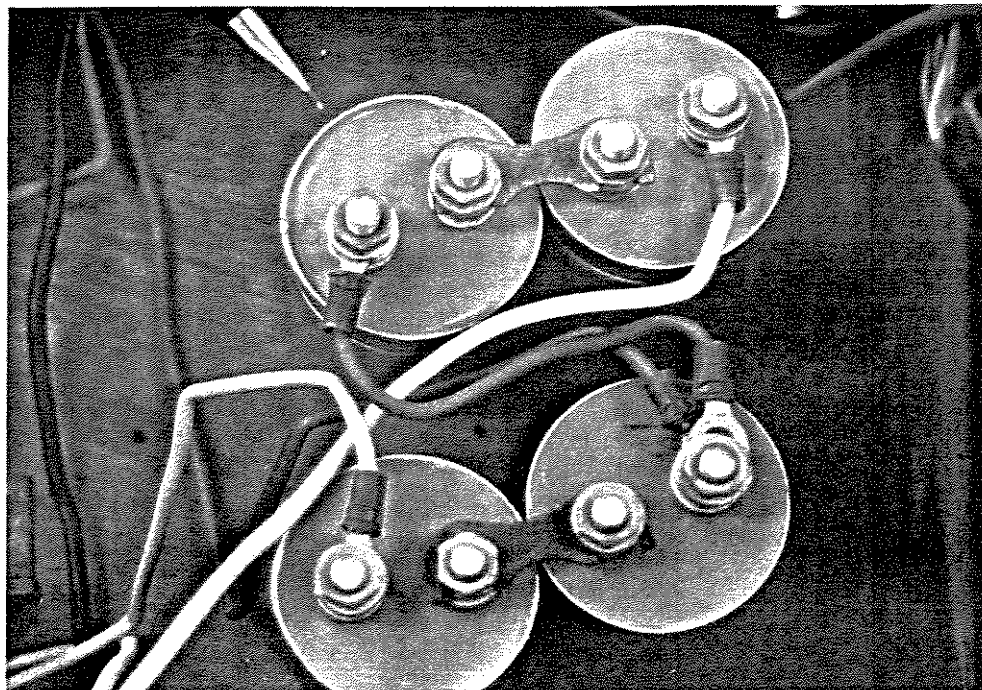


FOTO 7

Capacitor de co-
mutação.

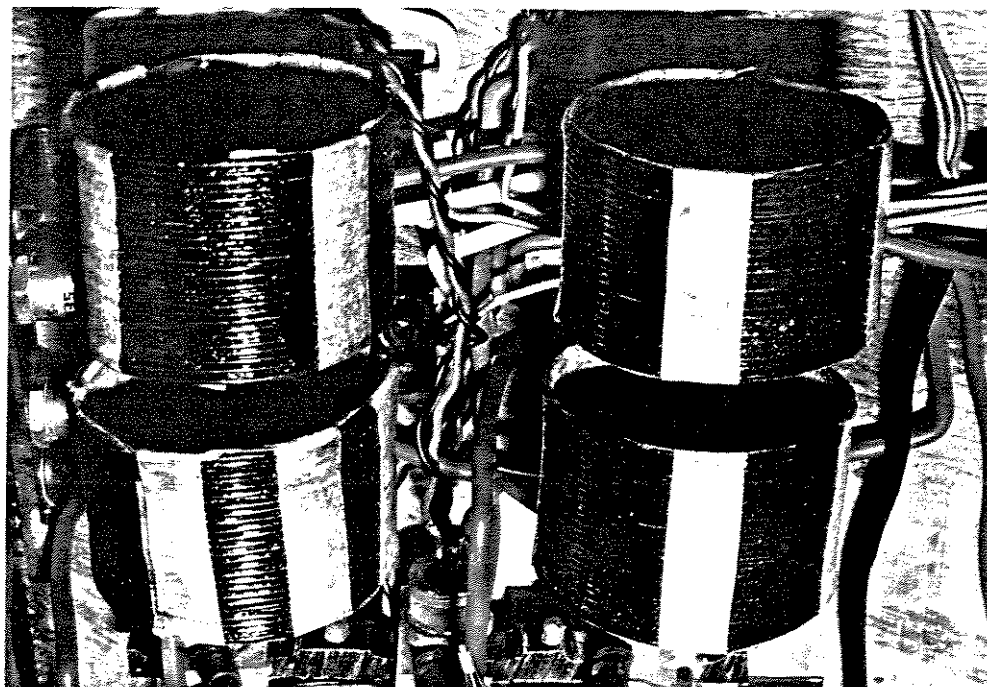


FOTO 8

Indutores para
oscilação.

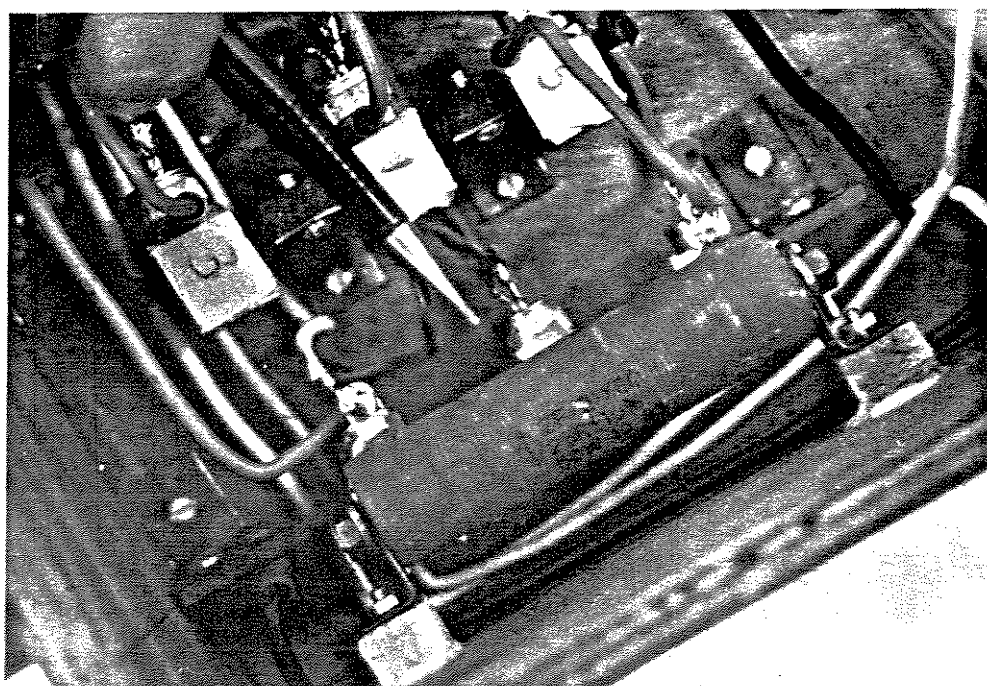


FOTO 9

Resistor de li-
mitação da cor-
rente de entra-
da e abaixo do
mesmo os diodos
7 e 8 de carrega-
mento dos ca-
pacitores.

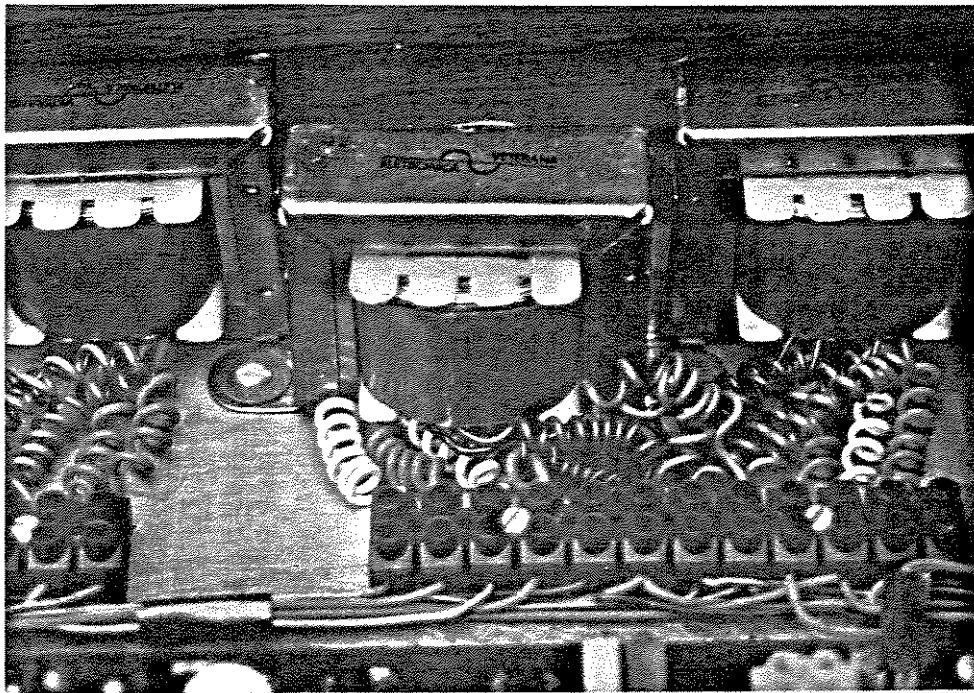


FOTO 10

Transformadores
das fontes.

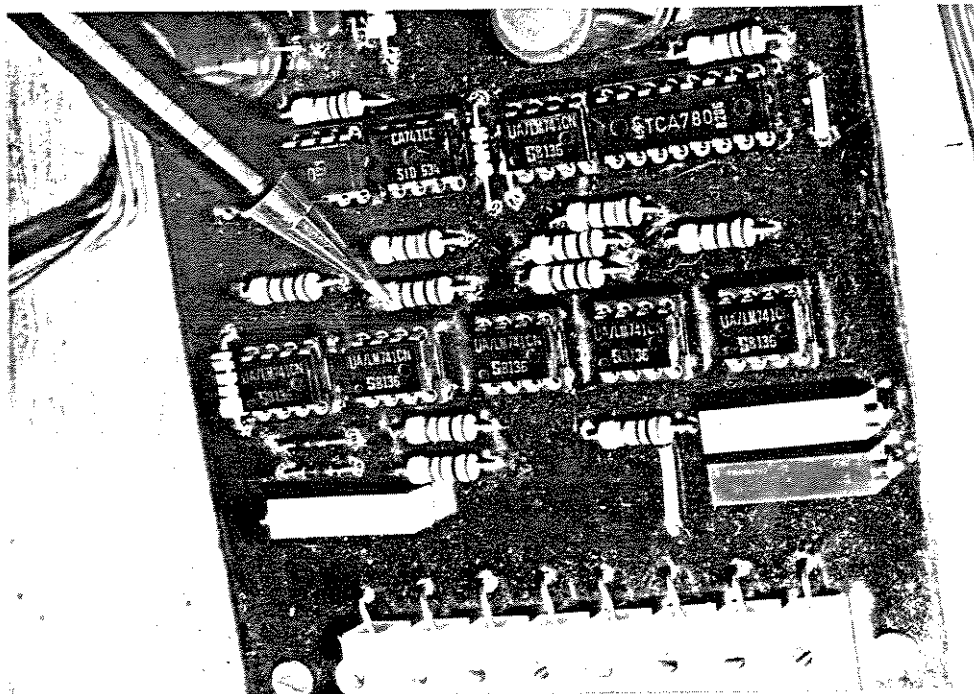


FOTO 11

Amplificadores
operacionais de
recebimento dos
sinais de sin -
cronismo e de
referência dos
ângulos de dis-
paro e bloqueio

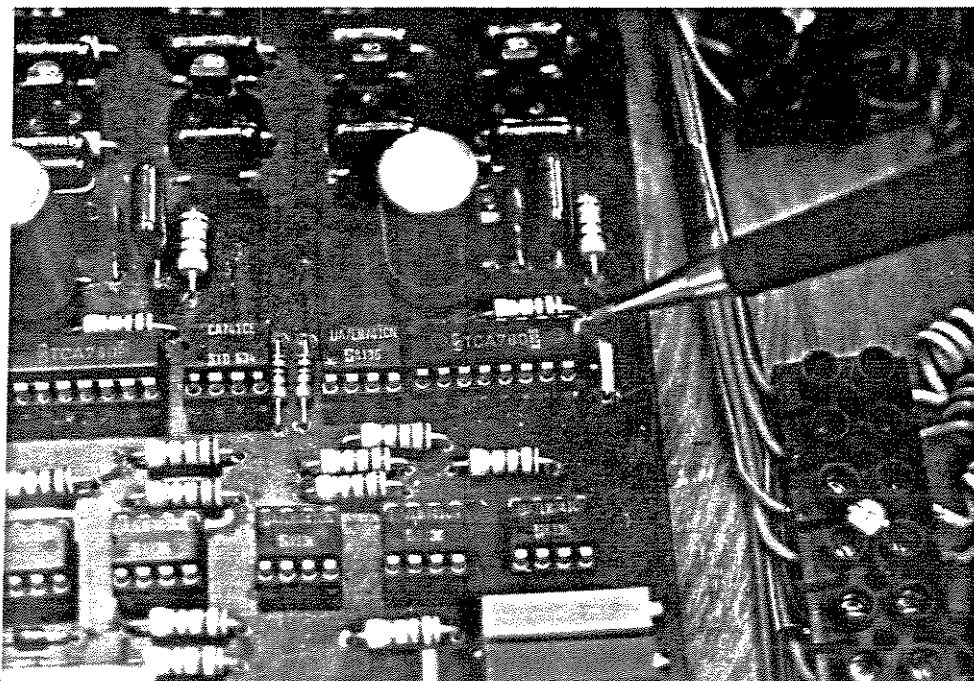


FOTO 12

TCA - 780.

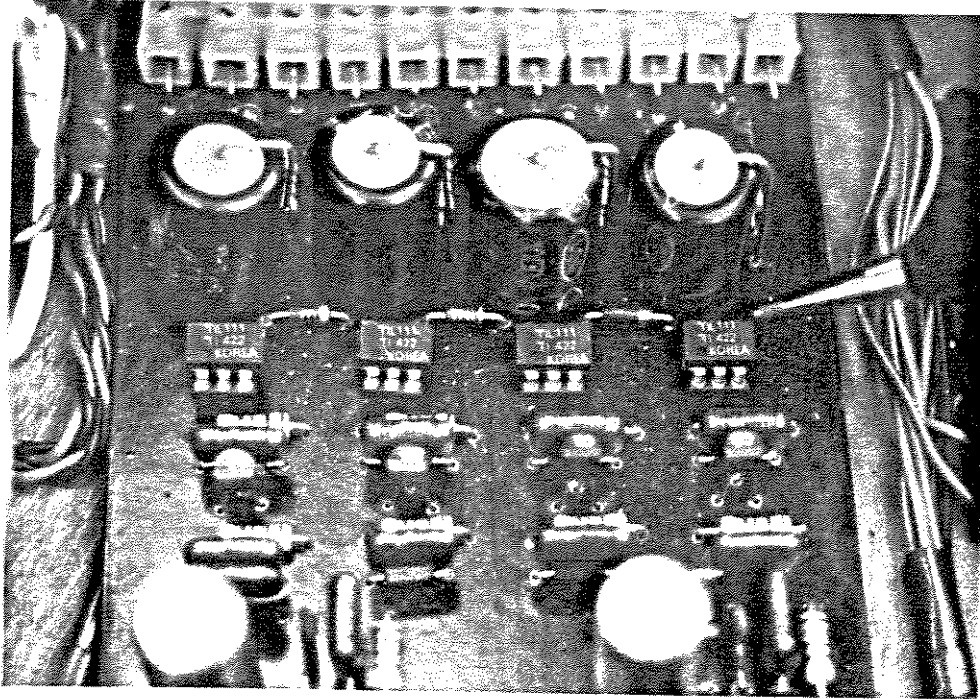


FOTO 13

Acopladores óticos saída de sinais para disparo dos tiristores.

P A R T E 2

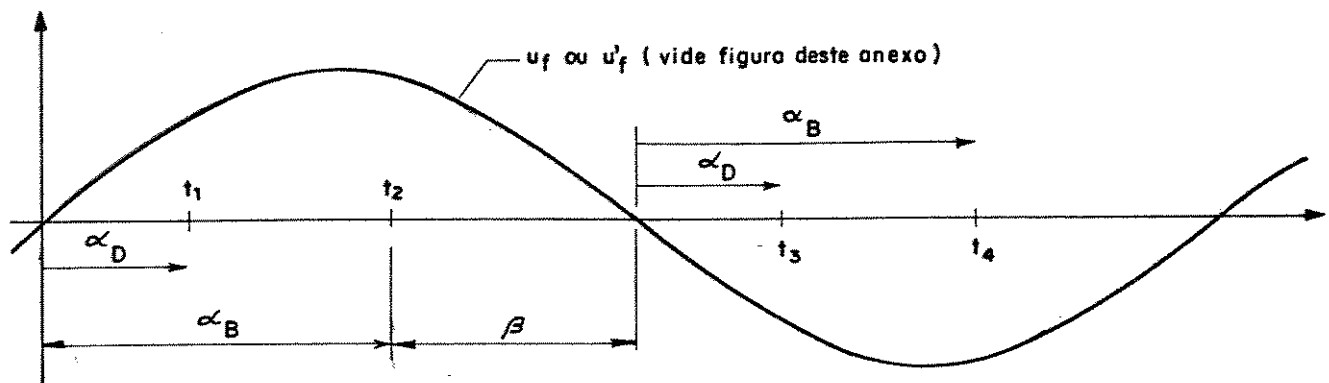


FIGURA 2: IDENTIFICAÇÃO DE α_D E α_B

Na figura 2 tem-se:

- t_1 - correspondente ao instante de disparo do tiristor 1;
- t_2 - correspondente ao instante de disparo do tiristor 3;
- t_3 - correspondente ao instante de disparo do tiristor 2;
- t_4 - correspondente ao instante de disparo do tiristor 4.

TABELA 1 - 1º FILME

TO	α_D	α_B	CARGA	VALOR EFICAZ	VALOR DE PICO A PICO	GRANDEZA	OBS
	10	20	R		235 [V]	u_d	$R = 173 [\Omega]$
	10	20	R		235 [V]	u_d	
	10	20	R		235 [V]	u_d	
	10	20	R		365 [V]	u_{akt1}	
	10	20	R		220 [V]	u_{akt3}	
	10	20	L - R		220 [V]	u_{akt3}	$L=300 [mH]$ (nominal)
	10	20	L - R		375 [V]	u_{akt1}	
	10	20	L - R		250 [V]	u_d	
	10	20	R		220 [V]	u_{akd7}	
	10	20	L - R		220 [V]	u_{akd7}	
	10	20	L - R		335 [V]	u_c	
	10	20	R		340 [V]	u_c	
	10	20	L - R		$200/R [V/R]$	i_3	$\bar{I}_3 = 95 V/R [A] *$
	10	20	L - R	242 [mA]	$225 [mV/R_{SH}]$	i_2	$R_{SH}=0,2 [\Omega]$
	10	20	R	252 [mA]	$500 [mV/R_{SH}]$	i_2	
	10	20	R	224 [mA]	$480 [mV/R_{SH}]$	i_1	
	10	20	L - R	214 [mA]	$215 [mV/R_{SH}]$	i_1	
	10	100	R	576 [mA]	$640 [mV/R_{SH}]$	i_1	
	10	100	L - R	531 [mA]	$310 [mV/R_{SH}]$	i_1	
	10	100	R	576 [mA]	$660 [mV/R_{SH}]$	i_2	
	10	100	L - R	530 [mA]	$320 [mV/R_{SH}]$	i_2	
	10	100	R		300 [V]	u_{akd5}	
	10	50	R		310 [V]	u_{akd5}	
	10	50	L - R		310 [V]	u_{akd5}	
	10	50	R		350 [V]	u_{akt1}	
	10	50	L - R		360 [V]	u_{akt1}	
	10	50	R		220 [V]	u_{akt3}	
	10	50	L - R		220 [V]	u_{akt3}	
	10	50	R		300 [V]	u_{akd7}	
	10	50	L - R		300 [V]	u_{akd7}	
	10	50	R		340 [V]	u_c	
	10	50	L - R		345 [V]	u_c	
	10	50	R		305 [V]	u_d	
	10	50	L - R		320 [V]	u_d	
	10	50	L - R		$235 [V/R]$	i_3	$\bar{I}_3 = 120 V/R *$
	10	50	R	318 [mA]	$620 [mV/R_{SH}]$	i_2	* (valor médio)

