

گذار از الکترونیک هسته‌ای آنالوگ به دیجیتال در طیف‌سنجی دقیق تابش گاما: مزایا و محدودیت‌ها

علی بیگانه، امیدرضا کاکوئی*، حسین رفیع خیری و محمد لامعی رشتی

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کدپستی: ۱۴۳۹۵-۸۳۶

پست الکترونیکی: okakuee@aeoi.org.ir

چکیده

در این مقاله، سیستم پردازش دیجیتال سیگنال برای انجام طیف‌سنجی دقیق تابش گاما ارائه شده است. اساس این سیستم، یک دیجیتالایزر ۱۴ بیتی است که به صورت مستقیم از سیگنال خروجی از پیش تقویت‌کننده نمونه‌برداری می‌کند. مزایا و محدودیت‌های استفاده از این سیستم در مقایسه با سیستم طیف‌سنجی آنالوگ، از دیدگاه طیف‌سنجی تابش گاما به صورت کیفی و کمی مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که پردازش دیجیتال در مقایسه با آنالوگ، قدرت تفکیک انرژی بهتر، پایداری طولانی‌تر، نسبت قله به کامپتون زیادتر، تقارن قله بهتر، بازدهی شمارش بیشتر و حذف موثر اثر کسر بالستیک را در اختیار قرار می‌دهد.

کلیدواژگان: آشکارساز، الکترونیک هسته‌ای، پردازش دیجیتال سیگنال، طیف‌سنجی، تابش گاما.

۱. مقدمه

اندازه‌گیری را تا حد زیادی بهبود بخشیده است [۱]. این گذار، فرصت‌های جدیدی را در طیف‌سنجی تابش‌های هسته‌ای ایجاد کرده که تا قبل از آن، دستیابی به آنها غیر ممکن و یا بسیار دشوار بوده است.

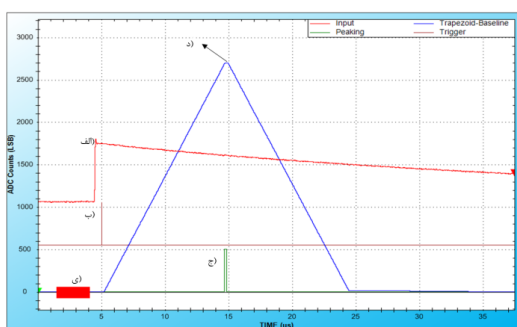
سیستم‌های پردازش سیگنال دیجیتال و آنالوگ هر دو اهداف مشترکی را دنبال می‌کنند. این اهداف شامل کاهش نرخ داده‌های ورودی به سطح قابل مدیریت برای پردازش، حذف اطلاعات غیرضروری (نوفه‌ها) و در نهایت شکل‌دهی به سیگنال و ارزیابی دقیق زمان رسیدن سیگنال و ارتفاع آن است.

در اغلب تاسیسات هسته‌ای از آشکارسازها و سیستم‌های اندازه‌گیری هسته‌ای برای انجام تحقیقات فیزیک هسته‌ای و پایش محیطی استفاده می‌شود. به منظور دستیابی به عملکرد بهینه آشکارساز، لازم است سیستم الکترونیک هسته‌ای تا حد ممکن با ویژگی‌های آشکارساز سازگار باشد. در سال‌های اخیر، توسعه و استفاده از تبدیل‌گرهای آنالوگ به دیجیتال^۱، مدارهای مجتمع برنامه‌پذیر^۲ و پردازشگرهای دیجیتال در طیف‌سنجی تابش‌های هسته‌ای، عملکرد سیستم‌های

^۱Analog to Digital Converter (ADC)

^۲Field Programmable Gate Arrays (FPGA)

