UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA E QUÍMICA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

**INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA
PARA PESQUISAS NA ÁREA DE ÓTICA**

SILVIO ANTONIO TONISSI JUNIOR

Dissertação apresentada ao Instituto
de Física e Química de São Carlos,
Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de
Mestre em Ciências - "Física Aplicada".

Orientador: Prof. Dr. Jarbas Caiado de Castro Neto

São Carlos - SP

1992

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

**IFSC UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO**

Instituto de Física e Química de São Carlos

Fone (0162) 72-6222
Fax (0162) 72-2218

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
Caixa Postal 369
CEP 13560 - São Carlos - SP
Brasil

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE Silvio Antonio Tonissi Junior
APRESENTADA AO INSTITUTO DE FÍSICA E QUÍMICA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM
15.03.1992

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Jarbas Caiado de Castro Neto

Prof. Dr. Lúcio Antonio de Oliveira Nunes

Prof. Dr. Antonio Rubens Britto de Castro

aos meus pais:

Sylvio

e

Norma

COM AMOR E CARINHO.

AGRADECIMENTOS

- a *Jarbas Caiado de Castro Neto* pela sua orientação, dedicação e amizade.
- a *Antonio Carlos Romão* pela amizade, projeto e desenho dos componentes mecânicos e óticos, ajuda na montagem do sistema e na edição do trabalho.
- a *Elvio Baldin* pela amizade e auxílio no desenvolvimento do software do sistema
- a *Fátima, Cesar, Cacau e Adriano* pela amizade e grande ajuda na editoração do trabalho.
- a *Tatui* pela amizade e ajuda no desenvolvimento do "hardware" do sistema.
- ao *Professor Luis Antonio* pela amizade, pelas idéias e participação no desenvolvimento do "software" para os experimentos.
- a *Isabel Sertori* pelo excelente apoio administrativo.
- a todos da *oficina mecânica* pelo desenvolvimento das peças utilizadas neste trabalho.
- aos demais da *oficina eletrônica*: Rui, Ricardo, etc., pela montagem dos sistemas eletrônicos utilizados.
- aos técnicos do *laboratório de óptica*: Domingos, Paulinho e Gilberto.
- ao *Ítalo e Edu* pelo apoio gráfico.
- a dona *Ivone* pelos seus deliciosos sucos.
- ao pessoal da *biblioteca* pela dedicação.
- ao pessoal da *seção de alunos* pela atenção.
- ao pessoal da *limpeza* por manterem um ambiente limpo e aconchegante.

- aos professores do grupo de ótica *Vanderlei, Zílio e Máximo* pela amizade, apoio e idéias sobre o sistema.
- aos demais *professores, alunos e funcionários* pela amizade.
- aos demais *órgãos financeiros*: FAPESP, CNPq, FINEP e USP.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Resumo	vi
Abstract	vii
I Sistema para um Laser de Argônio/Criptônio	1
1 Introdução Geral	2
2 Fonte de Alimentação	5
2.1 Introdução	5
2.2 Componentes da fonte de alimentação do laser	5
2.2.1 Contator	5
2.2.2 Autotransformador	7
2.2.3 Retificador e filtro	10
2.2.4 Circuito de disparo	10
2.2.5 Circuito do filamento	12
2.2.6 Circuito de controle da pressão do gás	12
2.2.7 Fontes de alimentação de baixa tensão	12
2.2.8 Banco de transistores de passagem	12
2.2.9 Placa de controle de corrente	16
2.2.10 Magneto	18
2.2.11 "Interlocks"	18
2.3 "Lay-Out" da fonte de alimentação do laser	20
2.4 Sistema de refrigeração	23
3 Cavidade ressonante e tubo de plasma	27
3.1 Introdução	27
3.2 Componentes da cavidade ressonante	28
4 Conclusão	31
II Sistema de aquisição de dados baseado em microcomputador IBM-PC (XT/AT)	32
5 Introdução Geral	33

6	Placa de interface	35
6.1	Introdução	35
6.2	Barramentos do microprocessador 8088	35
6.3	O "Slot" do IBM-PC/XT	36
6.4	Interfaceando a placa de aquisição de dados com o microcomputador	37
6.4.1	Região de endereços de entrada/saída	38
6.5	Dispositivos utilizados na placa de aquisição de dados	40
6.5.1	8255 portas paralelas programáveis	40
6.5.2	Conversores D/A	42
6.5.3	Módulo de conversão analógico/digital	44
6.5.4	"Timer"/contador programável	44
7	Módulo para aquisição de pulsos	47
7.1	Introdução	47
7.2	Componentes do Módulo	47
7.2.1	Fonte de Alimentação	47
7.2.2	Placa de sincronismo	49
7.2.3	Placas geradoras de "delay"	51
7.2.4	Placas de integradores de "gate"	52
7.3	Funcionamento geral do módulo	52
8	Software de Controle	55
8.1	Introdução	55
8.2	Biblioteca de funções	55
9	Experimentos controlados pelo sistema de aquisição	60
9.1	Introdução	60
9.2	Espectroscopia de luminescência	60
9.3	Espectroscopia de excitação	61
9.4	Espectroscopia resolvida no tempo	63
9.5	Espectroscopia Raman em semicondutores	65
10	Conclusão	70
	Apêndice	71
A	Programas para controle do sistema de aquisição	71
B	Lista de trabalhos publicados que utilizaram o sistema de aquisição	72
C	Artigos publicados, relativos á instrumentação eletrônica para pesquisa em ótica	73
	Bibliografia	78

Lista de Figuras

1.1	Esquema de um nível de energia do Ar^+ com inversão de população	3
2.1	Diagrama simplificado de um Laser Iônico	6
2.2	Diagrama de blocos da fonte de alimentação	7
2.3	Esquema elétrico do contator	8
2.4	Esquema elétrico do autotransformador	9
2.5	Esquema elétrico do retificador e filtro	10
2.6	Esquema elétrico do circuito de disparo e de filamento	11
2.7	Esquema elétrico do circuito de gás	13
2.8	Esquema elétrico das fontes de baixa tensão	14
2.9	Esquema elétrico do banco de transistores de passagem	15
2.10	Esquema elétrico da placa de controle de corrente	17
2.11	Esquema elétrico do circuito de proteção térmica	19
2.12	Esquema elétrico do circuito da chave de fluxo de água	20
2.13	Visão frontal e traseira da fonte de alimentação	21
2.14	Fonte de alimentação vista de cima	22
2.15	Circuito de gás e refrigeração de água	25
2.16	Sistema de refrigeração de água portátil	26
3.1	Cavidade ressonante (configuração em multilinhas)	27
3.2	Cavidade ressonante (configuração em linha única)	28
3.3	Cavidade ressonante (configuração em frequência única)	28
3.4	Componentes da cavidade ressonante	30
6.1	Sinais presentes no "Slot" do microcomputador IBM-PC/XT	37
6.2	Diagrama de tempos do ciclo de escrita em dispositivos de E/S	39
6.3	Diagrama de tempos do ciclo de leitura em dispositivos de E/S	39
6.4	Esquema elétrico do decodificador da placa de interface	41
6.5	Esquema elétrico de ligação do circuito integrado 8255	42
6.6	Esquema elétrico de ligação dos conversores D/A	43
6.7	Esquema elétrico de ligação do módulo de conversão A/D	45
6.8	Esquema elétrico de ligação dos circuitos integrados 8253-5	46
7.1	Diagrama de blocos do módulo de aquisição pulsada	48
7.2	Esquema elétrico da fonte de alimentação do módulo	49
7.3	Esquema elétrico da placa de sincronismo do módulo	50
7.4	Diagrama dos pulsos produzidos pelas placas geradoras de "delay"	52
7.5	Diagrama de blocos do integrador de "gate" modelo 4130-A	53
7.6	Sinal de saída do integrador de "gate"	54

8.1	Exemplo de um programa em Fortran para leitura da tensão de um dos canais analógicos da placa de interface.	56
8.2	Exemplo de um programa em Pascal para leitura da tensão de um dos canais analógicos da placa de interface.	57
8.3	Diagrama de blocos do software de controle para experimentos em ótica . . .	58
9.1	Diagrama de blocos da montagem experimental para medidas de luminescência	61
9.2	Espectro de luminescência de uma amostra de KCL:KCN:Eu ⁺²	62
9.3	Diagrama de blocos do sistema de excitação de dois fótons	62
9.4	Espectro de excitação de dois fótons entre os níveis $^8S_{7/2} \rightarrow ^6P_{7/2}$	63
9.5	Diagrama de blocos do experimento para medida do tempo de vida	64
9.6	Espectro de evolução temporal da luminescência do Eu ⁺²	64
9.7	Esquema da montagem experimental para espectroscopia Raman	66
9.8	Espectro Raman de um substrato de GaAs	67
9.9	Espectro Raman de uma super rede δ dopada. Configuração $Z(x, x)\bar{Z}$	68
9.10	Espectro Raman de uma super rede δ dopada. Configuração $Z(x, y)\bar{Z}$	69

Lista de Tabelas

1.1	Algumas das linhas mais utilizadas do Argônio e Criptônio	4
6.1	Mapa de endereços de entrada/saída do IBM-PC/XT	38
6.2	Sinais de habilitação da placa de interface	40
7.1	Características principais dos modelos 4141-1 e 4145-2	51
7.2	Características principais do integrador de "gate" modelo 4130-A	53

RESUMO

Este trabalho consiste na elaboração de um conjunto de sistemas elétrico-eletrônicos, aplicados principalmente na área de ótica, com a finalidade de se criar recursos tais que possibilitem a realização de experimentos com maior facilidade, confiabilidade e versatilidade. Ele está dividido em 2 partes principais. A primeira apresenta a construção de um sistema completo para acionamento de um laser de Argônio/Criptônio incluindo fonte de alimentação e cavidade ressonante com a utilização de um tubo importado. A segunda consta de um sistema de aquisição de dados baseado em um microcomputador da linha IBM-PC/XT-AT com um módulo para aquisição de pulsos rápidos, placa de interface para o microcomputador e software de controle.

ABSTRACT

This work describes the development of a electric-electronical system applied principally in the Optics area. Its purpose is to create the means such that experiments can be realized with greater facility, reliability and versatility. It is divided into two parts. The first introduces the construction of an Argon/Krypton laser system its power supply and the ressonance cavity, with the use of an import tube. The second consists of a data acquisition system, based on an IBM-PC/XT-AT microcomputer, with a module for fast pulse acquisition, an interface board to the microcomputer and control software.

Parte I

Sistema para um Laser de Argônio/Criptônio

Capítulo 1

Introdução Geral

Nos últimos vinte anos, os lasers iônicos se transformaram num dos maiores recursos tecnológicos para obtenção de radiação coerente e colimada, tanto no espectro visível como ultravioleta próximo. Extensas pesquisas tem sido realizadas no sentido de se produzirem lasers mais resistentes e confiáveis, tal é a utilidade e aplicação que eles apresentam nas mais diferentes áreas tais como física, medicina, engenharia, etc.

A palavra laser origina-se das iniciais de "Light Amplification by Stimulated Emissions of Radiation" (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação). Este efeito de amplificação ou como se costuma dizer, a atividade laser, se processa no interior de um meio ativo, o qual se situa dentro de um aparato designado por cavidade ressonante. O meio ativo de um laser pode ser um material sólido, líquido ou gasoso. No primeiro caso, o material sólido pode ser um semicondutor ou algum tipo de cristal adequado. No segundo, os vários tipos de gases ou combinações deles e no terceiro, os corantes definem o meio ativo onde se processa a atividade laser.

Lasers de Argônio/Criptônio, pertencem a uma classe conhecida como Lasers iônicos de gases nobres, assim chamada devido ao fato deles possuírem gases ionizados como meio ativo. A excitação do meio ativo é realizada por bombeamento elétrico, onde uma descarga elétrica é produzida através do gás formando um plasma que é confinado no interior de um tubo (tubo de plasma).

A figura 1.1 mostra o diagrama básico de níveis de energia, que ilustra o funcionamento dos lasers iônicos. Os elétrons provenientes da descarga elétrica no plasma colidem com as partículas do gás ionizando-as e jogando-as para um nível de energia mais excitado, do qual elas poderão emitir radiativamente, quando decaírem para um nível de energia menor. Sob condições adequadas de corrente, voltagem e pressão do gás, uma situação similar a figura 1.1 é obtida: o número de íons no nível B torna-se maior que o do nível A (menor energia) dando origem ao que se chama de inversão de população que é uma condição necessária para que ocorra a ação laser. Em tais condições, fótons produzidos por emissão espontânea (decaimento radiativo dos íons excitados) induzem o decaimento de novos íons dando início a uma avalanche de fótons coerentes, que é conhecida como emissão estimulada. A eficiência da emissão estimulada é aumentada através de uma cavidade ótica que confina a luz no interior do meio ativo. Esta cavidade, também chamada cavidade ressonante, é formada por dois espelhos, um totalmente refletor e outro com refletividade um pouco menor que 100% alinhados de maneira a produzir multiplas reflexões da luz através do meio ativo. A pequena quantidade de luz que não é refletida pelo último espelho sai da cavidade em forma de feixe laser.

A cavidade ressonante é quem produz a amplificação de luz por emissão estimulada e sua eficiência depende de suas características tais como refletividade dos espelhos, alinhamento etc.

O raio laser, será produzido, caso o ganho do sistema (meio e cavidade ressonante) seja maior que as perdas existentes no mesmo.

Os tubos de plasma são projetados para proporcionar condições de controle nas quais a inversão de população é mantida. Quanto maior a diferença de população entre os estados A e B, maior será o ganho do meio.

Na figura 1.1 estão somente representados um par de níveis quânticos com inversão de população, mas esta é uma figura muito simplificada se comparada com a estrutura real de níveis quânticos de um íon de argônio ou criptônio. O argônio por exemplo, pode ter mais de 100 pares de níveis quânticos que exibem simultaneamente inversões de população. Para cada um destes pares, existe um correspondente comprimento de onda que é chamado de linha do laser. A presença de numerosas linhas na região do espectro visível e ultravioleta próximo é uma das virtudes dos Lasers Iônicos. A tabela 1.1 mostra algumas das linhas mais utilizadas de um Laser de argônio e de um Laser de Criptônio [1]¹.