19 FILME

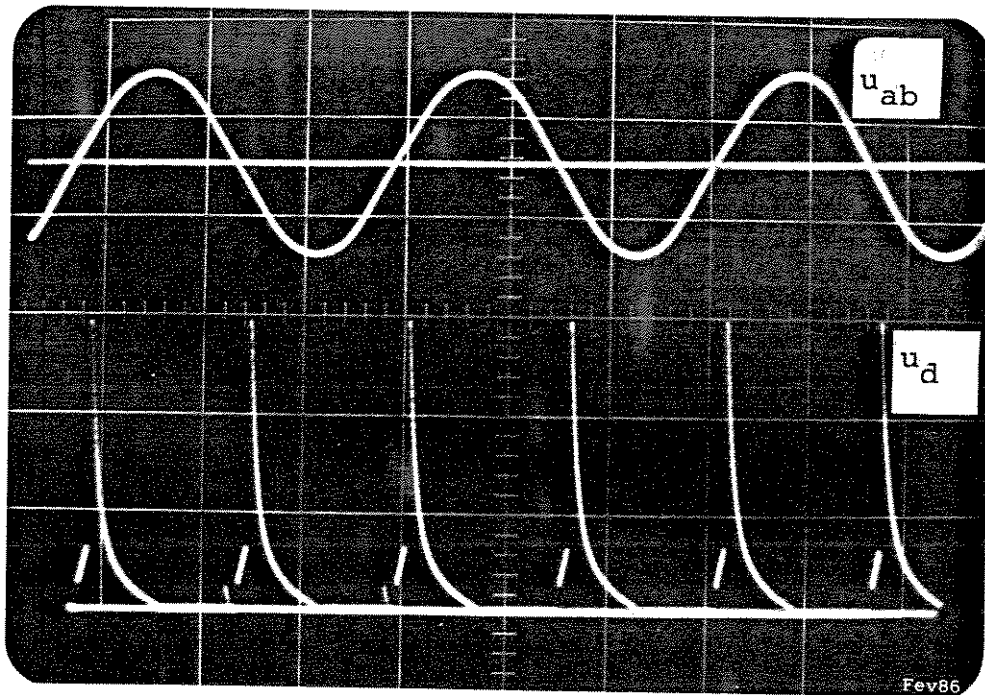


FOTO 01

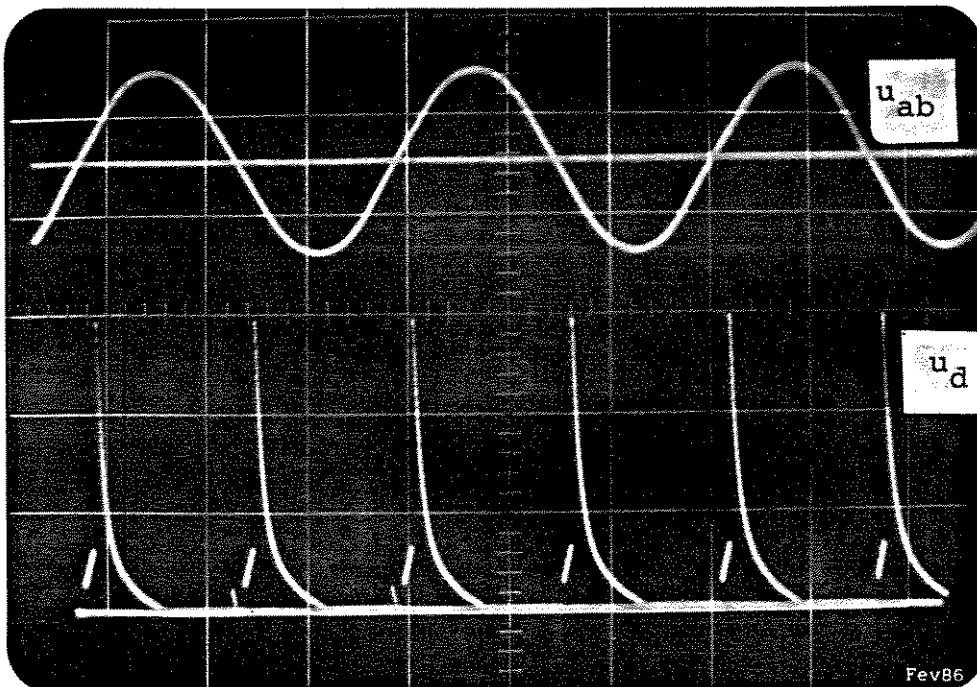


FOTO 02

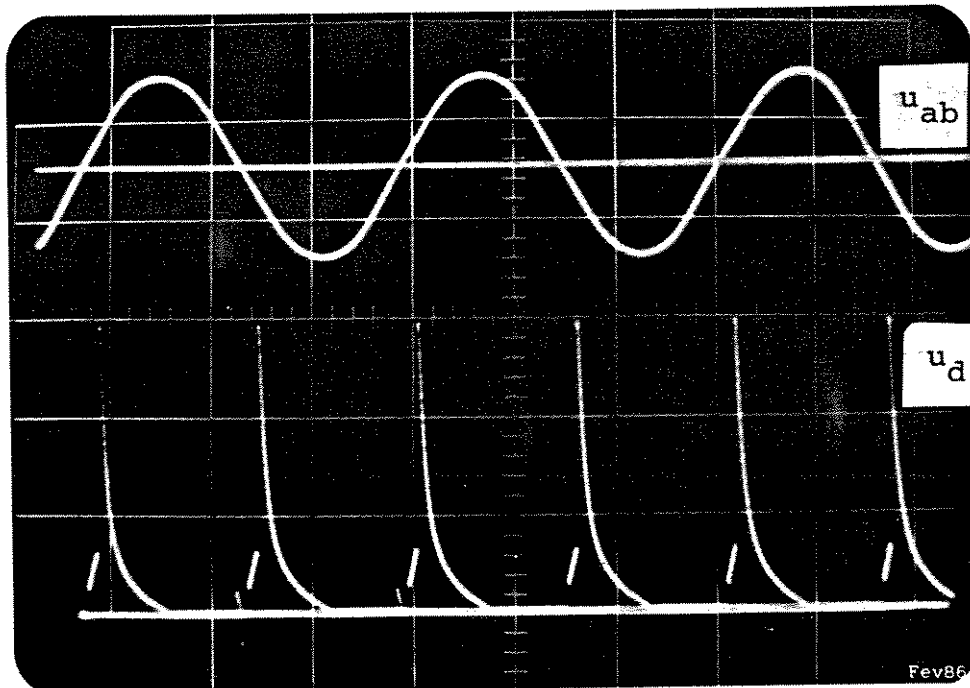


FOTO 03

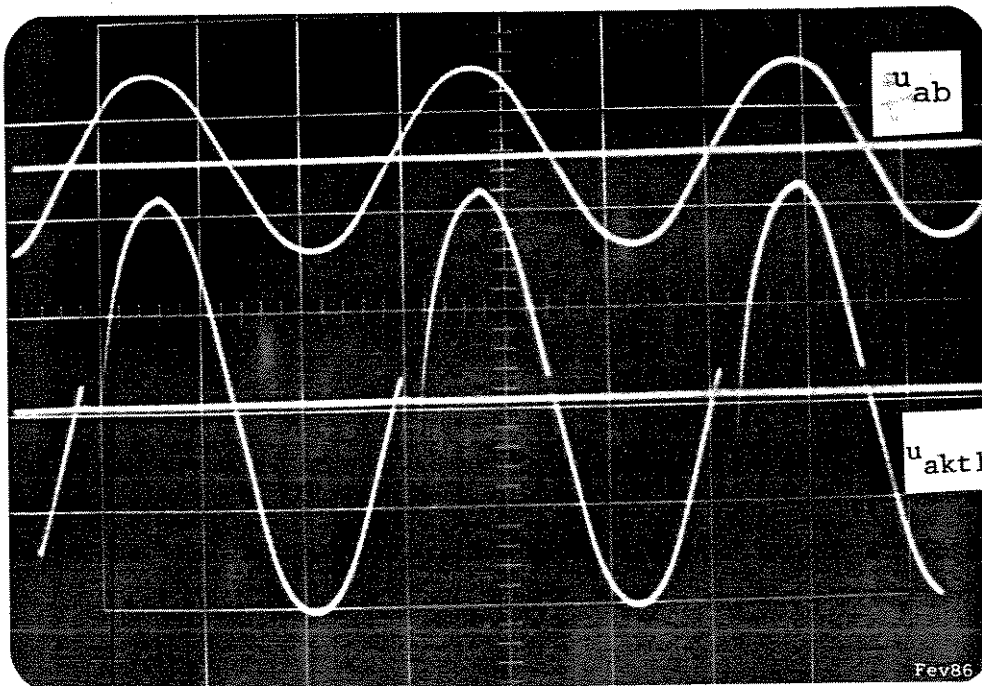


FOTO 04

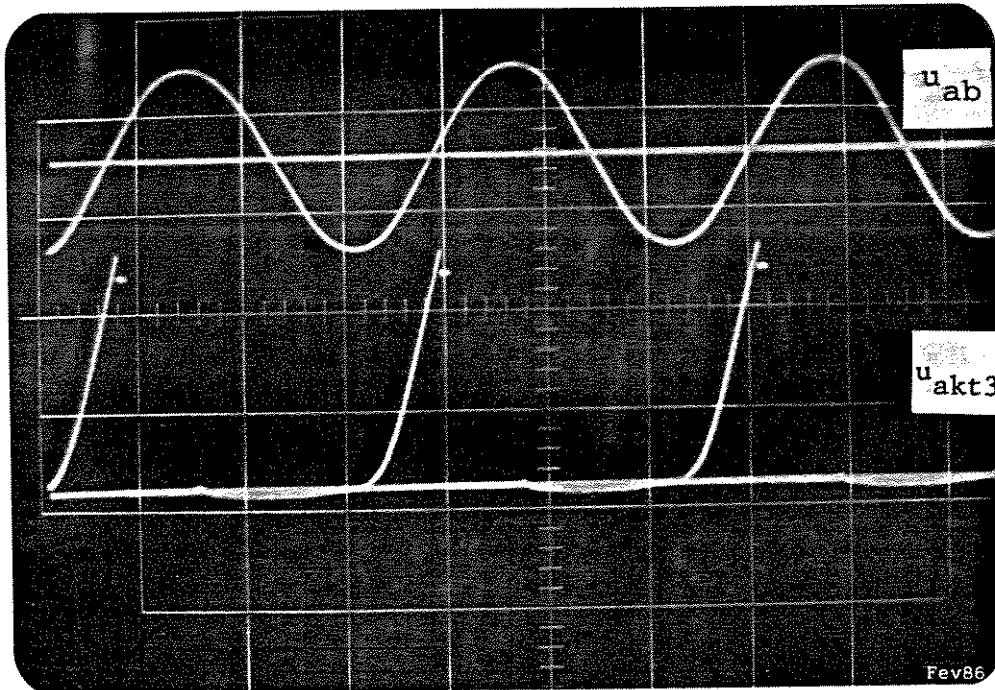


FOTO 05

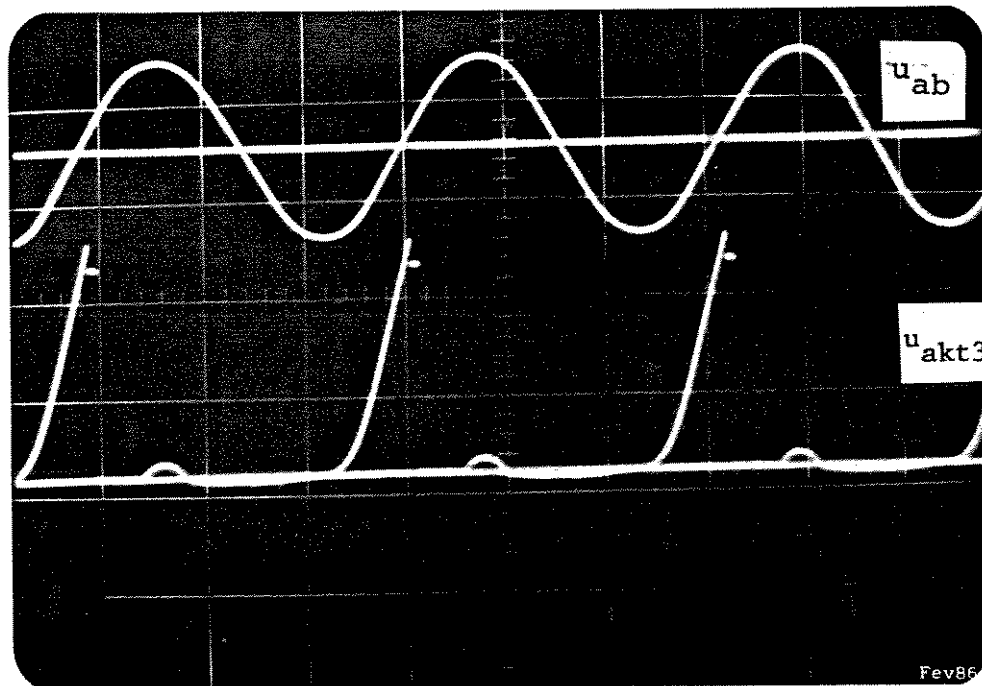


FOTO 06

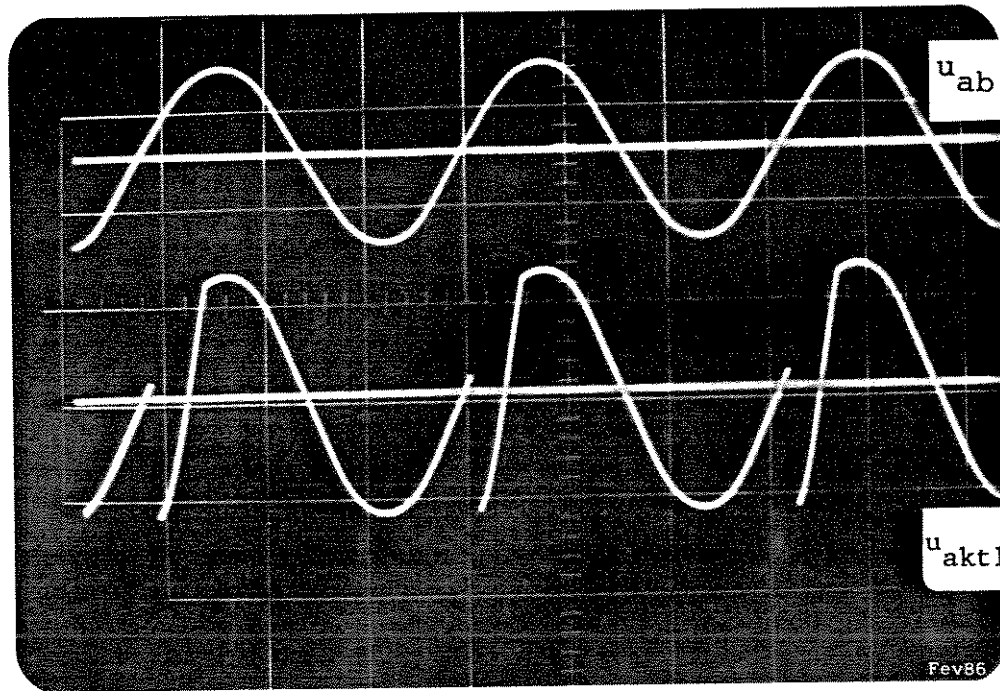


FOTO 07

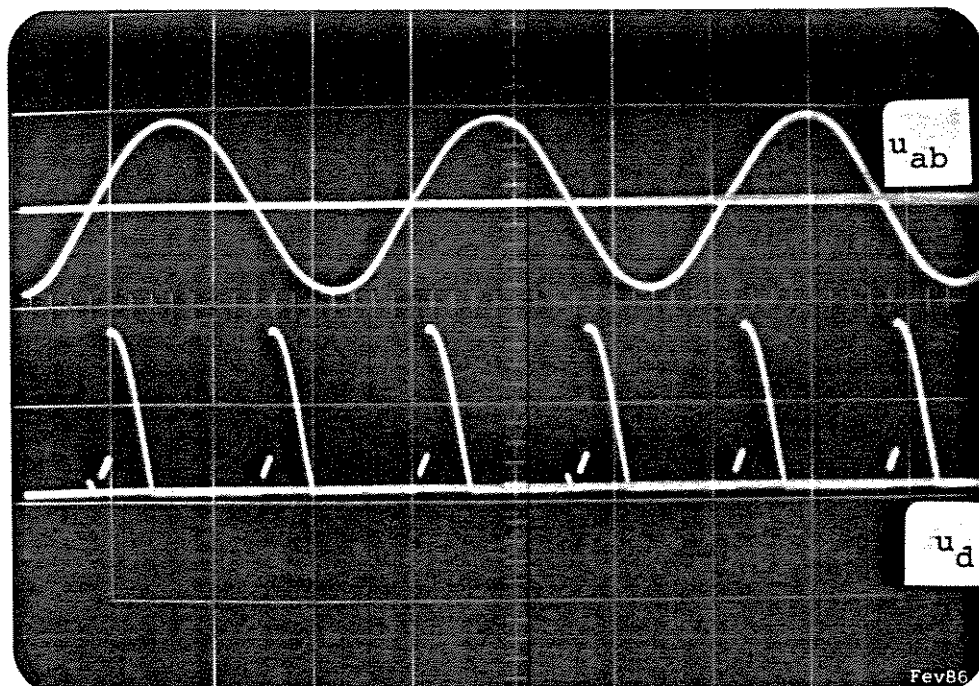


FOTO 08

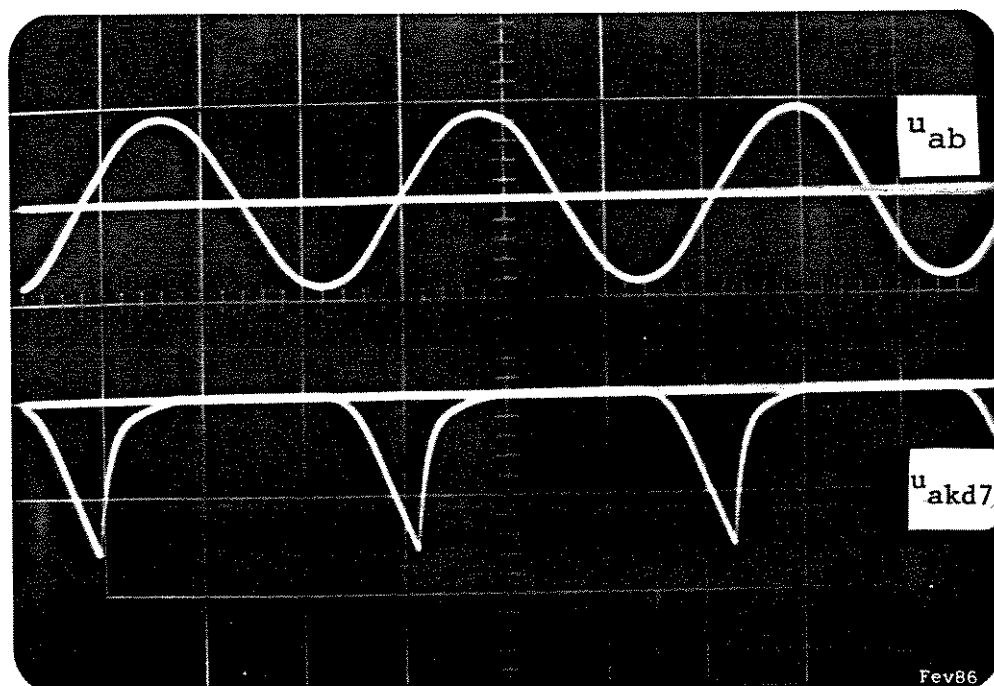


FOTO 09

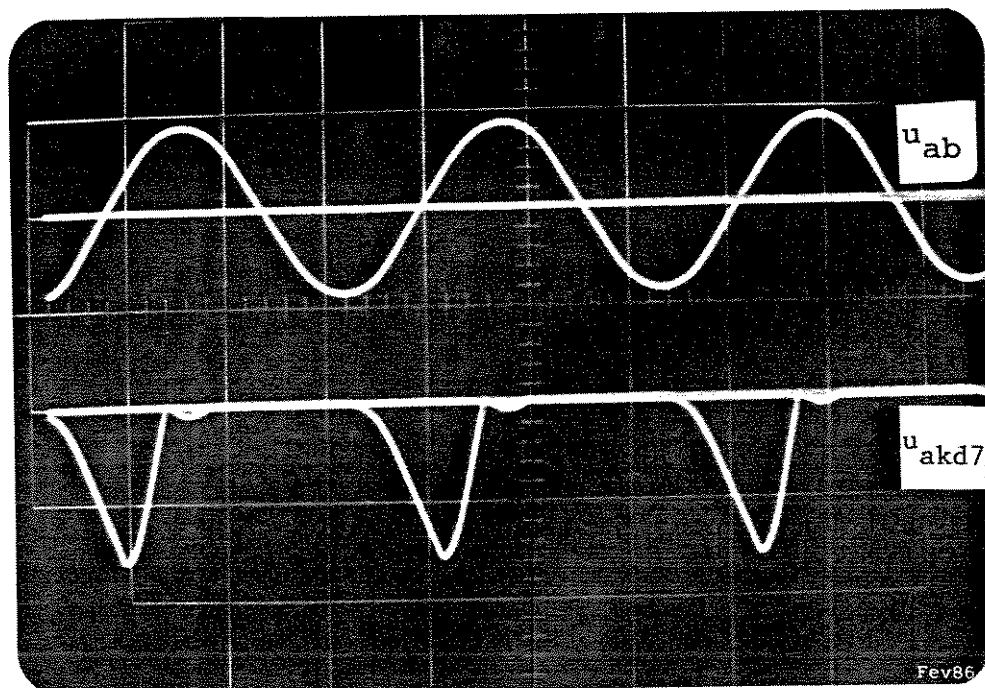


FOTO 10

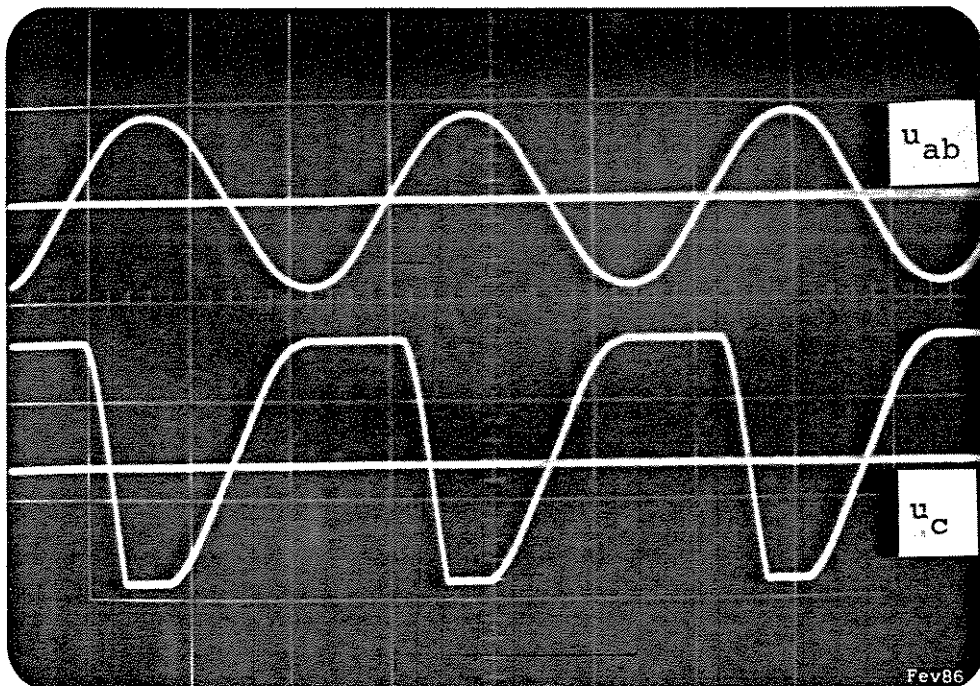


FOTO 11

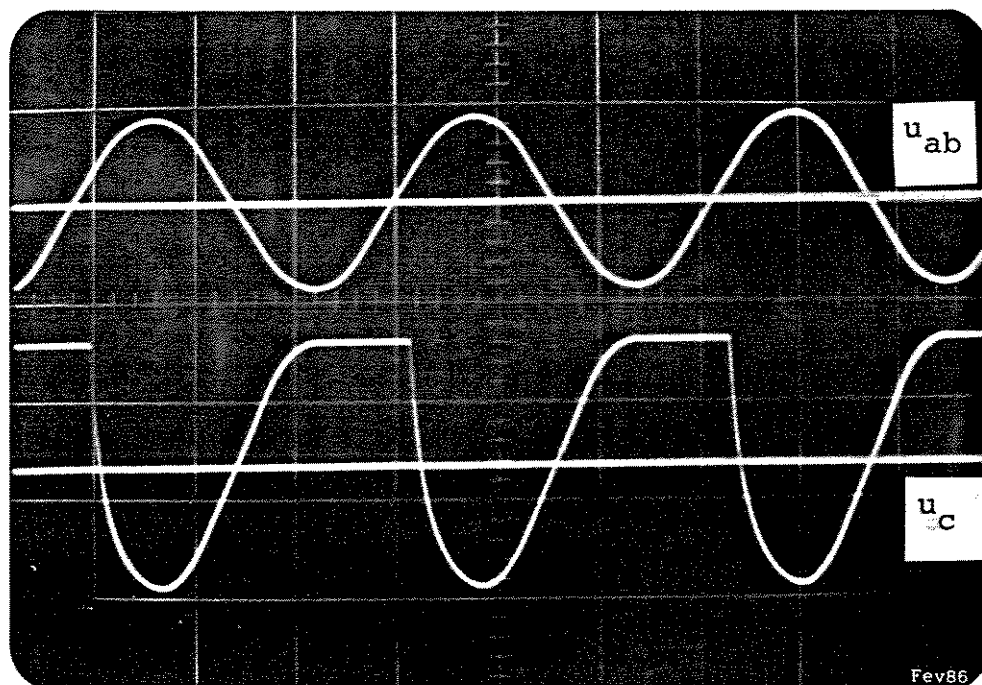


FOTO 12

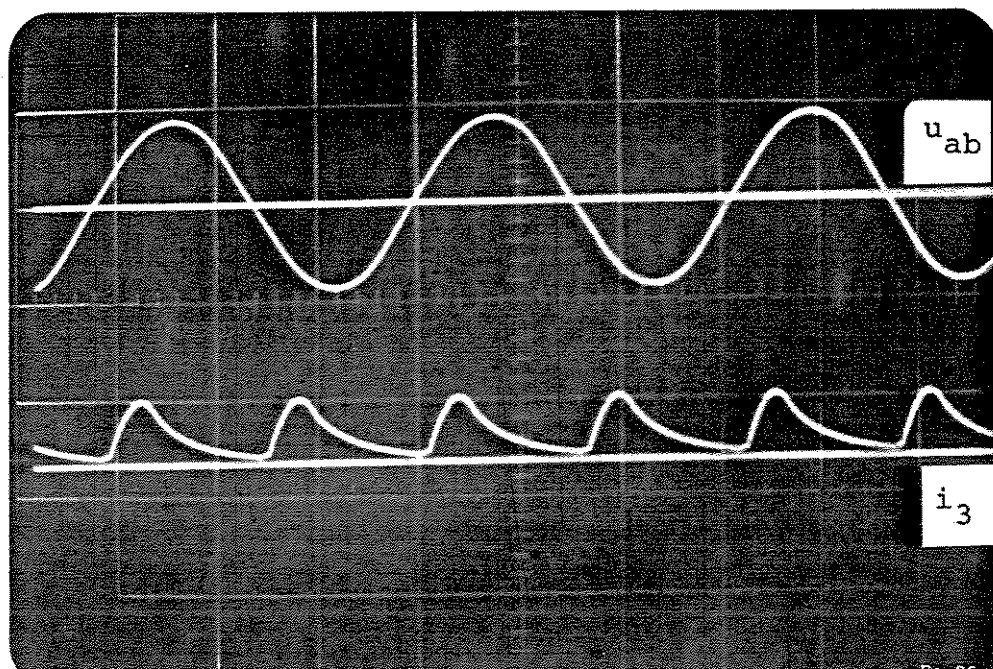


FOTO 13

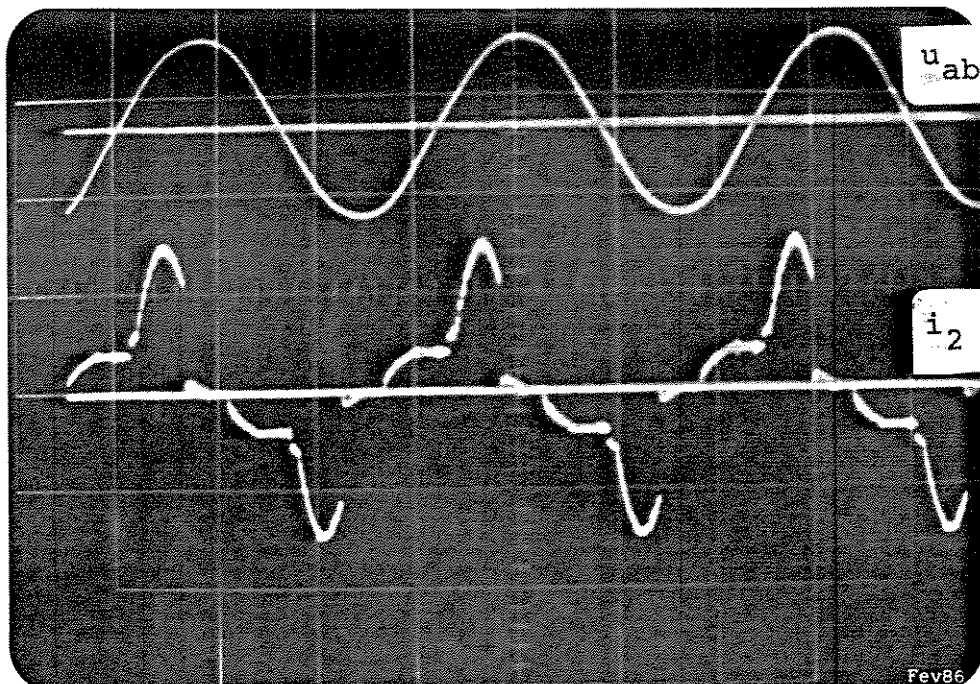


FOTO 14

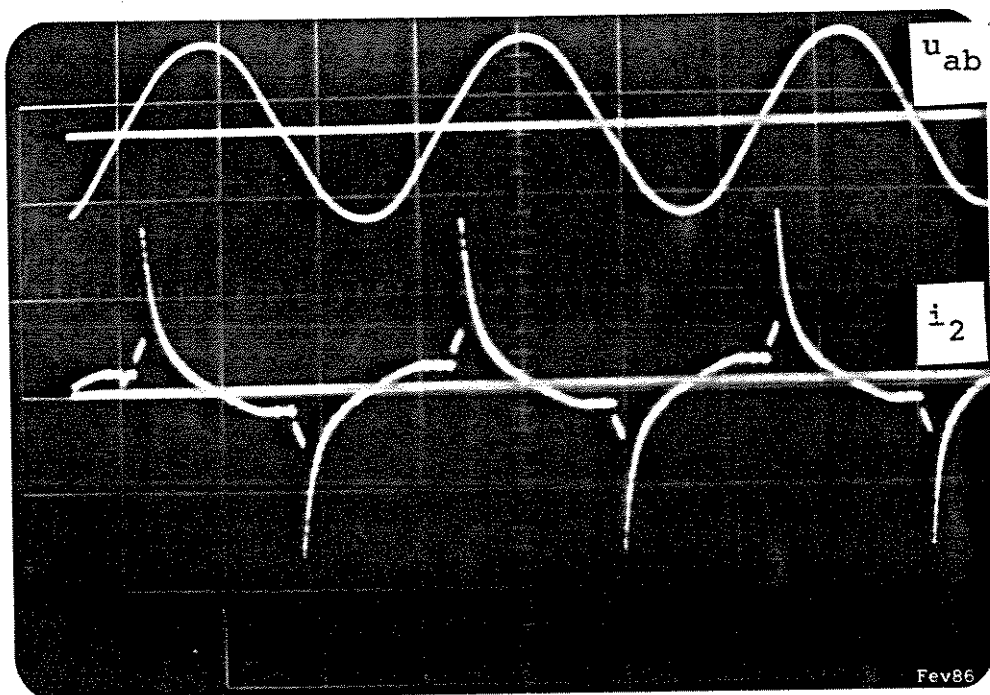


FOTO 15

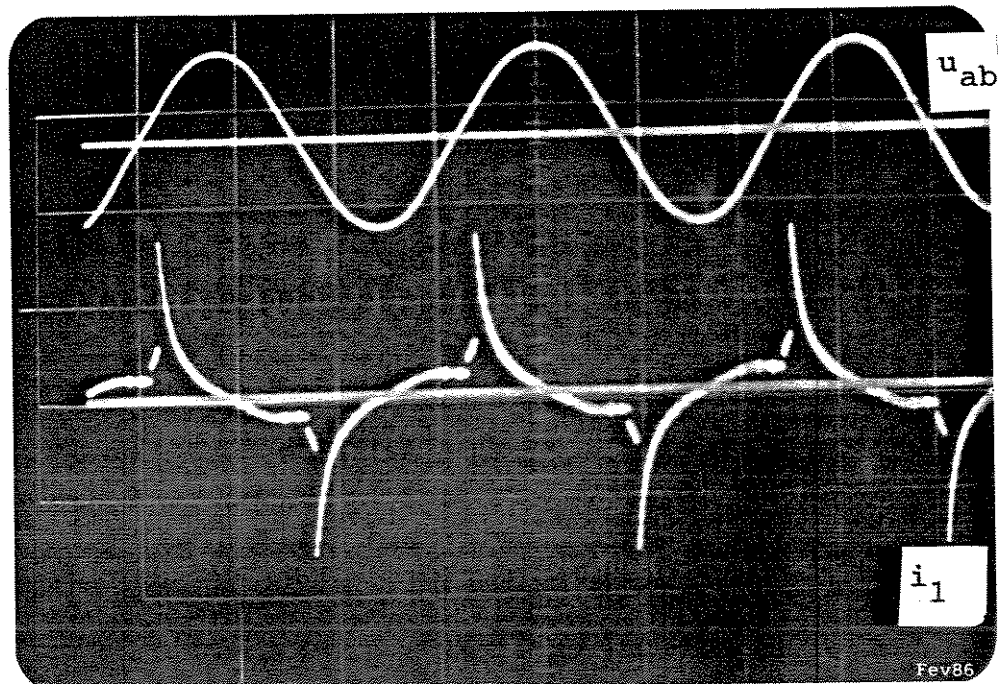


FOTO 16

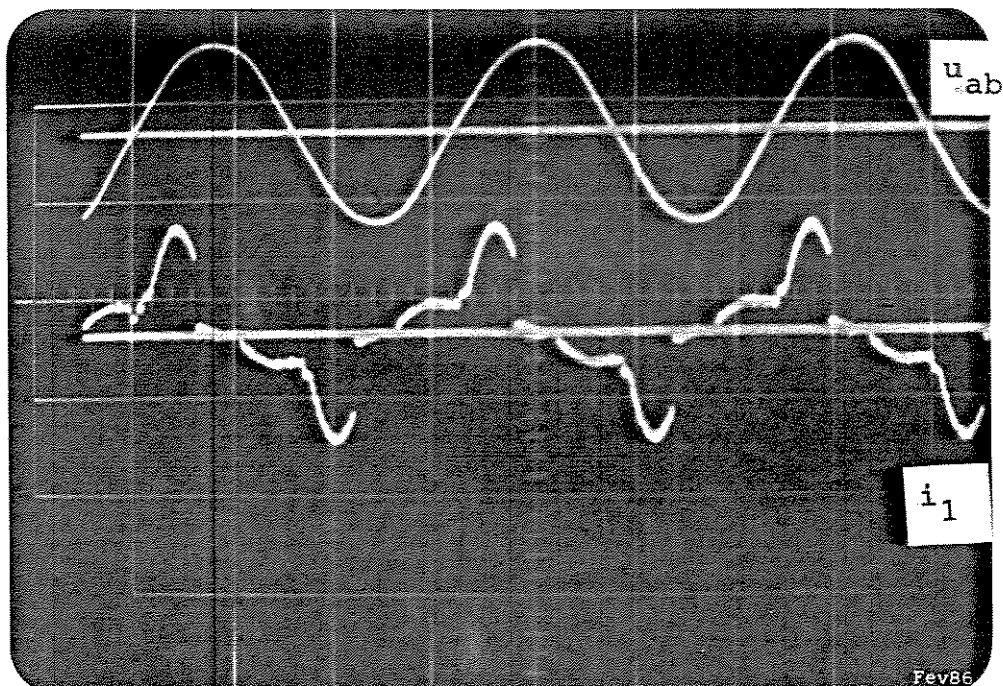


FOTO 17

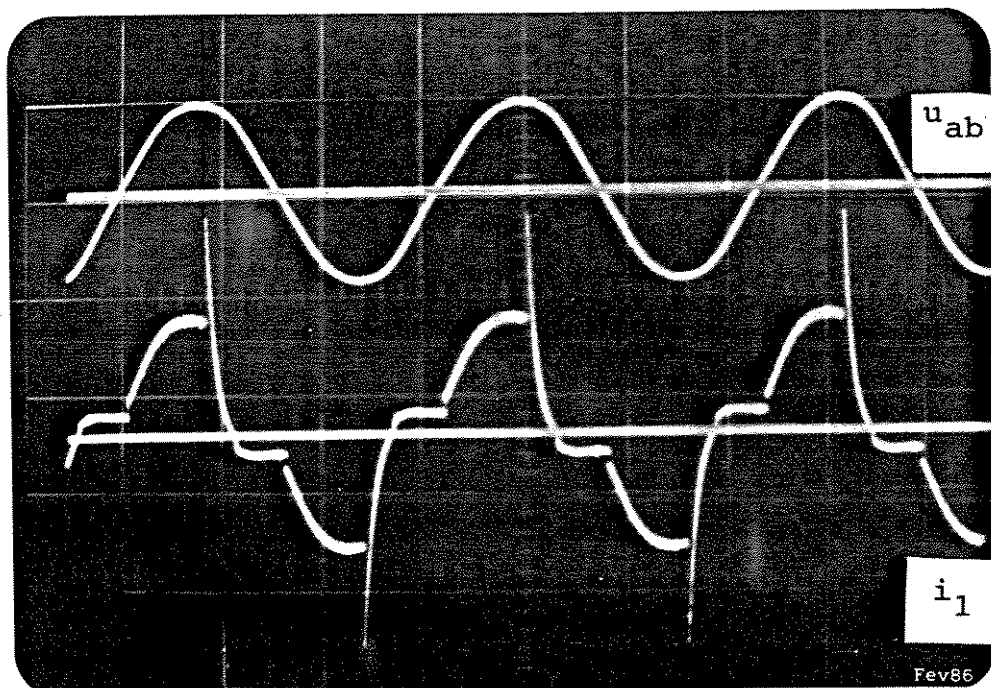


FOTO 18

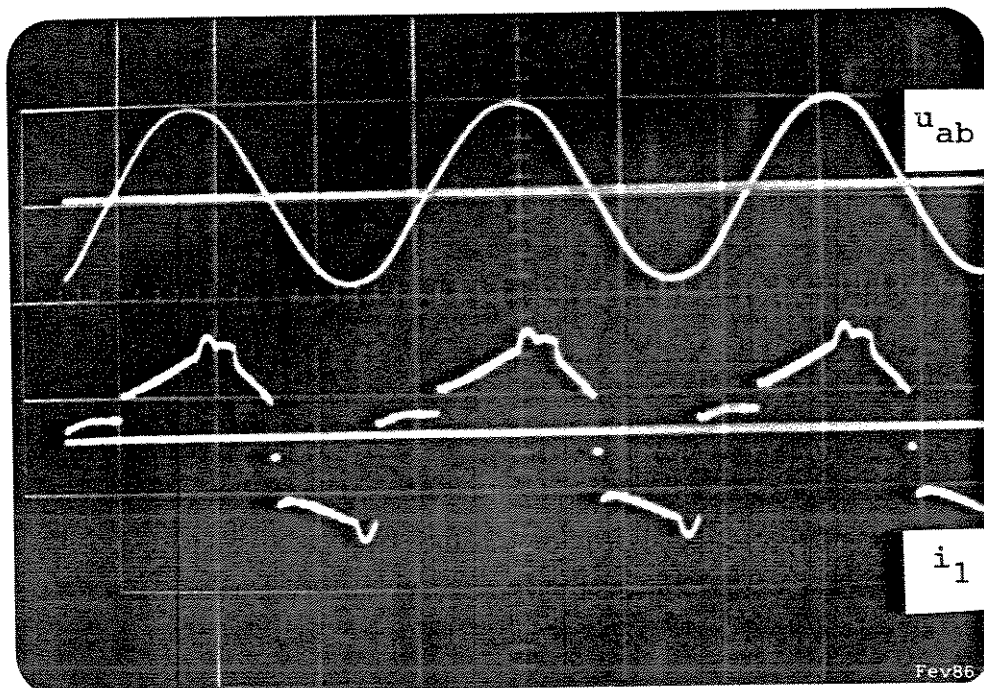


FOTO 19

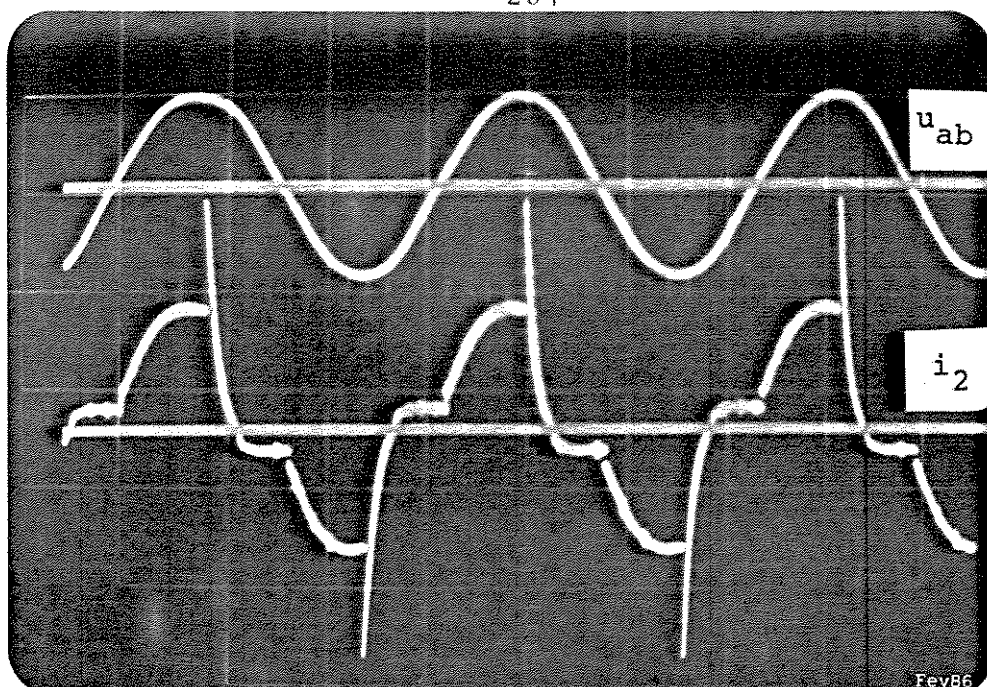


FOTO 20

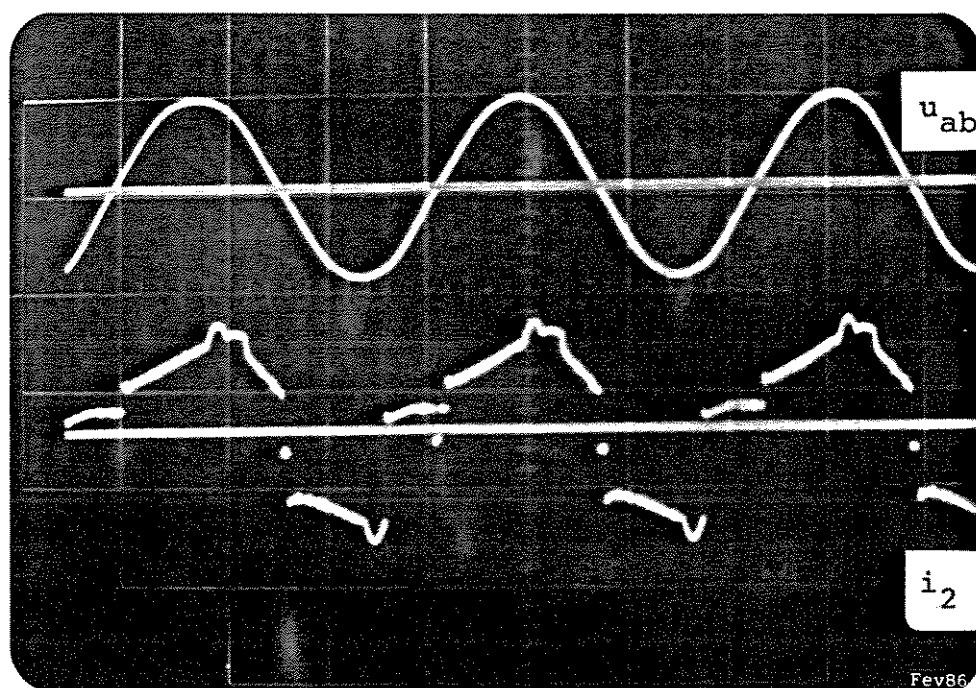


FOTO 21

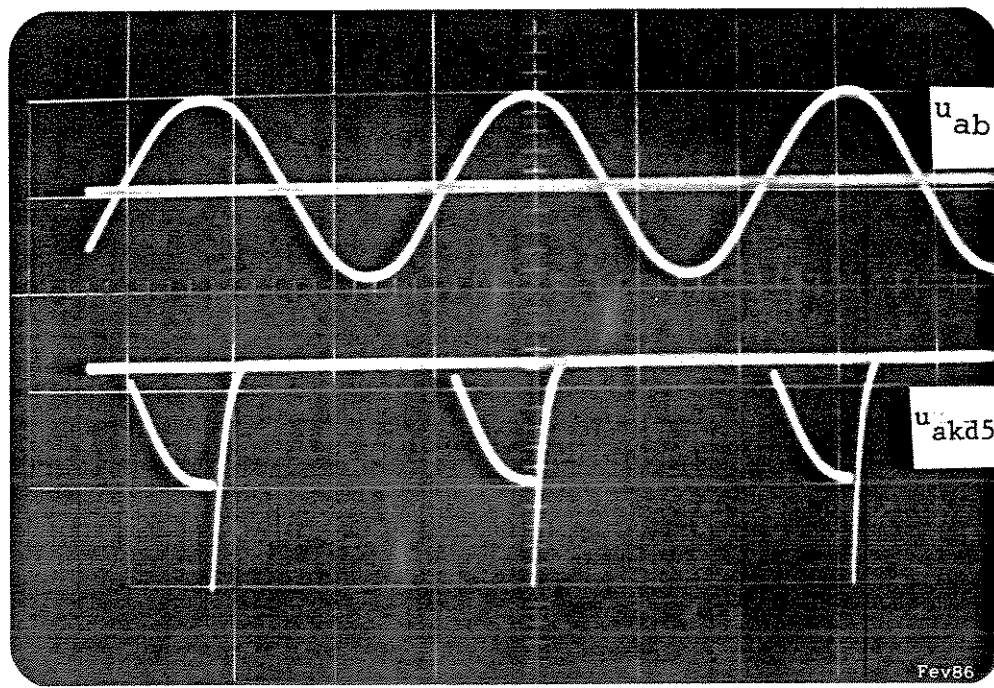


FOTO 22

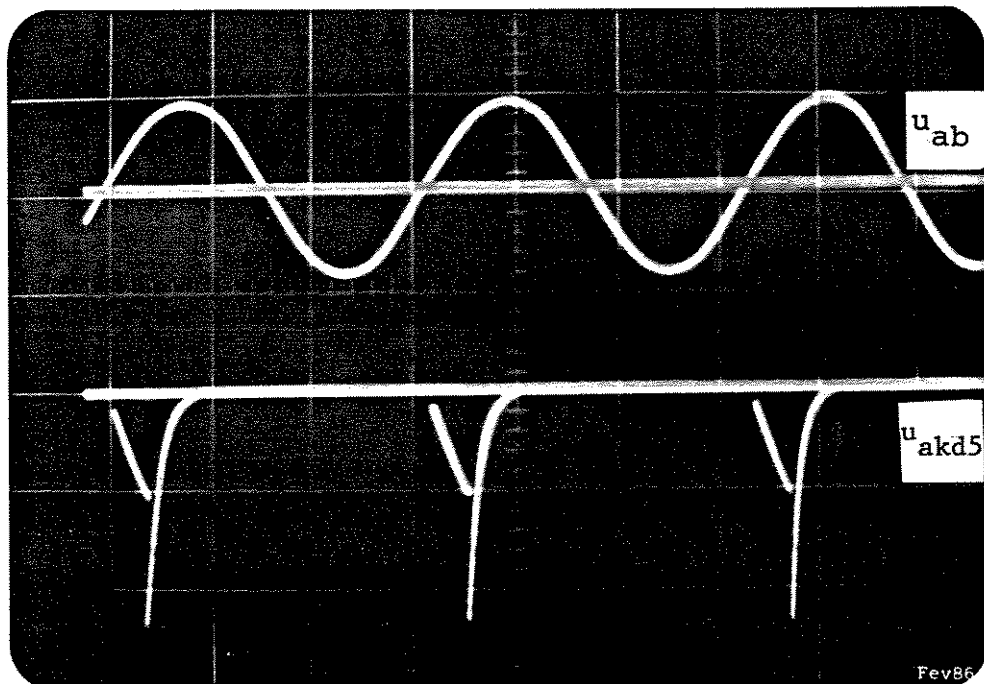


FOTO 23

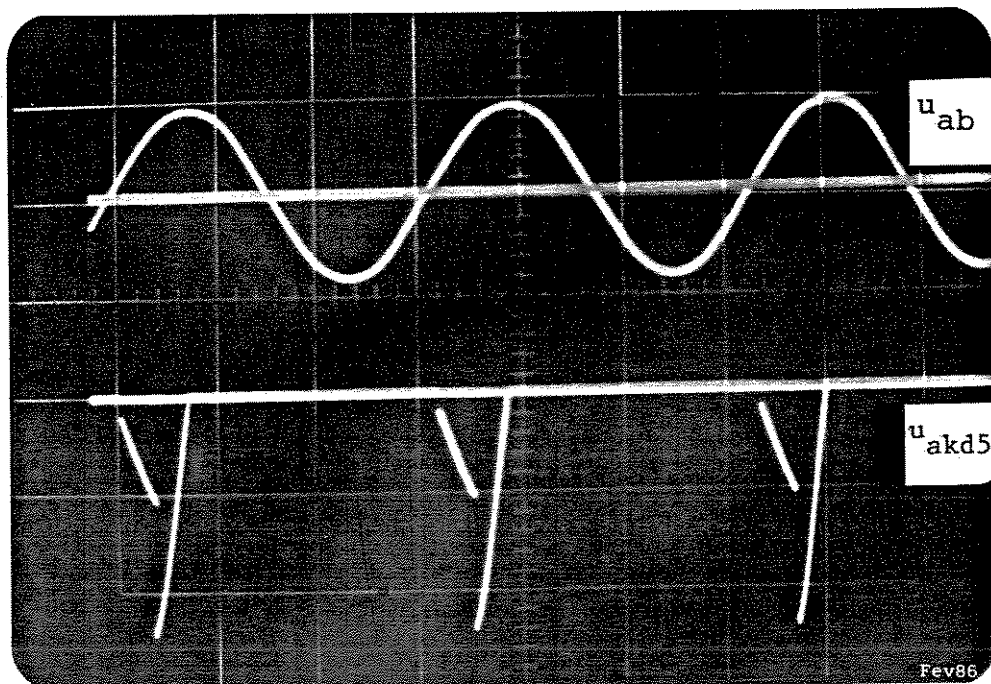


FOTO 24

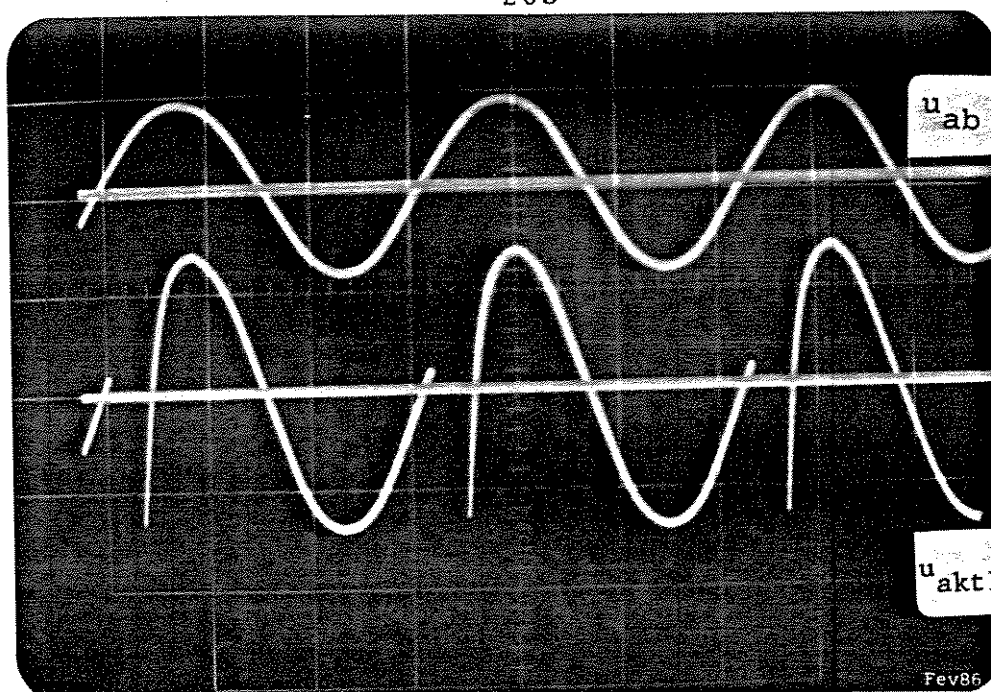


FOTO 25

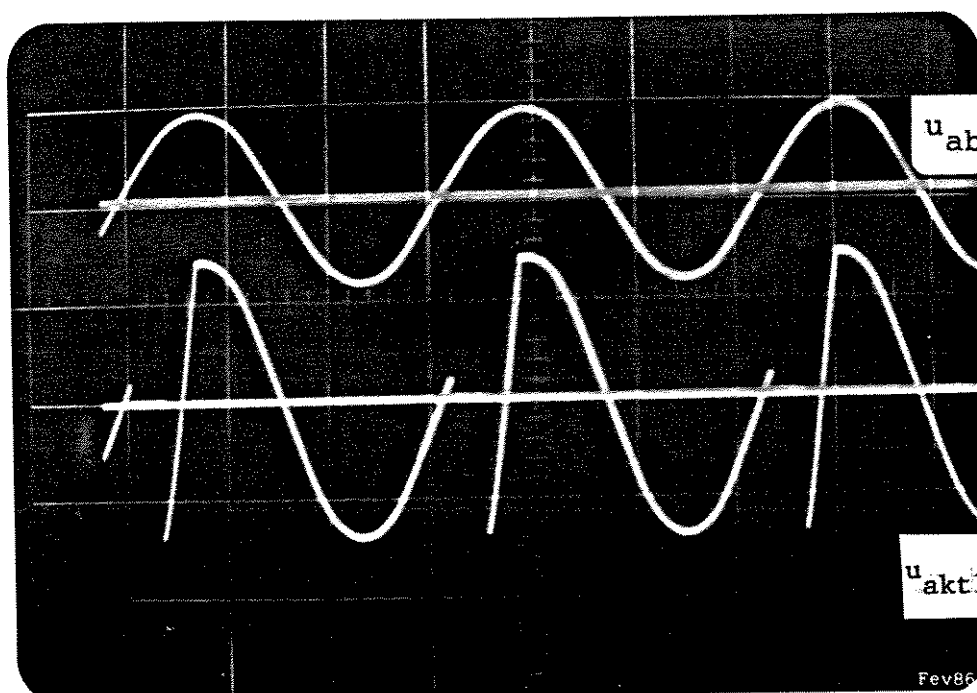


FOTO 26

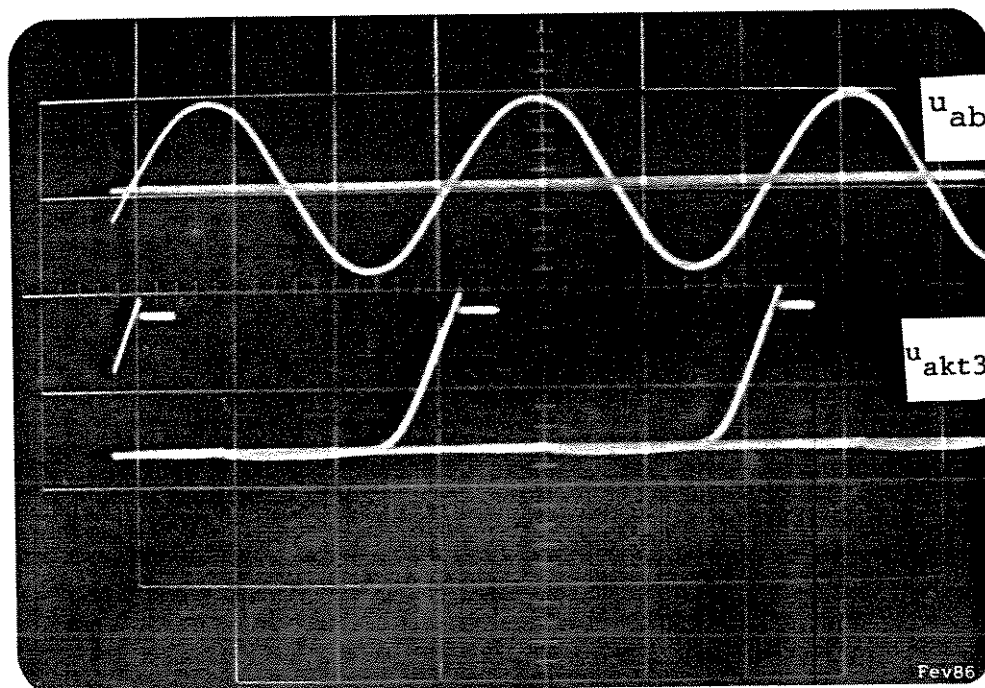


FOTO 27

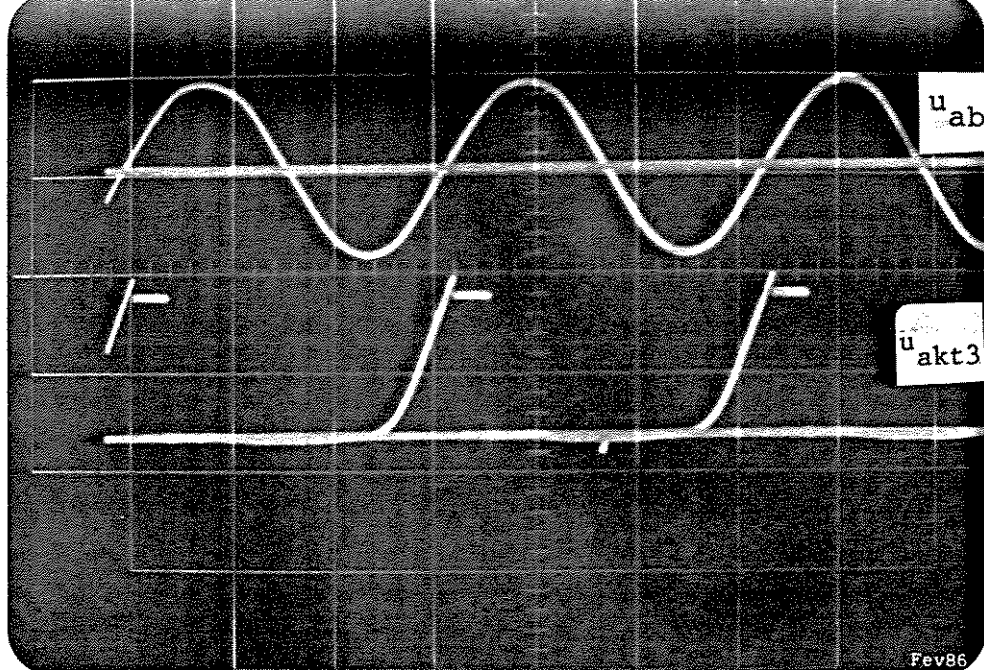


FOTO 28

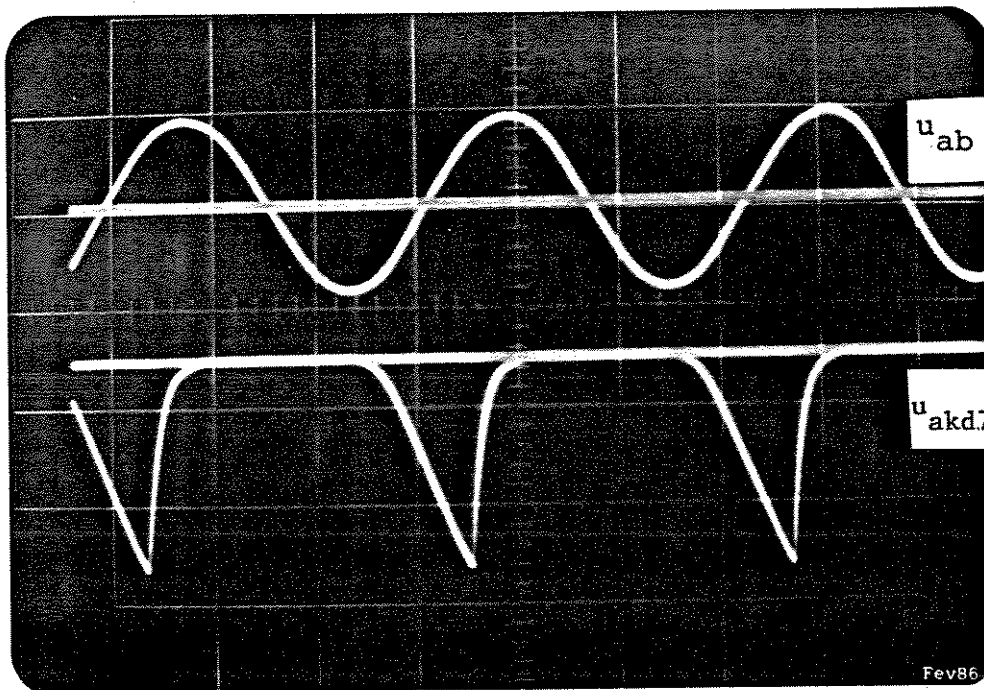


FOTO 29

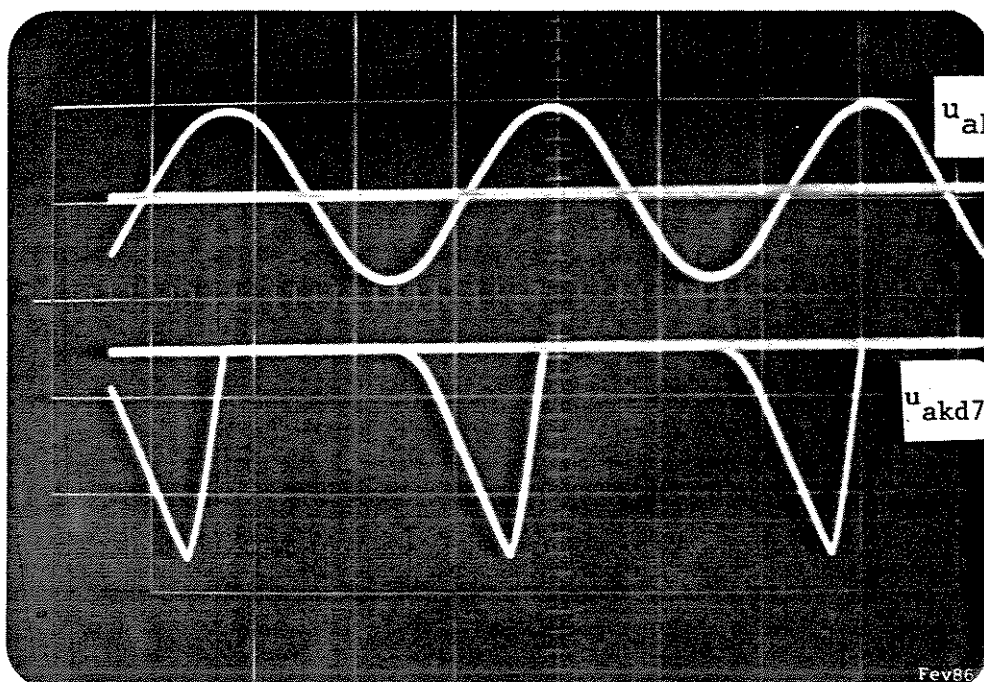


FOTO 30

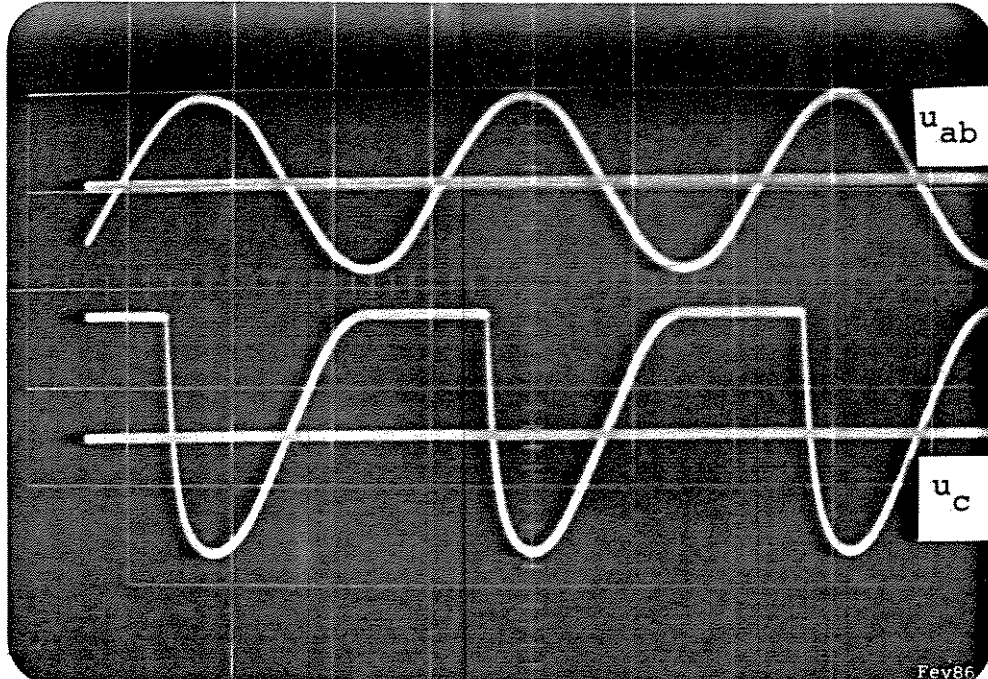


FOTO 31

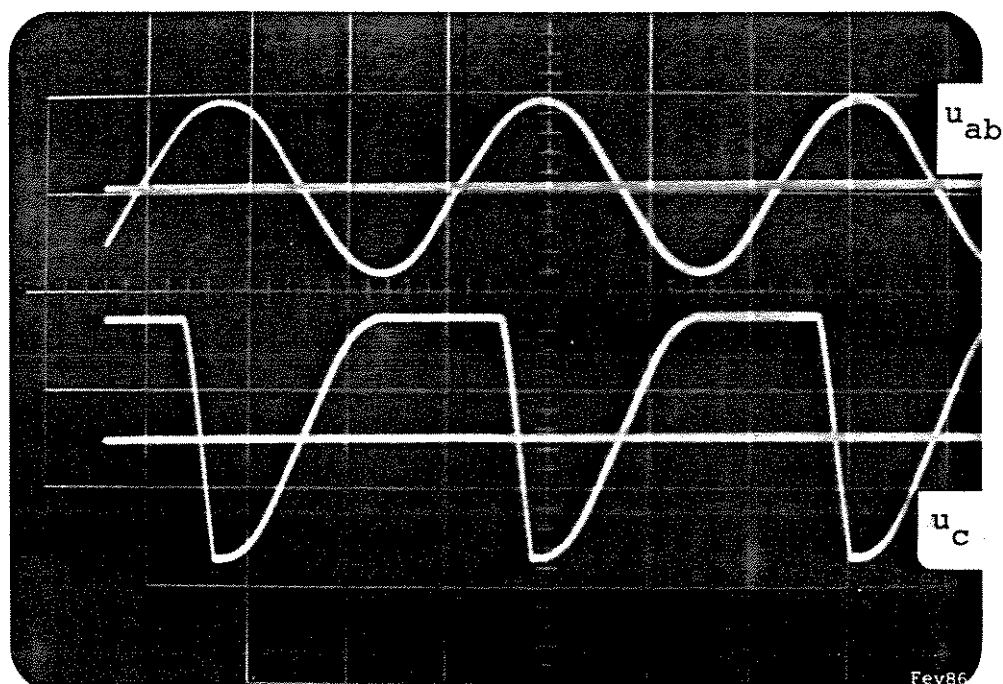


FOTO 32

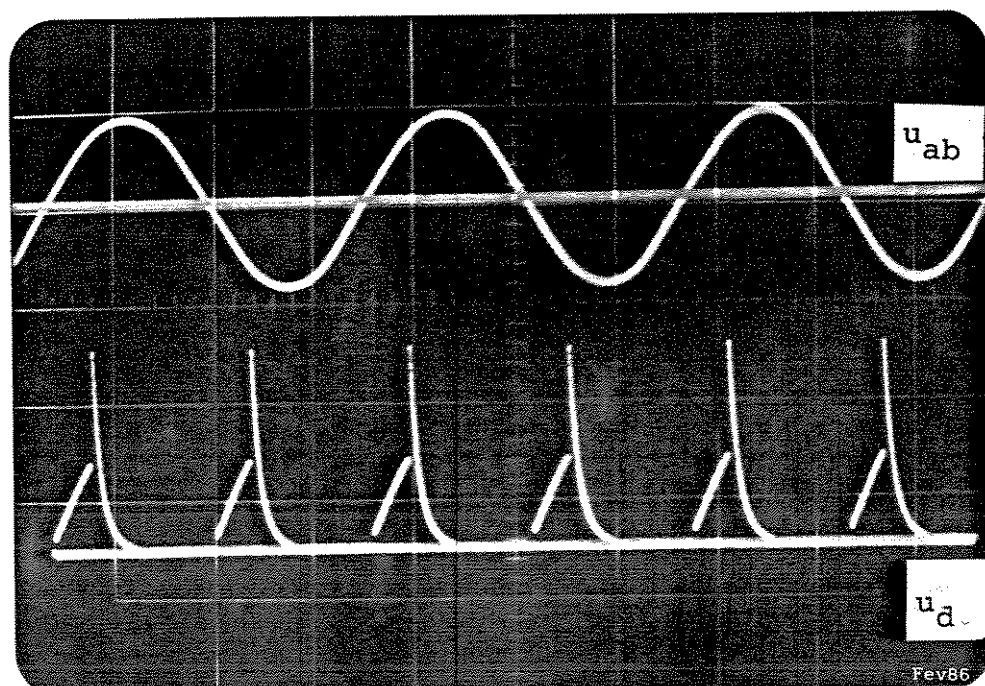


FOTO 33

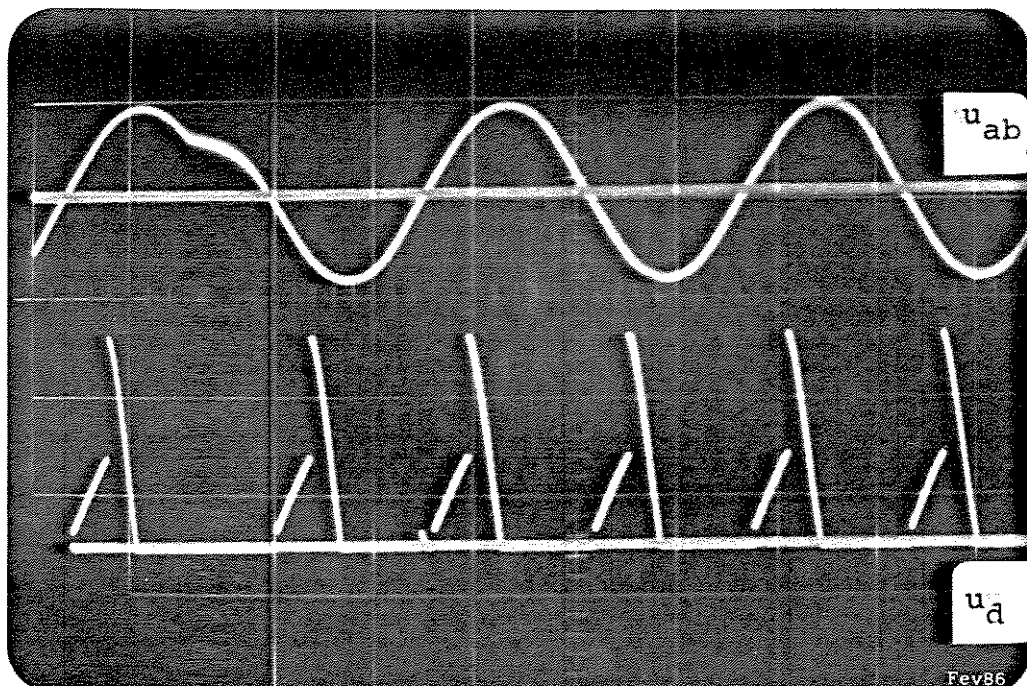


FOTO 34

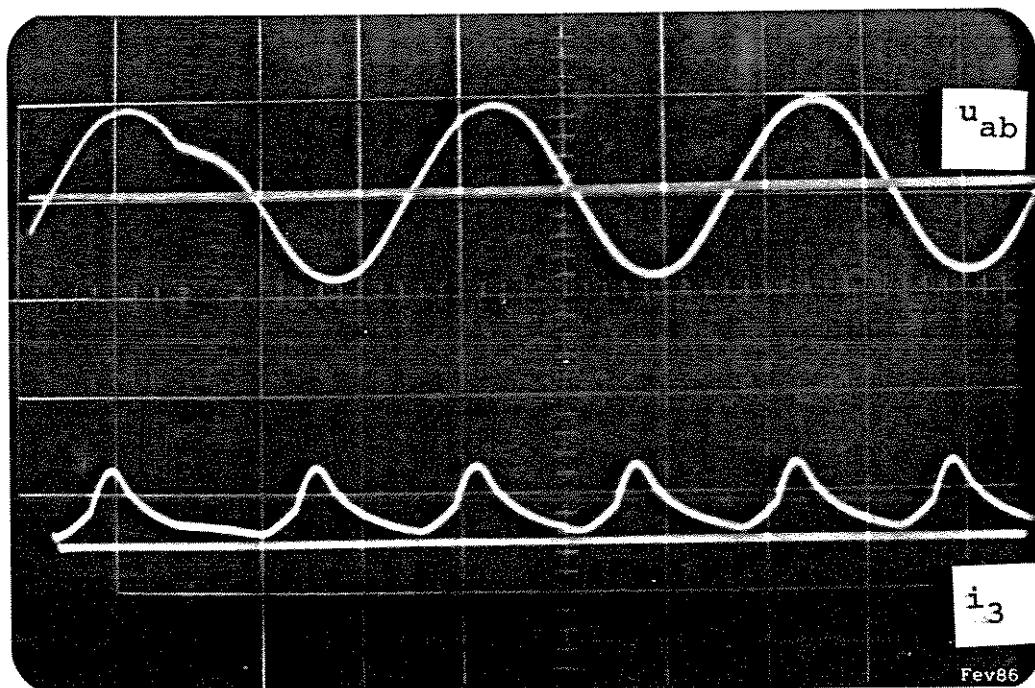


FOTO 35

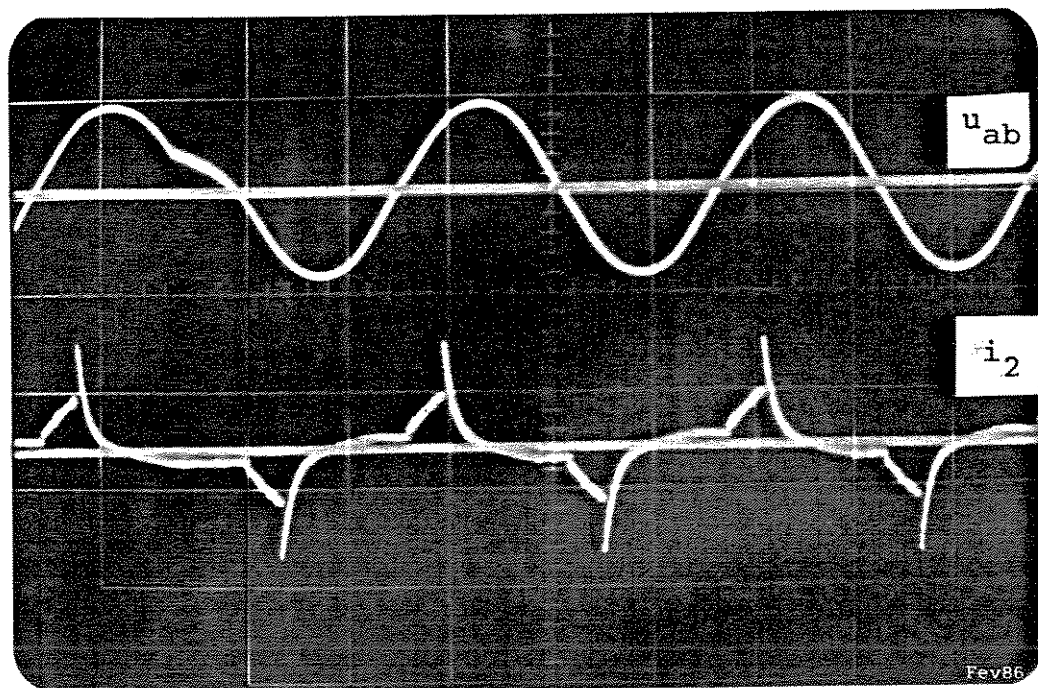


FOTO 36

P A R T E 3

[illegible]