یک دیجیتالایزر ۱۴بیتی (CAEN DT5724B) جایگزین آنها شده است. این دیجیتالایزر که دارای ۴ کانال ورودی است، به صورت مستقیم و با فرکانس ۱۰۰MHz از سیگنال پیش تقویت کننده نمونه برداری می کند. این عدد با استفاده از سفت افزار^۲ دیجیتالایزر به یک سیگنال تبدیل می شود و در مرحله ی بعد یک الگوریتم بازگشتی این سیگنال را به یک سیگنال دوزنقه ای تبدیل می کند که ارتفاع آن متناسب با انرژی تابش است. از آنجا که در فرآیند شکل دهی به سیگنال، خروجی پیش تقویت کننده به سرعت به عدد تبدیل می شود، این سیگنال دستخوش نوفه های الکترونیک هسته ای آنالوگ نخواهد شد و ناپایداری به شدت کاهش می یابد. فرآیند بهینه سازی شکل پالس با استفاده از فیلتر دوزنقه ای و با محاسبات ریاضی انجام می شود. برای دستیابی به طیف مطلوب، لازم است پارامترهای فیلتر دوزنقه ای بهینه شوند. مزایای استفاده از فیلتر دوزنقه ای در مقایسه با فیلترهای مثلثی و گاوسی به صورت تحلیلی در مرجع [۳] ارائه شده است. شکل ۲ پایش پردازش دیجیتال سیگنال را نشان می دهد که با استفاده از نرم افزار MC2 Analyzer ثبت شده است [۴].

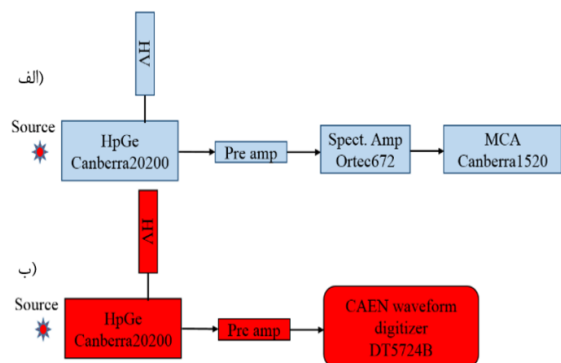


شکل (۲): پایش پردازش دیجیتال سیگنال: الف) سیگنال پیش تقویت کننده، ب) سطح تریگر، ج) زمان اندازه گیری ارتفاع سیگنال، د) زمان ناحیه تخت و ی) پنجره متحرک برای تعیین خط پایه.

این فرآیندها عمدتاً تحت تاثیر نوفه های آشکارساز و ماژول های الکترونیک هسته ای و فاکتورهای محیطی مثل تغییرات دمایی قرار می گیرند و عملکرد سیستم اندازه گیری را با خطا مواجه می کنند. مطالعات نشان می دهد که سیستم های پردازش دیجیتال در مقایسه با آنالوگ در کاربردهای اندازه گیری تابش با استفاده از آشکارسازهای سوسوزن، HPGe و شمارنده های تناسبی عملکرد بهتری دارند [۲]. در این پژوهش، مزیت های سیستم پردازش دیجیتال نسبت به آنالوگ از دیدگاه طیف سنجی دقیق تابش گاما به صورت کیفی و کمی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. پردازش دیجیتال در مقایسه با آنالوگ

پیکربندی سیستم طیف سنجی آنالوگ در شکل ۱-الف نشان داده شده است. در این مجموعه، سیگنال خروجی از پیش تقویت کننده با استفاده از تقویت کننده به یک سیگنال گاوسی تبدیل می شود. سپس ارتفاع سیگنال که متناسب با انرژی تابش است، توسط تبدیل گر آنالوگ به دیجیتال به یک عدد تبدیل و پس از ارسال به تحلیل گر بس کاناله^۱، به طیف انرژی تبدیل می شود.



شکل (۱): پیکربندی سیستم طیف سنجی آنالوگ (الف) در مقایسه با سیستم طیف سنجی دیجیتال (ب).

در سیستم پردازش دیجیتال که در شکل ۱-ب نشان داده شده است، تقویت کننده و تبدیل گر آنالوگ به دیجیتال حذف و

²Firmware

¹Multi-Channel Analyzer(MCA)

۳. مزیت‌های سیستم پردازش دیجیتال سیگنال

سیستم‌های پردازش دیجیتال در مقایسه با آنالوگ مزیت‌هایی دارند که به صورت خلاصه موارد زیر را شامل می‌شود:

۱- حذف نوفه‌های الکترونیک هسته‌ای آنالوگ با نمونه‌برداری مستقیم از سیگنال پیش تقویت‌کننده.

