

INPE-5576-PRE/1804

**DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO
SISTEMA DE ENERGIZAÇÃO DO CECI**

**Rogério de Moraes Oliveira
Mario Ueda**

**Trabalho submetido ao II Brazilian Power Electronics Conference
Nov-29/Dec -02 - Uberlândia, MG, 1993**

**INPE
São José dos Campos
Abril de 1993**

**MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-5576-PRE/1804

**DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO
SISTEMA DE ENERGIZAÇÃO DO CECI**

**Rogério de Moraes Oliveira
Mario Ueda**

**INPE
São José dos Campos
Abril de 1993**

DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE ENERGIZAÇÃO DO CECI

1 INTRODUÇÃO

CECI é um dispositivo de geometria toroidal no qual se estuda o confinamento magnético de plasma. Um conjunto de bobinas toroidal, poloidal e vertical é utilizado para geração deste campo de confinamento.

Aqui descreveremos os circuitos eletrônicos envolvidos nas construções dos aparatos necessários para o acionamento destas bobinas. Na parte final do relatório descrever-se-á também o circuito de pré-ionização do plasma.

O diagrama de blocos da Fig. 1.1 mostra todas as partes constituintes do sistema de energização no CECI.

O campo toroidal é gerado por corrente DC, portanto, constante com o tempo. Uma fonte de 30V/600A fornece corrente contínua à bobina toroidal que é refrigerada para se evitar superaquecimento.

Os campos poloidal e vertical são pulsados, necessitando de bancos de capacitores que, após serem carregados, são descarregados nas respectivas bobinas, por um circuito de gatilhamento.

2 DESCRIÇÃO DOS BLOCOS DO SISTEMA DE ENERGIZAÇÃO

- Controle Automático de Carga e Descarga: controla o nível de tensão de carregamento do banco de capacitores do circuito de acionamento da bobina poloidal, além de gatilhar os geradores de pulso de alta tensão 1 e 2.
- Subsistema Automático de Carga e Descarga: é controlado pelo controle automático

de carga e descarga. Controla o nível de tensão de carregamento do banco de capacitores do circuito de acionamento da bobina vertical.

- Controle de Carga nº 1: controla o nível de tensão de carregamento do banco de capacitores do circuito de pré-ionização .
- Controle de Carga nº 2: controla o nível de tensão da fonte do circuito do "Master Trigger".
- Fontes de Alta Tensão nºs 1, 2 e 3: pertencentes aos circuitos de acionamento das bobinas poloidal e vertical e circuito de pré-ionização respectivamente. Os primários dos transformadores destas têm níveis de tensão controlados pelos controladores de carga e suas saídas estão ligadas aos bancos de capacitores das respectivas bobinas.
- Fonte de Alta Tensão nº 4: é a fonte do circuito de "Master Trigger" que se destina a fornecer alta tensão para chaves "spark-gaps" dos gatilhos principais nºs 1 e 2.
- Gerador de Pulso de Alta Tensão nº 1: circuito que gera um pulso de alta tensão, que irá disparar a chave "spark-gap" do gatilho principal 1, das bobinas poloidal e vertical.
- Gerador de Pulso de Alta Tensão nº 2: circuito que gera um pulso de alta tensão que irá disparar a chave "spark-gap" do gatilho principal 2, para realização da pré-ionização do plasma.
- Gatilho Principal 1 e 2: são chaves "spark-gaps". De um lado destas tem-se terra e de outro alta tensão. Ao serem disparadas por pulsos vindos dos Geradores de Pulso de Alta Tensão, transmitem um pulso de tensão suficiente para gatilhar as outras "spark-gaps" (SG_1, SG_2, SG_3).
- Circuitos de Emissão de Elétrons: constituídos de um controlador de carga e um circuito de acionamento que se destinam a alimentar um catodo e filamento responsáveis pela emissão.

3 DETALHES DE CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS CHAVES "SPARK-GAPS"

Na Fig. 3.1 estão os detalhes de construção .

Basicamente, quando um pulso de alta tensão chega à vela, é gerada uma faísca, fechando a chave (curto circuito entre 4 e 5). Nestas condições ocorre o chaveamento.

Para melhor entendimento, analisemos o funcionamento da chave "Spark-gap" nº1, que realiza o chaveamento (descarga) do banco de capacitores na bobina poloidal. Um determinado nível de tensão é ajustado no circuito automático de carga e descarga. O banco de capacitores ($16,85\mu F/20\text{ kV}$) será, então, carregado com esta tensão através da F.A.T. nº1. Neste instante, um dos lados da "spark-gap" (2), terá a mesma tensão dos capacitores. Do outro lado da chave (3), tem-se conectado malha de terra.

O circuito de gatilho principal nº1 fornecerá um pulso que acionará a vela, fazendo o chaveamento da "spark-gap" e descarregando o banco de capacitores na bobina poloidal. O que ocorre na descarga é um pulso de alta tensão sobre a bobina.

4 DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS DE ENERGIZAÇÃO DO CECI

4.1 Sistema Automático de Carga e Descarga (S_1)

O esquema da Fig. 4.1.1 mostra o circuito do Sistema Automático de Carga e Descarga.

Para se analisar o funcionamento deste, faz-se necessário entender o funcionamento do "meter relay" (relé de medição). Um valor de "set-point" é ajustado manualmente na escala do medidor, em volts, através do ponteiro de "set-point". Estando o medidor ligado ao ponto de medição, o banco de capacitores, um segundo ponteiro, o de medição indicará a tensão de carga do referido banco. O ponteiro de medição deflete, indicando a tensão no banco, até que sua posição coincida com a do ponteiro de "set-point". Neste instante, o relé do medidor muda de sua posição normal CB para a posição CM.

Quando a descarga do banco ocorre, o ponteiro de medição começa a retornar à posição "zero" (início da escala), e o relé volta à posição normal CB.

A finalidade do relé de medição, portanto, é a de estipular o valor de tensão com que o banco de capacitores deve ser carregado. Voltemos para a análise do circuito.

*Observação: chamaremos de posição normal do relé aquela em que se encontram os contatos deste quando o mesmo não está energizado. A outra será a posição ativada.

Dois modos de funcionamento do sistema automático de carga e descarga são possíveis: o manual e o automático. Analisaremos de primeira mão o modo automático.

Modo Automático

Quando a chave SW_1 é fechada, o circuito é alimentado e a lâmpada L_1 acenderá indicando circuito ligado. O "Meter Relay" (MR) estará alimentado.

Com SW_2 na posição A, a lâmpada L_2 acenderá indicando modo automático. Neste instante o relé R_4 é energizado e um de seus contatos (ligado à saída) passa da posição normal (8-11) para a posição ativada (9-11).

Estando o "meter relay" na posição CB, o relé R_1 será energizado e um de seus contatos (6-7) se fechará, possibilitando que através do "variac", o banco de capacitores do circuito da bobina poloidal seja carregado. A lâmpada L_3 acenderá indicando banco carregado.

