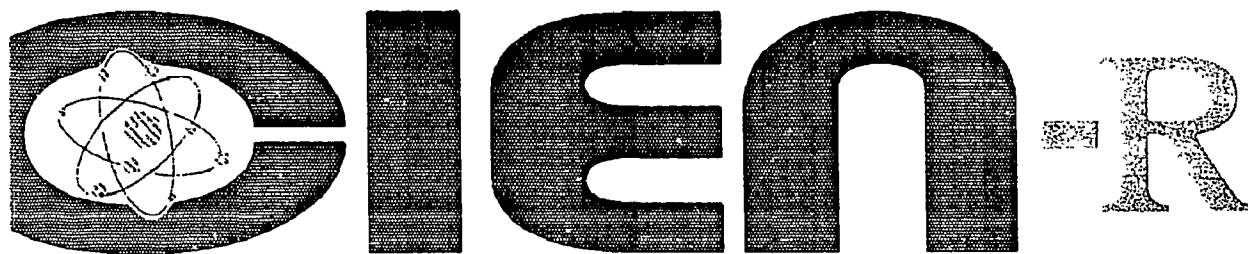


CV96.00343

5-96

 CIEN-R

AMPLIFICADOR PARA ESPECTROMETRIA NUCLEAR

AMPLIFIER FOR NUCLEAR SPECTROMETRY

Eugenio Suárez Canner

Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear

Ciudad de la Habana

Cuba

AMPLIFICADOR PARA ESPECTROMETRIA NUCLEAR.

AMPLIFIER FOR NUCLEAR SPECTROMETRY

Eugenio Suárez Caner

Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear

Ciudad de La Habana, Cuba.

Subject categories: E 41.20

Keywords: Pulse amplifier; M1; Spectrometers; Q4; Radiation detection; Electronic equipment

AMPLIFICADOR PARA ESPECTROMETRIA NUCLEAR.

Resumen: El amplificador espectroscópico modelo AE-020 está destinado para amplificar y conformar adecuadamente los pulsos provenientes de los detectores de radiaciones nucleares. Sus posibilidades y características permiten utilizarlo en conjunto con sistemas espectrométricos de alta y media resolución.

Abstract: The spectroscopy amplifier model AE-020 is designed to adjust suitably the pulses coming from nuclear radiation detectors. Due to its capacity and specifications, the amplifier can be used together with high and medium resolution spectroscopy system.

INTRODUCCION.

Los sistemas espectrométricos de alta y media resolución son indispensables para desarrollar las investigaciones en diferentes campos de la rama nuclear como por ejemplo la Espectrometría Gamma, el Análisis por Activación Neutrónica, la Fluorescencia de Rayos X, la Espectrometría Mossbauer, etc.

Y dentro de la espectrometría nuclear el Amplificador Espectroscópico(AE), también conocido como procesador analógico [1], cumple con la función de adecuar los pulsos procedentes del detector (después de pasar por el preamplificador) a los requerimientos del Conversor Análogo Digital (CAD). Estos requerimientos son fundamentalmente: amplificación y conformación de los pulsos. De la calidad con que se cumplan estos requerimientos dependerán en gran medida las características que se obtengan con el sistema espectrométrico. Esto se debe a que se podrá utilizar totalmente el intervalo dinámico del CAD y se asegurará una resolución energética alta, mediante el aumento de la relación señal/ruido, así como se garantizará la estabilidad de trabajo del sistema.

A continuación se presenta de forma resumida el diseño de un amplificador espectroscópico modelo AE-020 en norma NIM desarrollado por el Departamento de Electrónica del Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear. Su esquema funcional se muestra en la fig. 1.

MATERIALES Y METODOS.

Amplificación.

