資 料

日本原子力研究所における放射線測定器の
モジュール・システム

金原 節朗*, 熊原 忠士*

(1969年 9月12日 受理)

Nuclear Instrument Modules in the Japan Atomic Energy Research Institute

By Setsuro KINBARA and Tadashi KUMAHARA

Technical information on the nuclear instrument module system used in the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) for general nuclear experiments is presented. This JAERI module system accords with the NIM standard adopted in 1966 by the U.S.AEC. Already in JAERI nearly 1,000 units of the module representing 47 varieties, have been produced and supplied to various laboratories in JAERI. The module system possesses many features embodied in the pulse shape discriminating circuit, the time pickoff circuit and the high resolution spectrometry system. A description is given of these features, as also of the circuit configuration and characteristics of these units, which include general purpose nuclear instruments.

1. は し が き

放射線計測はパルスの計数から始まり、シングルチャネル・アナライザからマルチチャネル・アナライザによる測定へと発展し、エネルギー分布の測定に限らず時間分布や粒子弁別等の複雑な測定が一般に行われるようになってきている。また、エネルギー分布の測定では、半導体検出器の進歩により測定精度が飛躍的に向上し、雑音特性や安定度のよいものが要求されるようになり、全般的に測定系の多様化と高度化が行われている。

放射線測定器の形態は、真空管時代からすでにモジュール化が行われており、1957年に Hawell(英)で 2000シリーズの標準化を行なっている。しかし、モジュール化が一般に考えられるようになったのは、1960年前後からトランジスタ化が急速に進んで小形化が可能になって、従来の19"パネル・シャーシを縦割りにした、いわゆるモジュールが一般に用いられるようになり、その標準化が必要になってからである。1961年に EURATOMで"ESONE"規格⁽¹⁾が制定され、つづいて1964年には U.S.AEC で"NIM"規格⁽²⁾を制定している。その他各機関毎の規格は非常に多く現われているが、一般性のあるものは上記2規格が代表的なもので

ある。これらの規格はその後順調に発展し、前者はヨーロッパの一部で、後者はアメリカを中心に世界的に普及し、わが国でも NIM 規格が一般的に使われるようになってきている。

NIM 規格のモジュール・システムは **Photo. 1** に示すように高さ8 $\frac{3}{4}$ "(5 $\frac{1}{4}$ "もある)、幅19"のビンに単位幅(34.4 $\pm$ 0.1)のモジュールが12個挿入できるようになっている。ビンの背面下部には電源をもっており ± 24 V, ± 12 V, AC115 V が用意されている。モジュールとビンとの電氣的接続は同軸コネクタ6個を含む42ピンのコネクタで接続され、広い分野に適用できるよう考慮されている。一般放射線測定用のモジュール・システムでは、上記の標準コネクタからは電源だけが供給され、信号は前面および背面パネルにコネクタを設けて直接出し入れするようにしている。そのため構造および電源関係が規格に合っていれば、任意の位置に任意のメーカーで作られた任意の機能のモジュールを挿入することができ、きわめて高い互換性をもっている。

原研では内外の情勢を検討し、1966年に放射線測定器の標準形態として U.S.AEC の NIM 規格を採用す

* 日本原子力研究所(Japan At. Energy Res. Inst.)

Photo. 1 Front view of the typical module system

ることとし、NIM規格に準拠した“原研型モジュール・システム”⁽³⁾を制定した。そしてピン電源を初め一般放射線測定系を中心に、高分解能測定系や時間測定系、波形弁別系等を開発してきている^{(4)~(8)}。現在(1969年8月)までに47機種が開発され、約1,000台が製作されている。