Quando a tensão do banco for a mesma que a ajustada no “meter relay” (“set-point”), os contatos deste passarão da posição CB para a posição CM. O relé R_1 será, então, desenergizado e o contato deste, R_1 (6-7) se abrirá, desligando tensão do “variac” e parando de carregar o banco de capacitores. Neste instante, a lâmpada L_4 acenderá indicando banco carregado e a buzina soará como alerta de possível descarga. Com R_4 em 1-3 (R_4 sempre energizado no modo automático) R_2 e T_1 serão energizados. Transcorridos 1 a 2 segundos, o contato temporizado de T_1 energizará T_2 e R_3 . Um dos contatos de R_3 (3-1) fecha-se e procede-se o gatilhamento (vide circuito da Fig. 1.4). O gatilho desliga a buzina, R_3 (em 6-5) aberto e o contato do “meter relay” passa para a posição normal CB. Como T_2 foi acionado, transcorridos 10 segundos após o gatilho, o contato de T_2 (13-11) se abrirá, desenergizando R_2 e possibilitando, por meio de R_2 , (4-1) que R_1 seja novamente energizado e o banco novamente carregado. O processo então se repetirá.

Concluimos, portanto, que no modo automático o banco será carregado, gatilhado após 1 a 2 segundos e novamente carregado, depois de transcorridos 10 segundos do gatilhamento.

Modo Manual

Para se carregar o banco neste modo faz-se necessário ligar SW_3 .

O “meter relay” na posição CB energiza R_1 e com SW_3 ligado, procede a carga do banco. Ao se atingir a tensão de carga ajustada, o “meter relay” fechará o contato CM, acionando a buzina e indicando que o banco está pronto para descarga. O acionamento do botão faz com que se energize R_3 e acontecerá o gatilho como anteriormente. O contato do MR retorna para a posição CB. Para que o banco não seja novamente carregado, deve-se desligar SW_3 quando da primeira carga deste.

O diagrama da Fig. 4.1.2 ilustra as diferenças entre as operações manual e automática.

4.1.1 Descrição do circuito de gatilhamento do Sistema Automático de Carga e Descarga (Fig. 4.1.3)

O circuito é alimentado com 110Vac e retificado em meia onda. O capacitor se carrega segundo a constante de tempo RC, onde $R = 1M\Omega$ e $C = 22nF$. Quando acontecer o gatilho e R_3 for atracado, um de seus contatos $R_3(1 - 3)$ se fechará e um pulso de tensão acionará o tiristor. Este, por sua vez, conduzirá e o capacitor se descarregará sobre as resistências de 50Ω . Haverá, portanto, pulsos de tensão nas saídas BNC do circuito, que servirão para gatilhar o circuito pulsador Thyatron (gerador de pulso de alta tensão 1 e 2).

4.2 Subsistema Automático de Carga e Descarga (S_2)

O circuito do subsistema está esquematizado na Fig. 4.2. Nota-se que este é dependente do sistema automático de carga e descarga, sendo alimentado somente quando S_1 for ligado. Opera nos modos manual e remoto. Para que funcione no modo manual faz-se necessário ligar a chave SW_1 . O modo remoto só é possível se o sistema S_1 estiver em automático.

Modo Manual

Estando o sistema S_1 ligado, bem como a chave SW_1 , o circuito fornecerá tensão ao “variac” de saída.

Quando a tensão medida no banco de capacitores de acionamento da bobina vertical coincidir com a ajustada no “meter relay”, o contato deste acionará R_1 , acendendo a lâmpada L_3 (indica banco carregado). Um disparo manual do sistema S_1 descarregará os bancos das bobinas poloidal e vertical.

Modo Remoto

O modo remoto só é possível se o sistema S_1 estiver em automático. Neste caso, é dispensável que SW_1 esteja ligada. Através do sinal “sub3”, vindo de S_1 , o relê R_2 de S_2 é atracado e o banco começa a ser carregado. Quando a tensão deste coincidir com a ajustada no “meter relay”, R_1 é atracado e L_3 acenderá (indicando banco carregado). Quando o gatilho (R_3 de S_1) for acionado, os bancos de capacitores das bobinas poloidal e vertical serão descarregados.

4.3 Gerador de Pulso de Alta Tensão

Os geradores de alta tensão nºs 1 e 2 são praticamente idênticos e o esquema da Fig. 4.3 ilustra o circuito.

Podemos observar neste esquema que existem duas entradas: a de baixa tensão e a de alt tensão. Ambas são geradas no sistema S_1 em suas saídas “BNC”.

Os geradores têm a finalidade de fornecer em suas saídas pulsos de alta tensão, que acionarão os circuitos de gatilho principal nºs 1 e 2.

Estes têm como elemento principal a válvula Thyatron 8503 (ou 5C22) num dos pulsadores e TQ55 em outro, que contém um triodo termo-iônico formado por um catodo, circundado por um fio em forma helicoidal, denominado grade, e por um anodo.

Na Thyatron podemos controlar a condução entre anodo e catodo, aplicando potenciais na grade da válvula. Devido à proximidade da grade em relação ao catodo, pequenas tensões negativas aplicadas à grade, são suficientes para impedir que ocorra condução.

Na Fig. 4.3.1 apresentamos o diagrama de bloco do Pulsador Thyatron.

A entrada de alta tensão é aplicada diretamente à grade da Thyatron e a de baixa tensão irá gatilhar um pulsador intermediário (2D22) para poder disparar a Thyatron.

Uma fonte de alta tensão alimentará o anodo com até 16 KV. Pode-se observar o gerador manual de pulso e o sistema de controle da tensão de grade.

Com base nas informações sobre a 8503 verificamos que, para operação da válvula, é necessário uma tensão de filamento de 6,3V, tensão de anodo (V_a) máx de 16KV, tensão de polarização da grade (V_b) de 0 a -120V; o pulso a ser aplicado à grade deve ter 200V pico e largura de $2\mu s$, no mínimo.

4.4 Controle de Carga 1 e 2

O esquema da Fig. 4.4 ilustra o circuito de controle de carga. Consta, basicamente, de um varistor, que está conectado ao primário do transformador das fontes de alta tensão nº 3 e 4, respectivamente.

Quando o circuito é ligado por SW_1 , L_1 acende. Quando SW_2 é ligado, L_2 acende, indicando alta tensão. Há um medidor ligado à saída da Fonte de Alta Tensão para leitura da tensão.

4.5 Outros componentes do sistema de energização

- Medidor de Alta Tensão: Utiliza-se um microamperímetro, graduado em volts. Está acoplado à saída da fonte de alta tensão. Em série com o medidor, tem-se um resistor de 200 M Ω , limitando a corrente. Por exemplo, para uma tensão de 20KV na saída, a corrente que será marcada pelo microamperímetro será de 100 μA .
- Fonte de Alta Tensão: Consta basicamente de um transformador com enrolamento primário 110/220V e secundário de 7,5KV + 7,5KV com “center-tap”. Este trafo é o mesmo utilizado na ionização de gás neon em lâmpadas, letreiros, etc... Um variac (parte do circuito do controle de carga), permitirá variar a tensão no primário do trafo e, por consequência, no secundário deste.

A retificação em meia onda é feita por um diodo para alta tensão, da marca SEMIKRON.

Há um resistor de surto que limita a corrente de saída da fonte. Os esquemas das F.A.T. podem ser vistos nas Figuras do apêndice que ilustram os circuitos de acionamento das bobinas poloidal, vertical, circuito de pré-ionização e master trigger.

- Atrasador de Pulsos: Têm a finalidade principal de atrasar o pulso do gerador de pulso nº1 com relação ao do gerador de pulso nº2. Isto para garantir que a pré-ionização seja feita antes dos disparos das bobinas vertical e poloidal.

- Fonte de Emissão de Elétrons: Consiste de um filamento que, quando aquecido, emite elétrons, ionizando o gás, antes de ocorrer a descarga.