Las cascadas de amplificación deben cumplir con una serie de requisitos indispensables que permitan el uso del AE en diferentes aplicaciones:

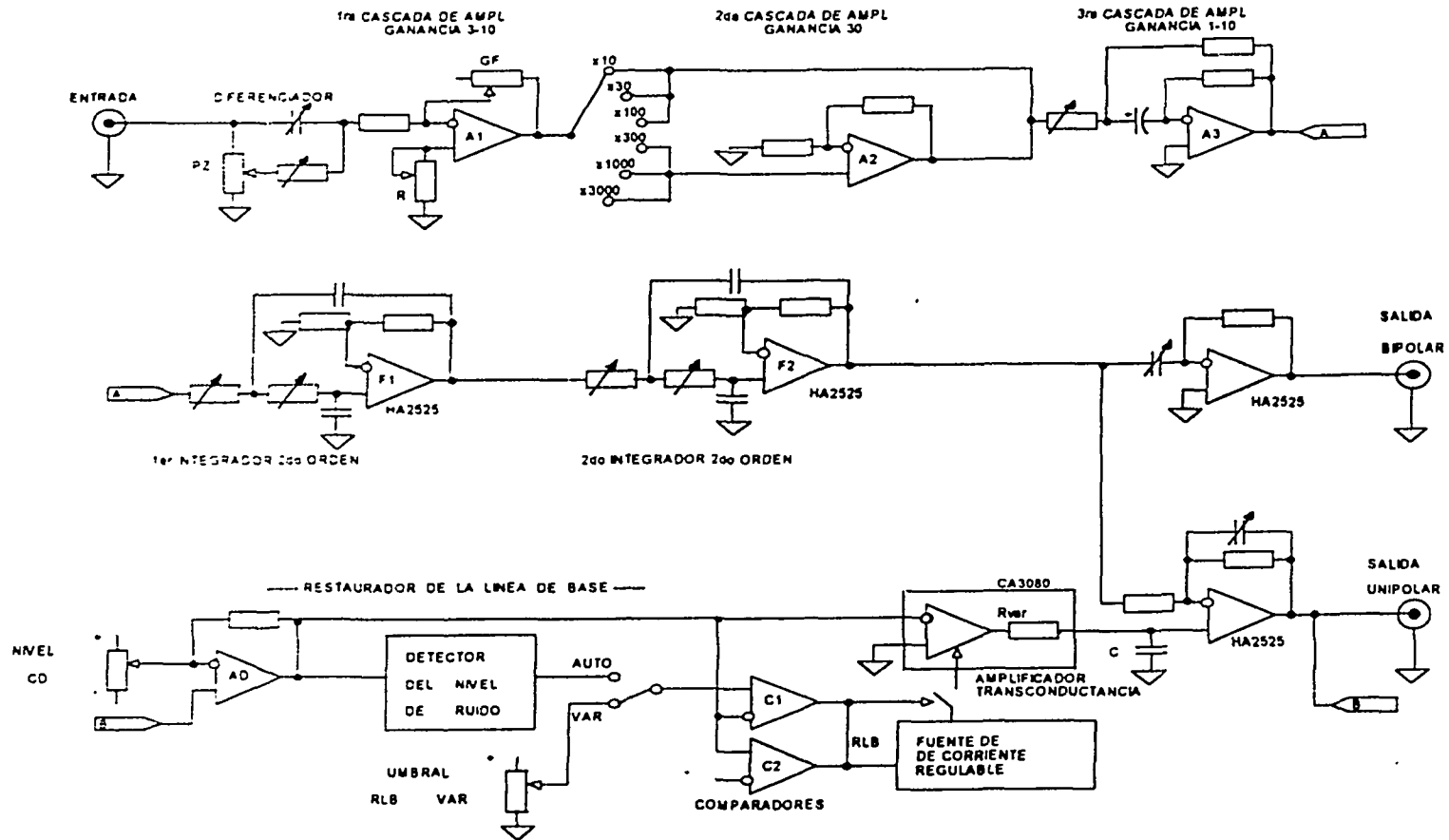


Fig. 1 Esquema funcional del amplificador

- a) Deben asegurar una ganancia suficiente para elevar la señal del preamplificador hasta un nivel tope de aproximadamente 10 V. Se necesita un intervalo de ganancia amplio (máximo de 1 a 000 para poder así emplearlo con distintos tipos de detectores y en distintas regiones de energía
- b) Una alta linealidad y estabilidad para asegurar la resolución de los mejores CAD.
- c) El ancho de banda debe ser lo suficientemente amplio, para que las principales componentes de frecuencia no se distorsionen.
- d) Un tiempo de subida suficiente como para evitar distorsiones de la linealidad en los casos de pulsos de entrada con frentes rápidos.
- e) Rápida recuperación de sobrecargas, producto de pulsos de entrada altos.
- f) Que el ruido referido a la entrada del AE sea infimo en comparación con el ruido en la salida del preamplificador.

