

Development of New Automatic Fast Attenuator for the 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 have already developed a bunch current sensitive automatic attenuator with simple mixer, a discriminator and FPGA based 1-turn delay. It controls the attenuation of high current bunch signal to avoid the saturation of RF front-end and for equalization of the feedback gain for hybrid beam filling modes consist of few-mA singlet bunches and sub-mA bunch trains. It was installed in the storage ring Bunch-by-Bunch Feedback(BBF) System at SPring-8 and works well. However this attenuation level(about 15dB) is not enough for hybrid filling modes with higher bunch current singlets and lower bunch current trains which are recently requested by Light-Source users. To achieve more attenuation level and realize flexible operation, we are now developing a new attenuation system using a high-speed voltage variable attenuator device. This paper describes the development and test results of the new system.

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

1. はじめに

2436のRFバケットを擁する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。その中で比較的大きなバンチ電流と間隔から構成されるハイブリッドフィリングでは、既に関連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フィリングには対応できない。これに対応するため、使用するアッテネータの候補デバイスを評価中であり、それらを用いた新システムを構築中である。本報告では、開発中の50dBを目標とした新規バンチ電流感応型自動アッテネータの開発とその制御、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システムを導入し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 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3本のストリップラインキッカーにより不安定性を抑制している。

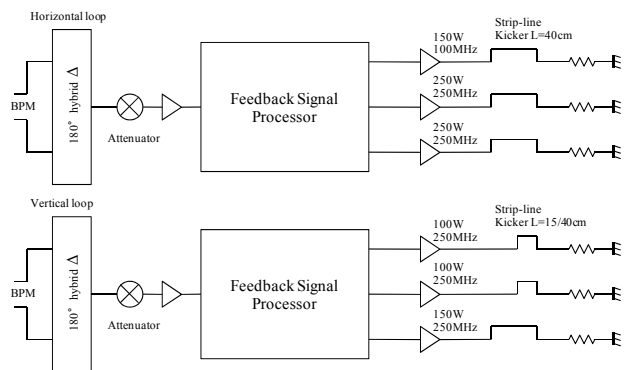


図 1 : SPring-8蓄積リングBBFシステム

2.1 バンチ電流感応型自動アッテネータ

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有しており、これを入力とするBBFシステムでは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流が大きいので、フィリングパターンに合わせて手動切替制御により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、システムの挙動を適正なものにしている。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じ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、図2 (A) のようなバンチ電流感応型自動アッテネータ

¹ E-mail: kkoba@spring8.or.jp

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。

mode	filling			bunch current(mA)		interval (ns)	
	train		# of singlet	train	singlet		
	filling of train	# of bunches					
multi				0.05	-		
203 bunches				0.50	24		
11bunch train x 29				0.31	146		
4bunch train x 24				0.30	51		
hybrid	I	1/7	348	5	0.24	3.00	684
	II	2/29	168	26	0.38	1.40	165
	III	1/14	174	12	0.46	1.60	342
	IV	4/58	168	53	0.28	1.00	83
	V	4/7	1392	1	0.06	10.00	1026

表 1 : 運転モード (Total current is 100mA)

表1においてhybrid-Vは利用ユーザーから、マルチバンチ、セベラルバンチそれぞれを希望するユーザーにとって多くのユーザーが同時に実験可能なフィリングとして希望があると聞くが実現できていない。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。

という問題があった。このうち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でも運用もしくは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15dB程度であるので、新たなシステムの開発が必要となっている。

