

Signal Fanout Distributor の開発 -専門技術で研究現場の需要に応える-

豊田朋範¹・千葉 寿²・木村和典¹・古舘守道²・藤崎聡美²

¹分子科学研究所 技術課

²岩手大学 理工学系技術部

実験現場で複数の測定系に信号を分散する際、T型アダプタを使用する。これによりケーブルのインピーダンスが増大し、信号波形が劣化してトリガタイミングがずれる課題がある。一方、ケーブルを足で引っ掛けるなど不慮の事故により、ケーブルが断線して実験ができなくなり、ケーブルの断線が原因であると特定するまでに多くの時間と労力を費やすこともある。信号をコピーして複数の出力に分配するファンアウトは存在するが、信号レベルが限定されるなど課題がある。

我々は、±5V 以内であれば、信号の種類を問わずにコピーして、最大 8 出力に分配する Signal Fanout Distributor(以下 SFD)を開発した。SFD はケーブルチェック機能を含め、すべてアナログ回路で構成した。

Key Words : 電流帰還型オペアンプ、ケーブルチェック、コンパレータ、アナログ回路

1. 実験現場における信号の分配と課題

実験現場では、ある検出器で検出した信号を、複数の測定系に分配して、たとえば PC やオシロスコープに取り込み、一定のタイミングで計測することは日常的に行われている。この時、信号の分配は BNC の T 型アダプタが用いられる(Fig. 1)。

一方、ケーブルは芯線の太さ、長さなどによって、式 1 に示される抵抗成分 R に加えて、インダクタンス成分 L とキャパシタンス成分 C が発生し、式 2 に示されるインピーダンスを有する。

$$R = \rho l/s \dots \text{式(1)}$$

ただし、R:抵抗(Ω) ρ :抵抗率($\Omega \cdot \text{m}$) l:ケーブル長(m) s:断面積(m^2)

$$Z = R + j\omega L + 1/(j\omega C) \dots \text{式(2)}$$

ただし、 ω :角周波数 = $2\pi f$ f:周波数(Hz)



Fig. 1. BNC T-type Adaptor

ケーブルのインピーダンスは、信号波形を鈍らせ、時に測定系が必要とするレベルを下回る事態を生じる。これにより、測定系で信号を検出するタイミングがずれる、あるいは信号の検出ができず、目的の測定ができないことがある。

一方、多数のケーブルが縦横に行き交う実験現場では、ケーブルに足を引っ掛けるなど不慮の事故が発生することがある。この際、ケーブルが内部で断線あるいは接触不良に陥り、必要な信号が伝搬されなくなることで、実験そのものが長期間停止することがある。

T型アダプタを使用しない信号の分配方法として、ファンアウトが挙げられる。市販のファンアウトは、ロジックレベル、すなわち信号が閾値以上かそれ以外かの信号しか適用できない。ケーブルの導通チェックはテスタやケーブルチェッカーで可能であるが、多くの場合、ケーブルに原因があると推定するに至るまで、測定器や測定条件を検証する。ケーブルの角度や配置によって測定できることもある接触不良は尚更発覚しにくく、多大な時間と労力を消費することがある。

我々は、実験現場におけるこのような課題に対し、信号の種類を問わず、最大 8 出力に分配するとともに、ケーブルチェック機能を搭載し、2色LEDで信号の極性やケーブルの状態を示す Signal Fanout Distributor(SFD)を開発した。

2. Signal Fanout Distributor の概要

開発した SFD(4ch タイプ)を Fig. 2 に、ブロック図を Fig. 3 に、主な仕様を Table 1 に示す。



Fig. 2. Overview of SFD (4ch type)

4chタイプと8chタイプは同一のプリント基板を使用しており、簡単な作業で増設可能である。入力信号レベルは最大 ±5V であるため、一般的な

TTL(Transistor-Transistor Level) トリガの他、NIM(Nuclear Instrument Module)信号や MCP(Multi Channel Plate)の出力など負極製の信号も接続できる。

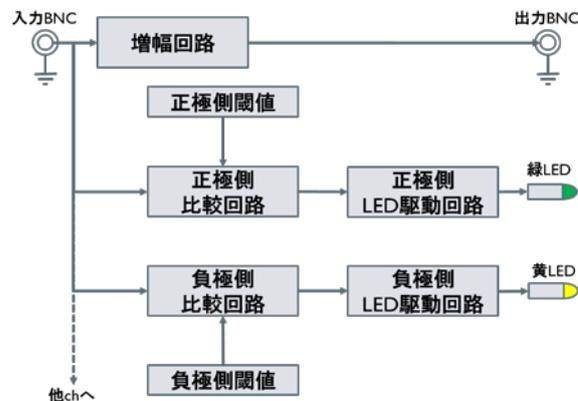


Fig. 3. Block diagram of SFD (1ch)

