MAYCON MAX KOPELVSKI

**Sistema de caracterização elétrica de dispositivos
emissores de campo**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:
Sistemas Eletrônicos

Orientador:
Prof. Dr. Francisco Javier
Ramirez Fernandes

São Paulo
2007

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO E REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

FICHA CATALOGRÁFICA

Kopelvski, Maycon Max

**Sistema de caracterização elétrica de dispositivos emissores de campo / M.M. Kopelvski. -- São Paulo, 2007.
98 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1.Dispositivos emissores de campo elétrico 2.Espectrometria de massa 3.Instrumentação virtual I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II.t.

KOPELVSKI, MAYCON M. **Sistema de caracterização elétrica de dispositivos emissores de campo**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – São Paulo, 2007.

ERRATA

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
14	6	FE	FED
29	19	Assembler	Assembly
33	8	a través	através
36	6	Assembler	Assembly
37	13	Tensão	tensão
39	1	FOTO AC.	Foto acoplador
39	15	display	
40	2	Fig.4.7	Fig.4.6
40	9	calibração	calibração (Fig. 4.7)
41	3	seguir	seguir (Fig.4.8)
43	8	a fonte	o <i>hardware</i>
49	2	medido...	medido.
49	29	amostrados	amostrados e
		armazenados	armazenados
52	8,12,14	casa	casas
55	10	GSIM	GSIM (Grupo de Sensores Integráveis e Microssistemas)
55	29	Figura 4.11	Figura 4.10
56	12	resistência	resistência, equivalente a
		equivalente	
56	13	Figura 4.12	Figura 4.11
57	9	Figura 4.14	Figura 4.12
59	14	Figura 4.25	Figura 4.23
62	2	Figura 4.17	Figura 4.16
67	8	Fig.4.31	Fig.4.29

FOLHA DE APROVAÇÃO

Maycon Max Kopelvski

Sistema de caracterização elétrica de dispositivos emissores de campo

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:
Sistemas Eletrônicos

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Aos pilares que nunca me deixaram cair – Thais, minha esposa, Marllon e Magnon, meus irmãos e Marco Antonio e Maria Jose, meus pais – com amor, admiração e gratidão por sua compreensão, carinho, presença e incansável apoio e torcida ao longo do período de elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais essa graça concedida.

Ao Prof. Dr. Francisco Javier Ramirez Fernandes, que nos anos de orientação e convivência constante, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

Aos integrantes do Grupo de Sensores Integráveis e Microssistemas em especial – ao Henrique E. M. Peres, pelo fundamental apoio, abraçando a causa e empenhando um esforço muitas vezes além do necessário para que obtivéssemos sucesso no desenvolvimento desse projeto. A Elizabete Galeazzo, pelas sugestões ao revisar os textos da dissertação e congressos, além de que, juntamente com o Michel O. S. Dantas, exerceram papel importantíssimo durante as etapas de especificação do sistema, e ensaios, sempre transmitindo inúmeros conhecimentos relacionados aos FED's. E ao Maurício O. P. Lisboa pelo apoio técnico relacionado ao desenvolvimento do *hardware* desse trabalho.

Ao Mauro Braga, M. D. Pilar H. Falla, Thiago H. D. Faria, Wesley Becari, que sempre ao nos encontrar no Laboratório de Microeletrônica, sempre tinham alguma experiência e conhecimento para compartilhar.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao senhor Salvador Pinillos Gimenez pela confiança depositada antes mesmo de me tornar um aluno de pós-graduação.

Ao professor Aderbal de Arruda Penteado Jr., que da sua maneira e sempre com uma presteza admirável, me apoiou e incentivou para que pudesse me desenvolver cada vez mais meus conhecimentos acadêmicos.

Aos professores Mário César G. Ramos e Antonio José do Couto Pitta pelo apoio incondicional e por acreditarem na superação dos obstáculos e na conquista desse objetivo.

Aos meus amigos de graduação, onde, sem exceção, me apoiaram e confiaram que estariam sendo bem representados e que não seria medido esforços para que essa conquista fosse alcançada.

Enfim, a todos os amigos, alunos e professores, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os outros foram...”
Alexandre Graham Bell

RESUMO

KOPELVSKI, MAYCON M. **Sistema de caracterização elétrica de dispositivos emissores de campo**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – São Paulo, 2007.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um sistema de ensaios elétricos de dispositivos de emissão de campo para que, a partir desses ensaios, possam ser extraídas as características elétricas desses dispositivos. O sistema é composto por *hardware* e *software* dedicados e pode ser controlado local ou remotamente. O *hardware* inclui uma fonte de alta tensão gerenciada por um sistema microcontrolado. Para programação do microcontrolador, foi utilizado um ambiente de programação disponibilizado pelo próprio fabricante do microcontrolador. Nesse desenvolvimento foram empregados periféricos de entrada e saída do microcontrolador, tais como: leitura de teclado, manipulação de USART, ajuste do nível de saída da fonte e conversores analógicos digitais. No microcontrolador foram implantadas rotinas de configuração, personalização e varredura do *display*, além de envio e recebimento de informações com um computador. Para o computador foi elaborado um programa dedicado para a manipulação do sistema de ensaio utilizando o conceito de instrumentação virtual, que permite escolher o tipo de ensaio elétrico, armazenar as leituras dos ensaios e a visualização “*on-line*” do andamento do ensaio através de diversos gráficos disponíveis no programa, inclusive o gráfico de Fowler-Nordheim, adequado para o estudo de dispositivos de emissão de campo.

Palavras Chaves: emissão de campo, caracterização elétrica, micropontas de silício, espectrometria de massa, fonte de alta tensão, traçador de curvas, instrumentação virtual, analisador de parâmetros.

ABSTRACT

KOPELVSKI, MAYCON M. *Field emission devices electrical characteristics trial system*. 2007. 98 f. *Dissertation (Masters)* – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – São Paulo, 2007.

At this work is presented the development of a field emission devices trial system to render possible to obtain the electrical characteristics of the field emission devices. Here are shown some results taken from some trials. During the development of the trial system, it was used at the programming microcontroller stage, the environment of programming supplied by the manufacturer of the microcontroller. At this development, peripheral of input and output from the microcontroller, like, keyboard reading, USART manipulation, SPI manipulation and analogic to digital converters were used. At the microcontroller were implanted routines of configuration, customing and display sweeping, besides the transmission and the receiving of instructions came from the computer. For computer, a program was elaborated dedicated for manipulation of the trials system applying the virtual instrumentation concept, storing readings of the trials as well as the visualization "on-line" of the course of the trial through available graphs in the program. As an important result of this work has the establishment of a system for trial of field emission devices controlled on place or remotely, system that is composed by hardware and software in which were made several trials with acquisition and data manipulation and the presentation of received information.

Keywords: field emission, electrical characterization, silicon microtips, mass spectrometry, high voltage source, curve tracer, virtual instrumentation, parameter analyzer.

LISTA DE FIGURAS

FIG. 2.1: DISPOSITIVO DE EMISSÃO DE CAMPO	17
FIG. 2.2: SISTEMA CATODO/ANODO	18
FIG. 2.3: EXEMPLO GENÉRICO DE FERRAMENTA DE INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL.....	20
FIG. 2.4: ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UM DISPOSITIVO DE EMISSÃO TERMOIÔNICA.	23
FIG. 2.5: MODELO PARA A BARREIRA DE POTENCIAL	25
FIG. 3.1: DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SCEDEC	26
FIG. 3.2: (A) VISTA GERAL DA CÂMARA.....	31
FIG. 3.3: ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS PARA A REALIZAÇÃO DESTES TRABALHO	32
FIG. 3.4: SISTEMA DE CARACTERIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS FE	34
FIG. 3.5: METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO ADOTADA PARA O PROJETO	34
FIG. 4.1: DIAGRAMA EM BLOCOS DO <i>HARDWARE</i> DESENVOLVIDO.....	36
FIG. 4.2: FOTO FRONTAL DA FONTE DE ALTA TENSÃO	37
FIG. 4.3: FOTO SUPERIOR DA FONTE DE ALTA TENSÃO	38
FIG. 4.4: REFERÊNCIAS DOS BLOCOS DE TENSÃO PRIMÁRIA	39
FIG. 4.5: ARRANJO DE AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA.....	40
FIG. 4.6: CIRCUITO DO MÓDULO DE ALTA TENSÃO.....	40
FIG. 4.7: CIRCUITO DE REALIMENTAÇÃO DE TENSÃO.....	41
FIG. 4.8: CIRCUITO DE REALIMENTAÇÃO DE CORRENTE	41
FIG. 4.9: “ <i>SPLASH SCREEN</i> ” DO PROGRAMA <i>HIGHVOLT CONTROLLER</i>	43
FIG. 4.10: ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO CIRCUITO DE CALIBRAÇÃO	56
FIG. 4.11: ESQUEMA DE LIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE 1GΩ	56
FIG. 4.12: ESQUEMA DE LIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE 200MΩ.....	57
FIG. 4.13: PONTOS DE MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE 20MΩ.....	58
FIG. 4.14: PONTOS DE MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE 2MΩ.....	59
FIG. 4.15: PONTOS DE MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE 200KΩ.....	59
FIG. 4.16: GRÁFICO DE CORRENTE X TENSÃO (500NA – RESISTOR DE 2GΩ)	60
FIG. 4.17: GRÁFICO DE CORRENTE X TENSÃO (5MA – RESISTOR DE 200MΩ)	60
FIG. 4.18: GRÁFICO DE CORRENTE X TENSÃO (50MA – RESISTOR DE 20MΩ)	61
FIG. 4.19: GRÁFICO DE CORRENTE X TENSÃO (500MA – RESISTOR DE 2MΩ)	61
FIG. 4.20: GRÁFICO DE CORRENTE X TENSÃO (5MA – RESISTOR DE 200KΩ).....	61
FIG. 4.21: GRÁFICO DE CORRENTE X CORRENTE (V-I)	62
FIG. 4.22: GRÁFICO DE FOWLER-NORDHEIM (F-N).	63
FIG. 4.23: EXEMPLO DE UM ENSAIO REAL.....	64
FIG. 4.24: GRÁFICO COMPARATIVO DE MEDIÇÕES (ESCALA DE 500NA).....	65
FIG. 4.25: GRÁFICO COMPARATIVO DE MEDIÇÕES (ESCALA DE 5μA).	65
FIG. 4.26: GRÁFICO COMPARATIVO DE MEDIÇÕES (ESCALA DE 50μA).	66
FIG. 4.27: GRÁFICO COMPARATIVO DE MEDIÇÕES (ESCALA DE 500μA).	66
FIG. 4.28: GRÁFICO COMPARATIVO DE MEDIÇÕES (ESCALA DE 5MA).....	67
FIG. 4.29: AMOSTRA X58A.	67
FIG. 4.30: GRÁFICO DOS ENSAIOS COM O EQUIPAMENTO KEITHLEY.....	68
FIG. 4.31: GRÁFICO DOS ENSAIOS COM O SCEDEC.....	68
FIG. 4.32: GRÁFICO COMPARATIVO DE MEDIÇÕES KEITHLEY VERSUS SCEDEC	69
FIG. 4.33: CURVA DE CARGA DO SCEDEC.	69
FIG. 4.34: CURVA DE REGULAÇÃO DO SCEDEC.....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 COMPONENTES UTILIZADOS NO TRABALHO	28
TABELA 4.1 ESCALAS DA REALIMENTAÇÃO DE CORRENTE	42
TABELA 4.2 ESCALAS DE MEDIÇÃO DE CORRENTE	49
TABELA 4.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASCII	- <i>American Standard Code for Information Interchange</i>
bps	- bit por segundo
CCS	- <i>Custom Computer Services, Inc.</i>
CI	- Circuito Integrado
COM	- Porta de Comunicação Serial
CRC	- <i>Cyclic Redundance Check</i>
DC	- <i>Direct Current</i>
EI	- <i>Eletrospray Ionization</i>
EMT	- <i>Eletron Multiplier Tube</i>
FAB	- <i>Fast Atom Bombardment</i>
FE	- <i>Field Emission</i>
FEA	- <i>Field Emission Array</i>
FED	- <i>Field Emission Devices</i>
FI	- <i>Field Ionization</i>
F-N	- Fowler-Nordheim
GD	- <i>Glow Discharge</i>
GND	- <i>Ground</i>
GPIB	- <i>General Purpose Interface Bus</i>
HI	- Implantação de Hidrogênio
HPCC	- <i>High Performance Liquid Chromatography</i>
ICP	- <i>Individually Coupled Plasma</i>
I/O	- <i>Input /Output</i>
LED	- <i>Light Emitting Diode</i>
LSI-MS	- <i>Liquid Secondary Ion – Mass Spectrometry</i>
MALDI	- <i>Matrix Assisted Laser Desorption Ionization</i>
MCP	- <i>Micro Channel Plate</i>
PC	- <i>Personal Computer</i>
PD	- <i>Plasma Desorption</i>
PID	- Proporcional Integral e Derivativo
PS	- <i>Porous Silicon</i>
RCA	- <i>Radio Corporation of America</i>
REL-I	- Realimentação de Corrente
REL-V	- Realimentação de Tensão
RF	- <i>Radio Frequency</i>
RI	- Resonance Ionization
RMS	- <i>Root Mean Square</i>
RS-232	- <i>Recommended Standard 232</i>
RTA	- <i>Rapid Thermal Annealing</i>
SCEDEC	- Sistema de Caracterização Elétrica de Dispositivos Emissores de Campo
SCSI	- <i>Small Computer Systems Interface</i>
SI	- <i>Secondary Ionization</i>

SPI	- <i>Serial Peripheral Interface</i>
SS	- <i>Spark Source</i>
TI	- <i>Thermal Ionization</i>
TOF	- <i>Time Of Flight</i>
USART	- <i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
USB	- <i>Universal Serial Bus</i>
VME	- <i>Vacuum Micro Electronics</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Φ	- função trabalho
ω	- frequência angular
μC	- microcontrolador
m/z	- relação massa / carga de íon
r	- raio da microponta

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	14
1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. DISPOSITIVOS EMISSORES DE CAMPO.....	17
2.2. INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL	19
2.2.1 PARÂMETROS QUE DESCREVEM A INSTRUMENTAÇÃO	21
2.2.2 <i>HARDWARE</i> E <i>SOFTWARE</i>	21
2.2.3 DESENVOLVIMENTO DE UMA INSTRUMENTAÇÃO DEDICADA PARA CARACTERIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS EMISSORES DE CAMPO	22
2.3. EMISSÃO DE ELÉTRONS.....	23
2.3.1 EMISSÃO TERMOIÔNICA	23
2.3.2 EMISSÃO DE CAMPO	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1. OS MATERIAIS	26
3.1.1 COMPONENTES ELETRÔNICOS.....	27
3.1.2 RS-232	29
3.1.3 <i>SOFTWARE</i> – MPLAB-IDE.....	29
3.1.4 <i>SOFTWARE</i> – DELPHI	30
3.1.5 CÂMARA PARA ENSAIOS ELÉTRICOS.....	30
3.2. ETAPAS PRÉ-ESTABELECIDAS PARA O PROJETO.....	32
3.3. METODOLOGIA APLICADA	32
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	35
4.1. <i>HARDWARE</i>	35
4.1.1 MÓDULO DE CONTROLE	37
4.1.2 <i>SOFTWARE - HIGHVOLT CONTROLLER</i>	42
4.1.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO <i>PC - FONTE</i>	44
4.1.4 <i>CHECKSUM</i>	46
4.2. <i>SOFTWARE</i>	47
4.2.1 ESTRUTURA DO <i>HIGHVOLT CONTROLLER</i>	47
4.2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	52
4.2.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO <i>FONTE - PC</i>	52
4.3. PUBLICAÇÕES.....	55
4.4. CALIBRAÇÃO	55
4.4.1 RESISTORES DE CALIBRAÇÃO.....	56
4.4.2 GRÁFICOS DE CALIBRAÇÃO	59
4.4.3 GRÁFICOS OBTIDOS EM ENSAIOS COM DISPOSITIVOS FE.....	62
4.5. COMPARAÇÃO DE INSTRUMENTOS VERSUS SCEDEC COM CARGA RESISTIVA.....	64

4.5.1	ESCALA DE 500nA.....	65
4.5.2	ESCALA DE 5μA	65
4.5.3	ESCALA DE 50μA	66
4.5.4	ESCALA DE 500μA	66
4.5.5	ESCALA DE 5mA	67
4.6.	COMPARAÇÃO DE INSTRUMENTOS VERSUS SCEDEC COM FED'S NA CÂMARA DE ALTO VÁCUO	67
4.6.1	ENSAIO COM O VOLTÍMETRO E AMPERÍMETRO KEITHLEY	68
4.6.2	ENSAIOS COM O SCEDEC	68
4.6.3	COMPARATIVO DAS MEDIÇÕES KEITHLEY VERSUS SCEDEC	69
4.7.	CURVA DE CARGA DO SCEDEC.....	69
4.8.	CURVA DE REGULAÇÃO DO SCEDEC	70
5.	CONCLUSÕES	71
6.	PROJEÇÕES FUTURAS.....	73
7.	BIBLIOGRAFIA.....	74
8.	ANEXOS.....	79
8.1.	PIC18F452.....	79
8.2.	LF353	80
8.3.	MCP41050IP	81
8.4.	MAX232.....	82
8.5.	DISPLAY	83
8.6.	CHAVEADOR.....	84
8.7.	RAIZ DO PROGRAMA DO MICROCONTROLADOR	85
8.8.	ESTRUTURA DO PROGRAMA <i>HIGHVOLT CONTROLLER</i>	87
8.9.	CALCULO DO CHECKSUM DO PACOTE DE DADOS.....	89
8.10.	RAIZ DO PROGRAMA <i>HIGHVOLT CONTROLLER</i>	90

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de baixo custo, com alta confiabilidade e precisão, que apresenta integração entre *software* e *hardware* num contexto de instrumentação virtual, focado para aplicação no processo de caracterização elétrica de dispositivos de emissão de campo (FE – “*field emission devices*”). Esta caracterização concentra-se essencialmente em extrair as características I-V dos dispositivos em diversas condições de operação.

