

JAERI - M

85-191

放射線測定の数え落とし補正法の開発

1985年11月

片 桐 政 樹

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 山出軽印刷所

放射線測定の数え落とし補正法の開発

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

片 桐 政 樹

(1985年10月24日受理)

放射線検出器からの出力信号をシングルチャンネル波高弁別器を用いて計測する場合に数え落としが生ずる。この数え落としを補正する方法として、デッドタイムの補正公式を簡単な回路によって構成する方法を開発した。本補正方法は、数え落としたパルス信号を実時間内に補正する方法であり、約19Kcpsの信号を1%の誤差で測定できた。

また、マルチチャンネル波高分析装置を用いてスペクトル測定を行う場合の数え落としの補正を行う方法として、パルサーのパルス波高とその発生時間が一定であることを利用して補正する方法を開発した。デッドタイムの補正に使用した回路は、通常使用されているNIMモジュールで構成する簡便な方法であるが、37Kcpsの計数率の信号を約1%の誤差で補正することができた。

Development of dead time correction methods  
for radiation pulse signal measurements

Masaki KATAGIRI

Department of Reactor Engineering, Tokai Research establishment, JAERI  
(Received October 24, 1985)

Dead time correction method has been developed to compensate the counting loss which is produced in the measurement of radiation detector signals with a single channel analyzer. This method utilizes a simple combination of electronic circuits, which simulates dead time correction formula, to correct the counting loss in real time. The experiment showed that signals of 19 kcps was measured in error of about 1 %.

Also, another dead time correction method utilizing a pulse generator has been developed for the counting loss in spectroscopy of radiation pulse signals by means of a multichannel pulse height analyzer. The electronic circuit for this dead time correction method can be composed of ordinary NIM modules. By this method, signals of 37 kcps was measured in error of about 1 %.

Keywords : Dead Time Correction, Radiation Pulse, Counting Loss, Gamma-ray,  
Multichannel Analyzer, Pile-up

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 補正方法及び回路構成 .....	1
2.1 計数率測定における数え落とし補正方法及び回路構成 .....	1
2.2 スペクトル測定における数え落とし補正方法及び回路構成 .....	2
3. 試験結果 .....	7
3.1 計数率の数え落とし補正試験結果 .....	7
3.2 ガンマ線スペクトル測定における数え落とし補正試験結果 .....	7
4. 結 論 .....	11
参考文献 .....	11

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Counting loss correction methods and constructions of the electronic circuits .....	1
2.1 Counting loss correction method and construction of the electronic circuits in counting rate measurements .....	1
2.2 Counting loss correction method and construction of the electronic circuits in gamma-ray spectroscopy .....	2
3. Measuring results .....	7
3.1 Results of counting loss correction in counting rate measurements .....	7
3.2 Results of counting loss correction in gamma-ray spectroscopy .....	7
4. Conclusions .....	11
References .....	11

## 1. ま え が き

放射線検出器を使用してガンマ線などの測定を行う場合に測定回路系における数え落としが精密な計数測定を行う上で大きな問題となる<sup>1), 2)</sup>。

このため、測定回路系の数え落とし補正に関する方法の開発を行った。放射線測定を行う上で数え落とし補正を行う必要がある場合は大きく分けて2つある。1つは、放射線検出器からの出力信号をシングルチャネル波高弁別器を用いて計測し放射線の計数率を測定する場合に生ずる数え落としの補正である。1つは、マルチチャネル波高分析装置を用いて放射線のスペクトル測定を行う場合に生ずる数え落としの補正である。

通常、前者について、シングルチャネル波高弁別器からの出力信号を計数回路において測定し、デッドタイムの時間だけ計数時間を延長して測定することによって補正する方法が使用されているが、回路が複雑であり、かつ実時間内に計数結果を得ることができなかつた。このため、実時間内に数え落としの補正を簡単に行うことができ、かつ通常の計数回路あるいは計数率計を用いて測定できるような数え落とし補正回路の開発を行った。

一方、マルチチャネル波高分析装置を用いて行うガンマ線スペクトル測定においては、従来、波高分析装置のADC (Analog-Digital Converter) のデッドタイム時間の補正のみが行われて来たが、精密定量測定あるいは高計数率測定においては、主増幅器から出力されるアナログ信号のパイルアップによる数え落としの補正が重要な課題となっていた。このため、パイルアップリジェクター回路が開発されたが、回路を付加できない波高分析装置も多くかつパイルアップリジェクター回路が高価であること及び回路を付加しても設定によっては過った補正を行ってしまうなどの問題点があった。このため、通常のNIMモジュールの組み合わせによって、補正回路を構成しかつ補正性能の優れた数え落とし補正方法の開発を行った。

