



طراحی و ساخت تحلیل گر بس کاناله با قابلیت ارتباط با رایانه از طریق درگاه همه گذر (USB)

پروین حریت پژوه*، یاشار وثوقی، سیدرضا هادیان امرئی

پژوهشکده‌ی علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران

چکیده: یک تحلیل گر بس کاناله برای جمع آوری و نمایش ارتفاع تپ خروجی تقویت کننده با امکان ارسال داده‌ها از طریق درگاه همه گذر به رایانه طراحی و ساخته شد. تراشه‌ی مبدل قیاسی به رقمی از نوع خطی با حداکثر قدرت تبدیل ۲۰ میلیون علامت بر ثانیه به همراه یک آرایه‌ی درگاه برنامه پذیر میدانی (FPGA) در بسامد ۱۲MHz برای جداسازی تپ خروجی تقویت کننده مورد استفاده قرار گرفت. آرایه‌ی درگاه برنامه پذیر میدانی علاوه بر کنترل تحلیل گر، ارسال داده‌های خروجی به درگاه همه گذر را نیز انجام می‌دهد. جمع آوری و ارسال داده‌ها به رایانه از طریق درگاه همه گذر با سرعت انتقال ۹۲۱۶۰۰ بیت بر ثانیه انجام می‌شود. کوچک تر شدن اندازه‌ی سیستم و کاهش هزینه‌ی ساخت آن، به عنوان نتیجه‌ای از تابع منطقی اجرا شده در آرایه‌ی درگاه برنامه پذیر میدانی با موفقیت انجام شد. برنامه‌ای در محیط نرم افزار Lab-View تهیه شد که ذخیره سازی، تحلیل و نمایش داده‌ها را به صورت طیف انرژی در ۴۰۹۶ کانال در رایانه نمایش می‌دهد. عملکرد کل سیستم با آشکارساز یدور سدیم ($3'' \times 3''$) جفت شده به لوله‌ی تکثیر کننده‌ی فوتونی (PMT)، با چشمه‌های استاندارد ^{137}Cs و ^{60}Co مورد آزمایش قرار گرفت. قدرت تفکیک انرژی برای چشمه‌ی ^{137}Cs در انرژی ۶۶۲keV کم تر از ۷/۶٪ و انتگرال غیر خطی ۰/۴۵٪ محاسبه شد. در آزمایشی مشابه برای چشمه‌ی ^{60}Co قدرت تفکیک در انرژی ۱۱۷۰keV و ۶/۶۴٪ و در ۱۳۲۰keV و ۶/۱۶٪ به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل گر بس کاناله، درگاه همه گذر، آرایه‌ی درگاه برنامه پذیر میدانی، مبدل قیاسی به رقمی

Design and Construction of a Multi-Channel Analyzer (MCA) with Communication Capability Through USB

P. Horriyat Pajooh*, Y. Vosoughi, S.R. Hadian Amraei

Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-3486, Tehran - Iran

Abstract: A PC-Based gamma-ray spectrometer has been developed with communication capability through the USB port. A 12-bit pipelined Analog-To-Digital Converter (ADC) associated with a FPGA operating at 12MHz is employed for pulse height analysis from a built-in pulse amplifier. Data Acquisition via USB port is programmed in the FPGA. The USB transfer rate was 921600 bits per second. The software implemented in the Lab-View software environment for saving, analyzing and displaying data on PC in the energy range of 4096 channels was used. The overall system performance was tested using a Na(Tl) crystal coupled PMT scintillation detector, and gamma standard radioactive sources of Cs-137 and Co-60. The integral nonlinearity of $\pm 0.45\%$ was obtained by an experiment. Both low cost and compact size of the system as a result of design specification were also verified. A 7.6% energy resolution was adopted for Cs-137 out of 662keV. During the same experiment, values of 6.64% and 6.16% were determined with Co-60 source (in 1.17MeV and 1.32MeV energies).

Keywords: Multi Channel Analyzer (MCA), USB Port, FPGA, Analog-to-Digital Converter (ADC)

*email: phorriyat@aeoi.org.ir

۱. مقدمه

در توسعه‌ی تحلیل‌گرهای بس‌کاناله‌ی جدید، تراشه‌های قابل برنامه‌ریزی و مبدل‌های قیاسی - به - رقمی (ADC) سریع به کار گرفته شده‌اند [۱، ۲]. در این مقاله به ساخت یک تحلیل‌گر با سرعت تبدیل بالا پرداخته شده است که تپ شکل‌دهی شده را از تقویت‌کننده جمع‌آوری نموده و پس از تبدیل به داده‌های رقمی آن را از طریق درگاه همه‌گذر^(۱) به رایانه ارسال می‌نماید. امکان طراحی مدارهای رقمی با استفاده از یک آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی^(۲) از طریق برنامه‌نویسی و تغییر آن تا دست‌یابی به تابع منطقی مناسب فراهم شد. این، به طور قابل توجهی تعداد و اندازه‌ی قطعات سخت‌افزاری رقمی در مدار الکترونیکی را کاهش داد.

برنامه‌ی کنترل سیستم که به صورت طرح‌وار در محیط Lab-View تهیه شد، وظیفه‌ی آماده‌سازی درگاه همه‌گذر، گردآوری داده‌ها و نمایش تجمعی ارتفاع تپ را انجام می‌دهد. این دستگاه هزینه‌ی ساخت کم‌تر و اندازه‌ی کوچک‌تری نسبت به دستگاه‌های مشابه دارد؛ مدار الکترونیک آن دارای ابعاد 20×9 سانتی‌متر است.

انتگرال غیرخطی حداکثر $\pm 0.45\%$ محاسبه شد که با نمونه‌ی مشابه [۳] هم‌خوانی دارد. در راهنمای مشخصه‌های دستگاه مبدل قیاسی به رقمی کامبرای مدل ۸۷۰۱^(۳) (نوع ویلکینسون) انتگرال غیرخطی $\pm 0.25\%$ ذکر شده است. علت این تفاوت آن است که در مبدل‌های خطی، خطی بودن کم‌تر به قیمت سرعت بالاتر از بین می‌رود. مبدل‌های ویلکینسون که اغلب در سیستم‌های قدیمی به کار برده می‌شدند، در مقایسه با نوع خطی‌ترند ولی سرعت تبدیل آن‌ها بسیار کم‌تر است. برای مدل ۸۷۰۱ سرعت تبدیل، برحسب تعداد کانال انتخاب شده، از $4/1$ تا $83/5$ میکرو ثانیه گزارش شده است [۴]. در حالی که در طراحی مورد بحث، زمان تبدیل کل از لحظه‌ی آشکار شدن قله‌ی تپ حدود ۶ میکرو ثانیه است.

تحلیل‌گرهای بس‌کاناله که در ایران براساس تراشه‌های پر سرعت ساخته شده و به صورت تجاری به فروش می‌رسند، از تراشه‌های ثبت تقریب متوالی^(۴) بهره می‌گیرند و ارتباط آن‌ها با رایانه اغلب از طریق درگاه سری انجام می‌شود. در طراحی حاضر از مبدل خطی که زمان تبدیل آن ۱۰ تا ۱۰۰ برابر سریع‌تر از مبدل‌های ثبت تقریب متوالی است، استفاده شده است [۵]. انتقال داده‌ها از درگاه همه‌گذر هزینه و مصرف انرژی کم‌تری