FE são dispositivos constituídos por dois eletrodos que podem ser integrados ou não. Um eletrodo é denominado catodo e o outro anodo com o objetivo de ser produzido elevado campo elétrico com potenciais elétricos relativamente baixos

Dispositivos emissores de campo são aplicados em diversas áreas, como:

- Displays planos de baixa voltagem com alta resolução e brilho (FURSEY,2003) (XU,2005) (MAMMANA,2000) (TALIN,2001) (DEBSKI,2001) (CHUNG,2004) (LEE,2000) (SILVA,2004);
- Sistemas optoeletrônicos de elevada resolução (FURSEY,2003) (ZUUK,2004) (HIRAYAMA,2002) (GÖLZHÄUSER,1999) (BALE,2002) (MITA,2005);
- Emprego em dispositivos de microondas (FURSEY,2003) (JENSEN,2001) (LI,2003);
- Desenvolvimento de sensores de pressão e de detecção de gases (SUN,1998) (KLEPS,2001) (GHODSIAN,1998) (SALANC,2003) (BADI,2004).

Nas aplicações de FED's em dispositivos integrados, microestruturas de Si, devido à sua compatibilidade com a tecnologia microeletrônica, têm desempenhado um papel importante em diversas áreas, como por exemplo: na microscopia de força atômica (AFM – “*atomic force microscopy*”) (RESNIK,2003) (JÄNCHEN,2002), em microeletrodos para análise química (THIEBAUD,2000) e em medidas de biopotencial (GRISS, 2001) ou estimulação celular (HEUSCHKEL,2002).

Desta forma, várias pesquisas estão direcionadas para a obtenção de micropontas de Si visando a aplicação em emissores dos dispositivos FE, e sugerem diversas técnicas para a sua fabricação (FURSEY,2003) (MADOU,1997) (FUNG,2001) (GALEAZZO,2001) (DANTAS,2006B). Nessas pesquisas, busca-se a possibilidade de integração dos dispositivos (catodo e anodo em um mesmo substrato, por exemplo) além da eficiência,

durabilidade, estabilidade das suas características elétricas. Aliado a essa busca na melhoria da obtenção e do desempenho das micropontas, surge também a necessidade de caracterizar eletricamente os referidos dispositivos, por meio de uma instrumentação dedicada, que possibilite polarizar os eletrodos em diferentes faixas de tensão, da ordem de centenas a alguns milhares de volts, e que viabilize a extração de correntes elétricas que variem em várias ordens de grandeza (principalmente entre nanoampères a microampères). Além disso, esta instrumentação deve apresentar um grau de liberdade para a polarização dos dispositivos de diferentes formas: tensão contínua ou rampa variável de tensão, e com intervalos de polarização e de aquisição diferenciados. Ademais, por meio da visualização gráfica dos resultados obtidos durante os experimentos, possibilitar alterar os parâmetros de polarização e, ao final dos ensaios elétricos, permitir o armazenamento dos dados coletados.

No GSIM (Grupo de Sensores Integráveis e Microsistemas) da EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) está sendo desenvolvido um trabalho relacionado à fabricação de micropontas de Si a partir da técnica HI-PS (*Hydrogen Implantation - Porous Silicon*) (DANTAS,2006B) para serem aplicadas em sensores que operem através do princípio de emissão de campo. Por esta razão surgiu a necessidade de utilizar-se um sistema dedicado, que fosse capaz de polarizar os dispositivos em uma ampla faixa de tensão e extrair suas características elétricas.

Partindo-se de tal necessidade, propôs-se o desenvolvimento de uma instrumentação dedicada, composta por *hardware* e *software*, e projetada sob o conceito de instrumentação virtual, com o objetivo de atender as seguintes características:

- Faixa de tensão para polarização entre 0 a 4 kV;
- Opção de escolha de escalas de corrente diferenciadas (compromisso entre nível de corrente e resolução);
- Seleção de escala de corrente automática ou manual;
- Possibilidade de alterar os parâmetros dos ensaios “*on-line*”, sem a necessidade de interromper o experimento;
- Apresentar, durante os ensaios, gráficos simultâneos ou não na tela do computador, como por exemplo, I-t; V-t; V-I;
- Armazenamento dos dados para posterior análise;
- Escolha de três modos de operação: Controle Manual, Controle de Tensão constante e Controle de Corrente constante;
- Facilidade de operação pelos usuários, e;
- Baixo custo.

Nesse contexto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para este trabalho:

- Desenvolver o *hardware* da fonte de alta tensão e seu sistema microcontrolado de gerenciamento;
- Implementar um *software* de IHM (Interface Homem-Máquina) através de um computador usando linguagem de alto nível direcionada a objetos com capacidade de se comunicar com o *hardware* através da porta Serial RS-232.
- Apresentar graficamente cinco tipos de gráficos “*on-line*”: I-t (Corrente versus tempo), V-t (Tensão versus tempo), V-I (Tensão versus Corrente), I-t e V-t simultâneos e o gráfico de Fowler-Nordheim. E armazenar os dados adquiridos durante os ensaios dos dispositivos emissores de campo.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo dois são apresentados aspectos gerais relacionados aos FED's e à instrumentação virtual.

A descrição dos materiais utilizados, metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho e as instruções de operação do equipamento serão apresentadas no terceiro capítulo.

No quarto capítulo são apresentados e discutidos alguns resultados alcançados, e comparações de desempenho entre o sistema desenvolvido e equipamentos comerciais encontrados no mercado.

A seguir, no quinto e sexto capítulos, são destacada a conclusão e as projeções futuras deste projeto, respectivamente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DISPOSITIVOS EMISSORES DE CAMPO

FED's são dispositivos cujo funcionamento baseia-se no fenômeno mecânico-quântico de emissão de elétrons que passam, através da barreira de potencial (por efeito de tunelamento), do material (sólido ou líquido) para o vácuo devido à aplicação de elevados campos elétricos próximo à superfície do material (XU,2005) (Fig. 2.1).

Fig. 2.1: Dispositivo de emissão de campo com matriz de micropontas.

A densidade de corrente de emissão de elétrons a partir de uma microponta obedece a relação proposta por Fowler-Nordheim (FURSEY,2003), (FURSEY,2005), descrita a seguir:

$$J = \frac{c_1 \cdot E^2}{t^2(y) \cdot \phi} \cdot \exp \left(-c_2 \cdot \frac{\phi^{\frac{3}{2}}}{E} \mathcal{G}(y) \right)$$

onde:

J é a densidade de corrente de emissão (em A/cm²),

ϕ é a função trabalho do material da microponta (em eV).

c_1 e c_2 são termos expressos por relações de constantes universais dados por $e^3/8\pi h$ e $8\pi^{1/2}m/3eh$, respectivamente. Seus valores são: $c_1 = 1,541 \times 10^{-6} \text{ AeV(V}^{-2})$ e $c_2 = 6,831 \times 10^{-9} \text{ eV}^{-3/2} \text{ Vm}^{-1}$.

$t(y)$ é um fator pré-exponencial cujo valor é próximo de 1 (FURSEY,2005) e $\mathcal{G}(y)$ (função de Nordheim) é uma função elíptica de y (DOLAN,1953), onde $y = 3,79 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{E} / \phi$.

Os valores de $\mathcal{G}(y)$ e y são introduzidos na equação de F-N para considerar o efeito da carga-imagem (WISITSORAT,2002). Estes valores são tabelados e podem ser encontrados na literatura (BURGESS,1953).

E é o campo elétrico entre os dois eletrodos planos (neste caso considerado semelhante a um capacitor de placas paralelas), sendo descrito por $E=V/d$, onde V é o potencial elétrico aplicado (em volts) e d é a distância de separação entre os eletrodos (em cm) (WISITSORAT,2002).

Todavia, em superfícies com irregularidades (com a presença de micropontas, por exemplo), o campo elétrico é variado, possuindo maior intensidade na extremidade ou muito próximo à superfície do emissor (microponta) (WISITSORAT,2002). Neste caso, para validar a equação de Fowler-Nordheim, é considerado um fator adimensional de aumento do campo elétrico em uma superfície com micropontas em relação a uma superfície plana, conhecido como fator de enriquecimento (γ) (DANTAS,2006B).

Um dispositivo FE pode ser fabricado com os seus eletrodos integrados ou não. A Figura 2.2(a), ilustra um exemplo de dispositivo integrado, constituído por uma matriz de microagulhas ou micropontas (elementos denominados emissores ou catodos), cada uma localizada em uma cavidade circundada por um eletrodo de “porta” (elemento denominado “*gate electrode*” ou anodo) (TALIN,2001) (DEBSKI,2001) (JENKINS,1993).

Fig. 2.2: Sistema Catodo/Anodo integrado (a) e Sistema não integrado (b).

Exemplos de FED's não integrados são apresentados na Fig. 2.2(b). Neste exemplo, o eletrodo externo (anodo) deve ser posicionado o mais próximo possível ao emissor para que o fenômeno de emissão ocorra com menor potencial de polarização (HUQ,2000).

Para produzir elevados campos elétricos com potenciais elétricos relativamente baixos, os FED's são fabricados com materiais específicos (preferencialmente com baixa função

trabalho) e têm a geometria do elemento emissor otimizada, geralmente apresentando-se na forma de microagulhas, cujo raio de curvatura varia de dezenas de angstroms a alguns micrometros. Desta forma, os processos utilizados na fabricação dos dispositivos FE integrados devem proporcionar tanto a obtenção de micropontas uniformes com diâmetros extremamente reduzidos, como pequenas distâncias entre o emissor e o eletrodo de porta (DEBSKI,2001) (no caso de um sistema catodo/anodo integrado).

Apesar de diversos materiais (entre eles destacam-se o molibdênio, a platina, etc, e recentemente nanotubos de carbono) e técnicas (usualmente processos em soluções químicas e por plasma) serem utilizados na fabricação de dispositivos FE, muitos dos processos sugeridos tornam-se inviáveis de serem implementados industrialmente, devido a problemas como complexidade, alto custo e principalmente a baixa compatibilidade com as tecnologias de Microeletrônica, o que dificulta o emprego de tais dispositivos em circuitos integrados. Desta forma, uma maneira de promover tal compatibilidade consiste em explorar-se a fabricação das “micropontas” em Si, pois por meio de processos de microusinagem, é possível fabricar micropontas ou microagulhas com elevada razão de aspecto compatíveis com outros circuitos de condicionamento do sinal que facilitam sua integração.

2.2. INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

Com o desenvolvimento da tecnologia, em especial no que se diz respeito às áreas relacionadas às engenharias elétrica e eletrônica, tornou-se altamente necessário e de fundamental importância mensurar e controlar grandezas elétricas em incontáveis aplicações nos mais diversos segmentos, dentro e fora da própria engenharia (GOLDBERG, 2000), assim como caracterizar eletricamente dispositivos e circuitos eletrônicos disponíveis comercialmente ou em desenvolvimento, no âmbito ou não da pesquisa científica. Seja para a pesquisa básica e aplicada ou para projetos de desenvolvimento, exige-se cada vez mais que a instrumentação seja modernizada (disponibilizando, por exemplo, maior capacidade de aquisição de dados e de processamento, armazenamento de dados, etc), e que disponibilize várias ferramentas para auxiliar na caracterização e extração dos parâmetros elétricos. Neste caso, para o âmbito da pesquisa, devem-se acrescentar os fatores tempo de desenvolvimento e custo da implementação da instrumentação dedicada.

A partir do desenvolvimento de redes de computadores tornou-se possível a constituição de sistemas de medição computador-instrumentação, separadamente.

Usando-se, portanto qualquer um dos diversos formatos de comunicação: RS-232 à GPIB, USB, Ethernet, SCSI. Mais recentemente, com a introdução de alguns novos protocolos de comunicação de rádio frequência, como o “*Bluetooth*”, Wi-Fi ou ZigBee, o computador não deve necessariamente estar conectado fisicamente com o instrumento. Atualmente, usando protocolo TCP/IP de Internet de alta velocidade, é possível fazer com que a informação seja transportada pela rede, e então processada, mostrada, controlada e ou distribuída em qualquer lugar no mundo (GOLDBERG, 2000).

Associado às tendências da instrumentação atual e aliado à necessidade do desenvolvimento de um sistema dedicado para caracterização elétrica em experimentos efetuados com dispositivos de emissão de campo, é que foi concebido o presente trabalho, no qual o principal enfoque do estudo está no desenvolvimento de um sistema composto por uma fonte de alta tensão constituída de módulos de geração de tensões primárias e processamento de informações, aliada a um ambiente visual, cujo programa instalado em um microcomputador padrão IBM-PC possibilite toda a manipulação da fonte e registro dos dados de ensaio.

Em princípio a instrumentação virtual, cujo conceito está representado na Figura 2.3 (BORGES,2002), é uma proposta para controle de processos, envolvendo equipamentos de medida, *software* e computador, tornando possível a realização de controle do fluxo de informações entre dispositivos através de interfaces padronizadas para comunicação entre homem-máquina. O nome “instrumento virtual” deriva dos aspectos realistas de operação que dizem respeito aos instrumentos clássicos (CRISTALDI, 1999) como, por exemplo, voltímetros, osciloscópios entre outros, e foi originalmente concebido como uma ferramenta de desenvolvimento que automatiza procedimentos laboratoriais e industriais (MARINO,2000).

Fig. 2.3: Exemplo genérico de ferramenta de instrumentação virtual (Placas de aquisição, computadores, software), representando a instrumentação virtual.

O uso da instrumentação virtual tem se destacado também no contexto de controle e monitoração de processos no âmbito industrial, na pesquisa e no desenvolvimento de eletrônica embarcada (BECK, 2001)

A instrumentação virtual é aplicada em diversas áreas, como:

- Gerador de Sinal Digital Programável (AGUIRRE,2006);
- Análise de Sistemas eletrônicos de Potência (SPANIK,2006);
- Monitoramento de máquinas de Indução (EREN,1998);
- Monitoramento de condições de Rolamentos Integrados (WANG,2000);
- Avaliação clínica de funções cardiovasculares e autonômicas (BENITEZ,2000);
- Medições de altas correntes pulsadas de fontes de alta potência de lasers de alta tensão (LI,2005);
- Medição de emissão de correntes harmônicas (GEORGE,2003);

2.2.1 PARÂMETROS QUE DESCREVEM A INSTRUMENTAÇÃO

O sistema de instrumentação virtual pode ser descrito por quatro parâmetros: modelo de programação, estrutura de controle, latência e dispositivos específicos (SPOELDER,1999). O primeiro parâmetro está relacionado ao modelo de programação – a programação é gráfica, ou seja, não é necessário digitar linhas de códigos para a execução de determinada atividade. O segundo parâmetro que descreve a instrumentação virtual, é a estrutura de controle – diagramas de blocos que executam seqüências lógicas são dispostos de forma a executar o controle de um processo. A latência, citada como terceiro parâmetro, está relacionada ao tempo de resposta entre a mensagem do *software* e os instrumentos, ou seja, o tempo em que um instrumento leva para responder a um comando vindo do *software*. E para completar, os dispositivos específicos – como, por exemplo, osciloscópio e fonte de tensão formam o conjunto descrito como o quarto parâmetro de um sistema instrumentação virtual.