## 2. 補正方法及び回路構成

計数率の数え落とし補正方法については、デッドタイムの補正公式を展開し補正項を簡単な回路によって構成する方法を開発した。また、スペクトル測定の数え落とし補正方法については、パルサーのパルス波高及びそのタイミングを利用して補正する方法を開発した。

### 2.1 計数率測定における数え落とし補正方法及び回路構成

放射線検出器から出力される信号を計数回路によって測定する場合、シングルチャネル波高弁別器によって信号の波高を弁別しデジタル信号化し計数を行う。この場合、数え落としは放射線信号を波高弁別器によって弁別している間に次のパルスが入って来てしまうことにより生ずる。放射線の数え落としの補正は、真の計数率を $M$ 、計測した計数率を $m$ 、測定回路のデッドタイム

## 1. ま え が き

放射線検出器を使用してガンマ線などの測定を行う場合に測定回路系における数え落としが精密な計数測定を行う上で大きな問題となる<sup>1), 2)</sup>。

このため、測定回路系の数え落とし補正に関する方法の開発を行った。放射線測定を行う上で数え落とし補正を行う必要がある場合は大きく分けて2つある。1つは、放射線検出器からの出力信号をシングルチャネル波高弁別器を用いて計測し放射線の計数率を測定する場合に生ずる数え落としの補正である。1つは、マルチチャネル波高分析装置を用いて放射線のスペクトル測定を行う場合に生ずる数え落としの補正である。

通常、前者について、シングルチャネル波高弁別器からの出力信号を計数回路において測定し、デッドタイムの時間だけ計数時間を延長して測定することによって補正する方法が使用されているが、回路が複雑であり、かつ実時間内に計数結果を得ることができなかつた。このため、実時間内に数え落としの補正を簡単に行うことができ、かつ通常の計数回路あるいは計数率計を用いて測定できるような数え落とし補正回路の開発を行った。

一方、マルチチャネル波高分析装置を用いて行うガンマ線スペクトル測定においては、従来、波高分析装置のADC (Analog-Digital Converter) のデッドタイム時間の補正のみが行われて来たが、精密定量測定あるいは高計数率測定においては、主増幅器から出力されるアナログ信号のパイルアップによる数え落としの補正が重要な課題となっていた。このため、パイルアップリジェクター回路が開発されたが、回路を付加できない波高分析装置も多くかつパイルアップリジェクター回路が高価であること及び回路を付加しても設定によっては過った補正を行ってしまうなどの問題点があった。このため、通常のNIMモジュールの組み合わせによって、補正回路を構成しかつ補正性能の優れた数え落とし補正方法の開発を行った。

## 2. 補正方法及び回路構成

計数率の数え落とし補正方法については、デッドタイムの補正公式を展開し補正項を簡単な回路によって構成する方法を開発した。また、スペクトル測定の数え落とし補正方法については、パルサーのパルス波高及びそのタイミングを利用して補正する方法を開発した。

### 2.1 計数率測定における数え落とし補正方法及び回路構成

放射線検出器から出力される信号を計数回路によって測定する場合、シングルチャネル波高弁別器によって信号の波高を弁別しデジタル信号化し計数を行う。この場合、数え落としは放射線信号を波高弁別器によって弁別している間に次のパルスが入って来てしまうことにより生ずる。放射線の数え落としの補正は、真の計数率を $M$ 、計測した計数率を $m$ 、測定回路のデッドタイム

