

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**CONTRIBUIÇÕES EXPERIMENTAIS NA ÁREA DE
QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.**

Angelo César de Lourenço

1210001247



Ilha Solteira - SP

unesp



“Contribuições Experimentais na Área de Qualidade de Energia Elétrica”

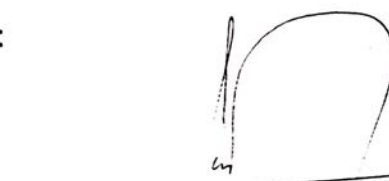
Angelo César de Lourenço

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA (ME).

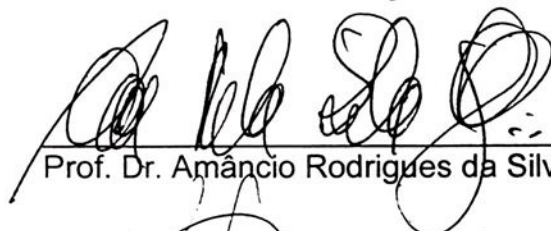


Prof. Dr. Antonio Padilha Feltrin – Coordenador

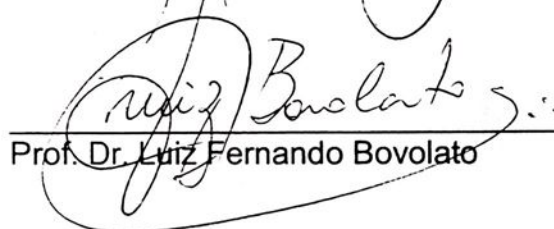
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Luís Carlos Origa de Oliveira - orientador



Prof. Dr. Amâncio Rodrigues da Silva Júnior

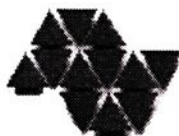


Prof. Dr. Luiz Fernando Bovolato

Ilha Solteira – SP, julho de 2001

BCpIS - FEIS - UNESP

UNESP
FEIS
DEE



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CONTRIBUIÇÕES EXPERIMENTAIS NA ÁREA DE
QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.

Angelo César de Lourenço

1210001247



Proc. 040/2001-URD 126/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBADO
02/10/01	30/10/01
RECEBIDA	TE. 1247
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Classificação auto R\$ 10,00	

Orientador:

Prof. Dr. Luís Carlos Origa de Oliveira

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Ilha Solteira, Julho de 2001

30400007
ENGA. ELÉTRICA



SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
SIMBOLOGIA	vii
INTRODUÇÃO GERAL	viii
CAP. 1 -ITENS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 DISTÚRBIOS CARACTERÍSTICOS	2
1.2.1 INTERRUPÇÕES	2
1.2.2 AFUNDAMENTO DE TENSÃO (SAG)	3
1.2.3 SALTO DE TENSÃO (SWELL)	5
1.2.4 VARIAÇÕES DE LONGA DURAÇÃO	5
1.2.5 DISTORÇÕES HARMÔNICAS.....	5
1.3 SENSIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS	7
CAP. 2 -CLP – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	9
2.1 INTRODUÇÃO.....	9
2.2 O CLP ESTUDADO.	9
2.3 TESTE DE SENSIBILIDADE DO CLP – SAG's	11
2.3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	11
2.3.2 PROCEDIMENTO	12
2.3.3 RESULTADOS.....	13
2.4 TESTE DE SENSIBILIDADE DO CLP – INTERRUPÇÕES	15
2.4.1 PROCEDIMENTO	15
2.4.2 RESULTADOS.....	15
2.5 RESULTADOS.....	16
2.6 CONCLUSÃO.....	17
CAP. 3 -CONTADORES.....	18
3.1 INTRODUÇÃO.....	18
3.2 DETERMINAÇÃO DA SENSIBILIDADE.....	19
3.2.1 MATERIAIS UTILIZADOS	19
3.2.2 PROCEDIMENTOS	20

3.2.3	RESULTADOS.....	21
3.2.3.1	CONTATOR 1.....	22
3.2.3.2	CONTATOR 2.....	25
3.2.3.3	CONTATOR 3.....	28
3.2.3.4	CONTATOR 4.....	31
3.3	CONCLUSÃO.....	34
CAP. 4 -CHAVES DE PARTIDA ESTÁTICAS – SOFT-STARTER.....		35
4.1	INTRODUÇÃO.....	35
4.2	MOTOR DE INDUÇÃO TRÍFASICO.....	36
4.3	ESTUDO DA CHAVE DE PARTIDA ESTATICA.....	37
4.3.1	CONCEITOS.....	37
4.3.2	GRADADORES.....	37
4.3.2.1	HARMÔNICOS DA CORRENTE DE CARGA:.....	39
4.3.2.2	ESTRUTURAS TRIFÁSICAS.....	40
4.3.3	PARÂMETROS.....	41
4.3.4	FUNÇÃO ECONOMIA DE ENERGIA.....	44
4.4	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	45
4.4.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:.....	45
4.4.2	PARTIDA DO MOTOR.....	47
4.4.3	FUNÇÃO ECONOMIA DE ENERGIA.....	52
4.4.4	SENSIBILIDADE A DISTÚRBIOS.....	55
4.4.4.1	DISTÚRBIOS MONOFÁSICOS (FASE DO ALIMENTADOR).....	56
4.4.4.2	DISTÚRBIOS TRIFÁSICOS.....	58
4.4.4.3	RESULTADOS.....	60
4.5	CONCLUSÃO.....	61
CAP. 5 -LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA PRESSÃO.....		63
5.1	INTRODUÇÃO.....	63
5.1.1	LÂMPADAS DE DESCARGA.....	64
5.1.2	EFEITO ESTROBOSCÓPICO.....	65
5.2	TIPOS DE LÂMPADAS DE DESCARGA.....	66
5.2.1	LÂMPADA VAPOR DE MERCÚRIO.....	66
5.2.2	LÂMPADA DE LUZ MISTA.....	68
5.2.3	LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO.....	69
5.2.4	LÂMPADA DE MULTIVAPORES METÁLICOS.....	70
5.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	71
5.3.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	71
5.3.2	ROTEIRO.....	72
5.3.2.1	LÂMPADAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS.....	74



5.4	RESULTADOS	75
5.4.1	LÂMPADAS DE LUZ MISTA	75
5.4.1.1	160W	75
5.4.1.2	250W	75
5.4.1.3	500W	75
5.4.2	LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO	79
5.4.2.1	80W	79
5.4.2.2	125W (Fabricante 1)	79
5.4.2.3	125W (Fabricante 2)	79
5.4.2.4	400W	80
5.4.3	LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO	84
5.4.3.1	400W	84
5.5	CONCLUSÃO	87
CAP. 6	- APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS	88
6.1	INTRODUÇÃO	88
6.1.1	BANCO DE DADOS – ESTRUTURA	89
6.1.2	ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS	90
6.2	O PROGRAMA	92
6.3	CONCLUSÃO	97
CAP. 7	- CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
	ÍNDICE DE FIGURAS	102
	APÊNDICE I	105



AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho a todos que de alguma forma estiveram presentes em minha vida.

Aos amigos que fiz nas vizinhanças, no colégio, no curso de graduação, no mestrado e também aos novos amigos que fiz no meu ambiente de trabalho.

Aos colegas Daniela, Devair, Gilvana e Rodrigo com os quais dividi os espaços nos laboratórios, e que considero como bons colegas de trabalho,

Aos colegas Rogério, Silvio e Tony com os quais vivi por longos dois anos, e que considero parte da minha família,

Aos mestres dos longos anos de colégio, graduação e do mestrado.

Ao professor Origa, que não foi apenas o orientador, mas também o amigo e companheiro que não se limitou apenas a orientar, ensinar e instruir mas também a pensar, discutir e aconselhar.

Aos professores Rossi, Bovolato e Amâncio que foram mestres, conselheiros, companheiros e participaram da banca de avaliação e deram suas contribuições a esse trabalho,

A toda minha família. Ao meu irmão Celso, minhas irmãs Edinéia, Rosângela e Maria. A minha mãe Etelvina e ao meu pai Angelo, que lutaram muito para que todos tivéssemos a dádiva da vida e conhecêssemos os valores de um ser humano.

A Deus.

RESUMO

Em uma moderna instalação industrial há equipamentos que exigem uma fonte de alimentação que forneça condições consideradas ideais, como valor de tensão e frequência invariáveis e forma de onda senoidal. O sistema elétrico está sujeito a condições adversas, que provocam variações dessas condições. Essas variações provocam reações diversas dependendo do tipo de equipamento e do processo.

Uma redução do valor eficaz da tensão, mesmo que por pouco tempo, pode provocar o desligamento de equipamentos eletrônicos, perda de potência em máquinas elétricas como nos motores de indução, falhas de comando em dispositivos de acionamento como nos CLP, soft starter e inversores, e ainda perda de luminosidade ou o desligamento total de lâmpadas de descarga.

Como conseqüências para um consumidor podemos citar desde desconforto, perda de produtividade até danos mais sérios aos equipamentos, sempre contabilizando prejuízos.

Este trabalho apresenta um estudo da sensibilidade de diversos equipamentos encontrados nas modernas instalações industriais, desde os contadores até os modernos acionadores eletrônicos, incluindo um estudo sobre lâmpadas de descarga de alta pressão.

Os resultados do estudo são uma contribuição, já que é raro encontrar as características de sensibilidade de um determinado equipamento na bibliografia ou através dos próprios fabricantes.

Há ainda uma aplicação computacional dos resultados experimentais do trabalho. O programa elaborado, realiza a análise de uma instalação elétrica industrial devidamente modelada a partir de seus equipamentos sensíveis.



ABSTRACT

In a modern industrial plant there are equipments that demand a feeding source that supplies conditions considered ideals, as invariable voltage and frequency rate and with sinusoidal wave forms. The electrical system is subject to adverse conditions that cause variations of the ideal conditions. Those variation cause several reactions depending on the equipment and the process type

A reduction of the RMS voltage rate can result in electronic equipments break down, a power loss in electric machines as induction motors, command failure in drive devices as CLP, Soft Starter and Inverters, loss of brightness or the break down of discharge lamps. For a consumer, consequences can be from productivity losses to serious damages in the equipments.

This work studies the sensibility of several equipments found in the modern industrial facilities, from the contatores to modern electronic drives, including a study on high pressure discharge lamps.

The results of the study are a contribution, once it is not easy to find the sensibility characteristics of a equipment in the bibliography or at the own manufacturers data.

There is also a computer application of the experimental results of the work. The program analyses an industrial electrical installation properly modeled from your sensitive equipments.



SIMBOLOGIA

Símbolos e Abreviações :

Símbolo	Significado
1ϕ	Monofásico;
3ϕ	Trifásico;
α	Ângulo de disparo dos tiristores;
$a_0, b_0,$	Coeficientes da série de fourier de índice 0, conhecidos como componentes DC;
$a_n, b_n,$	Coeficientes da série de fourier de índice n, onde $n=1, 2, 3, \dots$;
β	Ângulo de extinção da condução de corrente em tiristores;
$\cos \phi$	Fator de potência (deslocamento) da carga;
ϕ	Ângulo de defasagem da corrente em relação à tensão;
i	Corrente instantânea de uma carga;
I_N	Valor eficaz de corrente (nominal);
MIT	Motor de Indução Trifásico;
n	Ordem harmônica;
pu	Por unidade
s	Escorregamento do motor de indução;
v	Tensão instantânea de uma fonte ou sobre a carga;
V_{AC}	Medida de tensão em corrente alternada;
V_{DC}	Medida de tensão em corrente contínua;
V_N	Valor de tensão nominal;

Unidades do SI

Símbolo	Significado
A	Ampere (Intensidade da Corrente Elétrica)
H	Henry (Indutância)
Hz	Hertz (Frequência do sinal);
Seg	Segundo (Tempo);
V	Volt (Diferença de Potencial – Tensão)



INTRODUÇÃO GERAL

Os fatores relacionados com o estudo de qualidade da energia elétrica podem afetar ou comprometer o fornecimento de energia aos consumidores. esses fatores se manifestam tanto a nível local, na própria instalação, como a nível de sistema.

Pode-se considerar como ideal em um sistema, uma forma de onda perfeitamente senoidal, com frequência constante geralmente 50 ou 60 Hz e com valor de pico sem variações de curta ou longa duração. Mas um sistema elétrico, por mais bem gerenciado, não pode nos fornecer uma tensão com estas características. Algumas variações são normais, como pequenas variações na magnitude da tensão, na frequência e até mesmo uma certa distorção na forma de onda. Algumas situações que ocorrem tanto a nível de sistema elétrico como nas instalações dos consumidores podem levar a baixa qualidade de energia isto é, desvios das condições, por exemplo excesso de manobras, descargas atmosféricas, uso de cargas não lineares.

Os avanços na áreas da Micro eletrônica e da Eletrônica de Potência tem contribuído para a rápida substituição de equipamentos e modernização das instalações. Os mudanças são sentidas tanto nas instalações industriais e comerciais quanto nas residenciais. Os circuitos eletrônicos destes equipamentos exigem uma tensão dentro de limites predeterminados para o perfeito funcionamento. Variações da magnitude da tensão ou uma micro interrupção do fornecimento podem levar os circuitos a um erro de operação ou a danos mais sérios.

A bibliografia sobre o tema é abrangente em análises teóricas, estudos de casos reais e apresentação de soluções e melhorias. Os estudos para a contabilização de prejuízos causados aos consumidores, especialmente os industriais, também são facilmente encontrados, nestes casos pode-se concluir que os problemas são graves e um estudo que apresente novas soluções é justificável. Os prejuízos variam muito dependendo do área de atuação do consumidor, o porte da indústria e a natureza do distúrbio. A contabilidade leva em consideração principalmente o tempo necessário para o restabelecimento do processo produtivo. Em alguns casos é apenas o tempo necessário para o religamento dos equipamentos. Há casos onde a após a parada do processo é necessário realizar uma limpeza na linha de produção, ajustes nas máquinas e outras providências, o religamento pode levar várias horas. Os casos mais graves levam em consideração danos aos equipamentos, onde o tempo necessário à manutenção é indefinido. Deve-se levar em conta também as perdas de matéria prima e produtos pós manufatura, que geralmente são descartados por apresentarem qualidade



duvidosa. Em termos monetários, isto é, quanto custa a um único consumidor um distúrbio pode-se citar casos onde os prejuízos são da ordem de dezenas de milhares de Reais, a figura 1.1 ilustra os custos estimados para interrupção de processos por um intervalo inferior a 1 minuto para diversos setores produtivos.

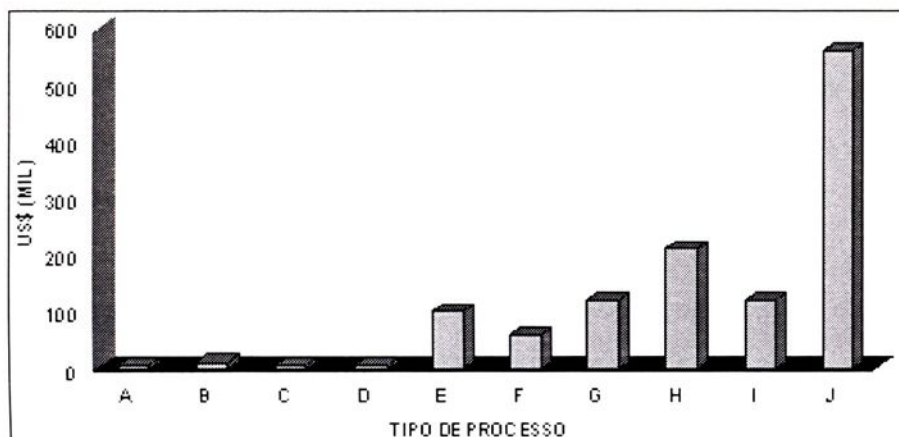


Figura 1.1 Custo da interrupção de um processo produtivo.

Onde os tipo de processo são:

- A – INDÚSTRIA DE PAPEL;
- B – COMÉRCIO EM GERAL;
- C – INDÚSTRIA QUÍMICA;
- D – INDÚSTRIA DE BORRACHA/PLÁSTICO;
- E – INDÚSTRIA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS;
- F – INDÚSTRIA DE COMPUTADORES;
- G – MINERAÇÃO DE METAIS;
- H – INDÚSTRIA DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS;
- I – INDÚSTRIA DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO;
- J – PETRÓLEO.

Este trabalho foi estruturado em 7 capítulos:

O capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica onde são abordados os principais distúrbios do sistema elétrico, suas classificações e as características de sensibilidade dos equipamentos. Esta revisão bibliográfica realizada logo no início dos trabalhos despertou o interesse sobre exatamente o quão sensível é um determinado equipamento a um distúrbio caracterizado. A escassez dessas informações e a estrutura laboratorial disponível direcionou este trabalho.

O capítulo 2 trata dos CLP's, o Controlador Lógico Programável, a importância, suas aplicações e características construtivas. Um estudo experimental é realizado visando determinar a sensibilidade de um CLP a diversos distúrbios na tensão.

O capítulo 3 trata de contadores e relés eletromecânicos. Por dependerem fortemente do valor eficaz da tensão que alimenta sua bobina, esses equipamentos são facilmente caracterizados. Foram ensaiados 4 (quatro) modelos de contadores, sendo aplicada uma metodologia mais eficiente do que no ensaio do CLP, tendo sido aplicada aos demais equipamentos deste trabalho.

O capítulo 4 trata das Chaves de Partida Estática, "Soft Starter". Cada vez mais presente nas indústrias, essas chaves são tratadas na bibliografia como muito sensíveis a qualquer distúrbio na tensão e também como altamente prejudiciais à qualidade de energia elétrica, já que são grandes geradoras de correntes harmônicas, especialmente na momento da partida do motor. São abordados os princípios de funcionamento do gradador, que é o circuito básico das chaves e realizado um estudo experimental da chave durante a partida objetivando a determinação da sua sensibilidade a distúrbios monofásicos e trifásicos.

O capítulo 5 trata das lâmpadas de descarga de alta pressão. Mais uma vez um equipamento não eletrônico, mas que é de grande importância no ambiente industrial. Aqui são tratados os princípios de funcionamento e as principais aplicações. O estudo experimental visa determinar a curva sensibilidade de diversos tipos de lâmpadas e ainda se para um determinado tipo há variação dependendo do fabricante e da potência da Lâmpada.



Os capítulos 2 a 5 tratam da determinação da sensibilidade dos equipamentos aos distúrbios, como resultados temos as curvas de sensibilidade de cada equipamento. Essas curvas foram catalogadas em um banco de dados, onde estão armazenadas os nomes dos equipamentos e os dados da curva. O capítulo 6 trata da elaboração de um programa de computador para análise de instalações sujeitas a distúrbios. Este programa é uma aplicação prática ao estudo e utiliza o banco de dados da sensibilidade dos equipamentos como base. São abordados aqui a metodologia utilizada na confecção do banco de dados e do programa.

O capítulo 7 traz as conclusões gerais dos diversos capítulos do trabalho e questões relativas às contribuições e proposta de continuidade.



CAP. 1 - ITENS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O conceito de qualidade de energia elétrica está relacionado a um conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico e que de alguma forma podem afetar um consumidor. As alterações podem ser verificadas na tensão, corrente ou frequência. Podem se manifestar a nível de instalação, e assim afetar apenas um ou alguns consumidores de um sistema, ou ainda atingir um grande número de consumidores.

As preocupações com os problemas são crescentes, principalmente com a grande adoção de equipamentos eletrônicos, especialmente os de comando por microprocessador, no qual uma variação acima de certos limites pode provocar falhas no funcionamento ou até mesmo danos ao equipamento.

Duas grandezas são verificadas para se determinar as condições normais de um sistema:

- Frequência;
- Tensão.

A frequência da onda de tensão deve se situar o mais próximo possível do valor nominal do sistema, normalmente 50 ou 60 Hz, com intervalo aceitável de $\pm 0.5\text{Hz}$. As variações na frequência são causadas principalmente pelas grandes variações de carga, as quais podem causar aceleração ou desaceleração dos geradores síncronos. Essa variação pode ser prevista através de um estudo de estabilidade do sistema, verificando-se que a frequência se normaliza em poucos instantes.

Para a tensão, devem ser observados dois aspectos: forma de onda senoidal e magnitude constante. Como no item anterior, algumas variações são inevitáveis devido às características do sistema elétrico e até mesmo aceitáveis dentro de certos limites.

A forma de onda senoidal pode ter um determinada distorção devido às características construtivas dos geradores e dos transformadores e principalmente devido ao uso de cargas não lineares, geralmente retificadores eletrônicos. Quanto à magnitude, a tensão pode apresentar variações também devido às grandes variações de carga ou devido a curto-circuitos no sistema.



1.2 DISTÚRBIOS CARACTERÍSTICOS

As variações de tensão podem ser caracterizadas por alterações nos valores de magnitude, na frequência ou na fase que compõe a tensão do sistema. Essas alterações são também verificadas na corrente. São causadas por condições de falta, energização de grandes cargas que requerem altas correntes na partida, pela saída brusca dessas cargas, entre outras causas. Dependendo do local onde ocorre a falta e das condições do sistema, podemos observar redução ou aumento no valor da tensão e dependendo das conexões e da distância da instalação do consumidor ao ponto onde houve a falta há diferença na intensidade do distúrbio.

Dentre os distúrbios que caracterizam a qualidade da energia fornecida pode-se destacar:

1.2.1 INTERRUPÇÕES

Uma interrupção pode ser definida como um decréscimo maior que 90% ou 0,9 pu na tensão do sistema, isto é, quando a tensão cai abaixo de 10% de V_N . Em geral pode-se considerar que quando ocorre uma interrupção a tensão de alimentação do sistema cai a zero.

A figura 1.2 mostra a ocorrência de uma interrupção.



Figura 1.2 Forma de onda da tensão durante uma Interrupção.

A interrupções podem ser classificadas em função do tempo de duração do distúrbio, conforme mostrada na tabela 1.1

Tabela 1.1 – Classificação das Interrupções

Duração	CLASSIFICAÇÃO
> 0,5 Ciclo	Transitória
Entre 0,5 e 30 Ciclos	Instantânea
Entre 30 Ciclos e 3 Seg.	Momentânea
Entre 3 Seg. e 1 min.	Temporária
Acima de 1 min.	Sustentada ou permanente

As interrupções são causadas principalmente por faltas nos circuitos próximos ao ponto onde é detectada, geralmente na própria instalação. A duração da interrupção está condicionada a atuação dos sistemas de proteção. Se a falta ocorre em uma máquina e somente a proteção desta atuar o restante da instalação irá sentir uma interrupção instantânea e voltará a ser alimentada normalmente. Se no entanto as proteções na entrada da instalação atuarem tem-se uma interrupção permanente ou de longa duração localizada. Um caso crítico seria a proteção de alguma subestação adjacente atuar, a interrupção de longa duração seria generalizada, atingindo um grande número de consumidores.

1.2.2 AFUNDAMENTO DE TENSÃO (SAG)

O SAG é um decremento da magnitude da tensão, cujo valor pode estar compreendido entre 10 e 90% da tensão nominal ou 0,1 a 0,9 pu. Pode ser classificado dependendo da sua duração, conforme apresentada na tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Classificação dos Afundamentos.

Duração	CLASSIFICAÇÃO
Entre 0.5 e 30 Ciclos	Instantânea
Entre 30 Ciclos e 3 Seg.	Momentânea
Entre 3 Seg. e 1 min.	Temporária

Os afundamentos de tensão são considerados a principal causa de falhas em equipamentos e interrupções de processos industriais.

A figura 1.3 mostra a ocorrência de um afundamento de tensão com intensidade de 25% e duração de 4 ciclos.

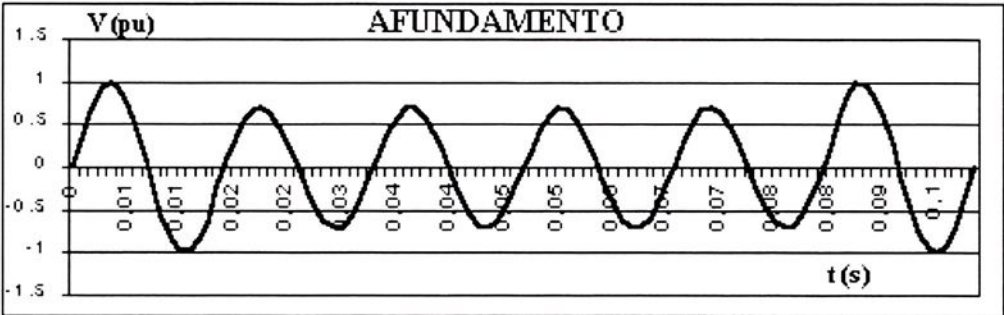


Figura 1.3 Forma de onda da tensão durante um SAG.

Os SAG's são causados principalmente por faltas no sistema elétrico tanto a nível de transmissão como de distribuição, geralmente em circuitos adjacentes, sendo propagados devido à interconexão do sistema. Outras causas importantes são as grandes variações de carga, como o religamento de circuitos e a partida de motores que em geral se caracterizam por durar um tempo relativamente longo podendo levar alguns segundos, apresentar pouca severidade e uma área de abrangência pequena, geralmente a própria instalação.

Uma falta em um determinado ponto pode apresentar diferentes conseqüências ao longo do sistema. As faltas localizadas dentro da instalação, que no item 1.2.2 foram citadas como causadoras de interrupções, podem também serem detectadas como afundamentos em outros setores da mesma instalação ou até mesmo nos consumidores vizinhos. A análise dos afundamentos é complexa, dependendo de uma série de fatores, entre eles pode-se citar:

- Tipo de falta – As faltas fase-fase e trifásicas produzem SAG's de maior severidade, em contrapartida as faltas fase-terra são muito mais freqüentes;
- Localização da falta – As faltas no sistema de transmissão são caracterizadas por uma grande severidade e extensas áreas de abrangências, já uma falta no sistema de distribuição afeta um número menor de consumidores, mas ocorrem com mais freqüência;
- Tempo de eliminação da falta – Relacionado à classificação dos distúrbios;
- Conexão dos transformadores – Um dos fatores determinantes para a ocorrência de um afundamento em vez de uma interrupção é a presença de um ou mais transformadores entre o ponto de ocorrência da falta e o consumidor. As conexões Δ e Y tem grande influência nas tensões em cada fase, a tabela 1.3 mostra a relação

Tabela 1.3 – Relação da conexão do Trafo com o nível de tensão nas fases.

Conexão do Trafo	Fase (A) – Fase (B)			Fase (AN) – Terra		
	V _{AB}	V _{BC}	V _{CA}	V _{AN}	V _{BN}	V _{CN}
Y _{ATERR} –Y _{ATERR} ou Y _{ATERR} –Y	0,58	1,00	0,58	0,00	1,00	1,00
Y–Y ou Y–Y _{ATERR}	0,58	1,00	0,58	0,33	0,88	0,88
Y– Δ ou Y _{ATERR} – Δ ou Δ – Δ	0,33	0,88	0,88	-	-	-
Δ –Y ou Δ –Y _{ATERR}	0,88	0,88	0,33	0,58	1,00	0,58

Os estudos sobre o assunto procuram estabelecer uma estatística sobre a ocorrência de um afundamento. Para tal a bibliografia se baseia em monitoramento realizados por institutos de pesquisa, consultorias especializadas e empresas concessionárias de energia elétrica.

Os objetos de estudo são as faltas, onde se procura conhecer os fenômenos que as provocam. Assim as empresas podem direcionar os investimentos necessários de modo a diminuir a possibilidade de ocorrência. Esses estudos apontam como as principais causas de faltas as descargas atmosféricas, quedas de árvores, ventos e as falhas nos equipamentos do sistema, tais como : isoladores, disjuntores, chaves seccionadoras entre outros. O maior número entretanto acaba ficando com as causas desconhecidas.

1.2.3 SALTO DE TENSÃO (SWELL)

É definido como um aumento do valor eficaz da tensão com as mesmas características (valor e tempo) de um SAG. Este evento em geral é menos comum que o SAG, são causados geralmente pela rejeição de grandes cargas em algum ponto do sistema. A figura 1.4 mostra a ocorrência de um salto de tensão.

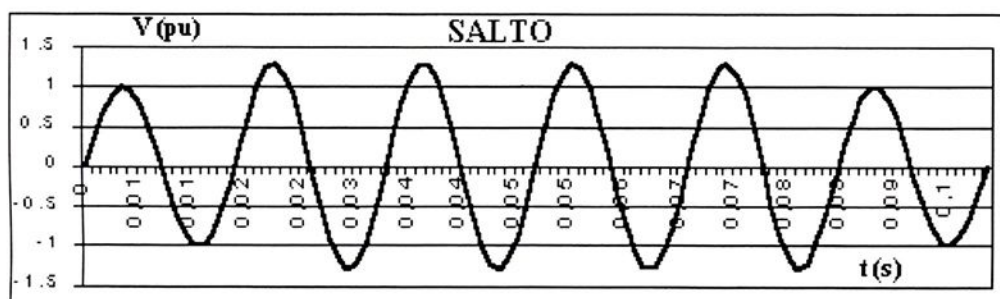


Figura 1.4 Forma de onda da tensão durante um Salto.

1.2.4 VARIAÇÕES DE LONGA DURAÇÃO

São os eventos com duração superiores a 1 minuto, sendo causados em geral por grandes variações de carga.

1.2.5 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A forma de onda ideal para tensão e corrente é a onda senoidal perfeita com frequência de 60 Hz. Com o aumento do uso das cargas não lineares, a presença de tensões e correntes com frequências harmônicas tem se tornado cada vez mais comum. O grande número de estudos realizados mostra a preocupação com este sério problema de qualidade de energia elétrica.

Os objetos de estudo são as faltas, onde se procura conhecer os fenômenos que as provocam. Assim as empresas podem direcionar os investimentos necessários de modo a diminuir a possibilidade de ocorrência. Esses estudos apontam como as principais causas de faltas as descargas atmosféricas, quedas de árvores, ventos e as falhas nos equipamentos do sistema, tais como : isoladores, disjuntores, chaves seccionadoras entre outros. O maior número entretanto acaba ficando com as causas desconhecidas.

1.2.3 SALTO DE TENSÃO (SWELL)

É definido como um aumento do valor eficaz da tensão com as mesmas características (valor e tempo) de um SAG. Este evento em geral é menos comum que o SAG, são causados geralmente pela rejeição de grandes cargas em algum ponto do sistema. A figura 1.4 mostra a ocorrência de um salto de tensão.

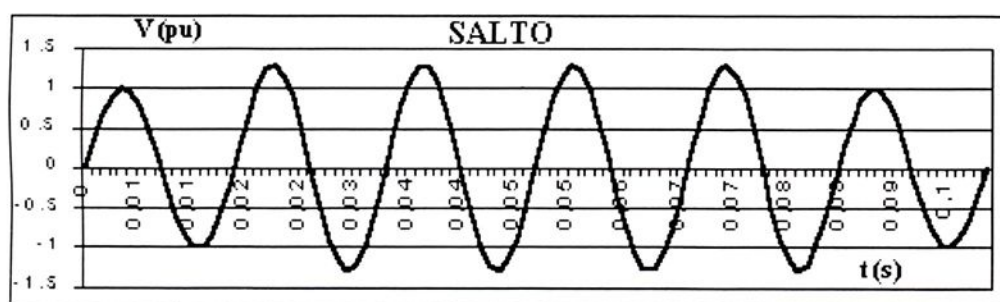


Figura 1.4 Forma de onda da tensão durante um Salto.

1.2.4 VARIAÇÕES DE LONGA DURAÇÃO

São os eventos com duração superiores a 1 minuto, sendo causados em geral por grandes variações de carga.

1.2.5 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A forma de onda ideal para tensão e corrente é a onda senoidal perfeita com frequência de 60 Hz. Com o aumento do uso das cargas não lineares, a presença de tensões e correntes com frequências harmônicas tem se tornado cada vez mais comum. O grande número de estudos realizados mostra a preocupação com este sério problema de qualidade de energia elétrica.

A figura 1.5 mostra a forma de onda da corrente de alimentação de equipamentos eletrônicos com retificador de onda completa.

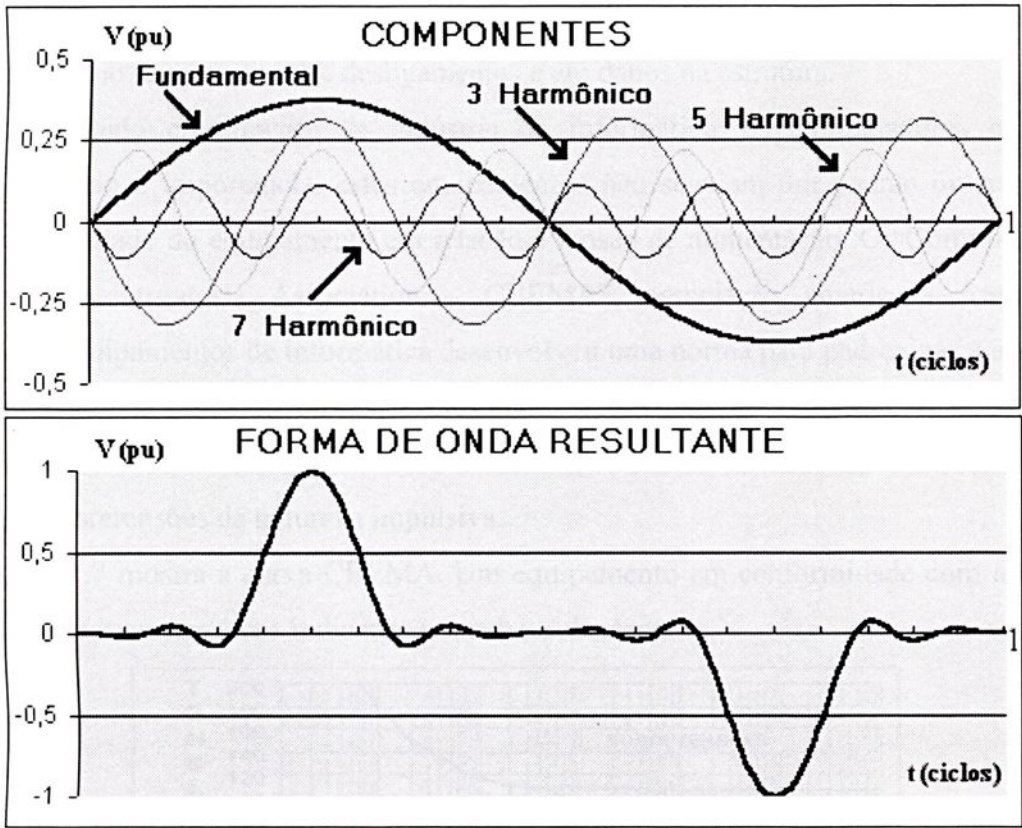


Figura 1.5 Forma de onda de corrente comum em equipamentos eletrônicos.

As cargas não lineares necessitam de componentes harmônicos, assim elas funcionam como fonte de correntes harmônicas para o sistema. Estas correntes harmônicas se propagam pelas linhas e produzem queda de tensão que, conseqüentemente, distorcem também a tensão da rede. Desta forma um consumidor pode gerar componentes harmônicos que prejudicam os outros consumidores adjacentes. A figura 1.6 mostra simplificadaamente a propagação de correntes harmônicas pelo sistema e como ocorre a distorção da tensão.

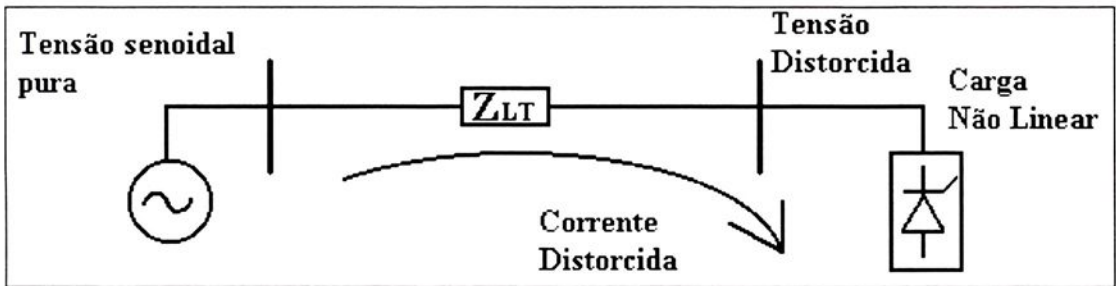


Figura 1.6 Propagação de correntes hamônicas, produzidas por uma carga não linear.

1.3 SENSIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS

Os distúrbios que afetam a qualidade de energia elétrica causam diversos problemas nos equipamentos em geral. Estes equipamentos podem ser eletrônicos ou não, e os problemas causados vão desde falhas no funcionamento, desligamentos e até danos na estrutura.

Com o rápido crescimento da indústria da informática, os computadores e periféricos ganharam mercado e importância, estes equipamentos não seguiam um padrão ou norma que se referia a sensibilidade do equipamento em relação à tensão de alimentação. O “Computer Business Equipment Manufacturer’s Association – CBEMA”, associação americana formada pelos fabricantes de equipamentos de informática desenvolveu uma norma para padronizar a sensibilidade dos equipamentos à esses distúrbios. O resultado é a curva do CBEMA, que padroniza os equipamentos em quanto o afundamento de tensão (SAG), salto de tensão (SWELL), interrupções transitórias e sobretensões de natureza impulsiva.

A figura 1.7 mostra a curva CBEMA. Um equipamento em conformidade com a curva deve apresentar suas curvas nas áreas indicadas por sub e sobretensões.

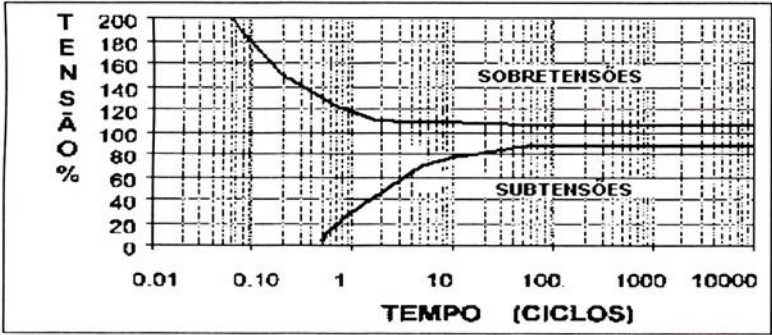


Figura 1.7 Curva CBEMA

Esta curva foi elaborada e inicialmente adotada pelos fabricantes de equipamentos de informática, mas como não havia outras normas sobre o tema, ela foi gradualmente adotada como padrão para outros equipamentos considerados sensíveis. Dentre estes equipamentos pode-se citar:

- Contatores e Relés Eletromecânicos:

Estão na categoria de equipamentos não eletrônicos. Estão presentes em qualquer instalação industrial, principalmente no acionamento de máquinas, iluminação, etc. Ensaios realizados indicam que alguns desatracam com queda de 50% da tensão nominal por 1 ciclo, outros com queda de apenas 30%, em geral ficando à margem da curva CBEMA.

- Lâmpadas de Descarga de Alta Intensidade (Vapor de Sódio, Mercúrio e Metálico):

Estes também fazem parte da categoria dos equipamentos não eletrônicos, já que os seus reatores ainda são eletromagnéticos. Os testes realizados indicam que as lâmpadas apagam com uma queda de apenas 20% da tensão nominal e requerem muito tempo para reacenderem.

