

The Development of New Automatic Bunch Current Sensitive Fast Attenuator for RF front-end of Bunch-by-Bunch Feedback System at SPring-8

Kazuo Kobayashi¹, Takeshi Nakamura
 JASRI/SPring-8
 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract

We are currently developing a new bunch current sensitive automatic attenuation system for the RF front-end of the bunch-by-bunch feedback system in the SPring-8 storage ring. It controls the attenuation of the signal from high current bunch to avoid the saturation of RF front-end and for equalization of the feedback gain of hybrid beam filling modes consist of few-mA singlet bunches and sub-mA bunch trains. To achieve more attenuation level and more flexible operation, we are now developing a new attenuation system with a voltage variable and a digital controlled attenuator devices combined a modified DC-outputs of Bunch-by-Bunch Feedback Signal processor. This paper describes the new attenuation system and its test results under developing.

Bunch-by-Bunch Feedback 用新規バンチ電流感応型自動アッテネータシステムの開発

1. はじめに

SPring-8 蓄積リングでは、様々なバンチフィリングパターンを実現し、放射光ユーザーに供している。その中で一様ではないバンチ電流から構成されるハイブリッドフィリングでは、既に開発したバンチ電流感応型自動アッテネータにより、シングル部、トレイン部双方において適切な Bunch-by-Bunch Feedback (BBF) システムの RF 信号入力になるよう BPM からの位置信号強度を自動制御し、BBF システムによりビーム不安定性を抑制している。しかしながら現在使用している自動アッテネータシステムの対応範囲としては電流強度比にして 15dB 程度が限界であるので、例えば 10mA/0.05mA のバンチ電流が混在するようなフィリングには対応できない。このようなフィリングに対応するため、目標としてダイナミックな可変範囲 50dB を持つアッテネータシステムを開発中である。数 10nsec の早い応答速度を持つ電圧制御デバイスと応答速度は劣るが高い入力耐性を持つデジタル制御デバイスを組合せたものをアッテネータとして選定した。これらのデバイスの制御には SPring-8 開発の BBF システム用信号処理回路の出力を DC 結合にしたものを用いることとした。本報告では、開発中のシステムの概要とその制御、特性評価結果について述べる。

2. 現状

SPring-8 蓄積リングでは 2004 年から横方向ビーム不安定性抑制のため、BBF システムを導入^[1]、同年に開始されたユーザータイムでの Top-up 入射運転の実現に貢献し、安定したビーム運転に寄

与してきた。その後も、デジタル信号処理回路 (Feedback Signal Processor) の更新、パワーアンプの増強等、改良を重ね現在の構成は図 1 のようになっており水平・垂直それぞれに対し 4 本のストリップラインキッカー、4 台のパワーアンプにより横方向ビーム不安定性を抑制している。

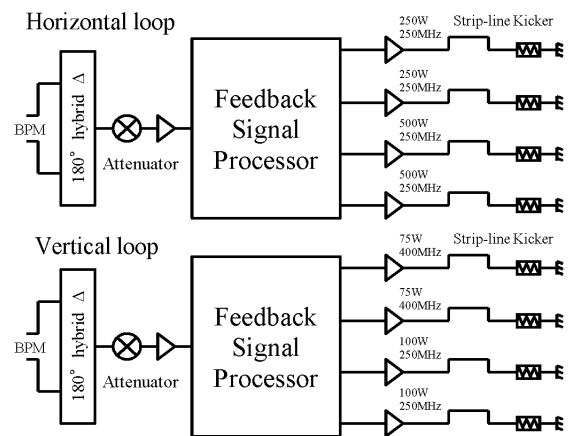


図 1 : SPring-8 蓄積リング BBF システム

2.1 バンチ電流感応型自動アッテネータ

BBF システムの入力となる BPM からの信号はビーム (バンチ) の位置情報とその電流強度に比例した大きさを抱合しており、抑制する振動の減衰時間もそれらに比例することになる。信号処理回路への入力信号レベルは全てのフィリングモードの中で最小であるマルチバンチフィリングの 0.05mA/bunch に最適化されているが、他のフィリングでは 1 桁程度、これよりバンチあたりの電

¹ kkoba@spring8.or.jp

流が大きい。このためフィリングパターンに合わせて手動切替制御により、予め 20dB の固定アッテネータを入力に挿入し、入力信号の飽和を避けている。また、一様のバンチ電流から構成されないハイブリッドフィリングでは同一フィリングの中でもその電流強度比が 1 桁程度あるので、シンプルな RF ミキサーを用いたバンチ電流感応型自動アッテネータを開発^[2]、インストールし、ユーザー運転に供してきた。

2.2 運転モード (フィリングパターン)