を $\tau$ とすれば,

$$M = m / (1 - m\tau)$$

で表わすことができる。

従って、この公式にもとづいて放射線の数え落としの補正を行うことができる回路を構成することとする。まず、この式を $m\tau$ について展開すると、

$$M = m + m\tau + (m\tau)^2 + (m\tau)^3 + \dots + (m\tau)^n$$

となる。各次の補正項を書き直すと、

$$0 \text{ 次} : m_0 = m \cdot \tau$$

$$1 \text{ 次} : m_1 = m_0 (m_0 \cdot \tau)$$

$$2 \text{ 次} : m_2 = m_1 (m_0 \cdot \tau)$$

⋮

$$n \text{ 次} : m_n = m_{n-1} (m_0 \cdot \tau)$$

となる。

1次の補正項の数え落とし補正回路をFig. 2.1に示すとともに補正方法の説明図をFig. 2.2に示す。1次の補正を行うには $m_0 (m_0 \cdot \tau)$ を回路上で構成しなければならない。ここで、補正のために必要な時間 $(m_0 \cdot \tau)$ は $\tau$ 時間を $m_0$ 回のパルス信号を測定した時に得られる数と解釈することができる。これを回路に置き換えるには、まず計数率 $m_0$ の放射線信号をシュミット回路に入力し、パルス巾を求め、このパルス巾 $\tau$ が回路のデッドタイムであると考えられるので、適当に遅延した後ゲート回路に導き、波高弁別器の出力信号をゲートすることによって、 $m_0$ 計数率のパルス信号を $(m_0 \cdot \tau)$ 時間計数することによって1次の補正を行うことができる。

2次の補正は、1次補正信号である $m_1$ 計数率のパルス信号を $(m_0 \cdot \tau)$ 時間計数することによって行うことができる。以降、N次までこの補正は上記のように、一つ前の計数率を $(m_0 \cdot \tau)$ 時間測定する回路を付加していくことによって構成することができる。通常は、1次あるいは2次の補正で十分である。

## 2.2 スペクトル測定における数え落とし補正方法及び回路構成

スペクトル測定の際の数え落としは、波高分析装置のADCのデッドタイム以外に、ピークとなるはずの放射線信号がパイルアップのためにピークからはずれた場所に波高分析されたことによって生じる。これは、一定間隔でパルスを発生するパルサーによるピークについても同様のパイルアップが生じると考えられる。

このため、発生数のわかったパルサーを用いて基準パルサーピークを波高分布の上部に常時入力し、このパルサーピークのパルス数をもとにパイルアップの起こる割合を知り、測定時間を制御することによって補正する方法の開発試験を行った。

本補正方法において問題となるのは、一定間隔で入る信号とランダムに入る信号とのパイルアップの確率とランダムに入る信号同士のパイルアップの確率が同じとなる必要があることである。前者がおこる確率 $P_p$ は、主増幅器のパルス巾(デッドタイム)を $\tau$ とし、基準パルサーの発生



率を  $N_p$ 、放射線信号の計数率を  $N_a$  とすると、基準パルサー放射線信号が 1 秒間のあいだにパイルアップを起こす数が  $N_a \cdot (N_p \cdot \tau)$  であることから、

$$P_p = N_a \cdot (N_p \cdot \tau) / N_p = N_a \cdot \tau$$

となる。一方、ランダムに入る信号のパイルアップの確率  $P_r$  は、基準パルサーの計数率  $N_p$  が放射線の計数率  $N_a$  より十分小さければ、

$$P_r = (N_a \cdot \tau + N_p \cdot \tau) \approx N_a \cdot \tau$$

となる。従って、基準パルサーの計数率  $N_p$  が小さければその数え落としをモニタすることによって、ランダムに入る放射線信号の数え落としの補正が可能である。

本数え落とし補正方法の説明図を Fig. 2.3 に示す。放射線検出器からの信号の計数率が高くなると、基準パルサー信号とパイルアップを起こす。基準パルサー信号の波高及び発生時間は決まっているため、スペクトロスコープアンプによって波形整形された信号を波高弁別器を用いて波高弁別し、この出力信号と基準パルサーのトリガー信号とのコインシデンスをとることによって、パイルアップの有無を判別している。2つの情報をもとに判別するため、パイルアップを確実に検出できる。次に、ADCのデッドタイムの補正を行うため、コインシデンス信号をADCのBusy信号によってアンチゲートをかける。この操作の後出力される信号は、パイルアップによる数え落とし及びADCのデッドタイムによる数え落としがない基準パルサー信号を意味する。従って、この信号を計数回路によって計数することによってライブタイムを求めることができる。

本数え落とし補正方法を用いたガンマ線スペクトル測定回路のブロック図を Fig. 2.4 に示す。基準パルサーの出力波高は、バックグラウンドパルスが少ないことを確認して、波高分布上部に入るように設定する。

また、基準パルサーの周波数は 50Hz とする。この場合、入力される放射線の計数率が小さい場合 (50 ~ 500 cps) には数え落としそのものが小さいため測定精度に大きな影響を与えることはない。

