



بهینه سازی مدارهای شکل دهی پالس در سامانه‌ی طیف نگاری هسته‌ای به منظور

دستیابی به بالاترین قدرت تفکیک با استفاده از نرم افزار ORCAD

بابک، شیرانی*؛ عبدالرسول، باقری؛ سعدی، پورعلی؛ عادل، صالحی

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

چکیده

طیف نگاری تابش‌های هسته‌ای با قدرت تفکیک بالا از اهمیت بسیار زیادی در حوزه‌های مختلف صنعت هسته‌ای نظیر آنالیز مواد به روش فعال سازی نوترونی و همچنین در تحقیقات فیزیک هسته‌ای برخوردار است. یکی از عوامل تعیین کننده قدرت تفکیک الکترونیک یک سیستم طیف‌نگاری، انتخاب روش شکل دهی به پالس آشکارساز است. در این مقاله، مدارهای مربوط به سه روش شکل دهی پالس تک قطبی، دو قطبی و شبه گوسی توسط نرم‌افزار Orcad شبیه‌سازی شدند و از لحاظ اثر پایل آپ و نسبت سیگنال به نویز در آهنگ‌های شمارش مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند. در آهنگ شمارش 10^4 پالس بر ثانیه، مقدار بهینه ثابت زمانی شکل دهی به پالس برای سه مدار ذکر شده، برای رسیدن به بالاترین قدرت تفکیک، به ترتیب، ۱۵، $12/5$ و $7/5$ میکروثانیه محاسبه شد.

کلید واژه: شکل دهی پالس، تک قطبی، دو قطبی، شبه گوسی، کاهش بالستیکی، نسبت سیگنال به نویز

مقدمه

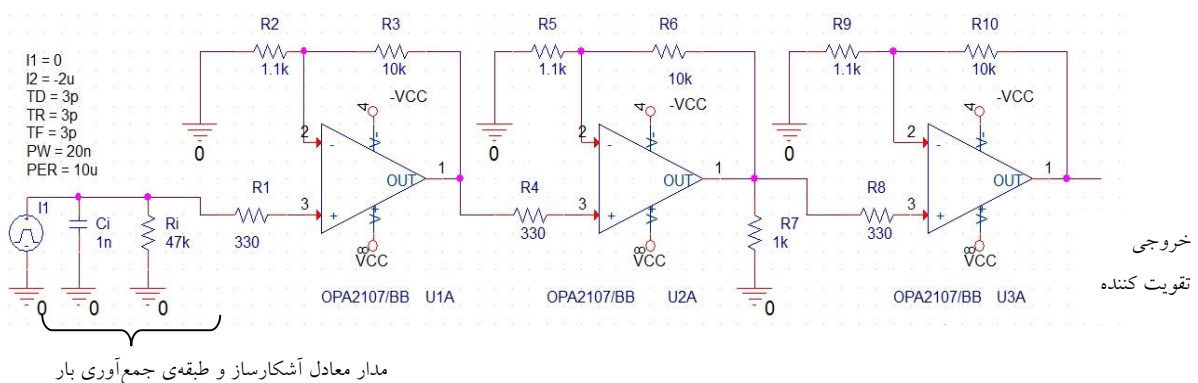
یکی از مهم‌ترین مراحل در سامانه‌های طیف‌نگاری، شکل دهی پالس است. پالس خروجی یک آشکارساز به دلیل اینکه برای استخراج اطلاعات ذره فرودی مناسب نیست، لازم است پس از تقویت، شکل دهی شود [۱]. پالس‌ها را می‌توان در فرم‌های مختلف شکل دهی کرد که ساده‌ترین و مؤثرترین این روش‌ها شکل دهی پالس تک قطبی، دو قطبی و شبه گوسی است که متناسب با آهنگ شمارش و قدرت تفکیک مورد نیاز از آن‌ها استفاده می‌شود. شکل دهی تک قطبی نسبت به دو قطبی دارای نسبت سیگنال به نویز بیشتر و کاهش بالستیکی کم‌تر است و برای پالس‌های با عرض خطای پایل آپ یکسانی دارند اما مزیت شکل پالس دو قطبی عدم نیاز به بازیابی خط مبنا است. شکل دهی شبه گوسی نسبت به تک قطبی و دو قطبی دارای نسبت سیگنال به نویز بیش‌تر، کاهش بالستیکی کمتر و خطای پایل آپ مشابه می‌باشد. از معایب آن می‌توان به پیچیدگی مدار، افزایش قیمت و فضای مورد نیاز بیشتر اشاره کرد [۲ و ۳].

