



دانشگاه شهرد

## طراحی و ساخت مبدل زمان به دامنه(TAC) برای مکان یابی پرتو های X و γ

سید رضا هادیان امرئی<sup>\*</sup>، حمید ایران منش<sup>‡</sup>

۱- پژوهشکده علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران

۲- نظارت خدمات فنی، سازمان انرژی اتمی ایران

صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران- ایران

چکیده:

در این مقاله طراحی و ساخت یک سیستم آشکار سازی و تبدیل سیگنالهای جهت آشکار ساز تناسبی چند سیمه با زمانی دو سیگنال را بطور تناسبی به ارتقای پالس تبدیل می کند؛ مورد بررسی قرار گرفته است. این سیگنالها پس از تبدیل به اطلاعات رقمی دیجیتال توسط مبدل *Analog to Digital Converter (ADC)*، به یک تحلیلگر چند کاناله یا *MCA (Multi Channel Analyzer)* اعمال می شود. این اطلاعات سپس از طریق یک رابط انتقال اطلاعات موازی (*CAMAC Parallel data Acquisition Interface*) به یک پردازشگر رقمی (*Digital Processor*) و یا رایانه شخصی منتقل می شود و پردازش، نمایش و ثبت آنها توسط نرم افزار مناسب انجام می گیرد. در سیستم طراحی و ساخته شده محدوده زمانی قابل اندازه گیری از ۰ تا ۵۰ نانو ثانیه و دامنه پالس قابل اعمال به *MCA* صفر تا ۱۰ ولت با تعداد ۴۰۹۶ کانال شمارش بود. به این ترتیب با آزمایش مدار توسط ماجول های الکترونیک هسته ای استاندارد *ORTEC* دقیق اندازه گیری ۵۲ پیکو ثانیه و خطای آن ۶۴ پیکو ثانیه به دست آمد که در مقایسه با سیستم های مشابه با توجه به سادگی سیستم طراحی و ساخته شده، از دقیق مناسبی برخوردار می باشد.

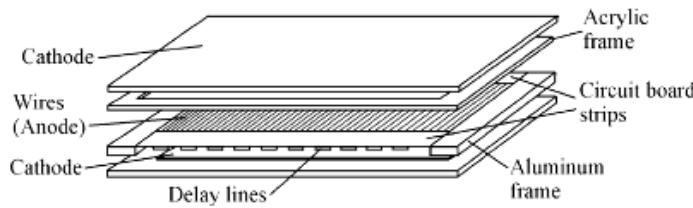
**واژه های کلیدی:** مبدل زمان به دامنه، آشکار ساز تناسبی چند سیمه، تحلیلگر چند کاناله، مبدل آنالوگ به دیجیتال

### ۱- مقدمه

یکی از آشکار سازهای گازی با قابلیت مکان یابی محل برخورد ذرات و پرتو های یونساز در تصویر برداری X آشکار ساز تناسبی چند سیمه (*MWPC*) است. در شکل شماره (۱) ساختار فیزیکی این آشکار ساز دیده می شود. مطابق شکل در این آشکار ساز سیم های آند به تعداد زیاد و بطور موازی بین دو صفحه کاتد قرار گرفته اند و جهت ایجاد فاصله بین آنها برای جلوگیری از تولید جرقه الکتریکی از قابلهای عایق استفاده می شود. این نوع آشکار ساز ها عموما از نوع جریان گاز (*Gas Flow*) هستند [۱].



دانشگاه شهرد



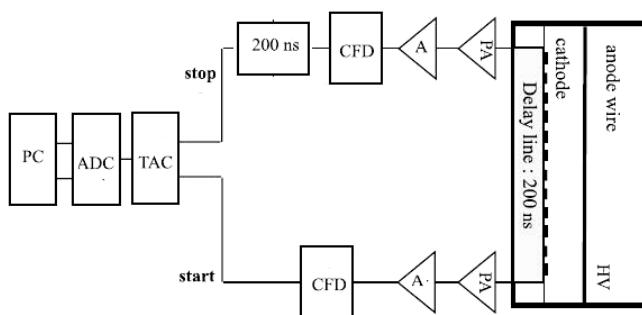
شکل ۱- ساختار فیزیکی ومدار خط تأخیر آشکار ساز MWPC

یکی از روشها جهت آشکار سازی محل برخورد ها فوتونها یا ذرات بونساز در MWPC استفاده از تاخیر زمانی بین پالسهای رسیده از سیمهای متواالی است. در این صورت مقدار تأخیر ایجاد شده در پالس هر آند ( $P_n$ ) به اندازه حاصلضرب شماره آن ( $n$ ) در مقدار زمانی یک قطعه خط است [۲].