スペクトロスコープアンプの出力信号は、シングルチャネル波高弁別器によって弁別する。スレッシュホールドレベル及びその範囲は基準パルサーの波高値にあわせてを決める。シングルチャネル波高弁別器から出力されたデジタル信号と遅延回路によってタイミングを合わせた基準パルサーのトリガー信号とをFast coincidence回路によってコインシデンスをとる。コインシデンスタイムは 100 nsec に設定した。このあと、出力信号は、Slow coincidence回路に入力され、ADCのBusy信号によってアンチゲートしADCのデッドタイムの補正を行い、出力された信号を計数回路により計数し、設定した測定時間内に発生する数 (測定時間 × 50) が計数された時にマルチチャネル波高分析装置の入力部のゲートを閉じて測定を終了する。

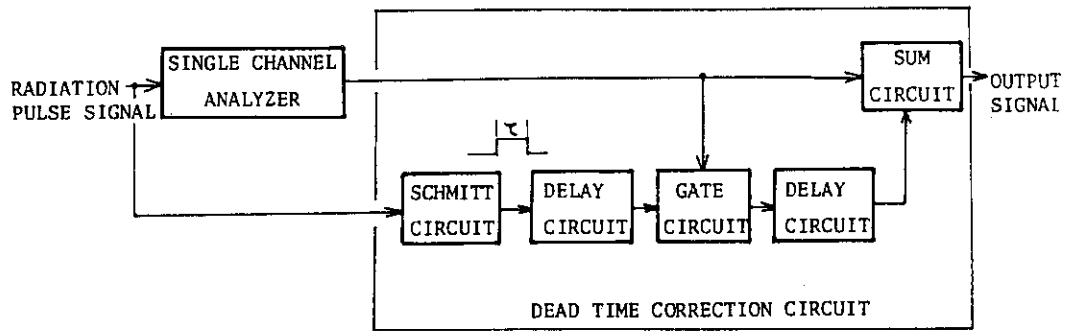


Fig. 2.1 Block diagram of electronics circuits for this dead time correction method to corrected the counting loss 1 time

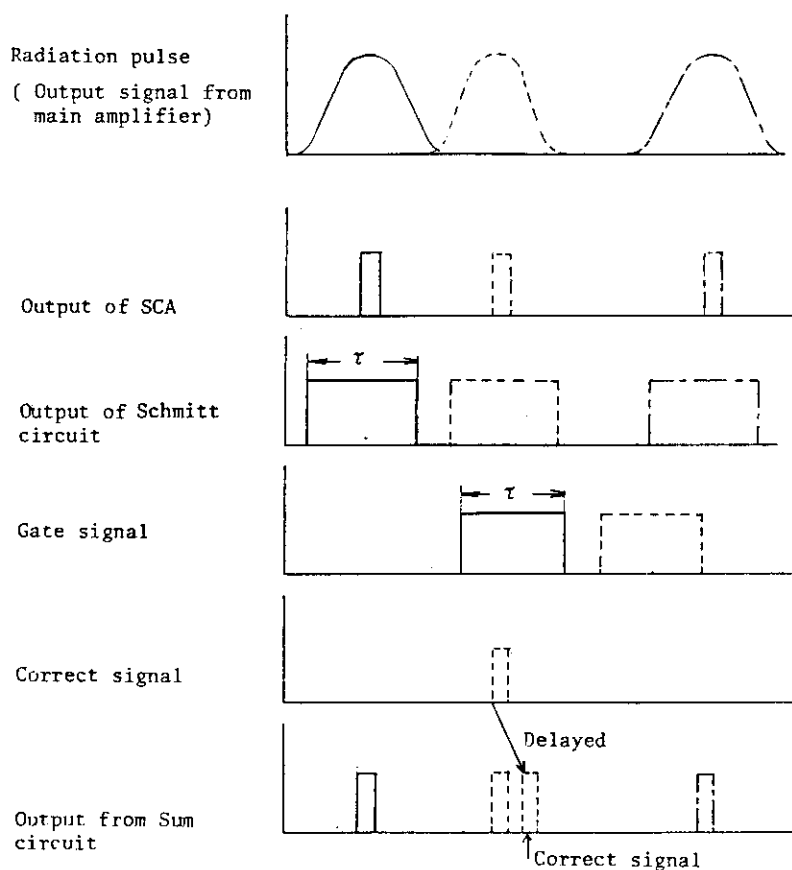


Fig. 2.2 Time chart of this dead time correction method to correct the counting loss