- AVV (Acionadores de Velocidade Variável – CA):

Estes equipamentos integram um sistema de controle microprocessado, com circuitos retificadores e inversor es, sendo constituídos de diodos, transistores e/ou tiristores para acionamento de motores elétricos de indução e síncronos das mais diversas potências. São considerados os equipamentos mais sensíveis à variações de tensão.

- DC DRIVERS – (Acionadores de Motores de Corrente Contínua)

Esses equipamentos possuem em geral alimentação trifásica CA e são constituídos basicamente por um retificador controlado.

A figura 1.8 mostra a sensibilidade de um modelo de AVV (Acionadores de Velocidade Variável) e um contator comparados com a curva CBEMA. Observa-se que o AVV não está em conformidade com a norma, já que sua curva se situa acima da área de subtensões. Já o contator apresenta uma sensibilidade menor aos distúrbios, observa-se que em uma pequena região ele não obedece à norma (entre 1 e 3 ciclos).

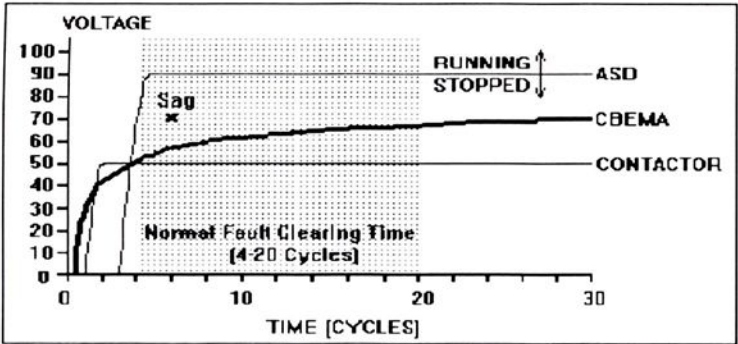


Figura 1.8 Sensibilidade de um AVV e de um Contator.

Após essa revisão inicial, o trabalho se direcionou a pesquisa dos equipamentos aqui citados. Os objetivos do estudo são a determinação precisa da sensibilidade de um equipamento a um determinado distúrbio e quais as conseqüências de uma ocorrência. Para tal, foram padronizados os procedimentos experimentais e a apresentação dos resultados sob a forma de uma curva de sensibilidade, onde os dados dos diversos equipamentos podem ser comparados entre si e também com a curva do CBEMA.

CAP. 2 - CLP – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

2.1 INTRODUÇÃO

O controlador lógico programável (CLP) é um dispositivo eletrônico que controla máquinas e processos. Utiliza um microcontrolador programável para armazenar instruções e executar funções específicas que incluem controle de energização/desenergização, temporização, contagem, seqüenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados

Os CLP's são cada vez mais usados na indústria como elemento essencial nos processo de automação industrial, melhoria na produção, controle de qualidade, etc.; e também, em outros setores como edifícios, controle de tráfego, etc.

São constituídos basicamente de:

- Fonte de alimentação;
- CPU ou UCP (unidade central de processamento);
- Conjunto de memórias (memória do programa monitor, memória do programa do usuário, memória de dados, etc.);
- Interface de entrada e saída.

2.2 O CLP ESTUDADO.

Foi realizado um prévio estudo a respeito de CLP's, controlador lógico programável, com o auxílio da bibliografia citada e dos manuais.

O modelo utilizado era caracterizado por:

- Alimentação de 90 – 240V_{AC};
- 8 entradas (X0000 – X0007) 24VDC – Estado Sólido – Opto-acopladas;
- 8 saídas, sendo 2 de estado sólido (Y0020 e Y0021 – 24VDC) também Opto-acopladas, e 6 eletromagnéticas (Y0022 a Y0027 – até 220VAC);



A partir deste estudo foi montado um processo simples controlado por um CLP, que constava de um acionamento alternado e periódico de diversos contatos.

O processo é representado pelo programa abaixo, figura 2.1, em diagrama dos contatos:

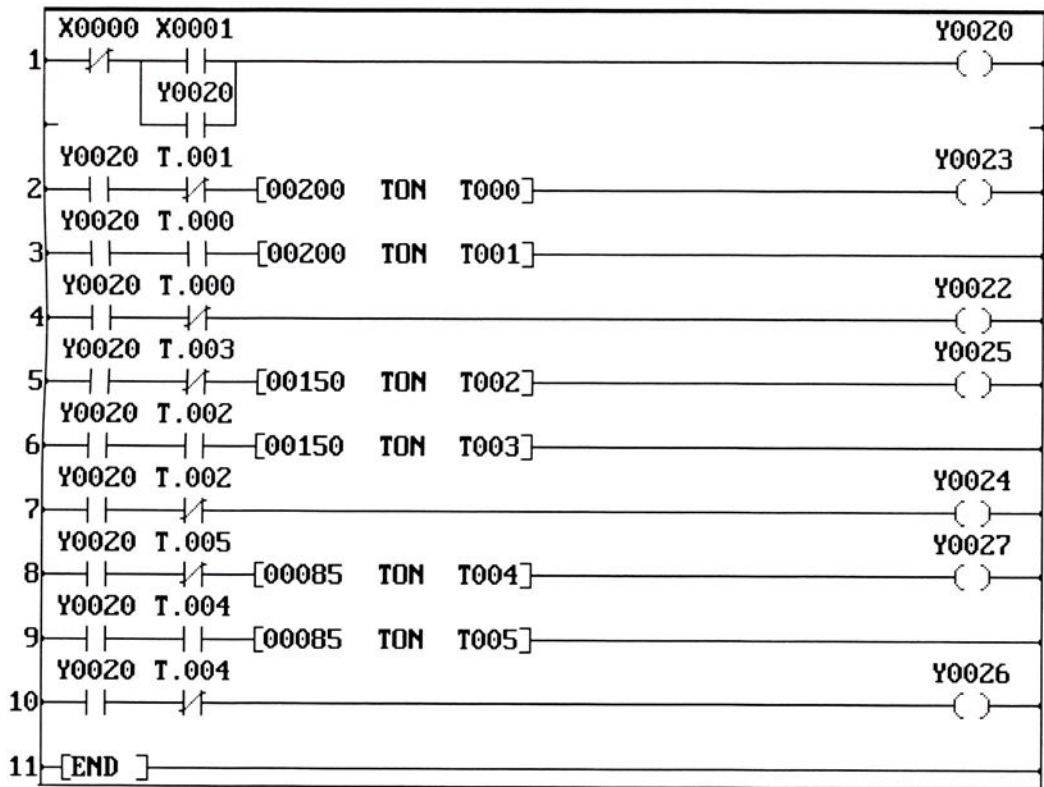


Figura 2.1 Programa executado pelo CLP.

Sucintamente o programa acima representa um conjunto de máquinas acionadas simultaneamente pelas entradas X0000 e X0001 (botão desliga e liga) e acionam as saídas Y0022 a Y0026 de forma alternada.

2.3 TESTE DE SENSIBILIDADE DO CLP – SAG's

Para se verificar a sensibilidade do CLP foram realizados ensaios onde procurava-se o ponto de operação do CLP na curva de sensibilidade.

Para fazer o monitoramento dos contatos foi ligada uma fonte de 5 V_{DC}, nas saídas eletromagnéticas e estas foram ligados a um sistema de aquisição de dados.

Para se fazer a simulação de um SAG, foi utilizada a fonte – CI- 5001i. Esta fonte é controlada via computador por um programa fornecido pelo fabricante. Com este programa, foi realizada a montagem das rotinas de transitórios, como interrupções transitórias e SAG's.

O processo compreendia em aplicar no CLP uma seqüência de SAG's, variando a duração e a intensidade e verificar o comportamento do CLP através do sistema de aquisição de dados, onde eram monitorados a tensão de alimentação e a saída Y0026 do CLP.

2.3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

- Fonte CI (California Instruments) – 6000L – Trifásica;
- Fonte CI (California Instruments) – 5001i – Monofásica;
- CLP TOSHIBA T1 – MDR16;
- FONTE SIMÉTRICA – 0 a 15VDC;
- SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS – “WAVE BOOK 516” – IOTECH®;
- OSCILOSCÓPIO TECTRONIX – TDS 320;
- MICROCOMPUTADOR IBM – PC100;
- Fios e Cabos para conexão;
- 1 par de Botoeiras – NA;
- Protoboard;



2.3.2 PROCEDIMENTO

A montagem segue o esquema da figura 2.2:

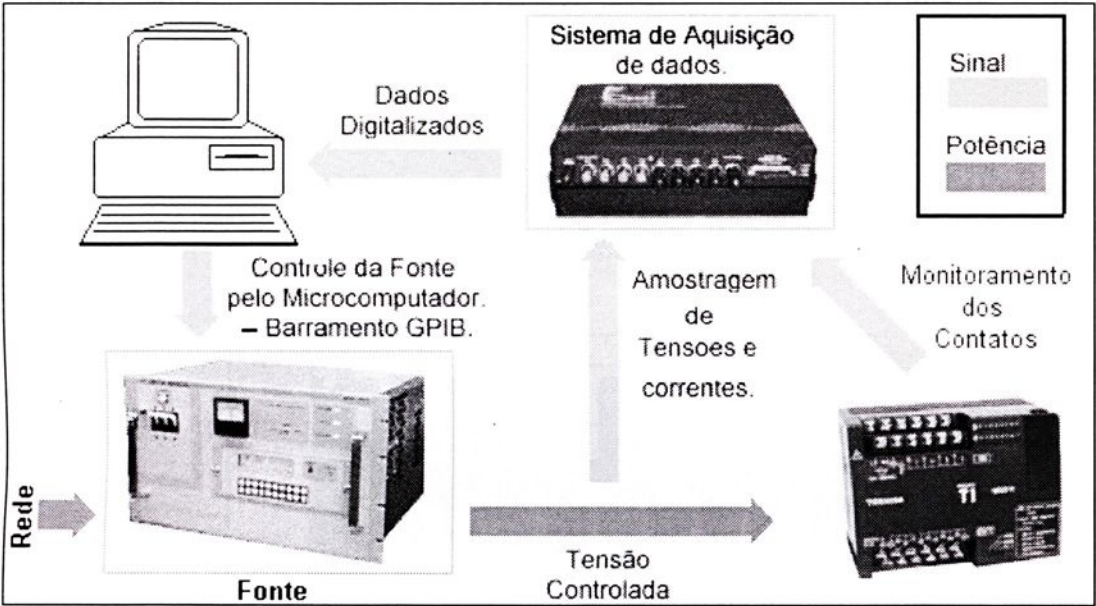


Figura 2.2 Montagem em laboratório.

Após realizada a montagem, os equipamentos são ligados à rede de alimentação. A fonte é programada seguindo o procedimento descrito no anexo 1.

O procedimento adotado consistia em aplicar, na alimentação do CLP, seqüências de SAG's com duração de 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300 e 600 ciclos. Cada seqüência apresentava a intensidade de 90, 70, 50, 40, 30, 20, 18, 16, e 14% da tensão nominal.

2.3.3 RESULTADOS

Foi observado que o CLP apresentava uma baixa sensibilidade a SAG's, independente da duração, desde que o valor da intensidade fosse igual ou superior a 20% da nominal, isto é, uma tensão de rede de apenas 25 V_{AC} é suficiente para o seu funcionamento. As especificações técnicas do aparelho trazem tensão de alimentação entre 90 e 240 V_{AC}.

Os dois gráficos da figura 2.3 mostram o resultado para a seqüência de SAG's, com duração de 45 ciclos

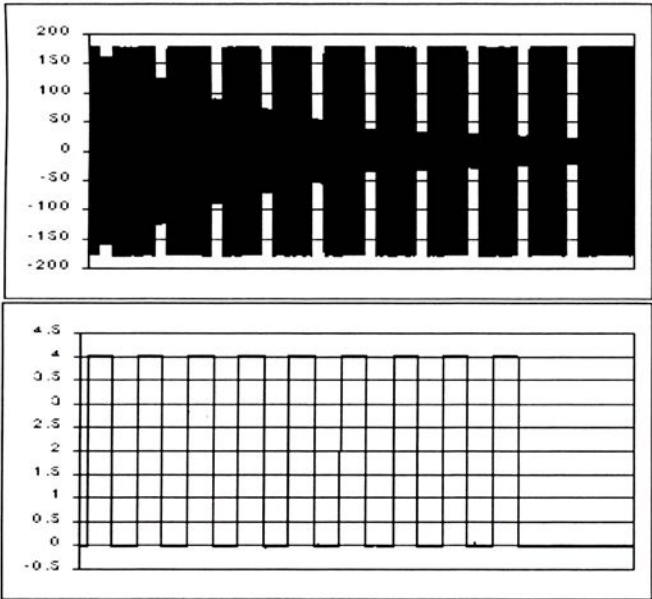


Figura 2.3 CLP e a seqüência de SAG de 45 ciclos.

O primeiro gráfico mostra a tensão de alimentação do CLP, 127 V – 60 Hz, e a seqüência de SAG's com duração de 45 ciclos (0,75 seg). No segundo gráfico, a saída Y0027 do CLP, com o chaveamento da fonte de 5 V_{DC}.

Observa-se que ocorre um desligamento ou perda de seqüência no CLP quando ocorre um SAG de 85%, que leva a tensão de alimentação a 19 V_{AC}. Este resultado se refere ao funcionamento dos módulos de saída apenas.

Os gráficos da figura 2.4 mostram o resultado para a sequência de SAG com duração de 90 ciclos

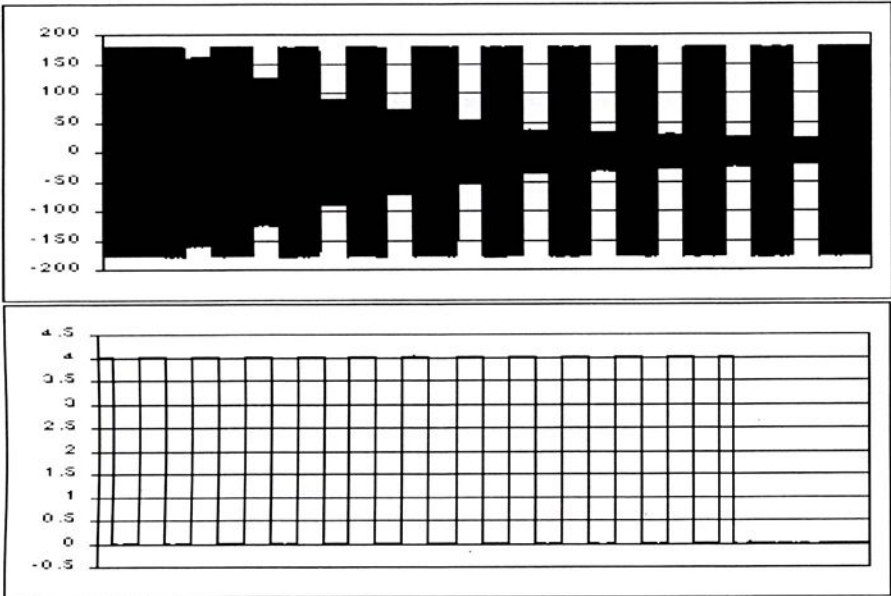


Figura 2.4 CLP e a sequência de SAG de 90 ciclos.

As observações anteriormente feitas valem para esta situação.

2.4 TESTE DE SENSIBILIDADE DO CLP – INTERRUPÇÕES

2.4.1 PROCEDIMENTO

Para este teste, foi utilizado a mesma montagem e materiais dos testes relativos a SAG. A única mudança foi na programação dos distúrbios.

Foi aplicada uma única seqüência, que consistia de interrupções com duração de 1, 3, 5, 7, 9, 15, 20 e 30 ciclos e com intervalos de 60 ciclos cada.

2.4.2 RESULTADOS

Os resultados são apresentados na figura 2.5, em dois gráficos. No primeiro gráfico algumas interrupções não podem ser visualizadas porque o período de medição é muito grande, levando cerca de 10 seg. Nos diversos ensaios realizados, o desligamento ocorreu com uma interrupção de 10 ciclos.

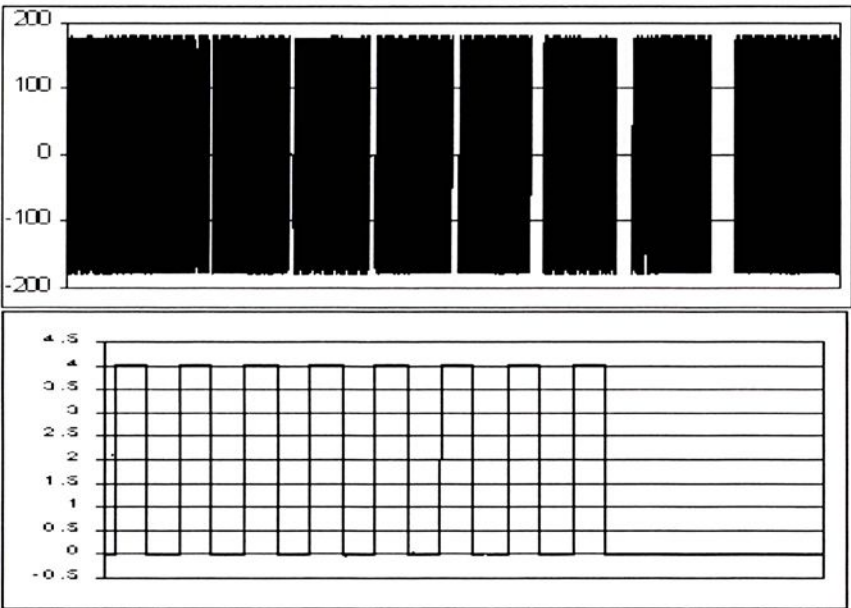


Figura 2.5 CLP e a seqüência de Interrupções.

2.5 RESULTADOS

Os resultados dos experimentos realizados são colocados em um gráfico cujo objetivo é a elaboração da curva de sensibilidade do CLP a distúrbios na tensão de alimentação. Em um gráfico onde o eixo das ordenadas é representado pela duração do distúrbio em escala logarítmica e no eixo das abscissas temos o nível de tensão, localiza-se como pontos a interrupção e os afundamentos de tensão determinados nos experimentos. Interligando esses pontos obtém-se a curva de sensibilidade do equipamento. A figura 2.6 mostra a curva de sensibilidade do CLP.

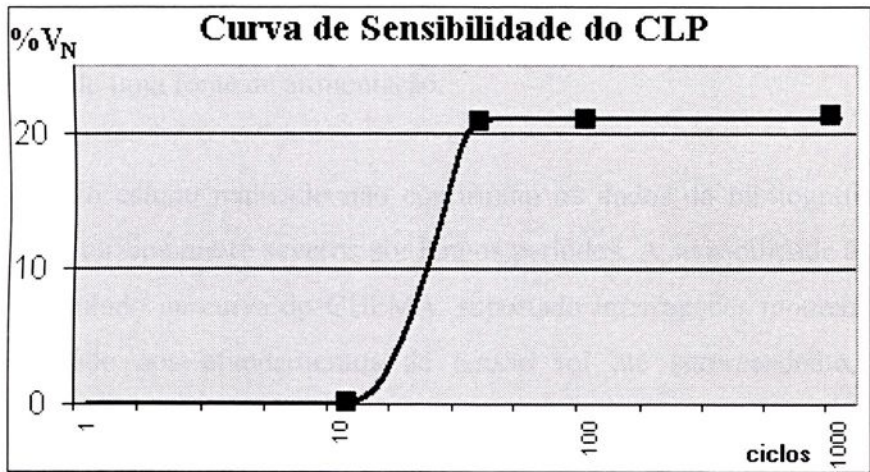


Figura 2.6 Curva de sensibilidade do CLP.

2.6 CONCLUSÃO

Os controladores lógico programáveis estão sendo cada vez mais usados em diversas aplicações, especialmente na automação industrial.

A bibliografia estudada [5 e 10] mostra o CLP como um equipamento sensível aos distúrbios da tensão de alimentação. Isto se deve ao fato de ser um equipamento constituído de um microprocessador (CPU), módulos de memória, interfaces de entrada e saída. Esse conjunto é ligado à rede através de uma fonte de alimentação.

Os resultados do estudo realizado não confirmam os dados da bibliografia, já que o CLP ensaiado suportou distúrbios muito severos por longos períodos. A sensibilidade às interrupções foi bem inferior ao estipulado na curva do CBEMA, suportando interrupções momentâneas por até 10 ciclos. A sensibilidade aos afundamentos de tensão foi até surpreendente, suportando um afundamento de até 85% sem qualquer problema aparente detectado. Numa eventual ocorrência de um distúrbio com essas características, uma linha de produção certamente seria interrompida, mas devido a falhas em outros equipamentos ou a atuação dos dispositivos de proteção.

No caso deste equipamento pode-se concluir que se trata de um modelo mais moderno, a fonte chaveada usada na alimentação pode fornecer as condições funcionais aos circuitos eletrônicos e aos relês eletromecânicos, mesmo sob condições adversas.



CAP. 3 - CONTATORES

3.1 INTRODUÇÃO

Contatores são equipamento destinados ao acionamento de cargas de grande porte, como por exemplo os motores elétricos. São constituídos de um circuito magnético com uma parte móvel e uma bobina. A parte móvel é mantida aberta por uma mola. O contator possui contatos principais e auxiliares, sendo todos solidários à parte móvel do circuito magnético. Os contatos principais seccionam a carga e por eles circulam as correntes nominais das mesmas, permanecendo abertos quando a bobina está desenergizada. Os contatos auxiliares são usados para controle e por eles circula uma corrente muito menor que a corrente da carga, podendo ser normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF). Quando acionada, a bobina produz o fluxo magnético que circula pelo circuito. O torque resultante no entreferro movimenta a parte móvel e fecha o circuito, mudando o estado de todos os contatos. A figura 3.1 mostra o esquema de funcionamento. Na primeira esquema a bobina está desenergizada, o contato do tipo NA permanece aberto. No segundo esquema ocorre a energização da bobina, o contator é acionado, assim o contato é fechado.

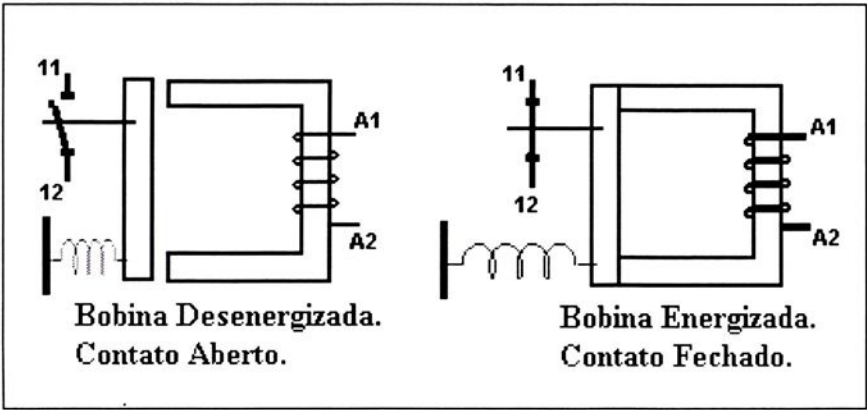


Figura 3.1 Circuito magnético do contator.

O torque produzido pela passagem do fluxo magnético pelo entreferro é proporcional ao quadrado da tensão que alimenta a bobina, por exemplo se a tensão se reduzir à 50% da tensão nominal (V_N) o torque se reduzirá a apenas 25% do torque nominal. Para movimentar a parte móvel do circuito ou mesmo mantê-la fechada com a mola tencionada, o torque deve ser superior a um valor mínimo senão a parte móvel volta à posição original e abre o circuito.

Os contatores estão entre os equipamentos mais utilizados nas instalações industriais, são os contatos de força que acionam um motor. Um processo depende muito dos contatores, pois além de ligar e desligar uma determinada máquina eles também são montados de forma a assegurar o intertravamento em máquinas ligadas em série, assim a falha de apenas um contator em uma linha de produção pode comprometer ou mesmo parar todo o processo.

3.2.2 PROCEDIMENTOS

A alimentação dos contatores durante a realização dos ensaios foi realizada empregando-se a fonte CI-6000L. Utiliza-se um microcomputador ligado a fonte que executa um programa proprietário para controle dos recursos. Inicialmente é selecionada a saída com a tensão nominal (127 / 200V) sob condições ideais, isto é, com distorção harmônica a índices mínimos, sem variações no valor nominal da tensão. Os sinais que provêm da alimentação do contator como tensão e corrente e o sinal de monitoramento dos contatos, provenientes de uma fonte 12V_{DC}, são digitalizados pelo sistema de aquisição de dados e transferidos para o mesmo microcomputador através da porta de comunicação paralela, onde outro programa proprietário analisa e armazena os dados.

A montagem segue o esquema da figura 3.3:

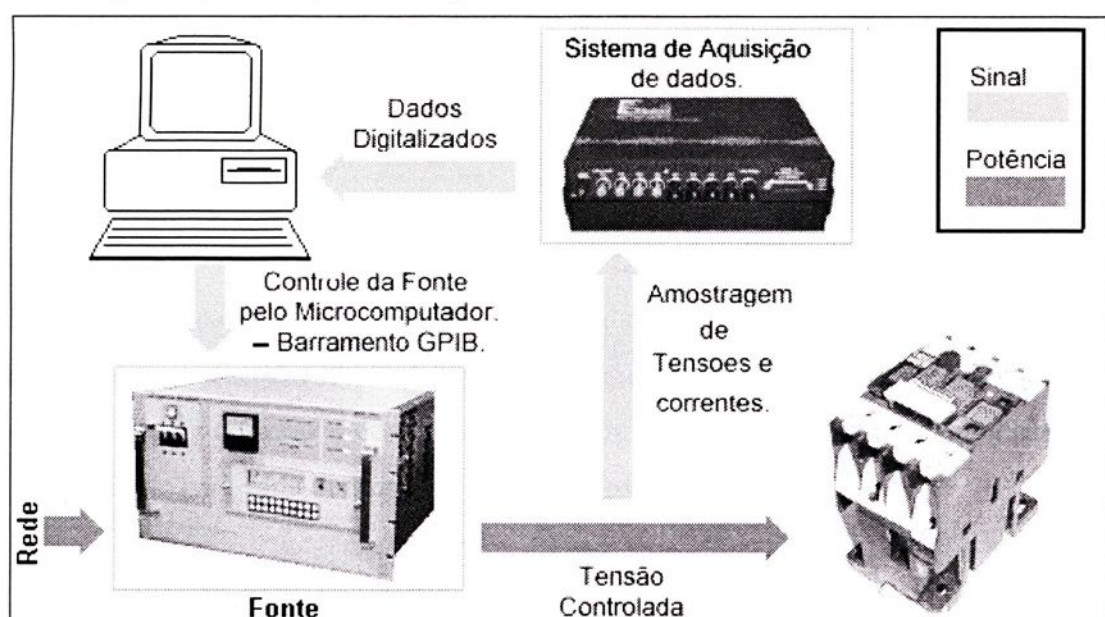


Figura 3.3 Montagem em laboratório.

Após realizada a montagem do roteiro, os equipamentos auxiliares, como as fontes, sistema de aquisição de dados e microcomputador são ligados à rede de alimentação. A fonte fornece inicialmente a tensão nominal ao contator, que deve ser ligado apertando-se o botão LIGA. O contator é acionado após soltar o botão, o contato passa a ser feito pelo contato auxiliar (11-12). Em seguida são programados os distúrbios a serem aplicados, interrupções, isto é, 0% de V_N e afundamentos de tensão de 10 a 90% de V_N , aumentando em 10%.

3.2.2 PROCEDIMENTOS

A alimentação dos contatores durante a realização dos ensaios foi realizada empregando-se a fonte CI-6000L. Utiliza-se um microcomputador ligado a fonte que executa um programa proprietário para controle dos recursos. Inicialmente é selecionada a saída com a tensão nominal (127 / 200V) sob condições ideais, isto é, com distorção harmônica a índices mínimos, sem variações no valor nominal da tensão. Os sinais que provêm da alimentação do contator como tensão e corrente e o sinal de monitoramento dos contatos, provenientes de uma fonte 12V_{DC}, são digitalizados pelo sistema de aquisição de dados e transferidos para o mesmo microcomputador através da porta de comunicação paralela, onde outro programa proprietário analisa e armazena os dados.

A montagem segue o esquema da figura 3.3:

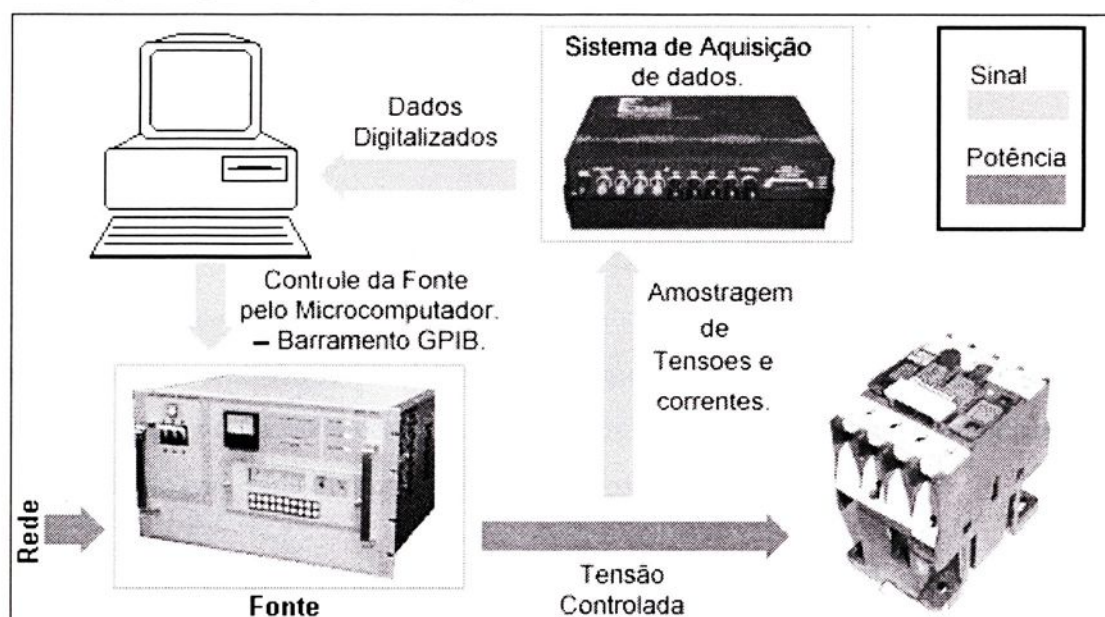


Figura 3.3 Montagem em laboratório.

Após realizada a montagem do roteiro, os equipamentos auxiliares, como as fontes, sistema de aquisição de dados e microcomputador são ligados à rede de alimentação. A fonte fornece inicialmente a tensão nominal ao contator, que deve ser ligado apertando-se o botão LIGA. O contator é acionado após soltar o botão, o contato passa a ser feito pelo contato auxiliar (11-12). Em seguida são programados os distúrbios a serem aplicados, interrupções, isto é, 0% de V_N e afundamentos de tensão de 10 a 90% de V_N , aumentando em 10%.

O procedimento de aplicação dos distúrbios para cada contator é apresentada a seguir:

- 1– Com o contator acionado é aplicado um distúrbio (iniciando-se com 0% de V_N) com um tempo mínimo (0,1 ciclo), e deve ser verificado o comportamento do conjunto;
- 2– Se os contatos não se abrirem, aumenta-se o tempo de duração e aplica-se novamente o distúrbio. Repetir esse procedimento até verificar a separação dos contatos.
- 3– Adota-se para o valor de tensão ensaiado o tempo em que foi verificado a abertura dos contatos;
- 4– Aumenta-se o valor de tensão e voltar ao passo 1;
- 5– Encontrar o valor de tensão no qual não for verificada a abertura dos contatos, mesmo para um tempo longo, adota-se esse como o a tensão mínima suportada;
- 6– Elabora-se a curva de sensibilidade através da interligação dos diversos pontos determinados em um gráfico Tempo de Duração x Tensão Aplicada.

3.2.3 RESULTADOS

Os contatores são, em geral, equipamentos muito sensíveis aos distúrbios na tensão. Não se pode determinar com precisão se um distúrbio causa ou não a abertura dos contatos do contator. Em todos os experimentos realizados houve casos onde um mesmo distúrbio causava ou não problemas, por isso foi relatado para cada distúrbio aplicado ambos os casos.



3.2.3.1 CONTATOR 1.

Este contator possuía apenas contatos auxiliares NA (normalmente aberto). Um dos contatos é destinado ao contato de selo, no outro é ligado a fonte e monitorado a tensão nos terminais. Assim quando o circuito é ligado, a tensão entre os contatos auxiliares é zero. Quando ocorre uma abertura dos contatos a tensão sobe para $15V_{DC}$.

A figura 3.4 mostra dois casos de interrupções aplicadas ao contator. No primeiro caso, uma interrupção de 1 ciclo não causou problemas. No segundo caso, a interrupção de 1,25 ciclo causou o abertura dos contatos.

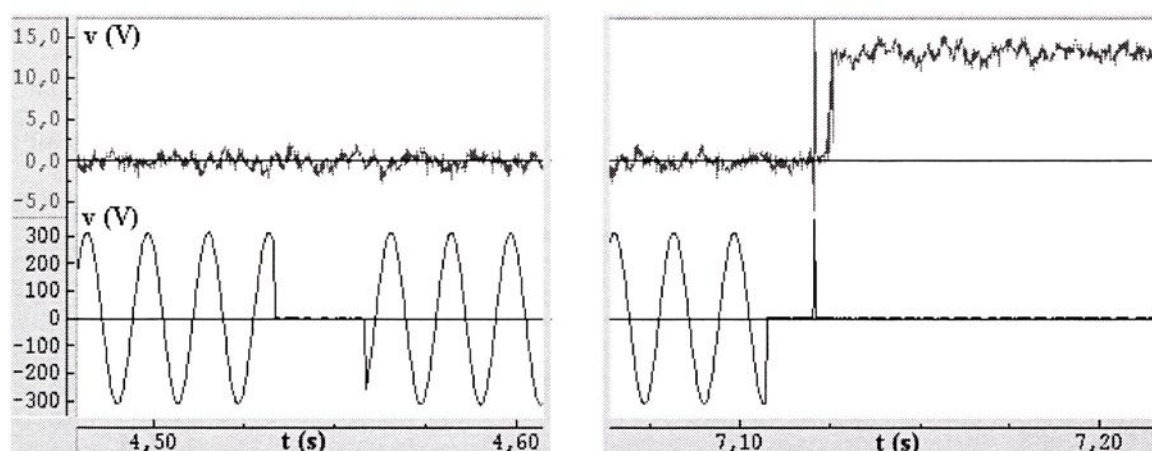


Figura 3.4 Interrupção

A figura 3.5 mostra a aplicação de um afundamento de 90% na tensão aplicada ao conjunto. Neste caso, ambos os distúrbios foram de 1,5 ciclo.

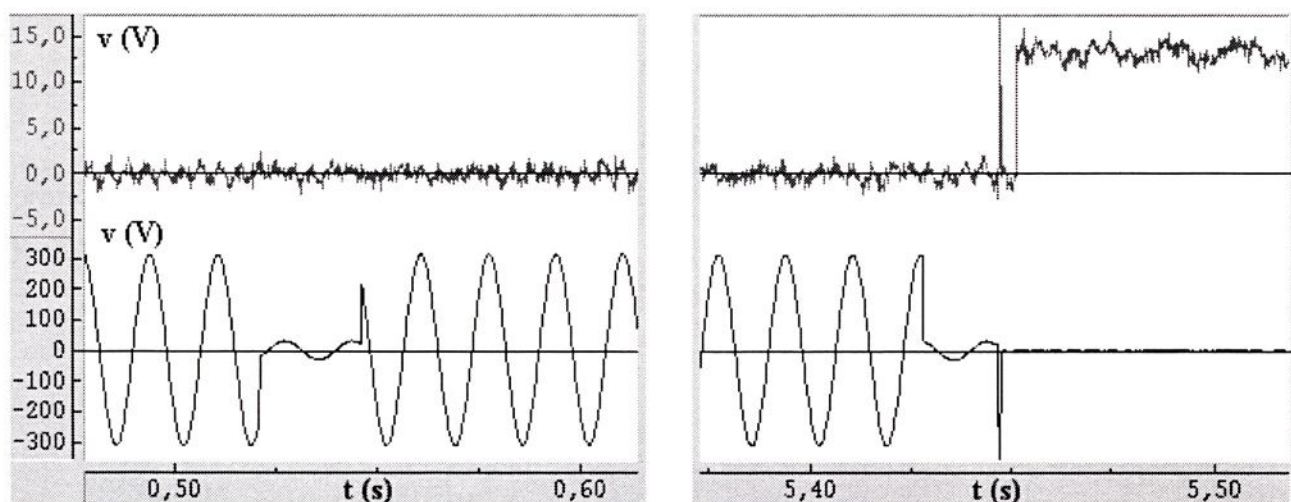


Figura 3.5 Afundamento 90% ($10\% V_N$)

Com um tempo inferior a 1,5 ciclos não havia problemas, um tempo superior sempre causava a abertura dos contatos.

A figura 3.6 mostra o caso de um afundamento de 70% na tensão. O mesmo comportamento foi observado neste caso.

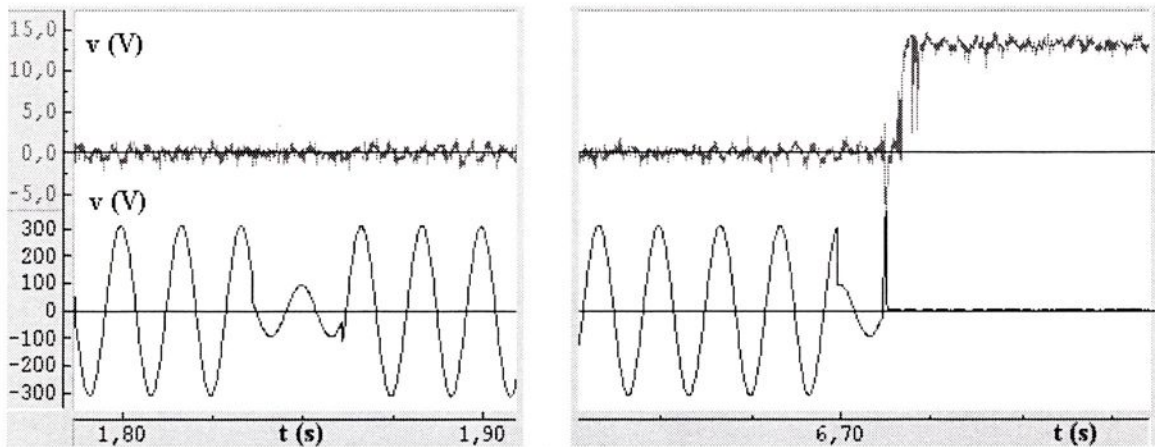


Figura 3.6 Afundamento 70% (30% V_N)

Na figura 3.7, a aplicação de um afundamento de 50% na tensão. O primeiro distúrbio aplicado durou 5 ciclos e foi suportado pelo conjunto. No segundo caso houve a abertura dos contatos após dois ciclos.

