

PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UM LASER DE NITROGÊNIO PARA BOMBEAMENTO ÓTICO DE UM LASER DE CORANTE UTILIZADO EM ESPECTROSCOPIA

Francisco B. T. Pessine

Instituto de Química - Cx.P. 6154 - Universidade Estadual de Campinas - 13081 - Campinas - SP.

Recebido em 9/12/91; cópia revisada 30/1/92

The design, construction, and operation of a medium power, pulsed nitrogen laser for optical pumping of a dye laser to be used for spectroscopic measurements are reported in this paper. Pulses with peak power as high as 400kW were obtained, each pulse having FWHM of 10 nsec. This laser can be used also for direct excitation of organic and inorganic molecules that absorb radiation at 337.1nm, as well as for photochemistry and photophysics studies.

Keywords: dye laser, nitrogen laser, spectroscopy, photochemistry/photophysics.

1. INTRODUÇÃO

Os lasers de corante constituem-se em fontes de radiação extremamente úteis, poderosas e versáteis para uso em espectroscopia atômica e molecular, fotoquímica e fotofísica. Entretanto, para tal devem ser ópticamente bombeados por radiação gerada em lâmpadas utilizadas em fotólise relâmpago (lâmpadas de "flash", que fornecem pulsos de radiação com duração temporal da ordem de microssegundos) ou por outros lasers, que emitem radiação contínua (como os de Ar⁺) ou pulsada (como os de excímero, Nd: YAG, N₂, etc.). Em particular, o laser de nitrogênio apresenta várias vantagens em relação aos demais, entre as quais é possível citar: 1) é de operação bastante simples e de construção pouco dispendiosa, sendo que a quase totalidade de seus componentes pode ser facilmente adquirida no mercado nacional; 2) apresenta custo operacional extremamente pequeno pois emprega, como meio ativo, nitrogênio gasoso, o qual, além de ter um preço baixo, é rotineiramente encontrado no mercado brasileiro; 3) utiliza, em sua operação, apenas um único gás, não tóxico e não corrosivo, de modo que não requer conexões, válvulas, manômetros, filtros e sistemas de exaustão especiais; 4) pelo fato de um ser um laser inerentemente pulsado, tem seu emprego na espectroscopia cinética, que é uma técnica utilizada para diagnóstico de processos de relaxação, de transferência de energia e de autoabsorção, além da obtenção de espectros resolvidos no tempo.

A Figura 1 mostra um diagrama esquemático dos estados eletrônicos mais importantes da molécula N₂ envolvidos na excitação e na emissão de radiação estimulada, e os respectivos tempos de vida radiativos. Em realidade, a cada um desses estados está associado um conjunto de níveis rovibrônicos (não mostrados em detalhes na referida Figura, por motivo de clareza), de modo que são possíveis várias transições. Quando as moléculas do gás N₂ são excitadas, por elétrons gerados em uma descarga elétrica de alta tensão, transversal à cavidade do laser, do estado fundamental singlete X¹Σ_g⁺ ao estado triplete C³Π_u (cujo tempo de vida é, aproximadamente, 40ns.), transição esta que é ópticamente proibida por absorção de um único fóton, pelo fato de que estes estados não possuem as simetrias de spin adequadas para satisfazer a regra de seleção referente à transição radiativa via momento de dipolo elétrico, ocorre inversão de população entre este último e o estado triplete B³Π_g (que apresenta tempo de vida da ordem de 1μs.) O estado A³Σ_u⁺ que é o nível laser inferior da emissão estimulada com centro em 1044,0nm, possui tempo de vida da