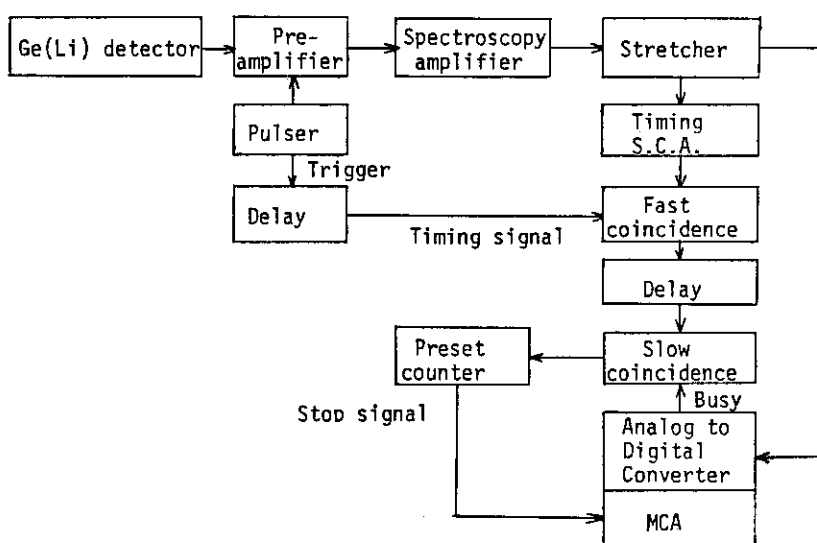


Fig. 2.3 Block diagram of electronic circuits for counting loss in spectra distribution measurements