Figura 1.1: Esquema de um nível de energia do Ar^+ com inversão de população

Somente poucos gases possuem as condições quânticas adequadas para serem utilizados como Laser Iônico. O argônio e o criptônio, dois gases nobres, tem sido amplamente usados por apresentarem alto ganho, boa eficiência, e grande número de linhas em compri-

¹Em todo este trabalho os números entre [] no texto indicam as referências bibliográficas utilizadas.

ARGÔNIO	CRÍPTÔNIO
λ (nm)	λ (nm)
528.7	799.3
514.5	752.5
501.7	676.4
496.5	647.1
488.0	568.2
476.5	530.9
472.7	520.8
465.8	482.5
457.9	476.2
454.5	468.9
363.8	356.4
351.1	350.7

Tabela 1.1: Algumas das linhas mais utilizadas do Argônio e Criptônio

mentos de onda úteis. Eles também tem a vantagem de serem quimicamente inertes, o que simplifica em muitos aspectos, o projeto do tubo de plasma.

Devido à esta grande aplicação dos Lasers Iônicos, o alto custo e as dificuldades de importação dos mesmos, foi criado um projeto no Grupo de Ótica que visa construir um Laser Iônico desde o tubo até a fonte e cavidade ressonante.

O projeto foi dividido em duas etapas: a primeira que envolve a construção da fonte de alimentação e cavidade ressonante, e a segunda que envolve a confecção do tubo de plasma. Na primeira etapa, a fonte e cavidade ressonante foram baseadas em um laser de Argônio da Coherent (modelo CR-8), à partir do qual foram feitas modificações para se construir um sistema com componentes e materiais facilmente encontrados no mercado nacional além de recursos e mão de obra local.

Nesta parte do trabalho faremos, nos capítulos que se seguem, uma descrição de como a fonte de alimentação e cavidade ressonante foram construídas, e de seus componentes principais e resultados obtidos. Mostraremos também um sistema de refrigeração para o laser, projetado de maneira a poder transportá-lo para lugares em que não exista condições adequadas de refrigeração.

Capítulo 2

Fonte de Alimentação

2.1 Introdução

Como vimos anteriormente, os Lasers de Íon consistem basicamente em uma descarga elétrica sobre um gás (plasma) dentro de um tubo que esta alinhado no interior de uma cavidade ótica. Portanto, a função principal da fonte de alimentação é a de controlar apropriadamente o fluxo de corrente que passa através do tubo de plasma.

Para isto, foi desenvolvido uma fonte de corrente cujo diagrama simplificado pode ser visto na figura 2.1.

Como podemos ver, a rede de alimentação trifásica é retificada e, passando por um filtro RC, gera uma tensão DC contínua que vai alimentar o tubo de plasma. A regulação de corrente é produzida por um banco de transistores de passagem, aqui representado por um único transistor. Um resistor-sensor de corrente produz uma tensão proporcional à corrente que está fluindo pelo tubo. Este sinal então, alimenta um circuito que o compara com um outro sinal de referência e realimenta o banco de transistores de maneira a manter os dois sinais iguais, o que implica em uma corrente constante. O sinal de referência para o comparador é simplesmente uma tensão cujo valor é controlado por um potenciômetro que pode ser ajustado pelo operador.

Além de controlar a corrente sobre o tubo, a fonte de alimentação também monitora os circuitos de segurança (“interlocks”), os circuitos de controle da pressão do gás, alimenta o magneto (solenóide que produz um campo magnético que confina a descarga elétrica no centro do tubo) e produz o disparo de alta tensão, que ioniza o gás para que haja condução de corrente.

2.2 Componentes da fonte de alimentação do laser

O diagrama de blocos geral da fonte, pode ser visto na figura 2.2, sendo que seus componentes principais são :

2.2.1 Contator

É a chave que aciona a fonte de alimentação ligando a rede trifásica ao autotransformador. Seu esquema elétrico pode ser visto na figura 2.3. A sua bobina de controle, está ligada ao relé RL4 que, por sua vez, é comandado pelas chaves dos circuitos de proteção (“interlocks”). Caso haja uma falha no sistema, por exemplo, falta de fluxo de água, RL4

Figura 2.1: Diagrama simplificado de um Laser Iônico

receberá 12 volts em sua bobina pois o “interlock” do medidor de fluxo irá fechar contato entre os pontos a e b energizando RL4 que, por sua vez, desliga a bobina do contator, desligando a fonte. Quando tudo está correto, os contatos a e b devem estar em circuito aberto.

Existem três chaves no circuito que alimenta a bobina do contator sendo duas normalmente abertas e uma normalmente fechada. Esta última é um botão que desliga o contator. As duas primeiras são respectivamente, a chave de painel com fechadura e o botão de liga, ambas responsáveis pelo acionamento do contator.

Figura 2.2: Diagrama de blocos da fonte de alimentação

2.2.2 Autotransformador

A alimentação trifásica que passa pelo contator, chega em um autotransformador (não fornece isolamento da rede) cuja função é a de acomodar variações existentes na rede trifásica e ajustar a melhor voltagem de operação para o tubo do laser. Os três primários deste transformador estão conectados em Y e ele apresenta vários “Taps” que podem ser escolhidos para fornecer uma maior ou menor voltagem, de acordo com a rede e com o laser que está sendo utilizado.

Ele também apresenta um enrolamento que fornece uma tensão de 120 Vac que alimenta determinados circuitos que utilizam esta tensão, por exemplo, o circuito de controle da pressão do gás, o transformador do filamento e o circuito de disparo do laser.

Seu esquema elétrico pode ser visto na figura 2.4.

MODULO PARA LIGAR/DESLIGAR + PROTEÇÃO

Figura 2.3: Esquema elétrico do contator

MODULO PARA LIGAR/DESLIGAR + PROTEÇÃO

Figura 2.3: Esquema elétrico do contator

2.2.3 Retificador e filtro

Possui a função de retificar e filtrar a tensão alternada fornecida pelo autotransformador gerando uma tensão DC que vai alimentar o tubo de plasma. Isto é feito através de 6 diodos (DR1-DR6) que formam uma ponte retificadora de onda completa.

O esquema elétrico do circuito retificador e do filtro, podem ser vistos na figura 2.5.

O sinal retificado passa por um filtro composto por 4 capacitores (CF1-CF4), sendo que eles estão ligados dois em série (CF1-CF2) e estes em paralelo com outros dois em série (CF3-CF4). Cada capacitor possui um resistor ligado em paralelo (RF1-RF4), cuja função é a de balancear a tensão sobre os mesmos.

Denominamos de B+ e B- os terminais do filtro, ou seja, a tensão de alimentação gerada é em relação a estes dois terminais. Convém ressaltar, que tanto B+ quanto B- possuem uma elevada tensão com relação ao terra e nenhum deles pode ser conectado a este, o que causaria um grande curto-circuito.

Figura 2.5: Esquema elétrico do retificador e filtro

2.2.4 Circuito de disparo

Para que haja a condução de corrente no tubo de plasma, o gás precisa estar ionizado. Isto é feito pelo circuito de disparo, cujo esquema elétrico pode ser visto na figura 2.6.

Quando o botão de disparo é pressionado, 120 Vac é enviado aos terminais E1 e E2. Este sinal é retificado em meia onda pelo diodo DD1 e pelo capacitor CD1 o qual está conectado a "gate" de TD1, que é um transistor unijunção programável. Quando a tensão na "gate" de TD1 atinge o valor de disparo programado, TD1 liga TD2, que é um SCR. Este, quando ativado, descarrega o capacitor CD1 sobre o enrolamento primário do transformador TRD1. TRD1 é um transformador de pulso com uma alta relação de espiras (utilizamos um "Fly-Back" de televisão) que eleva a tensão do pulso carregando o capacitor CDA1, através do diodo DDA1 e do resistor RDA1, para valores da ordem de alguns kvolts. O capacitor CDA1 está conectado a um "Spark Gap" (duas esferas muito próximas cuja distância pode ser controlada) e, quando a tensão em CDA1 atinge o valor de ruptura do "Spark Gap" este

descarrega a alta tensão sobre o tubo de plasma através do indutor LD1 ionizando o gás e dando início ao fluxo de corrente pelo tubo. A distância do "Spark Gap" depende do tipo de laser utilizado (quanto maior o comprimento do tubo, maior deve ser a distância entre as esferas) e da umidade do ar.

2.2.5 Circuito do filamento

Responsável pelo aquecimento do filamento do laser, o qual vai emitir elétrons que vão produzir a corrente de excitação no tubo de plasma.

Ele consta simplesmente de um transformador cujo primário está ligado ao enrolamento de 120 Vac do autotransformador e com o secundário ligado diretamente nos terminais do filamento. A tensão produzida no secundário do transformador do filamento é de aproximadamente 3+3 Vac ("center tap") com capacidade de corrente de até 20 Amps.

O esquema elétrico do mesmo pode ser visto na figura 2.6.

2.2.6 Circuito de controle da pressão do gás

Pode ser visto na figura 2.7. É formado por um medidor de pressão e por duas válvulas eletro-magnéticas comandadas eletronicamente através de 2 botões colocados no painel de controle da fonte. Estas válvulas controlam a passagem de gás de um reservatório de argônio/criptônio, cuja pressão é de aproximadamente 1 atmosfera, para o interior do tubo de plasma. A transferência de gás é feita da seguinte maneira: a válvula comandada pela chave VAL1 enche um pré-reservatório com um pequeno volume de gás e logo após, a válvula comandada pela chave VAL2 transfere o conteúdo deste para o interior do tubo. O circuito elétrico de comando das mesmas é feito de tal maneira que é impossível se ligar as duas válvulas simultaneamente, a fim de se impedir uma sobrecarga de gás, o que danificaria o tubo. O volume do pré reservatório que está entre as duas válvulas VAL1 e VAL2 e o valor da pressão do reservatório são escolhidos para dar um incremento de 10 militorr na pressão do laser, a cada ciclo de transferência de gás descrito acima.

O medidor de pressão indica se está na hora de recarregar o tubo, pois com o funcionamento do laser, a pressão do gás tende a diminuir. Esta pressão deve ser mantida em torno de 20 militorr acima ou abaixo do valor especificado na tabela de dados do tubo utilizado (cada tubo tem o seu valor ideal de pressão).

2.2.7 Fontes de alimentação de baixa tensão

Tem a função de fornecer alimentação de baixa tensão a determinados circuitos utilizados na fonte.

São em número de duas a saber: fonte de +5 Volts (1 Amp.) e fonte de +12 Volts (1 Amp.). São circuitos simples que utilizam o regulador de tensão 7805 e 7812. Seus esquemas elétricos se encontram na figura 2.8.

2.2.8 Banco de transistores de passagem

O tubo do laser está conectado em série com um regulador de corrente transistorizado que tem a função de manter a corrente no tubo de plasma constante. Este regulador é composto por uma placa de controle e um banco de transistores de passagem que, na realidade, é dividido em dois bancos chamados de mestre e escravo. Cada banco possui 20

Figura 2.7: Esquema elétrico do circuito de gás

Figura 2.8: Esquema elétrico das fontes de baixa tensão

transistores de potência 2N6513, conectados em paralelo para dividir a corrente entre eles, sendo que os dois bancos estão conectados em série de maneira a dividir a tensão sobre os mesmos.

O esquema elétrico do banco de transistores pode ser visto na figura 2.9.

O conjunto de transistores da direita é o chamado banco mestre enquanto que o da esquerda é o banco escravo. Os transistores de passagem possuem resistores em série com os emissores (1 ohm no banco escravo e 2.7 ohms no mestre), cuja função é a de equalizar a corrente que passa pelos mesmos e, no caso dos resistores de 2.7 ohms fornecem um sinal em tensão, proporcional à corrente que está passando pelos transistores. Este sinal é coletado pelos resistores de 47 ohms que estão conectados aos emissores dos transistores, fazendo a soma dos mesmos, e gerando o sinal chamado de "sumbus" que é uma tensão proporcional a corrente no tubo de plasma. Este sinal é utilizado no circuito de realimentação da fonte e apresenta o valor de 0.1 Volts por Ampere de corrente que circula pelo tubo.

O primeiro estágio do banco mestre é composto pelo transistor QM1 (2N3584) e pelo transistor QM2 (2N6513) que funcionam como excitadores dos transistores de passagem ou seja, recebem o sinal de comando da placa de controle e fornecem a corrente de base necessária aos demais transistores de passagem para que eles possam regular a corrente que passa pelo tubo.

Quando o banco mestre começa a conduzir corrente, após a ionização do gás, a diferença de tensão entre a base e emissor do transistor QE1 (2N3584) aumenta, uma vez que a base do mesmo está alimentada pelo divisor de tensão entre R1 e R2. Isto faz com que QE1 conduza mais e portanto QE2 (2N6513) vai receber mais sinal para excitar os transistores de passagem do banco escravo. Desta maneira, quanto mais o banco mestre

está conduzindo, maior será a diferença de tensão entre base e emissor do transistor QE1 e portanto, mais o banco escravo irá conduzir, acompanhando o banco mestre. Desta forma, o banco escravo segue o que o mestre faz. Se a tensão sobre o banco mestre é de 20 Volts, a tensão sobre o banco escravo deve ser aproximadamente 20 Volts também.

Os diodos zener ZM1 e ZE1 (SKE 4F 1/08) protegem os transistores dos bancos, contra um excesso de tensão grampeando a mesma em 120 Volts. Os diodos zener ZM2 e ZE2 (1N5378B) também tem a mesma função, só que neste caso, quando eles conduzem devido à uma sobretensão, eles ativam os transistores QM2 e QE2 fazendo com que eles conduzam mais, aumentando a corrente nos transistores de passagem, o que diminui a tensão sobre os bancos.

Os bancos de transistores estão montados em um bloco de alumínio no interior do qual circula água, formando um trocador de calor que refrigera os mesmos.

Existem dois medidores analógicos que monitoram a corrente do tubo e a tensão sobre o banco mestre de transistores. Quanto maior a corrente, maior será a tensão no tubo e menor a tensão sobre o banco. A voltagem total que cai sobre o banco de transistores é igual a duas vezes o valor indicado pelo medidor (a tensão sobre o banco escravo é aproximadamente igual a tensão sobre o banco mestre) sendo a voltagem aplicada no tubo de plasma igual a tensão da saída do filtro menos a queda de tensão no banco de transistores.