2.2.2 HARDWARE E SOFTWARE

Os microprocessadores e técnicas de *software* têm tornado a instrumentação virtual uma forma sofisticada de controle (BORGES,2002), e muitos padrões de comunicação entre *hardware* têm sido estabelecidos (WANG,2000), (TANER,1997) para oferecer suporte aos dispositivos e interface para instrumentação.

A eficiência do projeto da instrumentação virtual está relacionada ao próprio processo de programação, onde o usuário não precisa ser especialista para

implementar o controle de um instrumento, para que alguma atividade seja executada (BORGES,2002). As interfaces assemelham-se aos displays dos instrumentos reais, ou seja, para que os indivíduos acostumados a trabalhar com instrumentação convencional também possam se adaptar a um novo tipo de ambiente (CRISTALDI,1999) onde é possível realizar controles e medições de diversos parâmetros simultaneamente, o que propicia a transportabilidade da instrumentação convencional.

O *software* que representa a utilização da instrumentação virtual e que se mostra como importante ferramenta para o desenvolvimento desse projeto é o programa nomeado de “*HighVolt Controller*”. O *HighVolt Controller* é um programa que possibilita a integração entre *hardware* e *software* e foi desenvolvido no ambiente de programação visual Delphi versão 7.0 produzido pela empresa Borland.

De acordo com Wang (WANG,2000), as interfaces elaboradas para controle via instrumentação virtual, são responsáveis por:

- Manter contato com a unidade central de processamento e executar diferentes testes e funções para medição de sinais;
- Executar o controle de fluxo de dispositivos periféricos (como sensor e circuitos de processamento de sinais) através de interfaces padrões;
- Adquirir mais de um tipo de dado e mostrar o resultado desta aquisição;
- Acompanhar o fluxo de informação do controle de dispositivos periféricos (como sensor e circuitos de processamento de sinal) de forma a permitir futuras análises;
- Possibilitar a exibição e análise de dados adquiridos.

2.2.3 DESENVOLVIMENTO DE UMA INSTRUMENTAÇÃO DEDICADA PARA CARACTERIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS EMISSORES DE CAMPO

Associado às tendências da instrumentação atual aliado a necessidade de se desenvolver um sistema dedicado para caracterização elétrica de dispositivos emissores de campo elétrico, foi concebido o presente trabalho, onde o principal enfoque de estudo está no desenvolvimento de um sistema formado por uma fonte de alta tensão composta por módulos de geração de tensões primárias e de processamento dos dados, interligada a um ambiente gráfico aplicando-se o conceito de instrumentação virtual, cujo programa computacional, executado na plataforma PC(x86) com sistema operacional Windows XP, possibilite o controle da fonte de alta

tensão e o armazenamento dos dados do ensaio, conseqüentemente facilitando o estudo dos dispositivos FE.

2.3. EMISSÃO DE ELÉTRONS

Existem diversos tipos de fenômenos de emissão de elétrons, dentre os quais destacam-se a emissão termoiônica e a emissão de campo, que é o foco no que diz respeito a dispositivos FE (DANTAS,2006B).

2.3.1 EMISSÃO TERMOIÔNICA

A emissão termoiônica ocorre quando um material, geralmente um metal, é aquecido com a passagem de uma corrente elétrica a elevadas temperaturas ($> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), fornecendo aos elétrons energia suficiente para “vencerem” a função-trabalho do material e serem emitidos do mesmo (MAMMANA,2000), (JENSEN,2001B).

Fig. 2.4: Esquema ilustrativo de um dispositivo de emissão termoiônica.

Para “capturar”, direcionar ou acelerar os elétrons emitidos do material aquecido, em geral um filamento (catodo quente), um eletrodo (anodo) é mantido em um potencial elevado em relação ao catodo (da ordem de dezenas de quilovolts), como ilustra a Figura 2.4.

A corrente elétrica que pode ser emitida por unidade de superfície do catodo depende fundamentalmente da temperatura de operação e da função de trabalho do material empregado na sua construção. Ao atingir o valor mínimo de energia térmica aplicada ao catodo (valor determinado pela função de trabalho do material), a emissão termoiônica se inicia e aumenta rapidamente com a elevação da temperatura.

A emissão termoiônica, apesar de ser uma tecnologia consolidada e do tempo de vida relativamente elevado dos dispositivos, apresenta características indesejáveis,

como por exemplo: elevada temperatura de operação ($>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) (ZHU,2001), alto consumo de potência devido à baixa eficiência deste tipo de emissão (SUN,1998), necessidade de um período prévio de aquecimento do catodo para iniciar o processo de emissão (SUN,1998), robustez e fragilidade dos dispositivos, limitando-os a determinados tipos de aplicações (XU,2005), (ZHU,2001).

2.3.2 EMISSÃO DE CAMPO

O princípio do efeito de emissão de campo baseia-se na aplicação de um campo elétrico elevado para extrair elétrons do material (FURSEY,2003), (XU,2005). A eficiência desta emissão é milhões de vezes superior a outros processos conhecidos de emissão de elétrons (FURSEY,2003).

Este fenômeno foi descoberto por R.W. Wood em 1897, porém o autor não conseguiu uma explicação teórica plausível para justificá-lo devido a limitações tecnológicas da época. Posteriormente vários pesquisadores estudaram o fenômeno de emissão de campo, destacando-se entre eles Schottky, Millikan, Eyring, Gossling e Lauritsen (MAMMANA,2000), (FURSEY,2005). Schottky previu teoricamente (em 1923) que a barreira de potencial na superfície do material era inferior ao campo elétrico aplicado para emissão dos elétrons, fato posteriormente comprovado experimentalmente (FURSEY,2005). Em 1926 Millikan, Eyring e Gossling descobriram que a corrente de emissão não era afetada por temperaturas até 1500°K e, posteriormente, Millikan e Lauritsen descreveram que a mesma variava exponencialmente com o potencial elétrico aplicado (FURSEY,2005).

Mas foi em 1928 que Fowler e Nordheim explicaram com êxito a emissão de campo como sendo um fenômeno mecânico-quântico de elétrons que passam (por efeito de tunelamento) através da barreira de potencial do material (sólido ou líquido) para o vácuo (XU,2005), (FURSEY,2005). Esta teoria descreve a dependência da corrente de emissão de elétrons em relação ao campo elétrico aplicado e a função trabalho do material (FURSEY,2005).

Para que este fenômeno ocorra, é necessário que o campo elétrico próximo à barreira de potencial na interface metal-vácuo (emissor-vácuo) seja elevado o suficiente (da ordem de $10^7\text{-}10^9\text{ V/cm}$) afim de que os elétrons possuam uma significativa probabilidade de tunelamento do sólido para o vácuo (FURSEY,2003), (MAMMANA,2000), (SUN,1998). A Figura 2.5 (FURSEY,2003),

(MAMMANA,2000), (SUN,1998) ilustra um modelo para a barreira de potencial com e sem aplicação de um campo elétrico externo.

Fig. 2.5: Modelo para a barreira de potencial em função da distância em relação à superfície do metal (FURSEY,2003), (MAMMANA,2000), (SUN,1998), onde E = energia potencial, X = distância da superfície do material, E_{VAC} = nível de vácuo, E_F = nível de Fermi, ϕ = função trabalho do metal.

A curva pontilhada da Figura 2.5 representa a modificação da barreira de potencial considerando-se o efeito da carga-imagem devido à interação entre os elétrons no vácuo e o catodo de metal, sendo descrita por $V = \phi - Ex - \frac{q^2}{16\pi x}$, para $x > x_0$ (WISITSORAT,2002).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar os aspectos relevantes do projeto, os materiais e a descrição da metodologia utilizada para a implementação do Sistema de Caracterização Elétrica de Dispositivos Emissores de Campo (SCEDEC).

O SCEDEC consiste em um sistema de baixo custo, com alta confiabilidade e precisão, que apresenta integração entre *software* e *hardware* num contexto de instrumentação virtual, direcionado para aplicações em processos de caracterização elétrica de dispositivos de emissão de campo.

A Figura 3.1 mostra um diagrama de blocos das partes fundamentais do sistema desenvolvido:

Fig. 3.1: Diagrama simplificado do SCEDEC

3.1. OS MATERIAIS

Os materiais utilizados no desenvolvimento desse trabalho estão relacionados ao *hardware*, ao *software* e aos mecanismos que possibilitam a integração *hardware-software* através da comunicação serial. A seguir, são detalhados os principais materiais utilizados:

3.1.1 COMPONENTES ELETRÔNICOS

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	FUNÇÃO
μC	PIC18F485I/P	MICROCHIP	<ul style="list-style-type: none"> ○ Três interrupções externas; ○ Um <i>timer</i>/contador de 8 bits; ○ Dois <i>timers</i> de 16 bits; ○ Portas de comunicação I²C, SPI, USART (RS-232/RS-485), Paralela; ○ Velocidade de processamento acima de 10MIPS, entre outras. 	O microcontrolador é responsável pelo gerenciamento de todo o <i>hardware</i> . É um componente que possui uma memória, onde é gravado um arquivo hexadecimal. Esse arquivo é oriundo de um compilador que converte o programa feito em “linguagem C”, programa esse que determina quais funções que serão executadas pelo componente. A página inicial da especificação técnica desse microcontrolador, fornecida pelo fabricante, encontra-se no anexo 8.1.
AMPLIFICADOR OPERACIONAL	LF353	FARCHILD	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ganho em ampla largura de banda – 4MHz; ○ Alta taxa de rampa de tensão – 13V/μs; ○ Alta impedância de entrada – 10¹²Ω. 	Esse amplificador operacional foi usado no circuito responsável pela geração do sinal senoidal de 49kHz, pois esse componente apresenta um bom funcionamento nessa faixa de frequência. A página inicial da especificação técnica desse amplificador operacional, fornecidas pelo fabricante, encontra-se no anexo 8.2.
POTENCIÔMETRO DIGITAL	MCP41050IP	MICROCHIP	<ul style="list-style-type: none"> ○ Resistência de 50KΩ ○ 256 etapas de variação da resistência; ○ Versões <i>Single</i> e <i>Dual</i>; ○ Interface de comunicação SPI; ○ Tecnologia CMOS <i>low power</i>; ○ Tensão de alimentação de 2,7 ~ 5,5Vdc. 	Esse potenciômetro digital foi usado para variar a amplitude do sinal do circuito responsável pela geração da onda senoidal de 49kHz, que posteriormente é utilizada para estímulo do módulo de potência para geração da alta tensão. A página inicial da especificação técnica desse potenciômetro digital, fornecidas pelo fabricante, encontra-se no anexo 8.3.

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CARACTERÍSTICAS	FUNÇÃO
DRIVER / RECEIVER	MAX232	MAXIM	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tensão de alimentação de 5V; ○ Múltiplos <i>drivers/receivers</i>; ○ Saídas <i>drivers/receivers</i> tri-estados. 	Esse componente foi usado para converter os níveis de tensão entre a porta RS-232 e o microcontrolador para que a comunicação do <i>hardware</i> com o <i>software</i> do SCEDEC fosse possível. A página inicial da especificação técnica desse componente, fornecidas pelo fabricante, encontra-se no anexo 8.4.
DISPLAY	GDM2004D	XIAMEN	<ul style="list-style-type: none"> ○ Display alfanumérico com caracteres de matriz 5x8 c/ cursor; ○ Controlador embutido; ○ Tensão de alimentação de 5V; ○ <i>Back-light</i> incorporado. 	O <i>display</i> foi usado para possibilitar que o usuário acompanhe as informações referentes ao ensaio em andamento e aos parâmetros de configuração do sistema. A página inicial da especificação técnica desse componente, fornecidas pelo fabricante, encontra-se no anexo 8.5.
REGULADOR CHAVEADO	LM2576-ADJ	NATIONAL SEMICONDUCTOR	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tensão de saída ajustável; ○ Corrente de saída de 3A; ○ Alta eficiência; ○ Proteção contra aquecimento e sobrecarga. 	Os reguladores de tensão chaveados foram usados para controlar as tensões de todo <i>hardware</i> do SCEDEC, com eles é possível manter sempre constante as tensões de saída das diferentes fontes, desde que a corrente consumida pelo circuito esteja dentro dos parâmetros técnicos do componente. A página inicial da especificação técnica desse componente, fornecidas pelo fabricante, encontra-se no anexo 8.6.

Tabela 3.1 Componentes utilizados no trabalho

3.1.2 RS-232

Foi utilizado como interface de comunicação entre o computador e a fonte, a porta de comunicação serial do computador sob o padrão RS-232. As maiores dificuldades encontradas pelos usuários na utilização da interface RS-232 incluem pelo menos um dos seguintes fatores:

- ✓ A ausência ou conexão errada de sinais de controle resulta em estouro do *buffer* (“*overflow*”) ou travamento da comunicação.
- ✓ Função incorreta de comunicação para o cabo em uso resulta em inversão das linhas de Transmissão e Recepção, bem como a inversão de uma ou mais linhas de controle (“*handshaking*”).

Felizmente, os *drivers* utilizados são bastante tolerantes aos abusos cometidos, e os circuitos integrados normalmente não são danificados.

3.1.3 SOFTWARE – MPLAB-IDE

Para o desenvolvimento do programa do microcontrolador foi aplicado o programa MPLAB-IDE que é desenvolvido pela empresa Microchip. O MPLAB-IDE é um programa gratuito disponibilizado no website do desenvolvedor (www.microchip.com), cujo ambiente de programação oferece todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de programas de microcontroladores em um único ambiente. O MPLAB-IDE tem como base de programação a linguagem Assembler, porém para o desenvolvimento desse trabalho, foi utilizado um compilador que tem como base de programação a linguagem “C”. Esse compilador foi desenvolvido pela empresa CCS e é compatível com o MPLAB-IDE. No MPLAB-IDE é possível, além de desenvolver os programas para microcontroladores, desenvolver aplicações e simulá-las, e quando possuir os emuladores, é possível também emular as aplicações em tempo real “*on-line*”.

3.1.4 SOFTWARE – DELPHI

Para o desenvolvimento do *software* que compõe o SCEDEC foi utilizado um programa para programação de linguagem em alto nível que é denominado Delphi versão 7.0 e foi instalado no sistema operacional Windows XP. O Programa Delphi utiliza como base de programação a linguagem “Pascal” e durante o desenvolvimento desse trabalho, utilizou-se recursos para desenvolvimento de menus, acionadores, *displays*, comunicação serial, banco de dados, visualizações gráficas, entre outras.

3.1.5 CÂMARA PARA ENSAIOS ELÉTRICOS

A Figura 3.2a ilustra a câmara de vácuo confeccionada no laboratório de Microeletrônica para ser utilizada nos ensaios elétricos dos dispositivos FE.

A função do posicionador, acoplado ao pino de suporte do catodo (Figura 3.2b), é alterar a distância entre as estruturas do anodo e catodo (Figura 3.2c) e avaliar a alteração da corrente de emissão em função de tal distância. A estrutura do anodo (Figura 3.2d), feita do mesmo material da câmara (aço inox), é parafusada ao pino de suporte, e possui extremidades arredondadas para desfavorecer descarga nesta região.

Como a alta tensão será aplicada no anodo, ele necessita ser isolado eletricamente das demais partes do sistema, o que foi realizado utilizando-se materiais cerâmicos (Figura 3.2e). Por fim, o substrato de Si contendo a matriz de micropontas dever ser fixado ao porta amostras através de isolantes de material plástico (Figura 3.2f).

Com relação ao sistema de vácuo, a câmara não apresentou vazamentos que comprometessem seu funcionamento, possibilitando atingir pressões da ordem de 10^{-6} Torr.

Fig. 3.2: (a) vista geral da câmara
 (b) parte superior da câmara ilustrando o posicionador e micrômetro acoplados ao pino de suporte do catodo;
 (c) vista interna da câmara ilustrando o catodo e o anodo;
 (d) anodo;
 (e) flange inferior, que contém o anodo, isolado eletricamente do sistema por um material cerâmico;
 (f) detalhe do porta amostra.

