



CU9700454

14-97

C I E N - R

OPTIMIZATION OF A HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY FOR A
NITROGEN LASER

OPTIMIZACION DE UNA FUENTE DE ALTO VOLTAJE PARA UN
LASER DE NITROGENO

Baly, L.; Garcia, M.A.; Martin, J.L.

Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear

La Habana, Cuba

1997

VOL 28 No 13

**POOR QUALITY
ORIGINAL**

**OPTIMIZACIÓN DE UNA FUENTE DE ALTO VOLTAJE
PARA UN LÁSER DE NITRÓGENO.**

**OPTIMIZATION OF A HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY
FOR A NITROGEN LASER.**

L. Baly, M. A. García, J. L. Martín

CENTRO DE ESTUDIOS APLICADOS AL DESARROLLO NUCLEAR.
(CEADEN)

La Habana

Cuba

1997

Subject Categories: G52.40

Key Words: Power Supplies; HVDC Systems: M₁; Lasers; Optimization; Gas Lasers;
Performance: Q₁; Transformer.

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la optimización de una fuente conmutada de alto voltaje para un láser de nitrógeno compacto. Utilizando un criterio para el restablecimiento del voltaje en un 95 % de valor máximo, fueron planteadas las expresiones que relacionan el factor de crecimiento del voltaje en los condensadores del láser, el tiempo de recuperación y la frecuencia máxima de repetición de los pulsos láser. Con un arreglo experimental desarrollado para tal propósito se logró determinar que los parámetros óptimos de nuestra fuente son $N_p=35$ vueltas y $f_{exc}=25.5$ kHz.

ABSTRACT.

In the present paper the optimization of a high voltage switching power supply for a compact TEA nitrogen laser is described. Taking as criterion the recovering of the charging voltage in a 95 % of the maximal voltage, the relationships between the recovering rate coefficient, the recovering time and the maximal repetition frequency were obtained. Using an experimental set-up, the power supply optimal values of turns in the transformer primary coil $N_p=35$ and excitation pulse frequency $f_{exc}=25.5$ kHz were determined.

INTRODUCCION

El desarrollo de láseres está estrechamente vinculado al desarrollo de fuentes de alto voltaje. La tendencia hacia láseres más compactos, así como su inclusión en diverso tipo de equipamiento ha motivado el desarrollo de fuentes de alto voltaje cada vez más compactas y eficientes. En el caso específico de las fuentes de alto voltaje para los láseres de nitrógeno los voltajes de salida varían entre 5 y 20 kV, en dependencia de la presión de trabajo y del tipo de circuito de excitación empleado.

Las fuentes de alto voltaje se dividen en continuas o de pulsos en dependencia de su régimen de trabajo, siendo las últimas aplicables sólo en láseres pulsados. Las fuentes pulsadas tiene determinadas ventajas sobre las fuentes continuas, como son menores dimensiones y la disminución de los requerimientos relacionados con la protección contra el alto voltaje, además de la ventaja práctica que significa no tener aplicado constantemente el alto voltaje. Todo lo anteriormente planteado explica la preferencia actual a utilizar este tipo de fuente en los láseres de nitrógeno compactos.

Sin embargo las fuentes pulsadas ceden ante las continuas en lo referente a estabilidad del voltaje de salida, elemento importante cuando se requiere una alta estabilidad de la energía de emisión del láser. Dentro de las fuentes de alto voltaje continuas se destacan por su eficiencia y relación potencia de salida contra volumen, las fuentes conmutadas con transformador de ferritas y multiplicación del voltaje. Este tipo de fuente poseen entre otras ventajas la de alcanzar un alto grado de estabilización del voltaje de salida.

Otro de los requerimientos de las fuentes de alto voltaje es la corriente máxima nominal. En los láseres de nitrógeno el consumo está determinado por la capacidad de los condensadores de alto voltaje, el voltaje de carga y por la frecuencia de repetición del láser, aunque por lo general es precisamente la corriente nominal de la fuente la que limita la frecuencia máxima de repetición del láser, si se tiene en cuenta que un

láser compacto de nitrógeno con un flujo apropiado puede trabajar con una frecuencia de repetición de hasta 1 kHz [1].