Table 1. Main characteristics of SFD

入力信号レベル	±5V(max)
入力ー出力 伝搬遅延	8ns(max)
出力間スキュー	1ns(max)
消費電力	AC100V, 15W@±5Vp-p, 1kHz サインは入力時
寸法	W270xH75xD220(mm) @4ch タイプ W270xH100xD220(mm) @8ch type

インピーダンスが異なると反射や透過によって波形が乱れ、測定系に悪影響が出る恐れがある。実験現場では 50Ω で信号を送受信することが多いため、入力信号を電流帰還型オペアンプ THS3001ID (Texas Instruments 社) で増幅するとともに、50Ω 負荷駆動を可能にした。

増幅した信号は、コンパレータ LM2931NOPB (Texas Instruments 社) で構成する 2 系統の閾値検出回路に分歧し、信号の極性とレベルを検出する。この回路の検出結果を 2 色 LED 駆動回路に入力し、信号の極性が正では緑、負ではオレンジの LED を点灯する。LED 駆動回路は、信号の入力が消滅するとすべて消灯する。これにより、出力に接続したケーブルの導通チェックをその場

で視認でき、ケーブルの異常を早期に発見することが出来る。

3.アナログ回路で構成する利点

信号やレベルの検出は、A/D 変換を用いることも出来る。SFD では、信号の極性に応じた LED の点灯・消灯やケーブルチェック機能に、A/D 変換器を適用できる。我々は、(1)回路が複雑になり、大型化する(2)測定精度を必要としないの 2 点から、SFD の開発では A/D 変換器の採用を見送った。

A/D 変換器は、インターフェースを中心とするデジタル部と、アナログ信号を入力するアナログ部に大別されるが、デジタル部からのノイズ混入を避けるため、デジタル部とアナログ部の電源と GND を分離するのが通例である。また、電源端子のインピーダンス低減のため、電源端子近傍にデカップリング・コンデンサを必要とする (Fig. 4)。更に、A/D 変換器の駆動には、サンプリングを行うためのクロックや各種レジスタの設定、A/D 変換されたデータを取り出す配線が必要であり、これらの制御にはマイコンもしくは FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いる。勿論、マイコンや FPGA の電源端子近傍にデカップリング・コンデンサを配置することは必須である。

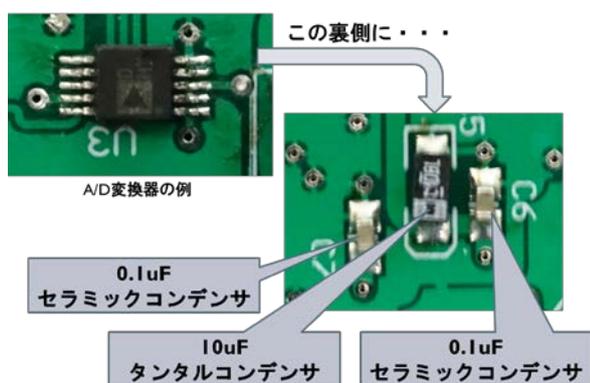


Fig. 4. Example of decoupling capacitors around A/D converter

一方、SFD で 4ch 分の回路を 1 枚のプリント基板に並べるにあたって、ch 間の間隔を BNC コネクタの着脱がしやすい 45mm とした (Fig. 5)。現状でも限られたプリント基

板に部品と配線が密集している。更に A/D 変換器やマイコン・FPGA を搭載すれば、プリント基板の大型化は避けられず、実装コストが増大する。複数の層を重ねる多層基板 (Fig. 6) の採用も考えられるが、IC など回路部品の実装は結局プリント基板のどちらかの面にしか実装できないため、解決には至らない。より小型の部品を採用しても大差ない上に、手作業での実装が不可能になり、実装コストが更に増大する。