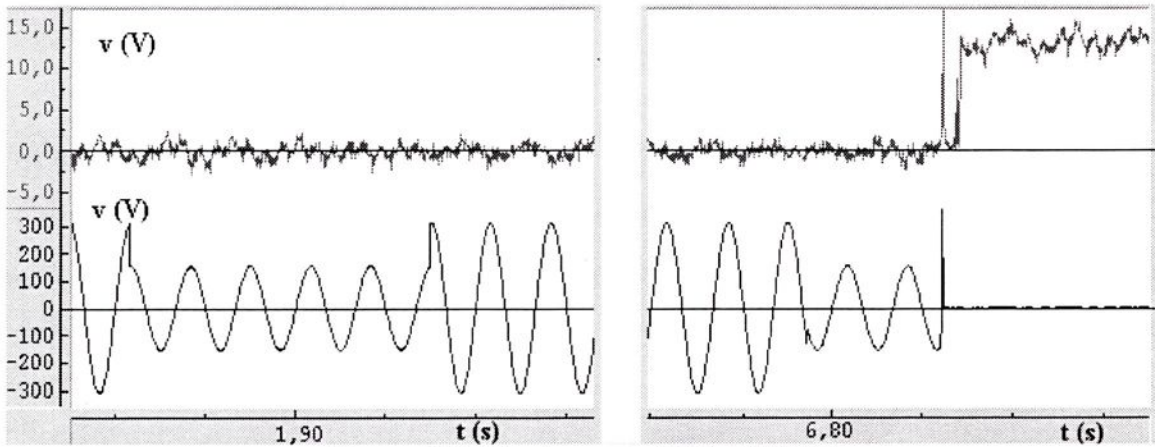


Figura 3.7 Afundamento 50% (50% V_N)

A figura 3.8, mostra a aplicação de um afundamento de 55% na tensão. Assim como no primeiro caso, o distúrbio aplicado durou 5 ciclos e foi suportado pelo conjunto. No segundo caso houve a abertura dos contatos após três ciclos.

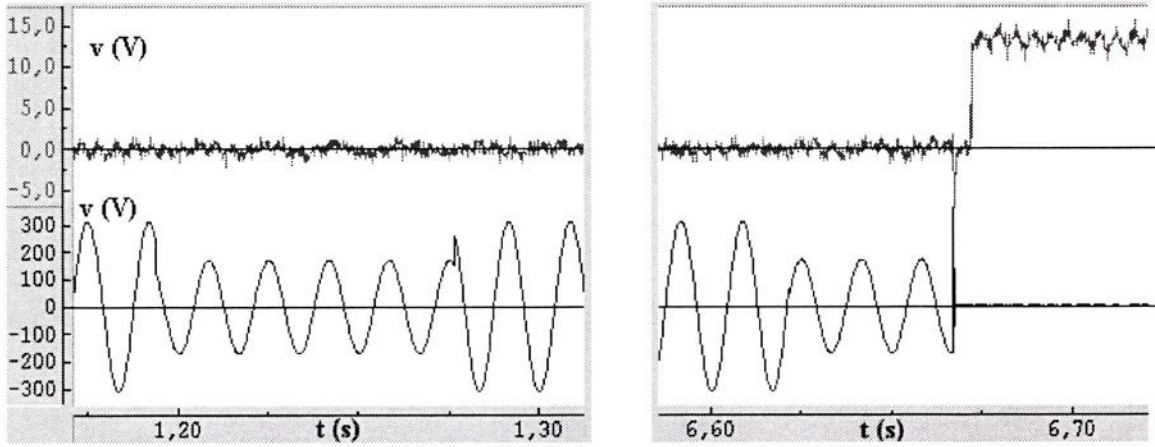


Figura 3.8 Afundamento 45% (55% V_N)

A figura 3.9 mostra a curva de sensibilidade do contator 1 como resultado dos experimentos realizados. O uso de escala logarítmica é necessário para detalhar a zona vertical da curva (1 a 10 ciclos)

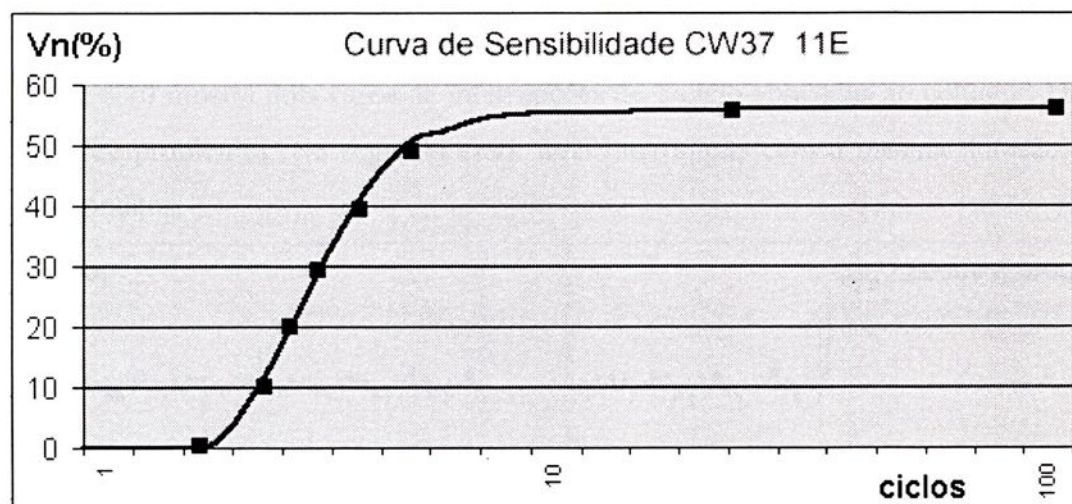


Figura 3.9 Curva de sensibilidade

CONCLUSÕES

Como era esperado o Contator 1 apresentou uma sensibilidade muito grande aos distúrbios na tensão. A tensão mínima necessária para manter o contator atracado independente do tempo é de 56% (44% de afundamento) o que é relativamente bom, considerando a natureza eletromecânica do equipamento.

3.2.3.2 CONTATOR 2

Como no caso do contator 1, este também possuía apenas contatos auxiliares NA (normalmente aberto). Um dos contatos é destinado a manter o contato de selo, no outro é ligado a fonte e monitorado a tensão nos terminais.

A figura 3.10 mostra dois casos de interrupções de 1 ciclo aplicadas ao contator. O primeiro caso não causou problemas. No segundo caso, uma interrupção com a mesma duração causou a abertura dos contatos.

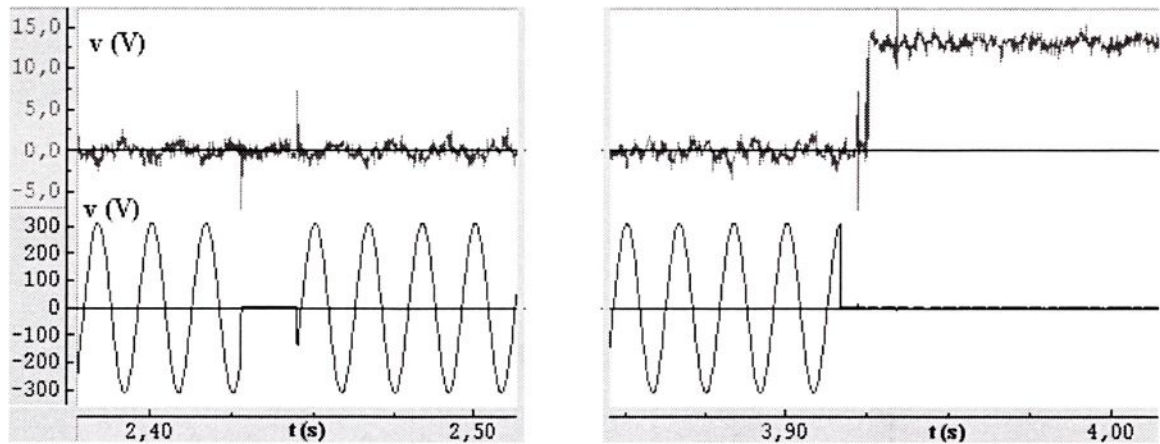


Figura 3.10 Interrupção

A figura 3.11 mostra a aplicação de um afundamento de 90% na tensão aplicada ao conjunto. Neste caso, ambos os distúrbios foram de 1 ciclo.

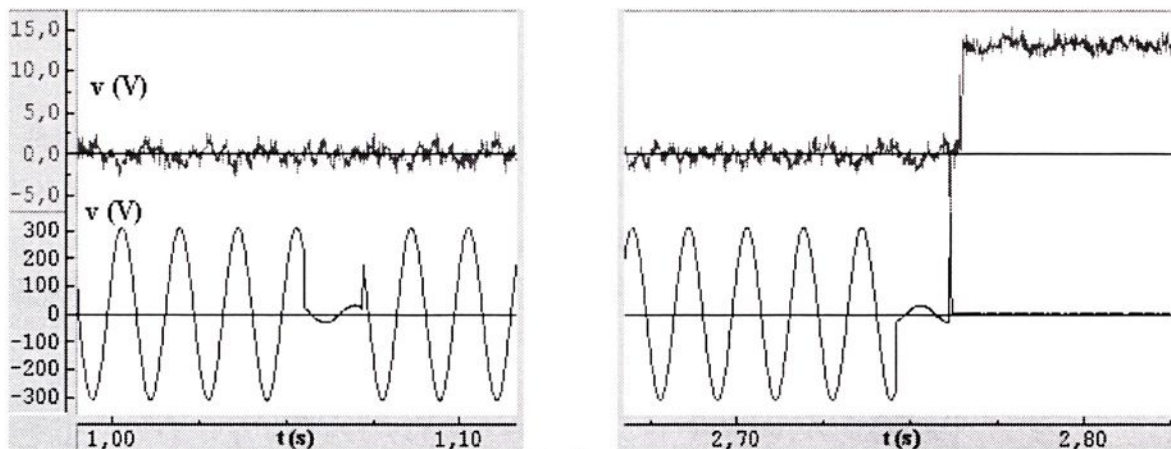


Figura 3.11 Afundamento 10% (90% V_N)

As aplicações de distúrbios de 70 e 50% também tiveram um tempo máximo suportado de 1 ciclo. A figura 3.12 mostra os afundamentos de 70% e a figura 3.13, os afundamentos de 50%.

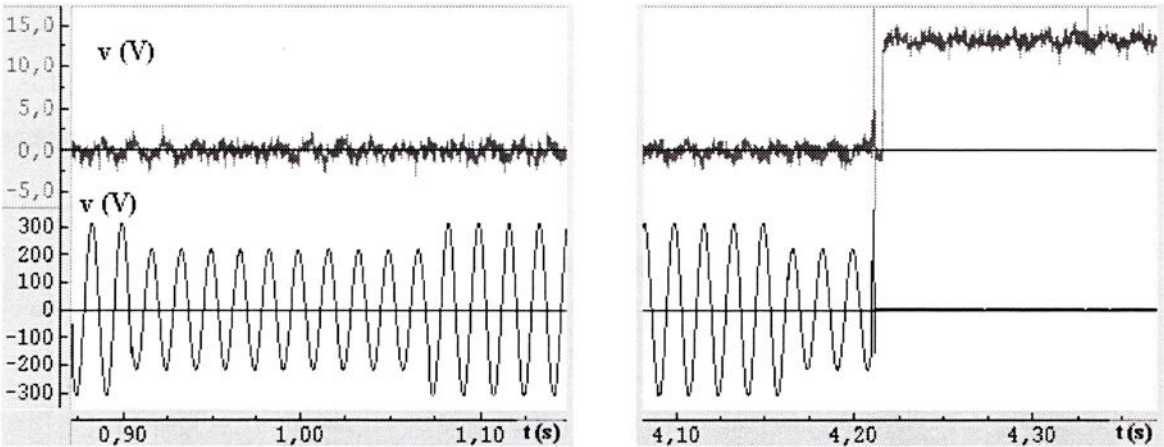


Figura 3.12 Afundamento 70% (30% V_N)

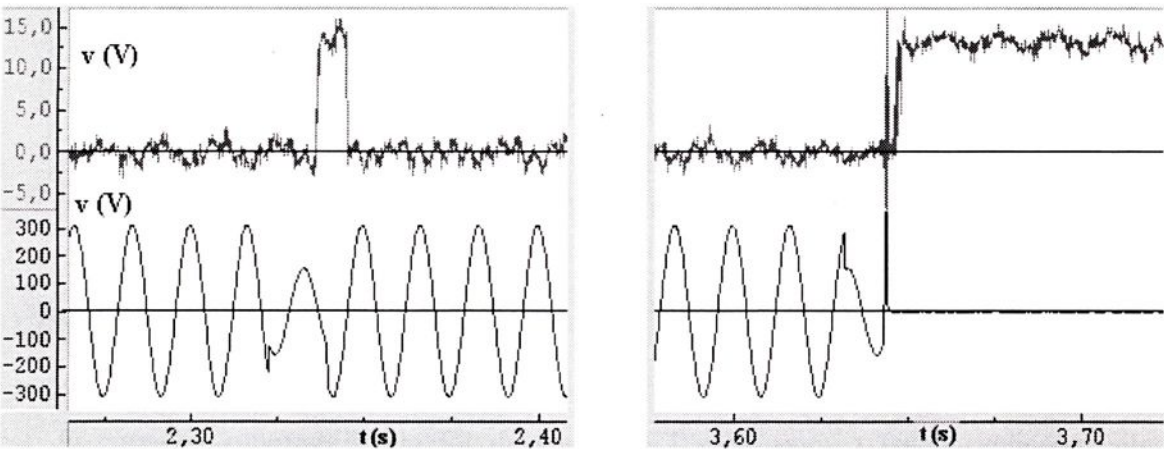


Figura 3.13 Afundamento 50% (50% V_N)

A figura 3.14 mostra um afundamento de 30% na tensão. Em uma aplicação do distúrbio, o contator suporta por cerca de 10 ciclos sem problemas. Em outras aplicações ocorre a abertura dos contatos com um tempo inferior a este. No caso relatado o tempo suportado foi de 3 ciclos.

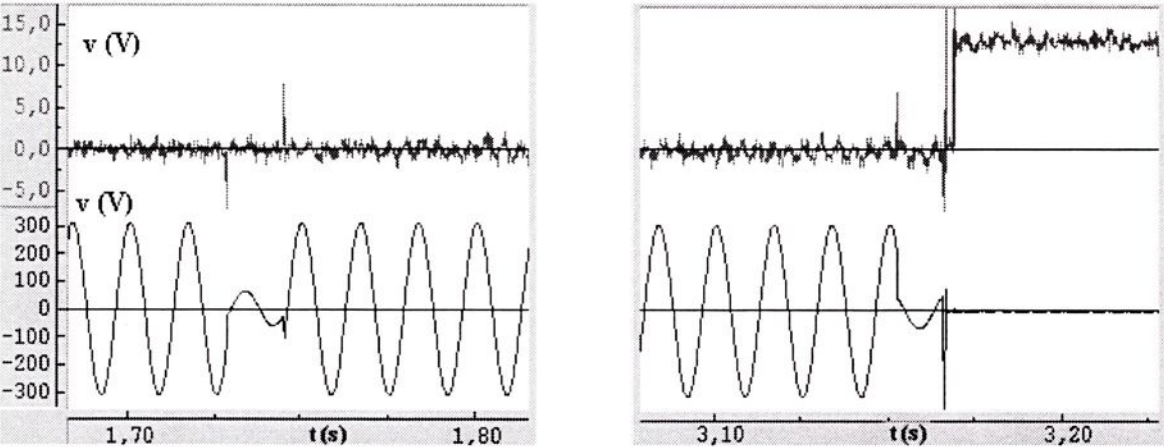


Figura 3.14 Afundamento 30% (70% V_N)

A figura 3.15 mostra a curva de sensibilidade do contator 2 como resultado dos experimentos realizados.

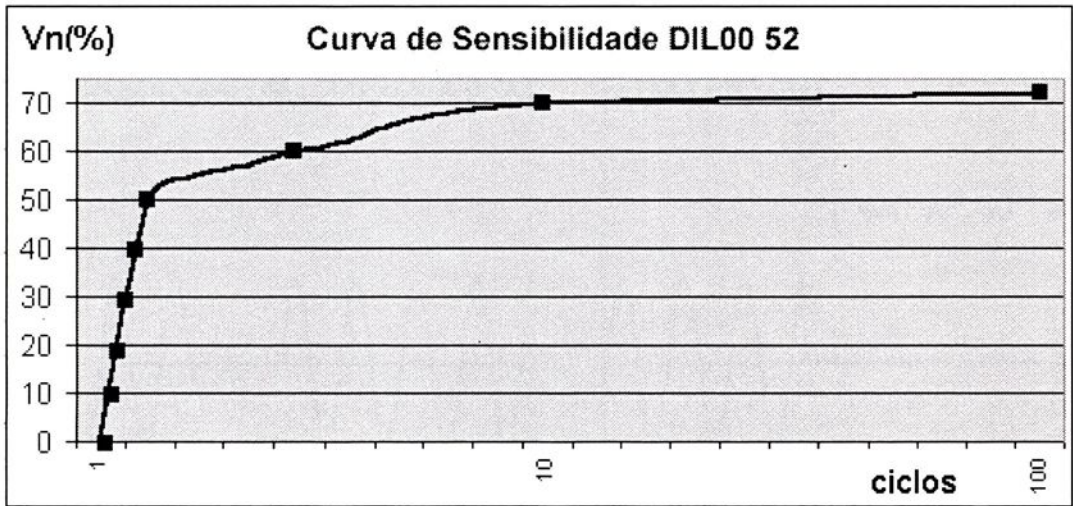


Figura 3.15 Curva de Sensibilidade.

CONCLUSÕES

Este contator apresentou a maior sensibilidade entre os contatores ensaiados. Na região vertical da curva, a suportabilidade foi de cerca de 1 ciclo com a tensão aplicada entre 0% (interrupção) e 50%, assim a relação Tempo x Tensão também foi a pior entre os contatores testados. Na região horizontal também foi observada a maior sensibilidade, com 72% de tensão mínima (independente do tempo aplicado).

3.2.3.3 CONTATOR 3

Este contator possuía apenas 1 contato auxiliar NA (normalmente aberto) e 1 NF (normalmente fechado). O contato NA é destinado a manter o selo, sobre o contato NF onde é ligada a fonte e monitorado a tensão nos terminais. A curva de monitoramento apresenta 15V_{DC} com o contator atracado e zero quando ocorria uma abertura dos contatos.

A figura 3.16 mostra dois casos de interrupções de 1,5 ciclo aplicadas ao contator. O primeiro caso não causou problemas. No segundo caso houve a abertura dos contatos.

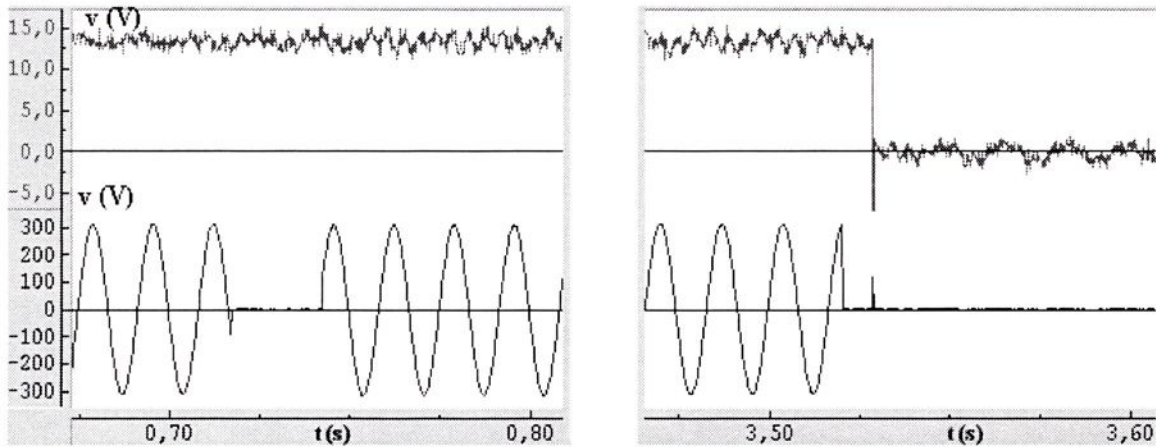


Figura 3.16 Interrupção

Na figura 3.17 é mostrada a aplicação de um afundamento de 90%. Foi suportado por 1.75 ciclo na primeira curva. Um distúrbio com tempo idêntico levou o contator a uma abertura dos contatos na segunda curva.

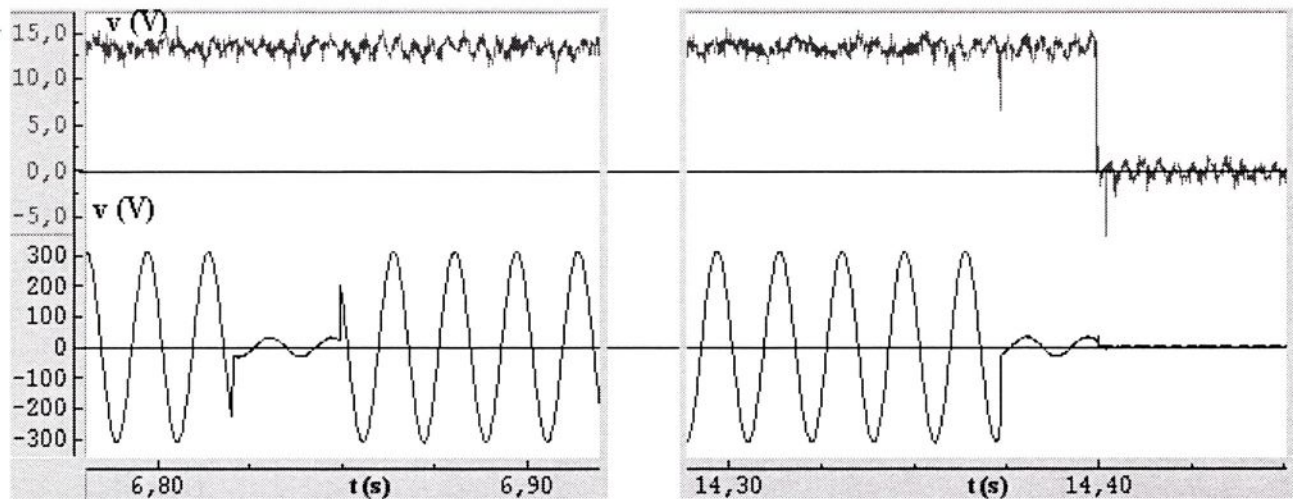


Figura 3.17 Afundamento 90% (10% V_N)

Afundamentos de 80% foram aplicados no contator. A figura 3.18 mostra o resultado, onde o tempo suportado foi de cerca de 2 ciclos sem a abertura dos contatos.

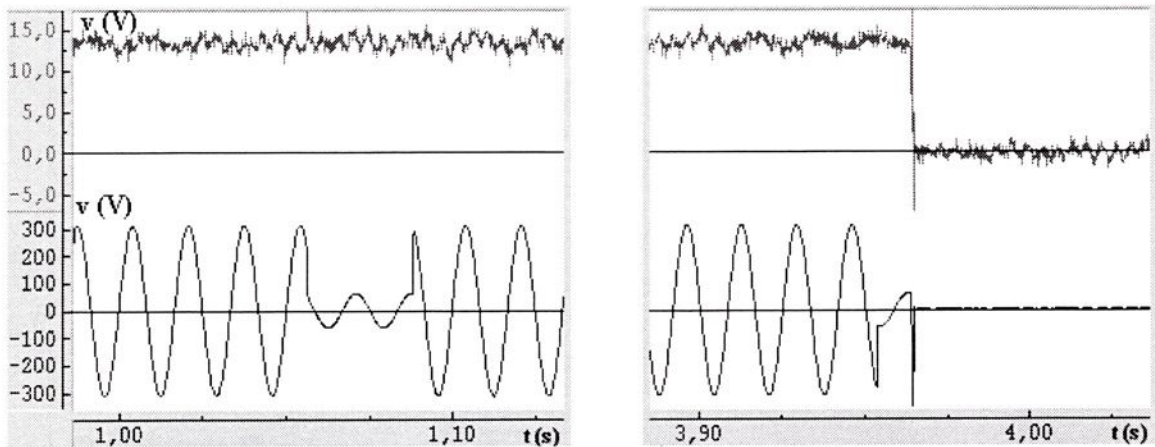


Figura 3.18 Afundamento 80% (20% V_N)

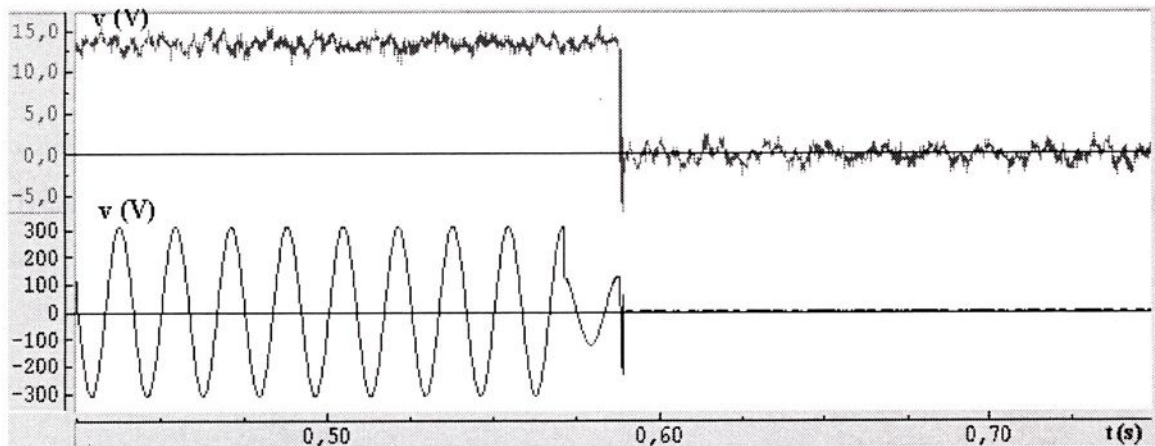


Figura 3.19 Afundamento 60% (40% V_N)

A figura 3.20 mostra um afundamento de 40% na tensão. Em uma aplicação do distúrbio, o contator suporta por cerca de 30 ciclos (0,5 seg.) sem desatracar. Em outras aplicações ocorre a abertura dos contatos com um tempo de 13 ciclos.

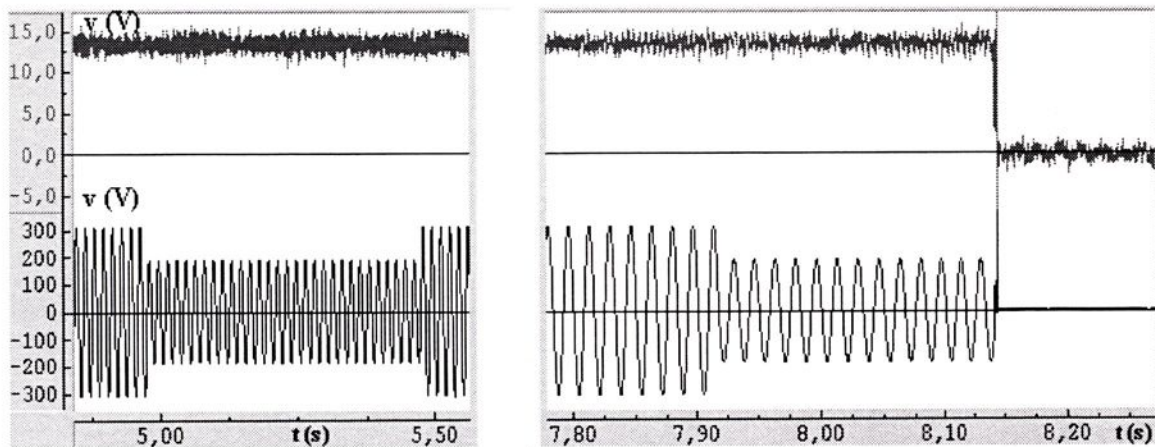


Figura 3.20 Afundamento 40% (60% V_N)

A figura 3.21 mostra a curva de sensibilidade do contator 3 como resultado dos experimentos realizados.

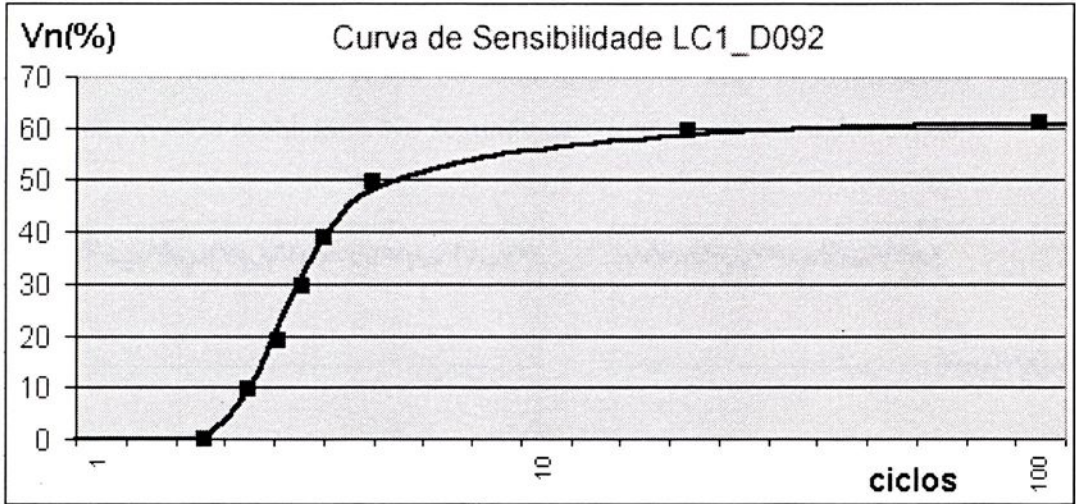


Figura 3.21 Curva de Sensibilidade.

CONCLUSÕES

Este contator também apresentou uma grande sensibilidade. A tensão mínima para manter o contato de selo foi de 62% da tensão nominal.

3.2.3.4 CONTATOR 4

Como o contator estudado anteriormente, este também possuía apenas 1 contato auxiliar NA (normalmente aberto) e 1 NF (normalmente fechado). A bobina deste contator era de 127V, enquanto os outros contatores ensaiados possuíam bobina de 220V.

A figura 3.22 mostra dois casos de interrupções de 1,25 ciclo aplicadas ao contator. O primeiro caso não causou problemas. No segundo caso houve a abertura dos contatos.

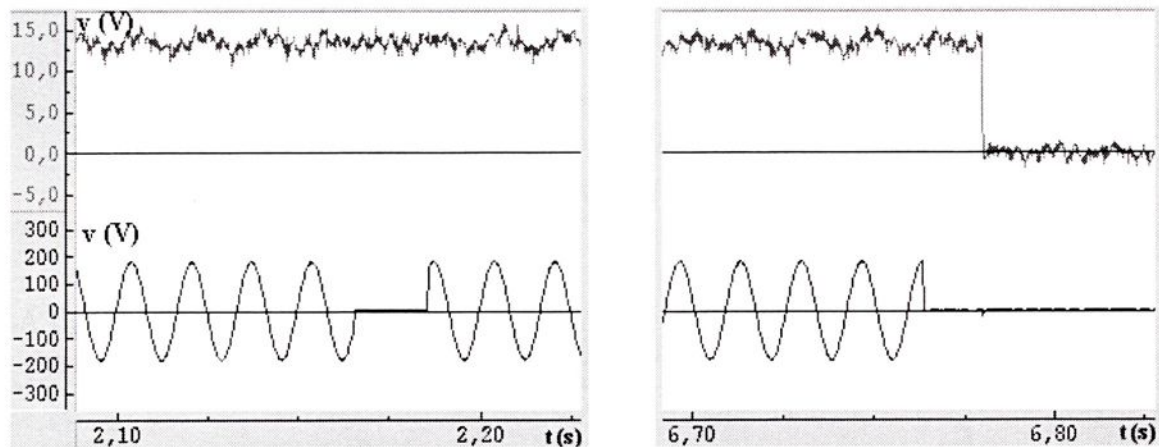


Figura 3.22 Interrupção.

O mesmo comportamento foi observado para um afundamento de 90%. O tempo suportado foi de 1,5%. A figura 3.23 mostra os casos.

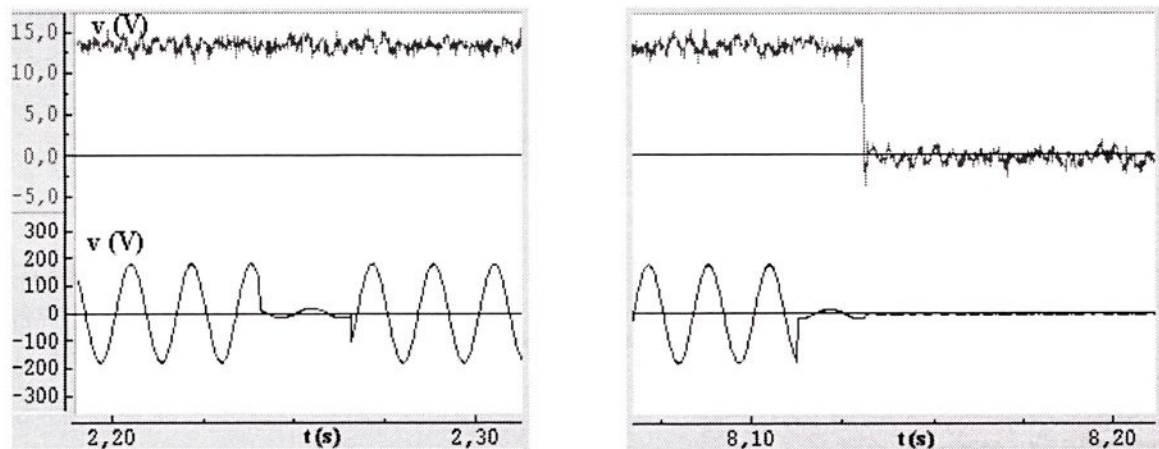


Figura 3.23 Afundamento 90% (10% V_N).

A figura 3.24 mostra afundamentos de 70% (30% de V_N), o tempo suportado foi de 2,3 ciclos.

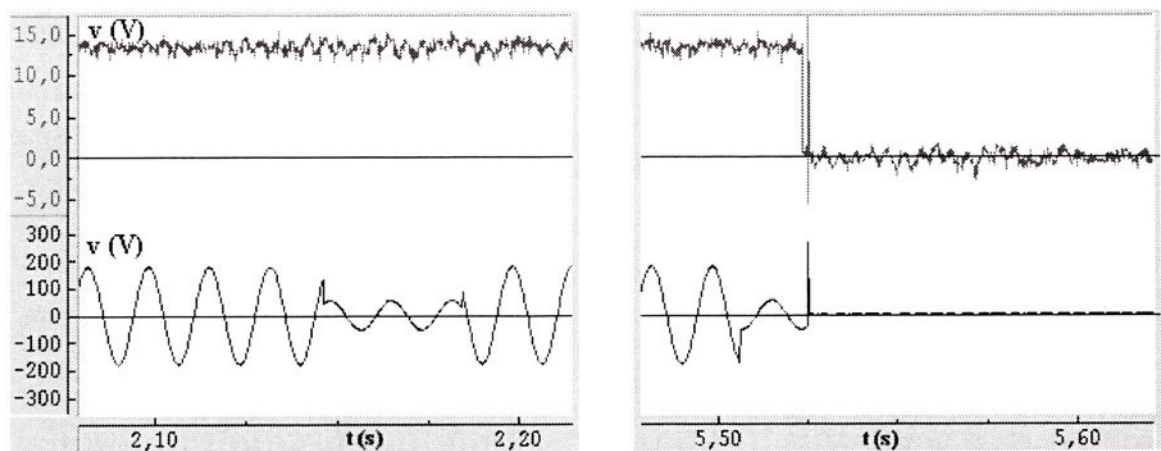


Figura 3.24 Afundamento 70% (30% V_N).

A figura 3.25 mostra afundamentos de 60%, o tempo suportado foi de 2,5 ciclos.

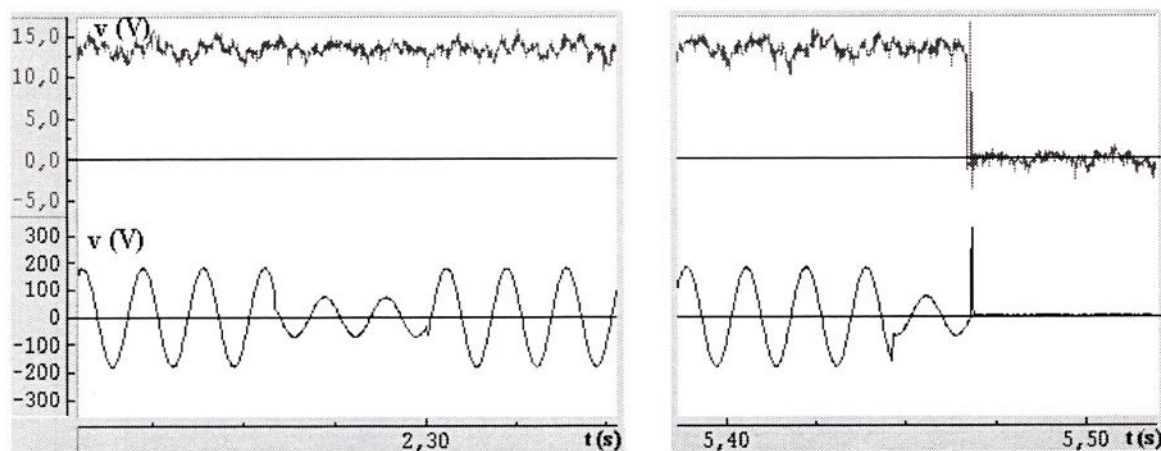


Figura 3.25 Afundamento 60% (40% V_N)

A figura 3.26 mostra afundamentos de 55% (45% de V_N), o tempo suportado foi de 2,3 ciclos.

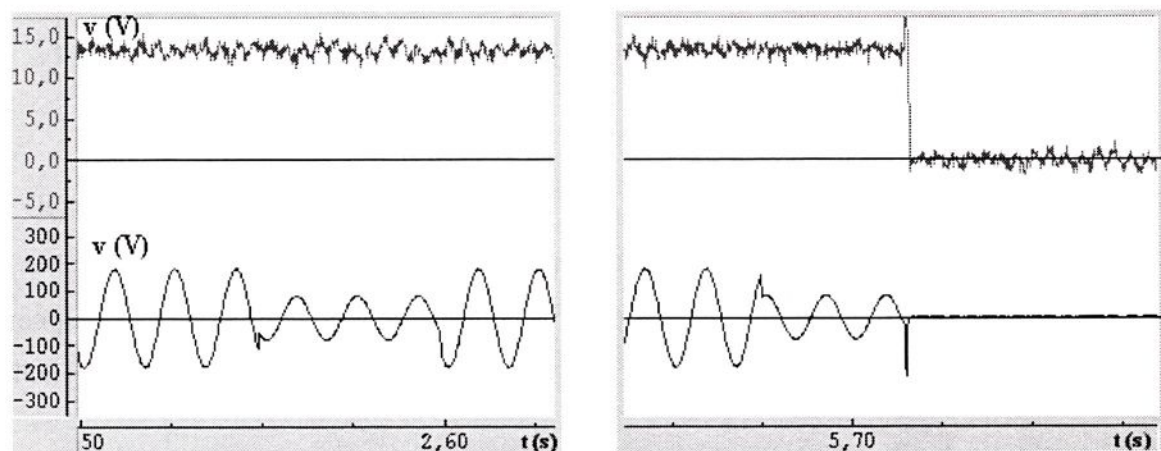


Figura 3.26 Afundamento 55% (45% V_N).

