

Frecuencímetro lineal de impulsos. Diseño y construcción*

R. Peón Aguirre y W.H. Fonseca Araujo**

*Centro de Investigación en Física, Universidad de Sonora,
Apartado postal A-088, 83190 Hermosillo, Son., México*

(Recibido el 30 de junio de 1988; aceptado el 13 de diciembre de 1988)

Resumen. Se propone un esquema eléctrico para construir un frecuencímetro lineal de impulsos aplicable a detectores Geiger para contar radiación gama y rayos X. La idea se materializa con la construcción de un prototipo con salida analógica de cinco escalas (100, 300, 1000, 3000 y 10000 c/s).

PACS: 06.60.Wa; 07.85.+n; 29.60.Jj

1. Introducción

Para propósitos didácticos y de investigación, el Centro de Investigación en Física de la Universidad de Sonora cuenta con un equipo de rayos X del tipo Tel-X_c Ometer modelo 580 [1]. Algunos de los experimentos que se pretenden realizar con este equipo son: absorción lineal, emisión secundaria, medición de la celda unitaria, niveles de energía, efecto Compton y medición de espesores en películas delgadas entre otros. Para realizar esos experimentos, además del aparato de rayos X, también se requiere la instrumentación asociada a la detección de los rayos X, la cual consiste de un frecuencímetro lineal de impulsos y un contador temporizador. En el presente trabajo se proporcionan los elementos principales para construir en forma económica y sencilla un frecuencímetro lineal. En un futuro artículo discutiremos la realización del contador temporizador.

2. Principio

Un frecuencímetro lineal de impulsos es un instrumento cuya señal de salida es proporcional a la frecuencia media o número promedio de impulsos que lleguen a su entrada por unidad de tiempo, es decir, la señal de salida es proporcional a la acumulación de carga eléctrica aportada por un determinado número de pulsos por unidad de tiempo. Si estos pulsos provienen de un detector de radiación (que podría ser un tubo Geiger, un tubo fotomultiplicador o un detector semiconductor),

*Trabajo parcialmente apoyado por la DIGCSA-SEP.

**Departamento de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

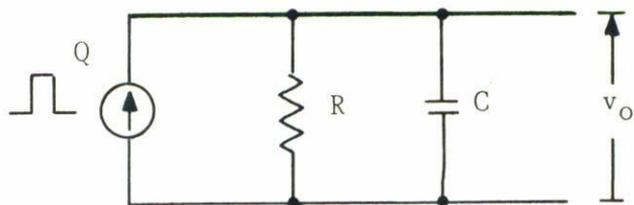


FIGURA 1. Principio del frecuencímetro lineal de impulsos.

el voltaje de salida es proporcional a la intensidad de la radiación recibida en el detector. El elemento clave de este tipo de aparatos es un circuito que promedia e integra la señal proveniente del detector de radiación.

En su concepto más elemental el arreglo que realiza tal función consiste de un circuito paralelo RC como el que se muestra en la Fig. 1.

El pulso que llega a este circuito se supone normalizado a una misma altura y duración (pulsos lógicos), alimentado por un generador de corriente constante. Cada pulso contiene una cantidad de carga Q y el voltaje a través de C alcanzará el punto de equilibrio cuando la cantidad de carga en C sea igual a la corriente que fluye a través de R

$$nQ = \frac{v_0}{R}, \quad (1)$$

n es la razón media de pulsos por unidad de tiempo. El voltaje medio de salida está dado por

$$v_0 = nQR. \quad (2)$$

El nivel de v_0 fluctúa debido a la naturaleza aleatoria de los pulsos por lo que debe considerarse el valor raíz cuadrático medio (V_{rcm}) del voltaje (es decir la desviación estándar).

Como se trata de un circuito lineal, el voltaje de salida se puede ver como la superposición del efecto de los pulsos en forma individual. Si los pulsos de entrada se comparan con una constante de tiempo, dada por RC del circuito, el voltaje debido a un solo pulso de entrada tendrá la forma de la Fig. 2.