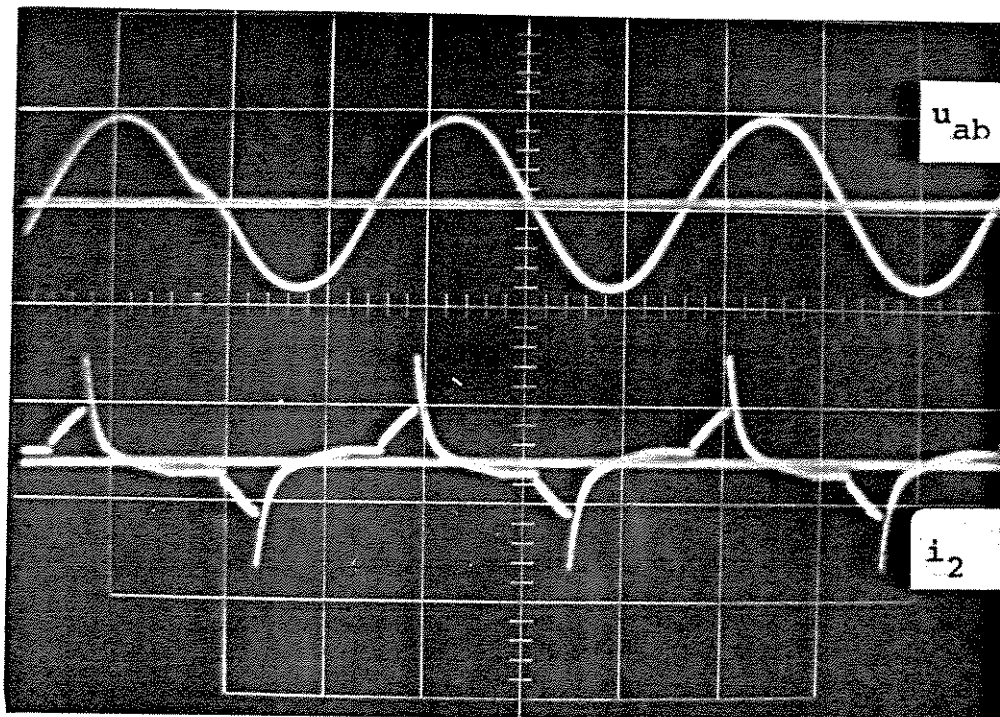


FOTO 01

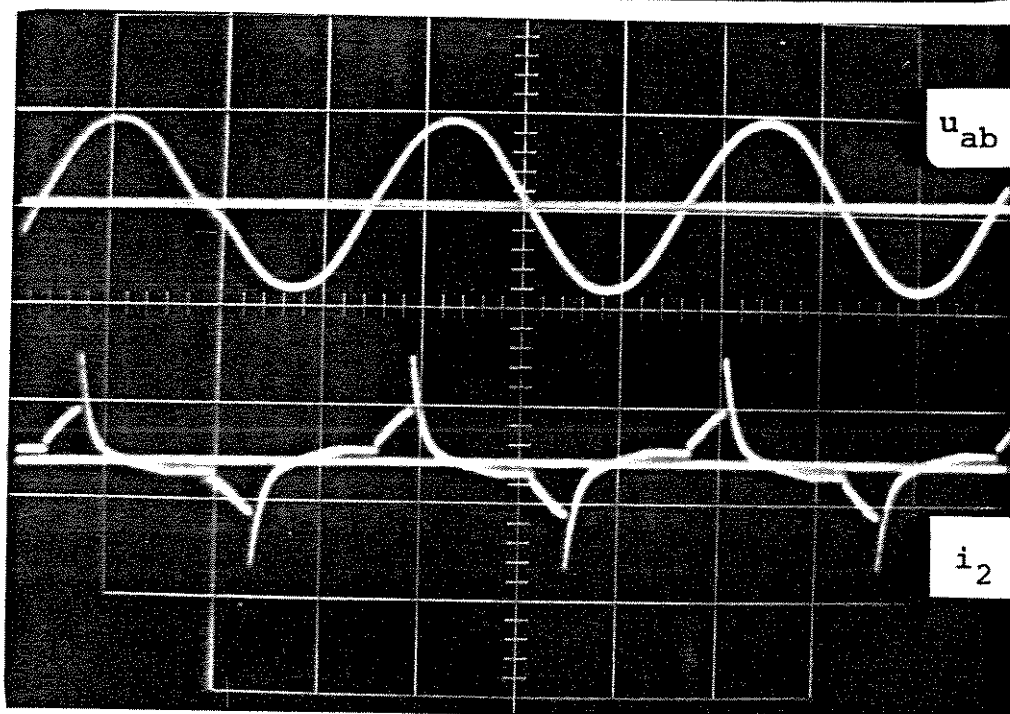


FOTO 02

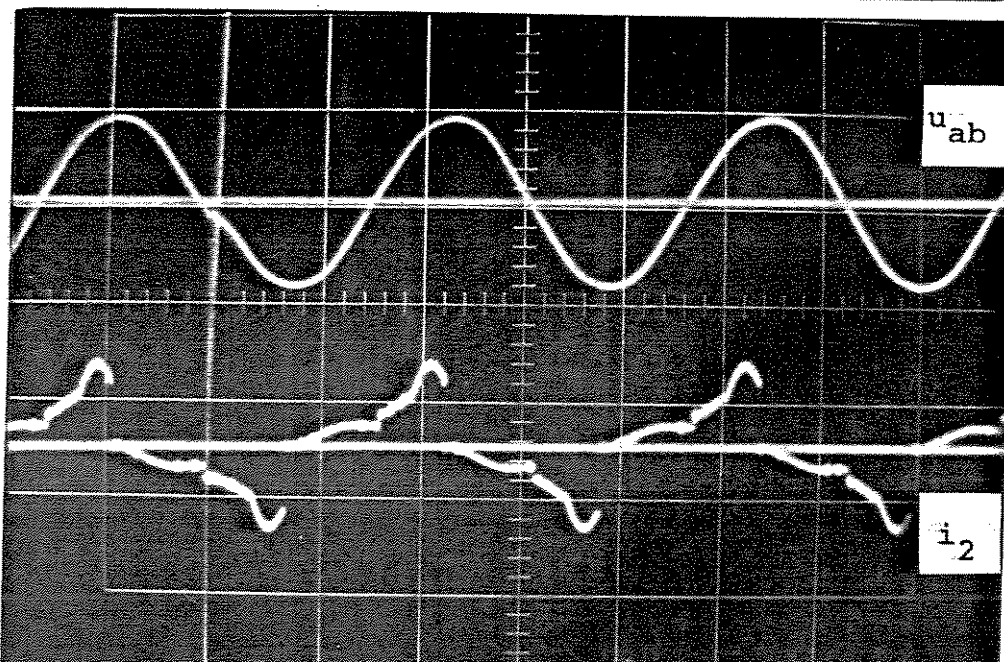


FOTO 03

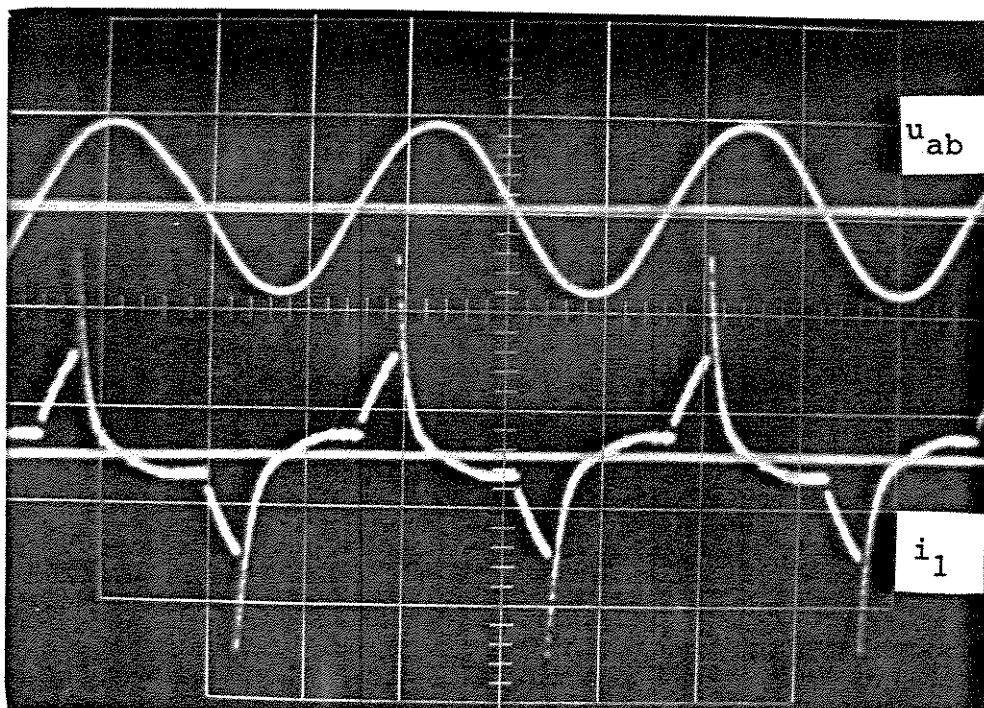


FOTO 04

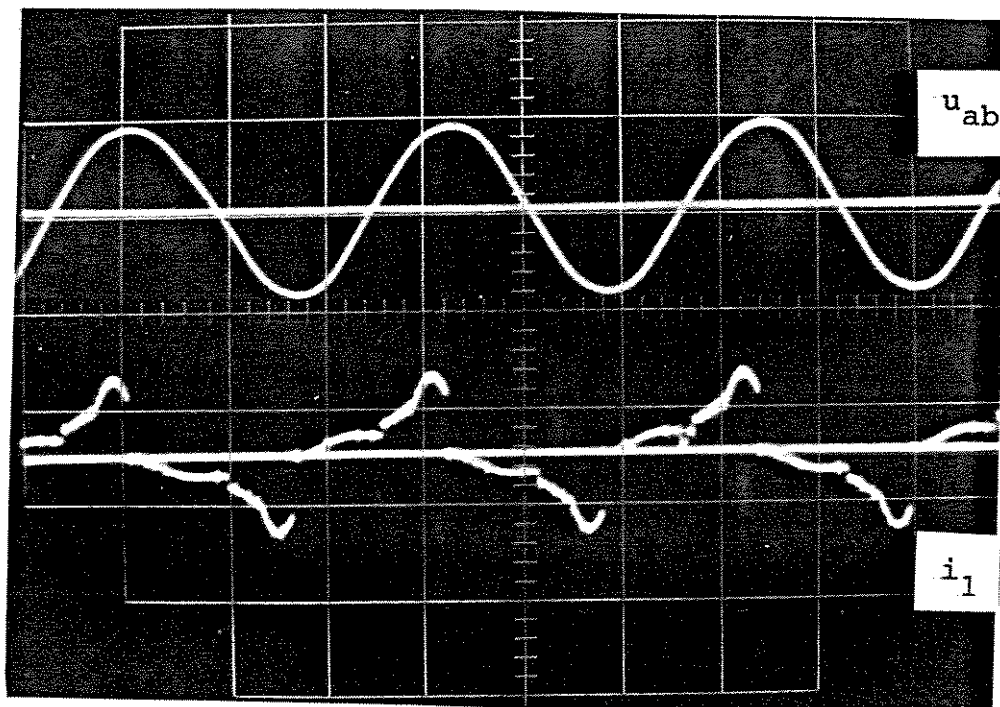


FOTO 05

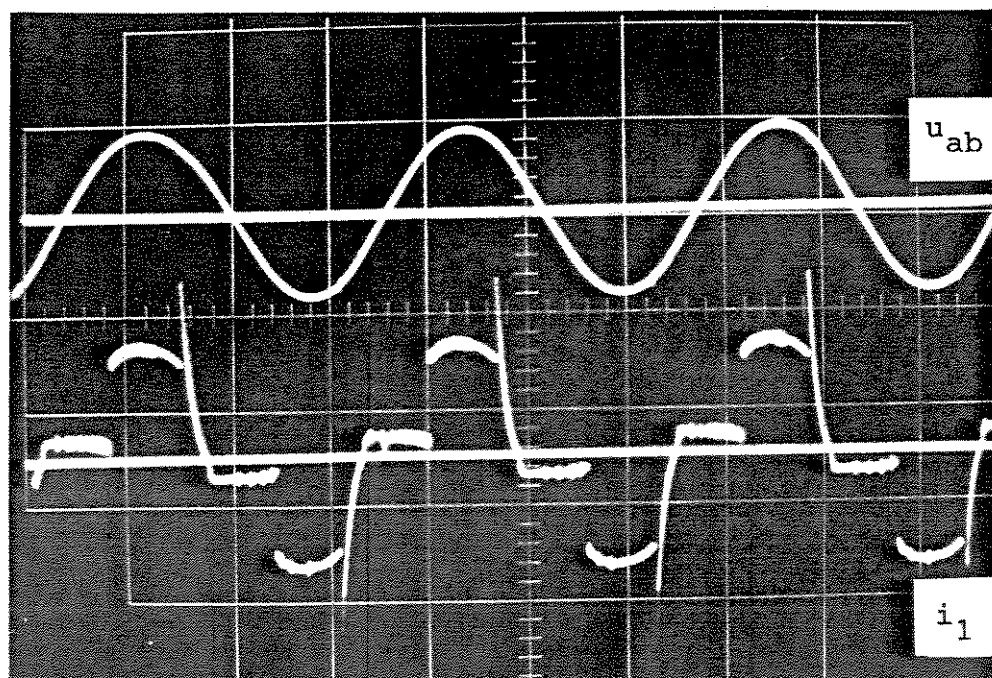


FOTO 06

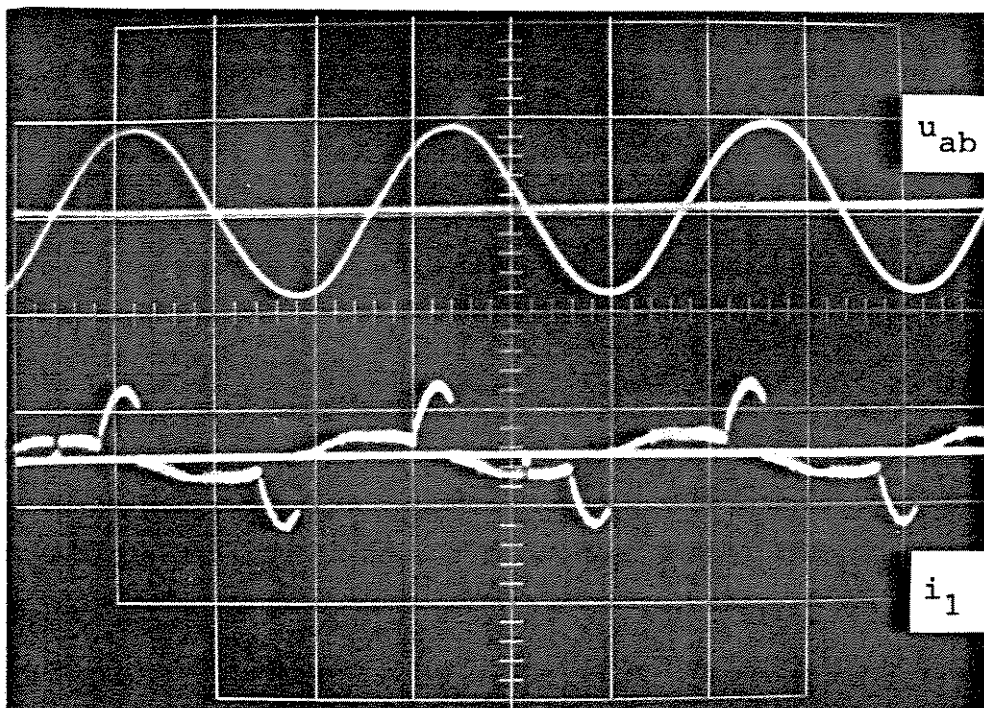


FOTO 07

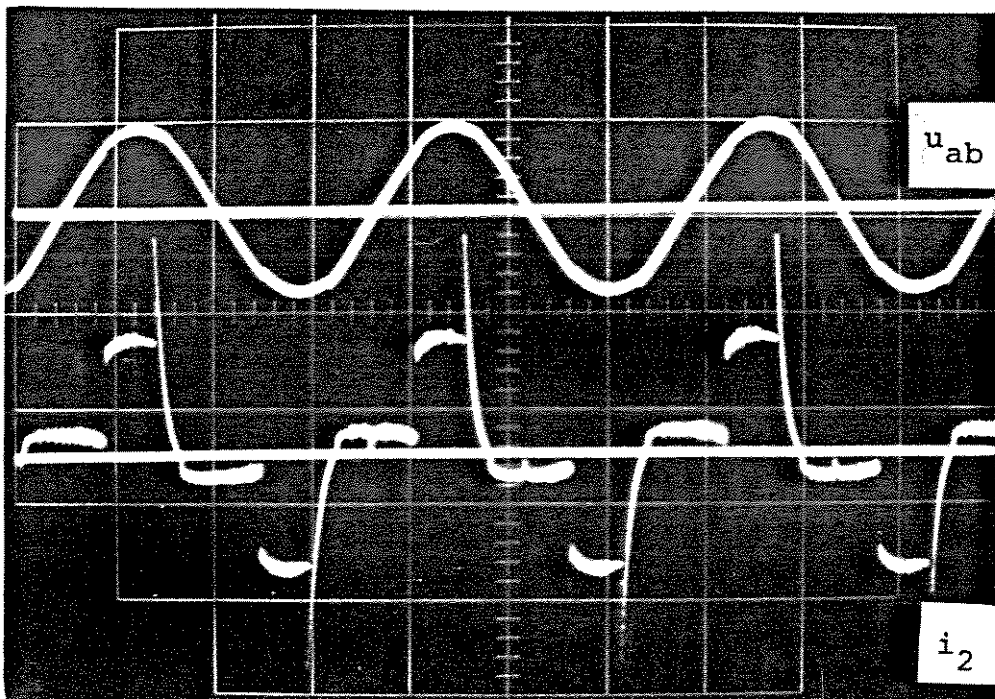


FOTO 08

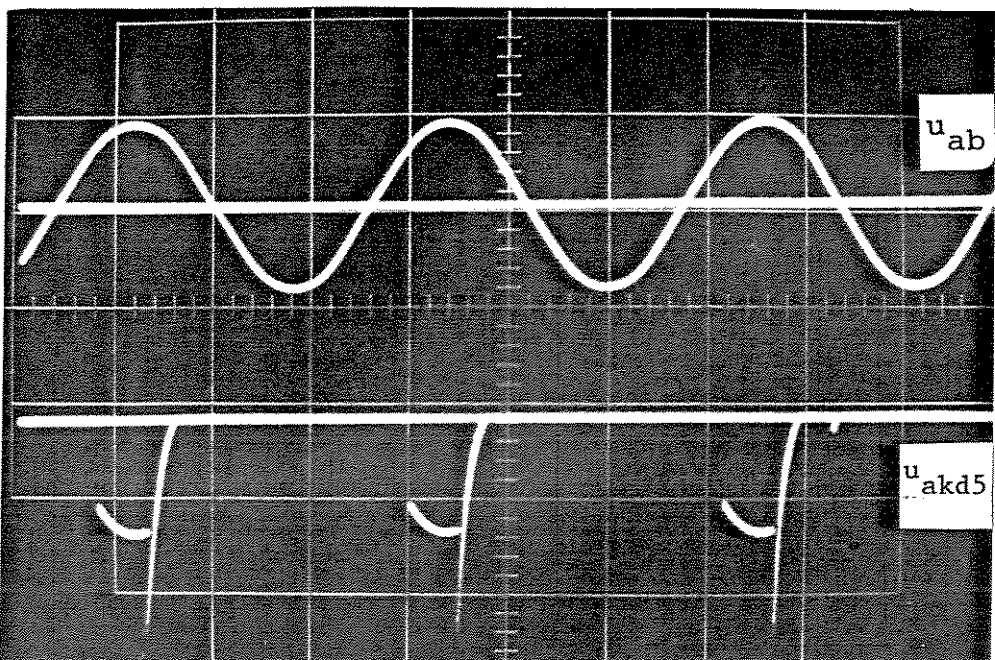


FOTO 09

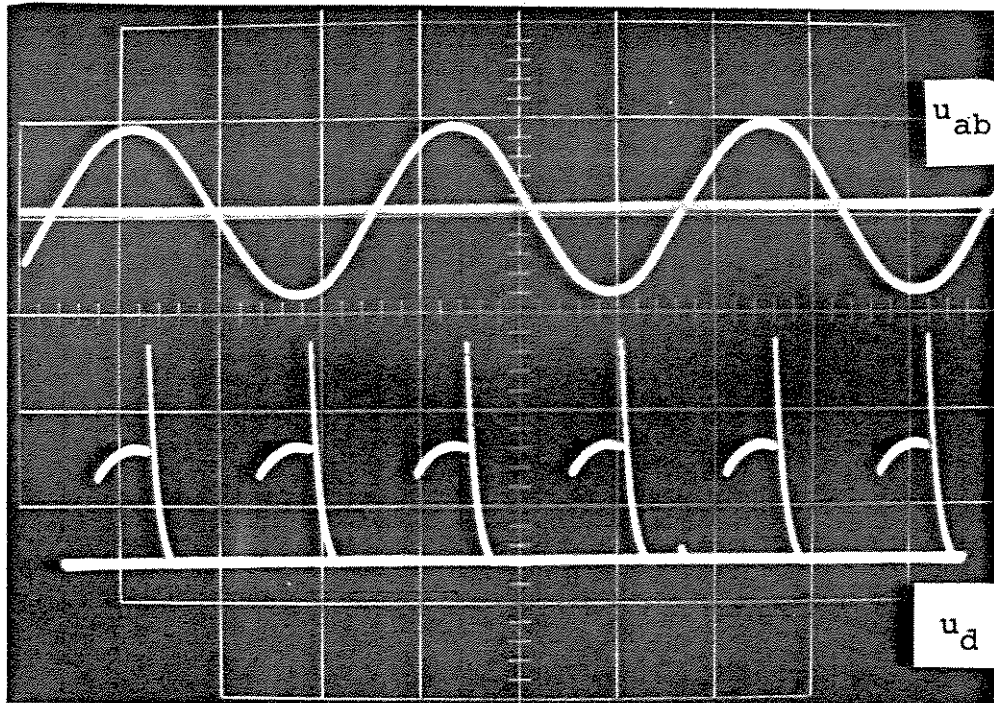


FOTO 10

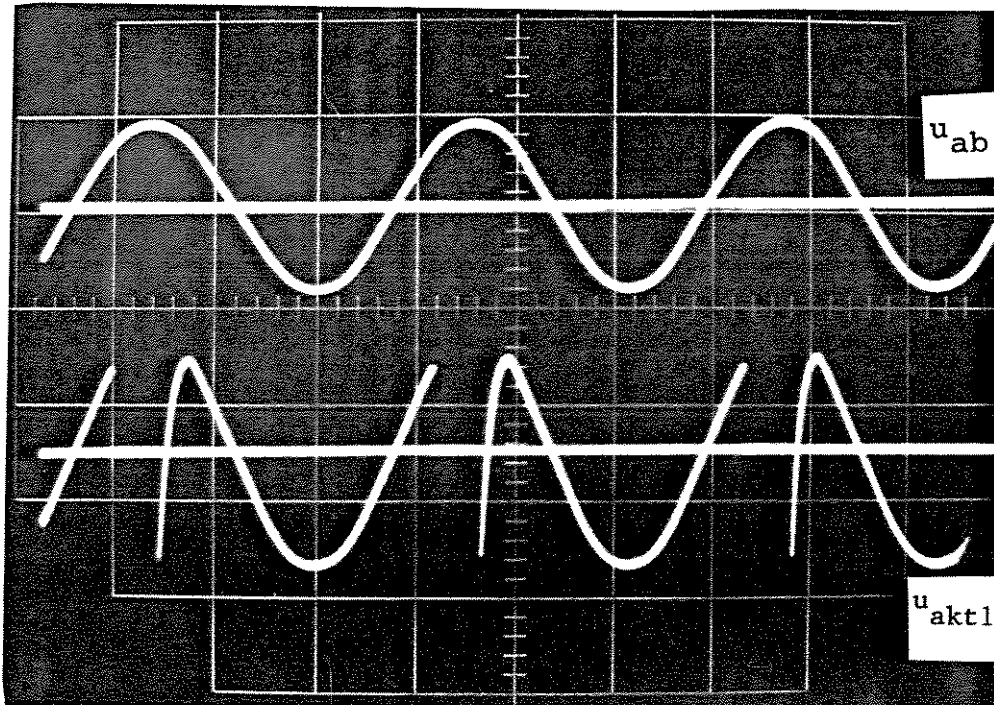


FOTO 11

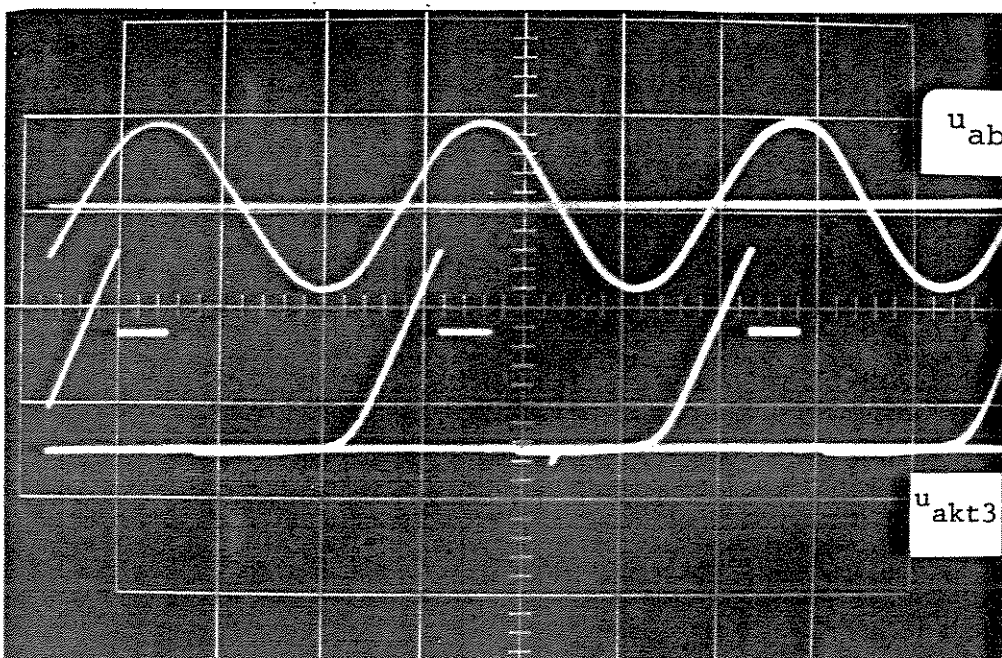


FOTO 12

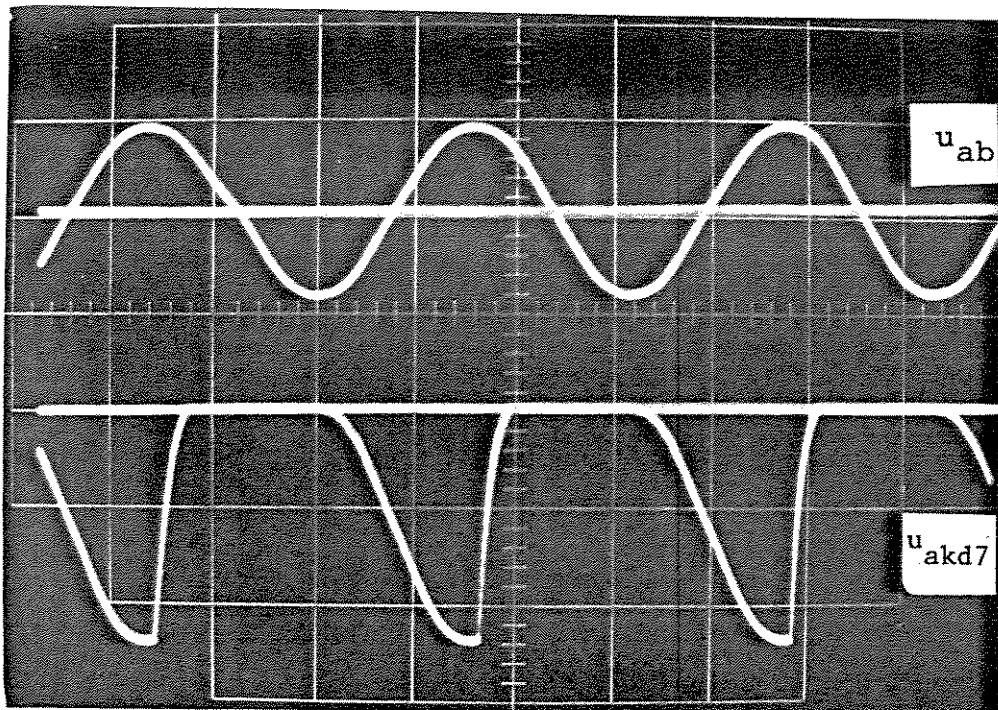


FOTO 13

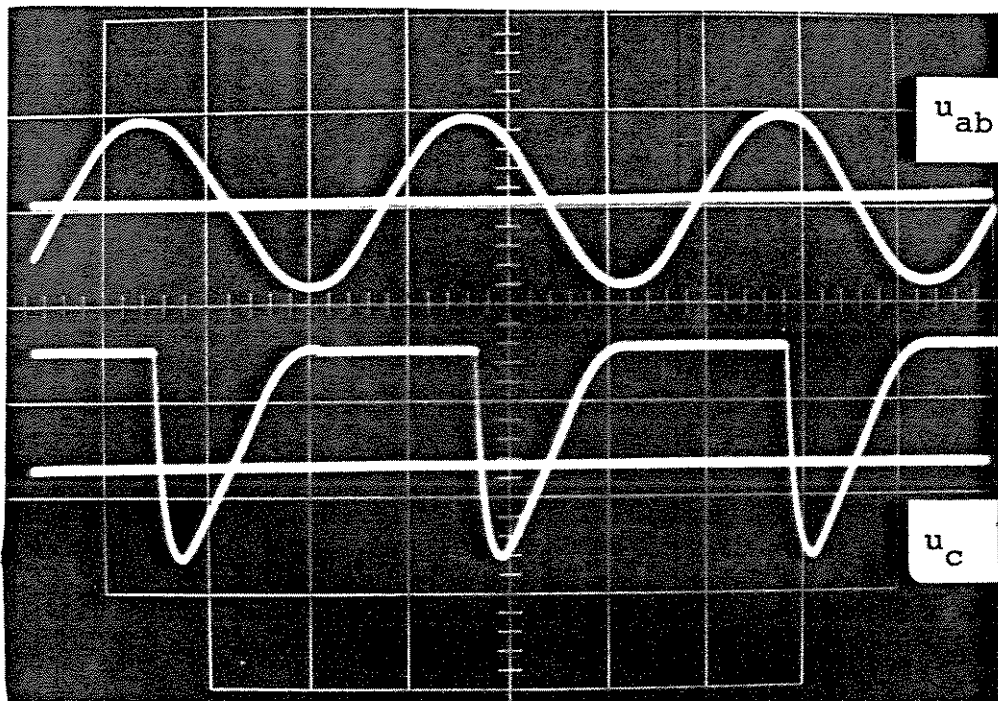


FOTO 14

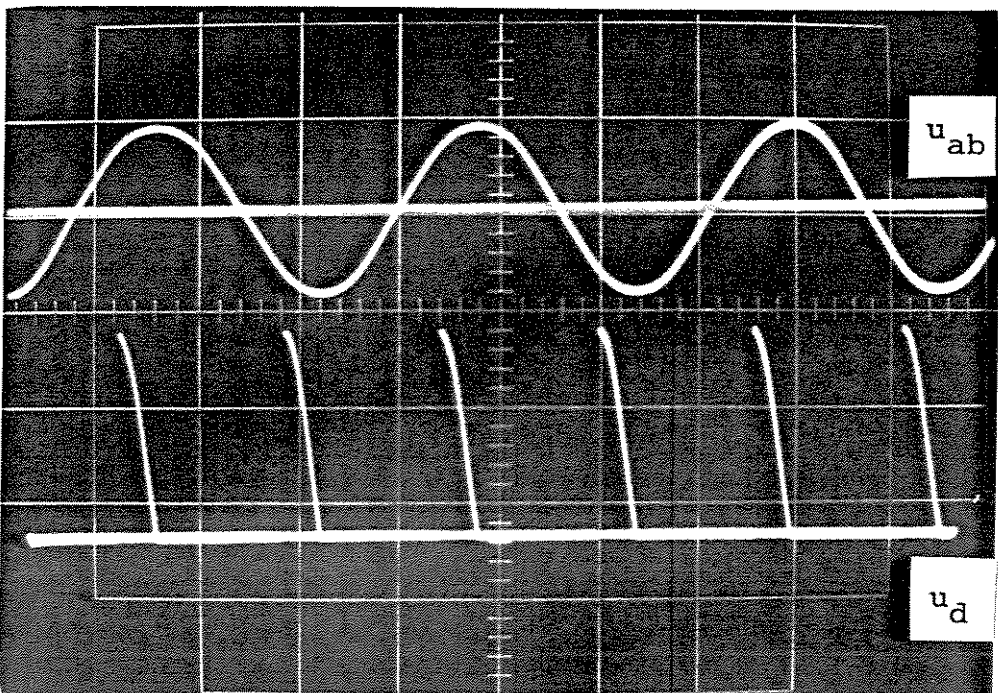


FOTO 15

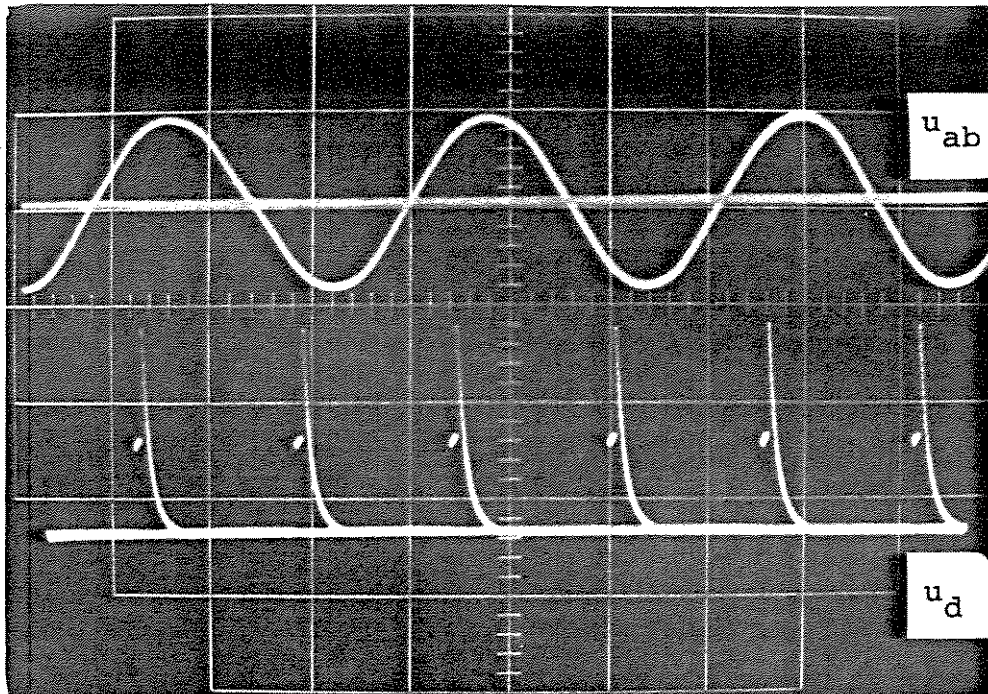


FOTO 16

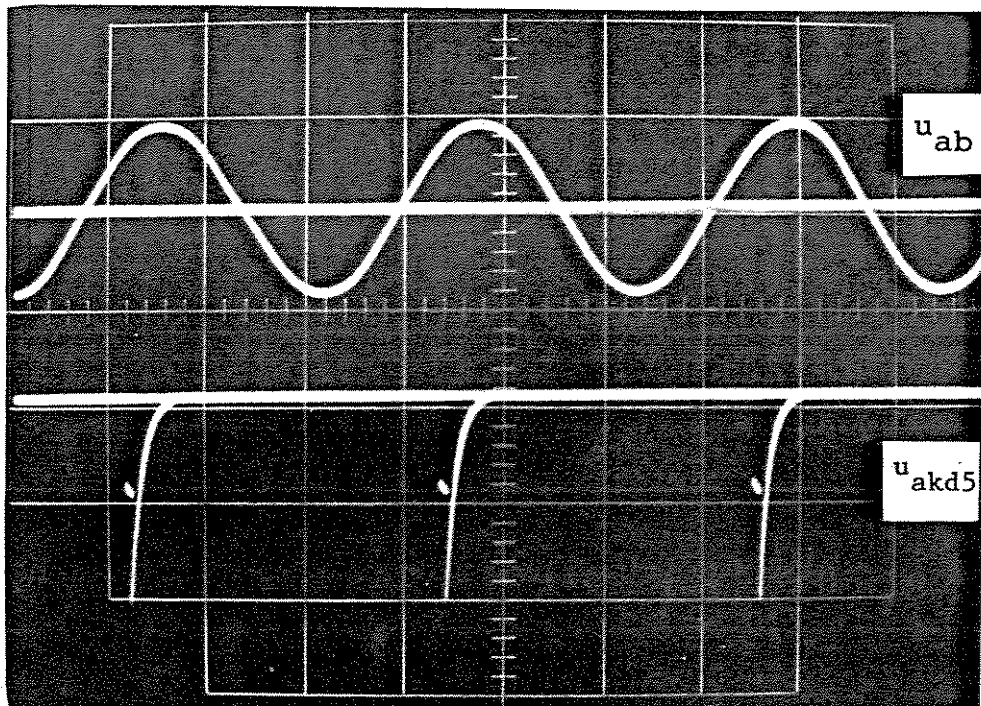


FOTO 17

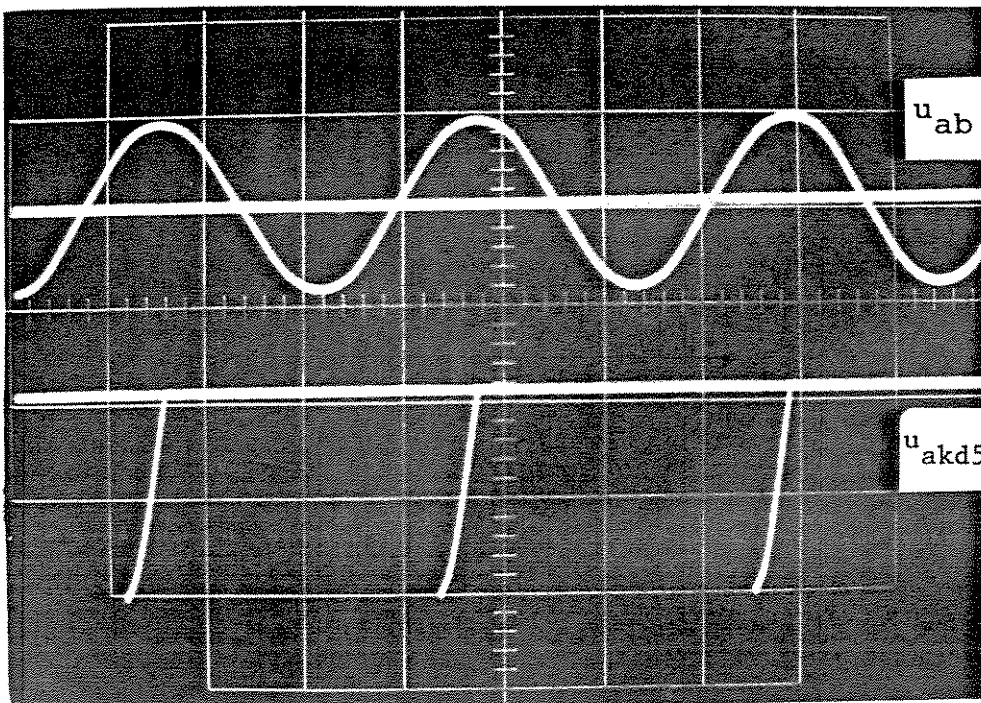


FOTO 18

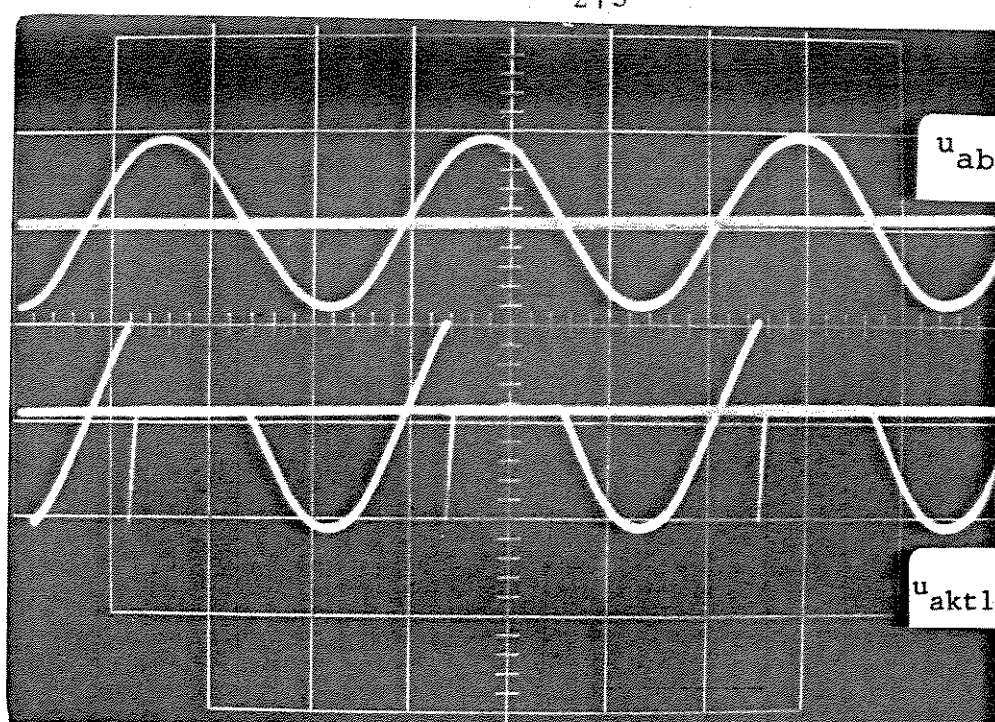


FOTO 19

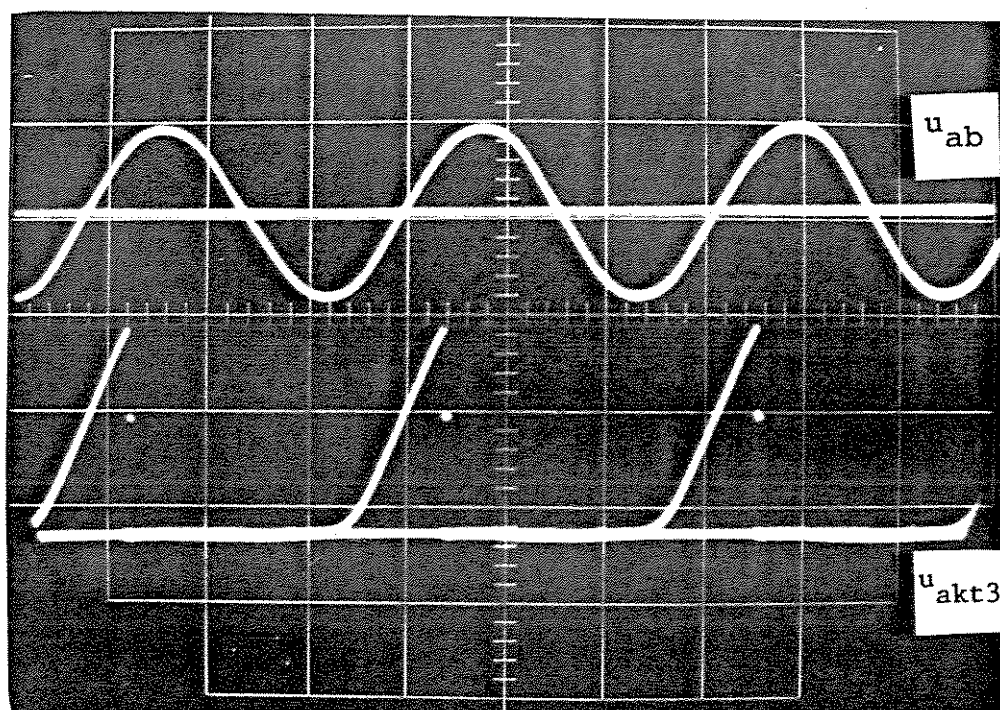


FOTO 20

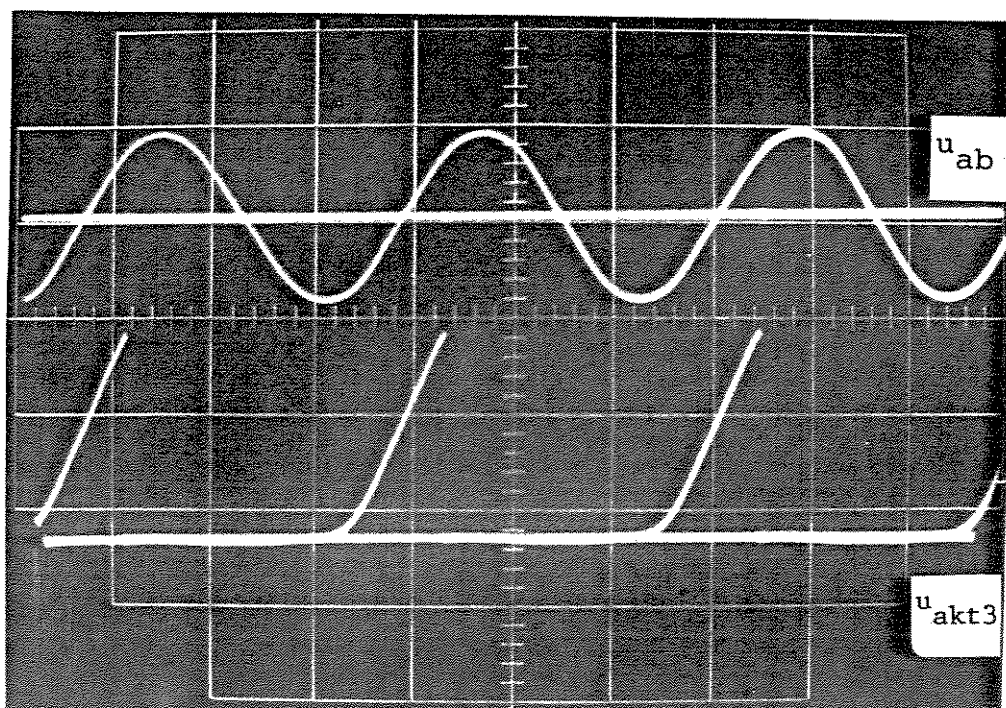


FOTO 21

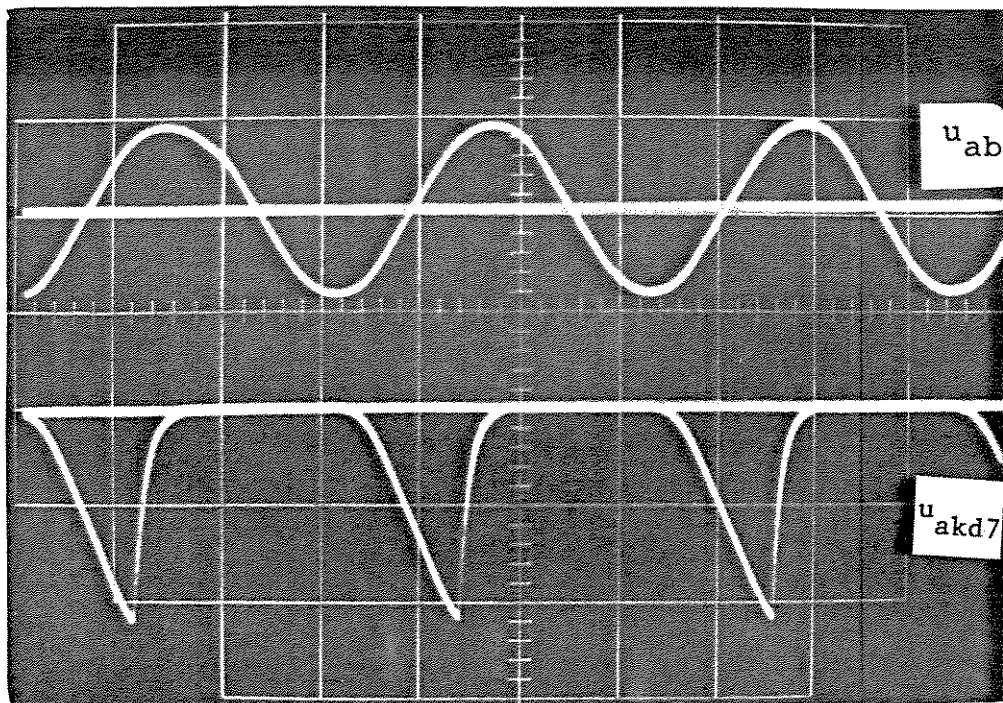


FOTO 22

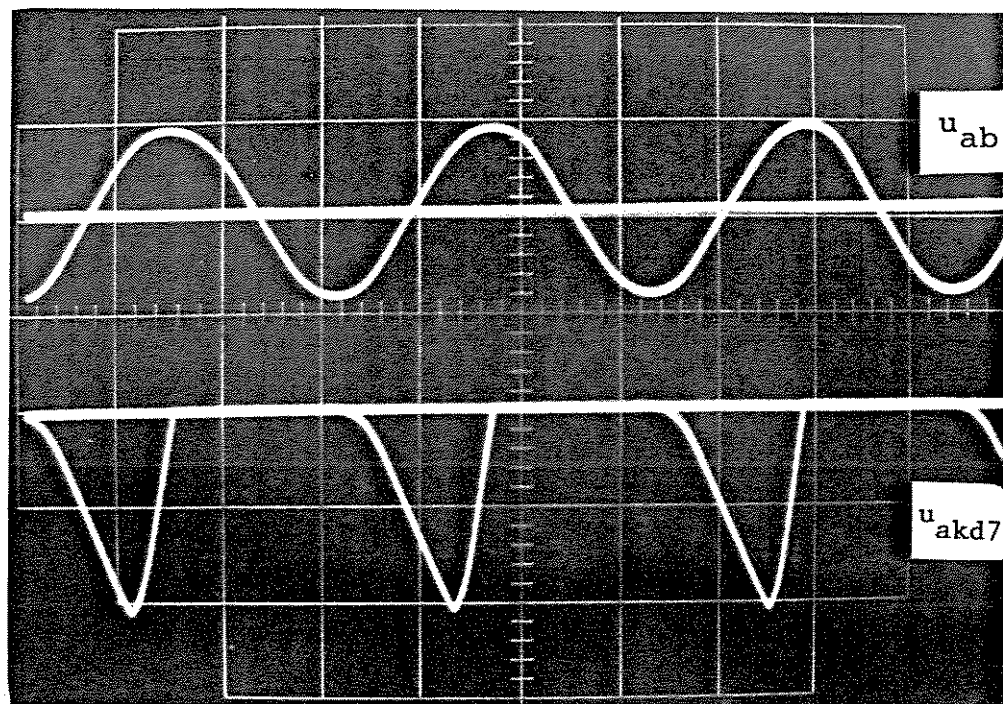


FOTO 23

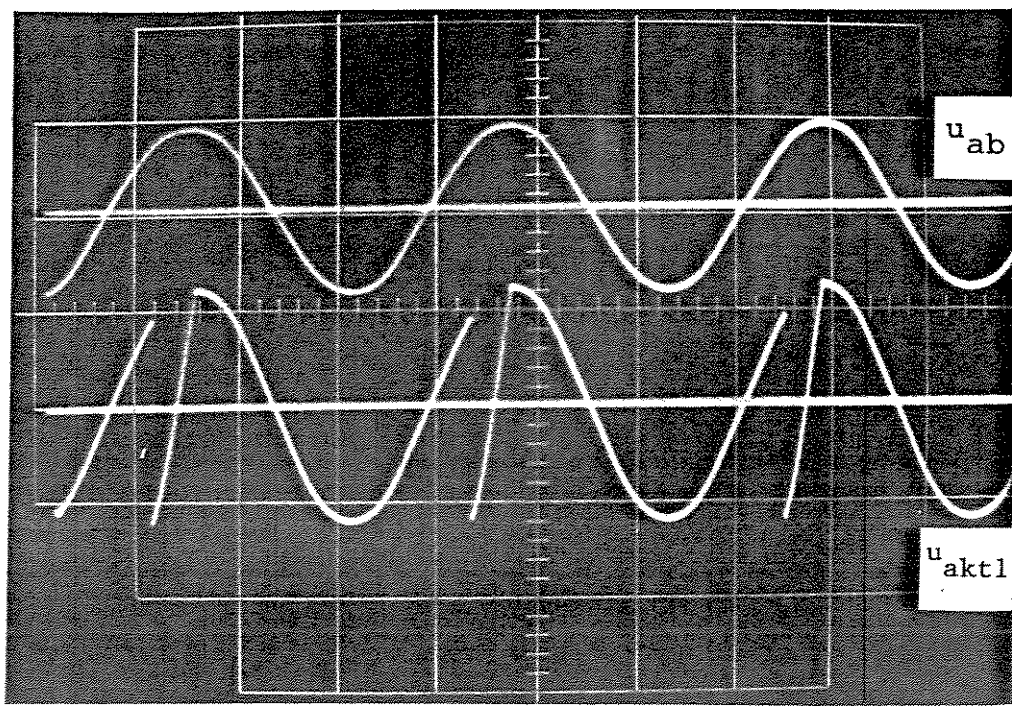


FOTO 24

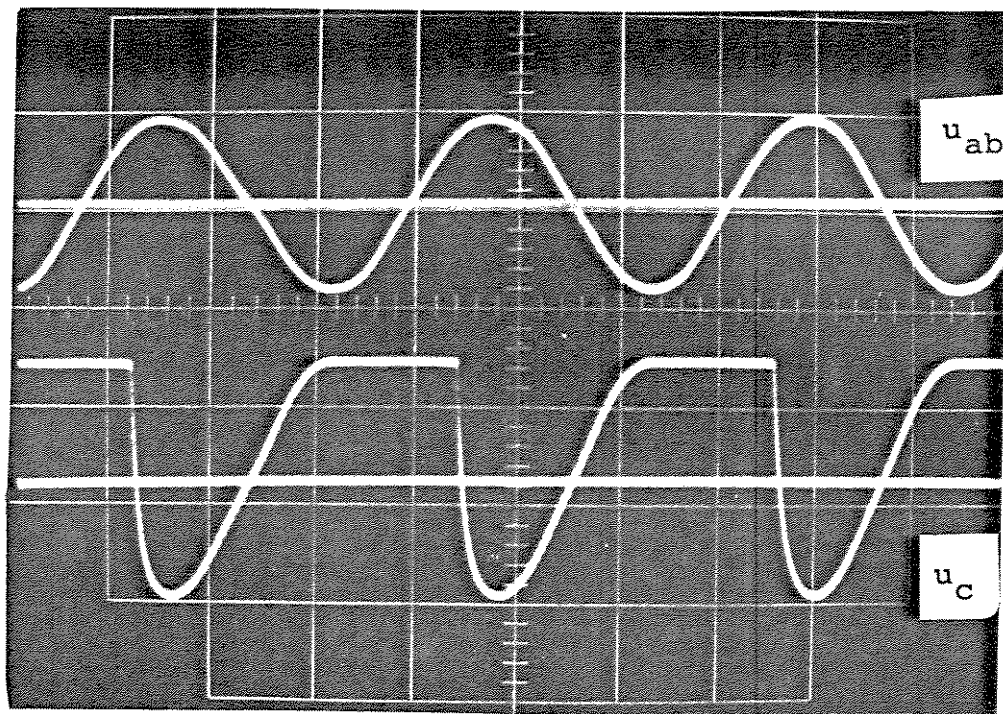


FOTO 25

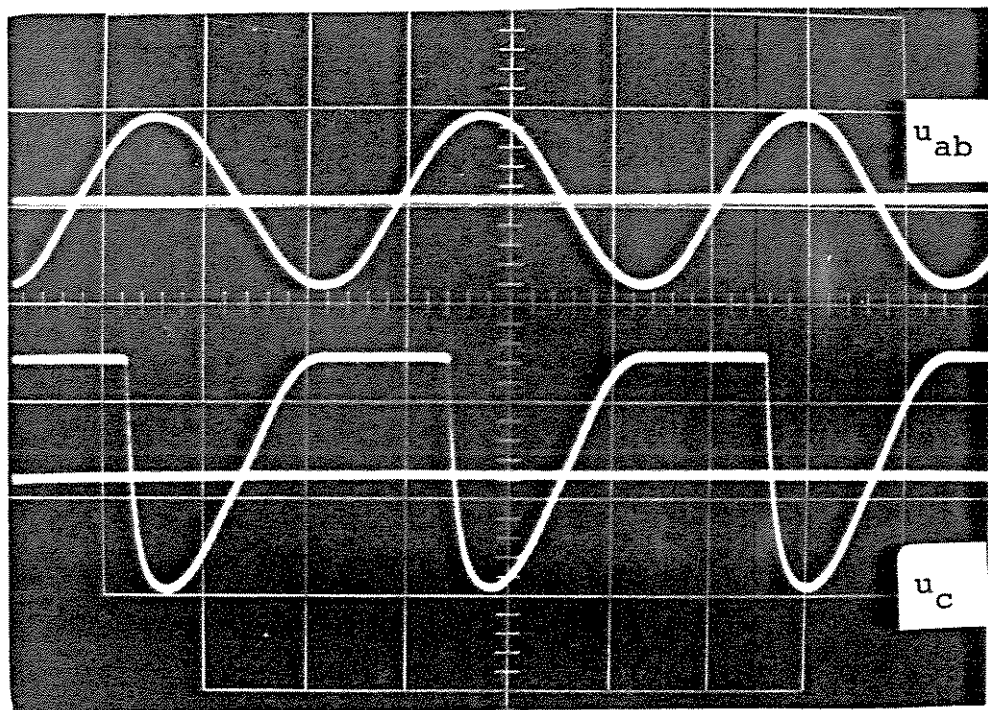


FOTO 25

P A R T E 4

RELAÇÃO DOS MATERIAIS USADOS NO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

Na ponte conversora monofásica com controle de fase da corrente que foi desenvolvida,efetuuou-se uma identificação de terminais. Esta identificação juntamente com os desenhos mostrados a seguir fornecem uma idéia dada do equipamento.

NÚMERO DE IDENTIFICAÇÃO NO CIRCUITO	DESCRIÇÃO	NÚMERO DA FIGURA
01	Régua sindal de entrada de alimentação da fonte, saída para os potenciômetros de controle dos ângulos de disparo α_D (ângulo de disparo dos tiristores principais) e α_B (ângulo de bloqueio dos tiristores principais ou ângulo de disparo dos tiristores de bloqueio)	3
02	Régua sindal de entrada de alimentação das fontes independentes, saída dos pulsos dos gatilhos e entrada do sinal de sincronismo do circuito de disparo	3
03	Régua de entrada de alimentação geral do sistema eletrônico	3
04	Régua terminal dos transformadores TF10 e TF20	3
05	Régua terminal dos transformadores TF30 e TF40	3
06	Régua sindal da fonte	3
07	Régua sindal da bobina L10	3
08	Régua sindal da bobina L12	3
09	Régua sindal da bobina L11	3
10	Régua sindal da bobina L13	3

NÚMERO DE IDENTIFICAÇÃO NO CIRCUITO	Cont. DESCRIÇÃO	NÚMERO DA FIGURA
11	Barramento isolado	3
12	Barramento em cobre	3
13	Barramento em cobre	3
14	Chave miniatura joto - 2 polos, 2 posições	2
15	Porta-fusível joto Ref. 5	2
16	Porta-fusível joto Ref. 50	2
17	Borne - Joto Ref. 59	2
18	Borne - Joto Ref. 159	2
19	Chave HH para 110/220 V	2

RELAÇÃO DOS COMPONENTES USADOS NO CIRCUITO DESENVOLVIDO

- C_{10} a C_{14} - Capacitores de poliester de 100 KpF
 C_{20} - Capacitor eletrolítico de 2.200 μ F/40V
 C_{30} - Capacitor eletrolítico de 470 μ F/63V
 C_{40} e C_{41} - Capacitores eletrolíticos de 47 μ F/63V
 C_{50} a C_{53} - Capacitores eletrolíticos de 1000 μ F/16V
 C_{60} e C_{61} - Capacitores de poliester de 33 KpF
 C_{700} a C_{711} - Capacitores de poliester de 1KpF
 C_{80} e C_{81} - Capacitores de cerâmica de 100 pF
 C_{90} a C_{93} - Capacitores de poliester de 47 KpF
 C_{100} e C_{101} - Capacitores eletrolíticos de 5 μ F, $U_N = 560V$,
 $V_{ef} = 440$ e $U_p = 700 V$
 C_{R10} - CI Regulador 7815
 C_{R20} - CI Regulador 7915
 D_{10} - Diodo SKN 21/16
 D_{20} - Diodo SKR 21/16
 D_{30} - Diodo SKN 21/16 C/ dissipador
 D_{40} - Diodo SKN 21/14 C/ dissipador
 D_{100} a D_{110} - Diodos 1N4007
 D_{200} e D_{201} - Diodos 1N 914
 D_{300} - LED
 J_{10} a J_{12} - Jumper
 L_{10} a L_{13} - Bobinas
 P_{10} e P_{11} - Potenciômetros Linear de 10K
 CI_{10} a CI_{16} - CI 741
 CI_{20} e CI_{21} - TCA 780
 CI_{30} a CI_{33} - TIL 111 - Acoplador Óptico

R_{10} a R_{12} - Resistores de 100 K

R_{20} a R_{25} - Resistores de 1 K

R_{30} a R_{35} - Resistores de 15 K

R_{40} a R_{45} - Resistores de 10 K

R_{50} e R_{51} - Resistores de 5K6

R_{60} e R_{61} - Resistores de 27 K

R_{70} a R_{73} - Resistores de 82 K

R_{80} - Resistor de 25Ω /50 W

R_{90} a R_{93} - Resistores de 82Ω

R_{100} - Resistor de 900Ω

SCR_{10} a SCR_{13} - Tiristores 2N3898

Sh_{10} a Sh_{12} - Shunt

T_{10} - Trimpot de precisão de 20 K

T_{20} e T_{21} - Trimpot de precisão de 10 K

TF_{10} - Transformador 127/220 V para 12 + 12V - 700 mA

TF_{20} - Transformador 127/220 V para 12 - 12V - 700 mA

TF_{30} - Transformador 127/220V para 12V. - 700 mA

TF_{40} - Transformador 127/220V para 6V - 100 mA

TR_{10} a TR_{17} - Transistor BC 548

L_{10} a L_{13} - Indutor de comutação $20\mu H$

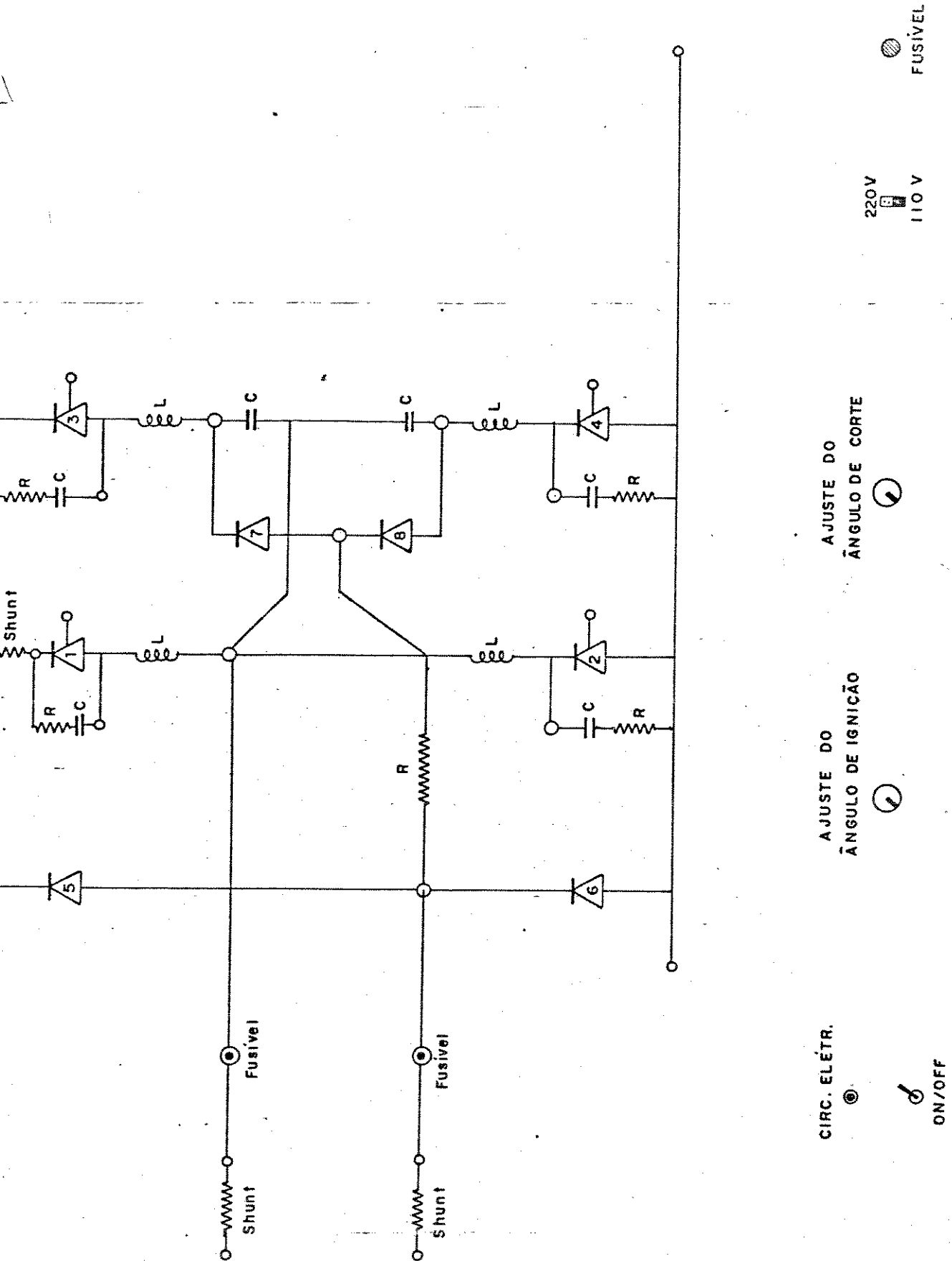


FIGURA 1: VISTA DE FRENTE DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO.

