

Sistema de adquisición de datos en tiempo real para un detector modular de neutrones en los experimentos con el RIBRAS

I. Padrón

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)
ipadron@ceaden.edu.cu

Resumen

Con la finalidad de maximizar las posibilidades experimentales en el estudio de los núcleos exóticos utilizando el haz del sistema “Radioactive Ion Beams in Brasil” (RIBRAS), fue desarrollado un sistema modular de detectores centelleantes orgánicos con buena eficiencia y amplio ángulo sólido, conocido como Pared de Neutrones. La detección de los neutrones emitidos en coincidencia con los fragmentos de reacción incrementa las posibilidades experimentales y constituye una de las técnicas más usadas en el campo de la Astrofísica Nuclear.

El obsoleto sistema de adquisición de datos de la Pared de Neutrones debe ser remplazado por un sistema basado en módulos del patrón Versa Module Euro Card (VME). El nuevo esquema será definido para incluir el arreglo de detectores de bandas para partículas cargadas y la Pared de Neutrones con el máximo de eficiencia de adquisición, sin tiempo muerto, con selección de datos y sincronización de eventos.

Los módulos digitalizadores garantizan tareas como la supresión de ceros y la saturación en la lectura de la señal. Adicionando tarjetas FPGA (field programmable gate array) a la adquisición de datos se garantiza el procesamiento pre y post-algorítmico de los datos.

Palabras clave: detección de neutrones, detector modular de neutrones, sistema de adquisición de datos, digitalizador de pulsos.

A real time pulse processing Data acquisition for neutron modular detector on RIBRAS experiments

Abstract

In order to potentiate the experiments for studying the exotic nuclei with Brazil Radioactive Ion Beam (RIBRAS), a modular organic scintillation detector (Neutron Wall), with good efficiency and extended solid angle was developed. The detection of neutrons emitted in coincidence with the reaction fragments increases the experimental possibilities and represents one of the most popular techniques in the Nuclear Astrophysics field.

The data acquisition system used for the Neutron Wall is obsolete and should be replaced by Versa Module Euro Card Data Acquisition modules. The new scheme will be designed to include the Strip Array and Neutron Wall detectors with maximum readout efficiency, no dead time, data selection and event synchronization.

The digitizer modules provide features like zero suppressed readout and overflow suppression. Zero suppression, once enabled, prevents conversion of value, which is lower than user defined threshold. Adding FPGA (field programmable gate array) cards to data acquisition provides pre- and post-algorithmic processing on data.

Key words: neutron detection, neutron wall detector, data acquisition system, pulse digitizer.

Introducción

Los experimentos para medir en coincidencia los neutrones emitidos con los fragmentos de una reacción nuclear son esenciales para explorar la física cerca de la

línea de inestabilidad para núcleos ricos en neutrones, conocida como “neutron dripline”. El estudio del comportamiento del núcleo cuando resulta inestable con respecto al decaimiento vía emisión de neutrones, se convierte en una realidad con el desarrollo de sistemas

modulares de detección que discriminan entre los rayos gamma y los neutrones. Debido a la necesidad de presentar grandes áreas de detección y buena eficiencia para compensar los bajos flujos de los haces radioactivos, estos detectores son frecuentemente conocidos como “paredes de neutrones”.

Para complementar las exigencias experimentales del sistema modular, la detección de los neutrones debe ser sensible a la posición de incidencia para medir la distribución angular y con características temporales que permitan usar la técnica de tiempo de vuelo para identificar el canal de reacción y estimar la energía de los neutrones.

En el Laboratorio Abierto de Física Nuclear (LAFN) del Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo se ha desarrollado un haz de iones radioactivos acoplado al acelerador Pelletron que se conoce como RIBRAS[1]. Para potenciar los experimentos con haces ricos en neutrones que garantiza fueron fabricados dos detectores de neutrones de 2x2 metros cuadrados, sensibles a posición y que discriminan los cuantos gamma de los neutrones con energías cinéticas de 1MeV a 100 MeV. Este detector de neutrones con centelleante líquido BC-501A es basado en el diseño de la Pared de Neutrones de la Universidad de Michigan [2].

