

DEVELOPMENT OF A CURRENT MONITOR USING A NEGATIVE IMPEDANCE CIRCUIT

Tetsuro Kurita^{1,A)}, Shigeshi Ninomiya^{B)}

^{A)} Nagatani 64-52-1, Tsuruga, Fukui, 914-0135 JAPAN

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801 JAPAN

Abstract

We developed and installed a beam current transformer appropriate for monitoring beam of an accelerator having operating period of less than a few seconds. The beam monitor is a new type CT which can measure DC component of beam using a negative impedance circuit. Also a digital signal processor(DSP) is used to a post signal processing system for canceling a leak field signal from and reducing fluctuation of pedestal of output signal. The development of current monitor system and the installation are reported.

負性抵抗回路を用いたカレントモニタの開発

1. はじめに

若狭湾エネルギー研究センターのシンクロトロン
のビームモニタとしては、高周波帯域の
Current Transformer (CT) と静電誘導型のバンチ形
状モニタが設置されている。高周波帯域(400Hz-
7MHz)の CTはマルチターン入射電流のモニタに
使用され、静電誘導型バンチモニタで加速中の粒
子数をモニタしている。

いずれのモニタも以下の欠点がある。

- ビームがバンチを形成していないと出力が得られない。このため、バンチ形成していない入射直後や出射期間の Coasting Beam をモニタできない。
- 高周波信号を伝送するため、ケーブルの周波数特性の影響を受け正確な測定が難しい。

そこで、これらの欠点を補うために高エネルギー
加速器研究機構(KEK)と共同研究で直流電流を測
定できる負性抵抗を用いた新しい方式のCTを開
発し、WERCのシンクロトロンにインストールし
た。その結果を報告する。

2. 負性抵抗回路を用いたCTの原理

Current Transformer(CT)は電流が発生する磁場
をトロイダルコイル (ピックアップコイル) で電
圧に変換することによって電流を測定する。一般
に、CTにはバンドパスフィルタの特性がある。
ピックアップコイルの終端抵抗及びコイル自身の
抵抗の和を R_1 とし、ピックアップコイルのインダ
クタンスを L とすると、低域のカットオフ周波数

は、 $\omega_L=R_1/L$ で表される。

リング内の電流をバンチに依存せずに測定する
ためには、低域カットオフ周波数をキャンセルも
しくは小さくすることにより直流成分を測定する
必要がある。低い周波数にも感度を持たせる方法
として、ピックアップコイルに巻き線を追加し、
その巻き線に出力をフィードバックし、等価的に
 L を大きくすることにより低域カットオフ周波数
を下げたHEREWARD transformerが使われている¹⁾。

我々の開発した CT は負性抵抗回路を用いて
 R_1 を完全にキャンセルする方法である²⁾。その原
理図を図1に示す。オペアンプの入力インピーダ
ンス Z_{in} は次式で表される。

$$Z_{in} = -R \frac{R_i}{R_f}$$

インピーダンスが仮想的に負になるので、抵抗値
を調整することにより R_1 をキャンセルすることがで
きる。これにより、ビーム電流の直流成分を測定す
ることができるようになる。

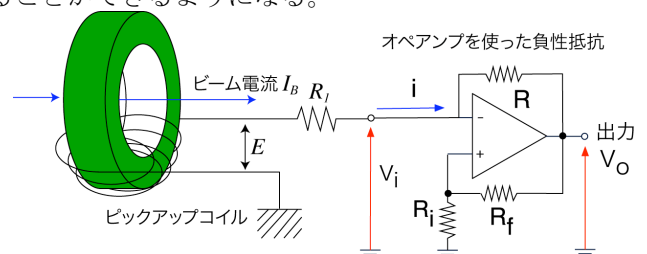


図1：負性抵抗回路を用いた直流CTの原理

3. CTのインストールと磁気シールド

これまで、当センターのシンクロトロンでCT

¹ E-mail: tkurita@werc.or.jp

が設置できる絶縁セクションは、偏向電磁石の直下流に配置されていた。このため、偏向電磁石の漏れ磁場信号がCTを飽和させてしまうので、漏れ磁場を遮蔽する磁気シールドを設置した。しかし、十分な遮蔽効果を得ることができず、一か所の偏向電磁石の漏れ磁場だけを遮蔽するのでリングの対称性を崩し大きなClosed Orbit Distortion (COD) を発生させてしまう。そこで、Q電磁石付近に新たな絶縁セクションを設けた。