روش کار

۱- ملاحظات کلی

برای شبیه سازی مدارهای شکل دهی پالس و تحلیل خطای پایل آپ و نسبت سیگنال به نویز از نرم افزار شبیه سازی Orcad استفاده شده است که یکی از قدرتمندترین نرم افزارها در زمینه تحلیل سیگنال آنالوگ و نویز است.

شکل (۱) طبقه جمع آوری بار و تقویت کننده طراحی شده را نشان می دهد [۴]. پالس های خروجی آشکارساز توسط منبع جریان و مدار جمع آوری بار مدل می شوند. انتگرال زمانی پالس های منبع جریان، متناسب با انرژی به جا گذاشته شده در آشکارساز و عرض پالس متناسب با زمان جمع آوری بار می باشد. برای اینکه ولتاژ حاصل از طبقه جمع آوری بار، متناسب با بار جمع آوری شده باشد باید ثابت زمانی آن خیلی بزرگ تر از زمان جمع آوری بار باشد [۳]. برای این منظور با انتخاب $R_i = 47k\Omega$ و $C_i = 1nf$ اولاً کاهش بالستیکیتی به کم ترین مقدار خود می رسد و ثانیاً عرض پالس ورودی به طبقه شکل دهی برابر با عرض پالس یک آشکارساز سوسوزن NaI نوعی می باشد. پالس های طبقه جمع آوری بار به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز، قبل از شکل دهی طی چند مرحله تقویت می شود.



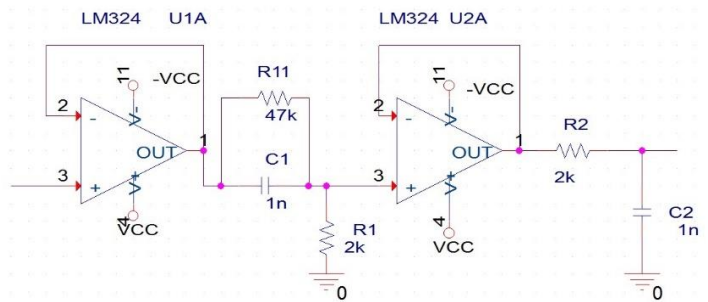
مدار معادل آشکارساز و طبقه جمع آوری بار

شکل ۱: طبقه جمع آوری بار و تقویت کننده

۲- شکل دهی تک قطبی

مدار شکل دهی تک قطبی در شکل (۲) نشان داده شده است. طبقه اول یک مدار مشتق گیر با ثابت زمانی τ_1 است که با مشتق گیری از شکل پالس ورودی عرض آن را محدود می کند (کاهش اثر خطای پایل آپ). طبقه دوم یک مدار انتگرال گیر با ثابت زمانی τ_2 است که باعث افزایش عرض مؤثر پالس می باشد (کاهش اثر بالستیکیتی). برای τ_1 و τ_2 های مختلف، مشاهده شده است که در حالت $\tau_1 = \tau_2$ کم ترین کاهش بالستیکیتی، کم ترین خطای پایل آپ و بیش ترین نسبت سیگنال به نویز حاصل می شود. برای حذف قطب ناشی از مدار

جمع‌آوری بار، یک مقاومت R_{11} با خازن C_1 موازی شده است که مقدار این مقاومت از رابطه $R_{11}C_1 = R_iC_i$ به دست می‌آید [۳].