O “electron gun” possui 2 eletrodos, onde está o filamento, que só acende dependendo do relê R_1 , que é alimentado via controles de S_1 . Somente quando o sistema estiver carregado é que o filamento acenderá.

O catodo terá a tensão de carga do capacitor de $2500\mu\text{F}$. A emissão de elétrons é ilustrada pelo circuito da Fig. 4.5

5 OPERAÇÃO DOS BANCOS DE ENERGIZAÇÃO

5.1 Acionamento do banco da Bobina Poloidal (Fig. 5.1)

Para gerar o campo poloidal é necessário um pulso de alta tensão na bobina poloidal.

O controlador de carga e descarga automático (S_1) varia a tensão do primário/secundário da fonte de alta tensão nº1 através de um variac. S_1 controlará e indicará o máximo valor da tensão de carga do banco de capacitores de $16.85\mu\text{F}$. Para acionamento da bobina precisamos descarregar este banco, via chave spark-gap, SG nº1.

O gatilhamento de SG1 depende da circuitaria a seguir:

- Uma outra chave spark-gap (gatilho principal nº1), quando gatilhada, aciona SG1 e faz o disparo do banco.
- O controlador de carga e descarga automático (S_1), através de disparo manual ou automático, gera pulso de tensão que acionará o gerador de pulso de AT nº1 (válvula Thyatron). Esta gera pulso que gatilha a spark-gap do gatilho principal nº 1.
- De um lado desta spark-gap existe alta tensão proporcionada pela F.A.T. nº4 (Master Trigger) e, de outro, malha de terra.
- Após pulso da Thyatron, um outro pulso de maior intensidade será fornecido e gatilhará SG₁ e, conseqüentemente, o banco.

5.2 Acionamento do banco da Bobina Vertical (Fig. 5.2)

A descrição para o acionamento da bobina vertical é similar a da bobina poloidal.

O sistema de disparo é feito pela chave spark-gap nº2, que será acionada pelo circuito de gatilho principal nº1 e gerador de pulso de A.T. nº1 (ambos idênticos aos da bobina poloidal).

O subsistema automático de carga e descarga (S_2) controla a tensão de carga do banco de capacitores do circuito vertical.

5.3 Acionamento do banco de Pré-Ionização (Fig. 5.3)

O princípio de funcionamento é similar ao dos acionamentos das bobinas poloidal e vertical.

Na verdade, a pré-ionização consiste em se aplicar um pulso de curta duração à bobina poloidal, proporcionando uma variação rápida do campo poloidal, antes do acionamento propriamente dito desta bobina. O campo poloidal, que acontece depois da pré-ionização, tem longa duração se comparado a esse.

Desta forma, a chave spark-gap nº3 é chaveada antes de SG_1 e SG_2 .

O circuito é composto por: controle de carga nº1, F.A.T. nº3, banco de capacitores de $0,25\mu F/20KV$, chave SG_3 , gerador de pulso de A.T. nº2 e gatilho principal nº2.

6 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O sistema de energização do dispositivo CECI é constituído por circuitos de construção simples.

Quase na sua totalidade, exceto fonte DC 30V/600A, construído no próprio LAP (Laboratório Associado de Plasma) a baixíssimo custo.

Em se tratando de um sistema pulsado, a circuitaria envolvida é de pequeno porte, o que constitui grande vantagem em termos de custo e manutenção.

Todo o aparato eletrônico descrito é necessário para realização de descargas indutivas no CECI, dispositivo de confinamento magnético com geometria toroidal, que possibilita a obtenção de configurações Tokamak, RFP (Reversed Field Pinch) e Ultra Low Q (das quais as duas últimas são possíveis alternativas para fusão nuclear frente aos Tokamaks).

REFERÊNCIAS

- UEDA, M.; VILELA, W.A.; *Desenvolvimento de Dispositivos para o Injetor de Feixe de Partículas de Alta Intensidade*. Publicação Interna do INPE nº 5427, maio 1992.
- ASO, Y.; *Esquemáticas dos Circuitos Elétricos de Energização do CECI*. São José dos Campos, 1988.