ordem de 10ms.. O sistema de bandas B-A (chamado de primeiro sistema positivo, pelo fato de que originalmente foi pensado que o mesmo era devido ao íon N₂⁺) compreende uma série de transições que vão desde a região do infravermelho até a do verde no espectro eletromagnético, exibindo uma banda centrada em 1044,0nm sendo, por exemplo, observadas as transições 4-2 (em 750,4nm); 3-1 (em 762,6nm); 2-0 (em 775,3nm); 2-1 (em 872,2nm); 1-0 (em 891,2nm); 3-3 (em 959,9nm); 1-2 (em 1193,3nm); 2-4 (em 1364,6nm) e 0-2 (em 1498,3nm), todas elas indicadas na Figura mencionada. O sistema C-B (conhecido como segundo sistema positivo) inclui transições que ocorrem nas regiões ultravioleta próximo e azul, com a transição de maior ganho centrada em 337,1nm (banda 0-0). Além desta, são observadas, também, as transições 0-1 (em 357,7nm) e 1-0 (em 315,9nm), mostradas na referida Figura. Desde modo pode ser verificado que enquanto o estado C se constitui no nível laser superior associado a esta última banda, o nível B é o nível inferior da mesma e superior da transição que ocorre em 1044,0nm.

As distâncias internucleares de equilíbrio para a molécula

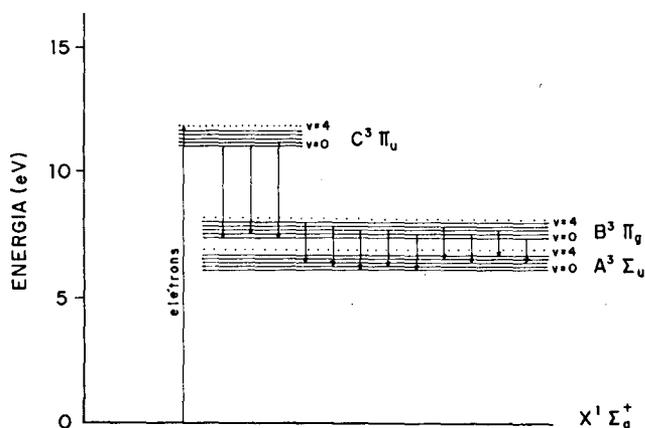


Figura 1. Diagrama dos níveis de energia da molécula N₂ envolvidos na excitação e na emissão estimulada (adaptado da referência 1)

N₂ nos estados X,C,B e A são, respectivamente, 1,0977Å; 1,1487Å; 1,2126Å e 1,2866Å em razão do que a secção de choque para excitação, mediante colisões com elétrons gera-

dos em uma descarga, mais favorecida pelo princípio de Franck-Condon envolve os níveis X ($v''=0$) e C ($v'=0$). Tendo em vista a relação existente entre os tempos de vida da referida molécula nos estados mencionados, este laser funciona em regime pulsado porque é necessário que as populações dos estados B e A sejam reduzidas antes que ocorra a nova excitação de modo que seja garantida a inversão adequada de população.

A eficiência da transição C-B (0-0) é tão elevada que este laser, chamado de superradiante, funciona mesmo sem o auxílio de elementos refletores na cavidade bastando, para tal, empregar janelas de vidro ótico ou de quartzo.

Tendo em vista o exposto, a construção deste laser é altamente desejável, e até instrutiva, podendo o mesmo ser empregado não apenas em projetos de pesquisa mas, também, em disciplinas experimentais de Físico-Química para ilustrar alguns princípios básicos de espectroscopia ótica e de lasers bem como realizar experimentos de fotoquímica e fotofísica pertinentes.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Montagem mecânica

A Figura 2 mostra a montagem mecânica empregada no projeto e construção deste laser. A cavidade ótica (comprimento=750mm, largura=50mm e altura=30mm) tem paredes laterais construídas com chapa de alumínio (espessura=10mm), em cuja parte central existe uma reentrância onde foram colocados os eletrodos. As paredes superior e inferior da cavidade são formadas por lâminas de vidro (espessura=10mm). O fechamento do canal é completado por duas janelas de quartzo Herasil III (espessura=3mm) montadas sobre anéis de borracha colocados em suportes de acrílico. Em realidade, não há necessidade de serem usadas janelas de quartzo, bastando as de vidro ótico (tipo BK7) que apresentam bom coeficiente de transmissão na região do ultravioleta próximo. Toda a vedação do sistema é feita com borracha de silicônio pois, dado que o laser opera com pressão positiva (entre 30 e 60 torr) não é necessário que seja conseguido um bom vácuo dentro da referida cavidade.

