



طراحی و ساخت کانال اندازه گیری قدرت در راکتور تحقیقاتی تهران

مجید، حائری زاده؛ سید محمد، میروکیلی*؛ علی اصغر، صفری؛ حسین، خلفی

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده راکتور

چکیده

هدف از این پروژه طراحی سیستم اندازه گیری خطی قدرت راکتور با استفاده از دتکتورهای شار نوترون در قلب راکتور تحقیقاتی تهران می باشد. در این سیستم با ازدیاد شار نوترونی و افزایش قدرت راکتور، جریان متناسب با قدرت راکتور اندازه گیری شده و مقدار قدرت نمایش داده می شود. این سیستم سیگنال خاموشی راکتور را به ازای افزایش قدرت از حد مجاز ۱۱۰٪ برای سیستم حفاظت راکتور تأمین می کند. سیستم طراحی شده خطای بسیار پایینی دارد و خروجی خطی از قدرت را تا توان ۶/۹ مگاوات تهیه می کند. نتایج تست های انجام شده نشان می دهد حداکثر خطای دستگاه در مد عملیاتی بیشتر از ۲/۷٪ نبوده است که این امر قابلیت بالای سیستم مذکور را می رساند.

کلید واژه: کانال ایمنی، اندازه گیری قدرت راکتور، راکتور تحقیقاتی تهران، سیستم کنترل توان.

۱- مقدمه

هر راکتوری در اثر حرارت تولید شده ناشی از شکافت هسته ای تولید توان حرارتی^۱ می نماید [۱]. اما اندازه گیری مقدار این توان حرارتی روش مناسبی برای تشخیص میزان تغییرات در سطح توان نوترونی بمنظور کنترل راکتور نیست چراکه مانیتورینگ آن نمی تواند نمایانگر تغییرات لحظه ای توان نوترونی درون راکتور باشد. برای کنترل شار نوترونی درون راکتور، نیازمند اندازه گیری معیاری هستیم که پاسخ آن به تغییرات توان نوترونی درون راکتور سریع و لحظه ای باشد [۱]. بدین منظور، توان راکتور معمولاً از طریق نظارت و اندازه گیری مستقیم تشعشعات مربوط به فرآیند شکافت هسته ای اندازه گیری می شود که باعث حذف تاخیر و تقریباً لحظه ای و آنی شدن پروسه اندازه گیری می گردد. اندازه و مقدار این تشعشع کاملاً و بطور مستقیم وابسته به تعداد شکافت های رخ داده است که این خود سطح توان راکتور را تعیین می نماید از طریق اندازه گیری شار نوترونی می توان بدقت توان حرارتی خروجی راکتور را توسط کانال های خطی اندازه گیری قدرت راکتور تخمین و تقریب زد. در این صورت اگر مقدار شار نوترونی از مقدار از پیش تعیین شده برای توان یا نرخ تغییرات توان فراتر رود، سیستم راکتور را می توان به حالت خاموش سوق داد. در نتیجه سریعترین راه مانیتورینگ قدرت راکتور استفاده از نوترون خروجی به واسطه شکافت می باشد که این سیستم مورد استفاده یکی از سریعترین راههای اعمال اسکرم در هنگام اظطرار می باشد، با توجه به این

^۱ Thermal power

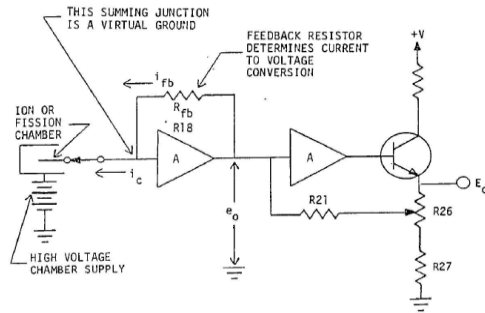


موضوع می توان لزوم استفاده از این سیستم را در راکتورهای هسته ای موردی حساس و مهم دانست که ایمنی راکتور و همچنین در مواردی امنیت منطقه ای قرار گرفتن راکتور را تضمین میکند.

