

طراحی، شبیه سازی و ساخت تقویت کننده برای آشکارسازی پرتو گاما توسط آشکارساز دیود نوری پین (PIN)

مهدی محسنی، - نیما احمدپور - جمشید خورسندی

سازمان انرژی اتمی - پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها اصفهان

چکیده:

در این مقاله به بررسی و مطالعه‌ی قابلیت آشکارسازی مستقیم یک دیود نوری پین (PIN Diode) برای پرتوی گاما پرداخته شده است. در این پژوهش در ابتدا مدل‌سازی دیود نوری پین و شبیه‌سازی مدار ارائه شده صورت گرفته است و در ادامه به ساخت مدار چاپی و آزمایش این مدار در شرایط مطلوب پرداخته شده است. نتایج عملی حاصل از آزمایشات نشان از پالس با دامنه‌ی بزرگتر از ۱۰ میلی ولت در خروجی تقویت کننده دارد همچنین تعداد پالس‌ها برای چشمه‌ی سزیم ۱۳۷ (^{137}Cs) و دیود نوری پین pp701 شرکت Stanley، ۱۱ پیک در دقیقه می‌باشد عرض پالس نیز در حدود چند میکرو ثانیه است. کوچکی برد طراحی شده و ساختار ساده و مفید آشکارسازی و قابلیت ارتقاء طرح برای ساخت و مونتاژ دزیومتر جیبی از مزایای اساسی کار صورت گرفته می‌باشد.

کلمات کلیدی: دیود نوری پین، آشکارساز، پرتوی گاما، تقویت کننده

مقدمه:

دیودهای نوری سیلیکونی استاندارد دارای خواص جریان نشی پایین، خازن پیوندی متوسط و حجم و سطح بسیار کوچک اما فعال می‌باشد که این ویژگی‌ها این نوع دیودها را برای یونیزاسیون در تابش پرتوها مناسب می‌سازد. این دیودها در آشکارسازی پرتو میزان دقت (Resolution) انرژی بالایی ارائه می‌دهند و در دمای اتاق نیز دارای قابلیت آشکارسازی می‌باشند [1]. از طرف دیگر به دلیل اینکه این دیودها به نسبت حجم کوچک خود دارای سطح وسیع آشکارسازی هستند و توانایی کارکرد در ولتاژ و توان بسیار پایین را دارند می‌توان از آنها برای ساخت ساختارهای کوچک و فشرده‌ی دزیومترها و آشکارسازها استفاده کرد.

دیودهای نوری پین (PIN) به علت ایجاد میدان الکتریکی قوی و جریان نشتی کم در آشکارسازی پرتو نسبت به دیودهای نوری پیوند P-N برتری دارند. در ساختار فیزیکی آنها از سیلیکون با مقاومت ویژه بالا برای استقامت در مقابل میدان و عمر بیشتر استفاده می‌شود. این دیودها دارای مصرف انرژی الکتریکی کم و دقت بالا می‌باشند و می‌توانند کاربردهای فراوانی در آشکارسازی پرتوهای ایکس، گاما داشته باشند. [2]

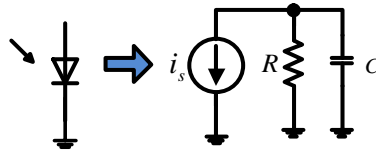
این پژوهش در آزمایشگاه الکترونیک پژوهشکده‌ی توسعه‌ی کاربرد پرتوهای اصفهان بر روی دیود نوری پین از شرکت stanley با شماره PP701 انجام گرفته است و اثر آشکارسازی این دیود نسبت به پرتوی گاما سنجیده شده است. در مدار تقویت‌کننده‌ی ارائه شده، از یک طبقه تقویت‌کننده‌ی بار (Charge Amplifier) و ۲ طبقه تقویت‌کننده‌ی ولتاژی استفاده شده است که به وسیله‌ی خازن کوپلاژ از یکدیگر جدا گشته‌اند. در این مدار سعی شده است که نویز الکتریکی تا حداکثر ممکن کاهش یابد. همچنین به دلیل حساسیت زیاد دیود نوری پین به نور مرئی عایق بندی مدار به گونه‌ای انجام گرفته است که از برخورد نور با سطح حساس دیود جلوگیری شود. این نوع آشکارساز در مقایسه با آشکارسازهای گایگر مولر دارای حجم کوچکتر، قیمت تمام شده کمتر، آسیب‌پذیری کمتر، ولتاژ کارکرد بسیار پایین‌تر و توان مصرفی کمتر می‌باشد. در آینده می‌توان با توسعه‌ی این کار پژوهشی انجام شده به دانش طراحی و ساخت انواع دزیمتراهای اندازه‌ی کوچک نیمه‌هادی دست یافت همچنین با انجام این پروژه می‌توان زمینه را برای بررسی اثر آشکارسازی سایر ادوات الکترونیکی با حساسیت کم مانند ترانزیستور MOS را فراهم آورد.