En el presente trabajo se describe la optimización de una fuente de alto voltaje continua para un láser de nitrógeno compacto basado en un generador de Blumlien [2]. La capacidad total de los condensadores de alto voltaje del láser es de 0.9 nF y deben ser cargados entre los 15 y 18.5 kV a una frecuencia máxima de repetición de 20 Hz. Los aspectos generales del diseño de las fuentes de alto voltaje han sido expuestas en diversos trabajos [3,4], pero sin duda, es el cálculo del transformador el elemento básico en la obtención de las características deseadas. A partir de un cálculo inicial, parámetros tales como número de vueltas en los enrollados primario (N_p) o secundario (N_s), el voltaje de los pulsos de excitación (V_p) y la frecuencia de excitación (f_{exc}) deben ser optimizados a fin de obtener las características deseadas con el menor consumo. Es precisamente alrededor de esos parámetros que se centra la atención en el presente trabajo.

CRITERIO PARA LA OPTIMIZACION DEL TRANSFORMADOR.

La optimización del transformador consiste en determinar los parámetros N_p , V_p y f_{exc} para los cuales se obtiene el voltaje de salida y corriente deseados manteniendo invariable el número de vueltas en el secundario N_s . El número de vueltas en el secundario se mantiene invariable debido al gran número de vueltas del mismo y al complejo proceso de enrollado a causa de las medidas contra el alto voltaje que es necesario tomar. El tiempo de carga de los condensadores de alto voltaje fue tomado como criterio para evaluar la corriente óptima de trabajo. El transformador se considera optimizado cuando, para los valores mínimos y máximos de voltaje de salida de la fuente, el tiempo de carga es menor que el tiempo entre dos pulsos consecutivos del láser cuando la frecuencia de repetición es máxima ($f_{max}=20$ Hz).

CRITERIO DE RESTABLECIMIENTO DE LA CARGA.

Debido a que el proceso de carga de los condensadores ocurre de forma exponencial, el restablecimiento total del voltaje de carga puede ser un criterio muy fuerte. Si se tiene en cuenta que la inestabilidad de los láseres de nitrógeno sobrepasa el 5 % se puede asumir que el restablecimiento del voltaje de carga en un 95% del valor inicial es adecuado. Con este nuevo criterio el proceso de carga se debe caracterizar por un factor de crecimiento τ inferior a cierto τ_{max} donde τ se determina mediante un ajuste de la curva experimental de carga a una exponencial del tipo:

$$U = U_0(1 - \exp(-t / \tau)) \quad (1)$$

De la ecuación (1) y utilizando el criterio anteriormente propuesto para el restablecimiento del voltaje de carga en los condensadores es determinada la condición para τ_{max} :

$$\tau_{max} = - \left[\ln \left(\frac{U_0 - 0.95 \cdot U_0}{U_0} \right) f_{max} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$\tau_{\max} = -[\ln(0.05)f_{\max}]^{-1} = [2.99f_{\max}]^{-1} \quad (3)$$

Sustituyendo en la ecuación (3) el valor de la frecuencia máxima de nuestro láser se obtiene que τ_{\max} es igual a 10 mseg., lo que significa que la fuente de alto voltaje debe ser capaz de cargar los condensadores con un factor de crecimiento inferior a los 10 mseg. Siguiendo el mismo criterio de restablecimiento del voltaje en los condensadores del láser, el tiempo de recuperación del voltaje (t_{rec}) puede ser relacionado con el factor de crecimiento τ determinado experimentalmente según la expresión:

$$t_{\text{rec}} = 2.99 \cdot \tau \quad (4)$$

En la práctica pudiera observarse que para τ_{\max} cuyo valor es mayor que el calculado según la ecuación (3) la fuente logra cargar los condensadores del láser antes que ocurra un nuevo disparo del láser. Esto está relacionado con el hecho de que los condensadores del láser luego del disparo anterior no se descargan completamente quedando cargados a un voltaje remanente $U_1 < U_0$. En este caso la ecuación (2) debe ser corregida para otras condiciones iniciales quedando de la siguiente forma:

$$\tilde{\tau}_{\max} = -\left[\ln\left(\frac{U_0 + U_1 - 0.95 \cdot U_0}{U_0}\right) f_{\max} \right]^{-1} = -\left[\ln\left(0.05 + \frac{U_1}{U_0}\right) f_{\max} \right]^{-1} \quad (5)$$

