

JAERI-M

5374

NaI(Tl)シンチレーション照射線量率
計に用いる波高弁別器バイアス変調法
による非線型エネルギー荷重回路

1973年8月

森内 茂

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

NaI(Tl)シンチレーション照射線量率計に用いる波高弁別器
バイアス変調法による非線型エネルギー荷重回路

日本原子力研究所東海研究所保健物理安全管理部

森内 茂

(1973年8月2日受理)

放射線の線量測定分野で、放射線検出器で測定されるパルス波高スペクトル分布に、その検出器の種類、放射線の違い、評価しようとする線量の単位などで定まるあるきまつた荷重関数を適用し、目的とする吸収線量(率)や照射線量(率)を評価したい場合がよくある。

従来、このエネルギー荷重過程を電子回路的におこなう回路方式がいくつか開発され、保健物理や遮蔽研究分野で実際に使用されている。

ここで述べた波高弁別器バイアス変調によるエネルギー荷重回路は、環境の低レベルの γ 線照射線量(率)を測定するために開発したもので、現在、エネルギー特性平坦化NaI(Tl)シンチレーション照射線量率計に実際に用いている非線型のエネルギー荷重回路である。

ここにまとめたものは、このエネルギー荷重法の開発初期のものに比べて回路の温度安定性とエネルギー荷重の精度が大幅に向上したほか、エネルギー特性改良の範囲が任意に変えられるようにしたなど多くの点で改良が加えられている。ここでは主として電気的な範囲に問題をしぼり、回路の設計、調整法、電気的特性についてまとめた。

Non-Linear Energy Weighting Circuit Using Discriminator
Bias Moduration for NaI(Tl) Scintillation Exposure-Rate Meter

Shigeru MORIUCHI

Div. of Health Physics and Safety, Tokai, JAERI

(Received August 2, 1973)

In radiation dosimetry the radiation dose or exposure is often calculated from the measured pulse height (energy) spectrum by applying a energy weighting function dependent on the type of detector, the kind of radiation and the radiation dose unit. Electronic circuits have been developed for calculating automatically the energy weighting, presently used in the field of health physics and in reactor shielding studies.

The energy weighting circuit utilizing discriminator bias moduration described is a circuit for non-linear energy weighting; it was developed for a NaI(Tl) exposure-rate meter in measurement of environmental low-level gamma exposures.

The new energy weighting modules designed for easy inter-connection with other standard NIM modules are considerably improved in temperature stability and overall accuracy of energy weighting, compared with the original ones. The problems in design, adjustment and test of the circuit are mainly described.

目 次

1. まえがき	1
2. エネルギー特性改良の原理	2
3. 関数発生器とエネルギー荷重回路	3
3.1 全体の回路構成	3
3.2 関数発生器	3
3.2.1 回路設計	3
3.2.2 関数発生器の回路	5
3.3 パルスと関数発生器の回路	6
4. 調整と特性試験結果	7
5. 考察と結論	7

1. ま え が き

放射線の線量測定分野で、放射線検出器で測られたパルス波高スペクトル分布を、その検出器の種類、放射線の違い、評価しようとする線量の単位などで決まるあ数学・物理学的手段あるいは測定器の電子回路手段によって処理し、目的とする吸収線量や照射線量を求めることがしばしばおこなわれる。前の数学・物理学的手法による処理とはスペクトル解析を利用した線量評価や、スペクトル線量変換演算子法による線量評価などを指し、後の電子回路的手段による処理とは回路によるエネルギー（パルス波高）荷重の方法を用いる線量評価である。後者の場合についていえば、従来から線量測定に使用することを目的としたエネルギー（パルス波高）荷重のための回路がいくつか開発されてきた。^{1,2,3,4)} われわれが開発した波高弁別器バイアス変調による線型、非線型いづれのエネルギー（パルス波高）荷重にも使える回路方式^{5,6,7)} もその一つである。^{3,8,9)} 注1)

ここにまとめた、関数発生器と比較回路からなるパルス波高荷重のための回路はNaI(Tl)シンチレーションカウンタの照射線量（率）に対するエネルギー依存性を改良するために開発した非線型荷重のためのもので、開発初期のものと比較して、安定性、調整法、荷重の電気的精度が非常に改善されている。

この回路を使ったNaI(Tl)シンチレーション照射線量率計はエネルギー特性が平坦で感度が高いという特長がある他に、宇宙線による線量（率）寄与が少ないという性質があって、最近、環境の低レベルのγ線照射線量の測定に最も適した測定器として一般にも利用されはじめている。

波高弁別器バイアス変調によるパルス波高荷重の原理、これに関連して重要なスペクトル線量変換演算子による線量評価法等についてはすでに他の報告に発表してきたので、ここでは当回路部分に範囲を絞り、回路の設計、調整法、電気的な特性試験の結果を述べた。ここに示した回路は実際に環境の低レベルγ線照射線量率の連続モニタあるいは研究的目的に用い、すでに長い使用実績を持つものである。

最近、所外から当回路方式の使用の要望を聞くが、当報告書によればここに述べたものと同性能のものが容易に製作できるので、この方面の要望をも満たすことができるであろう。

注1) 当回路方式は日本原子力研究所の特許になっているため、商品として製作される場合は当所の許可が必要である。

2. エネルギー特性改良の原理

ここでいわれるエネルギー特性平坦化法はNaI(Tl)シンチレーションカウンタなどの波高弁別器(比較器)のバイアスを、用いる放射線検出器、測定しようとする放射線の種類、線量の単位などで定まる一定の関数波形で変調することによってパルス波高荷重をおこない特性を改良する方法である。これは測定されたパルス波高スペクトルから、スペクトル解析を経ずに直接線量を評価するスペクトル線量変換演算子による線量評価法の計算過程を簡単な電子回路でおこなわせるようにしたものである。この線量評価法についてはすでに参考文献1)~4)その他に報告してきた通りであり、またこの原理を基本とした波高弁別器バイアス変調によるエネルギー特性平坦化法についても参考文献3,8,9)に報告してあるので、その原理はここでは概略だけをのべておく。

波高弁別器の動作機構は改めてのべるまでもなくバイアスとして加える比較電圧以上の波高のパルスのみを次段に通過させる働きを持つものである。ここでこのバイアスレベルを時間的に変化するある関数波形で変調した場合の入力パルスと出力パルスの関係について考えてみる。

ここで、バイアス電圧の時間的な変化を時間 t とともに深くなる関数 $v(t)$ で表わすと、一周期の t_0 。時間中に各電圧のパルスがこれを通過できる時間は個々に異なり、電圧 V のパルスが通過できる割合 $F(V)$ は次式で表わされる。

$$F(V) = \frac{t}{t_0} \quad (1)$$

ここで、 $V = v(t)$ 。

パルスの通過割合は一周期の期間のみに限らず、観測時間が t_0 の整数倍において $F(V)$ に一致し、さらに観測時間が t_0 に比して十分に大きければ、パルスの通過割合は近似的に $F(V)$ に等しくなる。ここで言う $F(V)$ は波高 V の入力パルスの通過割合を決定するもので、これをパルス波高荷重のための荷重関数に等しくすると、この波高弁別器を通過するパルスは入力パルスをその波高の荷重関数で重みづけしたものに等しくなる。以上が波高弁別器バイアス変調によるパルス波高荷重法の原理である。

