



طراحی و ساخت دستگاه حذف همپوشانی پالس‌ها در طیف‌نگاری‌های آنالیز با باریکه

یونی شتاب‌دهنده و اندوگراف

محمود، مرادی^{۱*}؛ محمد، لامعی^۲؛ علی، پذیرنده^۱

^۱دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم تحقیقات، گروه مهندسی هسته‌ای

^۲سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

چکیده

یک سیستم پالسینگ کنترل شده، برای شتاب‌دهنده و اندوگراف ۳ میلیون الکترون ولتی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، طراحی، ساخته و نصب شد. این سیستم از دو صفحه منحنی کننده و یک همسوگر تشکیل شده است. یک واحد دقیق کنترل مرکزی بر مبنای کریستال کوآرتز طراحی و ساخته شد. پالس‌های کنترل مربوطه بمنظور جاروب کردن پرتو بر همسوگر به مولدهای بالا تزریق می‌شود که بدین ترتیب می‌تواند پاره‌های پرتو پروتون و دوترون در محدوده میکرو ثانیه تولید کند. همچنین نسبت زمان روشنی به زمان خاموشی پرتو بطور پیوسته قابل تنظیم می‌باشد. دستگاه فوق در خط باریکه ۳۰ درجه نصب شده و برحسب نیاز آزمایش‌های مختلف زمان‌های تکرار قابل انتخاب ارائه می‌کند.

کلید واژه: شتاب‌دهنده و اندوگراف، پالس، همپوشانی، طیف‌نگاری، طیف زمینه، باریکه ذرات، جا روب کردن پرتو.

مقدمه

در فیزیک هسته‌ای از شتاب‌دهنده‌ها به منظور پژوهش در زمینه واکنش‌های اتمی و هسته‌ای استفاده می‌شود. آزمایش‌های بسیاری در این زمینه‌ها وجود دارد که در آنها اندازه‌گیری بسیار دقیق زمان، در محدوده میکرو ثانیه و نانو ثانیه مورد نظر می‌باشد که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: (۱) اندازه‌گیری زمان پرواز نوترون در کلیه واکنش‌هایی که اندازه‌گیری طیف نوترونی مورد نظر باشد؛ نظیر واکنش دوتریم با هدف تولید نوترون (۲) اندازه‌گیری مستقیم (بدون استفاده از جابجایی دوپلر) جهت زمان تشکیل ترازهای مختلف هسته‌ای (۳) به دست آوردن نیمه عمر عناصر متوالی به وجود آمده در یک واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای (۴) در کلیه موارد طیف‌سنجی اتمی و هسته‌ای. همپوشانی پالس‌ها که در آهنگ شمارش زیاد رخ می‌دهد، باعث ایجاد زمینه می‌شوند و قله‌های انرژی کوچک دیده نمی‌شوند. به کمک پرتو پالس شده می‌توان تا حد قابل ملاحظه‌ای زمینه را در طیف پرتو ایکس و گامای حاصل شده کاهش داد [۱].

روش کار

واندوگراف‌ها از نظر دسترسی به سیستم و نصب وسایل در آنها به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول دستگاه‌هایی که چشمه یون آنها خارج از ناحیه ولتاژ بالا است و به سهولت قابل دسترسی است. گروه دوم آنهایی هستند که دسترسی به چشمه یون بسیار مشکل است و کلیه سیستم‌های الکترونیکی جهت ایجاد و

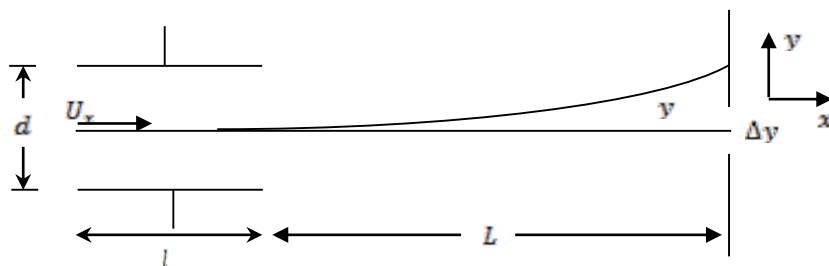
کنترل یون در زیر گنبد پتانسیل و در ناحیه ولتاژ بالا قرار دارند [۲،۳]. در مورد شتابدهنده و اندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، که از نوع دوم می‌باشد، نصب سیستم در ناحیه ولتاژ بالا با اشکالات متعددی مواجه می‌شود.