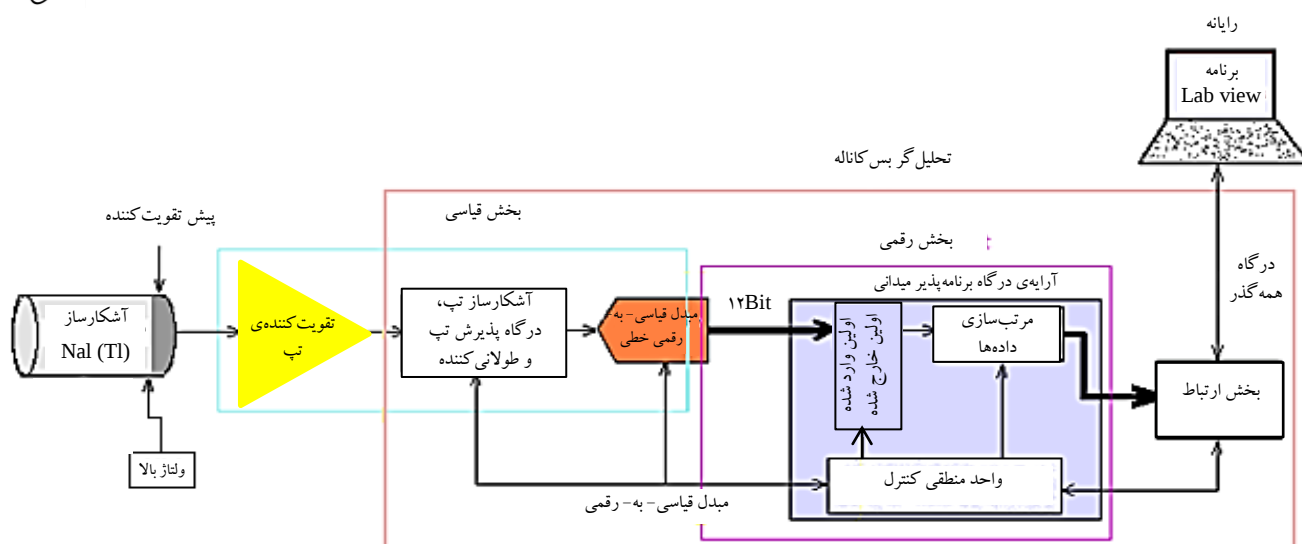
در مقایسه با دیگر درگاه‌ها دارد. اتصال دستگاه به رایانه به راحتی انجام شده، و نیاز به تنظیم‌های کاربر از بین می‌رود، زیرا به صورت خودکار به وسیله‌ی سیستم شناسایی می‌شود. علاوه بر این داده‌های دریافتی از مبدل در بافر درگاه همه‌گذر ذخیره شده و پس از هر بازخوانی، مقادیر آن به طیف انرژی افزوده می‌شود؛ لذا نیازی به حافظه برای ثبت داده‌ها نیست. در نمونه‌ی مشابه داخلی از ریزکنترل‌کننده و حافظه‌های جانبی برای دسته‌بندی و ذخیره‌ی داده‌های خروجی استفاده شده است که سرعت ارسال داده‌ها به رایانه را کاهش می‌دهد. از دیگر مزایای طرح حاضر، نرم‌افزار تهیه شده برای تحلیل‌گر است که تمام نیازهای کاربر از قبیل نمایش، دریافت و ارسال داده‌ها و امکان ذخیره‌ی طیف به صورت فایل در مدت زمان دلخواه و ... را فراهم آورده است. در برخی از نمونه‌های مشابه داخلی این نرم‌افزار به صورت آماده خریداری شده است.

دستگاه تحلیل‌گر ساخته شده با آشکارساز یدورسیدیم آزمایش شد. پهنای نیم ارتفاع (قله‌ی انرژی) (FWHM) کم‌تر از 7.6% محاسبه شد که در مقایسه با مقدار 7.5% در انرژی 662keV (چشمه‌ی سزیم) که در کاتالوگ آشکارساز خریداری شده ثبت شده است، مقدار مطلوبی است [۶].

این مقاله، گزارش بخشی از طرح اصلی با عنوان «طراحی و ساخت سیستم طیف‌نمایی هسته‌ای با آشکارساز سوسوزن NaI» است. شکل ۱ نمودار ساده‌ی سیستم طیف‌نمایی را نمایش می‌دهد که این مقاله، تنها به طراحی و ساخت مجموعه‌ی تحلیل - گر بس‌کاناله اختصاص دارد.

۲. تشریح عملکرد مجموعه‌ی تحلیل‌گر بس‌کاناله

مجموعه‌ی تحلیل‌گر بس‌کاناله شامل سه بخش قیاسی، رقمی و قسمت ارتباط با رایانه است. آشکارساز قله، درگاه و طولانی‌کننده قسمت‌های اصلی بخش قیاسی هستند. تراشه‌ی مبدل قیاسی - به - رقمی و مدار مولد علامت‌های کنترل که در آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی برنامه‌ریزی شده است، بخش رقمی را تشکیل می‌دهند. آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی علامت‌های لازم برای ارتباط بخش‌های مختلف تحلیل‌گر به یک‌دیگر و نیز به قسمت ارتباط را تولید کرده و ارسال داده‌های خروجی مبدل قیاسی - به - رقمی به رایانه را انجام می‌دهد.



شکل ۱. نمودار ساده‌ی سیستم طیف‌نمایی.

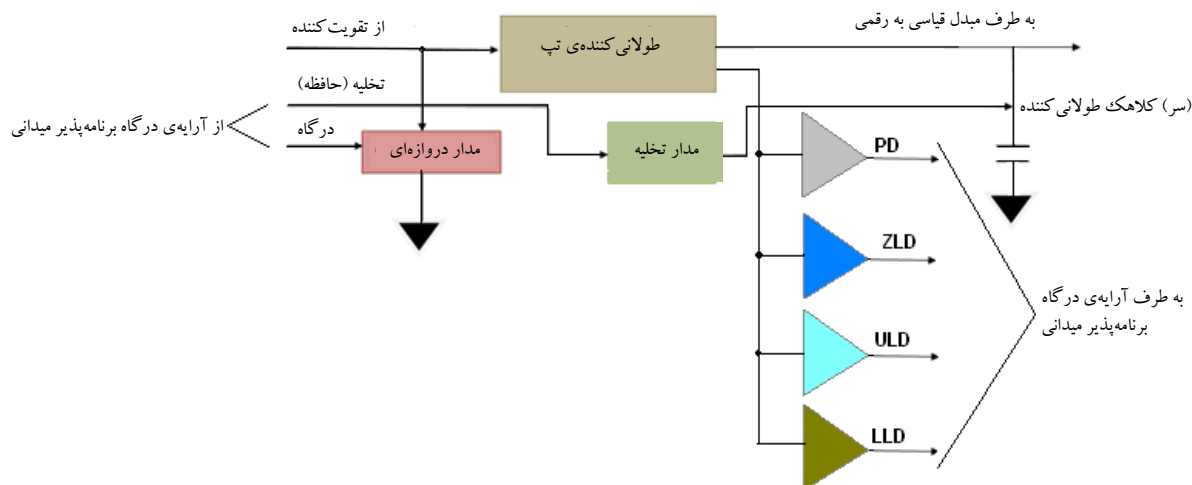
مقاومت ورودی مبدل قیاسی - به - رقمی، با استفاده از یک مدار بافر انجام شد. این مدار با تأمین جریان الکتریکی مورد نیاز سبب می‌شود تپ قیاسی پس از طولانی شدن بدون هیچ گونه افت دامنه به تراشه وارد شود.

آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی علامت‌های PD، ZLD، LLD و ULD را از مجموعه‌ی طولانی‌کننده دریافت و سپس علامت‌های دروازه‌ای و تخلیه را برای کنترل آن تولید می‌کند. وظیفه‌ی مجموعه‌ی مدار درگاه، اجازه‌ی ورود تپ به طولانی‌کننده است، به طوری که اگر مجموعه‌ی طولانی‌کننده مشغول پردازش تپ ورودی باشد، ترانزیستوری در مدار درگاه روشن شده و ورودی را زمین می‌کند تا تپ جدیدی وارد نشود (مجموعه‌ی مدار تخلیه وظیفه‌ی شارژ و تخلیه‌ی خازن را به عهده دارد و علامت تخلیه آن را کنترل می‌کند). علامت‌های ZLD، LLD و ULD قابل قبول بودن تپ ورودی از تقویت‌کننده به مدار کنترل را اعلام می‌کنند. علامت تخلیه در حالت عادی در وضعیت رقمی «بالا» قرار داده می‌شود که منجر به خالی نگه داشتن خازن می‌شود. سپس به محض آشکار شدن تپ ورودی، این علامت از طرف آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی، به وضعیت «پایین» تغییر داده شده و شارژ خازن شروع می‌شود. زمانی که خازن تا بیشینه مقدار تپ ورودی شارژ شد، علامت PD آن را به مدار کنترل اطلاع داده، و فرمان شروع تبدیل به مبدل اعلام می‌شود. در مدار الکترونیک طولانی‌کننده تمهیداتی به کار رفته که در طول زمان تبدیل ولتاژ دو سر خازن ثابت می‌ماند [۷]. با اتمام کار مبدل قیاسی - به - رقمی مجدداً فرمان تخلیه به حالت «بالا» تغییر

وقتی تپی از خروجی تقویت‌کننده دریافت شد، ابتدا قله‌ی تپ به وسیله آشکارساز قله تشخیص داده می‌شود. سپس این تپ در مدار طولانی‌کننده، طولانی شده و در ورودی مبدل قیاسی - به - رقمی از آن نمونه‌برداری می‌شود. دامنه‌ی قله تا پایان عمل تبدیل در تراشه‌ی مبدل قیاسی - به - رقمی که «زمان تبدیل» نامیده می‌شود، به طور ثابت نگه‌داری شده و در آخر مقدار قیاسی تپ به عدد تبدیل می‌شود. پس از تبدیل، داده‌های رقمی ۱۲ بیتی از خروجی تراشه‌ی مبدل قیاسی - به - رقمی دریافت و به رایانه منتقل می‌شوند. پردازش‌های لازم و دسته‌بندی داده‌های رقمی در برنامه کنترلی آماده شده در محیط Lab-View انجام شده و سپس به شکل طیف انرژی در ۴۰۹۶ (۲^{۱۲}) کانال نمایش داده می‌شوند.

