

IF-UFF / 06 / 81

RELATÓRIO TÉCNICO CIENTÍFICO
10 de setembro de 1981

"LASER DE N₂ DE CARACTERÍSTICAS SEMELHANTES AOS MODELOS IMPORTADOS
E MATERIAL DISPONÍVEL NO MERCADO NACIONAL "

P.A. Marques dos Santos, A. Dias Taveres Jr., H. da Silva Reis
A.A. Tagliaferri e C.A. Massone



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

INSTITUTO DE FÍSICA

**LÁSER DE N₂ DE CARACTERÍSTICAS SEMELHANTES AOS MODELOS IMPORTADOS
E MATERIAL DISPONÍVEL NO MERCADO NACIONAL⁽⁺⁾**

P. L. Marques dos Santos,* A. Dias Taveres Jr, Hércules da Silva Reis***,
A. A. Tagliaferri**** e C. A. Massone****.**

**Laboratório Laser, Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense,
CP 296, Niterói, 24210 RJ**

-
- + Trabalho realizado com auxílio do CNPq e FINEP**
*** Bolsista CNPq**
**** Bolsista CAPES**
***** Estagiário (UERJ)**
****** Pesquisador CNPq**

Descreveu-se o desenvolvimento de um Laser de N_2 de alta potência, com características semelhantes às dos modelos importados e construído totalmente com materiais disponíveis no mercado nacional.

O protótipo ^{fornece} energia pulsos de uma energia máxima de 500 mW e repetitividade de 1 a 50 pulsos por segundo. (autor)

ABSTRACT.

~~We describe~~ The development of a high power N_2 Laser, similar to imported models but built entirely with Brazilian materials. ^{is described}

The prototype shows pulse repetitivity that varies from 1 to 50 per second and has a peak power of 500 mW. (author)

INTRODUÇÃO

Resulta supérfluo insistir na importância do laser molecular de nitrogênio. Suas características fundamentais (comprimento de onda no ultra-violeta, 3371Å, grande valor de potência pico de emissão e a facilidade de funcionar em um regime de alta repetitividade) transformaram-lo na ferramenta natural para um elevado número de aplicações. Entre elas podemos mencionar a excitação de laser de corante (dye-lasers), estudo de processos de fluorescência, de fotodissociação, aplicação à radiação de tecidos orgânicos, à fotografia de alta velocidade, etc.

Heard foi quem, pela primeira vez, obteve emissão estimulada de N_2 (1). A partir desse momento o estudo no N_2 tomou dois caminhos nitidamente diferenciados: enquanto um conjunto de trabalhos (por ex. 2-5) analisaram os mecanismos envolvidos no processo de emissão estimulada, outros (6-8) concentraram-se em extrair deste laser o máximo de potência possível. A esse respeito vale a pena mencionar que se desenvolveu um sem número de equipamentos experimentais que permitissem -mediante métodos novos- incrementar sensivelmente a potência pico de emissão.

Quando se pretende adquirir no Brasil um modelo comercial dos disponíveis atualmente, surgem vários e sérios problemas a se considerar:

- A) Preço elevado (superior a US\$ 10,000,00)
- B) Necessidade de importação (com o acúmulo de complicações que isso significa).
- C) Carência de um serviço de manutenção rápido e eficiente

16 eV. Os íons positivos (N_2^+) possuem um tempo de vida razoavelmente grande (≈ 10 ns) enquanto os negativos (N_2^-) possuem um tempo de vida extremamente breve ($\approx 10^{-13}$ seg.).

Os níveis de energia que devemos analisar mostram-se na Fig. 1. Vê-se os níveis eletrônicos $^1\Sigma_g^+$, $^1\Sigma_u^+$, $^3\Pi_g$ e $^3\Pi_u$. Cada um deles contém um conjunto de níveis vibracionais, e entre dois níveis consecutivos de um dado estado eletrônico encontramos um conjunto de níveis rotacionais.

Os tempos de vida dos níveis em questão (mencionado anteriormente), variam de forma notável, de um para outro nível eletrônico. Assim, o nível $^3\Pi_u$ (nível laser superior do denominado segundo sistema positivo, 2^+), possui um tempo de vida de uns 40ns, à uns poucos torr de pressão. Para o nível $^3\Pi_g$ (nível laser inferior do sistema 2^+ e superior do sistema positivo, 1^+) o correspondente valor é de uns 10ps. Finalmente o nível laser inferior do sistema 1^+ , $^1\Sigma_g^+$, tem um tempo de vida que se localiza na faixa dos 10ms.

