

جداسازی نوترون- گاما در میدانهای آمیخته با استفاده از مدار تبعیض گر شکل تپ آند

امین شرقی ایدو^ا، مجید شهر یاری*^۱، غلامرضا اطاعتی^۲ ۱- دانشکده مهندسی هستهای، دانشگاه شهید بهشتی، صندوق پستی: ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳، تهران- ایران ۲- دانشکده علوم هستهای و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صندوق پستی: ۸۵۵-۸۹۵۷۵، تهران- ایران

چکیدد: یکی از روش های مناسب برای جداسازی نوترون و گاما در میدان های آمیخته به منظور طیف نگاری نوترون، استفاده از تبعیض گر شکل تپ و بکارگیری روش گذر از صفر بوسیله تپ آند می باشد. همچنین آشکارساز سوسوزن مایع BC5014 بدلیل مشخصات خوب شکل تپ و قابلیت مطلوب جداسازی نوترون و گاما، بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله ابتدا به شرح طراحی و ساخت یک دستگاه تبعیض گر شکل تپ (PSD) پرداخته می شود، سپس به نتایج اندازه گیری طیف نوترون در چشمه های Am-Be²² و Cf²²² با این دستگاه اشاره خواهد شد. بر اساس نتایج بدست آمده، عملکرد دستگاه مورد تأیید قرار گرفت. دستگاه ساخته شده دارای FOM=1.36 در انرژی آستانه خواهد شد. بر اساس نتایج بدست آمده، عملکرد دستگاه مورد تأیید قرار گرفت. دستگاه ساخته شده دارای SOM در انرژی آستانه بالاتر از SokPtz کار نماید.

واژه های کلیدی: مدار تبعیض گر شکل تپ (PSD)، چشمه های Am-Be²⁴¹Am-Be²⁵²، بازیافت طیف نوترون، روش گذر از صفر

Neutron-Gamma Discrimination in Mixed Field by PSD

A. Sharghi Ido¹, M. Shahriari^{*1}, G.R. Etaati²

1- Nuclear Engineering Department, Shahid Beheshti University, P.O.Box: 1983963113, Tehran - Iran 2- Nuclear Science and Physics Department, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 89575-985, Tehran - Iran

Abstract: In this study, a pulse shape discriminator (PSD), incorporating zero-crossing method has been developed. The separate measurements with ²⁴¹Am-Be and ²⁵²Cf sources undertaken by BC501A liquid have shown that the purposed and the common-used PSD's are in good agreement. The improved characteristics of the presented PSD are FOM=1.36 at a threshold of 60keVee and 1.5µsec dead time which allows the count rates up to 50kHz.

Keywords: Pulse Shape Discriminator (PSD), ²⁴¹Am-Be and ²⁵²Cf Sources, Neutron Spectrum Unfolding, Zero-Crossing Method

*email: m_shahriari@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۵/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۴/۱۰

۱- مقدمه

یکی از روش های مناسب برای طیفنگاری نوترون سریع، بکار بردن سوسوزن های آلی مایع است. در این سوسوزن ها نوترون بوسیله پسزنی پروتون و گاما در اثر کامپتون آشکار می شوند. با توجه به اختلاف ($\frac{dE}{dx}$) پروتون و الکترون در سوسوزن، سهم مؤلفه کند نور خروجی برای آنها متفاوت است. بنابراین نمودار های نور خروجی آنها با هم تفاوت دارند و از این تفاوت برای جداسازی آنها می توان استفاده کرد [1]. برای تفاوت برای جداسازی آنها می توان استفاده کرد [1]. برای جداسازی با این روش به یک مدار تبعیض گر شکل تپ نیاز داریم. با بررسی های صورت گرفته، روش زمان گیری گذر از مفر توسط تپ آند برای طراحی و ساخت انتخاب شد. اولین بار این روش توسط اسپیر [۲] در سال ۱۹۷۲ بکار رفت. هدف ما در این کار طراحی و ساخت یک دستگاه تبعیض گر شکل تپ (PSD) و کاربرد آن در طیفنگاری نوترون در میدان های آمیخته نوترون و گاما مانند چشمههای نوترون رادیوایزوتوپی

در بخش های ۲ و ۳ این مقاله اصول طراحی و جزئیات مداری PSD بیان شده است و نتایج کالیبراسیون و اندازه گیری ضریب شایستگی^(۱) و طیف انرژی نوترون در چشمه های ²⁴¹Am-Be شایستگی⁽²⁴¹ و طیف انرژی نوترون در چشمه های Eljen(Ej-²⁵²Cf با استفاده از آشکارساز سوسوزن مایع از نوع -Eljen(Ej (NE213 یا استفاده از آشکارساز موسوزن مایع از نوع -Southar (100 (معادل 2014 یا 2014) به ابعاد "2×"2 و تکثیر کننده فوتونی آن (Electrontubes 9814B) نیسز در بخش های ۴ و ۵ مورد توجه قرار گرفته شده است.