3.2. ETAPAS PRÉ-ESTABELECIDAS PARA O PROJETO

O desenvolvimento do trabalho foi escalonado em etapas (Fig. 3.3), sendo que a primeira etapa consiste no levantamento das principais características desejáveis para que o sistema pudesse atender as necessidades do processo de caracterização dos dispositivos emissores de campo em instrumentação virtual.

A segunda etapa foi desenvolvida através da elaboração do *hardware* da Fonte de Alta tensão, incluindo os circuitos das fontes de alimentação, programação do microcontrolador, estabelecimento do protocolo de comunicação além da estimulação do módulo de potência através de um circuito gerador de onda senoidal de 49kHz.

Para a implantação da terceira etapa, que consiste em desenvolver um programa visual que possibilita o controle do experimento via computador, é utilizado o programa Delphi 7.0 para Windows, onde foi desenvolvido o instrumento virtual responsável pelo controle, manipulação e aquisição dos dados dos ensaios.

A quarta etapa envolve todo o processo de calibração e o processo de levantamento das características do sistema, bem como os acertos necessários para corrigir eventuais problemas detectados durante essa etapa.

Fig. 3.3: Etapas a serem desenvolvidas para a realização deste trabalho

3.3. METODOLOGIA APLICADA

Uma das etapas fundamentais que permitiram a concepção do SCEDEC foi a etapa de desenvolvimento do *hardware* (Fonte de Alta Tensão) do Sistema. Durante essa etapa, foram elaborados levantamentos de especificações, referente à qual fonte deveria ser adotada como fonte de alta tensão. Foram consideradas várias alternativas entre as quais, a de aplicação de um Fly-back e aplicação de uma Bobina de centelhamento automotivo, porém a que proporcionou uma melhor qualidade de tensão de saída, foi o módulo de

potência. O módulo de potência é uma fonte de alta tensão contínua alimentado com uma tensão de 110Vac e calibrado para sempre manter uma tensão constante de 1,5kVdc nos terminais de saída. Esse módulo foi retirado de um equipamento sem uso e foram feitas alterações relacionadas principalmente ao circuito de atuação para que ele pudesse atender as especificações do presente trabalho.

Após ser estipulada a fonte de alta tensão que seria utilizada no Sistema, foram levantadas as características do módulo de potência e verificou-se que o melhor desempenho era a través da excitação do módulo, aplicando-se uma tensão senoidal com frequência de 49kHz e que a variação da tensão de saída fosse implementada através da variação da amplitude dessa tensão.

Para a transferência de dados entre o computador (*software*) e o *hardware* ocorrer, há a necessidade de um protocolo de comunicação. Para tal, foram desenvolvidos dois protocolos de transferência. Um relacionado à transferência de dados PC-FONTE (mais detalhado no capítulo 4.1.3) e outro relacionado à transferência de dados FONTE-PC (mais detalhado no capítulo 4.2.3).

Neste projeto foi utilizada comunicação serial no padrão RS-232, para a transferência dos dados. A metodologia de detecção de falhas na comunicação, foi implementada através da aplicação do Checksum.

Para interação do usuário com o Sistema, foi implementado um instrumento virtual através do desenvolvimento de um *software* utilizando-se o programa Delphi 7.0. O *software* desenvolvido foi denominado de “*HighVolt Controller*” e nele é possível, entre outras coisas:

- Analisar a comunicação no processo de *Debug*;
- Selecionar três modos de operação da fonte: Controle Manual, Controle de Corrente e Controle de Tensão;
- Visualizar as leituras durante o funcionamento;
- Selecionar a velocidade de atualização do gráfico e dos *displays* indicadores.

O sistema proposto é mostrado na Figura 3.4, onde é possível identificar o *hardware* (Fonte de Alta Tensão) e o microcomputador além do ambiente de ensaio desenvolvido:

Fig. 3.4: Sistema de caracterização dos dispositivos FE

A Figura 3.5 mostra a metodologia de desenvolvimento utilizada para este projeto apresentando de uma forma geral, como as etapas descritas nesse capítulo foram desenvolvidas.

Fig. 3.5: Metodologia de desenvolvimento adotada para o projeto

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo descreveu os principais materiais e a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, mostrando a importância e justificando as escolhas das tecnologias. Ao final encontra-se o diagrama de blocos ilustrando as etapas do projeto e uma breve descrição das atividades realizadas em cada etapa.

O próximo capítulo apresentará os resultados preliminares experimentais obtidos das atividades realizadas em cada etapa.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Adiante são discutidos o *hardware* e o *software* desenvolvidos nesse trabalho, onde o *hardware* é constituído pelo conjunto de componentes físicos do sistema (material eletrônico, placas, display etc.) e *software*, constituído por programas, rotina ou conjunto de instruções que controlam o funcionamento do SCEDEC, ou seja, são os programas desenvolvidos para o computador e para o microcontrolador da fonte de alta tensão.

4.1. *HARDWARE*

Na fonte de Alta Tensão, desenvolvida de acordo com o diagrama da Figura 4.1, foram utilizadas quatro fontes de tensão contínua, três referenciadas ao comum digital com valores de tensão de +15Vdc, -15Vdc, +5Vdc e duas referenciadas ao Terra físico da rede elétrica com valor de tensão de 5Vdc. Todo o controle de atuação, leitura e manipulação dos dados de leitura, controle das teclas e do *display* e comunicação com o computador é feito por um microcontrolador PIC18F452 fabricado pela empresa Microchip®. Para possibilitar a comunicação com o computador através do padrão RS-232, utilizou-se o componente MAX-232 que faz a interface dos níveis de tensão disponibilizada pelo microcontrolador para os níveis de tensão da porta serial do computador. Foi desenvolvido um circuito analógico com o objetivo de estimular o módulo de alta tensão do sistema com uma tensão senoidal em uma frequência de 49kHz e a interface entre o circuito analógico e o controle digital do sistema é responsabilidade de um potenciômetro digital MCP41050IP, cujo valor de resistência total é de 50kΩ, também fabricado pela Microchip®. O circuito de realimentação de tensão é constituído de uma rede resistiva de 100MΩ e a realimentação de corrente possui cinco diferentes resistores de *Shunt* que são selecionados separadamente de acordo com a escala de corrente selecionada.

Fig. 4.1: Diagrama em Blocos do hardware desenvolvido.

O microcontrolador possui uma programação que foi desenvolvida em um ambiente de programação disponibilizada pelo próprio fabricante do microcontrolador, a Microchip, para *download* gratuito em sua página na Internet. Esse programa é denominado MPLAB-IDE e a versão que foi utilizada é a versão 7.60. Nele, são elaborados programas para os microcontroladores da linha disponibilizada pela Microchip e utiliza como linguagem padrão o Assembler. No desenvolvimento do *software* para o sistema objeto desse trabalho, foi instalado um compilador de linguagem “C” e o programa foi elaborado seguindo essa linguagem. Foram utilizadas na programação do microcontrolador, configurações de pinos de I/O, interrupções, além de periféricos como o de comunicação serial USART, conversor analógico digital, comunicação serial SPI, entre outros.

Durante o desenvolvimento, tinha-se como parâmetro fundamental que houvesse a possibilidade de a Fonte de Alta Tensão poder ser operada independentemente da conexão com o computador. Para tal, foi adicionado à Fonte de Alta Tensão, um módulo de Teclas no qual é possível a inserção de todos os parâmetros necessários para o seu funcionamento. A partir daí, os resultados dos ensaios podem ser acompanhados e anotados através das informações contidas no *display* da Fonte de Alta Tensão. Isso também permite que as condições de emissão de micropontas durante um ensaio não sejam alteradas mesmo que ocorra algum problema de comunicação com o computador.

Fig. 4.2: Foto frontal da Fonte de Alta Tensão

4.1.1 MÓDULO DE CONTROLE

Módulo onde se localiza todo o circuito de controle e monitoramento do funcionamento da Fonte de Alta Tensão. Este módulo possui a característica que ter como centro de processamento das informações e da atuação, o microcontrolador fabricado pela microchip modelo PIC18F452. O módulo de controle possui blocos que são responsáveis pela geração de tensão primária, bloco responsável pelo envio e recebimento de dados na comunicação FONTE-PC, bloco responsável por atuar diretamente no circuito primário do módulo de alta tensão e blocos responsáveis por informar o microcontrolador sobre o funcionamento da fonte, através de circuitos de realimentação, além de um módulo de alta tensão onde, ao se aplicar uma tensão no primário, ele impõe uma alta tensão correspondente na saída. Para que o controle seja possível, é necessário atuar diretamente na parte de baixa tensão para que não ocorram problemas na manipulação de altos valores de Tensão. O módulo de controle foi subdividido de acordo com a Figura 4.4:

Fig. 4.3: Foto superior da Fonte de Alta Tensão

4.1.1.1. BLOCOS DE GERAÇÃO DE TENSÃO PRIMÁRIA

A Fonte de Alta Tensão possui quatro fontes internas para o seu funcionamento, onde as referências são detalhadas na Fig. 4.5. **Fonte 1:** Fonte responsável por alimentar o circuito do módulo de controle. Essa fonte alimenta com 5Vdc o circuito que engloba principalmente o microcontrolador. Essa fonte não tem a sua referência “gnd” no mesmo potencial da massa, ou seja, não está em curto com a carcaça. **Fonte 2:** Fonte responsável por alimentar o circuito de comunicação da placa com o PC. Essa fonte teve que ser feita separadamente para que a referência “gnd” possa ser a massa física da fonte, pois na maioria dos casos os cabos de comunicação serial possuem essa conexão da referência do cabo “gnd” conectado junto à massa “carcaça”. **Fonte 3 e 4:** Fontes responsáveis por impor a tensão de excitação do primário do módulo de alta tensão. Nela, o nível de tensão é controlado através da atuação de um potenciômetro digital que está conectado ao circuito de realimentação do regulador de tensão chaveado “LM2575-ADJ” e que é controlado pelo microcontrolador, essas fontes alimentam também o circuito analógico responsável por gerar a uma onda senoidal na frequência de 49kHz e pelos estágios de amplificação. Essa fonte não tem a referência “gnd” no mesmo potencial da massa, ou seja, não está em curto circuito com a carcaça.

Fig. 4.4: Referências dos blocos de tensão primária

4.1.1.2. BLOCO DE COMUNICAÇÃO

A Fonte de Alta Tensão possui um bloco responsável pelo envio e recebimento de informações da comunicação serial. Esse circuito é alimentado através de uma fonte exclusiva, pois ela possui a referência “gnd” no mesmo potencial da massa, ou seja, está conectada à carcaça da fonte (Fig. 4.5). A partir daí, o sinal chega ao microcontrolador através de um isolamento óptico (fotoacoplador PS2501-1) da mesma forma que o sinal do microcontrolador chega ao MAX-232 também isolado opticamente. Essa isolamento é necessária, pois a tensão de alimentação do microcontrolador não está referenciada à carcaça da Fonte de Alta Tensão. Um ponto negativo desse artifício é que limita um pouco a banda (em torno de 9600kbps), porém suficiente para essa aplicação.

4.1.1.3. BLOCO DE ATUAÇÃO

A Fonte de Alta Tensão possui um bloco responsável pela atuação do circuito primário do módulo de Alta Tensão. Esse circuito excita o primário do módulo de Alta Tensão através de um transistor NPN display que recebe um sinal senoidal na frequência de 49kHz que foi gerado e amplificado anteriormente. A interação com o módulo de potência, foi feita através de amplificador operacional num arranjo de amplificador de potência (Figura 4.5):

Fig. 4.5: Arranjo de amplificador de potência

Circuito do Módulo de Alta Tensão: É constituído basicamente de um resistor em série com o módulo (Fig. 4.7), cuja função se caracteriza por limitar a corrente no circuito primário de excitação do módulo que conseqüentemente irá circular pelo transistor de atuação:

Fig. 4.6: Circuito do Módulo de Alta Tensão.

4.1.1.4. BLOCO DE REALIMENTAÇÕES

A Fonte de Alta Tensão possui dois circuitos de realimentação, um para realimentação de tensão e outro para realimentação de corrente. **Circuito de Realimentação de Tensão:** É uma associação série de 10 resistores de $10\text{M}\Omega$ além de um trimpot para calibração. Esse circuito tem a função de dispor no terminal central do trimpot uma tensão proporcional ao valor da tensão de saída. Foi dimensionado para que tenha o valor de 5Vdc no terminal central do potenciômetro quando a tensão de saída for de 10kVdc . Na Figura 4.8, é mostrado o circuito de realimentação de tensão, cada resistência representando, porém dois resistores na montagem real.

Fig. 4.7: Circuito de Realimentação de Tensão

Circuito de Realimentação de Corrente: É composto de cinco escalas acionadas através de transistores FET de baixa potência como mostra a figura a seguir:

Fig. 4.8: Circuito de Realimentação de Corrente

Note que o terminal negativo da fonte de alta tensão está referenciado à “massa” (carcaça da fonte) e o circuito de realimentação de corrente está referenciado ao “gnd” da fonte que é diferente da “massa”. A saída da fonte ser referenciada à massa foi uma exigência para a aplicação e caracterização dos dispositivos emissores de campo, porém como pode-se verificar no circuito da Figura 4.9, a saída de alta tensão do módulo está referenciada ao “gnd” da fonte e não à “massa”, com isso a circulação de corrente passa através do circuito de realimentação e, conseqüentemente, faz com que ao circular uma corrente através

do circuito de realimentação de corrente, tenha-se um nível de tensão no ponto “REL-I” do esquema proporcional ao valor da corrente que está circulando.

Foram usados nesse circuito, cinco resistores nos valores de $1\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, $1\text{M}\Omega$ e $10\text{M}\Omega$. Esses resistores determinam uma faixa para cada uma das escalas, como segue a Tabela 4.1:

TABELA DE REALIMENTAÇÃO DE CORRENTE	
RESISTÊNCIA	FAIXA DE CORRENTE
$10\text{M}\Omega$	$0 \sim 500 \text{ nA}$
$1\text{M}\Omega$	$0 \sim 5 \text{ }\mu\text{A}$
$100\text{k}\Omega$	$0 \sim 50 \text{ }\mu\text{A}$
$10\text{k}\Omega$	$0 \sim 500 \text{ }\mu\text{A}$
$1\text{k}\Omega$	$0 \sim 5\text{mA}$

Tabela 4.1 Escalas da Realimentação de Corrente

4.1.2 SOFTWARE - HIGHVOLT CONTROLLER

O *software* desenvolvido para o computador que incorpora o sistema foi denominado de “*HighVolt Controller*” (Fig. 4.9) e foi elaborado no ambiente de programação visual orientada a objeto Delphi 7.0 produzido pela empresa Borland. O *HighVolt Controller* é responsável por controlar a fonte de alta tensão e retirar da fonte todas os parâmetros necessários para apresentar no computador as informações durante a operação. O *software* desenvolvido apresenta os seguintes recursos:

Fig. 4.9: "Splash Screen" do programa *HighVolt Controller*

- Configurar os parâmetros da fonte;
- Configurar os parâmetros das grades de um analisador;
- Transferir os parâmetros configurados para a fonte, antes ou durante o funcionamento;
- Gravar os parâmetros configurados;
- Recuperar os parâmetros que foram gravados anteriormente;
- Acionar e desacionar a porta de comunicação com a fonte;
- Ligar e desligar a fonte sem entrar em contato com a fonte;
- Selecionar qual a porta de comunicação será utilizada;
- Analisar a comunicação no processo de *Debug*
- Selecionar três modos de operação da fonte: Controle Manual, Controle de Corrente e Controle de Tensão;
- Visualizar as leituras durante o funcionamento;
- Selecionar a velocidade de atualização do gráfico e dos *displays* indicadores;
- Visualizar cinco tipos de gráficos: Corrente – Tempo, Tensão – Tempo, Tensão – Corrente, Tensão – Tempo e Corrente – Tempo simultaneamente e Gráfico Fowler-Nordheim;

- Selecionar a quantidade de amostras para visualização dos Gráficos;
- Exportar os dados armazenados durante todo o ensaio;

4.1.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO PC - FONTE

Para a comunicação entre o PC e a Fonte foi desenvolvido um protocolo de transmissão para que a fonte pudesse interpretar o pacote de dados transmitido. Com isso, os pacotes transmitidos foram padronizados de duas formas:

- ✓ Pacote de dados;
- ✓ Pacote de instrução.

No pacote de instrução, a informação é composta de cinco caracteres que são transmitidos de acordo com o padrão ASCII. O pacote de instrução a ser transmitido é construído com o seguinte critério:

Os pacotes de instrução são apresentados a seguir:

IL149 - Instrução liga. Essa instrução é transmitida para a fonte sempre que é solicitado através do *software* que a fonte ligue.