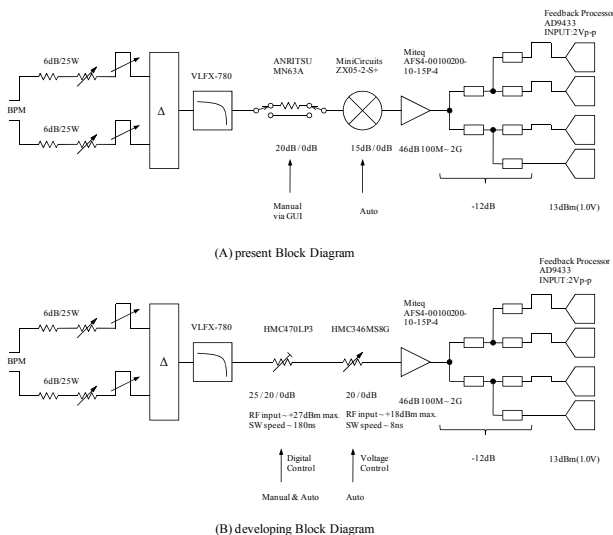


図 2 : BBFシステム RFフロントエンド部

3. 開発システム

3.1 要求仕様と使用デバイス

ダイナミックにアッテネータ切替が必要なフィリングについて代表的なものを図3に示す。

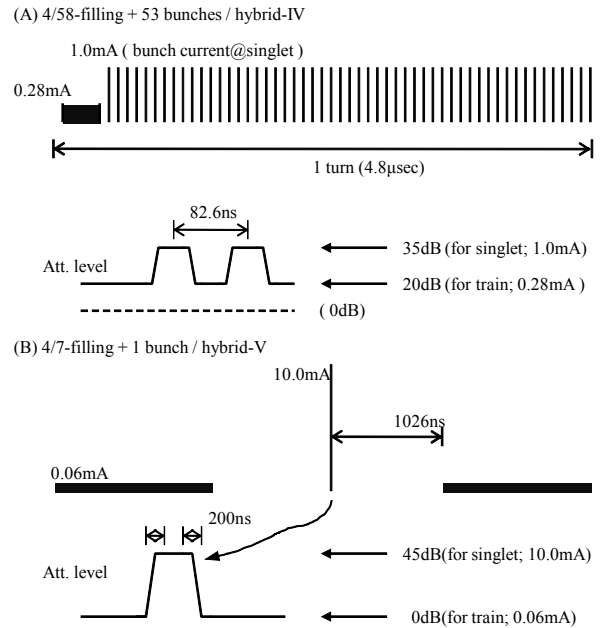


図 3 : アッテネータレベル

約80nsecのバンチ間隔に対応す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HMC346MS8GE²を、これだけでは45dB相当のアッテネーション、及び大入力に耐えられないので、比較的切替の早い1μsec間隔相当に対応するデバイスとしてデジタル可変アッテネータデバイスであるHMC470LP3Eを選定した。以下に2つのデバイスの主な仕様を記載する。

HMC470LP3E;

1dB LSB GaAs 5-Bit DIGITAL Control Attenuator(DC-3GHz)

- Range: 0-31dB
- Insertin Loss: 1.3dB
- Switching time: <180ns
- RF Input Power : 20dBm (Max : +27dBm)

HMC346MS8GE;

GaAs Voltage-Variable Attenuator(DC-8GHz)

- Range: 0-32dB
- Insertin Loss: 1.5dB
- Switching time: <8ns
- RF Input Power : 8dBm (Max : +18dBm)

3.2 回路構成

開発中の新規自動アッテネータの回路構成を図2

² <http://www.hittite.com/>

(B) に、その制御回路を図4に示す。

図4に於いて、適切なアッテネータを通したBPMからの和信号（バンチ電流強度、バイポーラ）を周波数ダブラー、LPFを通しLV-TTLロジック回路の入力とすることにより振幅弁別回路を構成している。このLV-TTL回路で構成された振幅弁別兼パルス伸長回路は次のADC/FPGA/DACで構成されるモジュール回路（102V）が入力可能となる程度にパルス幅を拡張する働きも持つ。102Vモジュールではロジックレベル（LV-TTL）を入力としているので、かならずしもアナログ入力である必要はないが、既存のモジュールの流用という形でアナログ入力となっている。このモジュール上のFPGAではデジタルアッテネータ用の5ビットのビットパターン、電圧コントロールアッテネータ用のアナログ電圧を発生する回路を有し、蓄積リングの1ターンに相当するディレイもFPGA内部のデジタル回路で作成されている。