Notemos que em ambos os sistemas, os tempos de vida dos níveis inferiores são marcadamente maiores que os correspondentes dos níveis superiores. Isso implica no fato de que só é possível obter inversão de população para os sistemas 1^+ e 2^+ por um curto espaço de tempo. Por conseguinte o método experimental empregado baseia-se em excitação pulsada.

Existem diversas hipóteses à cerca dos mecanismos de excitação dos níveis eletrônicos do primeiro e segundo sistemas positivos. De tudo isso resulta universalmente aceito que o mecanismo pre-

dominante é o impacto eletrônico direto ao nível fundamental $x^1\Sigma_g^+$.

Como resultado final destes breves comentários teóricos, devemos mencionar que surgem como mais prováveis a obtenção de emissão estimulada nas bandas 0-2(3371 Å), 0-1(3377Å) e 1-0(3150 Å) do sistema 2⁺ e 4-2(7524Å), 3-1(7626 Å), 2-2(7752 Å) 2-1 (8722 Å), 1-0(8912 Å), 3-3(9599 Å), 1-2(11032 Å), 24(13646Å) e 0-2 (14983 Å), do sistema 1', todo o qual tem sido conseguido experimentalmente.

Para maiores detalhes acerca das características técnicas deste laser e da influência do desenho na excitação, sugere-se consultar (10).

PROJETO E CONSTRUÇÃO.

No momento de decidir pela construção de um modelo particular de laser de N_2 devemos selecionar entre um sem número de possibilidades. Tendo em conta os objetivos mencionados no início deste trabalho -basicamente a "nacionalização"-temos selecionado aquele que satisfaz também uma vida útil significativa e baixo custo.

Por isso, tomou-se como base o trabalho de R. Polignoni⁽⁹⁾ que, em nossa opinião, apresenta algumas vantagens "extras" (vide fig. 2).

Temos primeiramente o funcionamento do circuito. C_1 carrega-se em regime DC através de \mathcal{R} , formando com L um circuito fechado. Ao descarregar-se - mediante um pulso ionizador produzido na câmara de disparo - uma das placas de C_1 , a outra não pode descarregar-se por ser L uma uma $R \approx \omega$ a pulso.

Por esta razão se propaga até C_2 um pulso de alta voltagem que carrega este capacitor e se descarrega através do tubo Laser produzindo a inversão necessária de população.

Na tese que, em primeiro lugar, C_2 não se encontra carregado em forma contínua. Somente quando C_1 se descarrega é que C_2 recebe um pulso. Este condensador C_2 está construído por

laminados de Cu de face dupla, com um dielétrico no meio, produzido pela Cia. Química Industrial de Laminados FORMIPLAC, com características TVEC - 2 - 417 de 0,8 mm de espessura (de amplo uso em tecnologia de circuitos impressos). Estes laminados não suportam mais que uns poucos milhares de volts, quando carregados em um regime DC. Ao contrário, em regime pulsado (sendo importante ter em conta a largura temporal do pulso) estes mesmos laminados resistem picos de tensão superiores à 40 kV por largos períodos (laminados tem funcionamento por períodos superiores a 2 anos sem apresentar falhas).

Outro elemento a ser analisado com cuidado é o fato que, mediante um corte triangular dos mesmos, é possível correlacionar a onda de excitação elétrica com a velocidade de propagação da luz dentro do tubo de descarga. Deste modo, a radiação gerada em um extremo do tubo viaja ao longo do mesmo encontrando - em cada lugar - o gás que se excitou com uma pequena antecedência. Deste modo pode chegar-se a obter um processo "cooperativo" ideal de emissão estimulada. Além disso, se dispensa o emprego de cavidade ressonante pois "toda" a radiação é amplificada em uma única direção. Isto dá origem ao que geralmente se conhece com o nome de superradiância. A correlação temporal que temos mencionado resulta possível obtê-la graduando as dimensões triangulares de C_2 .