TRIGATRON GAP SWITCH

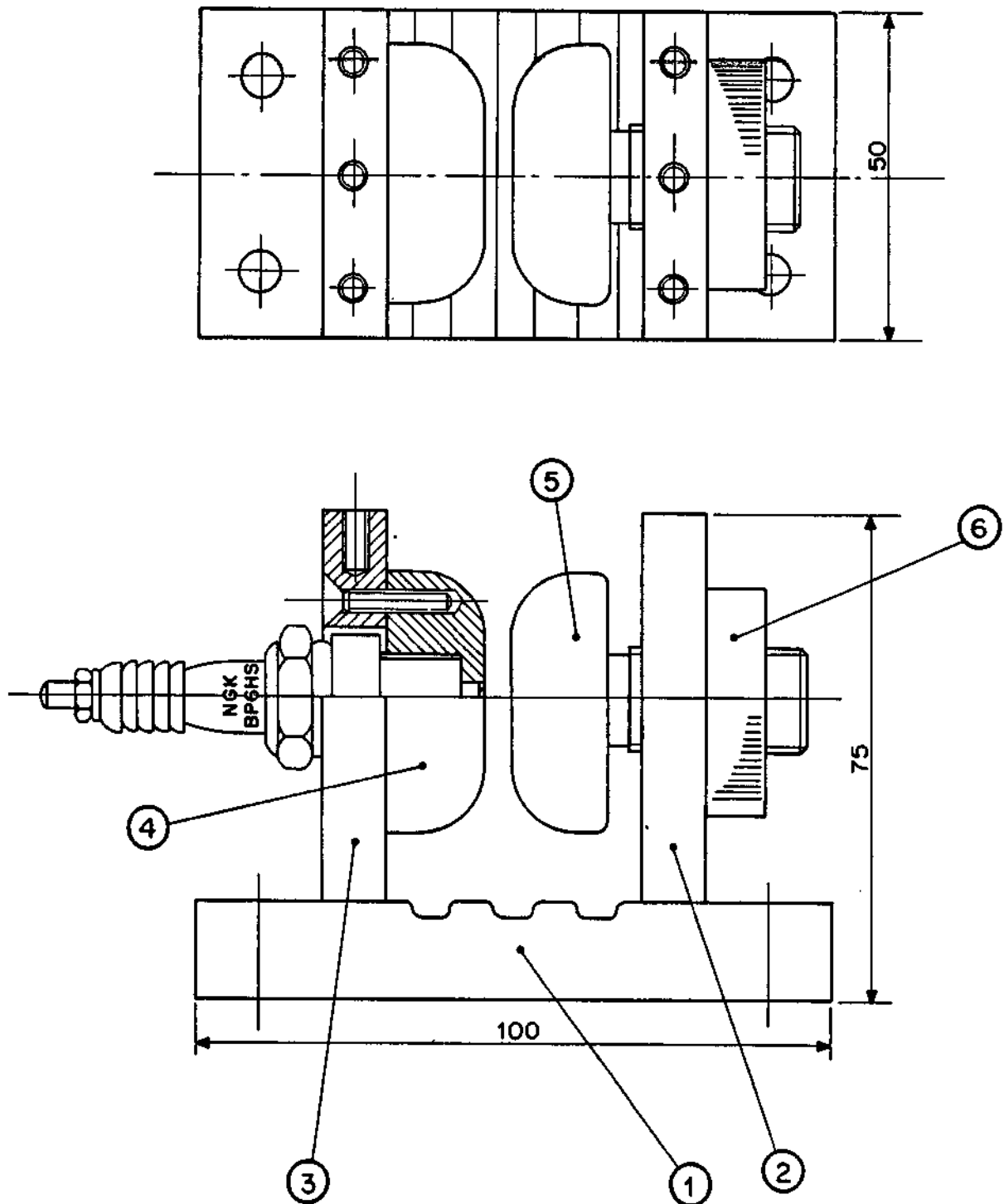


Fig. 3.1

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CARGA E DESCARGA

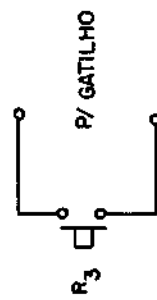
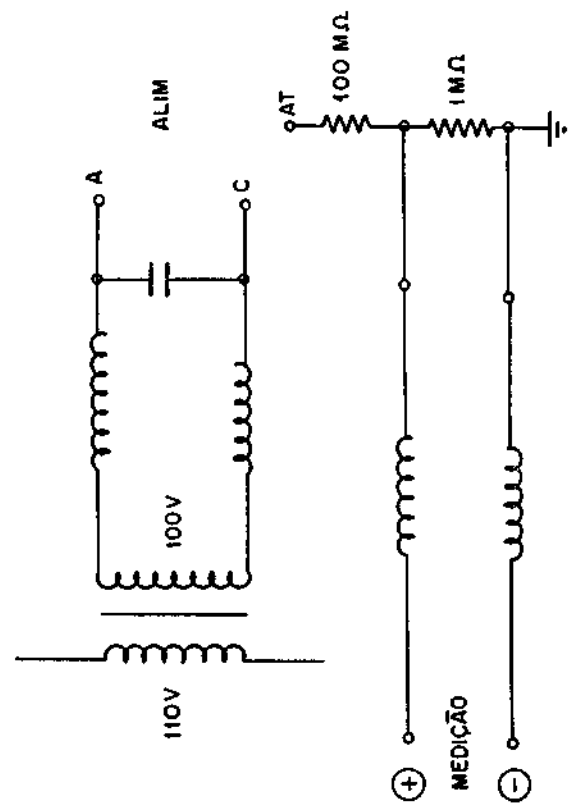
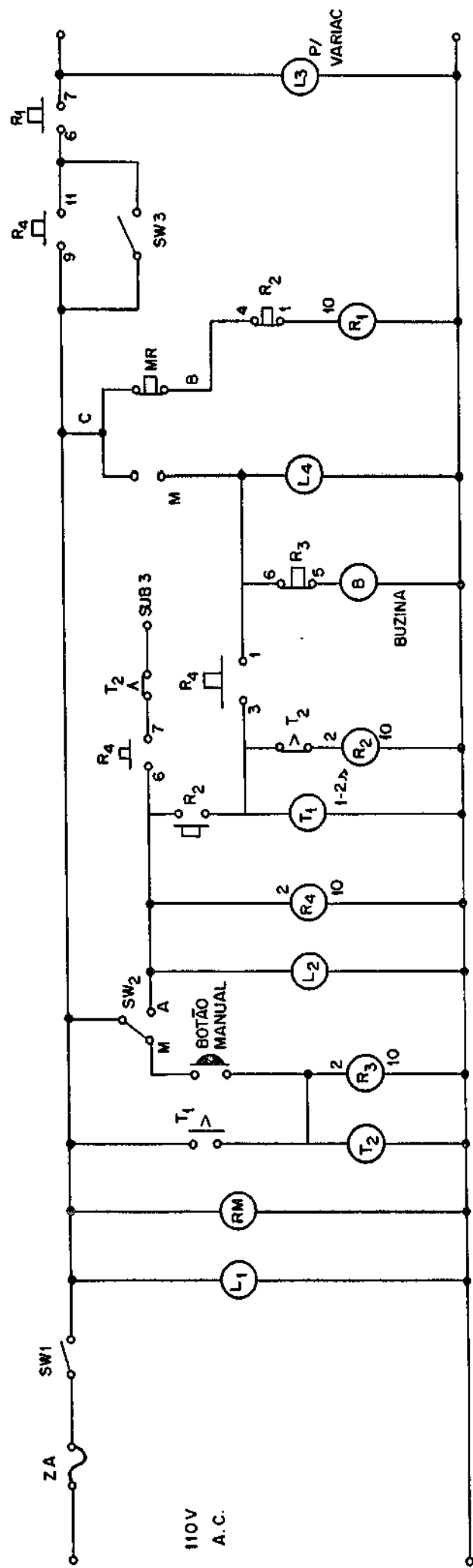
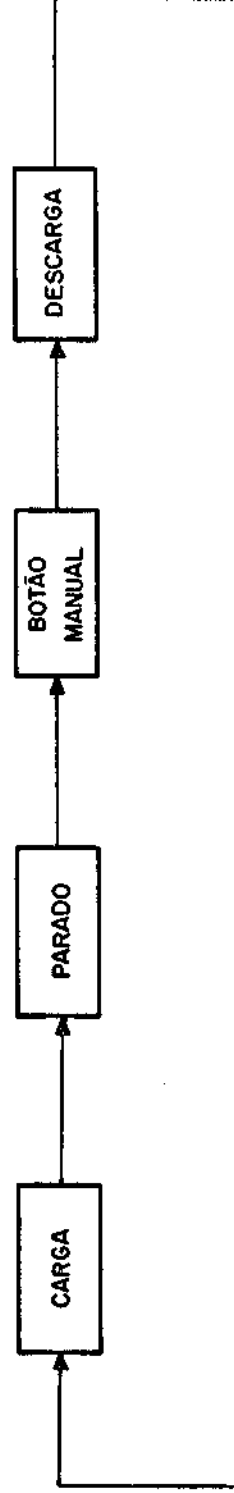


Fig. 4.1.1

DIAGRAMA DE BLOCOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA AUT. DE CARGA E DESCARGA

MODO MANUAL .



MODO AUTOMÁTICO :