En los AE, las cascadas de amplificación pueden realizarse utilizando tanto componentes discretos, como amplificadores operacionales monolíticos adecuados para las aplicaciones rápidas que se encuentran en relación con la electrónica nuclear.

En el AE-020 se decidió emplear componentes discretos (ver fig 2), utilizando en la entrada del circuito un amplificador diferencial T1 y T2 en base a transistores altamente pareados y de bajo ruido LM394, seguido por una cascada de transistores T3 y T4 conectados en base común logrando así disminuciones de las capacidades internas de los transistores y de montaje. Para el acoplamiento con la cascada de salida se utilizó un transistor de efecto de campo T5 conectado en fuente común. La cascada de salida garantiza una baja impedancia de salida y está formada por dos repetidores por emisor en contrafase T6 y T7. Se logró con esta configuración obtener un coeficiente de rapidez de 140 V/ μ s, permitiendo seguir una señal con un tiempo de subida de 100 ns sin perder el control de la retroalimentación.

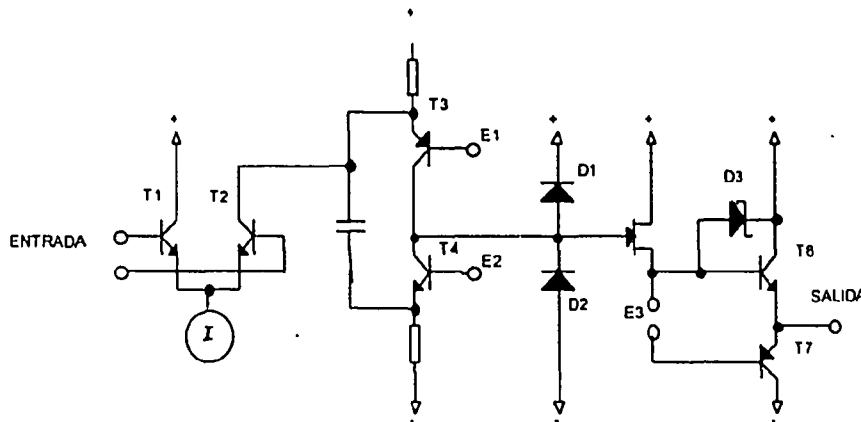


Fig.2 Esquema funcional del amplificador lineal

RESULTADOS.

Las comprobación de las características técnicas se realizó en base a las normas internacionales vigentes [4]. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Amplificación: Variable desde 3 hasta 3900.
- b) No linealidad integral: Menor que 10.1 %.
- c) Ruido equivalente: Menor que 5 μV RMS para una constante de 2 μs y ganancias mayores que 100 (ver fig. 3a,b).
- d) Conformación:
 - Semigaussiana con una carga de ruido relativa de 1.15.
 - Constantes: 0.5; 1; 2; 4; 6 y 10 μs .
- e) Recuperación a sobrecargas: El tiempo de recuperación a una sobrecarga de 1000 veces es 5 veces mayor que la constante de conformación seleccionada.
- f) Mecánica: Módulo NIM doble-ancha.

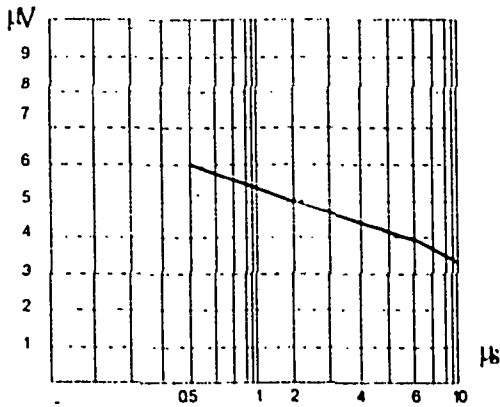


Fig. 3a Ruido RMS referido a la entrada contra tiempo de conformación (para una ganancia de 100)

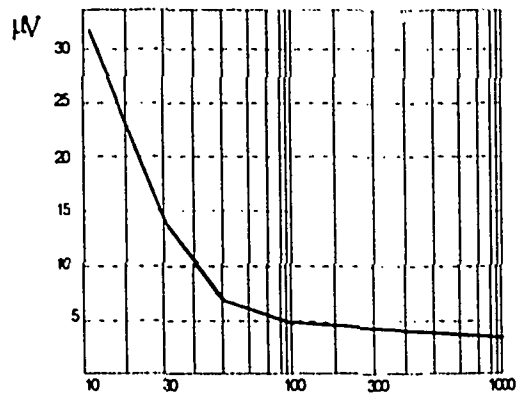


Fig. 3b Ruido RMS referido a la entrada contra ganancia (para un tiempo de conformación de 2 μs)

CONCLUSIONES.