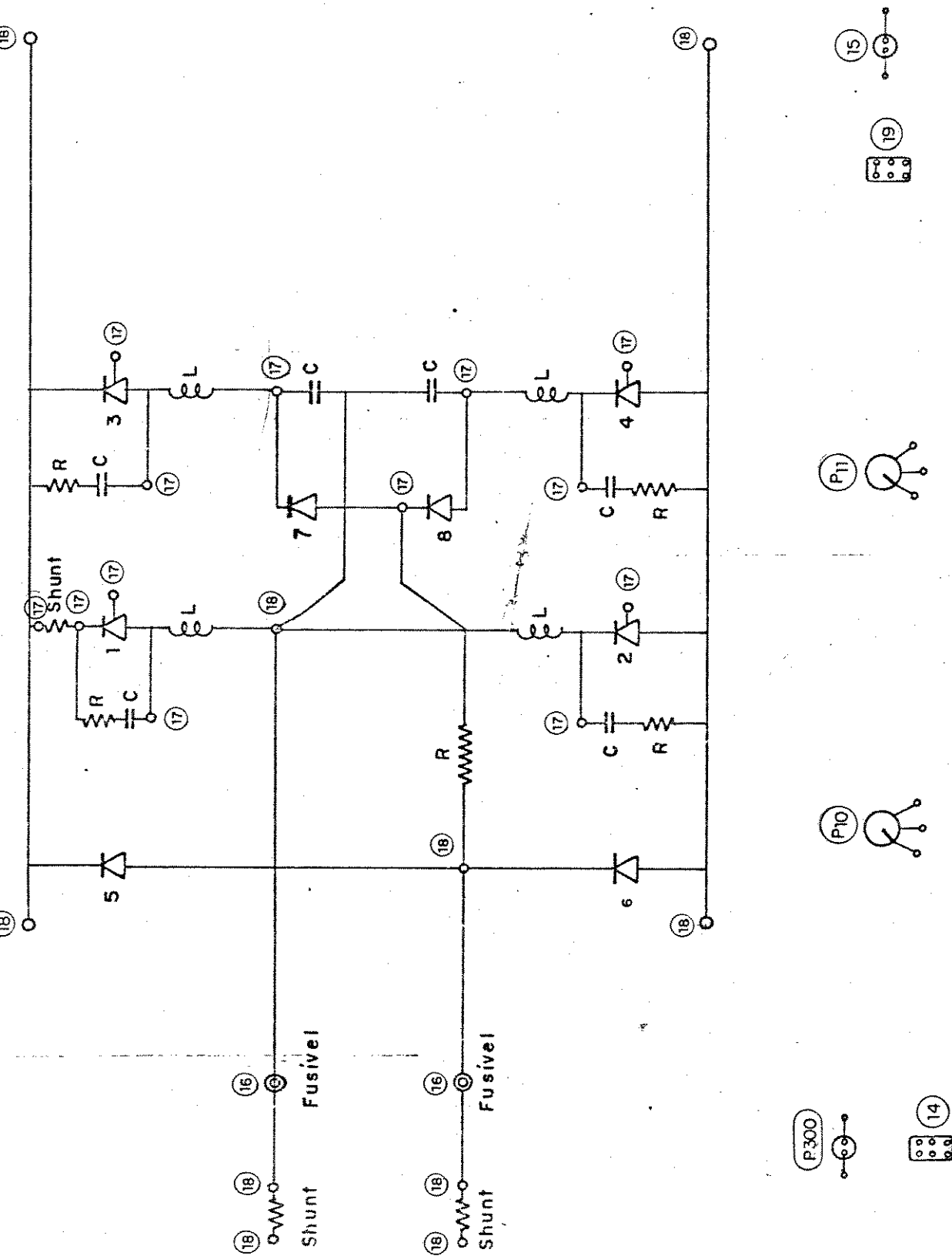
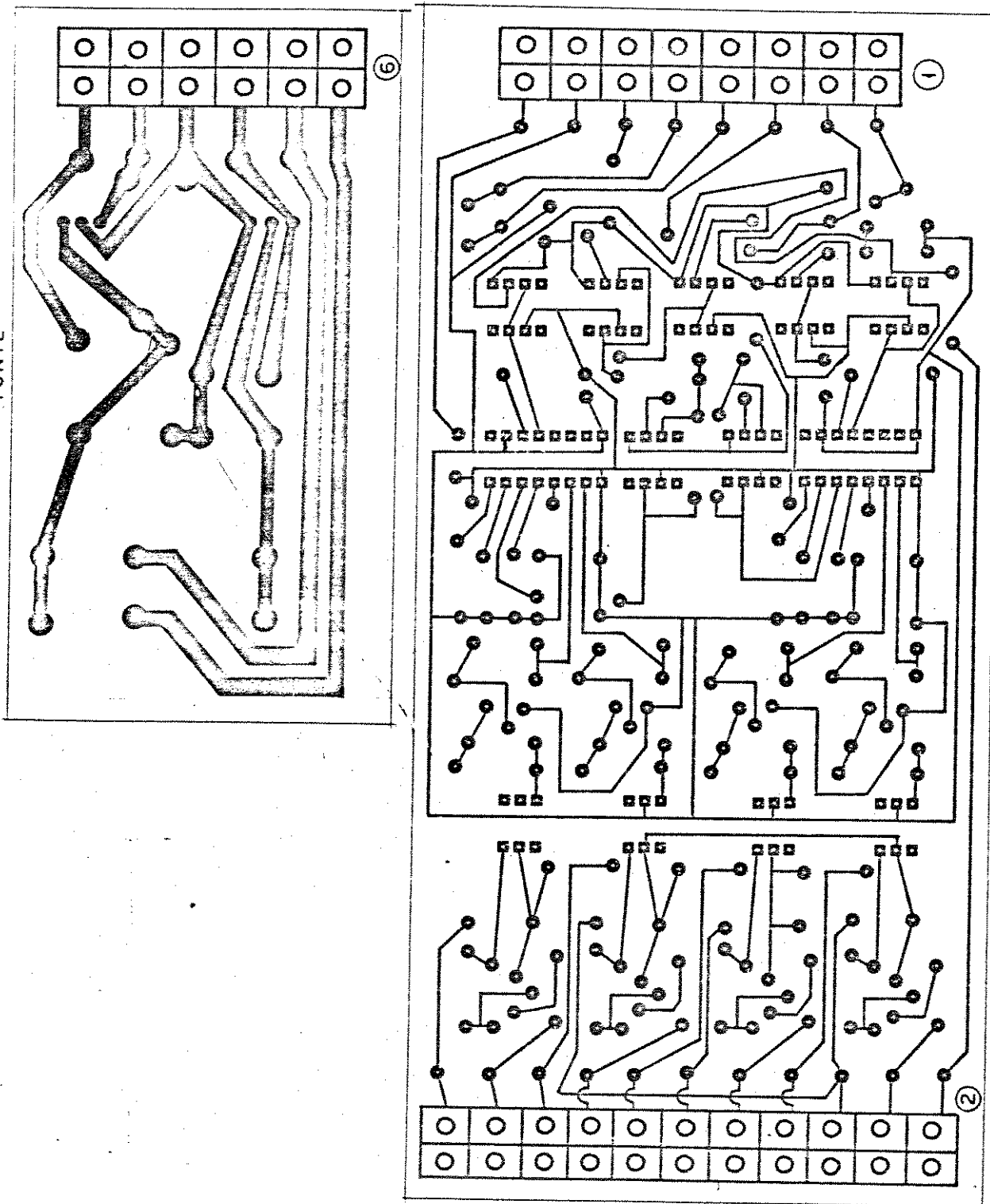


FIGURA 2: VISTA MOSTRANDO OS DIAGRAMAS DE CONEXÃO DOS POTENCIÔMETROS E CHAVES.



CIRCUITO DE DISPARO

FIGURA 4: VISTA INFERIOR DA PLACA DO CIRCUITO IMPRESSO.

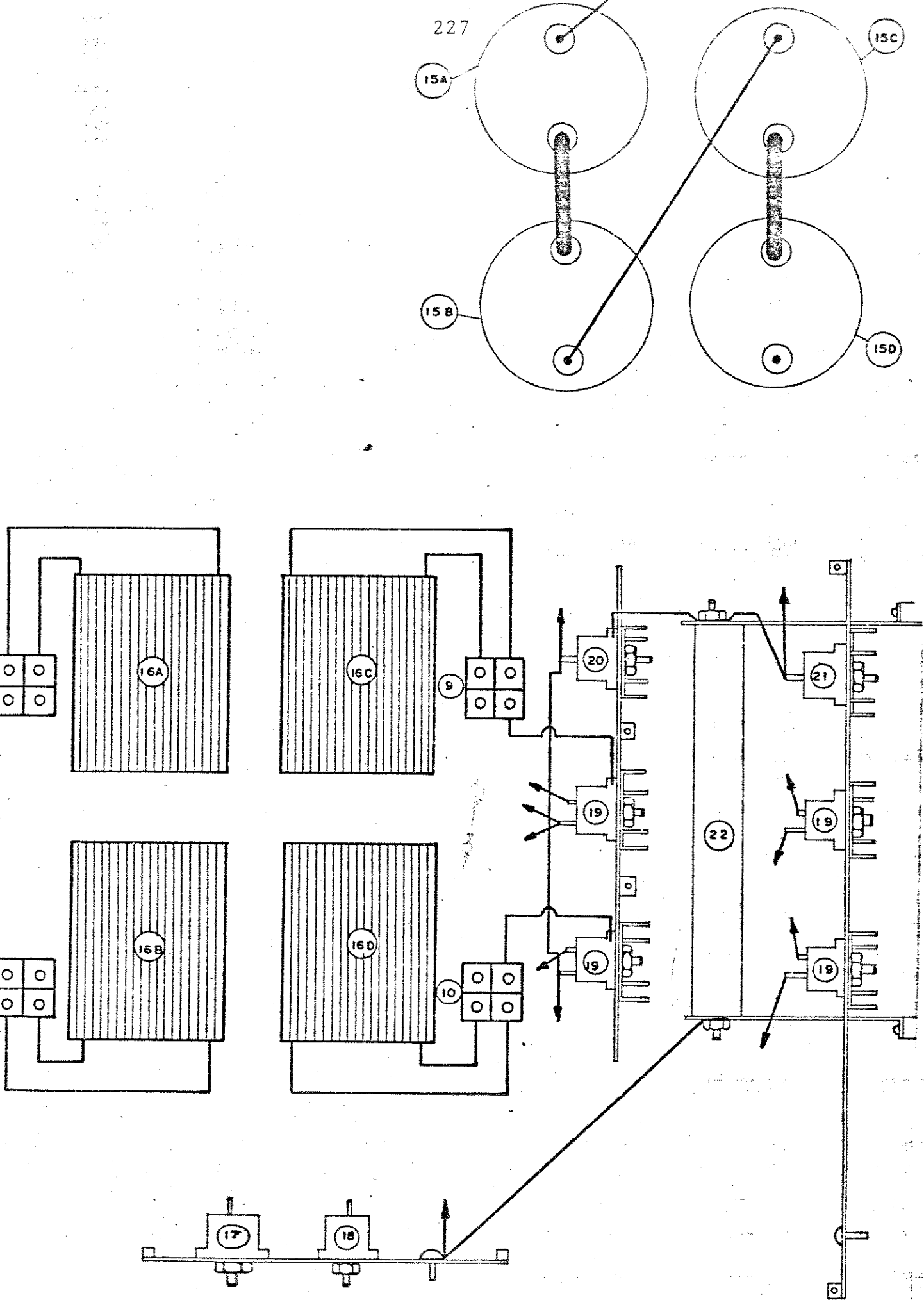


FIGURA 5 : DIAGRAMA DE CONEXÃO DA PARTE DE POTÊNCIA.

ESQUEMA ELETRÔNICO FONTE DE ALIMENTAÇÃO

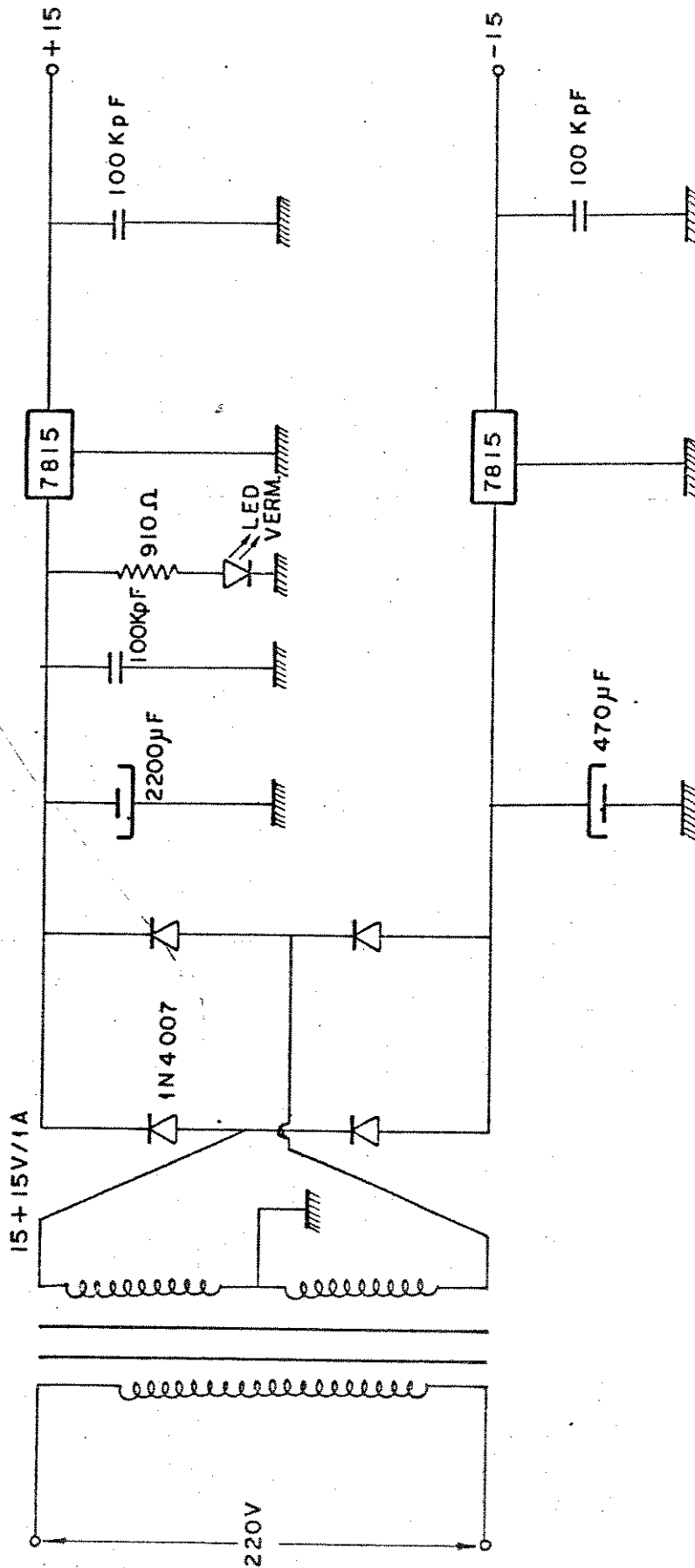


FIGURA 6: DIAGRAMA DE LIGAÇÃO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE.

A N E X O 2

REPRESENTAÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO E
CABOS MONOFÁSICOS SEM PERDAS POR UM
CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE ([1], [2], [4], [6] E [19])

Enquanto a representação das linhas de transmissão e dos cabos em TNA deve ser feita com o uso de numerosos circuitos PI (II), os computadores digitais oferecem como uma melhor alternativa a obtenção através de uma solução numérica direta o comportamento das ondas viajantes nas linhas de transmissão.

A análise de transitórios em linhas de transmissão pode ser feita pela integração numérica das equações diferenciais que descrevem os parâmetros R, L e C da linha. Esta técnica é prática para algumas finalidades quando implementada em computador digital, mas requer a solução de um par de equações diferenciais para cada uma das seções RLC usada para representar a linha.

Entretanto, no caso das linhas de transmissão sem perdas, uma solução mais rápida e simples pode ser usada. Tal solução é obtida por um método matemático típico para resolver equações hiperbólicas diferenciais parciais, tais como as equações de onda e se um algoritmo particularmente eficiente for usado pode-se calcular não só as tensões e correntes terminais, mas também as ondas de tensão (e/ou corrente) incidentes e refletidas ao longo das linhas de transmissão.

Embora o método usado neste caso, (método das características) seja aplicável às linhas com perdas, as equações diferen

ciais ordinárias às quais ele produz não são diretamente integráveis. Somente no caso das linhas sem perdas estas equações podem ser resolvidas exatamente. (O algoritmo assim descrito é o mesmo usado no tratamento aos fenômenos transitórios de Hidráulica).

Considere uma linha de transmissão com seus parâmetros, R' , L' , C' e G' (resistência, indutância, capacitância e condutância), cujas unidades são dadas por unidade de comprimento. A figura 1 ilustra a seção correspondente a um trecho de linha.

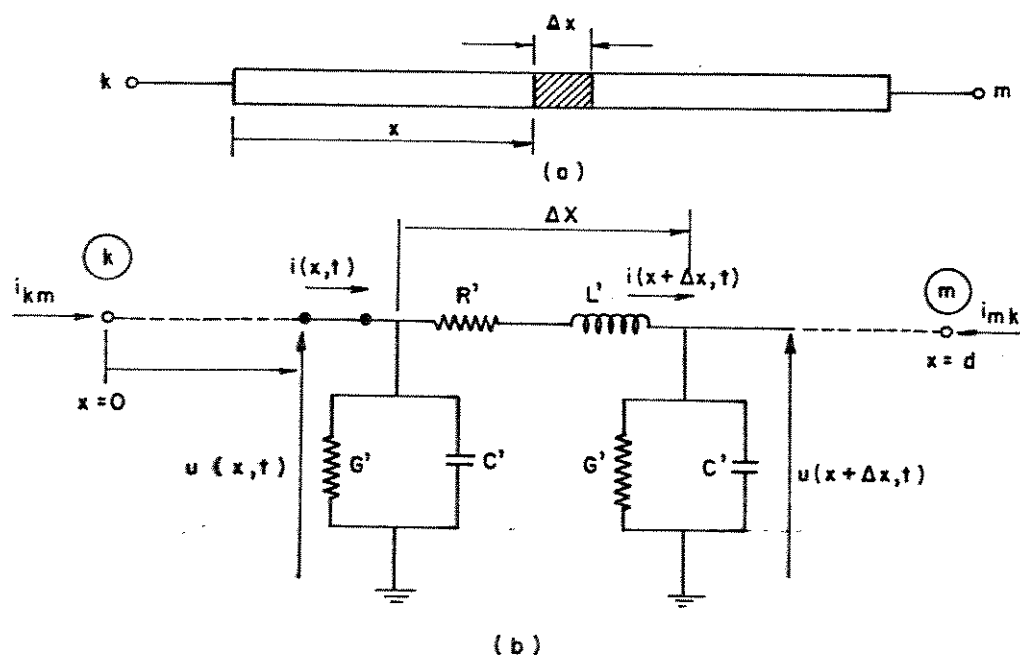


FIGURA 1: REPRESENTAÇÃO DE UM TRECHO DE LINHA.

A. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA.

B. REPRESENTAÇÃO POR DIAGRAMA R' , L' , C' .

Para o trecho de linha representado pode-se escrever:

$$\frac{\partial u}{\partial x}(x,t) + R' i(x,t) + L' \frac{\partial i}{\partial t}(x,t) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial i}{\partial x}(x,t) + G' u(x,t) + C' \frac{\partial u}{\partial t}(x,t) = 0 \quad (2)$$

Onde na figura 1 e nas equações (1) e (2) tem-se:

x - distância entre algum ponto escolhido arbitrariamente como referência e o ponto de interesse;

$u = u(x,t)$ - tensão instantânea à distância x , no instante t ;

$i = i(x,t)$ - corrente instantânea à distância x , no instante t ;

d - comprimento da linha;

Δx - trecho infinitesimal da linha de comprimento d ;

R' - resistência em Ω/km ;

G' - condutância em Ω^{-1}/km ;

L' - indutância em H/km ;

C' - capacitância em F/km .

No caso de não considerar-se as perdas tem-se:

$$R' = G' = 0$$

Logo, as equações (1) e (2) tornam-se:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = L' \frac{\partial i}{\partial t} \quad (3)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = C' \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4)$$

A solução de (3) e (4) foi dada primeiramente por D'Alembert e tem a forma geral.

$$i(x,t) = f_1(x - vt) + f_2(x + vt) \quad (5)$$

$$U(x,t) = Z_0 f_1(x - vt) - Z_0 f_2(x + vt) \quad (6)$$

$$Z_0 = \sqrt{L'/C'} \quad - \text{ impedância característica}$$

$$v = 1/\sqrt{L' \cdot C'} \quad - \text{ velocidade de propagação da onda na linha de transmissão}$$

Por outro lado, as funções f_1 e f_2 são desconhecidas e dependem das condições de contorno do problema particular que está

sendo estudado. A função f_1 é interpretada fisicamente como sendo uma onda viajante direta, enquanto f_2 é interpretada como sendo uma onda viajante refletida.

A figura 2 ilustra esquematicamente as funções f_1 e f_2 . Note que tanto a tensão como a corrente são obtidas pela soma de tais ondas viajantes.

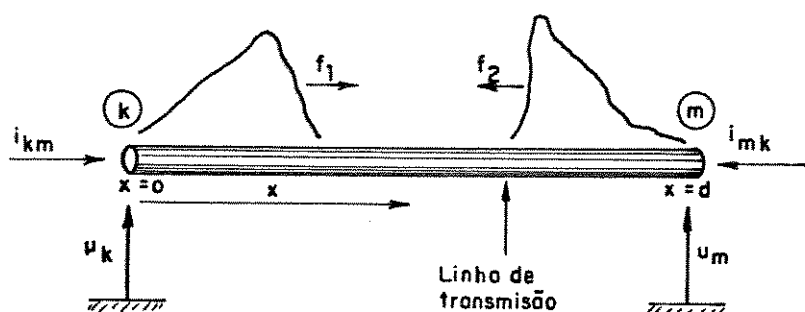


FIGURA 2: INTERPRETAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS ONDAS VIAJANTES.

Convém salientar que $f_1(x - vt)$ representa uma onda viajante no sentido direto com velocidade v , ao passo que $f_2(x + vt)$ representa uma onda viajante no sentido reverso com velocidade v .

Associando convenientemente as equações (5) e (6), tem-se:

$$u(x,t) + Z_0 i(x,t) = 2Z_0 f_1(x - vt) \quad (7)$$

$$u(x,t) - Z_0 i(x,t) = -2Z_0 f_2(x + vt) \quad (8)$$

Note ainda que em (7) o termo $(u + Z_0 i)$ é constante quando $(x - vt)$ for constante. Na equação (8) pode ser observado que o termo $(u - Z_0 i)$ é constante quando $(x + vt)$ for constante. As expressões $(x - vt) = \text{cte}$ e $(x + vt) = \text{cte}$, são chamadas de termos características das equações diferenciais.

O significado de (8) quando $(x - vt) = \text{cte}$ pode ser vi-

sualizado da seguinte maneira: suponha um observador viajando ao longo da linha na direção direta com velocidade v . Desta maneira, os termos $(x - vt)$ e conseqüentemente $(u + Z_o i)$ permanecerão constantes para ele, pois o termo $(x - vt)$ varia à medida que o tempo passa, mas para o observador que viaja com velocidade v no sentido direto, a coordenada relativa será $(x - vt + vt) = x$, independente portanto, do tempo. Logo, para cada ponto x este viajante verá o valor de $u + Z_o i = \text{cte.}$

Desta forma, se a cada instante o observador tirasse uma fotografia do perfil de tensão da linha nos diversos pontos x a tensão seria sempre a mesma. Ao contrário, se houvessem n observadores posicionados em diferentes pontos da linha, cada um deles estando estacionário veriam tensões diferentes a cada instante.

Se o tempo de propagação para a onda ir de um terminal ao outro da linha for dada por:

$$\tau = d/v \quad (9)$$

então a expressão $(u + Z_o i)$ encontrada pelo observador quando ele deixa o nó m no instante $(t - \tau)$ deverá ser a mesma quando ele chega ao nó k no instante t , isto é:

$$u_m(t-\tau) + Z_o i_{mk}(t-\tau) = u_k(t) + Z_o (-i_{km}(t)) \quad (10)$$

De (24) pode-se obter o valor de $i_{km}(t)$ e $i_{mk}(t)$.

$$i_{km}(t) = 1/Z_o u_k(t) + I_k(t - \tau) \quad (11)$$

e analogamente,

$$i_{mk}(t) = 1/Z_o u_m(t) + I_m(t - \tau) \quad (12)$$

onde

$$I_k(t - \tau) = -1/Z_o u_m(t - \tau) - i_{mk}(t - \tau) \quad (13)$$

$$I_m(t - \tau) = -1/Z_0 u_k(t - \tau) - i_{km}(t - \tau) \quad (14)$$

Note que os I_k e I_m representam fontes de corrente as quais são conhecidas no instante anterior $(t - \tau)$.

A figura 3 mostra o circuito equivalente para as equações (11) e (12) as quais representam linhas de transmissão sem perdas. Topologicamente os terminais k e m não são conectados; o reflexo das condições de um terminal em outro são somente vistos indiretamente e com atraso de tempo τ , através de uma fonte de corrente equivalente I .

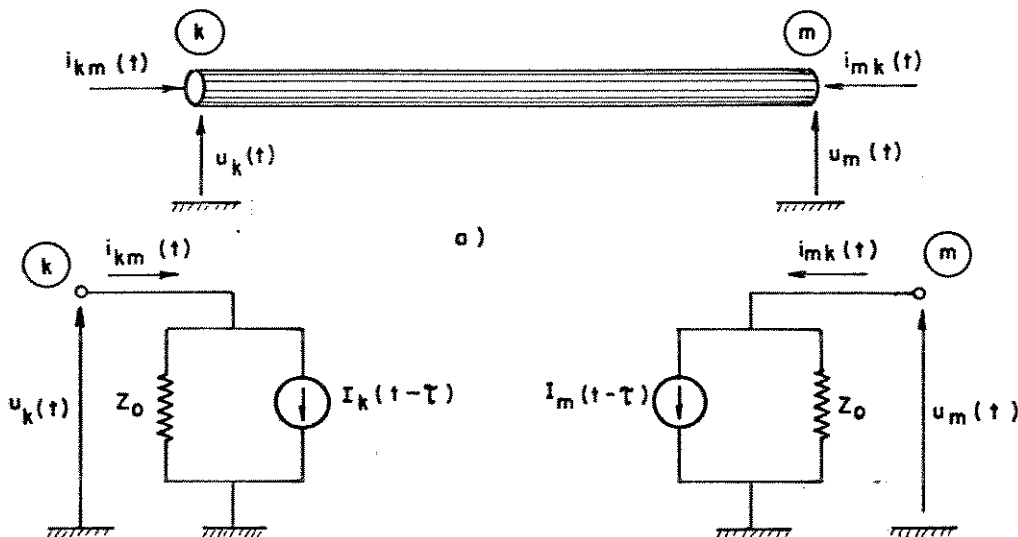


FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO SEM PERDAS PELOS SEUS CIRCUITOS EQUIVALENTES:

- A. LINHA DE TRANSMISSÃO SEM PERDA;
- B. CIRCUITO EQUIVALENTE DE IMPEDÂNCIA PARA O NÓ K;
- C. CIRCUITO EQUIVALENTE DE IMPEDÂNCIA PARA O NÓ M.

ANEXO 3

ANÁLISE DO BLOQUEIO DOS TIRISTORES PRINCIPAIS

Este anexo tem a finalidade de mostrar de forma quantitativa o comportamento da corrente e tensão quando considera-se um chaveamento em capacitores através de uma fonte de tensão ideal. Para tanto considere o circuito da figura 1 a seguir:

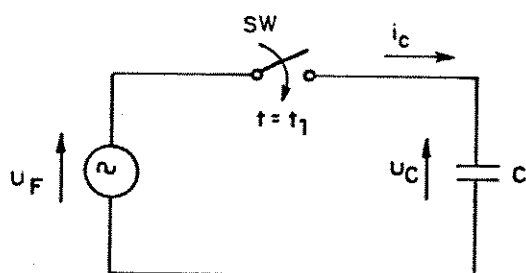


FIGURA 1: FONTE DE TENSÃO ALTERNADA ALIMENTANDO UM CAPACITOR.

Na figura 1 tem-se:

u_f - fonte de tensão alternada

SW - chave interruptora

C - capacitor

i_c - corrente no circuito

t_1 - instante no qual a chave interruptora é fechada

t_2 - término do regime transitório

Para um chaveamento dentro do intervalo de $\pi(2m - \frac{1}{2}) < t < \pi(2m + \frac{1}{2})$ ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$) a corrente pelo capacitor torna-se negativa após o instante correspondente ao ângulo $\pi(2m + \frac{1}{2})$.

Por outro lado, para um chaveamento dentro do intervalo

de $\pi(2m + \frac{1}{2}) < t < \pi(2m + \frac{3}{2})$ a corrente torna-se negativa quase que instantaneamente, como ilustra a figura 3.

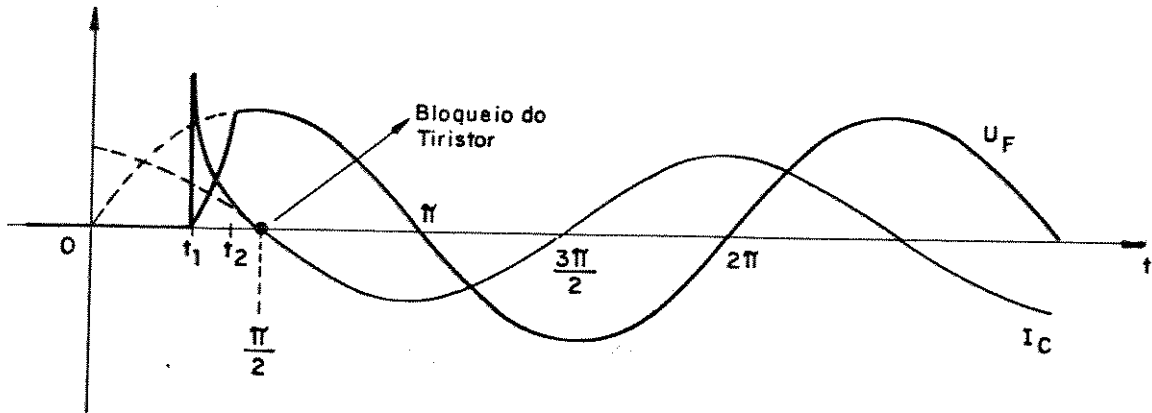


FIGURA 2: FORMAS DE ONDA DO CIRCUITO DA FIGURA 2, PARA UM CHAVEAMENTO DURANTE $-\pi/2 < T < \pi/2$.

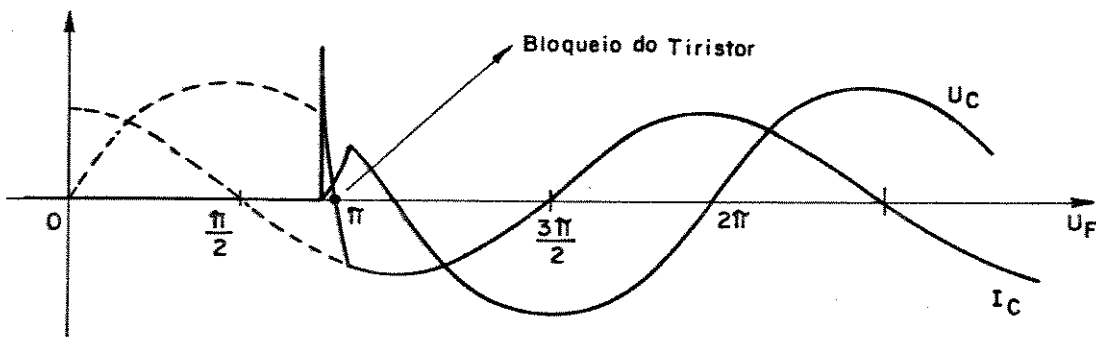


FIGURA 3: FORMAS DE ONDA DO CIRCUITO DA FIGURA 2, PARA UM CHAVEAMENTO DURANTE $\pi/2 < T < 3\pi/2$.

A N E X O 4

REPRESENTAÇÃO DE CHAVES E DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES INICIAIS EM INDUTORES E CAPACITORES

Os sistemas podem conter chaves que alterem sua posição acordo com critérios definidos [1], [2], [19].

Representação:

fechadas - $R = 0$

abertas - $R = \infty$

Ramos poderão ser conectados em série ou paralelo para simular propriedades físicas (Ex.: resistência variante no tempo e dependente da corrente).

Com apenas uma chave no sistema é melhor construir a matriz para a chave aberta e simular a posição fechada com superposição de correntes de nós.

Com mais chaves no sistema, é preferível construir as matrizes $[\underline{Y}_A]$ e $[\underline{Y}_B]$ a cada novo instante que ocorra uma alteração. No entanto, se a obtenção de $[\underline{Y}_A]^{-1}$ (matriz inversa de $[\underline{Y}_A]$), para resolver o sistema de equações (17) dado no Capítulo II for feita segundo o processo de triangularização, não é necessário repetir este processo (de triangularização) inteiramente para cada alteração. Os nós com chaves conectadas são arranjados na base. Então, a triangularização é executada apenas para os nós sem chaves (parte superior da matriz triangularizada). Isto também produz uma matriz reduzida para os nós com chaves (assumidas abertas). Sempre que uma posição de chave é alterada esta matriz reduzida é primeiramente modificada para refletir a posição atual da chave (se fe -

chada: adição das respectivas filas e colunas e retenção do maior nó numerado em lugar de dois nós), então a triangularização é completada (parte menor da matriz triangular). A figura ilustra.

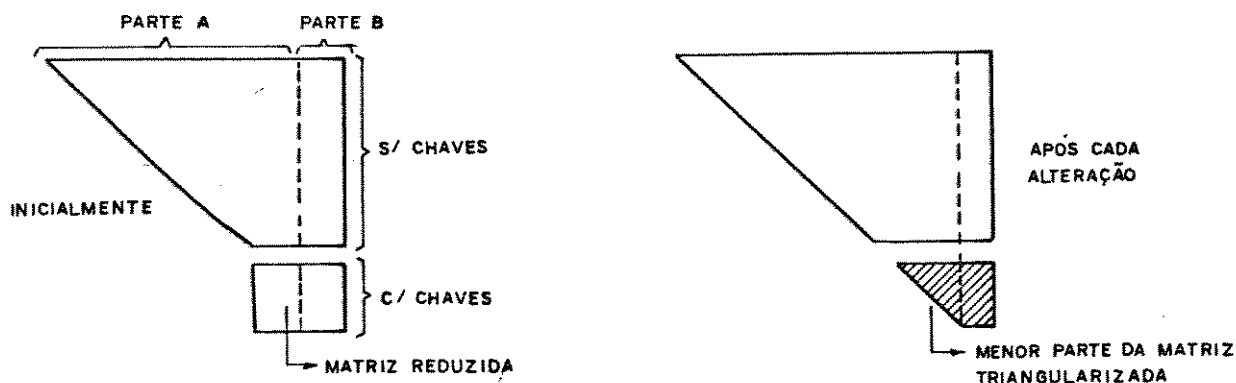


FIGURA: PARÂMETROS NÃO LINEARES E VARIANTES NO TEMPO [1], [2] E [19].

Com apenas um parâmetro não linear no sistema, a solução pode ser mantida essencialmente linear através da restrição de algoritmo não linear (usualmente um procedimento iterativo) para o ramo com parâmetro não linear. Para esta execução o parâmetro não linear não é incluído na matriz. Sua corrente i_{km} é simulada como sendo duas correntes injetadas através de nós adicionais m e k , ou seja:

$$i_m = i_{km} \quad i_k = -i_{km}$$

Toma-se $[Z]$ como sendo a diferença pré-calculada entre as m -ésima e k -ésima colunas de $[\underline{Y}_A]^{-1}$. Esta diferença é rapidamente obtida com a repetição da solução da equação geral fazendo-se inicialmente:

$$[\underline{I}_{total}] = 0$$

O vetor $[\underline{I}_{total}]$ deverá ter ainda as seguintes proprie-

dades:

- para o componente referente a posição m-ésima, do vetor $[\underline{I}_{total}]$, seu valor deverá ser +1.
- para o componente referente a posição k-ésima, do vetor $[\underline{I}_{total}]$, seu valor deverá ser -1.
- $[u_B(t)] = 0$

Ignorando o parâmetro não linear, primeiramente, tem-se

$$[u_{Alinear}(t)]$$

A partir da equação geral, a solução final segue-se por superposição das duas correntes adicionais:

$$i_k = -i_m = -i_{km}$$

$$[u_A(t)] = [u_{Alinear}(t)] + [Z] i_{km}(t)$$

O valor de i_{km} na equação anterior é encontrada pela solução de duas equações simultâneas, a equação linear do sistema (equivalente de Thevenin) e a equação não linear dada na forma de sua curva característica.

Montagem do Vetor Representativo da História Passada

Os elementos que são necessários na construção do vetor $[\underline{I}_A]$ a exceção das fontes de correntes:

- a. para indutâncias e capacitâncias - $I_{km}(t - \Delta t)$.
- b. para linhas - I_k, I_m para os steps $(t-\Delta t), (t-2\Delta t) \dots (t-\tau)$.
- c. para indutâncias e capacitâncias:

$$i_{km}(t-\Delta t) = [I_{km}(t - 2\Delta t) + 2x] \text{ para indutância}$$

$$i_{km}(t-\Delta t) = [I_{km}(t - 2\Delta t) - 2x] \text{ para capacitância}$$

$$x = G[u_k(t - \Delta t) - u_m(t - \Delta t)] = G u(t - \Delta t)$$

sendo:

$$G = \Delta t/2L - \text{para as indutâncias}$$

$$G = 2C/\Delta t - \text{para as capacitâncias}$$

Para garantir valores iniciais corretos no primeiro instante, i_{km} deve ser pré-determinada antes de se entrar no processo iterativo da seguinte forma:

$$i_{km_inicial} = i_{km}(0) - G[u_k(0) - u_m(0)]$$

onde os valores $i_{km}(0)$, $u(0)$ e $i(0)$ devem vir na entrada de dados.

A N E X O 5

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS E FLUXOGRAMAS
DO PROGRAMA DESENVOLVIDO

No programa desenvolvido para computador digital, existe no começo de cada sub rotina um esclarecimento da finalidade da mesma, bem como a conhecida definição das variáveis usadas. Assim sendo, o fluxograma mostrado neste anexo juntamente com o programa digital desenvolvido fornecem os subsídios básicos para o amplo entendimento da técnica que foi utilizada.

Descreve-se a seguir as funções básicas de cada rotina e do programa principal.

1. Programa principal efetua as seguintes funções:

- 1.1. Controle da leitura de dados.
- 1.2. Contagem do tempo.
- 1.3. Controle da chamada das sub-rotinas
- 1.4. Solução da equação 17 - Capítulo II.
- 1.5. Controle da saída de resultados.

2. Rotina - LEITURA

- 2.1. Efetua a leitura dos dados.

3. Rotina - IMPRESSÃO

- 3.1. Imprime os dados de entrada executados.

4. Rotina - MONTAGEM

- 4.1. Efetua a montagem da matriz nodal [Y] considerando todas as chaves abertas e os semicondutores bloqueados.

4.2. Efetua as montagens das submatrizes $[Y_A]$ e $[Y_B]$ conforme o Capítulo II.

5. Rotina - PASTHIST

5.1. Efetua o cálculo dos valores das fontes de corrente dos modelos de indutores e capacitores.

6. Rotina - CONDIF

6.1. Verifica se uma dada chave ou semiconductor tem condições de ser fechado.

7. Rotina - CONDIFDIODO

7.1. Verifica se um determinado diodo deverá ser fechado.

8. Rotina - CONDIFTIRISTOR

8.1. Verifica se um determinado tiristor deverá ser fechado.

9. Rotina - CONDIFCHAVE

9.1. Verifica se uma determinada chave deverá ser fechada.

10. Rotina - CONDIA

10.1. Verifica se uma dada chave ou semiconductor tem condições de ser aberto.

11. Rotina - CONDIADIODO

11.1. Verifica se um determinado diodo deverá ser aberto.

12. Rotina - CONDIATIRISTOR

12.1. Verifica se um determinado tiristor deverá ser aberto.

13. Rotina - CONDIACHAVE

13.1. Verifica se uma determinada chave deverá ser aberta.

14. Rotina - EXCHAVE

14.1. Determina em cada instante quais são as chaves e/ou semicondutores que deverão ser abertos e quais deverão ser fechados.

14.2. Verifica se ocorre ou não em um instante determinado uma necessidade de chaveamento.

15. Rotina - ABRE

15.1. Executa operações de abertura, modificando as matrizes $[Y_A]$ e $[Y_B]$ convenientemente.

15.2. Elimina o problema da instabilidade numérica com o uso de variável FLAG.

16. Rotina - FECHA

16.1. Executa operações de fechamento através da alteração conveniente das matrizes $[Y_A]$ e $[Y_B]$.

17. Rotina - IMPREYA

17.1. Executa impressão das matrizes $[Y_A]$ e $[Y_B]$, se solicitado pelo usuário do programa.

18. Rotina - IMPREINVERSA

18.1. Executa a impressão da matriz $[Y_A]$, invertida, se solicitado pelo usuário do programa.

19. Rotina - FONTES

19.1. Calcula o valor da tensão em cada instante t onde existe fonte de tensão conhecida.

19.2. Calcula o valor da corrente em cada instante t onde existe fonte de corrente conhecida.

20. Rotina - CORCALC

20.1. Calcula o valor da corrente em qualquer ramo solicitado

pelo programa principal.

21. Rotina - JAC 310

21.1. Executa a inversão da matriz [Y_A].

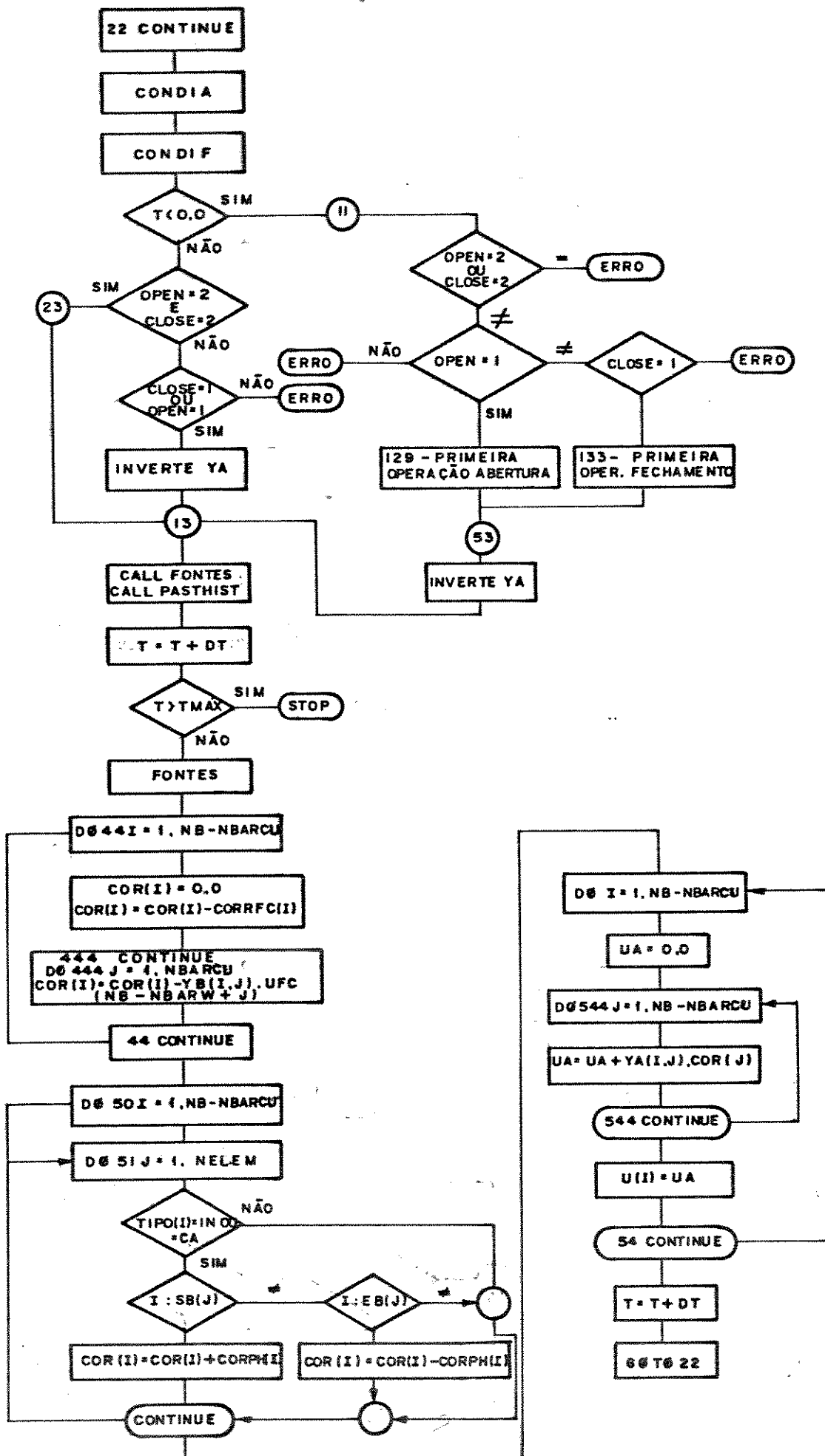


FIGURA 1: PROGRAMA PRINCIPAL.

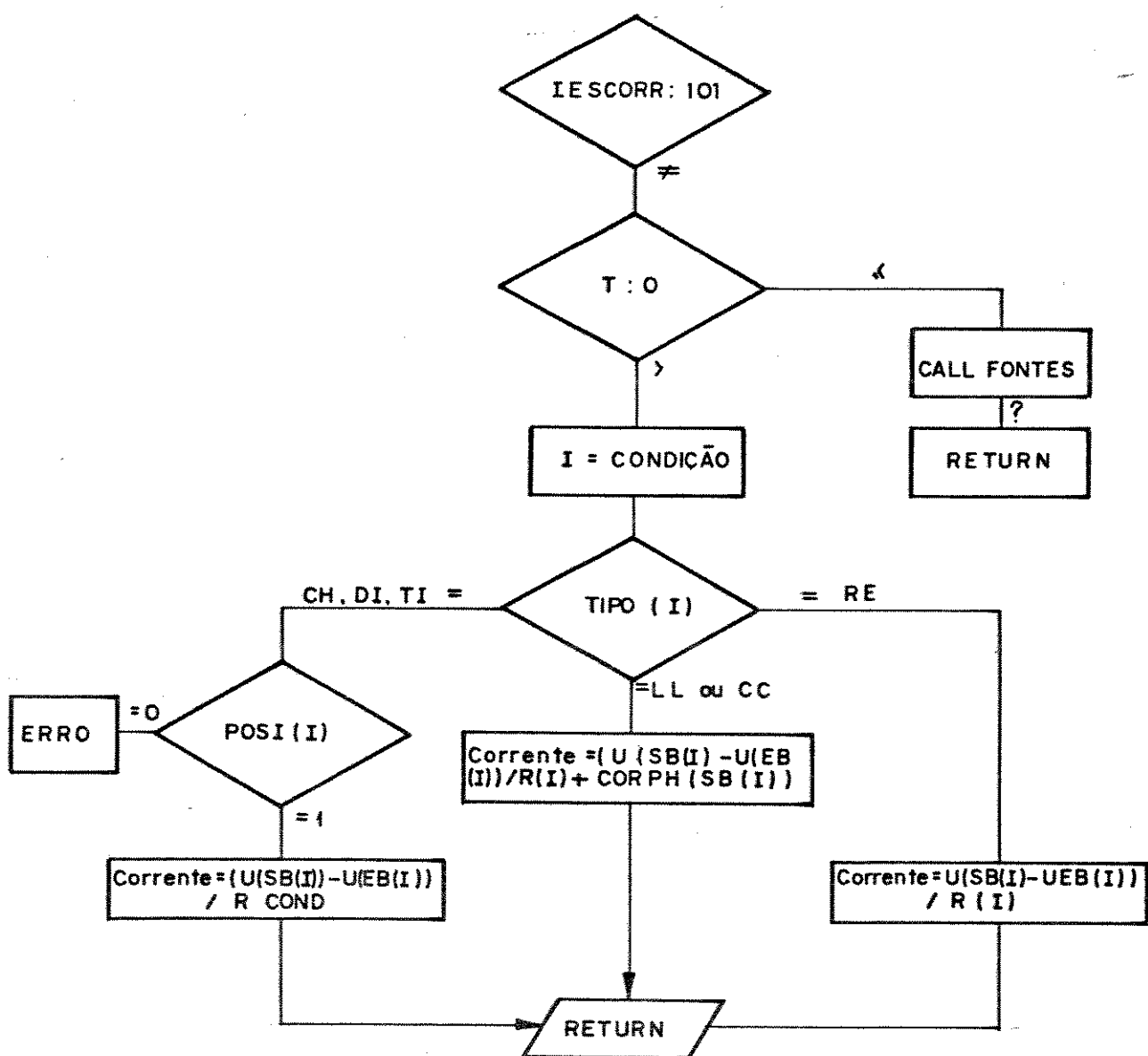


FIGURA 2: ROTINA CORCALC

PROGRAMA PRINCIPAL; INSTRUÇÃO DE CÁLCULO DO VETOR DO LA
DO DIREITO LEVANDO-SE EM CONTA APENAS O VETOR CORPH.

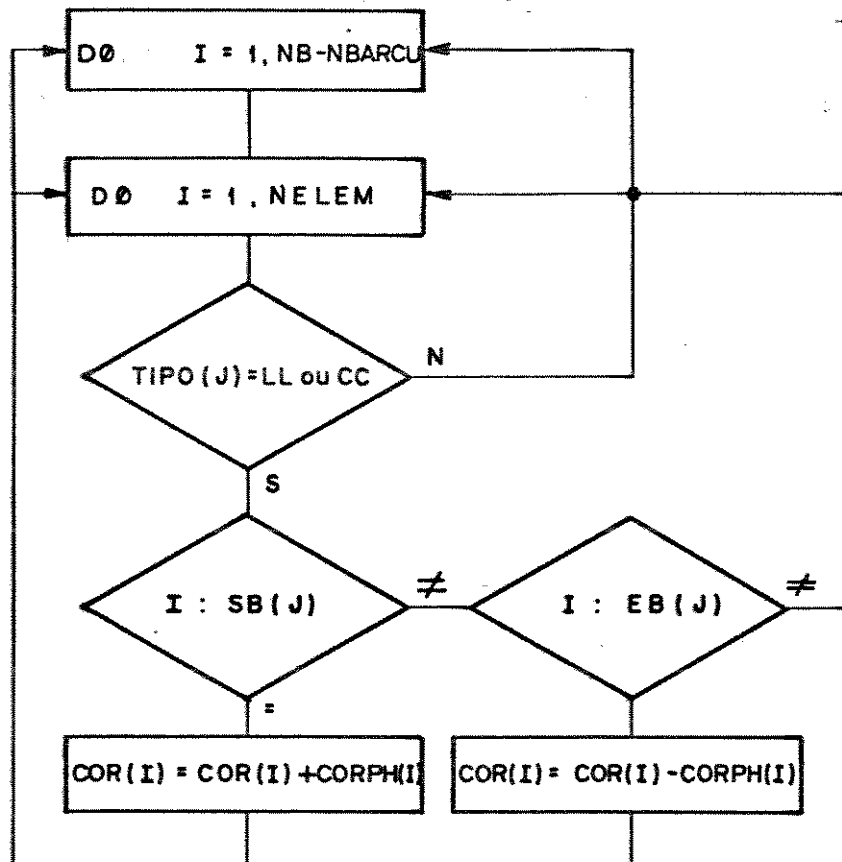


FIGURA 3: VETOR CORPH.