ID141 - Instrução desliga. Essa instrução é transmitida para a fonte sempre que é solicitado através do *software* que a fonte desligue.

IP153 - Instrução parâmetro. Essa instrução é transmitida para a fonte sempre que é solicitado que seja transferido para a fonte os parâmetros configurados no *software*.

IV159 - Instrução valores. Essa instrução é transmitida para a fonte sempre que o *software* atualizar os gráficos e os dados do experimento. Essa instrução é transmitida somente quando a fonte está ligada e a repetição dessa instrução varia de acordo com o parâmetro de velocidade de varredura configurada no *software*.

No pacote de dados, a informação é composta de 51 caracteres que são transmitidos de acordo com o padrão ASCII. O pacote de dados a ser transmitido é construído seguindo o seguinte critério:

4.1.4 CHECKSUM

Com o objetivo de aceitar somente as mensagens que não contenham erros, foi aplicada uma forma de detecção de erros baseada no conceito de *checksum*. Um código é gerado a partir do tratamento da palavra a ser transmitida, calculando *byte a byte* e sem aplicar nenhuma equação relacionada a CRC (*Cyclic Redundance Check*). A metodologia aplicada para esse cálculo é a de somar todos os bytes da palavra a ser transmitida sem considerar o *carry*, o resultado nunca ultrapassa 8 bits:

exemplo 1:

- INSTRUÇÃO LIGA:

CARACTER: I (CÓDIGO ASCII = 73d)
 + L (CÓDIGO ASCII = 76d)
 149 (*Checksum*)

PALAVRA: **IL149**

exemplo 2:

- INSTRUÇÃO VALORES:

CARACTER: I (CÓDIGO ASCII = 73d)	0100 1001b
+ V (CÓDIGO ASCII = 86d)	+0101 0110b
159 (<i>Checksum</i>)	1001 1111b

PALAVRA: **IV159**

exemplo 3:

- DADOS:

Um exemplo do cálculo do pacote de dados foi colocado como anexo (Anexo 8.9).

Foi escolhida essa forma de cálculo de *Checksum*, pois como em alguns momentos quem calcula o *Checksum* é o microcontrolador, não se desejava sobrecarregá-lo com instruções complexas e aumentar muito a quantidade de memória usada para esse cálculo.

Neste projeto, não se visava contabilizar toda palavra recebida, porém simplesmente ignorar em alguns casos ou enviar uma palavra de erro para que o computador pudesse reenviar a palavra.

Existe, porém a probabilidade de em casos raros, serem contabilizadas palavras erradas, mas com *Checksum* corretos, pois palavras diferentes podem ter o mesmo *Checksum*. Isso se deve ao equacionamento de natureza limitada do *Checksum*.

4.2. SOFTWARE

4.2.1 ESTRUTURA DO *HIGHVOLT CONTROLLER*

O programa *HighVolt Controller* foi desenvolvido de acordo com a estrutura apresentada no Anexo 8.8. Dessa estrutura, os seguintes itens destacam-se:

4.2.1.1. JANELA PRINCIPAL – PASTAS – PARÂMETROS DE USO GERAL

Nessa pasta, é possível configurar alguns parâmetros de uso geral, essa pasta é destinada para futuras aplicações do sistema, onde for necessário o controle – através da atuação e leitura - de outros fatores envolvidos nos ensaios. As informações configuradas nos parâmetros de uso geral são previstas no protocolo de comunicação PC-FONTE e FONTE-PC desenvolvido.

A extração do valor configurado dos parâmetros de uso geral, no pacote de dados PC-FONTE, permite a atuação em circuitos externos que venham a ser desenvolvidos no futuro. E a adição dos valores medidos no pacote de dados FONTE-PC, faz com que esses valores sejam indicados e acompanhados através dos displays da pasta **Leituras**.

Para que essa função seja corretamente utilizada, é necessário que a implementação siga os critérios determinados no protocolo, onde cada informação tem a sua posição correta para a extração bem como para a inserção dos dados.

4.2.1.2. JANELA PRINCIPAL – PASTAS – PARÂMETROS DA FONTE

Nessa pasta, é possível configurar os parâmetros da Fonte de Alta Tensão.

Botão Controle Manual: Ao selecionar-se essa opção, o Bloco de Configuração de Controle Manual é ativado, dessa forma, pode-se através dos botões direcionais direita e esquerda, selecionar o dígito que se deseja alterar e através dos botões direcionais para

cima e para baixo, incrementar ou decrementar o dígito selecionado anteriormente. Nesse modo de funcionamento, a Fonte de Alta Tensão não fará nenhum tipo de controle (Controle de Tensão ou Controle de Corrente), com isso o valor medido de tensão poderá cair, caso o consumo de corrente aumente. Nesses casos, o usuário deverá interferir manualmente através da transmissão de um novo parâmetro ou interferindo através dos botões localizados no painel da Fonte. Nota: Os parâmetros são alterados livremente, desde que dentro da faixa de valores aceitável.

Botão Controle de Corrente: Ao selecionar-se essa opção, o Bloco de Controle de Corrente é ativado, dessa forma, pode-se através dos botões direcionais direita e esquerda, selecionar o dígito que se deseja alterar e através dos botões direcionais para cima e para baixo, incrementar ou decrementar o dígito selecionado anteriormente, além de possibilitar, selecionar através da caixa combo qual a escala de corrente desejada. Nesse modo de funcionamento, a Fonte de Alta Tensão manterá constantemente o valor mais próximo do valor configurado de Corrente no *software*. Nota: Os parâmetros são alterados livremente, desde que dentro da faixa de valores aceitável.

Botão Escala de Medição: Ao selecionar-se essa opção, se escolhe qual a escala do medidor de corrente da Fonte de Alta Tensão. Conforme é pressionado, o texto do botão é alterado e passa a ter o valor da escala selecionada, conforme a Tabela 4.2:

Botão Controle de Tensão: Ao selecionar-se essa opção, o Bloco de Controle de Tensão é ativado, dessa forma, pode-se através dos botões direcionais direita e esquerda, selecionar o dígito que se deseja alterar e através dos botões direcionais para cima e para baixo, incrementar ou decrementar o dígito selecionado anteriormente. Nesse modo de funcionamento, a Fonte de Alta Tensão manterá constantemente o valor mais próximo do valor configurado de Tensão no *software*. Nota: Os parâmetros são alterados livremente, desde que dentro da faixa de valores aceitável.

Modo	Descrição
Auto	A Fonte de Alta Tensão busca a Escala automaticamente de acordo com o valor medido...
Man (nA)	A Fonte de Alta Tensão, passa a acionar o circuito de leitura de corrente com o modo manual, na escala de nA. Essa escala, indica leituras na faixa de 0 à 500 nA.
Man (μ A -1)	A Fonte de Alta Tensão, passa a acionar o circuito de leitura de corrente com o modo manual, na escala de μ A. Essa escala, indica leituras na faixa de 0 à 5 μ A. Porém a sua utilização é indicada nos casos de leituras na faixa de 500 nA à 5 μ A
Man (μ A -2)	A Fonte de Alta Tensão, passa a acionar o circuito de leitura de corrente com o modo manual, na escala de μ A. Essa escala, indica leituras na faixa de 0 à 50 μ A. Porém a sua utilização é indicada nos casos de leituras na faixa de 5 μ A à 50 μ A
Man (μ A -3)	A Fonte de Alta Tensão, passa a acionar o circuito de leitura de corrente com o modo manual, na escala de μ A. Essa escala, indica leituras na faixa de 0 à 500 μ A. Porém a sua utilização é indicada nos casos de leituras na faixa de 50 μ A à 500 μ A
Man (mA)	A Fonte de Alta Tensão, passa a acionar o circuito de leitura de corrente com o modo manual, na escala de μ A. Essa escala, indica leituras na faixa de 0 à 5 mA. Porém a sua utilização é indicada nos casos de leituras na faixa de 500 μ A à 5 mA

Tabela 4.2 Escalas de Medição de Corrente

4.2.1.3. JANELA PRINCIPAL – PASTAS – DEBUG

Nessa ficha, é possível analisar a comunicação com a fonte, além de monitorar os banco de dados amostrados armazenados para exportação e o banco de dados amostrados e armazenados para a geração dos gráficos as palavras de comunicação são atualizadas “on-line” durante o funcionamento da Fonte de Alta Tensão, dessa forma, podem ser

monitorados durante os ensaios. Nota: Essa ficha só é ativada, caso o Menu Editar > Debugar estiver em “SIM”. A seguir são descritas as informações encontradas nessa pasta:

Palavra de Saída: O texto contido nessa caixa indica a palavra que será transmitida para a Fonte de Alta Tensão quando for solicitada a transferência de Parâmetros.

Palavra de Entrada: O texto contido nessa caixa indica a palavra que foi recebida pela fonte via comunicação serial e aceita, pois essa caixa só discrimina as palavras que já passaram pela checagem do *Checksum*.

BD .txt: O texto contido nessa caixa é o banco de dados que será exportado quando for solicitado a gravação dos dados do ensaio com um arquivo com uma extensão *.txt* (texto).

Indicador de Gravação: O texto indicado mostra se os parâmetros configurados já foram gravados ou se são um novo parâmetro, caso já tenham sido gravados, será indicado o caminho completo do local onde o arquivo de parâmetros foi gravado.

Recebido fonte: O texto contido nessa caixa indica a palavra que foi recebida pela fonte via comunicação serial, essa caixa discrimina as palavras mesmo sem a checagem do *Checksum*.

BD Gráfico: A tabela contida nessa caixa indica as amostras que estão sendo indicadas no gráfico quando forem visualizados.

Indicador de Amostra: O texto indicado mostra o controle de amostras efetuadas nos ensaios.

Botão Valores: Ao ser pressionado esse botão, o *software* envia uma solicitação via serial, para que a Fonte de Alta Tensão transmita os valores de leitura.

4.2.1.4. JANELA PRINCIPAL – PASTAS – AUTO-INCREMENTO

Nessa ficha, é possível configurar o SCEDEC para que execute automaticamente um procedimento de caracterização através do incremento da tensão da fonte sem a interação do usuário. Nele, o usuário apenas determina quais serão os parâmetros do ensaio e a partir desse momento, o sistema assume a troca dos parâmetros e recolhimento dos valores medidos. A seguir são descritas as informações encontradas nessa pasta:

Check Auto-incremento: Ao selecionar esse campo, o usuário estará habilitando a função auto-incremento.

Display Valor Atual: Nesse *display*, é indicado qual é o valor atual configurado do potenciômetro digital que o sistema está implementando naquele momento do ensaio.

Display Tensão da Fonte: Nesse *display*, é indicado “*on-line*” qual é o valor da tensão da fonte.

Display Corrente Consumida: Nesse *display*, é indicado “*on-line*” qual é o valor da corrente elétrica da fonte, que está sendo consumida.

“Text Box” Segundos: Nesse espaço, o usuário insere o valor, em segundos, que o incremento do valor da tensão da fonte deverá ser feito pelo sistema.

“Text Box” Valor inicial: Nesse espaço, o usuário insere o valor inicial, de acordo com a faixa de valores do potenciômetro digital (0 – 255), que o ensaio deverá ser iniciado.

“Text Box” Valor final: Nesse espaço, o usuário insere o valor final, de acordo com a faixa de valores do potenciômetro digital (0 – 255), que o incremento de tensão deverá parar.

4.2.1.5. JANELA GRÁFICOS

Ao se pressionar o **botão Gráficos** na pasta **Leitura** na Janela Principal, será aberta uma Janela que mostrará os gráficos durante os ensaios. O *software* possui cinco tipos gráficos que são atualizados “*on-line*” durante os ensaios, não eles:

- Gráfico I-t;
- Gráfico V-t;
- Gráfico V-I;
- Gráfico Duplo (I-t e V-t simultaneamente), e;
- Gráfico de Fowler-Nordheim.

Gráfico I-t - Indica o comportamento da corrente em função do tempo;

Gráfico V-t - Indica o comportamento da tensão em função do tempo;

Gráfico V-I - Indica o comportamento da tensão em função da corrente;

Gráfico F-N - Indica o gráfico de Fowler-Nordheim: $\ln\left(\frac{I}{V^2}\right)$ em função de $\frac{1}{V}$.

Gráfico Duplo - Indica o comportamento da tensão em função do tempo e o comportamento da corrente em função do tempo simultaneamente.

4.2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

As especificações da Fonte de Alta Tensão desenvolvida são apresentadas na Tabela 4.3 a seguir:

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
ESTABILIDADE	
DISPLAY	TENSÃO: 4 CASAS ANTES DA VÍRGULA 2 CASAS DEPOIS DA VÍRGULA CORRENTE NA ESCALA DE 500nA: 3 CASA ANTES DA VÍRGULA 2 CASAS DEPOIS DA VÍRGULA CORRENTE NA ESCALA DE 5μA: 1 CASA ANTES DA VÍRGULA 4 CASAS DEPOIS DA VÍRGULA CORRENTE NA ESCALA DE 50μA: 2 CASA ANTES DA VÍRGULA 3 CASAS DEPOIS DA VÍRGULA CORRENTE NA ESCALA DE 500μA: 3 CASA ANTES DA VÍRGULA 2 CASAS DEPOIS DA VÍRGULA CORRENTE NA ESCALA DE 5mA: 1 CASA ANTES DA VÍRGULA 4 CASAS DEPOIS DA VÍRGULA
AJUSTE	FAIXA DE AJUSTE (FINO / GROSSO)
CIRCUITO DE PROTEÇÃO DE SOBRECARGA	SIM
MODOS DE OPERAÇÃO	TENSÃO CONTÍNUA, CONTROLE DE CORRENTE, CONTROLE MANUAL
PROTEÇÃO DE INVERSÃO DE POLARIDADE	NÃO
ALIMENTAÇÃO	110/220V AC $\pm 10\%$, 50/60Hz SELECIONÁVEL
CONSUMO MÁXIMO	1 A
USO	INTERNO
DIMENSÕES	12,5mm (A) x 28mm (L) x 24,5 (P)
PESO	5kg
OPERAÇÃO TENSÃO CONSTANTE	
TENSÃO DE SAÍDA	1 ~ 4kV
RIPPLE & RUÍDO	~ 5% DA TENSÃO DE SAÍDA
OPERAÇÃO CORRENTE CONSTANTE	
CORRENTE DE SAÍDA	0 ~ 1mA
TOLERÂNCIA CORRENTE	CORRENTE NA ESCALA DE 500nA: $\pm 9,873\%$ CORRENTE NA ESCALA DE 5μA: $\pm 2,69\%$ CORRENTE NA ESCALA DE 50μA: $\pm 0,98\%$ CORRENTE NA ESCALA DE 500μA: $\pm 0,88\%$ CORRENTE NA ESCALA DE 5mA: $\pm 1,56\%$
ACESSÓRIOS NECESSÁRIOS	
CABO SERIAL	1
CABO AC	1
CABO DE CONEXÃO	2 (PINO BANANA – GARRA JACARÉ)

Tabela 4.3 Características Técnicas

4.2.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO FONTE - PC

Na comunicação entre a Fonte e o PC, foram seguidos os mesmos critérios da Comunicação PC-FONTE que foi detalhada no item 4.1.3 dessa dissertação, uma vez que como a Fonte se comunica com o PC, a Fonte deve interpretar os pacotes de dados enviados pelo PC. A diferença está no fato de que a Fonte responde para o PC sempre que ela recebe um pacote de dados. Essa resposta discrimina se a informação foi recebida com sucesso ou se houve erro na recepção dos dados, e no caso de receber uma solicitação dos valores que estão

sendo medido nos ensaios, a Fonte responde com o pacote de dados contendo os valores medidos. Com isso, os pacotes transmitidos foram padronizados de duas formas:

- ✓ Pacote de instrução de resposta;
- ✓ Pacote de dados.

No pacote de instrução de resposta, a informação é composta de cinco caracteres que são transmitidos de acordo com o padrão ASCII. O pacote de instrução de resposta a ser transmitido é construído com o seguinte critério:

Os pacotes de instrução de resposta são apresentados a seguir:

IO152 - Instrução de recepção OK. Essa instrução é transmitida para o PC sempre que houver uma confirmação na checagem do *Checksum* após a recepção de um pacote de dados.

IE142 - Instrução de erro. Essa instrução é transmitida para o PC sempre que **NÃO** houver uma confirmação na checagem do *Checksum* após a recepção de um pacote de dados.