原研におけるモジュール・システムは、需要が原研内の研究や業務範囲に限られているので、種類は低エネルギー関係のものが主で、その中でもスロー系を中心に開発してきている。その中で特徴となる点を述べておくと、測定対象となる情報を整理し、波高、時間、波形、計数といった基礎情報が容易に測定できるように考慮されている。特に波形情報の測定は一般には特殊測定の扱いをされているが、原研型モジュール・システムの中では一般のディスクリと同等の容易さで扱うことができる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。また、時間検出⁽¹¹⁾⁽¹²⁾やベースライン再生回路に独特な方式を持っており、各ユニットの随所に適用して性能の向上を計っている。さらに、半導体検出器の発展に対処して 10^{-4} 以下の測定精度を目標にした高分解能測定系の開発を進めている^{(13)~(15)}。その他一般的な機能回路は任意の測定系を組むことができるように各種用意しており、これらは極力IC化を行なって性能や信頼度の向上を計っている⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。

以下原研型モジュール・システムについて、系統別および類似用途のグループ別に主なものを紹介したい。

2. 放射線測定系の構成とモジュール・システム

放射線の測定系は、基本的には検出器で得られたパルスをプリアンプ、リニヤ・アンプで増幅し、アナライザで測定することで構成される。この基本形に対し付

属的な高圧電源や、測定目的を拡大するための種々な機能回路、さらに測定精度を向上するための補助回路等が加わり、それらを種々組み合わせて実際の測定系が構成される。このような測定系のうち検出器とアナライザを除く部分がモジュール化されている。

測定系の構成をエレクトロニクス的立場からみるとFig. 1のようになり、パルス系では波高、時間、波形、計数の基礎情報が測定対象となっている。また信号の流れからみて、検出器部、増幅部、情報の検出部、時間処理部、領域の選択部、相互制御部、測定部等に分けられる。

原研型モジュール・システムはFig. 1の測定系が満足に構成されるよう各種のモジュール・ユニットが開発されており、そのModel番号を各ブロックの右下に示した。

Fig. 1を簡単に説明すると、検出器からの出力パルスはプリアンプやリニヤ・アンプで増幅され、その直後で目的とする情報の検出を行う。その後で特に時間関係の処理を行い、アナログ量への変換も行われる。次に、情報の相互処理を行うため各情報の領域選択を行い、つづいて相互処理を行なって測定系に信号を送っている。Fig. 1は機種を整理した形でまとめているが、実際の測定系ではさらに複雑で重複したものとなる。

各モジュール・ユニット間のパルス信号は、アナログ情報をもったリニヤ・パルスとロジック・パルスとに分けられ、さらにそれぞれのライズタイムや分解時間によってファースト・パルス(ライズタイム: 10^{-8} sec程度, 分解時間: 10^{-7} sec程度以下)とスロー・パルスに

動作の半導体検出器用の電荷増幅型プリアンプで、Model 125 では $770 \text{ eV} + 45 \text{ eV/pF (fwhm Ge)}$ の雑音特性をもち、 10 nsec 以下のライズタイムをもっている。Model 124 はシンチレーション検出器用の電圧増幅型プリアンプで、光電子増倍管の出力パルスのディケイタイムが変えられるようになっている。これらのプリアンプは、すべて入力段に接合型電界効果トランジスタ (JFET) を使用して、低雑音と高入力インピーダンス特性を得ている。Fig. 3 に Model 125 の回路構成を示す。

Fig. 3 Simplified circuit diagram of the Model 125 fast charge sensitive preamplifier

Model 134 A は、測定系の直線性や雑音特性、動作試験等に使われるパルスで、ライズタイムとフォールタイムがそれぞれ $10 \sim 250 \text{ nsec}$, $50 \sim 400 \mu\text{sec}$ に変えられるようになっている。

4. 増幅ユニット

検出器で得られたパルスを処理しやすいレベルまで増幅するリニア・アンプは、種々の検出器や測定目的に適用できるように、広い範囲のゲイン・コントロールとパルス整形ができることが必要であり、さらに高分解能や高精度の測定に適するよう、雑音特性、安定度、直線性のよいことが要求される。 S/N や時間分解能を改善するためのパルス整形には、CR-RC フィルタやディレイライン・クリッピングやアクティブ・フィルタ等が用いられ、これらの時定数はシンチレーション検出器では $0.1 \sim 1 \mu\text{sec}$ 、半導体検出器では $1 \sim 5 \mu\text{sec}$ 、比例計数管では $2 \sim 10 \mu\text{sec}$ の範囲が使用される。リニア・アンプとしてはそれぞれの用途に応じて、Model 131 A マルチモード・アンプ、Model 152 A ダブル・ディレイライン・アンプ、Model 163 リニア・アンプ等が使用される。

