

微小信号測定 (A8)

2010/10/1改訂

0. 実験準備品

実験テキスト（本紙）、筆記用具、電卓、U S Bメモリ（レポートのためのデータの持ち帰りのため）

1. 実験目的

本実験の目的は、X線や電子などの計測において通常行われているランダム微小信号増幅から波高分布測定に至る一連のパルス信号処理法を学ぶこと、及び、パルス信号処理の基本である電子回路モジュールの使用に慣れることにある。様々な波高を持つ微小パルス信号を電子回路モジュールにより増幅し、数V程度の電圧パルス信号にする。増幅された信号の波高分布を測定する。また信号計測の応用として、ランダムパルス信号のパイルアップ現象について実験し測定結果を考察する。

2. 実験

2.1 オシロスコープによるパルス信号の波形観察

半導体検出器等から出力された様々な電圧パルス信号は通常その値が数mVの微小な信号なために前置増幅器及び比例増幅器で増幅・整形される。実験では増幅されたパルス信号をオシロスコープにより観察する。パルス信号を観察してその波形（波高値、形状、時間幅）等を詳細にメモする。この実験ではオシロスコープの使い方等を習得し、正しい波形分析を行えるようにする。

＜使用機器＞ デジタルオシロスコープ

＜実験手順＞

1. オシロスコープの入力1に検出器からの出力されたBNCコードをつなぐ。
2. オシロスコープの縦軸の電圧、横軸の時間をダイヤルつまみにより調整してパルスが出るようにする。
3. トリガーを調整して一つ一つのパルス波形が停止するように調整する。
4. 様々な波高を持つパルスがあるが、おおまかなパルスの波高値（電圧値）、パルス幅（時間幅）をメモしておく。またパルスの形についても覚えておく。

2.2 シングルチャンネルアナライザー（SCA）による波高分布の計測

検出器から出力されるパルス信号は様々な波高値を持つ。複数のパルス信号をその波高値ごとに分類し、それぞれのパルスの数（計数）を計測することを波高分析という。波高分析は極微量分析手法である放射化分析や医療放射線イメージング等において一般に行われており、必要となる信号の選別、バックグラウンドの除去等に有効である。本実験では半導体検出器からのパルス信号を、シングルチャンネルアナライザー（SCA）を用いて波高分析する。

＜使用機器＞ SCA、カウンタ

SCA : SCAはその入力パルス信号を波高値（パルス信号の電圧値）によって弁別する機能を持つ。測定者が事前にLower levelとWindow幅でしきい条件（図1参照）を設定する。設定後にSCAにパルス信号を入力すると条件を満たした信号だけが測定される。1つの入力パルス信号がSCAに入力すると、しきい条件にて判別される。条件を満たした場合は出力として一つのロジックパルス信号を

出力するが満たさない場合は出力しない。つまりSCAで出力された信号の数を後段のカウンタで数えるとそれは条件に合致したパルス信号の数となる。

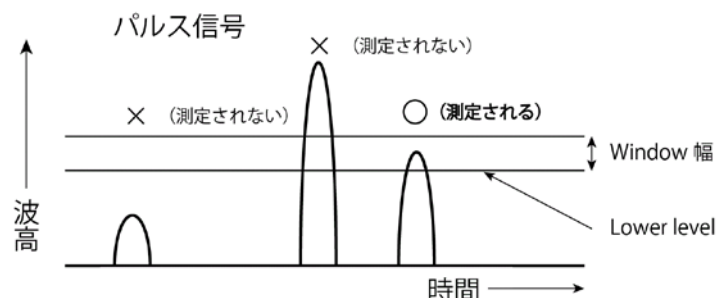


図1 SCAによる信号の弁別

(例 Lower LEVEL 3.0V、Window 0.1Vこのときは 3.0V以上 3.1V未満の波高を持つパルス信号の入力があつたときだけOutputからロジック信号が出力される。設定された電圧範囲外の信号は無視されカウンタへの出力はない)

カウンタ:カウンタは入力のパルス信号の数を測定する。プリセットによって測定時間を測定者が任意に設定できる。本実験ではパルス信号の全カウントではなく、単位時間(1 秒)あたりのパルス数 (cps) にて波高分布を求めるため、測定時間を1回あたり20秒と設定し、計数値を計測時間で割った値(計数率)を求める。