A figura 3.27 mostra afundamentos de 51% de V_N . o tempo suportado foi de 2.3 ciclos.

Em um dos casos, a tensão de 49% de V_N foi suportada por até 30 ciclos sem ocorrer a abertura dos contatos.

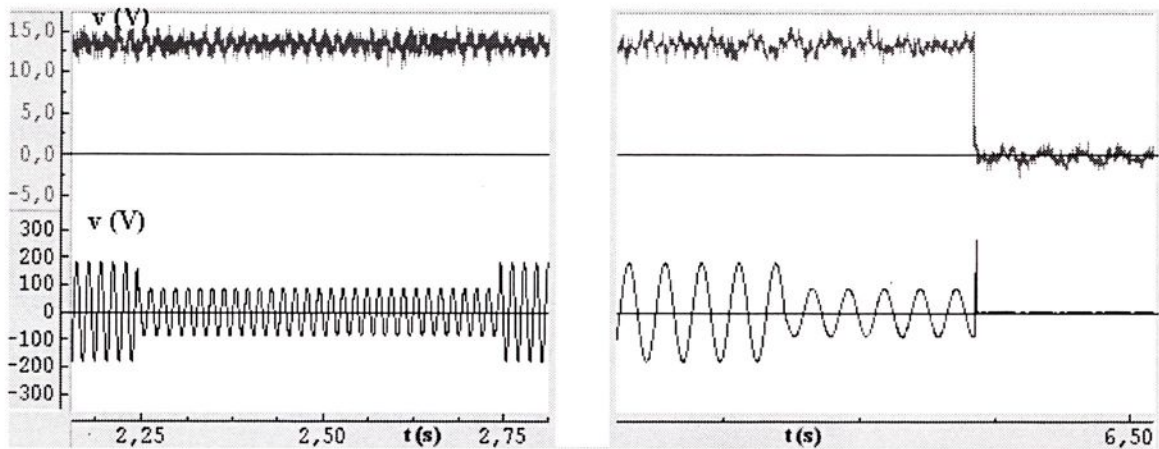


Figura 3.27 Afundamento 51% (49% V_N).

A figura 3.28 mostra a curva de sensibilidade do contator 4 como resultado dos experimentos realizados.

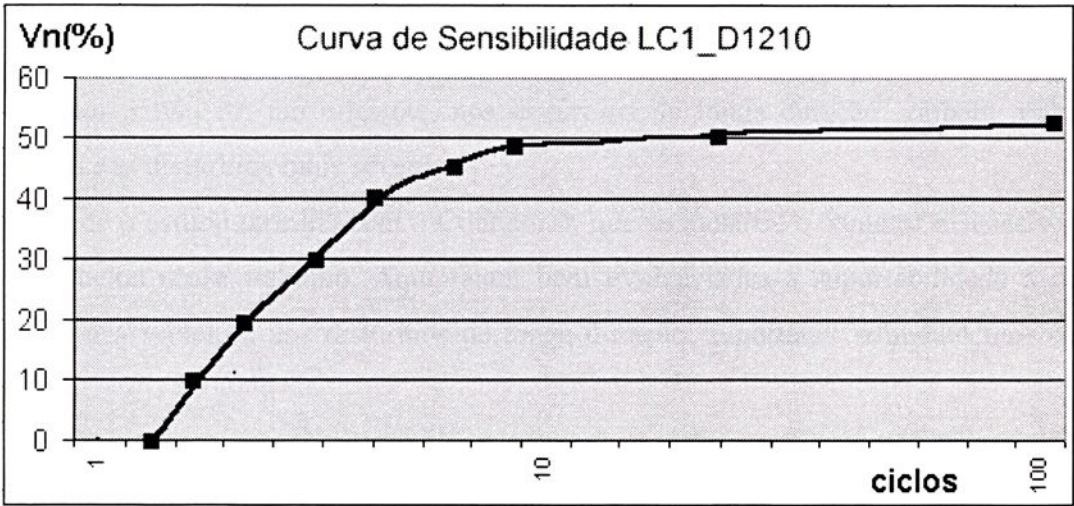


Figura 3.28 Curva de sensibilidade.

CONCLUSÕES

Este contator apresentou a menor sensibilidade entre os contatores ensaiados. A tensão mínima para manter o contato de selo foi de 52% da tensão nominal. Além de ser caracterizado por uma boa relação Tempo x Tensão.

3.3 CONCLUSÃO

Os contatores estão entre os equipamentos mais usados nas instalações elétrica industriais. Eles não se enquadram entre os equipamentos sensíveis de natureza eletrônica, e sim de natureza eletromagnética, onde o torque produzido no entreferro varia com o quadrado da tensão aplicada à bobina. Essa característica também é válida para os relês eletromecânicos, mas para esses não foi realizado um estudo experimental.

Todos os contatores estudados se mostraram muito sensíveis aos distúrbios na tensão, especialmente aos distúrbios mais severos, como as interrupções. A suportabilidade em todos os casos foi de 1 a 1.5 ciclos para esses distúrbios.

No caso de distúrbios de longa duração e menos severos os resultados foram bem diferentes.

O contator 1 se mostrou até bem resistente, um afundamento de 44%, que leva a tensão a 56% de V_N pode ser suportado indefinidamente, ou pelo menos até as proteções da instalação atuarem.

O contator 2, foi o menos sensível entre os contatores testados, suportando distúrbios de longa duração de até 48%. Pode ser devido ao projeto do contator e ao fato de ser, entre os contatores estudados, o único acionado a 127V.

O contator 3 não foi tão eficiente, nos distúrbios de longa duração, embora tenha sido o menos sensível aos distúrbios mais severos.

Finalmente o estudo termina com o Contator 4, que se mostrou o contator mais sensível entre todos os estudados nesse trabalho. Aqui ficam bem evidenciadas a suportabilidade a distúrbios severos de apenas 1 ciclo e aos distúrbios de longa duração, suportando afundamentos de apenas 25%.



CAP. 4 - CHAVES DE PARTIDA ESTÁTICAS – SOFT-STARTER

4.1 INTRODUÇÃO

Os Motores de Indução Trifásicos – MIT, são responsáveis por grande parcela no consumo industrial de energia elétrica, e essa parcela vem crescendo com a mudança do perfil e modernização das indústrias. A partida desses motores entretanto, é preocupante, pois o valor da corrente chega a 8 (oito) vezes o valor da corrente nominal do motor por alguns instantes, o que pode ser prejudicial à instalação e aos consumidores próximos. Para reduzir a corrente durante a partida de um motor é necessário diminuir a tensão aplicada aos seus terminais.

Os métodos clássicos são a partida Estrela – Delta, as chaves compensadoras. Essas chaves possuem o inconveniente de só trabalharem com um nível de tensão além da nominal e após a partida do motor, a transição para a tensão nominal é feita mecanicamente, com o uso de chaves manuais ou contadores, o que provoca um outro pico de corrente. Outro método faz uso da eletrônica de potência para o acionamento de um MIT.

As chaves de partida estática – “*Soft Starter*” - são chaves projetadas para acionamento de motores elétricos de indução trifásicos. Através do ajuste do ângulo de disparo de tiristores, controla-se a tensão aplicada ao motor. Com o uso dessas chaves, o torque e a corrente são ajustados às necessidades da carga, ou seja, a corrente exigida será a mínima necessária para acelerar a carga.

O amplo uso dessas chaves atualmente mostra a evolução promovida pela eletrônica de potência nos processos industriais.



4.2 MOTOR DE INDUÇÃO TRÍFASICO.

Nos motores de indução, a corrente é fornecida ao estator diretamente e ao rotor por indução. Durante o processo de partida, com o rotor parado, esses motores podem ser considerados transformadores com o enrolamento secundário curto-circuitado. A frequência das correntes induzidas no rotor é igual á frequência das correntes do estator. O campo produzido pelas correntes do rotor gira com a mesma velocidade do produzido pelo estator, e resulta em um conjugado de partida, tendendo a girar o rotor na direção de rotação do campo induzido pelo estator.

A relação entre as velocidades do rotor e do estator é conhecida como escorregamento (*s*), descrita pela equação 4.1

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

[4.1]

Sendo *n* a rotação do rotor e *n*₁ a velocidade síncrona.

Onde *s* é igual a 1 para o rotor parado e igual a 0 para o rotor girando à velocidade síncrona. *s*

A corrente e o conjugado do motor são funções cujas variáveis entre outras são a tensão nos terminais e o escorregamento. A corrente do motor é proporcional à tensão de entrada enquanto que o conjugado varia com o quadrado da tensão. O objetivo dos sistemas de partida é diminuir a corrente necessária para partir o motor sem prejudicar o torque (conjugado) necessário para acionar a carga. A variação com relação ao escorregamento e conseqüentemente com a velocidade, são mostradas na figura 4.1.

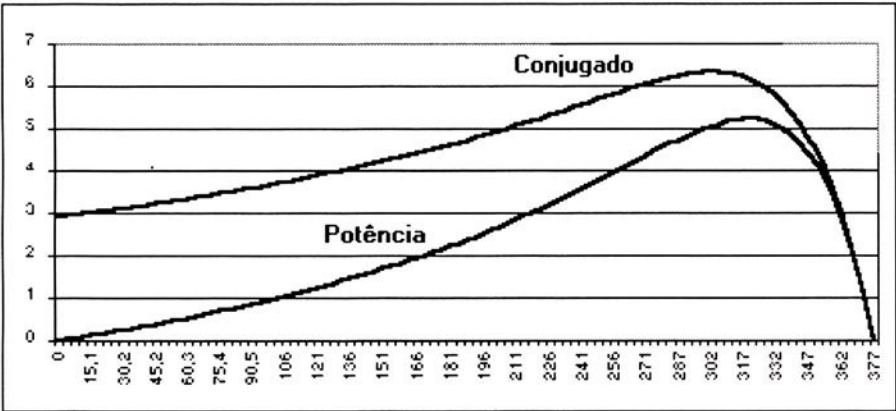


Figura 4.1 Curvas típicas de conjugado e potência para MIT.

O motor acelera, mas nunca alcança a velocidade síncrona, pois os condutores do rotor estariam imóveis em relação ao campo do estator e não haveria indução de correntes. Como se observa no ponto final do gráfico da figura 4.1 o conjugado e a potência nessas condições são nulos.

Quando o motor está trabalhando com rotação nominal, ligeiramente abaixo da rotação síncrona, o valor do escorregamento é muito pequeno, mas nunca igual a zero.

4.3 ESTUDO DA CHAVE DE PARTIDA ESTÁTICA

4.3.1 CONCEITOS

Uma Chave de Partida Estática – “SOFT STARTER” consiste de um circuito de potência, onde a tensão da rede é controlada através de tiristores distribuídos nas três fases ligados em antiparalelo. Pode haver variações possíveis como o uso de Triac para cargas de baixa potência ou de um maior número de tiristores por fase, para as altas potências. O circuito de potência é controlado por um circuito eletrônico que pode ser microprocessado. O acionamento e a programação dos parâmetros da chave é feito na própria chave através da IHM (Interface Homem-Máquina) ou remotamente através de um microcomputador.

4.3.2 GRADADORES

O circuito básico de uma chave de partida estática é um gradador trifásico.

Os gradadores são conversores estáticos destinados a variar o valor eficaz de uma tensão alternada aplicada a um equipamento. Caracterizam-se por colocarem a carga em contato direto com a fonte, sem etapas intermediárias. Para cargas de pequena potência é comum o emprego de Triac. Para Potências maiores são empregados dois tiristores ligados em antiparalelo.

O motor de indução é considerada uma carga indutiva, por isso será feita a análise de gradador monofásico para carga RL, descrito na figura 4.2. Ao final serão vistas as considerações para carga trifásica.

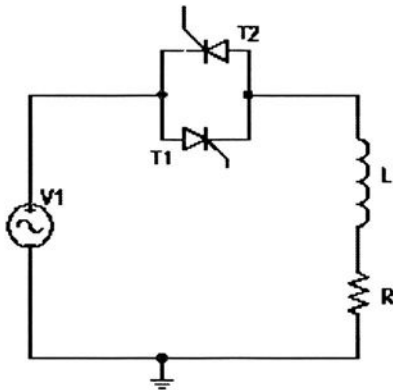


Figura 4.2 Gradador monofásico com carga RL.

Do circuito da figura 4.2 podemos definir a equação 4.2.

$$\cos \phi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

[4.2]

Onde:

$\cos \phi$ – Fator de potência da carga

ϕ – ângulo de defasagem da corrente:

Para variar o valor eficaz da tensão, os tiristores são disparados em diferentes períodos. A figura 4.3 mostra as formas de onda de tensão e corrente do circuito da figura 4.2. A forma de onda tensão de alimentação é considerada uma senóide perfeita. A corrente máxima é disponibilizada para a carga quando o ângulo de disparo α do tiristor é mínimo, isto é quando a corrente é igual a zero, assim $\alpha = \phi$. Nesta ocasião a forma de onda da corrente também é uma senóide aproximadamente perfeita. Quando o ângulo de disparo é maior que ϕ a corrente fornecida à carga é menor e a forma de onda não é uma senóide, sendo uma composição harmônica.

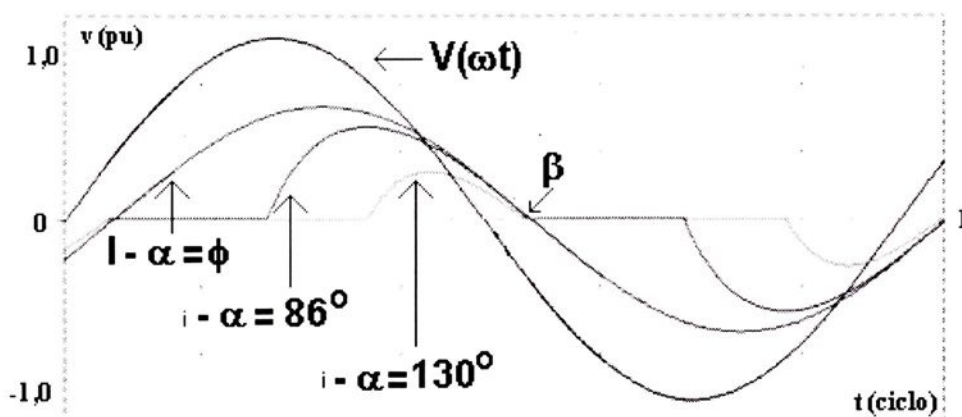


Figura 4.3 Correntes e tensões para o circuito da figura 4.2

Da análise da forma de onda da Fig. 4.3, temos as equações 4.3 e 4.4 :

$$I_M = \frac{\sqrt{2} \cdot V_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad [4.3]$$

$$i = I_M [\text{sen}(\omega \cdot t + \alpha - \phi) - \text{sen}(\alpha - \phi) \cdot e^{-R \cdot t / L}] \quad [4.4]$$

Onde:

v – Tensão de alimentação;

α – Ângulo de disparo dos tiristores;

i – Corrente de carga para um ângulo de disparo $\alpha > \phi$;

I_M – Corrente de carga para um ângulo de disparo $\alpha = \phi$.

O primeiro termo da equação 4.4 representa a componente senoidal da corrente de carga, o segundo representa a componente exponencial, devido ao transitório do circuito RL.

Mudando-se o referencial de tensão na equação 4.3 de $\omega t = 0$ para o $\omega t = \phi$ temos a equação 4.5.

$$i = I_M [\sin(\alpha - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{R(\alpha - \phi)}{\omega L}}] \quad [4.5]$$

Quanto $\omega t = \beta$, a corrente do tiristor se anula e ele se bloqueia.

O ângulo β pode ser determinado pela equação 4.6.

$$\sin(\beta - \phi) - \sin(\alpha - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{R(\omega t - \alpha)}{\omega L}} = 0 \quad [4.6]$$

Que pode ser resolvida iterativamente através de métodos numéricos computacionais ou por meio de ábacos.

A determinação das correntes média e eficaz sobre os tiristores é importante no ponto de vista de dimensionamento. Tratam-se de expressões complexas e dependentes de mais de uma variável.

4.3.2.1 HARMÔNICOS DA CORRENTE DE CARGA:

O estudo das componentes harmônicas da corrente é de fundamental importância, porque a corrente com forma de onda distorcida é introduzida na rede, provocando assim a distorção da forma de onda da tensão. Outros efeitos são ressonância com bancos de capacitores, interferência nos sinais telefônicos causadas pelas componentes de ordem superior.

4.3.2.2 ESTRUTURAS TRIFÁSICAS

As chaves de partida estática – *Soft Starters*, são gradadores destinados a partida de motores elétricos de indução. Tais circuitos são em geral trifásicos, assim possibilitam arranjo em Estrela (Y), em Delta (Δ) ou com os tiristores dentro do delta. Os motores devem ter pelo menos 6 terminais.

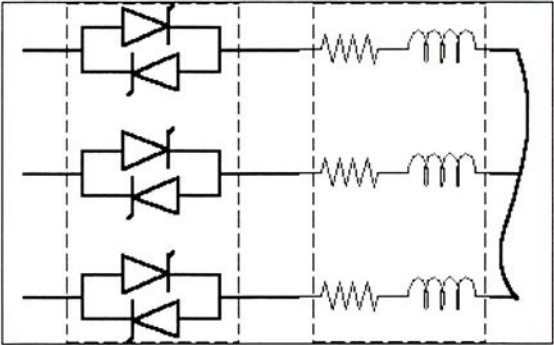


Figura 4.4 Conexão Estrela.

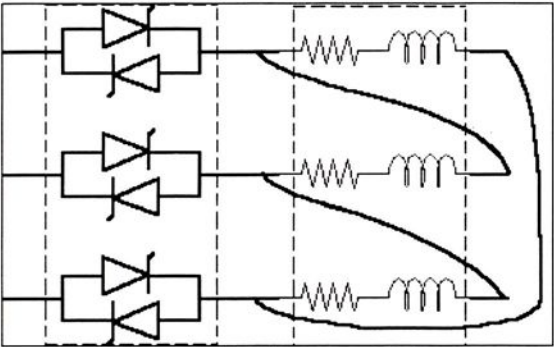


Figura 4.5 Conexão Delta.

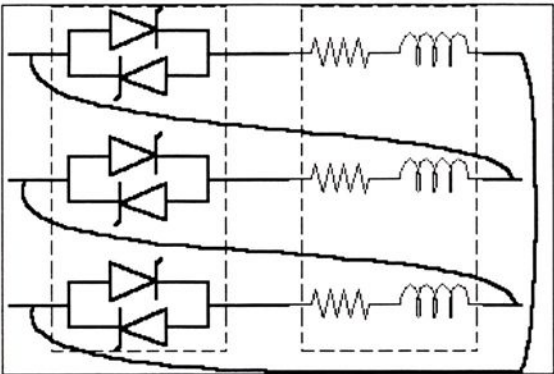


Figura 4.6 Tiristores na ligação Delta.

A conexão em estrela – Os terminais da chave são ligados aos do motor, e os outros terminais são curto-circuitados, formando uma estrela como na figura 4.4.

As correntes de linha são iguais às correntes de fase.

Não há compensação ou eliminação de qualquer ordem harmônica.

A conexão em delta – Os terminais da chave são conectados em série com os do motor, que estão ligados em Delta, como na figura 4.5.

As correntes de linha são composições das correntes de fase. As componentes harmônicas de sequência 0 (múltiplas de 3) ficam circulando dentro do Delta, assim elas não se propagam pela rede.

Com os tiristores inseridos na conexão delta Os terminais da chave são ligados aos do motor, que juntos formam o Delta, como na figura 4.6.

A grande vantagem dessa configuração é que a corrente do gradador é a corrente de fase do motor, sendo $\sqrt{3}$ vezes menor que a corrente de linha. Assim a mesma chave usada na figura 4.5 pode acionar um motor 58% mais potente.

Como desvantagem tem-se o fato dos tiristores conduzirem todas as ordens harmônicas, inclusive as múltiplas de 3. O que tende a aumentar a corrente durante o funcionamento;

4.3.3 PARÂMETROS

Uma chave de partida estática pode ser programada de forma a atender as necessidades do motor e da carga. A programação se baseia em parâmetros, que são as funções da chave.

O principal parâmetro das chaves de partida estática é a rampa de partida. A tensão inicial aplicada é uma parcela da tensão nominal e o valor vai aumentando até a tensão plena. Assim, limitando-se a tensão aplicada ao motor, a corrente de partida também é limitada. Esse parâmetro pode se livremente variado. A tensão inicial e o tempo da aceleração são as variáveis. Os valores permitidos para a chave estudada são dados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores para a Rampa de Partida.

Variável	Menor Valor	Maior Valor
Tensão Inicial (% V_N)	25	90
Tempo de aceleração (seg.)	1	240

Os valores assumidos podem ser vistos na figura 4.7, que ilustra a variação da tensão com o tempo. Essa variação ocorre durante o tempo de aceleração.

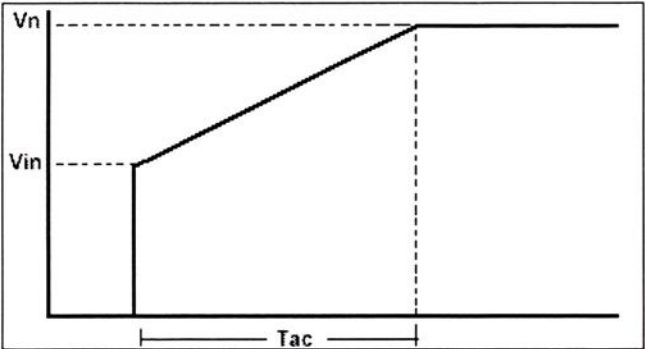


Figura 4.7 Rampa de Partida.

Rampa de partida: A tensão inicial é igual a V_{IN} (Tensão Inicial) e aumenta até V_N (Tensão Nominal) e o tempo é dado por T_{ac} (Tempo da Rampa de Aceleração).

A determinação dos valores de Tensão Inicial e do Tempo da Rampa de Aceleração depende da potência do motor e da carga ligada ao eixo durante o processo de partida. Para um motor a vazio, o conjugado necessário para partir a carga será o mínimo. Pode-se optar por uma tensão inicial baixa por exemplo 40% de V_N e por um tempo pequeno, 10 Seg. podem ser suficientes. Esses valores podem ser variados com o aumento da carga.

Outros parâmetros são de uso mais específico, como a rampa de desaceleração, recomendada em sistemas de bombeamento para evitar os golpes de aríete nas tubulações. Ao ser acionado o desligamento do motor, a tensão vai de um valor inicial que pode ou não ser o valor nominal até zero. A frenagem torna-se então mais lenta que se fosse realizado um desligamento brusco. A tabela 4.2 indica os valores dessa função para a chave estudada.

Tabela 4.2 – Valores para a Rampa de Desaceleração.

Variável	Menor Valor	Maior Valor
Tensão Inicial (% V_N)	40	100
Tempo da Rampa (seg)	1	240

Os valores assumidos podem ser vistos na figura 4.8. que ilustra a variação da tensão com o tempo. Essa variação ocorre durante o tempo de aceleração.

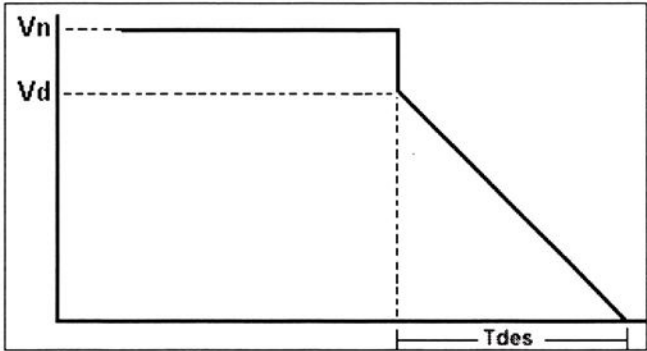


Figura 4.8 Rampa de desaceleração.

A rampa de desaceleração, a tensão inicial pode ser igual ou inferior a tensão nominal V_N . O valor da tensão diminui até 0 e dura T_{DES} (Tempo de Desligamento)

O pulso de partida é aplicado quando a inércia estática da carga ligada ao motor é muito alta, sendo necessário aplicar um pulso de tensão próximo da nominal para movimentar a carga antes da aplicação da rampa. Os valores assumidos podem ser vistos na figura 4.9, que ilustra a variação da tensão com o tempo. Essa variação ocorre durante o tempo de aceleração.

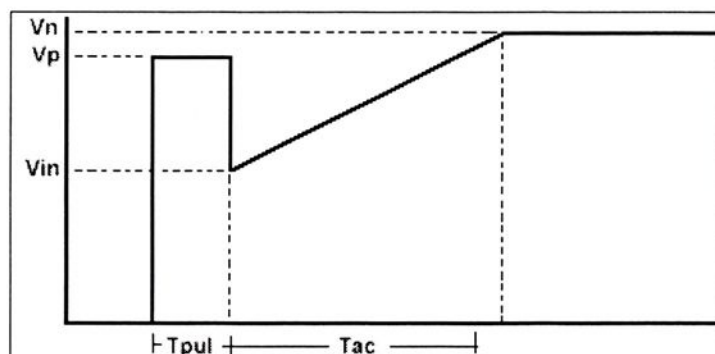


Figura 4.9 Pulso de partida seguido pela Rampa.

Observa-se na figura 4.9:

- Pulso de partida, onde V_p (Tensão do Pulso) é próximo da tensão nominal e dura T_{PUL} (Tempo do Pulso).
- Rampa de partida, vai de V_{IN} (Tensão Inicial) até V_N (Tensão Nominal) e dura T_{ac} (Tempo de Aceleração).

A frenagem por Corrente Contínua é outra função que pode ser oferecida pelas chaves de partida estática. Neste caso o circuito do gradador funciona em apenas um ciclo, formando um retificador. Ao se injetar corrente contínua nos enrolamentos do estator do motor de indução trifásico ocorre a brusca parada do campo girante e consequentemente o parada do rotor.

A programação da chave inclui ainda determinação das especificações do motor, como tensão, corrente nominal, fator de serviço e as informações referentes a limitação de corrente.

4.3.4 FUNÇÃO ECONOMIA DE ENERGIA

A uso das chaves de partida estática não é preocupante no contexto da qualidade de energia elétrica porque, apesar da corrente altamente distorcida, ela só é usada durante a partida do motor. O tempo de alguns segundos é muito pequeno se comparado ao funcionamento normal do motor e neste caso deve ser observada a possibilidade de ocorrer ressonância com banco de capacitores na instalação ou no próprio circuito da chave. Em geral, após a partida essa chave é retirada do sistema por meio de um contator, sendo que em algumas situações uma única chave pode acionar vários motores em um linha de produção, desde que os motores sejam de potência equivalente. Com isso aumenta-se a vida útil dos componentes eletrônicos.

O mesmo circuito básico da chave, o gradador trifásico pode ser usado também para limitar a tensão aplicada ao motor durante o seu funcionamento normal. Com a redução da tensão de alimentação há uma variação correspondente na curva de conjugado do motor, diminuindo o conjugado máximo e a sua capacidade de carga. Por essas características, a função também é conhecida como otimização de torque.

Seu uso é interessante com motores que trabalham a vazio ou subcarregados. O conjugado exigido pela carga é mais próximo do novo conjugado nominal, aumentando-se a eficiência do motor. Além do mais, com a tensão eficaz é diminuída, diminuindo também a corrente de magnetização, as perdas de magnetização (Ferro) e as perdas nos enrolamentos (Cobre) do motor. O fator de potência aumenta, sendo este normalmente baixo para o sub carregamento.

Na chave estudada, essa função podia ser acionada pela IHM. Ela entrava em funcionamento logo após concluída a partida do motor (Rampa). Sua faixa de atuação observada foi entre 80 e 100% da tensão nominal.

Um estudo mais elaborado será realizado com esta função. O objetivo é determinar as vantagens e desvantagens do uso da função economia de energia.



4.4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios visam determinar a sensibilidade da chave quando ocorre um distúrbio na tensão de alimentação durante a atividade normal da chave. Para tal, foi montado um sistema consistindo de um motor de indução alimentado por uma chave de partida estática. Foi utilizada a ligação em delta, esquematizada na figura 4.5.

Adicionalmente foram realizados também estudos sobre a partida do motor e sobre o uso da função conservação de energia. Os estudos visam determinar se o uso das chaves de partida estática é prejudicial ao sistema de energia sob o ponto de vista de propagação de correntes e tensões harmônicas pelo sistema.

4.4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:

Para a realização dos ensaios sobre o comportamento dos contadores aos distúrbios da tensão de alimentação, foram utilizados os seguintes equipamentos.

- Motor – 2CV – 220V – 6A;
- Chave de Partida Estática 16A;
- Fonte de alimentação controlada/programável California Instruments® – modelo 6000L – trifásica;
- Sistema de Aquisição de Dados – “Wave Book 516” – IoTech®;
- Software de processamento de sinais DasyLab 4.0, DasyTec®.
- Micro Computador IBM® PC166;
- Osciloscópio Tectronix® TDS 320;
- Transdutores de Tensão e Corrente;
- Cabos para Ligação de Força e Sinais.



A análise segue o roteiro da fig. 4.10 em todos os ensaios. A fonte de alimentação controlada/programável fornece a tensão de alimentação à chave, que por sua vez aciona o motor. As tensões de alimentação (Fase – Fase) na entrada e na saída da chave são amostradas por transdutores de tensão e as correntes na entrada do motor são amostradas por um transdutor de corrente. Os sinais são enviados ao sistema da aquisição de dados que após digitalizados são enviados, analisados e armazenados no microcomputador.



Figura 4.10 Roteiro do experimento

4.4.2 PARTIDA DO MOTOR

Foi realizado uma análise da partida do motor acionado pela chave de partida estática.

A figura 4.11 mostra os gráficos de tensão de alimentação da chave, tensão do motor proveniente da saída da chave e corrente do motor durante o processo de partida.

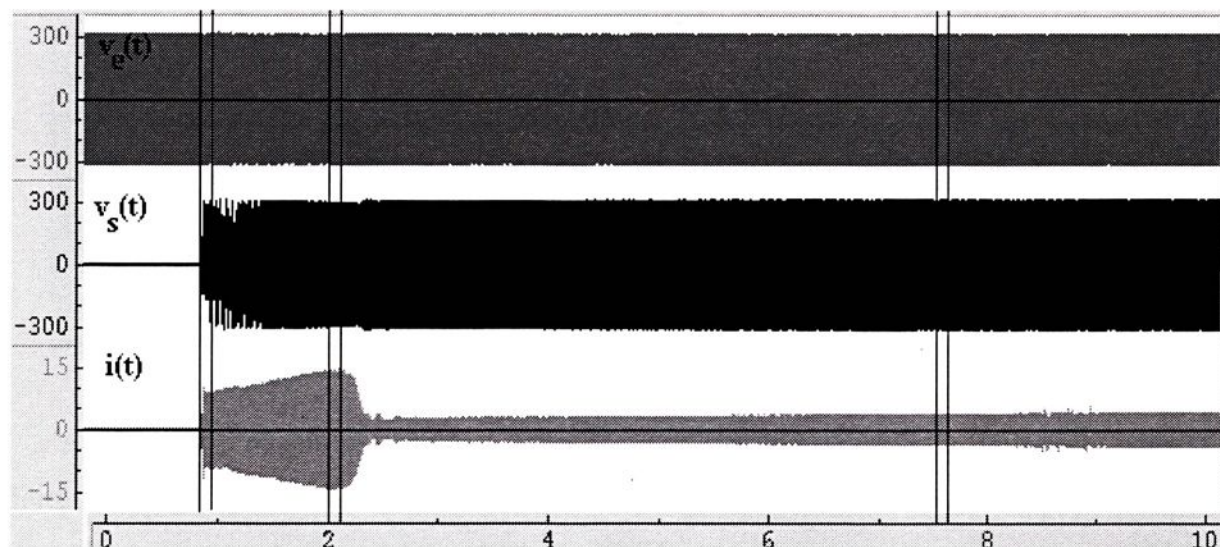


Figura 4.11 Partida do motor.

Observa-se no segundo gráfico a tensão imposta ao motor logo após a partida é recortada. O terceiro gráfico mostra a corrente que mesmo com o uso da “Soft – starter” é bem maior que a corrente nominal do motor.

O processo de partida leva em torno de 10 segundos, este é o tempo programado para a rampa de partida. Entretanto o motor leva cerca de um segundo e meio (1.5seg) para chegar a velocidade próxima a nominal, observados facilmente na curva de corrente. Esta situação é observada em partidas com o motor a vazio. Com o aumento da carga acoplada ao motor a partida se torna mais lenta e podem ser necessárias mudanças na programação da chave.

Para visualizar os efeitos da partida, foram selecionados 4 intervalos de tempo de cerca de 5 ciclos representados pelas linhas verticais da curva da figura 4.11.

A figura 4.12 mostra os primeiros ciclos logo após a partida. A tensão imposta ao motor é muito distorcida (recortada), sendo equivalente a 30% da tensão nominal (220V).

A corrente aumenta a cada ciclo, o eixo do motor ainda permanece parado.

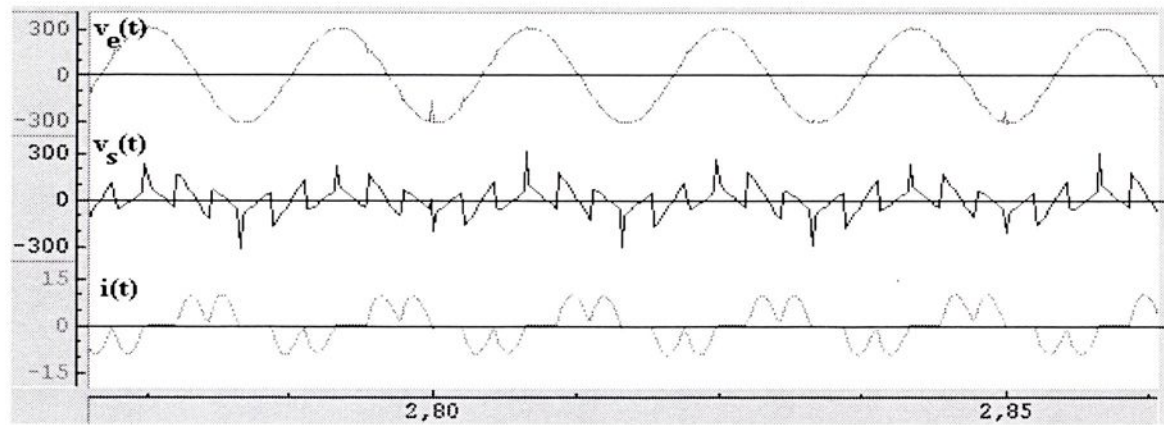


Figura 4.12 Formas de onda no início da partida.

A figura 4.13 mostra os espectros harmônicos das formas de onda da figura 4.12. Observa-se a forte presença de ordens múltiplas de 5 e 7 nas formas de onda de tensão (curva 2) e corrente (curva 3) do motor. A forma de onda da tensão de entrada (curva 1) permanece senoidal, mas apresenta pequenas distorções em alguns trechos causadas pela circulação das correntes harmônicas pelos circuitos de alimentação compreendido pelos cabos e pela própria fonte.

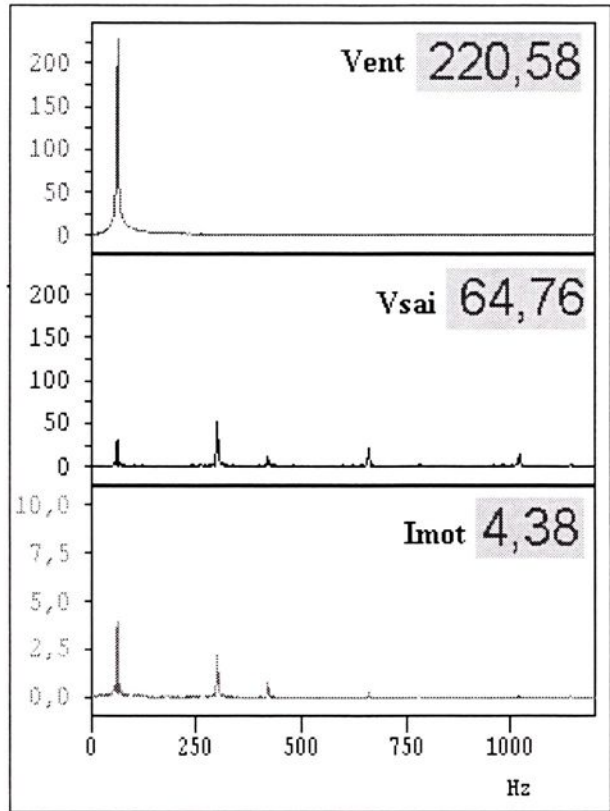


Figura 4.13 Espectro harmônico das formas de onda da figura 4.12 e valores RMS.

A figura 4.14 mostra alguns ciclos no pico de corrente. A tensão imposta ao motor ainda é muito distorcida (recortada), sendo equivalente a 45% da tensão nominal (220V).

O eixo do motor já venceu a inércia inicial e ocorre uma rápida aceleração, a corrente cai rapidamente para o valor correspondente ao motor funcionando a vazio.

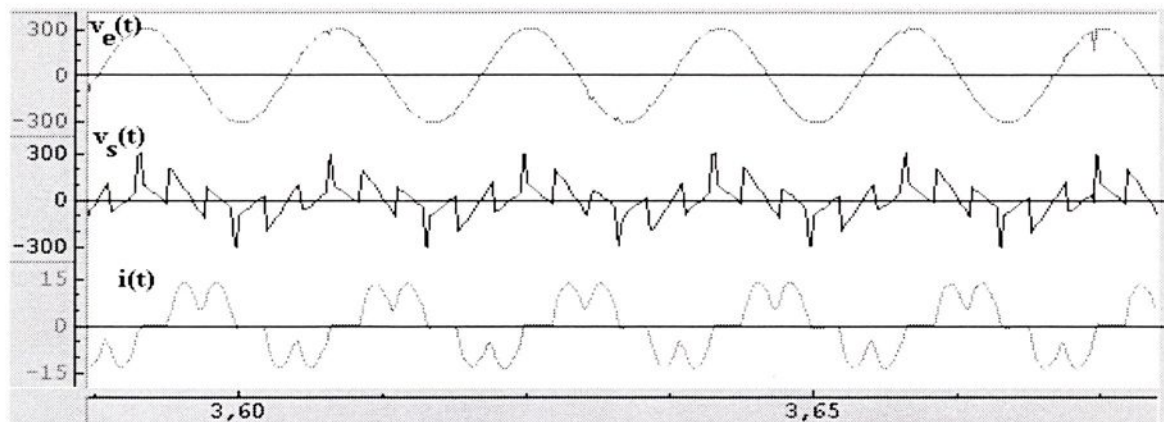


Figura 4.14 Formas de onda mostrando o pico de corrente.

A figura 4.15 mostra os espectros harmônicos das formas de onda da figura 4.14. As formas de onda de tensão e corrente do motor ainda apresentam uma alta taxa de distorção harmônica. A forma de onda da tensão de entrada apresenta a máxima distorção harmônica coincidindo com a máxima corrente no motor.