Para el caso de una tasa n media de pulsos, el valor de V_{rcm} mediante la aplicación del teorema de Campbell [5], establece que

$$V_{\text{rcm}}^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} v_0^2(t) dt = \frac{nQ^2}{C^2} \int_0^{\infty} e^{-2t/RC} dt = \frac{nQ^2 R}{2C}. \quad (3)$$

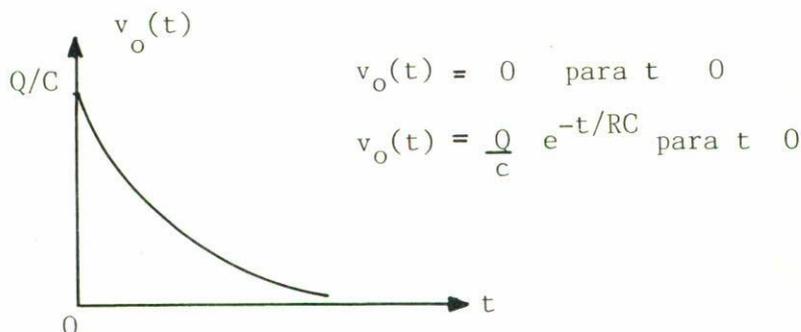


FIGURA 2. Voltaje de salida producido por un solo pulso.

La desviación estándar fraccional V_{rcm}/v_0 está dada por

$$\frac{V_{rcm}}{v_0} = (2CRn)^{-1/2}. \tag{4}$$

Esta es la misma desviación estándar que se obtendría si el conteo se realizara por medio de un contador con períodos de tiempo igual a $2CR$, por lo tanto, a esta cantidad se le considera el período del frecuencímetro. Incrementando el valor de CR , se puede reducir la desviación estándar a cualquier valor deseado, pero esto trae como consecuencia una reducción en la respuesta a cambios súbitos en la tasa de pulsos. En la práctica es conveniente que un instrumento basado en este principio tenga varios valores de RC , por lo general múltiplos de 10, conmutables para variar la sensibilidad del aparato.

3. Descripción del circuito

El arreglo electrónico propuesto consiste de cuatro partes: transductor (detector de radiación), fuente de alto voltaje, contador de pulsos e indicador audible (Fig. 3).

Transductor. Se usó un detector Geiger del tipo Mullard ZP1481 de auto-extinción. Este detector tiene su meseta entre 400 y 550 volts, una capacidad parásita de 4 pf y un factor de multiplicación de 10^9 , por lo que puede proporcionar pulsos con amplitud hasta de 20 volts.

Fuente de alto voltaje (Fig. 4). El transistor T1, el capacitor C6, la resistencia R3 y el transformador TR2 forman un circuito oscilador que produce un potencial de 600 V_p a 16 KHz, cuando el voltaje en el punto A es de 10 volts. El voltaje de salida de la fuente se puede ajustar por medio de R2 asociada al regulador CI-2, el voltaje de salida se rectifica por medio del diodo D7 del tipo MR1200, los capacitores C9, C10, la resistencia R4 y la bobina L1 realiza la función de un filtro.

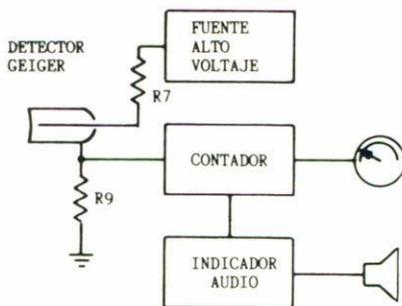


FIGURA 3. Esquema funcional del instrumento.