<実験手順(図2参照)>

1. アンプからの信号線をSCAにつなぎ、SCAのLower LEVEL (下のつまみ) のつまみを0.2Vに合わせる。ダイヤルの1周が1Vの変化であり、ダイヤルについている小窓に表示されている値とつまみの値から電圧値を読み取る。
2. Window つまみ(上のダイヤル)は波高の幅(電圧)を決定するが本実験では0.1Vに設定され固定されている。
3. PCで制御されたカウンタのモニター開始ボタンを押して測定を始める。計数が多い場合には統計的に十分であるため測定時間は短くてよい。測定時間を決めてパルス信号の計数率(cps)を求める。(20 秒)
4. 次にSCA のLower LEVEL つまみを操作して値を0.1V 加える。(0.2 から0.3 へ)
5. 手順 3.と同様に測定を行う。(注意:計数が少ない場合は測定時間を長くして統計的に誤差が少なくなるようにする。またPC でのモニターは動かした状態のままなので、しきい設定値を変化させた場合、次々回のモニター数値が信頼できる値となる)
6. 手順 4.に戻りLower つまみの値をさらに0.1V 増やし測定を繰り返す。Lower LEVELの値が3Vを超える付近では計数が極端に少なくなる。ここまで繰り返し測定を行う。
7. 得られたデータについて横軸を Lower LEVEL の値(電圧値)縦軸を計数率(cps)としてヒストグラム(度数分布)を作成する。このヒストグラムから波高分布を決定する。
8. 用意されているPCの表計算, グラフ作成機能を使って波高分布を作成する。(Open office のCalcを利用する。Excelを利用している者は保存時に指定すること)
(注意:パルス波高分布は計数の統計精度を考慮し、縦軸には誤差を記すこと。)

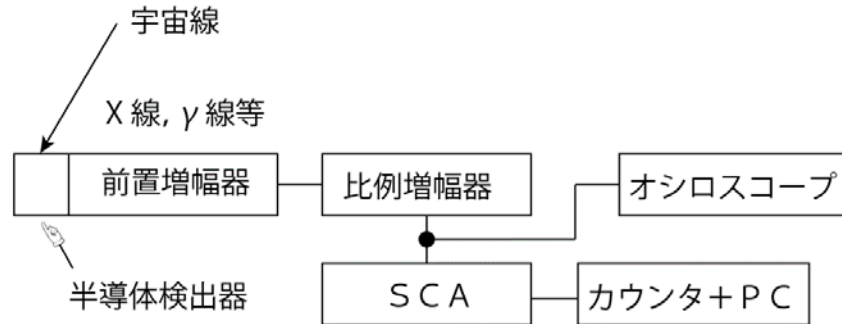


図2 実験回路図

2.3 パイルアップ効果

時間的にランダムに発生するパルス信号ではその数が極端に多い場合には、他のパルス信号との重ね合わせが生じる。この現象をパイルアップと呼び(図3参照)、パイルアップ信号という。パイルアップ信号はピーク部が明確に分離できないほど時間的に近い場合には一つの信号として扱われ、重ね合わせにより、各々のパルスの波高値の和の大きさを持った一つの信号と見なされる。重ね合わせにはズレが生じるため、そのズレによって波高値は異なっていく。このようにパイルアップは波高分布を大きく歪ませ、本当は発生していない波高を持つパルス(疑似信号)を発生させる。実験にてパイルアップ現象を確認し、信号計測における影響を調べる。

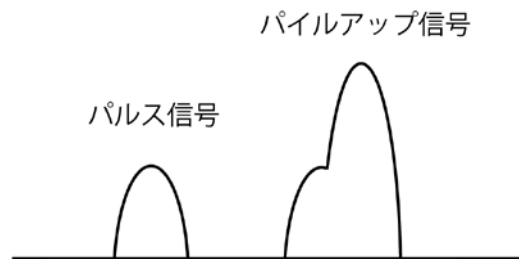


図3 パイルアップ信号

(綺麗に重なると波高値は和になるが、図のようにズレがある場合、波高値は単純な和にならない)

<矩形波周期パルス信号の導入によるパイルアップ効果の実験>

パルス同士の重ね合わせは、パルス幅が狭い場合には、膨大な計数率の場合にしか問題にならない。そこで、この実験では、実験2で得られた波高分布を持つ信号源に規則正しい矩形パルス信号を重畳(信号ラインの途中で割り込ませ、混合して重ね合わせる)させることでパイルアップ事象を擬似的に発生させる。この信号源を対象にして同様に波高分布を調べ、その変化を分析する。実験2.2で測定された波高分布がどのように変化したかを調べる。