2.2.9 Placa de controle de corrente

Além de controlar a corrente no tubo de plasma, atuando sobre o banco de transistores, ela também é responsável pela proteção contra excesso de corrente, desligando o sistema caso a mesma ultrapasse um determinado valor que pode ser ajustado pelo operador.

O esquema elétrico desta placa pode ser visto na figura 2.10

Ela apresenta dois potenciômetros: POT1 que limita a excursão de corrente a um valor máximo e POT2 que define a máxima corrente permitida, a partir da qual o sistema é desligado.

A regulação de corrente é conseguida da seguinte forma: logo após o tubo estar ionizado, o sinal de "sumbus" apresenta o valor de aproximadamente 0 Volts (ainda não existe corrente circulando). Este sinal está conectado ao emissor do transistor QC1 (BC337) na placa de controle, cuja base recebe o sinal do potenciômetro de controle de corrente, localizado no painel da fonte, e que indica o valor de corrente que o operador deseja para o laser. A diferença entre esta referência e o "sumbus", vai fazer com que QC1 conduza mais ou menos corrente. No início, a referência é maior que "sumbus" gerando uma tensão base-emissor maior que 0.6 Volts. Isto faz com que QC1 conduza, atuando sobre QC2 (BC327) de maneira que ele também começa a conduzir, gerando uma tensão maior em seu coletor o qual está ligado ao banco de transistores (sinal de controle do banco). Desta maneira, a corrente no tubo aumenta, fazendo com que o valor de "sumbus" também aumente, diminuindo a diferença entre "sumbus" e a referência, o que faz QC1 conduzir menos, e portanto, diminuindo o sinal no coletor de QC2, produzindo uma corrente menor no tubo. Desta maneira, a placa de controle tenta manter o valor de "sumbus" aproximadamente igual ao valor de referência menos 0.6 Volts.

Por exemplo, se o operador ajusta o potenciômetro de controle (referência) de tal maneira que o seu valor seja de 3 Volts, a placa tenta regular a corrente no tubo de forma que "sumbus" seja aproximadamente 2.4 Volts. Como a tensão de "sumbus" é proporcional

a corrente no tubo e apresenta o valor de 0.1 Volts/Amp. isto implica que a corrente no tubo, será de 24 Amps.

O potenciômetro POT1 limita o valor máximo para a tensão de referência, diminuindo ou aumentando a tensão sobre o potenciômetro de controle de corrente.

Caso haja algum curto-circuito no banco de transistores ou alguma outra falha que faça com que a corrente no tubo dispare, existe um circuito de proteção que funciona da seguinte maneira: se o valor de "sumbus" se tornar 1.4 Volts mais alto que o valor ajustado no potenciômetro POT2, a base do transistor QC3 (BC337) ficará 0.7 Volts acima da tensão do emissor fazendo com que QC3 conduza, o que ativa QC4 (BC327). Este, por sua vez, liga o relé RL1, cujos contatos estão conectados ao circuito de comando do contator, desarmando o mesmo e desligando o sistema.

A alimentação desta placa (20 Volts) é obtida através da tensão de saída do filtro passando por um resistor e por um zener (1N4747) e está referenciada ao B-.

2.2.10 Magneto

É um solenóide, em cujo interior está o tubo de plasma, responsável pelo campo magnético que confina a descarga elétrica no centro do tubo.

No caso do laser de argônio, o magneto é alimentado diretamente pelos terminais do filtro RC (B+ e B-) enquanto que no laser de criptônio ele é colocado em série com o tubo do laser, ou seja, a corrente que circula pelo magneto é igual à que circula pelo tubo. Isto porque, no caso do criptônio, é necessário um campo magnético mais intenso para confinar os íons de criptônio que são maiores que os íons de argônio.

2.2.11 "Interlocks"

Possuem a função de proteger a fonte, o tubo de plasma e o operador do laser. Eles atuam sobre o contator e desligam o sistema, caso alguma falha seja detectada. Os "interlocks" utilizados são os seguintes:

Chave da porta da fonte

Chave elétrica localizada na porta que dá acesso a fonte de alimentação, desliga o sistema caso esta porta seja aberta com a fonte em operação.

Chave da tampa do tubo

Chave elétrica localizada na tampa que cobre o tubo de plasma, tem a função de desligar o sistema, caso a mesma seja aberta com o laser em operação.

Proteção contra sobrecorrente.

Vista anteriormente no circuito de regulação de corrente, desliga o sistema caso a corrente no tubo ultrapasse um determinado valor, ajustável pelo operador do laser.

Figura 2.11: Esquema elétrico do circuito de proteção térmica

Proteção térmica

Mede a temperatura do banco de transistores e a temperatura da água que sai do tubo de plasma. Caso alguma destas temperaturas esteja acima dos valores ajustados, o sistema é desligado.

O esquema elétrico do circuito de proteção térmica pode ser visto na figura 2.11.

Os termistores (NTC), são colocados nos locais em que se deseja medir a temperatura: trocador de calor do banco de transistores e saída de água do sistema de refrigeração. Cada um destes termistores está conectado a um divisor de tensão, cuja voltagem produzida é proporcional a temperatura do mesmo. Quanto maior a temperatura, menor será a resistência do termistor e portanto maior será a tensão no divisor resistivo. Dois circuitos comparadores verificam se estas tensões vindas dos divisores estão abaixo dos valores ajustados pelos potenciômetros POTT1 e POTT2, caso contrário, eles ligam o relé RL2 cujos contatos vão atuar sobre o circuito de comando do contator, desligando a fonte. Os potenciômetros POTT1 e POTT2 são ajustados para que a temperatura de saída da água seja no máximo 70 °C e a temperatura máxima do banco de transistores seja de 60 °C.

Chave de fluxo de água

Mede o fluxo de água que refrigera o tubo e a fonte e, caso este não esteja com o valor adequado, desliga a fonte.

O esquema elétrico do circuito da chave de fluxo de água pode ser visto na figura 2.12.

Figura 2.12: Esquema elétrico do circuito da chave de fluxo de água

Ele é composto por um circuito integrado LM2907 que funciona como um conversor de frequência para tensão. Um dispositivo especial formado por um disco de pontas nas quais existem pequenos ímãs, gira impulsionado pelo fluxo de água. Uma bobina colocada bem próxima deste disco, gera pequenos pulsos de tensão cada vez que uma das pontas do disco passa por ela. Desta maneira, produz-se um sinal cuja frequência dos pulsos é proporcional ao fluxo de água que passa pelo dispositivo. Este sinal é então enviado ao conversor LM2907 que transforma esta frequência em uma tensão contínua, cujo valor depende do fluxo de água e também da constante RC utilizada.

Um comparador interno ao LM2907 verifica se esta tensão está acima do valor de referência gerado pelo divisor de tensão formado pelos dois resistores de 5 Kohms. Caso ela seja maior, o comparador ativa o relé RL3, cujos contatos normalmente fechados estão ligados ao circuito que desarma o contator e, desta maneira, permite que a fonte seja ligada. Caso a tensão seja menor (fluxo insuficiente), o circuito desliga RL3, cujos contatos se fecham entre os pontos a e b do circuito de comando do contator, que então é desligado via RL4, interrompendo o funcionamento do laser.

Ajusta-se a constante RC de maneira que o fluxo mínimo permitido seja de 10 litros por minuto.

2.3 “Lay-Out” da fonte de alimentação do laser

Das figuras 2.13 e 2.14, podemos ter uma idéia de como ficou a fonte de alimentação do laser, depois de montada.

Figura 2.13: Visão frontal e traseira da fonte de alimentação

21

Nº	DENOMINAÇÕES
1	RACK
2	PLACA FRONTAL
3	AMPERÍMETRO
4	VOLTIMETRO
5	MEDIDOR PRESSÃO
6	HORIMETRO
7	LEDs INDICATIVOS
8	BOTÃO LIGA/DESLIGA
9	BOTÕES DE COMANDO
10	POTENCIÔMETRO
11	LÂMPADA SINALIZADORA
12	COMUTADOR C/ CHAVE
13	COMUTADOR C/ CHAVE
14	VENTILADORES
15	CONECTOR MUTIPOL.
16	TOMADA BLINDADA MPL.
17	TOMADA BLIND. TRIF. + GND
18	SAÍDA DE ÁGUA P/ LASER
19	RETOR DA ÁGUA DO LASER
20	SAÍDA DA ÁGUA
21	ENTRADA DA ÁGUA
22	FILTRO DE AR
23	ENTRADA DO TRIFÁS.

IFQSC - USP	
GRUPO DE ÓTICA 008	
Projeto	Escala
LÁSER DE ARGÔNIO	
Desenho	Folr
FONTE	
Desenho	Data
ROMÃO	08/10
Aprovado	Para

Nº	DENOMINAÇÕES
1	RESISTÊNCIA
2	"
3	CONECTOR
4	RESISTÊNCIA
5	"
6	BANCO TRANSISTORES SP
7	CONECTOR
8	FUSÍVEIS
9	VENTILADOR
10	MEDIDOR FLUXO D'ÁGUA
11	CONTATOR
12	VENTILADOR
13	REGULADOR CORRENTE
14	CONECTOR
15	CIRC. FLUXO D'ÁGUA
16	FONTE C.C.
17	TRAFO MONOFÁSICO
18	MEDIDOR TEMPERAT.
19	TRAFO TRIFÁSICO
20	HORÍMETRO
21	CIRCUITO PROTEÇÃO
22	CONECTOR
23	MEDIDOR PRESSÃO
24	AMPERÍMETRO
25	VOLTÍMETRO
26	CAPACITORES
27	RESISTÊNCIA
28	BANCO TRANSISTORES M
29	RESISTÊNCIA

FONTE VISTA POR CIMA C/O BANCO DE TRANSISTORES ABERTO

IFQSC - USP	
GRUPO DE OTICA 008/01	
Projeto	Escala
LASER DE ARGÔNIO	
Desenho	Folha
LAV-AUT DA FONTE	1,4
Projeto	Data
ROMÃO	06/03/89
Assinatura	

Figura 2.14: Fonte de alimentação vista de cima

Utilizamos um "rack" no qual montamos todos os componentes da fonte. Na figura 2.13 podemos ver o painel de controle com os medidores de corrente no tubo (3), e de tensão no banco mestre de transistores (4). À direita do medidor de corrente se encontra o medidor de pressão do gás (5) e o relógio que marca as horas de funcionamento da fonte (6). Podemos ver também os "LEDs" indicativos (7) sendo que os dois primeiros, da esquerda para a direita indicam os estado das fontes de baixa tensão (+5 Volts e +12 Volts) e os outros dois indicam o estado dos "interlocks" sendo que, quando tudo está correto, o terceiro "LED" (verde) acende, enquanto que se houver alguma falha detectada pelos "interlocks" o quarto "LED" (vermelho) é o que fica aceso. Abaixo dos "LEDs" indicativos estão os botões de liga e desliga do contator (8) tendo ao seu lado uma lâmpada sinalizadora (11) que acende quando o laser está ligado. Mais ao lado encontram-se 3 botões de comando (9) que são respectivamente, o botão de disparo do laser, o botão de acionamento da válvula VAL1 (enche o pré reservatório) e o botão de acionamento da válvula VAL2 (deixa passar o conteúdo do pré reservatório para o interior do tubo) do circuito de controle da pressão do gás. Abaixo dos botões de liga e desliga, encontra-se o potenciômetro de controle da corrente do laser (10) que aumenta ou diminui a mesma. Ao seu lado estão duas chaves com fechadura, que controlam o circuito de comando do contator (13) e o circuito de controle da pressão do gás (12). Estas chaves são utilizadas por motivos de segurança.

Na parte traseira da fonte, vemos os ventiladores (14) que ajudam a refrigerar o interior da mesma, o conector que leva os fios para o dispositivo que mede a pressão do tubo (15) o conector que leva os fios para o circuito de disparo e para o transformador do filamento (16), e o conector que leva a alimentação para o tubo do laser (17). Podemos ver também as conexões de entrada e saída de água e a entrada de alimentação da rede trifásica.

Na figura 2.14 podemos ver o contator (11), o autotransformador (19), os capacitores do filtro (26), os diodos retificadores (estão montados no banco mestre de transistores perto do conector) (7), o banco de transistores mestre (6) e escravo (28) montados no trocador de calor (está na posição deitada), as resistências de emissores (1,2,4,5,27,29), o circuito de "interlock" de fluxo de água (10,15), as fontes de baixa tensão (16), os fusíveis de entrada da rede (8), o circuito de "interlock" de temperatura (18), o circuito de desarme do contator (21) além de outros componentes da fonte.

2.4 Sistema de refrigeração

O laser utiliza água para refrigerar a fonte (banco de transistores) e o tubo de plasma, além de dois ventiladores para refrigerar, por convecção, outros componentes da mesma, tais como o autotransformador, o circuito de retificação e filtragem etc.

A figura 2.15 mostra o circuito de refrigeração de água. Como podemos observar, a água passa por um filtro (4) que retém partículas prejudiciais ao tubo, indo em seguida para um regulador de pressão (3) e um manômetro (2) que são utilizados para controlar a pressão da água (no nosso caso em 40 psi.). Após o manômetro, encontra-se uma válvula de esfera (1) que retém ou deixa passar a água para a fonte e o laser. Passando esta válvula, a água atravessa o trocador de calor sobre o qual está montado o banco de transistores (7) indo em seguida refrigerar o tubo de plasma (11) e o magneto (10). Após sair do tubo de plasma, a água passa pelo termistor e pelo medidor de fluxo que fazem parte dos "interlocks" da fonte.

Visando poder transportar o laser para lugares em que não exista água em quantidade e condições de refrigeração adequadas, montamos um sistema de refrigeração portátil

que pode ser facilmente transportado com o laser.

Este sistema pode ser visto na figura 2.16.

Ele é composto por uma bomba de recalque (1) que faz com que a água circule pelo laser, um trocador de calor (2) que é simplesmente um radiador de caminhão, um ventilador (3) para refrigerar o trocador de calor e um reservatório de água (4) de aproximadamente 15 litros formando um circuito fechado. O resto do circuito é o mesmo que foi descrito anteriormente.

