

FPGA を用いた Time to Digital Converter の開発

(環境計測学) 高田 修次

1 はじめに

本研究の目的は、イオン・光・電子と分子との相互作用で生成する解離粒子の解離パターンと解離エネルギーを粒子間の飛行時間差から求めるために nsec \sim μ sec のスケールで複数の信号の時間差をデジタル値として出力する Time to Digital Converter(TDC)を Field programmable gate array(FPGA)を用いて開発することである。

一般的な TDC はマイコンやコンデンサなどの部品が複雑に組み合わせられて、一度組み立てると容易には変更ができない。一方 FPGA は後から回路の書き換えが可能なロジック・デバイスである。ユーザーは適切なハードウェアを1つのチップ内に設計することができる。

2 装置の概要

2.1 開発環境

本研究では、Terasic 社の DE0 開発キットを使用した。DE0 開発キットは Altera 社製 Cyclone III EP3C16F484C6N FPGA チップ(ロジックエレメント数 15408)[1]に加えて、SDRAM や Flash メモリ、I/O ピン、USB ポートなどを搭載している。開発は、Altera 社製 Quartus II 開発ソフトウェアを使用して Verilog HDL 言語によって記述した。

2.2 動作原理

本研究で開発した TDC の動作原理について説明する。

図1のようにスタート信号が TDC 内部の DELAY を通過すると一定時間、信号が遅延する。信号が DELAY を通過すると各 DELAY に対応したフリップフロップに値が入力される。ストップ信号が立ち上がりまでに遅延信号が到達した DELAY の個数をフリップフロップの値をエンコーダを通してカウントすることでスタートからストップまでの時間差が分かる。

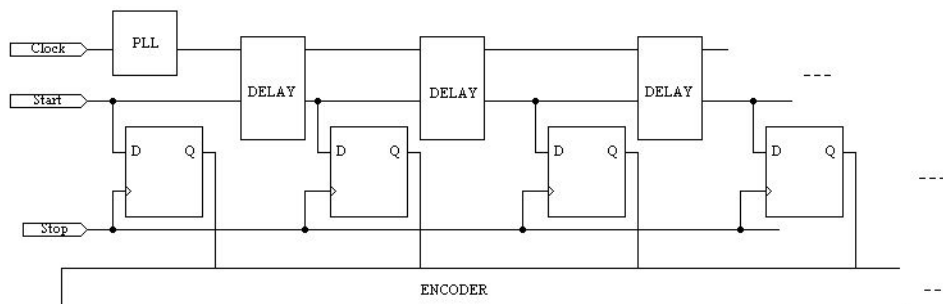


図1 タイムデジタイザの概略図

2.3 TDC の仕様

製作した TDC は約 7bit 相当の分解能を持っていて、フルスケールは 60 μ sec であって、時間分解能は約 500nsec となる。clear はストップ信号が立ち上がった 2 μ sec 後に行う。

信号の入力は DE0 搭載の I/O ピンによって入力し、出力は DE0 搭載の 7 セグメント IC で表示する。

2.4 開発

TDC の開発においては、以下の 2 点を工夫した。

1 つ目は、図 1 の DELAY にあたる遅延回路である。本研究では、クロックとフリップフロップによって信号を遅延させる回路を作った。クロック信号の立ち上がりでフリップフロップの値を連結したフリップフロップに出力する。つまり、クロック信号の波長とフリップフロップの個数の積で遅延する時間が決まる。また、クロックの周波数は PLL 回路を通すことで変更ができる。

2 つ目は、ストップ信号が立ち上がった時に結果を出力する方法である。図 1 のようにストップ信号の立ち上がり時に値が出力されるようにするためにフリップフロップを使った。遅延されたスタート信号をストップ信号でラッチする。

3 性能評価

任意のタイミングでシングルパルスを生成するために 555IC を使ったパルスジェネレータをブレッドボード上に製作した。生成したパルス幅をオシロスコープと TDC の両方で測定して、パルス幅に対するオシロスコープと TDC の値を図 2 のグラフにプロットした。プロットした点をフィッティングすると図から TDC は時間に対して直線性をもっていることが分かる。この結果から TDC は、仕様どおりに動作していることが確認できた。

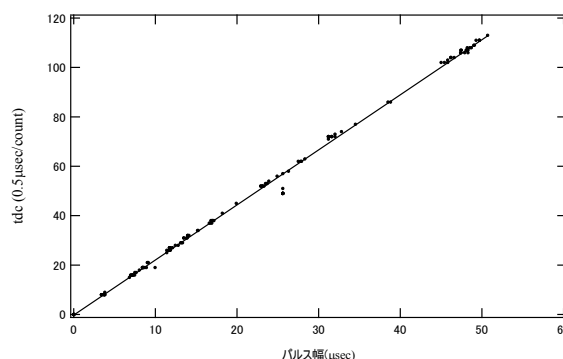


図 2 シングルパルス幅の測定

4 今後の課題

4.1 実際的な測定に向けての改良

実際の測定において粒子の挙動を測定するために、粒子は μsec 単位の間隔で検出器に衝突するために高速な clear と測定に対応した設計を考える必要がある。

4.2 精度の高い性能評価方法の開発

今回製作したパルスジェネレータは、555IC の性能から $4\mu\text{sec}$ 以下の幅を持つパルスを生成することができなかった。想定している測定では $\text{psec} \sim \text{nsec}$ 単位での分解能が必要となるために、性能評価をするためにはより短い幅で正確なパルスを生成する必要がある。

参考資料

[1] Cyclone III デバイス・ファミリの概要

(http://www.altera.co.jp/literature/hb/cyc3/cyc3_ciii51001_j.pdf)