Suponiendo que el voltaje remanente (U_1) en los condensadores es sólo el 10 % del voltaje máximo U_0 el factor de crecimiento máximo $\tilde{\tau}_{\max}$ queda como:

$$\tilde{\tau}_{\max} = -[\ln(0.05 + 0.1)f_{\max}]^{-1} = 26 \text{ mseg.} \quad (6)$$

Como puede observarse, en caso de quedar cargados los condensadores del láser las exigencias hacia el factor de crecimiento del voltaje disminuyen substancialmente, sin embargo el valor de U_1 depende de muchos factores externos, por lo que hacer un cálculo de una fuente teniendo en cuenta el voltaje remanente no es muy confiable. A diferencia del tiempo de restablecimiento del voltaje de carga, el factor de crecimiento τ puede ser determinado experimentalmente con alta precisión y con la ayuda de la ecuación (4) o la ecuación (2) llegar a conclusiones sobre los parámetros óptimos de la fuente de alto voltaje.

DESCRIPCION DE LA FUENTE DE ALTO VOLTAJE.

El esquema general de la fuente de alto voltaje está representado en la figura 1. La misma consta de 6 partes fundamentales: Generador de los pulsos de excitación, Conformador de los pulsos en "push-pull", Fuente de bajo voltaje regulable, Lazo de

protección contra sobrecorriente, Sensor de presión de nitrógeno y el Transformador y Multiplicador de Voltaje .

Generador de los pulsos de excitación.

La función de este circuito es conformar 2 pulsos de similares características pero en contrafases, la frecuencia aproximada de los mismos es de 25.5 KHz. Entre los pulsos en contrafases debe existir un retardo de aproximadamente 3.6 μ s.

Conformador de los pulsos en "push-pull".

Esta compuesto por los dos transistores MOSFET, los que trabajan en régimen de corte y saturación. El retardo existente entre los pulsos enviados por la fase excitadora evita que aparezca el momento en que ambos transistores conduzcan al unísono lo que provocaría grandes pérdidas en eficiencia.

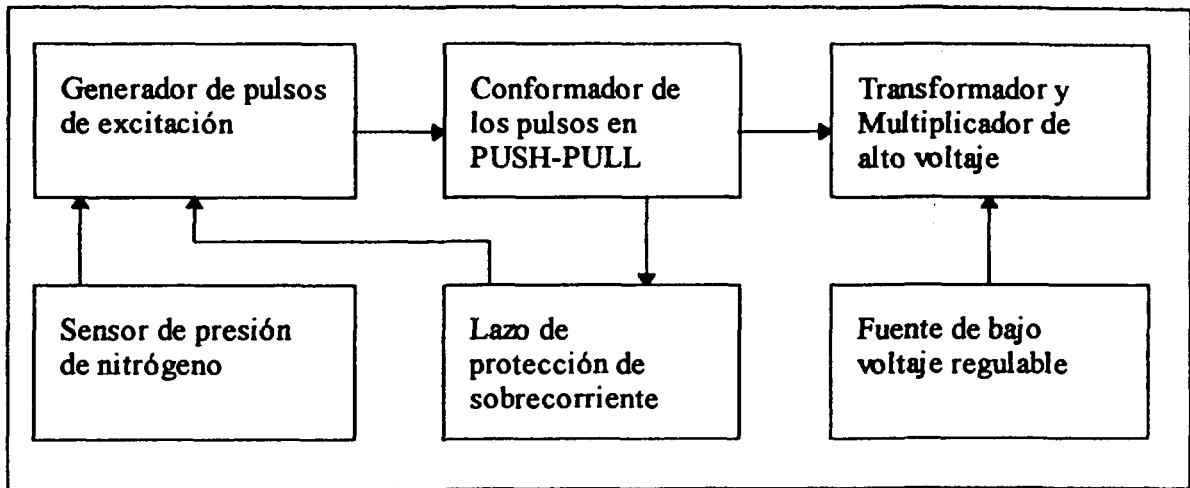


Figura 1. Diagrama general de la fuente de alto voltaje .

Fuente de bajo voltaje regulable.

Este circuito esta diseñado para entregar un voltaje regulable entre 5 y 31 V DC con 1.5A de corriente máxima. Este voltaje es entregado al 'tap' central del transformador de alto voltaje.

Lazo de protección contra sobrecorriente.

La resistencia 'tierra' y la 'fuente' de los 'MOSFET' de potencia, permite monitorear el consumo de corriente a través del primario del transformador de alto voltaje. Un comparador activa la protección cuando la corriente supera el valor máximo prefijado y la Fuente de Alto Voltaje queda desactivada.