۲- ثبت شکل خام سیگنال پیش تقویت‌کننده و پردازش پی‌درپی آن برای دستیابی به بهترین قدرت تفکیک انرژی در کنار بیشترین بازدهی شمارش.

۳- پایداری طولانی مدت قله تابش به دلیل حذف تقویت‌کننده.

۴- حذف اثر کسر بالستیک^۱ با استفاده از فیلتر دوزنقه‌ای.

۵- بهبود بازدهی شمارش با استفاده از مدار تبعیض‌گر زمان خیزش پالس.

۶- نسبت قله به کامپتون بیشتر با استفاده از حذف سیگنال‌های آسیب دیده در اثر انباشتگی.

به دلیل مزایای ذکر شده، تکنیک پردازش دیجیتال به سرعت در حال جایگزین شدن با روش‌های سنتی پردازش آنالوگ سیگنال است. در بخش آتی، مزیت‌های ذکر شده به صورت کیفی و کمی مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفته است.

۱.۳. پایداری طولانی مدت

در بسیاری از کاربردهای اندازه‌گیری تابش، دستیابی به خطای اندازه‌گیری قابل قبول، نیازمند چندین ساعت جمع‌آوری طیف است. در چنین شرایطی، پایداری الکترونیک هسته‌ای نقش مهمی در صحت نتایج ایفا می‌کند. این در حالی است که پایداری طولانی مدت موقعیت قله انرژی، عمدتاً تحت تاثیر تغییرات ولتاژ منبع تغذیه، تغییرات ناگهانی بهره تقویت‌کننده و تغییرات دمایی قرار می‌گیرد. در شکل ۳ پایداری طولانی مدت سیستم طیف‌سنجی دیجیتال با سیستم آنالوگ

مقایسه شده است. در این نمودار، انحراف در موقعیت قله تابش در انرژی ۵۱۱keV در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای رسم شده است. با توجه به این نمودار، سیستم اندازه‌گیری دیجیتال در طول زمان، پایداری بیش‌تری را در اختیار قرار می‌دهد. این واقعیت را می‌توان از دو دیدگاه بررسی کرد:

اول این‌که در سیستم دیجیتال، خروجی پیش تقویت‌کننده به طور مستقیم توسط دیجیتالایزر پردازش می‌شود و سیگنال‌ها تحت تاثیر تغییرات بهره‌ی تقویت‌کننده قرار نمی‌گیرند.

دوم اینکه در سیستم آنالوگ، خروجی تک‌قطبی سیگنال تقویت‌کننده، به دلیل وجود جریان نشتی در آشکارساز، با اندکی جابه‌جایی در ولتاژ، با ولتاژ خط پایه ناپایدار، هم‌پوشانی می‌کند. این درحالی است که برای ارزیابی دقیق ارتفاع سیگنال، خط پایه آن باید با دقت تخمین زده شود. این مشکل با استفاده از مدار بازسازی خط پایه^۲ در پردازش دیجیتال، تا حد زیادی رفع شده است. این مدار همان‌گونه که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، به صورت مداوم، سطح خط پایه را با میانگین‌گیری از N رویداد در یک دوره زمانی، ارزیابی می‌کند و آن را از دامنه‌ی سیگنال اندازه‌گیری شده کم می‌کند. لازم به ذکر است که، اگرچه مدار احیاکننده خط پایه می‌تواند باعث بهبود پایداری موقعیت قله‌ی انرژی تابش شود، انجام این محاسبات باعث افزایش حدود ۱۰ درصدی زمان مرده سیستم اندازه‌گیری می‌شود.

پایداری موقعیت قله در سیستم آنالوگ می‌تواند با استفاده از تثبیت‌کننده دیجیتال^۳، تا حد زیادی بهبود یابد. این تثبیت‌کننده، به صورت پویا تعداد کل کانال‌های قرارگرفته در زیر قله انرژی را از طریق تصحیح بهره‌ی تقویت‌کننده متوازن کرده و موقعیت قله را مجبور به پایداری در طول زمان می‌کند [۵].