Model 131 A はもっとも広く使われるもので、ゲインが $0.4 \sim 500$ で、 $0.1 \sim 10 \mu\text{sec}$ に時定数を変えられる2段の CR 微分フィルタと1段の積分フィルタをもち、さらに $0.8 \mu\text{sec}$ のシングルまたはダブル・ディ

レイライン整形が行えるようになっている。このアンプの最少ライズタイムは 100 nsec 以下で、入力等価雑音は $8 \mu\text{V}$ 以下、安定度は $0.01\%/^{\circ}\text{C}$ 以下で、 $0 \sim +10 \text{ V}$ の出力パルスに対して $\pm 0.1\%$ 以下の直線性をもっている。

Model 152 A は、ゲインが $0.4 \sim 500$ で $0.2 \sim 1.6 \mu\text{sec}$ のシングルまたはダブル・ディレイライン整形ができ、さらに外部のディレイラインによって任意時定数の整形もできるようになっている。Fig. 4 は、Model 152 A の整形回路を示したもので、増幅回路の出力段トランジスタ (Q_4) のエミッタ側とコレクタ側から逆位相の出力をそれぞれ抵抗回路とディレイラインを経て次の増幅段のサマ・ポイントに接続している。このときに負荷の不均衡による波形歪が生じないように Q_4 で補正作用を行わせている。

Fig. 4 Partial circuit diagram of the shaping circuit of the Model 152 A double delayline amplifier

Model 163 は IC 化された小型 (単位幅) のリニア・アンプで、ゲインが $10 \sim 500$ で $0.4 \sim 1.6 \mu\text{sec}$ の CR-RC² または CR²-RC 整形が行えるようになっている。このリニア・アンプの構成は Fig. 5 に示すように、入力段と出力段を除く中間の増幅段に CA3030A を使用して IC 化している。

Fig. 5 Block diagram of the Model 163 linear amplifier

特に速い ($< 10 \text{ nsec}$) 時間情報や計数値を得たい場合には、検出器の電流パルスをそのまま広帯域増幅する方が適している。Model 158 デュアル・ファースト・アンプはこのような用途に適した増幅器で、ゲインが 10 でライズタイムが 5 nsec 以下の直結型広帯域増幅器を2組内蔵している。Fig. 6 は Model 158 の回路を示したもので、 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ 以下の安定度と -1 V の出力電

とができる。また、各設定点は入力パルスの条件に応じて適当に変えられるように可変となっており、 $0.1 \sim 10 \mu\text{sec}$ の広い波形範囲にわたって適用することができる。Model 154A もほぼ同様の動作原理であるが、ライズタイムを専用に測定する。2つのコンパレータ回路は全く同様に作っており、検出点を任意のフラクションに設定でき、入力パルスの立上り部分の任意の部分を測定できる。

その他の機能は、両者共にアップパーレベル・ディスクリとロアレベル・ディスクリを持っていて、エネルギーの特定領域を選定できる。入力範囲は測定対象(ライズタイムまたはパルス幅)が $0.1 \sim 10 \mu\text{sec}$ で、振幅は $+0.2 \sim +10 \text{ V}$ 、波形はバイポーラ、ユニポーラ等任意に適用できる。電圧特性は $20:1(+10 \sim +0.5 \text{ V})$ で $\pm 1\%$ 以下、温度安定度 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ 以下が得られる。