Los resultados logrados con el prototipo permitieron elaborar una documentación tecnológica y producir una pequeña serie de AE-020 por el Departamento de Producciones Electrónicas bajo la marca INSTRUMENTACION NUCLEAR. Estos amplificadores complementan los sistemas espectrométricos diseñados y producidos por el CEADEN para distintas aplicaciones, y que actualmente se encuentran trabajando en varias instituciones del país. También se diseñó una

amplificadores operacionales integrados rápidos del tipo HA2525 conectados en una estructura con realimentación múltiple que emplea una cantidad mínima de elementos pasivos en comparación con otras. Para comprobar los cálculos de los valores de resistencias y capacidades se realizó la simulación de estos circuitos con ayuda del programa MicroCap.

Restauración de la línea de base (RLB).

Este circuito tiene el propósito de bloquear el ruido de baja frecuencia y garantizar la estabilidad del nivel cero aun cuando aumente la intensidad de arribo de los pulsos. Por otra parte en la práctica cuando esta intensidad no es alta, la utilización de este circuito viene aparejada con un empeoramiento de la resolución y la estabilidad de la posición de los picos del espectro colectado, al no evitar cierto error residual [1;2].

Existen diferentes formas de hacer la RLB [2;8]. En el AI-020 se empleó la activa por conmutación y se basa en un amplificador de transconductancia CA3080 mediante el cual se introduce una retroalimentación negativa variable en el circuito de salida de la señal unipolar. Cuando no hay pulsos el lazo de retroalimentación está cerrado y el restaurador se comporta como un diferenciador ya que contiene a un integrador Rvar-C en la trayectoria de retorno del lazo.

Debido a que es necesario desconectar la retroalimentación durante el tiempo de cruce de los pulsos se prevé un controlador de la transconductancia. El está compuesto por un comparador C1 el cual inhibe la retroalimentación todo el tiempo que el pulso sobrepase un umbral prefijado. El valor óptimo del umbral está determinado por el nivel de ruido a la entrada y debe ser algo mayor que este. Como el nivel de ruido varia para cada situación, se hace variar también umbral. En el AI-020 para fijar el umbral se utilizan dos variantes, una de forma manual y otra automática. También es necesario desconectar el lazo durante la ocurrencia grandes pulsos negativos producidos por los pulsos ópticos de descarga del preamplificador y para eso se prevé otro comparador C2 con un umbral fijo.

Para disminuir la influencia del error residual que se origina, es necesario que el circuito RLB actúe sólo lo necesario en dependencia de la frecuencia de arribo de los pulsos. Para esto se optimiza el valor de la constante de diferenciación o velocidad de restauración. En el AI-020 se utiliza una fuente de corriente regulable de forma manual o automática en la compuerta del amplificador CA3080 variando así su resistencia de salida Rvar y por ende la constante de diferenciación Rvar-C. Para intensidades de arribo grande corresponde una constante grande y viceversa.

Salida bipolar.

Esta conformación no es más que la diferenciación de la salida unipolar. Su utilidad está en la medición con alta precisión del tiempo de arribo de la radiación detectada, en un intervalo de energía seleccionado. El tiempo se determina por el cruce por cero de esta señal bipolar y no dependerá de la amplitud del pulso de entrada. En el AI-020 se utiliza un circuito clásico de diferenciación con estabilización dinámica.

Para que tenga una rápida recuperación de los pulsos de sobrecarga, se trató que estos no sacaran a los transistores fuera de su región normal de trabajo. Para eso se colocaron diodos limitadores D1, D2 y D3 en lugares adecuados del circuito.