۱.۲ بخش قیاسی

خروجی تقویت‌کننده که تپ تک قطبی با دامنه‌ی خطی از صفر تا ۱۰V (استاندارد NIM) است وارد مدار طولانی‌کننده^(۵) می‌شود. مدار طولانی‌کننده که نمودار ساده‌ی آن در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با استفاده از تقویت‌کننده‌های عملیاتی سریع طراحی و ساخته شده است که در آن خازنی تپ ورودی را تا رسیدن به قله دنبال می‌کند. پس از آشکارسازی قله که با علامت آشکار کردن قله^(۶) (PD) اعلام می‌شود، تقویت‌کننده قطع شده و ولتاژ خازن در مقدار قله ثابت می‌ماند. سپس این تپ طولانی شده برای تبدیل به مقدار رقمی به تراشه‌ی مبدل قیاسی - به - رقمی ارسال می‌شود. برای جلوگیری از افت ولتاژ تپ قیاسی پس از طولانی شدن، تطبیق امپدانس بین خروجی مدار طولانی‌کننده و



شکل ۲. نمودار ساده‌ی مدار تمدید زمان.

درگاه برنامه‌پذیر میدانی تراشه‌ای است که درگاه‌های منطقی مختلف و ابزارهایی برای اتصال دارد که همگی در یک مدار یکپارچه (IC) قرار گرفته‌اند. برای ساخت یک مدار رقمی، درگاه‌های داخلی با نرم‌افزار به هم متصل می‌شوند که می‌توان با ارسال علامت به ورودی آن، علامت‌های خروجی لازم را تولید کرد. به این ترتیب مدارهای منطقی و کنترلی در یک تراشه به صورت یکپارچه ایجاد شده، طراحی و عیب‌یابی ساده‌تر، و سبب افزایش سرعت پردازش و کاهش حجم، وزن و هزینه شده است. برنامه‌ریزی در محیط نرم‌افزار QUARTUS II به دو صورت یا با برنامه‌نویسی و یا طراحی طرح‌وار مدار انجام می‌شود. در کار حاضر از روش دوم استفاده شده است.

زمان‌بندی فعالیت قسمت‌های مختلف مدار تحلیل‌گر در آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی برنامه‌ریزی شده است. تولید و ارسال علامت‌های کنترلی برای ارتباط با بخش قیاسی، دریافت داده‌های خروجی مبدل و انتقال آن‌ها به رایانه و برعکس در این تراشه با یاسامد ساعت ۱۲MHz انجام می‌شود. هم‌چنین خروجی دستگاه برای ارتباط با درگاه همه‌گذر رایانه، از طریق مدار منطقی مناسب در آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی کنترل می‌شود. در شماره‌ی EPM۷۱۲۸SLC-۸۴ هیچ‌گونه حافظه‌ای برای ذخیره‌ی داده‌ها وجود ندارد.

در بخش رقمی، مبدل قیاسی - به - رقمی نوع خطی به شماره‌ی ADC12۰۲۰ [۸]، انتخاب شد که پس از تبدیل تپ قیاسی ورودی، داده‌های ۱۲ بیتی را به خروجی انتقال می‌داد. زمان تبدیل این تراشه برابر ۶ چرخه‌ی تپ ساعت است. با توجه به این

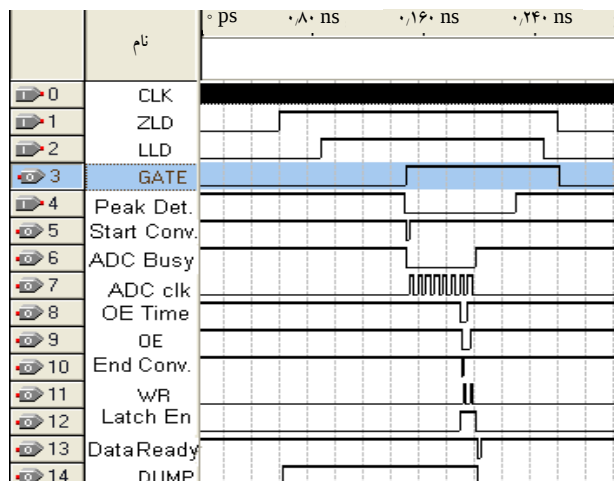
وضعیت می‌دهد که خازن خالی شده، و سیستم آماده‌ی دریافت تپ جدید از تقویت‌کننده می‌شود. زمان تخلیه‌ی کامل خازن حدود یک میکرو ثانیه است. علامت PD از مقایسه بین تپ ورودی و علامت طولانی شدن ساخته می‌شود و به محض کم‌تر شدن تپ ورودی از علامت طولانی‌شدن، از وضعیت «بالا» به وضعیت «پایین» تغییر نموده و این وضعیت تا انتهای خالی شدن خازن ادامه می‌یابد و سپس به وضعیت «بالا» برمی‌گردد.

علامت ZLD علاوه بر آشکارسازی تپ ورودی، آستانه‌ای قابل قبول برای عدم پردازش نوفه را مشخص می‌کند. ZLD از مقایسه بین تپ ورودی از تقویت‌کننده و یک ولتاژ ثابت قابل تنظیم ساخته می‌شود. در حالت عدم حضور تپ در ورودی و یا کم‌تر بودن دامنه‌ی تپ از مقدار مشخصی، این علامت «پایین» بوده و در غیر این صورت، «بالا» خواهد بود. مقدار آستانه از طریق پتانسیل‌سنجی در مدار قابل تنظیم است تا اگر دامنه‌ی تپ کم‌تر از آن بود، پذیرفته نشود.

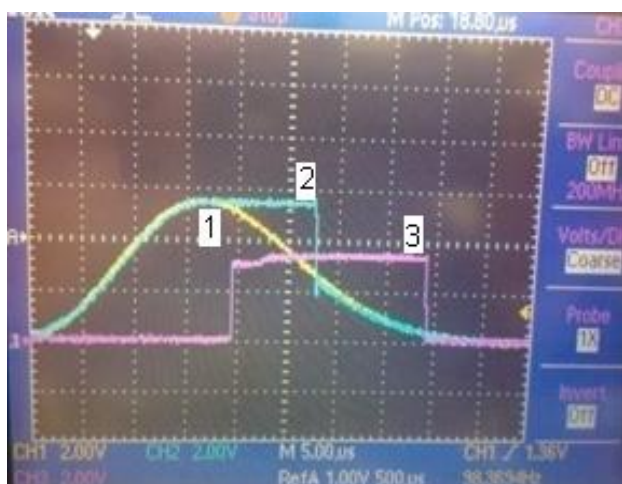
در مجموعه‌ی طولانی‌شدن، دو علامت دیگر به نام‌های LLD و ULD وجود دارد. وقتی هدف، پردازش تپ‌های تقویت‌کننده در محدوده‌ی خاصی باشد، کمینه و بیشینه‌ی قابل تغییر این محدوده از طریق LLD و ULD با تپ ورودی مقایسه می‌شود.

۲.۲ بخش رقمی

هسته‌ی مرکزی بخش رقمی از یک آرایه‌ی درگاه برنامه‌پذیر میدانی به شماره ۸۴-EPMV۱۲۸slc تشکیل شده است. آرایه‌ی



شکل ۳. نمودار زمانی تحلیل گر (علامت های ورودی و خروجی آرایهی درگاه برنامه پذیر میدانی).



شکل ۴. نمایش تپ تقویت کننده (۱)، تپ طولانی شده (۲) و تپ درگاه (۳).

۳.۲ بخش ارتباط با رایانه

بخش ارتباط با یک تراشه ی موازی- همه گذر اولین وارد شده اولین خارج شده^(۷) به شماره ی FT۲۴۵ طراحی شد که داده را از آرایه ی درگاه برنامه پذیر میدانی دریافت و از طریق درگاه همه گذر به رایانه انتقال می دهد. در این دستگاه، استاندارد همه گذر ۲/۰ که سرعت انتقال اطلاعات در آن برابر با سرعت انتقال اطلاعات در درگاه سری و ۱۶۰ برابر سرعت انتقال اطلاعات نسبت به درگاه موازی است، استفاده شد. فن آوری این درگاه در حال گسترش است به طوری که نسل سوم تمام امکان های لازم برای جایگزین کردن نسل دوم را دارد و سرعت آن بیش از ۱۰ برابر بیشینه سرعت نسل دوم است. یعنی در رایانه های مجهز به نسل دوم درگاه همه گذر، سرعت ۱۰ برابر بیش تر خواهد شد.

که محدوده ی بسامد ساعت در این مبدل قیاسی به رقمی از ۱۰۰ تا ۳۰ مگاهرتز (با عملکرد بهینه در بسامد ۲۰MHz) است، می توان زمان تبدیل این تراشه را به تنهایی حدود ۰/۳ میکروثانیه و یا به عبارتی ۳۰۰ نانوثانیه در بسامد کار آن در نظر گرفت.