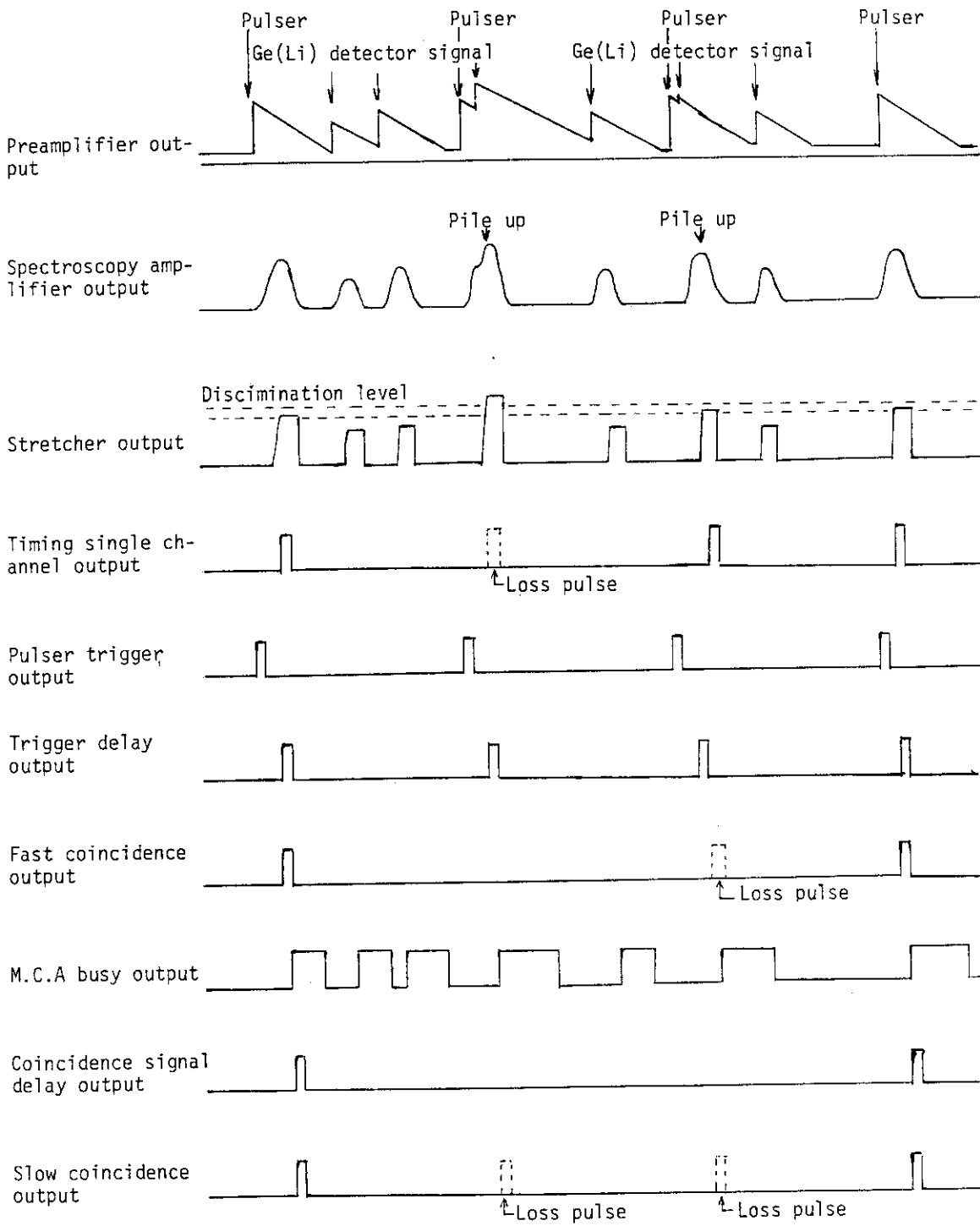


Fig. 2.4 Time chart of dead time correction method for counting loss in spectra distribution measurements

### 3. 試 験 結 果

前章の測定回路を用いて各数え落とし補正方法の試験を行った。以下に試験結果を示す。

#### 3.1 計数率の数え落とし補正試験結果

計数率の数え落としの補正例として、ゲルマニウムガンマ線検出器における全計数率のモニタ回路について行った。試験回路のブロック図をFig. 3.1に示す。

$^{60}\text{Co}$ 線源とゲルマニウムガンマ線検出器との距離をかえることによって、ゲルマニウムガンマ線検出器に入射するガンマ線の計数率を1 Kcpsから43 Kcpsまで変化させて試験を行った。主増幅器の時定数はデッドタイムを変えるため、0.5、1及び2  $\mu\text{sec}$ の3種類について行った。この時の平均デッドタイムは、それぞれ2.8  $\mu\text{sec}$ 、5.6  $\mu\text{sec}$ 及び11.2  $\mu\text{sec}$ である。各時定数の時の試験結果をTable 3.1に示す。また、平均デッドタイムをもとに数え落とし補正計算を行った結果を同表に示す。

入力計数率が18.5 Kcpsの時に、時定数を0.5、1及び2  $\mu\text{sec}$ とかわえて測定した場合、数え落とし補正を行わないと、17.6 Kcps、16.8 Kcps、15.7 Kcpsの計数率であったものが、本補正方法を使用した場合各時定数ともほぼ18.5 Kcpsに補正された。平均デッドタイムをもとに数え落とし補正式によって計算された計数率がそれぞれ18.5 Kcps前後であることから、1%以下の誤差で測定できることがわかった。

#### 3.2 ガンマ線スペクトル測定における数え落とし補正試験結果

ゲルマニウムガンマ線検出器を用いたガンマ線スペクトル測定における数え落とし補正回路のブロック図をFig. 3.2に示す。本補正回路は、すべて市販のNIMモジュールによって構成した。ガンマ線線源として $^{60}\text{Co}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ を用い、検出器前面と $^{60}\text{Co}$ 線源との距離を一定とし $^{137}\text{Cs}$ 線源をバックグラウンド用ガンマ線源として、検出器との距離を変化させ波高分析装置に入力されるガンマ線の計数率を2.7 Kcpsから37.1 Kcpsまで変化させた。スペクトロスコープの波形整形時定数を2  $\mu\text{sec}$ とし、ライブタイムを2000秒に設定し測定を行った。ADCのデッドタイム補正のみ行った場合と本数え落とし補正方法を使用した場合の試験結果および2.7 Kcpsの本補正方法による測定結果を基準とした各測定結果の誤差をTable 3.2に示す。また、Table 3.3にそれぞれパイルアップに起因するデッドタイムとADCのデッドタイムの割合および2つ事象のあわさった数え落としの割合を示す。

試験の結果、計数率が37.1 Kcpsの場合、ADCのデッドタイム補正だけでは21%以上の誤差となるが本数え落とし補正を行うことによって誤差は1%の誤差で測定できることがわかった。

Table 3.1 Comparison with normal mode, dead time correction mode and calculated mode in counting loss of radiation pulse as functions of time constants