Figura 2.15: Circuito de gás e refrigeração de água

Nº	DE NOMINAÇÕES
1	BOMBA DE REL
2	TROCADOR DE CALOR
3	VENTILADOR
4	RESERVATORIO
5	VALVULA DE ESFERA
6	MANÔMETRO
7	REGULADOR PRESSÃO
8	FILTRO
9	BANCO TRANSISTORES
10	MEDIDOR FLUXO ÁGUA
11	TERMISTOR
12	SOLENOIDE
13	TUBO DO LÁBER

Figura 2.16: Sistema de refrigeração de água portátil

Capítulo 3

Cavidade ressonante e tubo de plasma

3.1 Introdução

A cavidade ressonante de um laser, tem a função de armazenar a energia luminosa produzida pela emissão estimulada no tubo de plasma. Ela pode ser representada pela figura 3.1.

Figura 3.1: Cavidade ressonante (configuração em multilinhas)

No extremo esquerdo da cavidade, encontra-se um espelho de alta refletividade (muito próxima de 100%) enquanto que no outro lado existe outro espelho, chamado espelho de saída, cuja refletividade é um pouco menor que 100%. Esta pequena quantidade de energia luminosa que não é refletida pelo espelho de saída, é a que forma o feixe de luz que sai do laser. Esta luz transmitida, representa uma perda de energia da cavidade, mas se o ganho no tubo for superior a esta perda, haverá a ação laser.

Os espelhos da cavidade são feitos pela deposição de “coatings” (filmes finos) de materiais dielétricos em uma superfície de quartzo ou vidro sendo que as características de transmissão e refletividade são controladas por este processo de deposição.

A cavidade da figura 3.1 está configurada como multilinhas onde o laser opera com várias linhas simultaneamente, em geral, um grupo de linhas cujos comprimentos de onda estão próximos entre si. O desempenho desta configuração é determinado pela resposta, em função do comprimento de onda, dada pelos espelhos da cavidade. Todas as linhas cujo ganho, para aquela configuração, seja suficiente para se sobrepor às perdas da cavidade, vão oscilar no interior da mesma.

Existem outros tipos de configuração para a cavidade ressonante, tais como: configuração em linha única e configuração em frequência única.

Na figura 3.2 podemos ver uma cavidade configurada para linha única. Neste caso, um prisma é colocado no interior da cavidade e o espelho de alta refletividade é deslocado para fora do eixo central da mesma. Desta maneira, a luz que passa pelo prisma é dispersada de tal modo que somente uma pequena banda de comprimentos de onda podem atravessar o tubo, bater no espelho de saída e retornar de maneira a ficar oscilando dentro da mesma. Isto faz com que seja possível separar-se as linhas do íon, que serão utilizadas como laser.

Figura 3.2: Cavidade ressonante (configuração em linha única)

Na figura 3.3 podemos observar uma cavidade do tipo frequência única. Neste tipo de configuração, coloca-se no interior da cavidade, além dos componentes da cavidade em linha única, um "etalon" que é um dispositivo formado por duas lâminas paralelas e parcialmente refletoras, que atua como um filtro de transmissão de comprimentos de onda. Estas propriedades de filtragem, são utilizadas para remover os modos longitudinais não desejáveis, fazendo com que o laser oscile em um modo apenas.

Figura 3.3: Cavidade ressonante (configuração em frequência única)

No nosso laser utilizamos apenas a cavidade na configuração em multilinhas.

3.2 Componentes da cavidade ressonante

Na figura 3.4 podemos observar como a cavidade foi montada.

O tubo de plasma é projetado de maneira a conter uma descarga elétrica de alta densidade, conduzindo eficientemente o calor gerado pela mesma. No nosso caso a potência

dissipada no tubo pode chegar a valores de até 12 Kwatts com uma temperatura interna do tubo da ordem de 1000 °C. Além disso, ele deve ser capaz de manter vácuo no seu interior com uma pressão de gás uniforme pelo mesmo. Outro ponto é que a sua parede externa deve ser isolante.

Para se conseguir estas propriedades, o tubo de plasma utiliza um tubo de alumina (5), escolhido por possuir boa resistência mecânica, isolamento elétrica e boa condutividade térmica, no interior do qual estão soldados uma grande quantidade de discos metálicos (7). Estes discos são feitos de maneira que a parte central do mesmo é de tungstênio, um material bastante resistente à temperatura e impacto das partículas de gás ionizado, e a parte externa de cobre, um material de condutividade térmica elevada. A função destes discos é a de conduzir o calor gerado pela descarga elétrica para a superfície da cerâmica onde ele será retirado pela água que está refrigerando o sistema. Eles possuem um orifício no centro, pelo qual vai ser transmitida a descarga elétrica e luminosa.

Em um dos lados do tubo está o catodo que possui um filamento (4) que produz elétrons responsáveis pela descarga elétrica.

A potência ótica do laser depende muito do alinhamento ótico da cavidade. Para uma potência máxima, é necessário que os dois espelhos (1) estejam precisamente alinhados e que o tubo de plasma esteja precisamente centrado no eixo definido pelos dois espelhos.

A estrutura principal da cavidade é formada por 3 pares de barras de quartzo (8), utilizadas por apresentar baixo coeficiente de dilatação térmico, em cujas extremidades estão conectados os suportes dos espelhos (11) e o conjunto de ajuste dos mesmos (10) ambos feitos de alumínio.

Esta estrutura e o tubo estão montados sobre uma base de alumínio através de suportes (12,13) que prendem os mesmos.

Com esta estrutura é possível fazer o alinhamento ótico de maneira fácil, ajustando-se os espelhos através dos conjuntos de ajuste.

Nº	DENOMINAÇÕES	8	BARRA ESTABILIZADORA
1	ESPELHOS	9	SAÍDA DE ÁGUA
2	SUORTES TERMINAIS	10	CONJUNTO DE AJUSTE
3	JANELAS	11	SUORTE DO ESPELHO
4	ELETRODO DO FILAMENTO	12	SUORTE DO TUBO
5	TUBO DE ALUMINA	13	SUORTES CENTRAIS
6	ENTRADA DE ÁGUA	14	BASE
7	TROCADOR DE CALOR

Figura 3.4: Componentes da cavidade ressonante

Capítulo 4

Conclusão

O objetivo principal do trabalho, que era o de se dominar a tecnologia da construção de todo um sistema envolvendo partes mecânicas, elétricas e óticas, que pudesse por em funcionamento tubos de laser iônicos, foi totalmente atingido. A segunda etapa do trabalho que era de se construir o tubo propriamente dito, foi suspensa por falta de verba apesar de estar em estado avançado de testes.

A preocupação principal na construção do laser, foi de se construir o sistema da maneira mais simples possível, utilizando recursos e materiais facilmente encontrados no mercado nacional. Procuramos colocar os principais circuitos de proteção e controle para o laser, de forma a obter um sistema confiável e seguro.

Para testarmos o conjunto, utilizamos um tubo de criptônio produzido pela Coherent e obtivemos bons resultados. A potência obtida foi de 1 Watt para uma corrente de 30 Amperes, o que superou o valor fornecido pelo fabricante do tubo que era de 750 miliwatts. O alinhamento da cavidade mostrou-se bastante estável, com a necessidade de pequenas correções, até o sistema atingir o equilíbrio térmico. A partir de então, os ajustes se tornam menos frequentes, com a potência ótica permanecendo estável por um longo período de tempo (da ordem de algumas horas).

A fonte de alimentação apresentou bom desempenho, com boa estabilidade em corrente e confiabilidade nos circuitos de proteção.

O circuito de refrigeração portátil também apresentou ótimos resultados com a temperatura da água do reservatório mantendo-se constante (em torno de 30 °C.) por períodos de várias horas.

O laser foi testado e utilizado em pesquisas na área de espectroscopia Raman em amostras de materiais semicondutores tendo apresentado bons resultados e preenchendo as necessidades dos experimentos.

Além disso, tivemos a oportunidade de expor o sistema em vários eventos sendo que o mesmo funcionou muito bem em condições adversas, tais como: alta temperatura ambiente, falta de refrigeração, alta umidade e sujeira do ar, inadequadas condições de transporte com vários choques e quedas, o que foi um duro teste para os componentes óticos, mecânicos e elétricos do laser.

Outro ponto importante deste trabalho, foi o domínio da tecnologia que envolve um Laser Iônico, o que resultou na criação de mão de obra especializada nesta área, e que já teve oportunidade de atuar na manutenção e reparos de lasers em outros centros, tais como os Lasers de Argônio oftalmológicos utilizados no Hospital São Geraldo em Minas Gerais e no Hospital Universitário em São Paulo.

Parte II

Sistema de aquisição de dados baseado em microcomputador IBM-PC (XT/AT)

Capítulo 5

Introdução Geral

Os microcomputadores vem sofrendo um grande desenvolvimento nos últimos anos. O aumento da capacidade de processamento e de memória, a grande quantidade de “software” existente, a redução de seu custo a níveis baixos e acessíveis aliado a sua versatilidade e facilidade de uso, vem transformando-o em uma importante ferramenta de auxílio no desenvolvimento das mais diferentes atividades. Hoje em dia, é muito comum encontrarmos microcomputadores em indústrias, escritórios, escolas, hospitais, centros de pesquisa etc, desempenhando as mais diversas funções.

Em centros de pesquisa e ensino, o microcomputador apresenta uma grande aplicação na automação e controle de experimentos em laboratórios. Com ele, as experiências podem ser realizadas de uma forma muito mais simples e confiável. Os dados coletados podem ser armazenados em arquivos, formando um banco de dados relativo ao experimento, e uma análise detalhada posterior pode ser feita através de processamento matemático e gráfico dos mesmos pelo próprio micro (existem excelentes “softwares” matemáticos e gráficos no mercado) ou, caso seja necessário, pode se utilizar um computador de grande porte (os dados podem ser transportados facilmente para outros computadores). Os instrumentos de laboratório hoje em dia (“Lock-in”, Osciloscópio, Eletrometro, Monocromador, Laser etc) possuem interface de comunicação (RS-232 ou IEEE-488) e podem ser controlados via microcomputador. Devido ao seu tamanho reduzido, ele pode ser facilmente transportado dentro dos laboratórios e também apresenta a vantagem de que a maioria dos pesquisadores, professores, alunos e técnicos, hoje em dia, sabem como programar e utilizar um microcomputador. Outra característica importante é a versatilidade pois o micro pode ser facilmente reprogramado podendo controlar diferentes tipos de experimentos e, quando não esta sendo utilizado no controle de experiências, pode ser usado em outras atividades (edição e impressão de relatórios, confecção de programas, elaboração de planilhas e banco de dados etc.).

Visando utilizar estas vantagens, construímos um sistema cuja função é a de coletar dados e controlar uma grande variedade de experiências realizadas em nossos laboratórios. Este sistema apresenta como unidade principal de controle e processamento, um microcomputador da linha IBM-PC/XT ou AT, escolhido por ser um micro confiável, versátil, com boa capacidade de processamento, preço relativamente baixo e por ser um dos microcomputadores mais utilizados ultimamente.

Ele se comunica com os experimentos através de uma placa de aquisição de dados que possui conversores D/A e A/D, “Sample-Holds”, “Multiplex” analógicos, portas digitais, “Timers” e contadores programáveis, enfim, elementos necessários para se realizar a interface

entre o meio externo e o microcomputador. Esta placa foi projetada de forma a ser simples, barata, versátil, e atender as nossas necessidades principais.

Com o intuito de se coletar sinais periódicos com tempo de duração pequeno (centenas de nanosegundos), construímos um sistema que utiliza placas geradoras de "delay" e integradores de "gate" comerciais e que são controlados pelo micro formando uma espécie de "Box-Car".

O "software" de controle para a placa de interface foi escrito em linguagem "Assembler" do 8088 com a construção de uma biblioteca de subrotinas que podem ser chamadas através de linguagens de alto nível tais como Pascal, Fortran, C etc. Desta maneira, os detalhes de controle da interface tornam-se transparentes ao programador que não precisa conhecer o funcionamento dos dispositivos da mesma. Isto possibilita que qualquer usuário do sistema com conhecimento de programação em uma linguagem de alto nível, faça o seu próprio programa de controle para a experiência desejada.

Afim de se aplicar o sistema, foi feito um "software" de controle, em Fortran, para diferentes tipos de experimentos em nossos laboratórios. Este "software" possibilita coleta de dados, controle da experiência, análise gráfica e matemática dos dados obtidos e a confecção de relatórios relativos aos experimentos.

Nesta parte do trabalho descreveremos a construção da placa de interface, o módulo para aquisição de pulsos e o "software" de controle, mostrando o uso do sistema em vários tipos de experiências.

Capítulo 6

Placa de interface

6.1 Introdução

A fim de podermos interfacear o mundo externo ao microcomputador para tornar possível a sua comunicação com os dispositivos utilizados nos experimentos, desenvolvemos uma placa de interface simples, barata, versátil e que pudesse ser utilizada na maioria das experiências realizadas em nossos laboratórios. Neste capítulo, veremos como ela foi construída, seus principais componentes e características.

6.2 Barramentos do microprocessador 8088

O microcomputador IBM-PC/XT utiliza o microprocessador 8088 da Intel cuja estrutura de barramentos deve ser conhecida para se poder projetar uma interface que permita a conexão de dispositivos externos com o mesmo.

O 8088 apresenta um sistema de “bus” triplo ou seja, três barramentos principais de sinais. O primeiro é o barramento de endereços, que tem a função de endereçar memória e dispositivos de entrada/saída. O segundo, é o barramento de dados, que possibilita um caminho pelo qual os dados podem transitar entre o microprocessador e a memória ou dispositivos de entrada/saída. O último, é o barramento de controle, que possui linhas de sinais responsáveis pelo controle do fluxo de informação através do barramento de dados.

O barramento de endereços contém 20 linhas que possibilitam endereçar 1 “megabyte” de memória. Todas estas linhas ficam ativas durante ciclos de endereçamento em memória, enquanto que apenas 16 ficam ativas durante ciclos de endereçamento em dispositivos de entrada e saída. No IBM-PC/XT, somente as 10 linhas inferiores daquelas 16 são decodificadas durante um ciclo de entrada/saída, o que limita este espaço a valores entre 0000H e 03FFH (1K “byte”).