Un detector con un área sensible tan grande resulta muy afectada por el fondo de los rayos gamma generados en la reacción y por los muones del fondo cósmico. El mecanismo de fluorescencia característico de los centelleantes BC-501A posee una componente rápida para bajas densidades de ionización (rayos gamma) y otra lenta para altas densidades de ionización como es el caso de los neutrones. Esto permite aplicar el método de discriminación por forma de pulso y eliminar el fondo debido a los rayos gamma y los muones.

Materiales y métodos

Descripción y calibración de la pared de neutrones del LAFN

La geometría seleccionada consiste en 24 células largas y rectangulares de pirex con secciones cuadradas de (6,35 cm x 7,66 cm) que contienen el centelleante líquido. En cada extremo son acoplados tubos fotomultiplicadores fijados al cuerpo del contenedor que se recubre con láminas de aluminio para protegerlos de la luz como aparece en la figura 1.

Las paredes de neutrones fabricadas en el LAFN pueden ser utilizadas en conjunto, situadas una tras otra para aumentar la eficiencia de detección o al lado solapándose para cubrir un mayor ángulo sólido. Para una base de vuelo de 5 metros, cada detector representa un ángulo de apertura de aproximadamente 20°.

De acuerdo con el actual sistema de adquisición de datos empleado en el LAFN[3], se diseñó el esquema electrónico usando módulos NIM e CAMAC analógicos y lógicos para el procesamiento de los pulsos de salida de cada una de los 48 tubos foto-multiplicadores de la PN que está representado en la figura 2.

El pulso positivo del dínodo del foto-multiplicador es transformado porque se requiere polaridad negativa para los módulos NIM analógicos como los Discriminadores de Fracción Constante (CFD). Los pulsos analógicos que superan el umbral del CFD son grabados en el espectro temporal utilizando 3 módulos TDC (Time to Digital Converter) en formato CAMAC. Cualquiera de estos pulsos puede disparar, a través del “OR” del CFD, la ventana temporal común (Gate) para integrar la carga de las salidas del ánodo procesados en los módulos de análisis por forma de pulso (PSD). La salida del ánodo



Figura 1. Fotos mostrando la pared de neutrones dentro do compartimento fabricado com finas láminas de aluminio.

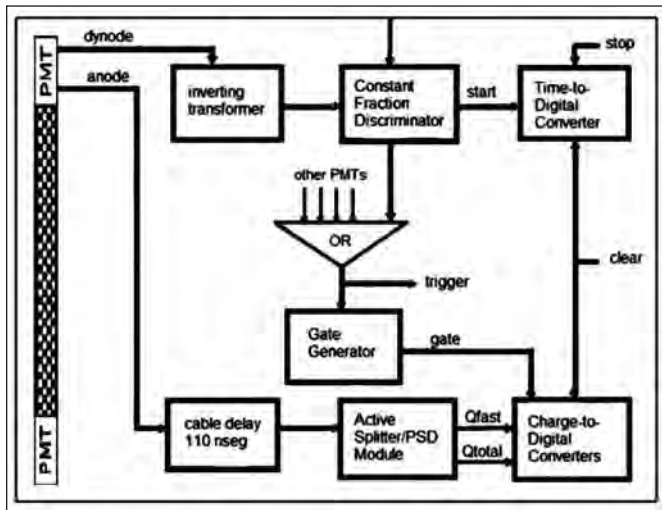


Figura 2. Esquema electrónico para el procesamiento de los pulsos de la pared de neutrones utilizando módulos NIM y CAMAC.

es duplicada y convertida para obtener un pulso correspondiente al frente de la señal de duración 30 nseg que es integrado como QDCfast y la integración del pulso entero con duración de 340 nseg como QDCtotal. Las cargas correspondientes a la componente rápida y al total del pulso son integradas en el módulo CAMAC QDC (Charge to Digital Converter).