۲- اصول کلی
چیدمان کلی آزمایش برای اندازه گیری نتایج در شکل ۱
چیدمان کلی آزمایش برای اندازه گیری نتایج در شکل ۱
مشاهده می شود. تپ حاصل از واکنش های نوترون و گامای چشمه
به وسیلهٔ آشکارساز سوسوزن به دو بخش کلی تقسیم می گردد:
تب حاصل از داینود شماره ۱۰ تکثیر کننده فوتونی
آشکارساز که رابطه خطی با انرژی دارد

تپ سریع حاصل از آند که برای عمل زمان گیری استفاده
می شود

با توجه به شکل ۱ تپ بدست آمده از آند آشکارساز پس عبور از یک مدار شکلدهی تپ (P.A) که در حقیقت بر روی لبه پایینرونده تپ ورودی عمل گذر از صفر را انجام میدهد به مدار آشکارکننده گذر از صفر (ZC1) اعمال می گردد و تپ خروجی به عنوان علامت خاتمه (STOP) به TAC ارسال می شود.

Arce of SID ۳- واحد PSD و جزییات مداری آن شکل ۲ نمونه ساخته شده واحد PSD را نشان می دهد دستگاه ساخته شده دارای یک ورودی آند و یک خروجی آند دیگر می باشد که می توان از آن برای راهاندازی CFD استفاده کرد. این PSD دارای دو خروجی سریع NIM و دو خروجی کند NIM می باشد.



شکل ۱- بلوک دیاگرام کلی چیدمان آزمایش برای تست مدار PSD.



شکل ۲- نمونهٔ دستگاه PSD.

میکل ۳ بلوک دیاگرام قسمت های مختلف PSD و نقشه شکل ۳ بلوک دیاگرام قسمت های مختلف PSD و نقشه شماتیک مدار الکترونیکی آن را نشان می دهد. تپ آند تو سط گام تقویت کننده A1 انتگرال گیری و دو قطبی می شود و نقطه گذر و رو از صفر، تپ دو قطبی وابسته به زمان نزول تپ آند می گردد. ۳ خ از صفر، تپ دو قطبی وابسته به زمان نزول تپ آند می گردد. ۳ خ ثابت زمانی RC این بلوک برای بهترین جداسازی نوترون و گاما شد. گذر تابی زمانی RC این عدد در حدود 2005 می باشد. گزر وسیلهٔ گذر از صفر بوسیله مقایسه گر A2 شناسایی می شود که به حدو حداقل رساند. بوسیله ورودی STROBE می تاب می جرابه می مرابه می مرابه و می و ایماند. ۲ مرابق مرابه و می و ایمان می گردد. با تنظیم صحیح ۲ – ۱ در نهان یه STROBE اعمال می گردد. با تنظیم صحیح ۲ – ۱ در نهان توما همنهانی به STROBE تو سط STROBE می کرد و بر

در نهایت عمل همزمانی و تفکیک تپهای نوترون و گاما در G3 صورت می پذیرد. تپ خروجی از G3 جهت شناسایی لبهٔ تپ به FAST اعمال می شود. بلوک FAST NIM خروجی سریع منفی با استاندارد NIM و بلوک SLOW NIM خروجی کند را برای راهاندازی دستگاههای مثبت فراهم می کنند. بلوک LED وظیفهٔ نمایش آهنگ شمارش ورودی را دارد.



شکل ۳- بلوک دیاگرام قسمتهای مختلف مدار PSD و نقشه شماتیک مدار الکترونیکی.

مجله علوم و فنون هسته ای، شماره ٤٧ ، ۱۳۸۸ Archive of SID

> شکل ۴ موجهای قسمتهای مختلف مدار را برای تپهای گاما و نوترون نشان میدهد. در این شکل، نمودار ۱ تپ آند ورودی به PSD، نمودار ۲ خروجی تقویت کننده A1 و نمودار ۳ خروجی A2 میباشد که فقط یک تغییر سطح در آن داده شده است. نمودار ۴ خروجی منفی سریع است که معادل لحظهٔ گذر از صفر PSD میباشد. عرض تپ منفی سریع خروجی در حدود Snsec میباشد که برای اعمال به TAC مناسب است.