O barramento de dados possui 8 linhas bidirecionais que são conectadas aos “chips” do microcomputador tais como memória e dispositivos de entrada/saída sendo responsáveis por transportar os dados entre os componentes do sistema.

O barramento de controle inclui sinais que controlam o fluxo de dados entre os dispositivos do microcomputador e correspondem ao tipo de ciclo que está sendo executado nos barramentos. Ele possui 4 linhas principais: *MEMR*, *MEMW*, *IOR*, *IOW*, além de outras.

Capítulo 6

Placa de interface

6.1 Introdução

A fim de podermos interfacear o mundo externo ao microcomputador para tornar possível a sua comunicação com os dispositivos utilizados nos experimentos, desenvolvemos uma placa de interface simples, barata, versátil e que pudesse ser utilizada na maioria das experiências realizadas em nossos laboratórios. Neste capítulo, veremos como ela foi construída, seus principais componentes e características.

6.2 Barramentos do microprocessador 8088

O microcomputador IBM-PC/XT utiliza o microprocessador 8088 da Intel cuja estrutura de barramentos deve ser conhecida para se poder projetar uma interface que permita a conexão de dispositivos externos com o mesmo.

O 8088 apresenta um sistema de “bus” triplo ou seja, três barramentos principais de sinais. O primeiro é o barramento de endereços, que tem a função de endereçar memória e dispositivos de entrada/saída. O segundo, é o barramento de dados, que possibilita um caminho pelo qual os dados podem transitar entre o microprocessador e a memória ou dispositivos de entrada/saída. O último, é o barramento de controle, que possui linhas de sinais responsáveis pelo controle do fluxo de informação através do barramento de dados.

O barramento de endereços contém 20 linhas que possibilitam endereçar 1 “megabyte” de memória. Todas estas linhas ficam ativas durante ciclos de endereçamento em memória, enquanto que apenas 16 ficam ativas durante ciclos de endereçamento em dispositivos de entrada e saída. No IBM-PC/XT, somente as 10 linhas inferiores daquelas 16 são decodificadas durante um ciclo de entrada/saída, o que limita este espaço a valores entre 0000H e 03FFH (1K “byte”).

O barramento de dados possui 8 linhas bidirecionais que são conectadas aos “chips” do microcomputador tais como memória e dispositivos de entrada/saída sendo responsáveis por transportar os dados entre os componentes do sistema.

O barramento de controle inclui sinais que controlam o fluxo de dados entre os dispositivos do microcomputador e correspondem ao tipo de ciclo que está sendo executado nos barramentos. Ele possui 4 linhas principais: *MEMR*, *MEMW*, *IOR*, *IOW*, além de outras.

6.3 O “Slot” do IBM-PC/XT

O IBM-PC/XT apresenta em sua placa mãe, conectores que são utilizados para se acoplar outras placas que não fazem parte do “hardware” do micro. A esses conectores, dá-se o nome de “Slots”. Além dos barramentos do microprocessador, os “Slots” fornecem outros sinais tais como: sinais de interrupção, acesso direto à memória, tensões de alimentação, etc.

Os sinais presentes no “Slot” do IBM-PC podem ser observados na figura 6.1 [2]. Eles podem ser classificados pela função que realizam, sendo divididos nos seguintes grupos:

Grupo de endereços

Linhas de saída A0-A19. Formam o barramento de endereços.

Grupo de dados

Linhas bidirecionais D0-D7. Formam o barramento de dados.

Grupo de controle

Apresentam as seguintes linhas de controle:

$\overline{MEMR}$, linha de saída, ativa em baixo quando de um ciclo de leitura em memória.

$\overline{MEMW}$, linha de saída, ativa em baixo quando de um ciclo de escrita em memória.

$\overline{IOR}$, linha de saída, ativa em baixo quando de um ciclo de leitura em dispositivo de entrada/saída.

$\overline{IOW}$, linha de saída, ativa em baixo quando de um ciclo de escrita em dispositivo de entrada/saída.

ALE , linha de saída, ativa em alto, que indica o começo de um ciclo de “bus” do 8088.

AEN , linha de saída, ativa em alto, que indica a ocorrência de um ciclo de DMA.

$I/O\ CH\ CK$ linha de entrada, ativa em baixo, utilizada para informar o 8088 que existe um erro de paridade na memória ou em dispositivos de entrada/saída.

$I/O\ CH\ RDY$ linha de entrada, ativa em baixo, utilizada para a inserção de “wait states” a qual estende o comprimento do ciclo de “bus” do microprocessador para memórias e dispositivos de entrada/saída lentos.

$RESET$ linha de saída, ativa em alto durante o momento em que o micro é ligado. Pode ser utilizada para inicializar os dispositivos de entrada/saída.

Grupo de DMA

Consiste nos seguintes sinais:

$DRQ1 - DRQ3$. São linhas de entrada, utilizadas para requisição de operação de DMA pelos dispositivos periféricos. Uma linha DRQ deve ser mantida em nível alto, até que a correspondente linha $\overline{DACK}$ vá para nível baixo significando que o controlador de DMA reconheceu o pedido de operação.

$\overline{DACK0} - \overline{DACK3}$. São linhas de saída, ativas em baixo utilizadas como linhas de reconhecimento para pedidos de operação de DMA realizados pelos sinais $DRQ1 - DRQ3$. Apesar de não existir a linha $DRQ0$, a linha $\overline{DACK0}$ é útil pois ela indica que está sendo realizado um ciclo de refrescamento em memória.

decodificador tem a função de monitorar o barramento de endereços e possivelmente outras linhas, gerando um sinal de habilitação para o dispositivo quando o mesmo é endereçado.

Para isto, é preciso definir-se quais os endereços dos dispositivos e também, se eles vão ser colocados no espaço de memória ou no espaço de entrada/saída do microcomputador.

Em nosso caso, optamos por endereçar os dispositivos na região de entrada/saída.

6.4.1 Região de endereços de entrada/saída

Como já dissemos, o 8088 é capaz de endereçar 64K dispositivos de entrada/saída através de 16 linhas de endereços (A0-A15) sendo que apenas as 10 linhas inferiores (A0-A9) são decodificadas. Isto limita a número de endereços possíveis a 1024. A tabela 6.1 [2] mostra o mapa de endereços de entrada/saída do IBM-PC/XT.

Endereço E/S (Hex)	Funtion
200-20F	Controle de Jogos
210-217	Unidade de Expansão
220-24F	Reservado
278-27F	Reservado
2F0-2F7	Reservado
2F8-2FF	Comunicações assíncronas (secundária)
300-31F	Placa-protótipo
320-32F	Dico Rígido
378-37F	Impressora
380-38C	Comunicações SDLC
380-389	Comunicações síncronas binárias (secundária)
3A0-3A9	Comunicações síncronas binárias (primária)
3B0-3BF	Impressora/Monitor monocromático IBM
3C0-3CF	Reservado
3D0-3DF	Cor/Gráficos
3E0-3F7	Reservado
3F0-3F7	Disquete
3F8-3FF	Comunicações assíncronas (secundária)

Tabela 6.1: Mapa de endereços de entrada/saída do IBM-PC/XT

Como podemos ver, a região de 300H à 31FH está reservada para placas protótipos. Foi neste espaço de endereços, que colocamos os dispositivos da nossa placa de aquisição de dados.

Outro ponto importante no projeto do decodificador, é o de se conhecer o diagrama de tempos dos ciclos de leitura e escrita em dispositivos de entrada/saída (E/S).

Os diagramas de tempos dos ciclos de escrita e leitura de E/S podem ser vistos nas figuras 6.2 e 6.3 respectivamente.

O esquema elétrico do decodificador da placa de interface pode ser visto na figura 6.4. Ele apresenta dois circuitos TTL 74245 (“transceivers three state”) onde o primeiro funciona como “buffer” para as linhas de endereço e controle que estão sendo utilizadas na placa e o segundo atua fazendo a isolação entre o barramento de dados do micro e o barramento de

Figura 6.2: Diagrama de tempos do ciclo de escrita em dispositivos de E/S

Figura 6.3: Diagrama de tempos do ciclo de leitura em dispositivos de E/S

dados da placa. Além destes, existem mais três circuitos TTL, que fazem a decodificação das linhas de endereço A2-A9, junto com os sinais de $\overline{IORD}$, $\overline{IOWR}$ e AEN .

O sinal de AEN é utilizado para se evitar um acesso errado aos dispositivos de E/S no caso de um ciclo de DMA, enquanto que os sinais $\overline{IORD}$ e $\overline{IOWR}$ são utilizados para ativar o decodificador nos ciclos de E/S. Assim, caso o endereço esteja na região de decodificação, o sinal AEN esteja em nível baixo (não é um ciclo de DMA) e um dos sinais $\overline{IORD}$ ou $\overline{IOWR}$ esteja em nível lógico baixo (caracteriza uma instrução de E/S), o circuito integrado 74245 que está controlando o barramento de dados, é habilitado (sai do estado "three state") e permite a comunicação de dados entre o microcomputador e os dispositivos da interface cuja direção de fluxo é comandada pelo sinal $\overline{IORD}$ que está ligado ao referido integrado. Caso seja uma instrução de leitura, o sentido será da placa para o micro e, caso seja uma instrução de escrita, o sentido será do micro para a placa.

Ao mesmo tempo em que o duto de dados da placa é liberado para se comunicar com o micro, um sinal de habilitação ativo em baixo, aparece em uma das oito saídas do circuito integrado 74138 conforme o dispositivo que está sendo endereçado. A tabela 6.2 mostra quais os sinais habilitados em função do endereço utilizado pelas instruções de E/S.

Endereço	Sinal Habilitado
300H-303H	S0
304H-307H	S1
308H-30BH	S2
30CH-30FH	S3
310H-313H	S4
314H-317H	S5
318H-31BH	S6
31CH-31FH	S7

Tabela 6.2: Sinais de habilitação da placa de interface

Como podemos observar, os endereços são decodificados em intervalos de 4. Isto é feito devido ao fato de que são utilizados dispositivos, tais como o 8255, que necessitam de mais do que um endereço.

6.5 Dispositivos utilizados na placa de aquisição de dados

Os principais dispositivos utilizados na placa de aquisição de dados são: 8255 (portas paralelas programáveis), 8253 ("timer"/contador programável), LM1408 (conversor D/A), AD582 ("sample-holds"), AD7511 (chave analógica), ADC80 (conversor A/D).

6.5.1 8255 portas paralelas programáveis

O 8255 [3] é um circuito integrado bastante conhecido, produzido pela Intel e que possui 3 portas (oito bits cada) de E/S programáveis. Ele é utilizado para controlar os conversores D/A o conversor A/D, o "sample-hold" e a chave analógica. Além disso, fornece

Figura 6.4: Esquema elétrico do decodificador da placa de interface

Figura 6.5: Esquema elétrico de ligação do circuito integrado 8255

saídas e entradas digitais que são utilizadas no controle de motores de passo, no controle da “gate” produzida pelo gerador de “delay” digital (módulo para aquisição pulsada), no controle dos integradores de “gate”, através dos sinais de “reset” etc. O esquema elétrico de ligação do 8255 pode ser observado na figura 6.5.

6.5.2 Conversores D/A

São utilizados 2 conversores D/A LM1408 [4] de 8 bits. Eles são acoplados respectivamente aos portos A e B de um dos 8255 utilizados na placa. Eles estão configurados como unipolares e o fundo de escala pode ser ajustado em até 12 Vdc através de um potenciômetro que controla o ganho do mesmo. É possível também ajustar-se o nível DC de saída, através de um potenciômetro que regula a tensão de “offset” do amplificador de saída.

O esquema elétrico dos conversores D/A pode ser observado na figura 6.6

Como o nome diz, eles convertem sinais digitais (números vindos do microcomputador) em sinais analógicos proporcionais (níveis de tensão) e podem ser utilizados para varrer a frequência de lasers de diodo em experimentos de espectroscopia; para alterar a potência de lasers de argônio em experimentos de biestabilidade ótica; para gerar formas de onda (triangular, dente de serra, etc.) que irão excitar amplificadores de alta tensão em experimentos que utilizam cerâmicas piezoelétricas (pzt); para controlar a posição temporal da

Figura 6.6: Esquema elétrico de ligação dos conversores D/A

“gate” produzida pelo gerador de “delay” analógico (módulo de aquisição pulsada), enfim, comandar aparelhos que sejam controlados por tensão.

6.5.3 Módulo de conversão analógico/digital

Responsável pela conversão de sinais analógicos em sinais digitais, é utilizado praticamente em todos os experimentos controlados pelo sistema de aquisição de dados. É ele quem converte os sinais vindos de fotomultiplicadoras, termopares, fotodiodos, amplificadores “lock-in” etc, para que o micro possa processá-los. O esquema elétrico deste módulo, pode ser observado na figura 6.7, apresentando os seguintes componentes:

Chave analógica

Utilizamos o circuito integrado da Analog Devices, AD7511 [5] que consiste em um conjunto de 4 chaves analógicas que são controladas independentemente, através de sinais digitais. Com este circuito, podemos chavear 4 canais de entrada analógica para o conversor A/D.

Ela é comandada pelas saídas digitais do circuito integrado 74139 [6] que, por sua vez, é controlado por linhas do porto C do 8255. Este c.i. decodifica 2 linhas do 8255 em 4 sinais que são usados para habilitar a chave analógica. Além disso, ele decodifica o sinal $\overline{S3}$ do decodificador de endereços da placa em 4 novos sinais de endereçamento (através de A0 e A1) que podem ser utilizados para outros dispositivos de entrada/saída.

Amplificador “sample-hold”

Ligado logo após a chave analógica, é utilizado para se fazer uma amostragem do sinal e reter o seu valor até que o conversor A/D termine de fazer a conversão do mesmo.

Utilizamos o c.i. AD582 da Analog Devices [5] que é um amplificador “sample-hold” de baixo custo e alta performance. Ele é comandado por uma linha do 8255 que controla as funções de amostragem (“sample”) e retenção (“hold”).

Conversor analógico/digital

É o dispositivo que converte os sinais analógicos em números proporcionais, para serem processados pelo microcomputador.

