



MONITOR DE NEUTRONES (REM)

J.L. GOMEZ - E. MATATAGUI - J.E. SINDERMAN

Dpto. de Instrumentación y Control - Gcia. Desarrollo

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Los efectos biológicos de los neutrones sobre tejidos dependen del modo de interacción que es función de su energía (por ejemplo: captura radiactiva, reacciones nucleares, colisiones elásticas e inelásticas). Estos efectos biológicos se asocian a la Dosis Equivalente (DE), la que queda determinada por el producto de la Dosis (D) por un factor de peso (QF) que pondera la transferencia de energía de las partículas al tejido. Para radiación gamma se toma $QF = 1$. Expresando la DE en términos de una función $d(E)$ que la relaciona con la fluencia espectral $Y_E(E)$ se tiene:

$$DE = \int_E Y_E(E) d(E) dE \quad (1)$$

La medida S , de un detector dependerá de su sensibilidad $\epsilon(E)$, en general función de la energía de los neutrones:

$$S = \int_E \epsilon(E) Y_E(E) dE \quad (2)$$

Un detector de sensibilidad $\epsilon(E) = K d(E)$ dará una medida proporcional a la DE. Esta es la respuesta deseada para los monitores REM que nos interesan

$$S = K \cdot DE \quad (3)$$

Hay diferentes detectores neutrónicos, por ejemplo: contadores proporcionales (F_3 , B^{10} , He^3), contadores de fisión, centelladores (I , Li^6), etc. Los mismos presentan una eficiencia de detección del tipo $1/v$, i.e. poco sensibles a neutrones rápidos por lo que para detectarlos eficientemente deben ser moderados (Bramblett, et al Nucl. Instrum. Methods 9,1).

Las esferas moderadoras estudiadas por Bonner efectúan una moderación adecuada de los neutrones rápidos, absorbiendo parte de los térmicos de manera tal que el conjunto moderador-detector da la DE de acuerdo con (4).

Aunque no son de uso corriente en monitores REM para neutrones, los detectores de estado sólido de barrera de superficie (DBS) usados en espectroscopía de partículas pesadas cargadas pueden utilizarse en este caso mediante el empleo de un conversor, por ejemplo: B^{10} , Li^6 , U^{235} . Para ello es necesario colocar próxima a la barrera del DBS una placa con un depósito del conversor y detectar

///

///

las partículas α producto de la interacción con los neutrones térmicos.

Los DBS se fabrican en silicio semiconductor tipo n sobre el que se forma una barrera superficial de oro con características p. La juntura forma da con la aplicación de un potencial inverso de unas decenas de voltios, forma una zona vaciada de portadores.

Al interactuar con el material las partículas pesadas cargadas son frenadas perdiendo su energía en la producción de pares portadores de cargas, huecos y electrones, que pueden ser colectados en forma rápida y eficiente.

Como para producir uno de estos pares son necesarios en promedio 3 eV, se establece una diferencia importante con los detectores gaseosos que emplean 30 eV en la producción de un par de iones. Por esto una partícula cargada producirá en un DBS pulsos proporcionalmente más altos.

La comparación entre los DBS y los detectores gaseosos señala las siguientes ventajas para los DBS: alto poder de frenado, señal suficientemente alta que permite la discriminación de ruido y pulsos pequeños, buena colección de carga, respuesta rápida, bajo consumo, tensión de alimentación baja (25 V) y pequeño tamaño.

Aún en campos de radiación y intensos, los pulsos a que esta radiación da lugar son pequeños comparados con los de las partículas α provenientes de un conversor B^{10} , pudiendo ser fácilmente discriminados.

I. MEDICIONES FISICAS REALIZADAS

Con fines experimentales se construyeron dos unidades detectoras con esferas de parafina de 30 cm y 25 cm de diámetro.

Un conjunto DBS - conversor fué ubicado en su centro.

La unidad detectora se conecta a una cadena de detección formada por un preamplificador, un conformador y un analizador multicanal.