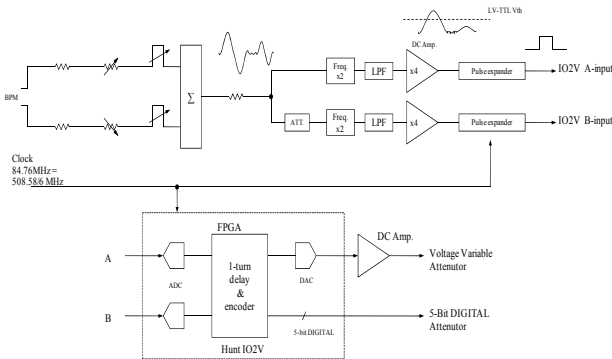


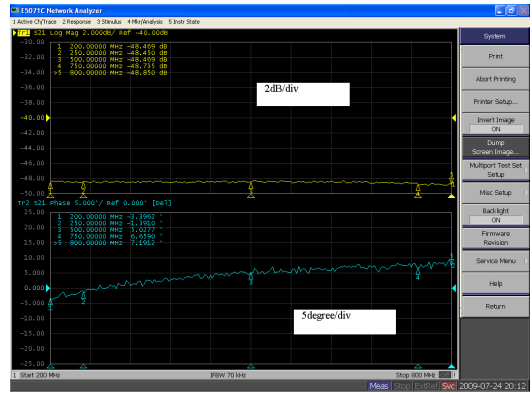
図4：自動アッテネータ制御部

3.3特性評価

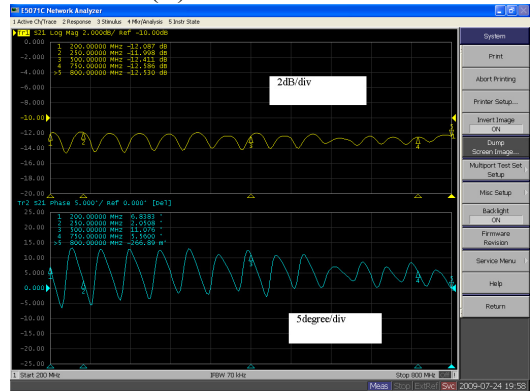
図5に静特性、図6に動特性例を示す。新システムでは45dBのAtt.時でもゲインはほぼフラット、位相も $\pm 5^\circ$ 程度に収まっている。Att.切替時間も要求仕様を満たしていることが確認できる。

4. 今後

動特性でのバンチ存在位置相当でのアッテネータ通過特性等は測定器を用いての評価が困難であるので実際にビームを用いての評価を行っていく。



(B) : Att.=45dB相当



(C) : [参考] 現行mixer、Att.=10dB相当

図5：静特性例 200MHz~800MHz、Gain&Phase

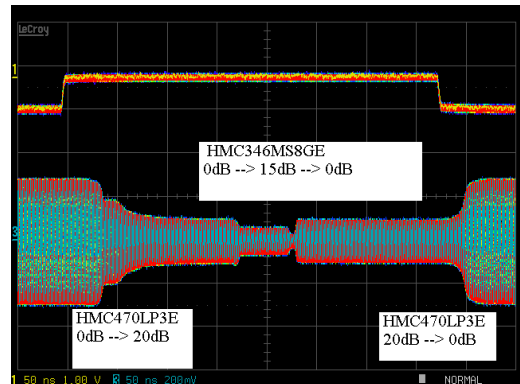
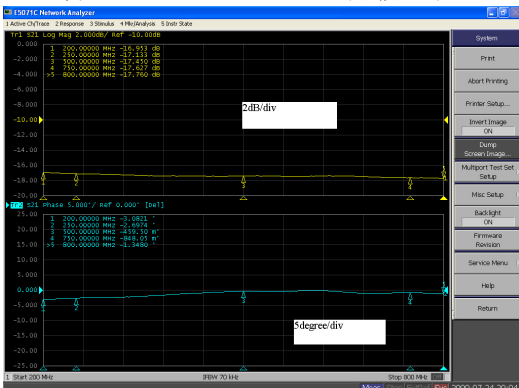


図6：動特性例 下：テスト入力=508MHz Sin波、50ns/div

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



(A) : Att.=15dB相当