

THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION 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

A new bunch current sensitive automatic attenuation system has been successfully employed as regulation of input level for the RF front-end of the bunch-by-bunch feedback system in the SPring-8 storage ring from April in 2011. 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 flexible operation, we developed 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 and replaced usual type with this new one. This paper describes the new attenuation system and its installation on the ring.

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と評価

1. はじめに

SPring-8 蓄積リングに於いて、様々なバンチフィリングパターンを実現するために、従来は半固定のアッテネータとシンプルな 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により、Bunch-by-Bunch Feedback (BBF) システムの RF 信号入力が最適になるよう BPM からの位置信号強度を自動制御し、BBF システムによってビーム不安定性を抑制してきた^[1]。しかしながら従来の自動アッテネータシステムに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ハイブリッドフィリングには対応することができなかった。このようなフィリングに対応するため、ダイナミックな可変範囲 50dB 以上を持つアッテネータシステムを開発した。このアッテネータを SPring-8 蓄積リングの BBF システムに 2011 年 4 月から適用し、ユーザー運転に於いて良好な結果を得られている。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若干劣るが高い入力強度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採用し、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ている。本報告では、本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. バンチ電流感応型自動アッテネータ

SPring-8 の蓄積リングでは 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

入し^[1]、ユーザー運転に適用している。その構成を図 1 に示す。

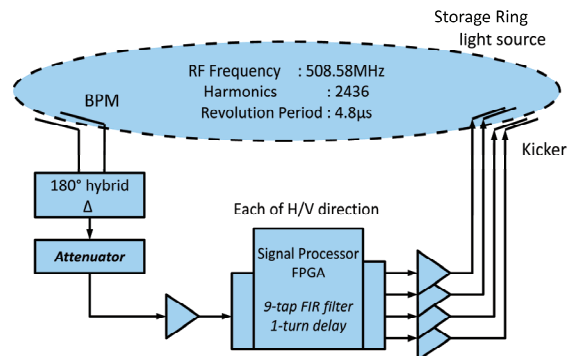


図 1 : SPring-8 蓄積リング BBF システム

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のバンチ電流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流が大きい。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、信号処理回路、あるいはその前段のローノイズ RF アンプへの入力時に飽和が生じないように、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

¹ kkoba@spring8.or.jp

し、BBF システムをユーザー運転に供してきた。しかしながらこの自動アッテネータの可変範囲としては 15dB 程度であったため、10mA/0.05mA といったより大きな強度比を持ったハイブリッドフィリングには対応できないという限界があった。

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、通常のユーザー運転では 100mA 蓄積、Top-up 入射により蓄積電流及び各バンチ電流を維持している。

Mode	# of bunch		Bunch current (mA)		Interval (nsec)	Input Att. Level(dB) Train/Singlet	
	Train	Singlet	Train	Singlet			
multi	160 (x12)	-	0.05	-	(2.0)	0 / -	
203	-	203	-	0.50	23.6	- / 20	
hybrid	I	348	5	0.24	3.00	684.3	20 / 32
	II	168	26	0.38	1.40	165.2	20 / 32
	III	174	12	0.46	1.60	342.1	20 / 32
	IV	168	53	0.28	1.00	82.6	20 / 32 or 20 / 20
	V	1392	1	0.06	10.00	1026.3	0 / 45

表 1 : 運転モード (Total current is 100mA)

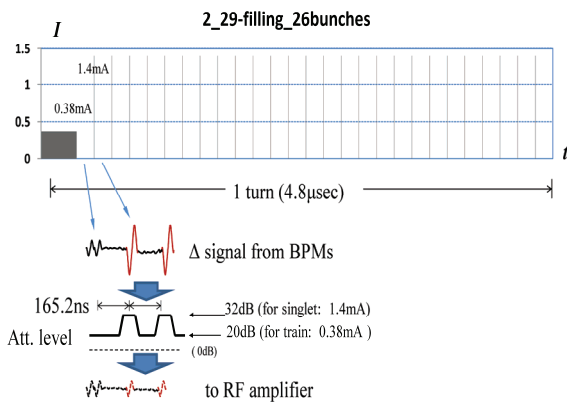


図 2 Hybrid-II (表 1) のフィリングの様子

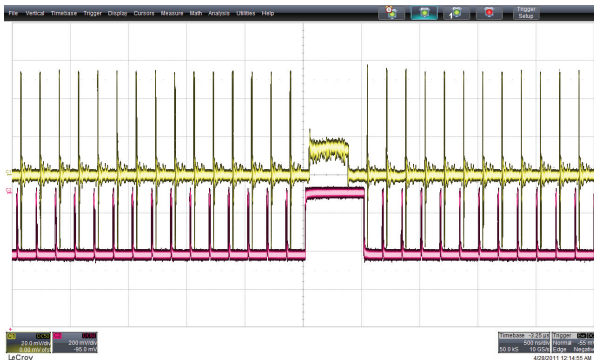


図 3 Hybrid-II 上: バンチ電流強度
下: 電圧制御アッテネータ制御電圧 (処理回路出力、一側でアッテネーションが掛る)

表 1 において例えば hybrid-II は図 2 上のようなバンチ電流プロファイルを有するので、トレイン部には 20dB のアッテネータ、シングル部には

さらに 12dB のアッテネータを挿入することにより 20/32dB の減衰をそれぞれ BPM からの信号に与えて処理回路前段のアンプ入力としている。図 3 は上記フィリングの実際の運転状態でのビーム電流強度の観測とそれを用いた電圧制御アッテネータへの制御電圧の生成の様子である。