No pacote de dados, a informação é composta de 51 caracteres que são transmitidos de acordo com o padrão ASCII. O pacote de dados a ser transmitido é construído seguindo o seguinte critério:

O protocolo de comunicação foi elaborado também visando a possibilidade de futuramente ser utilizado no controle de outros fatores envolvidos nos ensaios. No protocolo FONTE-PC, os valores devem ser inseridos nos locais reservados para cada parâmetro, dessa forma, tais valores serão indicados nos displays da pasta Leituras do programa *HighVolt Controller*.

4.3. PUBLICAÇÕES

Devido ao fato de se verificar uma satisfatória concordância com o aspecto esperado para o comportamento $V \times I$ e $F-N$ mostrando que o sistema de caracterização desenvolvido apresenta boa funcionalidade para estudo de FED, foi possível a apresentação de diversos trabalhos do grupo GSIM, são eles:

- 1) “*HI-PS Technology Applied on Si Tips Fabrication for Field Emission Devices*” no evento Ibersensor-2006 (DANTAS,2006).
- 2) “*Silicon Microtips Array Fabricated by HI-PS Technique for Application in Field Emission Devices*” no evento SBMicro-2007 (DANTAS,2007).
- 3) “*Field Emission Devices Electrical Characteristics Trial System*” no evento SForum-2007 (KOPELVSKI,2006).
- 4) “*Silicon Field Emission Devices fabricated by HI-PS Technique*” no evento SBMat-2007 (DANTAS,2007B).

4.4. CALIBRAÇÃO

A calibração do SCEDEC foi elaborada seguindo o seguinte critério: A partir de resistências com valores conhecidos, foi possível saber a corrente esperada para um determinado valor de resistência de carga, com relação a diferença de potencial aplicada sobre essa resistência. A partir desse momento, foi interligado ao sistema dois equipamentos de medição, são eles:

- 1) Fluke 800A *Digital Multimeter*. Esse instrumento foi ligado ao circuito de calibração para indicar os valores de tensão;
- 2) HP 34401 – *Multimeter*. Esse instrumento foi ligado ao circuito de calibração para indicar os valores de corrente.

O esquema de ligação do SCEDEC à resistência de calibração, bem como os instrumentos de medição, são indicados na Figura. 4.11:

Fig. 4.10: Esquema de ligação do circuito de Calibração

A partir desse momento, o procedimento de calibração foi executado, uma escala de cada vez, sempre tendo como referência a indicação dos medidores

4.4.1 RESISTORES DE CALIBRAÇÃO

Para o processo de validação do SCEDEC, foram utilizadas cinco resistências de calibração. Para que essas resistências fossem classificadas como resistências de calibração, foi executado um processo de medição com um “*Precision Semiconductor Parameter Analyzer*” Modelo HP4156A, com o objetivo de obter com a máxima precisão possível, qual o valor exato que cada resistência apresenta.

4.4.1.1. RESISTOR DE 1GΩ

Para a calibração da escala de 500nA, utilizou-se como resistência de calibração, uma ponta de medição de um multímetro para alta tensão, essa ponta tem como principal característica, um alto valor de resistência equivalente aproximadamente 1GΩ. O esquema apresentado na Figura 4.12, mostra como é a ligação interna da monta de medição. Os pontos que foram utilizados na calibração foram os pontos B e C.

Fig. 4.11: Esquema de ligação da Resistência de 1GΩ

Durante o processo de medição do valor indicado pelo equipamento HP4156A, foi de:

PONTOS	VALORES
B e C	990 M Ω

4.4.1.2. RESISTOR DE 200M Ω

Para a calibração da escala de 5 μ A, utilizou-se como resistência de calibração, uma rede de resistências em série. A rede é formada por 10 resistências cujo valor indicado no corpo, através de código de cores é igual a 20M Ω , com isso desejava-se obter um valor de resistência equivalente de 200M Ω . O esquema apresentado na Figura 4.14, mostra como é a ligação para a formação da rede resistiva:

Fig. 4.12: Esquema de ligação da Resistência de 200M Ω

Durante o processo de medição do valor indicado pelo equipamento HP4156A, foi de:

PONTOS	VALORES
AB	20,535M Ω
AC	41,26M Ω
AD	60,9384M Ω
AE	83,225M Ω
AF	105,196M Ω
AG	127,5M Ω
AH	147,24M Ω
AI	169,5M Ω
AJ	189,7M Ω
AK	211M Ω

PONTOS	VALORES
AB	20,535M Ω
BC	20,725M Ω
CD	19,6784M Ω
DE	22,2866M Ω
EF	21,971M Ω
FG	22,304M Ω
GH	19,74M Ω
HI	22,26M Ω
IJ	20,2M Ω
JK	21,3M Ω

4.4.1.3. RESISTOR DE 20M Ω

Para a calibração da escala de 50 μ A, utilizou-se como resistência de calibração, uma resistência de valor comercial cujo valor indicado no corpo, através de código de cores é igual a 20M Ω .

Fig. 4.13: Pontos de medição da Resistência de 20M Ω

Durante o processo de medição do valor indicado pelo equipamento HP4156A, foi de:

PONTOS	VALORES
A e B	20,529M Ω

4.4.1.4. RESISTOR DE 2M Ω

Para a calibração da escala de 500 μ A, utilizou-se como resistência de calibração, uma resistência de valor comercial cujo valor indicado no corpo, através de código de cores é igual a 2M Ω .

Fig. 4.14: Pontos de medição da Resistência de $2\text{M}\Omega$

Durante o processo de medição do valor indicado pelo equipamento HP4156A, foi de:

PONTOS	VALORES
A e B	$2,023\text{M}\Omega$

4.4.1.5. RESISTOR DE $200\text{k}\Omega$

Para a calibração da escala de 5mA , utilizo-se como resistência de calibração, uma resistência de valor comercial cujo valor indicado no corpo, através de código de cores é igual a $200\text{k}\Omega$.

Fig. 4.15: Pontos de medição da Resistência de $200\text{k}\Omega$

Durante o processo de medição do valor indicado pelo equipamento HP4156A, foi de:

PONTOS	VALORES
A e B	$208,045\text{k}\Omega$

4.4.2 GRÁFICOS DE CALIBRAÇÃO

Foram realizados ensaios para avaliação do desempenho do SCEDEC desenvolvido, utilizando-se algumas amostras com micropontas fabricadas pela técnica HI-PS descrita anteriormente, num sistema de alto vácuo (em torno de 2×10^{-6} Torr).

Com a fonte operando no modo "Controle Manual" foram tomadas medidas de Tensão x tempo (Figura 4.25a), Corrente x tempo (Figura 4.25b). Nesses testes procurou-se avaliar a estabilidade da medição. Também foram levantadas curvas $V \times I$ (Figura 4.23) e Fowler-Nordheim (Figura 4.24) para diferentes distâncias entre catodo (micropontas) e anodo.

Através das figuras pode-se observar uma flutuação na Tensão de Saída da Fonte da ordem de 5% e uma flutuação de aproximadamente $0,1\mu\text{A}$.

4.4.2.1. GRÁFICO V-I EM ESCALA DE CORRENTE DE 500nA .

Fig. 4.16: Gráfico de Corrente x Tensão (500nA - resistor de $2\text{G}\Omega$)

4.4.2.2. GRÁFICO V-I EM ESCALA DE CORRENTE DE $5\mu\text{A}$.

Fig. 4.17: Gráfico de Corrente x Tensão ($5\mu\text{A}$ - resistor de $200\text{M}\Omega$)

4.4.2.3. GRÁFICO V-I EM ESCALA DE CORRENTE DE 50 μ A.

Fig. 4.18: Gráfico de Corrente x Tensão (50 μ A - resistor de 20M Ω)

4.4.2.4. GRÁFICO V-I EM ESCALA DE CORRENTE DE 500 μ A.

Fig. 4.19: Gráfico de Corrente x Tensão (500 μ A - resistor de 2M Ω)

4.4.2.5. GRÁFICO V-I EM ESCALA DE CORRENTE DE 5mA.

Fig. 4.20: Gráfico de Corrente x Tensão (5mA - resistor de 200k Ω)

Como esperado, os gráficos V-I nos ensaios com resistores mostram uma rampa linear, Com escalas mais baixas, Figura 4.17, a dispersão dos pontos é visualmente mais evidente. Isso porque nas escala onde são indicados os valores de corrente elétrica de menor valor (500nA) a dispersão é da ordem de $\pm 9,87\%$, enquanto na escala onde se indica os valores de maior corrente elétrica (500 μ A), por exemplo, os valores de dispersão das medições não passam de $\pm 0,93\%$.

4.4.3 GRÁFICOS OBTIDOS EM ENSAIOS COM DISPOSITIVOS FE

Os gráficos apresentados na Figura 4.21 e 4.22, apresentam a curva V x I e o gráfico de Fowler-Nordheim para quatro distâncias distintas para a mesma amostra ensaiada, respectivamente. Os gráficos foram extraídos do sistema a partir de um ensaio real. Nesse ensaio, a distância entre as micropontas e o anodo foi modificada para avaliar o desempenho da emissão de campo. Nesses gráficos é possível observar a instabilidade da corrente de emissão dos dispositivos FE. Para resolver esse problema de instabilidade, os pesquisadores trabalham desenvolvendo novos materiais, novos métodos de fabricação ou tratamento na superfície das micropontas.

Fig. 4.21: Gráfico de Corrente x Tensão (V-I)

Fig. 4.22: Gráfico de Fowler-Nordheim (F-N).

As Figuras 4.23 mostram dois exemplos de gráficos plotados “on-line” e com os dados posteriormente exportados. Eles foram extraídos de um dispositivo FE de silício não integrado, obtido com a técnica de HI-PS (DANTAS,2006). O primeiro, Figura 4.23a, mostra o curso da tensão de saída da fonte ao longo do tempo. O segundo, Figura 4.23b, mostra o curso da corrente ao longo do tempo.

(a)

Fig. 4.23: Exemplo de um ensaio real
(a) Tensão e (b) Corrente versus tempo.

4.5. COMPARAÇÃO DE INSTRUMENTOS VERSUS SCEDEC COM CARGA RESISTIVA

A seguir são apresentados gráficos comparativos do desempenho das medições apresentadas no SCEDEC em comparação às medições indicadas nos instrumentos de calibração (HP34401A e Fluke8000A).

Nos gráficos é denominado de Fonte, a linha com as medições obtidas através do SCEDEC e é denominado de Instrumento, a linha com as medições obtidas com os instrumentos de calibração.

4.5.1 ESCALA DE 500nA

Fig. 4.24: Gráfico comparativo de Medições (escala de 500nA).

4.5.2 ESCALA DE 5μA

Fig. 4.25: Gráfico comparativo de Medições (escala de 5μA).

4.5.3 ESCALA DE 50 μ A

Fig. 4.26: Gráfico comparativo de Medições (escala de 50 μ A).

4.5.4 ESCALA DE 500 μ A

Fig. 4.27: Gráfico comparativo de Medições (escala de 500 μ A).

4.5.5 ESCALA DE 5mA

Fig. 4.28: Gráfico comparativo de Medições (escala de 5mA).

4.6. COMPARAÇÃO DE INSTRUMENTOS VERSUS SCEDEC COM FED'S NA CÂMARA DE ALTO VÁCUO

A seguir são apresentados gráficos comparativos do desempenho das medições apresentadas no SCEDEC em comparação às medições indicadas no instrumento fabricado pela empresa Keithley (Modelo 248 *High Voltage Supply*).

Esses ensaios foram feitos na câmara de ensaio de alto vácuo, utilizando-se uma amostra de FED de micropontas de silício identificada como amostra X58A (Fig 4.31) a uma distância de 50µm entre anodo e as micropontas, um degrau de incremento de tensão de 50V, numa faixa de 1000 à 3000V e com pontos de amostragem a cada 10 segundos. Cada ensaio foi repetido três vezes com cada instrumento para que fosse possível verificar uma repetibilidade do comportamento do arranjo de ensaio.

Fig. 4.29: Amostra X58A.

4.6.1 ENSAIO COM O VOLTÍMETRO E AMPERÍMETRO KEITHLEY

Fig. 4.30: Gráfico dos ensaios com o equipamento Keithley.

4.6.2 ENSAIOS COM O SCEDEC

Fig. 4.31: Gráfico dos ensaios com o SCEDEC.

4.6.3 COMPARATIVO DAS MEDIÇÕES KEITHLEY VERSUS SCEDEC

Fig. 4.32: Gráfico comparativo de Medições Keithley versus SCEDEC

Como é possível observar no gráfico acima, a curva obtida com os dois instrumentos de ensaio apresentam um comportamento exponencial e estão bem próximas, como esperado. Uma pequena diferença é observada no comportamento da curva, isso se deve ao fato de que o funcionamento dos dispositivos FED's não é muito estável (XU,2000).

4.7. CURVA DE CARGA DO SCEDEC

A seguir é apresentada a curva de carga do SCEDEC.

Fig. 4.33: Curva de carga do SCEDEC.

4.8. CURVA DE REGULAÇÃO DO SCEDEC

A seguir é apresentada a curva de regulação do SCEDEC operando em modo de Controle Manual.

Fig. 4.34: Curva de regulação do SCEDEC.

5. CONCLUSÕES

Concluimos que o SCEDEC se mostrou um Sistema que atende as expectativas concebidas durante a concepção do trabalho. Isso devido ao fato de se tratar de um Sistema desenvolvido especificamente e dedicado para essa aplicação e tendo os objetivos alcançados, principalmente por:

1) Se tratar de um sistema personalizado, com controle de Tensão Constante, Corrente Constante e Controle Manual;

2) Por disponibilizar a possibilidade de acompanhamento “on-line” dos ensaios através de cinco gráficos, Corrente x Tempo, Tensão x Tempo, Tensão x Corrente, Gráfico de Fowler-Nordheim e o Gráfico Duplo, onde simultaneamente são acompanhados os comportamentos da Tensão e da Corrente em função do Tempo;

3) Mostrar-se compatível com outros programas de análise, por possibilitar a exportação dos dados recolhidos durante os ensaios, com arquivo em extensão “.txt” e marcado com tabulações e caracteres seguindo o padrão ASCII;

4) Possibilitar a interação do usuário com os ensaios “on-line”, isso porque os parâmetros dos ensaios podem ser alterados, mesmo no decorrer do ensaio;

5) Mostrar eficaz no que diz respeito à aplicação do conceito de “Instrumentação Virtual”, pois além de todas as características já mencionadas anteriormente, o Sistema faz com que, através do programa *HighVolt Controller*, o usuário tenha todo o controle de acionamento da Fonte de Alta Tensão sem entrar em contato com a fonte. Inclusive, se quando se trata do acionamento e desacionamento da saída de Alta Tensão nos Bornes da Fonte;

6) O SCEDEC se mostrou também completamente autônomo em sua operação possibilitando que o usuário execute ensaios mesmo sem estar conectado com o computador, isso porque a Fonte de Alta Tensão possibilita a interação com os parâmetros do ensaio e acionamento da Alta Tensão nos bornes da Fonte remotamente, através das teclas localizadas no painel frontal.

7) Apresentar um bom comportamento no que diz respeito aos valores indicados pelo equipamento, pois como pôde ser observado nesta dissertação, em comparação com equipamentos comerciais de elevada precisão, o sistema apresentou valores precisos e completamente compatível com as necessidades dos ensaios, porém com a vantagem de ter sido desenvolvido de forma

dedicada para aplicações acadêmicas e de forma personalizada, prevendo projeções futuras em sua utilização e com manuseio extremamente simples e intuitivo;

Como conclusão adicional, esse trabalho apresentou grande inovação e criatividade, pois com componentes relativamente simples e comerciais, além de aplicarmos conceitos básicos, podemos desenvolver uma solução que vem atendendo todas as expectativas e principalmente com um baixo custo.

6. PROJEÇÕES FUTURAS

Como projeção futura, foi disponibilizada a possibilidade de implementação de atuação e controle de seis variáveis de uso geral, isso devido ao fato de que no pacote de transmissão, essas variáveis que foram configurados no programa *HighVolt Controller*, já estão incluídas. Outro fato que possibilita essa implementação é que no pacote de recebimento estão reservados as posições referentes aos valores medidos das variáveis de uso geral, com isso será possível o acompanhamento “on-line” do valor real medido.