La unidad detectora se expone a neutrones provenientes de una fuente de Am-Be de $1,14 \times 10^7$ n/seg cuyo factor de dosis $Q = 2,86 \times 10^7$ n/cm².rem se conoce, a distancias variables.

La forma de los espectros obtenidos se representa en la Figura 1.

La sensibilidad del detector será:

$$K = \frac{\Phi/Q}{N/t} = \frac{3,172 \times 10^4}{N/t (R + d)^2} = \frac{\mu\text{-rem}}{\text{pulso}}$$

Los resultados de las mediciones son presentados gráficamente en las Figuras 2 y 3, observándose buen acuerdo entre la tasa de pulsos y el flujo neutrónico que atraviesa las esferas. Englobando los coeficientes numéricos con la tasa de pulsos tenemos la siguiente relación lineal para cada medida:

///

///

De las gráficas se obtiene para cada esfera:

$d = 15 \text{ cm}$ $K \approx 0,9$ $\mu\text{-rem/pulso}$

$d = 12,5 \text{ cm}$ $K \approx 1,1$ $\mu\text{-rem/pulso}$

Estos resultados indican que la distancia esfera-fuente tienen como referencia el centro de cada esfera. La sensibilidad neutrónica es buena y en caso de existir radiación y esta puede ser discriminada de los neutrones. Variaciones en la dirección de incidencia del flujo neutrónico no producen cambios en la tasa de cuentas. Se observa un apartamiento de la linealidad a distancias mayores de 1 m, atribuible a neutrones reflejados. La esfera de 30 cm es finalmente adoptada, no solo es más sensible que la de 25 cm sino que de acuerdo a los trabajos de Bonner et al se ajusta más a la respuesta en REM deseada,

II. DESCRIPCION DEL CIRCUITO ELECTRONICO

1) Consideraciones de diseño:

Se encontró necesario normalizar en un valor redondo y cómodo la relación entre la dosis recibida y la cantidad de pulsos emitida por el sistema de detección, para permitir la presentación digital de la dosis. En vista de los valores experimentales hallados se normalizó dicha relación en 1 $\mu\text{-rem}$ por pulso.

Dado que el detector entrega, como se ha visto, más de un pulso por $\mu\text{-rem}$ puede obtenerse la relación unitaria deseada discriminando los pulsos de menor amplitud.

La mínima indicación (resolución) exigida al instrumento es de 0,1 mRem y un fondo de escala de 100 Rem. Esto llevó a adoptar un contador y exhibidor de 6 dígitos, con lo que se cumplen ambos requisitos, si la frecuencia de los pulsos es dividida por 100 antes de su conteo.

Por otra parte, el instrumento debe poder medir, además de dosis como ya se mencionara, tasa de dosis. El operador podrá seleccionar por medio de una llave colocada en el panel frontal cualquiera de estos modos de operación.

Para el caso de medición de tasa de dosis, el instrumento debe incluir un sistema de alarmas locales visuales y sonoras, y salidas para alarmas remotas. El operador podrá prefijar un determinado nivel de alarma eligiendo entre las siguientes posibilidades: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 mRem/h. El sistema emitirá señales de alarma cuando se supere la tasa de dosis prefijada, y también cuando se la exceda en 10, 100 y 1000 veces.

En este modo de operación también debe tomarse en consideración la base de tiempo, entendiendo por tal el lapso durante el cual se habilita el conteo del contador o, dicho en otros términos, el tiempo que demanda una medición. El valor a adoptar para dicha base de tiempo influye en otros paráme-

///

///

tros tales como resolución y rango del instrumento.