۴- کالیبراسیون و عملکرد ۴-۱ چیدم*ان مدار*

برای بررسی عملکرد PSD در جداسازی نوترون و گاما از چشمههای PSD²⁴¹Am-Be و ²⁵²Pf با سلول آشکارساز سوسوزن مایع از نوع (Am-Be و Eljen(Ej-301 یا EC501 یا 2013) به ابعاد "2×"2 و تکثیر کننده فوتونی (Electrontubes 9814B) ابعاد "2×"2 و تکثیر کننده فوتونی (Electrontubes 9814B) استفاده گردید. در طول آزمایش ولتاژ تکثیر کننده فوتونی استفاده گردید. در طول آزمایش ولتاژ تکثیر کننده فوتونی نوترونهای زمینه در این آزمایش نوترونهای پراکنده شده از نوترونهای زمینه در این آزمایش نوترونهای پراکنده شده از دیوارها، کف و سایر وسایل موجود در محیط می باشند. آزمایش با مخروط سایه نشان داد که بدلیل وجود فاصلهٔ مناسب از زمین (۱۵۰ سانتی متر) و دیواره ها پراکندگی نوترونها بسیار ناچیز است. بنابراین نیازی به استفاده از مخروط سایه در آزمایش های

۴-۲ کالیبراسیون انوژی

نتایج مربوط به کالیبراسیون انرژی در شکل ۵ مشاهده میشود. بر اساس مرجع [۳] قلهٔ کامپتون، معادل ۸۹ درصد لبه کامپتون میباشد. با توجه به نتایج موجود در شکل ۵ انرژی معادل الکترون برای هر کانال برابر با 60keV بدست می آید.

۵- نتایج بدست آمده ۵- نتایج بدست آمده ۱۵- ضریب شایستگی (FOM) معیارهای متعددی برای بررسی کیفیت PSD وجود دارد که معیارهای متعددی برای برای برای برای برای سریب شایستگی یا به اختصار FOM می باشد. برای دو ذره مختلف FOM را بصورت زیر تعریف می کنیم [۳]: ۲

$$FOM = \frac{T}{(t_a + t_b)} \tag{1}$$



شکل ۵- نتایج مربوط به کالیبراسیون انرژی برای چشمههای ¹³⁷Cs-²²Na (b) توزیع ارتفاع تپ برای کالیبراسیون به وسیله چشمه (b) ²²Na (b) نمودار کالیبراسیون انرژی معادل الکترون برحسب کانال.

که در آن T جدایی زمانی میان قله های نو ترون و گاما و t_b ، t_a، تمام پهنا در نیمه ارتفاع بیشینه^(۳) در سیستم گذر از صفر میباشد. شکل ۶ نمونه ای از طیف جدا شده نو ترون و گاما برای انرژی آستانه 60keVee^(۳) را نشان می دهد. شکل ۷ مقایسه نتایج این دستگاه با نمونه های دیگر را نمایش می دهد.

۵-۲ بازیافت طیف نوترون

طیف اندازه گیری شده به وسیلهٔ آشکارساز BC501A طیف پیچیدهای متشکل از طیف پروتونهای پسزده توسط نوترونها و ذرات باردار ثانویهٔ تولیه شده از واکنش نوترون با کربن در انرژیهای مختلف میباشد و باید از روی آن طیف انرژی نوترونها را به دست آورد. به این منظور باید معادلهٔ انتگرالی زیر را حل کرد:

$$M(E) = \int_{E'} R(E, E') \Phi(E') dE' \tag{(Y)}$$



مجله علوم و فنون هستهای، شماره ٤٧ ، ۱۳۸۸ Archive of SID







شکل ۶– نمونهای از طیف جدا شده نوترون و گاما.



شکل ۲- مقایسه نتایج بدست آمده از این دستگاه با Fast Comtec و Wolski

که در آن $\Phi(E)dE$ طیف چشمه یا تعداد ذراتی است که با انرژی بین E و E+d از چشمه گسیل شدهاند، M(E)dE طیف ارتفاع پالس اندازه گیری شده یا تعداد ذراتی است که با انرژی بین E و E+d اندازه گیری شدهاند و ('R(E,E)، ماتریس پاسخ آشکارساز احتمال آن است که ذرهای با انرژی 'E از چشمه گسیل شده و با انرژی بین E و E+d ثبت شود، انتگرال فوق را انتگرال پیچش مینامند و محاسبهٔ (E) با داشتن (E) و ((E,E).