در صورتی که تقویت کننده، تپ های سوزنی با پهنای چند نانو ثانیه و حداکثر ۱ تا ۲ میکروثانیه تولید کند، می توان از حداکثر قابلیت تراشه بهره برد [۹]. اما در عمل چون زمان نزول تپ خروجی تقویت کننده طولانی است، افزایش بسامد تراشه تأثیر چندانی بر کاهش زمان کل تبدیل ندارد، زیرا علامت ZLD به شکل تپ ورودی مربوط است و وقتی دامنه ی تپ از مقدار مشخصی پایین تر رود، تغییر وضعیت داده و مدار قادر به دریافت تپ بعدی می شود. بنابراین بسامد تراشه، ۴MHz انتخاب شد که در این حالت، زمان تبدیل آن ۱/۵ میکروثانیه بود. در شکل ۳ با ارسال علامت Start conversion نمونه برداری از تپ قیاسی ورودی در مبدل قیاسی به رقمی انجام می شود و پس از سپری شدن ۶ چرخه ی تپ ساعت، با ارسال علامت End conversion داده های رقمی حاصل قابل دریافت می شود. علامت WR به صورت دو تپ پیاپی تولید می شود. این تپ نوشتن داده ی ۱۲ بیتی را در دو مرحله ی ۸ و ۴ بیتی در همه گذر انجام می دهد و بلافاصله پس از آن تغییر وضعیت تخلیه سبب تخلیه ی خازن می شود. در این لحظه تبدیل و ذخیره سازی قله ی تپ انجام شده ولی هنوز تپ خاتمه نیافته است تا این که علامت ZLD غیرفعال شده و سیستم برای دریافت تپ بعدی آماده شود. در صورت استفاده از تقویت کننده با تپ های سریع تر، می توان زمان تبدیل تحلیل گر را بیش تر کاهش داد.

شکل ۴ تپی را نشان می دهد که زمان تبدیل کوتاهی دارد. در انتهای تپ طولانی شده، تبدیل به رقمی و ذخیره سازی قله انجام شده است ولی هنوز تپ خاتمه نیافته است تا تپ بعدی دریافت شود. (با آشکار شدن قله، فرمان دروازه ای ارسال می شود تا تپ های بعدی که پیاپی وارد می شوند در ورودی پذیرفته نشوند). بنابراین کاهش زمان تبدیل علاوه بر سرعت مبدل به شکل و پهنای تپ ورودی نیز بستگی دارد.



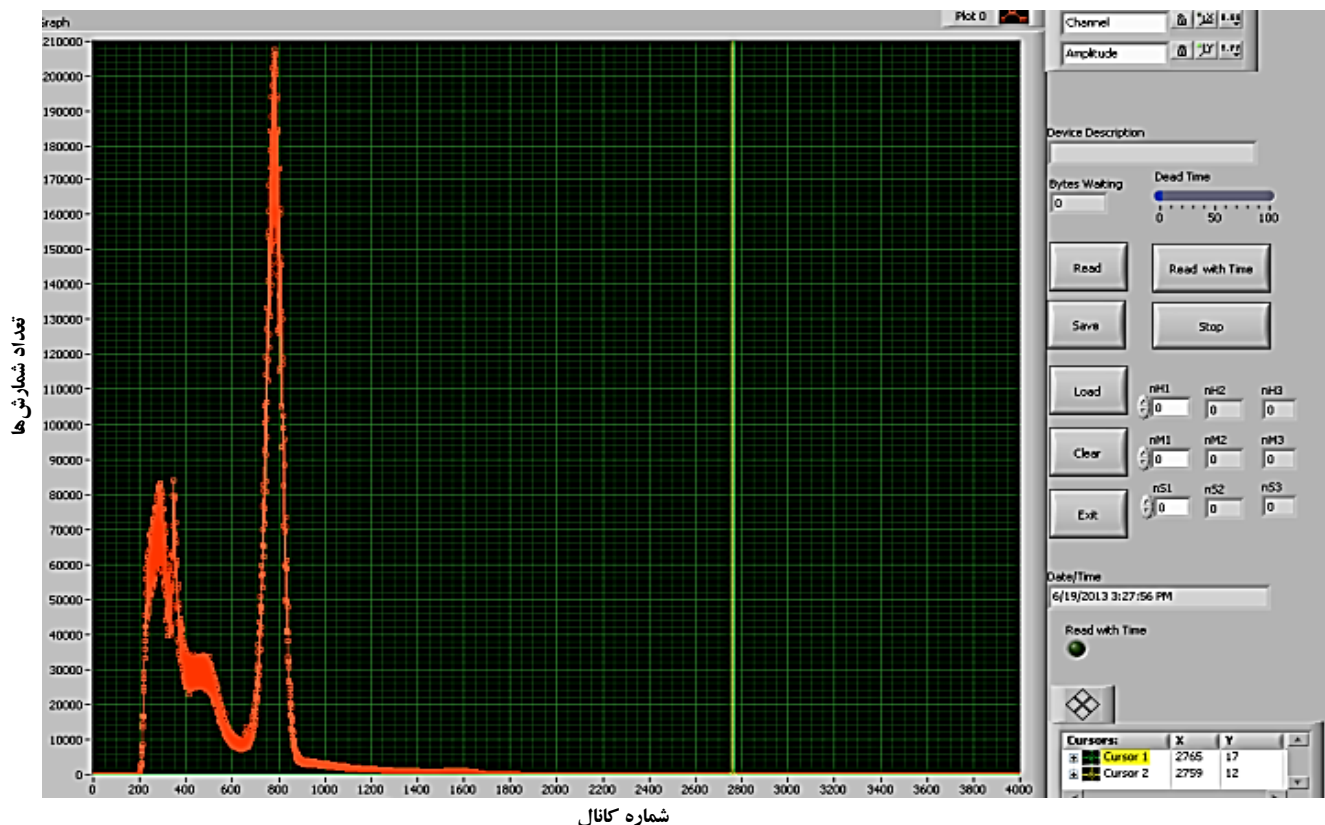
^{137}Cs و ^{60}Co را به طور جداگانه و دو چشمه با هم را نشان می‌دهند. قدرت چشمه‌ی سزیم با احتساب نیم-عمر، ۵ میکروکوری و از آن چشمه‌ی کبالت با احتساب نیم-عمر ۲/۵ میکروکوری است.

طیف‌های انرژی به دلیل ابعاد بزرگ بلور یدور سدیم، پیوستار کامپتون کوچکی نسبت به سطح زیر قله دارند. در شکل‌ها، LLD طوری تنظیم شده بود که شمارش تپ‌ها از کانال شماره ۱۲۰ آغاز شود. یکی از دلایل نوسان آماری در کانال‌ها به ویژه در پیوستار کامپتون، مقدار بهره‌ی تقویت‌کننده است. با انتخاب بهره‌ی بیش‌تر، طیف بازتر شده و پیوستار کامپتون نوسان کم‌تری نشان می‌دهد. دلیل دیگر این است که مبدل‌های خطی، با وجود این که دست کم ده بار سریع‌تر از نوع ویلکینسون هستند، ولی دیفرانسیل غیرخطی در آن‌ها ضعیف است. یعنی به دلیل ساختار داخلی تراشه‌های پر سرعت در این مبدل‌ها، خطی بودن کم‌تر به بهای سرعت بیش‌تر از دست می‌رود. البته روش‌های الکترونیکی‌ای برای تصحیح این وجود دارد که بیش‌تر برای آشکارسازهای با قدرت تفکیک زیاد استفاده می‌شود.