これらのユニットは、出力がアナログ量で得られるので定量的な解析に用いることができ、マルチパラメータ測定にも有用である。Fig. 12 は、Model 154A を用いた有機シンチレータによる $n\text{-}\gamma$ 弁別の測定例で、ライズタイム分布を示している。Fig. 13 は、シリコン・サーフェス・バリア検出器で ${}^6\text{Li}(n-\alpha)\text{T}$ 反応を測定したときの α 線のエネルギー分布で、Model 154A による波形弁別を行なった時と行わない時を示しており、効果が顕著に現われている。

Risetime distribution of the NE-213 and the photomultiplier for the mixed radiation source by the Model 154A

Fig. 12

Pulse height distributions of the surface barrier Si detector for the ${}^6\text{Li}(n-\alpha)\text{T}$ reaction with or without pulse shape discrimination by the Model 154A

Fig. 13

9. 計数系ユニット

計数系はスケーラ兼タイマのユニバーサル・スケー

ラ Model 146 と、 100 MHz 以上の計数速度を持つプリスケラ Model 160がある。Model 146は Photo. 1 に外観が示されているが、計数容量10進6桁、計数速度最大 15 MHz 、 $0 \sim \pm 10 \text{ V}$ のインテグラル・ディスクリを内蔵しプリセットもできる。タイマとして使用するときには 0.1 sec のクロックでプリセット・タイマとなる。動作モードは、単独の動作をさせるノーマル・モードのほかに、数個のスケーラを組み合わせて動作させ、そのグループのマスターあるいはスレーブとして任意に使えるようになっている。さらに、リード・アウト・コントロール(Model 147)と組み合わせてデータのプリント・アウトも可能である。Model 160 は Model 146 のプリスケラとなるもので、計数容量は10進1桁、速度は 100 MHz 以上で動作モードは Model 146 と合わせてある。

計数系としてはこのほか Model 161 のレート・メータがある。Model 161 はリニアとログの両方で、リニア・レートメータとしては 10^5 Hz まで、ログ・レートメータとしては 10^6 Hz まで計数でき、メータ表示をするとともにレコーダ出力を出している。

10. 回路の IC 化

モジュール・システムの開発に当っては回路の IC 化ということを1つの要点として行なって来ている。現状では回路の全面的 IC 化という段階に至っていないが、リニア IC およびディジタル IC を随所に用いて特性の改善と信頼度の向上を図っている。

用いられた IC の種類は、リニア IC では $10 \sim 50 \text{ MHz}$ の周波数特性を持った早い演算増幅器と、 10^4 以上の高利得演算増幅器、それにコンパレータ等である。早い演算増幅器は、Fig. 5 のリニア・アンプの中間段に 50 MHz の CA3030A が用いられており、Figs. 9~11 に示す IC 化ベースライン・レストアラには $\mu\text{A}702$ が用いられている。リニア IC は、大振幅で早いライズタイムが要求される用途に対しては適当なものがなく、リニア・アンプ等では限定された条件で使われている。将来スリウ・レートの大きな IC が得られれば全面的に IC 化が考えられる。高利得の演算増幅器は Fig. 2 の高圧電源や一般電源に用いられており、 10^{-4} オーダの特性が得られている。コンパレータは Figs. 9~11 の振幅弁別回路等に用いており、温度特性はきわめて安定でフルスケールのとき $2 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 以下である。リニア IC の問題点は、入力端子間の差動入力電圧が $\pm 5 \text{ V}$ で制限されるため、 $+10 \text{ V}$ をフルスケールとしているモジュール・システムには不十分で、入力信号を分割して使用しなければなら

ない欠点がある。

次に、デジタル IC は、スケーラなどデジタル回路には全面的に使っており、Model 146 には TTL・IC を、Model 160 には CML・IC を用いている。そのほかデジタル IC を用いている所は内部の補助的パルス回路で、例えば Model 136A, 133A, 154A, 155 等の内部制御回路に用いている。これらの部分はプロパゲーション・ディレイやその温度特性が問題にならないところである。簡便に使える IC は RTL, DTL, TTL 等であるが、これらは飽和型であるためプロパゲーション・ディレイが大きく (5~40 nsec)、温度特性も $0.1 \sim 0.3 \text{ nsec}/^\circ\text{C}$ あるので時間情報を直接扱うことは問題で、このような部分はトランジスタのカレント・スイッチ回路を用いている。

