

6R7801499



**FONTE DE ALTA TENSÃO - 2500V - 4mA**

**Heinz Hoppe de Souza**

**INFORMAÇÃO IEA 50  
CPIO - AJE 2**

**AGOSTO/1977**

**FONTE DE ALTA TENSÃO – 2500V – 4mA**

**Heinz Hoppe de Souza**

**CENTRO DE PROJETO, INSTRUMENTAÇÃO E OFICINA**

**Área de Instrumentação Eletrônica**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**

**SÃO PAULO – BRASIL**

**APROVADO PARA PUBLICAÇÃO EM JULHO/1977**

## **CONSELHO DELIBERATIVO**

### **MEMBROS**

**Klaus Reinach – Presidente**  
**Roberto D'Utra Vaz**  
**Nezida Medeiros da Costa**  
**Ivano Humbert Marchesi**  
**Admar Cervellini**

### **PARTICIPANTES**

**Pegiva Elizabeth Assvedo Boratto**  
**Fábio Gori**

## **SUPERINTENDENTE**

**Rômulo Ribeiro Fiorani**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
**Caixa Postal 11 048 (Pinheiros)**  
**Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira"**  
**SÃO PAULO - BRASIL**

---

**NOTA: Este trabalho foi conferido pelo autor depois de ser impresso e sua redação está conforme o original, sem qualquer correção ou mudança.**

# FORTE DE ALTA TENSÃO – 2500V – 4mA

Heinz Hoppe de Souza\*

## RESUMO

Uma fonte de alta tensão em forma modular Norma NIN foi desenvolvida para ser utilizada em sistemas de medidas nucleares. O projeto utiliza o princípio de conversão DC-DC, com um oscilador estável de aproximadamente 17KHz excitando um estágio "drivers" de potência ligado ao primário do transformador elevador de tensão. A regulação é obtida tomando-se uma amostra da saída, a qual é comparada com uma tensão de referência, sendo o sinal resultante, depois de amplificado utilizado para controlar a fonte DC que alimenta o "drive". Neste trabalho apresentamos uma descrição geral do instrumento e dos circuitos, e um relato dos resultados obtidos nos ensaios realizados para determinar suas características.

## I – INTRODUÇÃO

A PM-111 foi desenvolvida na CPIO-ÁREA DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA com a finalidade de suprir o IEA de fontes de alta tensão com boas características de operação, que as tornem adequadas às condições de uso mais frequentes no Instituto. Ela foi projetada tendo-se em vista o melhor aproveitamento possível dos recursos que o mercado nacional de componentes pode oferecer no momento, procurando-se ao mesmo tempo preservar suas características dentro de faixas de valores capazes de garantir-lhe um desempenho satisfatório.

A PM-111 apresenta boa regulação quanto a carga e quanto a flutuações na rede, além de baixo ruído, pequena deriva e boa estabilidade térmica, não apresentando, por outro lado, ruído audível. A saída pode ser variada em degraus de 20 volts, entre 20 e 2500 volts, com máxima corrente de 4mA.

As fontes vêm acondicionadas em módulos NIM de largura dupla, e podem ser produzidas com polaridade da tensão de saída positiva ou negativa. A saída é feita através de um conector BNC de alta isolamento.

Nas seções que se seguem faremos uma descrição mais pormenorizada deste instrumento. Na seção II explicaremos sucintamente seus circuitos, em diagrama de blocos. Na seção III apresentaremos suas características de funcionamento. Nas seções seguintes algumas dessas características serão definidas em termos dos ensaios específicos para a sua aferição, com a apresentação dos resultados obtidos.

## II – DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA FONTE DE A.T. (PM-111)

Nesta fonte de alta tensão foi usado o princípio da conversão DC em DC. A conversão DC/DC caracteriza-se na transformação inicial de uma tensão DC em uma tensão alternada esta que é então elevada por um transformador de alta relação de espiras e em seguida retificada e filtrada obtendo-se DC novamente só que com uma tensão muito maior.

---

\* Engenheiro Eletrônico - Centro de Projeto, Instrumentação e Oficina, Área da Instrumentação e Oficina, Instituto de Energia Atômica São Paulo, SP - Brasil

Observando o esquema em blocos verificamos que a conversão DC em AC é feita por um oscilador estável de  $\approx 17\text{KHz}$  que excita um estágio driver de potência que é ligado diretamente ao primário do transformador elevador de tensão. A amplitude da tensão A.C. é controlada no próprio estágio driver, através da tensão que alimenta este estágio proveniente de uma fonte DC controlada.