放射線検出器の有効体積中で失われたエネルギー E とパルス波高 V の関係は検出器の種類によって必ずしも正比例の関係は成立しないが、ここでは一応この間で比例関係が成り立つものとする、荷重関数 $G(E)$ とパルスの通過割合の間には次の関係がある。

$$F(V) = \frac{G(E)}{G(E_0)} \quad (2)$$

ここで、 $V = kE$ で、 k は比例定数。

(1), (2)式から明らかな通り、関数波形は t の関数として次式の逆関数であたえられる。

$$t = \frac{t_0}{G(E_0)} \times G(E) = k' G(E) \quad (3)$$

ここで k' は比例定数である。具体的な関数波形の一例として Fig. 1 に、 $3'' \phi \times 3''$ NaI(Tl)シンチレータを用いた照射線量率計に適用する関数波形を示した。この関数波形は低エネルギー域において厳密に荷重関数を近似させていないが、 γ 線エネルギー80 keV以下についても特性の改善を望む場合は荷重関数の形から適当な回路の組合せで実現できる。この詳細については参考文献3, 8)に報告してある。

エネルギー特性の改良範囲の上限エネルギーは E_0 で、関数波形でいえば最大のバイアスの深さに相当する。関数発生器の電子回路では任意の E_0 で繰返えす関数波形は容易に発生できるため、エネルギー特性の改良範囲を非常に簡単に調整できる。また波形の変更も以下にのべる回路では容易におこなえるので、NaI(Tl)シンチレータの種類が如何にかかわらず任意の波形を発生することができる。このような性質は線量測定器として非常に大きな利点である。

3. 関数発生器とエネルギー荷重回路

3.1 全体の回路構成

当測定装置の本体部は Fig. 2 のブロックダイアグラムに示すような構成である。ここでは各ブロックはAEC標準規格のモジュールを使用することを前提としたために関数発生器と比較回路を一つのモジュールとしたエネルギー荷重回路(DBM)を設計した。

回路中、BLR(Base line restorer)は、高計数率におけるパルスのアンダーシュートの影響を除くために必要なものである。これには単純にはCRのクリッピングによる波形整形とダイオードによる簡単なアンダーシュートの除去の方法、あるいは入力パルスをバイポーラパルスとしてCRクリッピングのみをおこなうような方法でもよいが、高計数率における特性の悪化(特に高エネルギー γ 線と低エネルギー γ 線が混在する場合)があるので、アクティブ型のBLRを用いるべきである。この点AECのNIM規格のリニアアンプにはたいていアクティブ型のBLRが備えられているので、高安定の特性が得られる。

この方法では、出力計数値は入力計数値よりも低い値となる。この程度は、すでに述べた説明からもわかるようにエネルギー特性を改良しようとする最大 γ 線エネルギーにおける最大エネルギーパルスに対する荷重値と、最低 γ 線エネルギーにおける最低エネルギーパルスに対する荷重値との比でほぼ決まり、NaI(Tl)シンチレータでは最低 $1/50 \sim 1/150$ の値になる。したがって実際のDBMからの出力計数率は低くてもそれにつづく計数率計では極限值で50倍ないし150倍の分解能が必要で、この点十分に注意しなければならない。

3.2 関数発生器

3.2.1 回路設計

$G(E)$ 関数の関数波形表現は参考文献3, 8, 9),あるいは先にのべた通りエネルギー E (あるいはこれに相当するパルス波高)を波高弁別レベルの深さととり、 $G(E)$ を時間軸に表わす。 $3'' \phi \times 3''$ NaI(Tl)の関数波形は Fig. 2 に示した通りである。これは改良すべきエネルギー範囲を3 MeVとした場合のもので、バイアスの変調レベルの最大深さを

ここで k' は比例定数である。具体的な関数波形の一例として Fig. 1 に、 $3'' \phi \times 3''$ NaI(Tl)シンチレータを用いた照射線量率計に適用する関数波形を示した。この関数波形は低エネルギー域において厳密に荷重関数を近似させていないが、 γ 線エネルギー80 keV以下についても特性の改善を望む場合は荷重関数の形から適当な回路の組合せで実現できる。この詳細については参考文献3, 8)に報告してある。

エネルギー特性の改良範囲の上限エネルギーは E_0 で、関数波形でいえば最大のバイアスの深さに相当する。関数発生器の電子回路では任意の E_0 で繰返えす関数波形は容易に発生できるため、エネルギー特性の改良範囲を非常に簡単に調整できる。また波形の変更も以下にのべる回路では容易におこなえるので、NaI(Tl)シンチレータの種類が如何にかかわらず任意の波形を発生することができる。このような性質は線量測定器として非常に大きな利点である。

3. 関数発生器とエネルギー荷重回路

3.1 全体の回路構成

当測定装置の本体部は Fig. 2 のブロックダイアグラムに示すような構成である。ここでは各ブロックはAEC標準規格のモジュールを使用することを前提としたために関数発生器と比較回路を一つのモジュールとしたエネルギー荷重回路(DBM)を設計した。

回路中、BLR(Base line restorer)は、高計数率におけるパルスのアンダーシュートの影響を除くために必要なものである。これには適単にはCRのクリッピングによる波形整形とダイオードによる簡単なアンダーシュートの除去の方法、あるいは入力パルスをバイポーラパルスとしてCRクリッピングのみをおこなうような方法でもよいが、高計数率における特性の悪化(特に高エネルギー γ 線と低エネルギー γ 線が混在する場合)があるので、アクティブ型のBLRを用いるべきである。この点AECのNIM規格のリニアアンプにはたいていアクティブ型のBLRが備えられているので、高安定の特性が得られる。

この方法では、出力計数値は入力計数値よりも低い値となる。この程度は、すでに述べた説明からもわかるようにエネルギー特性を改良しようとする最大 γ 線エネルギーにおける最大エネルギーパルスに対する荷重値と、最低 γ 線エネルギーにおける最低エネルギーパルスに対する荷重値との比でほぼ決まり、NaI(Tl)シンチレータでは最低1/50 ~ 1/150の値になる。したがって実際のDBMからの出力計数率は低くてもそれにつづく計数率計では極限值で50倍ないし150倍の分解能が必要で、この点十分に注意しなければならない。

3.2 関数発生器

3.2.1 回路設計

$G(E)$ 関数の関数波形表現は参考文献3, 8, 9),あるいは先にのべた通りエネルギー E (あるいはこれに相当するパルス波高)を波高弁別レベルの深さととり、 $G(E)$ を時間軸に表わす。 $3'' \phi \times 3''$ NaI(Tl)の関数波形は Fig. 2 に示した通りである。これは改良すべきエネルギー範囲を3 MeVとした場合のもので、バイアスの変調レベルの最大深さを

調整できるようにすることによって改良エネルギー範囲を可変にすることができる。

開発初期の関数発生器はRC充電回路の充電電流を充電電圧の高さによって連続的に制御するトランジスタ回路によって構成されていたが、この方法では複雑な関数回路、とくに小型のNaI(Tl)のための関数波形の表現に問題があった。そこで従来の回路方式を全面的に改め、関数波形を5段以上の折線で近似させるという回路にした。

この場合の近似精度は折線の段数で決まり、その安定性は充電回路を構成する抵抗とコンデンサの安定性は当然として充電回路、充電電流切替回路、折点検出用コンパレータが外周温度変化その他によって影響されずに安定に働くかどうかにかかっている。しかし現在では回路素子については高安定のものが容易に入手できるようになっており、またコンパレータについても集積回路による高速で高安定のものが一般に市販されているためその回路構成を考える段階で外周温度変化その他の影響を考慮することによって非常に高精度の関数発生器が製作できる。