Time constant											
0.5 $\mu$ sec				1 $\mu$ sec				2 $\mu$ sec			
Normal	Corrected	Calculated		Normal	Corrected	Calculated		Normal	Corrected	Calculated	
1.05 Kcps	1.05 Kcps	1.05 Kcps		1.06 Kcps	1.07 Kcps	1.07 Kcps		1.11 Kcps	1.11 Kcps	1.12 Kcps	
3.36 Kcps	3.39 Kcps	3.39 Kcps		3.36 Kcps	3.43 Kcps	3.42 Kcps		3.35 Kcps	3.34 Kcps	3.46 Kcps	
7.45 Kcps	7.63 Kcps	7.60 Kcps		7.15 Kcps	7.50 Kcps	7.45 Kcps		7.13 Kcps	7.70 Kcps	7.67 Kcps	
12.30 Kcps	12.81 Kcps	12.73 Kcps		11.86 Kcps	12.66 Kcps	12.70 Kcps		11.25 Kcps	12.62 Kcps	12.67 Kcps	
17.56 Kcps	18.52 Kcps	18.47 Kcps		16.84 Kcps	18.56 Kcps	18.59 Kcps		15.67 Kcps	18.42 Kcps	18.58 Kcps	
24.18 Kcps	26.06 Kcps	25.93 Kcps		23.18 Kcps	26.43 Kcps	26.63 Kcps		20.35 Kcps	25.18 Kcps	25.54 Kcps	
38.38 Kcps	42.88 Kcps	43.00 Kcps		34.23 Kcps	41.27 Kcps	42.34 Kcps		—	—	—	

Table 3.2 Performance of this dead correction method with a pulse generator

Counting rate(cps)	Count time (sec)	Co-60 1173 keV counting rate(cps)		Error (%)	
		Correct	Non correct	Correct	Non correct
2.78 k	2204.6	92.452	91.355	0.00	-1.19
8.20 k	2570.7	91.228	87.430	-1.34	-5.43
13.20 k	2977.7	92.204	84.320	-0.27	-8.80
23.80 k	3746.3	90.927	79.200	-1.65	-14.33
37.10 k	4851.8	91.662	72.661	-0.85	-21.41
58.60 k	6731.4	88.406	59.473	-4.38	-35.67

\*Shaping constant 2  $\mu$ sec, Live time 2000 sec

\*\*Background gamma-ray source Cs-137 10  $\mu$ ci

Table 3.3 Comparison with pile up rate and ADC dead time as functions of counting rates

Counting rate(cps)	Pile up rate (%)	ADC DEAD time (%)	Total dead time (%)
2.78 k	4.49	5.02	9.28
8.20 k	12.87	10.71	22.21
13.20 k	20.05	15.98	32.82
23.80 k	31.06	22.57	46.61
37.10 k	41.57	29.46	58.78
58.60 k	57.82	29.56	70.29

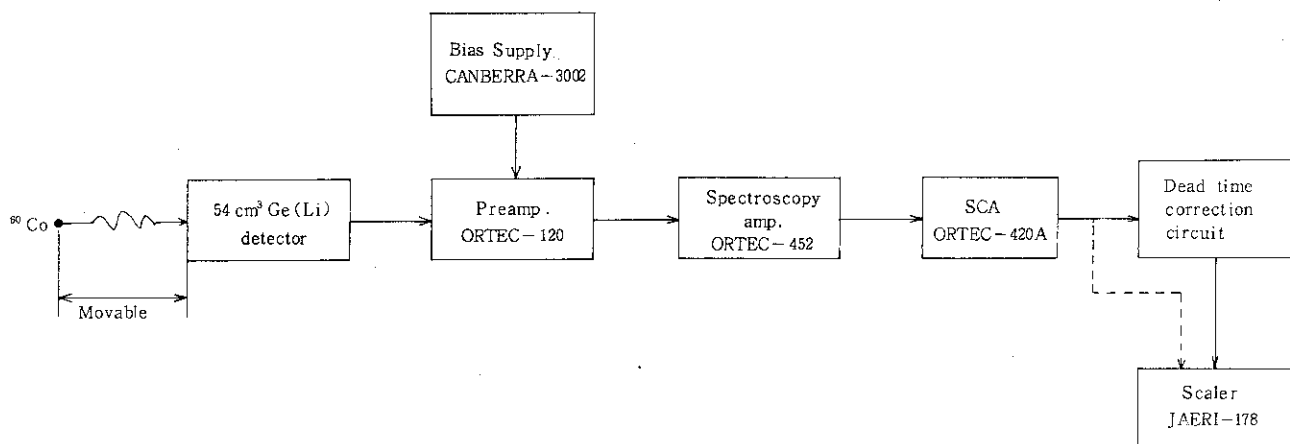


Fig. 3.1 Schematic block diagram of electronic circuits for testing the dead time correction method to correct counting loss.