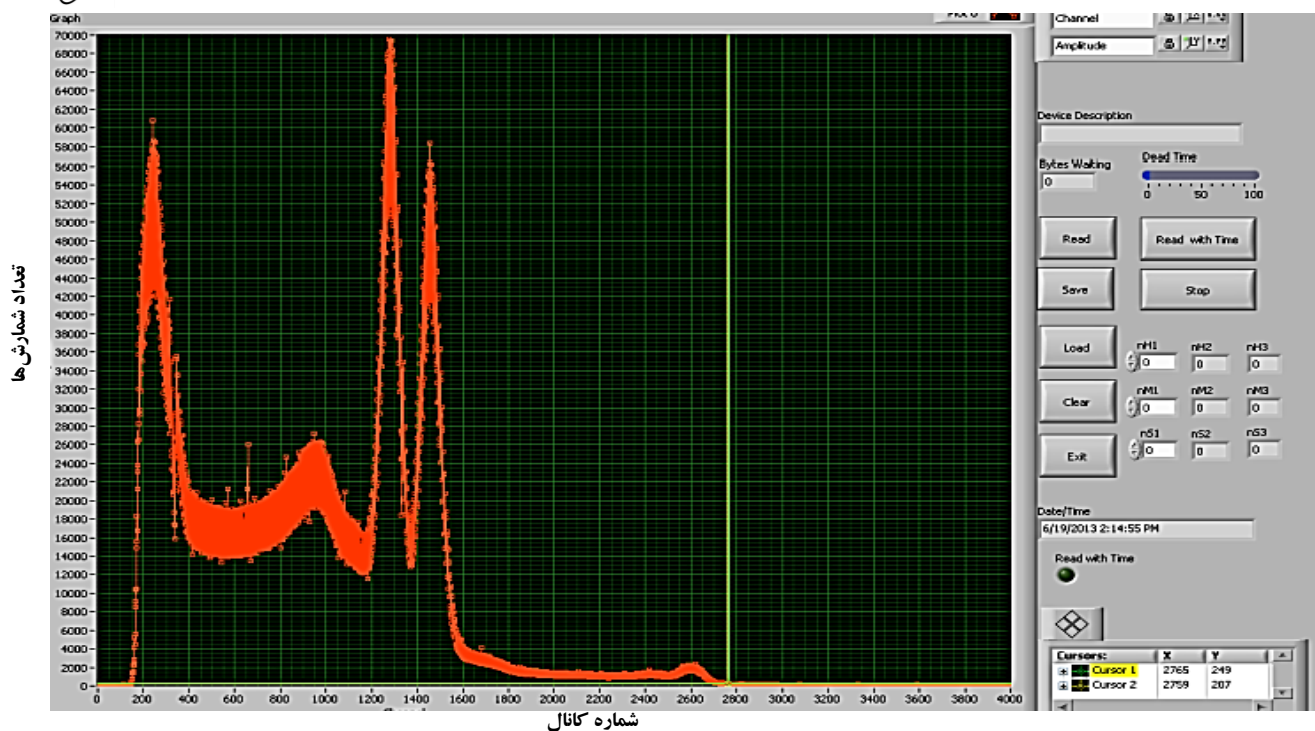
برنامه‌ی Lab-View وظیفه‌ی آماده‌سازی درگاه همه‌گذر، ارسال فرمان شروع و پایان جمع‌آوری داده‌ها، پاک کردن اطلاعات ذخیره شده به درخواست کاربر، جمع‌آوری داده‌ها در زمان تعیین شده و ذخیره‌ی شمارش‌ها به صورت فایل رایانه‌ای را دارد. فایل در قالب Notepad بود که به صورت ستونی و شماره‌ی هر سطر متناظر با شماره‌ی کانال مربوط به آن شمارش ذخیره می‌شود. در برخی از برنامه‌های مشابه خارجی نیز شکل ذخیره‌سازی به همین صورت است. سرعت انتقال اطلاعات در بخش آماده‌سازی درگاه همه‌گذر در برنامه تعیین می‌شود؛ بالاترین سرعت، ۹۲۱۶۰۰ بیت بر ثانیه انتخاب شد. گرداننده‌ی درگاه همه‌گذر یک بافر (حافظه موقت) ۴۰۰۰ بیتی را برای آن درگاه در رایانه اختصاص می‌دهد.

۳. نتایج طیف‌نگاری

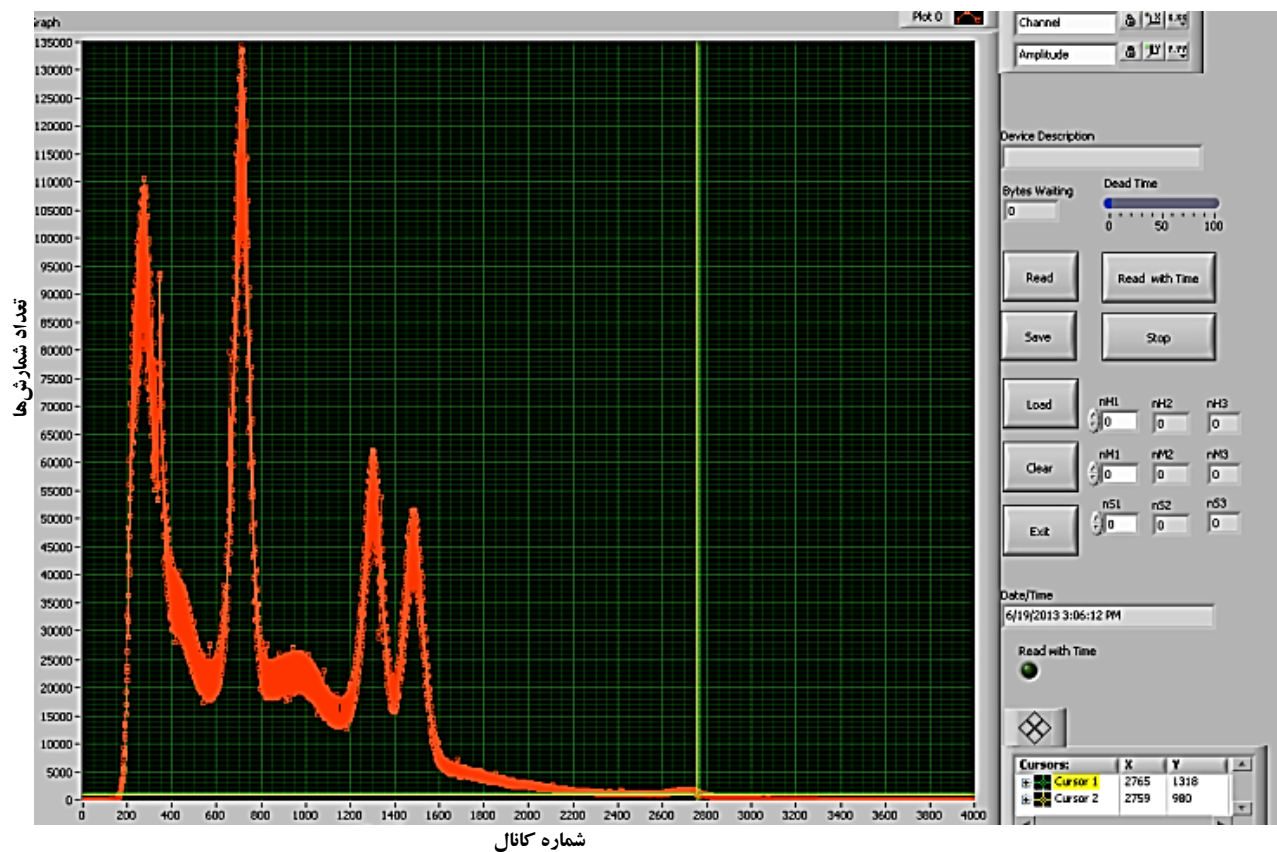
آشکارسازی طیف پرتوهای گاما چشمه‌های استاندارد ^{137}Cs و ^{60}Co به صورت جداگانه و دو چشمه با هم انجام شد. در این آزمایش‌ها یک آشکارساز سوسوزن یدور سدیم به ابعاد ۳×۳ اینچ استفاده شد. شکل‌های ۵، ۶ و ۷ طیف انرژی چشمه‌های



شکل ۵. طیف انرژی سزیم-۱۳۷، مدت زمان شمارش ۷۰ دقیقه.



شکل ۶. طیف انرژی کبالت، مدت زمان شمارش ۶۰ دقیقه.



شکل ۷. طیف انرژی دو چشمه ی سزیم و کبالت با هم، مدت زمان شمارش ۶۰ دقیقه.



تپ ورودی کم‌تر باشد، پهنای علامت ZLD کوتاه‌تر می‌شود و چون بلافاصله پس از خاتمه‌ی ZLD تپ بعدی قابل پذیرش است، قدرت تفکیک دو تپ بسیار کم‌تر از ۳ میکروثانیه خواهد بود. یعنی شکل و پهنای تپ ورودی از تقویت‌کننده بر میزان جداسازی دو تپ متوالی تأثیر مستقیم دارد.

۲.۴ قدرت تفکیک انرژی

قدرت تفکیک انرژی و انتگرال غیرخطی در انرژی ۶۶۲keV برای چشمه‌ی سزیم-۱۳۷، به ترتیب، برابر با $\pm 0.45\%$ و 7.6% محاسبه شد. در محدوده‌ی قله‌ی تمام انرژی شکل ۱۱ که از اندازه‌گیری طیف انرژی سزیم در مدت یک ساعت به دست آمد، شمارش بیشینه در قله‌ی انرژی ۲۰۸۰۰۰ است. برای شمارش ۱۰۴۰۰۰ (نصف شمارش بیشینه) پهنای نیم ارتفاع مطلق FWHM (پهنای قله‌ی انرژی) کم‌تر از ۶۰ کانال است. با توجه به شکل، قله‌ی انرژی در کانال ۷۸۲ ثبت شده است. بنابراین پهنای نیم ارتفاع مطلق FWHM در انرژی ۶۶۲keV کم‌تر از 7.6% درصد خواهد بود.