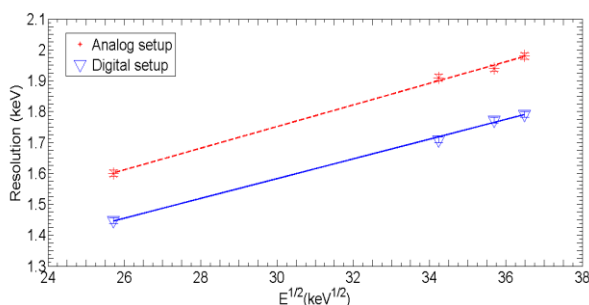
²Base Line Restorer

³Digital Stabilizer

³Ballistic deficit

از فیلتر ذوزنقه‌ای به جای فیلتر گاوسی برای تعیین ارتفاع سیگنال استفاده می‌شود. در این حالت، تعیین مقدار دقیق ارتفاع پالس بر روی ناحیه‌ی تخت بالایی ذوزنقه انجام می‌شود. در این ناحیه، ارتفاع سیگنال مستقل از افت و خیز زمان جمع‌آوری بار در داخل آشکارساز است و بنابراین اثر کسر بالستیک بر قدرت تفکیک انرژی تا حد زیادی حذف می‌شود.

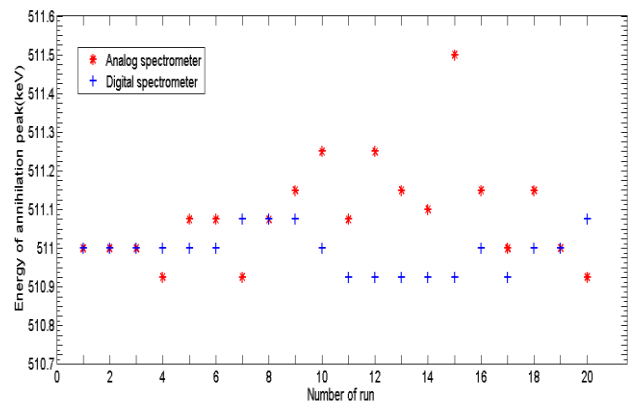
تغییرات قدرت تفکیک انرژی آشکارساز برای پیکربندی‌های نمایش داده شده در شکل ۱-الف و ب بر حسب انرژی تابش گاما گسیل شده از چشمه‌های ^{22}Na (۱۲۷۴ keV)، ^{60}Co (۱۱۷۳ و ۱۳۳۲ keV) و ^{137}Cs (۶۶۲ keV) اندازه‌گیری و در شکل ۲ نشان داده شده‌است. برای انجام این اندازه‌گیری، زمان شکل دهی به پالس برای هر دو پیکربندی ۳ μs و زمان ناحیه تخت ۲ در پردازش دیجیتال ۰/۴ μs انتخاب شده‌است. در این اندازه‌گیری، استانداردهای IEEE^۳ برای اندازه‌گیری قدرت تفکیک انرژی آشکارساز رعایت شده‌است. در این استاندارد، تعداد کل کانال‌ها در ناحیه‌ی FWHM^4 حداقل ۶ کانال و تعداد کل شمارش‌ها در این ناحیه حداقل ۵۰۰۰۰ شمارش، فاصله چشمه تا آشکارساز ۲۰ cm و زمان مرده سیستم اندازه‌گیری کمتر از ۶٪ است [۶]. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده‌است، در سیستم طیف‌سنجی دیجیتال، قدرت تفکیک انرژی در حدود ۱۰٪ درصد بهبود یافته‌است.



شکل (۴): قدرت تفکیک انرژی بر حسب ریشه انرژی برای دو

پیکربندی دیجیتال و آنالوگ.

علاوه‌براین، در صورتی که الکترونیک هسته‌ای آنالوگ همانند سیستم پردازش دیجیتال، امکان ثبت انرژی و زمان همه‌ی رویدادها را داشته باشد، می‌توان با آنالیز برون‌خطی^۱ داده‌ها، رویدادهای ثبت شده در یک بازه‌ی زمانی مشخص که در آن‌ها جابه‌جایی در قله انرژی بیش از یک مقدار قابل قبول باشد را حذف و یا کانال ثبت شده برای آن رویدادها را جابه‌جا کرد.