Se diseñaron tres cascadas de amplificación similares A1, A2 y A3 (ver fig. 1), en base al circuito anteriormente explicado. Todas tienen un coeficiente de retroalimentación grande que asegura una operación estable en el tiempo. La primera cascada posee una ganancia variable de forma continua mediante un helipotenciómetro GF que se encuentra en el panel frontal. La ganancia se varía entre los valores 3 y 13. Esta etapa posee un potenciómetro R interno para ajustar el valor cero tensión en la salida en ausencia de señal. La segunda etapa posee una ganancia fija de 30. La tercera tiene tres valores de ganancia posible: 1; 3 y 10. Esta etapa está acoplada con las anteriores por enlace capacitivo de tal forma de evitar que algún corrimiento del nivel de cero de las etapas anteriores la lleve fuera de su intervalo dinámico. Con la combinación de un conmutador en el panel frontal y el helipotenciómetro GF se pueden obtener valores de ganancia de 3 a 3900.

Conformación.

La conformación o filtraje de la señal se realiza para optimizar las características de sistema espectral. Su función consiste en:

- a) Obtener la mejor relación señal/ruido posible.
- b) Permitir el trabajo con altas intensidades de cuentas con un mínimo de degradación de la resolución producto del apilamiento de pulsos con tiempo de caída largo.
- c) Eliminar al mínimo la influencia del déficit balístico [5].

Este filtraje incluye varios filtros pasa-bajo y un diferenciador o filtro pasa-alto. El diferenciador se localiza en la primera cascada del AE (ver fig. 1) para que recorte los pulsos con tiempo de caída largo evitando así la sobrecarga producto del apilamiento y se amplifique sólo su frente que es donde contiene la información de la energía.

Cuando a la entrada llegan pulsos exponenciales, al pasar por la etapa diferenciadora, salen recortados y seguidos de una cola inversa a la polaridad de los pulsos de entrada. Para eliminar este efecto que provoca una distorsión en el espectro, se le adiciona una porción del pulso de entrada a la salida del diferenciador con lo que se elimina la cola. Esta es la compensación de polos/ceros. El potenciómetro P/Z que optimiza esta compensación se encuentra accesible desde el panel frontal.

Trabajos teóricos [5;6;7] demuestran que la forma óptima para obtener una relación señal/ruido máxima la tienen los pulsos que tienen un frente exponencial y una caída exponencial. Esta forma es prácticamente irrealizable y no compagina para las mediciones de amplitud de pulsos con los CAD. Ocurre casi lo mismo con la siguiente forma óptima: la triangular. La mejor aproximación a estas curvas teóricas la tiene la forma de campana de Gauss.

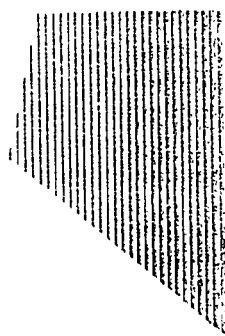
La forma gaussiana se logra con una cascada de diferenciación e infinitas cascadas de integración conectadas en serie y que su función de transferencia aporte unos polos complejos con determinados valores [3]. En la práctica 5 ó 7 cascadas son suficiente para la mayoría de las aplicaciones [2].

En el AE-020 se implementó una conformación gaussiana por medio de F1 y F2 (ver fig.1). Dos filtros activos de segundo orden con polos complejos que complementan una conformación de 5 cascadas, garantizando una carga de ruido relativa de 1.15 [7;8]. Se utilizaron

variante específica para los sistemas de Fluorescencia de Rayos X: el modelo 1503, en cual muchas opciones vienen prefijadas.

BIBLIOGRAFIA.

- [1].Tópicos Selectos en Electrónica Nuclear, IAEA-TECDOC-363, Viena, (1988), 204.
- [2].An Introduction to spectroscopy amplifiers, Application Note, SILENA S.p.A Milano, Italia, (1982), 42.
- [3].Ohkawa y otros, Direct Synthesis of the gaussian filter for nuclear pulse amplifier, Nuclear Instruments and Methods 138, (1979), 85-92.
- [4].Test procedures for amplifiers and preamplifiers for semiconductor detectors for ionizing radiation, IEC-340, (1979), 73.
- [5].Nicholson. Nuclear Electronics, Wiley, N.Y., (1974),254.
- [6].Knoll. Radiation and Measurements, Wiley, N.Y.,(1979), 458.
- [7].Goulding, Landis, Some Aspects of Energy Measurements with Solid-State Detectors, IEEE Trans. Nucl. Sci., No. 2, (1978), 25.
- [8].Schmidt. Messelectronik in der Kernphysik, B.G. Teubner Stuttgart, (1986), 190.



CIEEN

**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