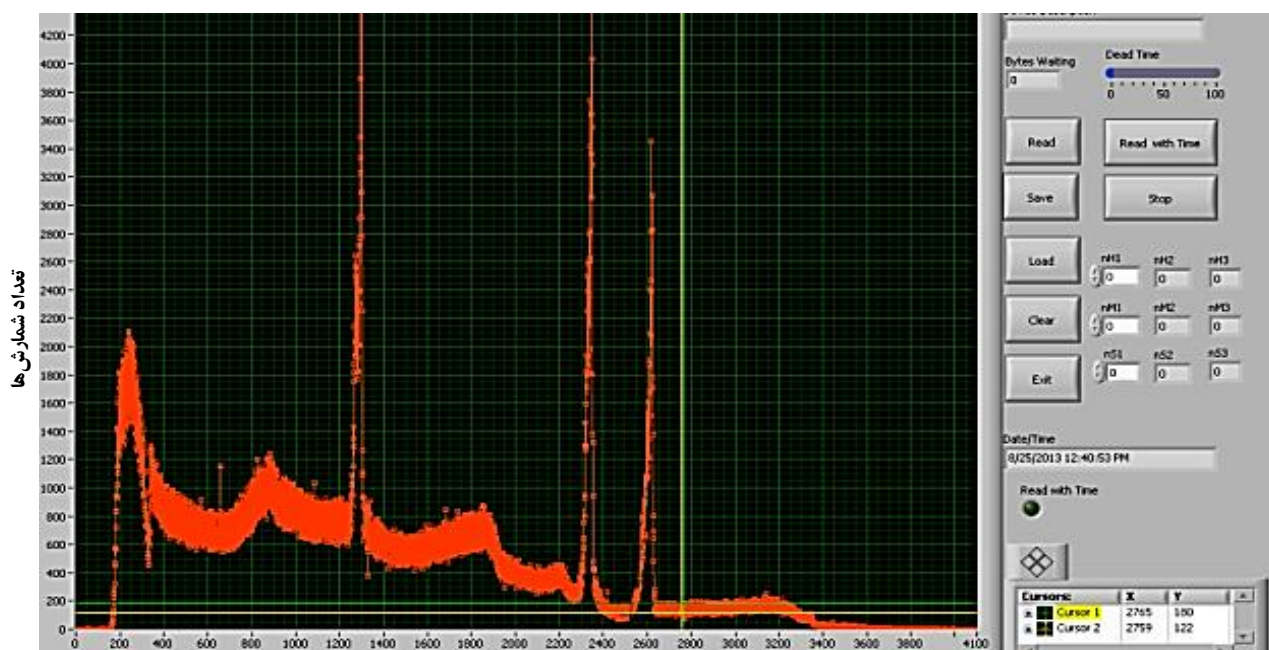
شکل ۸ طیف انرژی چشمه‌ی سزیم و کبالت به دست آمده با استفاده از یک آشکارساز HPGE را نشان می‌دهد. (چشمه‌ی استفاده شده متفاوت از چشمه‌ی آزمایش شکل ۷ و زمان نمونه‌برداری در حدود چند دقیقه بوده است).

۴. عملکرد دستگاه

۱.۴ زمان تبدیل کل و زمان تفکیک دو تپ متوالی

شکل‌های ۹ و ۱۰ که با اسیلوسکوپ گرفته شده‌اند، تپ‌های خروجی تقویت‌کننده را به همراه طولانی شدن تپ‌ها نمایش می‌دهند. مشخصات شکل تپ و زمان تبدیل در تصویرها قابل مشاهده است. در این شکل‌ها، پهنای تپ تقویت‌کننده ۵ میکروثانیه است. زمان بیشینه از شروع طولانی شدن تا تخلیه‌ی خازن که تبدیل تپ به رقمی و ارسال آن به رایانه در این محدوده‌ی زمانی انجام می‌شد، حدود ۵ تا ۷ میکروثانیه است.

شکل ۱۰ توانایی سیستم در آشکارسازی دو تپ متوالی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۰ قدرت تفکیک برای تپ‌های ورودی با پهنای ۵ میکروثانیه، حدود ۳ میکروثانیه است. در بررسی مدار تحلیل‌گر معلوم شد که میزان کاهش بیش از حد^(۸) ورودی بر پهنای علامت ZLD تأثیر دارد. هر چه میزان کاهش



شماره کانال

شکل ۸. طیف انرژی سزیم و کبالت (متفاوت از چشمه شکل ۷) با استفاده از یک آشکارساز HPGE در زمان نمونه‌برداری کوتاه.



FWHM=($60 \div 782$) $\times 100 = 7.6\%$ (قله ی ۶۶۲ keV سزیم)

قدرت تفکیک انرژی برای طیف انرژی کبالت در شکل ۶ به

همین ترتیب محاسبه می شود

FWHM=($80 \div 1280$) $\times 100 = 6.25\%$ (کبالت ۱۱۷۰ keV)

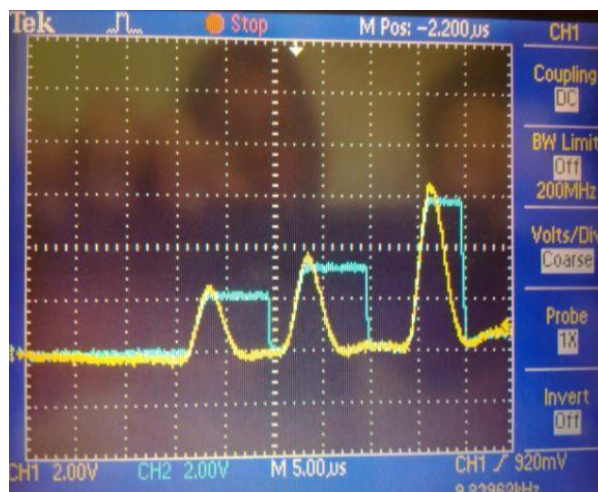
FWHM=($90 \div 1460$) $\times 100 = 6.16\%$ (کبالت ۱۳۳۲ keV)

۳.۴ عملکرد تحلیل گر به جهت خطی بودن و اندازه گیری انتگرال غیرخطی

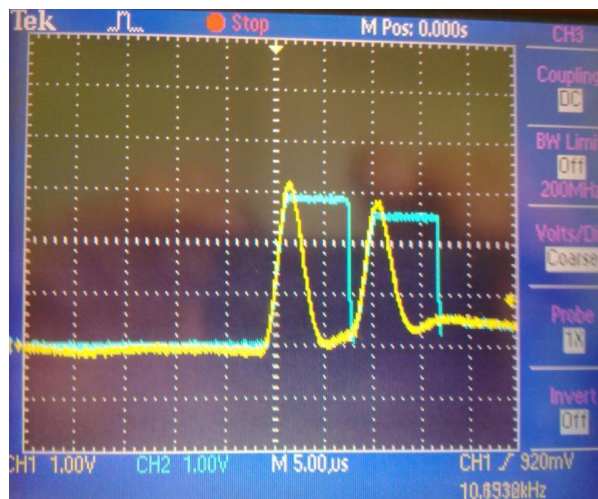
یکی از دلایل پهن شدگی قله ی تمام انرژی که مستقیماً بر مقدار پهنای نیم ارتفاع FWHM اثر می گذارد، ثبت تپ های با دامنه ی یکسان در محدوده ی چند کانال است. در آزمایشی تپ های خروجی مولد تپ با دامنه و شکل ثابت و آهنگ ۱۰۰ تپ در ثانیه پس از تقویت در یک تقویت کننده، به تحلیل گر داده شدند. طیف حاصل (شکل ۱۲) نهایتاً در محدوده ی کم تر از ۱۰ کانال ثبت شده است که البته با افزایش زمان شمارش تقارن حفظ شده و شکل طیف باریک تر شده است. این آزمایش هم چنین با اعمال ولتاژ ثابت مستقیماً به ورودی تراشه ی مبدل قیاسی - به - رقمی خطی، نیز انجام شد که در این حالت، تپ های خروجی تراشه در محدوده ی ۴ کانال ثبت شدند. نتایج حاکی از عملکرد خطی تحلیل گرند. البته آزمایش دوم نشان داد که شرایط موجود فقط به دقت تحلیل گر بس کاناله مربوط نیست و به ثابت بودن ضریب تقویت و عملکرد خطی تقویت کننده، پیش تقویت کننده و آشکارساز مورد استفاده در آزمایش نیز مربوط است.

خطی بودن سیستم از طریق اندازه گیری انتگرال غیرخطی بررسی شد. در یک مبدل قیاسی - به - رقمی ۱۲ بیتی، یک تپ با دامنه ی از ۰ تا ۱۰ ولت، در ۴۰۹۶ کانال، از کانال شماره ۰ تا کانال شماره ۴۰۹۵، نمایش داده می شود. بنابراین با افزایش یک ولت به دامنه ی تپ قیاسی مقدار رقمی آن باید در حدود ۴۱۰ کانال بعدی نمایش داده شود. هر چه ثبت داده های رقمی به درستی در کانال های متناظر با مقدار تپ قیاسی انجام گیرد، انتگرال غیرخطی سیستم کم تر شده و مورد قبول خواهد بود.