Los pulsos de frecuencia normalizada que entrega el sistema de detección, para la medición de tasa de dosis, son contados sin división de frecuencia previa. Un simple cálculo demuestra que una base de tiempo de 36 segundos (0,01 hora) es apropiada tanto desde el punto de vista de la resolución (una cuenta en el contador equivale a 1 microrem en 0,01 hora, es decir 0,1 mrem/h) como del rango (.999999 cuentas por 0,1 mrem/h; i. e. 99.999,9 cuentas corresponden prácticamente a 100 rem/h). Sin embargo esta base de tiempo resulta lenta para las tasas más altas, donde la rápida respuesta del instrumento es más necesaria que la resolución. Se consideró entonces conveniente dotar al instrumento de dos bases de tiempo. Para bajas tasas de dosis se adoptó 36 segundos, para tener la buena resolución de 0,1 mre/h, y para tasas mayores se prefirió 3,6 segundos. Para simplificar la operación del equipo se decidió que la misma llave que prefija el nivel de alarma haga lo propio con la base de tiempo. Así, a los niveles de alarma de 1,2 y 5 mrem/h se les hizo corresponder la base de tiempo de 36 segundos, mientras que a las otras posiciones se les asignó 3,6 segundos. Lógicamente, esta reducción de 10 veces de la base de tiempo trae aparejado un aumento por el mismo factor del rango del instrumento y de la resolución del mismo.

2) Descripción del diagrama en bloques:

En la Figura 4 se observa el diagrama en bloques del equipo. La señal que entrega el detector es procesada primeramente en forma analógica: amplificada en un preamplificador sensible a cargas, conformada y finalmente discriminada y normalizada en frecuencia. El tratamiento lógico de esta señal va a depender del modo de funcionamiento deseada: medición de dosis o medición de tasa de dósis.

Para el caso de medir dosis, el contador principal cuenta en forma permanente pero solo 1 de cada 100 pulsos para obtener la resolución deseada de 0,1 mRem. El contenido del contador es en todo momento presentado en el exhibidor ya que en este modo de funcionamiento el registro principal opera en forma transparente. La puesta a cero del contador la hace automáticamente la Unidad de Control al comienzo de una medición, ya sea tras el encendido del instrumento o por haber cambiado el modo de operación de tasa de dosis a dósis.

Para el caso de medición de tasa de dosis, el contador principal cuenta todos los pulsos que ocurren durante la duración de la base de tiempo que se suministra la Unidad de Control. Esta base de tiempo es aplicada en forma reiterada, mediando entre dos sucesivas un lapso de espera de algunos milisegundos. La Unidad de Control elige la base de tiempo en función del nivel de alarma pre fijado (como ya se explicará) y utiliza el lapso de espera para cargar registros y poner a cero los contadores. Efectivamente en forma previa a una medición, los contadores son puestos a cero y el nivel de alarma prefijado N es cargado en el registro de comparación, el cual se contrasta en forma permanente con el contador principal.

Si en el curso de una medición se produce la igualdad de ambos, el llamado contador de alarmas incrementa su contenido y se recarga el registro de comparación con un valor 10 veces mayor que el anterior. Durante la duración de

///

///

la base de tiempo este proceso puede llegar a reiterarse.

Así es entonces que en cada momento el contador de alarma indica cual es el nivel de alarma que se ha superado. Si el contenido de este contador es n , ello significa que se ha excedido el nivel $N \times 10^{M-1}$ y que el registro de comparación contiene el valor $N \times 10^M$.

Al cabo de una medición, sendos registros se cargan con los contenidos de ambos contadores. El registro principal almacena la tasa de dosis medida y lo entrega al exhibidor manteniéndola hasta la terminación de la medición siguiente. El registro de alarma ataca al sistema de emisión de alarmas. Pero si en el curso de una medición se supera el nivel de alarmas alcanzado en la medición anterior, es el nuevo nivel de alarmas el que es emitido. De esta manera no es necesario esperar a la terminación de la base de tiempo para emitir una alarma.

En la Figura 5 se observa el diagrama de flujo correspondiente a la Unidad de Control en este modo de operación. Las primeras etapas del mismo (aquellas que están fuera de todo lazo) corresponden a la fase de inicialización y se ejecutan automáticamente tras el encendido, por el cambio del modo de operación de dosis a tasa de dosis, o como consecuencia de un cambio en el nivel de alarma. El resto del diagrama, que corresponde a la operación cíclica ya fué descrito en el texto.

III. CONCLUSIONES

Se desarrolló un equipo prototipo de monitor REM de neutrones empleando como base DBS de fabricación nacional. Los ensayos de sensibilidad, linealidad e isotropía dieron resultados satisfactorios.-