El procedimiento ideal para la calibración de la pared de neutrones sería aprovechando la emisión simultánea de neutrones y gammas en el evento de fisión del núcleo de ^{252}Cf . Desafortunadamente, no fue posible contar con una fuente radioisotópica de ^{252}Cf con la intensidad adecuada y fue necesario implementar un procedimiento para la calibración del detector y valorar la discriminación n-gamma empleando una fuente de ^{241}Am - ^9Be (tipo X2) de intensidad $2.4 \times 10^5 \text{ n/segundo}$. En este tipo de fuente radioactiva las partículas alfas emitidas por el núcleo de ^{241}Am son capturadas por el ^9Be formando un núcleo ^{13}C que decae para ^{12}C emitiendo un neutrón con energías hasta 11 MeV. En el 55% de los casos el núcleo de ^{12}C resulta en el primer estado excitado y emite una gamma de 4.44 MeV que está correlacionado temporalmente con el neutrón.

Para contar con una señal de referencia fue fabricado un detector de centelleante líquido BC-501A cilíndrico de 2x2 pulgadas. La eficiencia de este detector de forma cilíndrica fue determinada experimentalmente y comparada con simulaciones por Monte Carlo del proceso de detección usando el código MCNP (MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code)[4]. La detección en el detector de 2x2 pulgadas del rayo gamma correlacionado en tiempo con el neutrón de la fuente de Am-Be, permitió estimar la eficiencia de la Pared de Neutrones, igual a 10.65% y de casi 20% cuando se colocan las dos paredes una tras otra.

La integración de los pulsos de las componente rápida y lenta de la fluorescencia en la celda centelleante permite la discriminación entre los neutrones y rayos gamma, emitidos por la fuente de Am-Be, como aparece en el espectro biparamétrico de la figura 3. Se observa una proporción mayor de gammas debido al fondo

cósmico de muones que con alta eficiencia depositan una energía media de 24 MeV en una celda de BC501A.

La posición de incidencia del neutrón a lo largo de la celda centelleante es determinada a partir de la diferencia entre las señales de tiempo de los fotomultiplicadores situados en los extremos con respecto a la señal de referencia. Fue posible estimar que la resolución espacial en la dirección horizontal es de unos 7 cm, lo que equivale a menos de un grado en la distribución angular si la pared de neutrones está situada a 5 m de la cámara de reacciones. En la dirección vertical, la resolución depende de las dimensiones de las celdas que tienen una altura de 6.35 cm.

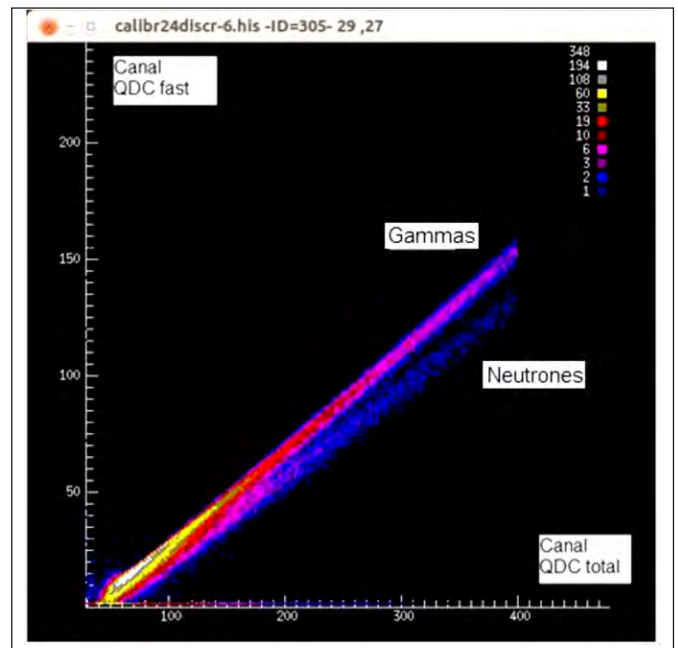


Figura 3. Espectro bi-paramétrico de integración de carga de QDCfast y QDCtotal para representar la discriminación entre neutrones y gammas usando una fuente de Am-Be.