(۱)

$$T(P_n) = n \times T_0 = n \times T(LC)$$

در شکل شماره (۲) روش آشکارسازی مکان با تأخیر ثابت بطور خلاصه دیده می شود. پالسهای رسیده از دو سر آشکار ساز که به یکی از آنها یک تأخیر ثابت افزوده شده پس از تقویت به ورودیهای شروع و پایان TAC داده می شوند؛ و تفاوت زمانی آنها پس از تبدیل به عدد باینری در ADC توسط پردازنده رایانه شخصی محاسبه می گردد و مکان ذره ورودی بدست می آید [۳].



شکل ۲- سیستم آشکار سازی تفاوت زمان به کمک تأخیر ثابت

دستگاه مبدل بازه زمانی به دامنه پالس یا اختصاراً TAC (Time to Amplitude Converter) یکی از دستگاههایی است که در تجزیه و تحلیل سیگنالهای حاصل از آشکارسازهای هسته ای از جمله سنجش انرژی نوترونها بروش زمان پرواز [۴]، مکان یابی فوتونها در آشکارسازهای تناسبی چند سیمه [۵]، آشکارسازهای چرنکوف [۶]، اتفاق رانش یونی [۷] کاربرد دارد. این دستگاه اختلاف زمانی بین دو پالس الکتریکی ورودی را به طور خطی به دامنه پالس خروجی تبدیل می کند.

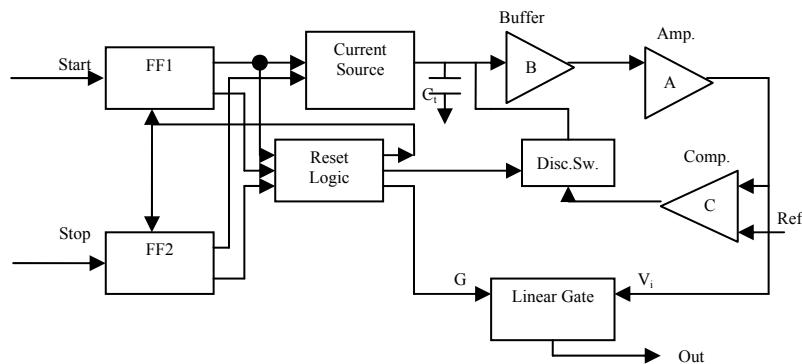


دانشگاه شهر



## ۲- طراحی و ساخت مدار مبدل زمان به دامنه (TAC)

دستگاه TAC که بلوک دیاگرام آن در شکل شماره (۳) نشان داده شده است، دارای دو ورودی شروع (STOP) و پایان (START) است که فاصله زمانی بین رسیدن دو سیگنال متوالی به این دو ورودی را به دامنه پالس خروجی تبدیل می‌کند. این ورودیها هر کدام به یک فلیپ فلامپ نوع D اعمال می‌شوند که خروجی‌های آنها یک منبع جریان ثابت را کنترل نموده و موجب قطع یا وصل شدن جریان ورودی به خازن زمان سنج Ct می‌گردد. ولتاژ جمع شده روی خازن- که متناسب با اختلاف زمان ورود دو سیگنال است- از طریق تقویت کننده ولتاژ پیرو (Voltage-Follower) به ورودی مثبت جمع کننده ولتاژ اعمال می‌گردد که سطح ولتاژ خروجی را به طور مناسب تنظیم می‌کند. این ولتاژ ابتدا جهت محدود سازی آن به ورودی مثبت مقایسه گر ولتاژ اعمال می‌شود. در صورت افزایش بیش از حد مجاز از طریق کلید تخلیه سریع؛ موجب تخلیه خازن Ct و کاهش ولتاژ می‌گردد. در غیر این صورت ولتاژ مذکور با اعمال به ورودی  $V_i$  گیت خطی دامنه پالس خروجی را تعیین می‌کند. پس از پایان عمل تبدیل، فرمانهای لازم برای باز گرداندن فلیپ فلامپ‌های ورودی و ولتاژ خازن به حالت اولیه توسط مدار باز نشانی (Reset) ایجاد می‌شود.