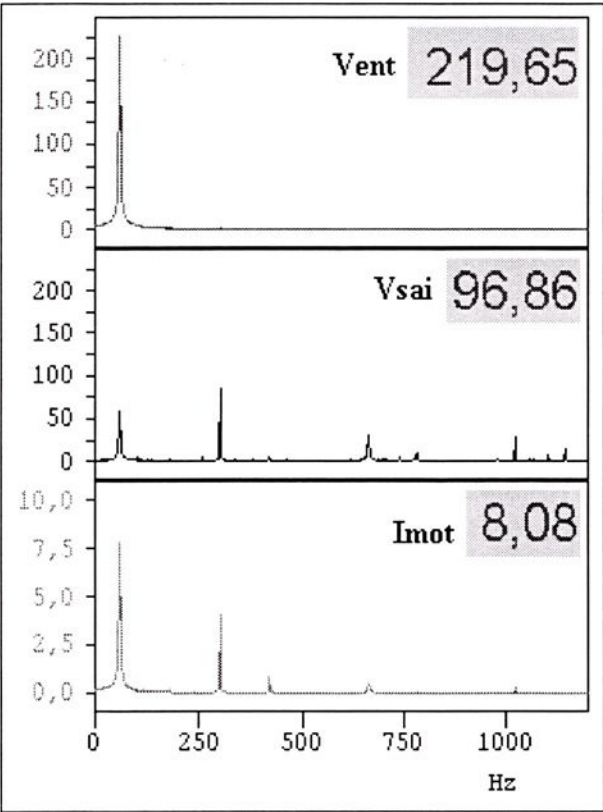


Figura 4.15 Espectro harmônico das formas de onda da figura 4.14 e valores RMS.

A figura 4.16 mostra alguns ciclos no final do processo de partida. A tensão imposta ao motor já apresenta uma forma senoidal, mas ainda apresenta uma distorção.

O eixo do motor está a rotação nominal, a corrente apresenta um valor abaixo do valor final, pois a tensão sobre o motor ainda não atingiu o valor nominal.

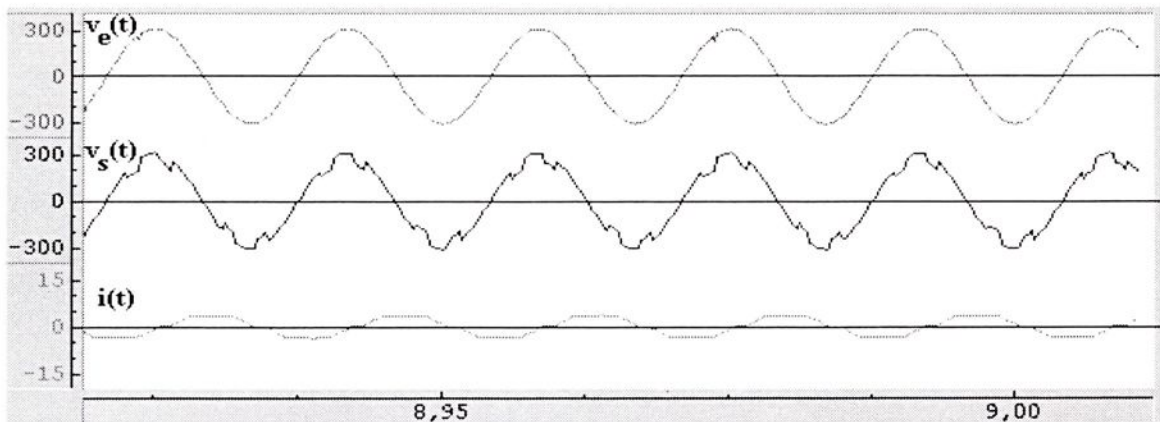


Figura 4.16 Formas de onda no final do processo de partida.

A figura 4.17 mostra os espectros harmônicos das formas de onda da figura 4.16. A componente fundamental (60Hz) é predominante em todas as formas de onda. A Tensão e corrente do motor ainda apresentam uma pequena distorção.

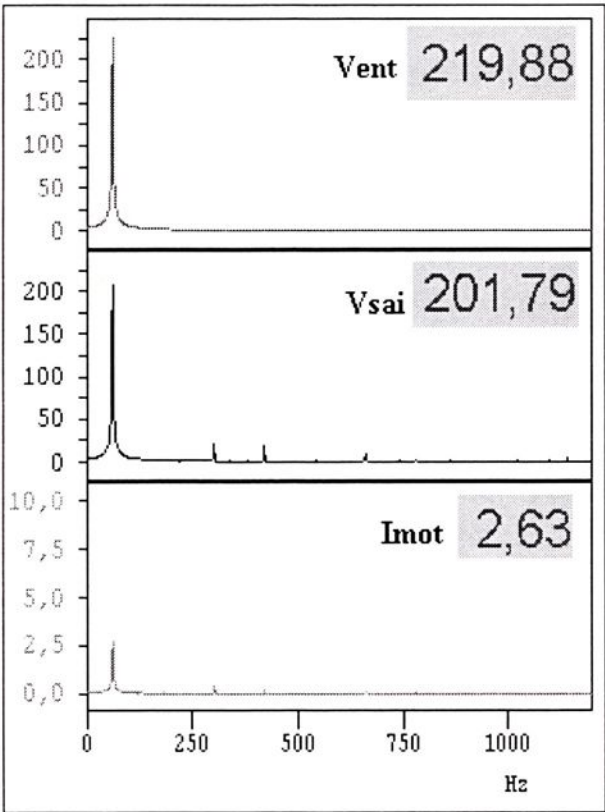


Figura 4.17 Espectro harmônico das formas de onda da figura 4.16 e valores RMS.

A figura 4.18 mostra o funcionamento do motor após completo o processo de partida. A Tensão e corrente do motor ainda apresentam uma pequena distorção, devido a características dos tiristores.

O eixo do motor está a rotação nominal, a corrente apresenta o valor correspondente ao motor funcionando a vazio.

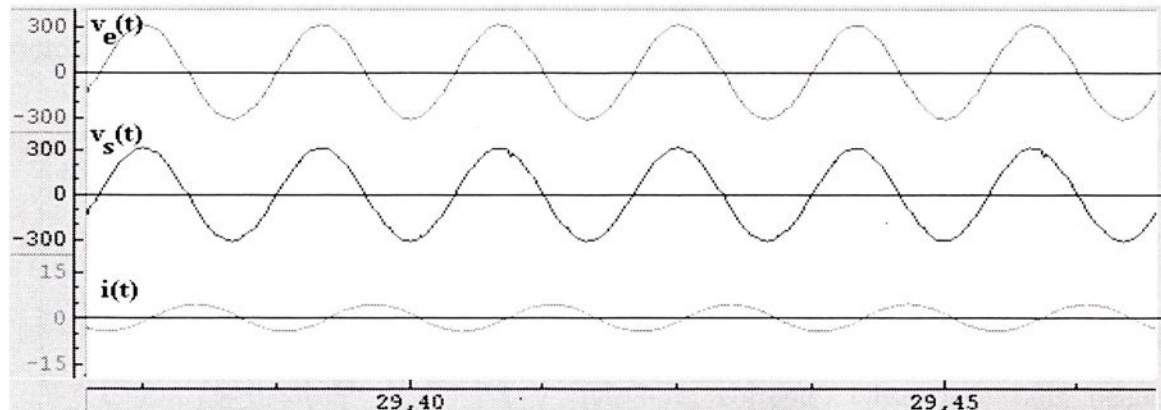


Figura 4.18 Formas de onda após o processo de partida.

A figura 4.19 mostra os espectros harmônicos das formas de onda da figura 4.18. A componente fundamental (60Hz) é a única presente em todas as formas de onda.

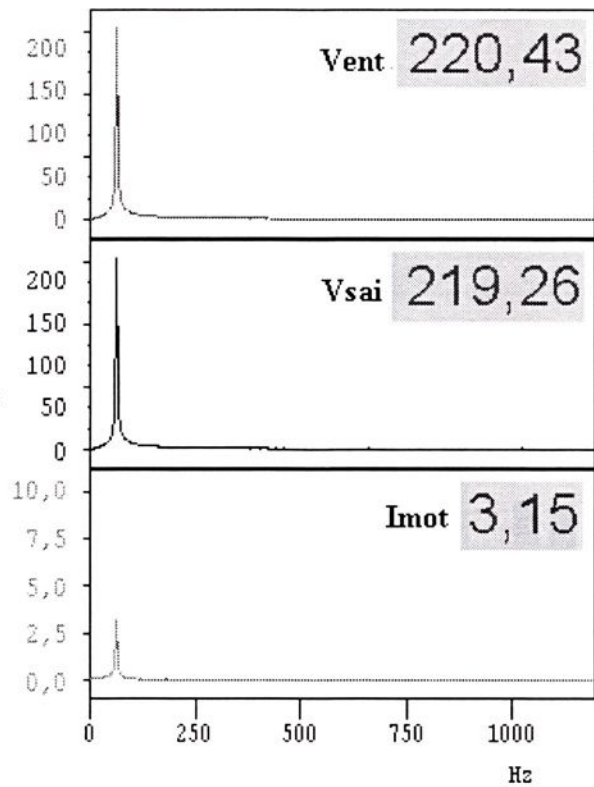


Figura 4.19 Espectro harmônico das formas de onda da figura 4.18 e valores RMS.



4.4.3 FUNÇÃO ECONOMIA DE ENERGIA

Neste experimento foram realizadas aquisições de tensão e corrente do motor após concluído o processo de partida. O estudo visa mostrar graficamente as formas de onda e os componentes harmônicos para o funcionamento normal e com a função economia de energia ativada.

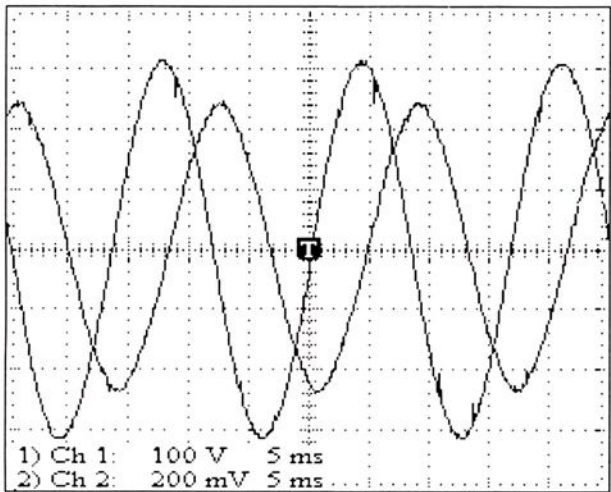


Figura 4.20 formas de onda.

A primeira aquisição foi realizada com a função economia de energia desativada. A figura 4.20 mostra as formas de onda de tensão e corrente. Observa-se uma pequena distorção produzida pelos disparos dos tiristores em $\alpha = 0^\circ$.

A figura 4.21 mostra a composição harmônica da forma de onda da tensão aplicada ao motor.

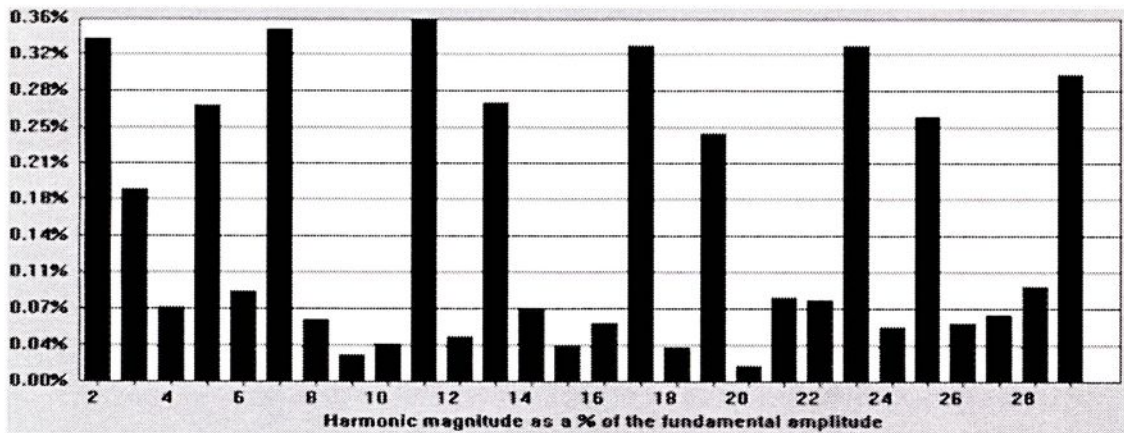


Figura 4.21 Composição Harmônica da Tensão.

A figura 4.22 mostra a composição harmônica da forma de onda da corrente aplicada ao motor.

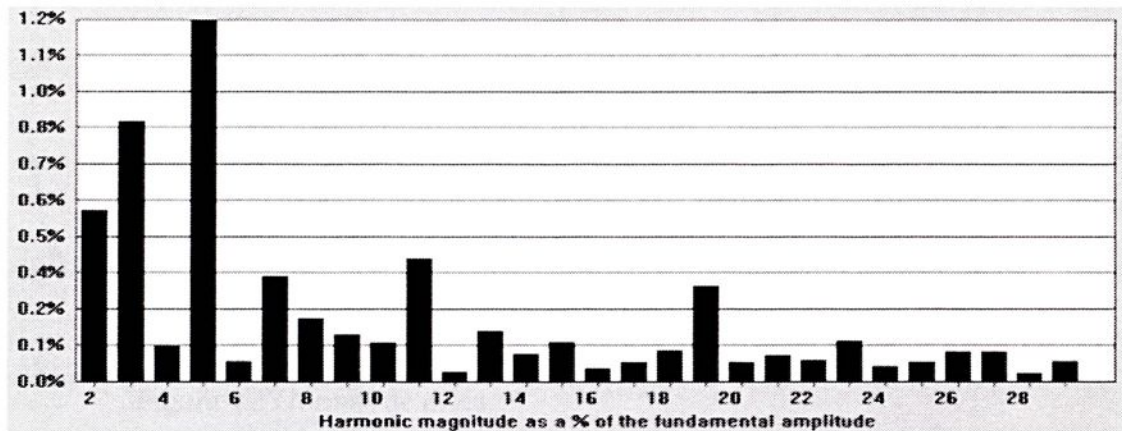


Figura 4.22 Composição Harmônica da Corrente.

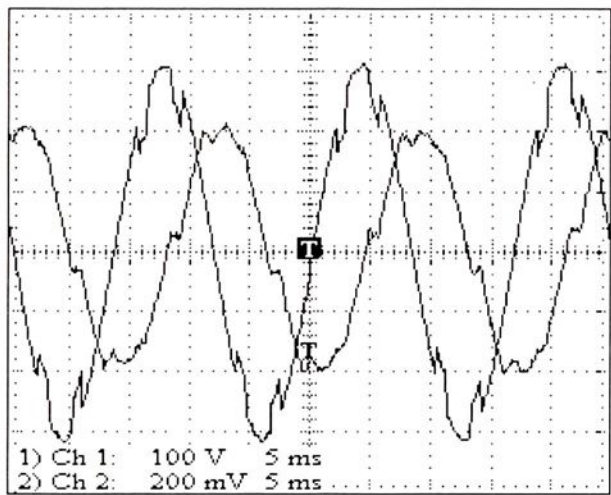


Figura 4.23 formas de onda.

A segunda aquisição foi realizada com a função economia de energia ativada. A figura 4.23 mostra as formas de onda de tensão e corrente. Observa-se uma distorção bem maior, produzida pelo atraso no disparos dos tiristores ($\alpha > 0^\circ$).

A figura 4.24 mostra a composição harmônica da forma de onda da tensão aplicada ao motor.

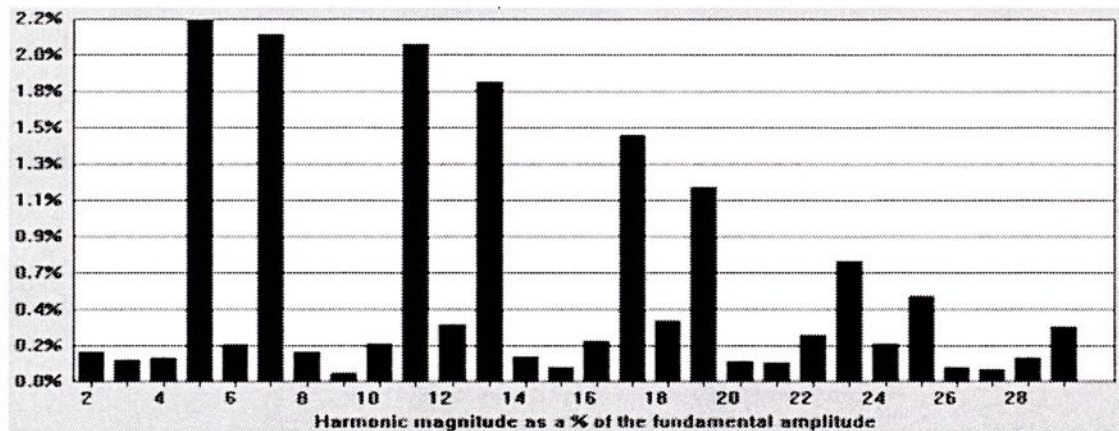


Figura 4.24 Composição Harmônica da Tensão.

A figura 4.25 mostra a composição harmônica da forma de onda da corrente aplicada ao motor.

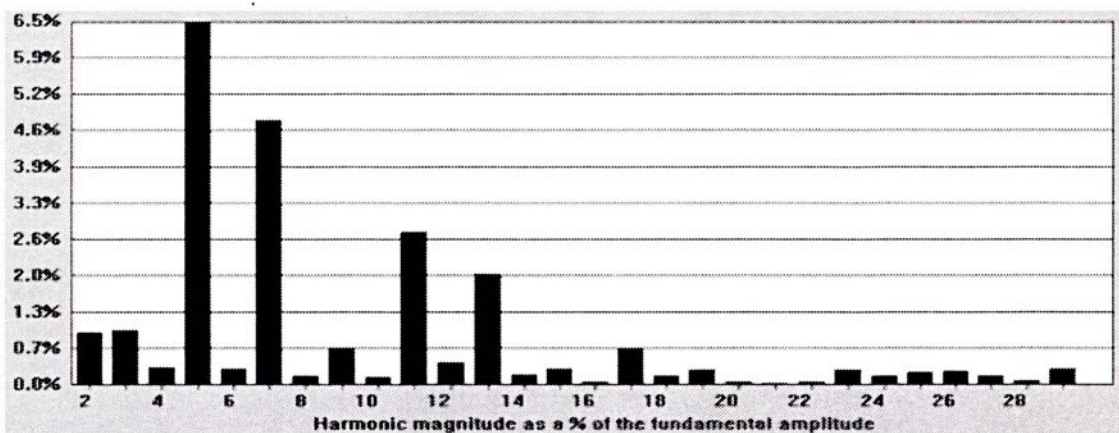


Figura 4.25 Composição Harmônica da Corrente.

4.4.4 SENSIBILIDADE A DISTÚRBIOS

O procedimento de aplicação dos distúrbios para a chave de partida estática é apresentado a seguir:

- 1– Aciona-se o botão liga e aguarda-se o tempo necessário para completar-se a partida do motor.
- 2– Aplica-se um distúrbio, com valor de tensão iniciando-se com 0% de V_N e com um tempo mínimo de 0,1 ciclo. Verifica-se o comportamento do conjunto;
- 3– Se não for observado a falha no funcionamento da chave, aumenta-se o tempo de duração e aplica-se novamente o distúrbio. Repetir esse processo até que uma falha seja verificada.
- 4– Voltar ao passo 1, aumentando-se o valor de tensão do distúrbio em 10 % de V_N ;
- 5– Encontrar o valor de tensão no qual não for verificada a abertura dos contatos, mesmo para um tempo longo, adota-se esse como o a tensão mínima suportada;
- 6– Elabora-se a curva de sensibilidade através da interligação dos diversos pontos determinados em um gráfico Tempo de Duração x Tensão Aplicada.



4.4.4.1 DISTÚRBIOS MONOFÁSICOS (FASE DO ALIMENTADOR)

Neste experimento, a fonte geradora foi programada a aplicar um distúrbio em apenas uma das fases, exatamente a fase que alimentava a chave de partida estática. Na figura 4.26 é mostrada uma interrupção. O primeiro gráfico mostra a tensão de linha V_{AB} na entrada da chave. O segundo gráfico mostra a mesma tensão na saída da chave, alimentando o motor. O tempo suportado foi de cerca de 10 ciclos.

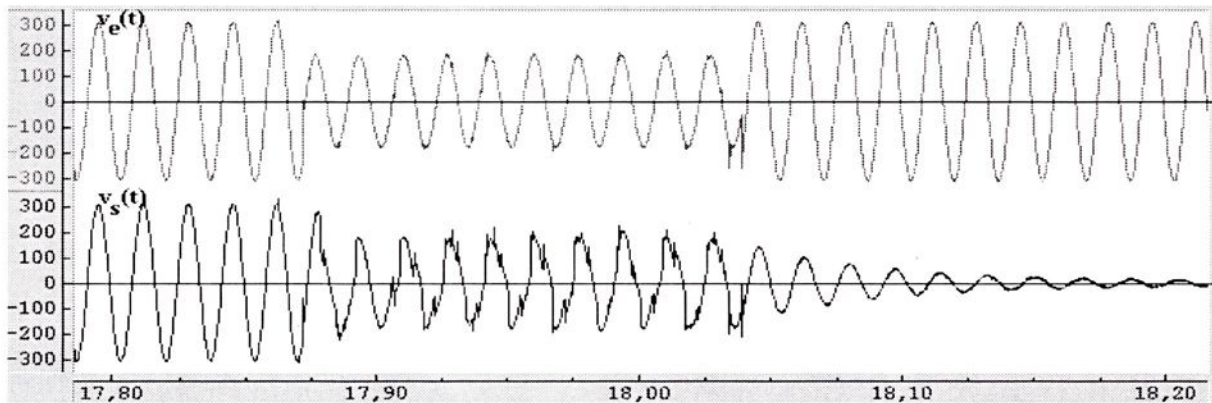


Figura 4.26 Interrupção

Na figura 4.27 é mostrado um afundamento de 90% em uma das fases do alimentador. O tempo suportado foi de cerca de 12 ciclos.

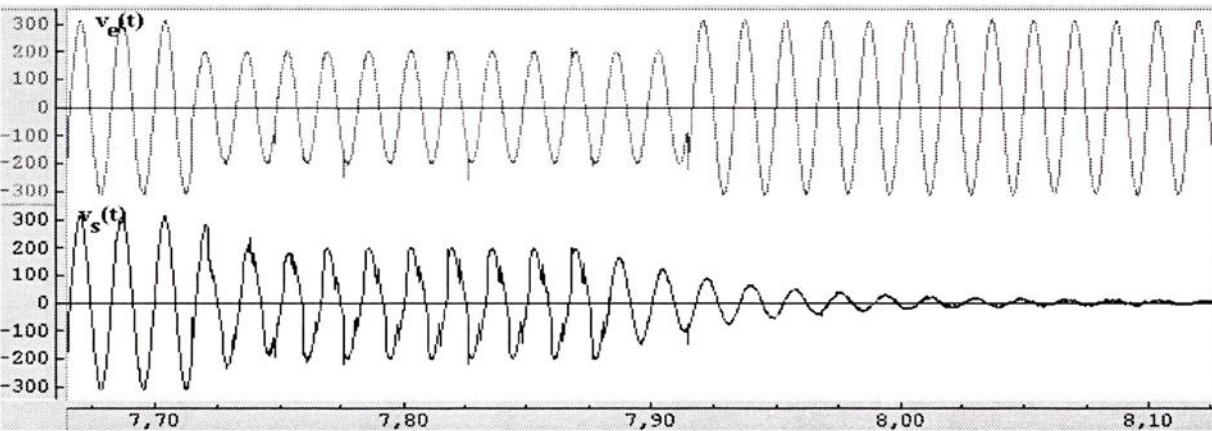


Figura 4.27 Afundamento 90% (10% V_N)

Na figura 4.28 é mostrado um afundamento de 80% em uma das fases do alimentador. O tempo suportado também foi de cerca de 12 ciclos.

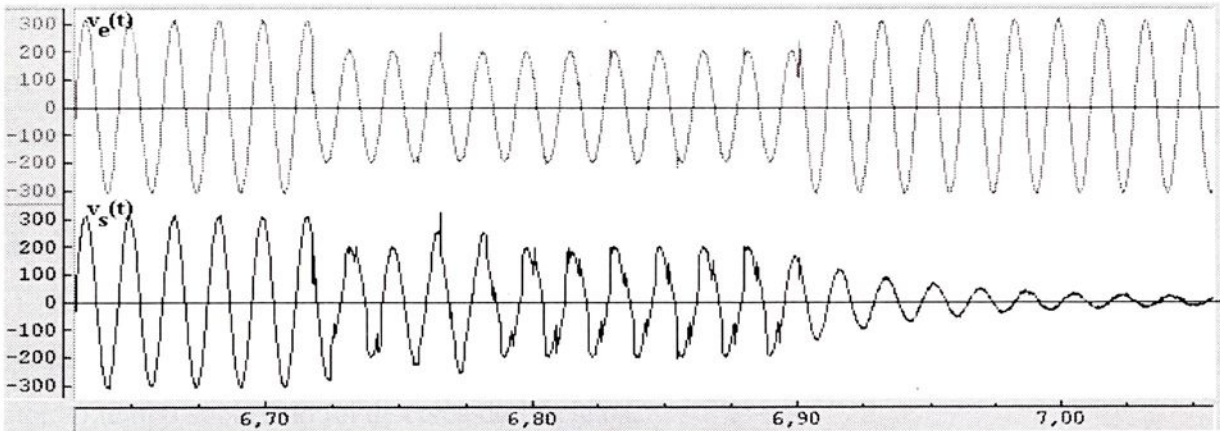


Figura 4.28 Afundamento 80% (20% V_N)

Na figura 4.29 é mostrado um afundamento de 70% em uma das fases do alimentador. O tempo suportado foi de cerca de 14 ciclos.

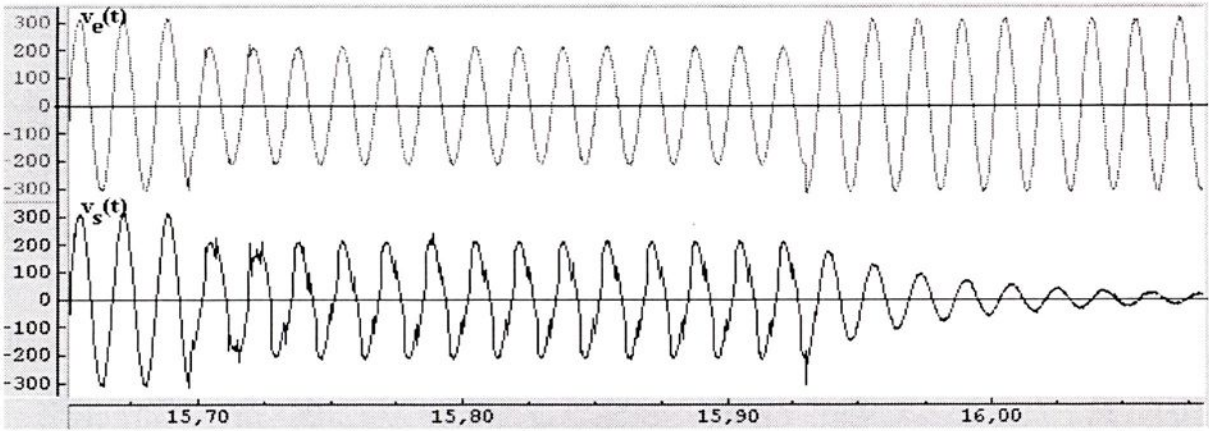


Figura 4.29 Afundamento 70% (30% V_N)

Na figura 4.30 é mostrado que um afundamento de 68% pode ser suportado por um tempo muito longo pelo conjunto. A proteção por falta de fase pode atuar após alguns segundos, dependendo do nível de tensão.

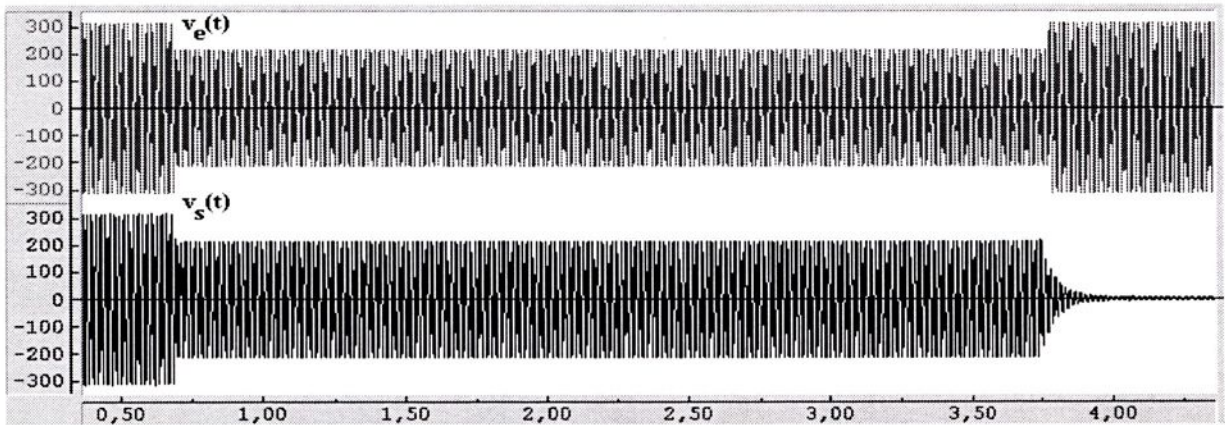


Figura 4.30 Afundamento longo (32% V_N)

4.4.4.2 DISTÚRBIOS TRIFÁSICOS

Neste experimento, a fonte geradora foi programada a aplicar um distúrbio em todas as fases com as mesmas características tensão x tempo. Assim como no caso anterior, o distúrbio aplicado variava com a tensão, iniciando-se com 0% de V_N (Interrupção) até determinar a tensão mínima suportada por longos períodos (regime permanente). Foi observado o comportamento do conjunto e elaborada a curva de sensibilidade do equipamento.

Na figura 4.31 é mostrada uma interrupção. O primeiro gráfico mostra a tensão de linha V_{AB} na entrada da chave. O segundo gráfico mostra a mesma tensão na saída da chave, alimentando o motor. O tempo suportado foi de cerca de 18 ciclos.

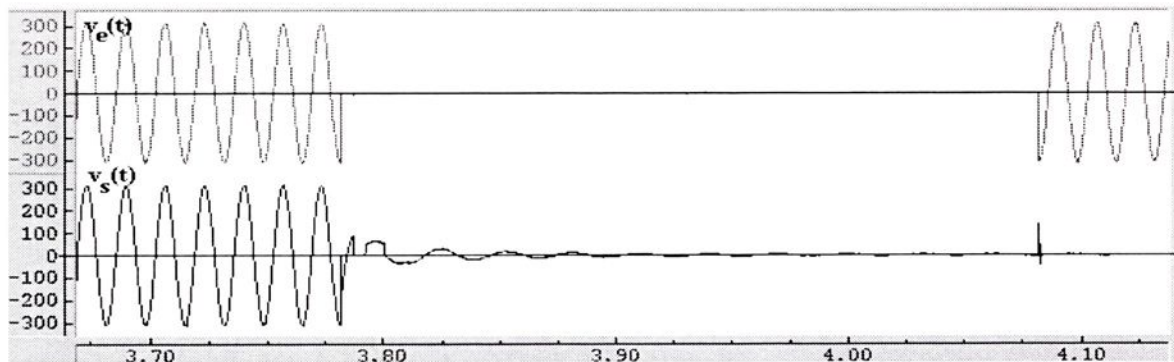


Figura 4.31 Interrupção

Na figura 4.32 é mostrado um afundamento de 90%. O tempo suportado foi de cerca de 10 ciclos.

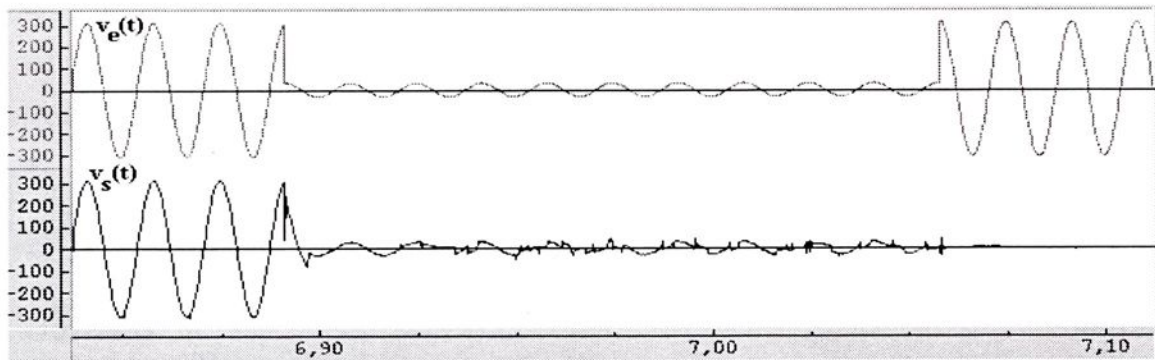


Figura 4.32 Afundamento 90% (10% V_N)

Na figura 4.33 e 4.34 são mostrados afundamentos de 70%. Na primeira curva, foi aplicado um afundamento com duração de 10 ciclos. Após a tensão de entrada voltar ao valor normal, a tensão de saída também se normalizou.

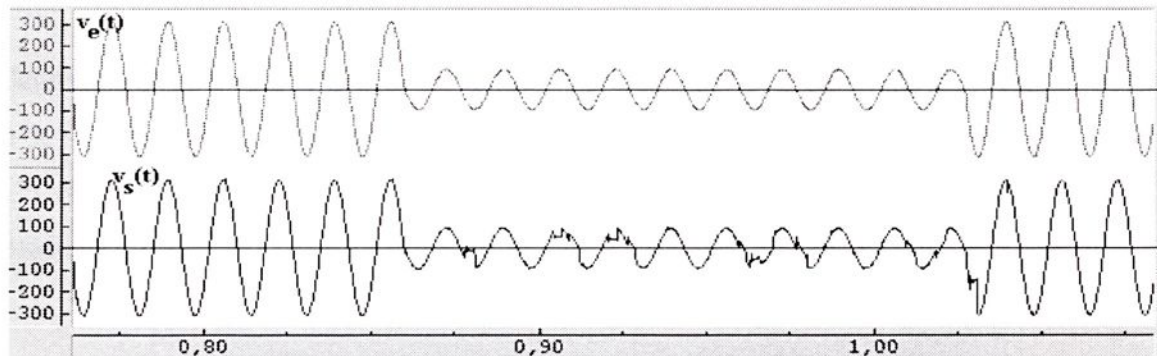


Figura 4.33 Afundamento 70% (30% V_N). Não falhou.

Na figura 4.34 o tempo suportado foi de cerca de 11 ciclos.

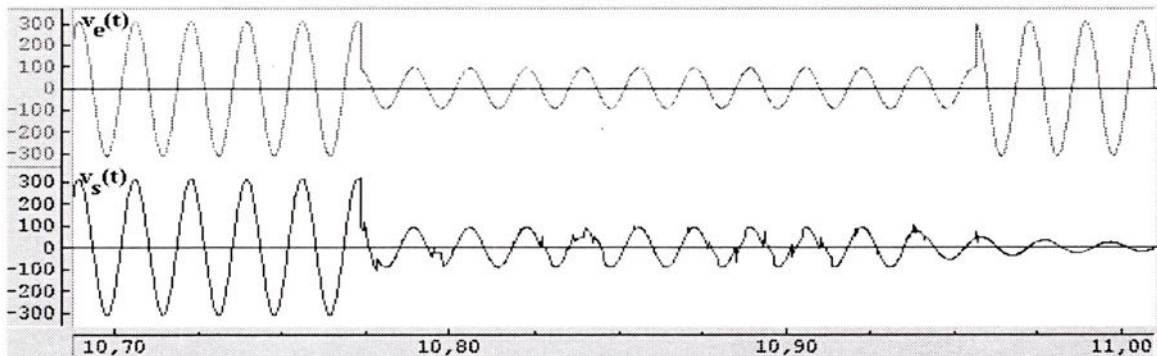


Figura 4.34 Afundamento 70% (30% V_N)

Na figura 4.35 é mostrado que um afundamento de 68% pode ser suportado indefinidamente pelo conjunto. Neste caso uma eventual carga no motor poderia não ser suportada e a proteção por rotor bloqueado presente nas chaves de partida estática podem atuar

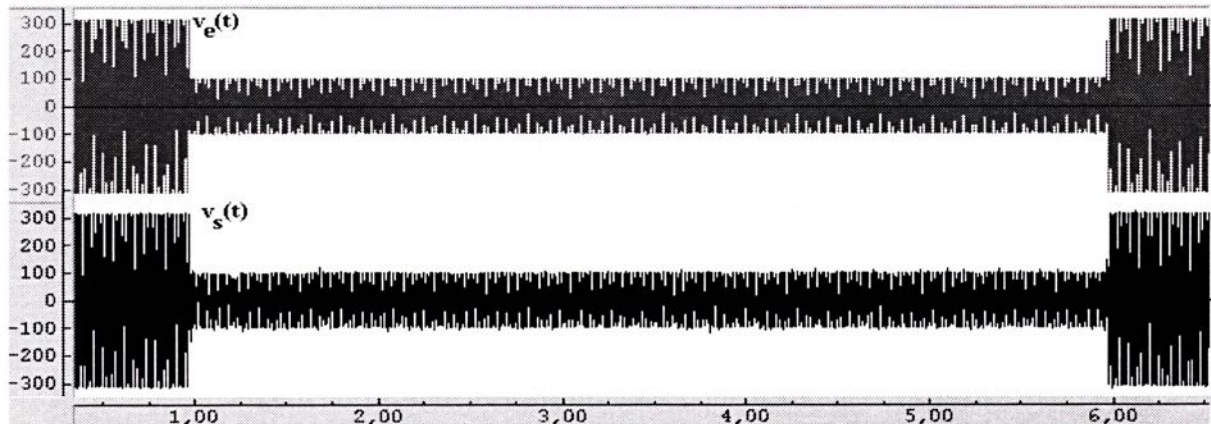


Figura 4.35 Afundamento longo (32% V_N)

4.4.4.3 RESULTADOS

Os ensaios nos itens acima determinaram a sensibilidade da chave de partida estática a afundamentos com diversos níveis de tensão. Plotando os resultados em um gráfico, obtemos a curva de sensibilidade do equipamento.

A figura 4.36 apresenta os resultados do item 4.4.4.1, a curva de sensibilidade aos distúrbios monofásicos.

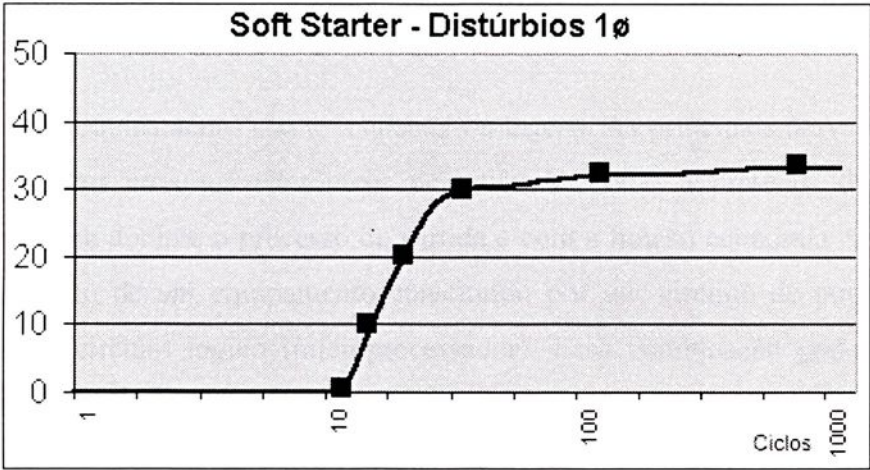


Figura 4.36 Curva de sensibilidade para distúrbios monofásicos.