Sensor de presión de Nitrógeno.

La presión de nitrógeno es controlada por un sensor diferencial de presión. Mediante este circuito se controla la presión de nitrógeno necesaria para el funcionamiento óptimo del Láser. En caso de que la presión sea menor de la necesaria ó que no exista flujo alguno de nitrógeno en el sistema, la Fuente de Alto Voltaje se mantiene bloqueada.

Transformador y Multiplicador de Alto Voltaje.

El transformador de alto voltaje es una ferrita tipo "U" de material HM2000, de su enrollado secundario se obtienen 4.5kV con 4mA como voltaje y corriente máxima respectivamente. Los enrollados primarios y secundarios están en carretes diferentes lo que facilita el proceso de optimización

El voltaje alterno que sale del transformador de alto voltaje es aplicado a la entrada del Multiplicador de Tensión el cual cuadruplica el voltaje de entrada y lo rectifica obteniéndose a su salida el valor de voltaje de corriente directa que necesita el láser para su funcionamiento.

INSTALACION EXPERIMENTAL.

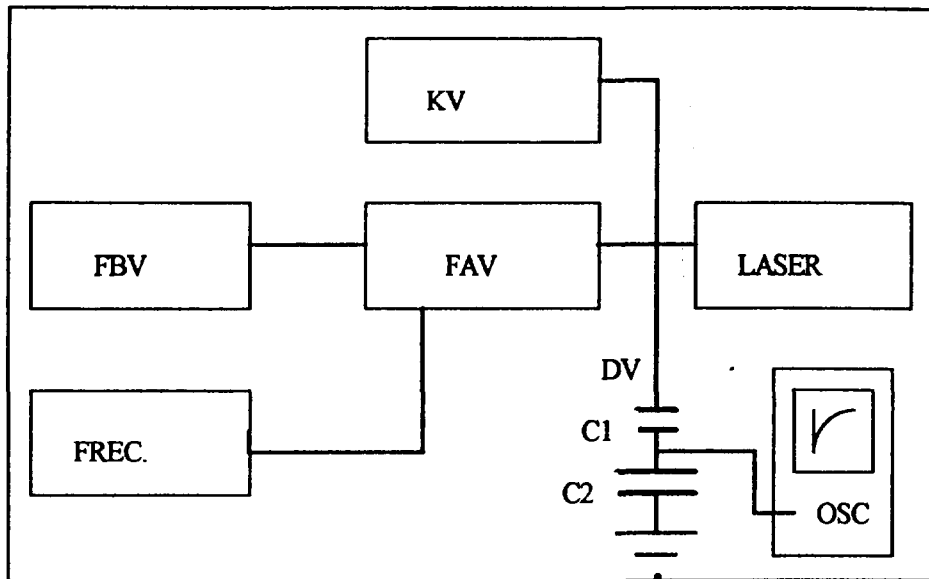


Figura 2. Diagrama de la instalación experimental. FBV es la fuente de bajo voltaje, FAV es la fuente de alto voltaje, FREC es el frecuencímetro, KV es el kilovoltímetro, DV es el divisor capacitivo de voltaje, OSC es el osciloscopio

La instalación experimental para la determinación de los parámetros óptimos está representada en la figura 2. Como se mencionó anteriormente, sólo N_1 se mantiene invariable e igual al valor teórico. En esta etapa la fuente la fuente de bajo voltaje es sustituida por una fuente comercial de bajo voltaje la cual permite el control del voltaje y la corriente de consumo. La frecuencia de excitación es controlado por medidor de frecuencia TRIO FC-756. El alto voltaje es medido directamente a la salida del multiplicador de alto voltaje por un kilovoltímetro electroestático.

Para determinar el tiempo de carga de los condensadores fue empleado un divisor capacitivo conectado en paralelo con el kilovoltímetro y un osciloscopio digital SCOPMETER 79 el cual promedia la señal de 64 pulsos del láser. El divisor capacitivo $C_1 = 220 \text{ pF}$, 32 kV y $C_2 = 1 \mu\text{F}$, 200 V cumple con las principales exigencias de poseer un coeficiente de división apropiado $K_{div} = C_1 / (C_1 + C_2) = 2.2 \cdot 10^{-4}$ y

una capacidad total $1/C_{total}=1/C1+1/C2\approx 1/C1$ mucho menor que la capacidad total de los condensadores del láser.

OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS DE LA FUENTE

En el presente trabajo para la determinación de los parámetros óptimos de la fuente de alto voltaje se utilizó la siguiente metodología. Para tres tipos de primarios que diferían en números de vueltas se determinó τ . El factor de crecimiento se determinó

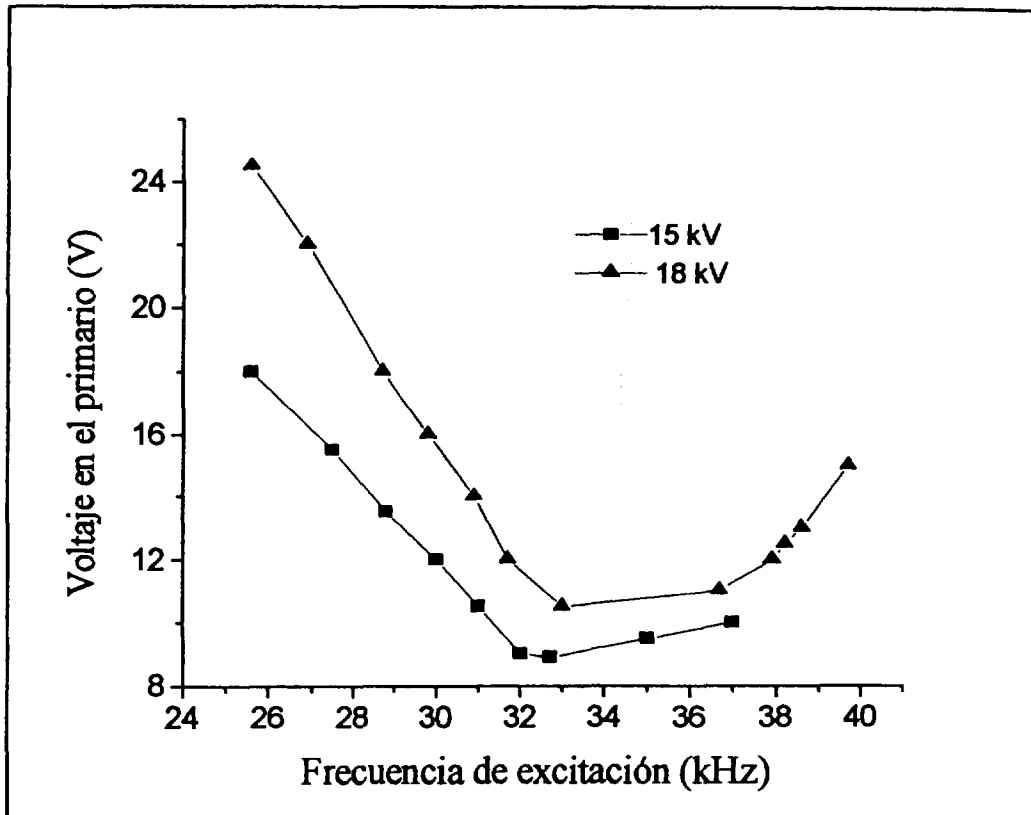


Figura 3. Dependencia entre la frecuencia de excitación y el voltaje en el primario para valores constante del voltaje de salida.

mediante el ajuste a una ecuación del tipo (1) de la curva resultado del promedio de 64 pulsos de carga de los condensadores del láser para los voltajes de trabajo mínimo (15 kV) y máximo (18.5 kV). A partir de τ se determinó el tiempo de recuperación del voltaje mediante la expresión (4). El voltaje en el primario (U_1) y la frecuencia de excitación (f_{exc}) fueron variados de tal manera que el voltaje a la salida de la fuente de alto voltaje se mantuviera constante (fig. 3) (curvas de voltaje de salida constante). Los resultados de este trabajo se encuentran plasmados en la figura 4.