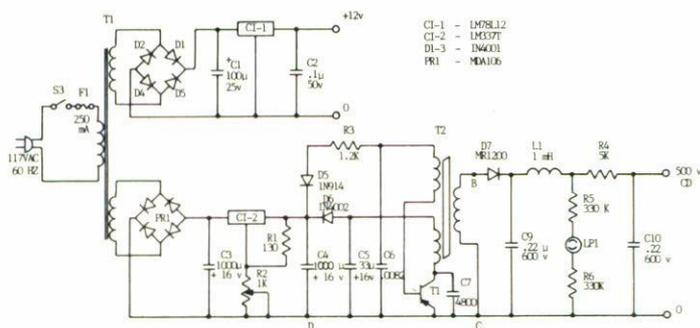


FIGURA 4. Fuente de alto voltaje.

Contador de pulso. Al incidir una partícula dentro del detector Geiger, el gas se ioniza provocandó una avalancha de iones entre el ánodo y el cátodo, la cual se traduce en una corriente pulsada a través de R7 y R9. La primera es la resistencia de carga del detector y R9 es un artificio para obtener un pulso lineal de frente positivo; los valores de estas resistencias están calculadas para obtener una altura

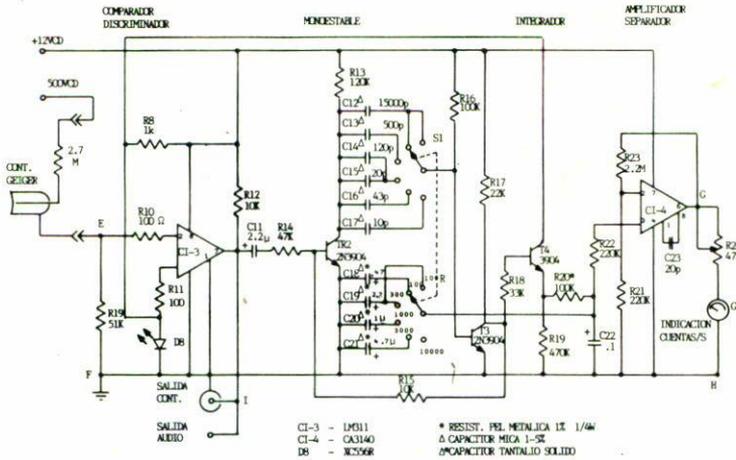


FIGURA 5. Contador de pulsos.

de pulso media de 3 V, eliminando así la necesidad de una etapa amplificadora. Sin embargo, para realizar el conteo en forma adecuada se necesita convertir el pulso lineal en un pulso lógico. Esta función la efectúa el comparador LM311(CI-3) y sus componentes asociados (R10 a R12) de acuerdo a la Fig. 5. El ruido de la fuente de alto voltaje (200 mV_{pp}) y otras señales indeseables que pudieran tomar parte en el conteo se eliminan mediante un cierto nivel de discriminación por altura. Un valor que asegura un alto grado de limpieza sin afectar en forma considerable la sensibilidad del circuito es de 1.5 volts. Para esto se usó el voltaje de polarización directa (1.6 V) de un diodo emisor de luz D8, al cual se le midió un coeficiente de temperatura de $-0.98 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ (entre 20 y 120°C), suficiente para los márgenes de tolerancias de ese voltaje. En lugar de ese diodo se puede usar una referencia del tipo LM113 (1.22 V), la cual ofrece una magnífica estabilidad, aun cuando es unas 40 veces más costoso. Para dar la misma duración a cada pulso, nos valemos de un multivibrador monoestable formado por los transistores T2 y T3 y las resistencias R13, R15, R16 y R17, así como los capacitores C12 a C17. El tiempo de duración de los pulsos está determinado por el valor de la capacidad seleccionada mediante S1, y el valor de R16 de acuerdo a la sensibilidad deseada.