A figura 4.36 apresenta os resultados do item 4.4.4.2, pode-se elaborar a curva de sensibilidade aos distúrbios trifásicos.

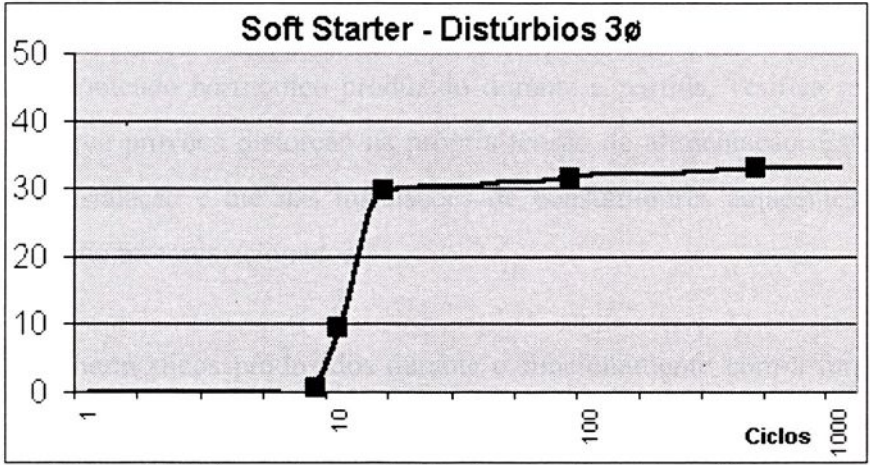


Figura 4.37 Curva de sensibilidade para distúrbios trifásicos.

Ao longo das duas curvas observa-se que os valores encontrados são muito parecidos, desde as interrupções momentâneas até os afundamentos de longa duração.

4.5 CONCLUSÃO

Comparado com os métodos convencionais de partida, as chaves de partida estática fornecem vantagens que vão além da partida suave. Outros recursos são disponibilizados na maioria das chaves hoje no mercado, como a possibilidade de parada suave, parada rápida com a injeção de corrente contínua, programações especiais para operação de equipamentos como bombas submersas e a otimização da curva de torque, que recebe o nome de função economia de energia.

Entretanto esse equipamento não tem apenas vantagens. As principais desvantagens estão nas características dos seus circuitos eletrônicos de potência, como a presença de harmônicos de corrente, especialmente durante o processo de partida e com a função economia de energia ativada. Cita-se também o fato de um equipamento constituído por um circuito de potência (Tiristores) controlados por um circuito lógico (microprocessador). Essa combinação pode resultar em um equipamento sensível a distúrbios.

Neste capítulo foram abordados experimentalmente as principais características das chaves de partida estática, os componentes harmônicos produzidos durante a partida e com a função economia de energia ativada. O principal tópico estudado foi um estudo de sensibilidade do equipamento a distúrbios na tensão de alimentação, como as interrupções e afundamentos de tensão.

No estudo do conteúdo harmônico produzido durante a partida, verifica-se formas de onda muito distorcidas, o que provoca distorção na própria tensão de alimentação. Esse efeito pode ser sentido em toda a instalação e até nas instalações de consumidores adjacentes, dependendo da potência e do número de motores acionados.

No estudo dos harmônicos produzidos durante o funcionamento com a função economia de energia ativada, correntes com altos níveis de distorção são introduzidas no sistema, levando em conta que essa é uma operação contínua, a ativação dessa função é bem mais preocupante que a partida do motor em si.



No estudo experimental para a determinação da sensibilidade, a chave se mostrou bem resistente a interrupções em ambos os casos, distúrbios mono ou trifásicos. Já quanto aos afundamentos de tensão a sensibilidade foi menor que a dos principais equipamentos encontrados junto com as chaves nas instalações, os contadores abordados no capítulo 3. Mas a sensibilidade foi bem superior ao do CLP abordado no capítulo 2. Após a elaboração das curvas observou-se uma semelhança no comportamento do dispositivo aos distúrbios mono e trifásicos. Essa semelhança mostra que região mais sensível é o sistema de controle, composto essencialmente por dispositivos semicondutores como microprocessador, módulos de memória, transistores entre outros. Esse circuito é alimentado por uma fase apenas (em 127V).



CAP. 5 - LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA PRESSÃO

5.1 INTRODUÇÃO

Na iluminação de grandes áreas como plantas industriais, galpões e de áreas externas como pátios, estacionamentos, ruas e avenidas o uso de lâmpadas de descarga é imprescindível. As vantagens dessas lâmpadas sobre as lâmpadas incandescentes são a grande gama de potências, de algumas dezenas até milhares de Watts, a alta eficiência energética e vida útil mais longa.

As lâmpadas de descarga de alta pressão são, pela sua construção, muito sensíveis a um distúrbio na tensão de alimentação. Quando a descarga dentro do tubo está estabilizada a corrente e tensão estão dentro dos valores permitidos para a lâmpada. A ocorrência de uma variação na tensão provoca instabilidade na descarga. Se ocorrer dentro de valores determinados, a descarga cessa e a lâmpada se apaga.

Para a determinação da curva de sensibilidade de uma lâmpada é necessário realizar ensaios com diversos níveis de tensão e determinar o tempo máximo que a lâmpada suporta o distúrbio. Os resultados são colocados em um gráfico de tempo x tensão. A área acima da linha é a região de operação normal da lâmpada.



5.1.1 LÂMPADAS DE DESCARGA

As lâmpadas de descarga produzem fluxo luminoso pela passagem da corrente elétrica através de um meio ionizado que pode ser gás, mistura de gases e/ou vapores. O meio está contido em um tubo, chamado de tubo de descarga que possui dois eletrodos que conduzem a corrente elétrica. O meios mais usados são gases como argônio, xenônio, criptônio ou ainda nitrogênio, que podem ser misturados a vapores de mercúrio, sódio e outros metais como tálio índio.

A pressão interna dentro do tubo de descarga pode variar de menos de um milésimo de atmosfera até várias atmosferas. As lâmpadas de descarga em gases, como as lâmpadas de gás néon apresentam pressão muito baixa e a descarga se inicia pela ruptura do isolamento formando um arco elétrico, necessitando de altas tensões para o funcionamento. Nas descargas em vapores de alta ou de baixa pressão, a pressão inicial é sempre muito baixa, a partida se dá pela ruptura do isolamento. O aquecimento provoca a volatilização dos metais no interior da lâmpada, que aumentam a pressão no interior do tubo. O processo pode ser rápido, quase instantâneo, como nas lâmpadas fluorescentes que trabalham com baixa pressão ou muito lento, como nas lâmpadas de alta pressão, levando vários minutos para completar a partida e a lâmpada alcance a máxima luminosidade. Se uma lâmpada de alta pressão for desligada, o processo de religamento é ainda mais lento, pois a pressão no interior do tubo é muito alta, o processo de partida não funciona com alta pressão. É necessário esperar o resfriamento da lâmpada, que faz o metal voltar ao estado líquido e a pressão abaixar.

Durante a passagem da corrente pelo meio ionizado, os elétrons se chocam com as moléculas e/ou átomos dos gases e metais presentes. Ocorre então a excitação dos elétrons constituintes desses átomos, resultando em emissão de radiações cujo comprimento de onda depende da natureza do material constituinte do meio e da pressão que se encontra o mesmo, podendo o espectro se situar na região de luz visível ou na região do ultravioleta.

No caso da presença de radiações ultravioletas no espectro gerado, elas podem ser convertidas em luz visível através da excitação de um material fluorescente. Esse material é formado por compostos de fósforo, conhecido como Fósfor. O fenômeno é idêntico ao da descarga no meio gasoso. Ao ser excitado por radiações ultravioletas esses compostos emitem radiações em uma frequência diferente. Nas lâmpadas fluorescentes que emitem exclusivamente radiações ultravioleta, produzem luz branca, devido à grande variedade de impurezas que aumentam o espectro. Nas lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão produzem as cores quentes, especialmente o vermelho, já que essa lâmpadas produzem além das radiações ultravioletas as cores frias, como o verde, azul e o violeta.



5.1.2 EFEITO ESTROBOSCÓPICO

O efeito estroboscópico é comum em qualquer lâmpada ligada á tensão alternada. A intensidade da radiação é proporcional ao valor da corrente instantânea que passa pelo tubo. Como não há polaridade, a cada ciclo há dois pulsos de corrente, assim o fluxo luminoso varia com o dobro da freqüência da corrente. Nas lâmpadas incandescentes, esse efeito é amortizado pela inércia térmica do filamento, isto é, a corrente vai a zero mas o filamento não chega a se apagar pois mantém uma alta temperatura. Nas lâmpadas de descarga o efeito é mais grave, a emissão de radiação chega praticamente a zero no momento em que a corrente cessa. Nas lâmpadas com revestimento fluorescente há também uma compensação devido a inércia dos sais fluorescentes.

A figura 5.1 mostra as formas de onda de tensão e a luminosidade de uma lâmpada com pequena compensação do efeito estroboscópico.

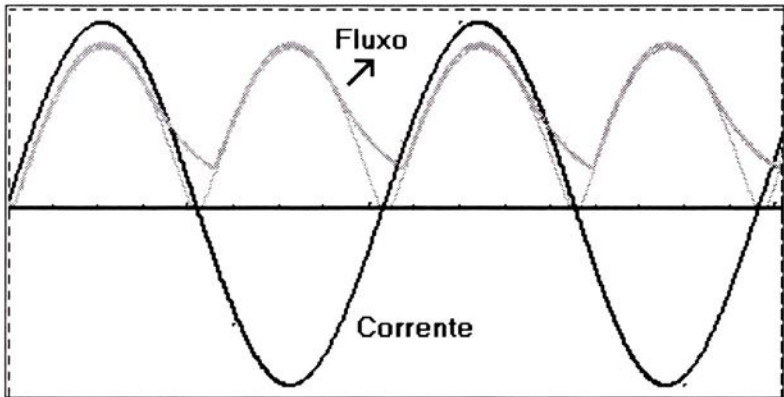


Figura 5.1 Efeito Estroboscópico

5.2 TIPOS DE LÂMPADAS DE DESCARGA

5.2.1 LÂMPADA VAPOR DE MERCÚRIO

A lâmpada de vapor de mercúrio consta de um tubo de material cerâmico, geralmente quartzo, resistente a altas pressões e temperaturas. Possui em cada extremidade um eletrodo principal. Junto a um dos eletrodos existe um eletrodo auxiliar ou de partida, ligado externamente a um resistor de partida. O interior do tubo é preenchido com gás inerte como o argônio em pressão muito baixa e possui mercúrio em estado líquido, distribuído em pequenas gotas. A figura 5.2 mostra uma lâmpada vapor de mercúrio, destacando suas partes construtivas.

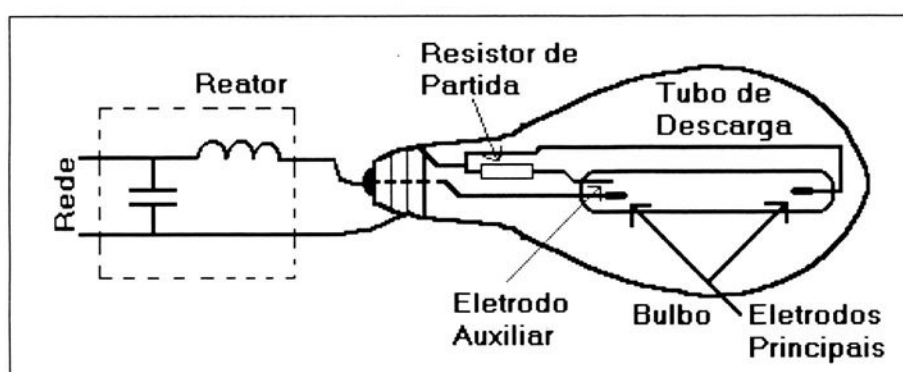


Figura 5.2 Lâmpada de vapor de mercúrio

Quando é aplicada uma tensão de valor adequado na lâmpada, forma-se um arco elétrico entre os eletrodos auxiliar e o principal mais próximo. O arco aquece a região próxima, vaporizando o mercúrio, que aumenta a pressão do gás no interior do tubo. O tempo da partida é de 2 a 10 minutos, dependendo da potência da lâmpada, fabricante, material auxiliar entre outros.

As lâmpadas de vapor de mercúrio não podem ser ligadas diretamente à rede. Após a partida, o tubo de descarga adquire uma impedância muito baixa, exigindo uma tensão inferior à da partida. Esse controle é feito pelo reator, uma indutância colocada em série com a lâmpada. Durante a partida a tensão plena se localiza entre os eletrodos auxiliar e principal, conforme a corrente da lâmpada vai aumentando, aumenta também a queda de tensão sobre o reator, e conseqüentemente diminui a tensão entre esses eletrodos. No final do processo de partida a queda de tensão do reator somada à do resistor de partida se torna muito alta e cessa o arco formado entre o eletrodo auxiliar de partida e o principal, neste momento a lâmpada entra no estágio final da partida, com a corrente, controlada pelo reator, fluindo entre os eletrodos principais.

As perdas no reator são muito baixas comparadas com a potência da lâmpada. Os reatores levam o fator de potência do conjunto a valores muito baixos (0,4–0,5), o que exige correção por meio de instalação de capacitores. A maioria dos reatores modernos já inclui um capacitor em paralelo com o conjunto.

Devido a características do gás no interior do tubo, vapor de mercúrio a alta pressão, a radiação produzida se situa na região do azul, violeta e do ultra-violeta. Externamente há um bulbo, semelhante aos bulbos das lâmpadas incandescentes. O bulbo é recoberto com um material fosforescente, cuja função é a correção de cores. Esse material (fosfor) transforma as radiações ultravioletas provenientes da lâmpada em luz visível de natureza quente, principalmente o vermelho. Assim melhora-se o índice de reprodução de cores da lâmpada, tornando-a mais natural

A eficiência das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão é bem superior a das lâmpadas incandescentes e mistas. Sendo pouco superior a das lâmpadas fluorescentes.



5.2.2 LÂMPADA DE LUZ MISTA

As lâmpadas de luz mistas empregam os efeitos de incandescência e descarga para produzirem luz. Constam basicamente de uma lâmpada de vapor de mercúrio com um filamento em série com um dos eletrodos principais. A partida segue o mesmo princípio das lâmpadas de vapor de mercúrio. O arco é criado entre os eletrodos auxiliar e principal mais próximo. Após a vaporização do mercúrio e ionização do gás no interior do tubo de descarga, a corrente passa a fluir entre os eletrodos principais e pelo filamento resistivo. A figura 5.3 mostra uma lâmpada de luz mista, destacando suas partes construtivas.

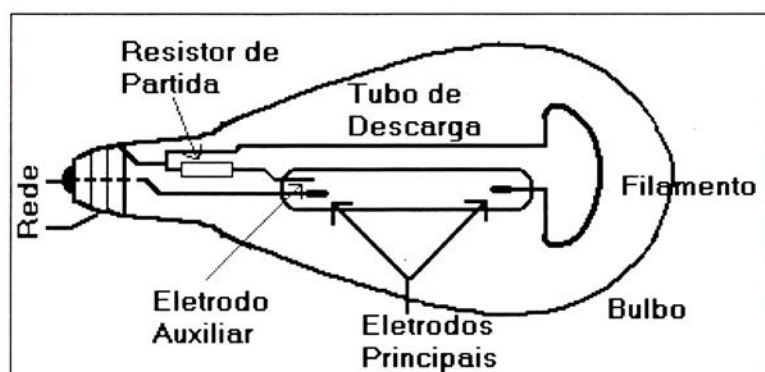


Figura 5.3 Lâmpada de Luz Mista

O filamento é dimensionado a limitar a corrente que flui pelo tubo de descarga, assim é dispensado o uso de reator externo. O filamento também emite radiações na faixa do laranja e amarelo, que somadas aos raios frios (azul) do tubo de descarga e os da faixa do vermelho da camada fluorescente produzem um efeito mais natural e agradável que o das lâmpadas de descarga comuns, com índice de reprodução de cores bem superior.

A maioria das lâmpadas de luz mista são de 220V, pois tensões menores não seriam suficientes para formar o arco elétrico. Assim como nas lâmpadas incandescentes, o filamento é de baixa eficiência e diminui a eficiência do conjunto que é menos da metade de uma lâmpada de vapor de mercúrio comum. As vantagens das lâmpadas de luz mista são baixo custo inicial, pois dispensam o uso de reator e o alto fator de potência.

5.2.3 LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão constam de um tubo de descarga cujo material deve suportar altas temperaturas e ser a prova do vapor de sódio, altamente abrasivo. O quartzo, usado nas lâmpadas de vapor de mercúrio, não atende a essas exigências. Outros materiais cerâmicos são usados. O óxido de alumínio suporta temperaturas de até 2050°C e é um dos mais usados atualmente. Nas extremidades do tubo há um eletrodo. O interior do tubo consta de gás xenônio, mercúrio e sódio metálico. Não há eletrodo auxiliar. A partida é resultado da ionização do gás no interior do tubo e exige altos pulsos de tensão, da ordem do 1500V ou mais. A figura 5.4 mostra uma lâmpada vapor de sódio, destacando suas partes construtivas.

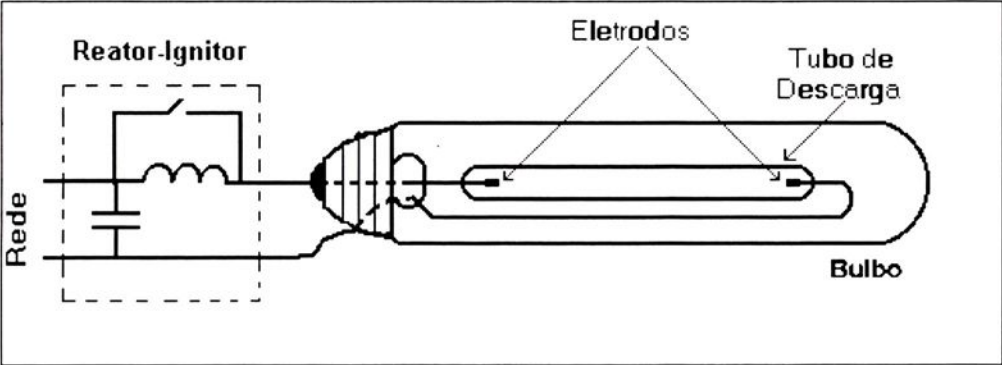


Figura 5.4 Lâmpada de Vapor de Sódio

Para produzir o pulso de partida é necessário além do reator um ignitor. O ignitor é geralmente formado por um contato bimetálico, que ao se aquecer com a passagem da corrente elétrica se deforma, já que os metais constituintes têm coeficientes de dilatação diferentes. Essa deformação produz o chaveamento do circuito do reator e, pela Lei de Faraday, provoca a sobretensão nos eletrodos.

São também usados ignitores de estado sólido (transistorizados), que são mais eficientes que os bimetálicos.

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão na verdade trabalham com uma pressão de 0,2~0,3 bar, que produz um espectro contínuo, que resulta em uma cor branco-dourada. As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão trabalham com uma pressão de 0,01 bar, o que produz um espectro monocromático de luz amarela. Algumas lâmpadas possuem uma camada fluorescente para a correção cromática, mas em geral ela não é necessária. As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão são as lâmpadas mais eficientes disponíveis para uso comercial, entretanto como apresentam um baixo índice de reprodução de cores são usada quase que exclusivamente para iluminação de áreas externas, tais como estacionamentos, pátios e ruas entre outros.

5.2.4 LÂMPADA DE MULTIVAPORES METÁLICOS

São derivadas das lâmpadas de vapor de mercúrio, onde são introduzidos outros elementos no tubo de descarga. O arco elétrico se realiza numa atmosfera de vários vapores misturados. Consegue-se uma maior eficiência luminosa e melhor composição espectral do que as lâmpadas de vapor de mercúrio comuns.

Como a composição química do gás dentro do tubo de descarga é diferente das lâmpadas de vapor de mercúrio, as lâmpadas de multivapores metálicos exigem equipamento auxiliar (Reator) projetados às suas necessidades e em alguns casos também de um ignitor que pode ser incorporado ao reator.

As faixas de potência das lâmpada modernas vão desde dezenas de Watts, destinadas a iluminação de interiores, tais como restaurantes e vitrines de lojas onde se deseja uma alta definição de cores, até milhares de Watts, destinadas a iluminação de grandes ambientes esportivos, como ginásios de esporte e estádios.



5.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios visam determinar a sensibilidade de uma lâmpada de descarga em pleno funcionamento aos distúrbios na tensão de alimentação. Como resultado são apresentadas as curvas de sensibilidade dos diversos tipos de lâmpadas.

5.3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização do estudo experimental sobre o comportamento de lâmpadas de descarga foram selecionados os seguintes equipamentos:

- Fonte de alimentação Califórnia Instruments® – 5001i – Monofásica;
- Sistema de Aquisição de Dados – “Wave Book 516®” – IoTech®;
- Micro Computador IBM® PC166;
- Software de processamento de sinais DasyLab4.0® – DasyTec®;
- Lâmpadas de descarga;
- Reatores (quando necessário);
- Soquetes E – 27 e E – 40;
- Luxímetro YEW – escala 3000 lux.
- Materiais de Laboratório (cabos, ferramentas, placa de bornes).



5.3.2 ROTEIRO

No roteiro apresentado na figura 5.5 é mostrado o esquema de ligação da lâmpada, que pode ser feito diretamente na fonte, como nas lâmpadas mistas ou através de um reator, como nas lâmpadas de vapor de mercúrio e vapor de sódio. A fonte 5001i, controlada pelo microcomputador, fornece tensão com valor constante de 220V e sem distorções em todos os ensaios.

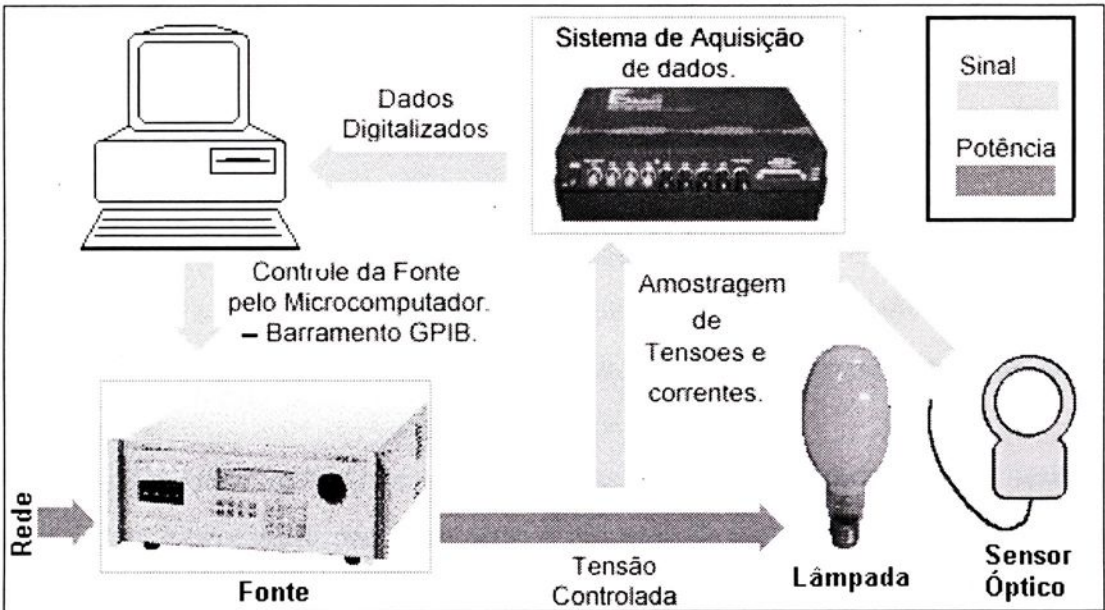


Figura 5.5 Roteiro dos Ensaios.

No circuito de alimentação da lâmpada são realizadas as aquisições de tensão e corrente por meio de transdutores: um transdutor de tensão na razão 200V para 1V e uma garra (TC) de 1A para 10mV. Para a medida da intensidade luminosa foi utilizado um luxímetro, cujo sensor óptico foi suspenso por um pedestal a 1.5 m de distância da lâmpada. A distância mais apropriada seria de 1 m, mas quando eram ligadas as lâmpadas de maior potência o sensor saturava e o luxímetro chegava ao fim de escala. Os dados provenientes do sensor podiam ser visualizados no mostrador do luxímetro e também eram enviados ao sistema de aquisição, onde eram analisados junto com os sinais de tensão e corrente.

A figura 5.6 mostra o sensor óptico preso ao pedestal e o detalhe da distância à lâmpada.

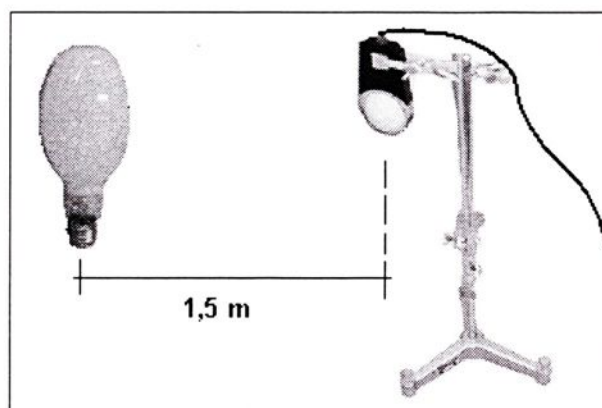


Figura 5.6 Sensor óptico.

Os dados do ensaio, tensão, corrente e fluxo luminoso amostrados pelos transdutores, são enviados ao sistema de aquisição de dados onde após serem digitalizados são transferidos para o microcomputador. O programa DasyLab® analisa e armazena os dados em disco. Os dados podem ser apresentados sob a forma de gráficos no tempo ou em valores numéricos absolutos (RMS). Os dados podem ser trabalhados, por exemplo, a partir da tensão e da corrente determina-se a potência ativa, potência aparente e fator de potência com grande precisão.

Para cada lâmpada é realizada uma série de ensaios. A primeira providência é ligar a lâmpada e aguardar o tempo necessário para completar o processo de partida, esse procedimento pode ser acompanhado através do luxímetro. O procedimento a seguir orienta a realização dos ensaios.

1. Com a lâmpada acesa, aplicar um afundamento de tensão de intensidade determinada, iniciando com 100% da tensão nominal e de curta duração, a partir de 1ms;
2. Verificar o comportamento da lâmpada;
3. Se não ocorrer o desligamento, aumentar o tempo de duração e aplicar novamente o distúrbio, sobrescrevendo o arquivo dos dados;
4. Repetir o item 3 até determinar o tempo máximo que a lâmpada suportava sem se apagar;
5. Registrar o arquivo com os dados;
6. Diminuir a intensidade do afundamento de tensão, isto é, aumentar o nível de tensão e voltar ao item 1.

Após feita a aquisição, os dados são analisados e é montada a curva de sensibilidade.

5.3.2.1 LÂMPADAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS

LÂMPADAS DE LUZ MISTA			
LÂMPADA	POTÊNCIA (W)	TENSÃO (V)	BASE
MISTA 1	160	220	E-27
MISTA 2	250	220	E-40
MISTA 3	500	220	E-40

LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO		
LÂMPADA	POTÊNCIA (W)	BASE
MERCÚRIO 1	80	E-27
MERCÚRIO 2	125	E-27
MERCÚRIO 3	125	E-27
MERCÚRIO 4	400	E-40

REATORES PARA LÂMPADAS VAPOR DE MERCÚRIO					
REATOR	POTÊNCIA (W)	TENSÃO (V)	FP	Δt (°C) ¹	TW (°C) ¹
REATOR 1	80	220	0.90	65	105
REATOR 2	125	220	0.90	65	105
REATOR 3	125	220	0.92	65	105
REATOR 4	400	220	0.93	65	105

LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO		
LÂMPADA	POTÊNCIA (W)	BASE
SÓDIO	400	E-40

REATORES PARA LÂMPADA VAPOR DE SÓDIO					
REATOR	POTÊNCIA (W)	TENSÃO (V)	FP	Δt (°C) ¹	TW (°C) ¹
REATOR SÓDIO 1	400	220	0.92	90	130

¹ – Dados de placa dos equipamentos.



5.4 RESULTADOS

5.4.1 LÂMPADAS DE LUZ MISTA

5.4.1.1 160W

Em condições normais de funcionamento, essa lâmpada apresentou os seguintes resultados:

- Tensão: 220V
- Corrente: 0,81A
- Potência: 174W
- Fator de potência: 0,99
- Fluxo luminoso: 191

5.4.1.2 250W

Em condições normais de funcionamento, essa lâmpada apresentou os seguintes resultados:

- Tensão: 220V
- Corrente: 1,27A
- Potência: 273W
- Fator de potência: 0,97
- Fluxo luminoso: 370

5.4.1.3 500W

Em condições normais de funcionamento, essa lâmpada apresentou os seguintes resultados:

- Tensão: 220V
- Corrente: 2,45A
- Potência: 528W
- Fator de potência: 0,98
- Fluxo luminoso: 715

Para essa lâmpada foi feito uma análise mais detalhada. São apresentados as curvas para diversas condições de funcionamento.

A Figura 5.7 mostra as curvas de tensão, corrente e fluxo luminoso amostrados sob condições normais. Observa-se que a cada ciclo da corrente ocorrem dois ciclos do fluxo luminoso.

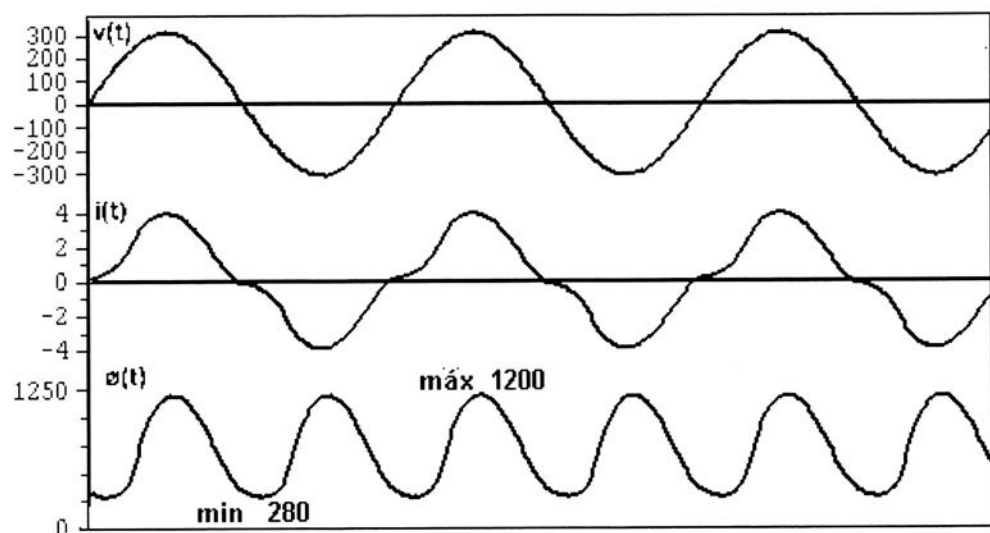


Figura 5.7 Curvas de tensão, corrente e fluxo luminoso da lâmpada mista de 500W

A figura 5.8 mostra uma interrupção instantânea na tensão de alimentação. O período de 1 ciclo foi o mínimo necessário para a lâmpada se apagar. Com tempos inferiores apenas diminui a luminosidade da lâmpada, mas voltava ao normal com o restabelecimento da tensão.

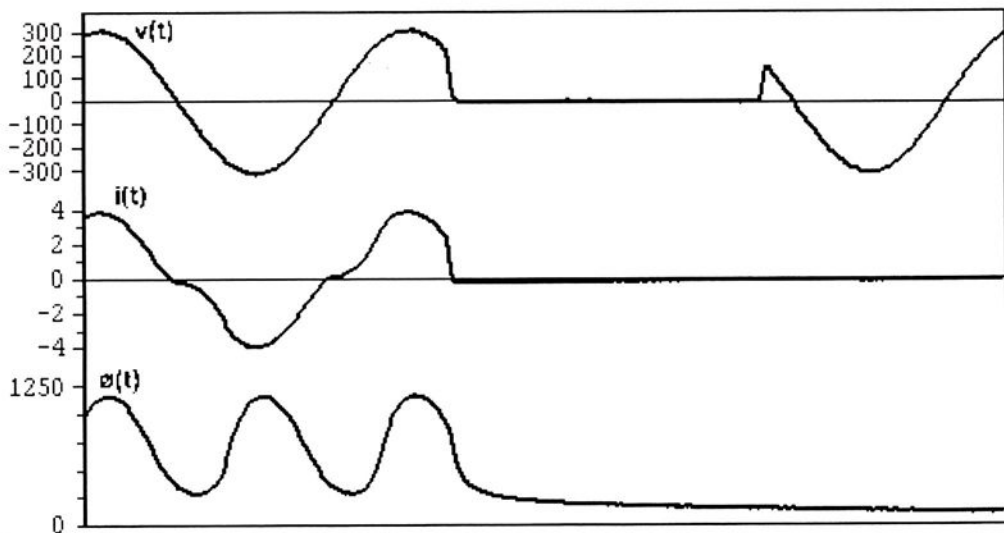


Figura 5.8 Ocorrência de uma interrupção instantânea na lâmpada mista de 500W

Para os afundamentos de tensão muito grandes, onde a tensão sobre a lâmpada variava de 10% a 30% da tensão nominal, o resultado era muito próximo da ocorrência de uma interrupção, ficando em torno de 1 a 1,2 ciclos.

A figura 5.9 mostra um afundamento de tensão de 40%, onde a tensão chegava a 60% da tensão nominal. Observa-se que a lâmpada continua ligada mas com a luminosidade muito inferior ao normal por um tempo um pouco superior a dois ciclos. Logo após a luminosidade cai a zero, resultado do desligamento da lâmpada.

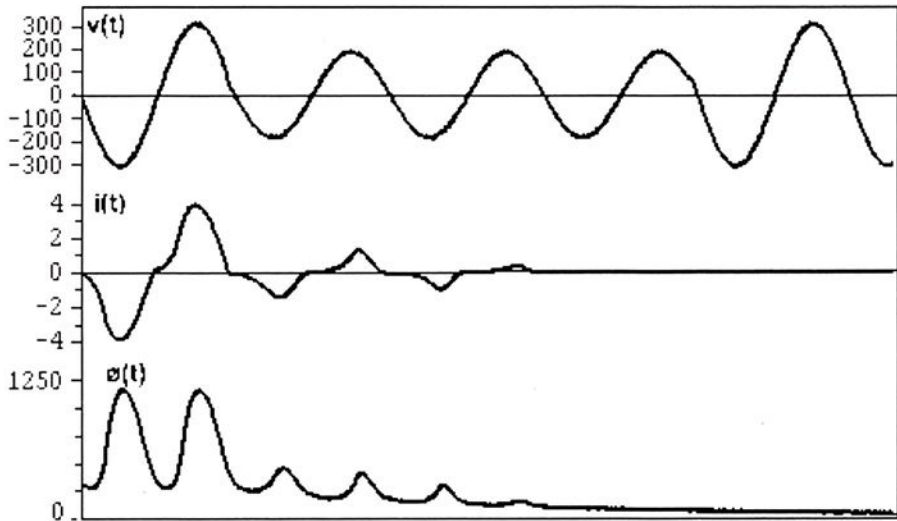


Figura 5.9 Ocorrência de SAG, com intensidade de 40% na lâmpada mista de 500W

A figura 5.10 mostra um afundamento de tensão de 36%, onde a tensão chegava a 64% da tensão nominal. Observa-se que a lâmpada continua ligada, com a luminosidade reduzida por um tempo equivalente a 16,5 ciclos. Alguns ciclos após início do distúrbio, o fluxo luminoso vai a zero no momento em que a corrente cessa, observado no ponto de mínima luminosidade da curva 3.

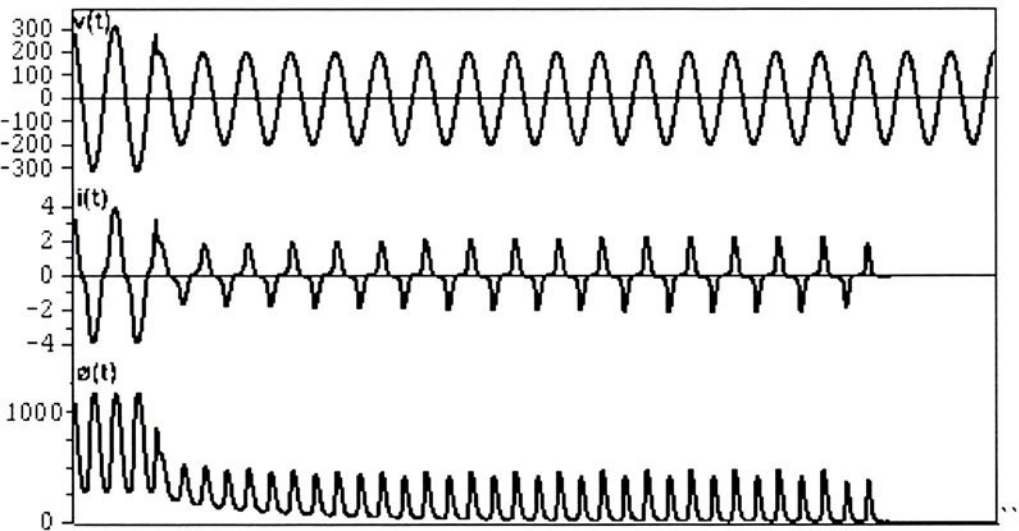


Figura 5.10 Ocorrência de SAG, com intensidade de 36% na lâmpada mista de 500W

Para um afundamento de tensão com intensidade de 35%, o desligamento ocorreu em cerca de cem ciclos. Para distúrbios menos severos, isto é, com a tensão acima de 65% da tensão nominal não foi observado o desligamento da lâmpada. Neste caso o efeito observado foi a baixa luminosidade, e conseqüentemente baixa eficiência luminosa.

A figura 5.11 mostra como resultado dos ensaios, a curva de sensibilidade da lâmpada mista 500W.