شکل ۳- بلوک دیاگرام مدار TAC

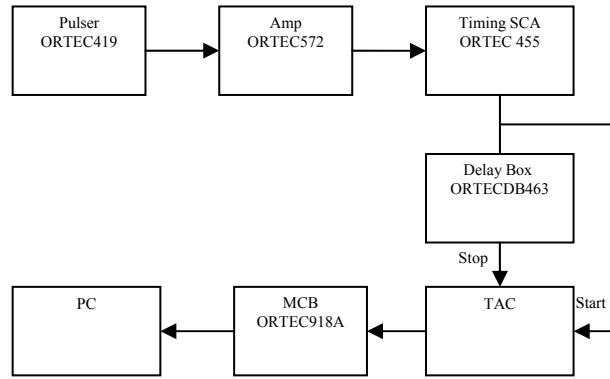
## ۳- مدار آزمایش TAC و چگونگی تنظیم دستگاه‌های بکار رفته

بلوک دیاگرام مدار آزمایش دستگاه TAC ساخته شده در شکل شماره (۴) نشان داده شده است و نقشه مدار الکترونیکی ان نیز در پیوست مشاهده می‌گردد. جهت تولید پالسهای ورودی، از یک مولد پالس هسته‌ای مدل ORTEC 419 استفاده شده که پالسهای با زمان صعوددر حد  $nS$  و زمان فروددر حد  $\mu\mu S$  مشابه پالسهای واقعی آشکار ساز تولید می‌نماید. این پالسهای جهت تقویت دامنه و شکل دهی مناسب، به یک تقویت کننده مدل ORTEC 572 داده می‌شود که یک موج خروجی تقریباً متقاضان با الگوی گوسی در خروجی این تقویت کننده بدست می‌آید. خروجی تقویت کننده به یک دستگاه تحلیلگر زمانی تک کانالی (Timing SCA) مدل ORTEC 455 داده می‌شود. در خروجی مدار دستگاه تحلیلگر زمانی تک کانالی، یک خط تأخیر مدل ORTEC DB-463 قرار می‌دهیم که تأخیرهای ثابت قابل تنظیمی را از ۱ تا ۶۴ نانو ثانیه بین دو پالس ورودی "شروع" (START) و



دانشگاه شهر

(Multi Channel TAC) به یک مدار حافظه واسطه چندین کanalی یا (STOP) ایجادمی کند. خروجی ORTEC 918A می رود که از طریق آن در حافظه رایانه شخصی (PC) ثبت شده و به کمک نرم افزار مناسب مشاهده خواهد بود.



شکل ۴- بلوك دياگرام مدار آزمایش TAC ساخته شده

اگر محدوده شمارش از صفر تا ۱۰ ولت و تعداد کanalها ۱۰۲۴ عدد باشد، عرض هر کanal تقریباً برابر است با:

(۲)

$$W_{ch} = \frac{10V}{1024} = \frac{10000mV}{1024} \square 10mV$$

#### ۴- شرح آزمایش و تفسیر نتایج

##### ۴-۱ کالیبراسیون و محاسبه مقادیر تنظیمات لازم دستگاه MCA

برای کالیبره کردن MCA با یک چشممه پرتوزای تک انرژی و پالسهای حاصل از یک آشکارساز هسته ای ضریب تبدیل انرژی به دامنه بصورت زیر به دست می‌آید:

(۳)

$$\frac{V}{E} = A_d \times A_p \times A_m$$

که در آن:

$A_d$  : ضریب تبدیل آشکار ساز  $\left( \frac{mV}{eV} \right)$

$A_p$  : ضریب تقویت کننده اولیه  $\left( \frac{mV}{mV} \right)$

$A_m$  : ضریب تقویت کننده اصلی  $\left( \frac{V}{mV} \right)$  را نشان می دهند.