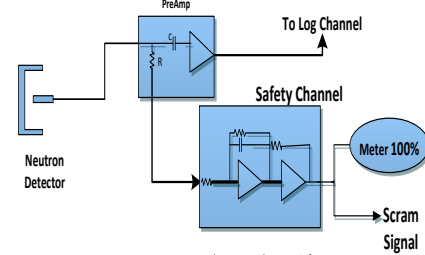
۲- روش کار

کانال ایمنی به واسطه جریانی که از دتکتور دریافت می کند و با آنالیز این جریان توسط سیستم الکترونیکی دو سطح از خروجی را برای سیستم های اعمال تریپ و مانیتورینگ آماده و محیا می کند. یکی از این سطوح خروجی، جریانی است که از مقادیر استاندارد انتقال ۴-۲۰ میلی آمپر پیروی می کند که این بخش از سیستم در مورد راکتور تحقیقاتی تهران موجود نبود که بر روی سیستم قرار گرفته است. خروجی مورد استفاده دوم در سیستم کنونی راکتور مقادیر ولتاژی از ۰-۱۰ ولت می باشد که تحت هیچ یک از استانداردهای کنونی نمی توان از این خروجی استفاده کرد و باید به جریان استاندارد تبدیل شود. علت اضافه کردن خروجی ۰-۱۰ ولت به سیستم را میتوان تطبیق کانال ایمنی در موارد مورد نظر با سیستم های تریپ با سیگنالهای ولتاژی دانست. پس از محاسبه تغییرات جریان خروجی از دتکتور به ازای تغییرات شار نوترونی، سیستم الکترونیکی مناسب جهت اندازه گیری و ثبت مقادیر بصورت خطی طراحی و ساخته شد که توانایی ارسال تریپ های پیش تنظیم شده را دارد.

همه سیگنال ها بجز سیگنال های ورودی از دتکتور که وارد یا خارج می شوند با مدارات داخلی آنها از مدارات مهم دیگر جهت جلوگیری از به وجود آمدن خطای جریانی (که سبب از بین رفتن اطلاعات و مدارات حیاتی میشوند) نسبت به بقیه مدارات ایزوله طراحی شده اند. شکل انمای کلی کانال ایمنی و شماتیک سیستم مذکور را نمایش می دهد. سیگنال های تست و کالیبراسیون مربوطه این سیستم ها در محل بقیه اجزای کانال ساخته می شوند و از کانال های دیگر مجزا هستند و قابلیت کنترل را از خود کانال دارا می باشند. در ساخت مدارات از نیمه هادی هایی با لایه ای شیشه ای از چسب های عایق نوئیز و رطوبت که بر روی برد چاپ میشود، و از عناصری فعال در مدارات انتگرالی یکپارچه استفاده شده است. تغذیه مورد نیاز ± 15 ولت، جریان مستقیم می باشد که با کانکتورهای لبه دار به کانال خطی جریان متصل است.



شکل ۱-ب- شماتیک ساده شده از یک تقویت کننده جریان



شکل ۱-الف- کانال ایمنی در راکتور تهران

۲-۱- سخت افزار کانال ایمنی

ورودی : جریانی از دکتور های اتاقک یونساز. حساسیت: خروجی تمام رنج به جریانی از 10^{-5} تا 10^{-3} بستگی دارد. خروجی: در سیستم طراحی شده از دو رنج ۴-۲۰ میلی آمپر و ۰-۱۰ ولت پیروی می کند و این کانال اندازه گیری دارای نمایشگری است که از ۰ تا ۱۰۰٪ قدرت راکتور مقیاس بندی شده است. مانیتورینگ: نمایشگری با ۰ تا ۱۱۰ درصد قدرت راکتور که قابلیت تغییر دارد. صحت کارایی: با تغییرات نويز نوترونی موجود در قلب راکتور با ۱/۲۲٪ درستی مورد بهره برداری قرار گرفته. مقدار مجاز تغییرات در سیستم : ۲٪ در ولتاژ ورودی سیستم و دمای ۱۰ تا ۴۳ درجه سانتیگراد مجاز می باشد. زمان پاسخ دهی: برای رسیدن به ۶۳٪ از پاسخ نهایی تا زمان ۰/۵ میلی ثانیه محدود شده است.