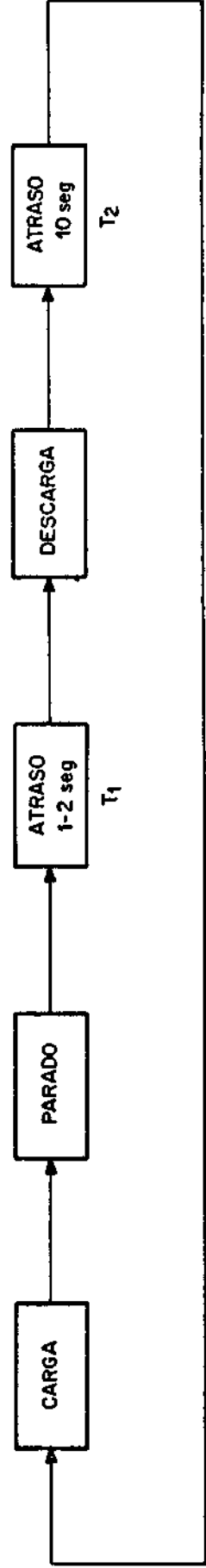


Fig. 4.1.2

CIRCUITO DE GATILHO PARA THYRATRON

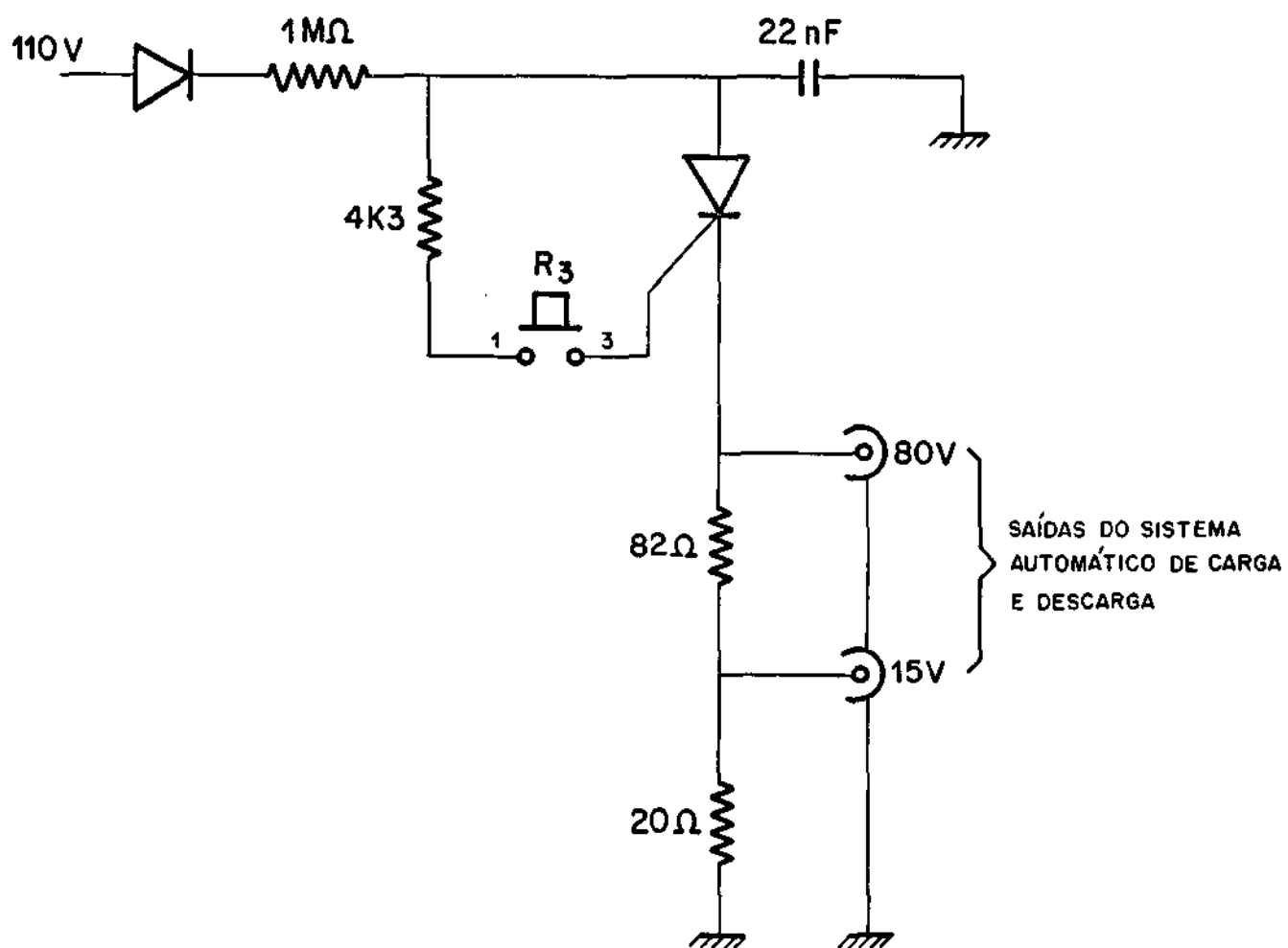


Fig. 4.1.3

Fig. 4.3

DIAGRAMA DE BLOCOS DO CIRCUITO PULSADOR THYRATRON

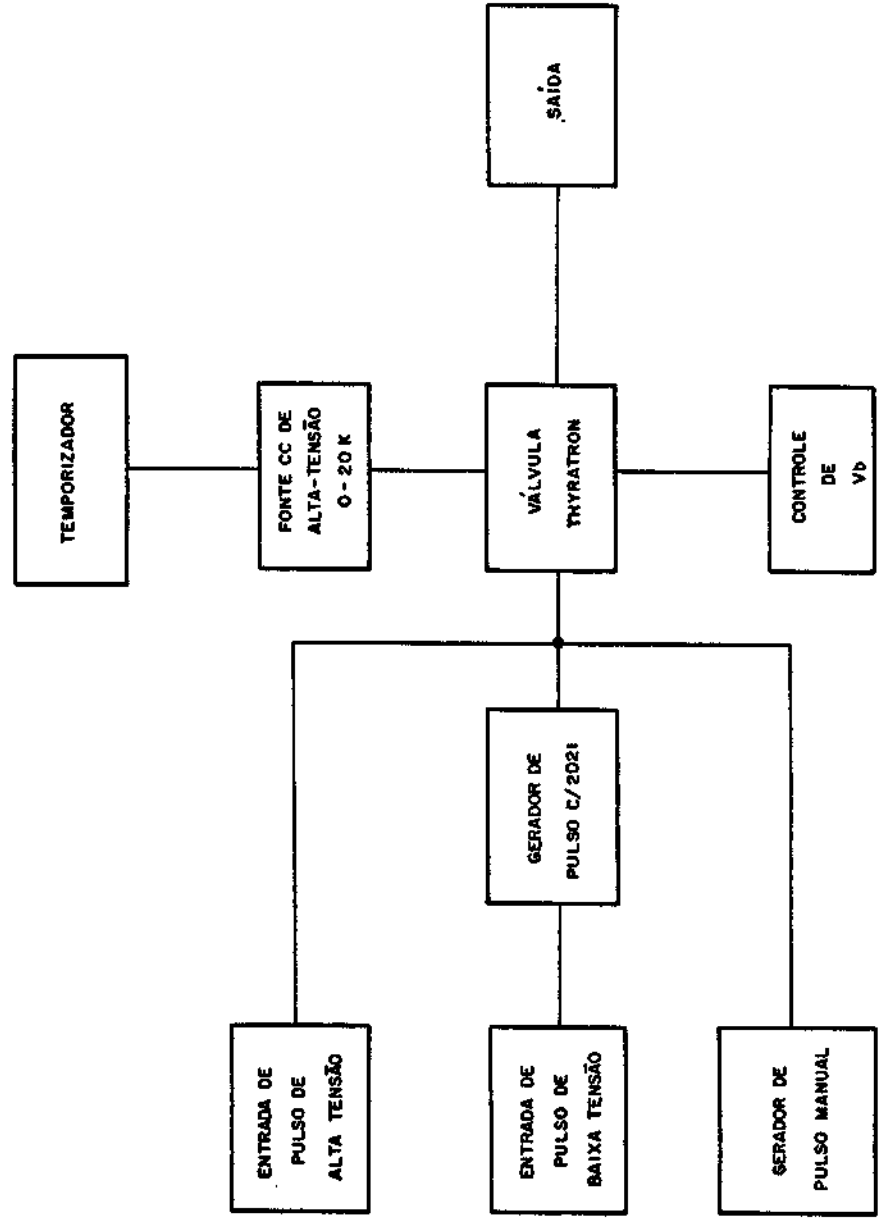