関数波形を近似させる実際的な折線の段数は、発生させようとする関数波形の形によるが、NaI(Tl)シンチレータのための関数波形では6段程度であれば十分である。

折点は波形の変化のはげしい曲線部分に密になり、6段の場合の適当な位置はTable. 1に示す通りである。また、この波形と折点検出点の関係はFig. 2に掲げた通りである。

波形の傾斜を決定する曲線表現はRC回路の過渡的な飽和曲線を利用した。これは初段の高エネルギー部の曲線部分はその飽和曲線で非常によく近似できるという理由によるもので、このためTable. 1からもわかるように初段でかなり広い範囲を受け持たせることができる。あとの5段のうち4段は定電流による直線充電で近似をおこなうが、それぞれ一段の受け持ち範囲がせまいため定電流回路によらなくてもこのような簡単なRC充電回路で代用できる。しかし、この場合の電源電圧は初段の場合よりも高い必要がある。最終段は一定の電位への保持回路により一定電位に保持する。この段は最低エネルギー域の近似をおこなうと同時に波高弁別回路を構成する。すなわち保持電圧は波高弁別レベルに相当するもので、このためこの電位を任意に調整できるようにすればいわゆる波高弁別器となる。

回路のブロックダイアグラムをFig. 3に示した。充電回路の初段にRCによる指数関数充電特性を利用した場合の近似精度は電源電圧によって変化し、NaI(Tl)シンチレータの関数波形近似の最適の電源電圧は波高弁別器の0.3~0.5 MeV相当の電圧付近になる。しかし実際に使用した方法はFig. 3に示すようにシリコンダイオードを直列にアース電位より電源を供給することによって、ダイオードの順方向の電圧降下を利用したもので、実質的には -0.4 Vの供給電源となる。実際におこなってみた結果では充分な近似精度が得られた。

関数波形の周期は入力パルスのパルス幅と関数波形の変化傾向との相互関係によって定まる。全般的にみて関数波形の高エネルギー域に相当する部分は低エネルギー域に相当する部分に比べて変化割合は小さい。したがって波形の周期は低エネルギー域の波形で定まる。通常の入力パルスのパルス幅を $0.5 \mu\text{S}$ と仮定すると、最終段の時間幅は $10 \mu\text{S}$ 以上は必要となる。したがって通常は、余裕をみて $20 \mu\text{S}$ 以上にとれば良いことがわかる。最終段の時間幅と一周期の比は最低パルス波高と最高パルス波高の荷重関数の比に等しく、この比はエネルギー特性の改良幅を50 KeV から3 MeVまでと考えた場合、 $3^\circ \phi \times 3^\circ \text{NaI(Tl)}$ では5.6倍、 $1^\circ \phi \times 1^\circ \text{NaI(Tl)}$ では1.44倍である。したがって関数波形の周期は 1ms ($3^\circ \phi$

$\times 3$ NaI(Tl) の場合) から 3 mS ($1'' \phi \times 1''$ NaI(Tl) の場合) がそれぞれとりうる最低の時間幅になる。一方、時間幅の上限は入力パルス数の変動周期またはあとにつづく計測器の時定数よりも充分小さくしておけば良く、通常は 100 mS 程度を上限と考えておけば問題となる事例はまずない。ここでは上に記した最短周期 ($1\text{ mS} \sim 3\text{ mS}$) に近い状態に回路を設計した。

3.2.2 関数発生器の回路

関数発生器の回路を Fig. 4 に示した。使用した半導体は、それぞれ NPN トランジスタが 2N3644、PNP トランジスタが 2N3643、FET が 2SJ13；高速比較器がフェアチャイルドの $\mu\text{A}710\text{C}$ とその国産同等品、ダイオードが 1S306 であった。各トランジスタの機能を説明すると、Tr. 2, Tr. 3 は関数波形を発生させる最初の $0.1\ \mu\text{F}$ のコンデンサの充電電圧を低インピーダンスの信号として取り出すための二段のエミッターホロワーに用いている。Tr. 1 はリセットのためのスイッチの役目をし、Tr. 16 の信号でオン、オフの動作をする。Tr. 4 はリセット電圧 (R_6 で調節) の直線性を改良するための定電流回路を構成している。 R_6 の抵抗値を $500\ \Omega$ 以下のものに置き換えれば、この回路はなくてもよい。Tr. 5 から Tr. 8 は関数波形を近似させるための充電電流切替のためのスイッチの役割をし、ダイオードとの組合せで折点を検出する比較器の出力によって順次切替わるようになっている。Tr. 9 は関数波形の最終段を一定の波高弁別レベル (R_8 で任意に調整) に保持するためのスイッチ回路で P タイプの FET である。このトランジスタはなるべくドレイン電流 I_{DSS} の大きいものが望ましく、2SJ13 では (O) または (Y) タイプが良い。ただし、(Y) タイプではピンチオフ電圧 V_p が IC_5 からの信号電圧 3.5 V を越すものがあるので実際にはその選別が必要である。Tr. 14 は関数波形の最終段の時間幅を決めるための回路に使われている。通常は IC_5 の信号 (ロジック "1") でオン状態にあるが、 IC_5 からの折点検出信号 (ロジック "0") でオフになり、このコレクタの RC の時定数で必要な時間幅を作る。Tr. 11, 12 は IC_6 の信号を受けて Tr. 1 のベースへリセットパルスを送る。Tr. 17 はリセット期間中波高弁別器を通過するパルスを除くための反同時計数回路の一部をなすもので、あとの節で述べる波高弁別器のあとにつづく回路に接続して反同時計数回路を構成する。

R_1 から R_5 の可変抵抗は関数波形の各段の傾斜を調整するためのもので、使用する NaI(Tl) 検出器が一種類に決っている場合は半固定のトリマー抵抗 (微調用多回転可変抵抗) を使用し、各種サイズの NaI(Tl) を混用する場合はダイヤル目盛で波形の選定ができるようヘリポットのような多回転可変抵抗を用い、これをパネル前面に出す。 R_6 は関数波形の最大振幅電圧を設定するためのもので、任意にエネルギー改良範囲を選べるようにしたい場合はパネル前面に出し、その必要のない場合は半固定のものを使う。いずれも上に述べたものと同じ微調用の可変抵抗を用いる。 R_7 は R_6 による設定電位がリセットによる Tr. 1 からの電流の影響を受けて設定電位の直線性が悪くなるのを除くために、電圧設定回路に流す相殺のための定電流を調整するものである。これは最も良い直線性が得られる位置に抵抗値を固定する。 R_8 は波高弁別レベル調整用可変抵抗 (波高弁別器) である。 R_9 から R_{13} までは折点の比較電圧で、その電圧は Table. 1 に掲げた通りである。 R_{14} は最終段の時間幅を調整する半

固定抵抗である。R₁₅はR₁₄と同じ働きをする。

この回路で機械的に調整できる個所はTable. 1に従って電圧を設定するR₉からR₁₃と、最終段の時間幅を20 μ Sに合わせるR₁₄、R₁₅である。リセットパルスが発生するためのIC₆で構成するワンショットマルチの時間幅は約5 μ Sにしてあるが、これは2 μ S程度に短かくした方が計数落しが少なくなる。R₁からR₅は総合調整のときにパルスジェネレータを用いて使用する検出器の大きさの関数波形になるよう調整する。R₇は計算から1 K Ω 程度に調整すればよいが、実際は多少のくずれがあっても顕著な効果はないので、固定抵抗で置き換えてもさしつかえない。