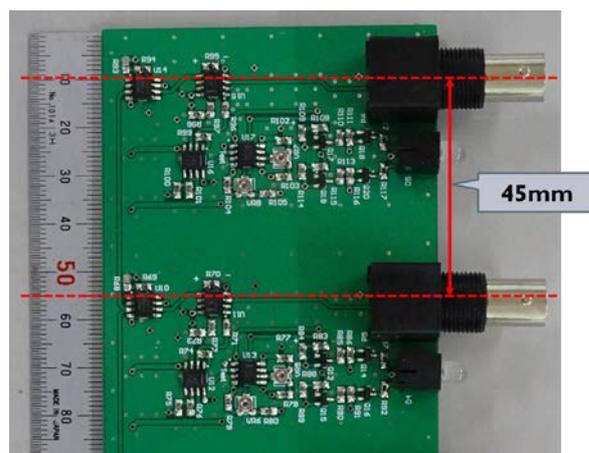


Fig. 5. Space between channels of SFD circuit board

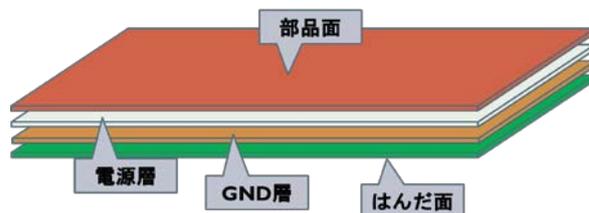


Fig. 6. Image of Multi-layer circuit board

限られたプリント基板の面積を奪い合う形で搭載した A/D 変換器と周辺回路の役割が、入力信号レベルと閾値との比較と LED の駆動であるなら、部品と実装のコストに見合う機能とは言えない。加えて、人間が視認できる点滅速度は 60Hz 程度であり、それ以上の高速応答は殆ど意味をなさない。コンパレータとトランジスタ、数点の抵抗で構成できる現状の回路で必要十分である。

4. まとめと考察-最先端≠最適解-

我々は、最大 $\pm 5V$ の信号を 50Ω 駆動で最大 8ch に分配し、2 色 LED で信号の極性とケーブルの着脱を視認

できる汎用的な信号分配器であるSFDを開発した。SFDは単体で実験現場における測定系への信号分配に寄与する他、他の研究用電子機器における50Ω駆動系に転用され、重要な機能を担っている。

専門分野の技術向上は、ともすれば最先端のデバイスや最先端の製造装置など、「最先端」に目が行きがちである。しかしながら、前回我々が報告したとおり²⁾、実験現場の課題に対しては、必ずしも「最先端」が最適解とは限らない。むしろ「枯れた」技術やデバイスの方が有用であることが珍しくない。本装置の開発においても、ケーブルチェック機能を実現する入力信号と閾値の比較並びに2色LEDの駆動を、A/D変換器とマイコンもしくはFPGAではなく、汎用的なコンパレータとトランジスタにより、非常に安価で必要十分な機能を実現できた。

IoT(Internet of Things)やAI(Artificial Intelligence)など「最先端」の用語が独り歩きする一方、「枯れた」技術であるアナログ回路は、「時代遅れ」などと軽視されやすい。しかし、アナログ回路は、マイコンやFPGA以上の高速演算が可能で、マイコンやFPGAでは不可能な高電圧や大電流を直接扱える。ある先輩技術職員の「電子回路は最終的にはアナログ回路に帰結する」「アナログ回路をきちんと製作できて一人前」という見解は、決して過去のものではない。

コストは大学・研究機関においても決して無視できない。大学・研究機関の運営費交付金は減少を続け、恒常的な研究費の確保が困難な状況である。「最先端」は往々にして高額な導入費用と定期的な維持費用が必要で、需要が一時的に殺到して入手困難になることもある。その点、汎用的なデバイスは長期的に安定して入手でき、製造終了でも代替品やセカンドソースが豊富である。

「最先端」を掲げて多種多様な機能を搭載しても、それに見合った導入コストでなければ、実験現場は導入に躊躇し、敬遠さえする。実験現場の最適解は、「最先端」という限られた領域だけでなく、広くアンテナを張り、「枯れた」技術やデバイスも選択肢として深め、探ることで得られると考える。

5.謝辞

本装置の開発は、2019年度川合所長奨励研究費の助成を受けて行われた。

本装置の開発には、大森賢治・分子科学研究所教授と武井宣幸・京都大学特定准教授(元・分子科学研究所助教)に多大なご協力を頂いた。各位に深い感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 可視限界周波数と言われる。以下のURLなどを参照されたい。
<http://www.math.kobe-u.ac.jp/HOME/kodama/tips-flicker.html>
- 2) 豊田朋範、千葉寿、木村和典「BIN 電源アダプタの開発-専門分野の最適解で需要に応える-」、第21回岐阜大学技術報告会