شکل (۳): نمایش تغییرات انرژی قله ۵۱۱ keV بر حسب تعداد بازه‌های اندازه‌گیری شده.

۲.۳. قدرت تفکیک انرژی

قدرت تفکیک انرژی یک آشکارساز به ویژه در نرخ‌های شمارش زیاد، عمدتاً تحت تاثیر مدت زمان جمع‌آوری بار در داخل آشکارساز قرار می‌گیرد. حساسیت تکنیک پردازش سیگنال به تغییرات زمان جمع‌آوری پالس در داخل آشکارساز، تاثیر زیادی بر قدرت تفکیک انرژی قله تابش دارد. کسر بالستیک و جمع‌آوری ناقص بار در آشکارساز، به ویژه هنگامی که زمان شکل دهی به پالس کمتر از ۲ میکروثانیه باشد، سبب افزایش قدرت تفکیک انرژی می‌شوند.

هدف از تصحیح اثر کسر بالستیک، کاهش حساسیت سیگنال به تغییرات در زمان خیزش پالس است. در پردازش دیجیتال سیگنال، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده‌است،

²Flat top time

³Institute of Electrical and Electronics Engineers.

⁴Full Width at Half Maximum.

³Offline

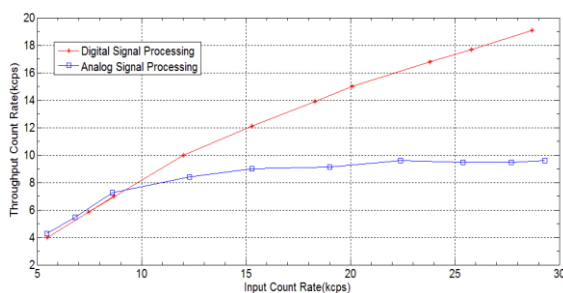
۳.۳. بازدهی شمارش

دست یابی به بازدهی شمارش زیاد برای دستیابی به خطای آماری قابل قبول در کنار قدرت تفکیک انرژی عالی، در بسیاری از کاربردهای اندازه گیری تابش نظیر دزیمتری دزهای زیاد در اطراف راکتورهای هسته‌ای، آنالیز با استفاده از فعال-سازی نوترونی و رادیومتری حائز اهمیت است. علاوه بر این، برای تعیین فعالیت چشمه در یک انرژی مشخص، لازم است نسبت تعداد پالس‌های خروجی از پیش تقویت کننده به پالس‌های پردازش شده توسط الکترونیک هسته‌ای قابل تشخیص باشد. این در حالی است که، سیگنال‌های خروجی از آشکارساز، عمدتاً به صورت یکنواخت وارد سیستم پردازش نمی‌شوند و بنابراین زمان رسیدن آن‌ها قابل پیش‌بینی نیست. هنگامی که نرخ شمارش زیاد باشد، دو و یا تعداد بیشتری پالس بر روی هم انباشته^۱ می‌شوند. جداسازی پالس‌ها با استفاده از سیستم آنالوگ نیازمند حذف یک یا چند پالس است که سبب کاهش تعداد پالس‌های پردازش شده و کاهش بازدهی شمارش سیستم خواهد شد. در این حالت، برای جبران پالس‌های از دست رفته، می‌توان زمان شکل دهی به پالس را کوچک تر انتخاب کرد که نتیجه‌ی آن افزایش قدرت تفکیک انرژی است.

سیستم‌های پردازش دیجیتال، با به کارگیری مدار تریگر سریع و فیلتر زمانی، با بازدهی زیاد، قادر به تشخیص و حذف پالس‌های انباشته شده هستند. وظیفه‌ی مدار تریگر سریع، تشخیص پالس ورودی و ایجاد تریگ روی آن و سپس محاسبه زمان رسیدن و خیزش پالس است. این مدار دارای یک تبعیض گر زمان خیزش^۲ پالس است که امکان حذف سیگنال‌هایی با خیزش پالس طولانی تر از یک مقدار قابل تعریف را فراهم می‌کند [۷]. پالس‌های انباشته شده روی یکدیگر، زمان

خیزش طولانی تری دارند و تشخیص آن‌ها با استفاده از این مدار امکان پذیر است. برای جلوگیری از حذف رویدادهای عاری از اختلال انباشتگی توسط مدار تبعیض گر، لازم است در انتخاب مقدار مناسب برای بیشینه مقدار خیزش پالس دقت کافی شود.