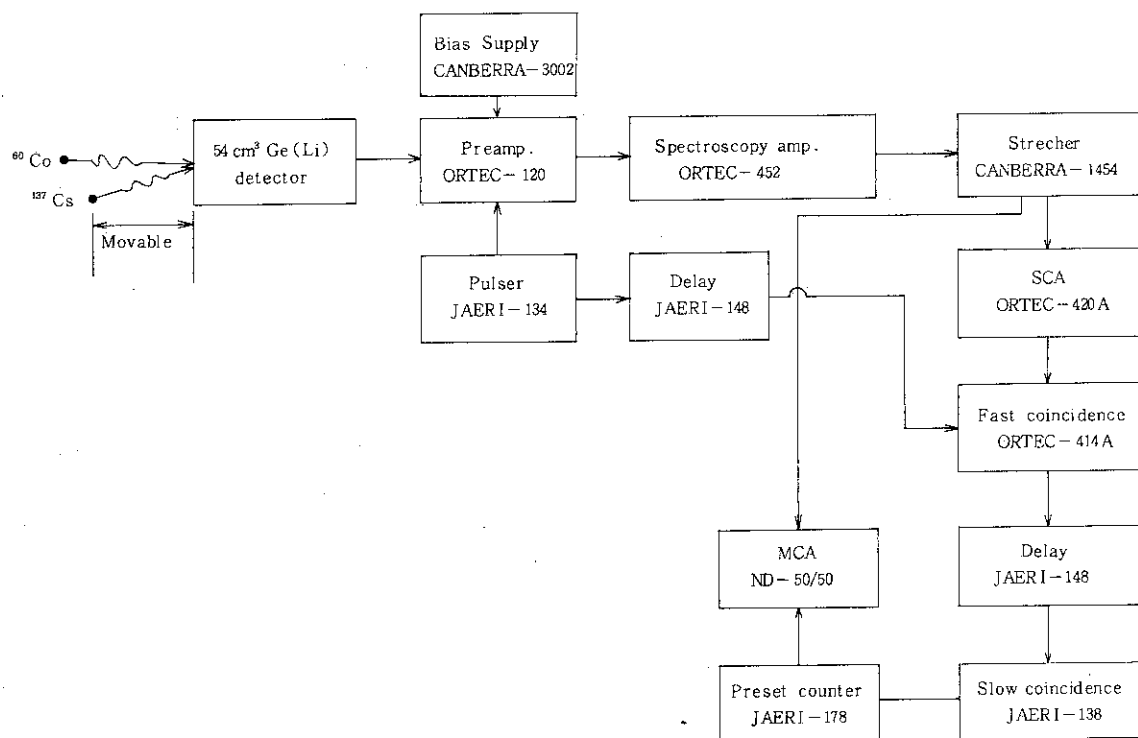


Fig. 3.2 Schematic block diagram electronic circuits composed of NIM module for counting loss in spectra distribution measurements



## 4. 結 論

計数率測定における数え落とし補正方法は、簡単な回路で実現できかつ出力される信号は通常使用されている計数回路あるいは計数率計によってモニタすることが可能である。このため、線量率計や波高弁別器を用いたスペクトルピークのモニタ回路などへ適用することによって実時間内で精度良く測定することが可能となった。

また、スペクトル測定における数え落とし補正方法については、高計数率の測定においても1%の精度で補正を実現できることを確認した。使用した回路は通常使用されているNIMモジュールであり、簡単に構成できるため、今後広く利用できる。

## 参 考 文 献

1. 放射線検出器のデッドタイム補正方法：片桐政樹，特許 1093706
2. K. Debertin and U. Schotzig, Limitations of the pulser method for pile-up correction in Ge(Li)-spectrometry, N. I. M. 140 (1977), 337-340

## 4. 結 論

計数率測定における数え落とし補正方法は、簡単な回路で実現できかつ出力される信号は通常使用されている計数回路あるいは計数率計によってモニタすることが可能である。このため、線量率計や波高弁別器を用いたスペクトルピークのモニタ回路などへ適用することによって実時間内で精度良く測定することが可能となった。

また、スペクトル測定における数え落とし補正方法については、高計数率の測定においても1%の精度で補正を実現できることを確認した。使用した回路は通常使用されているNIMモジュールであり、簡単に構成できるため、今後広く利用できる。

## 参 考 文 献

1. 放射線検出器のデッドタイム補正方法：片桐政樹，特許 1093706
2. K. Debertin and U. Schotzig, Limitations of the pulser method for pile-up correction in Ge(Li)-spectrometry, N. I. M. 140 (1977), 337-340