

AVANCES HACIA UNA FUENTE PULSADA DE NEUTRONES PORTÁTIL DE 1 JOULE

Soto L.¹, Pavez C.¹, Moreno J.¹, Clausse A.², y Barbaglia M. O.²

¹ Comisión Chilena de Energía Nuclear, Casilla 188-D, Santiago, Chile

² CNEA-CONICET y Universidad Nacional del Centro, 7000 Tandil, Argentina

E-mail: barbagli@exa.unicen.edu.ar

Resumen

Los dispositivos plasma focus son emisores pulsados de radiación X y neutrones a partir de descargas eléctricas intensas en deuterio. Clásicamente estos equipos operan a energías entre el KJ y el MJ. En este trabajo se presenta el diseño y estudio de factibilidad de un plasma focus operando en energías cercanas a un Joule. Se muestra evidencia experimental de un foco de plasma, y se comentan las relaciones de diseño para un sistema de tan baja energía. Los resultados indican que será posible emitir pulsos de 1000 neutrones por J.

ADVANCES TOWARDS A PORTABLE PULSED SOURCE OF NEUTRONS AND X-RAYS WITH ENERGY OF WORK SMALLER TO 1 JOULE

Abstract

Plasma Focus devices are pulsed sources of x and neutron radiation from intense electrical discharges in Deuterium. Classically these devices operate at energies between a few KJ to 1 MJ. In this work we present the design and feasibility studies of a Plasma Focus operating at energies close to 1 J. Experimental evidence of focalization is presented, and the optimum parameter relations at such low energies are discussed. The results indicate the device will be able to emit pulses about 1000 neutrons per J.

Introducción

Un sistema plasma focus operando con Deuterio puede emitir un pulso (50-100ns de duración) de rayos x y de neutrones ⁽¹⁻⁵⁾. Estos dispositivos son seguros de almacenar y de operar minimizando la contaminación ambiental. La radiación generada depende fuertemente de la energía puesta en juego, del gas de llenado y de las dimensiones del sistema. Tradicionalmente se han estudiado equipos PF con energías desde 1 KJ hasta 1 MJ.

En general los sistemas PF de algunos KJ pueden ser hacerse transportables, pero tienen baja portabilidad y su tasa de repetición es de algunos Hz lo cual limita el flujo.

El presente trabajo investiga la performance de un diseño PF de energía menor al Joule, con el objeto de determinar la factibilidad y las reglas de diseño apropiadas para estos niveles de energía.

Descripción del equipo

El dispositivo está compuesto de un condensador de placas paralelas circulares de bronce. Una de las placas está conectada directamente al ánodo del plasma focus y la otra se conecta al potencial de referencia. Como dieléctrico se usa una película de polyvinylidene difluoride (PVDF) de 50 μ m de espesor. El ánodo es un capilar de cobre de 0.8 mm radio recubierto con una capa aislante de alúmica. El cátodo es la placa conectada a tierra. Las dimensiones totales del dispositivo son de 20cm \times 20cm \times 5cm (Fig. 1). La Fig. 2 muestra una foto de la cámara de descarga del plasma focus diseñado. La derivada de la corriente durante la descarga se mide con una bobina de Rogowski y el correspondiente al voltaje con un divisor resistivo.

Relaciones de diseño

S. Lee and A. Serban⁽⁶⁾ demostraron a partir de un modelo sencillo que el radio y largo final del pinch son proporcionales al radio del ánodo, a . Este dato nos permite estimar que el volumen del pinch, V_p , es proporcional a a^3 . Este resultado permite plantear relaciones para comparar descargas de diferentes energías. Para ello se pueden usar las siguientes relaciones:

- a) $E/V_p = 28E/a^3$
- b) $I_0/(p^{1/2} a)$ llamada *drive factor*

donde: I_0 = corriente máxima, p = la presión del gas en la cámara de descarga, a = radio del ánodo, E = energía del sistema y V_p = volumen del pinch