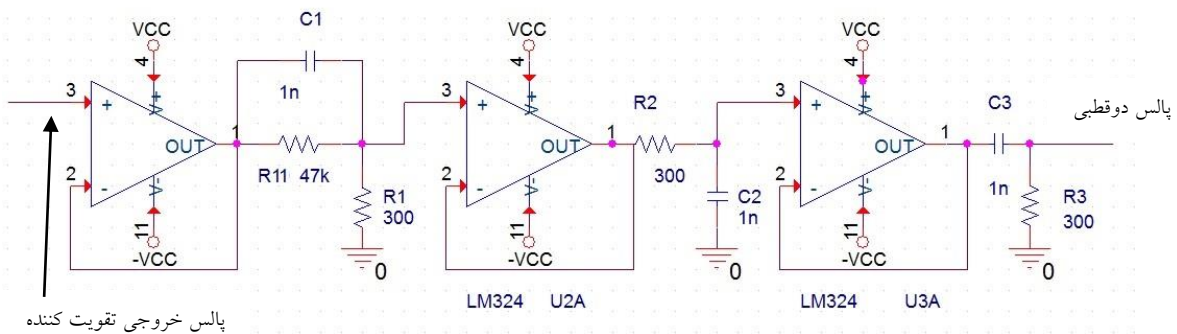


پالس تک قطبی

شکل ۲: مدار شکل‌دهی پالس تک قطبی پالس خروجی تقویت کننده

۳- قطبی

دوقطبی در شکل (۳) نشان داده شده است. با اضافه کردن یک طبقه مدار CR با ثابت زمانی τ_1 به مدار تک قطبی، یک قطب به پاسخ مدار اضافه شده و خروجی تک قطبی به دوقطبی تبدیل می‌شود. همانند شکل‌دهی تک قطبی، حالت بهینه در شرایطی به دست می‌آید که $\tau_2 = \tau_1 = \tau_3$ باشد.

