

PF-AR 直接入射路用ログアンプ型 BPM 信号検出回路の開発

DEVELOPMENT OF LOG-RATIO AMPLIFIER TYPE BPM SIGNAL DETECTION CIRCUIT FOR PF-AR DIRECT BEAM TRANSPORT LINE

下ヶ橋秀典^{#, A)}, 帯名崇^{A)}

Hidenori Sagehashi^{#, A)}, Takashi Obina^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

The KEK PF-AR has constructed a new transport line for direct injection of electron beams. 21 sets of Beam Position Monitor (BPM) are installed on the new transport line. In the early stage of the beam commissioning, the BPM signal detection system has diverted from the system of cERL. It is impossible to prepare enough number of detection system both for AR-BT and cERL due to financial reason. Therefore, it has become necessary to prepare an inexpensive BPM signal detection system to cover all BPMs. The detection method is a BPM signal processing circuit using Log AMP. Although the output of the BPF or Log AMP may be directly incorporated into the ADC, an ADC of about 100 MS/s or higher is required. Therefore, a function of holding the analog output for up to 10 ms using the peak hold circuit was added. This makes it possible to capture data at low speed and low cost with ADC. Digitalization and data processing is performed using ADC of PLC for the time being. A 3D printer was used to make the circuit housing that fits the NIM-BIN power supply. This paper reports on the development and manufacture of the equipment, test results using pseudo signals, and test results using real beams.

1. はじめに

KEK PF-AR では 6.5GeV の電子ビームを直接入射するための新しい輸送路(PF-AR 直接入射路)を建設してきた。新入射路には 21 台の Beam Position Monitor(BPM)が設置されている。立ち上げ当初 BPM 信号検出機器は cERL のシステムを借用していた。現在、cERL での使用もあり、両施設共に必要最低限の数量で運転を行っている。そこで、安価な BPM 信号検出システムを用意する必要が生じた。本発表では、ログアンプ型 BPM 信号検出回路の開発について報告を行う。

2. 測定システム

BPM は 4 つの電極から成り、ビームが電極近傍を通過することで出力電圧が得られ、その出力電圧の比率から位置を求めるものである。また、出力電圧の和から通

過電荷を測定するものである。Figure 1 に今回開発を行っている BPM 測定システムを示す。破線で囲った部分が信号検出部であり、4 入力のそれぞれに BPM Detector Circuit Board(信号検出回路)が組み込まれている。基本的にログアンプを用いた BPM 信号処理回路である[1]。信号検出回路は Band Pass Filter(BPF)、ログアンプ(Log AMP)、Peak Hold、Reset(Discharge)の各ブロックで構成されている。BPF あるいはログアンプの出力を直接 ADC に取り込んでも良いのであるが、100MS/s 以上程度の ADC が必要となる。そこで、Peak Hold 回路を用いて 10ms までアナログ出力を保持する機能を追加した。それにより、遅い安価な ADC でも取り込み可能とした。当面は PLC の ADC を用いてデジタル化&データ処理することを考えている。また、各回路構成部品はカタログベースの市販品で揃えること、回路基板を納める筐体を 3D プリンタで製作することでコストダウンを計っている。

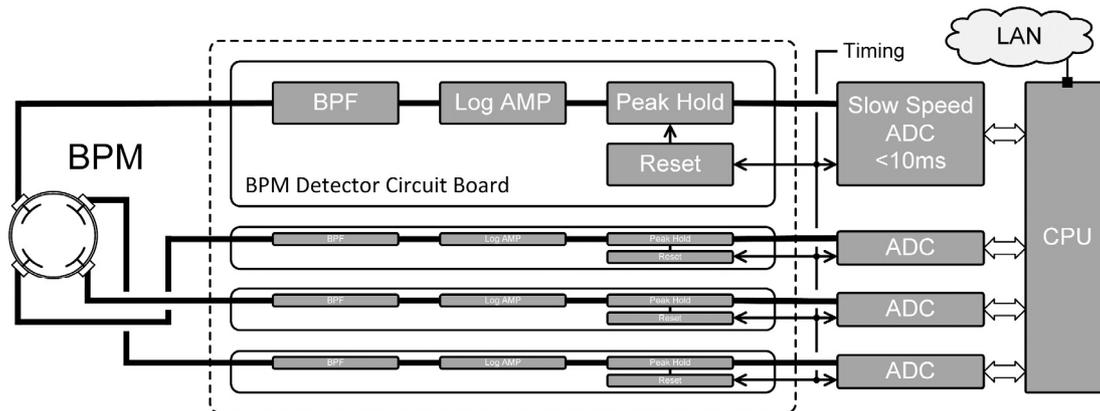


Figure 1: System configuration diagram.