شکل ۲ نمایی از الکترونیک کانال ایمنی، سیستم تغذیه $15 \pm$ ولت و کیس مورد نظر ساخته شده را نشان می دهد. جریان فیدبک I_{fb} باید با جریان خروجی از اتاقک یونیزاسیون I_c برابر باشند بدلیل اینکه جریان ورودی به تقویت کننده عملیاتی مقداری ناچیز است و مجموع جریان های ورودی به گره باید برابر صفر باشد ، بنابراین ولتاژ خروجی از آمپلی فایر برابر با $I_c \times R_{fb}$ می باشد. در نهایت ولتاژ خروجی متناسب با جریان، که این جریان هم متناسب با شار نوترون تابشی به چمبر است متناسب شده است. چهار مد اصلی کاری برای کانال خطی وجود دارد [۱] که عبارت است از :

۱- **مد عملیاتی:** بر روی این وضعیت حساسیت (فیدبک) کانال با تغییر مقاومت فیدبک (R_{fb}) کنترل می شود و میزان تقویت نیز از تغییر پتانسیومتر که در روی فیدبک قرار دارد امکان پذیر می باشد با تغییر مقاومت فیدبک تغییر بزرگی (در حدود یک دهه یا بیشتر) در ضریب بهره سیستم خواهیم دید .

۲- **وضعیت ورودی** $EO \uparrow = i_c \times (R_{21} + R_{26} \uparrow)$ صفر: برای چک کردن صحت

کانال خطی از این مد استفاده میشود و به ازای ورودی

جریان صفر یک خروجی ولتاژ صفر باید تولید شود. در این مد تقویت کننده جریان با یک مقاومت به زمین



اتصال میابد و جریان آفست از میان فیدبک به سمت زمین جاری می شوند. جریان و ولتاژ آفست در مقایسه با ۱۰ ولت خروجی کانال ایمنی بسیار مهم و حیاتی می باشند .

۳- **وضعیت کالیبراسیون** : در مد کالیبراسیون کانال ایمنی بجای مسیر ورودی عادی از دتکتور ، جریان مورد نظر کالیبراسیون وارد کانال می شود که این جریان مقداری است جهت ۱۰۰٪ کردن خروجی که به همین واسطه سیگنال های تریپ تست شوند.

۴- **وضعیت سیگنال تست خطا** : در این مد کانال ایمنی ، جریان تولید شده به ورودی سیگنال ایمنی اضافه می گردد ، به دلیل افزایش تدریجی جریان، خروجی ولتاژ نیز به صورت تدریجی افزایش میابد بدون اینکه در فعالیت ایمنی راکتور دخالتی صورت گیرد ، در نتیجه می توان از این افزایش قسمت های مربوط به تریپ را در هر زمان مورد تست قرار داد .

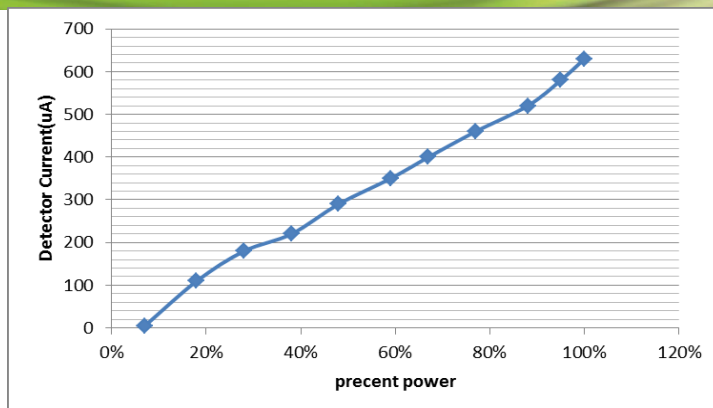
سه مد اول توسط یک سویچ ایمنی (که دارای جایگا های Operate, Zero, Calibrate می باشد) که در زیر میتر نمایش قرار دارد کنترل می شود . چهارمین مورد توسط سویچ کانال ایمنی سیگنال تست خطا و یک پتانسیومتر انجام می گیرد .



شکل ۲- نمایی از الکترونیک کانال ایمنی ، سیستم تغذیه ± 15 ولت و کیس مورد نظر ساخته شده

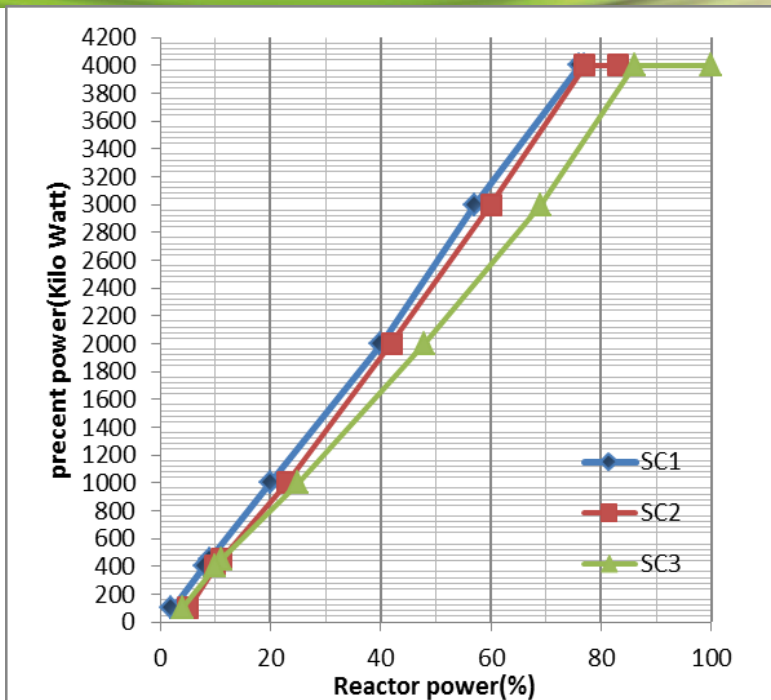
۳- نتایج

محدوده جریان ورودی از 2×10^{-5} تا 3×10^{-3} آمپر و با صحت $1/2\%$ خروجی رنج کامل کارایی دارد [۱]. جهت تست کانال ایمنی، سیستم به راکتور تهران منتقل شده و جایگزین کانال ایمنی شماره ۲ گردید، ورودی از یک دتکتور نوترون گرفته شد که دتکتور مورد سنجش قدرت راکتور تهران بوده است و با یک برنامه زمانبندی شده راکتور تهران در حالت بحرانی قرار گرفت و با افزایش قدرت تا ۵ مگاوات مقادیر جریانی حاصل از دتکتور نوترون و مقادیر بدست آمده از کانال ایمنی طراحی شده ثبت شد که نتایج کاملاً خطی بدست آمد. درصد مقادیر بدست آمده از قدرت در کنسول راکتور تحقیقاتی ۵ مگاواتی تهران توسط سیستم کاتال خطی ایمنی همانطور که در شکل ۳ دیده می شود، قرار داده شده است .



شکل ۳ - نمودار مقادیر جریان ورودی به کانال و درصد نمایش قدرت سیستم به ازای این مقادیر

در تست بعدی نیاز به تعیین صحت مقادیر خروجی از کانال ایمنی طراحی شده بود که در این رابطه به مقایسه کانال ساخته شده با کانال های موجود در راکتور تحقیقاتی تهران نیاز بود. با انتقال مجدد کانال طراحی شده به راکتور و برنامه ریزی جهت مقایسه صحت کارکرد کانال طراحی شده با کانال های موجود، راکتور تهران بحرانی گردید و مقادیر خروجی ها از دو کانال ایمنی راکتور و کانال طراحی شده ثبت گردید و این مقادیر مورد مقایسه قرار گرفتند در نمودار رسم شده شکل ۴ قرار گرفتند، شکل ۴ کانال ایمنی طراحی شده (نمودار قرمز، SC₂) در مقایسه با کانال های خطی مربوط به دو آشکار ساز دیگر (نمودار آبی و سبز، SC₁ و SC₃) که مجزایی از این سیستم بودند را نشان می دهد. مشاهده می شود که دقت خطی بودن این کانال بسیار بیشتر از دو کانال دیگر است. این سیستم بر اساس روش های ساخت کانال های ایمنی راکتورهای هسته ای طراحی و ساخته شده و خطای مجاز ۳/۳٪ کل خروجی می باشد که در تمامی تست ها نتایج بدست آمده، خطای بیشتر از ۷/۲٪ نبوده است که این امر قابلیت بالای سیستم مذکور را می رساند.



شکل ۴- مقایسه کانال طراحی شده با کانال های ایمنی موجود در راکتور تهران

۴- نتیجه گیری

نتایج آزمایشات انجام شده بر روی دستگاه نشان می دهد دقت خطی بودن این کانال بسیار مناسب می باشد و زمان پاسخ دهی سیستم طبق طراحی در حدود ۰/۵ میلی ثانیه می باشد و با توجه به مقایسه و بررسی انجام شده ساخت این کانال ایمنی به عنوان یکی از کانال های حفاظت راکتور و جهت کنترل توان در سیستم های هسته ای بسیار مناسب و مقرون به صرفه می باشد .

۵- مراجع

[۱] سازمان انرژی اتمی ایران، دستورالعمل کامل ابزار دقیق و اتوماسیون کنسول راکتور تحقیقاتی ۵ مگاواتی تهران، ۱۳۹۲ .