Fig. 4.3.1

CONTROLE DE CARGA

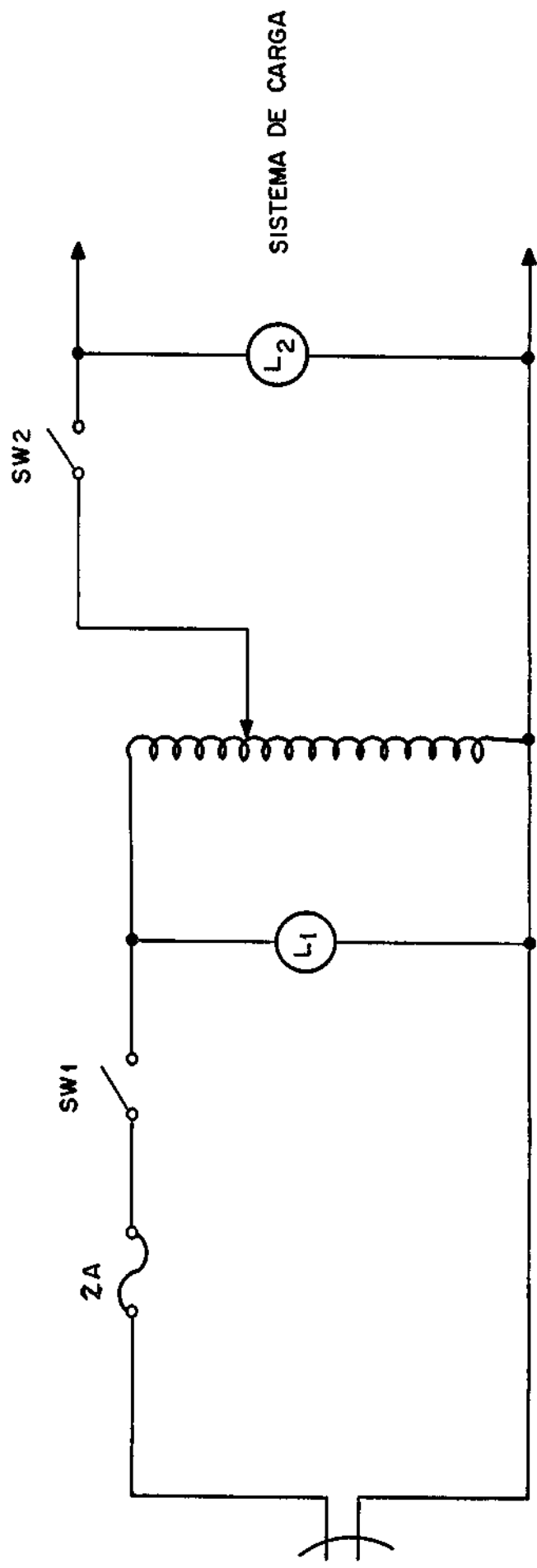


Fig. 4.4

CIRCUITO DE ACIONAMENTO DO ELECTRON GUN

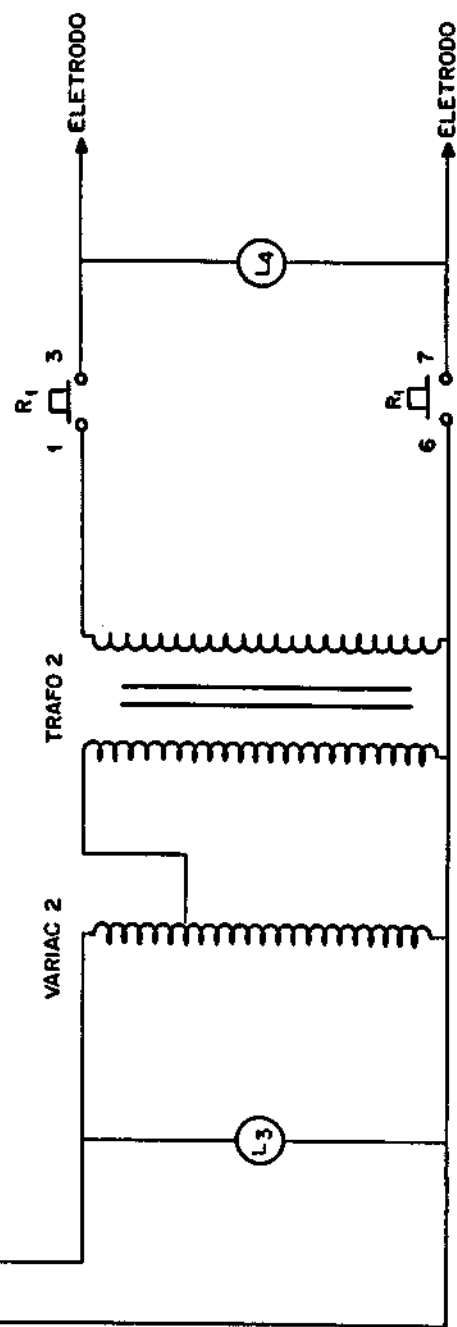
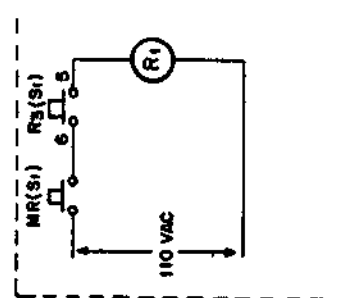
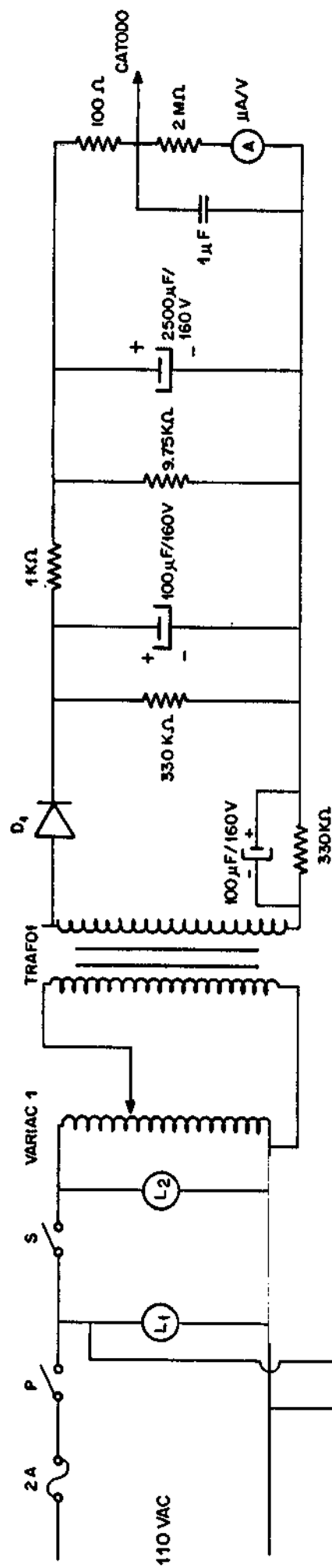