[#] hidenori.sagehashi@kek.jp

3. 信号検出回路

Figure 1 の信号検出回路について、波形観測結果と共に説明をする。BPM からの出力電圧は 1 周期分の正弦波が約 2 ns 幅で出力される (Fig. 2)。

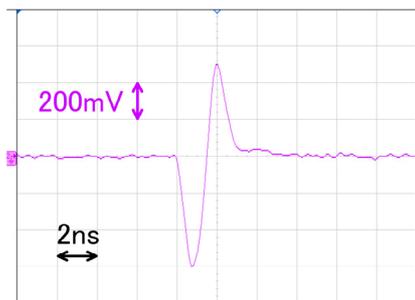


Figure 2: BPM electrode output signal.

この高速な信号を BPF に通すことにより、約 80 ns 幅まで引き延ばし、次段のログアンプが扱える信号に変換する (Fig. 3 (1))。ログアンプの出力は入力波形のエンベロープの対数出力となる (Fig. 3(2))。

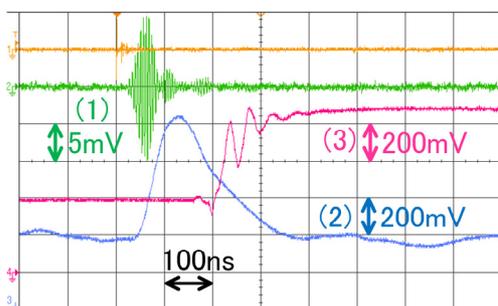


Figure 3: BPM detector circuit board signals.

次に Peak Hold を用いて、アナログ電圧値を保持している (Fig. 3 (3))。時間スケールを伸ばした Peak Hold の様子を Fig. 4(1)に示す。10 ms まで ± 3 mV 程度で保持している。なお、Peak Hold の Reset(Discharge)はビーム直前(約 100 μ s 前)の Timing 信号により行っている。Reset 信号は正負両方の論理に対応している。また、1セット 4 基板の中で共用な部分については、残りの 3 基板において部品の実装を省くことができる。

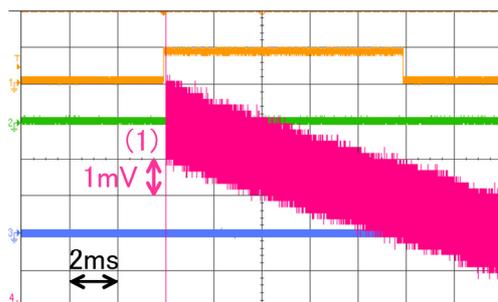


Figure 4: Peak hold output.

4. 回路基板、筐体の設計・製作

回路開発は評価ボード及びユニバーサル基板を用いた試作を機能ブロック毎に行い、全体をまとめていった。バラックで動作を確認した後、CAD を利用し回路図の作成と PCB 設計を行った。プリント基板製作及び部品実装作業はネット通販型の製作会社に依頼した。製作した基板は機器内部に 4 枚収納されている (Fig. 5(a))。

3D プリンタを用いて NIM-BIN 電源に納まるケースを製作した。機器外観図を Fig. 5(b)に示す。置き換え対象の信号検出機器が NIM モジュールであるため、そのようにした。ただし、機器の電源自体は 5 V の AC アダプタで供給される。

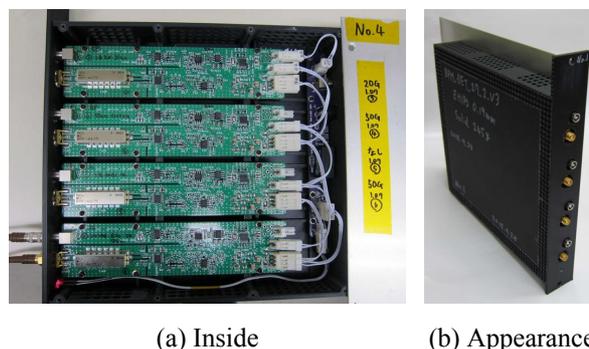


Figure 5: Inside and appearance of the equipment.

5. 疑似信号入力によるテスト結果

信号検出回路における、入力-出力特性の測定結果を Fig. 6 に示す。入力は信号発生器により BPM 電極出力を模したものである。出力は Peak Hold 出力である。入力電圧、出力電圧共にオシロスコープでの実測値である。繰り返し周波数は 10 Hz、各測定点で 256 ポイントのアベリッジ測定を行った。測定範囲で直線性が保たれている。

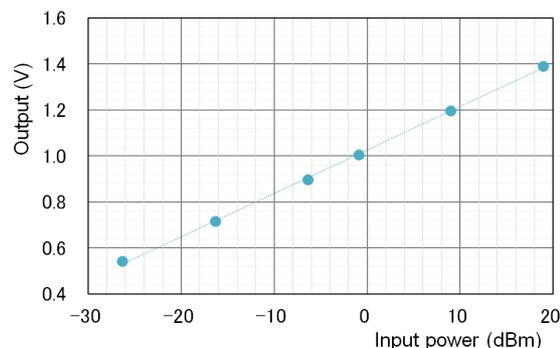


Figure 6: Peak hold output vs. input power.