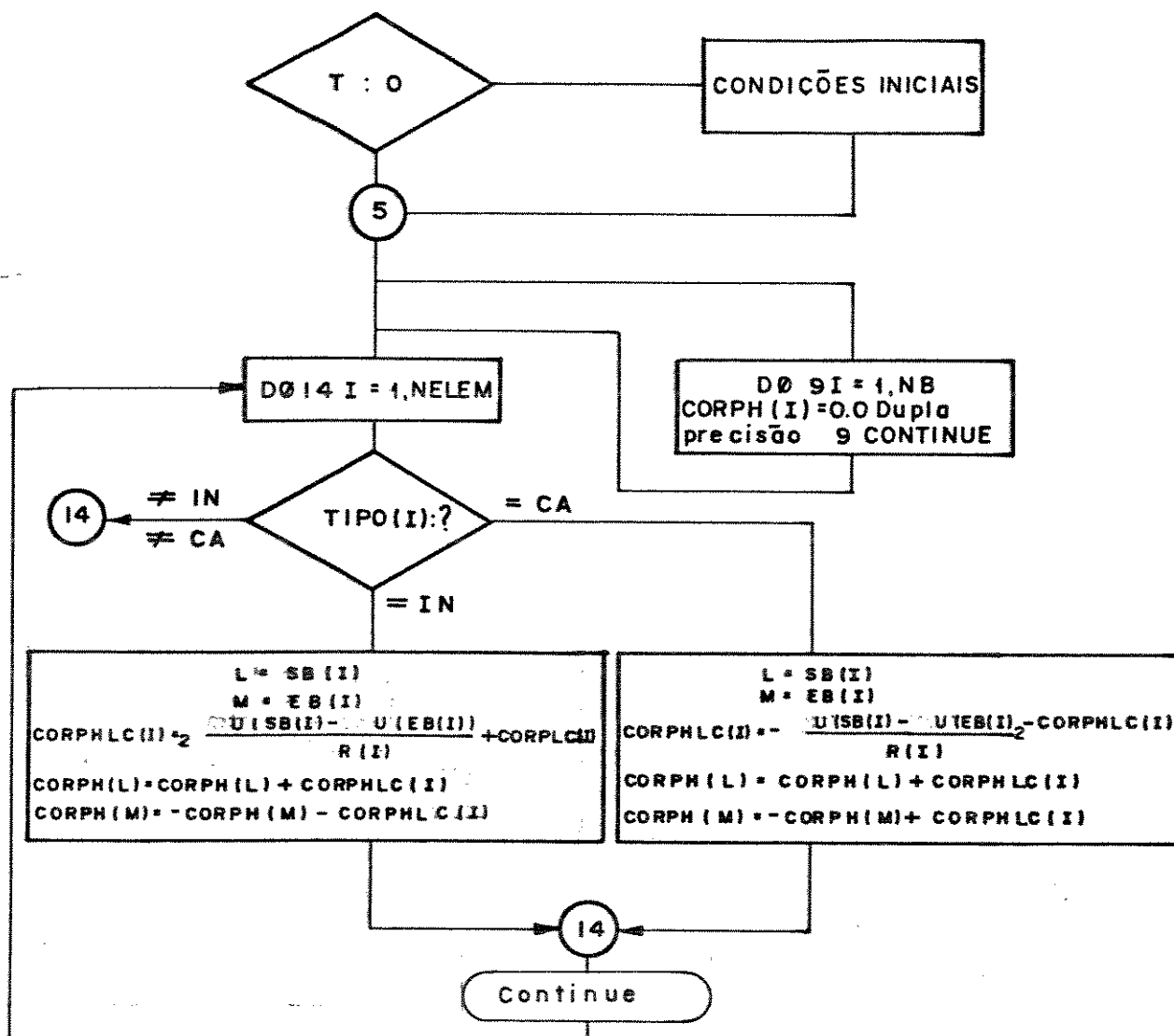


FIGURA 4: ROTINA PASTHIST

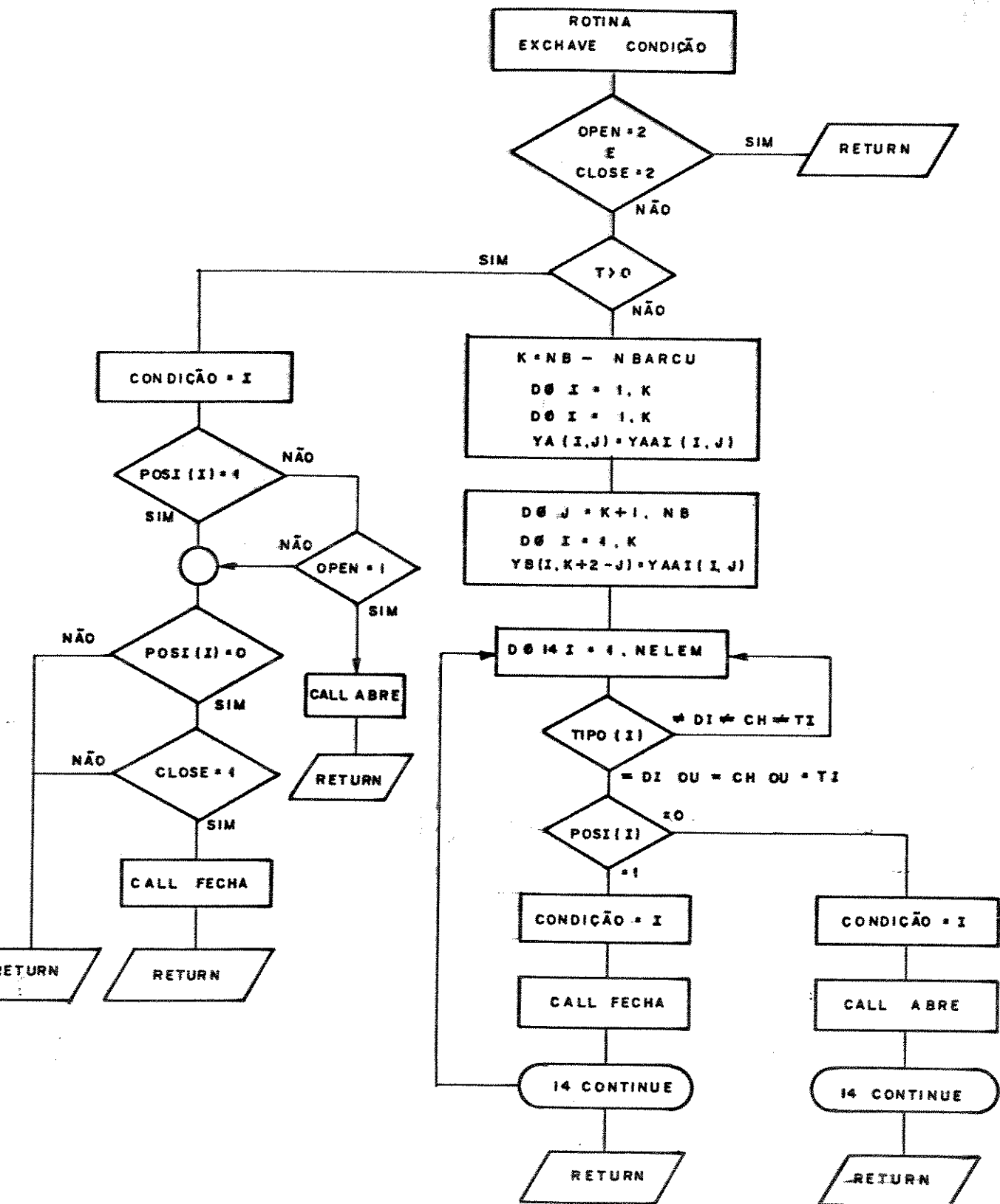


FIGURA 5: ROTINA EXCHAVE

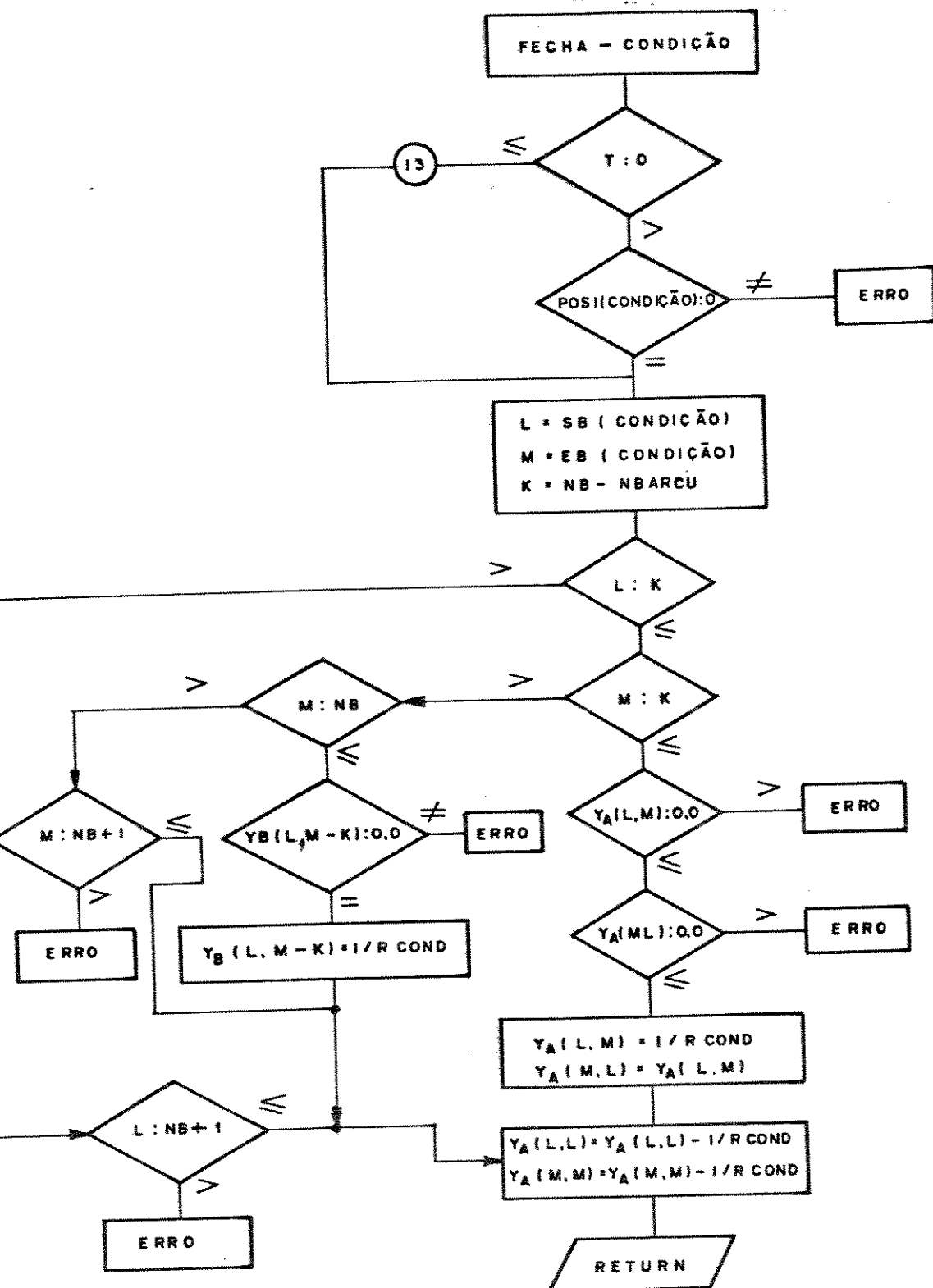


FIGURA 6: ROTINA FECHA

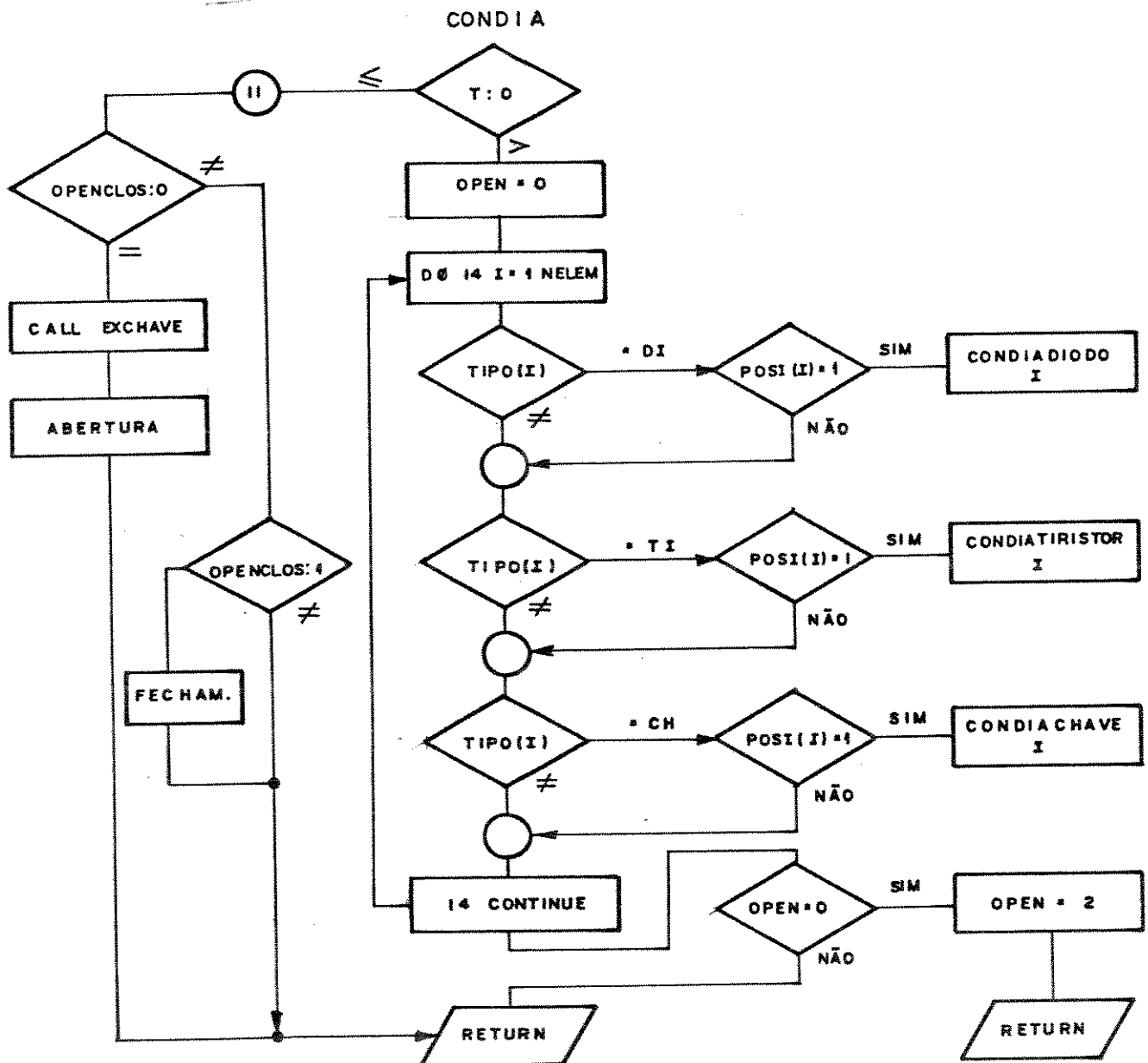


FIGURA 7: ROTINA CONDIA

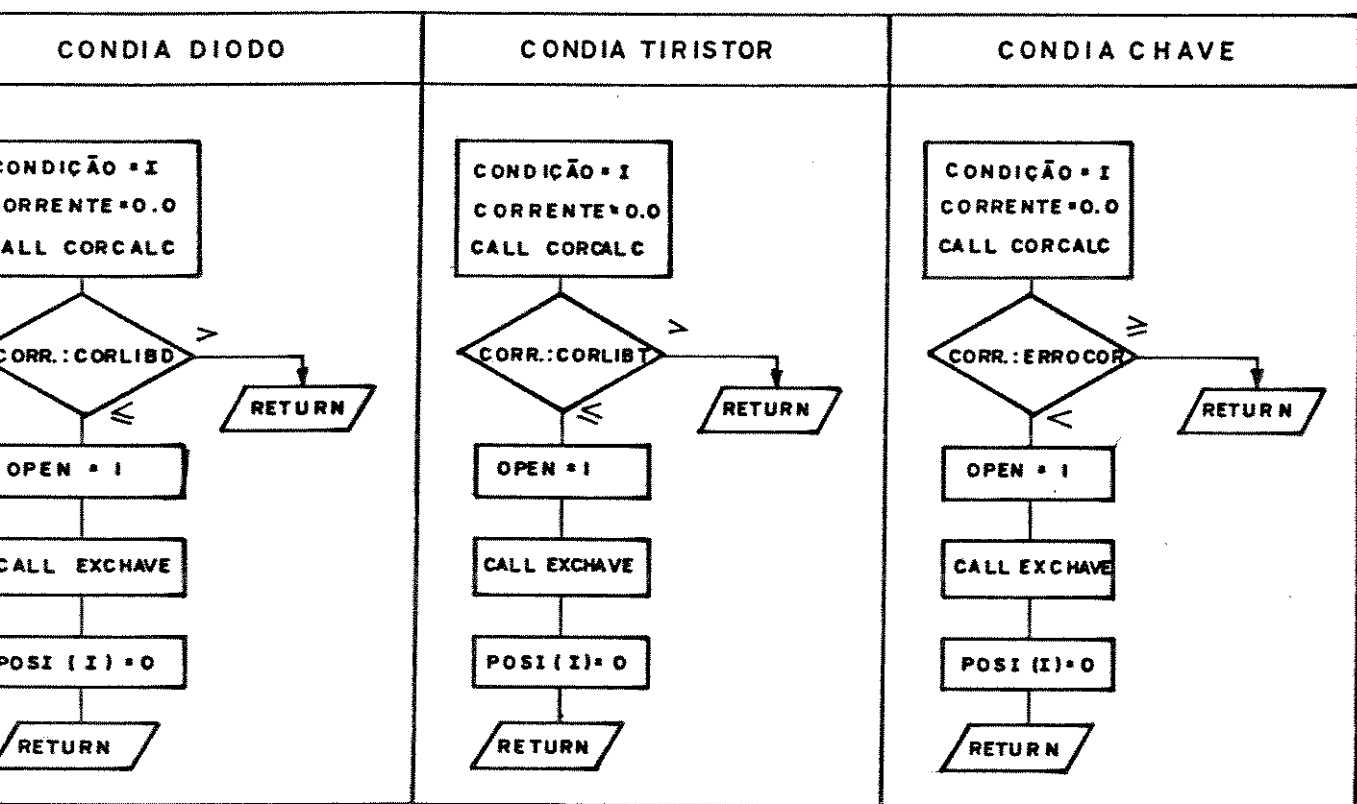


FIGURA 8: ROTINAS AUXILIARES A CONDIA.

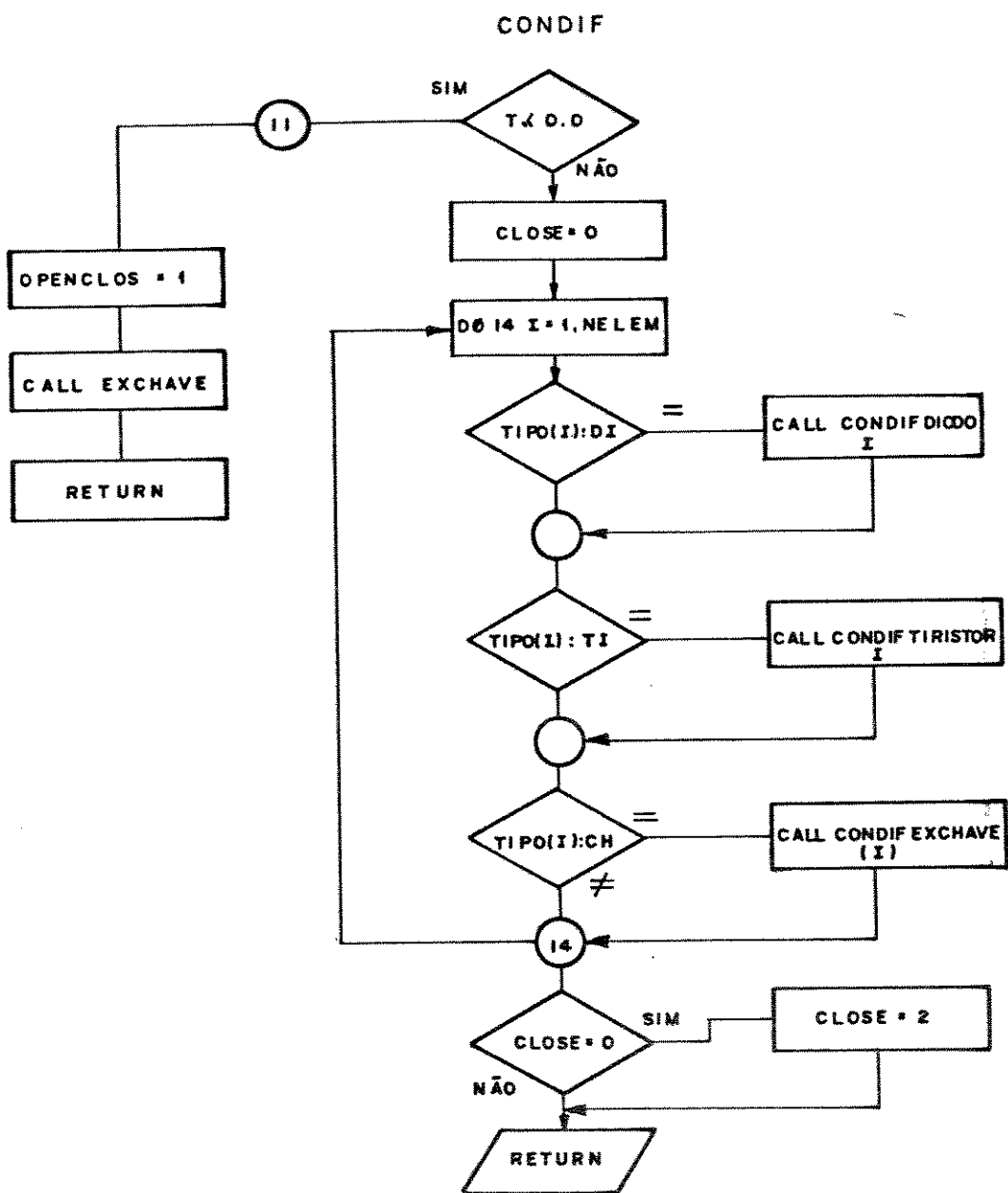


FIGURA 9: ROTINA CONDIF.

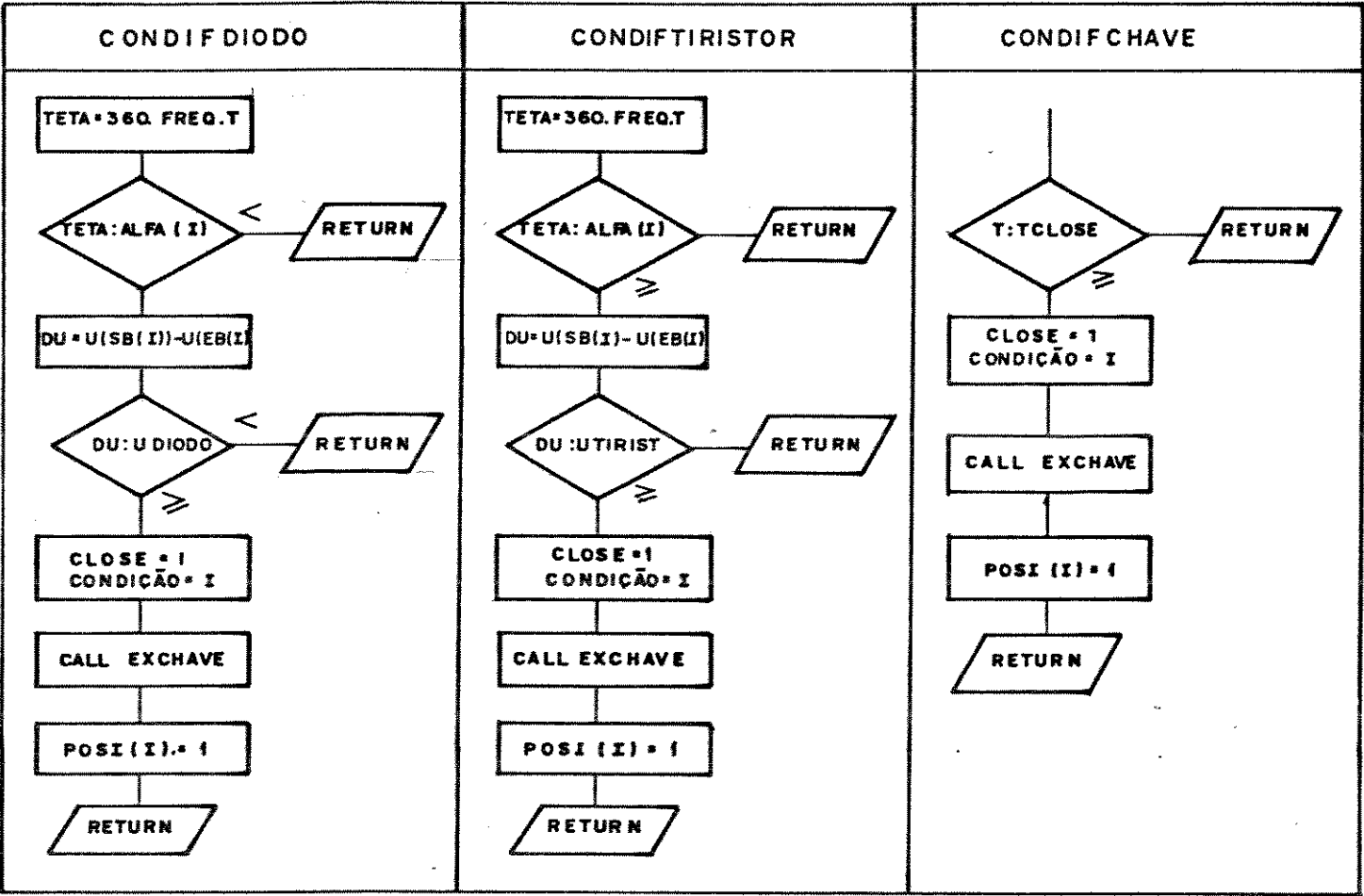


FIGURA 10: ROTINAS AUXILIARES A CONDIF.

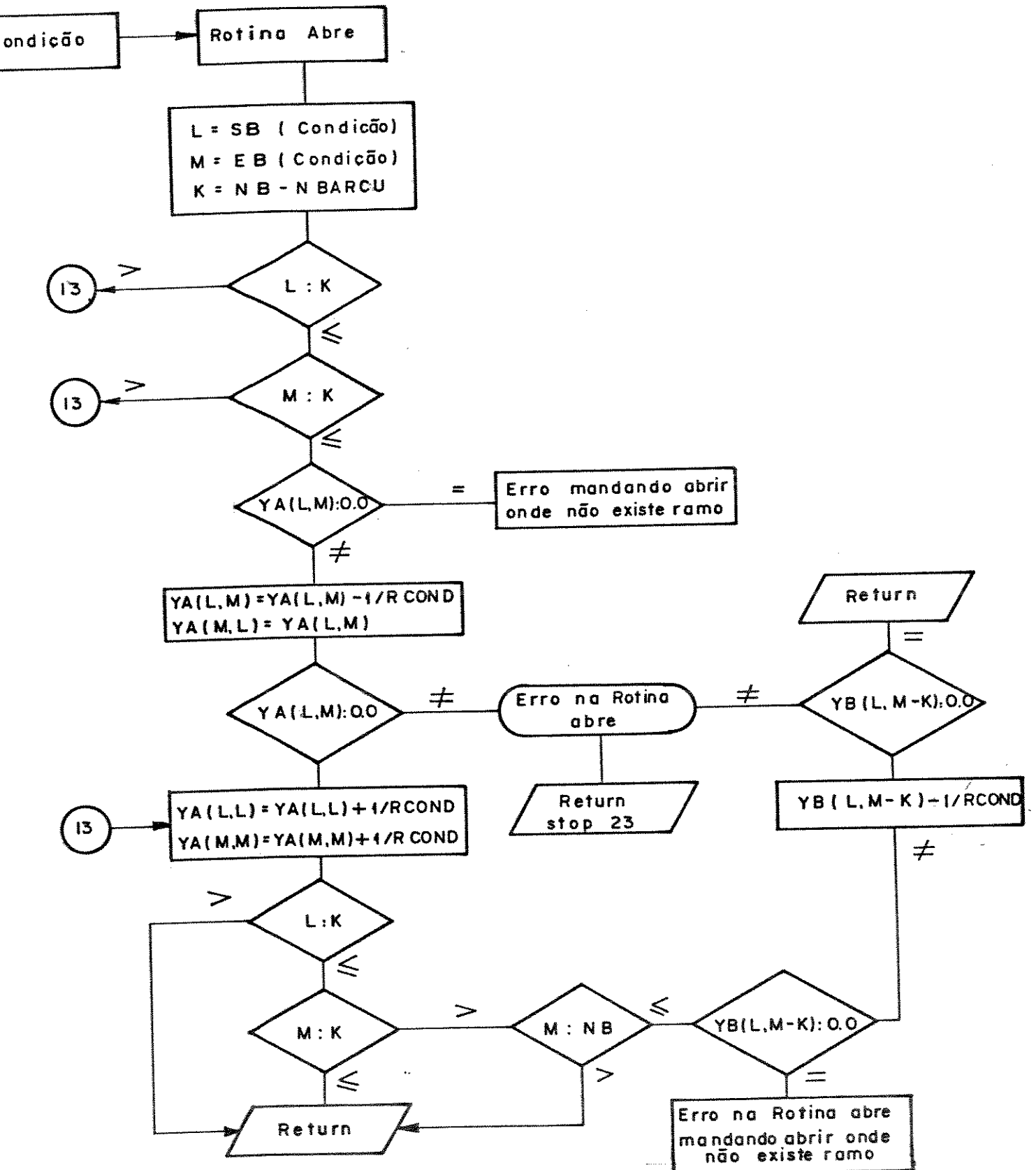


FIGURA 11: ROTINA ABRE.

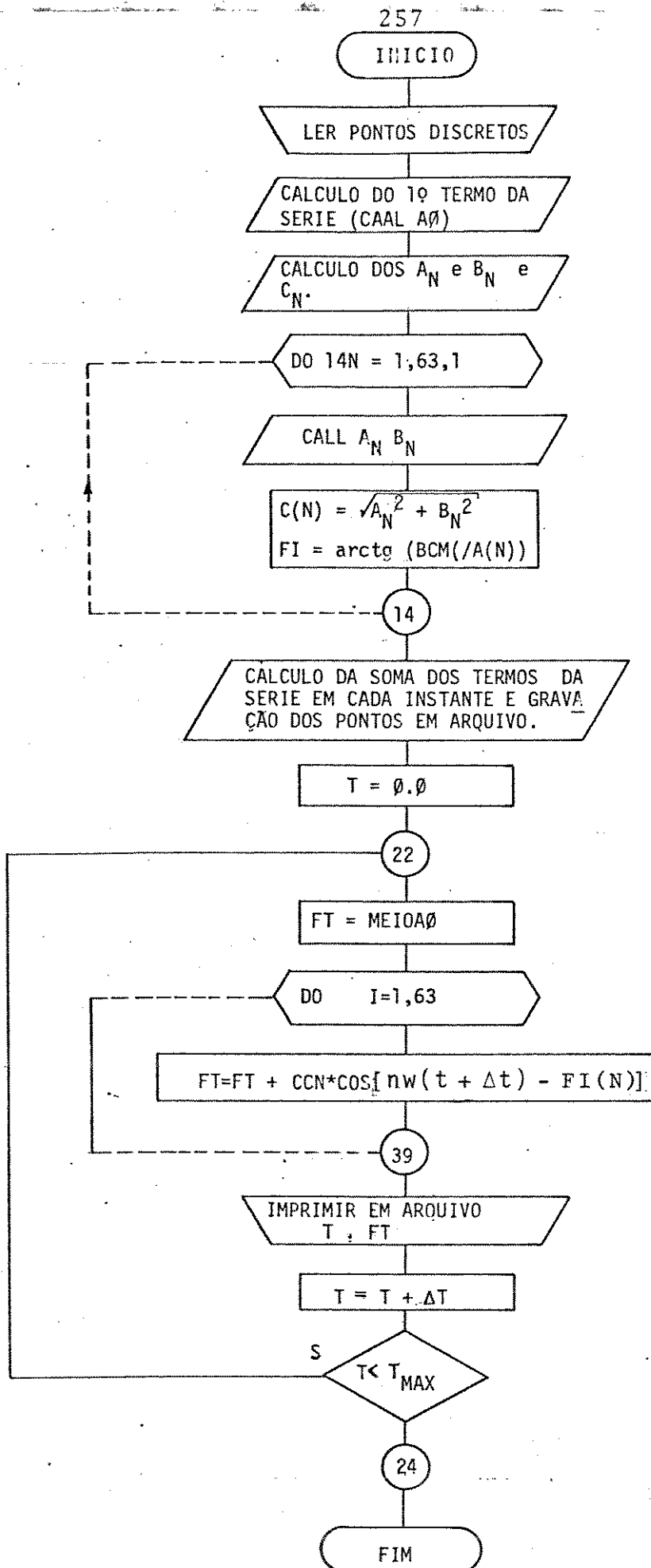


FIGURA 12- FLUXOGRAMA PARA O CÁLCULO DE HARMONICOS DE UMA FORMA DE ONDA QUALQUER PERIODICA

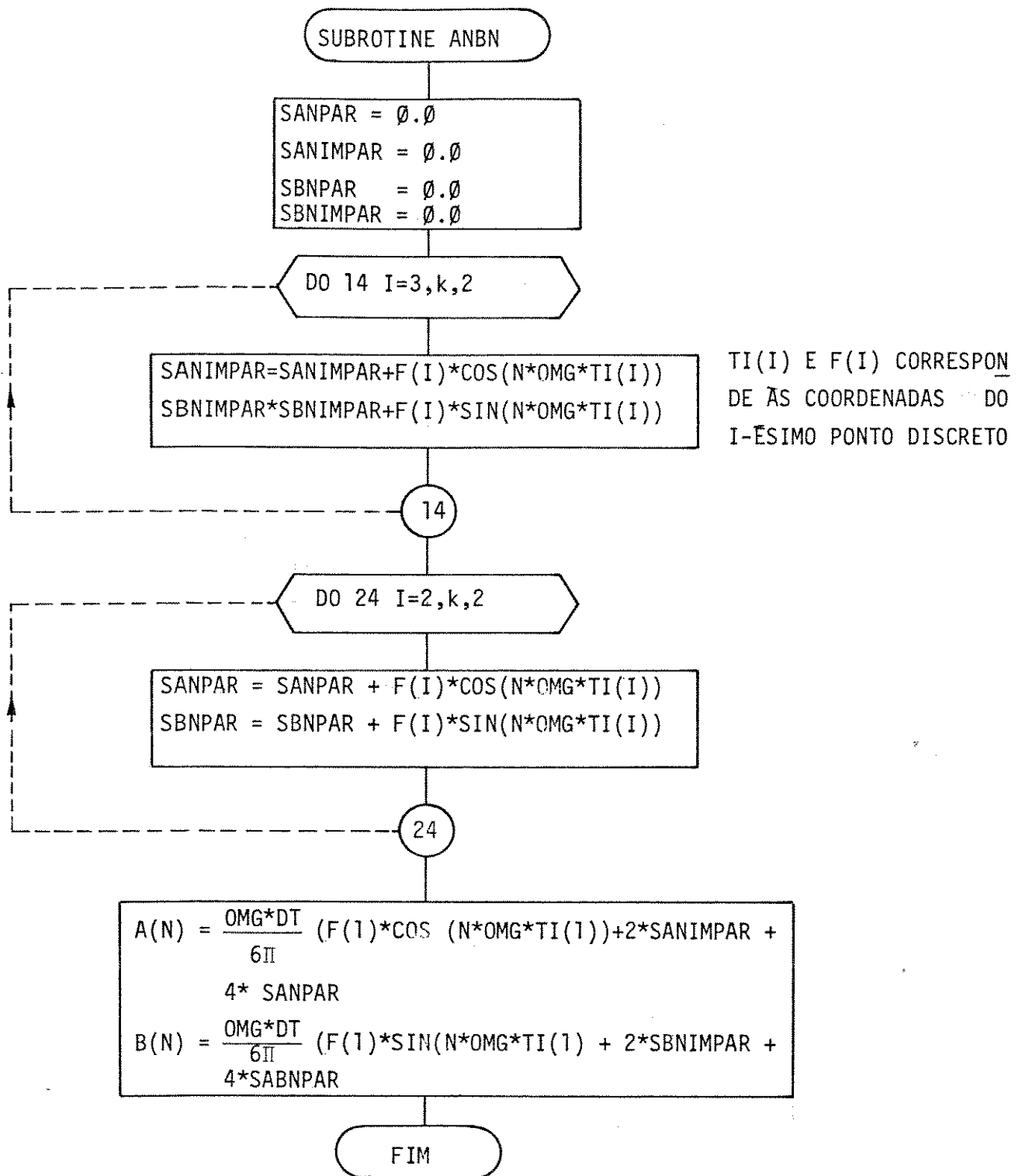


FIGURA 13 - FLUXOGRAMA PARA O CÁLCULO DOS DEMAIS TERMOS a_n e b_n DA SÉRIE DE FOURIER (REGRA DE SIMPSON)

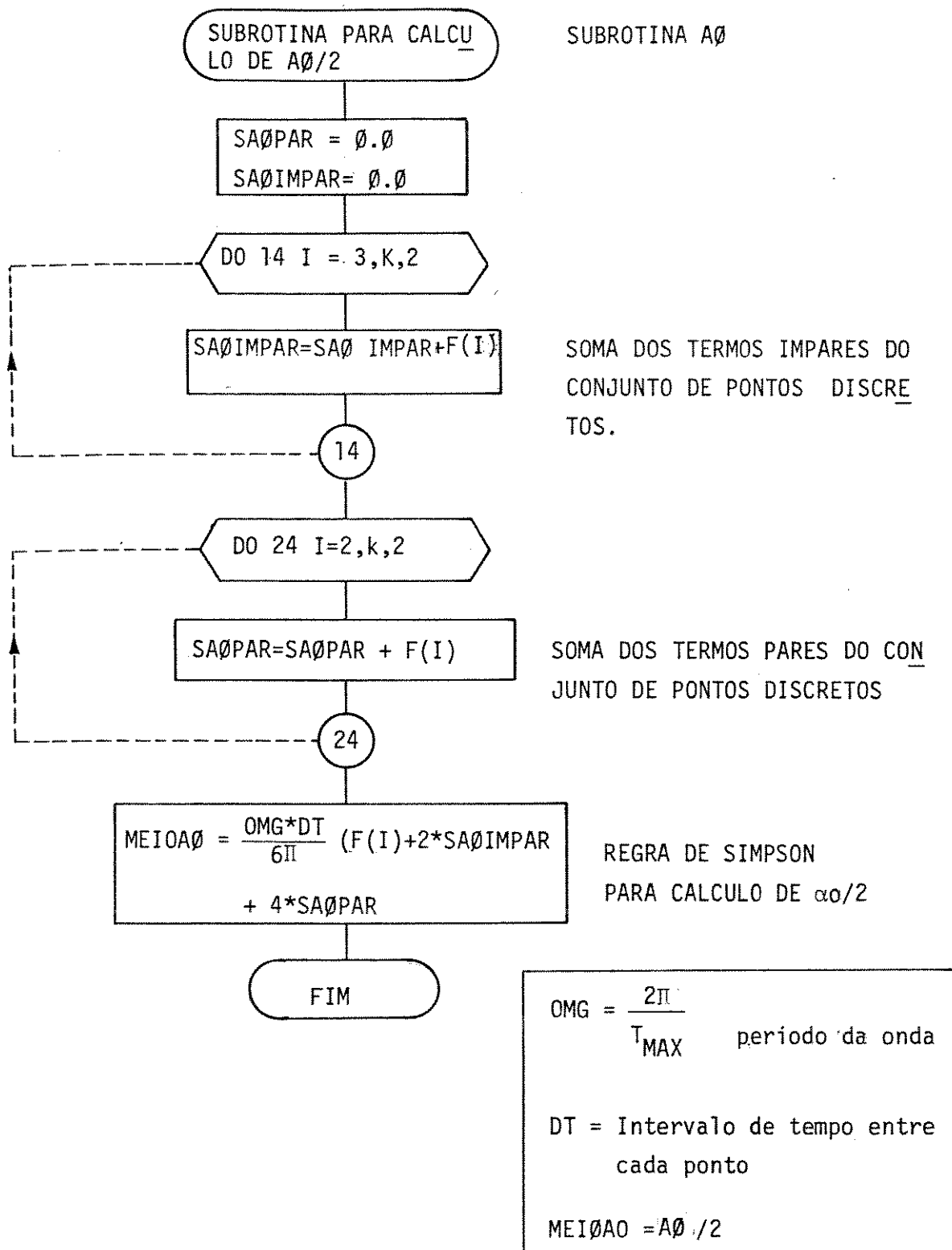


FIGURA 14 - FLUXOGRAMA PARA O CÁLCULO DO 1º TERMO ($A_0/2$) DA SÉRIE DE FOURIER (INTEGRAL PELO MÉTODO DE SIMPSON)

TIPOS DE ELEMENTOS

- Fontes de Tensão
- Fontes de Corrente
- Resistores
- Capacitores
- Indutores
- Diodos
- Tiristores
- Chaves
- Programa JRCSYST3B

ARQUIVO DE DADOS (Configuração do Sistema)

Os elementos podem ser colocados em qualquer ordem.

Na 1ª linha do arquivo deve ser escrita a frase:

DADOS REFERENTES AO CASO nnn (nnn... número do caso)

Nas demais linhas deverá ser descrito os elementos:

1º caso) FONTES DE TENSÃO

Formato:

TENSÕES CONHECIDAS

$nb_1, vef_1, freq_1, fase_1$

$nb_2, vef_2, freq_2, fase_2$

$nb_n, vef_n, freq_n, fase_n$

999,999,999,999 ← flag indicando que não existe mais fontes de tensão

Onde:

nb_n ... barra onde se encontra a fonte

vef_n ... valor eficaz da fonte [v]

$freq_n$.. frequência [Hz]

$fase_n$.. fase [°]

2º caso) FONTES DE CORRENTE

Formato:

CORRENTES CONHECIDAS :

 $nb_1, vef_1, freq_1, fase_1$

,	,	,	,
,	,	,	,

 $nb_n, vef_n, freq_n, fase_n$

999,999,999,999

Onde: $nb_n, vef_n, freq_n, fase_n \leftarrow$ item FONTES DE TENSÃO

3º caso) RESISTORES

Formato:

RESISTORES

 $n_1, barem_1, barec_1, valor_1$

,
,

 $n_n, barem_n, barec_n, valor_n$

999,999,999,999

Onde:

 n_n ... número do resistor (arbitrário) $barem_n$... barra emissora $barec_n$... barra receptora $valor_n$... valor do resistor [Ω]

4º caso) INDUTORES

Formato:

INDUTORES

 $n_1, barem_1, barec_1, valor_1$

,	,	,	,
,	,	,	,

 $n_n, barem_n, barec_n, valor_n$

999,999,999,999

Onde:

valor_n ... valor do indutor [mH]

5º caso) CAPACITORES

Formato:

CAPACITORES

$n_1, \text{barem}_1, \text{barec}_1, \text{valor}_1$

' ' ' '

$n_n, \text{barem}_n, \text{barec}_n, \text{valor}_n$

999,999,999,999

Onde:

valor_n ... valor do capacitor em [μ F]

6º caso) DIODOS

Formato:

DIODOS

$n_1, \text{barem}_1, \text{barec}_1, \text{posi}_1, \text{ang}_1, \text{bloq}$

'
'

$n_n, \text{barem}_n, \text{barec}_n, \text{posi}_n, \text{ang}_n, \text{bloq}$

999,999,999,999,999

Onde:

n_n ... número do diodo

barem_n ... barra emissora (sempre a do ANODO)

barec_n ... barra receptora (sempre a do CATODO)

posi_n ... estado inicial (: 0-aberto
1-fechado)

ang_n ... angulo mínimo de disparo em graus

bloq ... angulo previsto para o diodo se manter em condução
ou seja, impede sua abertura transitoria. Se $\text{bloq}=0$
esta instrução é ignorada. Normalmente coloca zero.

79 caso) TIRISTORES

idem diodos, exceto que ang_n é o ângulo de disparo do tiristor quando $\text{posi} = 1$ o ângulo de disparo deve ser zero.

89 caso) CHAVES

$n_1, \text{barem}_1, \text{barec}_1, \text{posi}_1, \text{topen}_1, \text{tclose}_1$

,

$n_n, \text{barem}_n, \text{barec}_n, \text{posi}_n, \text{topen}_n, \text{tclose}_n$

999,999,999,999,999,999

topen e tclose em segundos (quando começa fechada $\text{tclose}=0.0$)

$\text{posi} = 1$ se começa fechada.

$\text{posi} = 0$ se começa aberta.

EXEMPLO DE ARQUIVO DE DADOS

:EDITOR

/A

12345

1 DADOS REFERENTES AO CASO XYZT

2 TENSOES CONHECIDAS3 7,127,60,30° ← $127 \cdot \sqrt{2} \sin(wt+30)$

4 999,999,999,999

5 RESISTORES (em Ω)

6 1,1,2,0 2

7 2,8,6,25

8 999,999,999,999

9 INDUTORES (em mH)

10 1,7,1,3

11 999,999,999

12 CAPACITORES (em μF)

13 1,3,4,5

14 2,3,5,5

15 999,999,999,999

16 CHAVES

17 1,2,3,1,1.2,0.0

↑ ↑ ↑
 posi topen tclose

18 999,999,999,999,999,999

19 DIODOS

20 1,6,4,0,0.0,0.0

↑ ↑ ↑
 posi α bloq

21 999,999,999,999,999,999

22 TIRISTORES

23 1,5,6,1,0.0,0.0

24 999,999,999,999,999

25 //

8 caracteres

/K ☐ CASOX

juntos

/E

$$u \begin{Bmatrix} 7,8 \\ 4,5 \\ 5,3 \end{Bmatrix}$$

$$i \begin{Bmatrix} 7,1 - 1 \\ 3,4 - 2 \\ 3,5 - 3 \end{Bmatrix} \text{ colunas}$$

```

: PURGE, _ TENC AS X
: PURGE, _ CORC AS X
: BUILD, _ TENC AS X; REC=-170,3,F,ASCII; DISC=500
: BUILD, _ CORC AS X; REC=-170,3,F,ASCII; DISC=500
: FILE, _ FTN01 == CASOX, OLD
: FILE, _ FTN02 == TENCASX, OLD
: FILE, _ FTN20 == CORCASX, OLD
: FILE, _ FTN03 == $NULL
: FILE, _ FTN04 = DEV=LP, CCTL
: RUN JRCY3B      (é o JRCSYST3 em binário)

```

tempo de simulação - 20E-03

intervalo de integração - 50E-06

RCOND - 2,5

KBULK - 0,0

N PONTOS - 400 $\left(N_{\text{pontos max}} = \frac{\text{tempo de simul}}{\Delta t} \right)$
 ↑
 está vinculado a DISC

Se Npontos máximo for maior que 400 escolha
 400 (valor prático para plotagem)

CORRENTE MÍNIMA PARA ABERTURA DA CHAVE = 0

TENSÃO DIRETA MÍNIMA DE CONDUÇÃO DO DIODO = 0

CORRENTE DE LIBERAÇÃO MÍNIMA DE ABERTURA DOS DIODOS = 0.

CORRENTE DE LIBERAÇÃO MÍNIMA DE ABERTURA DOS TIRISTORES=0

FREQUÊNCIA DA REDE = 60

PLOTAGEM DAS FORMAS DE ONDAS DE TENSÃO

QUANTIDADE DE DIF. DE POTENCIAL PARA PLOTAGEM 3

↓
 quantas curvas
 são desejadas para plotagem

DIF. POT. ENTRE AS BARRAS (Sep. por virgula) 7,8
 4,3
 5,3

(Se errou dê BREAK)

aparece ABORT — SIM e começa de novo desde o RUN

QUANTIDADE DE RAMOS PARA PLOTAGEM DE CORRENTE 3

CONDIÇÕES INICIAIS DAS TENSÕES NAS BARRAS

Quantidade de barras com condições iniciais não nulas 2

Número de barra : 3

Tensão nessa barra : 0.

Número de casas em mseg : 3

Nome do arquivo das partes da curva: CORCAX

Quantidade de curvas do arquivo: 3

Quantidade de curvas para plotagem: 3 (ou menos)

Coluna em que se encontra a curva 1: 1

|—————|
CORRENTE NO RAMO 7,1 escala 1:1

Coluna em que se encontra a curva 2: 2

Mesmo que tiver só uma curva pedirá as 4 curvas

INSTRUÇÃO DE USO DO PLOTTER:

:TELLOP POSSO USAR O PLOTTER? (CTRL G)

:RESPOSTA NO VISOR

RESUME

SAI A CURVA

END OF PROG.

:EDITOR

/T, ,TENCASX

"pode aparecer mensagem mas não tem problema"

/L ALL

⋮

CRTL Y

/E

END OF SUBSYSTEM

:RUN PLOTTENB

"idem corrente"

Idem corrente nos ramos (serão listados todos os ramos) coloca no instante de acionamento da impressora 10 (seg)

*

topen da impressora

tempo de simulação é o tclose da impressora

topen - tclose = 5 Δt

No caso de usar 5 Δt cuidado

Após a execução do Programa (saída dos 5 Δt na impressora)

deve-se escrever:

:FILE FTN03=\$NULL

após * esperar.

END

Quer plotagem das correntes deverá antes de começar a plotagem chamar:

:EDITOR

/T, ,CORCASX

/L, ,ALL

O controle é $\rightarrow$ CTRL Y

/E

/L 100/LAST

/L 100/200

:RUN PLOTORB

data:

Observações (no quadro de legenda)

Valor mínimo para o eixo X = 0 (ou o tempo onde quer iniciar a plotagem)

Valor máximo para o eixo X = 20E-03 (é o tempo de simulação ou um qualquer)

Valor mínimo para o eixo Y = -2
 Valor máximo para o eixo Y = +2 $\begin{matrix} > \\ > \end{matrix}$ pode ser $\neq$

(X₀, Y₀ pode ser diferente de 0,0)

ANEXO 6

CARACTERISTICAS DAS LINHAS DE TRACÇÃO

*** DADOS DE ENTRADA ***

NUMERO DE CONJUNTOS DE CONDUTORES	1.
NUMERO DE PARA-RAIOS	0
FREQUENCIA INIZ	50.
RESISTIVIDADE DO SOLO (OHM/KM)	1000.000
TEMPERATURA DE OPERACAO DA LINHA LO3	50.000

** DADOS RELATIVOS A GEOMETRIA DA LINHA **

DHO - DISTANCIA HORIZONTAL AO EIXO DE REFERENCIA [M]
 HOC - ALTURA NA ESTREITURA [M]
 RSCF - NUMERO DE CONDUTORES POR FASE
 DSC - DISTANCIA ENTRE CONDUTORES DE UMA MESMA FASE [M]
 FVTC - FLEXA PARA O VAO TYPICO [M]
 CG - NUMERO DE ORDENS DO CONJUNTO DE CONDUTORES OU PARA-RAIOS

* CONDUTORES *

CG	DHO	HOC	RSCF	DSC	FVTC
1	100	6.00	1	1.00	1.50

** DADOS DOS CABOS CONDUTORES E PARA-RAIOS **

TMC - MATERIAL DO CABO
 1 - COBRE RECOZIDO
 2 - COBRE TEMPERA DURA
 3 - ALUMINIO TEMPERA DURA
 4 - ACO GALVANIZADO
 RETC - RESISTENCIA A 25 C (OHM/KM)
 REXT - RAIO EXTERNO [M]
 RMG - RAIO MEDIO GEOMETRICO [M]
 RFD - RAIO DO FILAMENTO DA ULTIMA CAMADA [M]
 NF - NUMERO DE FILAMENTOS DA ULTIMA CAMADA

* CONDUTORES *

CG	TMC	RETC	REXT	RMG	RFD	NF
1	2	.42446	.004166	.003023	.000000	0

MATRIZ DE IMPEDANCIAS PROPRIAS DOS CONDUTORES

ELEMENTO	REAL	IMAGINARIA
ZC(1, 1)	.475227E+00	.201506E-01

MATRIZ DE IMPEDANCIAS DEVIDO A DISPOSICAO GEOMETRICA DOS CONDUTORES

ELEMENTO	REAL	IMAGINARIA
ZG(1, 1)	.000000E+00	.496724E+00

MATRIZ DE IMPEDANCIAS DEVIDO AO RETORNO IMPERFEITO

ELEMENTO	REAL	IMAGINARIA
ZT(1, 1)	.897400E-01	.349780E+00

MATRIZ DE IMPEDANCIAS LONGITUDINAIS (COMPLETA)

ELEMENTO	REAL	IMAGINARIA
Z(1, 1)	.524367E+00	.866234E+00

Ω/km

MATRIZ DE ADMITANCIAS TRANSVERSAIS (COMPLETA)

ELEMENTO	REAL	IMAGINARIA
YC(1, 1)	.000000E+00	.221197E-05

Siemens/km

BIBLIOGRAFIA

- 1- Dommel, Hermann W. - "A Method for Solving Transient Phenomena in Multiphase System" - Proc. 2nd Power System Computation Conference, PSCC 1966 (Stockholm, Sweden), Report 5.8.
- 2- Dommel, Hermann W. - "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single - and Multiphase Networks" - IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems - Vol. PAS-88 n° 04, Abril 1969, Pag. 388 a 399.
- 3- Branin, F.H. Jr. - "Computer Methods of Network Analysis"-Proc. IEEE, Vol. 55, Pag. 1787-1801, November 1967.
- 4- Cogo, João Roberto - "Sobretensões nos Sistemas Elétricos de Potência" , Notas de Aula , Curso de Pós-Graduação, EFEI, 1983/84/85/86 - Curso de Especialização CESE (ELETROBRÁS), FUPAI, 1984/85/86.
- 5- Dommel, H.W.; Cogo, J.R. - "State-of-the-art of Overvoltage Simulations" - Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Itajubá - Vol. X - n° 04 - Pag. 184 a 198 - 1984.
- 6- Cogo, J.R.; Oliveira, A.R.C. - "Aplicação do Método de Integração Trapezoidal em Sistemas Elétricos" - Apresentado no Seminário de Pesquisa EFEI 1983.
- 7- Arango, H.; Cogo, J.R.; Sá, J.S. - "Conversão Estática" - Notas de Aula, Curso de Pós-Graduação, EFEI 1983 a 1986 - Curso de Especialização FUPAI (desde 1978) e CESE ELETROBRÁS desde 1985.
- 8- Miskulin, M.S.; Cogo, J.R. - "Análise dos Diversos Tipos de Aci

onamento para Sistemas de Tração" - Publicação FEC 109/85 - UNICAMP.

9. Leistungshalbleiter Module Für Potencialfreien Aufbau Datenbuch 1984/85 - Siemens - Aktiengesellschaft - Berlin.
10. Soares, Fábio Celso M. - "A Questão Energética Brasileira" - Literatura Econômica, IPEA, RJ, Janeiro 1984.
11. Pinto, Rinaldo A. - "Alguns Subsídios para uma Política Alternativa de Energia e Transporte" - COPEL, Curitiba , Paraná, 20 de Março de 1985.
12. Kimbark, Edward W. - "Direct Current Transmission" - Wiley Interscience - 1975.
13. Windmöller, R. - "Calculation of the Electrical Quantities of Converter Circuits Shown in This Case for a Quenching, Assymetrical Bridge Circuit (LUB)" - IFAC Symposium 1977 - Pag. 19 a 25.
14. Data Book 1979/80, Silicon thyristors (fast thyristors > 30 [A]) Siemens Aktiengesellschaft, Federal Republic of Germany, Berlin (WEST) 1980.
15. Miskulin, M.; Cogo, J.R. - "Análise do Comportamento do Fator de Potência em Sistemas de Tração Ferroviária" - 2º Congresso Latinoamericano de Control Automático - Buenos Aires/Argentina - 1986 - pag 334 a 339.
16. Arango, H.; Cogo, J.R.; Sá, J.S. - "Projeto de um Inversor PWM de Frequência Variável com Tecnologia SIPMOS" - Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico - Vol. XI, nº 03, 1985, Pag. 26 a 33.
17. Semikron - "Folha de Dados de Semicondutores - SK7/84 - PR-10K

Carapicuíba - SP - Brasil.

18. Semikron thyristors - data book - B-874 EDF Reprint 1982-07 ,
Bundesrepublik Deutschland.
19. Dommel, H.W. - "Electromagnetic Transients Program" - Depto of
Electrical Engineering - The UBC copyright 1976, Lasted re-
vision August 1978.
20. Grant, A.N. - "Transformer for Traction Duty - The Evolution of
Transformer for Thyristor Drives"-Symposium on Developments
in Electric Traction, GEC Traction, Manchester, March 1976
Pag. 17 a 20.
21. Hellmann, A.Müller - "Multi-Step Line and Self-Commutated Sin-
gle-Phase Bridge Converter" IFAC Symposium 1977, Pag. 733
a 743.
22. Hollingbery, Philip - "Thyristor in Railway Traction. How can
their effects be measured?" - Brüel & Kjaer - Application No-
tes - Naerum Denmark.
23. Souza, Carlos R.; Miskulin, Mauro S. - "Simulador Analógico pa-
ra Avaliação do Comportamento Transitório da Linha de Ali-
mentação de um Sistema Monofásico de Tração Elétrica Contro-
lada a Tiristores" 5º Congresso Brasileiro de Automática -
1984 - Campina Grande - Pag. 338 a 343.
24. Bellini, Armando; Figalli, Gennaro - "Simplified Analysis and
Design of an AC/DC Power Conversion System for Traction Dri-
ves" - IEEE Transactions on Industry Applications - PAS VOL
IA-17 , nº 02 , March/April 1981 , Pag. 167 a 173.
25. Bohli, W.U.; Deng, H.M.; Müller, W. - "Transformers and Smoo -

- thing Reactors for AC Traction Vehicles" - Brown Boveri Rev. VOL 64, Nº 12, 1977, Pag. 740 - 750.
26. Brechbühler, M.; Skrabo, B. - "The Static Converter as Modern Power Controller" - Brown Boveri Review - Nº 12, VOL 69, December 1982, Pag. 441 a 452.
27. Skrabo, B.; Vogel, X. - "Switching Devices and Structure of Modern Converters for Traction Vehicles" - Brown Boveri Review - Nº 12, VOL 69, December 1982, Pag. 453 a 459.
28. Relatório Técnico - "Projeto e Implementação de um Simulador de Sistema de Transmissão em Corrente Contínua" - Sub Grupo SP4, EFEI/FINEP 1984 - Coordenador João Roberto Cogo.
29. Kulicke, B. - "Simulationsprogramm NETOMAC:Differenzenleitwert verfahren bei Kontinuierlichen und Diskontinuierlichen Systemen" - Siemens Forsch-u.Entwickl - Ber.Bd 10 (1981)- Nr 5 Springer - Verlag 1981 - Pag. 299 a 302.
30. Semikron - Brasil - Programa 82 - Folha de Dados para Diodos , Tiristores e Dissipadores - Catálogo número SK ,Set/1981.
31. RCA - SOLID STATE DATA BOOK - Copyright 1978, USA/7-78.
32. Relatório Técnico - "Estações Retificadoras para Tróleibus" - FUPAI, DCP/052/86 de 17.03.86.
33. Phadke, A.G.; Reitam, D.K.; Peterson, H.A. - "Transient Fault Currents in HVDC Rectifiers" - IEEE, PAS Nº 31, CP 67-441 - 1967
34. Peterson, H.A.; Phadke, A.G.; Reitam, D.K. - "Transient in HVDC Power Systems" - IEEE, VOL 88, Nº 7, July 1969, Pag. 981 a 989.