表 1 に SPring-8 での代表的な運転モードを示す。SPring-8 は 2436 の RF バケットを有し、通常ユーザー運転では 100mA 蓄積、Top-up 入射により蓄積電流を維持している。

Mode	# of bunch		Bunch current (mA)		Input Att. Level (dB)	
	Train	Singlet	Train	Singlet		
multi	160 (x12)	-	0.05	-	0	
203	-	203	-	0.50	20	
hybrid	I	348	5	0.24	3.00	20/32
	II	168	26	0.38	1.40	20/32
	III	174	12	0.46	1.60	20/32
	IV	168	53	0.28	1.00	20/32
	V	1392	1	0.06	10.00	0/45

表 1 : 運転モード (Total current is 100mA)

表 1 において hybrid-V は、より大強度、広いバンチ間隔 (≒4.8μsec) を持つシングルバンチを有する 100mA 蓄積運転用の候補フィリングの一つであるが、未だ実現できていない。この理由として、

a) 10mA のシングル部自体の不安定性を抑制しきれていない。

b) 10mA と 0.06mA ではその電流強度比が 45dB 程度あり、BBF システムの入力部の飽和のため、同時に双方の入力を受け付けることができない。

という問題がある。上記のうち a) についてはキッカー用パワーアンプの増強、高効率キッカーの開発及びインストールでユーザー運転時への対応の目途が既についている。b) については現行の自動アッテネータの対応範囲がダイナミック (ビーム蓄積中切替) には 15dB 程度 (20dB のアッテネータの ON/OFF には msec 単位の時間がかかりビームがある状態での切替は不可) であるので、新たなシステムの開発が必要となっている。

3. 開発システムと評価

3.1 要求仕様と使用デバイス

表 1 におけるフィリング hybrid-I と V でのアッテネータ切替について図 2 に示す。

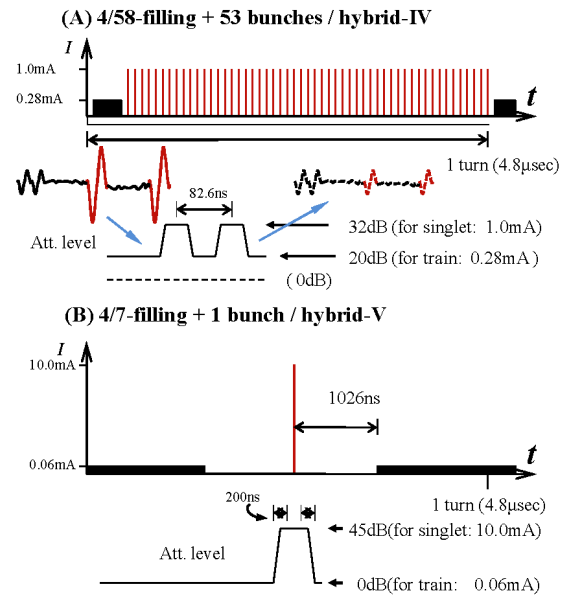


図 2 : 要求されるアッテネータレベル

このようなアッテネータ切替に対応するため、約 80nsec のバンチ間隔に対応できる切替の早いアッテネータデバイスとして電圧可変 RF アッテネータ HMC346MS8GE^[3]を、これだけでは 45dB 相当のアッテネーションの実現 (単体では最大 32dB である)、及びこのデバイス自体が大入力に耐えられないので、160nsec 相当の切り替えが可能なデジタル可変アッテネータの HMC470LP3E^[3]をその前段に配置することにより、要求されるアッテネータを実現することとした^[4]。

3.2 制御方法

デジタル・アナログ双方の可変アッテネータのレベルコントロールをバンチ間隔に応じた速度で行うために、BBF システムの信号処理で用いている SPring-8 開発の信号処理回路の出力段を DC 結合に改造した回路を採用した。入力信号としては不安定性抑制のために用いているビーム振動検出用の BPM の差信号 (位置×強度) ではなく、その和信号 (強度) を入力とし、バンチ電流強度に応じて各アッテネータの制御に必要な電圧及び、デジタル値を必要な間隔、タイミングで生成している。この DC 結合信号処理回路の出力応答特性を図 4 に示す。

3.3 ベンチテスト

図 5 にアッテネータ切替時の応答、図 6 に実際の 1/7-fill+5bunches(hybrid-I)ビーム運転時にアッテネータを挿入するタイミングを模擬した様子を示す。