Devido ao tempo de vida extremamente curto (~ 40 ns) do nível laser superior correspondente às transições ultra-violeta resulta supérfluo mencionar a extrema importância de dispor de pulsos ultra-curtos de excitação. Correlativamente, resulta evidente a necessidade de minimizar indutâncias no circuito.

O ponto mais crítico a analisar é o capacitor C_1 . Em (8) emprega-se um condensador coaxial para pulsos de baixa indutância, fabricado pela Condenser Products. Sendo o pulso gerado pela descarga de C_1 o que - ao propagar-se - encarregar-se-á de carregar C_2 e descarregar-se sobre o tubo Laser, resulta evidente sua importância capital.

Para aqueles que pretendem um modelo de comportamento aceitável (suficiente para excitar um laser de corante, sem grandes

requerimentos sobre a largura temporal do pulso) se sugere o emprego de condensadores cerâmicos DIGITEC(10 nf 7-30kV). Em nosso caso e por razões que posteriormente analizaremos, este não nos satisfaz. Partimos então, para o desenvolvimento de nossos próprios condensadores de pulso. Concentramo-nos na construção de condensadores coaxiais e de placas paralelas, de polietileno com poliéster. O processo extremamente cuidadoso de montagens e fabricação permitiu-nos obter em canecas de plásticos lacradas com poliéster, condensadores com características do tipo:

diâmetro : 180mm

comprimento : 180mm

Q = 100

Tensão máxima : 30 kV

C = 10 nf

Tolerância : 3%

Rx : 160

$D = 2\pi f RxC = 0,01$

Corrente de pico : 100 A

Cte. de tempo : $1,5 \times 10^{-6}$ seg.

Temos fabricado sem maiores problemas condensadores para tensões de 5.000 a 50.000volts e capacitância de 2,5 nf a 1 μ f com 3% de tolerância.

Esse ponto é de extrema importância pois permite alcançar a independência com respeito ao elemento "fundamental" de todo o desenvolvimento.

Quando mencionou-se que os condensadores de DIGITEC não nos satisfaz, referimo-nos ao fato de que por seus valores de capacidade não nos permitiam alcançar o valor ideal de 50 nf, com as necessárias condições e compactação. Trabalhando com condensadores de 50nf, construídos no Laboratório de Espectroscopia, Ótica e Laser foi possível realizar uma "multiplicação" de voltagem aplicado. Em efeito, com a constância de energia entregue à C_1 , e estando C_2 com um valor de uns 7 nf, isto permitiu carregar C_1 a um valor máximo de $V_1 = 10kV$ (por exemplo). Assim, aplicou-se sobre o tubo Laser' um pulso de voltagem de aproximadamente 26.000volts.

O tubo de descarga de 60 cm de comprimento ativo de descarga, foi construído de PVC e - para as janelas, foi empregado vidro ótico de fácil obtenção (em substituição ao quartzo).

Na parte superior e inferior do tubo de descarga foram colocados tubos com orifícios de comunicação ao tubo central de descarga, a fim de permitir um fluxo estável de nitrogênio (ver Fig 3). Em um plano plano horizontal (perpendicularmente ao plano determinado pelos tubos de fluxo de gás) introduziram-se eletrodos formados por lâminas de latão de comprimento 55 cm, largura 8 cm e secção 7 mm.

Existe uma razão dupla para que o funcionamento do laser se deve à cabo em um regime de circulação de gás. Por um lado renova continuamente o gás removendo elementos contaminantes gerados a pulso a pulso. Por outro lado se refrigeram os eletrodos com o próprio gás.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS.

As provas foram realizadas com um modelo composto por $C_1 = 50$ nf e $C_2 = 7$ nf, com uma distância entre eletrodos de 20 mm.

Tal como já foi mencionado um dos requisitos básicos a satisfazer são os ultra-baixos valores de indutância, a fim de minimizar os efeitos nocivos sobre a propagação do pulso de excitação. Consideramos ter compensado amplamente o efeito das indutâncias parasitas com uma relação mais favorável de capacidades.

Em efeito, em (8) a relação C_1 vale 3,33 enquanto que no presente trabalho $C_1/C_2 = 7,14$. Isto C_2 conduz a que - pelo já mencionado efeito de multiplicação de voltagem - possamos alcançar valores de eficiência maiores em excitação (pois obtemos valores mais altos de E/p - campo elétrico por pressão) para um mesmo valor de V.