35. Reeve, J; Kapoor, S.C. - "Analysis of Transient Short Circuit Current in HVDC Power Systems" - IEEE, PAS. Nº 71, May/Jun 1971 - Pag. 1174 a 1182.
36. Etter, P. - "Electronic Systems for Traction Vehicle Drives"- Brown Boveri Review Nº 12, VOL 69, December 1982, Pag. 437 a 440.
37. Brigham, E. Oran - "The Fast Fourier Transform"-Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1974.
38. Brandwajn, V.; Dommel, H.W. - "Numerical Oscillations in Transient Analysis of Circuits with Implicit Integration Methods" 26th Midwest Symposium on Circuits and Systems, Puebla, México, Aug 15-16, 1983.
39. Alvarado, F.L. - "Trapezoidal Integration" - Curso de Especialização em Transitórios Eletromagnéticos - FURNAS Centrais Elétricas S.A. - Rio de Janeiro - 15/03/1983.
40. Siemens - "Integrated Phase Control TCA 780 for Power Electronics" - Application Note, Components Group, Siemens Aktiengesellschaft, ordering Nº B/1884-101.
41. Tessier, Marcel - "Traction électrique et thermo-électrique" - Éditions Scientifiques Riber - Paris - 1978.
42. Reid, J.K. - "Large Sparse of Linear Sets Equations"- Academic Press - London - England - 1971.
43. Tinney, W.F.; Walker, J.W. - "Direct Solutions of Sparse Network Equations by Optimally Ordered Triangular Factorization"- Proceedings of IEEE, Vol 55, nº 11, november 1967, pag 1801 a 1809.

44. Cabrita, Carlos Manoel Pereira - "Comando de Fase e Comando por Sectores. Conteúdo Harmônico da Tensão Contínua e Análise da Comutação de Motores de Tracção" - Electricidade.Energia.Electrónica (Portugal), ISSN 0252 - 3366. 28º Ano, nº 198, Abril 1984, pag 148 a 154.
45. Dommel, H.W. - "Overhead Line Parameters Program. User's Manual"- The University of British Columbia, Departament of Electrical Engineering, Vancouver, B.C., Canadá, August, 1980.
46. Cabrita, Carlos Manoel Pereira - "Conversores Monofásicos de Potência. Cálculo e Análise dos Factores de Potência" - Electricidade.Energia.Electrónica (Portugal), ISSN 0253 - 3367, 28º Ano, nº 199, Maio 1984 - Pag 198 a 204.
47. ASEA - "Thyristor Locomotives Today and Tomorrow" - Pamphlet TB22 - 103E, Edition 1, March 1972.

APENDICE - LISTAGENS DE PROGRAMAS
TESE DOUTORADO - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ANÁLISE DE PONTES CONVERSoras MONOFÁSICAS
COM COMUTAÇÃO FORÇADA EM SISTEMAS
ELÉTRICOS.

DATA DA DEFESA: 12/12/86.

AUTOR: JOÃO ROBERTO COGO

ORIENTADOR: PROF. DR. MAURO SÉRGIO MISKULIN

C659a
v.2
7767/BC

```

1      *CONTROL INIT
2      *CONTROL FILE=4-7
3      *CONTROL NOLIST
3.1    *CONTROL SEGMENT = SEG1
4      PROGRAM JRCOSYST
4.1    C
4.2    C      ****
4.3    C      *
4.4    C      * PROGRAMA DIGITAL PARA CALCULO DE TRANSITORIOS EM SIS-
4.5    C      * TEMAS ELETRICOS CONTENDO PONTES CONVERSORAS.
4.6    C      *
4.7    C      ****
4.8    C
5      C
5.1    CHARACTER FILE03*40
6      CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
7      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
8      INTEGER NRESIST, NIND, NCAPAC, NDIODO, NTIRIST, NCHAVE
9      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
10     INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
11     INTEGER ICHAVE(35), IKEY
12     INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
12.1   INTEGER BAREM(10), BAREC(10), ESCRCOR(10)
13     INTEGER ERRO, OPCA0
14     INTEGER IFILA(35), JCOL(35), JORD(35)
15     INTEGER NCOND
16     INTEGER COND(10, 20)
17     INTEGER IESCORR
18     REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
19     DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
20     DOUBLE PRECISION CORLIBD, CORLIBT
21     DOUBLE PRECISION CORRENTE
21.1   REAL NPERD, NPERT
22     REAL UEFC(35), FREQU(35), FIU(35)
23     REAL FCC(35), FREQC(35), FIC(35)
24     REAL CORRFC(35), UFC(35)
25     DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
26     REAL ALFA(35), BLOC(35), DALFADI, CCAL(10)
27     DOUBLE PRECISION VALORL, RL, DT, DTI
28     DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
29     DOUBLE PRECISION YAAI(35,36), YA(35,36), YB(35,36), YI(35,36)
30     DOUBLE PRECISION RBULK, RCOND
31     DOUBLE PRECISION X(35), Y(35)
32     DOUBLE PRECISION DET, TOL
33     C
34     C
35     COMMON /BLOCK01/ NBARR, UEFC, FREQU, FIU
36     COMMON /BLOCK02/ NCORR, FCC, FREQC, FIC
37     COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
38     COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
39     COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
40     COMMON /BLOCK06/ NRESIST, NIND, NCAPAC, NDIODO, NTIRIST, NCHAVE
41     COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPOL, TIPO
42     COMMON /BLOCK08/ NCOND, COND
43     COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
44     COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
45     COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY

```



```

46      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICA0
47      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITO, ALFA, BLOQ, DALFADI
48      COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
49      COMMON /BLOCK15/ CORLIBD, CORLIST
50      COMMON /BLOCK16/ CORRENTE, IESCORR
51      COMMON /BLOCK17/ FREQR, ERROCOR
52      COMMON /BLOCK18/ RBULK, RCOND
53      COMMON /BLOCK19/ CORRFC, UFC
53.1    COMMON /BLOCK20/ NPLOTU, BAREM, BAREC, NESRCORR, ESCRCOR
54      C
55      C
55.1    DATA FILE03 /"FILE FTN03;DEV=LP;CCTL"/
55.2    C
55.3    FILE03[40:1] = %15C
55.4    C
56      PI = 4.0 * ATAN(1.0)
59      C
60      C      INICIALIZAÇÃO DOS CONTADORES
61      C
62      NB = 0
63      NCH = 0
64      NRAMO = 0
65      NELEM = 0
66      NBARCU = 0
67      NBARCOR = 0
68      NRESIST = 0
69      NIND = 0
70      NIND = 0
71      NCAPAC = 0
72      NDIODO = 0
73      NTIRIST = 0
74      NCHAVE = 0
74.1    OPEN = 0
74.2    CLOSE = 0
74.3    TOSC = 0.0
74.4    FLAG = 0
74.5    IKEY = 0
74.6    DALFADI = 80.0
74.7    TDELAY = 0.0
74.8    TI = 0.0
76      CALL LEITURA
76.01   DTI = TMAX/NPTOS
76.1    C
76.2    WRITE(6, *) "##### INSTANTE DE ACIONAMENTO DA IMPRESSORA = "
76.3    READ(5, *) TINPRE03
77      C
78      C      CÁLCULO DO NÚMERO DE BARRAS DO SISTEMA
79      C
80      DO 14 I = 1, NELEM
81          IF(EB(I) .GT. NB) NB = EB(I)
82      14 CONTINUE
82.1    DO 15 I = 1, NELEM
82.2        IF(SB(I) .GT. NB) NB = SB(I)
82.3    15 CONTINUE
82.4    NB = NB - 1
82.5    NBYA = NB - NBARCU
82.6    WRITE(3, 441) "EM 82.6 NB=", NB, "NBARCU=", NBARCU, "NBYA=", NBYA

```

```

82.7 441 FORMAT(3/1X, 14X, 3(S, 12, 2X))
83 C
84 CALL IMPREDADOS
86 CALL MONTAYAAI
87 C
88 C SIMULACAO DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA
89 C
90 NBYAI = NBYA + 1
91 C
92 T = 0.0
92.001 NPERD = 1.0
92.002 PERIODO = 100/FREQR
92.003 NPRT = 1.0
92.01 IF(NPLOTU.NE.0) WRITE(2, 201) (BAREM(I), BAREC(I), I=1, NPL OTU)
92.02 201 FORMAT(12X, 10(2X, "O(", 12, " ", 12, ") ", 1X))
92.03 IF(NESRCOR.NE.0) WRITE(20, 202) (SB(ESRCOR(I)),
92.031 > EB(ESRCOR(I)), I = 1, NESRCOR)
92.04 202 FORMAT(12X, 10(2X, "I(", 12, " ", 12, ") ", 1X))
92.1 C
92.2 C DETERMINACAO DO VALOR INICIAL DE OPENCLOS
92.3 C
92.4 C LEMBRE-SE QUE:
92.5 C - SE OPEN = 0 NAO OCORRERA OPERACAO DE ABERTURA
92.6 C - SE OPEN = 1 OCORRERA OPERACAO DE ABERTURA
92.61 C - SE CLOSE = 0 NAO OCORRERA OPERACAO DE FECHAMENTO
92.62 C - SE CLOSE = 1 OCORRERA OPERACAO DE FECHAMENTO
92.63 C - SE OPEN = 2 NAO OCORREU CHAVEAMENTO DE ABERTURA
92.64 C - SE CLOSE = 2 NAO OCORREU CHAVEAMENTO DE FECHAMENTO
92.7 C
92.8 DO 74 I = 1, NELEM
92.9 IF(TIPO(I).EQ. "DI" .AND. POSI(I).EQ. 1) CLOSE = 1
92.91 IF(TIPO(I).EQ. "TI" .AND. POSI(I).EQ. 1) CLOSE = 1
92.92 IF(TIPO(I).EQ. "CH" .AND. POSI(I).EQ. 1) CLOSE = 1
92.93 POSITC(I) = 0
92.941 74 CONTINUE
92.95 C
92.96 C VERIFICAO SE A PRIMEIRA OPERACAO SERA DE ABERTURA
92.97 C
92.98 IF(CLOSE .EQ. 1) GO TO 22
92.99 IF(CLOSE .EQ. 0) OPEN = 1
93 22 CONTINUE
93.01 DO 3100 I = 1, NELEM
93.02 POSITC(I) = 0
93.03 3100 CONTINUE
93.1 IF(T.LT. NPRT*PERIODO) GO TO 223
93.2 DO 224 I = 1, NELEM
93.3 IF(TIPO(I).NE. "TI") GO TO 333
93.4 ALFA(I) = ALFA(I) + 360.0
93.5 333 CONTINUE
93.6 224 CONTINUE
93.7 NPRT = NPRT + 1.0
93.8 223 CONTINUE
93.9 IF(T.LT. NPERD*PERIODO) GO TO 323
93.91 DO 324 I = 1, NELEM
93.911 IF(ALFA(I).LE. 0.0) GO TO 3243
93.92 IF(TIPO(I).EQ. "DI") ALFA(I) = ALFA(I) + 360.0
93.921 WRITE(3, *) "I=", I, "T=", T, "NPERD=", NPERD, "ALFA(I)=", ALFA(I)

```

```

93.922 3243          CONTINUE
93.93   324          CONTINUE
93.94          NPERD = NPERD + 1.0
93.95   323          CONTINUE
94      C
95      C          IRA' ABRIR CHAVE, VERIFICANDO PRIMEIRO SE REALMENTE
96      C          E' NECESSARIO
97      C
97.1          WRITE(3, *) "EM 97.1, OPEN=", OPEN, "CLOSE=", CLOSE, "T = ", T,
97.2      >      "NB = ", NB, "NBARCU = ", NBARCU, "FLAG = ", FLAG
97.3          WRITE(3, *) "POSI(I) = ", (POSI(I), I = 1, NELEM)
97.4      C          IF(T .LT. TDELAY) GO TO 5060
98      C          CALL CONDIA
98.1      C
98.2      C          SE POSITO(I) = 0 SIGNIFICA QUE A ULTIMA OPERACAO
98.3      C          DO ELEMENTO I (I = 1, NELEM) NAO FOI DE FECHAMEN-
98.4      C          TO, SE POSITO(I) = 1 SIGNIFICA QUE FOI DE FECHA-
98.5      C          MENTO.
98.6      C
98.7          DO 3110 I = 1, NELEM
98.8              POSITO(I) = 0
98.9   3110          CONTINUE
99      C
100     C          IRA' FECHAR CHAVE, VERIFICANDO PRIMEIRO SE REALMENTE
101     C          E' NECESSARIO
102     C
102.1          WRITE(3, *) "EM 102.1 OPEN=", OPEN, "CLOSE=", CLOSE, "T = ", T,
102.2      >      "NB = ", NB, "NBARCU = ", NBARCU, "FLAG = ", FLAG
102.3          WRITE(3, *) "POSI(I) = ", (POSI(I), I = 1, NELEM)
103      C          CALL CONDIF
103.1   5060          CONTINUE
104     C
105          IF(T .LE. 0.0) GO TO 11
106          IF(OPEN .EQ. 2 .AND. CLOSE .EQ. 2) GO TO 23
111     141          FORMAT(/1X, 14X, 2S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, I2)
113     31          CONTINUE
113.1          CALL IMPREYA
113.2          CALL IMPREYB
113.21          DO 1 I = 1, NB-NBARCU
113.22              DO 2 J = 1, NB-NBARCU
113.23                  YI(I, J) = YA(I, J)
113.24          2          CONTINUE
113.25          1          CONTINUE
113.32          N = NB-NBARCU
113.4          N1 = N + 1
113.5          TOL = 1D-32
113.6          CALL JAC310(N, N1, YI, X, TOL, ERRO, -1, DET,
113.7      >          IFILA, JCOL, JORD, Y)
115.1          CALL IMPREINVERSA
116     33          CONTINUE
117          GO TO 13
118     11          CONTINUE
119          IF(OPEN .EQ. 2 .AND. CLOSE .EQ. 2) GO TO 43
120          WRITE(3, *) " EM 120 NO PROGRAMA PRINCIPAL",
121      >      " NO INSTANTE T = ", T, "OPEN=", OPEN, "CLOSE=", CLOSE
122      >      "NA ENTRADA DE DADOS NAO ESTA' HAVENDO OPERACAO ",
123      >      "DA MATRIZ YA"

```

```

124      142      FORMAT(/1X, 14X, 2S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, I2/
125      >      1X, 14X, 2S)
127      43      CONTINUE
128      IF(OPEN .NE. 1) GO TO 51
129      WRITE(3, *) "EM 129 PRIMEIRA OPERACAO E' ABERTURA",
129.1      >      "OPEN = ", OPEN, "CLOSE=", CLOSE
130      143      FORMAT(/3X, 14X, 2S)
131      GO TO 53
132      51      CONTINUE
132.1      IF(CLOSE .NE. 1) GO TO 53
133      WRITE(3, *) "EM 133 PRIMEIRA OPERACAO E' FECHAMENTO"
133.1      >      , ", EM 133 CLOSE = ", CLOSE
134      53      CONTINUE
134.1      CALL IMPREYA
134.2      CALL IMPREYB
134.3      DO 3 I = 1, NB-NBARCU
134.31      DO 4 J = 1, NB-NBARCU
134.32      YI(I, J) = YA(I, J)
134.33      4      CONTINUE
134.34      3      CONTINUE
134.5      N = NB-NBARCU
134.6      N1 = N + 1
134.7      TOL = 1D-32
134.8      CALL JAC310(N, N1, YI, X, TOL, ERRO, -1, DET,
134.9      >      IFILA, JCOL, JORD, Y)
136.1      CALL IMPREINVERSA
137      23      CONTINUE
138      13      CONTINUE
139      C
140      C      MONTAGEM DO VETOR CORRENTE DO LADO DIREITO
140.1      C      DO LADO DIREITO DA EQUACAO NODAL
141      C
142      C
143      C      ARMAZENAMENTO DA TENSÃO NAS BARRAS NO STEP ANTERIOR
144      C
145      IF(FLAG .EQ. 1) GO TO 3333
146      3334      CONTINUE
151      CALL FONTES
151.1      DO 5555 I = 1, NB+1
151.2      WRITE(3, *) "EM 151.2 I = ", I, "CORPH(I)=", CORPH(I)
151.3      5555      CONTINUE
152      CALL PASTHIST
152.01      DO 6666 I = 1, NB+1
152.02      WRITE(3, *) "EM 151.2 I = ", I, "CORPH(I)=", CORPH(I)
152.03      6666      CONTINUE
152.1      T = T + DT
152.2      3333      CONTINUE
153      DO 154 I = 1, NB
153.1      WRITE(3, *) "EM 153.1 CORPH(", I, ")=", CORPH(I),
153.11      >      "COR(", I, ")=", COR(I), "U(", I, ") = ", U(I)
153.2      146      FORMAT(/103C, 14X, 3(S, I2, S, 1X, E9.3, 4X))
153.3      154      CONTINUE
154      C
155      C      NOTE QUE A ROTINA PASTHIST SO' CALCULA AS CORRENTES NOS
156      C      RAMOS L, C
157      C
158      C      MONTAGEM DE COR(I)

```

```

159      C
160      CALL FONTES
161      DO 44 I = 1, NB
161.1      COR(I) = 0D0
161.2      COR(I) = COR(I) - CORRFC(I)
163      WRITE(3, *) "EM 163 T = ", T, "COR(", I, ") = ", COR(I),
163.1      > "CORRFC(", I, ") = ", CORRFC(I)
163.2      150      FORMAT(/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, I2, S, 1X, E9.3,
163.3      > 5X, S, I2, S, 1X, E9.3)
164      DO 444 J = 1, NBARCU
164.1      C
164.2      C      A TENSÃO UFC VINDA DA ROTINA FONTES É A MESMA
164.3      C      TENSÃO U LOGO PODE-SE ELIMINAR UFC SUBSTITUINDO
164.4      C      POR U
164.5      C
165      COR(I) = COR(I) - YB(I, J)*UFC(NB-NBARCU+J)
165.1      U(NB-NBARCU+J) = UFC(NB-NBARCU+J)
166      444      CONTINUE
167      44      CONTINUE
167.26      DO 664 I = 1, NB
167.27      COR(I) = COR(I) + CORPH(I)
167.28      664      CONTINUE
167.99      DO 254 I = 1, NB
167.991      WRITE(3, *) "EM 167.991 CORPH(", I, ") = ", CORPH(I),
167.992      > "COR(", I, ") = ", COR(I)
167.994      254      CONTINUE
168      DO 54 I = 1, NB - NBARCU
168.1      UA = 0.0
169      DO 544 J = 1, NB-NBARCU
170      UA = UA + YI(I, J)*COR(J)
171      544      CONTINUE
172      WRITE(3, *) "EM 172 T = ", T, "I = ", I,
173      > "U(I) - TENSÃO ANTIGA = ", U(I), "UA - TENSÃO NOVA = ", UA
174      145      FORMAT(/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, I2, 2(S, 1X,
175      > E9.3, 2X))
175.1      UANT(I) = U(I)
176      U(I) = UA
176.1      54      CONTINUE
176.2      IF(T .LT. TI) GO TO 7773
177.001      IF(NPLOTU .EQ. 0) GO TO 833
177.01      C
177.02      C      GRAVACAO DOS PONTOS EM ARQUIVOS PARA POSTERIOR PLOTAGEM
177.03      C
177.04      WRITE(2, 200) T, (U(BAREM(I))-U(BAREC(I))), I = 1, NPLOTU)
177.05      200      FORMAT(E12.6, 10(" ", " ", E9.3))
177.06      833      CONTINUE
177.11      IF(NESRCOR .EQ. 0) GO TO 933
177.12      DO 9 I = 1, NESRCOR
177.13      J = ESCRCOR(I)
177.14      DV = U(SB(J)) - U(EB(J))
177.15      IF(TIPO(J) .EQ. "RE") CCAL(J) = DV/R(J)
177.16      IF(TIPO(J) .EQ. "IN") CCAL(J) = DV/R(J) + CORPHLC(J)
177.17      IF(TIPO(J) .EQ. "CA") CCAL(J) = DV/R(J) + CORPHLC(J)
177.18      IF(TIPO(J) .NE. "DI" .AND.
177.19      > TIPO(J) .NE. "TI" .AND.
177.191      > TIPO(J) .NE. "CH" ) GO TO 10
177.192      IF(POSI(J) .EQ. 0) GO TO 215

```

```

177.193          CCAL(J) = DV/RCOHD
177.194          GO TO 216
177.195      215          CONTINUE
177.196          CCAL(J) = 0.0
177.197      216          CONTINUE
177.198      10          CONTINUE
177.199      9          CONTINUE
177.23          WRITE(20, 200) T, (CCAL(ESCRCOR(I)), I = 1, NESRCOR)
177.24      933          CONTINUE
177.25          TI = TI + DTI
177.26      7773          CONTINUE
177.3          DO 124 I = 1, NB
177.41              WRITE(3, *) "EM 177.41 I = ", I, "U(I) = ", U(I),
177.42              >          "COR(I) = ", COR(I), "CORPH(I) = ", CORPH(I),
177.43              >          "OPEN", OPEN, "CLOSE=", CLOSE
177.5          124          CONTINUE
177.6          DO 134 I = 1, NELEM
177.7              WRITE(3, *) "EM 177.7 I = ", I, "POSI(I) = ", POSI(I),
177.71              >          "SB(I) = ", SB(I), "EB(I) = ", EB(I)
177.8          134          CONTINUE
178.1          DO 944 I = 1, NB+1
178.2              WRITE(3, *) "EM 178.2 I = ", I, "U(I) = ", U(I),
178.3              >          "COR(I) = ", COR(I), "CORPH(I) = ", CORPH(I)
178.4          944          CONTINUE
178.41          IF(FLAG .EQ. 1) GO TO 1005
178.5          DO 1004 I = 1, NB+1
178.6              COR(I) = 0D0
178.7      C1          CORPH(I) = 0.0
178.8          1004          CONTINUE
178.81          1005          CONTINUE
178.82          DO 7777 I = 1, NB+1
178.83              WRITE(3, *) "EM 178.83 I = ", I, "CORPH(I)=", CORPH(I)
178.84      7777          CONTINUE
178.9          IF(ABS(T - TIMPRE03) .GT. DT) GO TO 5050
178.91          CALL UNITCONTROL(3, 8)
178.92          CALL COMMAND(FILE03, N1, N2)
178.93      5050          CONTINUE
178.94          WRITE(3, *) "EM 178.94 T = ", T, "FLAG = ", FLAG
178.941          WRITE(3, 6633) "##### FIN DE UN CICLO #####
178.942      6633          FORMAT(10/1X, 40X, 8, 10/)
178.95          IF(FLAG .EQ. 1) GO TO 3334
179          IF(T .LE. TMAX) GO TO 22
180          24 CONTINUE
181      C
182          STOP
183          END
184
185      C
186
187      C
188
189      C
190
191      C
192
193      C
194
195      C
196
197      C
198
199      C
200
201      C
202
203      C
204      C
205      C
206      C
207      C
208      C
209      C
210      C
211      C
212      C

```

*CONTROL SEGMENT = SEQ1
 SUBROUTINE LEITURA
 DESCRICAO GERAL:
 - CHAMADA PELO PROGRAMA PRINCIPAL
 - TEM COMO FUNCAO LER:
 O ARQUIVO DE DADOS DE DADOS CONTENDO A CONFIGURACAO
 DO SISTEMA,
 OS DADOS REFERENTES AS OPERACOES DAS CHAVES, DIODOS

```

213 C      E TIRISTORES, A SABER: TEMPO DE ABERTURA DAS CHAVES
214 C      (TOPEN), TEMPO DE FECHAMENTO DAS CHAVES(TCLOSE), TEN-
215 C      SAO MINIMA PARA CONDUCAO DE DIODOS E TIRISTORES (UDI-
216 C      ODO E UTIRIST, RESPECTIVAMENTE)
217 C      - O PRIMEIRO ITEM DO ARQUIVO LIDO TRATA-SE DO NUMERO
218 C      DO CASO EM ESTUDO, USADO COMO REFERENCIA NA LISTA-
219 C      GEM DOS RESULTADOS. A VARIAVEL QUE GUARDA ESSE NU-
220 C      MERO CHAMA-SE "CASO"
221 C      - NO CICLO REPETITIVO, FAZ-SE A LEITURA DOS DADOS
222 C      DOS ELEMENTOS QUE COMPOEM O SISTEMA, OS QUAIS PODE-
223 C      RAO SER: FONTES DE CORRENTES CONHECIDAS, FONTES DE
224 C      TENSAO CONHECIDAS, RESISTORES, INDUTORES, CAPACITO-
225 C      RES, DIODOS, TIRISTORES E CHAVES.
226 C      - A VARIAVEL TIPOL E' USADA PARA IDENTIFICAR QUE CON-
227 C      JUNTO DE ELEMENTOS DO MESMO TIPO SERAO LIDOS, OU
228 C      MELHOR:
229 C      SE TIPOL = "TE" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
230 C      FONTES DE TENSAO CONHECIDAS.
231 C      SE TIPOL = "CO" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
232 C      FONTES DE CORRENTE CONHECIDAS.
233 C      SE TIPOL = "RE" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
234 C      RESISTORES.
235 C      SE TIPOL = "IN" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
236 C      INDUTORES.
237 C      SE TIPOL = "CA" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
238 C      CAPACITORES.
239 C      SE TIPOL = "DI" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
240 C      DIODOS.
241 C      SE TIPOL = "TI" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
242 C      TIRISTORES
243 C      SE TIPOL = "CH" => LEITURA DOS DADOS REFERENTES A
244 C      CHAVES.
245 C
258.01 CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
258.02 INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCDR, FLAG
258.03 INTEGER NRESIST, NIND, NCAPAC, NDIODO, NTIRIST, NCHAVE
258.04 INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
258.05 INTEGER NBARR(35), N CORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
258.06 INTEGER ICHAVE(35), IKEY
258.07 INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
258.08 INTEGER BAREM(10), BAREC(10), ESCRCOR(10)
258.09 INTEGER ERRO, OPCAO
258.10 INTEGER IFILA(35), JCOL(35), JORD(35)
258.11 INTEGER NCOND
258.12 INTEGER COND(10, 20)
258.13 INTEGER IESCORR
258.14 REAL T, TI, TO, TNAX, TOSC, PI, TDELAY
258.15 DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
258.16 DOUBLE PRECISION CORLIBD, CORLIBT
258.17 DOUBLE PRECISION CORRENTE
258.18 REAL UEFC(35), FREQU(35), FID(35)
258.19 REAL FCC(35), FREQC(35), FIC(35)
258.20 REAL CORRFC(35), UFC(35)
258.21 DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
258.22 REAL ALFA(35), BLDQ(35), DALFADI, CDAL(10)
258.23 DOUBLE PRECISION VALORL, RL, DT, DTI
258.24 DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)

```

```

258.25      DOUBLE PRECISION YAAI(35,36),YA(35,36),YB(35,36),YI(35,36)
258.26      DOUBLE PRECISION RBULK, RCOND
258.27      DOUBLE PRECISION X(35), Y(35)
258.28      DOUBLE PRECISION DET, TOL
258.29      C
258.3       C
258.31      COMMON /BLOCK01/ NBARR, UEFC, FREQU, FIU
258.32      COMMON /BLOCK02/ NCORR, FCC, FREQC, FIC
258.33      COMMON /BLOCK03/ KRAMD, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
258.34      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMD, NELEM
258.35      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
258.36      COMMON /BLOCK06/ NRESIST, NIND, NEAPAC, NDIODO, NTIRIST, NCHAVE
258.37      COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPOL, TIPO
258.38      COMMON /BLOCK08/ NCOND, COND
258.39      COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
258.4       COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
258.41      COMMON /BLOCK11/ T, TI, TO, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
258.42      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
258.43      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
258.44      COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
258.45      COMMON /BLOCK15/ CORLIBD, CORLIBT
258.46      COMMON /BLOCK16/ CORRENTE, IESCORR
258.47      COMMON /BLOCK17/ FREQR, ERROCOR
258.48      COMMON /BLOCK18/ RBULK, RCOND
258.49      COMMON /BLOCK19/ CORREC, UFC
258.5       COMMON /BLOCK20/ NPLUTU, BAREM, BAREC, NESRCOR, ESCRCOR
281        C
282        C      LEITURA DO NUMERO DO CASO EM ESTUDO
283        C
283.02      WRITE(6, 171) "ANALISE DE SISTEMAS ELETRICOS - REGIME ",
283.03      >      "TRANSITORIO E PERMANENTE"
283.04      171 FORMAT(1H1, 4/1X, 14X, 2S)
283.1       WRITE(3, *) "ENTRADA NA LEITURA"
284        READ(1, 151) CASO
285        151 FORMAT(24X, S)
285.01      C
285.02      C      LEITURA DOS DADOS PARA SIMULACAO
285.03      C
285.1       WRITE(6, 161) "DADOS PARA SIMULACAO:"
285.2       WRITE(6, 162) "TEMPO DE SIMULACAO [s] = "
285.3       READ(5, *) TMAX
285.4       WRITE(6, 162) "INTERVALO DE INTEGRACAO [s] = "
285.5       READ(5, *) DT
285.51      WRITE(6, 162) "RESISTENCIA DE CONDUCAO RCOND [OHM] = "
285.52      READ(5, *) RCOND
285.53      WRITE(6, 162) "RESISTENCIA DE BLOQUEIO RBULK [OHM] = "
285.54      READ(5, *) RBULK
285.6       WRITE(6, 162) "NUMERO DE PONTOS PARA PLOTAGEM DE CADA CURVA = "
285.7       READ(5, *) NPTOS
286        C
287        C      LEITURA DOS DADOS DOS ELEMENTOS DO SISTEMA
288        C
289        12 CONTINUE
290          READ(1, 152, END = 14) TIPOL
291        152  FORMAT(S)
292          IF(TIPOL.NE."TE") GO TO 13
292.01      22  CONTINUE

```



```

292.02      READ(1, *) NBARRL, UEFCL, FREQU, FIUL
292.03      IF(NBARRL .EQ. 999) GO TO 24
292.04      NBARCU = NBARCU + 1
292.05      NBARR(NBARCU) = NBARRL
292.06      UEFC(NBARCU) = UEFCL
292.07      FREQU(NBARCU) = FREQU
292.08      FIU(NBARCU) = FIUL
292.09      GO TO 22
292.1       24      CONTINUE
292.2       13      CONTINUE
293         IF(TIPOL .NE. "CD") GO TO 23
293.01      32      CONTINUE
293.02      READ(1, *) NCORRL, FCCL, FREQCL, FICL
293.03      IF(NCORRL .EQ. 999) GO TO 34
293.04      NBARCOR = NBARCOR + 1
293.05      NCORR(NBARCOR) = NCORRL
293.06      FCC(NBARCOR) = FCCL
293.07      FREQC(NBARCOR) = FREQCL
293.08      FIC(NBARCOR) = FICL
293.09      GO TO 32
293.1       34      CONTINUE
293.2       23      CONTINUE
294         IF(TIPOL .NE. "RE") GO TO 33
294.01      42      CONTINUE
294.02      READ(1, *) KRAMOL, SBL, EBL, VALORL
294.03      IF(KRAMOL .EQ. 999) GO TO 44
294.04      NELEM = NELEM + 1
294.05      NRESIST = NRESIST + 1
294.06      TIPO(NELEM) = "RE"
294.07      C         IF(SBL .LT. EBL) GO TO 411
294.08      C         SB(NELEM) = EBL
294.09      C         EB(NELEM) = SBL
294.1       C         GO TO 413
294.11      C 411      CONTINUE
294.12      C         SB(NELEM) = SBL
294.13      C         EB(NELEM) = EBL
294.14      C 413      CONTINUE
294.15      SB(NELEM) = SBL
294.16      EB(NELEM) = EBL
294.17      KRAMO(NELEM) = KRAMOL
294.18      VALOR(NELEM) = VALORL
294.19      R(NELEM) = VALORL
294.2       GO TO 42
294.21      44      CONTINUE
294.22      33      CONTINUE
295         IF(TIPOL .NE. "IN") GO TO 43
295.01      52      CONTINUE
295.02      READ(1, *) KRAMOL, SBL, EBL, VALORL
295.03      IF(KRAMOL .EQ. 999) GO TO 54
295.04      NELEM = NELEM + 1
295.05      NIND = NIND + 1
295.06      TIPO(NELEM) = "IN"
295.07      C         IF(SBL .LT. EBL) GO TO 511
295.08      C         SB(NELEM) = EBL
295.09      C         EB(NELEM) = SBL
295.1       C         GO TO 513
295.11      C 511      CONTINUE

```

```

295.12 C          SB(NELEM) = SBL
295.13 C          EB(NELEM) = EBL
295.14 C 513      CONTINUE
295.15          SB(NELEM) = SBL
295.16          EB(NELEM) = EBL
295.17          KRAMO(NELEM) = KRAMOL
295.18          VALOR(NELEM) = VALORL
295.19          R(NELEM) = (2.0D-03*VALORL)/DT
295.2      GO TO 52
295.21      54      CONTINUE
295.22      43      CONTINUE
296      IF(TIPOL.NE."CA") GO TO 53
296.1      62      CONTINUE
296.11          READ(1,*) KRAMOL, SBL, EBL, VALORL
296.12          IF(KRAMOL.EQ.999) GO TO 64
296.13          NELEM = NELEM + 1
296.14          NCAPAC = NCAPAC + 1
296.15          TIPO(NELEM) = "CA"
296.16 C          IF(SBL.LT.EBL) GO TO 611
296.17 C          SB(NELEM) = EBL
296.18 C          EB(NELEM) = SBL
296.19 C          GO TO 613
296.2 C 611      CONTINUE
296.21 C          SB(NELEM) = SBL
296.22 C          EB(NELEM) = EBL
296.23 C 613      CONTINUE
296.24          SB(NELEM) = SBL
296.25          EB(NELEM) = EBL
296.26          KRAMO(NELEM) = KRAMOL
296.27          VALOR(NELEM) = VALORL
296.28          R(NELEM) = DT/(2.0D9*VALORL*1.0D-06)
296.29          GO TO 62
296.3      64      CONTINUE
296.4      53      CONTINUE
296.5 C15
296.6 C15      BLOQ(I) EH UM ANGULO QUE DEVE SER SOMADO A ALFA(I) E
296.7 C15      DEFINIRA O TEMPO MINIMO PARA BLOQUEIO DO SEMICONDUTOR
296.8 C15      EM OUTRAS PALAVRAS, BLOQ(I) EH O ANGULO DE CONDUCAO.
296.9 C15
297      IF(TIPOL.NE."DI") GO TO 63
297.01      72      CONTINUE
297.02          READ(1,*) ICHAVEL, SBL, EBL, POSIL, ALFAL, BLOOL
297.03          IF(ICHAVEL.EQ.999) GO TO 74
297.04          NELEM = NELEM + 1
297.05          NDIODO = NDIODO + 1
297.06 C          IF(SBL.LT.EBL) GO TO 713
297.07 C          AUX = EBL
297.08 C          EBL = SBL
297.09 C          SBL = AUX
297.1 C 713      CONTINUE
297.11          TIPO(NELEM) = "DI"
297.12          SB(NELEM) = SBL
297.13          EB(NELEM) = EBL
297.14          ICHAVE(NELEM) = ICHAVEL
297.15          POSI(NELEM) = POSIL
297.151          POSITO(NELEM) = POSIL
297.16          ALFA(NELEM) = ALFAL

```

```

297.161          BLOC(NELEM) = BLOQL
297.17          GO TO 72
297.18          74          CONTINUE
297.19          63          CONTINUE
298          IF(TIPOL.NE."TI") GO TO 73
298.01          82          CONTINUE
298.02          READ(1,*) ICHAVEL, SBL, EBL, POSIL, ALFAL, BLOQL
298.03          IF (ICHAVEL.EQ. 999) GO TO 84
298.04          NELEM = NELEM + 1
298.05          NTIRIST = NTIRIST + 1
298.06          C          IF(SBL.LT. EBL) GO TO 813
298.07          C          AUX = EBL
298.08          C          EBL = SBL
298.09          C          SBL = AUX
298.1          C 813          CONTINUE
298.11          TIPO(NELEM) = "TI"
298.12          SB(NELEM) = SBL
298.13          EB(NELEM) = EBL
298.14          ICHAVE(NELEM) = ICHAVEL
298.15          POSI(NELEM) = POSIL
298.151          POSITO(NELEM) = POSIL
298.16          ALFA(NELEM) = ALFAL
298.161          BLOC(NELEM) = BLOQL
298.17          GO TO 82
298.18          84          CONTINUE
298.19          73          CONTINUE
299          IF(TIPOL.NE."CH") GO TO 83
299.01          92          CONTINUE
299.02          READ(1,*) ICHAVEL, SBL, EBL, POSIL, TOPENL, TCLOSEL
299.03          IF (ICHAVEL.EQ. 999) GO TO 94
299.04          NELEM = NELEM + 1
299.05          NCHAVE = NCHAVE + 1
299.06          IF(SBL.LT. EBL) GO TO 913
299.07          AUX = EBL
299.08          EBL = SBL
299.09          SBL = AUX
299.1          913          CONTINUE
299.11          TIPO(NELEM) = "CH"
299.12          SB(NELEM) = SBL
299.13          EB(NELEM) = EBL
299.14          ICHAVE(NELEM) = ICHAVEL
299.15          POSI(NELEM) = POSIL
299.151          POSITO(NELEM) = POSIL
299.152          TOPEN(NELEM) = TOPENL
299.153          TCLOSE(NELEM) = TCLOSEL
299.16          GO TO 92
299.17          94          CONTINUE
299.18          83          CONTINUE
300          GO TO 12
301          14          CONTINUE
302          C
303          C          DADOS, VIA TERMINAL, PARA OPERACAO DE CHAVES, DIODOS
304          C          E TIRISTORES
305          C
306          WRITE(6, 161) "OPERACAO DE CHAVES, DIODOS E TIRISTORES"
307          161          FORMAT(2/1X, 14X, 5//)
308          IF(NCHAVE.EQ. 0) GO TO 103

```

```

310      162      FORMAT(1X, 14X, S)
314      WRITE(6, 162) "CORRENTE MINIMA PARA ABERTURA DAS CHAVES [A] = "
315      READ(5, *) ERROCOR
316      103 CONTINUE
317      IF(NDIODO .EQ. 0) GO TO 113
318      WRITE(6, 163) "TENSÃO DIRETA MINIMA DE CONDUÇÃO ",
319      >      "DOS DIODOS [V] = "
320      163      FORMAT(1X, 14X, 2S)
321      READ(5, *) UDIODO
322      WRITE(6, 163) "CORRENTE DE LIBERAÇÃO MINIMA ",
323      >      "DE ABERTURA DOS DIODOS [A] = "
324      READ(5, *) CORLIBD
325      113 CONTINUE
326      IF(NTIRIST .EQ. 0) GO TO 123
327      WRITE(6, 163) "TENSÃO DIRETA MINIMA DE CONDUÇÃO ",
328      >      "DOS TIRISTORES [V] = "
329      READ(5, *) UTIRIST
330      WRITE(6, 163) "CORRENTE DE LIBERAÇÃO MINIMA ",
331      >      "DE ABERTURA DOS TIRISTORES [A] = "
332      READ(5, *) CORLIBT
333      123 CONTINUE
334      WRITE(6, 162) "FREQUENCIA DA REDE [Hz] = "
335      READ(5, *) FREQR
335.1      WRITE(6, 161) "PLOTAGEM DAS FORMAS DE ONDA DE TENSÃO"
335.2      WRITE(6, 162) "QUANTIDADE DE DIF. DE POTENCIAL PARA PLOTAGEM = "
335.3      READ(5, *) NPLOTU
335.4      IF(NPLOTU .EQ. 0) GO TO 133
335.41      DO 12345 I = 1, NPLOTU
335.42      WRITE(6, 162) "DIF. POT. ENTRE AS BARRAS (SEP. POR VIRG) = "
335.43      READ(5, *) BAREN(I), BAREC(I)
335.44      12345 CONTINUE
335.7      133 CONTINUE
335.81      WRITE(6, 161) "PLOTAGEM DAS FORMAS DE ONDA DE CORRENTE"
335.82      WRITE(6, 162) "QUANTIDADE DE RAMOS PARA PLOTAGEM DE CORRENTE = "
335.83      READ(5, *) NRAMOS
335.84      IF(NRAMOS .EQ. 0) GO TO 573
335.85      WRITE(6, 162) "SERAO LISTADOS TODOS OS RAMOS"
335.86      WRITE(6, 162) 'COLOQUE "1" NOS RAMOS QUE SE DESEJA'
335.87      WRITE(6, 162) "CALCULAR AS CORRENTES. CASO CONTRA-"
335.88      WRITE(6, 162) 'RIO, COLOQUE "0"'
335.89      WRITE(6, *) " "
335.891      NESRCOR = 0
335.9      DO 904 I = 1, NELEM
335.91      WRITE(6, 165) "PLOTAGEM DE CORRENTE NO RAMO(",
335.92      >      SB(I), ", ", EB(I), ") = "
335.93      READ(5, *) NPLOT
335.94      IF(NPLOT .EQ. 0) GO TO 9043
335.95      NESRCOR = NESRCOR + 1
335.96      ESCRCOR(NESRCOR) = I
335.97      9043 CONTINUE
335.98      904 CONTINUE
335.99      573 CONTINUE
336.001 C
336.002 C      CONDICÖES INICIAIS
336.003 C
336.004      WRITE(6, 161) "CONDICÖES INICIAIS DAS TENSOES NAS BARRAS"
336.005      WRITE(6, 163) "QUANTIDADE DE BARRAS COM CONDICÖES INICIAIS ",

```

```

736.006      >          "NAO NULAS = "
736.007      READ(5, *) N
736.008      IF(N.EQ. 0) GO TO 333
736.009          DO 534 I = 1, N
736.01          WRITE(6, 162) "NUMERO DA BARRA = "
736.011          READ(5, *) M
736.012          WRITE(6, 162) "TENSÃO NESSA BARRA [V] = "
736.013          READ(5, *) U(M)
736.014      534      CONTINUE
736.015      333      CONTINUE
736.016          WRITE(6, 161) "CONDICOES INICIAIS DAS CORRENTES NOS RAMOS"
736.017          WRITE(6, 162) "SERAO LISTADOS TODOS OS RAMOS L, C, COLOQUE 0"
736.018          WRITE(6, 162) "(ZERO) EM CASO DE CORRENTE INICIAL NULA NO RAMO"
736.019          WRITE(6, *) " "
738.001          DO 504 I = 1, NELEM
738.002              IF(TIPO(I).NE. "IN".AND. TIPO(I).NE. "CA") GO TO 503
738.003              WRITE(6, 165) "CORRENTE INICIAL NO RAMO(", SB(I), ",",
738.004      >          EB(I), ") [A] = "
738.005              READ(5, *) CORPHLC(I)
738.006      503      CONTINUE
738.007      504      CONTINUE
738.008      165      FORMAT(IX, 14X, S, I2, S, I2, S)
738.009          WRITE(3, *) "SAIDA DA LEITURA"
738.01          RETURN
738.011          END

712      C
712.1      *CONTROL SEGMENT = SEG1
713          SUBROUTINE IMPREDADOS
714      C
715      C      DESCRICAO GERAL:
716      C          - CHAMADA PELO PROGRAMA PRINCIPAL APOS A LEITURA DO
717      C          ARQUIVO DE DADOS DE ENTRADA
718      C          - TEM COMO FUNCAO IMPRIMIR TODOS OS DADOS DE ENTRADA
719      C          REFERENTES A CONFIGURACAO DO SISTEMA
720      C
721          CHARACTER ESTINIC*7
722          CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
723          INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
724          INTEGER NRESIST, NIND, NCAPAC, NDIODO, NTIRIST, NCHAVE
725          INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
726          INTEGER ICHAVE(35), IKEY
727          INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
728          INTEGER IAUX
729          REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
729.1      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
729.2      DOUBLE PRECISION CORLIBD, CORLIBT
730          DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
731          REAL UEFC(35), FREQU(35), FIU(35)
732          REAL FCC(35), FREQC(35), FIC(35)
733          DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
733.1      DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
734          DOUBLE PRECISION VALORL, RL, DT, DTI
735      C
736      C
737          COMMON /BLOCK01/ NBARR, UEFC, FREQU, FIU
738          COMMON /BLOCK02/ NCORR, FCC, FREQC, FIC
739          COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS

```

```

740      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
741      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
742      COMMON /BLOCK06/ NRESIST, NIND, NCAPAC, NDIODO, NTIRIST, NCHAVE
743      COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPO1, TIPO
743.01   COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
743.1    COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
744      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
745      COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
745.2    COMMON /BLOCK15/ CORLIBD, CORLIBT
745.3    COMMON /BLOCK17/ FREQR, ERROCOR
746      C
747      C      IMPRESSAO DO CABECALHO
748      C
748.1    WRITE(3, *) "ENTRADA NA IMPRESSAO DE DADOS"
749      WRITE(4, 141) "ANALISE DE SISTEMAS ELETRICOS - REGIME ",
750      >      "TRANSITORIO E PERMANENTE",
751      >      "_____"
752      >      "_____"
753      141 FORMAT(4/1X, 14X, 2S/1H+, 14X, 2S)
754      WRITE(4, 1410) "NUMERO DO CASO EM ESTUDO..... CASO ", CASO,
755      >      "_____"
756      1410 FORMAT(3/1X, 14X, S, 1X, S/1H+, 14X, S)
757      WRITE(4, 1411) "I - CONFIGURACAO DO SISTEMA",
758      >      "_____"
759      1411 FORMAT(3/1X, 14X, S/1H+, 18X, S)
760      C
761      C      IMPRESSAO DOS DADOS DAS FONTES DE TENSAO , CASO EXISTAM
762      C
763      IAUX = 0
764      IF(NBARCU .EQ. 0) GO TO 13
765      IAUX = IAUX + 1
766      WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - FONTES DE TENSAO "
767      142 FORMAT(2/1X, 14X, S, 11, S)
768      WRITE(4, 143) "BARRA", "TENSAO [V]", "FREQ [Hz]",
769      >      "FASE [Grau]"
770      143 FORMAT(/1X, 4X, 4(10X, S)/)
771      DO 14 I = 1, NBARCU
772      WRITE(4, 144) NBARR(I), UEFC(I), FREQU(I), FIU(I)
773      144 FORMAT(2/103C, 15X, 13, 11X, F10.3, 12X, 14, 15X, F5.1)
774      14 CONTINUE
775      13 CONTINUE
776      C
777      C      IMPRESSAO DOS DADOS DAS FONTES DE CORRENTE, CASO EXISTAM
778      C
779      IF (NBARCOR .EQ. 0) GO TO 23
780      IAUX = IAUX + 1
781      WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - FONTES DE CORRENTE "
782      WRITE(4, 145) "BARRA", "CORRENTE [A]", "FREQ [Hz]",
783      >      "FASE [Grau]"
784      145 FORMAT(/1X, 14X, S, 2(9X, S), 10X, S/)
785      DO 24 I = 1, NBARCOR
786      WRITE(4, 144) NCORR(I), FCC(I), FREQC(I), FIC(I)
787      243 CONTINUE
788      24 CONTINUE
789      23 CONTINUE
790      C
791      C      IMPRESSAO DOS DADOS DOS RESISTORES, CASO EXISTAM

```

```

792      C
793      IF(NRESIST .EQ. 0) GO TO 33
794          IAUX = IAUX + 1
795          WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - RESISTORES"
796          WRITE(4, 146) "RAMO", "BARRA EMISSORA", "BARRA RECEPTORA",
797              > "VALOR [OHM]"
798      146      FORMAT(/1X, 8X, 4(6X, S)/)
799      DO 34 I = 1, NELEM
800          IF(TIPO(I) .NE. "RE") GO TO 343
801          WRITE(4, 147) KRAMO(I), SB(I), EB(I), VALOR(I)
802      147      FORMAT(%103C, 15X, 12, 12X, 12, 20X, 12, 12X, E11.5)
803      343      CONTINUE
804      34      CONTINUE
805      33      CONTINUE
806      C
807      C      IMPRESSAO DOS DADOS DOS INDUTORES, CASO EXISTAM
808      C
809      IF(NIND .EQ. 0) GO TO 43
810          IAUX = IAUX + 1
811          WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - INDUTORES"
812          WRITE(4, 146) "RAMO", "BARRA EMISSORA", "BARRA RECEPTORA",
813              > "VALOR [mH]"
814      DO 44 I = 1, NELEM
815          IF (TIPO(I) .NE. "IN") GO TO 443
816          WRITE(4, 147) KRAMO(I), SB(I), EB(I), VALOR(I)
817      443      CONTINUE
818      44      CONTINUE
819      43      CONTINUE
820      C
821      C      IMPRESSAO DOS DADOS DOS CAPACITORES, CASO EXISTAM
822      C
823      IF (NCAPAC .EQ. 0) GO TO 53
824          IAUX = IAUX + 1
825          WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - CAPACITORES"
826          WRITE(4, 146) "RAMO", "BARRA EMISSORA", "BARRA RECEPTORA",
827              > "VALOR [uF]"
828      DO 54 I = 1, NELEM
829          IF(TIPO(I) .NE. "CA") GO TO 543
830          WRITE(4, 147) KRAMO(I), SB(I), EB(I), VALOR(I)
831      543      CONTINUE
832      54      CONTINUE
833      53      CONTINUE
834      C
835      C      IMPRESSAO DOS DADOS DOS DIODOS, CASO EXISTAM
836      C
837      IF(NDIODO .EQ. 0) GO TO 63
838          IAUX = IAUX + 1
839          WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - DIODOS"
840          WRITE(4, 148) "NUMERO", "BARRA EMISSORA", "BARRA RECEPTORA",
841              > "ESTADO INICIAL", "ALFA [Grau]"
842      148      FORMAT(/1X, 14X, 5(1X, S)/)
843      DO 64 I = 1, NELEM
844          IF (TIPO(I) .NE. "DI") GO TO 643
845          IF(POSI(I) .EQ. 0) GO TO 6431
846          ESTINIC = "FECHADO"
847          GO TO 6433
848      6431      CONTINUE

```

```

849             ESTINIC = "ABERTO"
850 6433        CONTINUE
851             WRITE(4, 149) ICHAVE(I), SB(I), EB(I), ESTINIC, ALFA(I)
852 149         FORMAT(X103C, 16X, I2, 9X, I2, 13X, I2, 11X, S, 8X, F5.
853 643        CONTINUE
854 64         CONTINUE
855 63        CONTINUE
856 C
857 C      IMPRESSAO DOS DADOS DOS TIRISTORES, CASO EXISTAM
858 C
859      IF (NTIRIST .EQ. 0) GO TO 73
860      IAUX = IAUX + 1
861      WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - TIRISTORES"
862      WRITE(4, 148) "NUMERO", "BARRA EMISSORA", "BARRA RECEPTORA",
863 >      "ESTADO INICIAL", "ALFA [Grau]"
864      DO 74 I = 1, NELEM
865      IF (TIPO(I) .NE. "TI") GO TO 743
866      IF (POSI(I) .EQ. 0) GO TO 7431
867      ESTINIC = "FECHADO"
868      GO TO 7433
869 7431      CONTINUE
870      ESTINIC = "ABERTO"
871 7433      CONTINUE
872      WRITE(4, 149) ICHAVE(I), SB(I), EB(I), ESTINIC, ALFA(I)
873 743      CONTINUE
874 74         CONTINUE
875 73        CONTINUE
876 C
877 C      IMPRESSAO DOS DADOS DAS CHAVES, CASO EXISTAM
878 C
879      IF (NCHAVE .EQ. 0) GO TO 83
880      IAUX = IAUX + 1
881      WRITE(4, 142) "I.", IAUX, " - CHAVES"
882      WRITE(4, 1488) "NUMERO", "BARRA EMISSORA", "BARRA RECEPTORA",
883 >      "ESTADO INICIAL", "TEMPO ABERTURA [S]",
883.1 >      "TEMPO FECHAMENTO [S]"
883.2 1488  FORMAT(/1X, 14X, 6(1X, S)/)
884      DO 84 I = 1, NELEM
885      IF (TIPO(I) .NE. "CH") GO TO 843
886      IF (POSI(I) .EQ. 0) GO TO 8431
887      ESTINIC = "FECHADO"
888      GO TO 8433
889 8431      CONTINUE
890      ESTINIC = "ABERTO"
891 8433      CONTINUE
892      WRITE(4, 1499) ICHAVE(I), SB(I), EB(I), ESTINIC, TOPEN(I)
892.1 >      TCLOSE(I)
892.2 1499      FORMAT(X103C, 16X, I2, 9X, I2, 13X, I2, 11X,
892.3 >      S, 9X, E9.3, 9X, E9.3)
893 843      CONTINUE
894 84         CONTINUE
895 83        CONTINUE
895.1 C
895.2 C      IMPRESSAO DOS DADOS PARA SIMULACAO
895.3 C
895.4      IAUX = 0
895.5      WRITE(4, 1412) "II - DADOS PARA SIMULACAO",

```



```

895.6      >      " _____ "
895.61    1412 FORMAT(3/1X, 14X, S/1H+, 14X, S)
895.7      IAUX = IAUX + 1
895.8      WRITE(4, 152) "II.", IAUX, " - TEMPO DE SIMULACAO [s] = ", TMAX
895.81    152 FORMAT(2/1X, 14X, S, I1, S, E9.3)
895.9      IAUX = IAUX + 1
895.901    WRITE(4, 152) "II.", IAUX, " - INTERVALO DE INTEGRACAO [s] = ",
895.902    >DT
895.903    IF (NCHAVE .EQ. 0) GO TO 93
895.908    158 FORMAT(2/1X, 14X, S, I1, 2S, E9.3)
895.915    93 CONTINUE
895.916    IF (NDIODO .EQ. 0) GO TO 103
895.917    IAUX = IAUX + 1
895.918    WRITE(4, 158) "II.", IAUX, " - TENSÃO DIRETA MINIMA DE ",
895.919    > "CONDUCAO DOS DIODOS [V] = ", UDIODO
895.92    IAUX = IAUX + 1
895.921    WRITE(4, 158) "II.", IAUX, " - CORRENTE DE LIBERACAO ",
895.922    > "MINIMA PARA ABERTURA DOS DIODOS [A] = ", CORLIBD
895.924    103 CONTINUE
895.925    IF (NTIRIST .EQ. 0) GO TO 113
895.926    IAUX = IAUX + 1
895.927    WRITE(4, 158) "II.", IAUX, " - TENSÃO DIRETA MINIMA DE ",
895.928    > "CONDUCAO DOS TIRISTORES [V] = ", UTIRIST
895.929    IAUX = IAUX + 1
895.93    WRITE(4, 158) "II.", IAUX, " - CORRENTE DE LIBERACAO ",
895.931    > "MINIMA PARA ABERTURA DOS TIRISTORES [A] = ", CORLIBT
895.932    113 CONTINUE
895.933    IAUX = IAUX + 1
895.934    IF (IAUX .GE. 10) GO TO 511
895.935    WRITE(4, 152) "II.", IAUX, " - FREQUENCIA DA REDE [Hz] = ",
895.936    > FREQR
895.937    GO TO 513
896.1    511 CONTINUE
896.2    WRITE(4, 159) "II.", IAUX, " - FREQUENCIA DA REDE [Hz] = ",
896.3    > FREQR
896.4    513 CONTINUE
897      159 FORMAT(2/1X, 14X, S, I2, S, E9.3)
898      C
898.001    IAUX = 0
898.01    WRITE(4, 1412) "III - CONDICÖES INICIAIS",
898.02    >      " _____ "
898.04    WRITE(4, 1414)
898.05    1414 FORMAT(2/)
898.06    DO 644 I = 1, NB
898.061    IF (ABS(U(I)) .LT. 1E-30) GO TO 6443
898.062    IAUX = IAUX + 1
898.07    WRITE(4, 1415) "TENSÃO INICIAL NA BARRA NUMERO (", I,
898.071    > " ) [V] = ", U(I)
898.08    1415 FORMAT(%103C, 14X, S, I2, S, E9.3)
898.081    6443 CONTINUE
898.09    644 CONTINUE
898.091    WRITE(4, 1414)
898.1    DO 744 I = 1, NELEM
898.101    IF (TIPO(I) .NE. "IN" .AND. TIPO(I) .NE. "CA") GO TO 1843
898.102    IF (ABS(CORPHLC(I)) .LT. 1E-30) GO TO 1943
898.103    IAUX = IAUX + 1
898.11    WRITE(4, 1416) "CORRENTE INICIAL NO RAMO(", SB(I),