設置したCTを図2に示す。隣接しているQ電磁石からの漏れ磁場がCTに影響することが予想されたので鉄の薄板を重ねた磁気シールドを設置した。

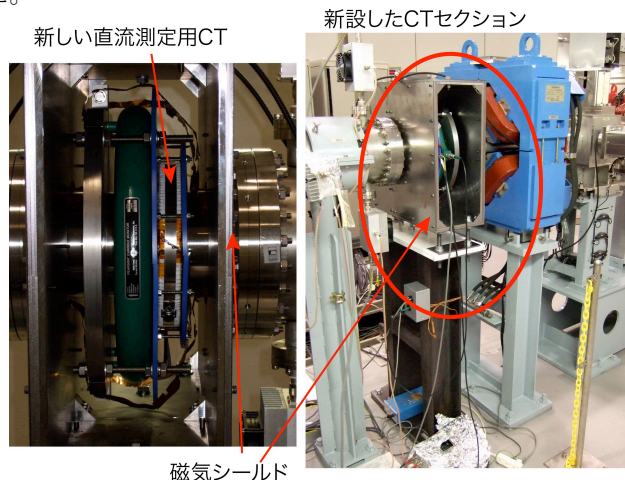


図2：インストールしたCTと磁気シールド

4. 信号処理回路

CTの信号処理回路を図3に示す。ピックアップコイルと負性抵抗回路で検出されたビーム電流信号は、制御室まで同軸ケーブルで輸送される。ビーム電流信号は制御室のControl Moduleで増幅されて、DSPの信号演算モジュールに入力される。信号演算モジュールは、MTT社のDSP開発キットsBoxを利用して製作した。ビーム電流信号は信号演算モジュール内で加速高周波の周波数信号で割り算され粒子数信号に変換される。

鉄板による磁気シールドで検出コイルを覆っていても、Q電磁石、ステアラ電磁石などパターン運転を行っている磁石の磁場の変化がトロイダルコイルで検出される。そこで、信号演算モジュールでは、漏れ磁場信号を完全にキャンセルするために、ビームを入射していないときの信号をRAM に記録しビーム電流信号から引き算する。

負性抵抗回路が極めて温度変化に対して敏感であり、信号のペDESTALが変動する。このため、ビーム入射前のタイミング信号を各モジュールに入力し、そのタイミングで信号のオフセットをリ

セットしている。

また、ビーム加速中のペDESTALの変動による誤差を少なくする為に、ビーム入射前とビーム減速後の信号を記録しペDESTALの変動を直線で補完して引き算する。ペDESTALの変動の抑制を行うには、ビーム加速終了後にならないと補正量が決定しないので1周期だけ出力が遅れることになる。

漏れ磁場信号のキャンセル、オフセットリセット、ペDESTALの変動の抑制の様子を図4に示す。図4の信号は、検出コイルに入力信号が無い場合の出力であるが、DSP による補正を行うことにより、変動を除去することができている。

5. 測定精度

測定精度は、時定数の調整精度および補正しきれないペDESTALの変動で決定される。矩形波のテストパルスを入力したときの出力を図5に示す。

実際にビーム電流を測定したときの出力を図6示す。静電型バンチモニターで測定される蓄積電荷とほぼ同じ出力が得られている。

6. まとめと課題

負性抵抗を用いた新しい原理の直流帯域を持ったCTの開発及び若狭湾エネルギー研究センターのシンクロトロンへのインストールを行った。バンチ波形に依存せず、リング内の粒子数をモニタできるようになった。

しかし、負性抵抗回路の特性が極めて温度に対して敏感であり、回路の動作状況でさえ時定数に影響する。また、回路を周囲の大気の流れから隔離することでペDESTALの変動を押えられることがわかっている。そのため、負性抵抗回路を恒温槽の中に入れることを計画している。恒温槽による温度管理によって測定精度/安定性を向上できると思われる。

参考文献

- [1] J. Borer and R. Jung, "DIAGNOSTICS", CERN 8415, pp385-467, 1984
- [2] S. Ninomiya et al., EPAC2004 Proceeding , p1145, 2004