Por otro lado, empíricamente se encontró que la mayoría de los dispositivos plasma focus conocidos con buena producción neutrónica verifican los siguientes números:

- a) $E/V_p = 28E/a^3$ es del orden de $(1-10) \times 10^{10} \text{ J/m}^3$
- b) $I_0/(p^{1/2} a) = 77 \pm 7 \text{ kA/mbar}^{1/2} \text{ cm}$

Estudio experimental

Los parámetros medidos del sistema son⁽⁷⁾⁽⁸⁾:

- Capacidad: 4,9nF
- Inductancia: 4,8nHy
- Tensión de trabajo: 5-10kV
- Corriente máxima: 5-10kA
- Energía de trabajo: 60-250 mJ
- Relación $E/V_p = 28E/a^3 \sim .5 \times 10^{10} \text{ J/m}^3$
- Relación $I_0/(p^{1/2} a) \sim 32 \text{ kA/mbar}^{1/2} \text{ cm}$ para descargas en hidrógeno a 3mbar con $a = 0,8 \text{ mm}$ $I_0 = 4,5 \text{ KA}$ y $E = 100 \text{ mJ}$ (6,5KV).
- Tamaño inferior a un cubo de 20cm de lado.

La manifestación típica de una buena focalización en una descarga PF es la aparición de una caída súbita de la derivada de corriente dI/dt debido al aumento de la inductancia. Esto va acompañado en general por un pico de voltaje. Este comportamiento no se observó en la descarga a 20 mbar de deuterio en el PF miniaturizado presentado aquí (ver Fig. 3 izquierda), por lo que puede concluirse que a esas presiones no hay foco. Sin embargo, en la descarga a 3 mbar (Fig. 3 derecha) se observa un cambio de frecuencia en la señal de dI/dt . Esta variación puede ser explicada solamente por la formación de un foco con tiempos de duración comparables con la descarga. Una evidencia de esto es que la corriente decrece. La respuesta temporal del monitor de voltaje no es lo suficientemente rápida como para ver con claridad el aumento de voltaje asociado a la alta compresión del plasma.

Para estimar de la producción neutrónica al usar deuterio se usó la regla⁽⁹⁾ :

$$Y \sim I^{3,3}$$

donde Y es la fluencia de neutrones y I es la corriente máxima. En el presente caso $200 \leq Y \leq 2000$ neutrones por pulso.

De los parámetros medidos vemos que la relación E/V_p se aproxima bastante al valor inferior hallado para equipos con mayores energías de trabajo mientras que la relación $I_0/(p^{1/2} a)$ es aproximadamente la mitad de la obtenida en equipos de mayor energía. Lo anterior nos está diciendo que para conseguir un pinch es necesario mantener la densidad de energía E/V_p cercana a $1 \times 10^{10} \text{ J/m}^3$. El *drive factor* relaciona las velocidades axiales y radiales de la lámina. Las mediciones actuales para los cuales se obtuvo el valor de $77 \pm 7 \text{ kA/mbar}^{1/2} \text{ cm}$ fue hallado para sistemas en donde la etapa axial del avance de la lámina es mucho mayor que la etapa radial de compresión, lo cual no se cumple en éste dispositivo. Lo anterior indica que en un trabajo futuro será necesario analizar el factor de conversión necesario para realizar la comparación.

Conclusiones

Se ha diseñado construido y ensayado un sistema plasma focus con energía de trabajo inferior a 1J. Su tamaño es muy inferior a la mayoría de los plasma focus en operación y tiene la posibilidad de ser portátil. Los diagnósticos realizados hasta el momento muestran evidencias de la producción de focos que indicaría que los procesos de fusión son posibles con un sistema de tan baja energía. Se estima que producirá del orden de 1000 neutrones por pulso al ser operado en Deuterio. No son completamente corroboradas las reglas de diseño de un PF como son la relación $E/V_p = 28E/a^3$ y la relación $I_0/(p^{1/2} a)$.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el convenio bilateral CCHEN-CNEA, por el PLADEMA y por el proyecto FONDECYT 1030062 Chile.