Utilizamos o conversor AD ADC80 da Analog Devices, de 12 bits, tempo de conversão de 25 μ s que pode ser configurado com fundo de escala de 0 à +5 Volts (unipolar), 0 à +10 Volts (unipolar), -5 a +5 Volts (bipolar) e -10 a +10 Volts (bipolar).

Como ele não apresenta interface de barramento para microprocessador, utilizamos o 8255 para controlar as suas funções. Desta maneira, o porto A do 8255 faz a leitura dos 8 bits menos significativos enquanto que o porto B faz a leitura do 4 bits mais significativos e também da linha de “status” do conversor (indica término de conversão). A linha menos significativa do porto C, é responsável pelo pulso que ativa o conversor A/D, iniciando o processo de conversão.

6.5.4 “Timer”/contador programável

Utilizamos 2 circuitos integrados 8253 da Intel [3]. Este integrado é um “timer”/contador programável e que é utilizado para se gerar base de tempo, e contar eventos. A sua

Figura 6.7: Esquema elétrico de ligação do módulo de conversão A/D

principal aplicação é em experimentos de contagem de fótons. Ele possui 3 contadores de 16 bits que podem ser programados de diversas maneiras. O esquema elétrico destes dispositivos podem ser observados na figura 6.8.

No nosso caso, utilizamos dois contadores de um dos 8253, para gerar bases de tempo programáveis a partir de um sinal de "clock". Este sinal de "clock" é produzido através da divisão do sinal *OSC* (presente no "slot") pelo circuito integrado TTL 74161 (contador binário de 4 bits).

Os outros 4 contadores são utilizados para contagem de pulsos padrão TTL (contador de fótons) permitindo-se a contagem de dois canais com 32 bits cada.

Figura 6.8: Esquema elétrico de ligação dos circuitos integrados 8253-5

Capítulo 7

Módulo para aquisição de pulsos

7.1 Introdução

Existem, em nossos laboratórios, muitos experimentos onde o sinal de interesse é um pulso de curta duração que se repete no tempo (periódico), por exemplo, quando utiliza-se o Laser de YAG (pulsado) em medidas de tempo de vida do decaimento radiativo e espectroscopia ótica de cristais. Nestes casos, é necessário um circuito especial para se levantar a forma dos pulsos uma vez que o tempo de duração dos mesmos é, na maioria das vezes, bem menor que o tempo de conversão do conversor A/D. Para solucionar este problema, desenvolvemos um módulo de aquisição que utiliza placas geradoras de “delay” e placas de integradores de “gate”. Este módulo é controlado pelo microcomputador e funciona como uma espécie de “Box-Car Integrator”.

Neste capítulo, descreveremos as suas características e detalhes de funcionamento.

7.2 Componentes do Módulo

O módulo foi montado em um “Rack” sobre um carrinho onde também esta o microcomputador de maneira a poder se transportar o sistema de forma prática e fácil. Ele pode ser representado pelo diagrama de blocos da figura 7.1 e apresenta os seguintes componentes principais: uma fonte de alimentação, uma placa geradora de sinais de sincronismo, uma placa geradora de “delay” modelo analógica, uma placa geradora de “delay” modelo digital e finalmente duas placas de integradores de gate. A seguir, faremos uma descrição mais detalhada destes componentes do módulo.

7.2.1 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação tem a função de gerar as tensões necessárias aos demais componentes do módulo. Ela foi montada em uma placa de circuito impresso que pode ser facilmente conectada ao “ Rack ” em que se encontra o sistema e fornece as seguintes tensões : +15 Volts (2 Amps.), -15 Volts (2 Amps.) e +5 Volts (3 Amps.).

Como podemos ver no esquema elétrico que se encontra na figura 7.2, a fonte de +5 Volts utiliza o circuito integrado LM 323 como regulador de tensão e pode fornecer até 3 Ampéres de corrente.

As fontes de +15 Volts e -15 Volts utilizam o regulador de tensão LM 723 com o transistor 2N3055 como “buster” de corrente e com limitação de 2 Ampéres. Todos eles são

Figura 7.1: Diagrama de blocos do módulo de aquisição pulsada

circuitos simples e conhecidos podendo ser facilmente encontrados na literatura técnica.

Figura 7.2: Esquema elétrico da fonte de alimentação do módulo

7.2.2 Placa de sincronismo

É também uma placa de circuito impresso conectável ao "Rack" e tem a função de gerar sinais de sincronismo para o sistema, a saber: sinal de disparo para as placas geradoras de "delay" e o sinal de aviso de término de integração para o microcomputador.

Como podemos ver no esquema elétrico da figura 7.3, o sinal de "trigger" que vem do laser ou de outro dispositivo experimental passa por um diodo zener, o qual tem a função de limitar a sua tensão em 5.1 Volts, de maneira a não danificar os componentes (circuitos TTL) que se encontram na placa. Isto é necessário pois o sinal de "trigger" do laser de YAG, é um pulso cuja a tensão é da ordem de 30 Volts. A partir daí, este sinal passa por uma chave que seleciona se o mesmo vai ser usado diretamente como sinal de disparo para as placas geradoras de "delay", ou se o mesmo vai sofrer um atraso que é dado pelo circuito monoestável 74LS121 (a). Este atraso é utilizado quando o pulso a ser adquirido ocorre em um tempo relativamente longo (da ordem de milisegundos) após o sinal de "trigger". Desta maneira o sinal de disparo que irá acionar as placas geradoras de "delay" pode ser gerado de duas maneiras: direto ou atrasado.

Outra função desta placa é produzir um sinal de aviso para o micro, que indica que o integrador de "gate" terminou de fazer uma integração. Isto é realizado da seguinte forma: o sinal de "gate" que é utilizado pelos integradores, vai para uma chave que seleciona qual será o integrador de "gate" que irá gerar o sinal de aviso (o usuário deve utilizar aquele cuja "gate" esteja ocorrendo por último). A partir daí, ele vai para o C.I. 74LS121 (b) que é um monoestável ativo a bordo de subida e que irá produzir um pulso de largura variável para acionar um "flip-flop" tipo D (C.I. 74LS74) produzindo então, um sinal de aviso ativo em 1 (5 Volts) em um espaço de tempo um pouco após a subida do sinal de "gate". Este sinal de aviso indica para o micro que uma integração acabou de ser realizada.

Quando os integradores recebem o sinal de "reset" do microcomputador, para que uma nova integração seja feita, o pino de "clear" do "flip - flop" é acionado produzindo um 0 (0 Volts) como sinal de aviso, indicando que o sistema está realizando uma nova integração.

Figura 7.3: Esquema elétrico da placa de sincronismo do módulo

7.2.3 Placas geradoras de “delay”

Produzidas pela Evans Associates, estas placas são utilizadas para gerar a “gate” de controle para as placas dos integradores de “gate”. A partir de um pulso de disparo (pulso TTL) elas geram três sinais de saída que podem ser vistos na figura 7.4. O primeiro sinal é chamado de REF e é um pulso que apresenta um intervalo de tempo t_0 fixo a partir do sinal de disparo. O outro sinal, chamado DEL, é um pulso produzido após um intervalo de tempo t_d que pode ser programado externamente. O terceiro e último, é o sinal chamado de GT que é um pulso cujo início coincide com o começo do sinal de REF e o fim coincide com o começo do sinal de DEL , portanto a sua largura corresponde ao tempo t_d . As larguras dos pulsos de REF (RW) e de DEL (DW) são independentemente ajustáveis através de potenciômetros existentes na placa.

Neste sistema, utilizamos dois modelos de geradores de “delay”: o modelo 4141-1 [7] (analógico) e o modelo 4145-2 [8] (digital). Eles produzem os mesmos tipos de sinais mostrados na figura 7.4 com a diferença de que os tempos t_0 , t_d , RW e TW apresentam valores diferentes e, o que é principal, o tempo t_d no modelo analógico é programado via potenciômetro existente na placa ou através de sinal analógico aplicado à sua entrada de controle, enquanto que no modelo digital, t_d é programado através de um sinal digital aplicado ao mesmo.

A tabela 7.1 mostra quais as principais características dos dois modelos utilizados.

MODELO		4141-1	4145-2
TIPO DE CONTROLE		Voltagem	Digital
TEMPO t_0		500 ns.	450 ns.
TEMPO t_d		0 até 10 μ s.	0 ate 999,99 μ s.
INCREMENTO DE TEMPO MÍNIMO		< 1ns	10 ns
ENTRADA DE DISPARO		Tipo TTL bordo de subida ou descida	
ENTRADA DE PROGRAMAÇÃO		0 até 10 Volts	5 décadas em código BCD
SAÍDAS		pulsos tipo TTL	
TEMPOS DW E RW		0,1 até 1,0 μ s	20 até 100 ns
MÁXIMA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO	+15 Volts	250 mA	100 mA
	-15 Volts	50 mA	50 mA
	+5 Volts	-	660 mA

Tabela 7.1: Características principais dos modelos 4141-1 e 4145-2

Os sinais que irão funcionar como “gate” para os integradores, podem ser tanto o sinal de DEL como o sinal de GT podendo ser selecionados através de chaves conforme a aplicação. No modelo analógico, o tempo t_d é controlado por um dos conversores D/A existentes na placa de interface conectada ao microcomputador enquanto que no modelo digital ele é controlado através de uma palavra digital vinda de um dos circuitos integrados 8255 também localizado na interface do micro. Desta maneira o microcomputador controla a posição da “gate”, caso o sinal de DEL esteja sendo utilizado, ou a largura da “gate”, caso o sinal de GT esteja sendo utilizado.

Figura 7.4: Diagrama dos pulsos produzidos pelas placas geradoras de "delay"

7.2.4 Placas de integradores de "gate"

São também produzidas pela Evans Associates e como o próprio nome diz, são placas que integram um determinado sinal durante o intervalo de tempo determinado pela "gate" de controle.

A partir do diagrama de blocos da figura 7.5 podemos entender melhor o funcionamento desta placa. O sinal de "gate" entra em um circuito "schmitt trigger" (aumenta imunidade a ruído) o qual aciona uma chave analógica que conecta a saída do amplificador de ganho unitário, onde está ligado o sinal de entrada a ser amostrado, à um circuito integrador cuja constante de tempo é dada pelo resistor R e pelo capacitor C . Além desta entrada, existem outras duas que são a D_1 e a D_2 . Estas entradas são independentes entre si e podem ser usadas para correção de linha de base, realimentação e correção de "offset". O circuito integrador então, integra o sinal durante o tempo em que a "gate" permanece ativa gerando um sinal de saída cujo valor pode ser visto na figura 7.6. Este sinal permanece constante na saída do integrador até que um sinal de "reset" venha, através de um circuito "schmitt trigger" acionar uma chave analógica, que curto-circuita os terminais do capacitor C , descarregando o mesmo e zerando a saída do integrador.

Existem também dois circuitos comparadores que indicam se o resultado da integração está acima de um determinado nível que pode ser controlado através de um potenciômetro e também se ele está abaixo de um outro nível controlado também por um potenciômetro. Elas são utilizadas para se ter uma idéia da tensão de saída do integrador.

São utilizados no módulo de aquisição pulsada, dois integradores de "gate" modelos 4130-A [9] (Tabela 7.2). Um comandado pelo gerador de "delay" analógico e outro pelo gerador de "delay" digital, sendo todos eles controlados pelo microcomputador.

7.3 Funcionamento geral do módulo

O módulo, como um todo, funciona da seguinte maneira: a placa de sincronismo gera, a partir do "trigger" do experimento, um sinal de disparo para as placas geradoras de "delay" que então produzem os sinais de "gate", cuja posição temporal depende dos sinais de controle produzidos pelo microcomputador. As "gates" irão acionar as placas integradoras produzindo um sinal proporcional à integral do pulso que está sendo amostrado. A partir do término da "gate", a placa de sincronismo gera um sinal de aviso para o micro indicando que a integração acabou. O micro então, converte o sinal de saída dos integradores e, feita a conversão, envia um sinal de "reset" que zera as saídas dos integradores e também o sinal

Integrador de "gate" modelo 4230-A	
tempo de "gate" mínimo	30 ns
corrente de fuga máximo	1pA
constante de tempo de integração	$10^{-4}s$, $R = 10K\Omega$, $C = 10.000pF$
saída analógica	$\pm 5V$
impedância de entrada	10M Ω em paralelo com < 20pF AC ou DC capacitores 0.1 μF em série na entrada AC tempo de subida: < 4ns
entradas lógicas	compatíveis com TTL, DTL e CMOS (lógica negativa)
saídas lógicas	transistor em coletor aberto (lógica negativa)
alimentação requerida	+15V $\pm$ 1V, < 150mA -15V $\pm$ 1V, < 75mA

Tabela 7.2: Características principais do integrador de "gate" modelo 4130-A

Figura 7.5: Diagrama de blocos do integrador de "gate" modelo 4130-A

Figura 7.6: Sinal de saída do integrador de "gate"

de aviso tornando o módulo pronto para nova integração.

Caso esteja levantando a forma temporal de um determinado pulso, o micro corre a posição da "gate" para outro ponto, de maneira a se fazer a integração ponto a ponto sobre o sinal, adquirindo-se assim dados que permitem fazer a reconstituição da forma do pulso no tempo. Caso esteja apenas medindo a intensidade do pulso (a "gate" deve ter um tempo de duração maior ou igual à largura do pulso) o micro posiciona a "gate" sobre o sinal e através da integração do mesmo (corresponde à área sobre o pulso) aquisição a sua intensidade. Como o sinal é periódico, é possível fazer-se várias aquisições para um mesmo ponto, de maneira a se obter um valor médio, o qual apresenta um ruído menor.

Capítulo 8

Software de Controle

8.1 Introdução

Afim de podermos aplicar o sistema de aquisição de dados em nossos experimentos, desenvolvemos uma biblioteca de subrotinas básicas que controlam os componentes da interface do microcomputador e do módulo de aquisição pulsada. Esta biblioteca foi escrita em linguagem Assembler do microprocessador 8088 [10] da Intel e as rotinas podem ser chamadas de uma linguagem de alto nível, sem que o programador tenha que saber os detalhes de controle dos componentes do sistema, bastando apenas conhecer a função da rotina e quais os parâmetros que devem ser passados para a mesma.