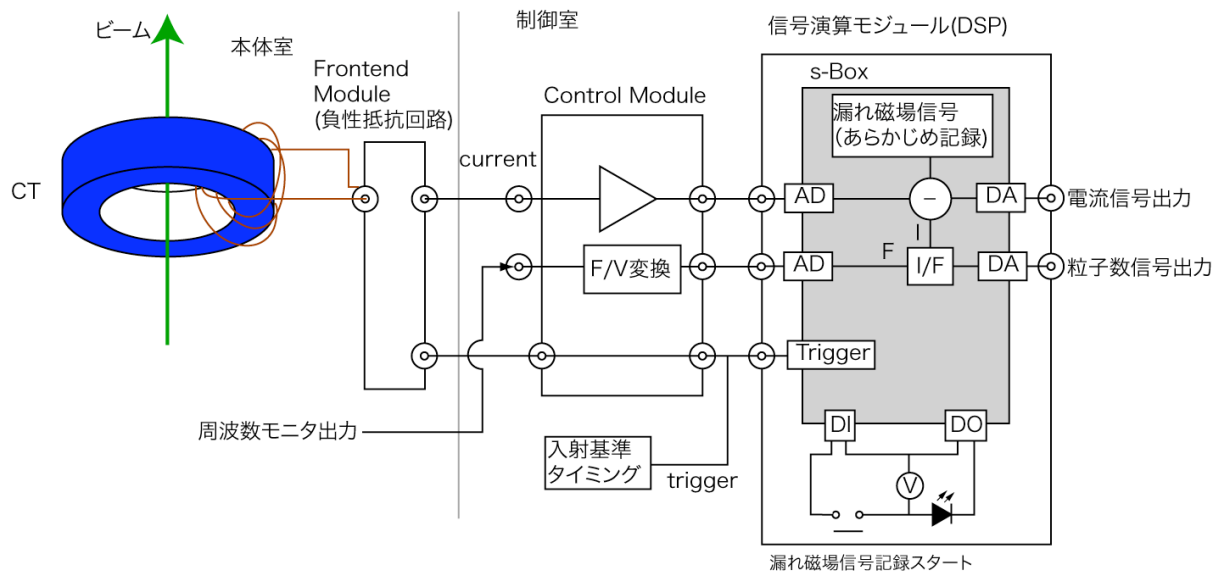


図 3 : 信号処理回路

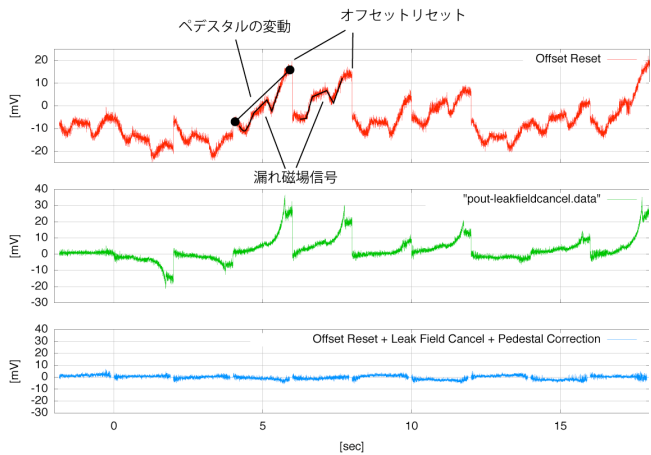


図 4 : 漏れ磁場信号のキャンセルとペDESTALの補正

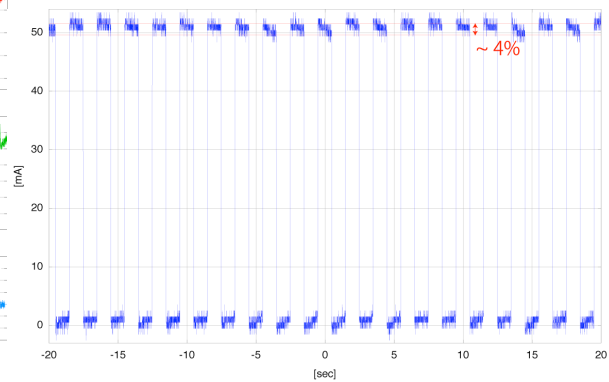
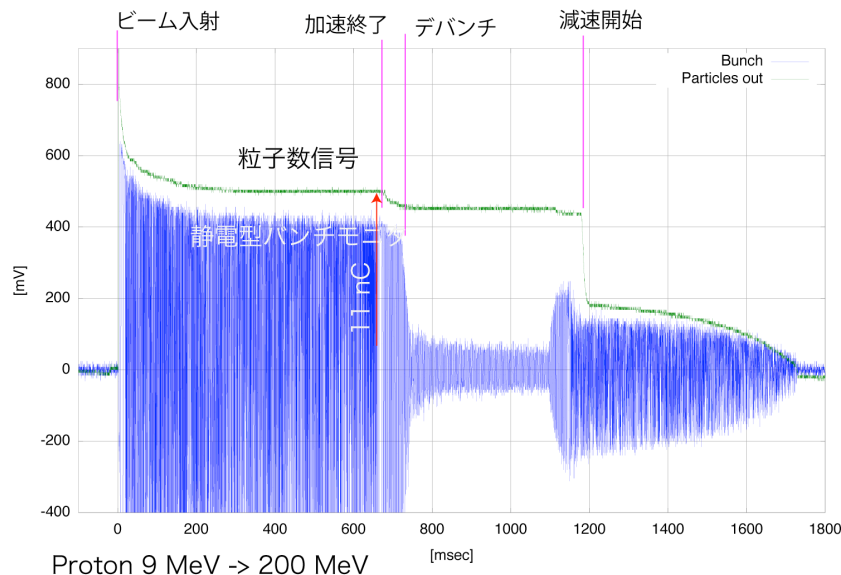


図 5 : テスト信号による安定性の評価



Proton 9 MeV -> 200 MeV

図 6 : 粒子数信号とバンチ信号