3. 開発システムと評価

3.1 ブロックダイアグラム

図 4 に今回ユーザー運転に適用した新規バンチ電流感応型自動アッテネータシステムの概要を示す^{[4][5]}。

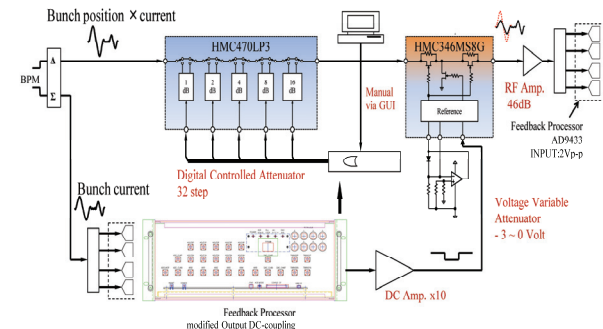


図 4 アッテネータ部ブロック図

図 4 において HMC470LP3 はデジタル制御のアッテネータデバイス、HMC346MS8G は電圧制御のアッテネータデバイスである^[3]。これらのデバイスをバンチ電流強度に応じて制御し、BBF 信号処理回路への入力が飽和しないようにしている。

3.2 評価

BPM からの和信号を用いた電流強度に対し、アッテネータ切替のための閾値を決定するため、バンチ電流に対する信号処理回路の ADC 値の応答を測定した。結果を図 5 に示す。

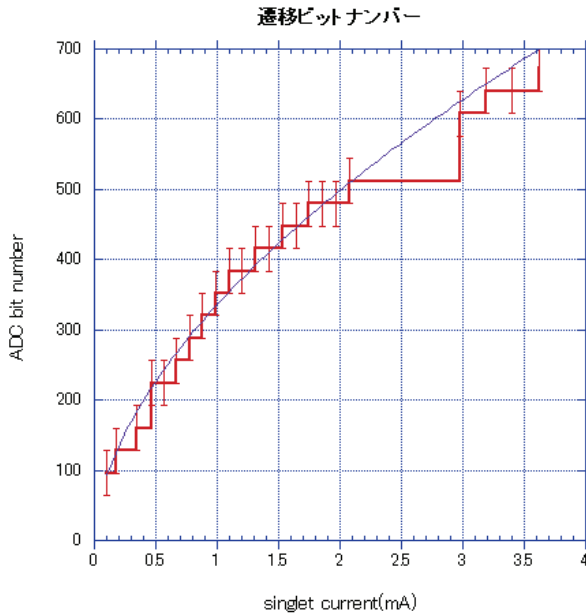


図 5 バンチ電流強度 vs ADC ビットナンバー

図 5 と表 1 から 1.1mA に閾値を設定すると現状の実施あるいは予定されているフィリングにおいてトレイン部とシングル部の切り分けが可能であることが判る。評価時にはデジタルアッテネータの 20dB 挿入もバンチ電流に応じ自動で行うことも試行してみたが、Topup 入射ではない 100mA への積上げ時にはトレイン部のバンチ電流を平坦にするようなコントロールをしないこともあり、全てのフィリングに対応できるような閾値を決定することが困難であろうという判断をした。このため、デジタル制御による 20dB アッテネータ挿入はマルチバンチ以外のフィリングでは従来と同様、予め GUI 等で手動にて挿入することになっている。なお、表 1 の hybrid-V のような 10mA/0.06mA の場合には 0/45dB 等の切替はバンチ電流に応じ自動で可能である。

4. 実績

表 2 は本システムを 2011 年 4 月に導入してからのユーザー運転での実施フィリング一覧である。本システムに起因するようなトラブルは同年 7 月までの運転で発生しておらず順調に動作している。

5. 今後

10mA のシングルバンチを含むフィリング (表 1、hybrid-V) を実施できる準備が整ったのでビーム試験を実施する予定である。またアッテネータ用の制御信号処理において、現状は各バンチにつき 4 サンプルの移動平均回路の出力を用い

て切替を判断しているが、FPGA のリソースが許すならばヒステリシス回路等を組込むことによって、閾値付近の制御出力のバタつきを極力無くしていきたい。

Bunch mode	Bunch interval (nsec)	Single Bunch Current (mA)
203bunches	23.6	0.493
4bunch train x 84	51.1	(0.298)
11 bunch train x 29	145.5	(0.313)
1/7-filling+ 5 bunches (I)	684.3	3.00
2/29-filling + 26 bunches (II)	165.2	1.40

表 2 2011 年前期 SPring-8 セベラルバンチ運転モード対応表 (bunch mode : フィリングパターン、SPring-8 の WEB と表記を併せた)

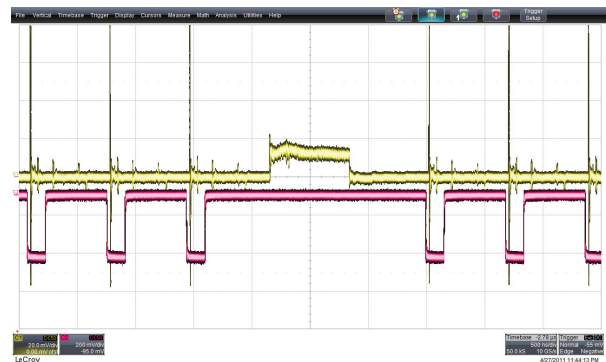


図 6 1/7-filling+5bunches (I)の電流強度 (上) とアッテネータ制御電圧 (下)

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
- [5] K. Kobayashi, T. Nakamura, "The Development of New Automatic Bunch Current Sensitive Fast Attenuator for RF front-end of Bunch-by-Bunch Feedback System at SPring-8", Proc of 7th PASJ, Himeji, Japan, (2010)p.301