El transistor T4 y R19 aseguran que la altura de los pulsos sea uniforme a un mismo valor (aproximadamente 1.5 V). Los pulsos son acumulados en el integrador formado por R20 y cualquiera de los capacitores de C18 a C22. Las constantes de integración formados por estos capacitores y R20 se calcularon para disponer de

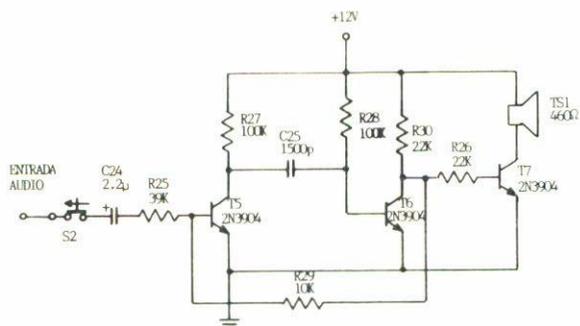


FIGURA 6. Indicador de audio.

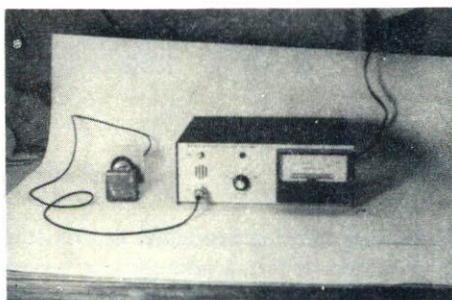


FIGURA 7. Fotografía del instrumento terminado.

5 escalas: 100, 300, 1000, 3000 y 10000 cuentas por segundo. Finalmente, para manejar un galvanómetro se utilizó un amplificador operacional CI-4 del tipo CA3040 en configuración no inversora.

Indicador audible. Por norma en este tipo de aparatos, además de tener una indicación visual, es conveniente disponer de una indicación auditiva. Para ello se propuso un circuito muy simple formado por un multivibrador monostable que utiliza los transistores T5 y T6 de la Fig. 6, y un amplificador de audio formado por T7 y el transductor TS1 (del tipo dinámico para micrófono).

4. Prototipo

El frecuencímetro lineal de impulsos (medidor de razón de pulsos E841, nombre y modelo original) se construyó en tres tarjetas de circuito impreso alojadas en una caja de aluminio de dos piezas de fabricación casera. En la fotografía de la Fig. 7 se pueden apreciar los detalles de los elementos de operación, así como las

entradas y salidas del instrumento. En la realización de este prototipo se gastaron aproximadamente 75 dólares en partes y material, el tiempo de desarrollo fue de aproximadamente 5 meses. Más detalles acerca de este trabajo se pueden encontrar en la Ref. [6].

5. Conclusiones

A partir de una necesidad específica, se planteo diseñar y construir un instrumento que, basado en el principio de integración y materializado en un circuito *RC*, muestre en su salida un voltaje equivalente a una acumulación media de impulsos por unidad de tiempo; los pulsos provienen de un tubo detector Geiger (básicamente debido a radiación gama o rayos X). Se hizo una descripción generalizada del esquema eléctrico enfatizando las principales funciones involucradas y remarcando ciertas características de algunos elementos.

Como resultado se presentó un prototipo totalmente terminado con características que lo hacen altamente reproducible a un bajo costo y que su potencial de aplicación está dirigido principalmente a laboratorios de física moderna de instituciones de enseñanza superior, laboratorios industriales donde se maneja material radioactivo o plantas nucleares y laboratorios de rayos X.

Referencias

1. R. Rodríguez and A. Clark, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 2.
2. G.F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley and Sons, (1979) 663-6.
3. P.W. Nicholson, *Nuclear Electronics*. John Wiley and Sons, (1974) 84-6.
4. A.S. Tanarro, *Instrumentación Nuclear*. Servicio de Publicación de la J.E.N.
5. R.A. Dubridge, Campbell, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **NS14** (1967) 1.
6. R. Peón Aguirre y W.H. Fonseca Araujo, *Diseño y construcción de un canal de conteo sencillo*. Reporte Técnico del CIFUS, CIF85-4 (1985).

Abstract. An electric diagram is proposed to build a Geiger detector Rate Meter, to count gamma radiation and X ray. This idea was made up with the prototipe construction which has a five scales analoge display (100, 300, 1000, 3000 and 10000 c/s).