```

```

098.12      >          ",", EB(I), ") [A] = ", CORPHLC(I)
098.121    1416          FORMAT(X103C, 14X, S, I2, S, I2, S, E9.3)
098.122    1943          CONTINUE
098.123    1843          CONTINUE
098.13      744 CONTINUE
098.131          IF(IAUX .GT. 0) GO TO 2013
098.132          WRITE(4, 1417) "TODAS AS CONDICAOES INICIAIS SAO NULAS"
098.133    1417          FORMAT(1X, 14X, S)
098.134    2013 CONTINUE
098.135          WRITE(3, *) "SAIDA DA IMPREDADOS"
098.14          RETURN
098.15          END
099          C
900          *CONTROL SEGMENT = SEG1
1009          SUBROUTINE MONTAYAAI
1010          C
1011          C      DESCRICAO GERAL:
1012          C          - CHAMADA PELO PROGRAMA PRINCIPAL
1013          C          - TEM COMO FUNCAO MONTAR A MATRIZ YAAI, ESSA MATRIZ
1014          C          E' MONTADA PARA A CONDICAO DE TODAS AS CHAVES A-
1015          C          BERTAS,
1016          C          - CHAMA A SUBROTINA IMPREYAAI PARA IMPRIMIR A MATRIZ
1017          C          MONTADA (YAAI)
1018          C          - RETORNA AO PROGRAMA PRINCIPAL APOS A IMPRESSAO DA
1019          C          MATRIZ
1020          C
1021          CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
1022          INTEGER I, L, M
1023          INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1024          INTEGER NBARR(35), NCCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1025          INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1026          DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
1027          DOUBLE PRECISION RAUX, DT, DTI
1028          DOUBLE PRECISION YAAI(35,36), YA(35,36), YB(35,36), YI(35,36)
1029          COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1030          COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1030.1        COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1031          COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPOL, TIPO
1032          COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1033          C
1034          C      MONTAGEM DA MATRIZ YAAI
1035          C
1035.1        WRITE(3, *) "ENTRADA DA MONTAYAAI"
1036          DO 15 I = 1, NELEM
1037              IF (TIPO(I) .EQ. "DI" .OR.
1038                  >      TIPO(I) .EQ. "TI" .OR.
1039                  >      TIPO(I) .EQ. "CH" ) GO TO 13
1040              RAUX = 1.0/R(I)
1041              L = SB(I)
1042              M = EB(I)
1043              YAAI(L, L) = YAAI(L, L) - RAUX
1044              YAAI(M, M) = YAAI(M, M) - RAUX
1045              YAAI(L, M) = YAAI(L, M) + RAUX
1046              YAAI(M, L) = YAAI(M, L) + RAUX
1047          13      CONTINUE
1048          15 CONTINUE
1048.001      K = NB-NBARCU

```

```

1048.01      DO 14 I = 1, K
1048.02      DO 144 J = 1, K
1048.03      YA(I, J) = YAAI(I, J)
1048.04      144      CONTINUE
1048.05      14      CONTINUE
1048.06      C
1048.07      DO 64 J = K+1, NB
1048.08      DO 644 I = 1, K
1048.09      YB(I, J-K) = YAAI(I, J)
1048.1      644      CONTINUE
1048.11      64      CONTINUE
1049      C
1050      C      CHAMADA DA SUBROTINA IMPREYAAI PARA IMPRESSAO DE YAAI
1051      C
1052      CALL IMPREYAAI
1053      C
1054      RETURN
1055      END
1056      C
1057      C
1057.1      *CONTROL SEGMENT = SEG1
1058      SUBROUTINE IMPREYAAI
1059      C
1060      C      DESCRICAO GERAL:
1061      C      - CHAMADA PELA SUBROTINA MONTAYAAI
1062      C      - TEM COMO FUNCAO IMPRIMIR A MATRIZ YAAI
1063      C
1064      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1065      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1066      DOUBLE PRECISION YAAI(35,36),YA(35,36),YB(35,36),YI(35,36)
1067      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1068      COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1069      C
1070      C      IMPRESSAO DA MATRIZ YAAI
1071      C
1072      WRITE(3, 141) "III - MATRIZ PARA A CONDICAO DE TODAS",
1073      >      " AS CHAVES ABERTAS - YAAI",
1074      >      " _____",
1075      >      " _____"
1076      141  FORMAT(3/1X, 14X, 2S/1H+, 14X, 2S/)
1077      DO 14 I = 1, NB
1078      WRITE(3, 142) <("< ", I, ", ", " ", J, " )=< ", YAAI(I, J), J=1, NB)
1079      142  FORMAT(2I03C, 20X, S, I2, S, I2, S, E10.4, 1X,
1080      >      S, I2, S, I2, S, E10.4, 1X,
1081      >      S, I2, S, I2, S, E10.4, 1X)
1082      WRITE(3, 143)
1083      143  FORMAT(/)
1084      14  CONTINUE
1084.1      WRITE(3, *) "SAIDA DA MONTAYAAI"
1085      RETURN
1086      END
1087      C
1088      C
1088.1      *CONTROL SEGMENT = SEG1
1089      SUBROUTINE PASTHIST
1090      C
1091      C      DESCRICAO GERAL:

```

```

1092 C - CHAMADA DO PROGRAMA PRINCIPAL DURANTE A MONTAGEM DO
1093 C VETOR DA HISTORIA PASSADA
1094 C - TEM COMO FUNCAO FAZER A MONTAGEM DAS FONTES DE COR-
1095 C RENTE EM CADA INSTANTE PARA OS RAMOS L, C
1096 C
1097 CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
1098 INTEGER L, M
1099 INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1100 INTEGER NBARR(35), NCCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1101 INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1101.1 REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1102 DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35), DT, DTI
1103 REAL CORPHL, CORPHC
1104 DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1105 COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1106 COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1107 COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPOL, TIPO
1108 COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1108.1 COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1108.2 COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1109 C
1110 C
1110.01 WRITE(3, *) "ENTRADA DA PASTHIST"
1111 DO 14 I = 1, NELEM
1112 IF(TIPO(I) .NE. "CA") GO TO 13
1113 C CASO CAPACITIVO - HISTORIA PASSADA
1114 L = SB(I)
1115 M = EB(I)
1116 CORPHC = (U(L) - U(M)) / R(I)
1116.1 IF(FLAG .EQ. 0) GO TO 15
1116.2 C1 CORPHLC(I) = CORPHLC(I) + CORPHC
1116.4 C1 WRITE(3, *) "EM 1116.4 T = ", T, "I = ", I,
1116.5 C1 > "CORPHLC(I) = ", CORPHLC(I), "CORPHC = ", CORPHC, "SB(I) = ",
1116.6 C1 > SB(I), "EB(I) = ", EB(I), "U(SB(I)) = ", U(SB(I)),
1116.7 C1 > "U(EB(I)) = ", U(EB(I))
1116.71 GO TO 13
1116.8 15 CONTINUE
1117 CORPHLC(I) = -CORPHLC(I) - CORPHC*2D0
1118 IF(T .GT. 0D0) GO TO 13
1119 CORPHLC(I) = CORPHLC(I) + CORPHC*2D0
1123 13 CONTINUE
1124 IF(TIPO(I) .NE. "IN") GO TO 23
1125 C CASO INDUTIVO - HISTORIA PASSADA
1126 L = SB(I)
1127 M = EB(I)
1128 CORPHL = (U(L) - U(M)) / R(I)
1128.1 IF(FLAG .EQ. 0) GO TO 16
1128.2 CORPHLC(I) = CORPHLC(I) + CORPHL
1128.4 WRITE(3, *) "EM 1128.1 T = ", T, "I = ", I, "CORPHLC(I) =
1128.5 > CORPHLC(I), "CORPHL = ", CORPHL, "SB(I) = ", SB(I),
1128.6 > "EB(I) = ", EB(I), "U(SB(I)) = ", U(SB(I)), "U(EB(I)) = ",
1128.7 > U(EB(I))
1128.71 GO TO 23
1128.8 16 CONTINUE
1129 CORPHLC(I) = CORPHLC(I) + CORPHL*2D0
1130 IF(T .GT. 0D0) GO TO 23
1131 CORPHLC(I) = CORPHLC(I) - CORPHL*2D0

```

```

1135      23      CONTINUE
1136      14      CONTINUE
1137      FLAG = 0
1138      DO 644 I = 1, NELEM
1138.01      WRITE(3, *) "EM 1138.01 I = 1", I, "SB(I) = ", SB(I),
1138.02      > "EB(I) = ", EB(I), "CORPHLC(I) = ", CORPHLC(I)
1138.03      644      CONTINUE
1138.1      DO 200 I = 1, NB+1
1138.11      CORPH(I) = 0D0
1138.12      200      CONTINUE
1138.13      DO 201 I = 1, NELEM
1138.14      IF(TIPO(I) .NE. "IN" .AND. TIPO(I) .NE. "CA") GO TO 210
1138.15      L = SB(I)
1138.16      M = EB(I)
1138.17      IF(TIPO(I) .NE. "IN") GO TO 220
1138.18      CORPH(L) = CORPHLC(I) + CORPH(L)
1138.19      CORPH(M) = -CORPHLC(I) + CORPH(M)
1138.2      GO TO 230
1138.21      220      CONTINUE
1138.22      IF(TIPO(I) .EQ. "CA") GO TO 240
1138.23      WRITE(3, *) "ERRO EM 1136.095, TIPO(I) = ", TIPO(I)
1138.24      240      CONTINUE
1138.25      CORPH(L) = CORPHLC(I) + CORPH(L)
1138.26      CORPH(M) = -CORPHLC(I) + CORPH(M)
1138.27      230      CONTINUE
1138.28      210      CONTINUE
1138.29      201      CONTINUE
1138.3      DO 164 I = 1, NB
1138.301      WRITE(3, *) "EM 1138.301 CORPH(", I, ")=", CORPH(I),
1138.302      > "COR(", I, ")=", COR(I)
1138.303      164      CONTINUE
1138.304      DO 544 I = 1, NELEM
1138.305      WRITE(3, *) "EM 1138.305 I = ", I, "SB(I) = ", SB(I),
1138.306      > "EB(I) = ", EB(I), "CORPHLC(I) = ", CORPHLC(I)
1138.307      544      CONTINUE
1138.308      WRITE(3, *) "SAIDA DA PASTHIST"
1138.309      RETURN
1138.31      END

1139      C
1140      C
1141      SUBROUTINE CONDIF
1142      C
1143      C      DESCRICAO GERAL:
1144      C      - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR A CONDICAO DE FECHA-
1145      C      MENTO DE DIODOS, TIRISTORES OU CHAVES. CASO AS
1146      C      SEJAM OBEDECIDAS AS CONDICOES O FECHAMENTO E'
1147      C      REALIZADA CHAMANDO A SUBROTINA ADEQUADA PARA
1148      C      CADA CASO, OU SEJA:
1149      C      SE FOR UM DIODO, A SUBROTINA CONDIFDIODO E'
1150      C      CHAMADA
1151      C      SE FOR UM TIRISTOR, A SUBROTINA CONDIFTIRISTOR
1152      C      E' CHAMADA.
1153      C      SE FOR UMA CHAVE, A SUBROTINA CONDIFCHAVE E'
1154      C      CHAMADA.
1155      C
1156      CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
1157      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG

```

```

1158      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1159      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1159.1    INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1159.1.1  INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1159.2    REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1159.3    REAL UEFC(35), FREQU(35), FIU(35)
1159.4    REAL FCC(35), FREQC(35), FIC(35)
1159.5    DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35), DT, DTI
1160      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1161      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1162      COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPO1, TIPO
1163      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1164      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
1164.1    COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1164.2    COMMON /BLOCK01/ NBARR, UEFC, FREQU, FIU
1164.3    COMMON /BLOCK02/ NCORR, FCC, FREQC, FIC
1164.4    COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1165      C
1166      C
1166.01    WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDIF"
1166.1    WRITE(3, *) "EM 1166.1 OPEN=", OPEN, "CLOSE=", CLOSE, "T=", T
1166.2    WRITE(3, *) "POSI(I) = ", (POSI(I), I = 1, NELEM)
1167      IF (T .LE. 0.0) GO TO 11
1168          CLOSE = 0
1169          DO 14 I = 1, NELEM
1169.1      WRITE(3, *) "EM 1169.1 I = ", I, "POSI(I) = ", POSI(I),
1169.2      >      "SB(I) = ", SB(I), "EB(I) = ", EB(I), "OPEN=",
1169.3      >      OPEN, "CLOSE=", CLOSE
1169.4      IF(POSI(I) .EQ. 1 .OR. POSITO(I) .EQ. 1) GO TO 23
1170          IF(TIPO(I) .EQ. "DI") CALL CONDIFDIODO(I)
1171          IF(TIPO(I) .EQ. "TI") CALL CONDIFTIRISTOR(I)
1172          IF(TIPO(I) .EQ. "CH") CALL CONDIFCHAVE(I)
1172.1    23      CONTINUE
1173    14      CONTINUE
1174          IF(CLOSE .EQ. 0) CLOSE = 2
1175          GO TO 13
1176    11      CONTINUE
1177.1    WRITE(3, *) "EM 1177.1(CONDIF), CHAMAREI EXCHAVE"
1178          CALL EXCHAVE
1178.1    WRITE(3, *) "EM 1178.1(CONDIF), RETORNEI DE EXCHAVE"
1179    13      CONTINUE
1179.1    WRITE(3, *) "PASSEI POR 1179 EM T = ", T
1179.2    WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIF"
1180      RETURN
1181      END
1182      C
1183      C
1184      SUBROUTINE CONDIFDIODO(I)
1185      C
1186      C      DESCRICAO GERAL:
1187      C      - CHAMADA PELA SUBROTINA CONDIF
1188      C      - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR AS CONDICAOES PARA
1189      C      FECHAMENTO DE DIODO, CASO SEJAM OBEDECIDAS,
1190      C      ESSAS CONDICAOES, O FECHAMENTO E' FEITO CHA-
1191      C      MANDO A SUBROTINA EXCHAVE
1192      C
1193      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO

```

```

1194      INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1195      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1196      INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1197      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1198      DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
1199      DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1200      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1200.1    DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35), DT, DTI
1201      COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1202      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1203      COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1204      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1205      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
1206      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1207      COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
1208      COMMON /BLOCK17/ FREQR, ERROCOR
1209      C
1210      C
1210.1    WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDIFDIODO"
1211      TETA = 360.0*FREQR*T
1211.1    IF(ALFA(I) .LE. 0.0) GO TO 33
1212      IF(TETA .LT. ALFA(I) .OR. TETA .GT. ALFA(I)+DALFADI) GO TO 13
1212.1    WRITE(3, *) "EM 1212.1 I = ", I, "ALFA(I)=", ALFA(I),
1212.2    >      "TETA = ", TETA
1213      33    DU = U(SB(I)) - U(EB(I))
1213.1    WRITE(3, *) "EM 1213.1 I=", I, "SB(I)=", SB(I), "EB(I)=", EB(I),
1213.2    >      "U(SB(I))=", U(SB(I)), "U(EB(I))=", U(EB(I)),
1213.3    >      "DU = ", DU
1214      IF(DU .LT. UDIODO) GO TO 23
1215      CLOSE = 1
1216      CONDICAO = 1
1217      CALL EXCHAVE
1221      POSI(I) = 1
1222      23    CONTINUE
1223      13    CONTINUE
1223.1    WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIFDIODO"
1224      RETURN
1225      END
1226      C
1227      C
1228      SUBROUTINE CONDIFTIRISTOR(I)
1229      C
1230      C      DESCRICAO GERAL:
1231      C      - CHAMADA DA SUBROTINA CONDIF
1232      C      - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR AS CONDICAOES DE OPERACAO
1233      C      DE TIRISTORES, CASO ESSAS CONDICAOES SEJAM SATISFEI-
1234      C      TAS, OCORRE O "FECHAMENTO" DO TIRISTOR CHAMANDO A
1235      C      SUBROTINA EXCHAVE
1236      C
1237      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1238      INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1239      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1240      INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1241      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1242      DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
1243      DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1243.1    DOUBLE PRECISION DT, DTI

```

```

1244 COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1245 REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1245.1 DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
1246 COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1247 COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1248 COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1249 COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
1250 COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1251 COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
1252 COMMON /BLOCK17/ FREQR, ERROCOR
1253 C
1254 C
1254.1 WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDFTIRISTOR"
1255 TETA = 360.0*FREQR*T
1255.1 C
1255.2 C EM 25/04 NA LINHA 1256 RETIROU-SE 30.0 E PASSOU PASSOU PARA
1255.3 C 8.0 VISANDO DIMINUIR O TEMPO QUE O TIRISTOR RECEBE O PULSO.
1255.4 C
1256 IF(TETA .LT. ALFA(I) .OR. TETA .GT. ALFA(I)+8.0) GO TO 13
1257 DU = U(SB(I)) - U(EB(I))
1258 IF(DU .LT. UTIRIST) GO TO 23
1259 CLOSE = 1
1260 CONDICAO = 1
1261 CALL EXCHAVE
1262 WRITE(3, 141) "TEMPO DECORRIDO =", T,
1263 > "OCORREU FECHAMENTO DO TIRISTOR NUMERO", ICHAVE(I)
1264 141 FORMAT(3/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, I2)
1265 POSI(I) = 1
1266 23 CONTINUE
1267 13 CONTINUE
1267.1 WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIFTIRISTOR"
1268 RETURN
1269 END
1270 C
1271 C
1272 SUBROUTINE CONDIFCHAVE(I)
1273 C
1274 C DESCRICAO GERAL:
1275 C - CHAMADA PELA SUBROTINA CONDIF
1276 C - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR AS CONDICAOES DE FECHAMENTO
1277 C DE CHAVES. CASO ESSAS CONDICAOES SEJAM SATISFEITAS, O
1278 C FECHAMENTO E' FEITO ATRAVES DA CHAMADA DA SUBROTINA
1279 C EXCHAVE
1280 C
1281 INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1282 INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1283 INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1284 INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1285 REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1286 DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
1287 DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1287.1 DOUBLE PRECISION DT, DTI
1288 REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1289 COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1290 COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1291 COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1292 COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY

```



```

1293      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
1294      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1295      COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
1296      C
1297      C
1297.1      WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDIFCHAVE T = ", T, "IKEY = ", IKEY
1297.2      IF(IKEY.EQ. 2) GO TO 13
1298      IF(T.LT. TCLOSE(I).OR. T.GE. TOPEN(I)) GO TO 13
1299          CLOSE = 1
1300          CONDICAO = I
1301          CALL EXCHAVE
1301.1      IKEY = 2
1302          WRITE(3, 141) "TEMPO DECORRIDO =", T,
1303      >      "OCORREU FECHAMENTO DA CHAVE NUMERO ", ICHAVE(I)
1304      141      FORMAT(3/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, I2)
1305          POSI(I) = 1
1306      13 CONTINUE
1306.1      WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIFCHAVE"
1307      RETURN
1308      END
1309      C
1310      C
1311      SUBROUTINE CONDIA
1312      C
1313      DESCRICAO GERAL:
1314      - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR AS CONDICAOES DE ABER-
1315      TURA DE CHAVES, DIODOS E TIRISTORES
1316      C
1316.1      C
1316.2      C      POSITC(I) = 1 DEFINE SE O SEMICONDUTOR NO INSTANTE T
1316.3      C      ACABOU DE FECHAR. DA MESMA FORMA POSITO(I) = 1 DEFINE
1316.4      C      SE O SEMICONDUTOR NO INSTANTE T ACABOU DE ABRIR
1316.5      C15
1316.6      C15
1316.7      C15      EM 07/04/86 ALTERADO O JRCYST3 COM AS VARIAVEIS BLOQ(I)
1316.8      C15      E TETABLO.
1316.9      C15      BLOQ(I) REPRESENTA O ANGULO MINIMO DE BLOQUEIO DO SEMI-
1316.91      C15      CONDUTOR. SE BLOQ(I) = 0 O PROGRAMA IGNORA A VARIABEL
1316.92      C15      BLOQ(I).
1316.93      C15      TETABLO EH UMA VARIABEL QUE EXECUTA EM CADA INSTANTE O
1316.94      C15      CALCULO DO ANGULO CORRESPONDENTE AO TEMPO T
1316.95      C15
1316.96      C15
1317      CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
1318      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1319      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1319.1      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1320      INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1320.1      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1321      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1322      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1323      COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPOL, TIPO
1324      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1325      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
1326      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1326.1      COMMON /BLOCK17/ FREQR, ERROCOR
1327      C

```

```

1328      C
1328.01  WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDIA"
1328.1   WRITE(3, *) "EM 1328.1 OPEN=", OPEN, "CLOSE=", CLOSE
1329     IF(T.GT. 0.0) GO TO 11
1329.01  WRITE(3, *) "EM 1329.01 OPEN=", OPEN, "CLOSE=", CLOSE
1329.02  IF(OPEN.NE. 1) GO TO 111
1329.03  WRITE(3, 141) "EM 1329.03 PRIMEIRA OPERACAO SERA' ",
1329.04      > "ABERTURA DE CHAVE"
1329.05      141  FORMAT(3/1X, 14X, 2S)
1329.07  GO TO 133
1329.08      111  CONTINUE
1329.09  IF(CLOSE.NE. 1) GO TO 1333
1329.1   WRITE(3, 141) "EM 1329.1 PRIMEIRA OPERACAO SERA'",
1329.11      > " FECHAMENTO DE CHAVE"
1329.111  RETURN
1329.12      1333  CONTINUE
1329.13      133  CONTINUE
1329.14      11  CONTINUE
1730     OPEN = 0
1730.1    C15
1730.2    TETABLO = 360.0*FREQR*T
1730.3    C15
1731     DO 14 I = 1, NELEM
1731.01    C15
1731.02    C15
1731.03    IF(BLOQ(I) .LE. 0.0) GO TO 30
1731.04    IF(TETABLO .LT. BLOQ(I)+ALFA(I)) GO TO 14
1731.05      30  CONTINUE
1731.06    C15
1731.1    IF(POSITC(I) .EQ. 1) GO TO 14
1732     IF(TIPO(I).EQ."DI".AND.POSI(I).EQ.1) CALL CONDIADIODO(I)
1733     IF(TIPO(I).EQ."TI".AND.POSI(I).EQ.1) CALL CONDIATIRISTOR(I)
1734     IF(TIPO(I).EQ."CH".AND.POSI(I).EQ.1) CALL CONDIACHAVE(I)
1735      14  CONTINUE
1735.1    WRITE(3, *) "EM 1335.1 OPEN=", OPEN, "CLOSE=", CLOSE, "T = ", T
1736     IF(OPEN .EQ. 0) OPEN = 2
1750      13  CONTINUE
1750.1    WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIA"
1751     RETURN
1752     END
1753      C
1754      C
1755     SUBROUTINE CONDIADIODO(I)
1756      C
1757      C  DESCRICAO GERAL:
1758      C    - CHAMADA PELA SUBROTINA CONDIA
1759      C    - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR SE A CONDICAO DE CORRENTE
1760      C      PARA ABERTURA DO DIODO FOI ATINGIDA, EM CASO POSITI-
1761      C      VO A SUBROTINA EXCHAVE E' CHAMADA PARA PROCEDER A
1762      C      ABERTURA DO DIODO.
1763      C
1764     INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1765     INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1765.1    INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1765.11   INTEGER NBARR(35), NCCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1765.2    INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1766     REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY

```

```

1367      DOUBLE PRECISION CORLIBD, CORLIBT
1368      DOUBLE PRECISION CORRENTE, DT, DTI
1369      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1369.1    REAL UEFC(35), FREQU(35), FIU(35)
1369.11   REAL FCC(35), FREQC(35), FIC(35)
1369.2    DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
1369.3    DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1370      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1371      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICA0
1372      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1373      COMMON /BLOCK15/ CORLIBD, CORLIBT
1374      COMMON /BLOCK16/ CORRENTE, IESCORR
1374.1    COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAM0, NELEM
1374.2    COMMON /BLOCK01/ NBARR, UEFC, FREQU, FIU
1374.21   COMMON /BLOCK02/ NCORR, FCC, FREQC, FIC
1374.3    COMMON /BLOCK03/ KRAM0, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1374.4    COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1375      C
1376      C
1376.01   WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDIADIODO"
1376.1    WRITE(3, *) "EM 1376.1 CONDIADIODO I = ", I, "POSI(I)=", POSI(I),
1376.11   > "SB(I) = ", SB(I), "EB(I) = ", EB(I)
1376.2    WRITE(3, *) "EM 1376.2 COR(SB(I))=", COR(SB(I)), "COR(EB(I))=",
1376.3    > COR(EB(I))
1377      CONDICA0 = I
1377.1    CORRENTE = 0.0
1377.2    CALL CORCALC
1377.3    WRITE(3, *) "EM 1377.3 CORRENTE = ", CORRENTE, "CONDICA0 = ",
1377.4    > CONDICA0
1378      IF (CORRENTE .GT. CORLIBD) GO TO 13
1379      OPEN = 1
1380      CALL EXCHAVE
1380.1    C13
1380.2    C13      ACRESCENTADO EM 01/04/86 ENTRE C13
1380.3    C13
1380.4      IF(POSITO(I) .EQ. 1) GO TO 130
1380.5      OPEN = 0
1380.6      POSI(I) = 1
1380.7      WRITE(3,*) "EM 1380.7 OPEN = ", OPEN, "POSI(I) = ",
1380.8    > POSI(I), "I = ", I
1380.9      GO TO 131
1380.901 C13
1380.91   130      CONTINUE
1381      WRITE(3, *) "EM 1381 TEMPO DECORRIDO = ", T,
1382    > "OCORREU ABERTURA DO DIODO NUMERO", ICHAVE(I),
1382.1    > "SB(I) = ", SB(I), "EB(I) = ", EB(I)
1383      141      FORMAT(3/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, I2)
1384      POSI(I) = 0
1384.01   131      CONTINUE
1385      13      CONTINUE
1385.1    WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIADIODO"
1386      RETURN
1387      END
1388      C
1389      C
1390      SUBROUTINE CONDIATIRISTOR(I)
1391      C

```

```

1392      C      DESCRICAO GERAL:
1393      C      - CHAMADA DA SUBROTINA CONDIA
1394      C      - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR SE E' POSSIVEL ABRIR
1395      C      O TIRISTOR COM A ATUAL CORRENTE QUE CIRCU LA POR
1396      C      ELE. CASO POSITIVO, A ABERTURA DO TIRISTOR E'
1397      C      FEITA CHAMANDO A SUBROTINA EXCHAVE
1398      C
1399      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICA0
1399.1      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1399.2      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1400      INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1400.1      INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1400.2      DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
1401      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1402      DOUBLE PRECISION CORLIBD, CORLIBT
1403      DOUBLE PRECISION CORRENTE, DT, DTI
1404      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1404.01      COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1404.1      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1405      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1406      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICA0
1407      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1408      COMMON /BLOCK15/ CORLIBD, CORLIBT
1409      COMMON /BLOCK16/ CORRENTE, IESCORR
1410      C
1411      C
1411.1      WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDIATIRISTOR"
1412      CONDICA0 = I
1412.1      CORRENTE = 0.0
1413      CALL CORCALC
1414      IF (CORRENTE .GT. CORLIBT) GO TO 13
1415      OPEN = 1
1416      CALL EXCHAVE
1416.1      C13
1416.11      C13      ACRESCENTADO EM 01/04/86 ENTRE C13
1416.12      C13
1416.13      IF(POSITO(I) .EQ. 1) GO TO 130
1416.14      OPEN = 0
1416.15      POSI(I) = 1
1416.16      WRITE(3,*) "EM 1416.16 OPEN = ", OPEN, "POSI(I) = ",
1416.17      >      POSI(I), "I = ", I
1416.18      GO TO 131
1416.181      C13
1416.19      130      CONTINUE
1417      WRITE(3, *) "TEMPO DECORRIDO = ", T,
1418      >      "[s]. OCORREU ABERTURA DO TIRISTOR NUMERO", ICHAVE(I),
1418.1      >      "SB(I) = ", SB(I), "EB(I) = ", EB(I)
1419      141      FORMAT(3/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, I2)
1420      POSI(I) = 0
1420.1      131      CONTINUE
1421      13      CONTINUE
1421.1      WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIATIRISTOR"
1422      RETURN
1423      END
1424      C
1425      C
1426      SUBROUTINE CONDIACHAVE(I)

```

```

1427 C
1428 C      DESCRICAO GERAL:
1429 C      - CHAMADA PELA SUBROTINA CONDIA
1430 C      - TEM COMO FUNCAO VERIFICAR SE O TEMPO DE ABERTURA DA
1431 C      CHAVE FOI ATINGIDO. EM CASO POSITIVO, A CHAVE E' A-
1432 C      BERTA ATRAVES DA CHAMADA DA SUBROTINA EXCHAVE
1433 C
1434 C      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICA0
1434.1 C      INTEGER NB, NCH, NRAM0, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1435 C      INTEGER POSI(35), POSIT0(35), POSITC(35)
1435.1 C      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1435.2 C      INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAM0(35), SB(35), EB(35)
1436 C      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1437 C      DOUBLE PRECISION CORLIBD, CORLIBT
1438 C      DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
1439 C      DOUBLE PRECISION CORRENTE, CORT, CORANT
1439.1 C      DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35), DT, DTI
1440 C      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1440.01 C      DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1440.02 C      DOUBLE PRECISION RBULK, RCOND
1440.1 C      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAM0, NELEM
1441 C      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1442 C      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICA0
1443 C      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSIT0, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1444 C      COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
1445 C      COMMON /BLOCK15/ CORLIBD, CORLIBT
1446 C      COMMON /BLOCK16/ CORRENTE, IESCORR
1446.1 C      COMMON /BLOCK17/ FREQR, ERROCOR
1446.2 C      COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1446.3 C      COMMON /BLOCK18/ RBULK, RCOND
1446.4 C      COMMON /BLOCK03/ KRAM0, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1447 C
1448 C
1448.1 C      WRITE(3, *) "ENTRADA DA CONDIACHAVE"
1449 C      CONDICA0 = I
1450 C      IF<T.LT. TOPEN(I)> GO TO 13
1450.1 C      CORRENTE = 0.0
1451 C      CALL CORCALC
1452 C      I1 = CONDICA0
1452.01 C
1452.02 C      CALCULO DA CORRENTE NO STEP ANTERIOR
1452.03 C
1452.04 C      CORANT = (UANT(SB(I1)) - UANT(EB(I1)))/RCOND
1452.05 C      CORT = (U(SB(I1)) - U(EB(I1)))/RCOND
1452.06 C      WRITE(3, *) "EM 1540.1 I1 = ", I1, "SB(I1) = ", SB(I1),
1452.07 C      > "EB(I1) = ", EB(I1), "R(I1) = ", R(I1), "CORANT = ",
1452.08 C      > CORANT, "CORT = ", CORT, "UANT(SB(I1)) = ", UANT(SB(I1)),
1452.09 C      > "UANT(EB(I1)) = ", UANT(EB(I1)), "U(SB(I1)) = ", U(SB(I1)),
1452.1 C      > "U(EB(I1)) = ", U(EB(I1))
1452.11 C
1452.12 C      CORRENTE DIMINUINDO
1452.13 C
1452.131 C      A = 0.0
1452.132 C      B = 0.0
1452.133 C      IF<CORANT.LT. 0D0> A = -1.0
1452.134 C      IF<CORANT.GT. 0D0> A = 1.0
1452.135 C      IF<CORT.LT. 0D0> B = -1.0

```

```

1452.136 IF(CORT .GT. 0D0) B = 1.0
1452.14 IF(CORT*CORANT .GT. 0D0) GO TO 13
1452.141 IF(A*B .LT. 0D0) GO TO 20
1452.15 IF(ABS(ABS(CORRENTE)-ABS(ERROCOR)) .GT. 1E-05) GO TO 13
1452.16 IF(CORANT .NE. 0D0 .AND. CORT .EQ. 0D0) GO TO 20
1452.17 WRITE(3, *) "ERRO EM 1452.17. VERIFICAR QUE MANDOU",
1452.18 > "ABRIR CHAVE EM T = ", T, "POREM AS CORRENTES NAO ATENDERA
1452.19 > AS CONDICOOES DE ABERTURA", "CORANT = ", CORANT, "CORT = ",
1452.2 > CORT
1452.3 20 CONTINUE
1453 OPEN = 1
1454 CALL EXCHAVE
1454.1 C13
1454.11 C13 ACRESCENTADO EM 01/04/86
1454.12 C13
1454.13 IF(POSITO(I) .EQ. 1) GO TO 130
1454.14 OPEN = 0
1454.15 POSI(I) = 1
1454.16 WRITE(3,*) "EM 1454.16 OPEN = ", OPEN, "POSI(I) = ",
1454.17 > POSI(I), "I = ", I
1454.18 GO TO 131
1454.19 130 CONTINUE
1455 WRITE(3, *) "TEMPO DECORRIDO = ", T,
1456 > "[=], OCORREU ABERTURA DA CHAVE NUMERO", ICHAVE(I),
1456.1 > "SB(I) = ", SB(I), "EB(I) = ", EB(I)
1457 141 FORMAT(3/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, 12)
1458.1 POSI(I) = 0
1458.2 131 CONTINUE
1459 13 CONTINUE
1459.1 WRITE(3, *) "SAIDA DA CONDIACHAVE"
1460 RETURN
1461 END
1462 C
1463 C
1464 SUBROUTINE EXCHAVE
1465 C
1466 DESCRICAO GERAL:
1467 C - TEM COMO FUNCAO DESCOBRIR QUAIS CHAVES FECHADAS DEVEM
1468 C SER ABERTAS, OU QUAIS CHAVES ABERTAS DEVEM SER FECHA-
1469 C DAS.
1470 C - NA PRIMEIRA VEZ QUE ESTA ROTINA E' CHAMADA, O VETOR
1471 C POSI E' O MESMO DA EENTRADA DE DADOS.
1472 C - NO INICIO DA EXECUCAO DO PROGRAMA, SE OPENCLOS
1473 C FOR IGUAL A ZERO TEREMOS UMA CHAVEAMENTO DE ABERTURA,
1473.1 C SE OPENCLOS FOR IGUAL A UM TEREMOS UM CHAVEAMENTO EDE
1473.2 C FECHAMENTO
1474 C SE DURANTE O PROCESSAMENTO OPENCLOS PERMANECER EM ZE-
1475 C RO, DEVE OCORRER UM CHAVEAMENTO DE ABERTURA E SE OPEN-
1476 C CLOS MUDAR PARA 1 (UM), DEVE OCORRER UMA OPERACAO DE
1477 C CHAVEAMENTO, FINALMENTE, SE OPENCLOS MUDAR PARA 2 (DO-
1478 C IS), NAO DEVERA' OCORRER NENHUM TIPO DE CHAVEAMENTO.
1479 C
1479.1 CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
1480 INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1481 INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1482 INTEGER NBARR(35), NCCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1483 INTEGER ICHAVE(35), IKEY

```

```

1484      INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1485      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1486      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1486.1    DOUBLE PRECISION YAAI(35,36),YA(35,36),YB(35,36),YI(35,36)
1486.2    DOUBLE PRECISION TOPEN(35), TCLOSE(35), UDIODO, UTIRIST
1487      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1487.1    COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPOI, TIPO
1488      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1489      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
1490      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1490.1    COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1490.2    COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1490.3    COMMON /BLOCK14/ TOPEN, TCLOSE, UDIODO, UTIRIST, IKEY
1491      C
1492      C
1492.1    WRITE(3, *) "ENTRADA DA EXCHAVE"
1493      IF(OPEN.EQ. 2 .AND. CLOSE.EQ. 2) RETURN
1493.001    IF(T.GT. 0.0) GO TO 11
1493.01      K = NB-NBARCU
1495      DO 94 I = 1, NELEM
1495.1        IF(TIPO(I).NE. "DI".AND.
1495.2          >      TIPO(I).NE. "TI".AND.
1495.3          >      TIPO(I).NE. "CH"          ) GO TO 1333
1495.4        IF(T.LE. 0.0 .AND. TIPO(I).EQ. "CH") IKEY = 1
1496        IF(POSI(I).EQ. 0) GO TO 133
1496.1        IF(CLOSE.NE. 1) GO TO 133
1497        CONDICAO = I
1498        CALL FECHA
1499        133      CONTINUE
1499.1      1333    CONTINUE
1500        94      CONTINUE
1500.1    DO 100 I = 1, NELEM
1500.2      IF(TIPO(I).NE. "DI".AND.
1500.3        >      TIPO(I).NE. "TI".AND.
1500.4        >      TIPO(I).NE. "CH"          ) GO TO 101
1500.5      IF(POSI(I).EQ. 1) GO TO 102
1500.6      IF(OPEN.NE. 1) GO TO 103
1500.7      CONDICAO = I
1500.8      CALL ABRE
1500.9      103    CONTINUE
1500.91     102    CONTINUE
1500.92     101    CONTINUE
1500.93     100    CONTINUE
1501      GO TO 13
1502      11      CONTINUE
1502.01    C
1502.02    C      OBS: EM CONDICAO NORMAL A ROTINA EXCHAVE
1502.03    C      TEM 3 INSTRUcoes !!!
1502.04    C
1502.1      I = CONDICAO
1502.2      WRITE(3, *) "EM 1502.2 I = ", I, "POSI(I) = ", POSI(I),
1502.3      >      "CONDICAO = ", CONDICAO
1503      IF(POSI(I).EQ. 1 .AND. OPEN.EQ. 1) CALL ABRE
1504      IF(POSI(I).EQ. 0 .AND. CLOSE.EQ. 1) CALL FECHA
1505      13 CONTINUE
1505.1    WRITE(3, *) "SAIDA DA EXCHAVE"
1506      RETURN

```

```

1507      END
1508      C
1509      C
1510      SUBROUTINE ABRE
1511      C
1512      C      DESCRICAO GERAL:
1513      C      - CHAMADA PELA SUBROTINA EXCHAVE
1514      C      - TEM COMO FUNCAO EXECUTAR A ABERTURA DE UMA CHAVE
1515      C      QUE DEVERA' ESTAR FECHADA
1516      C      - COMO O CHAVEAMENTO E' DE ABERTURA, A MATRIZ USADA
1517      C      E' A YA
1518      C      - SE O ELEMENTO YA( SB(CONDICA0), EB(CONDICA0) )
1519      C      FOR NULO, SIGNIFICA QUE FOI SOLICITADO A ABERTURA
1520      C      DE UMA CHAVE QUE NAO ESTAVA FECHADA, PROVOCANDO
1521      C      UMA CONDICA0 DE ERRO
1522      C      - POSI(I) INDICA O ESTADO ATUAL QUE A CHAVE SE EN-
1523      C      CONTRA (1-FECHADA, 0-ABERTA). LOGO, SE POSI(COND-
1524      C      DICA0) = 0 OCORRERA' ERRO, POIS ESTA' MANDANDO
1525      C      ABRIR UMA CHAVE QUE JA' ESTA ABERTA
1526      C
1527      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1528      INTEGER NBARR(35), N CORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1528.1    INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICA0
1529      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1529.1    INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1529.2    REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1530      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1530.1    DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
1530.2    DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1531      DOUBLE PRECISION YAAI(35,36), YA(35,36), YB(35,36), YI(35,36)
1532      DOUBLE PRECISION RBULK, RCOND
1532.1    DOUBLE PRECISION CORT, CORANT, DT, DTI
1533      COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1534      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1535      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1536      COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1536.1    COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1537      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1537.1    COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1538      COMMON /BLOCK18/ RBULK, RCOND
1538.1    COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICA0
1539      C
1540      C
1540.01    WRITE(3, *) "ENTRADA DA ABRE"
1540.02    TDELAY = T + 6.0*DT
1540.1    WRITE(3, *) "EM 1540.1 CONDICA0=", CONDICA0, "POSI(CONDICA0) = ",
1540.2    >POSI(CONDICA0), "SB(CONDICA0) = ", SB(CONDICA0),
1540.3    >"EB(CONDICA0) = ", EB(CONDICA0)
1540.31    C
1540.32    C      ELIMINACAO DE INSTABILIDADE NUMERICA
1540.33    C
1540.34    C13    IF(T .LT. TOSC) GO TO 20
1540.341    IF(T .LT. TOSC) RETURN
1540.342    C13
1540.343    C13    EM 01/04/86 COLOCOU-SE O COMENTARIO NA INSTRUCAO
1540.344    C13    1540.34 (C13). PELO FATO QUE ESTAVA OCORRENDO CHA-
1540.345    C13    VEAMENTO DE ABERTURA EM DOIS DIODOS AO MESMO TEMPO

```



```

1540.346 C13 PARA O CASO 22. AO FAZER ISTO O PROBLEMA FOI ELIMI-
1540.347 C13 NADO (?) PARA O DIODO 7-8
1540.348 C13 ACRESCENTOU INSTRUCAO ENTRE C13 NAS ROTINAS CONDIA
1540.349 C13 POSITO(I) = 1 INDICA QUE HOUE ABERTURA DO ELEMENTO NO RAMO I
1540.35 I1 = CONDICAO
1540.351 POSITO(CONDICAO) = 1
1540.36 C
1540.37 C CALCULO DA CORRENTE NO STEP ANTERIOR
1540.38 C
1540.39 CORANT = (UANT(SB(I1)) - UANT(EB(I1)))/RCOND
1540.4 CORT = (U(SB(I1)) - U(EB(I1)))/RCOND
1540.4 WRITE(3, *) "EM 1540.1 I1 = ", I1, "SB(I1) = ", SB(I1),
1540.41 "EB(I1) = ", EB(I1), "R(I1) = ", R(I1), "CORANT = ",
1540.42 > CORANT, "UANT(SB(I1)) = ", UANT(SB(I1)),
1540.43 > "UANT(EB(I1)) = ", UANT(EB(I1)), "U(SB(I1)) = ", U(SB(I1)),
1540.44 > "U(EB(I1)) = ", U(EB(I1)), "CORT = ", CORT
1540.45 >
1540.46 C
1540.47 C CORRENTE DIMINUINDO
1540.48 C
1540.481 A = 0.0
1540.482 B = 0.0
1540.483 IF(CORANT .LT. 0D0) A = -1.0
1540.484 IF(CORANT .GT. 0D0) A = 1.0
1540.485 IF(CORT .LT. 0D0) B = -1.0
1540.486 IF(CORT .GT. 0D0) B = 1.0
1540.49 IF(A*B .LT. 0D0) GO TO 55
1540.491 IF(A*B .GT. 0D0) GO TO 30
1540.492 IF(A*B .EQ. 0D0) GO TO 65
1540.493 GO TO 30
1540.494 55 CONTINUE
1540.5 FATOR = 1D0/(1D0 + DABS(CORANT/CORT))
1540.51 T1 = T - DT*FATOR
1540.511 FLAG = 1
1540.52 C1 DO 40 I = 1, NB-NBARCU
1540.53 C1 DU = UANT(I) - U(I)
1540.54 C1 U(I) = U(I) + DU * ( (T - T1) )/DT
1540.55 C1 40 CONTINUE
1540.56 T = T1
1540.57 TOSC = T1 + 3D0*DT
1540.571 GO TO 50
1540.572 30 CONTINUE
1540.573 WRITE(3, *) "ERRO EM 1540.573 MANDANDO ABRIR CHAVE ",
1540.574 > "ONDE NAO PASSA EM ZERO", "CORANT=", CORANT, "CORT = ", CORT
1540.575 GO TO 50
1540.576 65 CONTINUE
1540.577 T1 = T
1540.578 FLAG = 1
1540.579 50 CONTINUE
1540.58 20 CONTINUE
1541 L = SB(CONDICAO)
1542 M = EB(CONDICAO)
1543 K = NB - NBARCU
1543.01 WRITE(3, *) "EM 1 543.01 L = ", L, "M = ", M, "K = ", K
1543.1 WRITE(3, *) "EM 1543.1 YA(L, M) = ", YA(L, M),
1543.2 > "YA(L, L) = ", YA(L, L), "YA(M, M) = ", YA(M, M)
1544 IF(L .GT. K .OR. M .GT. K) GO TO 13
1545 IF(DABS(YA(L, M)) .LE. 1D-31) GO TO 111

```

```

1546      YA(L, M) = YA(L, M) - 1D0/RCOND
1547      YA(M, L) = YA(L, M)
1548      IF(DABS(YA(L, M)) .LT. RCOND*0.9) GO TO 1113
1549      WRITE(3, *) "EM 1549 ERRO L = ", L, "M = ", M,
1550      >      "YA(L, M) = ", YA(L, M)
1350.1      WRITE(3, *) "ESTA MANDANDO ABRIR UMA CHAVE ENTRE DUAS"
1350.2      WRITE(3, *) "BARRAS ONDE NAO EXISTE CHAVE"
1351      RETURN
1352      1113 CONTINUE
1353      GO TO 113
1354      111 CONTINUE
1355      WRITE(3, *) "EM 1555 T = ", T
1356      WRITE(3, *) "MANDANDO ABRIR ONDE NAO EXISTE RAMO"
1358      113 CONTINUE
1359      13 CONTINUE
1560      YA(L, L) = YA(L, L) + 1D0/RCOND
1561      YA(M, M) = YA(M, M) + 1D0/RCOND
1562      IF(L .GT. K .OR. M .LE. K .OR. M .GT. NB) GO TO 23
1563      IF(DABS(YB(L, M-K)) .GT. RCOND*0.9) GO TO 31
1564      YB(L, M-K) = YB(L, M-K) - 1D0/RCOND
1565      GO TO 33
1566      31 CONTINUE
1567      WRITE(3, *) "EM 1567 ERRO. L = ", L, "M = ", M,
1568      >      "K = ", K, "YB(L, M-K) = ", YB(L, M-K)
1569      RETURN
1570      33 CONTINUE
1571      YB(L, M-K) = YB(L, M-K) - 1D0/RCOND
1572      IF(DABS(YB(L, M-K)) .LT. 1D-31) GO TO 43
1573      WRITE(3, *) "EM 1573 ERRO L = ", L, "M = ", M,
1574      >      "K = ", K, "YB(L, M-K) = ", YB(L, M-K)
1575      43 CONTINUE
1576      23 CONTINUE
1577      WRITE(3, *) "SAIDA DA ABRE"
1597      RETURN
1398      END
1399      C
1600      C
1601      SUBROUTINE FECHA
1602      C
1603      C      DESCRICAO GERAL:
1604      C      - CHAMADA PELA SUBROTINA EXCHAVE
1605      C      - TEM COMO FUNCAO EXECUTAR O FECHAMENTO DE CHAVE
1606      C      (QUE DEVERA ESTAR ABERTA)
1607      C
1608      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1609      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1610      INTEGER NBARR(35), N CORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1611      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1612      INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1613      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1614      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1614.1      DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
1615      DOUBLE PRECISION YAAI(35,36), YA(35,36), YB(35,36), YI(35,36)
1616      DOUBLE PRECISION RBULK, RCOND, DT, DTI
1617      COMMON /BLOCK03/ KRAMO, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1618      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1619      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG

```

```

1620      COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1621      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1622      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICA0
1623      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSIT0, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1624      COMMON /BLOCK18/ RBULK, RCOND
1625      C
1626      C
1626.01      WRITE(3, *) "ENTRADA DA FECHA"
1626.02      C      TDELAY = T + 6.0*DT
1626.1      WRITE(3, 141) "EM 1626.1 TEMPO DECORRIDO = ", T,
1626.2      >"[≤], OCORREU FECHAMENTO DO ELEMENTO NUMERO",
1626.21      >ICHAVE(CONDICA0)
1626.3      141 FORMAT(3/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S, 1X, 12)
1626.4      C
1626.5      C
1626.6      POSITC(CONDICA0) = 1
1626.7      C
1626.8      C
1627      IF(T.GT. 0) GO TO 13
1628      IF(POSI(CONDICA0).EQ. 1) GO TO 133
1629      WRITE(3, *) "EM 1629 ERRO. CONDICA0 = ", CONDICA0,
1630      >      "POSI(CONDICA0) = ", POSI(CONDICA0)
1631      RETURN
1632      133 CONTINUE
1633      13 CONTINUE
1633.1      WRITE(3, *) "EM 1633.1 CONDICA0 = ", CONDICA0, "POSI(CONDICA0) =
1633.2      >POSI(CONDICA0), "SB(CONDICA0) = ", SB(CONDICA0),
1633.3      >"EB(CONDICA0) = ", EB(CONDICA0)
1634      L = SB(CONDICA0)
1635      M = EB(CONDICA0)
1636      K = NB-NBARCU
1636.01      WRITE(3, *) "EM 1636.01 L = ", L, "M = ", M, "K = ", K
1636.1      WRITE(3, *) "YA(L, M) = ", YA(L, M), "YA(L, L) = ",
1636.2      >YA(L, L), "YA(M, M) = ", YA(M, M)
1637      IF(L.GT. K) GO TO 21
1638      IF(M.GT. K) GO TO 31
1639      IF(DABS(YA(L, M)).LT. 1D-31) GO TO 43
1640      WRITE(3, *) "EM 1640 ERRO L = ", L, "M = ", M,
1641      >      "YA(L, M) = ", YA(L, M)
1641.1      WRITE(3, *) " EM 1641.1 ESTA MANDANDO FECHAR UMA"
1641.2      WRITE(3, *) " CHAVE ENTRE DUAS BARRAS SO QUE ENTRE"
1641.3      WRITE(3, *) " ESSAS DUAS BARRAS EXISTE UM RAMO"
1642      RETURN
1643      43 CONTINUE
1644      IF(DABS(YA(M, L)).LT. 1D-31) GO TO 53
1645      WRITE(3, *) "EM 1645 ERRO L = ", L, "M = ", M,
1646      >      "YA(M, L) = ", YA(M, L)
1647      RETURN
1648      53 CONTINUE
1649      YA(L, M) = 1D0/RCOND
1650      YA(M, L) = YA(L, M)
1651      GO TO 33
1652      31 CONTINUE
1653      IF(M.GT. NB) GO TO 61
1654      IF(DABS(YB(L, M-K)).LT. 1D-31) GO TO 73
1655      WRITE(3, *) "EM 1655 ERRO L = ", L, "M = ", M,
1656      >      "K = ", K, "YB(L, M-K) = ", YB(L, M-K)

```

```

1657          RETURN
1658      73      CONTINUE
1658.1      WRITE(3, *) "EM 1658.1 YB(L, M-K) = ", YB(L, M-K)
1659          YB(L, M-K) = 1D0/RCOND
1660          GO TO 63
1661      61      CONTINUE
1662          IF(M .LE. NB+1) GO TO 83
1663          WRITE(3, *) "EM 1663 ERRO, M = ", M, "NB+1=", NB+1
1664          RETURN
1665      83      CONTINUE
1666      63      CONTINUE
1667      33      CONTINUE
1668          GO TO 23
1669      21      CONTINUE
1670          IF(L .LE. NB+1) GO TO 93
1671          WRITE(3, *) "EM 1671 ERRO L = ", L, "NB+1 = ", NB+1
1672          RETURN
1673      93      CONTINUE
1674      23      CONTINUE
1675          YA(L, L) = YA(L, L) - 1D0/RCOND
1676          YA(M, M) = YA(M, M) - 1D0/RCOND
1677          WRITE(3, *) "SAIDA DA FECHA"
1678          RETURN
1679          END
1690      C
1691      C
1692          SUBROUTINE IMPREYA
1693      C
1694      C      DESCRICAO GERAL:
1695      C          - CHAMADA PELA SUBROTINA FECHA E PELA SUBROTINA ABRE
1696      C          - TEM COMO FUNCAO IMPRIMIR A MATRIZ YA
1697      C
1698          INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1699          INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1700          DOUBLE PRECISION YAAI(35,36), YA(35,36), YB(35,36), YI(35,36)
1701          COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1701.1      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1702          COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1703      C
1704      C
1704.1      WRITE(3, *) "ENTRADA DA IMPREYA"
1705          WRITE(3, 141) "MATRIZ YA",
1706      >          "_____"
1707      141      FORMAT(3/1X, 14X, S/1H+, 14X, S)
1708      C
1709          DO 14 I = 1, NB-NBARCU
1710              WRITE(3, 142) ("(", I, ", ", J, ")=", YA(I, J), J = 1, NB-NBARCU)
1711      142      FORMAT(%103C, 1X, S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X,
1712      >          S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X,
1713      >          S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X)
1714      14      CONTINUE
1714.1      WRITE(3, *) "SAIDA DA IMPREYA"
1715          RETURN
1716          END
1717      C
1718      C
1719          SUBROUTINE IMPREYB

```

```

1720 C
1721 C      DESCRICAO GERAL:
1722 C      - CHAMADA DA SUBROTINA ABRE E DA SUBROTINA FECHA
1723 C      - TEM COMO FUNCAO IMPRIMIR A MATRIZ YB
1724 C
1725 C      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1726 C      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1727 C      DOUBLE PRECISION YAAI(35,36),YA(35,36),YB(35,36),YI(35,36)
1728 C      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1729 C      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1730 C      COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1731 C
1732 C      WRITE(3, *) "ENTRADA DA IMPREYB"
1733 C      WRITE(3, 141) "MATRIZ YB",
1734 C      >      " "
1735 C      141 FORMAT(3/1X, 14X, S/1H+, 14X, S)
1736 C
1737 C      DO 14 I = 1, NB-NBARCU
1738 C      WRITE(3, 142) ("(",I,"",",",J,"")=",YB(I,J), J = 1, NBARCU)
1739 C      142 FORMAT(%103C, 14X, S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X,
1740 C      >      S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X,
1741 C      >      S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X)
1742 C      14 CONTINUE
1743 C      WRITE(3, *) "SAIDA DA IMPREYB"
1744 C      RETURN
1745 C      END
1746 C
1747 C      SUBROUTINE IMPREINVERSA
1748 C
1749 C      DESCRICAO GERAL
1750 C      - CHAMADA PELO PROGRAMA PRINCIPAL
1751 C      - TEM COMO FUNCAO IMPRIMIR A MATRIZ INVERSA
1752 C
1753 C      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1754 C      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1755 C      DOUBLE PRECISION YAAI(35,36),YA(35,36),YB(35,36),YI(35,36)
1756 C      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1757 C      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1758 C      COMMON /BLOCK09/ YAAI, YA, YB, YI
1759 C
1760 C      WRITE(3, *) "ENTRADA DA IMPREINVERSA"
1761 C      WRITE(3, 141) "MATRIZ INVERSA",
1762 C      >      " "
1763 C      141 FORMAT(3/1X, 14X, S/1H+, 14X, S)
1764 C      DO 14 I = 1, NB-NBARCU
1765 C      WRITE(3, 142) ("(",I,"",",",J,"")=",YI(I,J), J=1,NB-NBARCU)
1766 C      142 FORMAT(%103C, 14X, S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X, S, I2, S,
1767 C      >      I2, S, E15.9, 1X, S, I2, S, I2, S, E15.9, 1X)
1768 C      14 CONTINUE
1769 C      WRITE(3, *) "SAIDA DA IMPREINVERSA"
1770 C      RETURN
1771 C      END
1772 C
1773 C      SUBROUTINE FONTES