Fig. 4.5

CIRCUITO DE ACIONAMENTO DA BOBINA POLOIDAL

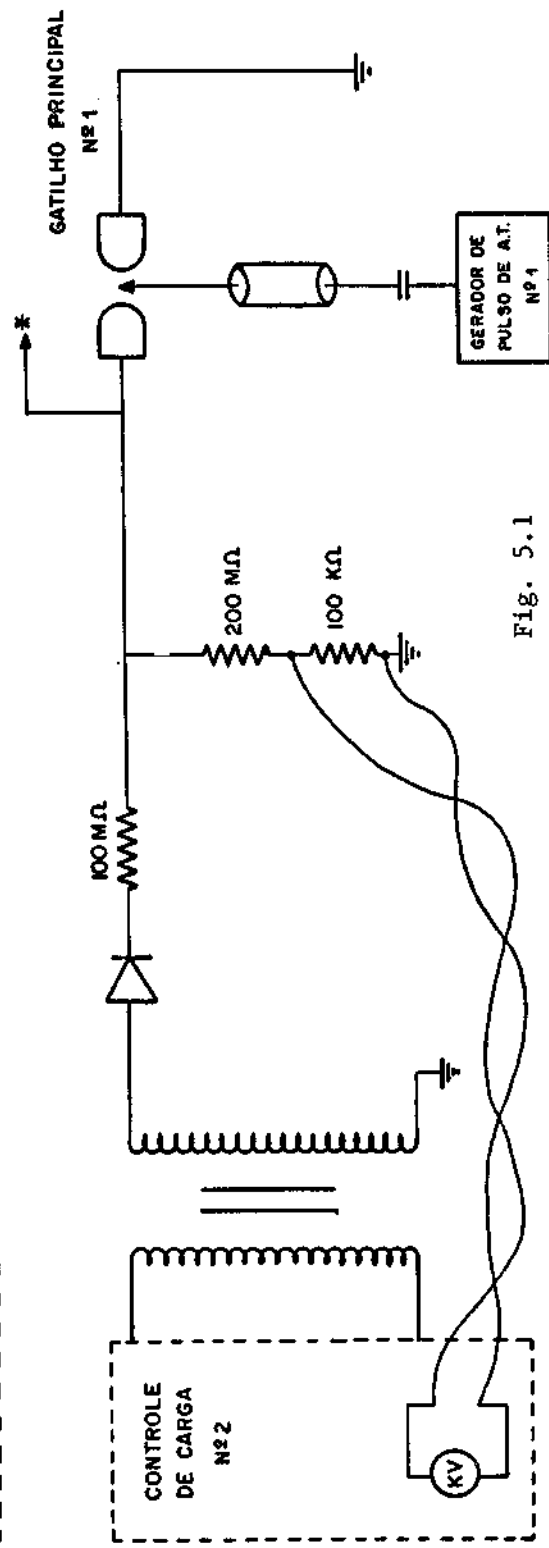
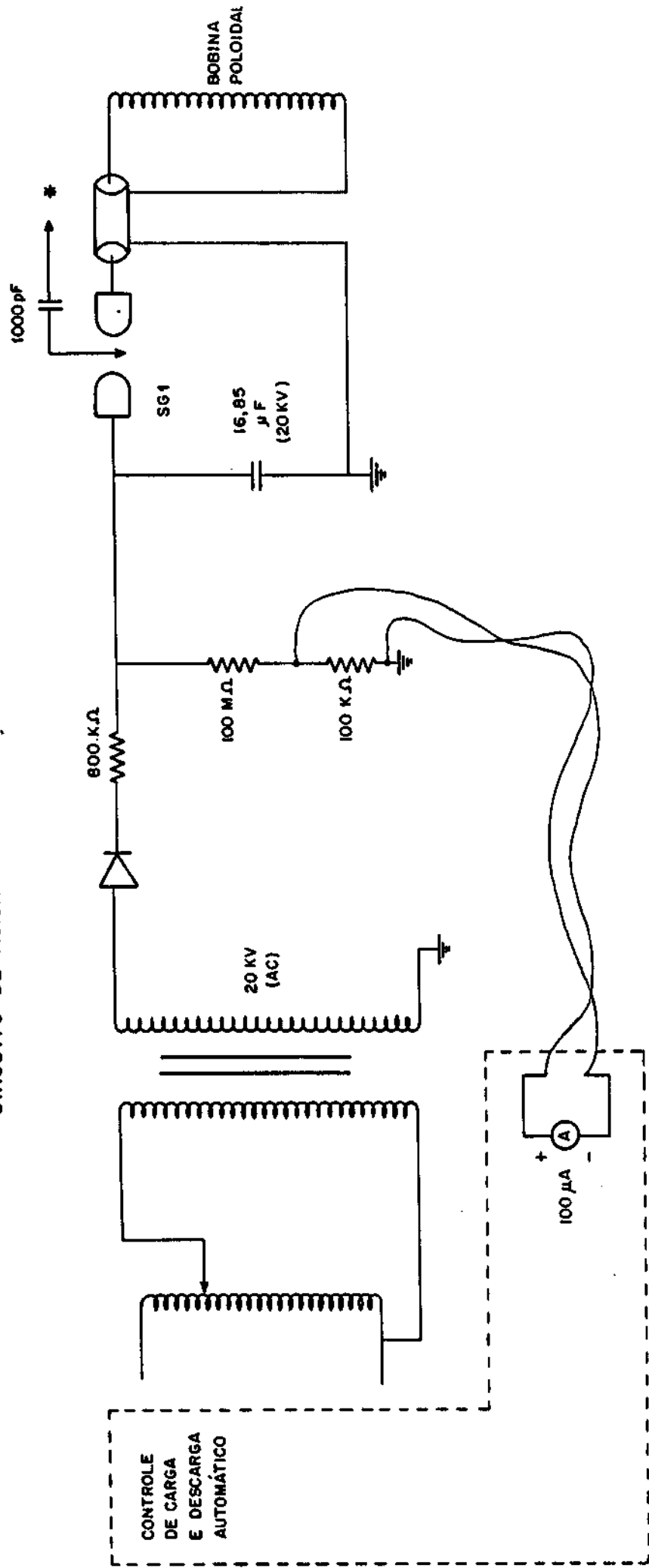