O comportamento do laser frente à variações de pressão e/ou tensão é mostrado nas Figs. 4 e 5.

A potência máxima pico de emissão obtida foi de (500±50) kW para a banda 0-0 (3371 Å) do segundo sistema positivo. Empregar-se-ão um detetor fotovoltaico EGG-SGD 040 A e filtros neutros para realizar esta medida.

A repetitividade máxima que foi possível obter, sem o emprego de um sistema auxiliar "trigger" no "spark-gap" foi de 18 pul

os por segundo.

Um sistema "trigger" razoavelmente simples e versátil, se apresenta na Fig. 6. Com ele, foi possível alcançar repetitividade de 50 pulsos por segundo.

Por outro lado o emprego do "trigger" possui uma vantagem de extrema importância: regularidade de descarga. Em efeito, fazendo com que a frente de alta tensão carregue C_1 a um certo valor V , sempre que o necessário para produzir a descarga, emprega-se, -pulso a pulso-exatamente o mesmo valor de energia. Nestas condições o circuito "trigger" novamente completa a voltagem para alcançar a ruptura por ionização no "spark-gap".

CONCLUSÕES.

Desenvolveu-se um laser de nitrogênio molecular tipo "crossed-field" com a totalidade de materiais disponíveis no mercado nacional. Sobre o mesmo acreditamos conveniente ressaltar que:

-Sem nenhuma preocupação por aperfeiçoar o desenho do tipo de descarga ou experimentar diferentes relações de capacidades (C_1/C_2), tem-se conseguido potências pico de emissão superiores à modelos importados.

-O tempo de manutenção do aparato é extremamente reduzido e tem pouca complexidade de operação.

Isso permite que seja extremamente simples o treinamento de um operador.

-A repetitividade e potências alcançadas o habilita para substituir (a 1/5 do preço) modelos importados equivalentes.

-É extremamente simples a sua construção, mesmo para não especialistas em Laser.

AGRADECIMENTOS.

Ao Prof.Dr. Fernando de Souza Barros(UFRJ) e ao Prof.Dr. Carlos Arguello(UNICAMP) pelo permanente estímulo e colaboração.

À Cia. Química Industrial de Laminados FORMIPLAC.

Ao Sr. Joel de Oliveira Cunha por sua dedicação no trabalho desenvolvido em sua oficina mecânica e por sua qualidade.

REFERÊNCIAS.

- 1.-Heard, H. Nature 200,667 (1963)
- 2.-Godard, B. IEEE Journal of Quantum Electronics QE-10,147-153(1974)
- 3.-Garavaglia, H. et al, Physics Letters 28A, 787-788(1969).
- 4.-Massone, C.A. et al, Applied Optics 11, 1317-1328(1972).

- 5.-Tocho J.O. et al, Nouvelle Revue D'Optique 5, 319-322(1974)
- 6.-Leonard, D. Applied Physics Letters 7,4-6 (1965).
- 7.-Basting D. et al, Opto-Electronics 4,43-49(1972).
- 8.-Polloni, R. Optical and Quantum Electronics 8,565-566(1976)
- 9.-Elbern, A.W. et al, Revista Brasileira de Tecnologia 5,87-91
(1974).
- 10.-Willet, C.S. "An Introduction to Gas Lasers:Population Inversion Mechanisms", Pergamon Press (1974).