برای به دست آوردن طیف نوترون از طیف ارتفاع پالس سوسوزن، از کدهای [۴] SCINFUL و [۵] RESPMG به ترتیب برای تولید تابع پاسخ و ماتریس پاسخ استفاده شد. سپس با استفاده از کد [۶] FORIST، که به روش حداقل مربعات شار چشمه را از حل انتگرال (۲) حساب می کند، طیف نوترون چشمه حساب شد. شکل ۸ نتایج بازیافت طیف نوترون برای چشمه 241 Am-Be و مقایسه آن با سایر گزارشها را نشان می دهد [۷ تا .



- 1- FOM: Figure of Merit
- ۲- Shadow Cone
- r- FWHM: Full Width at Half Maximum
- F- keVee: keV Electron Equivalent
- ۵- Unfolding

References:

 G.F. Knoll, "Radiation detection and measurement," John Wiley & Sons, New York, 3rd Ed (2000).

یے نوشت ہا:

- 2. P. Sperr, H. Spieler, M.R. Maier, D. Evers, "A Simple Pulse-Shape Discrimination Circuit," Nuclear Instruments and Methods; No. **116**, 55-59 (1974).
- H.H. Knox and T.G. Miller, "Technique for determining bias setting for organic scintilators," Nuclear Instruments and Methods; No. 3, 519-25 (1972).
- 4. J.K. Dickensons, "A monte carlo based computer program to determine a scintillator full energy response to neutron detection for en between 0.1 and 80MeV," ORNL (1988).
- W.R. Burrus and R.M. Freestone, "A response matrix generation code package," Oak Ridge National Laboratory ORNL-TM-2594 (1969).
- 6. R.H. Johnson, "A user's manual for COOLC and FORIST," Radiation Shielding Information Centre PNE-75-107 (1975).
- D. Wolski, "Comparison of n-γ discrimination by zero-crossing and digital charge comparison methods," Nuclear Instruments and Methods; No. 360, 584-592 (1995).
- E.A. Lorch, "Neutron spectra of 241AmB, 241AmBe, 241AmF, 242CmBe, 238PuC and 252Cf Isotopic Neutron Sources," International Journal of Applied Radiation and Isotopes, No. 24, 585-591 (1973).
- 9. S. Green, "A compendium of manuals and papers," EMRA NPL 82/0462 (1991).
- 10.R. Koohi-Fayegh, S. Green, M.G. Scott, "A comparison of neutron spectrum unfolding codes used with a miniature NE213 detector," Nuclear Instruments and Methods, No. 460. 391-400 (2001).

در شکل ۹ نیز نتایج بازیافت طیف نوترون برای چشمه ²⁵²Cf و برازش رابطهٔ مربوط به شکافت خودبخودی بر آن آمده است پس از برازش، بر طبق رابطه (۳)، ضریب T=1/۳۱۸ بدست آمد که با مقدار T=۱/۳ در مرجعهای معتبر [۱ و ۸] تطبیق بسیار خوبی دارد.

$$\frac{dN}{dE} \alpha E^{\frac{1}{2}} \times \exp(\frac{-E}{T}) \tag{(7)}$$

۶- بحث و نتیجه گیری

با توجه به شکل ۷، مدار قابلیت جداسازی بسیار خوبی در انرژی های پایین دارد که عامل مهمی در ارزیابی عملکرد تبعیض گر میباشد. PSD ساخته شده دارای FOM=۱/۳۶ در انرژی آستانه PSD میباشد که نسبت به نمونه های مشابه خارجی بهتر است. برای اطمینان از عملکرد دستگاه، طیف نوترون برای دو چشمهٔ Pam-B²⁴ و ²⁵² اندازه گیری شد که با توجه به نتایج، طیف انرژی نوترون تا انرژی نوترونهای حداقل رون در با توجه به نتایج، طیف انرژی نوترون تا انرژی نوترونهای حداقل موترون در با شدت و پوشش متفاوت میباشد. برای تست عملکرد دستگاه با شدت و پوشش متفاوت میباشد. برای تست عملکرد دستگاه در آهنگهای شمارش بالا از یک چستمهٔ ۲۰ کوری PSD در فاصلهٔ نزدیک استفاده شد که SD براحتی توانست تا آهنگهای شمارش بالاتر از S0kHz کار کند.