Como se trata de uma fonte estabilizada é necessário que esta tenha uma realimentação, o que é feito tomando-se uma amostra da tensão de saída e comparando-se esta com uma tensão de referência. O sinal resultante é amplificado e controla a fonte DC que alimenta o estágio driver. Desta forma é controlada a amplitude do sinal A.C. no transformador e fecha-se a malha de realimentação.

A malha de realimentação tem um ganho que é determinado pelo divisor resistivo de 5M ohms e 10K ohms que é o que toma a amostra da tensão de saída. Com estes valores a malha passa a ter um ganho de 500 o que significa que a tensão da saída será sempre 500 vezes maior que a da referência, por exemplo, se a referência estiver em 5V a tensão de saída será de 2500V.

Para exemplificar o efeito da realimentação vamos supor que temos uma determinada tensão na saída, e que por alguma razão a corrente de carga aumentou fazendo com que a tensão diminuísse. A tensão diminuindo proporcionalmente na entrada do amplificador DC, sendo que a referência permanece fixa, aparecerá uma diferença de tensão que será amplificada e que agirá na fonte DC fazendo com que aumente a tensão de saída desta. Em consequência aumentará a amplitude do sinal AC na saída dos drivers do transformador, e no secundário deste aparecerá uma tensão maior que retificada irá aumentar a tensão de saída compensando a suposta diminuição que havíamos sugerido.

Podemos fazer um raciocínio análogo no caso de se supor uma variação da rede, isto é, uma variação na tensão DC que entra na fonte controlada.

Todo o controle da tensão de saída é feito através da fonte de referência onde por um divisor de tensão preciso obtemos todas as escalas da tensão de saída.

### III – CARACTERÍSTICAS DA FONTE DE ALTA TENSÃO PM-111

Alimentação: 103 à 135 volts, 60 Hz com um consumo de 60W.

Tensão de saída: 20 à 2500V de 0 à 4mA com ajuste de 20 em 20V.

Polaridade: fixa, positiva ou negativa.

Regulação : menor do que 0,04% da tensão de saída nas condições piores de operação, sendo que este fator se deve praticamente toda a carga. Quanto a variação da rede este se torna desprezível (0,001%).

Tempo de resposta :  $\approx 30\text{ms}$  é o tempo que a fonte leva para responder a uma comutação na carga de 10% de variação.

Tempo para estabilização ambiente : 1:30 horas, sendo que o desvio da tensão entre o instante de ligar e após o tempo de estabilização é menor que 1%.

Drift no tempo :  $< 0,007\%/hora$  da tensão de saída em condições de temperatura constante e carga constante.

Ripple na saída :  $< 13\text{mV}$  pico a pico de 2 – 50.000Hz.

Precisão de indicação no seletor de tensão : menor do que  $\pm 0,5\%$  da tensão de saída.

Proteção de curto na saída : o protetor de curto é não linear, isto é, uma vez acionado, mesmo o curto sendo retirado da saída a tensão não retorna. É necessário desligar a fonte esperar 20 segundos e então ligá-la novamente. O protetor de curto é acionado quando a corrente de saída ultrapassar 4,5mA.

Coefficiente térmico  $< 45$  p.p.m / $^{\circ}$ C da tensão de saída após atingida a estabilização ambiente.

Temperatura ambiente máxima admissível :  $38^{\circ}$ C.

#### IV – VERIFICAÇÃO DO DRIFT DA FONTE PM-111

Basicamente temos dois tipos de drift:

**Drift térmico:** este é especificado através de um coeficiente térmico em ppm/ $^{\circ}$ C que significa quantas partes por milhão varia a tensão de saída para uma variação de  $1^{\circ}$ C.

Obtém-se o drift térmico após a fonte ter entrado em equilíbrio térmico com o ambiente. Então começa-se a variar a temperatura ambiente (numa estufa por exemplo) e anotam-se os valores de tensão, a medida que a temperatura vai subindo. No final da tabela com os valores de  $\Delta V$  e  $\Delta t$ , calcula-se o coeficiente térmico.

Ainda no levantamento deste drift devem ser mantidas constantes a tensão da rede e carga da fonte.