شکل ۵ نرخ سیگنال‌های پردازش شده برحسب نرخ سیگنال‌های ورودی به سیستم را نشان می‌دهد. در این اندازه گیری، زمان شکل دهی به پالس برای هر دو سیستم آنالوگ و دیجیتال $3 \mu s$ انتخاب شده است. از آنجا که الگوریتم حذف پالس‌های انباشته شده در پردازش دیجیتال پربازده تر است، بازدهی شمارش این سیستم در نرخ‌های شمارش بیشتر از $10 kHz$ ، زیادتر از سیستم آنالوگ است. علاوه بر این، پردازش دیجیتال امکان ثبت حجم زیادی از سیگنال‌های خام خروجی از پیش تقویت کننده و پردازش و شکل دهی به آن‌ها به صورت برون خطی را فراهم می‌کند که در این حالت نیز بازدهی شمارش می‌تواند افزایش یابد. این ویژگی، امکان انجام طیف سنجی با قدرت تفکیک انرژی عالی در نرخ‌های شمارش زیاد را فراهم کرده است.



شکل (۵): بازدهی سیگنال‌های پردازش شده بر حسب نرخ شمارش.

۴.۳. تقارن قله^۳ انرژی

از آنجا که شکل گیری بار الکتریکی در داخل آشکارساز یک فرآیند پواسونی^۴ است، شکل قله انرژی باید تا حد ممکن

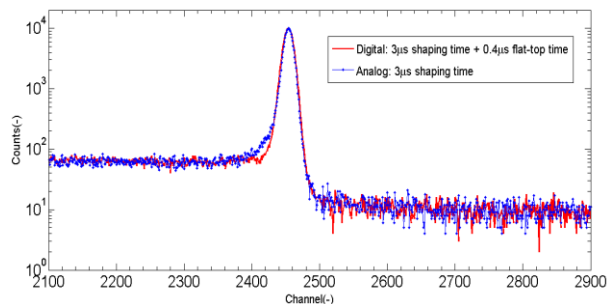
³Peak asymmetry

⁴Poisson process

¹Pulse Pile-up.

⁵Rise time discriminator

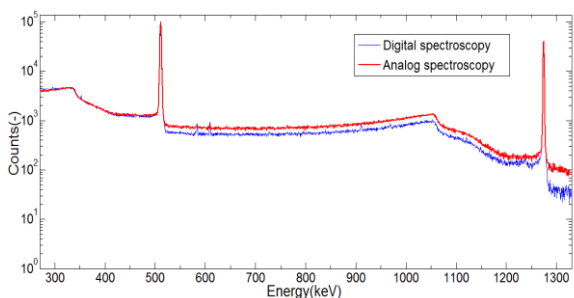
است که نشان دهنده بهتر بودن کیفیت تقارن قله در پردازش دیجیتال است.



شکل (۶): مقایسه تقارن قله انرژی در دو پیکربندی آنالوگ و دیجیتال.

۵.۳. نسبت قله به کامپتون

اگرچه نسبت قله به کامپتون وابستگی زیادی به ساختار هندسی آشکارساز و هندسه آزمایش دارد، برای یک پیکربندی ثابت، نسبت قله به کامپتون با قدرت تفکیک انرژی رابطه معکوس و با بازدهی آشکارساز رابطه مستقیم دارد. طیف تابش گاما گسیل شده از چشمه ^{22}Na (۵۱۱ و ۱۲۷۴ keV) با استفاده از دو پیکربندی دیجیتال و آنالوگ ثبت و در شکل ۷ نشان داده شده است. برای انجام این مقایسه، هر دو طیف به تعداد شمارش در قله انرژی ۵۱۱ keV بهنجار شده اند. با توجه به شکل ۷، پردازش دیجیتال به دلیل امکان کنترل بهتر پارامترهای الگوریتم شکل دهی پالس و حذف سیگنال های آسیب دیده در اثر انباشتگی، نسبت قله به کامپتون بهتری را در اختیار قرار داده است.