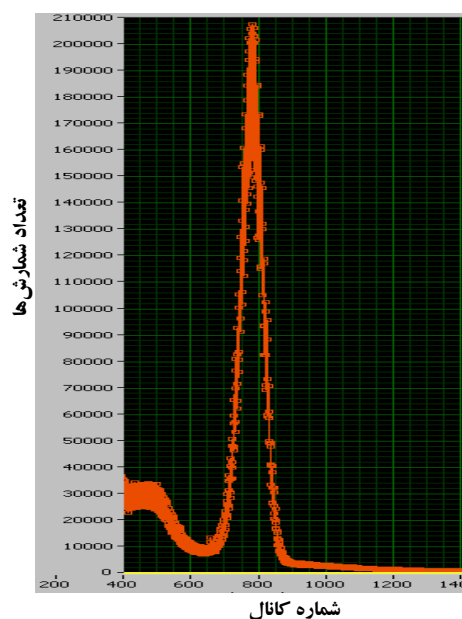
برای اندازه گیری انتگرال غیرخطی، تپ های مولد تپ پس از تقویت شدن در تقویت کننده به تحلیل گر بس کاناله داده شدند. تپ های ورودی پس از رقمی شدن، در کانال مربوطه ذخیره شدند؛ و هر بار به ازای افزایش یک ولت به دامنه، شمارش تپ های هر کانال برحسب شماره ی آن کانال مطابق شکل ۱۳ مشاهده شد. قله ها به صورت پلکانی، با فاصله ی مناسب ثبت شدند. نمودار تغییرات ارتفاع تپ برحسب شماره کانال که کاملاً به شکل خطی است در شکل ۱۴ مشاهده می شود.



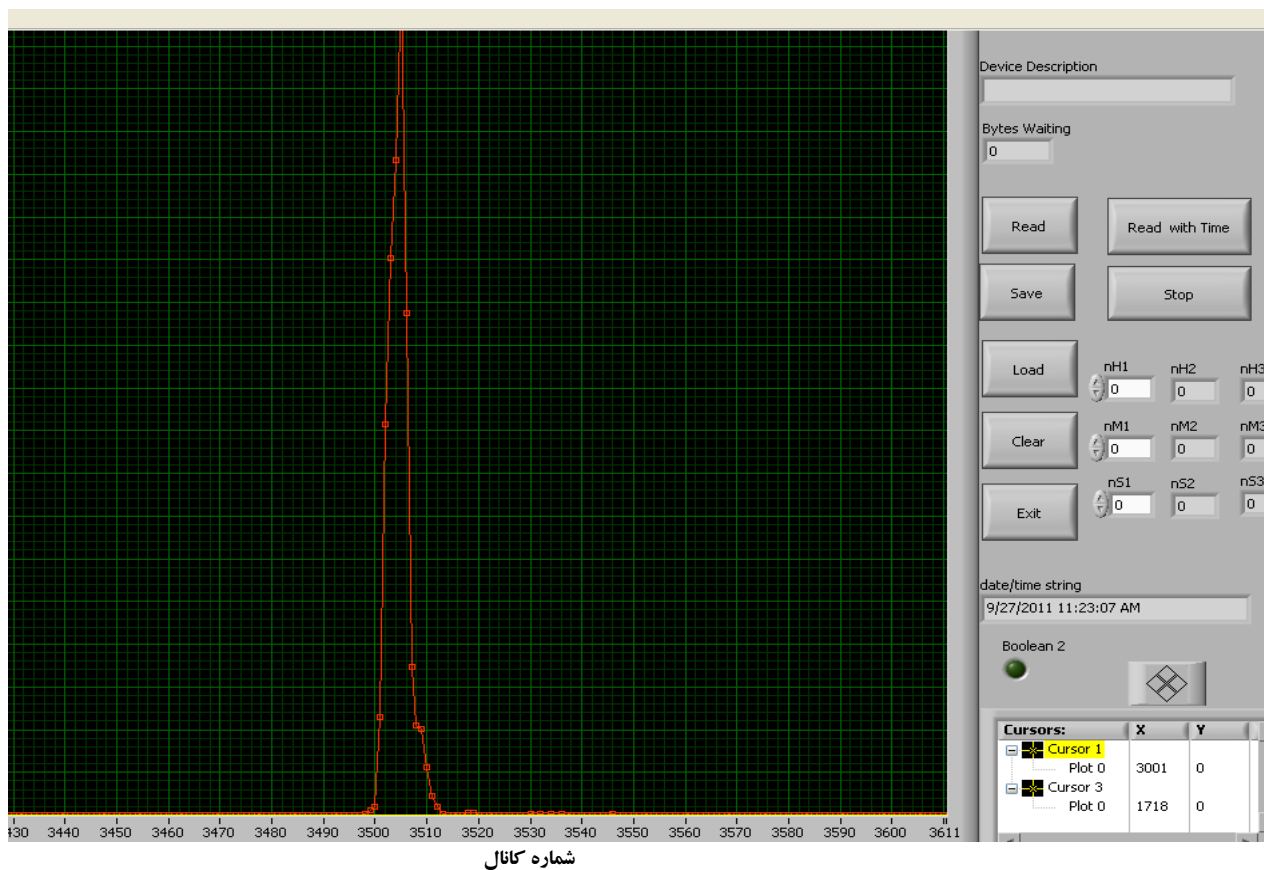
شکل ۹. تپ های خروجی تقویت کننده که به طولانی کننده وارد می شوند و تپ های خروجی طولانی کننده.



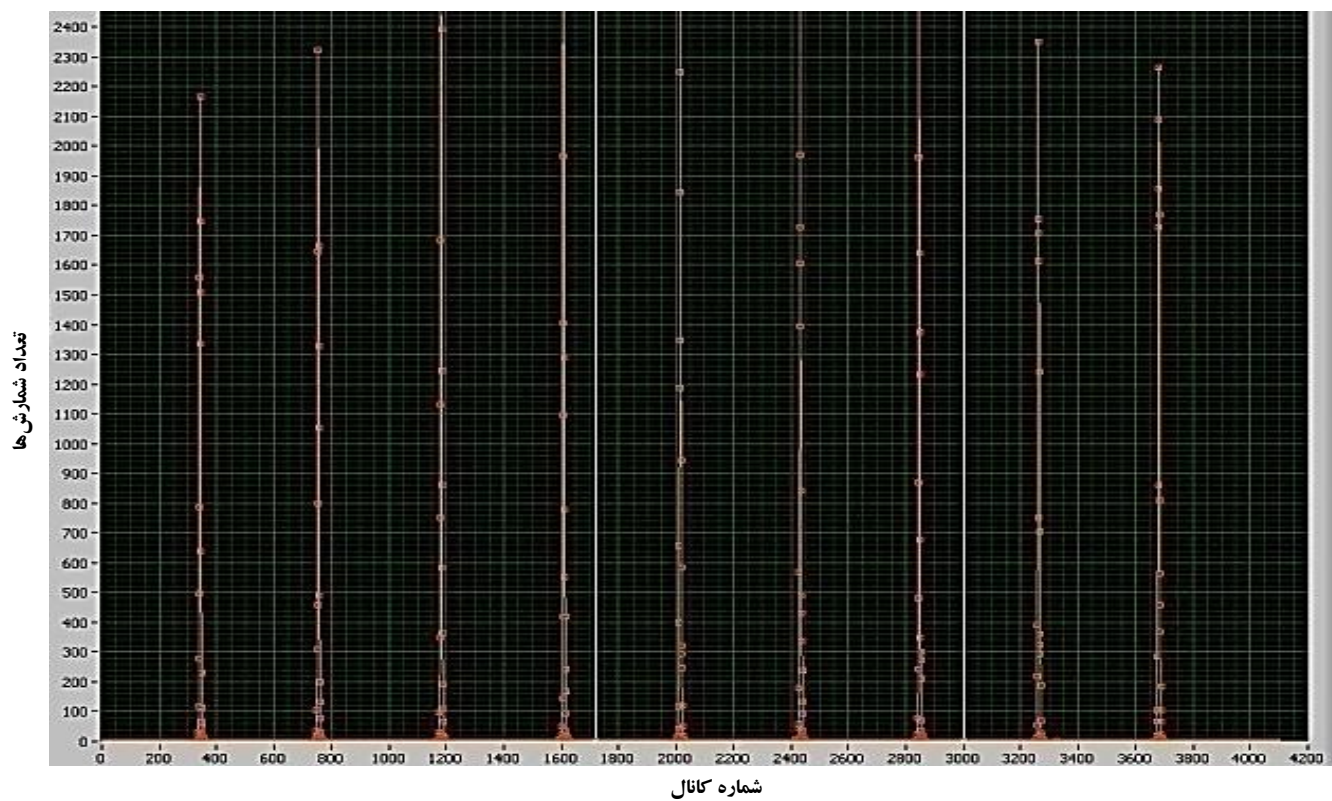
شکل ۱۰. دو تپ متوالی که از تقویت کننده وارد طولانی کننده می شوند.