Outra projeção está na possibilidade da implementação futura de um display gráfico na Fonte de Alta Tensão. Isso fará com que a autonomia aumente ainda mais, nos casos onde os ensaios estiverem sendo feitos sem a comunicação com o PC. Nele poderão ser implementados os gráficos on-line idênticos aos apresentados na tela do computador.

A implementação do armazenamento dos dados do ensaio na própria Fonte de Alta Tensão para futuramente ser descarregado num PC, aumentaria a sua portabilidade, além da implementação de uma comunicação USB no lugar da RS-232, poderia aumentar a velocidade com que os dados podem ser recolhidos e aumentar a velocidade com que os dados podem ser transmitidos, isso porque a capacidade de transmissão desse tipo de porta de comunicação em comparação com a RS-232 é muito maior. Essa implementação relaciona-se também à reestruturação da isolação ótica dos dados transmitidos, pois os fotoacopladores devem acompanhar essa velocidade maior de comutação.

7. BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE IÑIGO J. OLEAGORDIA, RAFAEL URRETABIZKAYA GARBUS, RICARDO CHAPARRO SÁNCHEZ; “*Signal Generation based on Low Cost Virtual Instrumentation*”, *Proceedings of the Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA'06)* IEEE, (2006);
- BADI, N.; HE, K.; NAIR, A.; BENSAOULA, A.; “*Design and fabrication of field emission-based pressure microsensors*”. *17th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC)*, p. 24 – 25 (2004);
- BALE, M.; PALMER, R.E.; “*Microfabrication of silicon tip structures for multiple-probe scanning tunneling microscopy*”. *Journal of Vacuum Science Technology B*, v. 20, n.1, p. 364-369 (2002);
- BECK, THOMAS; “*Current trends in the design of automotive electronic systems Design*”, *Automation and Test Conference*, (2001);
- D.S.BENITEZ, A.ZAIDI, A.FITCHET, P.A.GAYDECKI AND A.P.FITZPATRICK; “*Virtual instrumentation for clinical assessment of cardiovascular and autonomic function*”. *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, Vol. 147, No. 6, November - *MEDICAL SIGNAL PROCESSING*, p. 397-402 (2000);
- BORGES ADRIANA PAULA, “*Instrumentação Virtual Aplicada a Um Laboratório com Acesso pela Internet*”, Trabalho de Mestrado, (2002);
- BURGESS, R.E.; KROEMER, H.; HOUSTON, J.M.; “*Corrected values of Fowler - Nordheim field emission functions $v(y)$ and $s(y)$* ”. *Physical Review*, v. 90, n. 4, p. 515 (1953);
- CHUNG, C.H.; SONG, Y.H.; HWANG, C.S.; AHN, S.D.; KIM, B.C.; CHO, Y.R.; LEE, J.H.; CHO, K.I.; “*Effects of surface treatment of field emitter arrays on electrical characteristics of active matrix cathode*”. *Thin Solid Films*, n. 460, p. 201-205 (2004);
- CRISTALDI, LOREDANA; FERRERO, ALESSANDRO; PIURI, VINCENZO; “*Programable Instruments, Virtual Instruments, and Distributed Measurement Systems: What is really useful, innovative and Technically Sound?*” *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, September, (1999);

* De acordo com

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação de documentação: referência: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

- DANTAS, M.O.S.; GALEAZZO, E.; PERES, H.E.M.; FERNANDEZ, F.J.R.; “*HI-PS Technology Applied on Si Tips Fabrication for Field Emission Devices*”, Ibersensor-2006, (2006);
- DANTAS, M.O.S.; "Desenvolvimento de Matrizes de Emissores de Elétrons por Efeito de Campo pela Técnica HI-PS". Tese de Doutorado – em andamento (2006);
- DEBSKI, T.; BARTH, W.; RANGELOW, I.W.; BIEHL, S.; GRABIEC, P.; BEKH, I.I.; LUSHKIN, A.E.; IL'CHENKO, L.G.; IL'CHENKO, V.V.; KOSTIC, I.; HUDEK, P.; MITURA, S.; "Gated field emitter arrays". *Microelectronic Engineering*, n. 57-58, p. 813-818 (2001);
- DOLAN, W.W.; "Current density tables for field emission theory". *Physical Review*, v. 91, n. 3, p. 510-511 (1953);
- HALIT EREN AND TITUS RASAN; “A Virtual Instrumentation for Monitoring Induction Machines”, 0-7803-4879-6/98 IEEE, p. 141-146, (1998);
- FUNG, Y.M.; CHEUNG, W.Y.; WILSON, I.H.; CHEN, D.; XU, J.B.; WONG, S.P.; KWOK, R.W.M.; “Electron field emission characteristics of textured silicon surface”. *Journal of Vacuum Science Technology B*, v. 19, n.3, p. 884-887 (2001);
- FURSEY, G.N.; "Field emission in vacuum micro-electronics". *Applied Surface Science*, n. 215, p. 113-134 (2003);
- FURSEY, G.N.; "Field emission in vacuum microelectronics". Ed. Kluwer Academic / Plenum Publisher, New York, USA (2005);
- GALEAZZO, E.; SALCEDO, W.J.; PERES, H.E.M.; FERNANDEZ, F.J.R.; "Porous silicon patterned by hydrogen ion implantation". *Sensors and Actuators B*, p. 343-346 (2001);
- GEORGE BOHY, V.JAYASHANKAR, V. JAGADEESH KUMAR; “Virtual Instrument Based Instrumentation for Harmonic Current Emission Measurement”, *Proceedings of INCEMIC*, p. 399-402 (2003);
- GETREU, IAN; “Modeling the Bipolar Transistor” Tektronix, Inc. (1978);
- GHODSIAN, B.; PARAMESWARAN, M.; SYRZYCKI, M.; "Gas detector with low-cost micromachined field ionization tips". *IEEE Electron Device Letters*, v. 19, n. 7, p. 241-243 (1998);
- GOLDBERG, HAROLD; “What is Virtual Instrumentation” *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, December, (2000);

- GÖLZHÄUSER, A.; "Nanolithography and electron holography with ultrasharp field emitters". *Applied Surface Science*, n. 141, p. 264-273 (1999);
- GRISS, P.; ENOKSSON, P.; LAAKSO, H.K.T.; MERILÄINEN, P.; OLLMAR, S.; STEMME, G.; "Micromachined electrodes for biopotential measurements". *Journal of Microelectromechanical Systems*, v. 10, n. 1, p. 10-16 (2001);
- HEUSCHKEL, M. O.; FEJTL, M.; RAGGENBASS, M.; BERTRAND, D.; RENAUD, P.; "A three-dimensional multi-electrode array for multi-site stimulation and recording in acute brain slices". *Journal of Neuroscience Methods*, p. 135-148 (2002);
- HIRAYAMA, S.; WATANABE, F.; TAKAHASHI, T.; MOTOOKA, T.; "Field emission current from Si tip: ultra-fast time resolved measurements". *Surface Science*, n.515, p. 369-376 (2002);
- HUQ, S.E.; PREWETT, P.D.; SHE, J.C.; DENG, S.Z.; XU, N.S.; "Field emission from amorphous diamond coated silicon tips". *Materials Science and Engineering B*, n. 74, p. 184–187 (2000);
- JÄNCHEN, G.; HOFFMANN, P.; KRIELE, A.; LORENZ, H.; KULIK, A.J.; DIETLER, G.; "Mechanical properties of high-aspect-ratio atomic-force microscope tips". *Applied Physics Letters*, v. 80, n. 24, p. 4623-4625 (2002);
- JENKINS, D.W.; "Emission area of a field emitter array". *IEEE Transactions On Electron Devices*, v. 40, n. 3, p. 666-672 (1993);
- JENSEN, K.L.; LAU, Y.Y.; MCGREGOR, D.; "Photon assisted field emission from a silicon emitter". *Solid-State Electronics*, n. 45, p. 831-840 (2001);
- JENSEN, K. L.; "Theory and simulation of field emission from microstructures". *Naval Research Laboratory: Cathode Workshop, Washington DC*, CD-ROM (2001);
- KLEPS, I.; ANGELESCU, A.; SAMFIRESCU, N.; GIL, A.; CORREIA, A.; "Study of porous silicon, silicon carbide and DLC coated field emitters for pressure sensor application". *Solid-State Electronics*, n. 45, p. 997-1001 (2001);
- LEE, Y.H.; LEE, S.J.; JU, B.K.; OH, M.H.; "Light-emitting devices using micromachined Si-tip mirror arrays". *Sensors and Actuators*, n. 80 p. 138-142 (2000);
- LI, X.; YANG, C.; BAI, G.; ZHANG, F.; LIAO, F.; FENG, J.; DING, M.; DU, Y.; "Investigation of FEAs applied in vacuum electron gun". *Applied Surface Science*, n. 215, p. 249–252 (2003);

- LI WEIBO, CHENGXIONG MAO, AND JIMING LU; “*Study of the Virtual Instrumentation Applied to Measure Pulsed Heavy Currents*”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 54, No. 1, February, p. 284-288, (2005);
- MADOU, M.; “*Fundamentals of microfabrication*”. Editora CRC, p. 145-208 (1997);
- MAMMANA, V.P.; “Novos processos e configurações para mostradores planos de informação”. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo (2000);
- MARINO, P.; NOGUEIRA, J.; HERNANDEZ, H.; “*Laboratory of virtual instrumentation for industrial electronics*”; *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology*, Volume: 2, (2000);
- MITA, M.; KAWARA, H.; TOSHIYOSHI, H.; ENDO, J.; FUJITA, H.; “*Bulk Micromachined Tunneling Tips Integrated With Positioning Actuators*”. *Journal of Microelectromechanical Systems*, v. 14, n. 1, p. 23-28 (2005);
- RESNIK, D.; VRTACNIK, D.; ALJANCIC, U.; MOZEK, M.; AMON, S.; “*Different aspect ratio pyramidal tips obtained by wet etching of (100) and (111) silicon*”. *Microelectronics Journal*, v. 34, p. 591–593 (2003);
- SALANC, E.; HAMMADI, Z.; MORIN, R.; “*A new approach to gas field ion sources*”. *Ultramicroscopy*, n. 95, p. 183–188 (2003);
- SILVA, S.R.P.; CAREY, J.D.; CHEN, G.Y.; COX, D.C.; FORREST, R.D.; POA, C.H.P.; SMITH, R.C.; TANG, Y.F.; SHANNON, J.M.; “*Nanoengineering of materials for field emission display technologies*”. *IEE Proc.-Circuits Devices Syst.*, v. 151, n. 5, p. 489-496 (2004);
- PAVOL SPANIK, LIBOR HARGAS, MIROSLAV HRIANKA, IVAN KOZEHUBA; “*Application of Virtual Instrumentation LabVIEW for Power Electronic System Analysis*”, 1-4244-0121-6/06 IEEE, p. 1699-1702 , (2006);
- SPOELDER, HANS J. W; “*Virtual Instrumentation and Virtual Environments*”; *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, September, (1999);
- SUN, C.; “*Microengineered sensor devices with field emission electron sources*”. Dissertação apresentada ao New Jersey Institute of Technology, p. 1-124 (1998);
- TALIN, A.A.; DEAN, K.A.; JASKIE, J.E.; “*Field emission displays: a critical review*”. *Solid-State Electronics*, n. 45, p. 963-976 (2001);
- TANER, A. H.; BRIGNELL, J. E.; “*Virtual Instrumentation and Intelligent Sensors*”, *Sensors and Actuators A*, Vol. 61, p. 427-430, (1997);

- THIEBAUD, P.; BEURET, C.; ROOIJ, N.F.; KOUDELKA-HEP, M.; "Microfabrication of Pt-tip microelectrodes". *Sensors and Actuators B*, p. 51-56 (2000);
- CHANGTING WANG, AND ROBERT X. GAO; "A Virtual Instrumentation System for Integrated Bearing Condition Monitoring", *IEEE Transactions on Instrumentation and measurement*, Vol. 49, No. 2, APRIL, p. 325-332 (2000);
- WISITSORAT, A.; "Micropatterned diamond vacuum field emission devices". Dissertação apresentada à *Vanderbilt University*, Nashville Tennessee (2002);
- XU, N.S.; HUQ, S.E.; "Novel cold cathode materials and applications". *Materials Science and Engineering*, n. 48, p. 47-189, (2005);
- ZHU, W.; "Vacuum micro-electronics". Ed. Wiley Inter-Science, *New York, USA*, (2001);
- ZUUK, A.; HEERKENS, C.T.H.; VEEN, A.H.V.; TEEPEN, T.F.; WIELAND, M.J.; GROENING, O.; KRUIT, P.; "Fabrication and characterization of silicon carbide field-emitter array". *Microelectronic Engineering*, n. 73-74, p. 106-110 (2004);

8. ANEXOS

8.1. PIC18F452

PIC18FXX2

28/40-pin High Performance, Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D

High Performance RISC CPU:

- C compiler optimized architecture/instruction set
 - Source code compatible with the PIC16 and PIC17 instruction sets
- Linear program memory addressing to 32 Kbytes
- Linear data memory addressing to 1.5 Kbytes

Device	On-Chip Program Memory		On-Chip RAM (bytes)	Data EEPROM (bytes)
	FLASH (bytes)	# Single Word Instructions		
PIC18F242	16K	8192	768	256
PIC18F252	32K	16384	1536	256
PIC18F442	16K	8192	768	256
PIC18F452	32K	16384	1536	256

- Up to 10 MIPS operation:
 - DC - 40 MHz osc./clock input
 - 4 MHz - 10 MHz osc./clock input with PLL active
- 16-bit wide instructions, 8-bit wide data path
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier

Peripheral Features:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupt pins
- Timer0 module: 8-bit/16-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1 module: 16-bit timer/counter
- Timer2 module: 8-bit timer/counter with 8-bit period register (time-base for PWM)
- Timer3 module: 16-bit timer/counter
- Secondary oscillator clock option - Timer1/Timer3
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules. CCP pins that can be configured as:
 - Capture input: capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1- to 10-bit, max. PWM freq. @: 8-bit resolution = 156 kHz, 10-bit resolution = 39 kHz
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module, Two modes of operation:
 - 3-wire SPI™ (supports all 4 SPI modes)
 - I²C™ Master and Slave mode

Peripheral Features (Continued):

- Addressable USART module:
 - Supports RS-485 and RS-232
- Parallel Slave Port (PSP) module

Analog Features:

- Compatible 10-bit Analog-to-Digital Converter module (A/D) with:
 - Fast sampling rate
 - Conversion available during SLEEP
 - Linearity ≤ 1 LSB
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
 - Supports interrupt on-Low Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory
- FLASH/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options including:
 - 4X Phase Lock Loop (of primary oscillator)
 - Secondary Oscillator (32 kHz) clock input
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption:
 - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 25 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 0.2 μ A typical standby current

8.2. LF353

www.fairchildsemi.com

LF353

Dual Operational Amplifier (JFET)

Features

- Internally trimmed offset voltage: 10mV
- Low input bias current: 50pA
- Wide gain bandwidth: 4MHz
- High slew rate: 13V/ μ s
- High Input impedance: $10^{12}\Omega$

Description

The LF353 is a JFET input operational amplifier with an internally compensated input offset voltage. The JFET input device provides wide bandwidth, low input bias currents and offset currents.

Internal Block Diagram

Rev. 1.0.0

8.3. MCP41050IP

MCP41XXX/42XXX

Single/Dual Digital Potentiometer with SPI™ Interface

Features

- 256 taps for each potentiometer
- Potentiometer values for 10 kΩ, 50 kΩ and 100 kΩ
- Single and dual versions
- SPI™ serial interface (mode 0,0 and 1,1)
- ± 1 LSB max INL & DNL
- Low power CMOS technology
- 1 μ A maximum supply current in static operation
- Multiple devices can be daisy-chained together (MCP42XXX only)
- Shutdown feature open circuits of all resistors for maximum power savings
- Hardware shutdown pin available on MCP42XXX only
- Single supply operation (2.7V - 5.5V)
- Industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Extended temperature range: -40°C to +125°C

Block Diagram

Description

The MCP41XXX and MCP42XXX devices are 256-position, digital potentiometers available in 10 kΩ, 50 kΩ and 100 kΩ resistance versions. The MCP41XXX is a single-channel device and is offered in an 8-pin PDIP or SOIC package. The MCP42XXX contains two independent channels in a 14-pin PDIP, SOIC or TSSOP package. The wiper position of the MCP41XXX/42XXX varies linearly and is controlled via an industry-standard SPI interface. The devices consume <1 μ A during static operation. A software shutdown feature is provided that disconnects the "A" terminal from the resistor stack and simultaneously connects the wiper to the "B" terminal. In addition, the dual MCP42XXX has a SHDN pin that performs the same function in hardware. During shutdown mode, the contents of the wiper register can be changed and the potentiometer returns from shutdown to the new value. The wiper is reset to the mid-scale position (80h) upon power-up. The RS (reset) pin implements a hardware reset and also returns the wiper to mid-scale. The MCP42XXX SPI interface includes both the SI and SO pins, allowing daisy-chaining of multiple devices. Channel-to-channel resistance matching on the MCP42XXX varies by less than 1%. These devices operate from a single 2.7 - 5.5V supply and are specified over the extended and industrial temperature ranges.