Referencias

1- L. Soto, P. Silva, J. Moreno, G. Sylvester, M. Zambra, C. Pavez, L. Altamirano, H. Bruzzone, M. Barbaglia, Yu. Sidelnikov and W. Kies. "Research on plasma focus devices from hundred of kilojoules to tens of joules". Brazilian Journal of Physics (Special Issue, X LAWPP), 2004.

- 2- L. Soto, A. Esaulov, J. Moreno, P. Silva, G. Silvester, M. Zambra, A. Nazarenko and A. Clause. *Physics of Plasma* 8, 2572 (2001).
- 3- P. Silva, L. Soto, J. Moreno, G. Sylvester, M. Zambra, L. Altamirano, H. Bruzzone, A. Clause, and C. Moreno, *Rev. Sci. Instrum.* 73, 2583 (2002).
- 4- P. Silva, J. Moreno, L. Soto, L. Birstein, R. E. Mayer, and W. Kies, *App. Phys. Lett.* 16, 3269 (2003).
- 5- P. Silva, L. Soto, W. Kies, and J. Moreno, *Plasma Sources Sci. and Technol.* 13, 329 (2004).
- 6- S. Lee and A. Serban, *IEEE Trans. on Plasma Science* 24, 1101 (1996).
- 7- "An ultra miniature pinch focus device, nanofocus", ICPP 2004 (Niza, Francia, Octubre 2004).
- 8- L. Soto, C. Pavez, J. Moreno, A. Clause y M. Barbaglia, "Escalando un Plasma Focus a Energías Menores que 1 Joule. Nanofocus.", XIV Simposio Chileno de Física, Antofagasta (Chile), Noviembre de 2004
- 9- S. Lee, "Physics and Technology of the Small Plasma Focus", in *Proc. Of the 5th. Asia Pacific Physics Conference*, (Genting Highlands, Malaysia, 1992), edited by S.P. Chia et al, World Scientific Co., vol. 1, p. 509, 1994