A introdução do gás nitrogênio no interior desta é feita

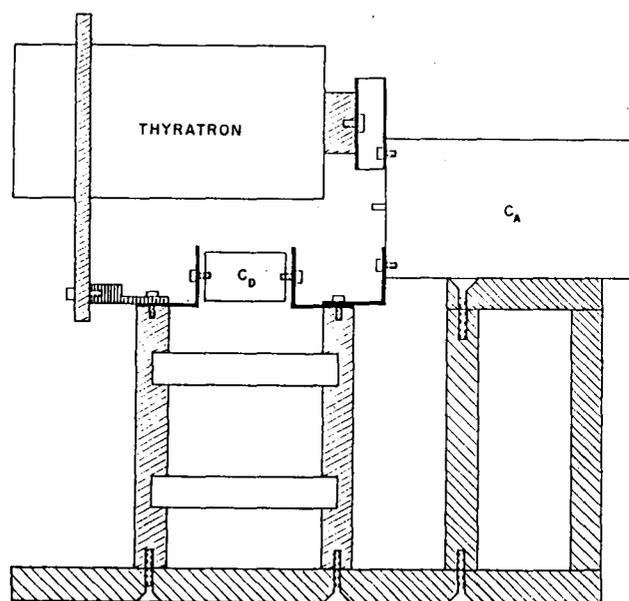


Figura 2. Montagem mecânica do laser - Vista frontal

através de dois orifícios (diâmetro=10mm) colocados na parte central de uma das paredes laterais e a uma distância de 10mm de cada janela, sendo a exaustão realizada através de um orifício maior (diâmetro=16mm) perfurado na parte central da parede lateral oposta (ânodo) assegurando, desta forma, um fluxo, aproximadamente longitudinal, de gás ao longo do comprimento da cavidade, e conectado a uma bomba mecânica de vácuo. Esta configuração apresenta várias vantagens: 1) evita que ocorra contaminação das janelas por substâncias geradas durante as descargas elétricas e, também, por material sólido desprendido (através de "sputtering") dos eletrodos; 2) refrigera os eletrodos, eliminando a necessidade de que este processo seja feito com água; 3) propicia um fluxo quase longitudinal de gás no interior da cavidade possibilitando o aparecimento de descargas elétricas mais uniformes.

Como meio ativo é empregado o gás nitrogênio (qualidade comercial, pureza=99,95%) que contém oxigênio e água como contaminantes os quais, todavia, se encontram em concentrações tão pequenas que não chegam a afetar o desempenho do instrumento. Em realidade, é possível obter emissão estimulada mesmo substituindo-se o nitrogênio por ar (que contém, aproximadamente, 79% de nitrogênio). Contudo, isto ocorre às custas de uma redução na intensidade da radiação emitida, da falta de uniformidade nos pulsos de luz e de um aumento na corrosão dos eletrodos. A pressão do gás é monitorada através de um manômetro (escala: 0cmHg-76cmHg/WILLY), colocado na saída da cavidade, mediante o ajuste de uma válvula de agulha.

Os eletrodos foram construídos com serra de fita (espessura=1,0mm; largura=10mm e com 8 dentes/cm) em aço temperado, prensados, cada um deles, na reentrância existente em cada uma das paredes laterais e distanciados de 35mm. Esta disposição permite conseguir uma descarga elétrica muito uniforme no meio ativo. As extremidades dos eletrodos foram limadas para remover os dentes existentes nas mesmas e cobertas com uma folha de material plástico isolante ("mylar") de modo a minimizar os efeitos de borda durante as descargas e evitar que as janelas sejam danificadas.

Externamente à cavidade está montado, em um suporte cinemático, um espelho aluminizado na primeira face, que funciona como elemento de reflexão total, após a janela posterior. Como janela frontal utilizamos um disco de quartzo Herasil III, cuja refletividade na região UV, de cerca de 4%, é suficiente para assegurar a oscilação laser dentro da cavidade. Entretanto, poderia ser conseguida maior potência da radiação emitida se tais elementos refletores fossem substituídos por espelhos com cobertura dielétrica apropriada para maximizar a reflexão da radiação emitida em 337,1nm e para suprimir a radiação infravermelha entre 0,8 μ m e 1,2 μ m, devido a outras transições que ocorrem, e as quais podem distorcer as medidas sobre a intensidade da radiação emitida pelo instrumento.