روش کار:

در این پژوهش رویکرد شبیه‌سازی و مدل‌سازی از یک طرف و رویکرد ساخت و نتایج عملی از طرف دیگر دنبال شده است که در زیر به شرح آنها پرداخته شده است.

الف) مدل‌سازی دیود نوری پین و شبیه‌سازی:

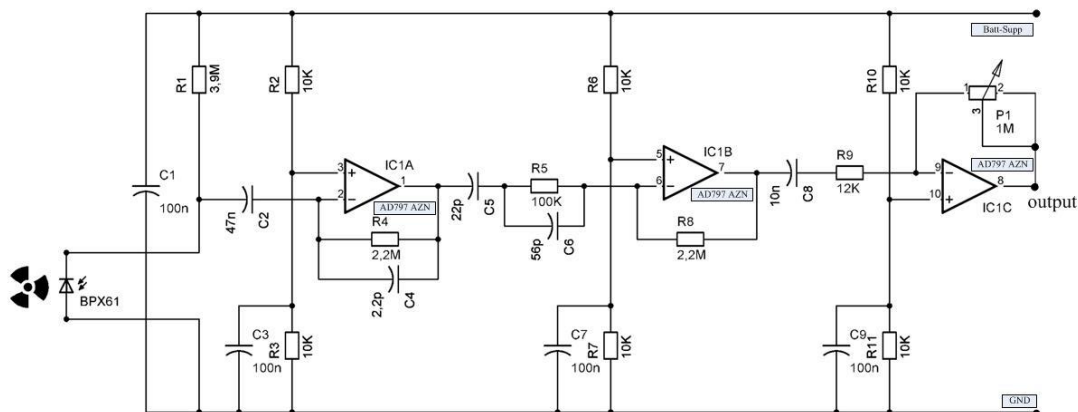
در انجام این پروژه در ابتدا به شبیه‌سازی مدار طراحی شده برای تقویت‌کننده در نرم‌افزار proteus پرداخته شد برای این منظور مطابق شکل ۱، مدل یک دیود نوری پین در هنگام تابش به صورت یک منبع جریان موازی با یک مقاومت و خازن در نظر گرفته شد [3]. مقادیر مقاومت و خازن با توجه به کاتالوگ دیود نوری پین استفاده شده قرار داده شد.



شکل ۱: مدل معادل دیود نوری پین در هنگام تابش پرتو [3]

مدار طراحی شده همانطور که در شکل ۲ مشاهده می کنید از یک طبقه تقویت کننده ی بار و دو طبقه تقویت کننده ی ولتاژ تشکیل شده است. همچنین برای منبع تغذیه مدار از باتری به همراه تنظیم کننده ی ولتاژ و مدار اصلاح ریبیل استفاده شده است [4].

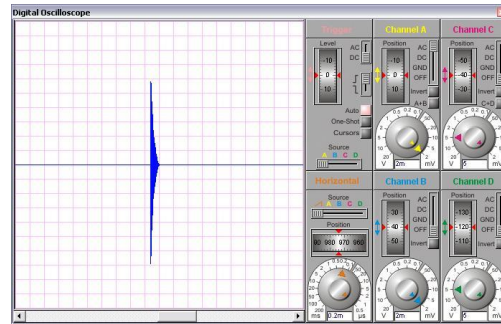
در مدار تقویت کننده ی آشکارساز دیود نوری پین که در شکل ۲ نشان داده شده است، طبقه ی اول از نظر نویز دارای اهمیت فراوان می باشد. زیرا نویز طبقه ی اول در طبقات بعد تقویت خواهد شد. ۳ پارامتر نویز جریانی، نویز ولتاژی و خازن ورودی داری اهمیت می باشد که در این میان نویز جریانی در مسیر سیگنال قرار می گیرد بنابراین تقویت کننده ی عملیاتی (OP-amp) انتخاب شده از نظر نویز جریانی باید به شکل بهینه انتخاب گردد. برای این منظور بهتر است از تقویت کننده ی عملیاتی استفاده شود که در ساختار ورودی آن از ترانزیستورهای JFET یا MOSFET استفاده شده است. همچنین بهتر است تا جای ممکن تقویت کننده ی عملیاتی ورودی از خازن کوچکی نسبت به خازن دیود نوری پین برخوردار باشد.