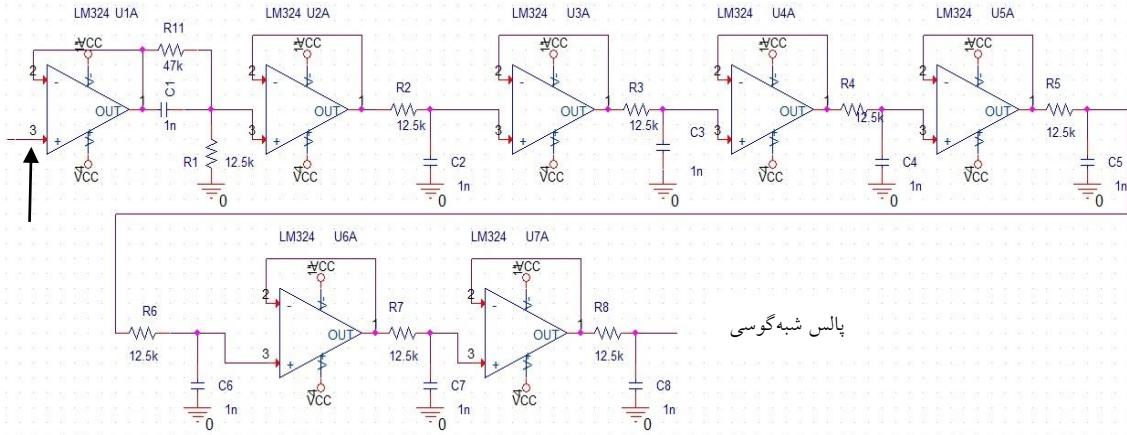


پالس خروجی تقویت کننده

شکل ۳: مدار شکل‌دهی پالس دوقطبی

۴- شکل‌دهی شبه‌گوسی

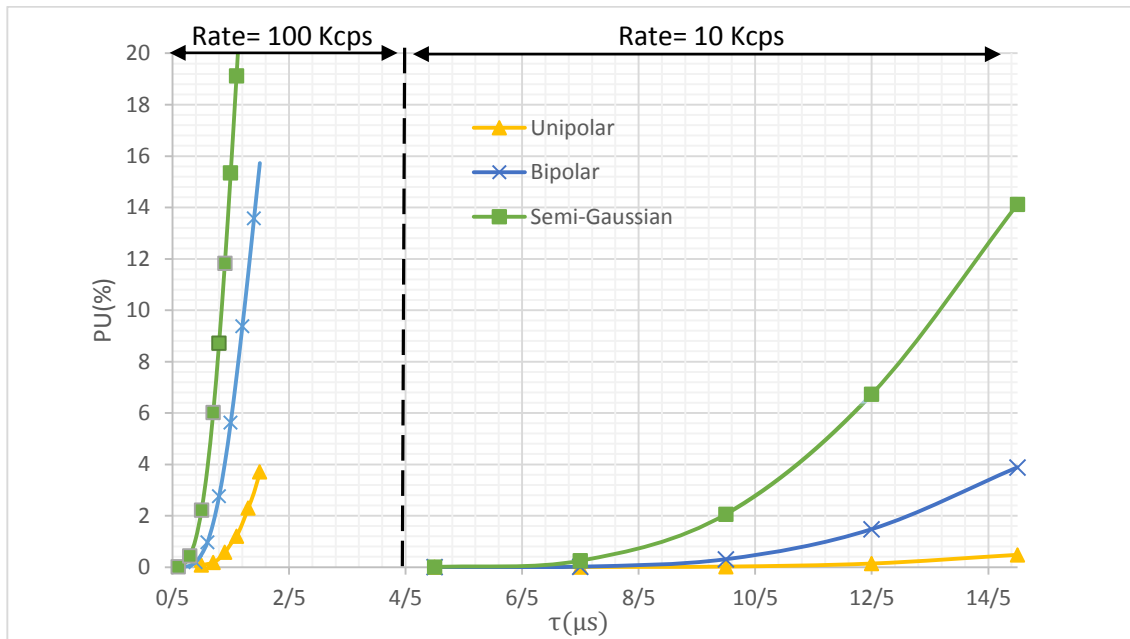
شکل (۴) مدار شکل‌دهی شبه‌گوسی را نشان می‌دهد که از یک طبقه مدار CR و n طبقه مدار RC تشکیل می‌شود که برای نزدیک شدن به خروجی گوسی ایده‌آل حداقل از چهار طبقه RC استفاده می‌شود. هر چه شکل خروجی به گوسی ایده‌آل نزدیک‌تر باشد نسبت سیگنال به نویز سامانه بیشتر می‌شود. بدین منظور در این کار از هفت طبقه مدار RC استفاده شده است.



شکل ۴: مدار شکل دهی شبه گوسی

نتایج

شکل (۵) خطای پایل آپ برای سه نوع شکل دهی پالس تک قطبی، دو قطبی و شبه گوسی را در دو آهنگ 10^4 و 10^5 (شمارش در ثانیه) به ازای ثابت زمانی های مختلف نشان می دهد.



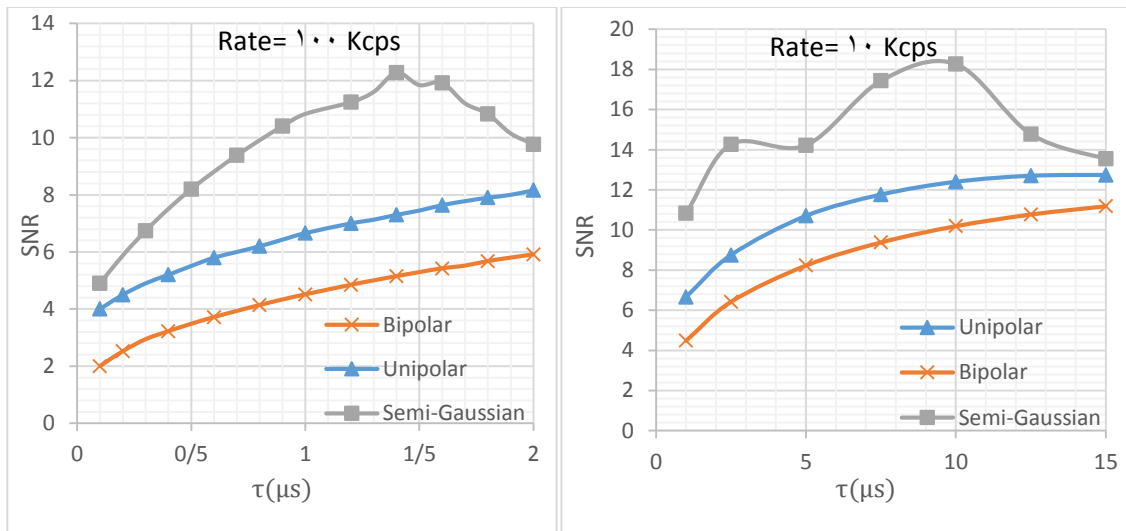
شکل ۵: خطای پایل آپ بر حسب ثابت زمانی برای دو آهنگ 10^5 و 10^4 شمارش در ثانیه.