Resultados

Para potenciar el RIBRAS en toda su capacidad para el estudio de núcleos exóticos, podemos utilizar la pared de neutrones con modernos sistemas de adquisición que permitan incrementar la complejidad de las mediciones experimentales de la energía y las distribuciones angulares de los neutrones en correlación temporal con otros productos de la reacción. Garantizar la discriminación n-gamma y la previa identificación del fragmento emitido exige modernizar el procesamiento de datos que permita la digitalización en tiempo real de los parámetros que identifican a las partículas y con la velocidad requerida en la transmisión de datos[5,6].

Esquema electrónico del sistema de adquisición utilizando módulos VME (CFD, TDC QDC)

Fue estudiada la posibilidad de montar el sistema de adquisición utilizando módulos en formato VME, siguiendo la experiencia y desarrollos posteriores del Laboratorio de Michigan. La figura 4 representa el esquema electrónico necesario para detectar los neutrones en coincidencia con las partículas cargadas, donde se procesan primeramente las señales analógicas y en la fase final se digitalizan.

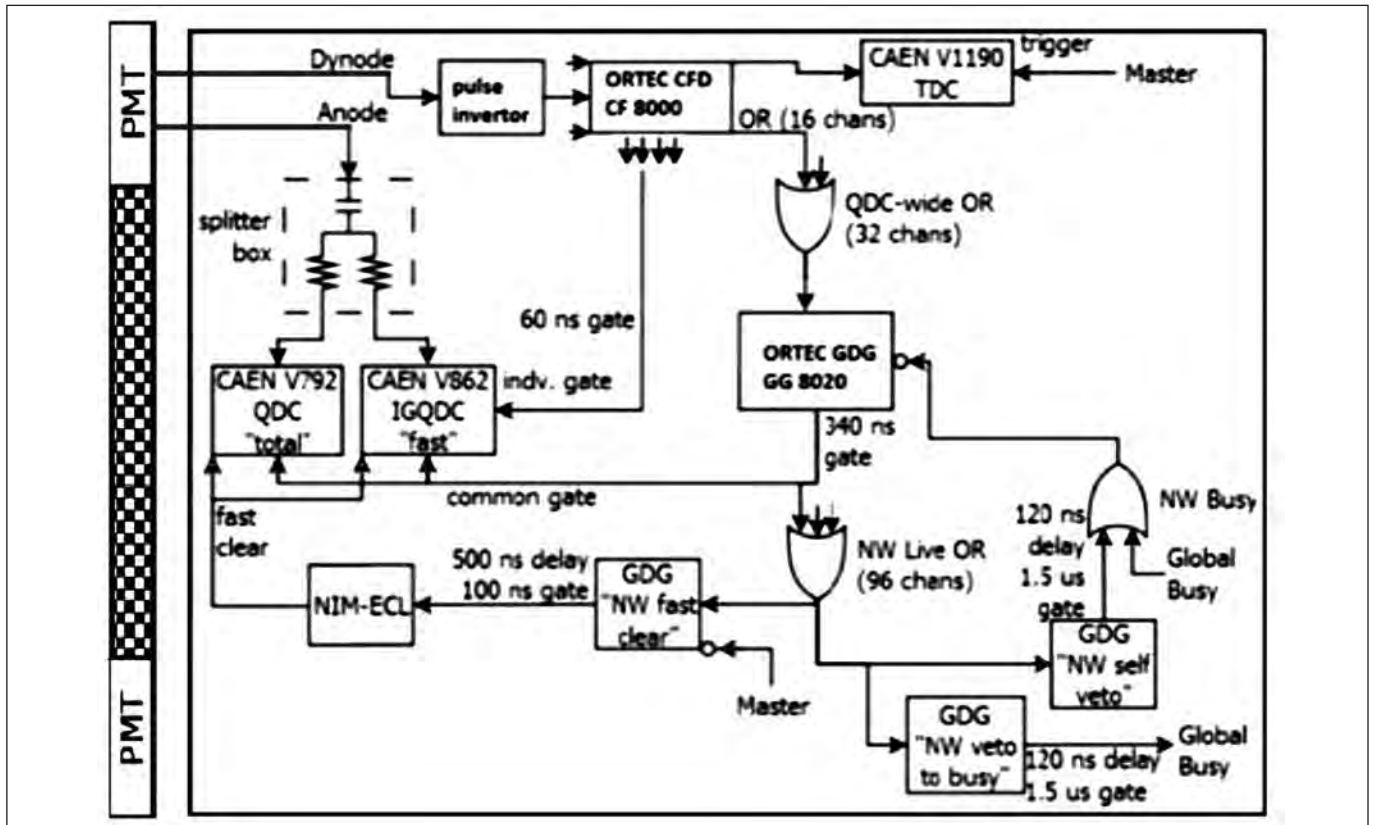


Figura 4. Esquema electrónico de adquisición utilizando módulos electrónicos en formato VME.