جهت انجام کاربردهای ذکر شده در مقدمه، یک دستگاه پالس روی سیستم و اندوگراف نصب و آزمایش گردید. این دستگاه دارای مشخصات قابل تغییر و تنظیم بوده که بوسیله آن می‌توان گروه‌های متوالی پرتو را با عرض مشخص و زمان تکرار معین با در نظر گرفتن نوع واکنش هسته‌ای تنظیم نمود.

این سیستم قادر است با فرمانی که از یک پالس دریافت می‌کند، باریکه را برای مدت زمانی قابل تنظیم منحرف کند و بدین ترتیب می‌توان از این دستگاه برای حذف همپوشانی پالس‌ها در آزمایش‌ها استفاده نمود. چون کلیه ذرات شتاب یافته در شتاب‌دهنده‌ها دارای بار الکتریکی می‌باشند، به راحتی تحت میدان‌های الکتریکی و یا مغناطیسی منحرف می‌شوند و می‌توان با عبور باریکه از میان دو صفحه موازی که از پتانسیل الکتریکی بالایی برخوردار هستند، آن را با سرعت جاروب کرد. سرعت جاروب پرتو بستگی به فرکانس جاروب دارد. از آنجا که سیستم‌های الکترونیکی دارای سرعت‌های خیلی زیاد می‌باشند، می‌توان پتانسیل‌های متناوب با دامنه بسیار زیاد در حدود چند کیلو ولت، ایجاد کرده و پرتو را در مقابل دیافراگم جاروب کرد [۴،۵،۶].

معمولاً برای انحراف باریکه، از صفحات منحرف کننده استفاده می‌کنند که به موازات باریکه در خلاء قرار می‌گیرند [۷]. چنانچه اختلاف پتانسیلی به این صفحات اعمال شود میدان الکتریکی بین صفحات، باریکه را منحرف می‌کند [۸،۹]. در زیر به محاسبه این انحراف می‌پردازیم:

فرض می‌کنیم که صفحاتی به طول l و با فاصله d از یکدیگر در خط انتقال باریکه و به موازات آن قرار گرفته باشند. اگر ولتاژ V_0 به ذرات باریکه‌ای به جرم m ، بار q و سرعت U_x و انرژی اولیه E_0 بطور متعامد بر مسیر حرکت آنها اعمال شود، می‌خواهیم انحراف باریکه را در نقطه‌ای که در فاصله L از انتهای صفحات قرار دارد محاسبه کنیم (شکل ۱).



شکل (۱) انحراف پرتو در اثر اعمال یک پتانسیل به صفحات منحرف کننده

مقدار انحراف y عبارت است از:

$$y = \frac{F_y}{m U_x} \cdot \frac{1}{l} \cdot L = \frac{LqV}{lmd U_x} \rightarrow y = \frac{qL}{\sqrt{E_0}d} V_0$$

اگر قطر پرتو نسبت به قطر دیافراگم ناچیز فرض شود، آنگاه ولتاژ صفحات باریکه پالس شده برابر است با:

$$V_0 = \frac{2 \Delta y E_0 d}{l L q}$$

اگر مقادیر عملی را در رابطه فوق قرار دهیم:

$$L = 130 \text{ cm} , l = 30 \text{ cm} , d = 2 \text{ cm} , E_0 = 2 \text{ MeV} , \Delta y = 1 \text{ cm}$$

$$V_0 = 2051/28 \text{ V}$$

در اینصورت انرژی لازم جهت انتقال به خازن در مدار عبارتست از:

$$W_C = \frac{1}{2} C V^2$$

و ظرفیت صفحات منحرف کننده برابر است با:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

جایی که فاصله بین دو صفحه کمینه باشد یعنی در حدود ۱ cm، ظرفیت صفحات منحرف کننده بیشینه است.

با قرار دادن مقادیر در فرمول فوق:

$$C = 8/85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} (0/036 \times 0/50 \text{ m}^2) / (0/01 \text{ m})$$

در آنصورت ظرفیت صفحات منحرف کننده مقدار ۱۶ PF می شود، اگر ولتاژ لازم جهت انحراف پرتو را kV فرض کنیم، انرژی صرف شده در خازن C معادل زیر است:

$$W_C = \frac{1}{2} (10 \times 10^{-12}) (4 \times 10^6) = 2 \times 10^{-5} \text{ J} = 2f \times 10^{-5} \text{ Watts}$$