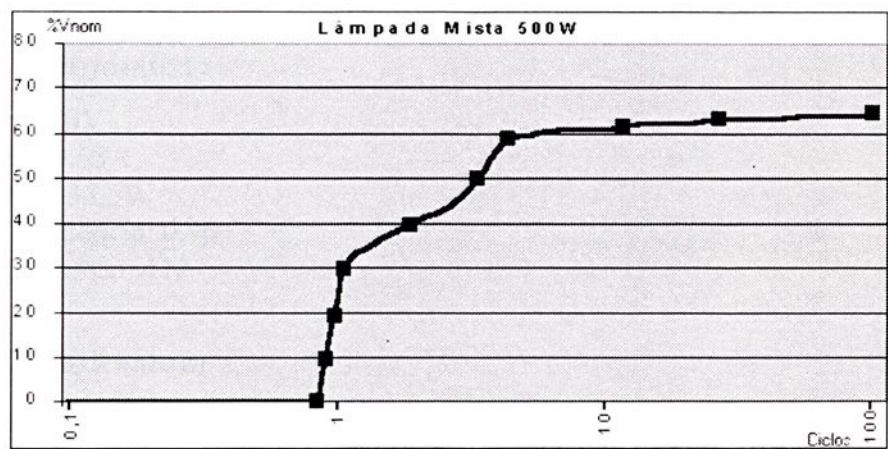


Figura 5.11 Curva de sensibilidade da lâmpada mista de 500W

5.4.2 LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO

5.4.2.1 80W

- Tensão: 220V
- Corrente: 0.42A
- Potência: 89W
- Fator de potência: 0.96
- Fluxo luminoso: 264

5.4.2.2 125W (Fabricante 1)

- Tensão: 220V
- Corrente: 0.63A
- Potência: 133.5W
- Fator de potência: 0.96
- Fluxo luminoso: 412

5.4.2.3 125W (Fabricante 2)

- Tensão: 220V
- Corrente: 0.63A
- Potência: 133.5W
- Fator de potência: 0.96
- Fluxo luminoso: 413

As duas lâmpadas de vapor de mercúrio 125W ensaiadas apresentaram um resultado muito parecido, mesmo sendo de diferentes fabricantes. Também foram testados os dois diferentes reatores, na mesma lâmpada, não foram observadas diferenças significativas. Os resultados dos ensaios foram usados para montar a curva de sensibilidade da lâmpada vapor de mercúrio 125W, mostrada na figura 5.12.

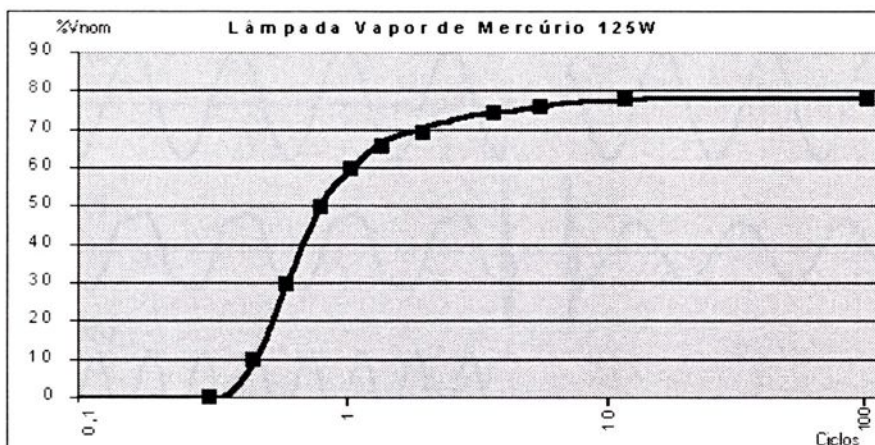


Figura 5.12 Curva de Sensibilidade da Vapor de mercúrio 125W

5.4.2.4 400W

Em condições normais de funcionamento, essa lâmpada apresentou os seguintes resultados:

- Tensão: 220V
- Corrente: 2.17A
- Potência: 442W
- Fator de potência: 0.93
- Fluxo luminoso: 1454

A figura 5.13 e 5.13 (b) mostram duas interrupções instantâneas aplicadas à lâmpada. Na primeira, com duração de 0.5 ciclo, houve um impulso de corrente no início e no final do distúrbio. A luminosidade caiu a zero e recuperou o valor normal após alguns ciclos. A segunda interrupção foi um pouco mais severa, 0,6 ciclos. Os efeitos foram parecidos com os da primeira, mas a lâmpada não conseguiu recuperar a luminosidade após o restabelecimento da tensão. A lâmpada se desliga e a luminosidade cai a zero.

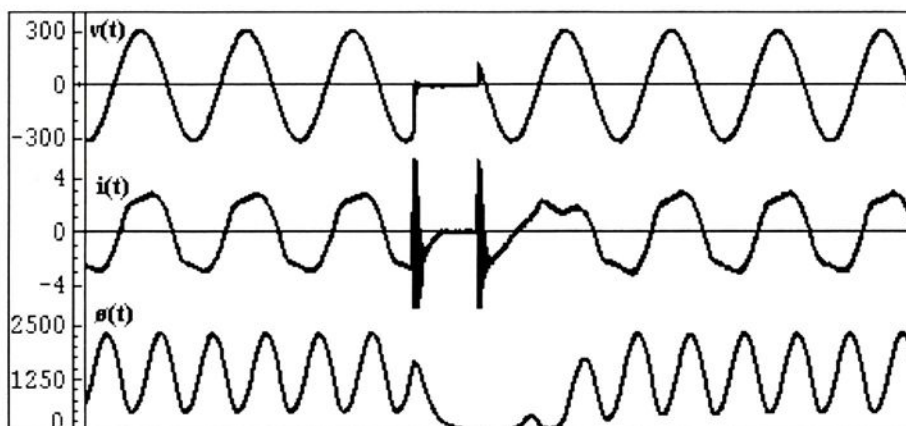


Figura 5.13 Ocorrência de uma interrupção na lâmpada vapor de mercúrio de 400W.

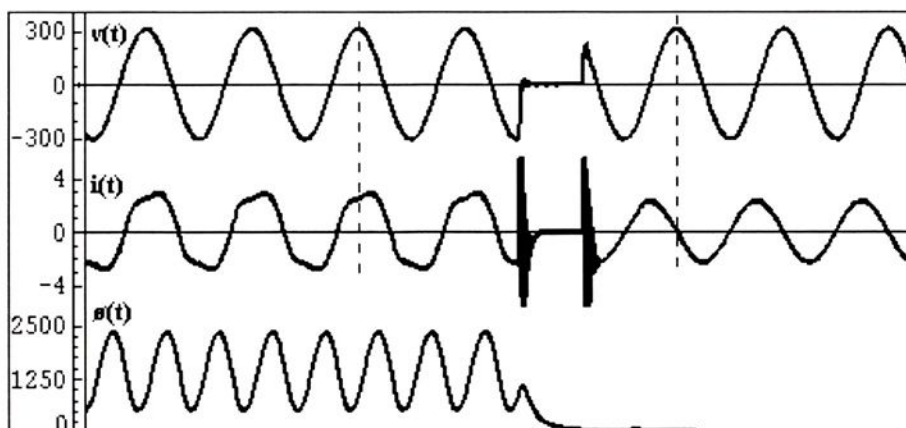


Figura 5.13(b) - Ocorrência de uma interrupção na lâmpada vapor de mercúrio de 400W.

Observa-se a corrente antes e depois do segundo distúrbio. A linha tracejada mostra a posição das ondas e ajuda a determinar a defasagem angular. Antes do distúrbio, tensão e corrente estão aproximadamente em fase, considerando o fator de potência de 0,93 da lâmpada. Após o distúrbio, a corrente está completamente adiantada em relação à tensão. O valor da corrente nesta situação é de 1,62A e equivale a circulação de corrente no capacitor de 20uF para correção do fator de potência.

Para afundamentos de tensão mais severos, o comportamento da lâmpada foi parecido quando da aplicação das interrupções.

A figura 5.14 mostra a ocorrência de um afundamento de tensão com intensidade de 40%. O tempo mínimo necessário para provocar o desligamento da lâmpada foi de 1,3 ciclos.

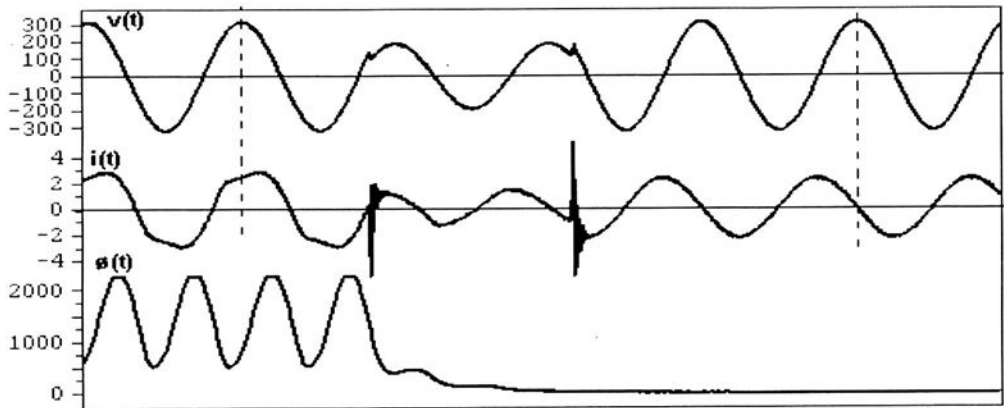


Figura 5.14 Ocorrência de um SAG de 40% na lâmpada vapor de mercúrio de 400W.

A figura 5.15 mostra a ocorrência de um afundamento de tensão com intensidade de 25% e duração de 10 ciclos. Observa-se que a luminosidade da lâmpada cai um pouco antes do restabelecimento da tensão nominal.

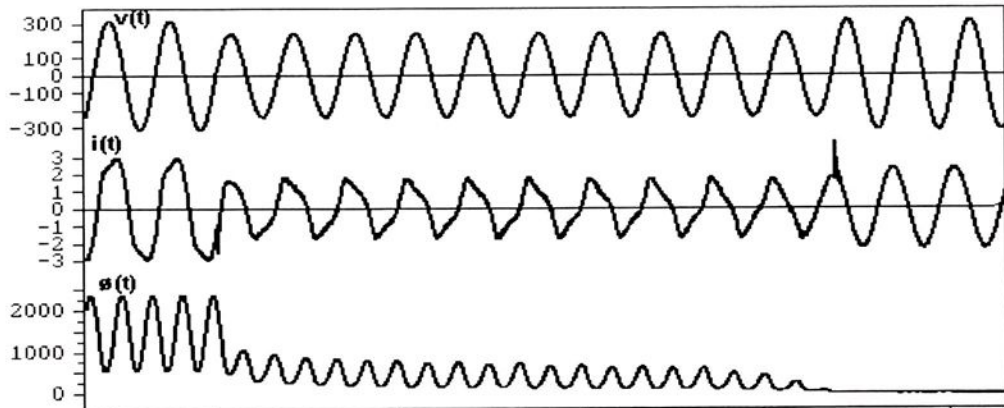


Figura 5.15 Ocorrência de um SAG de 25% na lâmpada vapor de mercúrio de 400W.

Para uma tensão de 77% da nominal (23% de afundamento) foi observado um tempo ainda maior, entre 23 e 25 ciclos. A figura 5.16 mostra o comportamento da lâmpada ao ser aplicado este distúrbio.

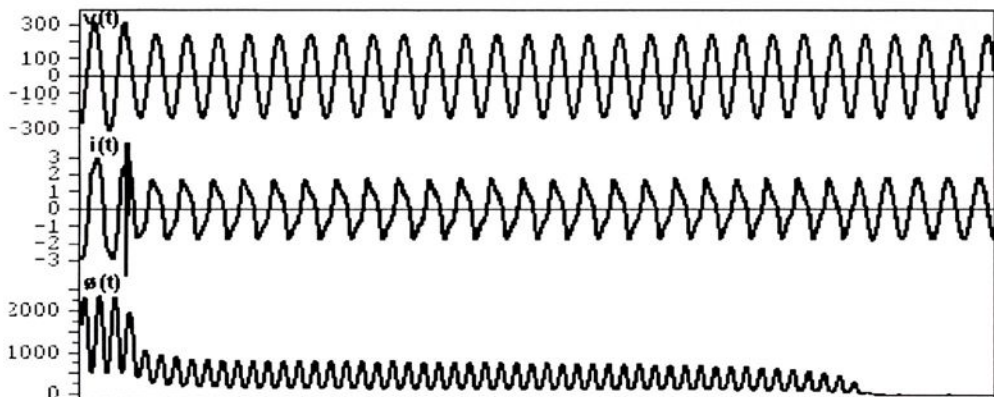


Figura 5.16 Ocorrência de um SAG de 23% na lâmpada vapor de mercúrio de 400W.

Nas figuras 5.17 e 5.18 foram aplicados distúrbios com a mesma intensidade, 22% de afundamento. No primeiro caso foi aplicado um SAG, a tensão cai abruptamente para 78% da tensão nominal, observa-se uma sobrecorrente, a lâmpada se mantém acesa com luminosidade reduzida por cerca de 1.3 Seg. ou 80 ciclos. No segundo caso, a tensão cai linearmente ao longo de 10 ciclos até o valor de 78% de tensão nominal. Neste caso não há pulsos de corrente. Após esse período a lâmpada permanece acesa por cerca de 1,6 Seg. ou 98 ciclos. Esse distúrbio é muito raro no sistema elétrico especialmente comparado com um afundamento de tensão (SAG).

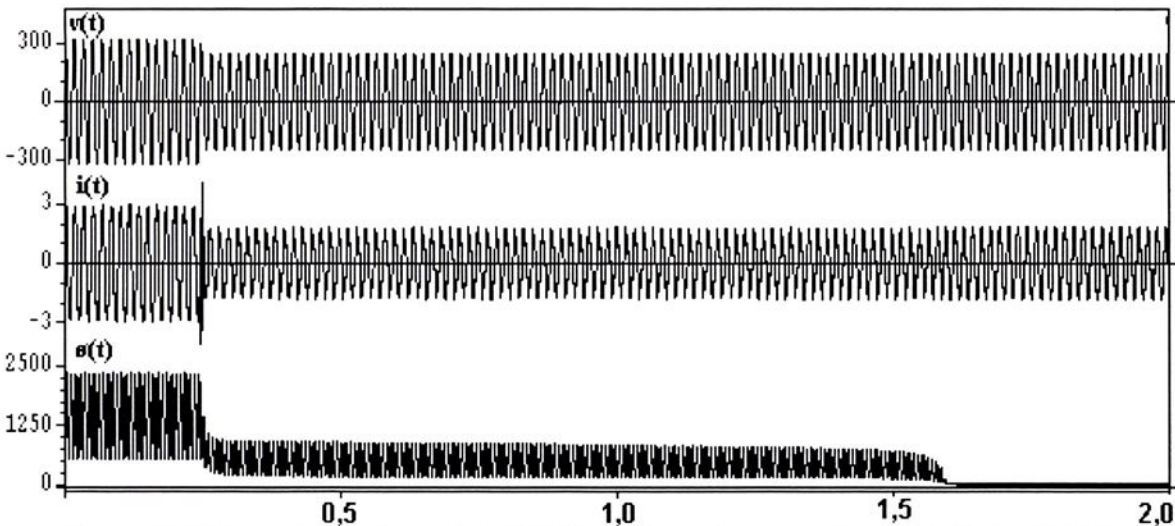


Figura 5.17 Ocorrência de um SAG 22% na lâmpada vapor de mercúrio de 400W.

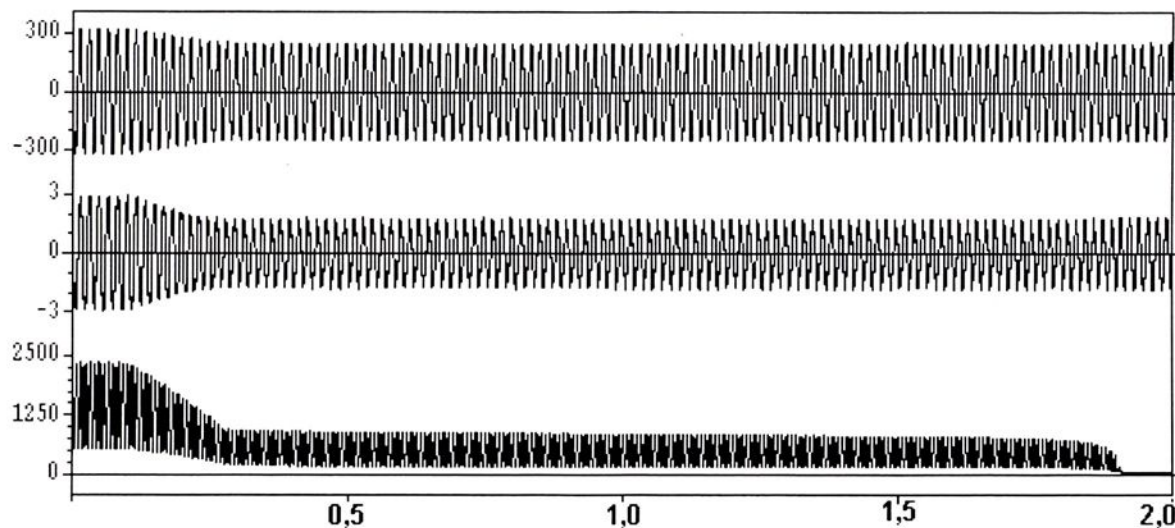


Figura 5.18 Ocorrência de um SWEEP de 22% na lâmpada vapor de mercúrio de 400W..

A figura 5.19 apresenta o resultado final dos ensaios da lâmpada vapor de mercúrio de 400W. Comparada com a curva de sensibilidade da lâmpada de 125W (figura 5.8) observa-se muitos pontos em comum. Assim pode-se concluir que esta curva se aplica a qualquer lâmpada de vapor de mercúrio.

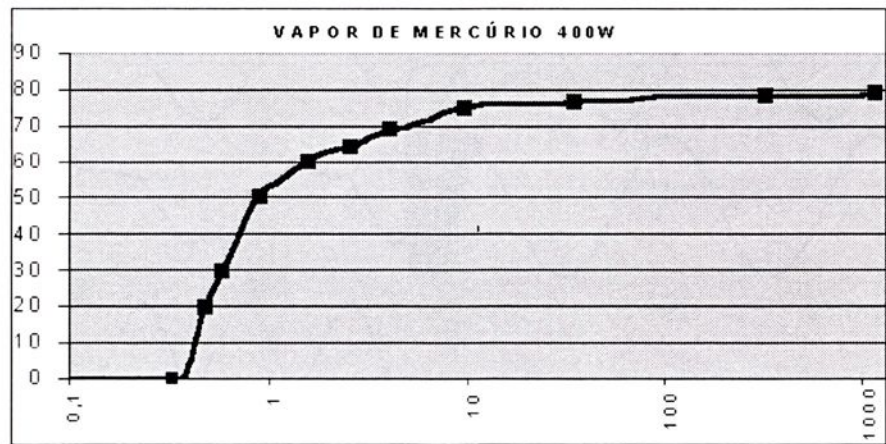


Figura 5.19 Curva de sensibilidade da lâmpada vapor de mercúrio de 400W

5.4.3 LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO

5.4.3.1 400W

Em condições normais de funcionamento, essa lâmpada apresentou os seguintes resultados:

- Tensão: 220V
- Corrente: 2,02A
- Potência: 430W
- Fator de potência: 0,968
- Fluxo luminoso: 2830

A sensibilidade da lâmpada a interrupções é muito grande, uma interrupção com duração inferior a 0,1 ciclo foi suficiente para provocar o desligamento da lâmpada. A figura 5.20 mostra a aplicação de uma interrupção com duração de 0,1 ciclos.

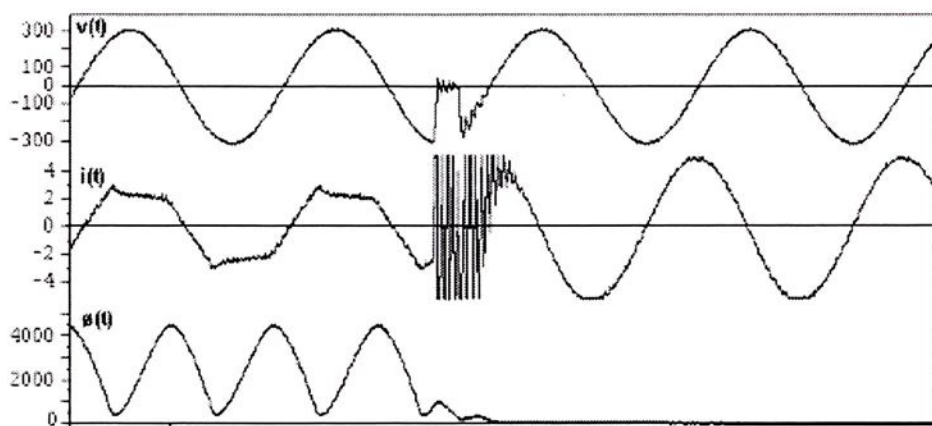


Figura 5.20 Ocorrência de uma interrupção – 0,1 ciclos.

Observa-se as formas de onda da corrente e da tensão durante a aplicação da interrupção. A corrente se torna instável, a grande variação de tensão provoca a atuação do ignitor. Após o desligamento da lâmpada, a corrente está adiantada 90° em relação à tensão, o valor de 3,73A equivale a circulação de corrente no capacitor de $45\mu\text{F}$ para correção do fator de potência.

Afundamentos de tensão muito grandes também não foram suportados por um tempo superior a 1 ciclo. A figura 5.21 mostra a aplicação de um afundamento de tensão de 70 %. A tensão se manteve a 30% da nominal por apenas 0.4 ciclos, que foram suficientes para provocar o desligamento da lâmpada.

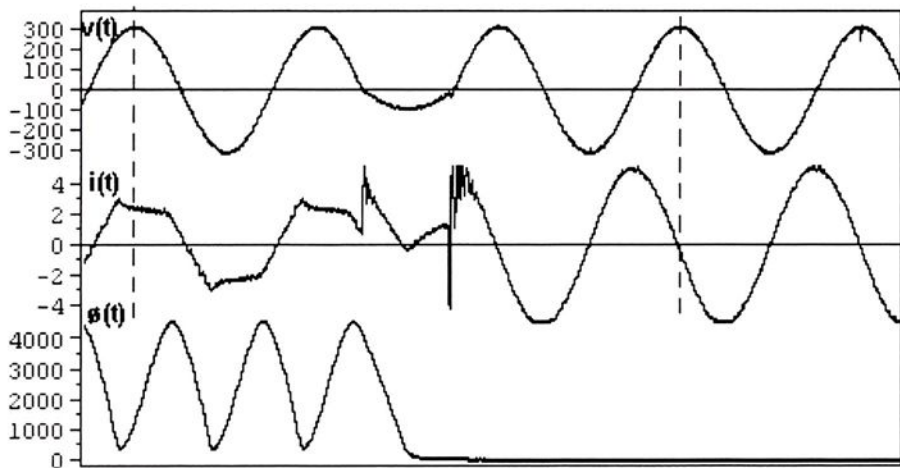


Figura 5.21 Ocorrência de um SAG – 70%.

Das lâmpadas analisadas o efeito estroboscópico foi mais intenso na lâmpada de vapor de sódio. Observa-se nas figuras 5.21 e 5.22 a grande diferença entre o máximo e o mínimo de luminosidade. Não havia camada corretora de cor na lâmpada testada.

A figura 5.22 mostra a aplicação de um afundamento de tensão de 40 %.

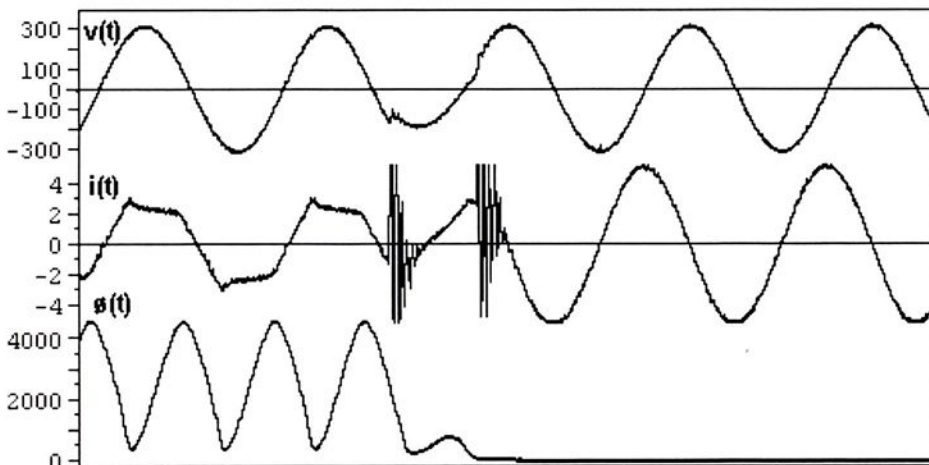


Figura 5.22 Ocorrência de um SAG – 40%.

A figura 5.23 mostra a aplicação de um afundamento de tensão de 23% na Lâmpada de Vapor de Sódio 400W.

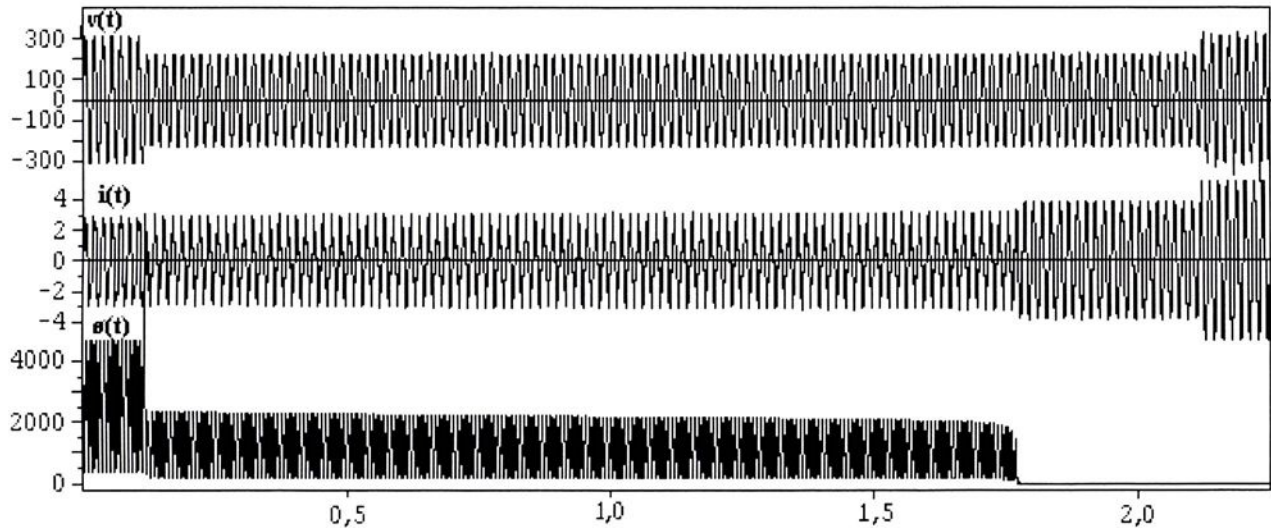


Figura 5.23 Ocorrência de um SAG – 23%.

A figura 5.24 mostra a curva de sensibilidade da Lâmpada de Vapor de Sódio 400W.

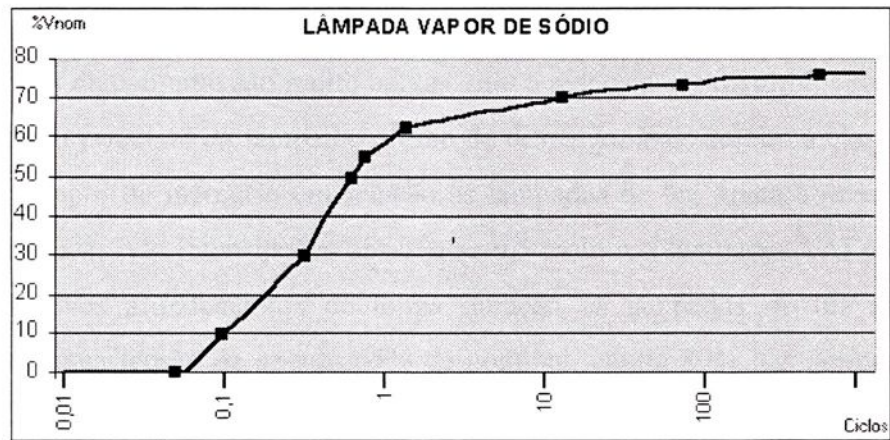


Figura 5.24 Curva de Sensibilidade da Lâmpada Vapor de Sódio 400W

5.5 CONCLUSÃO

As lâmpadas de descarga de alta pressão são utilizadas para iluminação de grande porte ou quando que se deseja aumentar a eficiência energética de uma instalação. São aplicadas em iluminação de exteriores, como ruas, avenidas, pátios, galpões, plantas industriais, fachadas, etc.

Um distúrbio na tensão de alimentação pode provocar a parada dessas lâmpadas, o que pode resultar em acidentes ou paradas na linha de produção. A partida das lâmpadas de descarga é lenta, levando vários minutos. No caso de uma falha o tempo necessário para o reacender é ainda maior, já que a lâmpada deve se resfriar para diminuir a pressão do gás no interior do tubo para depois realizar o processo de partida.

As lâmpadas de luz mista foram as menos sensíveis entre as lâmpadas testadas, com pequena variação com a potência da lâmpada, pode-se adotar a curva de sensibilidade da lâmpada de 500W (fig. 5.7) como padrão para qualquer lâmpada de luz mista. A robustez desses tipos de lâmpadas pode ser explicado pelo fato de não possuir reatores eletromagnéticos, sendo a descarga controlada por filamento com características resistivas.

A presença do reator nas lâmpadas de vapor de mercúrio pode ser a explicação para a alta sensibilidade dessas lâmpadas aos distúrbios na tensão de alimentação. Com reatores altamente indutivos, as perdas do conjunto são muito baixas, mas a resposta aos distúrbios são mais rápidas, o que deixa o circuito principal da lâmpada, o tubo de descarga, mais sujeito a eles. A sensibilidade das lâmpadas de vapor de mercúrio em relação as lâmpadas de luz mista é observada em toda a curva de sensibilidade. Nas interrupções observa-se 0.5 ciclo nas lâmpadas VM contra 1 ciclo nas lâmpadas mistas. Nos afundamentos de longa duração as lâmpadas de luz mista funcionam indefinidamente a uma tensão de apenas 65% da nominal, contra 80% das lâmpadas de vapor de mercúrio.

Comparada com as lâmpadas de vapor de mercúrio, na região de afundamentos de longa duração e menos severos os resultados da lâmpada de vapor de sódio é muito parecida, suportando em torno de 79% de tensão nominal indefinidamente. Entretanto, na região de afundamentos mais severos, incluindo as interrupções, essa lâmpada é muito mais sensível. Interrupções com duração inferior a 0,1 ciclo (1,67ms) não puderam ser testadas por limitação do equipamento, mas mesmo esse valor já é muito inferior ao das outras lâmpadas ensaiadas.



CAP. 6 - APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS

6.1 INTRODUÇÃO

Os estudos experimentais dos equipamentos nos forneceu uma base de dados sobre a sensibilidade aos distúrbios na tensão de alimentação. Os resultados na forma de gráficos são de fácil análise, mas para a divulgação e o armazenamento deve-se levar em conta também a possibilidade de se utilizar um banco de dados, isso facilita o uso das informações e possibilita a implementação de programas de computador (“Software”) em projetos e sistemas.

Com a base de dados disponível, foi desenvolvido um sistema de análise que possibilita a detecção de problemas em instalações elétricas industriais que possuam equipamentos classificados como sensíveis. O objetivo do projeto é a previsão da ocorrência de uma parada na linha provocada pela ocorrência de um distúrbio na tensão de alimentação produção e qual foi o equipamento responsável. Há a possibilidade ainda de utilizar dados estatísticos da ocorrência de distúrbios, que podem ser solicitados junto à empresa concessionária fornecedora de energia elétrica e assim prever a possibilidade de uma ocorrência provocar em uma parada.

Para tal aplicação foi necessário montar o banco de dados. Foi utilizado o Microsoft® Access®, uma instrução básica sobre o banco de dados é descrita no item 6.1.1. A adaptação dos dados provenientes dos ensaios aos requisitos do programa são descritas no item 6.1.2.

O programa foi desenvolvido através do Microsoft® Visual Basic®, por ele possuir compatibilidade com o banco de dados escolhido. O item 6.2 descreve a estrutura do programa e os diversos módulos que o compõe.



6.1.1 BANCO DE DADOS – ESTRUTURA

Um banco de dados é uma coleção de informações relacionadas a um determinado assunto ou finalidade. Um banco de dados está estruturados em tabelas.

A figura 6.1 mostra um banco de dados constituído por duas tabelas: Planta e Resultados.

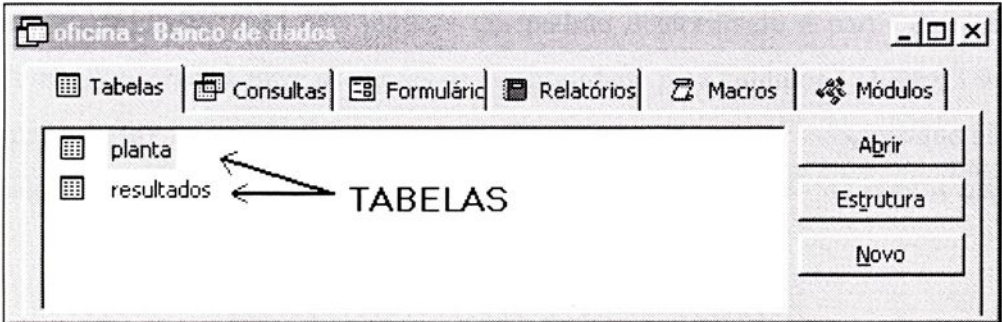


Figura 6.1 Tabelas do banco de dados oficina.

Uma tabela é uma coleção de dados sobre um determinado tópico ou item. O uso de várias tabelas em um mesmo banco de dados facilita a programação e o acesso aos dados.

A figura 6.2 mostra a tabela Planta do banco de dados da figura 6.1.

REGISTRO	planta : Tabela			CAMPO
	equipamento	linha	posicao	
	4	1	1	
	6	1	2	
	4	1	3	
	9	1	4	
	4	1	5	
	6	1	6	
	4	1	7	
	9	1	8	
	11	2	1	
	12	2	2	
	*			
Registro: 8 de 10				

Figura 6.2 Campos e Registros da tabela Planta.

A tabela planta da figura 6.2 é constituída de 3 campos: equipamento, linha e posição e por 10 registros. Posicionando o Banco de Dados no 9º registro, pode-se ler o dado armazenado nos campos. No caso do campo POSICAO, o dado lido é 8.

6.1.2 ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS

O banco de dados foi elaborado de forma a fornecer dados padronizados sobre os equipamentos ensaiados. As curvas de sensibilidade elaboradas a partir dos dados experimentais são eficientes na determinação, mas não seguem um padrão determinado a partir de suas variáveis. Fazendo-se uma comparação entre as curvas de sensibilidade para contator 1 (figura 3.9 do capítulo 3) e da lâmpada de luz mista 500W (figura 5.11 do capítulo 5) pode-se concluir que as curvas são fáceis de visualizar, mas há muitas diferenças especialmente no número de pontos que compõe a curva.

Para a padronização dos dados e facilidade na manipulação foi elaborado um método de simplificação da curva de sensibilidade. O método consiste em determinar as regiões vertical e horizontal da curva.

A região vertical é que delimita a suportabilidade aos distúrbios de grande intensidade e de pequena duração, como as interrupções momentâneas e os afundamentos mais severos. Nessa região, há uma grande variação no eixo da tensão para uma pequena variação no eixo tempo do ciclo.

A região horizontal, é a que delimita a suportabilidade aos distúrbios de menor intensidade e grande duração, o final dessa região é o ponto de regime permanente ou de operação contínua.



As curvas de sensibilidade são apresentadas em escala logarítmica para detalhar a região vertical da curva. Plotando esta curva em escala linear, ficam evidenciadas as regiões vertical e horizontal. As duas regiões formam duas retas, assim apenas 3 (três) pontos são necessários para determina a nova curva de sensibilidade. A figura 6.3 mostra a curva de sensibilidade da lâmpada de luz mista de 500W em escala linear e a curva simplificada em três pontos.

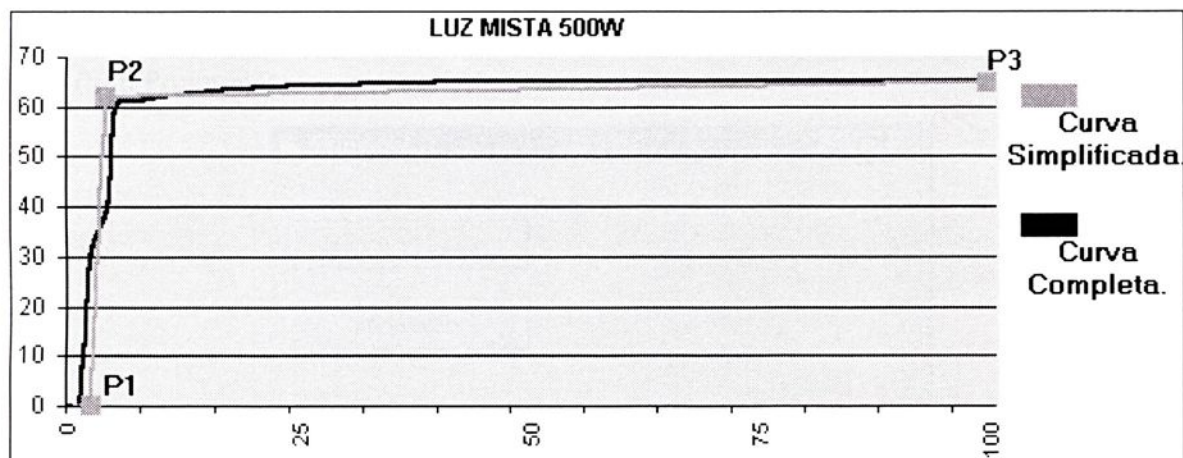


Figura 6.3 Curva de sensibilidade e a curva simplificada em três pontos.

Na curva simplificada da Figura 6.3, pode-se definir os três pontos:

- P_1 : define a sensibilidade a interrupções momentâneas de tensão, suas coordenadas são Tempo_1 e V_1 ;
- P_2 : delimita as regiões vertical e horizontal da curva, suas coordenadas são Tempo_2 e V_2 ;
- P_3 : define a sensibilidade a distúrbios de longa duração, suas coordenadas são Tempo_3 e V_3 .

Os pontos podem ser determinados por análise dos dados da curva de sensibilidade completa. Para a determinação dos pontos dos equipamentos tratados nesse trabalho foi montada uma rotina no software Microsoft Excel[®], onde colocamos os dados da curva de sensibilidade e como resposta temos os três pontos. Eles são então arquivados em uma tabela do banco de dados Access, juntamente com dados relativos a identificação do equipamento.

6.2 O PROGRAMA

O programa foi elaborado em uma aplicação principal e quatros módulos que executam a funções de acesso e montagem ao banco de dados, modelagem da instalação, análise das ocorrências de distúrbios caracterizados, montagem e impressão de relatório da ocorrência.

A janela principal do programa ilustrada na figura 6.4 traz os diversos recursos. São quatro módulos (Sub Programas).