شکل ۲: مدار تقویت کننده ی طراحی شده [4]

شبیه سازی مداری با جایگزین کردن مدل ارائه شده به جای دیود نوری پین در نرم افزار طراحی مدارات الکترونیکی proteus انجام گرفته است. نتایج حاصل از این شبیه سازی با تنظیم پارامترهای مدل انتخاب شده

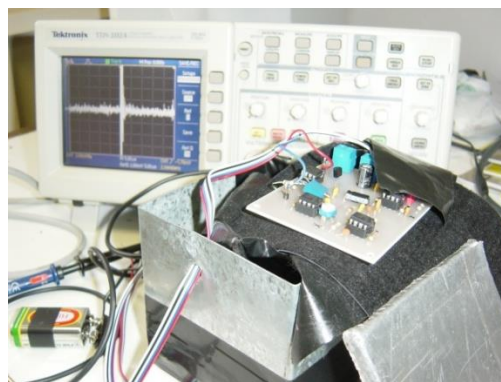
با استفاده از دیتا شیت دیود نوری پین انتخاب شده ثبت گردیده است. خروجی ولتاژ آخرین طبقه در شکل ۳ نشان داده شده است. این خروجی نشانگر ایجاد پیک بیشتر ۱۰ میلی ولت به صورت میرایی ضعیف در عرض چند میکرو ثانیه در خروجی می‌باشد. تصویر نشان داده شده در اسیلوسکوپ شبیه‌ساز در شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی کانال A اسیلوسکوپ می‌باشد.



شکل ۳: خروجی مدار تقویت کننده با استفاده از نرم‌افزار Proteus

ب) نتایج عملی و ساخت دُزنسج گاما با استفاده از آشکارساز دیود نوری پین

پس از آزمایش مدار به وسیله‌ی شبیه‌ساز، مدار طراحی شده در مدار چاپی پیاده‌سازی شده است. مدار چاپی بگونه‌ای طراحی شده که کمترین نویز الکتریکی در مدار باشد. برای این منظور از ایجاد زمین شبکه‌ای در سطح برد و همچنین جعبه‌ای فلزی استفاده شد همچنین برای جلوگیری از ورود نور مرئی و برخورد آن با آشکارساز دیود نوری پین از عایق بندی رنگ مشکی برای دیود نوری و پوشاندن کامل جعبه‌ی آزمایش و برد الکتریکی استفاده شد. شکل ۴ نشان دهنده‌ی مدار ساخته شده به همراه جعبه‌ی عایق‌ساز آن می‌باشد.



شکل ۴: مدار ساخته شده به همراه جعبه‌ی عایق‌ساز

این مدار که برای آشکارسازی و شمارش پرتوی گاما طراحی شده است. دارای خروجی از جنس ولتاژ در طبقه‌ی سوم می‌باشد. ولتاژ خروجی طبقه‌ی سوم مدار به وسیله‌ی اسیلوسکوپ دیجیتال فرکانس بالای مدل Tektronix ثبت شده و در شکل ۵ نشان داده شده است. این خروجی مطابق با نتایج شبیه‌سازی دارای پیک ولتاژ بالای ۱۰ میلی ولت در چند میکروثانیه می‌باشد. در ثبت این نتیجه از آشکارساز دیود نوری پین pp701 شرکت Stanley استفاده شده است. همچنین نتایج ثبت شده بیانگر وجود تقریباً ۱۱ عدد پیک ولتاژی در دقیقه می‌باشد.



شکل ۵: ولتاژ طبقه‌ی خروجی به وسیله‌ی اسیلوسکوپ دیجیتال

نتیجه‌گیری:

در این کار پژوهشی به ساخت تقویت‌کننده‌ی آشکارساز دیود نوری پین پرداخته شده است. این ساخت زمینه را برای ساخت دزیمترهای جیبی در اندازه‌ی کوچک با مصرف توان بسیار کم در ایران فراهم می‌کند که از نظر اقتصادی بسیار قابل اهمیت است. همچنین ارائه‌ی روش شبیه‌سازی ادوات الکترونیکی با حساسیت پایین نسبت به پرتو زمینه را برای آزمایش بسیاری از ادوات الکترونیکی را فراهم می‌آورد.

مراجع:

- [1] C. C. Buena, J. A. C. Gonçalves, R. R. de Magalhães and M. D. S. Santosa, “Response of PIN diodes as room temperature photon detectors”, Applied Radiation and Isotopes 61 (2004), pp.1343–1347.
- [2] Francisco Javier Ramirez Jimenez, “Test Procedure for PIN Diode Radiation Detectors ”, December 2008, pp. 1-20.
- [3] Erhan Emirhan and Cenap S. Ozben, “PIN Photodiode Based X and γ Ray Detectors”, Istanbul Technical University Faculty of Science and Letters, pp. 1-44.
- [4] Markus Rohe, “A True-Random Generator Based On Radioactive Decay”, Security and Cryptography Research Group Saarland University, 2003.