اگر زمان تکرار $5 \mu \text{Sec}$ باشد و یا فرکانس مورد نظر $0/2 \text{ MHz}$ باشد، در این صورت انرژی لازم جهت مدار

$$W_{tune} = 4 \text{ Watts} \quad \text{تطبیق برابر است با:}$$

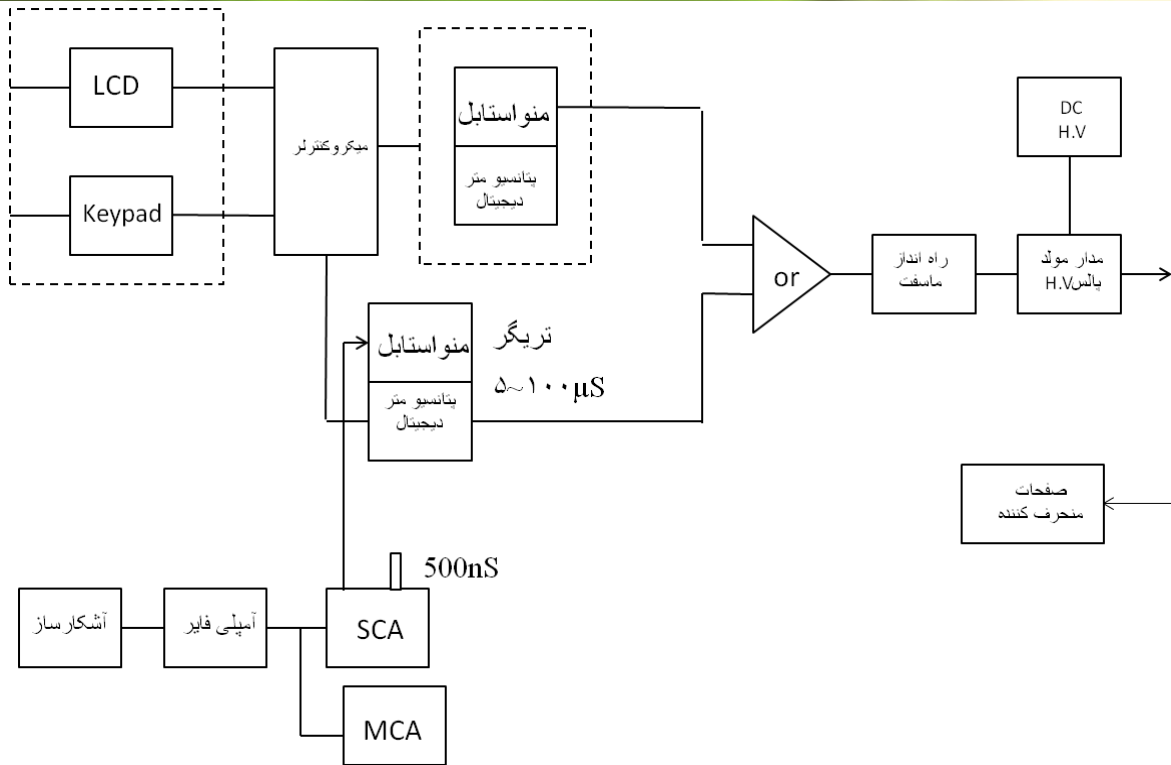
می خواهیم پالس هایی با مشخصات زیر تولید کنیم و آنها را به صفحات منحرف کننده اعمال نماییم:

(۱) ولتاژ از ۰ تا 3 kV قابل حصول باشد.

(۲) دارای دو مد کنترل زمانی، توسط فرد و یا توسط سیگنال های دریافتی از المانهای دیگر باشد.

(۳) زمان تریگر آن $5 \sim 100 \mu \text{S}$ باشد.

بدین منظور مدار الکتریکی مطابق شکل ۲ طراحی شده است [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳].