**Drift no tempo:** este drift é caracterizado pela flutuação intrínseca da própria fonte após ter atingido o equilíbrio ambiente com temperatura constante, tensão de rede constante e carga constante, e é indicado em variação percentual da tensão de saída, considerando se o máximo  $\Delta V$  ocorrido.

#### Levantamento de Dados Práticos com o Protótipo

Condições : tensão da rede – 135 V

tensão de operação – 1000 V

carga na fonte – 4mA

Material usado : Voltímetro digital H.P. 6909

Voltímetro Simpson 970

Termômetro de Mercúrio  $150^{\circ}$  C

Estufa de lucite – CIEN

Antes de ter sido ligado o protótipo foi esperado um período de 1 hora para que o voltímetro H.P. também estivesse entrado em equilíbrio ambiente

Desta tabela temos:

– Estabilização com o ambiente: 1:30 horas

$$\text{Drift no tempo} = \frac{(999,65 - 999,58) \cdot 100}{1000} = 0,007\% / \text{hora}$$

Tabela de Dados 25/08/76

Tabela de Dados 25/08/76

TENSÃO (V)	TEMPERATURA	HORÁRIO	
998,26	24°C	9:30	Período de 1:30 horas para atingir o equilíbrio ambiente.
998,79	24°C	9:40	
999,06	24°C	9:50	
999,35	24°C	10:10	
999,50	24°C	10:30	
999,60	24°C	11:00	
999,58	24°C	11:30	Drift intrínseco no período de 1(hora) drift no tempo).
999,60	24°C	12:00	
999,64	24°C	12:10	
999,65	24°C	12:30	Drift térmico para uma variação de temperatura de 20°C.
999,69	25°C	13:15	
999,81	27°C	14:00	
999,90	30°C	14:05	
1000,00	32°C	14:10	
1000,19	34°C	14:17	
1000,41	36°C	14:27	
1000,44	40°C	14:40	
1000,51	42°C	15:00	
1000,60	45°C	15:25	

$$\text{Drift térmico em p.p.m} = \frac{V_{out} \cdot \Delta t \cdot D t}{10^6} = \Delta V \quad \text{portanto}$$

$$D t = \frac{\Delta V \cdot 10^6}{V_{out} \cdot \Delta t}$$

$$D t = \frac{(1000,60 - 999,69) \cdot 10^6}{1000 \cdot (45 - 25)} = 45 \text{ p.p.m}/^{\circ}\text{C}$$

$$\therefore \text{ drift térmico} = 45 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \quad \text{com } V_{out} = 1000 \text{ V}$$

## V – REGULAÇÃO DE LINHA E CARGA COMBINADAS

Para levantar esta característica devemos variar a tensão da rede de  $\pm 10\%$  (no caso variaremos de 93 V à 135 V), e ainda para estas mesmas condições variar a carga desde a fonte em aberto (corrente zero) até a carga máxima 4mA. Colocamos 1000 V na saída da fonte sendo esta a tensão como base de referência.

$$\text{Sem carga : } V_{rede} = 135 \text{ V} \quad V_{saída} = 1000,02$$

$$V_{rede} = 103 \text{ V} \quad V_{saída} = 1000,01$$

Voltímetro Digital HP – 6909

Voltímetro Simpson – 970

$$\text{Com carga : } V_{rede} = 103 \text{ V} \quad V_{saída} = 999,59$$

$$(4\text{mA}) \quad V_{rede} = 135 \text{ V} \quad V_{saída} = 999,60$$

Como podemos verificar pelos dados acima, a flutuação da rede (103 à 135 V) tem uma influência desprezível na saída da fonte, sendo que o fator que acaba prevalecendo é o da regulação quanto à carga.

Mas de qualquer forma tomaremos o máximo V obtido conjuntamente com os dois efeitos.

$$\therefore \text{ Regulação} = \frac{\Delta v \cdot 100}{1000} = \frac{(1000,02 - 999,59) \cdot 100}{1000}$$

$$\text{Regulação (rede e carga)} = 0,04\%$$

É possível encontrar valores melhores de regulação em fontes comerciais deste genero, porém, como na maioria das aplicações esta fonte irá trabalhar com carga constante não nos preocupamos em melhorar este fator, sendo que quanto a rede ele esta ótimo.