En este caso la integración de la carga se inicia con el “gate” individual disparado por el propio pulso del dinodo. Es necesario, por tanto, un delicado sincronismo de las señales y la preparación del experimento resulta muy trabajosa.

Los módulos analógicos VME permiten únicamente señales NIM negativas, por ello es preciso considerar el costo de inversores de voltaje para las 96 salidas “dino” de los fotomultiplicadores. Para procesar los pulsos en los módulos QDC V792 e IGQDC V862 la salida del ánodo debe ser duplicada. Esto representa más dispositivos a considerar en el costo total de la modernización.

Discusión

Implementar el formato VME con digitalizadores

La alternativa sería usar digitalizadores, que pueden simplificar el procesamiento de los pulsos de los fotomultiplicadores pues usarían apenas la salida del ánodo.

Tradicionalmente, los pulsos analógicos de los detectores son procesados por diferentes módulos electrónicos sincronizados para colocar umbrales de amplitud, ventanas temporales o energéticas. El procesamiento de los datos realizada sobre pulsos analógicos é menos reproducible y más tediosa, además de considerar la pérdida de eventos por razones estadísticas. La conversión análogo-digital inmediatamente al inicio por medio de un digitalizador permite usar una única tarjeta FPGA, con excelente velocidad de transmisión de datos, lo que resulta ideal para procesar los pulsos de un gran

número de canales de detección. La digitalización de los pulsos facilita la detección multi-paramétrica coordinada en tiempo real por dispositivos lógicos programables basados en tarjetas FPGA (Field Programmable Gate Array). Esto permite programar la adquisición de datos según las exigencias de cada experimento, garantizando la coincidencia o anti-coincidencia de los diferentes sistemas de detección acoplados.

Además de la flexibilidad en la ejecución de diversas tareas, este dispositivo programable permite reducir el costo del procesamiento de las señales por canal de detección. El proceso se inicia con la entrada del pulso analógico del detector directamente al digitalizador, donde primero es filtrado y pasa por la conversión analógico-digital (A/D) para acometer después las diferentes tareas de procesamiento de los pulsos digitalizados (DPP). Los parámetros que permiten identificar el evento deseado (energía, tiempo, multiplicidad, forma de pulso) son registrados a través de la interface que conecta el digitalizador a la computadora del experimento.

La tarjeta FPGA del digitalizador, utilizando el código suministrado por el fabricante, permite alterar los parámetros para adquirir e procesar los datos de un experimento específico. Así son programadas diferentes ventanas energéticas e temporales, coincidencias “on-line” entre pares de canales sin necesidad de líneas de atraso para posicionar el pulso dentro de la ventana temporal, pues está preparada para identificar la llegada del pulso digitalizado e iniciar el procesamiento indicado previamente.

Los módulos digitalizadores garantizan tareas como la supresión de ceros y la saturación en la lectura de la señal[7]. La supresión de ceros previene la conversión de valores menores que un límite definido. La supresión de la saturación aborta la memorización de datos que rebasan las capacidades de la conversión análogo-digital.

Adicionando tarjetas FPGA (field programmable gate array) a la adquisición de datos se garantiza el procesamiento pre y post-algorítmico de los datos. Una solución a la adquisición y procesamiento de datos en los experimentos con núcleos ricos en neutrones del RIBRAS se propone en la figura 5, sincronizando varios módulos digitalizadores que garantizan la identificación y procesamiento en tiempo real de los eventos. Esta idea integra y sincroniza el detector de partículas cargadas de bandas de silicio (silicon strip detector), montado en el interior de la cámara 3, con las dos paredes de neutrones, situadas a la distancia necesaria para cubrir un amplio ángulo sólido.