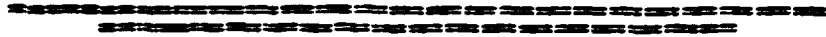


FIGURA 1.-

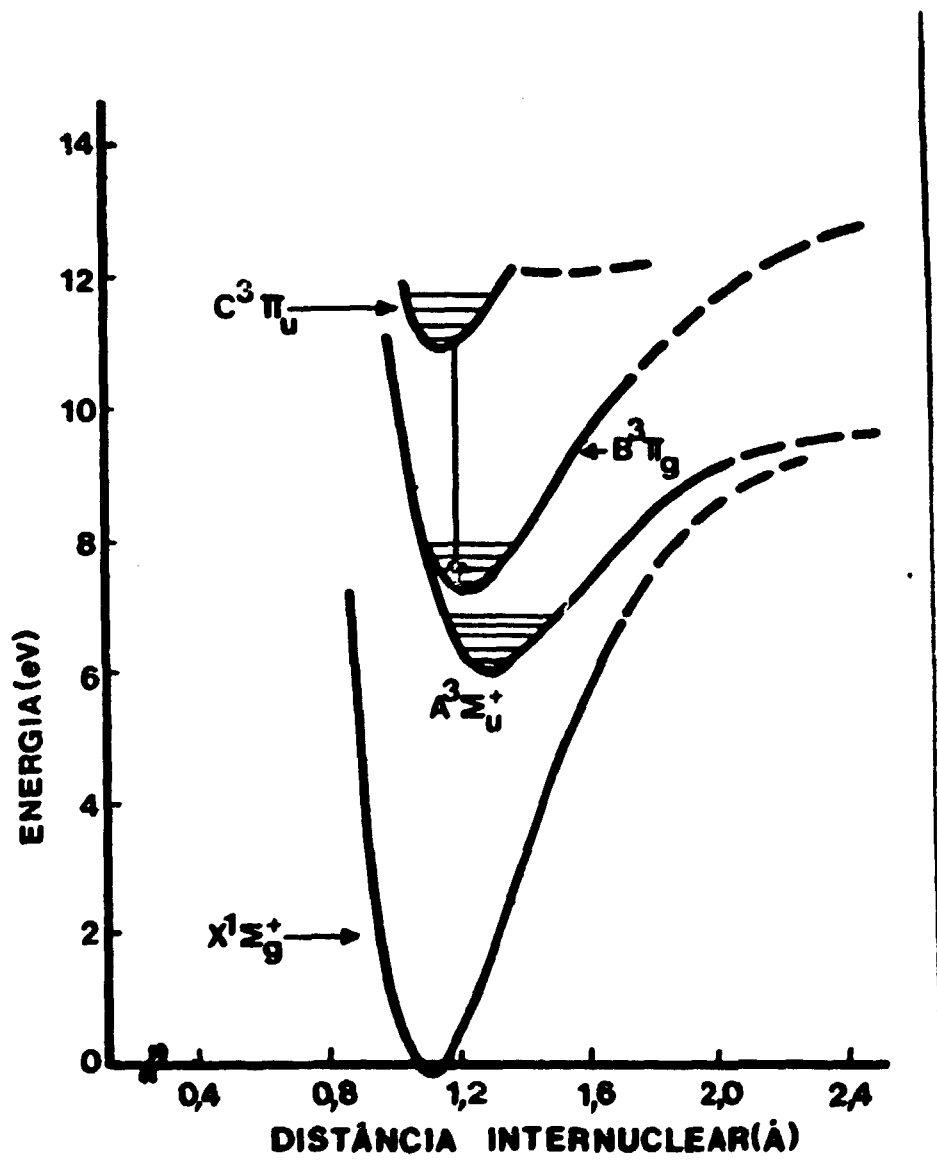


FIGURA 2.-

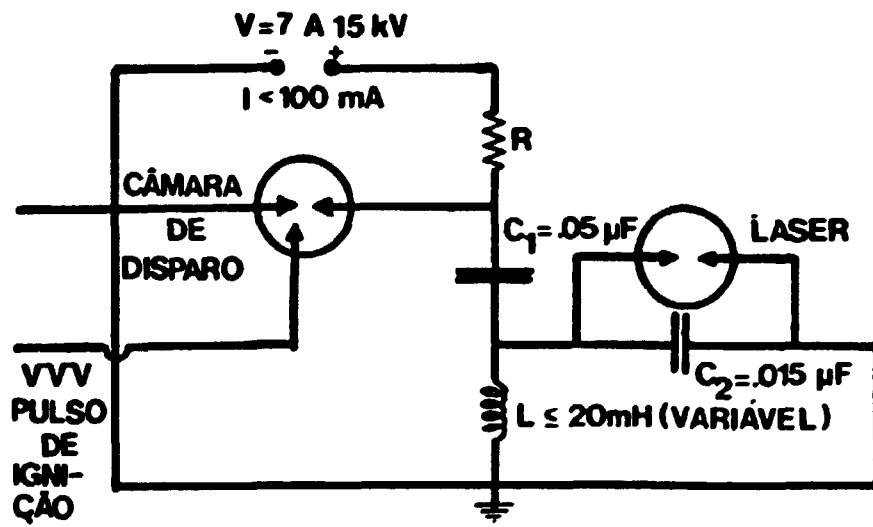


FIGURA 3.-