Package Types

PDIP/SOIC

PDIP/SOIC/TSSOP

8.4. MAX232

19-4323; Rev 11; 2/03

MAXIM

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

General Description

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12\text{V}$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than $5\mu\text{W}$. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multidrop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μF)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

MAX220-MAX249

8.5. DISPLAY

XIAMEN OCULAR

GDM2004D

Outline Dimension

Feature

1. 5X8 dots with cursor
2. Built-in controller (KS0066U or Equivalent)
3. +5V power supply (Also available for +3.0V)
4. 1/16 duty cycle
5. BKL to be driven by pin1, pin2, or pin15, pin16, or A, K
6. N.V. optional

Interface pin connections

PIN NO	Symbol	Function
1	VSS	GND
2	VDD	+5V
3	V0	Contrast adjustment
4	RS	H/L Register select signal
5	R/W	H/L Read/Write signal
6	E	H/L Enable signal
7	DB0	H/L Data bus line
8	DB1	H/L Data bus line
9	DB2	H/L Data bus line
10	DB3	H/L Data bus line
11	DB4	H/L Data bus line
12	DB5	H/L Data bus line
13	DB6	H/L Data bus line
14	DB7	H/L Data bus line
15	A	+4.2V for BKL
16	K	Power supply for BKL(0V)

Mechanical Data

Item	Standard	Unit
Module dimension	98.0x60.0	mm
Viewing area	78.0x25.2	mm
Dot size	0.55x0.55	mm
Character size	2.95x4.75	mm

Absolute Maximum Rating

Item	Symbol	Standard			Unit
		Min	Typ	Max	
Power supply	VDD-VSS	-0.3	-----	5.5	V
Input voltage	VI	-0.3	-----	VDD	

Electronical characteristics

Item	Symbol	Condition	Standard			Unit
			Min	Typ	Max	
Input voltage	VDD	+5V	4.7	5.0	5.5	V
		+3.3V	2.7	3.0	5.3	V
Supply current	I _{DD}	VDD=5V	-----	3	5	mA
Recommended LCD driving voltage for normal temp version module	VDD-V0	-20°C	-----	-----	-----	V
		0 °C	4.7	5.0	5.5	
		25°C	4.3	4.5	4.7	
		50°C	4.1	4.3	4.5	
LED forward voltage	VF	25°C	-----	4.2	4.6	V
LED forward current	IF	25°C	-----	240	-----	mA
EL power supply current	I _{EL}	V _{EL} =110V AC 400Hz	-----	-----	-----	mA

Display character address code:

Display position	1	2	3	---	---	---	---	---	19	20
DDRAM address	00	01	02	---	---	---	---	---	12H	13H
DDRAM address	40	41	42	---	---	---	---	---	52H	53H
DDRAM address	14	15	16	---	---	---	---	---	26H	27H
DDRAM address	54	55	56	---	---	---	---	---	66H	67H

8.6. CHAVEADOR

September 1996

LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

General Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 μA (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version) $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)

FIGURE 1

TL/H/11476-1

Block Diagram

TL/H/11476-2

Patent Pending
SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

8.7. RAZIS DO PROGRAMA DO MICROCONTROLADOR

```

////////////////////////////////////
//          Programa do SISTEMA DE CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE DISPOSITIVOS EMISSORES DE CAMPO(Mestrado USP)          //
//                                                                                                                                //
// Autor: Maycon Max Kopelovski                                                                                                  01/2006 //
//                                                                                                                                //
//                                                                                                                                //
////////////////////////////////////

#include <16F452.H>
#include <MUDANCAS.H>
#define ADC=10
#define HS_H4,NOWDT,PUT,PROTECT,NOLVP,NOCPP,NOWRT,NOBROWNOUT
#define priority rda, tbe, ext, rtcc
#define fuse delay(clock=40000000)
#define use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)
#define use FAST_IO(A)
#define use FAST_IO(B)
#define use FAST_IO(C)
#define use FAST_IO(D)
#define use FAST_IO(E)

//----- Endereçamento de PORTS -----
////////////////////////////////////

#define PortA = 0xF80
#define PortB = 0xF81
#define PortC = 0xF82
#define PortD = 0xF83
#define PortE = 0xF84

// ----- Declaração de Sub-rotinas -----
////////////////////////////////////

void Rotinas_Iniciais(void); void Varre_Display(void); void Inicializa(void); void Mensagem(void);
void Limpa(void); void Linhal(char coluna); void Linha2(char coluna); void Linha3(char coluna);
void Linha4(char coluna); void ConfereI(char valor); void ConfereD(char valor); void Letra(char Numero);
void Informacao1(void); void Informacao2(void); void Informacao3(void); void Informacao4(void);
void Confere(void); void Serial(void); void Separa(char Variavel); void Disp_Perdido(void);
long int Calc_Obj(void); void Send_Valores(void); void Calc_CRC50(void); void StrToChar(char caracter);
void Le_Teclas(void); void Tecla_Sd(void); void Tecla_SelA(void); void Tecla_Up(void);
void Tecla_Dw(void); void Saida(void); void Tecla_SelB(void); void Calc_Vals(void);
void Tecla_Dupla(void); void Comuta_Esc(void); void Recompoe(char V_1); void Separa1(long int Variavel);
void Beep_Curto(void); void Beep_Longo(void); short CRC_OK(void); void Clk_Dig(void);
void Calc_CRC(void); void Send_OK(void); void Send_Erro(void); void DigPot(char valor);
char Numero(char Letra);
void Pisca_LED(char Tem_LED, char Tem_LED2);
float Recompoe3(char V_1,V_2,V_3,V_4,V_5);
float Recompoe4(char V_1,V_2,V_3,V_4,V_5,V_6);

//----- Declaração de variáveis -----
////////////////////////////////////

//***** PROGRAMA PRINCIPAL *****/
//*****
void main()
{
//Inicialização
//Inicializa ports, periféricos, timers, etc...

//Pinos
// Inicialização de Pinos

//Vars
// Inicialização de Variáveis

//Flags
// Inicialização de Flags

    Inicializa();
    Confere();
    Rotinas_Iniciais();

    While (1){ "..."}
}

//===== FIM DO MAIN =====

```


[illegible]

8.8. ESTRUTURA DO PROGRAMA *HIGHVOLT CONTROLLER*

8.9. CALCULO DO CHECKSUM DO PACOTE DE DADOS

CARACTER:	D	(CÓDIGO ASCII = 68d)	0100 0100b
	+ 2	(CÓDIGO ASCII = 50d)	+0011 0010b
	+ 3	(CÓDIGO ASCII = 51d)	+0011 0011b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 2	(CÓDIGO ASCII = 50d)	+0011 0010b
	+ 3	(CÓDIGO ASCII = 51d)	+0011 0011b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 5	(CÓDIGO ASCII = 53d)	+0011 0101b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 5	(CÓDIGO ASCII = 53d)	+0011 0101b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 3	(CÓDIGO ASCII = 51d)	+0011 0011b
	+ 3	(CÓDIGO ASCII = 51d)	+0011 0011b
	+ 5	(CÓDIGO ASCII = 53d)	+0011 0101b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 2	(CÓDIGO ASCII = 50d)	+0011 0010b
	+ 7	(CÓDIGO ASCII = 55d)	+0011 0111b
	+ 5	(CÓDIGO ASCII = 53d)	+0011 0101b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 8	(CÓDIGO ASCII = 56d)	+0011 1000b
	+ 1	(CÓDIGO ASCII = 49d)	+0011 0001b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 1	(CÓDIGO ASCII = 49d)	+0011 0001b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 0	(CÓDIGO ASCII = 48d)	+0011 0000b
	+ 2	(CÓDIGO ASCII = 50d)	+0011 0010b
		077d	0100 1101b (Checksum)

PALAVRA: **D23000230000500005000335002750000081000010000002077**

8.10. RAIZ DO PROGRAMA *HIGHVOLT CONTROLLER*

```

unit Serial2_Unit;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, BzhDigits, BzhKnob, BzhLeds, ExtCtrls, ComCtrls,
  ToolWin, Menus, Buttons, CPort, DB, DBTables, Grids, DBGrids, Gauges;

type
  TForm1 = class(TForm)
    {declaração de componentes}
    {declaração de "procedures"}
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  {declaração de variáveis globais}

implementation

uses Serial2_Unit2, Unit_Grafico, Unit_Splash;

{$R *.dfm}

function CharToStr3(v_Conv : Byte): String; {função de conversão de variáveis do tipo
char para variáveis do tipo String}
var
  {declaração de variáveis locais}
begin
  {...}
end;

function StrToByte(Str_1 : String): Byte; {função de conversão de variáveis do tipo
string para variáveis do tipo Byte}
begin
  {...}
end;

function StrToVal(Str_1 : String): Byte; {função que retorna o Valor de um número em
formato String}
begin
  {...}
end;

function CRC_OK(): Boolean; {função que efetua a conferência do Checksum do pacote
recebido}
var
  {declaração de variáveis locais}
begin
  {...}
end;

procedure Dado(Str Dado : String); {procedure que faz o tratamento do pacote quando
identificado que ele é de dados}
var
  {declaração de variáveis locais}
begin
  {...}
end;

procedure COM_Out(); {procedure que envia pacotes para a Porta serial}
var
  {declaração de variáveis locais}
begin
  {...}
end;

procedure Instrucao(Str_Inst : String); {procedure que monta o pacote de Instrução}
begin
  {...}
end;

function Capt Disp3(v Disp : Longword): String; {função 1 que retira 3 caracteres de
um pacore recebido}
var
  {declaração de variáveis locais}
begin
  {...}
end;

function Capt_Dis4(v_Dis : Longword): String; {função que retira 4 caracteres de
um pacore recebido}
var
  {declaração de variáveis locais}

```



```

begin
{...}
end;

function Capt Disp3B(v Disp : Longword): String; {função 2 que retira 3 caracteres de
um pacore recebido}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

function LongToStr4(v Conv : Longword): String; {função de conversão de variáveis do tipo
Long para variáveis do tipo String com 4
dígitos}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

function LongToStr5(v_Conv : Longword): String; {função de conversão de variáveis do tipo
Long para variáveis do tipo String com 5
dígitos}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

function LongToStr6(v_Conv : Longword): String; {função de conversão de variáveis do tipo
Long para variáveis do tipo String com 6
dígitos}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

function DadoToLong(v Pos, v Tam : Integer): Longword; {função que retira uma variável Long
de um pacore de dados recebido}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

procedure Atualiza_Palavra(); {procedure que faz a manipulação do pacore de Saída}
var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

function Capt Disp2(v Disp : Longword): String; {função que retira 2 caracteres de
um pacore recebido}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

procedure Atualiza Display(); {procedure que faz a manipulação dos Displays do
programa}
begin
{...}
end;

procedure Atualiza Botoes(); {procedure que faz a manipulação dos Botões do
programa}
begin
{...}
end;

procedure Fim_Prog(); {procedure que executa as rotinas quando o programa é fechado}
begin
{...}
end;

procedure Reset_Prog(); {procedure que executa as rotinas de inicialização quando o
programa é executado}
begin
{...}
end;

function Dado PalavraOut(v1 Pos, v2 Tamanho : Integer):Integer; {função que retira uma
variável do tipo Integer do pacote de Saída}
begin

```

```

{...}
end;

function Dado_PalavraIn(v1_Pos, v2_Tamanho : Integer):Integer; {função que retira uma
variável do tipo Integer do pacote de Entrada}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.pg_2Show(Sender: TObject); {procedure que possui as rotinas que devem
ser executadas sempre que a Ficha
"Parâmetros da Fonte" for visualizada}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.Sair1Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o 1º botão
"Sair" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.FaixaDosParametros1Click(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Ajuda => Faixa dos Parâmetros" é
acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction); {procedure executada
sempre que o Programa é fechado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.Abrir1Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Abrir" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.Salvar1Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Salvar" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn4Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o 2º botão
"Sair" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o 1º botão
"Abrir Parâmetros" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Salvar Parâmetros" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Faixa de Parâmetros" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn5Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o 2º botão
"Abrir Parâmetros" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.ComPort1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer); {procedure que é executada
sempre que a Porta Serial recebe um pacote de
Dados ou Instrução}
var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.Novo1Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Novo" é acionado}

```

```

begin
{...}
end;

procedure TForm1.pg1Exit(Sender: TObject); {procedure que possui as rotinas que devem
ser executadas sempre que a Ficha
"Parâmetros de Grade" for visualizada}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.btnSelFocus1Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Focus 1" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn10Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Focus 2" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.btnLeftClick(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Seta Esquerda" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.btnRightClick(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Seta Direita" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.TmrPiscaTimer(Sender: TObject); {procedure que é executada quando o
timer "Pisca" dos Displays provoca uma
interrupção}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.btnUpClick(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Seta para Cima" é acionado}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.btnDownClick(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Seta para Baixo" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn11Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Emissão" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn12Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Zero" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn13Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Repeler" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn14Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Ion Box" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.tmrFimProgTimer(Sender: TObject); {procedure que é executada quando o
timer "Fim Prog" provoca uma interrupção}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn15Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Controle Manual" é acionado}

```



```

begin
{...}
end;
end;

procedure TForm1.BitBtn16Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Controle de Corrente" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn17Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Controle de Tensão" é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.pc_ParametrosChange(Sender: TObject); {procedure executado sempre que mudamos
a ficha visualizada no HiVolt Controller}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.rgEscalaClick(Sender: TObject); {procedure executada quando mudamos a escala
de corrente}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.ldOnOffDb1Click(Sender: TObject); {procedure executada quando acionamos com um
duplo clique no LED "ON/OFF"}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.tmrPiscaLEDTimer(Sender: TObject); {procedure que é executada quando o
timer "Pisca LED" provoca uma interrupção}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.ldCOMDb1Click(Sender: TObject); {procedure executada quando acionamos com um
duplo clique no LED "COM"}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.COMLigadaClick(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Comunicação => Ligada"
é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.COMDesligadaClick(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Comunicação => Desligada"
é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.SaidaLigadaClick(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Saida => Ligada"
é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.SaidaDesligadaClick(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Saida => Desligada"
é acionado}

begin
{...}
end;

procedure TForm1.tmr_RespostaTimer(Sender: TObject); {procedure que é executada quando o
timer "Resposta" provoca uma interrupção}

var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn6Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Exportar Parâmetros" é acionado}

begin
{...}
end;

```

```

procedure TForm1.ldParametrosDb1Click(Sender: TObject); {procedure executada quando acionamos
com um duplo clique no LED "Parâmetros"}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn7Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Gráficos" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.tmrAmostrasTimer(Sender: TObject); {procedure que é executada quando o
timer "Amostras" provoca uma interrupção}
var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.edQuantidadeAmostrasChange(Sender: TObject); {Procedure executada sempre que
modificamos o número de Amostras mostradas "on-line"
nos gráficos disponíveis}
var
{declaração de variáveis locais}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Valores" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.tmrDesligaESaiTimer(Sender: TObject); {procedure que é executada quando o
timer "Deslida e Sai" provoca uma interrupção}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.FormShow(Sender: TObject); {procedure executada sempre que o formulário é
mostrado na Tela do PC}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.btnAutoManClick(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Auto / Manual" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.BitBtn8Click(Sender: TObject); {Procedure que é executada quando o botão
"Salvar dados de medição" é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.SetCom1Click(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Config COM => COM1"
é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.SetCom2Click(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Config COM => COM2"
é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.SetCom3Click(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Config COM => COM3"
é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.SIM1Click(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Debugar => SIM"
é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.NO1Click(Sender: TObject); {procedure executada quando o
sub.menu "Editar => Debugar => NÃO"
é acionado}
begin
{...}
end;

procedure TForm1.sb_velocidadeChange(Sender: TObject); {procedure executada sempre que
mudamos de posição a Scroll Bar de velocidade
de amostragem do Sistema}
begin
{...}
end;

end.

```