شکل (۲) بلوک دیاگرام سیستم الکترونیک و کنترل قدرت پالسر

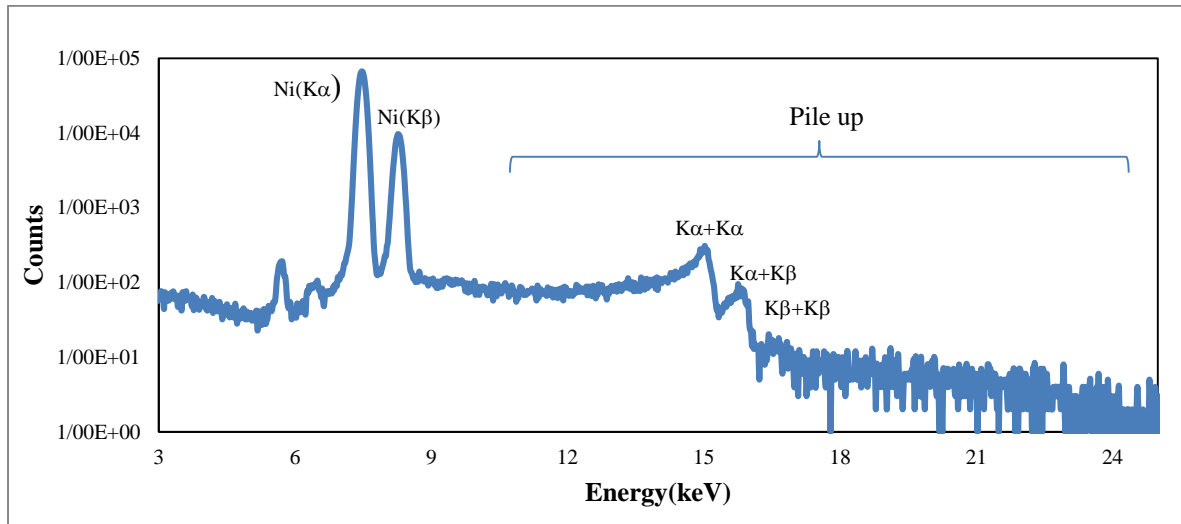
نتایج

در الکترونیک نیمه‌هادی‌ها، استفاده از ولتاژ منفی یا قطع بودن ولتاژ مثبت، بهتر از وصل بودن آن است. در سیستم ما مسیر باریکه مقابل محفظه هدف مستقیم است. بنابراین برای انحراف باریکه، روی هر دو صفحه ولتاژ مثبت اعمال شده و یکی از آنها به طور موقت به زمین وصل شده است. درون یک لوله فلزی زمین شده صفحات تخت در ولتاژ بالا قرار دارند که یک میدان الکتریکی نسبتاً قوی تولید می‌کنند [۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸]. وقتی که ولتاژهای کمتر از $1/2 \text{ kV}$ روی هر دو صفحه اعمال شد، در شکل و اندازه باریکه مشاهده شده از هدف تغییری دیده نشد. فاصله بین صفحات و هدف بسیار مهم است. وقتی که از پروتون‌هایی با انرژی ۲ MeV استفاده شود، به ازای هر متر، 50 nSec زمان برای رسیدن ذرات منحرف نشده به هدف نیاز است که ممکن است باعث همپوشانی شود. پس بایستی تا آنجا که امکان دارد صفحات را در فاصله دورتری از هدف قرار دهیم. این صفحات 30 cm طول، $3/6 \text{ cm}$ عرض و $1/5 \text{ cm}$ فاصله و همه آنها در یک لوله خلاء با قطر داخلی $4/7 \text{ cm}$ قرار دارند.

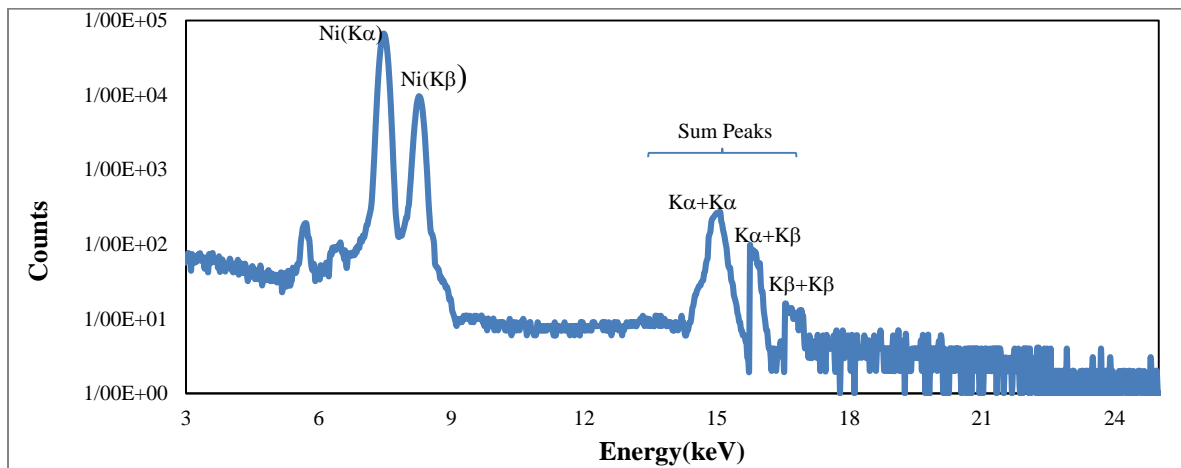
آزمایش سیستم بر روی خط باریکه ۳۰ درجه با آنالیز نمونه‌های ضخیم در جریان باریکه بالا انجام شد. مثلاً برای نمونه ضخیم نیکل باریکه پروتون 2 MeV با جریان تخمینی $2/5 \text{ nA}$ که تا قطر 1 mm همسو شده است به نمونه‌ها تابیده شد. برای نمونه‌ها، دو طیف با بار انباشته برابر با 100 nC جمع‌آوری شد. در نمونه اول تنها مدار