شکل ۱۱. قله ی تمام انرژی طیف انرژی سزیم (شکل ۶).



شکل ۱۲. طیف انرژی با تیر هسته‌ای، دامنه‌ی تپ‌ها ثابت با آهنگ ۱۰۰ تپ در ثانیه و زمان شمارش ۴ ساعت.



شکل ۱۳. بررسی عملکرد تحلیل گر بس کاناله از جهت خطی بودن.



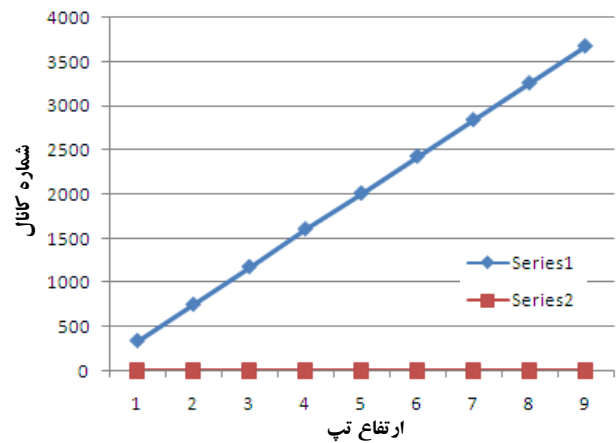
الکترونیکی ارسال شده و موجب افزایش سرعت تخلیه می شود. هم چنین انتقال داده ها به رایانه در زمان تخلیه ی خازن صورت می گیرد و به این ترتیب از زمان مرده ی سیستم کاسته می شود.

۶. اثر نتایج نحوه ی طراحی مدار بر زمینه ی طیف

اصلاح های انجام شده روی عوامل تأثیرگذار بر کاهش نوفه و زمینه ی طیف از نتایج دیگر این طرح است. زمینه ی طبیعی (پرتو کیهانی) قابل حذف نیست و با تنظیم های ZLD، LLD و ULD، آستانه ای برای عدم پردازش نوفه ی حاصل از آن در نظر گرفته می شود. نوفه های الکترونیکی از عنصرهای الکترونیکی و نحوه ی طراحی مدار ایجاد می شوند. جدا نمودن مسیر زمین قیاسی از زمین رقمی در مدار تحلیل گر بس کاناله و طراحی مدارهای قیاسی با اپ امپ های ورودی تفاضلی از جمله تمهیداتی است که برای کمینه نمودن نوفه های الکترونیکی انجام شده است؛ به این صورت که اگر نوفه در یکی از ورودی های تفاضلی ظاهر شود در ورودی دوم هم ظاهر شده و در نهایت در تفاضل دو ورودی از سیستم حذف خواهد شد. تراشه ی مبدل قیاسی - به - رقمی نیز قابلیت استفاده شدن در دو حالت ورودی یک طرفه^(۹) و ورودی دیفرانسیلی را دارد که از روش دیفرانسیلی استفاده شده است. این روش سبب افزایش نسبت علامت به نوفه و کاهش اعوجاج می شود.

۷. بحث و نتیجه گیری کلی

نتایج این مقاله از جهت های مختلفی با نتایج کارهای مشابه تفاوت دارد. یکی از نظر سرعت تبدیل که به دلیل استفاده از تراشه های مبدل سریع تر در ساخت تحلیل گر حاصل شده است. در نمونه های ساخته شده ی پیشین، حداقل زمان تبدیل تراشه بین ۱۰ تا ۳۵ میکروثانیه است، در حالی که کل فرایند تبدیل و ارسال داده ها در نمونه ی ساخته شده، به طور متوسط در مدت ۶ میکروثانیه انجام می شود که ۱/۵ میکروثانیه ی آن به تبدیل تراشه و حداکثر ۱ میکروثانیه ی دیگر آن به تخلیه ی خازن اختصاص دارد. انتقال داده ها به رایانه در زمان تخلیه صورت می گیرد و به این ترتیب از زمان مرده نیز کاسته می شود. فعال نمودن علامت های کنترل، با برنامه ریزی در آرایه ی درگاه برنامه پذیر میدانی انجام شده است و داده ها بلافاصله به رایانه منتقل می شوند. لذا برخلاف



شکل ۱۴. نمودار تغییرات ارتفاع تب برحسب شماره کانال.

انتگرال غیرخطی را می توان با ارزیابی حداکثر انحراف بین کانال خوانده شده ی واقعی و کانال آرمانی تقسیم بر تعداد حداکثر کانال به دست آورد. انتگرال غیرخطی با استفاده از مقادیر به دست آمده از شکل های ۱۴ و ۱۳ حداکثر $\pm 0.45\%$ محاسبه شد.

۵. اثر طراحی مدار بر پایداری تب های خروجی در طول زمان شمارش

در زمان شروع طولانی شدن، یک دیود در مدار قیاسی قطع شده و خازن از مدار طولانی کننده خارج می شود. در این طراحی از اپ امپ های سریع با جریان ورودی کوچک استفاده شد؛ به این ترتیب، در زمان قطع، کمینه جریان اشباع معکوس دیود از خازن کشیده می شود تا ولتاژ آن در مقدار قله ای افت کمتری داشته باشد. از طرفی سرعت زیاد اپ امپ نیز سبب می شود تا تب «طولانی شدن» کاملاً هم فاز با تب ورودی تولید شود. در طراحی از تراشه ی مبدل قیاسی به رقمی خطی استفاده شد که نسبت به کارهای انجام شده ی قبلی سرعت بیش تری دارد و نمونه برداری از ولتاژ دو سر خازن سریع تر انجام می شود. بنابراین چون ولتاژ خازن در زمان کوتاه تر افت کمتری دارد، مقدار دقیق تری از دامنه ی تب به دست می آید. استفاده از بافرهای نوفه - پایین در خروجی مبدل که با فرمان آرایه ی درگاه برنامه پذیر میدانی فعال می شوند، نیز سبب کاهش نوسان و اغتشاش داده های رقمی ارسالی می شود. از دیگر تدابیر، جایگزینی سوئیچ الکترونیکی با سوئیچ های ترانزیستوری در طراحی مدار طولانی کننده است به این صورت که فرمان تخلیه به سوئیچ



مرجع‌ها

1. Development of a fast 12-bit ADC for a nuclear spectroscopy system DinhSyHien*, Toshihiko Senzaki Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 457 (2001) 356-360.
2. Design of Data Acquisition and Storage System Based on the FPGA YonghaiNing, ZongqiangGuo, SenShen, Bo Peng Procedia Engineering, 29 (2012) 2927-2931.
3. Pocket PC-based portable gamma-ray spectrometer Kamontip Ploykrachang, Decho Thong-Aram*, SuvitPunnachaiya and Somchai Baotong Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University Pathum Wan, Bangkok, Thailand (2011) Songklanakarin J. Sci. Technol, 33 (2), (Mar- Apr 2011) 215-219.
4. Model 8701 ADC User's Manual, CANBERRA Industries Inc, Meridan, CT, U.S.A. (2007).
5. Nuclear Electronics book P.W. Nicholson.
6. The manual of the operational characteristics of a NaI(Tl) Scintillation Detector used this experiment.
7. Multi Channel Analyser, Prepared by Dusan Ponikvar University of Ljubljana, Slovenia A Technical Document Issued by The IAEA Vienna (2001).
8. Datasheet of ADC1202012-Bit, 20 MSPS, 185 mW A/D Converter with Internal Sample-and-Hold.
9. Spectroscopy of high rate events during active interrogation, H. Yang, D.K. Wehe, D.M. Bartels, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 598, Issue 3 (January 2009) 779-787.

نمونه‌های مشابه از ریزکنترل‌کننده و حافظه‌های جانبی برای ذخیره و فراخوانی داده‌ها استفاده نشده است که سبب ساده‌تر شدن مدار الکترونیکی و افزایش سرعت انتقال داده‌ها به رایانه شده است. بنابراین ساخت تحلیل‌گر در ابعاد کوچک از دیگر مزایای این کار پژوهشی است که امکان توسعه‌ی آن برای ساخت نوع قابل حمل را میسر می‌سازد. در این دستگاه امکان دریافت تپ‌های ورودی در دو حالت پادهم فرودی و هم‌فرودی برای مبدل قیاسی - به - رقمی فراهم شده است. مزیت دیگر از نظر نرم‌افزار، کنترل سیستم است زیرا این برنامه به صورت آماده خریداری نشده و برنامه متعلق به سازندگان است. بنابراین می‌توان نرم‌افزار را توسعه داد و هر زمان به درخواست کاربر تغییرات دلخواه را در آن ایجاد نمود.

پی‌نوشت‌ها

۱. Universal Serial Bus (USB)
۲. Field Programmable Gate Array (FPGA)
۳. Canberra 8701
۴. Successive Approximation Register (SAR)
۵. Stretcher
۶. Peak Detect (PD)
۷. First- In- First- Out (FIFO)
۸. Undershoot
۹. Single-Ended