شکل (۷): طیف ثبت شده از تابش گاما چشمه سدیم-۲۲ با استفاده از دو چیدمان دیجیتال و آنالوگ.

به تابع گاوسی نزدیک باشد. اثر کسر بالستیک و گیراندازی بار در داخل آشکارساز، دو فاکتور مهم در ایجاد دنباله در لبه ی کم انرژی قله تابش گاما هستند [۶]. اگرچه اثر گیراندازی بار در داخل آشکارساز کاملاً اجتناب ناپذیر است، استفاده از فیلتر دوزنقه ای در پردازش دیجیتال می تواند باعث بهبود تقارن قله شود. تنظیم دقیق زمان تخت در فیلتر دوزنقه ای امکان حذف اثر کسر بالستیک را فراهم می کند. اگر این زمان کوتاه انتخاب شود، در ناحیه کم انرژی طیف یک دنباله ایجاد خواهد شد و اگر این زمان طولانی باشد، قله متقارن تر شده اما بازدهی شمارش افت می کند.

در شکل ۶، تقارن قله طیف ثبت شده برای دو پیکربندی آنالوگ و دیجیتال مقایسه شده اند. در این اندازه گیری، زمان شکل دهی به پالس برای هر دو پیکربندی آنالوگ و دیجیتال $3 \mu\text{s}$ و در پردازش دیجیتال زمان ناحیه تخت در فیلتر دوزنقه ای $0.4 \mu\text{s}$ انتخاب شده است. از آنجا که در سیستم آنالوگ از تقویت کننده استفاده شده است، برای اطمینان از صحت مقایسه تقارن قله در دو پیکربندی، این اندازه گیری در نرخ شمارش کمتر از 100 c/s انجام شده است که در این حالت می توان از اثرات تقویت کننده در تقارن قله در نرخ شمارش زیاد، چشم پوشی کرد.

کیفیت تقارن در قله انرژی را می توان به صورت کمی با استفاده از فاکتور زانو^۱ توسط رابطه ۱ بیان کرد [۸]:

$$K_{0.1} = \frac{FWO.1M}{1.823FWHM} \quad (1)$$

در این رابطه، FWO.1M پهنای قله در ۰/۱ دامنه است. برای یک قله گاوسی ایده آل، این فاکتور برابر با ۱ است. اگر یکی از دو لبه ی کم انرژی یا پرانرژی قله، پهن تر از مقدار منطبق با تابع گاوسی باشند، این فاکتور بزرگتر از ۱ خواهد شد. در طیف نشان داده شده در شکل ۶، مقدار این پارامتر برای دو حالت آنالوگ و دیجیتال به ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۲۷ محاسبه شده-

^۱Knee factor

۴. محدودیت‌های استفاده از سیستم پردازش

دیجیتال سیگنال

گذار از تکنولوژی آنالوگ به دیجیتال اگرچه مزایای عملیاتی بسیاری دارد، با محدودیت‌هایی نیز مواجه است که شامل موارد زیر است:

۱- سیستم‌های آنالوگ با استفاده از آشکارسازهای سوسوزن به راحتی می‌توانند به قدرت تفکیک زمانی کمتر از ۱ نانوثانیه دست پیدا کنند. این درحالی است که در پردازش دیجیتال، دست‌یابی به این سطح از دقت، نیازمند در اختیار داشتن دیجیتالایزر گران قیمت با نرخ نمونه‌برداری در محدوده گیگاهرتز است. از سوی دیگر، تبدیل‌گرهای آنالوگ به دیجیتال، عمدتاً تعداد بیت کافی برای دست‌یابی به نرخ نمونه‌برداری مورد نظر را در اختیار قرار نمی‌دهند. بنابراین، در حال حاضر تکنیک پردازش دیجیتال در زمینه اندازه‌گیری زمان‌های سریع، به هیچ وجه توان رقابت با سیستم‌های آنالوگ را ندارد.