<実験内容>

- A) 周波数30kHz (duty 30%)、波高値1.5V程度、パルス幅10 μ sの矩形波パルスを発生し信号をラインに加える。その後先ほどの実験と同様に、0.2Vからの波高分布測定を行う。測定範囲の上限を信号が計測されなくなるまで(5V付近)まで上限を広げて測定を行い、波高分布の変化を測定する。

この実験では先に行った波高分析の最大波高よりもより高い位置にブロードなピークが出現する。これがパイルアップ効果による信号である。このピークの積算計数値を取り、元のピーク（これも積算計数値とする）との比較を行う。

（注意：元のピーク（検出器からの信号）位置が前の実験での位置より若干変化することがある。これは、信号の重畳により生じるものである。ここでは位置変化は気にしなくてよい。）

- B) 次に矩形波パルスの波高値（電圧値）を3 Vに変えて同様に分析する。（波高分布測定は一番波高値が高いピークの始まり（左裾側）から測定を開始する）
- C) 関数発生器からの矩形波パルス（波高1.5 Vに戻す）の周波数を15 kHz（duty15%）に変えて波高分布測定を行う。（測定範囲はB）と同様にして低い部分は不要である）

（注意：duty を調整することにより、矩形パルスの時間幅が常に $10\mu s$ になるようにしている。

行った実験結果をまとめ表計算ソフトによって実験データをグラフ化し、実験2.2のピークとの波高分布の違いについて検討する。）

3. 検討課題

1. 実験Bで、矩形波パルスの波高値を上昇させたことにより波高分布は高波高領域までにわたり大きく変化している。この理由を考察せよ。
2. 実験A, Cで、矩形波パルスの周波数を変化させた時のパイルアップ波高分布の計数変化のデータからパイルアップ率（パイルアップ数/元のピーク総カウント数）は実験値を説明できているかどうか、測定データを用いて定量的に考察せよ。
3. パイルアップによって生じたブロードなピークの形を決定する要因を考察せよ。
4. パルス信号が急激な立ち上がりとそれに続く指数関数的に減少する波形をもつとする。このパルス信号が時間的にランダムに膨大な計数だけ入力した場合、自身のパイルアップ現象によって形成される波高分布をシミュレーションにより予測せよ。（コンピュータ数値計算により可能であるので試みよ）

（注意：1つの信号の幅は $10\mu s$ とし、お互いの信号が 4μ 以内である場合だけ、パイルアップが起こるとして考えよ。それより離れた場合にはお互いの信号は区別されるとする。また、後ろの信号の立ち上がり位置における前の信号の裾の高さが加算されたものをパイルアップ信号の波高とする。）

4. 調査課題

以下の内容について調査を行いレポートに加筆、まとめること。

1. パイルアップの影響を減らしつつ正しい波高分析をするにはどのような工夫が考えられるか。
2. パイルアップ現象を決める要因は何か。
3. 今回の実験では計数はポアソン分布に従うとすると、計数率の誤差はどのように評価したらよいのか。
4. 放射線を計測する検出器からの信号は主に電圧パルス信号であるが、この信号から放射線の種類が分かる場合がある。これはどのような原理に基づくものか調べよ。
5. PET やBNCT などに代表される最新の放射線医療についてその工学的な側面から調べよ。

5. レポートについて

レポートでは以下の項目について整理して作成すること。

- | | |
|------------|------------------------------|
| 1. 実験目的 | 6. 波高分布のグラフと誤差評価 |
| 2. 実験内容 | 7. パイルアップ実験にて得られたピーク部の変化のまとめ |
| 3. 実験装置と手順 | 8. 検討課題の考察と実験結果のまとめ |
| 4. 実験データ | 9. 調査課題 |
| 5. 計算データ | |

6. レポート提出について

レポートは実験終了後 **1週間以内**に A 1 5 未臨界実験棟（実験を行った建屋）玄関入口のセミナー室前にあるレポートBOXに提出する。

<作成上の注意点>

ワープロでの作成も可であるが、他人のレポートやインターネットからの丸コピーは厳禁。図書館などを利用して参考書等を探すことを勧める。データの処理（グラフの作成、数値的な比較、考察）をきちんと行うこと。

7. 問い合わせ先

先進電磁コース：村田 勲

メール：murata@eie.eng.osaka-u.ac.jp

実験場所：A 1 5 未臨界実験棟（核物理センターへつづく道を登ると原子力研究棟4棟が途中にある。その右奥の建物）