## VI – LEVANTAMENTO TÉRMICO NOS COMPONENTES DA FONTE

Este levantamento é efetuado colocando a fonte em sua máxima tensão de 2500 V, com uma carga de 4mA e a rede em 135 V. Após um funcionamento de 5 horas quando então já entrou no equilíbrio são verificadas as temperaturas nas diversas componentes. A fonte deve permanecer fechada durante o tempo de aquecimento e aberta na hora de efetuar as medidas, e estas devem ser efetuadas o mais rapidamente possível.

Dados obtidos no protótipo:

$$T_{\text{ambiente}} = 31^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperatura em : } T_{r13} = 56^{\circ}\text{C}$$

$$T_{r11} = 56^{\circ}\text{C}$$

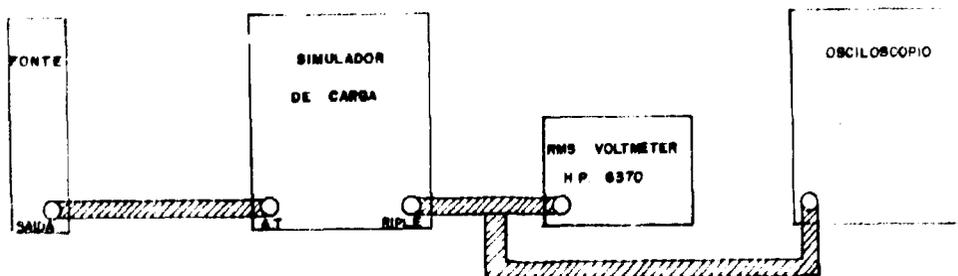
$$T_{r6} = 62^{\circ}\text{C}$$

$$\text{carcaça do transformador } T1 = 60^{\circ}\text{C}$$

A carcaça do transformador não poderá exceder  $65^{\circ}\text{C}$ , e os transistores  $T_{r13}$ ,  $T_{r11}$   $80^{\circ}\text{C}$  e  $T_{r6}$   $110^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura no transistor  $T_{r6}$  com baixas tensões na saída e corrente máxima de carga (4mA) será maior do que a verificada no caso acima (2500 – 4mA) mas de qualquer forma não deverá exceder  $110^{\circ}\text{C}$ .

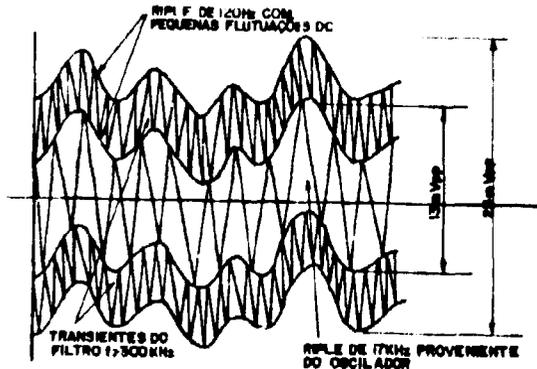
## VII – VERIFICAÇÃO DO NÍVEL DE RIPLE



A fonte de H.V. deve ser testada sob todas as condições de carga, para tanto usa-se o simulador de carga. Este teste se faz necessário, pois dependendo das condições, a fonte pode apresentar um ripple muito baixo em altas tensões e, em baixas, um ripple muito elevado. O mesmo pode ocorrer em condições de corrente variável para uma tensão constante.

Eventualmente poderá, sob certa condição de carga, ocorrer que a fonte comece a oscilar. Para solucionar este problema deve-se alterar o valor do capacitor de 2,2  $\mu\text{F}$  que foi colocado em série com um resistor de 8K2 no lugar do capacitor original C9, contudo este valor já foi otimizado no protótipo sendo muito pouco provável que ocorra a oscilação pois o protótipo foi testado nas piores condições possíveis e não apresentou nenhuma criticidade no sistema de realimentação para que pudesse entrar em oscilação.

O ripple de 17KHz na figura abaixo montado sobre o ripple de 60 Hz é filtrado somente pelo indutor toroidal e pelo capacitor de cerâmica do filtro de saída. Se eventualmente o ripple se apresentar muito além do especificado deverá ser verificado um desses dois componentes. Usando a fonte em tensões mais baixas o ripple 17KHz diminuirá.