3.3 パルスと関数波形の波高比較回路

パルス波高荷重の原理は先にのべた通り波高弁別器(比較器)のバイアスを、測定しようとする放射線、線量単位、検出器それぞれの種類によってきまったある関数波形で変調することによって、実質的にパルスの波高に応じた重み付けをおこなうものである。ここで使われる波高弁別器は、従来から放射線計測分野で用いられてきたバイアスレベルを固定して使うものとは異なり、バイアスレベルが大きく変動する状態で安定に働かなければならない。バイアス電圧の最大変動幅は約100倍(3 MeV/30 KeV=100)の大きさがあり、従来の波高弁別器でこの条件を満たすものはない。ここでは先にのべた高速比較器 μ A710Cを主体にした回路を設計し、きわめて安定なパルス波高荷重回路を組立てることができた。

Fig. 5にその回路を示した。 μ A710系の電圧比較器は安定性に充分考慮が払われた回路構成になっているが、ダイナミックレンジの広い比較電圧(関数波形)、被比較電圧(パルス波高)に対する高い安定性を得るにはなお一層の回路的配慮が必要である。高い安定性を得る重要な条件はいかなる入力条件においても動作状態が大きく変わらないということである。この点を考慮しある一定以上の入力に対し帰還をおこない比較器への過大入力をおさえるような回路構成をとった。Fig. 5に示したダイオードがこのためのリミッターである。IC₇からTr. 18にかけての回路は μ A710Cの出力が+3.5V、-0.5Vで、入力が等しい場合にこれが+1.5Vになるので、レベルシフトのためである。リミッターとしてシリコンダイオードの1S306を用いてあるが、一般にシリコンダイオードの順方向のV-I特性は約0.5~0.7Vで急激な立上りを示す。したがって-0.5Vの出力パルスが得られる。この回路につづくIC₈による単安定マルチバイブレータはこのパルス出力を受けて-0.15Vの波高弁別レベルで波型整形をおこなう。これにつづく簡単な反同時計数回路は先にも述べたように関数発生器のリセット時間の約5 μ Sの間ゲートを開ききわめて簡単な反同時計数回路を構成している。IC₉は波高弁別、波形整形、バッファーとして働く。

比較回路部分の調整は次のようにおこなう。まず、リミッターの回路を切ると同時にIC₇への入力も切りはなし、IC₇の入力端を2.5 K Ω の抵抗で接地する。この状態でIC₇の出力が1.5VになるようにR₁₆を調整する。このとき数10 MC/Sの発振が起こる場合はC、Rを調整し、発振電圧が最小になるように調整する。Rは50 Ω として、Cが100 PF~500 PFの範囲に最適の条件がある。この調整が終れば、2.5 K Ω による入力の接地はそのままにしてTr. 18のエミッター電圧が0電位になるようにR₁₇を調整する。次いでリミッターの回路

のみを接続し、C、Rの調整を再度おこなう。これで調整は終了する。R₁₈は先にもふれたように-0.15Vに調整する。

以上に述べた二回路を一つにまとめると波高弁別器バイアス変調によるパルス波高荷重回路が完成する。Photo.1に示すものが試作した2種類のモジュールで、写真(A)はFig.4に示す回路図中のR₁~R₅をパネル面に出し、任意の関数波型を発生できるようにしたものである。写真(B)はR₆をパネル面に出し、エネルギー特性改良幅を任意に選べるようにしたものである。この場合は関数波形は変更しない考えでR₁~R₅をトリマ抵抗でパネル前面に出した。

4. 調整と特性試験結果

最終の調整はパルスジェネレータを用いたパルス通過率特性の試験である。これに先だち関数波形の粗調整としてR₁~R₅を変え各段の持間幅がTable.2に示す値になるよう調整する。各段の時間幅の観測はオシロスコープを用いて次の各点でおこなう。初段はIC₁の出力の“0”レベルの時間幅を、他の各段はTr.5~Tr.8の各コレクターでスイッチ・オン状態の時間幅を見て調整するのが簡単である。

パルスジェネレータによる通過率特性の試験はベースラインレストアラを組合せた完全な状態でおこなう。Table.2の条件に調整されていればほぼ完全な特性が得られるが、最終的な確認として通過率特性の試験をおこない、もし近似が適当でない場合は低エネルギー側、すなわちR₅からR₁の方へ順次精密調整をおこなう。

完全に調整された後の本器の電気的特性は次の通りである。Fig.6はエネルギー特性の改良幅を3MeVとした場合の通過率特性の1例で、3"φ×3"NaI(Tl)、2"φ×2"NaI(Tl)の場合について示した。この例では最低の波高弁別器レベルを約50KeVに設定してあるが、実際の使用にあたってはノイズの影響のないことを確認した上で30KeV附近に定める。これはR₆によっておこなう。3"φ×3"、2"φ×2"のいずれの場合についても非常に良好な近似特性が得られている。

Fig.7は3"×3"NaI(Tl)の場合についてR₆によってエネルギー特性の改良幅を変えた時の各条件におけるそれぞれの通過率特性である。条件の違いによる特性の変化が認められず、良好な結果が得られている。改良幅の設定条件はR₆の10回転ヘリポットのダイヤル番号とエネルギー特性が改良される上限エネルギーの関係はFig.8に示した。

5. 考察と結論

当回路を照射線量(率)の測定器の一部として用いる場合の精度は前節のパルス通過率特性の近似精度と発生波形の安定性、ベースラインレストアラの安定性に大きく依存する。近似精度は折線の段数と折点の位置の選定によって決まり、ここで述べた6段による60KeVから3MeVにわたる通過率特性は理論曲線の±5%以内に合わせることができる。この場合の線量

のみを接続し、C、Rの調整を再度おこなう。これで調整は終了する。R₁₈は先にもふれたように-0.15Vに調整する。

以上に述べた二回路を一つにまとめると波高弁別器バイアス変調によるパルス波高荷重回路が完成する。Photo.1に示すものが試作した2種類のモジュールで、写真(A)はFig.4に示す回路図中のR₁~R₅をパネル面に出し、任意の関数波型を発生できるようにしたものである。写真(B)はR₆をパネル面に出し、エネルギー特性改良幅を任意に選べるようにしたものである。この場合は関数波形は変更しない考えでR₁~R₅をトリマ抵抗でパネル前面に出した。

4. 調整と特性試験結果

最終の調整はパルスジェネレータを用いたパルス通過率特性の試験である。これに先だち関数波形の粗調整としてR₁~R₅を変え各段の持間幅がTable.2に示す値になるよう調整する。各段の時間幅の観測はオシロスコープを用いて次の各点でおこなう。初段はIC₁の出力の"0"レベルの時間幅を、他の各段はTr.5~Tr.8の各コレクターでスイッチ・オン状態の時間幅を見て調整するのが簡単である。

パルスジェネレータによる通過率特性の試験はベースラインレストアラを組合せた完全な状態でおこなう。Table.2の条件に調整されていればほぼ完全な特性が得られるが、最終的な確認として通過率特性の試験をおこない、もし近似が適当でない場合は低エネルギー側、すなわちR₅からR₁の方へ順次精密調整をおこなう。