```

```

1747 C
1748 C      DESCRICAO GERAL:
1749 C      - TEM COMO FUNCAO CALCULAR U(t) E I(t) EM CADA
1750 C      INSTANTE.
1751 C
1752      INTEGER NB, NCH, NRAMO, NELEM, NBARCU, NBARCOR, FLAG
1753      INTEGER NBARR(35), NCCORR(35), KRAMO(35), SB(35), EB(35)
1754      INTEGER ICHAVE(35), IKEY
1755      REAL UEFC(35), FREQU(35), FIU(35)
1756      REAL FCC(35), FREQC(35), FIC(35)
1757      REAL CORRFC(35), UFC(35)
1757.2      DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1758      COMMON /BLOCK01/ NBARR, UEFC, FREQU, FIU
1759      COMMON /BLOCK02/ NCCORR, FCC, FREQC, FIC
1760      COMMON /BLOCK04/ ICHAVE, NB, NCH, NRAMO, NELEM
1761      COMMON /BLOCK05/ NBARCU, NBARCOR, FLAG
1761.1      COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1762      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1763      COMMON /BLOCK19/ CORRFC, UFC
1764 C
1765 C
1765.1      WRITE(3, *) "ENTRADA DA FONTES EM T = ", T
1766      DO 14 I = 1, NB
1767          DO 144 J = 1, NBARCU
1768              IF(NBARR(J) .NE. I) GO TO 13
1769              IF(FREQU(J) .LE. 0.0) GO TO 111
1770              FIURAD = (FIU(J)*PI)/180.0
1771              OMEGA = 2.0*PI*FREQU(J)
1772              UFC(I) = SQRT(2.0)*UEFC(J)*SIN(OMEGA*T+FIURAD)
1772.1      WRITE(3, *) "EM 1773 I = ", I, "UFC(I)=", UFC(I),
1772.2      >      "J=", J, "UEFC(J)=", UEFC(J), "FREQU(J)=", FREQU(J)
1772.3      U(I) = UFC(I)
1773      GO TO 133
1774      111      CONTINUE
1775      UFC(I) = UEFC(J)
1775.1      U(I) = UFC(I)
1776      133      CONTINUE
1777      13      CONTINUE
1778      144      CONTINUE
1779      14      CONTINUE
1780 C
1781      DO 24 I = 1, NB
1782          DO 244 J = 1, NBARCOR
1783              IF(NCCORR(J) .NE. I) GO TO 23
1784              IF(FREQC(J) .LE. 0.0) GO TO 211
1785              FICRAD = (FIC(J)*PI)/180.0
1786              OMEGA = 2.0*PI*FREQC(J)
1787              CORRFC(I) = SQRT(2.0)*FCC(J)*SIN(OMEGA*T+FICRAD)
1787.1      WRITE(3, *) "EM 1787.1 I=", I, "CORRFC(I)=", CORRFC(I),
1787.2      >      "J=", J, "FCC(J)=", FCC(J), "FREQC(J)=", FREQC(J)
1787.3      COR(I) = CORRFC(I)
1788      GO TO 233
1789      211      CONTINUE
1790      CORRFC(I) = FCC(J)
1790.1      COR(I) = CORRFC(I)
1791      233      CONTINUE
1792      23      CONTINUE

```

```

1793      244      CONTINUE
1794      24      CONTINUE
1794.1      WRITE(3, *) "SAIDA DA FONTES"
1795      RETURN
1796      END
1797      C
1798      C
1799      SUBROUTINE CORCALC
1800      C
1801      C      DESCRICAO GERAL:
1802      C      - TEM COMO FUNCAO CALCULAR A CORRENTE DE UM RAMO
1803      C      QUALQUER
1804      C      - QUANDO QUISEER CALCULAR A CORRENTE EM UM RAMO DE-
1805      C      VE-SE FAZER A VARIAVEL IESCORRR = 101
1806      C      - NOTE QUE CORRENTE POSITIVA SEMPRE SAI DA BARRA
1807      C      DE MENOR NUMERACAO PARA A DE MAIOR NUMERACAO.
1808      C
1809      CHARACTER CASO*4, TIPOL*2, TIPO*2(35)
1810      INTEGER OPEN, CLOSE, CONDICAO
1811      INTEGER NBARR(35), NCORR(35), KRAMD(35), SB(35), EB(35)
1812      INTEGER POSI(35), POSITO(35), POSITC(35)
1813      INTEGER IESCORR
1814      REAL T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1815      DOUBLE PRECISION VALOR(35), R(35)
1816      REAL ALFA(35), BLOQ(35), DALFADI
1817      DOUBLE PRECISION CORPH(35), CORPHLC(35), COR(35), U(35), UANT(35)
1818      DOUBLE PRECISION RBULK, RCOND
1818.1      DOUBLE PRECISION CORRENTE, DT, DTI
1819      COMMON /BLOCK03/ KRAMD, SB, EB, VALOR, R, DT, DTI, NPTOS
1820      COMMON /BLOCK07/ CASO, TIPOL, TIPO
1821      COMMON /BLOCK10/ CORPH, CORPHLC, COR, U, UANT
1822      COMMON /BLOCK11/ T, T1, T0, TMAX, TOSC, PI, TDELAY
1823      COMMON /BLOCK12/ OPEN, CLOSE, CONDICAO
1824      COMMON /BLOCK13/ POSI, POSITO, POSITC, ALFA, BLOQ, DALFADI
1825      COMMON /BLOCK16/ CORRENTE, IESCORR
1826      COMMON /BLOCK18/ RBULK, RCOND
1827      C
1828      C
1828.1      WRITE(3, *) "ENTRADA DA CORCALC"
1836      I = CONDICAO
1837      13      CONTINUE
1838      IF(TIPO(I) .EQ. "RE") CORRENTE = (U(SB(I)) - U(EB(I))) / R(I)
1839      IF(TIPO(I) .NE. "IN" .AND. TIPO(I) .NE. "CA") GO TO 23
1840      CORRENTE = (U(SB(I)) - U(EB(I))) / R(I)
1841      CORRENTE = CORRENTE + CORPHLC(SB(I))
1841.1      WRITE(3, *) "EM 1841.1 CALCULO DE CORRENTE NOS RAMOS R,L,C"
1841.11      WRITE(3, 142) "SUBROTINA CORCALC EXECUTADA NO INSTANTE T=",
1841.12      >T, "[s]", "I=", I, "SB(I)=", SB(I), "EB(I)=", EB(I),
1841.13      >"CORRENTE NO RAMO SB,EB=", CORRENTE, "[A]"
1841.14      142      FORMAT(/1X, 14X, S, 1X, E9.3, 1X, S/
1841.15      >      1X, 14X, 3(S, 1X, I2, 2X), S, 1X, E9.3, 1X, S)
1842      23      CONTINUE
1843      IF(TIPO(I) .NE. "CH" .AND.
1844      >      TIPO(I) .NE. "DI" .AND.
1845      >      TIPO(I) .NE. "TI"      ) GO TO 33
1846      IF(POSI(I) .EQ. 1) GO TO 333
1847      ERROCORCALC1 = 1

```

```

1848      WRITE(3, 141) "ERRO OCORRIDO NA SUBROTINA CORCALC",
1849      >      "POSI(I) =", POSI(I)
1850      141      FORMAT(/1X, 14X, S/1X, 14X, S, 1X, I2)
1851      RETURN
1852      333      CONTINUE
1852.01      CORRENTE = (U(SB(I)) - U(EB(I)))/RCOND
1852.1      WRITE(3, *) "1852.1 SUBROTINA CORCALC EXECUTADA EM T=",
1852.2      >T, "I=", I, "SB(I)=", SB(I), "EB(I)=", EB(I),
1852.3      >"CORRENTE NO RAMO SB;EB=", CORRENTE, "IAI"
1852.31      WRITE(3, *) "EM 1852.4 T = ", T, "I=", I, "SB(I)=", SB(I),
1852.32      >"EB(I)=", EB(I)
1852.4      WRITE(3, 100) "EM 1852.4 T = ", T, "U(SB(I))=", U(SB(I)),
1852.5      > "U(EB(I)) =", U(EB(I))
1852.6      100 FORMAT(1X, S, E15.8, 3X, S, 1X, E30.23, 3X, S, E30.23)
1852.7      WRITE(3, *) "EM 1852.7 RCOND = ", RCOND, "RBULK=", RBULK
1854      33 CONTINUE
1854.1      WRITE(3, 142) " 1854.1 SUBROTINA CORCALC EXECUTADA EM T=",
1854.2      >T, "I=", I, "SB(I)=", SB(I), "EB(I)=", EB(I),
1854.3      >"CORRENTE NO RAMO SB;EB=", CORRENTE, "IAI"
1856      WRITE(3, 142) " 1856 SUBROTINA CORCALC EXECUTADA NO INSTANTE T=",
1857      >T, "I=", I, "SB(I)=", SB(I), "EB(I)=", EB(I),
1858      >"CORRENTE NO RAMO SB;EB=", CORRENTE, "IAI"
1859      WRITE(3, *) "SAIDA DA CORCALC"
1861      RETURN
1862      END
1863      C
1864      C
1865      SUBROUTINE JAC310(N, NM1, A, X, TOL, ERRO, OPCA0, DET,
1866      *      IFILA, JCOL, JORD, Y)
1867      C      FINALIDADE: RESOLVER SISTEMAS DE EQUACOES LINEARES, INVERTER
1868      C      MATRIZES E CALCULAR VALOR DE DETERMINANTES.
1869      C      USA O METODO DA TRANSFORMACAO NA MATRIZ UNIDADE
1870      C      ( GAUSS-JORDAN ), COM CONDENSACAO PIVOTAL TOTAL.
1871      C      PRECISAO DUPLA
1872      C      SIGNIFICADO DE VARIAVEIS SELECIONADAS
1873      C      N      - ORDEM DA MATRIZ OU DO SISTEMA
1874      C      NM1     - N+1 ( NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ AUMENTADA DO
1875      C              SISTEMA )
1876      C      A      - CONJUNTO N X (N+1) QUE CONTERA A MATRIZ AUMENTADA
1877      C              DO SISTEMA ( NECESSARIA MESMO QUE SOMENTE SE DE-
1878      C              SEJE CALCULAR DETERMINANTE OU INVERTER MATRIZ )
1879      C      CUIDADO: AO FINAL DA EXECUCAO, AS N PRIMEIRAS COLUNAS
1880      C              DE A CONTERAO A INVERSA DA MATRIZ DE COEFI-
1881      C              CIENTES ( SE SOLICITADA ), OU ESTA INVERSA DES-
1882      C              LOCADA. A MATRIZ ORIGINAL E PERDIDA!
1883      C      X      - CONJUNTO DE N ELEMENTOS QUE CONTERA O VETOR SOLUCAO
1884      C              DO SISTEMA ( SE SOLICITADA )
1885      C      TOL     - QUALQUER PIVO INFERIOR A ESTE VALOR ( EM VALOR ABSO-
1886      C              LUTO ) SERA CONSIDERADO NULO E, CONSEQUENTEMENTE, A
1887      C              MATRIZ DADA SERA CONSIDERADA SINGULAR
1888      C      ERRO    - VARIAVEL INTEIRA QUE SERA IGUAL A 1 NO RETORNO SE A
1889      C              MATRIZ FOR SINGULAR
1890      C      OPCA0   - VARIAVEL INTEIRA QUE INDICA O TIPO DE SOLUCAO DESEJADO:
1891      C              OPCA0=-1 - PEDE INVERSAO DA MATRIZ
1892      C              OPCA0= 0 - PEDE INVERSAO DA MATRIZ E SOLUCAO DO SISTEMA
1893      C              OPCA0= 1 - PEDE A SOLUCAO DO SISTEMA
1894      C              EM QUALQUER CASO, O DETERMINANTE E CALCULADO

```



```

1895 C      IFILA, JCOL, JORD, Y - CONJUNTOS DE USO INTERNO - DEVEM TER
1896 C                               DIMENSAO N NO MODULO QUE CHAMAR
1897 C      IFILA - CONTEM OS INDICES DAS FILAS ONDE JA FOI ESCOLHIDO
1898 C                UM PIVO
1899 C      JCOL - CONTEM OS INDICES DAS COLUNAS ONDE JA FOI ESCOLHI-
1900 C                DO UM PIVO
1901 C      JORD - USADO PARA ORDENAR CORRETAMENTE OS RESULTADOS, DES-
1902 C                ORDENADOS PELA CONDENSACAO PIVOTAL
1903 C      Y      - ARMAZENAMENTO TEMPORARIO NA MONTAGEM DA INVERSA
1904 C
1905 C      ESTA SUB-ROTINA CHAMA OS SUBPROGRAMAS JAC311, JAC302, JAC313,
1906 C                JAC314 E JAC315
1906.01 C
1906.1 C      A ROTINA JAC310 FOI DESENVOLVIDA PELO PROF.
1906.2 C      JOSE ABEL ROYO DOS SANTOS
1906.3 C
1907 C      J ABEL   DCE/EFEI   26.09.81, MOD.  28.08.82
1908 C
1909 C      DECLARACOES DE VARIAVEIS
1910 C
1911 C      IMPLICIT LOGICAL(A - Z)
1912 C
1913 C      ARGUMENTOS
1914 C
1915 C      INTEGER N, NM1, ERRO, OPCA0, IFILA(N), JCOL(N), JORD(N)
1916 C      DOUBLE PRECISION TOL, DET, A(35,36), X(N), Y(N)
1917 C
1918 C      VARIAVEIS LOCAIS
1919 C
1920 C      INTEGER MAX
1921 C      DOUBLE PRECISION PIVO
1922 C
1923 C      INDICES
1924 C
1925 C      INTEGER K1, I1, J1, IFILAK, JCOLK, IFILAI, JCOLI
1926 C
1927 C      DECLARACOES DE FORMATO
1928 C      DE SAIDA
1929 C
1930 C      10 FORMAT(//1X, 10X, S//)
1931 C
1932 C      PARTE EXECUTAVEL
1933 C
1933.1 C      WRITE(3, *) "ENTRADA DA JAC310"
1934 C      MAX = N
1935 C      ERRO = 0
1936 C      IF(OPCA0 .LT. 0) GO TO 11
1937 C          MAX = NM1
1938 C      11 CONTINUE
1939 C
1940 C      INICIO DA ELIMINACAO
1941 C
1942 C      DET = 1D0
1943 C      K1 = 0
1944 C      13 CONTINUE
1945 C          IF(K1 .EQ. N) GO TO 14
1946 C          K1 = K1 + 1

```

```

1947 C
1948 C      CHAMADA DA SUB-ROTINA JAC311, PARA DETERMINAR O PROXIMO PIVO
1949 C
1950 C      CALL JAC311(N, NM1, A, K1, IFILA, JCOL, PIVO)
1951 C
1952 C      SE O PIVO FOR MENOR QUE A TOLERANCIA, FAZ ERRO=1, DA MENSA-
1953 C      GEM E RETORNA
1954 C
1955 C      IF(DABS(PIVO) .GT. TOL) GO TO 141
1956 C          ERRO = 1
1957 C          WRITE(3, 10) 'MATRIZ SINGULAR'
1958 C          GO TO 14
1959 141 CONTINUE
1960 C
1961 C      ATUALIZACAO DO VALOR DO DETERMINANTE
1962 C
1963 C      IFILAK = IFILA(K1)
1964 C      JCOLK = JCOL(K1)
1965 C      DET = DET * PIVO
1966 C
1967 C      NORMALIZACAO DA FILA DO PIVO
1968 C
1969 C      DO 224 J1 = 1, MAX
1970 C          A(IFILAK, J1) = A(IFILAK, J1) / PIVO
1971 224 CONTINUE
1972 C
1973 C      CHAMADA DE JAC313, PARA EXECUTAR A ELIMINACAO
1974 C
1975 C      CALL JAC313(N, NM1, A, MAX, IFILAK, JCOLK, PIVO)
1976 C      GO TO 13
1977 14 CONTINUE
1978 C      IF(ERRO .EQ. 1) GO TO 31
1979 C
1980 C      ORDENACAO DOS VALORES DO VETOR SOLUCAO ( SE SOLICI-
1981 C      TADA ), E FORMACAO DO VETOR AUXILIAR DE ORDENACAO JORD
1982 C
1983 C      DO 324 I1 = 1, N
1984 C          IFILAI = IFILA(I1)
1985 C          JCOLI = JCOL(I1)
1986 C          JORD(IFILAI) = JCOLI
1987 C          IF(OPCAO .LT. 0) GO TO 3241
1988 C          X(JCOLI) = A(IFILAI, MAX)
1989 3241 CONTINUE
1990 324 CONTINUE
1991 C
1992 C      CHAMADA DE JAC314, PARA ACERTAR O SINAL DO DETERMINANTE
1993 C
1994 C      CALL JAC314(N, JORD, DET)
1995 C
1996 C      CHAMADA DE JAC315, PARA MONTAR A INVERSA ( SE SOLICITADA )
1997 C
1998 C      IF(OPCAO .GT. 0) GO TO 321
1999 C      CALL JAC315(N, NM1, A, IFILA, JCOL, Y)
2000 321 CONTINUE
2001 31 CONTINUE
2001.1 WRITE(3, *) "SAIDA DA JAC310"
2002 RETURN

```

```

2003      END
2004      SUBROUTINE JAC311(N, NM1, A, K1, IFILA, JCOL, PIVO)
2005      C
2006      C      FINALIDADE: E CHAMADA PELA SUB-ROTINA JAC310, PARA
2007      C      EXECUTAR CONDENSACAO PIVOTAL TOTAL, BUS-
2008      C      CANDO O MAIOR COEFICIENTE EM VALOR ABSO-
2009      C      LUTO AINDA DISPONIVEL NA MATRIZ.
2010      C      PRECISAO DUPLA
2011      C      J ABEL   DCE/EFEI   26.09.81, MOD.   28.08.82
2012      C
2013      C      DECLARACOES DE VARIAVEIS
2014      C
2015      C      IMPLICIT LOGICAL(A - Z)
2016      C
2017      C      ARGUMENTOS
2018      C
2019      C      INTEGER N, NM1, K1, IFILA(N), JCOL(N)
2020      C      DOUBLE PRECISION A(35,36), PIVO
2021      C
2022      C      INDICES
2023      C
2024      C      INTEGER I1, J1, K2
2025      C
2026      C      FUNCAO SUBPROGRAMA USADA
2027      C
2028      C      INTEGER JAC302
2029      C
2030      C      PARTE EXECUTAVEL
2031      C
2032      C      K2 = K1 - 1
2033      C      PIVO = 0.D0
2034      C      DO 14 I1 = 1, N
2035      C          DO 134 J1 = 1, N
2036      C              IF(DABS(A(I1, J1)) .LE. DABS(PIVO) .OR.
2037      C      *      JAC302(K2, I1, J1, IFILA, JCOL, N) .EQ. 1)
2038      C      *      GO TO 1341
2039      C              PIVO = A(I1, J1)
2040      C              IFILA(K1) = I1
2041      C              JCOL(K1) = J1
2042      C      1341      CONTINUE
2043      C      134      CONTINUE
2044      C      14      CONTINUE
2045      C      RETURN
2046      C      END
2047      C      INTEGER FUNCTION JAC302(K2, I1, J1, IFILA, JCOL, N)
2048      C
2049      C      FINALIDADE: E CHAMADA PELA SUB-ROTINA JAC301 PARA EXE-
2050      C      CUTAR UMA VARREDURA DOS CONJUNTOS IFILA E
2051      C      JCOL PARA DETERMINAR QUAIS INDICES NAO SAO
2052      C      VALIDOS COMO PIVOS ( JA FORAM USADOS ).
2053      C      J ABEL   DCE/EFEI   02.09.81, MOD.   27.08.82
2054      C
2055      C      DECLARACOES DE VARIAVEIS
2056      C
2057      C      IMPLICIT LOGICAL(A - Z)
2058      C
2059      C      ARGUMENTOS

```

```

2060 C
2061     INTEGER K2, I1, J1, N, IFILA(N), JCOL(N)
2062 C
2063     INDICES
2064 C
2065     INTEGER I2, J2
2066 C
2067     PARTE EXECUTAVEL
2068 C
2069     JAC302 = 0
2070     I2 = 0
2071 13 CONTINUE
2072     IF(I2 .EQ. K2) GO TO 14
2073     I2 = I2 + 1
2074     IF(I1 .NE. IFILA(I2)) GO TO 141
2075         JAC302 = 1
2076         GO TO 14
2077 141 CONTINUE
2078     J2 = 0
2079 143 CONTINUE
2080     IF(J2 .EQ. K2) GO TO 144
2081     J2 = J2 + 1
2082     IF(J1 .NE. JCOL(J2)) GO TO 1441
2083         JAC302 = 1
2084         GO TO 144
2085 1441 CONTINUE
2086     GO TO 143
2087 144 CONTINUE
2088     IF(JAC302 .EQ. 1) GO TO 14
2089     GO TO 13
2090 14 CONTINUE
2091     RETURN
2092     END
2093     SUBROUTINE JAC313(N, NM1, A, MAX, I1, J1, PIVO)
2094 C
2095 C     FINALIDADE: E CHAMADA PELA SUB-ROTINA JAC310, PARA
2096 C     EXECUTAR CADA ELIMINACAO
2097 C     J ABEL DCE/EFEI 26.09.81, MOD. 28.08.82
2098 C
2099 C     DECLARACOES DE VARIAVEIS
2100 C
2101     IMPLICIT LOGICAL(A - Z)
2102 C
2103 C     ARGUMENTOS
2104 C
2105     INTEGER N, NM1, MAX, I1, J1
2106     DOUBLE PRECISION A(35,36), PIVO
2107 C
2108 C     INDICES
2109 C
2110     INTEGER I2, J2
2111 C
2112 C     VARIAVEIS LOCAIS
2113 C
2114     DOUBLE PRECISION AIJCK
2115 C
2116     PARTE EXECUTAVEL

```

```

2117 C
2118 AC I1, J1) = 1.D0 / PIVO
2119 DO 14 I2 = 1, N
2120     AIJCK = A(I2, J1)
2121     IF(I2 .EQ. I1) GO TO 141
2122     A(I2, J1) = -AIJCK / PIVO
2123     DO 1424 J2 = 1, MAX
2124         IF(J2 .EQ. J1) GO TO 14231
2125         A(I2, J2) = A(I2, J2) - AIJCK * A(I1, J2)
2126 14231 CONTINUE
2127 1424 CONTINUE
2128 141 CONTINUE
2129 14 CONTINUE
2130 RETURN
2131 END
2132 SUBROUTINE JAC314(N, JORD, DET)
2133 C
2134 C FINALIDADE: E CHAMADA PELA SUB-ROTINA JAC310, PARA
2135 C ACERTAR O SINAL DO DETERMINANTE
2136 C J ABEL DCE/EFEI 26.09.81, MOD. 28.08.82
2137 C
2138 C DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS
2139 C
2140 C IMPLICIT LOGICAL(A - Z)
2141 C
2142 C ARGUMENTOS
2143 C
2144 C INTEGER N, JORD(N)
2145 C DOUBLE PRECISION DET
2146 C
2147 C INDICES
2148 C
2149 C INTEGER I1, J1
2150 C
2151 C VARIÁVEIS LOCAIS
2152 C
2153 C INTEGER TROCA, JTEMP
2154 C
2155 C PARTE EXECUTÁVEL
2156 C
2157 C TROCA = 0
2158 DO 14 I1 = 1, N-1
2159     DO 134 J1 = I1+1, N
2160         IF(JORD(J1) .GE. JORD(I1)) GO TO 1341
2161         JTEMP = JORD(J1)
2162         JORD(J1) = JORD(I1)
2163         JORD(I1) = JTEMP
2164         TROCA = TROCA + 1
2165 1341 CONTINUE
2166 134 CONTINUE
2167 14 CONTINUE
2168 IF(TROCA/2*2 .EQ. TROCA) GO TO 21
2169 DET = -DET
2170 21 CONTINUE
2171 RETURN
2172 END
2173 SUBROUTINE JAC315(N, NM1, A, IFILA, JCOL, Y)

```

```

2174 C
2175 C FINALIDADE: E CHAMADA PELA SUB-ROTINA JAC310, PARA
2176 C MONTAR A INVERSA
2177 C J ABEL DCE/EFEI 26.09.81, MOD. 28.08.82
2178 C
2179 C DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS
2180 C
2181 C IMPLICIT LOGICAL(A - Z)
2182 C
2183 C ARGUMENTOS
2184 C
2185 C INTEGER N, NM1, IFILA(N), JCOL(N)
2186 C DOUBLE PRECISION A(35,36), Y(N)
2187 C
2188 C INDICES
2189 C
2190 C INTEGER I1, J1, I2, J2, I3, J3
2191 C
2192 C VARIÁVEIS LOCAIS
2193 C
2194 C INTEGER IFILAI, JCOLI, IFILAJ, JCOLJ
2195 C
2196 C PARTE EXECUTÁVEL
2197 C MONTAGEM POR FILAS
2198 C
2199 C DO 14 J1 = 1, N
2200 C DO 134 I1 = 1, N
2201 C IFILAI = IFILA(I1)
2202 C JCOLI = JCOL(I1)
2203 C Y(JCOLI) = A(IFILAI, J1)
2204 C 134 CONTINUE
2205 C DO 154 I2 = 1, N
2206 C A(I2, J1) = Y(I2)
2207 C 154 CONTINUE
2208 C 14 CONTINUE
2209 C
2210 C AGORA, MONTAGEM POR COLUNAS
2211 C
2212 C DO 24 I3 = 1, N
2213 C DO 234 J2 = 1, N
2214 C IFILAJ = IFILA(J2)
2215 C JCOLJ = JCOL(J2)
2216 C Y(IFILAJ) = A(I3, JCOLJ)
2217 C 234 CONTINUE
2218 C DO 254 J3 = 1, N
2219 C A(I3, J3) = Y(J3)
2220 C 254 CONTINUE
2221 C 24 CONTINUE
2222 C RETURN
2223 C END
2223.1 C
2223.2 C

```

1 *CONTROL INIT
 (1)
LINES = 60
POLL = TRUE (I.E. BATCH = FALSE)
REAR = TRUE (I.E. FRONT = FALSE)
DELTA = 1
CURRENT DEPTH = 0, THE DEPTH LIMIT = 10
RIGHT = 72
LENGTH = 72
LONG = TRUE (I.E. SHORT = FALSE)
TIME = 50
TOTAL NUMBER OF CURRENT LINES = 2674
FROM = 1
LEFT = 1
FIXED = TRUE (I.E. VARIABLE = FALSE)
SIZE = 0
DISPLAY = TRUE (I.E. QUIET = FALSE)
FORMAT=DEFAULT
NO TABS USED
FILES:

WORK: K0101502

KEEP:

TEXT: JRCSYST3.GPESQ5.PESQUISA SAT, JAN 10, 1987, 3:02 PM

JOIN:

C234567
*CONTROL INIT, FILE=7-8
PROGRAM DISCFOUR

***** SERIE DE FOURIER DE FUNCOES DISCRETAS *****

ESTE PROGRAMA DESENVOLVE EM SERIE DE FOURIER UMA FUN-
CAO DISCRETA QUALQUER

SIGNIFICADO DAS VARIAVEIS USADAS NO PROGRAMA

F(I) VALOR DA FUNCAO PARA OS PONTOS DIS-
CRETOS DA FUNCAO

TETA(I) VALOR DO I-ESIMO PONTO DISCRETO

FTETA ... VALOR DA FUNCAO DESENVOLVIDA EM SERIE

TETA PONTO DA FUNCAO DESENVOLVIDA EM SERIE

DTETAG .. INTERVALO EM GRAUS ENTRE 2 PONTOS
DISCRETOS

DTETAR .. INTERVALO EM REDIANOS ENTRE 2 PONTOS
DISCRETOS

STEP INTERVALO DE PLOTAGEM PARA A FUNCAO
DESENVOLVIDA

NPTOS ... NUMERO DE PONTOS INTERPOLANTES ENTRE
2 PONTOS DISCRETOS

K NUMERO DE PONTOS DISCRETOS DA FUNCAO

I I-ESIMO PONTO DA FUNCAO

N N-ESIMO HARMONICO DA SERIE DE FOURIER

M ORDEM DO HARMONICO DE FREQUENCIA MAIS
ELEVADA

A(N) AMPLITUDE DO HARMONICO DE N-ESIMA OR-
DEM DOS COSSENOS DA SERIE DE FOURIER

B(N) AMPLITUDE DO HARMONICO DE N-ESIMA OR-
DEM DOS SENOS DA SERIE DE FOURIER

C(N) AMPLITUDE DOS HARMONICOS DA SERIE DE
FOURIER QUANDO COMPACTADA EM SOMENTE
COSSENOS

FI(N) ... FASE DO N-ESIMO HARMONICO

MEIOAO .. CORRESPONDE AO TERMO A0/2 DA SERIE DE
FOURIER

PARA EXECUTAR ESTE PROGRAMA NO HP-3000 DIGITE AS
SEGUINTESS EQUACOES:

:FILE FTM07;DEV=24;CCTL

:FILE FTM08;DEV=24;CCTL

:FORTRAN DISCFOUR

:PREPRUN \$OLDPASS;RL=RLPLOT21.PUB.SYS

INTEGER I, K, M, N, NPTOS


```

58      C
59      REAL A, B, C, DTETAG, DTETAR, F, FI, FTETA, MEIOA0
60      REAL PI, STEP, TETA, TETAI, YMIN, YMAX, IEF1, IEF2
61      C
62      DIMENSION A(63), B(63), C(63), CEF(63), F(360), FI(63), TETAI(360)
63      C
64      PI = 4.0 * ATAN(1.0)
65      C
66      WRITE(6, 10) "SERIE DE FOURIER PARA FUNCOES DISCRETAS"
67      10 FORMAT(1H1, 3/1X, 20X, S//)
67.1    WRITE(6, 20) "CASO EM ESTUDO = "
67.2    READ(5, *) CASO
67.3    WRITE(01, *) CASO
68      WRITE(6, 20) "ORDEN DO HARMONICO DE FREQUENCIA MAIS ELEVADA = "
69      20 FORMAT(1X, 5X, S)
70      READ(5, *) M
71      WRITE(6, 20) "INTERVALO ENTRE DOIS PONTOS DISCRETOS [GRAU] = "
72      READ(5, *) DTETAG
73      WRITE(6, 20) "NUMERO DE PONTOS INTERPOLANTES ENTRE 2 DISCRETOS = "
74      READ(5, *) NPTOS
75      WRITE(6, 20) "EIXO FTETA (YMIN, YMAX) = "
76      READ(5, *) YMIN, YMAX
77      C
78      DTETAR = (DTETAG*PI)/180.0
79      K = 360.0/DTETAR
80      STEP = DTETAR/NPTOS
81      TETAI(1) = 0.0
82      C
83      I = 1
84      WRITE(6, 30) "PARA TETA(", I, ") = ", TETAI(I), "F(", I, ") = "
85      30 FORMAT(1X, S, I3, S, 1X, F4.0, 5X, S, I3, S)
86      READ(5, *) F(I)
87      DO 14 I = 2, K, 1
88          TETAI(I) = TETAI(I-1) + DTETAR
89          WRITE(6, 30) "PARA TETA(", I, ") = ", (TETAI(I)*180.0)/PI,
90          > "F(", I, ") = "
91          READ(5, *) F(I)
92      14 CONTINUE
93      C
94      C
95      CALL A0(MEIOA0, F, TETAI, K, DTETAR, IEF1)
96      C
97      C0 = MEIOA0
97.1    COEF = C0/SQRT(2.0)
97.11   SOMACEF2 = COEF**2
97.2    FI0 = 0
97.3    N = 0
97.4    WRITE(4, 40) "N", "CEF(N)", "FI(N)"
97.5    40 FORMAT(1X, 5X, S, 10X, S, 10X, S)
97.6    WRITE(4, 50) N, COEF, FI0
97.7    50 FORMAT(1X, 4X, I3, 7X, F7.3, 2X, F5.1)
98      DO 24 N = 1, M, 1
99          CALL ANBN(N, A(N), B(N), F, TETAI, K, DTETAR)
100         C(N) = SQRT(A(N)**2 + B(N)**2)
100.1    CEF(N) = C(N)/SQRT(2.0)
100.2    SOMACEF2 = SOMACEF2 + CEF(N)**2
101         FI(N) = CALCFI(A(N), B(N))

```

```

101.1      WRITE(4, 50) N, CEF(N), (FI(N)*180.0)/PI
101.2      WRITE(01, *) CEF(N)
102      24 CONTINUE
102.1      IEF2 = SQRT(SOMACEF2)
102.2      WRITE(4, *) "VALOR EFICAZ CALCULADO PELOS HARMONICOS = ", IEF1
102.3      WRITE(4, *) "VALOR EFICAZ CALCULADO PELA INTEGRAL = ", IEF2
103      C
103.1      CALL INITPLOTTER(YMIN, YMAX)
104      TETA = 0.0
105      32 CONTINUE
106      FTETA = MEIOA0
107      DO 44 N = 1, M, 1
107.1          GIBS = SIN( (N*PI)/M ) / ( (N*PI)/M )
108          FTETA = FTETA + GIBS*C(N)*COS(N*TETA - FI(N))
109      44 CONTINUE
110      CALL PLOT((TETA*180.0)/PI, FTETA, 4)
111      TETA = TETA + STEP
112      IF (TETA .LE. 2.0*PI) GO TO 32
113      34 CONTINUE
114      C
115      CALL STOPPLOTTER
116      C
117      STOP
118      END
119      C
120      C
121      SUBROUTINE INITPLOTTER(YMIN, YMAX)
122      C
123      REAL YMIN, YMAX
124      C
125      PAUSE
126      C
127      CALL PLOTS(1, 7, 8)
128      CALL LIMIT(0.88, 13.13, 0.94, 9.71)
129      CALL SETIN
130      CALL LOCATE(0.31, 12.0, 0.31, 8.56)
131      CALL FRAME
132      CALL LOCATE(0.5, 11.75, 0.5, 7.56)
133      CALL FRAME
134      CALL PENUP
135      CALL MOVE(6.125, 7.625)
136      CALL PENDN
137      CALL PLOT(6.125, 8.375, 4)
138      CALL LOCATE(2.5, 10.37, 1.7, 6.44)
139      CALL MAPUU (0.0, 360.0, YMIN, YMAX)
140      CALL FXD(1)
141      CALL LAKES(10.0, YMAX/10.0, 0.0, 0.0, 3, 5, 1.0)
142      CALL NEWPEN(2)
143      CALL MOVE(0.0, 0.0)
144      RETURN
145      END
146      C
147      C
148      SUBROUTINE STOPPLOTTER
149      C
150      CALL NEWPEN(0)
151      CALL PLOT(0.0, 0.0, 999)

```

```
152      CALL PLOT0F
153      RETURN
154      END
155      C
156      C
157      SUBROUTINE A0(MEIOA0, F, TETA1, K, DTETAR, IEF1)
158      C
159      INTEGER I, K
160      REAL DTETAR, F, MEIOA0, SA0PAR, SA0IMPAR, PI, TETA1
160.1    REAL IEF1
161      C
162      DIMENSION F(360), TETA1(360)
163      C
164      PI = 4.0 * ATAN(1.0)
164.1    SA0PAR = 0.0
164.2    SA0IMPAR = 0.0
164.3    SOMAFIPAR = 0.0
164.4    SOMAFIMPAR = 0.0
165      C
166      DO 14 I = 3, K, 2
167          SA0IMPAR = SA0IMPAR + F(I)
167.1    SOMAFIMPAR = SOMAFIMPAR + F(I)**2
168      14 CONTINUE
169      C
170      DO 24 I = 2, K, 2
171          SA0PAR = SA0PAR + F(I)
171.1    SOMAFIPAR = SOMAFIPAR + F(I)**2
172      24 CONTINUE
173      C
174      MEIOA0 = (0.5/PI) * (DTETAR/3.0) * (F(1) + 2*SA0IMPAR +
175      >      4*SA0PAR)
175.1    SOMAFI = (0.5/PI) * (DTETAR/3.0) * (F(1)**2 +
175.2    >      2*SOMAFIMPAR + 4*SOMAFIPAR)
175.3    IEF1 = SQRT(SOMAFI)
176      C
177      RETURN
178      END
179      C
180      C
181      SUBROUTINE ANBN(N, AN, BN, F, TETA1, K, DTETAR)
182      C
183      INTEGER K, N
184      REAL AN, BN, F, TETA1, DTETAR, SANPAR, SANIMPAR
185      REAL SBNPAR, SBNIMPAR
186      C
187      DIMENSION F(360), TETA1(360)
188      C
188.1    PI = 4.0*ATAN(1.0)
189      SANPAR = 0.0
190      SBNPAR = 0.0
191      SANIMPAR = 0.0
192      SBNIMPAR = 0.0
193      C
194      DO 14 I = 3, K, 2
195          SANIMPAR = SANIMPAR + F(I)*COS(N*TETA1(I))
196          SBNIMPAR = SBNIMPAR + F(I)*SIN(N*TETA1(I))
197      14 CONTINUE
```

```

198 C
199 DO 24 I = 2, K, 2
200     SANPAR = SANPAR + F(I)*COS(N*TETAI(I))
201     SBNPAR = SBNPAR + F(I)*SIN(N*TETAI(I))
202 24 CONTINUE
203 C
204     AN = (1.0/PI) * (DTETAR/3.0) * (F(1)*COS(N*TETAI(1)) +
205 >      2.0*SANIMPAR + 4.0*SANPAR)
206     BN = (1.0/PI) * (DTETAR/3.0) * (F(1)*SIN(N*TETAI(1)) +
207 >      2.0*SBNIMPAR + 4.0*SBNPAR)
208 C
209     RETURN
210     END
211 C
212 C
213     REAL FUNCTION CALCFI(AN, BN)
214     REAL AN, BN, PI
215 C
216     PI = 4.0*ATAN(1.0)
217 C
218     IF(ABS(AN) .LT. 1.0E-50) GO TO 11
219     CALCFI = ATAN(BN/AN)
220     GO TO 13
221 11     CONTINUE
222     CALCFI = PI/2.0
223 13 CONTINUE
224     IF(AN .GT. 0.0) GO TO 23
225     CALCFI = CALCFI + PI
226 23 CONTINUE
227     RETURN
228     END

```

1 C234567
 (1)
LINES = 60
POLL = TRUE (I.E. BATCH = FALSE)
REAR = TRUE (I.E. FRONT = FALSE)
DELTA = 1
CURRENT DEPTH = 0, THE DEPTH LIMIT = 10
RIGHT = 72
LENGTH = 72
LONG = TRUE (I.E. SHORT = FALSE)
TIME = 50
TOTAL NUMBER OF CURRENT LINES = 259
FROM = 1
LEFT = 1
FIXED = TRUE (I.E. VARIABLE = FALSE)
SIZE = 0
DISPLAY = TRUE (I.E. QUIET = FALSE)
FORMAT=DEFAULT
NO TABS USED
FILES:

WORK: K0101501

KEEP:

TEXT: DISCF0UR.GPESQ5.PESQUISA SAT, JAN 10, 1987, 3:01 PM

JOIN:

```

1      *CONTROL INIT
1.1    *CONTROL FILE = 07-08
1.2    *CONTROL NOLIST
2      PROGRAM WAYPLOT
3      C
4      CHARACTER*25 FILE07, FILE08, FILE99
5      CHARACTER*40 TITULO
6      CHARACTER*20 EIXOX, EIXOY, AUTOR, CURVA(6)
7      CHARACTER*30 STRING, REFERENCIA, OBSERVACAO(4)
8      CHARACTER*8 DATA, ARQUIVO
9      C
10     INTEGER ITITULO(20), IEIXOX(10), IEIXOY(10), IREFERENCIA(15)
11     INTEGER IAUTOR(10), IOBSERVACAO(15), ICURVA(10), IDATA(4)
12     INTEGER ISTRING(15)
13     INTEGER I, NOBS, NCURV
14     INTEGER IPEN, IPT, IAZ, IVD, IVM
14.1   INTEGER LINTYP, ICASADEC
15     C
16     REAL XX, YY, XTIC, YTIC, ATLEN
17     REAL XMIN, XMAX, YMIN, YMAX
18     REAL X, Y(6), ESCALA(6)
19     C
20     EQUIVALENCE(TITULO, ITITULO)
21     EQUIVALENCE(OBSERVACAO, IOBSERVACAO)
22     EQUIVALENCE(DATA, IDATA)
23     EQUIVALENCE(AUTOR, IAUTOR)
24     EQUIVALENCE(REFERENCIA, IREFERENCIA)
25     EQUIVALENCE(EIXOX, IEIXOX)
26     EQUIVALENCE(EIXOY, IEIXOY)
27     EQUIVALENCE(CURVA, ICURVA)
28     EQUIVALENCE(STRING, ISTRING)
29     C
30     DATA FILE07 /"FILE FTM07;DEV=24;CCTL"/
31     DATA FILE08 /"FILE FTM08;DEV=24;CCTL"/
32     DATA FILE99 /"FILE FTM99=          ,OLD"/
33     C
34     FILE07(25:11) = X15C
35     FILE08(25:11) = X15C
36     FILE99(25:11) = X15C
37     C
38     C
39     C   INTERRUPTAO DA EXECUCAO DO PROGRAMA DURANTE O PROCESSAMENTO
40     C   ATRAVES DO CONTROL Y
41     C
42     ON CONTROL Y CALL STOPLOTTER
43     C
44     C
45     C***  LEITURA DO TITULO DO GRAFICO, NOME DO EIXO X E DO EIXO Y
46     C
47     WRITE(6, 600) "***** INFORMACOES GERAIS SOBRE O GRAFICO *****"
48     600 FORMAT(1H1, 3/1X, 15X, S//)
49     WRITE(6, 601) "1. TITULO DO GRAFICO (MAXIMO 40 CARACTERES)"
50     601 FORMAT(1X, 10X, S)
51     WRITE(6, *) " "
52     602 FORMAT(1X, 10X)
53     WRITE(6, 601) "1234567890123456789012345678901234567890"
54     WRITE(6, 602)

```

```

55      READ(5, 500) TITULO
56      500 FORMAT(S)
57      WRITE(6, 601) '2. NOME DO EIXO "X" (MAXIMO 20 CARACTERES)'
58      WRITE(6, *) " "
59      WRITE(6, 601) "12345678901234567890"
60      WRITE(6, 602)
61      READ(5, 500) EIXOX
62      WRITE(6, 601) '3. NOME DO EIXO "Y" (MAXIMO 20 CARACTERES)'
63      WRITE(6, *) " "
64      WRITE(6, 601) "12345678901234567890"
65      WRITE(6, 602)
66      READ(5, 500) EIXOY
67      C
68      C***  LEITURA DAS INFORMACOES GERAIS SOBRE A LEGENDA
69      C
70      WRITE(6, 600) "***** INFORMACOES GERAIS SOBRE A LEGENDA *****"
71      WRITE(6, 601) "1. TITULO DA LEGENDA (MAXIMO 30 CARACTERES)"
72      WRITE(6, *) " "
73      WRITE(6, 601) "123456789012345678901234567890"
74      WRITE(6, 602)
75      READ(5, 500) REFERENCIA
76      WRITE(6, 601) "2. DATA"
77      WRITE(6, *) " "
78      WRITE(6, 601) "dd/mm/aa"
79      WRITE(6, 602)
80      READ(5, 500) DATA
81      WRITE(6, 601) "3. AUTOR DO PROJETO (MAXIMO 20 CARACTERES)"
82      WRITE(6, *) " "
83      WRITE(6, 601) "12345678901234567890"
84      WRITE(6, 602)
85      READ(5, 500) AUTOR
86      WRITE(6, 601) "4. OBSERVACOES (MAX. 3 LINHAS C/ 20 CARACTERES CADA)"
87      WRITE(6, *) " "
88      I = 0
89      12 CONTINUE
90          I = I + 1
91          IF(I .GT. 3) GO TO 14
92          WRITE(6, 601) "123456789012345678901234567890"
93          WRITE(6, 602)
94          READ(5, 500) OBSERVACAO(I)
95          IF(OBSERVACAO(I)[1:10] .NE. " ") GO TO 12
96      14 CONTINUE
97      NOBS = I - 1
98      C
99      C***  INFORMACOES GERAIS SOBRE A GRADUACAO DOS EIXOS
100     C
101     WRITE(6, 600) "***** GRADUACAO DOS EIXOS COORDENADOS *****"
102     WRITE(6, 601) 'VALOR MINIMO PARA O EIXO "X" = '
103     READ(5, *) XMIN
104     WRITE(6, 601) 'VALOR MAXIMO PARA O EIXO "X" = '
105     READ(5, *) XMAX
106     WRITE(6, 601) 'VALOR MINIMO PARA O EIXO "Y" = '
107     READ(5, *) YMIN
108     WRITE(6, 601) 'VALOR MAXIMO PARA O EIXO "Y" = '
109     READ(5, *) YMAX
110     WRITE(6, 601) "ORIGEM DO SISTEMA DE EIXOS COORDENADOS (X0, Y0) = "
111     READ(5, *) X0, Y0

```

```

111.1 WRITE(6, 601) "NUMERO DE CASA DECIMAIS PARA GRADUACAO = "
111.2 READ(5, *) ICASADEC
112 C
113 C*** LEITURA DAS INFORMACOES SOBRE AS CURVAS
114 C
115 WRITE(6, 600) "***** INFORMACOES SOBRE AS CURVAS *****"
116 WRITE(6, 601) "NOME DO ARQUIVO DOS PONTOS DAS CURVAS = "
117 READ(5, 501) ARQUIVO
118 501 FORMAT(S)
119 FILE99(12:8) = ARQUIVO
120 WRITE(6, 601) "QUANTIDADE DE CURVAS (MAXIMO 6 CURVAS) = "
121 READ(5, *) NCURV
122 DO 24 I = 1, NCURV
123 WRITE(6, 603) "NOME DA CURVA", I, "(MAXIMO 20 CARACTERES)"
124 603 FORMAT(1X, 10X, S, 1X, I1, 3X, S)
125 WRITE(6, *) " "
126 WRITE(6, 601) "12345678901234567890"
127 WRITE(6, 602)
128 READ(5, 501) CURVA(I)
129 WRITE(6, 603) "VALOR, POR UNIDADE DO EIXO Y, PARA A CURVA",
130 > I, "=> ESCALA 1:"
131 READ(5, *) ESCALA(I)
132 24 CONTINUE
133 C
134 C*** INFORMACOES DOS NUMEROS DAS PENAS
135 C
136 WRITE(6, 600) "***** NUMEROS DE REFERENCIA DAS PENAS *****"
137 WRITE(6, 601) "NUMERO DE REFERENCIA DA PENA PRETA = "
138 READ(5, *) IPT
139 WRITE(6, 601) "NUMERO DE REFERENCIA DA PENA AZUL = "
140 READ(5, *) IAZ
141 WRITE(6, 601) "NUMERO DE REFERENCIA DA PENA VERDE = "
142 READ(5, *) IVD
143 WRITE(6, 601) "NUMERO DE REFERENCIA DA PENA VERMELHA = "
144 READ(5, *) IVM
145 C
146 C*** AUTORIZACAO PARA USO DO PLOTTER
147 C
148 WRITE(6, 600) "***** AUTORIZACAO PARA USO DO PLOTTER *****"
149 WRITE(6, 601) "SOLICITE AO OPERADOR AUTORIZACAO PARA USAR O"
150 WRITE(6, 601) "O PLOTTER, APOS A CONCESSAO DO USO, DIGITE O"
151 WRITE(6, 601) "COMANDO " :RESUME" "
152 WRITE(6, 604)
153 604 FORMAT(5/1X, 38X)
154 PAUSE
155 C
156 C*** EQUACOES DE ACESSO AO PLOTTER E ARQUIVO DE DADOS
157 C
158 CALL COMMAND(FILE99, N1, N2)
159 CALL COMMAND(FILE07, N1, N2)
160 CALL COMMAND(FILE08, N1, N2)
161 C
162 C*** INICIALIZACAO DO PLOTTER
163 C
164 CALL PLOTS(1, 7, 8)
165 C
166 C*** DELIMITACAO DA AREA DE TRABALHO SOBRE O PAPEL

```



```

167 C
168 CALL LIMIT(0.88, 13.13, 0.94, 9.7)
169 C
170 C*** ESTABELECIMENTO DA UNIDADE ADOPTADA (POLEGADA)
171 C
172 CALL SETIN
173 C
174 C*** TRACADO DAS MARGENS (EXTERNA E INTERNA) NO FORMATO A4
175 C
176 CALL LOCATE(0.31, 12.0, 0.31, 8.6)
177 CALL NEWPEN(IPT)
178 CALL FRAME
179 CALL LOCATE(0.5, 11.8, 0.5, 7.6)
180 CALL FRAME
181 CALL PENUP
182 CALL MOVE(6.13, 7.6)
183 CALL PENDN
184 CALL PLOT(6.13, 8.4, 4)
185 CALL PENUP
186 C
187 C*** TRACADO DA LEGENDA
188 C
189 CALL MOVE(8.5827, 1.1024)
190 CALL PENDN
191 CALL PLOT(11.8, 1.1024, 5)
192 CALL MOVE(11.8, 1.4961)
193 CALL PENDN
194 CALL PLOT(8.5827, 1.4961, 5)
195 CALL MOVE(8.5827, 2.0669)
196 CALL PENDN
197 CALL PLOT(11.8, 2.0669, 5)
198 X1 = 8.5827
199 X2 = 11.8
200 YY = 2.4803
201 DO 34 I = 1, NCURV
202 CALL MOVE(X2, YY)
203 CALL PENDN
204 CALL PLOT(X1, YY, 5)
205 AUX = X2
206 X2 = X1
207 X1 = AUX
208 YY = YY + 0.3937
209 34 CONTINUE
210 YY = YY + 0.1969
211 CALL MOVE(11.8, YY)
212 CALL PENDN
213 CALL PLOT(8.5827, YY, 5)
214 CALL PENDN
215 CALL PLOT(8.5827, 0.5, 5)
216 CALL MOVE(9.5669, 1.1024)
217 CALL PENDN
218 CALL PLOT(9.5669, 1.4961, 5)
219 CALL MOVE(9.3701, 2.0669)
220 CALL PENDN
221 CALL PLOT(9.3701, YY, 5)
222 CALL MOVE(10.1575, YY)
223 CALL PENDN

```

```

224      CALL PLOT(10.1575, 2.0669, 5)
225      STRING[1:6] = "ESCALA"
226      CALL SYMBOL(8.7402, YY-0.3937, 0.0709, ISTRING, 0.0, 6)
227      STRING[1:10] = "TIPO LINHA"
228      CALL SYMBOL(9.4094, YY-0.3937, 0.0709, ISTRING, 0.0, 10)
229      STRING[1:19] = "DESIGNACAO DA CURVA"
230      CALL SYMBOL(10.2953, YY-0.3937, 0.0709, ISTRING, 0.0, 19)
230.1    CALL SYMBOL(8.6614, 1.6535, 0.0984, IREFERENCIA, 0.0, 30)
231      STRING[1:4] = "DATA"
232      CALL SYMBOL(8.6220, 1.2992, 0.0709, ISTRING, 0.0, 4)
232.1    CALL SYMBOL(8.7402, 1.1417, 0.0709, IDATA, 0.0, 8)
233      STRING[1:5] = "PROJ."
234      CALL SYMBOL(9.6457, 1.2992, 0.0709, ISTRING, 0.0, 5)
234.1    CALL SYMBOL(9.7245, 1.1417, 0.0709, IAUTOR, 0.0, 20)
235      STRING[1:12] = "OBSERVACOES:"
236      CALL SYMBOL(8.6220, 0.9059, 0.0709, ISTRING, 0.0, 12)
240      Y2 = 0.7874
241      DO 44 I = 1, NOBS
242          STRING[1:30] = OBSERVACAO(I)
243          CALL SYMBOL(9.0157, Y2, 0.0709, ISTRING, 0.0, 30)
244          Y2 = Y2 - 0.1181
245      44 CONTINUE
246      C
247      C*** PLOTAGEM DOS EIXOS COORDENADOS
248      C
249      CALL LOCATE(1.6937, 7.9528, 1.2598, 6.0236)
250      CALL MAPUU(XMIN, XMAX, YMIN, YMAX)
251      XTIC = (XMAX-XMIN)/20.0
252      YTIC = (YMAX-YMIN)/20.0
253      CALL FXD(ICASADEC)
262      CALL CSIZEA(YTIC/3.0, 0.700, 0.0)
263      CALL LAXES(XTIC, YTIC, X0, Y0, -5, 5, 1.0)
264      CALL SETIN
265      CALL SYMBOL(6.2599, 0.8268, 0.0787, IEIXOX, 0.0, 20)
266      CALL SYMBOL(0.7874, 4.3307, 0.0787, IEIXOY, 90.0, 20)
267      CALL SETUU
267.1    C
267.2    C*** PLOTAGEM DOS PONTOS DAS CURVAS E PREENCHIMENTO
267.3    C DA LEGENDA
267.4    C
268      IPEN = 0
269      PATLEN = 1.0E-50
270      LINTYP = 1
271      Y2 = YY - 0.8268
272      DO 64 I = 1, NCURV
273          REWIND 99
273.1      READ(99, *)
274          READ(99, *) X, (Y(J), J = 1, NCURV)
275          IPEN = IPEN + 1
276          IF(IPEN .EQ. IPT) IPEN = IPEN + 1
277          IF(IPEN .LE. 4) GO TO 74
278          IPEN = 1
279          IF(IPEN .EQ. IPT) IPEN = IPEN + 1
280          LINTYP = LINTYP + 1
281      74 CONTINUE
283      CALL NEWPEN(IPEN)
284      CALL DASLNA(LINTYP, PATLEN)

```

```

284.1      CALL PENUP
285      CALL MOVE(X, Y(I))
286      CALL PENDN
287      82  CONTINUE
288          READ(99, *, END=84) X, (Y(J), J = 1, NCURV)
289          CALL PLOT(X, Y(I)/ESCALA(I), 4)
290          GO TO 82
291      84  CONTINUE
292      CALL SETIN
293      CALL PENUP
294      STRING(1:2) = "1;"
295      CALL SYMBOL(8.7402, Y2, 0.0709, ISTRING, 0.0, 2)
296      CALL NUMBER(8.8977, Y2, 0.0709, ESCALA(I), 0.0, 2)
296.1      CALL PENSPD(18)
297      CALL PENUP
298      CALL MOVE(9.4488, Y2)
299      CALL PENDN
300      CALL PLOT(10.0394, Y2, 5)
300.1      STRING(1:20) = CURVA(I)
301      CALL SYMBOL(10.1969, Y2, 0.0709, ISTRING, 0.0, 20)
302      CALL SETUU
302.1      Y2 = Y2 - 0.3937
303      64  CONTINUE
303.1      CALL SETIN
303.11     CALL NEWPEN(IPT)
303.12     CALL CFONT(4, 53)
303.13     CALL DASLNA(1, PATLEN)
303.2     CALL SYMBOL(1.5748, 6.6929, 0.1969, ITITULO, 0.0, 40)
304      CALL NEWPEN(0)
305      CALL PLOT(0.0, 0.0, 999)
306      CALL PLOTDF
307      STOP
308      END
309      SUBROUTINE STOPLOTTER
310      CALL NEWPEN(0)
311      CALL PLOT(0.0, 0.0, 999)
312      CALL PLOTDF
313      STOP
314      END

```

POLL = TRUE (I.E. BATCH = FALSE)
REAR = TRUE (I.E. FRONT = FALSE)
DELTA = 1
CURRENT DEPTH = 0, THE DEPTH LIMIT = 10
RIGHT = 72
LENGTH = 72
LONG = TRUE (I.E. SHORT = FALSE)
TIME = 50
TOTAL NUMBER OF CURRENT LINES = 324
FROM = 1
LEFT = 1
FIXED = TRUE (I.E. VARIABLE = FALSE)
SIZE = 0
DISPLAY = TRUE (I.E. QUIET = FALSE)
FORMAT=DEFAULT
NO TABS USED
FILES:

WORK: K0101459

KEEP:

TEXT: WAYPLOT.GPES05.PESQUISA SAT, JAN 10, 1987, 3:00 PM

JOIN: