

# طراحی و ساخت راکتیویته متر دیجیتال جهت استفاده در راکتور تحقیقاتی تهران



سید هاشم موسوی | کارشناس ارشد مهندسی راکتور و دفتر فنی مهندسين مشاور رهاب  
حسین خلفی | معاون پژوهشی سازمان انرژی اتمی

## چکیده:

در این تحقیق طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری راکتیویته برای راکتورهای هسته ای ارایه شده است. این دستگاه خروجی تقویت شده اتافک فیسبون (F. C) را که یک جریان در حد میلی آمپر می باشد به عنوان ورودی دریافت می کند. جریان مذکور پس از عبور از مدارهای تقویت کننده تبدیل به ولتاژ شده و پس از اینکه توسط میکرو کنترلر سیگنال آنالوگ به دیجیتال تبدیل شد به پورت سریال کامپیوتر فرستاده می شود و در آنجا توسط نرم افزار، راکتیویته حاصل می گردد. در آخر راکتور تحقیقاتی تهران برای آزمون دستگاه راکتیویته متر انتخاب گردید و نتایج حاصله با اندازه گیریهای تجربی مقایسه گردیده است.

کلید واژه: راکتیویته، معادلات سینتیک، میکروکنترلر پیک، ارتباط سریال، متلب

## مقدمه:

از راکتیویته متر در هنگام شروع بکار و یا کار عادی راکتور، تعیین همزمان راکتیویته جهت ایمنی و رسیدن به سطح توان مورد نظر، نمایش دقیق راکتیویته در سطوح توان بالا و جهت تعیین راکتیویته ناشی از دما و سموم تولیدی، تعیین ارزش راکتیویته بسته های جدید سوخت و نمونههای تابش دیده و نهایتاً در سیستم کنترل راکتور استفاده میشود. [۱] تمامی موارد فوق ضرورت داشتن اطلاعات دقیقی از راکتیویته را مشخص می نماید. روشهایی که برای اندازه گیری راکتیویته مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از:

- (۱) - محاسبات متوازن، (۲) - دینامیک و (۳) - معادلات سینتیک نقطه ای [۲].

**تئوری:** در روش سینتیک، تغییرات راکتیویته میتواند پیوسته باشد و راکتیویته در هر مورد با تحلیل تغییرات زمانی سطح توان راکتور با استفاده از معادلات سینتیک نقطه ای بدست میآید. زوج معادلات دیفرانسیل سینتیک نقطه ای قابل تبدیل به یک معادله دیفرانسیل انتگرالی برای  $P(t)$  میباشد که بصورت زیر است:

$$\rho(t) = \beta + \frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt} - \frac{\beta}{P(t)} \int_0^t D(u)P(t-u)du - \frac{l^* S(t)}{\beta P(t)} \quad (1)$$

که در آنها  $P(t)$ : توان راکتور در زمان  $t$ ؛ راکتیویته سیستم،  $C_i(t)$ : چگالی مولدهای نوترونیهای تأخیری گروه  $i$  ام،  $\lambda_i, \beta_i$ : ثابت واپاشی و کسر نوترونیهای تأخیری متناظر با هر گروه،  $l^*$ : طول عمر متوسط نوترون در راکتور و  $S(t)$ : منبع خارجی نوترون هستند.

$$D(u) = \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^6 \beta_i \lambda_i e^{-\lambda_i u}$$

که در آن

با در نظر گرفتن مقادیر فعلی و قبلی با زیر نویس ۰ و ۱، متناظراً میتوانیم بنویسیم [۳]:

$$\rho_1 = \beta + \frac{l^*}{P_1} \left( \frac{P_1 - P_0}{\Delta t} \right) - \frac{1}{P_1} \sum_{i=1}^6 \beta_i \lambda_i S_{i1} \quad (10)$$

$$S_{i1} = S_{i0} e^{-\lambda_i \Delta t} + \frac{1}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i \Delta t}) \left\{ P_0 - \frac{P_1 - P_0}{\lambda_i \Delta t} \right\} + \frac{P_1 - P_0}{\lambda_i} \quad (11)$$

$$S_{i0} = \frac{\langle P_0 \rangle}{\lambda_i} \quad (12)$$

مقدار اولیه  $S_i$  از مقدار متوسط سطح توانی که راکتور در آن بحرانی است بدست میآید.



شکل (۱) مراحل انجام کار توسط مدار طراحی شده

خصوصیت خوب دریافت سیگنال در این دستگاه این است که این سیستم می تواند هر کدام از سیگنالهای کانالهای فلاکس نوترون را انتخاب کند. سیستم دریافت دیتا شامل یک مدار تقویت کننده، یک مدار تغییر علامت و مبدل A/D میکروکنترلر پیک می باشد، که این مبدل می تواند ۸، ۱۰ و ۱۲ بیتی باشد [۴].

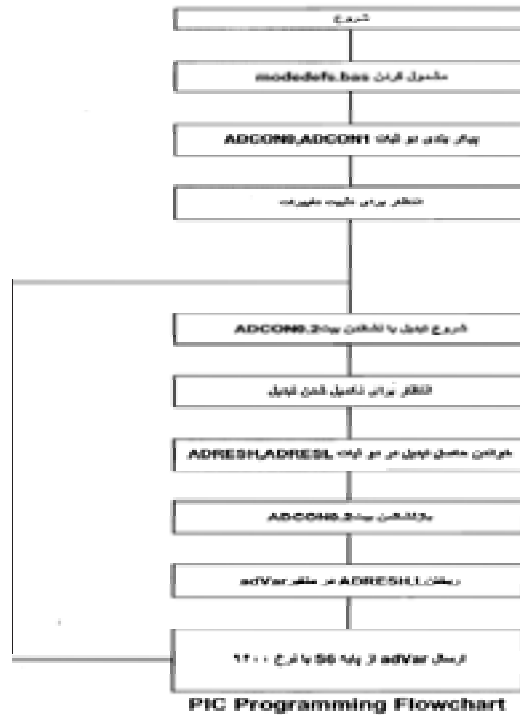
#### دریافت دیتا:

در این بخش سیگنال جریان خروجی کانالهای نمایش نوترون که بین ۰ تا ۲۰ میلی آمپر است به ولتاژی بین ۰ تا ۵ ولت تبدیل خواهد شد. این ولتاژ نیز توسط MAX ۲۳۲ به پورت سریال ارسال خواهند شد. مبدل آنالوگ به دیجیتال مورد استفاده که همان مبدل PIC ۱۶F۸۷۷ است ۱۰ بیتی و دارای ۸ ورودی آنالوگ است.

#### الگوریتم محاسبه راکتیویته:

برای انجام محاسبات راکتیویته از دو نوع برنامه ریزی استفاده می کنیم، یکی برنامه ریزی با PIC BASIC PRO جهت پروگرام کردن میکرو کنترلر و گرفتن سیگنال، تبدیل به دیجیتال و نهایتا کنترل I/O ها. این دو برنامه با هم کار می کنند. بعد از انجام موفقیت آمیز تبدیل آنالوگ به دیجیتال باید این مقادیر را روی کامپیوتر بفرستیم، جهت این کار از پروتکل RS۲۳۲ استفاده می کنیم، و برای هم تراز کردن سطوح ولتاژ میکرو و کامپیوتر از MAX ۲۳۲ استفاده می کنیم و کامپیوتر با استفاده از برنامه MATLAB اقدام به فراخوانی این مقادیر می کند.

بنابراین برنامه MATLAB هر بار مقدار ارسال شده را گرفته پس از انجام محاسبات مقدار نهایی راکتیویته را نشان خواهد داد. اگر بخواهیم نگاهی کلی به برنامه داشته باشیم چنین است که ابتدا با دستور Set مشخصات شامل Baud

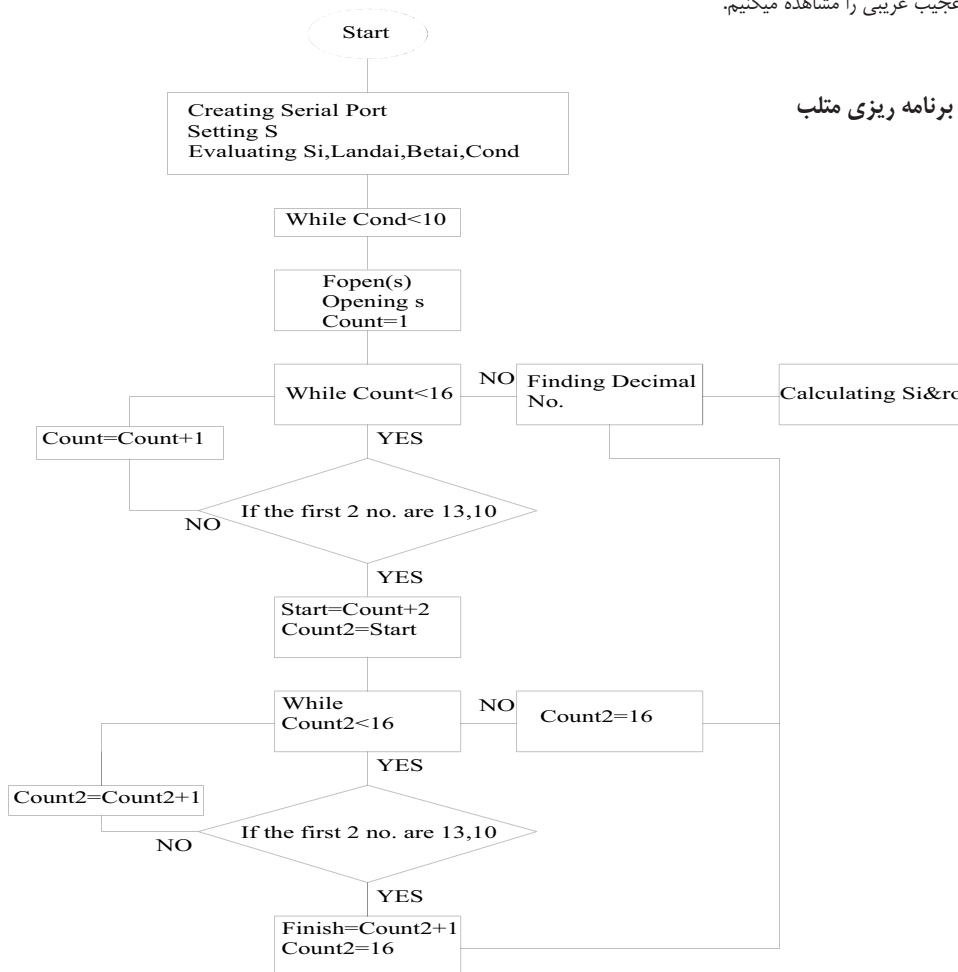


شکل (۲) فلوجارت برنامه ریزی میکرو کنترلر

rate، parity و مابقی چیزها را مشخص میکنیم.

سیس با دستور fopen(s) دستور باز شدن پورت و با دستور fread(s) دستور خواندن اطلاعات روی پورت را میدهیم. اما نکته حایز اهمیت این است که پس از اجرای چنین برنامه های اعداد عجیب غریبی را مشاهده میکنیم.

شکل (۳) فلوجارت برنامه ریزی متلب



اندکی دقت در این اعداد متوجه شدیم که این اعداد کد اسکی اعدادی است که نمونه برداری شده و روی پورت فرستاده میشوند. بنابراین با نوشتن دو برنامه شرطی این اطلاعات اضافی را حذف میکنیم حال باید این اعداد باقی مانده را از حالت ستونی به کنار هم آورده و عدد دسیمال نهایی را استخراج کنیم در وهله اول چون میدانیم مقدار هر عدد برابر با کد اسکی آن عدد منهای ۴۸ است این اعداد را استخراج و سپس با رابطهای ساده که هر عدد را با مقدار متناظرش در توانی از ۱۰ ضرب میکند به مقدار دسیمال نهایی میرسیم.

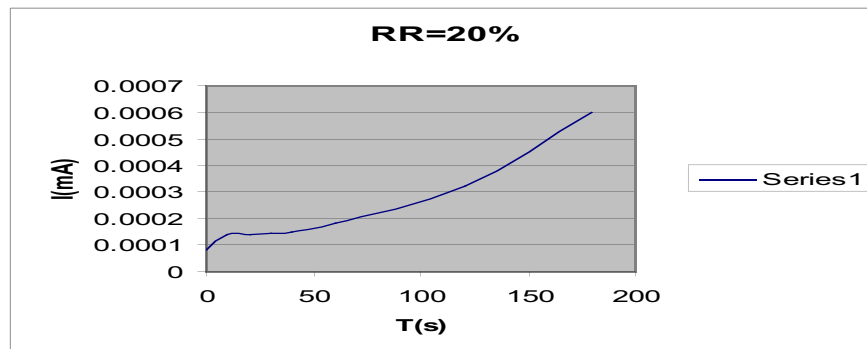
نکته مهم دیگر تبدیل عدد حاصل به عدد واقعی حاصل از تبدیل و نهایتاً تبدیل به توان است. همانطور که قبلاً ذکر شد خروجی مبدل A/D یک عدد باینری بین صفر تا ۱۰۲۳ و متناظر با ولتاژ ورودی صفر تا ۵ ولت است (البته با ولتاژ مرجع صفر تا ۵ ولت). برای تبدیل این عدد به عدد واقعی یعنی ولتاژ نمونه برداری شده باید این عدد را در ۵ ضرب و بر ۱۰۲۳ تقسیم کنیم و برای بدست آوردن مقدار جریانی که تبدیل به ولتاژ کرده بودیم باید این عدد را بر میزان تقویتی که انجام دادیم نیز تقسیم کنیم و با توجه به رابطه  $P(t) = W_f \nu \sum_f (n_t)$  با ضریب موجود مقدار  $p(t)$  را بدست میآوریم. حال به محاسبه  $p(ave)$  و سپس مقادیر  $S_i$  ها و نهایتاً راکتیویته میپردازیم. برای تخمین دقیق مقدار اولیه راکتیویته روی ۵۰ نمونه اولیه میانگین گیری می کنیم. در اولین فرصت که این مقدار اولیه بدست آمد MATLAB با استفاده از بقیه مقادیر به محاسبه راکتیویته می پردازد. بعد از اتمام محاسبات برنامه به ابتدا بریده و مقدار جدید را گرفته تا دوباره محاسبات را انجام دهد.

به دلایل زیر این دستگاه برای نمایش راکتیویته در شرایط تحت بحرانی بدون در نظر گرفتن یک سری موارد توصیه نمی شود [۳].  
 ۱- کاربرد معادلات P.K در شرایط تحت بحرانی توصیه نمی شود. ۲- در این شرایط سطح فلاکس نوترون در مقایسه با نوسانات خیلی پایین آمده و خطای زیادی داریم. ۳- در این شرایط دانستن قدرت چشمه خیلی مهم است ولی بدست آوردن آن دشوار است. با مشاهده توزیع فلاکس نرمالیزه شده در یک سیستم تحت بحرانی متوجه می شویم که برای سیستمی با چشمه نوترون همگن، مقادیر نرمالیزه شده فلاکس نوترونها سریع و حرارتی به ازای تغییرات در شرایط تحت بحرانی تقریباً ثابت مانده است و برای سیستمی با چشمه نقطه ای نوترون، فلاکسهای نوترونها سریع و حرارتی با تغییرات میزان شرایط تحت بحرانی تغییر کرده ولی دارای یک نقطه ثابت هستند. اگر محلی را برای آشکار ساز خود بیابیم که در آن فلاکس نرمالیزه شده ثابت بماند راکتیویته متر قادر به اندازه گیری میزان شرایط تحت بحرانی خواهد بود. در ضمن همانطور که می دانیم چگالی نوترون حول مقدار متوسط خود نوسان می کند که این نوسانات را می توانیم با یک فیلتر پایین گذر با تاخیر درجه اول فیلتر کنیم. نهایتاً وقتی مقدار چشمه نوترون نامعلوم باشد اما چگالی نوترون اولیه  $n_0$  در محل آشکار ساز و ضریب تکثیر معلوم تناظرش  $k_{eff}$  مشخص باشند با معادله  $S = \frac{(1 - k_{eff})n_0}{\lambda}$  می توانیم قدرت چشمه را بدست آوریم. با توجه به مباحث مطرح شده در بالا میتوانیم دستگاه خود را برای تعیین میزان شرایط تحت بحرانی نیز بکار ببریم.

### نتایج:

جهت آزمایش دستگاه طراحی شده، ارزش بخشی از میله کنترل تنظیمی RR را بدست می آوریم. بدین گونه که میلههای کنترل ایمنی ۱، ۲، ۳، ۴ به ترتیب در وضعیت ۶۰٪، ۶۰٪، ۶۰٪، ۱۰۰٪ میباشند. میله کنترل تنظیمی (RR) را در موقعیت ۱۰٪ قرار میدهیم و پریود متر عدد بینهایت را نشان میدهد، سپس میله کنترل تنظیمی RR را به اندازه ۲۰٪ بیرون میآوریم و قدرت شروع به افزایش میکند، سپس دو برابر پریود را اندازه میگیریم. پس از اندازه گیری دو برابر پریود توسط جدول موجود در اتاق کنترل مقدار پریود  $\Delta p$  را میخوانیم سپس با وارد کردن میله کنترل ایمنی شماره ۴ مجدداً راکتور را بحرانی میکنیم. برای بررسی نتایج دستگاه، جریان خروجی F.C را به ازای زمانهای مختلف اندازه گیری میکنیم تا حدس بزینم شکل جریان اعمالی به دستگاه چگونه است. در نهایت جواب خروجی دستگاه را که همان راکتیویته میباشد مشاهده میکنیم و در انتها جواب بدست آمده را با مقادیر تئوری بدست آمده مقایسه میکنیم. جریان به ازای  $RR=20\%$  بدست آمده است. چنانچه منحنی حاکم بر رفتار فوق را رسم نماییم یک منحنی نمایی خواهد شد که در زیر آمده است و معادله آن به شکل زیر است.

$$I=0.0001 \exp(0.0099t)$$



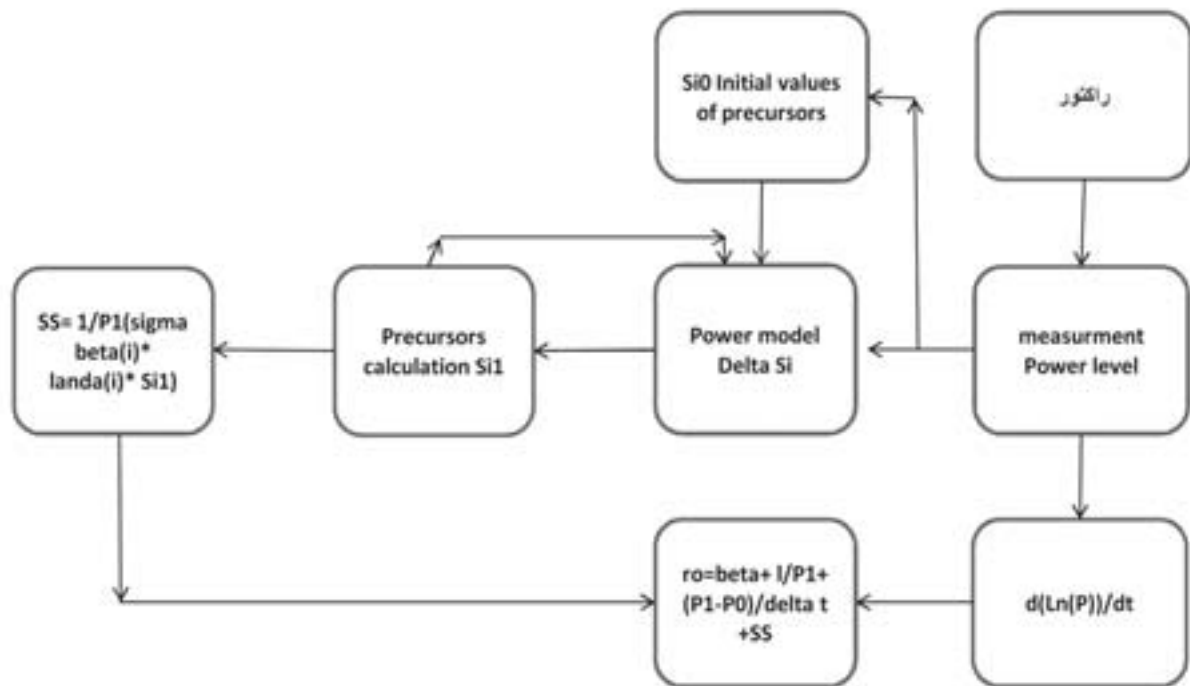
شکل(۴) نمودار جریان اعمالی به راکتیویته متر

### مقایسه نتایج نهایی:

مقایسه نتایج گرفته شده از دستگاه و مقدار واقعی راکتیویته در جدول زیر آمده است.

جدول(۱) مقایسه نتایج

درصد میله کنترل تنظیمی RR%	مقدار راکتیویته (\$) بدست آمده از آزمایش	مقدار راکتیویته (\$) بدست آمده از قرائت دستگاه دیجیتال	خطای دیجیتال
۲۰٪	۰,۰۴۸	۰,۰۴۶	۴٪



**بحث و نتیجه گیری:** با توجه به آزمایش بالا با افزایش هرچه بیشتر فرکانس نمونه برداری میتوانیم خطا را به مقدار دلخواه کاهش دهیم، در ضمن میتوانیم با صرف هزینه های بیشتر از ادوات DSP استفاده کنیم و در نتیجه سرعت و دقت دستگاه را به میزان زیادی افزایش دهیم. از آنجاییکه در این دستگاه از مدارهای مشتغیر استفاده نشده، خطای ناشی از نویز پذیری که در مدارهای آنالوگ مشاهده می شود به شدت کاهش می یابد.

#### مراجع

- [۱] S. E. Binney and A. J. M. Bakir, "Design & development of personal computer based reactivity meter for a research reactor". Nucl. Tech., vol. ۸۵, pp. ۱۲-۲۱, Apr. ۱۹۸۹.
- [۲] E. Profio, Experimental reactor physics. New York: Wiley, ۱۹۷۶.
- [۳] Seyyed Hashem Moosavi "Online reactivity meter design and construction for research reactors" Shahid Beheshti University Department of Nuclear Engineering September ۲۰۰۸.
- [۴] Dr. Sattar Mirzakuchaki. Saeed Rejabzadeh. Seyed Abedin Karimi, "PIC MICROCONTROLLER", Elmo Sanat ۳۱۱, ۱۳۸۴-۲۰۱۳۰۴-University, Tehran, ۱۹۶
- [۵] O. Cificioglu & M. Gekinli "A CAMAC based reactivity meter for nuclear reactors". Nucl. Instrument. ۳۲۶, ۱۹۸۰.-methods, ۱۷۷, pp. ۳۲۱
- [۶] J. Lamarsh, Introduction to Nuclear Reactor Theory. New York: Addison-Weslwy, ۱۹۶۶.