今後の IC 化については IC の性能に期待され、リニア IC ではスリュー・レートが早くダイナミック・レンジの大きなもの、さらにパワーのとれるものの出現が望まれる。デジタル IC では簡便で早いものが期待される。

11. む す び

ここ 1, 2 年急増した需要に対処するため、回路内容が十分検討されていないものも 1, 2 あるが、それらは順次検討していきたいと考えている。今後の問題として、特性上は高分解能系を中心に吟味し、性能の向上を計り、ADC やデジタル・スタビライザ、アナログ・スタビライザ、各種インスペクタも充実していきたいと考えている。それから計数系はまだ不十分で、中規模な自動測定ができるような計数系に発展させ、さらにアナライザまたはコンピュータの周辺データ処理系あるいはデジタル・システムといった系を検討する段階に来ているように思われる。今後原研内の動向とともに上記の方向の開発を進めていきたいと考えている。

以上紹介した原研型モジュール・システムの開発は、所内各研究室の指導と協力や、関係課の援助によってなしたもので、これらの課室に対しここに深く感謝いたします。この開発の当初は高田 稔 JPDR 第三課長 (元エレクトロニクス課長)、および現在では恩田利夫課長から適切な指導を頂いている。現在モジュール・システムの開発は、設計係の諸氏および著者らによって試作設計を行い、山谷建三郎氏および技術係諸氏が製作、調整を担当し、本田泰健氏および業務係の諸氏が対外接渉などをそれぞれ担当している。

本資料をまとめるに当っては種々ご指導とご協力をいただいた恩田課長および各担当諸氏に深く感謝いたします。

— 参 考 文 献 —

- (1) EUR/C-IS/731/63, (Mar. 1963).
- (2) TID-20893, (July 1964); Rev. 1, (Jan. 1966); Rev. 2, (Jan. 1968).
- (3) 金原節朗, 他: JAERI-memo 3768, (Oct. 1969).
- (4) 同 上: JAERI-memo 2908, (Nov. 1967).
- (5) 同 上: JAERI-memo 3165, (July 1968).
- (6) 同 上: JAERI-memo 3375, (Jan. 1969).
- (7) 同 上: JAERI-memo 3376, (Jan. 1969).
- (8) 同 上: JAERI-memo 3605, (June 1969).
- (9) 金原節朗, 熊原 忠士, 猪俣新次: JAERI-memo 3160, (July 1968).
- (10) KINBARA, S., KUMAHARA, T.: Nucl. Instrum. Methods, **70**, 173 (1969).
- (11) 金原 節朗, 熊原 忠士, 猪俣新次: JAERI-memo 3159, (July 1968).
- (12) KINBARA, S., KUMAHARA, T.: Nucl. Instrum. Methods, **67**, 261 (1969).
- (13) 金原節朗, 熊原忠士: 原子力工業, **14**[8], 45 (1968).
- (14) 熊原忠士: Radioisotopes, **17**[10], 499 (1968).
- (15) 金原節朗: 同 上, **17**[10], 504 (1968).
- (16) 熊原忠士: 原子力工業, **15**[9], 25 (1969).
- (17) 金原節朗: 同 上, **15**[9], 31 (1969).

欠 本 求 む

本「会誌」バックナンバーの希望が多く、つぎのものが欠本になりました。

「和文誌」 Vol. 10, No. 10,

Vol. 11, No. 5~9

ご不要の向きがありましたら、上記各号 1 冊でも、定価(¥ 200)で引き取りますので、現品を事務局宛ご送付願います。

「和文誌」・「欧文誌」各専用 合 本 ファ イ ル

和文、欧文各誌約 12 冊を、簡単な操作で自由に入替えできるファイルです。

布装幀で、金文字の和文、欧文の各誌名が入った美麗・堅牢なもの。

大変便利で好評をいただいております。

1 冊 ¥ 200 円 (千別)