O instrumento é montado sobre dois suportes elevatórios ("jacks"), o que permite o nivelamento e o alinhamento do mesmo com o laser de corante.

2.2. Montagem elétrica

2.2.1. Circuito de alta tensão

A Figura 3 ilustra, esquematicamente, o circuito de alta tensão utilizado na montagem deste laser. O transformador (APARELHOS ELÉTRICOS FIXOVOLT LTDA.), é isolado com ar, possui carcaça aterrada, entrada de 220V (40mA, 60Hz) controlada com um Variac e saída de, até, 30kV. Esta tensão é retificada, em onda completa, mediante uma ponte constituída por oito diodos de alta tensão (SKHE 10000/4500-0,5/SEMIKRON), atingindo um valor máximo igual a 42kV. R1 é um resistor de carga formado pela associação, em série, de quatro resistores (200W cada um/FEAD) cerâmicos, fornecendo uma impedância total de 378,5k Ω e que protege o

transformador limitando a corrente durante seu aterramento pela Thyatron. A tensão de saída é empregada para carregar um capacitor (50nF, 30kV/ Modelo 5L40-40B/HIGH VOLTAGE) de armazenamento (C_A), de baixa indutância, colocado transversalmente ao lado da cavidade. Uma válvula Thyatron (Ceramic-Metal Hydrogen Thyatron, Modelo HY11/EG&G), montada na parte central, em frente do referido capacitor e sobre o canal do laser comanda a descarga do mesmo, transferindo a energia nele armazenada a um banco formado por vinte e oito pequenos capacitores (500pF cada um, 30kV/Modelo 30DK-T5/SPRAGUE) de descarga (C_D), associados em paralelo (totalizando 14nF) também dispostos transversalmente mas distribuídos ao longo de toda a cavidade, proporcionando o aparecimento de uma descarga bastante uniforme no meio ativo. Todas as linhas de transmissão entre a referida válvula, o capacitor C_A e as paredes do laser são feitas mediante lâminas de aço inox e de cobre, de modo a minimizar a indutância e impedância do circuito, possibilitando descargas elétricas mais rápidas, aumento na eficiência do processo de excitação e, em consequência, na potência da radiação emitida. É também com esta finalidade que todos os componentes do circuito de alta tensão (isto é, a Thyatron, os capacitores C_A e C_D e o próprio laser) são montados o mais próximo possível. O emprego de uma válvula Thyatron apresenta várias vantagens em relação a um faiscador ("spark gap"). Entre elas podemos citar: 1) exibe maior durabilidade; 2) pode ser engatilhada por um pulso de tensão mais baixa; 3) fornece maior estabilidade na amplitude dos pulsos e maior reprodutibilidade pulso-a-pulso; 4) permite o uso de taxas de repetição maiores e 5) gera rádio-frequência com menor intensidade, de modo que produz menos interferência eletromagnética em outros equipamentos. Ambos, o filamento e o reservatório da Thyatron são alimentados com uma tensão, também ajustada com um Variac, de 6,3V e corrente de 10A. Desde que esta válvula opera em temperatura razoavelmente elevada (aproximadamente 300°C) ela deve ser refrigerada por um pequeno ventilador. Além disso, a própria parede metálica do laser (a qual funciona como anodo, estando aterrada mediante cordoalha), que se encontra conectada à Thyatron mediante um suporte de aço inox, atua como dissipador de calor.

O circuito capacitivo empregado é preferível ao de Blumlein pois este último apresenta falha nos pulsos, especialmente quando se opera em regime de alta tensão, além do que é mais trabalhoso repará-lo, caso haja necessidade.