完全に調整された後の本器の電気的特性は次の通りである。Fig.6はエネルギー特性の改良幅を3MeVとした場合の通過率特性の1例で、3"φ×3"NaI(Tℓ)、2"φ×2"NaI(Tℓ)の場合について示した。この例では最低の波高弁別器レベルを約50KeVに設定してあるが、実際の使用にあたってはノイズの影響のないことを確認した上で30KeV附近に定める。これはR₆によっておこなう。3"φ×3"、2"φ×2"のいずれの場合についても非常に良好な近似特性が得られている。

Fig.7は3"×3"NaI(Tℓ)の場合についてR₆によってエネルギー特性の改良幅を変えた時の各条件におけるそれぞれの通過率特性である。条件の違いによる特性の変化が認められず、良好な結果が得られている。改良幅の設定条件はR₆の10回転ヘリボットのダイヤル番号とエネルギー特性が改良される上限エネルギーの関係はFig.8に示した。

5. 考察と結論

当回路を照射線量(率)の測定器の一部として用いる場合の精度は前節のパルス通過率特性の近似精度と発生波形の安定性、ベースラインレストアラの安定性に大きく依存する。近似精度は折線の段数と折点の位置の選定によって決まり、ここで述べた6段による60KeVから3MeVにわたる通過率特性は理論曲線の±5%以内に合わせることができる。この場合の線量

のみを接続し、C、Rの調整を再度おこなう。これで調整は終了する。R₁₈は先にもふれたように-0.15Vに調整する。

以上に述べた二回路を一つにまとめると波高弁別器バイアス変調によるパルス波高荷重回路が完成する。Photo.1に示すものが試作した2種類のモジュールで、写真(A)はFig.4に示す回路図中のR₁~R₅をパネル面に出し、任意の関数波型を発生できるようにしたものである。写真(B)はR₆をパネル面に出し、エネルギー特性改良幅を任意に選べるようにしたものである。この場合は関数波形は変更しない考えでR₁~R₅をトリマ抵抗でパネル前面に出した。

4. 調整と特性試験結果

最終の調整はパルスジェネレータを用いたパルス通過率特性の試験である。これに先だち関数波形の粗調整としてR₁~R₅を変え各段の持間幅がTable.2に示す値になるよう調整する。各段の時間幅の観測はオシロスコープを用いて次の各点でおこなう。初段はIC₁の出力の"0"レベルの時間幅を、他の各段はTr.5~Tr.8の各コレクターでスイッチ・オン状態の時間幅を見て調整するのが簡単である。

パルスジェネレータによる通過率特性の試験はベースラインレストアラを組合せた完全な状態でおこなう。Table.2の条件に調整されていればほぼ完全な特性が得られるが、最終的な確認として通過率特性の試験をおこない、もし近似が適当でない場合は低エネルギー側、すなわちR₅からR₁の方へ順次精密調整をおこなう。

完全に調整された後の本器の電気的特性は次の通りである。Fig.6はエネルギー特性の改良幅を3MeVとした場合の通過率特性の1例で、3"φ×3"NaI(Tl)、2"φ×2"NaI(Tl)の場合について示した。この例では最低の波高弁別器レベルを約50KeVに設定してあるが、実際の使用にあたってはノイズの影響のないことを確認した上で30KeV附近に定める。これはR₈によっておこなう。3"φ×3"、2"φ×2"のいずれの場合についても非常に良好な近似特性が得られている。

Fig.7は3"×3"NaI(Tl)の場合についてR₆によってエネルギー特性の改良幅を変えた時の各条件におけるそれぞれの通過率特性である。条件の違いによる特性の変化が認められず、良好な結果が得られている。改良幅の設定条件はR₆の10回転ヘリポットのダイヤル番号とエネルギー特性が改良される上限エネルギーの関係はFig.8に示した。

5. 考察と結論

当回路を照射線量(率)の測定器の一部として用いる場合の精度は前節のパルス通過率特性の近似精度と発生波形の安定性、ベースラインレストアラの安定性に大きく依存する。近似精度は折線の段数と折点の位置の選定によって決まり、ここで述べた6段による60KeVから3MeVにわたる通過率特性は理論曲線の±5%以内に合わせることができる。この場合の線量

評価精度は低エネルギー γ 線では関数曲線の近似精度にほぼ近い値となるが、高エネルギー γ 線になるにしたがいその精度は関数曲線の近似精度よりも相当改善される。この特性を考慮して決定したTable. 2の折点検出点を守る限り線量測定分野で一般に要求される程度のエネルギー特性は十分に確保されている。

発生波形の安定性、ベースラインレストアラの安定性はそれぞれの回路の温度安定性によって決まるものである。しかし関数発生器と比較回路部における温度変動に対する対策は可能なかぎり考慮してあるので、これが原因による不安定性は考えられない。また、ベースラインレストアラの直流レベルの温度係数を $0.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 以下におさえることは技術的に容易であるので、これが原因となって生ずる測定誤差は低エネルギー γ 線の線量評価の場合にしか現われず、たとえその影響があってもその大きさが $\pm 3\%$ を越すことは、よほど温度係数の大きいベースラインレストアラを使用しないかぎり起らない。

以上の総合安定性を、パルスジェネレータを用いて種々のパルス波高で長時間試験し、総合的にも実用上十分な性能があることがわかった。

以上に述べてきた装置は現在すでに環境の低レベル γ 線の連続測定記録、研究炉より放出される ^{41}Ar をトレーサーとした風下軸横断線上の照射線量率分布の実測による従来の被曝評価方式の実験的検討、原子炉建設予定地あるいは建設中の周辺地域のバックグラウンド・サーベイ、等の主として環境の低レベル γ 線照射線量率の測定に広く活用している。

照射線量率測定器としての性能、この測定器の特徴を生かした施設寄与分とバックグラウンド放射線の弁別評価法等の実際面については稿を更ためて報告する予定である。

参考資料

- 1) Moriuchi, S., I. Miyanaga, Health Phys., 12, 541 (1966)。
- 2) 宮永一郎, 森内茂, 日本原子力学会誌, 9, 3, 440 (1967)
- 3) Miyanaga, I., Moriuchi, S., NSJ-Tr 137 (1968)
- 4) 森内茂, JAERI 1209 (1971).
- 5) Glass, F.M., Hurst, G.S., Rev. Scient. Instrum. 23, 67 (1952).
- 6) Furuta, Y., Kinbara, S., Rev. Scient. Instrum. 37, 2, 176 (1966)
- 7) Furuta, Y., Kinbara, S., Miyakoshi, J., Rev. Scient. Instrum. 41, 1, 11 (1970)
- 8) Moriuchi, S., Miyanaga, I., Health Phys., 12, 1481 (1966)
- 9) 森内茂, 宮永一郎, 日本原子力学会誌, 9, 9, 518 (1966)

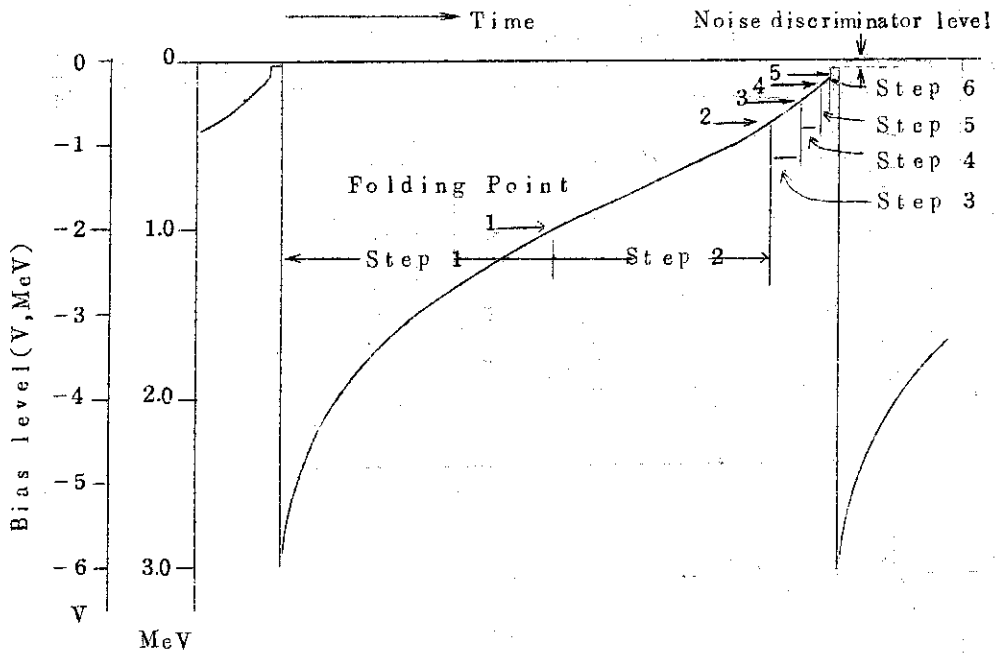


Fig.1 Function waveforms for bias modulation applied to $3'' \phi \times 3''$ NaI(Tl)

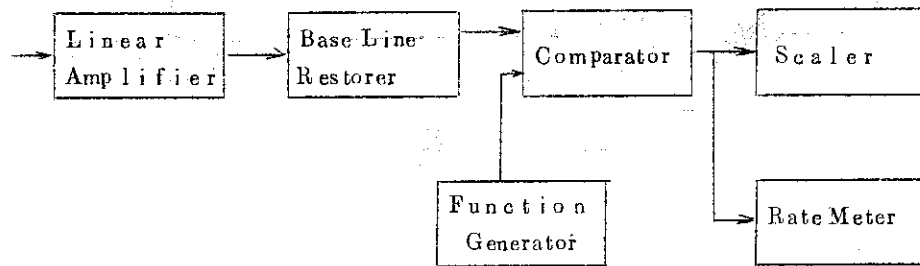


Fig.2 Blockdiagram of main parts of the instrument

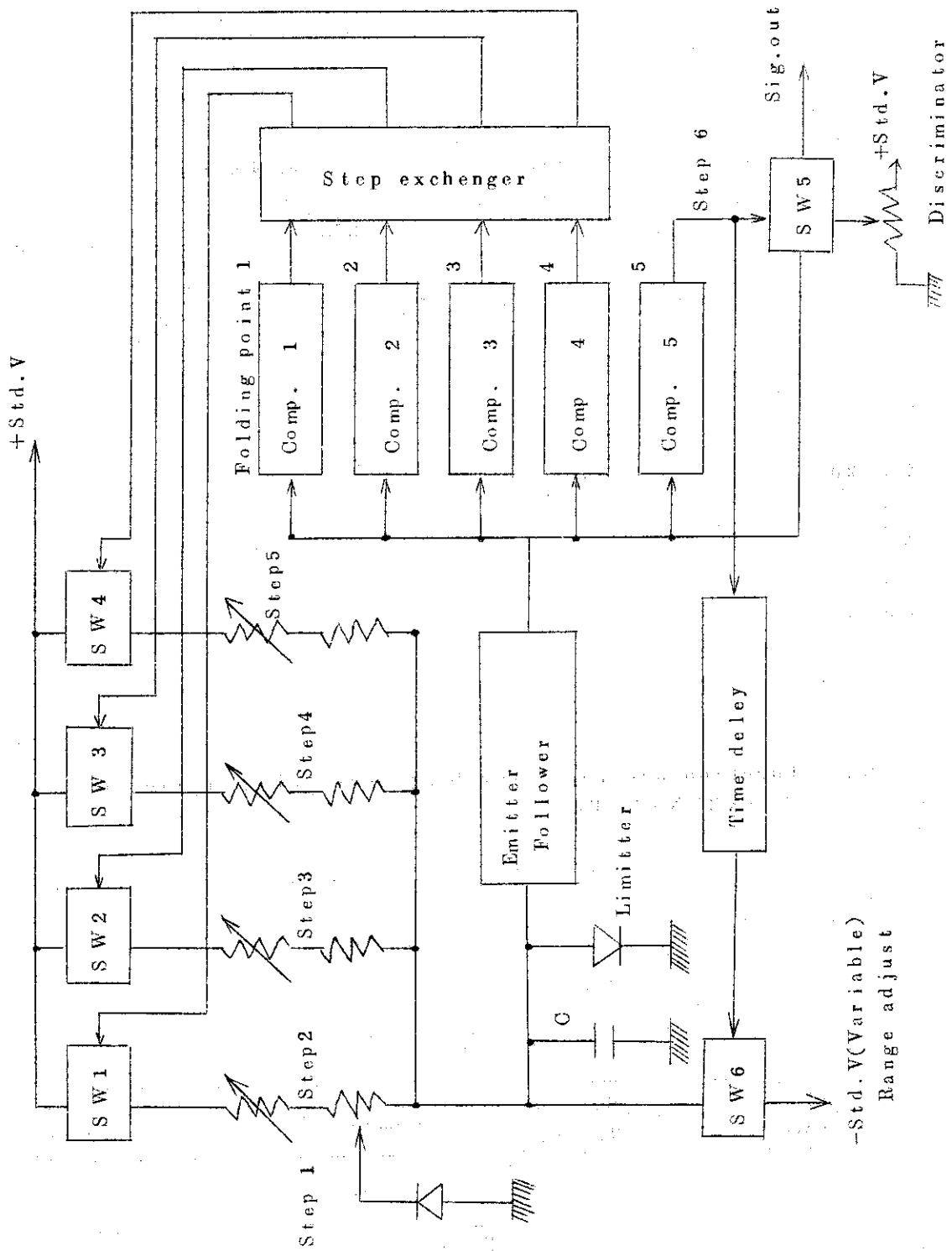


Fig. 3 Blockdiagram of function generator

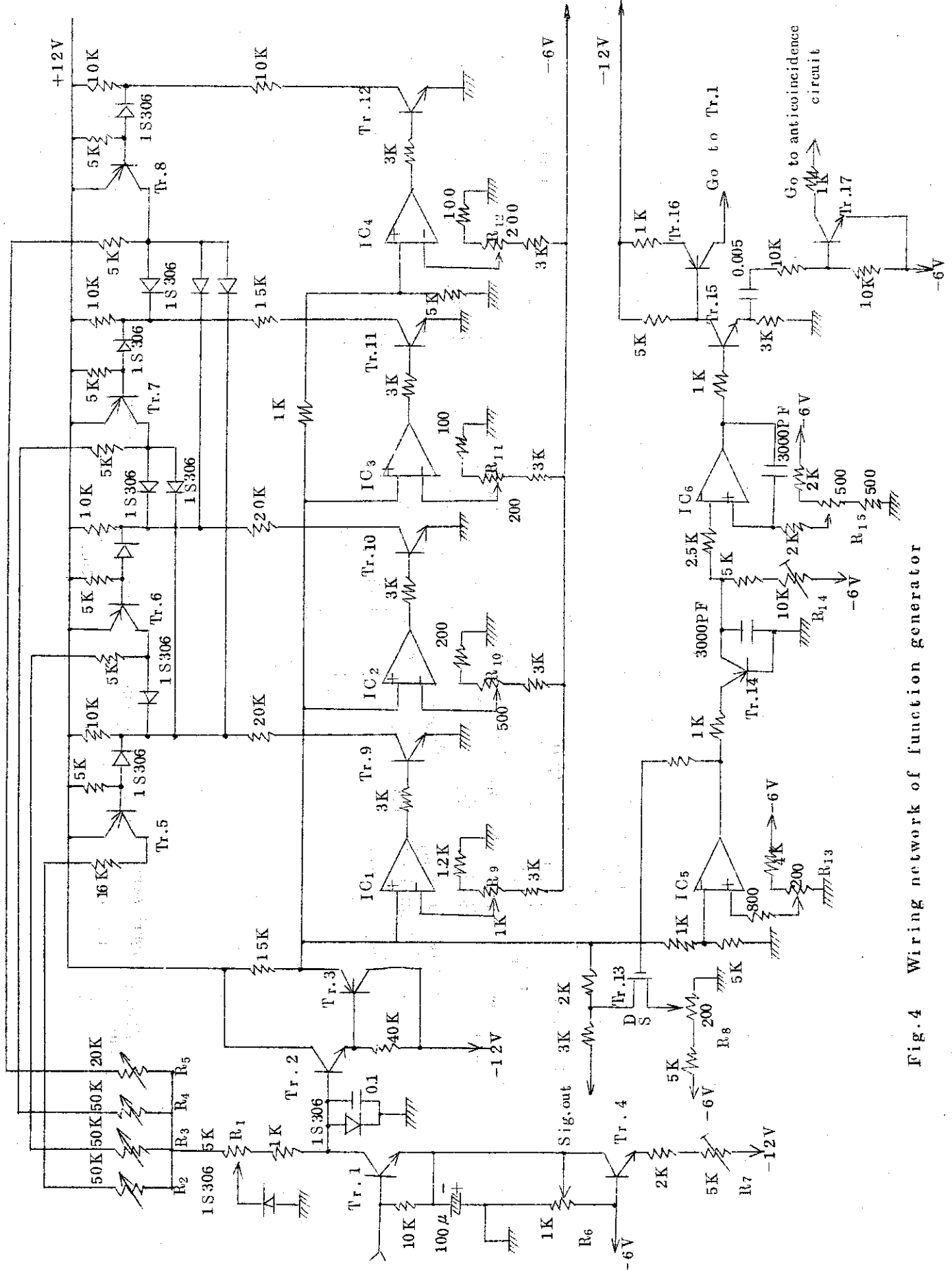


Fig.4 Wiring network of function generator

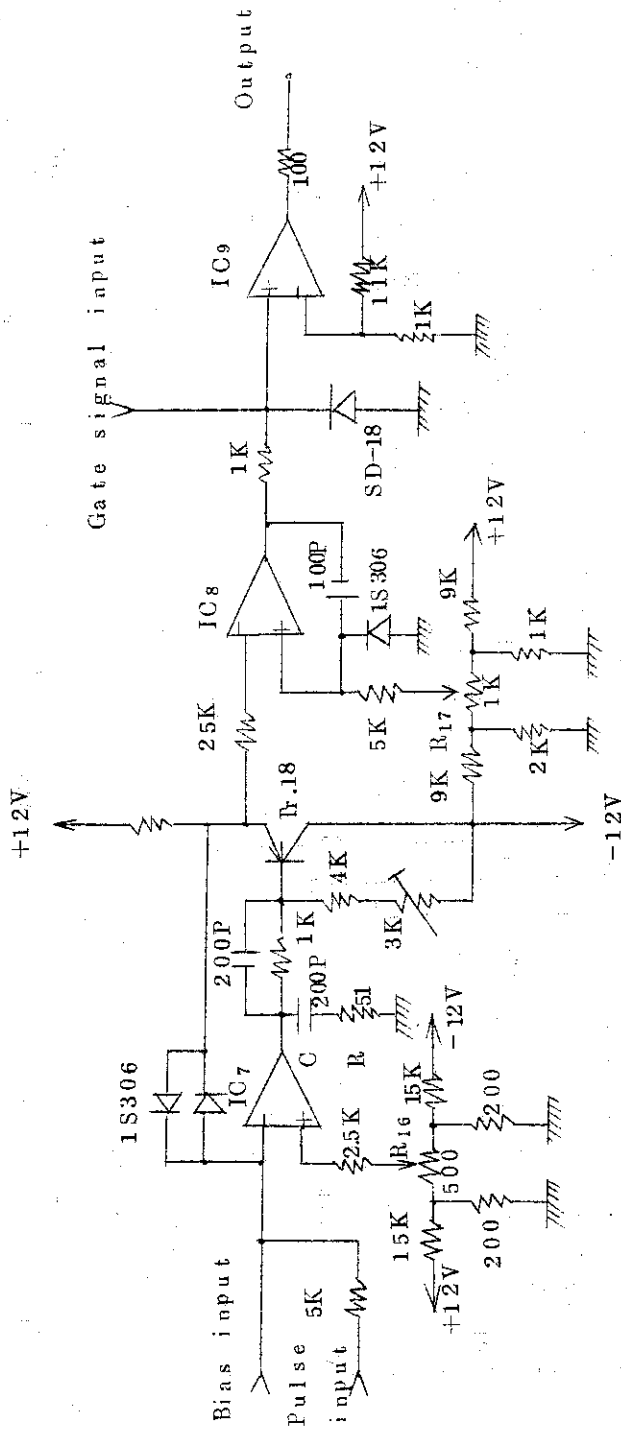


Fig. 5 Wiring network of comparison circuit for pulse height weighting

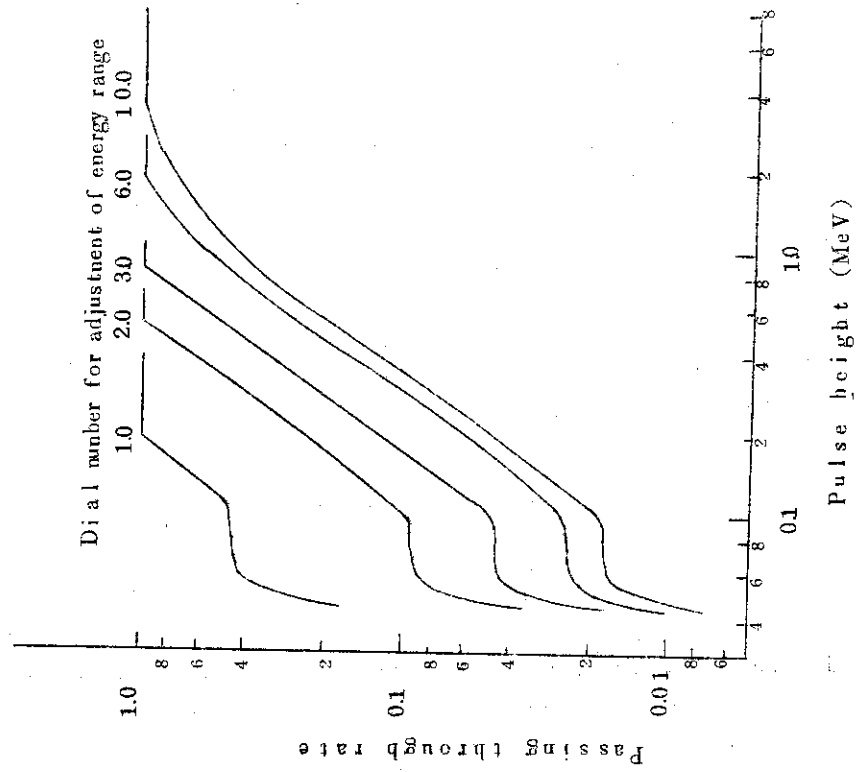


Fig.7 Curves of Passing through rate of module unit(B) in Photo.1
Relation between dial number and improved energy range is shown in Fig.8