Como puede observarse de la figura 4, para mayor números de vueltas en el primario, el tiempo de recuperación del voltaje se reduce. Para todas las curvas se observa un mínimo para las frecuencias de excitación entre los 25 y 26 kHz, aunque a

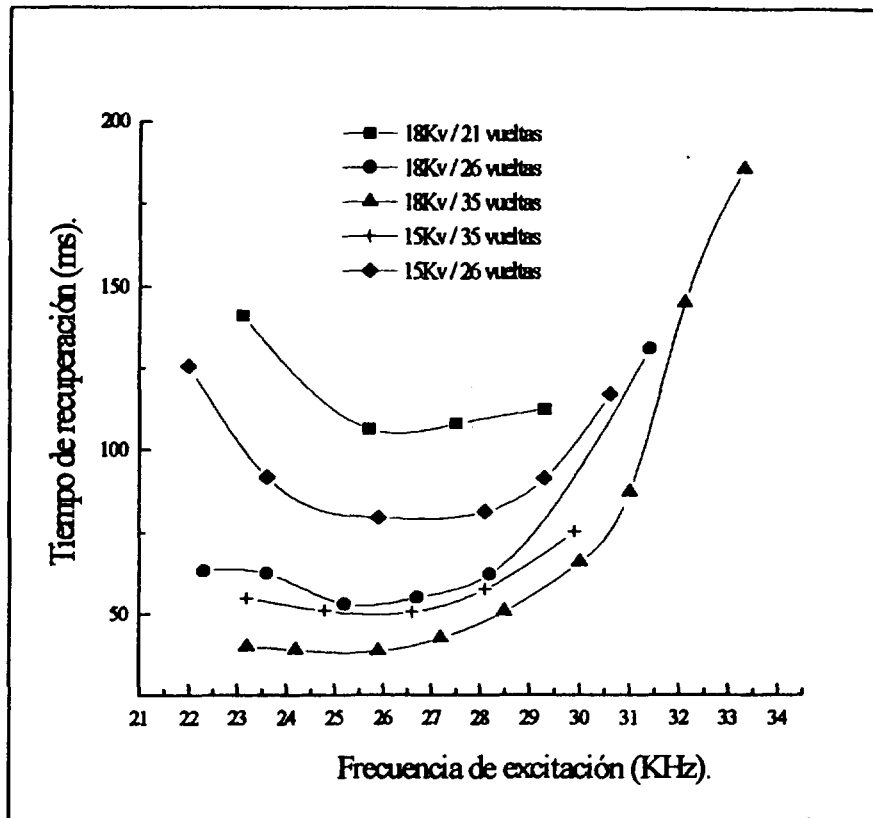


Figura 4. Tiempo de recuperación del voltaje en los condensadores en dependencia de la frecuencia de excitación y del número de vueltas en el primario.

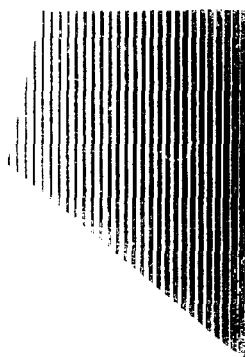
medida que N_p se hace mayor el mínimo se extiende a frecuencias más bajas. Aplicando el criterio de optimización de la fuente se puede concluir que para un número de vueltas en el primario igual a 35, y una frecuencia de excitación de 25.5 kHz la fuente cumple con los parámetros requeridos.

CONCLUSIONES.

A partir del criterio de recuperación del voltaje de carga en un 95% del voltaje total, fueron obtenidas las relaciones entre el factor de crecimiento del voltaje en los condensadores del láser, el tiempo de recuperación del voltaje y la frecuencia máxima de repetición de los pulsos láser. Utilizando una instalación experimental fue determinado el factor de crecimiento del voltaje y partir del mismo determinado el tiempo de recuperación. Siguiendo este esquema se determinaron los parámetros óptimos de la fuente $N_p=35$ vueltas y $f_{exc}=25.5$ KHz.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] von Bergmann, H M; A. J. Penderis. Miniaturized atmospheric pressure nitrogen laser. J. of Phys. E: Sci. Inst. **10**: 602-609, 1977
- [2] Ramachandra Rao, D.. Fabrication of a nitrogen laser. Indian J. Phys. **50**: 276-286, 1976.
- [3] Harcourt Brace Jovanovich, Publisher. Practical Switching Power Supply Design. Academic Press Inc. N.Y. 1994.
- [4] S. Wierzbinski. Power Supplies. IAEA. Training course on nuclear instrumentation maintenance. IAEA Seibersdorf. 1993.



CIEA

**CENTRO DE INFORMACION
DE LA ENERGIA NUCLEAR**

Calle 20 No. 4113 e/ 18A y 47, Playa

Telf.: 22-7527. Fax: 331188.

E mail: cien @ ceniai cu