Figure 7 および Fig. 8 は横河製の PLC (ADC) にてデータを取込み、測定した結果である。入力は信号源をディバイダで 4 分割したものを使用し、繰り返し周波数は 10Hz で測定を行った。

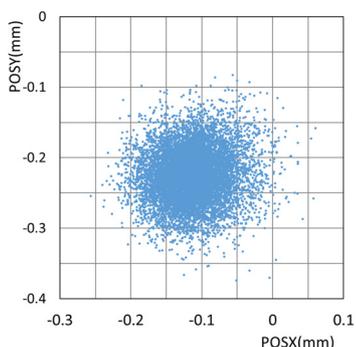


Figure 7: Position measurement result.

Figure 7 での入力は 19 dBm、データ数 9,757 点、Fig. 8 は各測定点でデータ数 10,000 点程度となっている。安定して測定出来ている。分解能は入力が 19 dBm の時で 40 μm 程度という結果を得ている。

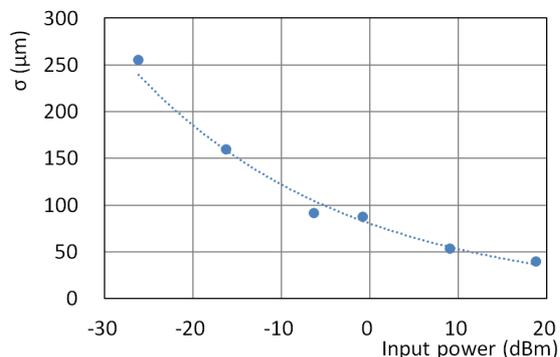


Figure 8: Resolution vs. input power.

6. 実ビームによるテスト結果

実ビームによる測定テストは 5. と同様に、本信号検出回路と横河製の PLC (ADC) を組み合わせたシステムで行った。Figure 9 はデータ取り込みの様子である。サンプル番号 0 付近でリセットし、25 付近でビーム検出をしてピークホールドを行っている。その後 51-90 でデータを取り込んでいる。

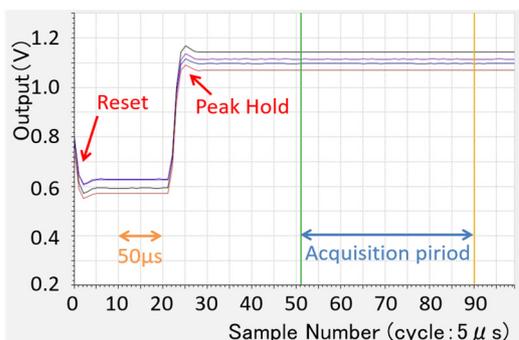


Figure 9: Data acquisition using PLC (ADC).

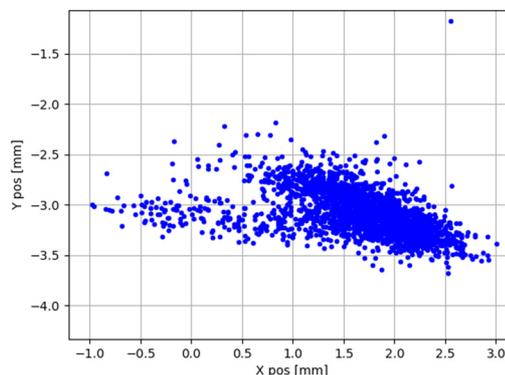


Figure 10: Actual beam measurement results.

取り込んだデータは平均化してジッター、ノイズ等の影響を低減している。Figure 10 は実ビームによる測定結果で、6.5 GeV 連続入射時(2,227 点)のものである。本システムの性能が必要十分であると言える。

7. まとめと今後

今回、安価な BPM 測定システムの構築を目指し、PF-AR 直接入射路用ログアンプ型 BPM 信号検出回路の開発を行った。また、筐体の CAD 設計を行い、3D プリンタで製作を行った。BPM 電極出力を模擬した信号を用いて動作試験、特性測定を行った。さらに、実ビームでの試験検証を行った。現在 15 台程度の量産を行っており、PLC の ADC による読み込みシステムで PF-ARBT に展開する予定である。また、もっと遅い ADC を用いてシステムを組むことも考えている。

謝辞

データ取り込み用 PLC と EPICS 関連のソフトウェアにおいて、東日技研 亀田吉郎氏にご協力を頂きました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] K. Yanagida *et al.*, "SIGNAL PROCESSOR FOR BPM USING LOG AMPLIFIER-DETECTOR", Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, July 12-14, 2000, Himeji, pp.114-116.