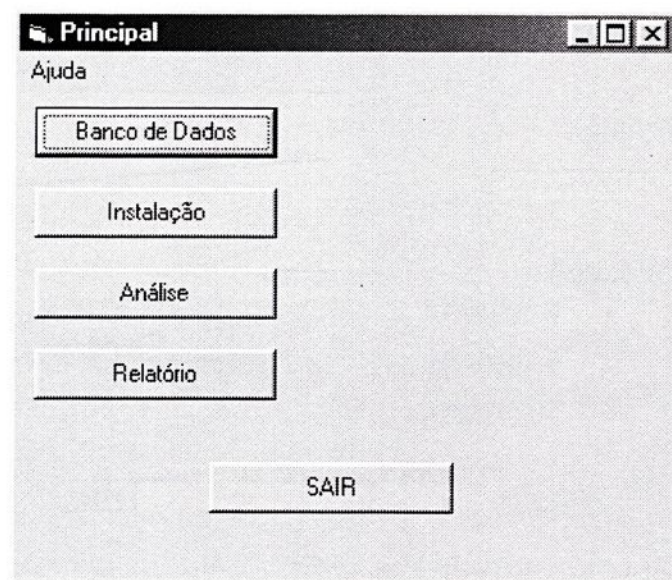


Figura 6.4 A janela principal do programa.

O primeiro módulo é acessado clicando-se com o mouse sobre o comando Banco de Dados. Como o próprio nome diz, ele manipula os dados dos equipamentos, como nome e os pontos da curva de sensibilidade.

Quando for ensaiado um novo equipamento, os dados do mesmo pode ser adicionado ao banco de dados a partir desse módulo. Para entrar com um novo registro, basta posicionar o banco de dados no último registro e digitar os dados nos campos apropriados. A figura 6.5 mostra um registro das características de um contator.

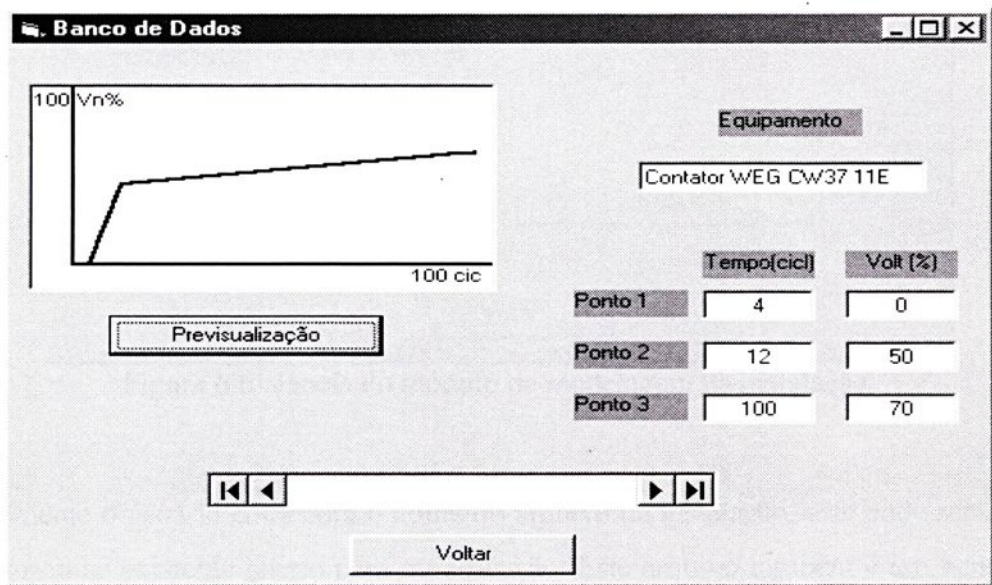


Figura 6.5 Janela do módulo de manipulação do Banco de Dados.

Um recurso relevante desse módulo, mas que pode ajudar o usuário é a visualização gráfica da curva de sensibilidade. Ao se mudar o registro ou clicando-se sobre o comando PREVISUALIZAÇÃO pode-se ter uma idéia da forma das curvas e até determinar visualmente a sensibilidade de um determinado equipamento.

O segundo módulo do programa é acessado clicando-se sobre o comando instalação. Este módulo realiza a modelagem de uma instalação, caracterizando os diversos equipamentos sensíveis através do circuito pertencente e da sua posição. A figura 6.6 ilustra esse módulo.

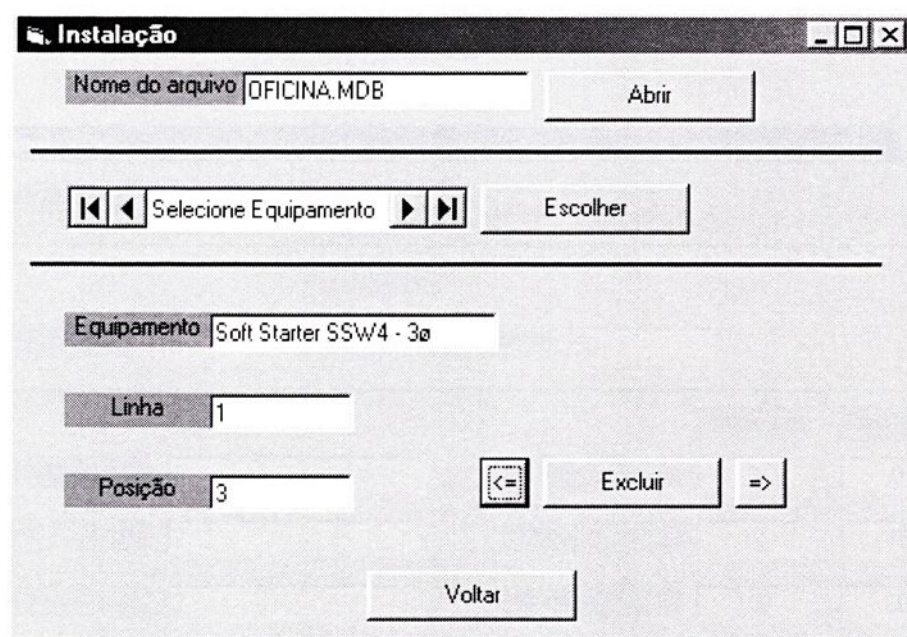


Figura 6.6 Janela do módulo de modelagem da instalação.

Inicialmente o usuário entra com o nome do arquivo da instalação, este pode ser criado como novo arquivo ou se existente aberto para modificação. Este arquivo também é um banco de dados em Access, mas diferente do banco de dados de equipamentos. No entanto se baseia neste, de onde extrai os dados relativos aos equipamentos.

Logo abaixo na janela, há um comando, onde o usuário pode selecionar o equipamento desejado, que aparece no campo equipamento logo abaixo, esse está sendo manipulado direto do banco de dados de equipamentos. clicando-se sobre o comando escolher, o equipamento selecionado é adicionado à instalação e ao arquivo aberto, assim como os dados linha e posição posição física do equipamento.

Ao lado dos campos, há três comandos:

Seta a esquerda (<=) e seta a direita (=>), posiciona o arquivo da instalação sobre determinado equipamento.

Excluir, apaga o registro do equipamento selecionado.

Os dados são armazenados na tabela PLANTA do arquivo. A figura 6.2 mostra um exemplo.

O terceiro módulo do programa é acessado clicando-se sobre o comando análise. Este módulo realiza a análise dos equipamentos da instalação, determinando se um determinado equipamento vai falhar com um distúrbio aplicado. Analisa ainda se a linha a qual o equipamento faz parte vai parar com a falha de um dos equipamentos presentes. A figura 6.7 mostra esse módulo executando uma análise.

Análise

ArquivoOFICINA.MDB

DISTÚRBIO

Tempo(ciclos)10Magnitude(%)50

	Tempo(cicl)	Volt (%)
Equipamento3	Ponto 13	0
Linha2	Ponto 218	45
Posição2	Ponto 3100	60

NÃO FALHOU

Analisar

SAIR

Figura 6.7 Janela do módulo de análise da instalação.

Este módulo necessita das informações dos dois banco de dados. Do banco de dados principal (EQUIPAMENTOS.MDB), são extraídas as informações da curva se sensibilidade e do arquivo da instalação, o equipamento, o circuito pertencente e a posição.

O usuário deve entrar com o nome do arquivo das instalações, logo abaixo os campos relativos a caracterização do distúrbio, com o tempo de duração (em ciclos) e a magnitude da tensão aplicada (em % de V_N).

Para iniciar a análise, deve-se clicar com o mouse sobre o comando ANALISAR. Por um método de interpolação da curva de sensibilidade e comparação lógica é determinado a condição do equipamento após a aplicação do distúrbio.

Os dados são armazenados na tabela RESULTADOS do banco de dados da instalação.

O quarto e último módulo é acessado clicando-se sobre o comando RELATÓRIO. Esse módulo mostra, de forma organizada o resultado do módulo análise.

O usuário deve entrar com o nome do arquivo da instalação e clicar no comando abrir. A figura 6.8 ilustra um relatório gerado após a análise de uma instalação.

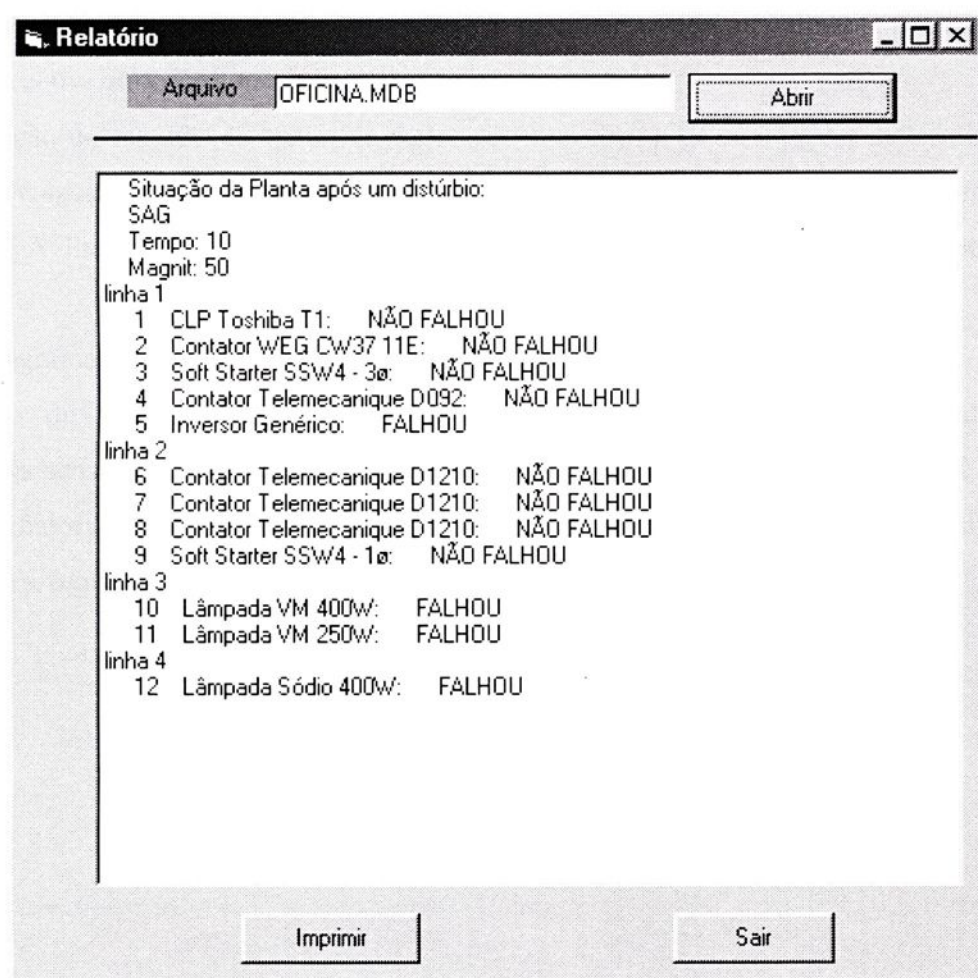


Figura 6.8 Janela do módulo de análise da instalação.

São exibidos na tela informações sobre o distúrbio, como a duração e a intensidade, a condição de cada equipamento, esses são classificados pelo circuito pertencente (linha)

Clicando-se sobre o comando imprimir, o relatório é enviado à impressora padrão do computador, no formato que é exibido na tela.

6.3 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do banco de dados e do programa de análise de instalações quanto a sensibilidade dos equipamentos muda um pouco a direção tomada inicialmente neste trabalho, mas se consolida como uma das contribuições do mesmo.

A adoção do método de banco de dados foi uma forma de se adequar às tendências atuais e facilitar a divulgação dos resultados, bem como a possibilidade de continuidade, mesmo por outras instituições. A linguagem escolhida para a elaboração do programa também segue as mesmas tendências.

O programa pode ser utilizado na determinação da sensibilidade de um determinado equipamento ou na análise de uma planta industrial completa, modelada com base nos equipamentos sensíveis presentes na mesma. Uma das possibilidades de aplicação é a identificação de áreas de maior sensibilidade, permitindo aos responsáveis a implementação de melhorias apenas nesses setores, o que diminui os custos.



CAP. 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os capítulos anteriores apresentaram estudos realizados em equipamentos presentes em uma indústria moderna, com o objetivo de se determinar características próprias de cada equipamento, especialmente o comportamento do mesmo sob condições adversas na tensão de alimentação. Procurou-se padronizar os ensaios independente do uso ou natureza do equipamento, assim os resultados podem ser comparados a partir de uma óptica, levando em consideração apenas as características do distúrbio aplicado e o comportamento observado.

Os estudo realizado no capítulo 2 com o CLP – Controlador Lógico Programável, foi o primeiro a ser realizado, logo no início dos trabalhos e neste caso pode-se confirmar que não foi aplicada a melhor metodologia ao ensaio. Durante os ensaios procurou-se fixar um tempo para o distúrbio e procurar a menor tensão que o equipamento suportava sem sofrer desligamento ou erro de acionamento. O resultado final entretanto não foi prejudicado.

Os estudos dos capítulos posteriores foram realizados utilizando uma metodologia um pouco diferente para a determinação da sensibilidade do equipamento a um determinado distúrbio, nestes casos, foi fixada um nível de tensão e procurou-se variar o tempo do distúrbio, com o objetivo de determinar o tempo máximo suportado pelo equipamento. Essa metodologia se apresentou mais coerente e os resultados podem ser considerados mais precisos.

Os equipamentos ensaiados durante a realização desse trabalho apresentaram um resultado diferente ao apresentado inicialmente nas referências. Especialmente os equipamentos eletrônicos, que eram inicialmente considerados muito sensíveis aos distúrbios, mas que apresentaram um comportamento muito bom se comparados com outros equipamentos não eletrônicos ensaiados, esses equipamentos já passaram pelas evoluções em seu princípio de funcionamento e métodos de fabricação, assim não se espera um grande avanço e melhoria da sensibilidade em um futuro próximo.

Já os equipamentos eletrônicos evoluem com uma velocidade surpreendente, uma mudança no projeto, visando a redução da sensibilidade à variações da tensão de alimentação e o uso de dispositivos semicondutores mais modernos mostram que esses equipamentos se adaptaram rapidamente à realidade do sistema elétrico e também indicam que a evolução não deve diminuir tão cedo.



Para os equipamento não eletrônicos como as lâmpadas de descarga, já existem reatores eletrônicos especiais, que garantem uma partida mais rápida maior eficiência energética e menor sensibilidade à variações da tensão. No entanto ainda são muito pouco usados. Já os contadores não devem evoluir mais considerando sua natureza eletromagnética. Uma das possíveis soluções seria substituir os acionadores eletromecânicos como relês e contadores por chaves a estado sólido, mas que ainda não se popularizaram, e tem uso muito restrito.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. ABREU, J. P. G. de e CARVALHO, P. L. – “Impacto dos *VOLTAGE SAG*'s Sobre Equipamentos Eletrônicos”. II SBQEE – SEMINÁRIO BRASILEIRO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA., São Lourenço, 1997.
- [2]. COSTA, P. F. e SANTOS, I. M. – “Qualidade de Energia e Paralisação de Consumidores”. III SBQEE – SEMINÁRIO BRASILEIRO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, Brasília, Agosto – 1999.
- [3]. RIBEIRO, T. N. e BUENO, A. F. M. – “Monitoramento e Diagnóstico da Qualidade da Energia Elétrica fornecida a um Consumidor Industrial Atendido em Tensão de Distribuição”. CEMIG, Belo Horizonte.
- [4]. NAGAI, S. E.; OLIVEIRA Jr., N.; ABREU, J. P. G. de – “A Influência da *Soft Starter* na Qualidade da Energia Elétrica”. São José dos Campos
- [5]. OLIVEIRA, J. C. P. – “Controlador Lógico Programável”. Makron Books – 1993 – São Paulo.
- [6]. SOUZA, J. M. R.; GARCIA, J. P. F. – “Automação Industrial - CLP”. Relatório de Iniciação Científica – UNESP. Ilha Solteira, 1998.
- [7]. NAMI N., M , OLIVEIRO, C. A. – “Qualidade de Energia – Estudo de Casos Reais – 3ª Parte Fornecimento a Indústria de Papel”. CEPEL – Centro de Pesquisas em Energia Elétrica. Rio de Janeiro,
- [8]. ABBOUD, R. L., FRANCO, R. B., ISAYAMA, W. Y., SOARES, M. C. D. – “Influência dos Distúrbios do Sistema Elétrico no Consumidor. Campinas.
- [9]. Voltage Sag: Proposta de Novo Critério para Avaliação do Atendimento a Consumidores com Cargas Sensíveis” XII CBA – CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA.
- [10]. MELHORN, C. J.; DAVIS, T. D.; BEAM, G. E. – “Voltage Sags: Their Impact on the Utility and Industrial Customers”. IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 34, Nº. 3, MAY/JUNE 1998.
- [11]. LAMOREE, J.; MUELLER, D.; VINETT, P.; JONES, W.; SAMOTYJ, M. – “Voltage Sag Analysis Case Studies”. IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 30, Nº. 4, JULY/AUGUST 1994



- [12]. SARMIENTO, H. G.; ESTRADA, E. – “A Voltage Sag Study in Industry with Adjustable Speed Drives”. IEEE Industry Applications Magazine, JANUARY/FEBRUARY 1996
- [13]. WAGNER, V.; GREEB, T.; KRETSCHMANN, R.; MORGAN, L. PRICE, A. – “Power System Compatibility with Industrial Process Equipment”. IEEE Industry Applications Magazine, JANUARY/FEBRUARY 1996
- [14]. McGRANAGHAN, M.; MUELLER, D. – “Effects of Voltage Sags in Process Industry applications”. Electrotek Concepts, Inc. knoxville, Tennessee.
- [15]. Hughes, B. M., Chan, J. S., Koval, K. O. – “Distribution Customer Power Quality Experience” – IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 29, Nº. 6, NOVEMBER/DECEMBER /1993, pp 1204,1211.
- [16]. DURÁN-GOMES, J. L., ENJETI, P. N., WOO, B. – “Effect of Voltage Sags on Adjustable-Speed Drives: A critical Evaluation and na Approach to Improve Performance” – IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 35, Nº. 6, NOVEMBER/DECEMBER /1999, pp 1440,1449.
- [17]. BARKER, P. P., SHORT, T. A., OTHER – “Power Quality Monitoring of a Distribution System” – IEEE Transactions on Power Delivery, VOL. 9, Nº. 2, April /1994, pp 1136,1142.
- [18]. BARBI, IVO – “Eletrônica de Potência” – Florianópolis/SC: Editora da UFSC. 1986.
- [19]. A. E. FITZGERALD, CHARLES KINGSLEY, JR. – “Máquinas Elétricas” – McGRAW-HILL. 1ª Edição 1975. 624 pp.
- [20]. Fonseca, Rômulo S. – “Iluminação Elétrica”. McGRALL HILL do BRASIL. São Paulo / SP - 1976
- [21]. Vázquez, José R. – “LUMINOTECNIA” Ediciones CEAC – Barcelona Espanha – 1974.
- [22]. Moreira, Vinícius A. – “Iluminação e Fotometria: Teoria e Aplicação” Ed. Edgar Blüncher Ltda. São Paulo / SP – 1976. 189 pp.
- [23]. Oliveira, Augusto C. C. – “Uso Eficiente da Energia Elétrica” Ed. Universitária da UFPE, Recife / Pe, 1998.



ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Fig. 1.1 Custo da interrupção de um processo produtivo. ix

CAP. 1 -ITENS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Fig. 1.2 Forma de onda da tensão durante uma Interrupção. 2

Fig. 1.3 Forma de onda da tensão durante um SAG. 3

Fig. 1.4 Forma de onda da tensão durante um Salto. 5

Fig. 1.5 Forma de onda de corrente comum em equipamentos eletrônicos. 6

Fig. 1.6 Distorção provocada por uma carga não linear. 6

Fig. 1.7 Curva CBEMA. 7

Fig. 1.8 Sensibilidade de um AVV e de um Contator. 8

CAP. 2 -CLP – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Fig. 2.1 Programa executado pelo CLP. 10

Fig. 2.2 Montagem em laboratório. 12

Fig. 2.3 CLP e a sequência de SAG de 45 ciclos. 13

Fig. 2.4 CLP e a sequência de SAG de 90 ciclos. 14

Fig. 2.5 CLP e a sequência de Interrupções. 15

Fig. 2.6 Curva de sensibilidade do CLP. 16

CAP. 3 -CONTADORES

Fig. 3.1 Circuito magnético do contator. 18

Fig. 3.2 Esquema de ligação do contator. 19

Fig. 3.3 Montagem em laboratório. 20

Fig. 3.4 Interrupção 22

Fig. 3.5 Afundamento 90% (10% V_N). 22

Fig. 3.6 Afundamento 70% (30% V_N). 23

Fig. 3.7 Afundamento 50% (50% V_N). 23

Fig. 3.8 Afundamento 45% (55% V_N). 23

Fig. 3.9 Curva de sensibilidade 24

Fig. 3.10 Interrupção 25

Fig. 3.11 Afundamento 10% (90% V_N). 25

Fig. 3.12 Afundamento 70% (30% V_N). 26

Fig. 3.13 Afundamento 50% (50% V_N). 26

Fig. 3.14 Afundamento 30% (70% V_N). 26

Fig. 3.15 Curva de Sensibilidade. 27

Fig. 3.16 Interrupção 28

Fig. 3.17 Afundamento 90% (10% V_N). 28

Fig. 3.18 Afundamento 80% (20% V_N). 29

Fig. 3.19 Afundamento 60% (40% V_N). 29

Fig. 3.20 Afundamento 40% (60% V_N). 29



Fig. 3.21 Curva de Sensibilidade.....30

Fig. 3.22 Interrupção.....31

Fig. 3.23 Afundamento 90% (10% V_N).....31

Fig. 3.24 Afundamento 70% (30% V_N).....32

Fig. 3.25 Afundamento 60% (40% V_N).....32

Fig. 3.26 Afundamento 55% (45% V_N).....32

Fig. 3.27 Afundamento 51% (49% V_N).....33

Fig. 3.28 Curva de sensibilidade.....33

CAP. 4 -CHAVES DE PARTIDA ESTÁTICAS – SOFT-STARTER

Fig. 4.1 Curvas típicas de Conjugado e Potência para MIT.....36

Fig. 4.2 Gradador monofásico com carga RL.....37

Fig. 4.3 Correntes e tensões para o circuito da Fig. 4.2.....38

Fig. 4.4 Conexão Estrela.....40

Fig. 4.5 Conexão Delta.....40

Fig. 4.6 Gradador dentro do Delta.....40

Fig. 4.7 Rampa de Partida.....41

Fig. 4.8 Rampa de desaceleração.....42

Fig. 4.9 Pulso de partida seguido pela Rampa.....43

Fig. 4.10 Roteiro do experimento.....46

Fig. 4.11 Partida do motor.....47

Fig. 4.12 Formas de onda no início da partida.....48

Fig. 4.13 Espectro Harmônico das formas de onda da figura 4.12 e valores RMS.....48

Fig. 4.14 Formas de onda mostrando o pico de corrente.....49

Fig. 4.15 Espectro Harmônico das formas de onda da figura 4.14 e valores RMS.....49

Fig. 4.16 Formas de onda no final do processo de partida.....50

Fig. 4.17 Espectro Harmônico das formas de onda da figura 4.16 e valores RMS.....50

Fig. 4.18 Formas de onda após o processo de partida.....51

Fig. 4.19 Espectro Harmônico das formas de onda da figura 4.18 e valores RMS.....51

Fig. 4.20 formas de onda.....52

Fig. 4.21 Composição Harmônica da Tensão.....52

Fig. 4.22 Composição Harmônica da Corrente.....53

Fig. 4.23 formas de onda.....54

Fig. 4.24 Composição Harmônica da Tensão.....54

Fig. 4.25 Composição Harmônica da Corrente.....54

Fig. 4.26 Interrupção.....56

Fig. 4.27 Afundamento 90% (10% V_N).....56

Fig. 4.28 Afundamento 80% (20% V_N).....57

Fig. 4.29 Afundamento 70% (30% V_N).....57

Fig. 4.30 Afundamento longo (32% V_N).....57

Fig. 4.31 Interrupção.....58

Fig. 4.32 Afundamento 90% (10% V_N).....58

Fig. 4.33 Afundamento 70% (30% V_N). Não falhou.....59

Fig. 4.34 Afundamento 70% (30% V_N).....59

Fig. 4.35 Afundamento longo (32% V_N).....59



Fig. 4.36	Curva de sensibilidade para distúrbios monofásicos.....	60
Fig. 4.37	Curva de sensibilidade para distúrbios trifásicos.....	60
CAP. 5 -LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA PRESSÃO		
Fig. 5.1	Efeito Estroboscópico	65
Fig. 5.2	Lâmpada de Vapor de Mercúrio	66
Fig. 5.3	Lâmpada de Luz Mista.....	68
Fig. 5.4	Lâmpada de Vapor de Sódio.....	69
Fig. 5.5	Roteiro dos Ensaios.....	72
Fig. 5.6	Sensor Óptico.....	73
Fig. 5.7	Curvas de Tensão, Corrente e Fluxo Luminoso da Mista 500W.....	76
Fig. 5.8	Ocorrência de uma Interrupção Instantânea na Mista 500W	76
Fig. 5.9	Ocorrência de Sag, com intensidade de 40% na Mista 500W.....	77
Fig. 5.10	Ocorrência de Sag, com intensidade de 36% na Mista 500W.....	77
Fig. 5.11	Curva de Sensibilidade da Mista 500W	78
Fig. 5.12	Curva de Sensibilidade da Vapor de Mercúrio 125W.....	79
Fig. 5.13	Ocorrência de uma Interrupção Instantânea na VM 400.....	80
Fig. 5.14	Ocorrência de um SAG com intensidade de 40% na VM 400.....	81
Fig. 5.15	Ocorrência de um SAG – 25% na VM 400.....	81
Fig. 5.16	Ocorrência de um SAG – 23% na VM 400.....	82
Fig. 5.17	Ocorrência de um SAG – 22% na VM 400.....	82
Fig. 5.18	Ocorrência de um afundamento (SWEEP) – 22% na VM 400.....	83
Fig. 5.19	Curva de Sensibilidade da Vapor de Mercúrio 400W.....	83
Fig. 5.20	Ocorrência de uma interrupção – 0,1 ciclos.....	84
Fig. 5.21	Ocorrência de um SAG – 70%.....	85
Fig. 5.22	Ocorrência de um SAG – 40%.....	85
Fig. 5.23	Ocorrência de um SAG – 23%.....	86
Fig. 5.24	Curva de Sensibilidade da Lâmpada Vapor de Sódio 400W	86
CAP. 6 -APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS		
Fig. 6.1	Tabelas do banco de dados Oficina.....	89
Fig. 6.2	Campos e Registros da tabela Planta.....	89
Fig. 6.3	Curva de sensibilidade e a curva simplificada em três pontos.....	91
Fig. 6.4	A janela principal do programa.....	92
Fig. 6.5	Janela do módulo de manipulação do Banco de Dados.....	93
Fig. 6.6	Janela do módulo de modelagem da instalação.....	94
Fig. 6.7	Janela do módulo de análise da instalação.....	95
Fig. 6.8	Janela do módulo de análise da instalação.....	96
APÊNDICE I		
Fig. 1	Janela do programa de interface das fontes CI.....	106
Fig. 2	Janela de programação de eventos.....	107
Fig. 3	Janela de criação de formas de onda distorcidas.....	107



APÊNDICE I

ESTUDO DA FONTE GERADORA DE DISTÚRBIOS

Para a realização dos testes de sensibilidade dos equipamentos, foram utilizadas as fontes geradoras de distúrbios do LCQEE – LABORATÓRIO DE CONSERVAÇÃO E QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA. O estudo do funcionamento dessas fontes faz parte da carga horária teórica desta disciplina de Estudos Especiais I.

O primeiro modelo estudado foi a 6000L da *California Instruments*. Possui saída trifásica e potência de 6kVA. Esta fonte possui um módulo HGA – *Harmonic Generator / Analyzer*. A alimentação é trifásica 220V.

A aquisição mais recente do LCQEE foi a fonte 5001i, também da *California Instruments*. Este modelo não possui módulo HGA, mas pode ser adicionado. A potência nominal é de 5kVA e possui saída monofásica. A alimentação entretanto é trifásica 220V.

Estas fontes podem ser operadas localmente, pelo painel frontal ou remotamente, via microcomputador. A segunda opção foi escolhida devido aos recursos do programa de interface que faz parte do pacote. Com este programa é possível criar com perfeição os distúrbios estudados no capítulo 2. Sendo que apenas o módulo HGA pode gerar formas de onda complexas e componentes harmônicos, a fonte sem este módulo (5001i) é capaz de gerar apenas distúrbios não harmônicos, como SAG's, interrupções, surtos de tensão, etc.

A comunicação entre a(s) fonte e o microcomputador pode ser feita de duas maneiras:

- Via Porta Serial – RS232, conector DB9 padrão. A taxa de transferência é 9,6kbps;
- Interface IEEE488 – GPIB, onde é necessária a instalação de uma placa em um slot do computador. Esta interface permite taxas de transferência de até 1,5MBps.

A fonte 5001i é controlada via porta serial, o que atende bem às necessidades dos ensaios realizados. A fonte 6000L é controlada por uma placa GPIB. Para a função de analisador de harmônicos, onde o módulo HGA trabalha como um sistema de aquisição de dados, é necessária uma taxa de transmissão maior, que a porta serial não atende.

O programa usado para o controle das fontes é o CIGUI – *California Instruments Graphical User Interface*, para Windows 16bits (3.11). Recentemente foi adquirido uma versão para 32bits CIGUI32.



A figura 1 mostra a janela principal do programa, onde é feita a configuração da fonte, determinando-se a tensão, frequência e a corrente limite.

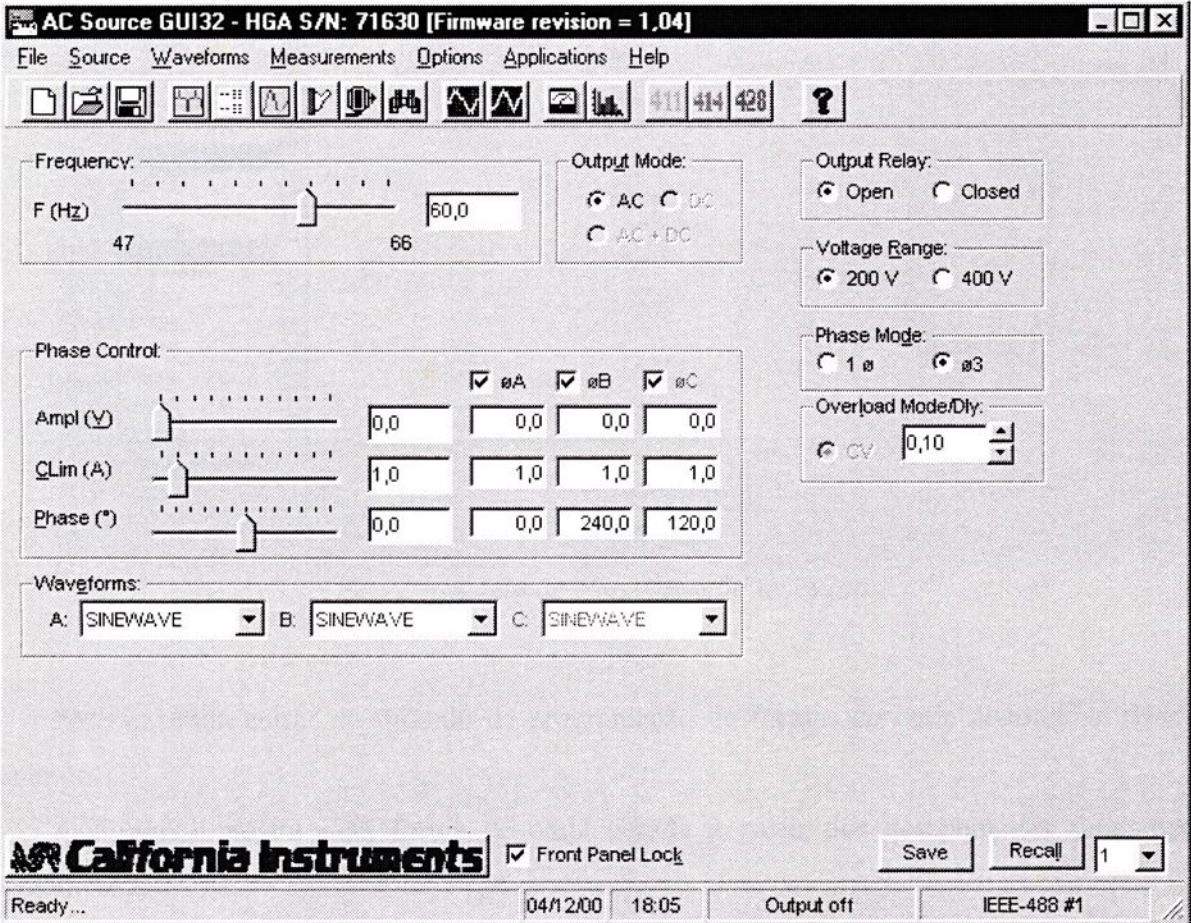


Fig. 1 – Janela do programa de interface das fontes CI.

A partir da janela principal, abre-se os módulo auxiliares, para programação de transitórios (Transient Program Screen) onde pode-se programar os diversos eventos.

A figura 2 mostra a janela do módulo de programação de distúrbios com alguns eventos já programados.

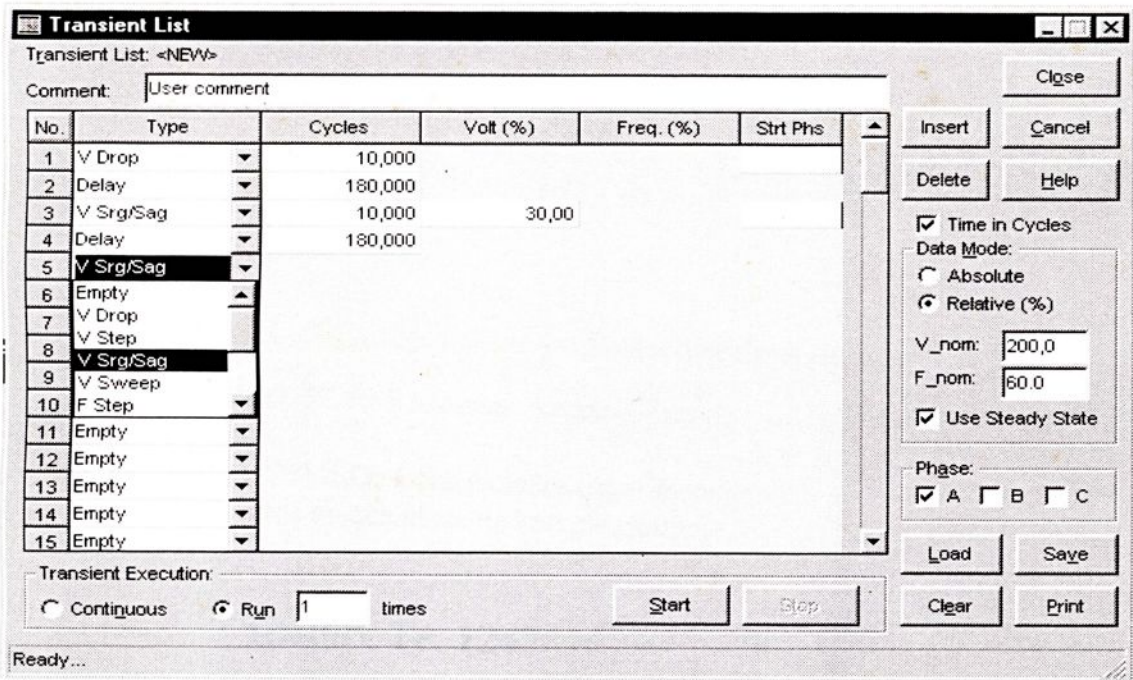


Fig. 2 – Janela de programação de eventos.

Pose-se ainda entrar no módulo de programação de formas de onda distorcidas (Harmonic Generator).

A figura 3 mostra uma forma de onda gerada a partir dos componentes fundamental e harmônicos.

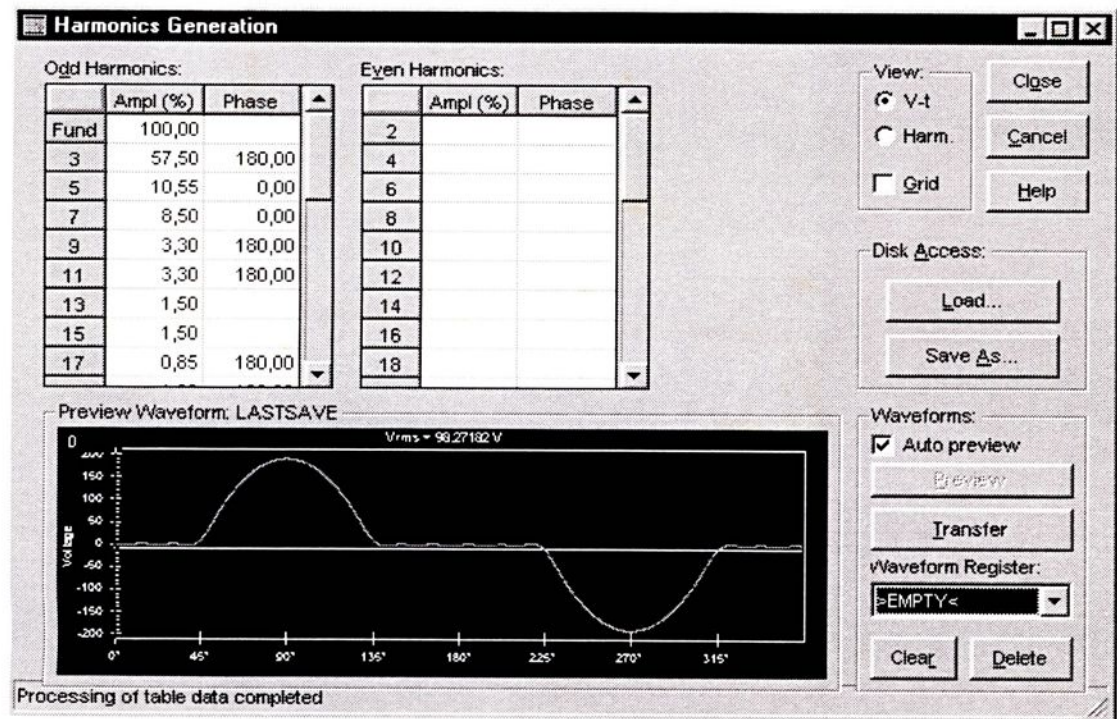


Fig. 3 – Janela de criação de formas de onda distorcidas.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Câmpus de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Av. Brasil Centro, 56
15385-000 Ilha Solteira - SP
www.dee.feis.unesp.br