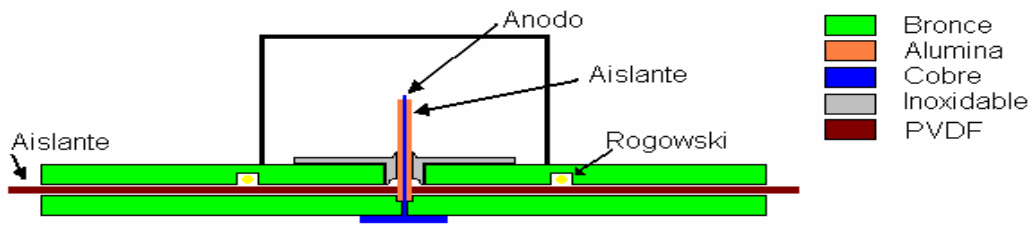


Fig. 1: Esquema de la cámara de descarga

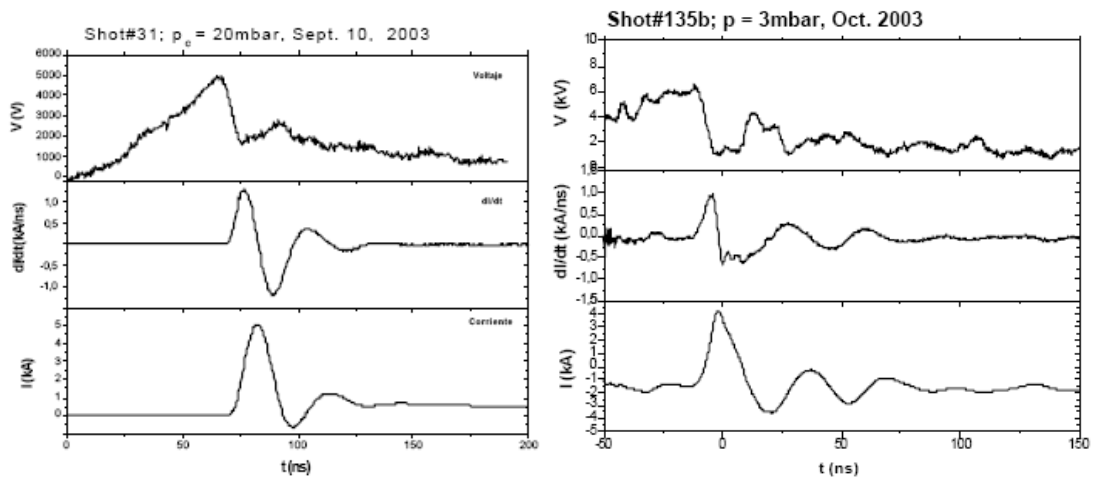


Fig. 2: Izquierda: Señales de los diagnósticos correspondiente a 20 mbar. Derecha: Señales de los diagnósticos a 3 mbar H_2 (en ésta última se muestra evidencia de alta compresión)

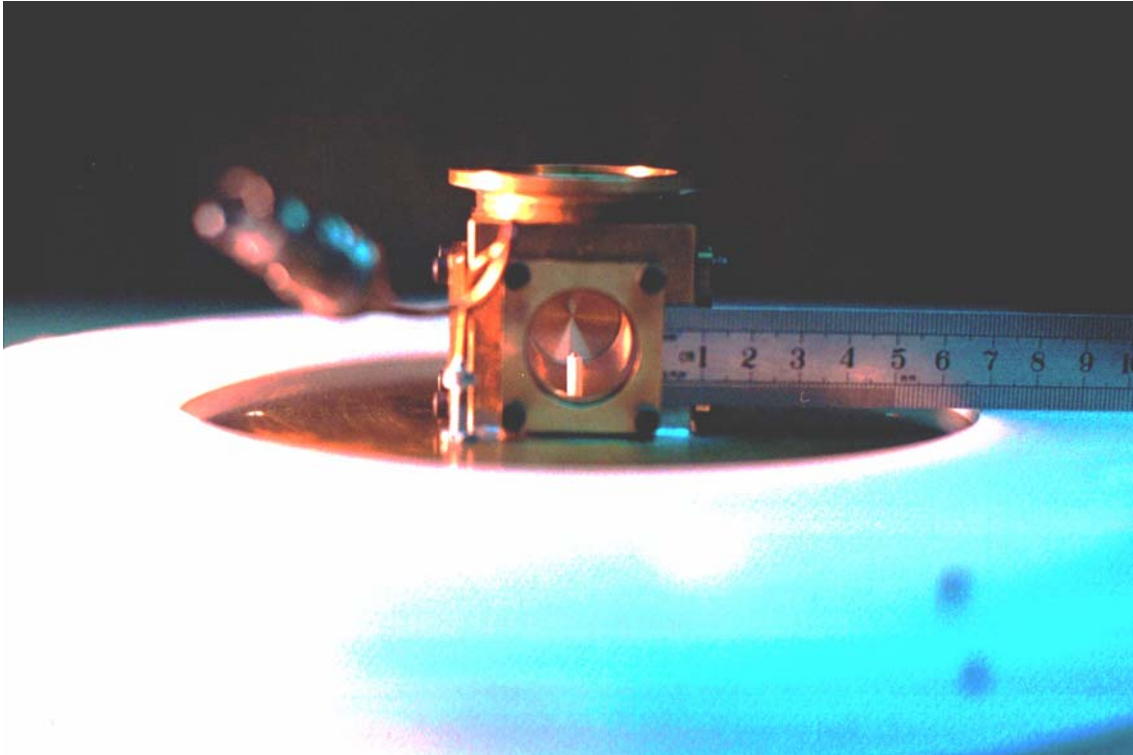


Fig. 3: Fotografía del plasma focus. En el centro, por la ventana, se observa al ánodo cubierto por un tubo de alúmina (blanco) dentro de la cámara. La parte en donde descansa la cámara es la placa superior del capacitor.