سپس با دانستن رابطه تعداد کanal و محدوده شمارش، عرض هر کanal ( $W_{ch}$ ) را طبق رابطه (۲) و شماره کanal مورد نظر را بصورت زیر محاسبه می کنیم:



دانشگاه شهر

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



انجمن هسته‌ای ایران

(۴)

$$N_{ch} = \frac{A_d \times A_p \times A_m \times E_s}{(V_H - V_L) / n} = \frac{V_p}{(V_H - V_L) / n}$$

که در آن:

 $N_{ch}$ : شماره کanal مورد نظر $E_s$ : انرژی فتوونی چشمی رادیو اکتیو $V_H$ : ولتاژ حد بالائی محدوده شمارش $V_L$ : ولتاژ حد پائینی محدوده شمارش $n$ : تعداد کانالهای شمارش $V_p$ : ولتاژ قله (Peak) معادل انرژی فتوونی چشمی را نشان می دهد.

با قرار دادن مقدار بدست آمده از رابطه (۴) در نمودار کالیبراسیون، کلیه انرژیهای پرتوها و دامنه پالسهای ورودی MCA کالیبر خواهد شد. برای کالیبر کردن دستگاه، ابتدا پالسی با دامنه مشخص  $V_p$  (ولت) به ورودی MCA داده و با استفاده از رابطه (۴) می توان شماره کanal متناظر را بدست آورد و عمل کالیبراسیون MCA بدین ترتیب انجام می گیرد.

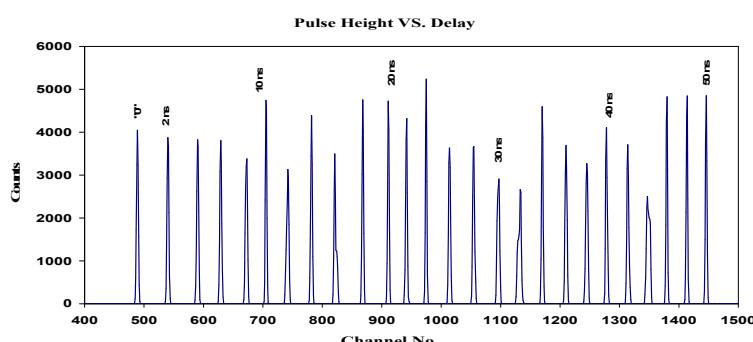
## ۴-۲ محاسبه خطای تبدیل

فرکانس مولد پالس را روی ۱۰۰ هرتز قرار داده و با تنظیم دامنه پالس خروجی تقویت کننده و سپس تنظیم پنجره تحلیلگر تک کاناله زمانی، شکل پالس مناسب را ایجاد می کنیم. با کمک کلیدهای انتخاب زمان روی جعبه تأخیر بصورت زیر می توان تاخیرهای دلخواهی ایجاد کرد.

(۵)

$$S_0 \dots S_5 = (1 + 2 + 3 + 4 + 8 + 16 + 32) \times 1ns$$

در هر مرحله دستگاه MCA به مدت ۳۰۰ ثانیه با تأخیر ثابت عمل شمارش را انجام می دهد. نمودار کلی شمارش در شکل شماره (۵) دیده می شود که محور افقی شماره کanal و محور عمودی تعداد شمارش در هر کanal و در بالای قله هر کanal زمان تأخیر متناظر را نشان می دهد.

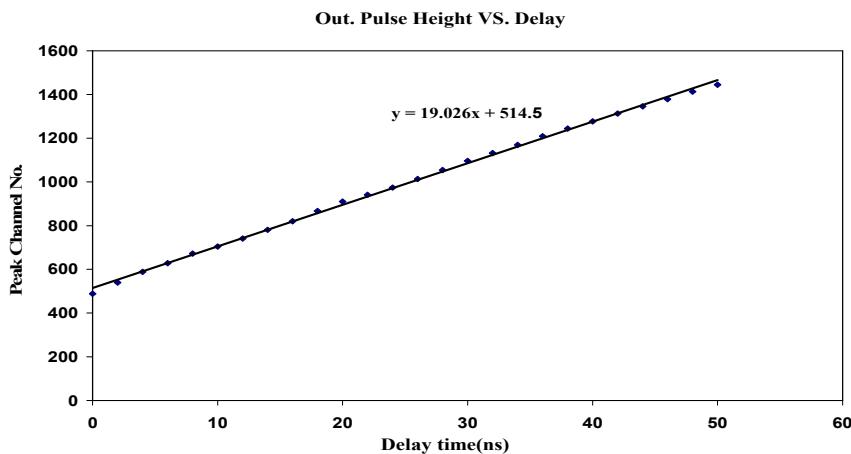


شکل ۵- نمودار شمارش به ازای تأخیرهای مختلف از ۰ تا ۵۰ نانو ثانیه



دانشگاه شهر

در شکل شماره (۶) با دادن مقادیر بدست آمده بعنوان مختصات X و Y نقاط مربوط به رابطه شماره کanal با مقدار تأخیر به صورت خطی رسم گردیده است.