مقدار خطای پایل آپ به صورت زیر بدست می آید:



$$\text{اختلاف ارتفاع بین دو پالس متوالی} \\ \text{خطای پایل آپ (برحسب درصد)} = \frac{\text{ارتفاع پالس اول}}{\text{ارتفاع پالس اول}} \times 100 \quad (1)$$

در شکل (۶) نسبت سیگنال به نویز برای سه مدار شکل دهی پالس تک قطبی، دو قطبی و شبه گوسی به ازای دو آهنگ 10^4 و 10^5 نشان داده شده است. با توجه به نمودارها، شکل دهی شبه گوسی نسبت به دو روش دیگر بیشترین نسبت سیگنال به نویز را دارد و مقدار بیشینه آن در آهنگهای 10^4 و 10^5 به ترتیب به ازای ثابت زمانیهای $10 \mu s$ و $1.4 \mu s$ می باشد.



شکل ۶: نسبت سیگنال به نویز برحسب ثابت زمانیهای مختلف برای دو آهنگ 10^4 و 10^5 شمارش در ثانیه.

بحث و نتیجه گیری

سه روش مختلف شکل دهی برای پالس های آشکارسازهای هسته ای، شامل شکل دهی تک قطبی، دو قطبی و شبه گوسی در این تحقیق با یکدیگر مقایسه شدند. قدرت تفکیک دو قله مجاور هم در یک سیستم طیف نگاری، عمدتاً توسط سه عامل نویز، اثر پایل آپ و اثر بالیستیکی تعیین می شود. در صورتی که ابعاد آشکارساز بزرگ نباشد و یا ثابت زمانی مدار اولیه جمع آوری بار به اندازه کافی بزرگ انتخاب شده باشد، می توان از اثر بالیستیکی صرف نظر نمود. بنابراین تنها نسبت سیگنال به نویز و اثر پایل آپ مورد توجه قرار گرفته اند. تاثیر این دو عامل در قدرت تفکیک کل سیستم را می توان با رابطه زیر نشان داد:

$$R_t^2 = R_{PU}^2 + R_N^2 \quad (2)$$



که R_t و R_N ، R_{PU} به ترتیب قدرت تفکیک مربوط به اثر پایل آپ، نویز و کل سیستم می باشند. قدرت تفکیک مربوط به اثر پایل آپ در شکل (۵) به صورت درصد نشان داده شده است. قدرت تفکیک ناشی از نویز را نیز می توان به صورت معکوس نسبت سیگنال به نویز تعریف و محاسبه نمود.

در مجموع با محاسبه قدرت تفکیک در روش های شکل دهی مورد بررسی در این مقاله، برای آهنگ شمارش 10^4 بر ثانیه، بهترین قدرت تفکیک به ترتیب برای شکل پالس تک قطبی، دو قطبی و شبه گوسی در ثابت زمانی های ۱۵، $12/5$ و $7/5$ میکروثانیه به دست آمد.

در مجموع می توان گفت که انتخاب روش شکل دهی به پالس باید در درجه اول بر اساس آهنگ شمارش شرایط آزمایشی مورد نظر انتخاب شود. در آهنگ های شمارش بالا، بهترین انتخاب، شکل تک قطبی به دلیل عرض زمانی کمتر پالس است. در آهنگ های شمارش پایین، اثر نویز اهمیت بیشتری پیدا می کند و شکل پالس شبه گوسی باید ترجیح داده شود. پس از انتخاب روش شکل دهی به پالس، در هر شرایط آزمایشی باید استفاده از ثابت زمانی بهینه در مدار مورد توجه قرار بگیرد. نتایج شبیه سازی های انجام شده در این مقاله می توانند به عنوان ثابت زمانی های بهینه در هر یک از روش های شکل دهی پالس مورد استفاده قرار بگیرند.

منابع

- [۱] جلال آبادی و میرعشقی، "شکل دهی پالس های آشکارسازهای هسته ای با استفاده از روش های DSP"، کنفرانس مهندسی پزشکی ایران، دهمین دوره، (۱۳۸۰).
- [۲] G. F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", John Willey & Sons, New York, ۵۸۶-۵۹۵, (۱۹۹۹).
- [۳] P. W. Nicholson, "Nuclear Electronic", John Willey & Sons, London, ۱۰۰-۱۱۳, (۱۹۷۴).
- [۴] W. Potzel, N. Halder, "A fast pulse amplifier for spectroscopy at very high count rates", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Pages ۴۱۸-۴۲۰, (۱۹۸۴).