Valores Típicos de Ripple Medidos com o Voltímetro RMS H.P. 6370

Tensão saída	sem carga	com carga (4mA)	Tensão da rede 135V
2500V	2.0mV (RMS)	2.3mV (RMS)	
1000V	1.5mV (RMS)	1.7mV (RMS)	
500V	1.4mV (RMS)	1.6mV (RMS)	
100V	1.1mV (RMS)	1.3mV (RMS)	

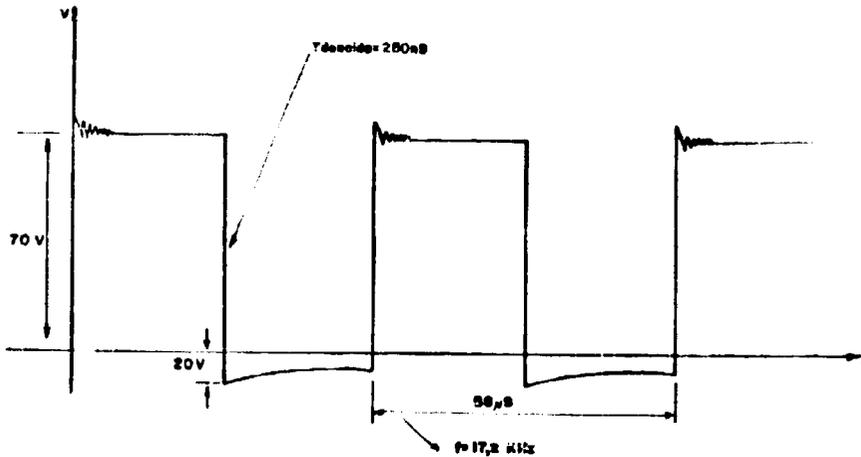
Esses resultados obtidos poderão sofrer variações de uma unidade para outra porém em nenhuma condição o valor do ripple poderá ultrapassar o valor máximo de 4mV RMS ou 13mVpp ( $f = 50\text{KHz}$ )

## VIII – OBSERVAÇÕES PRÁTICAS GERAIS

Corrente no emissor de  $T_{R6}$ : essa corrente é medida com o Clip ON DC-Miliammeter HP-4173 e usamos as piores condições, isto é, corrente máxima (2500 – 4mA; 135 rede)

Nestas condições medimos  $I_E(T_{R6}) = 750\text{mA}$ . esta corrente não deve ultrapassar 900mA em nenhum caso.

Forma de onda no Coletor de  $T_{R13}$  e  $T_{R11}$ : usamos o osciloscópio Philips 1L055 nas condições da fonte de 2500V – 4mA.



Esta frequência poderá eventualmente assumir um valor mais elevado, e seu ajuste dependerá da indicação do ripple (no voltímetro RMS ou osciloscópio).

Poderá haver alguma flutuação aleatória que será minimizada através do ajuste, porém nunca deverá entrar na região audível, isto é, no caso prático, como se verificou, nunca menor do que 16KHz.

Também deve-se tomar cuidado para que a frequência não se torne muito alta (25KHz) pois sairíamos da região de operação do transformador e a corrente em  $T_{16}$  ficaria maior do que 900mA como já foi citado acima. É preferível, sempre que possível, ficar numa frequência a mais baixa possível logo acima da região audível.