شکل ۶- نمودار رابطه خطی شده تأخیر زمانی با شماره کanal

در اینجا مقدار ضریب همبستگی معادله  $y = 0.9994x + 514.5$  بدست آمده است. با استفاده از پارامتر کالیبراسیون با تبدیل شماره کanal به ولتاژ ، رابطه نهائی بین دامنه پالس خروجی با مقدار تأخیر زمانی بین ورودیهای شروع و پایان بدست می آید

#### ۵- خلاصه و نتیجه گیری

دستگاه مبدل بازه زمانی به دامنه پالس یا اختصاراً TAC (Time to Amplitude Converter) یکی از دستگاههایی است که در تجزیه و تحلیل سیگنالهای حاصل از آشکارسازهای هسته ای کاربردهای وسیعی دارد. در این مقاله چگونگی ساخت و آزمایش دستگاه TAC و سایر مدارات جانبی مورد بررسی و نهایتاً دستگاه مذکور طراحی، ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است.

نمودار تبدیل تأخیر زمانی به ارتفاع پالس برای TAC ساخته شده با درون یابی خطی و محاسبه Regression بدست آمده است. دقت متوسط تبدیل در این آزمایش برابر ۵۲ پیکوثانیه و حداقل خطا با در نظر گرفتن انحراف از حالت خطی ۴۶ پیکوثانیه محاسبه شده است. اندازه گیری در محدوده ۲ تا ۵۰ نانو ثانیه با خطای حدود ۱ درصد می باشد.

بنابر این می توان نتیجه گرفت که مدار TAC ساخته شده برای اندازه گیری تأخیر زمانی بین ۲ تا ۵۰ نانو ثانیه دقت مناسبی دارد. مقایسه خطای به دست آمده از این آزمایش با خطای حاصل از دستگاههای استاندارد نشان دهنده دقت قابل قبول دستگاه TAC ساخته شده می باشد و بنابر این با اتصال این سیستم به آشکارساز MWPC می توانیم مکان ذرات را با دقت بالا تعیین کنیم.



دانشگاه شهر



**References:**

1. F. Ortúñoz-Prados, A. Bazzano, A. Berry, C. Budtz-Jørgensen, C. Hall, W. Helsby, R. Lewis, B. Parker and P. Ubertini, "A high-pressure MWPC detector for crystallography," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol.420, Issue 3,11, 446-452, (1999).
2. M. Tanaka, H. Ikeda, M.Ikeda and S. Inaba, "Performance of a monolithic time-to-amplitude converter for high precision TOF measurements," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 312, Issue 3, 585-590,(1992).
3. Z. Wang, Z. Xu and S. Huang, "Measuring time spectra with time-to-amplitude converters," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 450, Issues 2-3 , 415-418,( 2000).
4. L.M. de AndradeFilho; A.F. Barbosa; H.P. Lima; P.R.B. Marinho, "A TDC-Based System for X-Ray Imaging Detectors," Nuclear Science, IEEE Transactions on Vol..52, Issue 4, 932 – 937, (2005).
5. T.K. Ghosh; S. Pal; T. Sinha; S. Chattopadhyay; K.S. Golda and P. Bhattacharya, "Time of flight (TOF) spectrometer for accurate measurement of mass and angular distribution of fission fragments in heavy ion induced fission reactions," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol.540, Issues 2-3, 285-294, (2005).
6. W.J.C.Olx ; C.W.E.van Eijk; R.de Vries, "A novel compact threshold Cerenkov detector," Nuclear Science, IEEE Transactions on Vol.37, Issue 3, 1149 – 1152,(1990).
7. M H. Kelsey, "Performance and aging of the BaBar Drift Chamber Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 535, Issues 1-2, 206-211 (2004).

پیوست: نقشه الکترونیکی مدار TAC



دانشگاه  
شهرورد

## چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