A tensão aplicada entre os eletrodos é monitorada com um voltímetro (cuja menor divisão corresponde a 0,6kV) construí-

do no laboratório adaptando-se um amperímetro (que tem impedância igual a 60Ω e fundo de escala de 1mA) em série com uma resistência formada pela associação de outros dezotois resistores, fornecendo uma impedância total de 30MΩ. A calibração deste medidor foi feita através de um trimpot (220kΩ) usando uma ponta de prova de alta tensão (modelo 6103/KEITHLEY) que apresenta redução de 1000V/1V

2.2.2. Circuito para engatilhamento da válvula Thyatron

A Figura 4 mostra o circuito, de baixa tensão, utilizado para o disparo do laser e que está baseado num circuito padrão para engatilhamento de uma válvula Thyatron^{2,3}. Este circuito incorpora um oscilador NE555 e um tiristor LN4443 que dispara a referida válvula através de um transformador de pulso. Deste modo, um pulso, positivo, engatilhador é amplificado e aplicado à grade da válvula cuja condução aterra o borne de alta tensão do capacitor C_A , fazendo com que a energia neste armazenada seja transferida aos capacitores C_D e, destes, aos eletrodos do laser. Quando o Thyatron dispara, aparece um pico de tensão positiva na grade, de modo que foi preciso construir um filtro formado por um indutor (68μH), dois capacitores (220pF, 1kV) e um resistor (1kV, 1W) que bloqueia este pico de tensão, impedindo-o de atingir o circuito de controle do laser, cujos componentes seriam, em caso oposto, danificados. Este filtro está montado entre a grade da Thyatron e a caixa contendo o circuito de controle do laser, sendo a conexão entre ambos feita mediante um cabo coaxial de 50Ω. A taxa de repetição pode ser alterada internamente (o ajuste é feito em um potenciômetro linear, com chave, 1MΩ) ou externamente através de um gerador que fornece pulsos TTL, o qual está acoplado à referida caixa via conector BNC.

Como todo laser pulsado que utiliza faiscador ou válvula Thyatron, há produção de quantidades significativas de rádio-frequência que afeta equipamentos de medida, de coleta e de processamento de dados como osciloscópios, integrador síncrono "Box-Car", microcomputadores, etc., além de provocar contaminação na linha de força. Para que esta interferência eletromagnética seja reduzida (já que não se consegue eliminá-la por completo) torna-se necessário colocar todo o sistema (isto é, o laser e os circuitos de alta e de baixa tensão) dentro de uma gaiola de Faraday.

As Figuras 5 e 6 mostram, em dois ângulos diferentes o equipamento construído, no qual a gaiola de Faraday foi removida para que o mesmo possa ser visualizado com maiores detalhes.

3. ALINHAMENTO E OPERAÇÃO

O alinhamento deste laser é feito colocando-se um disco (de acrílico) contendo um orifício central (diâmetro=1,0mm) sobre a janela anterior. Com o auxílio de um laser He-Ne, cujo feixe de luz atravessa este orifício, o espelho de reflexão total (externo à cavidade) é corretamente posicionado de modo que o feixe refletido esteja na mesma direção daquele incidente.

Uma vez que o laser tenha sido alinhado, a operação do mesmo é bastante simples, cabendo ao experimentador tomar as precauções necessárias quando se trabalha com circuitos de alta tensão que, neste caso, é letal. As seguintes etapas devem ser observadas, na ordem:

1) ligar o circuito de alta tensão, mantendo desligado o Variac.

2) ligar o circuito para aquecimento do filamento e do reservatório da Thyatron. A temperatura ótima de operação desta válvula será atingida em, aproximadamente, 12 minutos. É importante lembrar que se esta válvula for disparada antes que esteja adequadamente aquecida, será permanentemente danifi-