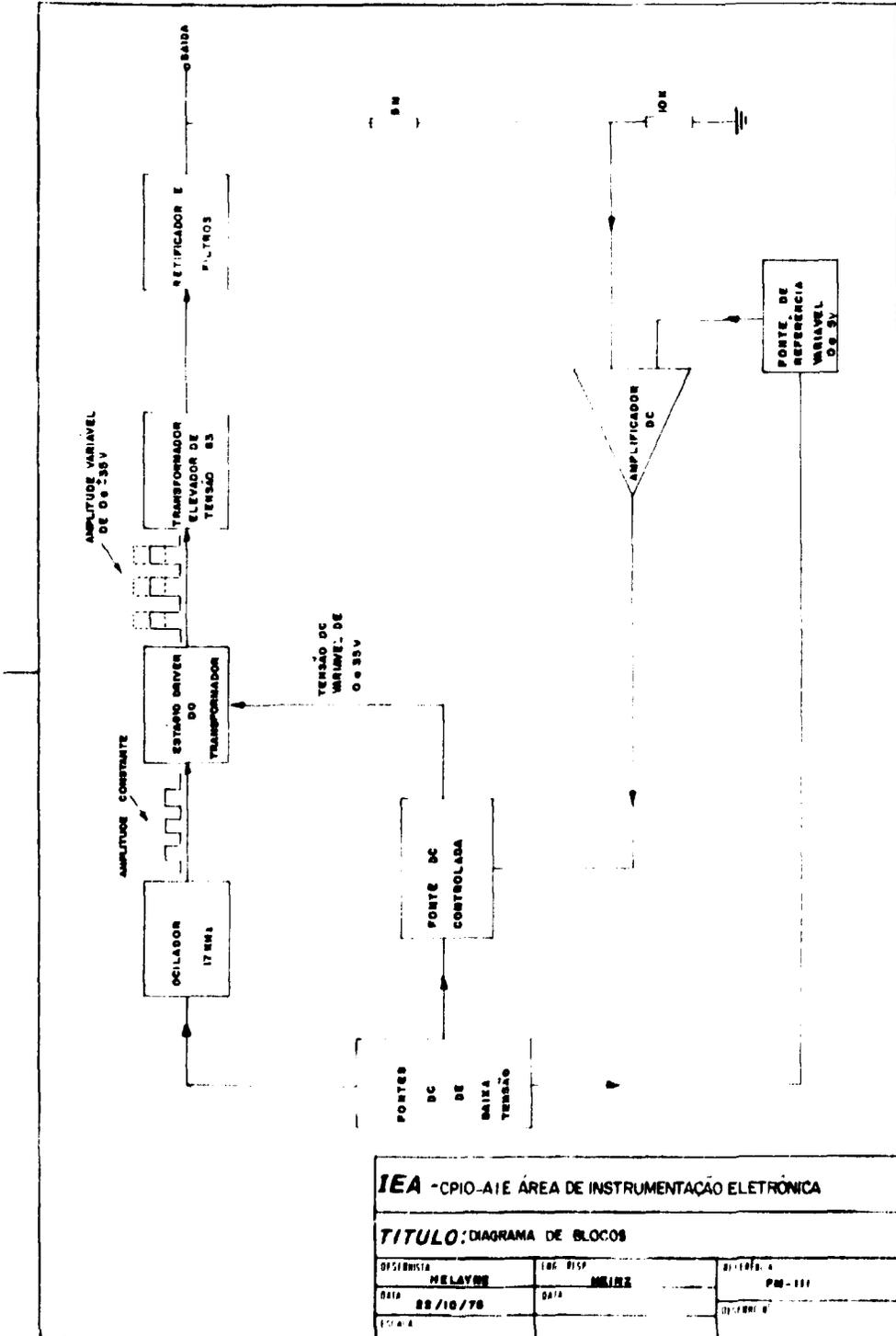
Tempo de resposta da fonte: este tempo foi determinado para uma variação rápida de carga de 10%. Conseguimos esta variação da carga comutando o simulador de carga.

Condições de teste: variação da carga de 880K ohms para 680K ohms.

Esse sinal é verificado pelo osciloscópio conectado na saída de ripple do simulador de carga. Esse tempo de resposta de 30mS não é crítico podendo sofrer variações grandes, porém deve ficar, dentro dessa ordem de grandeza.

Por exemplo, não deverá ser próximo de 1 segundo, o que já significaria um amortecimento com certeza do tipo oscilante amortecido.





IEA - CPIO-A1E ÁREA DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA

TÍTULO: DIAGRAMA DE BLOCOS

OPERAÇÃO	RELATÓRIO	LOG. DISP.	REVISÃO
DATA	08/10/78	DATA	08/10/78
AUTOR		REVISOR	



## SUMMARY

A high-voltage power supply, in a NIM two-width module, was developed to be used in nuclear measurements systems. The design utilizes the principle of DC-DC conversion, with a stable oscillator of approximately 17KHz exciting a power driver for the converter transformer. The regulation is obtained by taking a sample of the output voltage, which is compared with a reference voltage. The resulting signal, after being amplified, controls the DC power supply to the driver. In this paper, we present a general description of the instrument and of its circuitry, and a report of the results obtained from the tests done to establish its characteristics.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORTEC INCORPORATED, Oak Ridge. *Instruction manual 446 & 447 high voltage power supply*. Oak Ridge, 1968.
2. WALSTON, J. A. & MILLER, J. R., eds. *Transistor circuit design*. New York, McGraw-Hill, 1963.