PUR مازول اورتک فعال بود (شکل ۳ الف) در نمونه دوم سیستم انحراف باریکه نیز فعال شده بود (شکل ۳ ب). واضح است که زمینه بین پیک اصلی و پیک‌های همپوشانی کاهش یافته و خود پیک‌های همپوشانی نیز کاهش یافته‌اند. محاسبه زمان همپوشانی برای شکل ۳ الف، ۱/۵ میکروثانیه و برای شکل ۳ ب، ۰/۵ میکروثانیه را می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۳) طیف نمونه ضخیم نیکل با جریان باریکه یکسان و دوز برابر. (الف) فقط الکترونیک PUR؛ (ب) سیستم انحراف باریکه نیز فعال است.



مراجع

- [۱] Glenn F. Knoll "Radiation Detection and Measurement".
- [۲] Stanley Humphries, Jr., "Principles of Charged Particle Acceleration," Department of Electrical and Computer Engineering University of New Mexico
- [۳] R. Hellborg and J. McKy, "Electrostatic Accelerator Fundamentals and Application".
- [۴] H. Thibeau, J. Stadel, on-Demand Beam Pulsing for an accelerator, Nuclear Instruments & Methods ۱۱۱۶۱۵-۶۱۷ (۱۹۷۳)
- [۵] X. Zeng et al., An improved on-demand beam pulsing system and its application to art and archaeology, Vacuum ۳۹, (۱۹۸۹), p. ۹۱
- [۶] K. G. Malmqvist and al., Performance of an on-demand beam excitation system for PIXE analysis, NIM ۱۹۲ p. ۵۲۳ (۱۹۸۲)
- [۷] R. K. Fitch, B. S. Halliday, "Basic Vacuum Technology," ISBN ۲, ۴۹۵۷۵, ۳۰, second edition ۱۹۹۸.
- [۸] S. Liese and D. Roller, A new Pulser for the Karlsruhe ۳ MeV Van De Graaff Accelerator, Nuclear Instruments & Methods ۱۱۲ (۱۹۷۳) ۵۵۱-۵۵۳
- [۹] J. H. Anderson and D. Swann, A Bunching and chopping System for the Generation of Short Duration Ion Bursts. Nuclear Instruments & Methods ۳۰ (۱۹۶۴) ۱-۲۲
- [۱۰] R. J. Baker and B. P. Johnson, "Stacking power MOSFETs for high-speed, high-voltage switching applications," Review of Scientific Instruments, Vol. ۶۳, No. ۱۲, Dec., pp. ۵۷۹۹-۵۸۰۱. ۱۹۹۲
- [۱۱] R. J. Baker and B. P. Johnson, "Series operation of power MOSFETs for use in high speed instrumentation," Review of Scientific Instruments, Vol. ۶۴, No. ۶, pp. ۱۶۵۵-۱۶۵۶. June ۱۹۹۳
- [۱۲] R. J. Baker and M. D. Pocha, "Nanosecond switching using power MOSFETs," Review of Scientific Instruments, Vol. ۶۱, No. ۸, pp. ۲۲۱۱-۲۲۱۳. Aug ۱۹۹۰
- [۱۳] R. J. Baker and S. T. Ward, "Designing Nanosecond High voltage pulse generators using Power MOSFETs," Electronics Letters, Vol. ۳۰, No. ۲۰, pp. ۱۶۳۴-۱۶۳۵. Sept., ۱۹۹۴
- [۱۴] W. Koenig et al., Nucl. Inst. and Meth. (۱۴۲) p ۲۲۵ (۱۹۷۷)
- [۱۵] M. S. Alarmaghani, D. Crumpton, P. N. Cooper, Nuclear Instruments & Methods B ۱۸ (۱۹۸۷) ۲۹۷.
- [۱۶] W. J. Teesdale, J.L. Campbell, Nuclear Instruments & Methods B ۵۲ (۱۹۹۰) ۹۳
- [۱۷] W. Kenig and al., Trace element analysis by means of PIXE with triggered beam pulsing, NIM ۱۴۲ (۱۹۷۷) p. ۲۲۵
- [۱۸] J. Voltr, J. Kral, Z. Nejedly, S. Simcik, Nucl. Inst. and Meth. B(۳۴۴) p ۱۶۱-۱۶۳ (۲۰۰۰)