۲- طراحی سیستم‌های هم‌زمانی و اندازه‌گیری زمان، نیازمند ایجاد هم‌بستگی زمانی در ثبت رویدادها در کانال‌های دیجیتالایزر است که پیچیدگی‌های زیادی را در طراحی ایجاد می‌کند.

۳- تعمیرات سیستم‌های دیجیتال نیز در مقایسه با سیستم‌های آنالوگ بسیار مشکل‌تر است. الکترونیک سیستم‌های پردازش دیجیتال از مدارهای مجتمع پیچیده و تودرتو تشکیل شده‌است که عیب‌یابی و تعمیر آن‌ها اگر امکان پذیر باشد، بسیار زمان‌بر و پرهزینه است.

۴- راه‌اندازی سیستم پردازش دیجیتال و تعیین پارامترهای بهینه برای انجام طیف‌سنجی دقیق، به دلیل تطبیق پذیری بسیار مشکل سیگنال خروجی از آشکارساز با دیجیتالایزر، کاملاً دشوار و زمان‌بر است. بنابراین فرآیند پرکردن فاصله بین وجود تکنولوژی و امکان استفاده از آن توسط پژوهشگران صنعت

هسته‌ای کشور، نیازمند آموزش و تمرین در کنار توسعه سخت‌افزاری در این زمینه است.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله طیف‌سنجی دقیق تابش گاما با استفاده از سیستم پردازش دیجیتال ارائه شد. بهینه‌سازی فرآیند شکل‌دهی سیگنال برای دست‌یابی به طیف مطلوب به صورت نرم‌افزاری انجام شد و نتایج اندازه‌گیری از دیدگاه طیف‌سنجی تابش گاما با سیستم آنالوگ مقایسه شد. نتایج نشان داد که پردازش دیجیتال نسبت به آنالوگ به دلیل حذف الکترونیک هسته‌ای آنالوگ، پایدارتر است. این سیستم، به دلیل عملکرد دقیق‌تر در حذف رویدادهای انباشتی، بازدهی شمارش زیادتری در اختیار قرار می‌دهد. فیلتر دوزنقه‌ای به کار رفته در فرآیند شکل‌دهی به پالس امکان حذف موثر اثر کسر بالستیک و در نتیجه بهبود قدرت تفکیک انرژی را فراهم کرد. از دیدگاه بازدهی شمارش، مدار تبعیض‌گر خیزش پالس در سیستم دیجیتال امکان تشخیص بهتر سیگنال‌های انباشته‌شده را فراهم کرد و بازدهی شمارش را افزایش داد.

بهبود ویژگی‌های ذکر شده، امکان ثبت داده‌های قابل اعتماد با دقت و صحت بیشتر در آزمایشگاه به منظور پشتیبانی از تحقیقات در زمینه تابش‌های هسته‌ای را فراهم می‌کند.

٦. مراجع

- [6] Fairstein, E., and S. Wagner. "IEEE standard test procedures for germanium gamma-ray detectors." IEEE STD (1996): 325-1996.
- [7] CAEN digital pulse analyzer a digital approach to Radiation Spectroscopy. CAEN Application Note AN2508, CAEN SpA, Viareggio, Italy, 2010.
- [8] Heikinheimo, J., J. Ala-Heikkilä, and F. Tuomisto. "Detector resolution in positron annihilation Doppler broadening experiments." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 867 (2017): 215-221.
- [1] Warburton, W. K., et al. "Digital pulse processing: new possibilities in nuclear spectroscopy." Applied Radiation and Isotopes 53.4-5 (2000): 913-920.
- [2] Geraci, Angelo, et al. "Adaptive digital spectroscopy in programmable logic." IEEE Transactions on nuclear science 47.6 (2000): 2765-2772.
- [3] Jordanov, Valentin T., and Glenn F. Knoll. "Digital synthesis of pulse shapes in real time for high resolution radiation spectroscopy." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 345.2 (1994): 337-345.
- [4] CAEN Electronic Instrumentation "Mc2 analyzer software for digital multi-channel analyzer" user manual, January 11th, 2017.
- [5] Nakamura, Michiuuki, and R. L. La Pierre. "A digital gain stabilizer for a multiparameter pulse-height-recording system." Nuclear Instruments and Methods 32.2 (1965): 277-282.