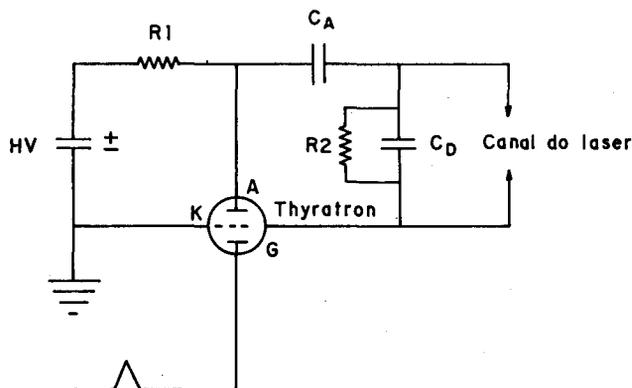


Figura 3. Circuito de alta tensão

HV: Fonte de alta tensão: 42kV; 40mA; 60Hz

R1: 378,5kΩ; 800W

R2: 10kΩ, 10W

CA: Capacitor para armazenamento: 50nF; 40kV

CD: Capacitor para descarga: 14nF; 30kV

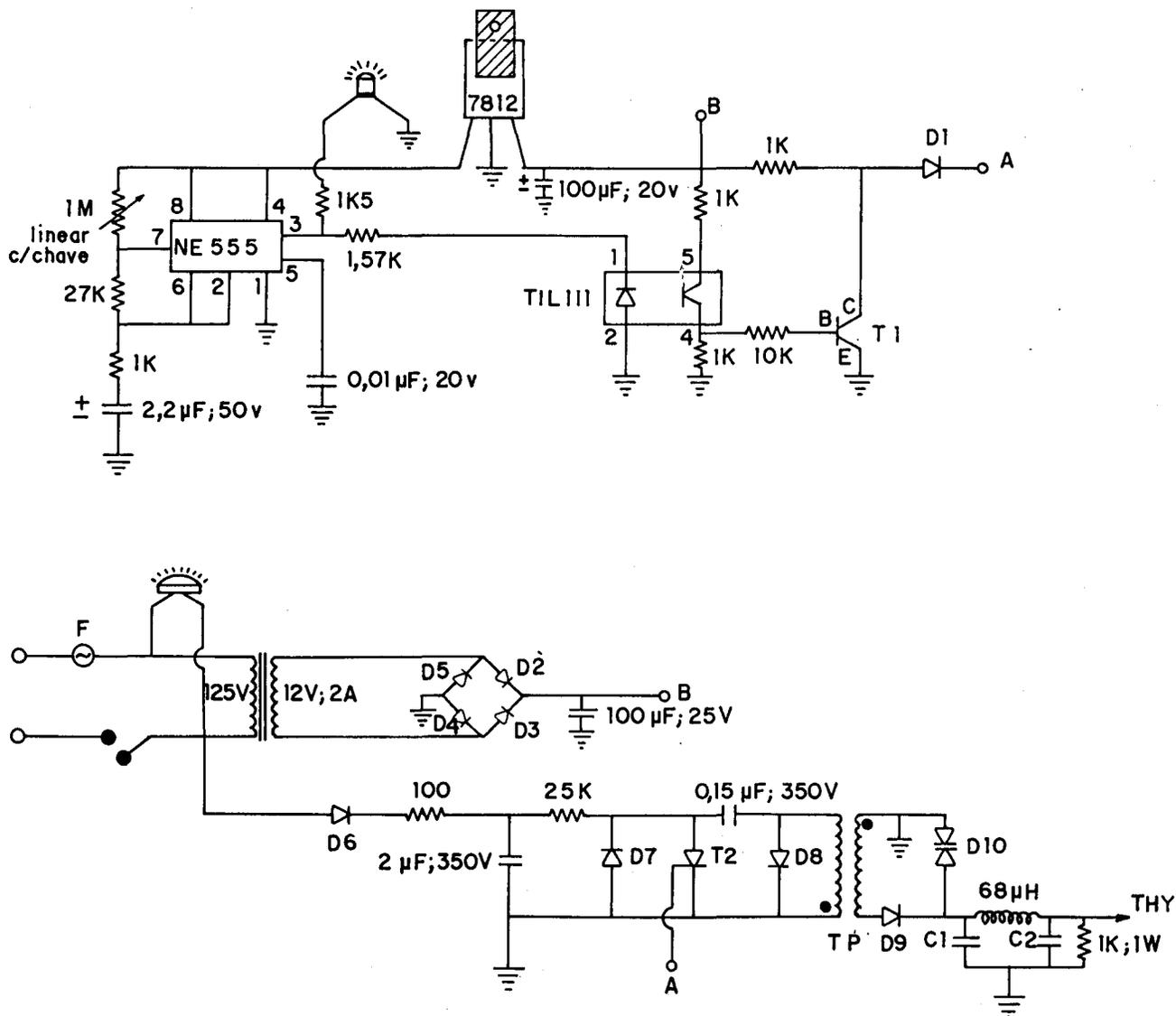


Figura 4. Circuito para disparo do laser

F: Fusível

D1 -D6: 1N4007

D7: SKE 4F 1/02 (1A; 200V)

D8, D9: 1N4007

TP: Transformador de pulso (1:1) 11Z12

D10: Varistor GE GRS215A20D20

T1: 2N3904

T2: SCR TIC 126E

Todos os resistores são de 1/4W, exceto quando especificado

C1=C2: 220pF; 1kV

cada e precisará ser substituída.