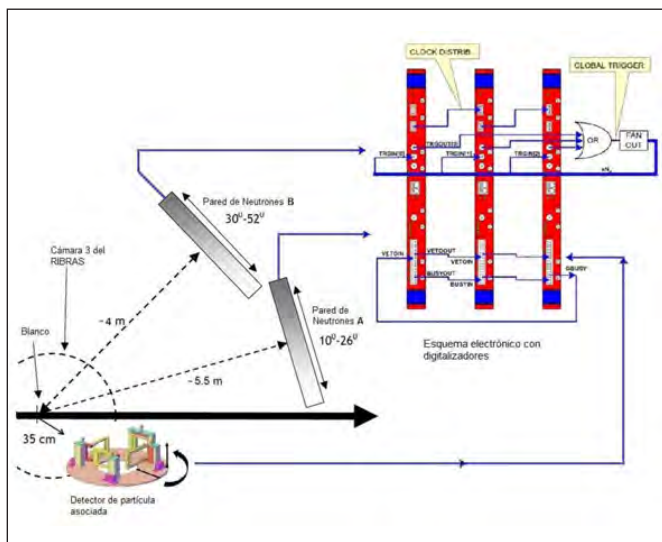


Figura 5. Configuración geométrica del experimento que integra el detector de partícula asociada (silicon strip detector) con las dos paredes de neutrones usando varios digitalizadores sincronizados para la adquisición y procesamiento de datos.

Para simplificar la interacción entre los elementos de la adquisición de datos, el funcionamiento independiente de los detectores, la reconfiguración y sustitución de detectores y módulos, las unidades de la adquisición de datos están funcionalmente divididas y jerarquizadas por niveles lógicos a lo largo de flujo de datos. Tal es el caso de la sincronización de varias tarjetas FPGA o módulos digitalizadores, que permite: la alineación y ajuste programable de la entrada y salida de señales temporales, la definición de la referencia temporal, la propagación y correlación del disparo “trigger” con la posible utilización de unidades lógicas externas, además de la sincronización de los eventos a salvar gracias a la propagación de la entrada y salida de las señales BUSY y VETO.

Conclusiones

El esquema propuesto para la adquisición y procesamiento de datos en los experimentos con núcleos ricos en neutrones del RIBRAS, basado en la sincronización de varios módulos digitalizadores permitiría:

- Realizar con una tarjeta FPGA el trabajo de varios módulos analógicos.
- Preservar toda la información.
- Reducir el cableado, los dispositivos adaptadores, el consume y el costo por canal.
- Alta confiabilidad y reproducibilidad de las mediciones en tiempo real
- Flexibilidad (diferentes algoritmos digitales pueden ser diseñados e implementados para otros experimentos usando esta misma configuración de módulos digitalizadores)

Referencias bibliográficas

- [1] LÉPINE-SZILY A, LICHTENTHÄLER R AND GUIMARÃES V. The radioactive ion beam in Brazil (RIBRAS) facility. *Eur. Phys. J. A.* 2014; 50: 128.
- [2] ZECHER PD, et. al. A large-area, position-sensitive neutron detector with neutron gamma-ray discrimination capabilities. *Nucl. Inst. Methods.* 1997; 401: 329-344.
- [3] RIBAS RV. A camac data acquisition system based on PC-Linux. *Nucl Instr Meth Phys Res A.* 2002; 483: 830-832.
- [4] BRIESMEISTER JF. MCNP-a general Monte Carlo N-particle transport code. version 4C. Los Álamos National Lab. Report LA13709-M. March, 2000.
- [5] MORO AM, LEI J. Recent advances in nuclear reaction theories for weakly bound nuclei: reexamining the problem of inclusive breakup. *Few-Body Syst.* 2016; 57: 319-330.
- [6] ASSIÉ M, et. al. Neutron correlations in 6He viewed through nuclear breakup. *Eur. Phys. J. A.* 2009; 42: 441-446.
- [7] CAEN_2016_2017. Manual and accessories. Available in: www.caen.it.

Recibido: 13 de febrero de 2018

Aceptado: 29 de mayo de 2018