Foi desenvolvido também um software de controle em Fortran para diversos tipos de experimentos que permite, além da aquisição de dados e controle da experiência, uma análise gráfica e matemática dos resultados obtidos. Neste capítulo, veremos as principais características deste software bem como a forma com que ele controla todo o sistema.

8.2 Biblioteca de funções

Todas as subrotinas que controlam os dispositivos da placa de interface e do módulo de aquisição pulsada, foram escritas em linguagem Assembler do 8088. Isto, devido ao fato dela ser rápida e possibilitar o total controle do microcomputador. No apêndice A, encontra-se um disquete que contém os programas fonte, feitos em Assembler, que formam a biblioteca de funções de controle da interface, bem como rotinas que permitem acesso ao vídeo, teclado, interface serial e outras funções importantes.

Com esta biblioteca, fica fácil fazer um programa de controle para determinado tipo de experimento. Por exemplo, um programa que lê a tensão de um dos canais do conversor A/D da placa de interface feito em Fortran, ficaria tal qual o mostrado na figura 8.1, enquanto que um programa idêntico, feito em Pascal, ficaria como o mostrado na figura 8.2.

A fim de aplicarmos o sistema de aquisição de dados, desenvolvemos um “software” de controle que pode ser utilizado em quase todos experimentos realizados em nossos laboratórios. Ele foi feito em Fortran e utiliza as rotinas em Assembler citadas acima. Os arquivos fonte deste programa também se encontram no disquete que acompanha este trabalho.

Além de controlar e fazer a aquisição de dados dos experimentos, este “software” também permite análise gráfica e matemática dos resultados obtidos bem como um detalhado relatório a respeito do experimento.

```

C      INTEGER VALOR, PORTA
      REAL TENSÃO

      PORTA=1

C      Chama rotina que faz a conversão ( 12 bits ) da tensão no canal de
C      número 1 da interface.
C
C      CALL AQ1D12 (VALOR, PORTA)
C
C      Calcula o valor real da tensão, multiplicando o valor da conversão
C      pelo fundo de escala do conversor dividido por 4096 ( 12 bits ).
C
      TENSÃO=VALOR*5/4096

C
C      Imprime valor lido
C
      WRITE(*,10) TENSÃO
10     FORMAT(1X, 'TENSÃO = ', F7.2)
      STOP
      END

```

Figura 8.1: Exemplo de um programa em Fortran para leitura da tensão de um dos canais analógicos da placa de interface.

```

PROGRAM letensao;

{$F+}                                {Forca chamadas longas : FAR CALLS}

{$L c:\silvio\aquis5}                {Faz a montagem (link) com o arquivo aquis5.obj,}
                                      {onde esta a rotina de conversao (aqld12).}

PROCEDURE aqld12(VAR valor, porta: INTEGER); EXTERNAL;

VAR valor, porta : INTEGER;
    tensao : real;

BEGIN
    porta:=1;                         { Chama rotina que converte o sinal presente na }
    aqld12( valor, porta);             { porta 1 da interface. }
    tensao:=valor*5/4096;              { O resultado da conversao retorna na variavel }
    write(valor,tensao);               { `` valor ``. O valor real da tensao e obtido }
                                      { multiplicando-se ``valor`` pelo fundo de escala }
                                      { dividido por 4096 ( conversao de 12 bits) }
END.

```

Figura 8.2: Exemplo de um programa em Pascal para leitura da tensão de um dos canais analógicos da placa de interface.

O diagrama de blocos do programa pode ser visto na figura 8.3 e ele pode ser dividido em quatro partes principais que podem ser acessadas a partir do menu principal. Estas partes são:

Aquisição

É a parte do programa que se encarrega do controle e aquisição de dados dos experimentos, e está dividida em três tipos principais: laser ou radiação pulsada, laser ou radiação contínua e experiências com contagem de fótons. O primeiro tipo de experimento (radiação pulsada), é subdividido em aquisição com "gate" fixa e aquisição com varredura de "gate" e é utilizado quando os dados a serem adquiridos são sinais periódicos e pulsados no tempo. Como exemplo, temos experimentos de espectroscopia utilizando-se laser pulsado e que se deseja analisar a evolução temporal de determinados sinais transientes.

O segundo tipo (radiação contínua), é utilizado quando o sinal a ser adquirido é contínuo, por exemplo, espectroscopia ótica em cristais utilizando-se laser de argônio, espectroscopia em vapores de Césio utilizando-se laser de diodo, medidas de fotocondutividade etc.

O terceiro tipo, é utilizado quando o sinal a ser medido é muito fraco e necessita da técnica de detecção por contagem de fótons.

Todos os tipos de experimentos acima, possuem seus parâmetros de aquisição tais como: número de pontos a serem aquisicionados, número de médias a serem feitas para cada ponto, intervalo (comprimento de onda, tempo, número de passos do motor, etc.) entre pontos, largura da "gate", etc, que podem ser programados via teclado pelo operador do

Figura 8.3: Diagrama de blocos do software de controle para experimentos em ótica

sistema.

Quando um experimento esta sendo realizado, é mostrado na tela do micro, um gráfico dos dados obtidos que possibilita a visualização em tempo real, do andamento da experiência. Caso haja alguma falha, é possível parar o experimento, corrigir o problema e até mesmo reprogramar os parâmetros de aquisição sem perder os dados já adquiridos.

Ao final da aquisição, os dados são gravados em um arquivo do tipo ASCII e podem ser lidos por outros programas tais como Lotus, Grapher, etc.

Graficar arquivos

Esta parte do programa permite a análise gráfica dos resultados obtidos, com recursos de editoração gráfica, ampliação de áreas de interesse ("Zoom"), cálculo de largura de linha, cálculo do tempo de vida, média (suavização) sobre os dados, relatório do arquivo, listagem dos pontos, enfim, recursos que facilitam a interpretação dos fenômenos envolvidos nos experimentos.

Controla motor de passo

Permite o controle e posicionamento do motor de passo (utilizado em grande parte dos experimentos) com comandos para andar em ambos os sentidos de forma contínua (passos contínuos) ou um passo a cada toque de tecla. É mostrado na tela do micro, uma indicação da posição e do número de passos dado pelo motor. É possível também o controle da velocidade e a programação de parada em uma determinada posição.

Esta parte do programa é utilizada por exemplo, para se calibrar e inicializar um monocromador que é comandado através de um motor de passo.

Saída para o DOS

Permite que o operador do sistema execute funções do sistema operacional tais como listar o conteúdo de diretórios, copiar arquivos, executar outros programas, etc, sem ter que sair do programa de aquisição.

Capítulo 9

Experimentos controlados pelo sistema de aquisição

9.1 Introdução

Para dar uma idéia da versatilidade e aplicação do sistema de aquisição, iremos neste capítulo, mostrar alguns dos principais tipos de experimentos em que ele é utilizado. Mostraremos quatro tipos diferentes de experiências que utilizam praticamente todos os dispositivos do sistema e como eles são aplicados. Vamos mostrar também, como o software de controle atua na coleta de dados, armazenagem, e tratamento matemático e gráfico dos mesmos. Enfim, veremos como a experiência fica bem mais confiável e fácil de ser realizada.

9.2 Espectroscopia de luminescência

Este tipo de experimento estuda a emissão do íon Eu^{+2} , transição $4f^65d \rightarrow 4f^7$ em amostras de KCL:KCN:Eu^{+2} [11].

A montagem experimental pode ser vista no diagrama de blocos da figura 9.1.

A fonte de excitação utilizada é uma lâmpada de Xenônio, cuja radiação luminosa passa por um filtro ótico passa-banda centrado em 350 nm, e é modulada por um "chopper" gerando assim, um sinal de referência para um "lock-in". A radiação de excitação é focalizada sobre a amostra, e a luz emitida pela mesma passa por um monocromador sendo, em seguida, detectada por uma fotomultiplicadora cujo sinal de saída é amplificado pelo amplificador "lock-in".

Neste experimento o microcomputador controla um motor de passo que faz a sintonização do monocromador e lê a saída do "lock-in" graficando na tela, a intensidade da luz emitida pela amostra, em função do comprimento de onda. Para isto, utiliza-se duas saídas digitais, da placa de interface, que vão gerar os sinais de passo e sentido para o circuito que controla o motor de passo. O sinal do "lock-in" é coletado através de uma das entradas analógicas do circuito de multiplexação do conversor A/D da interface do micro.

O software de controle recebe os parâmetros do experimento, que são introduzidos pelo operador, tais como: número de pontos, número de médias por ponto, comprimento de onda inicial e final, nome do arquivo, etc. Em seguida ele gera uma tela gráfica à partir destes dados e, após o sinal de partida, começa a fazer a aquisição dos dados, gerando o gráfico simultaneamente com o andamento do experimento.

Figura 9.1: Diagrama de blocos da montagem experimental para medidas de luminescência

A figura 9.2 mostra um espectro de luminescência obtido em uma amostra de KCL:KCN:Eu⁺² tal qual como ele é apresentado na tela do microcomputador. Nele podemos ver o nome do arquivo, os parâmetros dos experimentos, as legendas e valores nos eixos x e y e um comentário a respeito do tipo de experimento, amostra e temperatura. Todas estas informações são guardadas em arquivo facilitando em muito a documentação do experimento.

9.3 Espectroscopia de excitação

Estuda as transições $4f^7 \rightarrow 4f^7$ do íon Eu⁺² através da técnica de absorção de dois fótons [11]. O diagrama de blocos da montagem experimental pode ser visto na figura 9.3.

A fonte de excitação utilizada é um laser de corante pulsado (700 nm) bombeado por um laser de YAG:Nd⁺³. A luz emitida pela amostra é detectada por uma fotomultiplicadora cuja saída é amplificada e enviada ao sistema de aquisição. O comprimento de onda incidente na amostra é controlado por um motor de passo que está acoplado ao laser de corante.

Neste experimento o micro controla o motor de passo que faz a sintonização do laser de corante e aquisiciona o sinal pulsado proveniente do amplificador da fotomultiplicadora, graficando a intensidade do sinal em função do comprimento de onda.

O software de controle deste experimento é bastante parecido com o anterior, só que agora o sinal é pulsado sendo, portanto, utilizado o módulo de aquisição pulsada. O micro controla o módulo de maneira a produzir uma "gate" coincidente com o sinal e cuja largura seja maior ou igual a largura do pulso. Assim, como foi detalhado em capítulo anterior, o sistema faz a integração do pulso e converte o sinal gerado, aquisicionando portanto a intensidade do mesmo. Os parâmetros do experimento são basicamente os mesmos anteriores sendo incluídos a largura e posição da gate.

Na figura 9.4 vemos o espectro de excitação de dois fótons (transição $^8S_{7/2} \rightarrow ^6P_{7/2}$) obtido pelo sistema.

Figura 9.2: Espectro de luminescência de uma amostra de KCL:KCN:Eu⁺²

Figura 9.3: Diagrama de blocos do sistema de excitação de dois fótons

Figura 9.4: Espectro de excitação de dois fótons entre os níveis $^8S_{7/2} \rightarrow ^6P_{7/2}$

9.4 Espectroscopia resolvida no tempo

Mede o tempo de vida do estado $4f^65d$ do íon Eu^{+2} nos diferentes sítios em redes de KCl:KCN:Eu⁺² [11].

A montagem experimental pode ser vista na figura 9.5. Como fonte de excitação foi utilizado a linha de 355 nm do laser de YAG:Nd⁺³. Esta radiação incide sobre a amostra e a luz emitida pela mesma passa por um conjunto lente e filtro, com região de transmissão específica à banda de emissão do íon Eu^{+2} em diferentes sítios. Em seguida, esta luz é detectada por uma fotomultiplicadora cujo sinal de saída é amplificado e enviado ao sistema de aquisição (integrador de "gate") onde ele será coletado.

Neste experimento, a aquisição é realizada de maneira semelhante ao experimento descrito anteriormente, só que neste caso, o microcomputador não atua sobre o motor de passos, mas sim, controla o módulo de aquisição pulsada de maneira a gerar uma "gate", cuja largura é bem menor que a largura do sinal, e cuja posição varia, podendo-se fazer a integração de diversos pontos do sinal, levantando-se assim, a forma do pulso no tempo.

Inicialmente o micro coloca a "gate" no início do pulso, aquisiciona várias vezes o resultado da integração para aquele ponto (número de médias colocado pelo operador), calcula o valor médio e plota o ponto em um gráfico de intensidade contra tempo. Em seguida o micro desloca a "gate" de um valor programado (incremento de tempo colocado pelo operador) e repete o mesmo procedimento até que a forma do pulso esteja amostrada por completo.

Na figura 9.6 podemos observar o espectro de luminescência resolvido no tempo.

Com este arquivo de dados é possível, através do programa, um ajuste do espectro ($I = I_0 e^{-t/\tau}$), de forma a se calcular o tempo de vida τ do estado envolvido.

Figura 9.5: Diagrama de blocos do experimento para medida do tempo de vida

Figura 9.6: Espectro de evolução temporal da luminescência do Eu²⁺

9.5 Espectroscopia Raman em semicondutores

Técnica poderosa e amplamente utilizada na investigação de excitações elementares em amostras semicondutoras, permite o estudo da cristalinidade de amostras, o estudo do efeito de confinamento eletrônico de baixa dimensionalidade em amostras do grupo III-V, estudo da formação de mini-bandas em super-redes δ dopadas.

Neste tipo de experimento, existe o espalhamento inelástico de luz, onde fótons incidentes na amostra, são espalhados e detectados através de um espectrômetro de duplo estágio de difração. Como a intensidade do sinal Raman é muito fraca, é utilizada, como técnica de detecção, a contagem de fótons. Nesta técnica, o sinal proveniente de uma fotomultiplicadora é amplificado e passa por um circuito discriminador que compara a intensidade do sinal, com um nível de referência inferior e um nível de referência superior. Se a intensidade do sinal estiver entre os níveis inferior e superior, o circuito discriminador gera um sinal TTL em nível alto (aproximadamente 5 Volts), caso contrário, ele gera um sinal TTL em nível baixo (aproximadamente 0 Volts). Com isto, abre-se uma janela de comparação que é utilizada para se eliminar o ruído de fundo da fotomultiplicadora e também os sinais espúrios de alta intensidade. Desta forma, fótons que chegam na fotomultiplicadora, geram pulsos de tensão que são comparados no circuito discriminador e, caso estejam dentro dos limites da janela, geram pulsos TTL que podem então ser contados no tempo.