Fig. 5.1

CIRCUITO DE ACIONAMENTO DA BOBINA VERTICAL

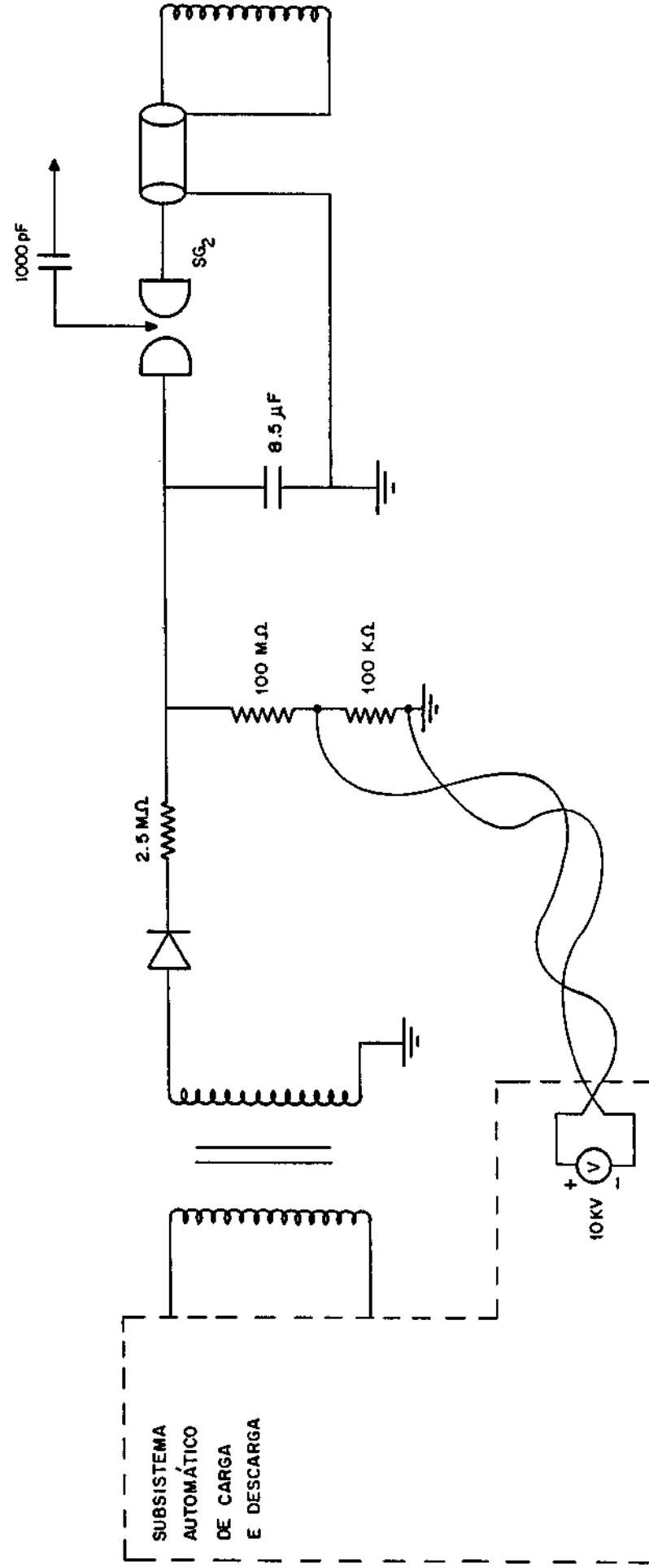


Fig. 5.2

The diagram illustrates the electrical circuit for the experiment. It features a poloidal coil (BOBINA POLOIDAL) connected to a control unit (CONTROLE DE CARGA N°2) and a 100 μA ammeter. The circuit includes several resistors (10 MΩ, 200 MΩ, 1 MΩ) and capacitors (1000 pF, 25 μF (25 kV)). A switch (Sg3) is used to control the current flow. The ammeter is connected in series with the coil to measure the current.

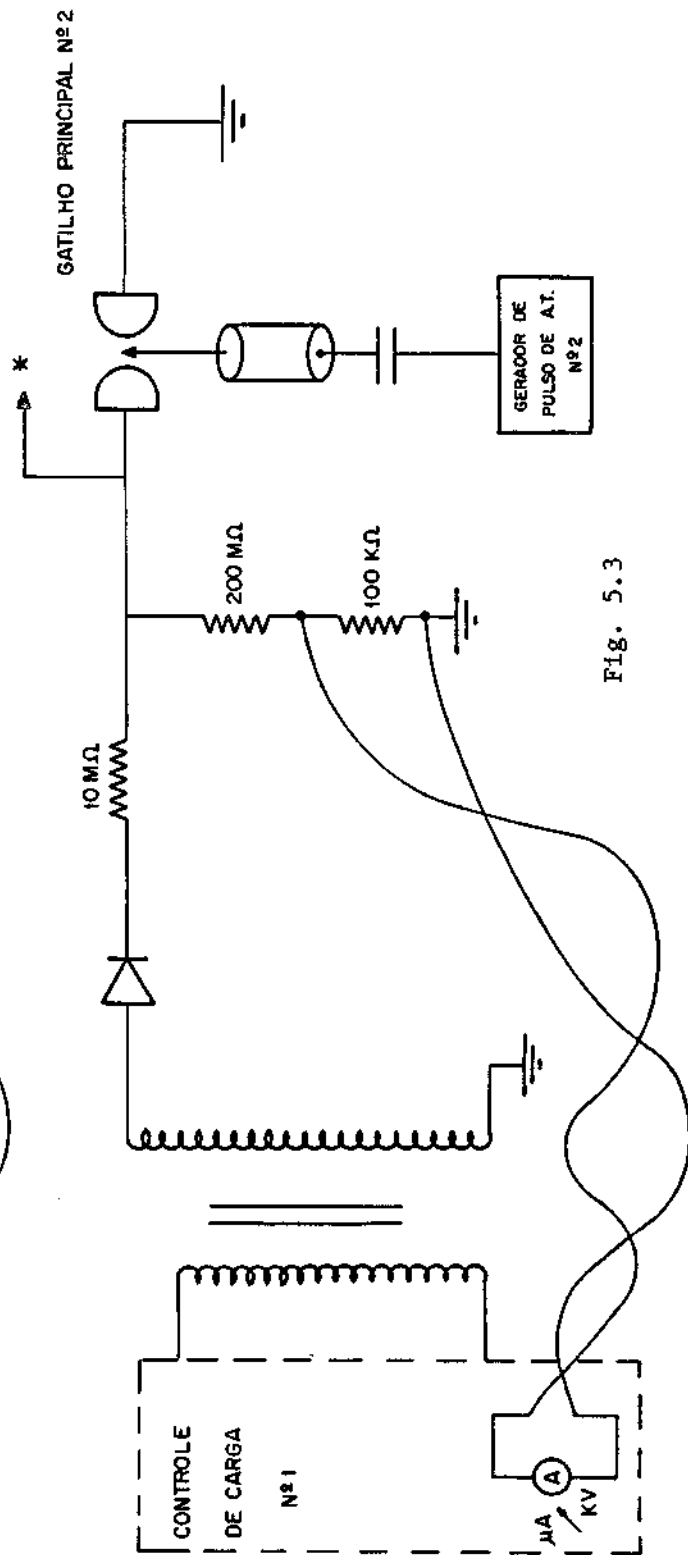


Fig. 5.3



AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

TÍTULO					
DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE ENERGIZAÇÃO DO CECI					
AUTOR					
Rogério de Moraes Oliveira e Mario Ueda					
TRADUTOR					
EDITOR					
ORIGEM LAP	PROJETO PMAG	SÉRIE	Nº DE PÁGINAS 21	Nº DE FOTOS	Nº DE MAPAS
☐ RPQ	☐ PRE	☒ NTC	☐ PRP	☐ MAN	☐ PUD
☐ TAE	TIPO				
DIVULGAÇÃO					
☒ EXTERNA	☐ INTERNA	☐ RESERVADA	☐ LISTA DE DISTRIBUIÇÃO ANEXA		
PERÍODICO/EVENTO					
Trabalho submetido ao II Brazilian Power Electronic Conference					
CONVÊNIO					
AUTORIZAÇÃO PRELIMINAR			<i>Mario Ueda</i>		
27 / 04 / 93			MARIO UEDA		
			ORIGINADOR Laboratório		
			Associação de Plasma		
REVISÃO TÉCNICA					
☐ SOLICITADA	☒ DISPENSADA				
ASSINATURA					
RECEBIDA ____/____/____			DEVOLVIDA ____/____/____		
ASSINATURA DO REVISOR					
REVISÃO DE LINGUAGEM					
☐ SOLICITADA	☒ DISPENSADA				
ASSINATURA					
Nº ____					
RECEBIDA ____/____/____			DEVOLVIDA ____/____/____		
ASSINATURA DO REVISOR					
PROCESSAMENTO/DATILOGRAFIA					
RECEBIDA ____/____/____			DEVOLVIDA ____/____/____		
ASSINATURA					
REVISÃO TIPOGRÁFICA					
RECEBIDA ____/____/____			DEVOLVIDA ____/____/____		
ASSINATURA					
AUTORIZAÇÃO FINAL					
____/____/____			Ivan Costa da Cunha Lima		
			Encl. do		
			Centro de Tecnologia das - CTE		
PALAVRAS-CHAVE					
CECI / SPARK-GAPS / METER RELAY					