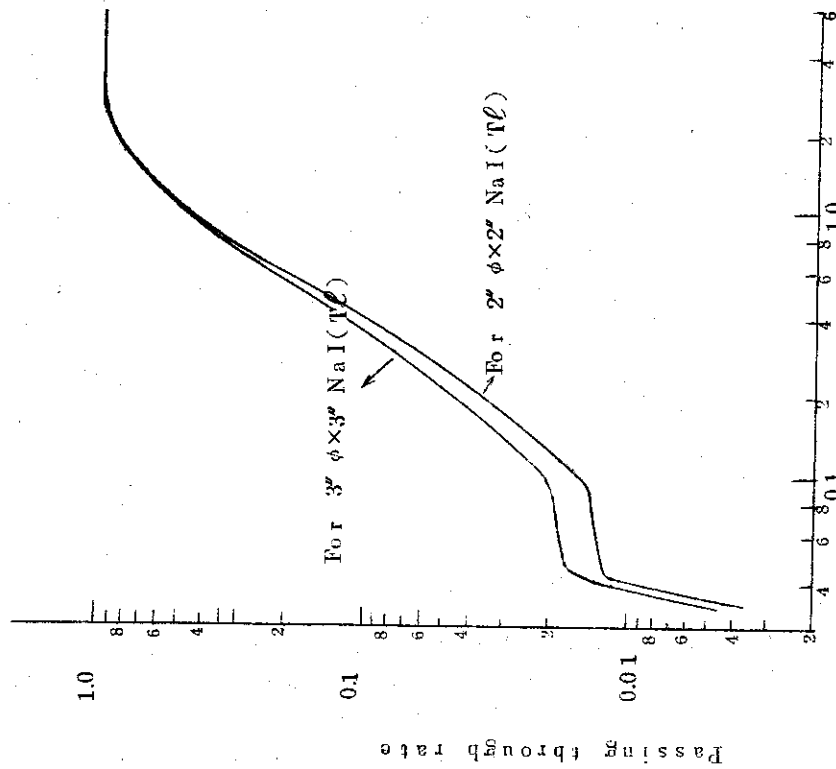


Fig.6 Curves of passing through rate of module unit (A) in Photo.1
Pulse height(MeV)

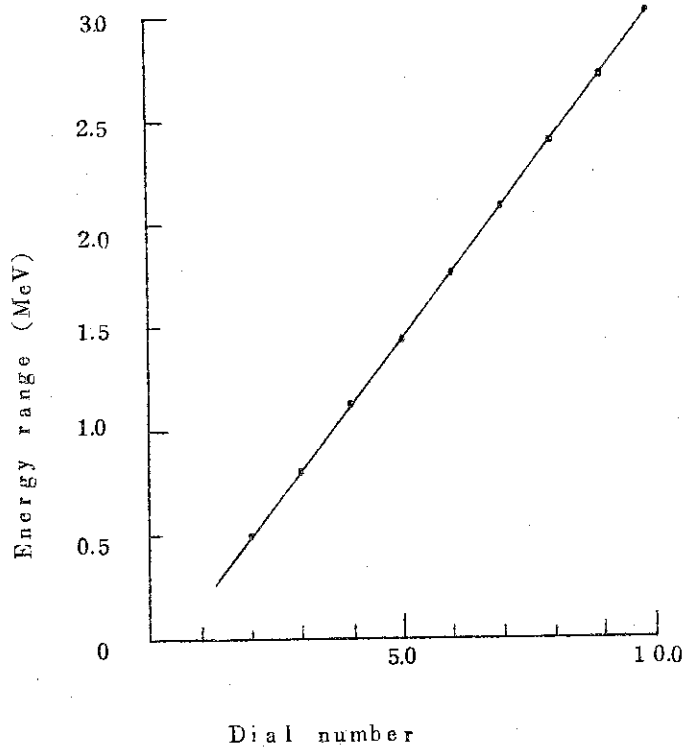


Fig.8 Relation between dial number and improved energy range in module unit (B)

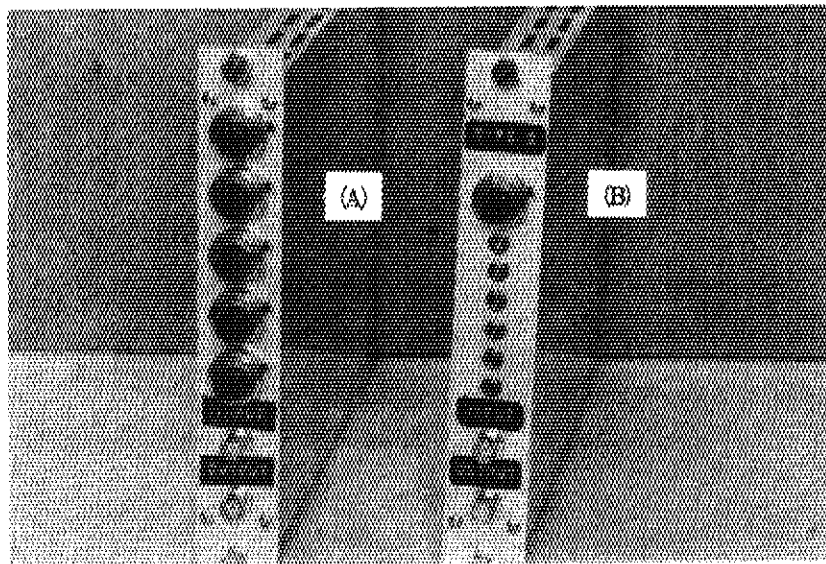


Photo.1 Energy Weighting modules
 Module(A) is adjustable for all sizes of NaI(Tl) scintillator, and module(B) can select the improved energy range of energy response

Table.1 Table of optimum energy of folding points and the bias applied to comparators

Folding point number in Fig. 1	1	2	3	4	5
Energy (MeV)	1.0	0.4	0.25	0.15	0.09
Bias of comparator (Volt)	2.0	0.8	0.5	0.25	0.15

Table.2 Representative examples of calculated active time period of each step

step number	Energy range	Periods (μ S)			
		1" ϕ \times 1" NaI(Tl)	15" ϕ \times 15" NaI(Tl)	2" ϕ \times 2" NaI(Tl)	3" ϕ \times 3" NaI(Tl)
1	30~10MeV	1195	1031	848	511
2	10~0.4MeV	1181	810	573	393
3	0.4~0.25MeV	232	142	103	70.5
4	0.25~0.15MeV	56.5	42.3	39.4	35.3
5	0.15~0.09MeV	17.7	17.3	17.1	16.9
6	0.09~Discr. level	20.0	20.0	20.0	20.0