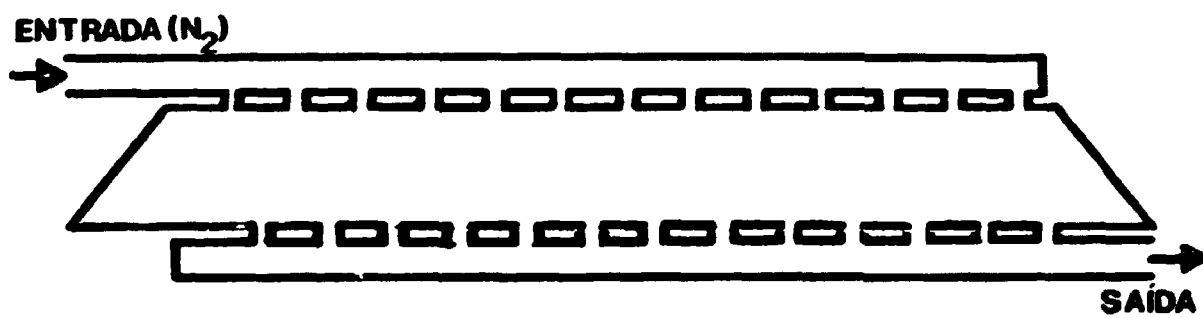


FIGURA 4.-

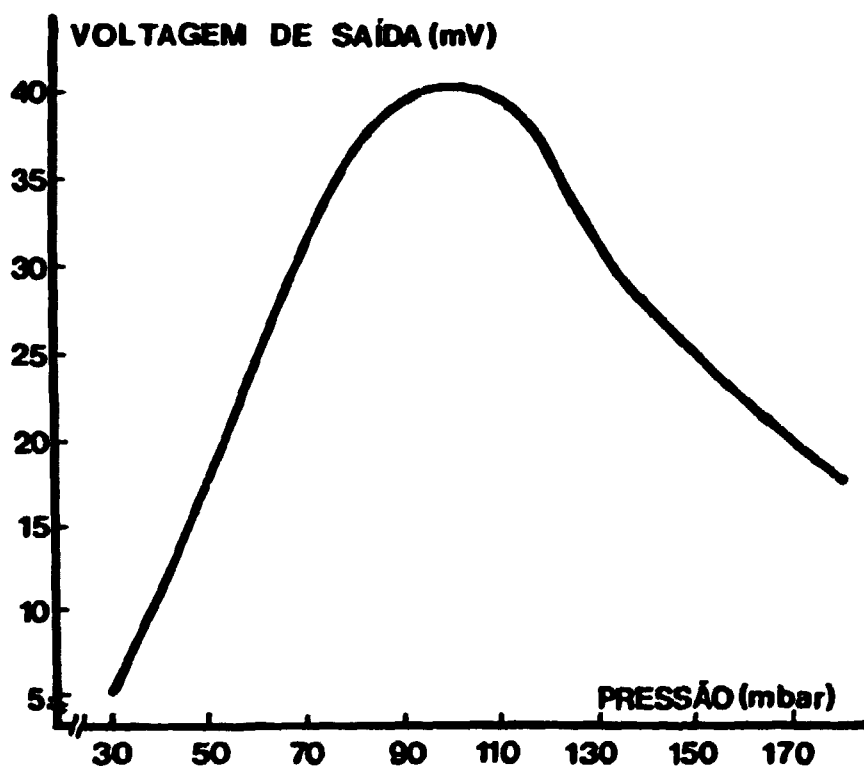


FIGURA 5.-

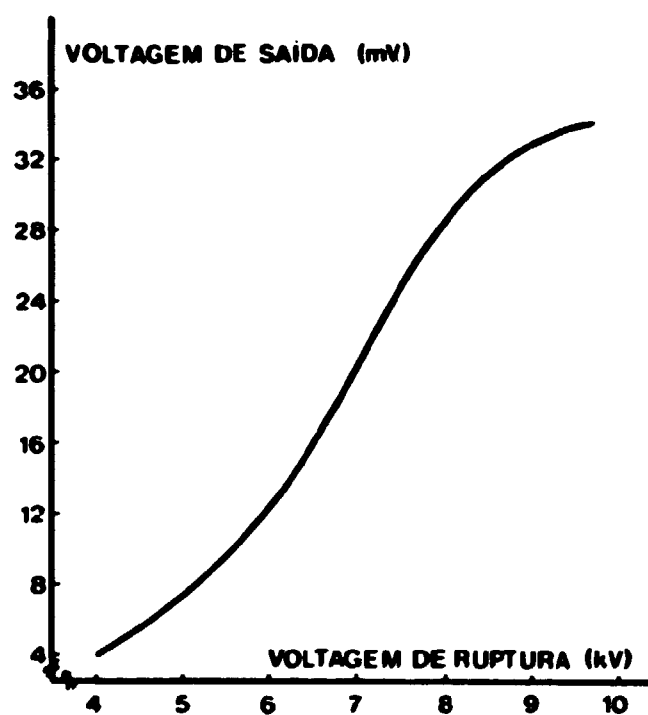
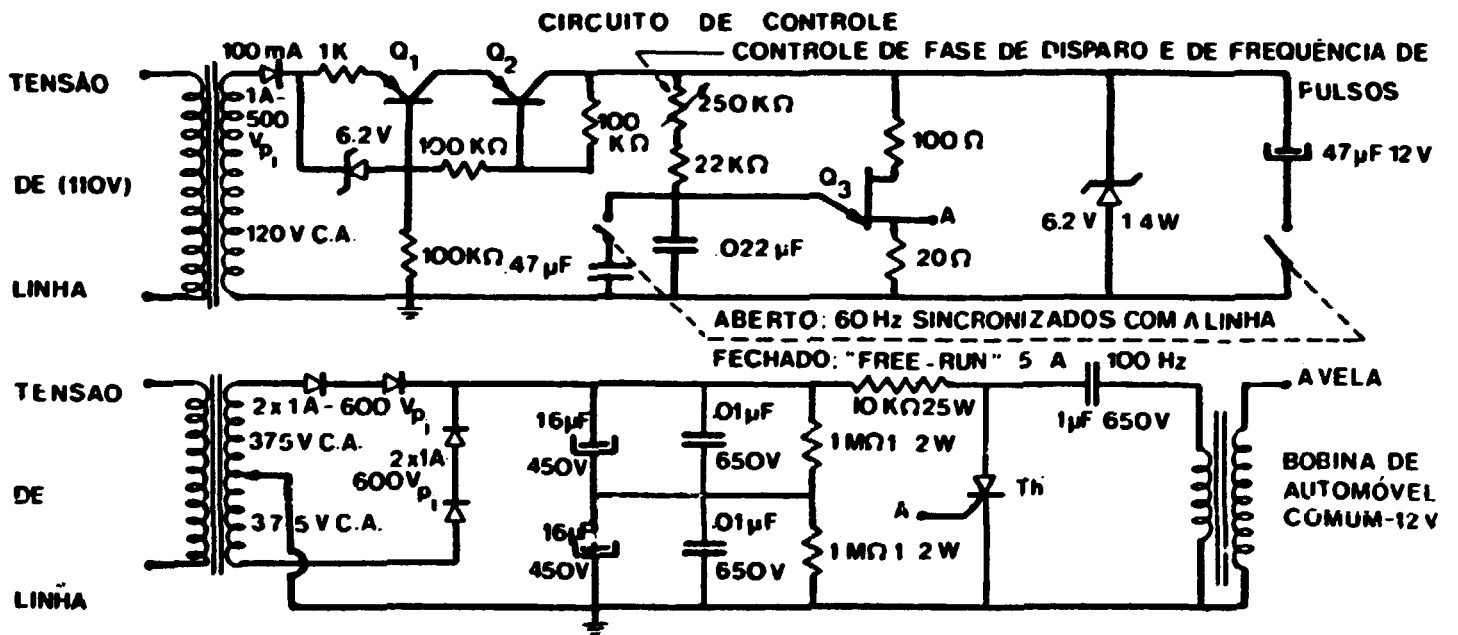


FIGURA 6.-



Th - TIRISTOR DE 600 V DE VOLTAGEM DE PICO INVERSO E 5A DE CORRENTE MÈDIA

Q₁ E Q₂ SÃO TRANSISTORES DE POTÊNCIA - 40 W

Q₃ - TRANSISTOR UNIJUNÇÃO COMUM