3) ligar a bomba de vácuo e abrir, lentamente, a torneira que a conecta à cavidade. Isto deve ser feito com cuidado para que não apareçam tensões abruptas nas paredes do laser (com a consequente deformação da cavidade) e para que elas não se descolem.

4) admitir gás no interior da cavidade até que a pressão, lida no manômetro, atinja um valor entre 30torr e 60torr.

5) disparar a Thyatron através do circuito de engatilhamento da mesma, selecionando a taxa de repetição com o potenciômetro existente na caixa de controle ou em um gerador, externo, de pulsos.

6) lentamente, aumentar a tensão através do Variac. Quando esta atingir um valor em torno de 3kV começarão a surgir as descargas (mas não emissão laser) entre os eletrodos. À medida em que esta tensão for aumentada observa-se o aparecimento de uma luminosidade difusa ("glow") visível, de cor violeta, entre os eletrodos e quando a tensão chegar perto

de, aproximadamente, 9kV ocorre emissão de radiação estimulada. Esta pode ser facilmente observada colocando-se, de frente da janela anterior, uma tira de papel branco (tipo sulfite) que apresenta luminescência azul quando irradiado com luz UV, a qual se torna mais intensa à medida em que a tensão aumenta até o valor limite de 20kV, que é a tensão máxima suportada pela referida válvula, segundo especificações do fabricante. Desta maneira, temos um dispositivo barato que, qualitativamente, permite monitorar a intensidade da radiação emitida (a qual varia monotonicamente com a tensão aplicada entre os eletrodos) e a uniformidade espacial do feixe de luz.

A potência do feixe de luz foi determinada com um medidor apropriado (Laser Power/Energy detector, modelo LPED/ADVANCED KINETICS, INC.) sendo encontrado um valor de pico igual a 400kW quando o laser opera à pressão de 60torr e com uma tensão de 16kV aplicada entre os eletrodos.



Figura 5. Vista superior do laser

4. AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seu agradecimento à FAPESP pelo auxílio (Proc. 83/2355-3) concedido à realização deste trabalho e ao Prof. Pedro A. M. Vasquez pelas discussões sobre o circuito eletrônico empregado para o engatilhamento da Thyatron.

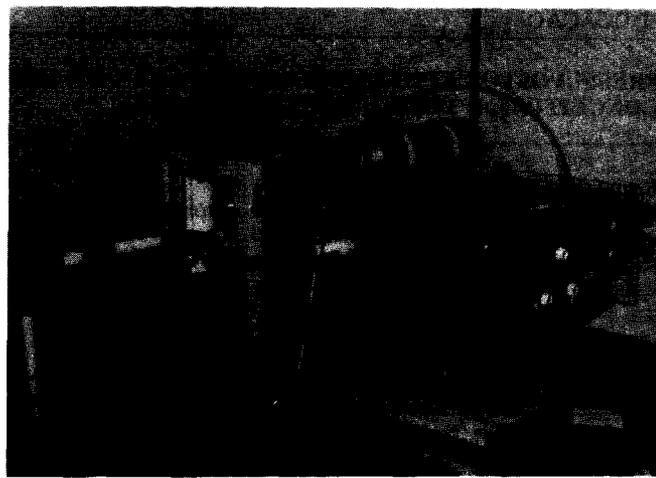


Figura 6. Vista lateral do laser

5. REFERÊNCIAS

1. Herzberg, G.; "Molecular Spectra and Molecular Structure. I. Spectra of Diatomic Molecules", 2ª. edição, D. Van Nostrand Co., Inc.; New York (1950).
2. Schenck, P. K.; Metcalf, H. ; *Appl. Opt.* (1973), 12, 183.
3. Woodward, B. W.; Ehlers, V. J.; Lineberger, W. C.; *Rev. Sci. Instrum.* (1973), 44, 882.

Publicação financiada pela FAPESP