O sistema de aquisição neste caso, é responsável pelo controle do monocromador e pela contagem de fótons detectados em um determinado período de tempo. O controle do monocromador é feito através da saída serial do microcomputador, que é acoplada ao circuito de comando daquele e que permite fazer uma varredura e análise dos comprimentos de onda que estão sendo espalhados pela amostra, sincronizada com a aquisição de dados. O sincronismo é obtido através de um sinal de disparo, gerado por uma das saídas digitais da placa de interface, e que é enviado ao monocromador. A cada disparo, o monocromador desloca-se de um determinado valor programado pelo operador (varredura com "trigger"). O monocromador envia também, sinais que permitem saber qual o seu estado, por exemplo, se ele está andando, se ele já chegou ao ponto final, se ele está esperando o sinal de disparo, etc. Estes sinais também são conectados às entradas digitais da interface do micro.

A contagem de fótons é feita pela placa de interface, utilizando-se os contadores programáveis 8253, programados de maneira a gerarem uma base de tempo que pode ser escolhida pelo operador do sistema. Durante o intervalo gerado por esta base de tempo, são habilitados dois contadores independentes que fazem a contagem de fótons de até dois canais.

O esquema da montagem experimental pode ser observado na figura 9.7

A partir dos parâmetros do experimento (número de pontos, comprimento de onda inicial e final, intervalo entre pontos, base de tempo, etc.), o microcomputador programa o monocromador via interface serial, programa os integrados 8253 para a base de tempo escolhida e espera que o mesmo se posicione no ponto inicial. Então, o micro lê o conteúdo dos contadores, plota o resultado na tela, dispara o monocromador para que o mesmo ande para outro ponto do espectro e repete o ciclo até o ponto final, gerando um gráfico de número de fótons por comprimento de onda incidente na amostra.

Na figura 9.8 mostramos o espectro Raman de fônons de um substrato de GaAs. O pico localizado em 294 cm^{-1} é referente ao primeiro modo longitudinal ótico. Este espectro foi obtido com a linha de 647.1 nm de um laser de criptônio à temperatura ambiente. Nas figuras 9.9 e 9.10 encontram-se os espectros referentes a uma super rede δ dopada de GaAs.

Nestes espectros podemos ver claramente a forma assimétrica do espectro Raman devido a interação de elétrons com o espectro vibracional da amostra.

Figura 9.7: Esquema da montagem experimental para espectroscopia Raman

ARQUIVO : intrin | NPONT = 80 | NREDI = 1 | NPASS = | .50 Jun 03 15:3
 8:56
 NUMERO DE FOTONS F1-Ajuda F2-Zoom F6-EditMans F9-Impr ESC-Volta
 1671.633

Figura 9.8: Espectro Raman de um substrato de GaAs

ARQUIVO : 11d25 | NPONT = 200 | NMEDI = 1 | NPASS = 1.00 Jun 05 03:0

4:46

NUMERO DE FOTONS

F1-Ajuda F2-Zoom F6-EditKens F9-Impr ESC-Volta

Figura 9.9: Espectro Raman de uma super rede δ dopada. Configuração $Z(x, x)\bar{Z}$

ARQUIVO : lid23 | NPONT = 200 | NKEDI = 1 | NPASS = 1.00 Jun 04 22:2

6:18

NUMERO DE FOTONS

F1-Ajuda F2-Zoom F6-EditMens F9-Impr ESC-Volta

Figura 9.10: Espectro Raman de uma super rede δ dopada. Configuração $Z(x,y)\bar{Z}$

Capítulo 10

Conclusão

Com este trabalho, desenvolvemos um sistema bastante simples mas que possui a capacidade e versatilidade de controlar um grande número de experimentos em nosso laboratório. O seu custo é bastante baixo e pode ser montado e utilizado facilmente por qualquer pessoa que entenda um pouco de eletrônica e computação.

Com a biblioteca de rotinas básicas de controle da interface, é possível fazer-se programas específicos para determinados experimentos, de uma maneira prática e rápida.

O experimentos podem ser realizados com muito mais eficiência, facilidade e confiabilidade. Além disso, existem vários recursos de processamento e armazenagem dos dados obtidos que facilitam a interpretação dos fenômenos envolvidos nos experimentos.

Só para se ter uma idéia de sua utilidade, no apêndice B, encontra-se uma lista de artigos, teses de mestrado e teses de doutorado que utilizaram este sistema.

No apêndice C, estão apresentados alguns artigos que descrevem outros dispositivos eletrônicos também desenvolvidos para serem utilizados nesta área de instrumentação eletrônica para pesquisas em ótica.

Apêndice A

Programas para controle do sistema de aquisição

Neste disquete de 5^{1/4}" (IBM-PC/XT-AT), encontra-se os programas fontes, feitos em Assembler, que formam a biblioteca de rotinas para o sistema de aquisição. Além das rotinas de controle dos dispositivos da interface e do módulo de aquisição pulsada, encontram-se também rotinas de acesso ao teclado, ao video, as interfaces seriais e também uma rotina que permite rodar um programa de dentro de outro.

Também encontra-se o programa fonte feito em FORTRAN que controla diversos tipos de experimentos em nossos laboratórios.

Apêndice B

Lista de trabalhos publicados que utilizaram o sistema de aquisição

1. Oliveira, L.A. – Espectroscopia de Dois Fótons do Íon Gd^{+3} em estruturas Perovskitas – IFQSC – 1988.
2. Yasuoka, F.M.M. – Espectroscopia do Sistema $KCl:KCN:OCN:Eu^{+2}$ – IFQSC – 1989.
3. Catunda, T. – Conjugação de Fase e Modulação Transversal de Fase em Cristais Dopados com Cr^{+3} – IFQSC – 1989.
4. Duarte, J.L. – Transferência de Energia Induzida por Luz entre o Cr^{+3} e Gd^{+3} no $GdAlO_3:Cr^{+3}$ – IFQSC – 1990.
5. Tuboy, A.M. – Estabilização de Lasers de Diodo para utilização em Espectroscopia Atômica – IFQSC – 1991.
6. Oliveira, A.C. – Espectroscopia de Íons Eu^{+3} em cristais de Baixa Simetria – IFQSC – 1991.

Apêndice C

Artigos publicados, relativos á instrumentação eletrônica para pesquisa em ótica

Sistema de aquisição de dados baseado em microcomputador da linha IBM-PC

S.A. Tonissi Jr., F.M.M. Yasuoka, L.A.O. Nunes e J.C. Castro
*Instituto de Física e Química de São Carlos - Universidade de São Paulo,
Cx. Postal 369, 13560 São Carlos, SP*

Recebido em 8 de março de 1990

Resumo Apresentamos neste trabalho um sistema de aquisição de dados simples, versátil, de baixo custo, para controle de experimentos e processos gerais, que podem abranger uma vasta gama de aplicações nas áreas de Física, Medicina e Indústria. A base deste sistema consiste em uma placa conectada a um microcomputador da linha IBM-PC e de um "software" de controle. Este "software" foi desenvolvido através de rotinas básicas em linguagem de máquina, que podem ser chamadas através de linguagens de alto nível, tais como Pascal, C, Fortran, etc. Como exemplo de aplicação do sistema, apresentamos um software para controlar experimentos de espectroscopia, bem como os resultados obtidos em medidas de luminescência, excitação via processo de absorção de dois fótons e medida de tempo de vida do íon Eu^{+2} como defeito em amostras de KCl:KCN .

1. Introdução

Desde sua criação, o microcomputador vem sendo cada vez mais utilizado em atividades de pesquisa devido ao seu baixo custo, simplicidade de uso e instalação, e grande variedade de "software" existente no mercado. Além disto, ele possui uma excelente aplicação como elemento de controle e processamento de experimentos em laboratórios¹, por facilitar o processo de coleta de dados pela automatização. Ainda, diminui o custo e o tamanho das montagens experimentais, possui a capacidade de controlar experimentos em tempo real, possibilita a análise gráfica dos dados obtidos e o processamento matemático, bem como o armazenamento dos resultados em um banco de dados relativo ao experimento.

Visando obter as vantagens acima descritas, construímos um sistema que destina-se a monitorar, coletar dados e controlar uma grande variedade de ex-

Utilização de lasers de diodo em espectroscopia atômica Parte I: estabilização primária

A.M. Tuboy, S.A. Tonissi Jr., S.C. Zilio, V.S. Bagnato

*Instituto de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo,
Cx. Postal 369, São Carlos, 13560 - SP, Brasil*

Recebido em 22 de junho de 1990

Resumo A utilização de laser de diodo em várias aplicações tem aumentado consideravelmente nos últimos tempos, principalmente devido à versatilidade destes dispositivos. Neste trabalho apresentamos um breve histórico sobre a utilização de lasers de diodo em espectroscopia e descrevemos as etapas iniciais para estabilização da temperatura e corrente de tais dispositivos. Mesmo com estabilização primária (temperatura e corrente) já é possível utilizá-los em espectroscopia atômica. Mostramos resultados de espectroscopia por fluorescência e absorção saturada em vapores de Rubídio e Césio.

1. Introdução

Desde o início da espectroscopia ótica vários tipos de lâmpadas têm sido utilizadas como fonte de radiação. Sendo de baixo custo e não requerendo grandes cuidados para instalação, as lâmpadas acopladas com elementos dispersivos como prismas e redes de difração permitem a realização de espectroscopia de absorção ou emissão, estudos de bombeamento óptico, transferência de energia, etc. Estas fontes convencionais de luz sofrem de um mal que limitam sua aplicabilidade: elas em geral apresentam baixa potência nos intervalos espectrais, sua emissão é incoerente e principalmente são de difícil sintonização, principalmente quando queremos manter a potência e resolução espectral.

Assim, muitos experimentos importantes não puderam ser realizados devido aos limitantes impostos pelas lâmpadas usadas como fontes de radiação.

O laser, introduzido na década de 60 proporcionou uma evolução bastante significativa na física através, principalmente, de suas propriedades de potência e

Controlador de temperatura para lasers de semicondutor

N. La Scala Jr., S.A. Tonissi Jr., V.S. Bagnato e J.C. Castro

Departamento de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 369, São Carlos, 13560, SP, Brasil

Recebido em 5 de novembro de 1989

Resumo Neste trabalho descrevemos o desenvolvimento de um controlador capaz de estabilizar a temperatura de um laser de semicondutor melhor do que 10^{-2} °C com uma disponibilidade de escolha de 200 temperaturas diferentes na região de 7°C a 22°C. Com as características do controlador de temperatura desenvolvido foi possível obter a operação de um laser de semicondutor em modo único com o comprimento de onda com estabilidade de uma parte em 10^6 .

1. Introdução

Os lasers de semicondutor têm sido nos últimos anos amplamente utilizados em espectroscopia^{1,2} devido ao seu poder de sintonização, estabilização do comprimento de onda emitido, confiabilidade e baixo custo.

Para estabilizarmos o comprimento de onda, é necessário estabilizar a temperatura destes lasers, pois qualquer variação da mesma pode alterar o comprimento de onda emitido^{3,4}.

Por essa razão é comum encontrarmos nos sistemas que utilizam lasers de semicondutor (e também em sistemas optoeletrônicos em geral) controladores de temperatura⁵. A construção de um controlador de temperatura com as características do resumo é o que passaremos a descrever a seguir.

2. Descrição geral do sistema

O sistema pode ser representado pelo diagrama de blocos da fig. 1.

**UTILIZAÇÃO DE LASERS DE DIODO
EM ESPECTROSCOPIA ATÔMICA
PARTE II - ESTABILIZAÇÃO POR ABSORÇÃO SATURADA**

A.M. Tuboy, S.A. Tonissi Jr., M.S. Santos, V.S. Bagnato

Instituto de Física e Química de São Carlos
Universidade de São Paulo
Caixa Postal 369, 13560 São Carlos, SP, Brasil

RESUMO

Nesta segunda parte de nosso trabalho referente à preparação de lasers de diodo para uso em espectroscopia atômica e molecular, apresentamos a parte de estabilização utilizando as linhas de absorção saturada em vapores de metais alcalinos. Utilizando um laser de diodo comercial (Hitachi HLP-1400) obtivemos estabilização em frequência melhor que 3 MHz. Flutuações observadas no espectro de absorção saturada são analisadas pelo sistema eletrônico e a frequência do laser é corrigida através de reinjeção de corrente. Medidas de estabilidade de frequência são feitas através da observação de variações da fluorescência a longos tempos.

Bibliografia

- [1] Coherent Radiation, Palo Alto - California. *Ion Lasers*, 1973.
- [2] Royer, J.P. *Handbook of Software and Hardware Interfacing for IBM PC*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1987.
- [3] Intel Corporation, Santa Clara - California. *Component Data Catalog*, 1978.
- [4] National Semiconductor Corporation, Santa Clara - California. *Linear Data Book*, 1976.
- [5] Analog Devices, Inc., Massachusetts. *Data Acquisition Components and Subsystems Catalog*, 1980.
- [6] Signetics Corporation, San Francisco. *Signetics Logic-TTL - Data Manual*, 1978.
- [7] Evans Associates, Berkeley. *Model 4141-1 Programmable Time Delay Modules*.
- [8] Evans Associates, Berkeley. *Model 4145-2 Programmable Time Delay Modules*.
- [9] Evans Associates, Berkeley. *Model 4130 Gated Integrator Module*.
- [10] Intel Corporation, Santa Clara - California. *IAPX 86, 88, 186 and 1888 User's Manual Programmer's Reference*.
- [11] Tonissi Jr, S.A.; Yasuoka, F.M.M.; Nunes, L.A.O. e Castro Neto, J.C. Sistema de aquisição de dados baseado em microcomputadores da linha IBM-PC. *Rev. de Física Aplicada e Instrumentação*, 5(4):412, 1990.
- [12] Quadros, D.A. *PC Assembler usando o Bios*. Editora Campus Ltda, Rio de Janeiro, 1987.