図 3 : アッテネータ (NIM 左) と信号処理回路

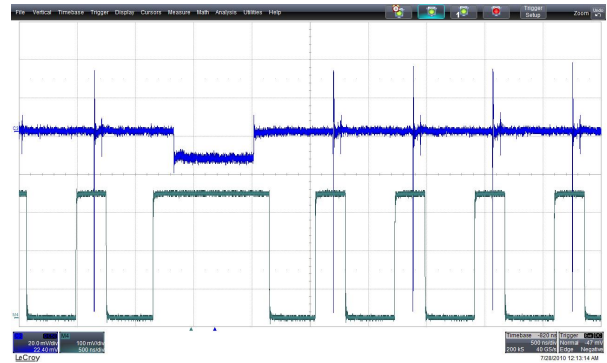


図 6 : 1/7-fill+5bunches でのアッテネーション用ウィンドウ模擬生成の様子、上 : 信号処理回路サンプリング出力、下 : アッテネータコントロール用ウィンドウ出力

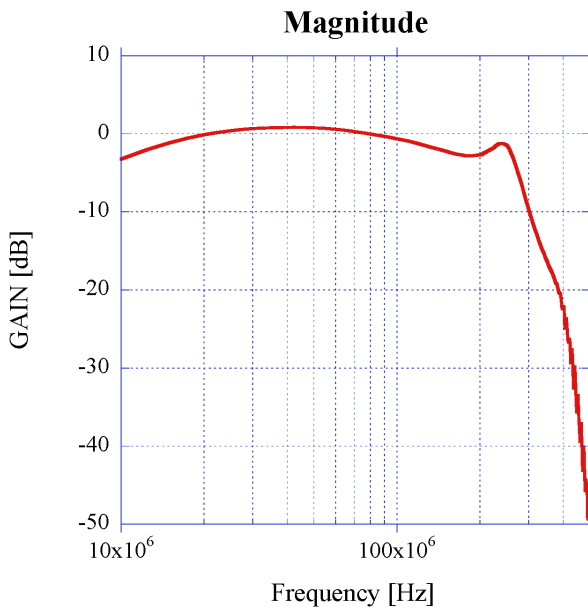


図 4 : BBF 信号処理回路 DC 結合出力応答 (10~500MHz、入力 AC 結合)

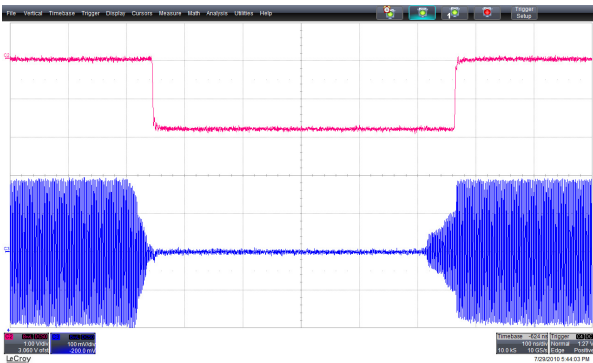


図 5 : 508MHz 正弦テスト波のアッテネーション (≒40dB) の様子、上 : 切替用アナログ出力、下 : テスト用 508MHz 正弦波 (デジタル切替を含む)

3.4 ビーム試験

開発中のアッテネータとその制御回路を試験的に組んでビーム試験を実施した (2010 年 5 月)。その時の結果では、目標としている 10mA シングレットを含むフィリングの蓄積リングへの蓄積自体は成功した。しかしながら、開発中の制御回路の完成度不足と、フィードバックループのゲイン不足によって、ID を閉めた状態での安定した TopUp 入射運転を確認するまでには至らなかった。

4. 今後

出力を DC 結合化した BBF 信号処理回路を用いてのアッテネータ制御を完成させる。具体的には、0/20/35/45dB の各アッテネーション値への切換えを任意の電流閾値で実行できるようにする。現行のアッテネータシステムとの入れ替えを行い、再度 10mA シングレットを含むフィリングでのビーム試験を実施する予定である。

このシステムを実現することにより、柔軟にフィリング要求に応えることができる。

参考文献

- [1] T. Nakamura, K. Kobayashi, "FPGA Based Bunch-by-bunch Feedback Signal Processor", Proc of ICALEPCS'05, Geneva, Switzerland, PO2.022-2 (2005)
- [2] T. Nakamura, T. Fujita, K. Fukami, K. Kobayashi, C. Mitsuda, M. Oishi, S. Sasaki, M. Shoji, K. Soutome, M. Takao and Y. Taniuchi, Z. Zhou, "Filling of High Current Singlet and Train of Low Bunch Current in SPring-8 Storage Ring", Proc of EPAC08, Genoa, Italy, THPC127, (2008)p.3284
- [3] <http://www.hittite.com/>
- [4] K. Kobayashi, T. Nakamura, "New Automatic Bunch Current Sensitive Fast Attenuator for RF Front-end of Bunch-by-Bunch Feedback System at SPring-8", Proc of ICALEPCS'09, Kobe, Japan, THB006