

DIGITAL FEEDBACK FOR TRANSVERSE COASTING BEAM INSTABILITY AT S-LSR

Takeshi Nakamura^{1, A)}, Kazuo Kobayashi^{A)}, Toshiyuki Shirai^{B)}, Shinji Fujimoto^{B)}, Akira Noda^{B)}, Takeshi Toyama^{C)},
Shinji Shibuya^{D)}, Kouta Torikai^{E)}

^{A)}JASRI / SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

^{B)}Institute for Chemical Research, Kyoto University, Gokasho Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

^{C)}KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801 Japan

^{D)}Accelerator Engineering. Co. Ltd., 4-9-1, Anagawa, Inage, Chiba-shi, 263-8555, Japan

^{E)}National Institute of Radiological Sciences, 3609, Isozaki-cho, Hitachinaka-shi, 311-1202, Japan

Abstract

A digital feedback system for transverse coasting beam instabilities was tested at S-LSR at ICR, Kyoto university and successfully suppressed the instabilities.

S-LSR でのコースティングビームのデジタルフィードバック

1. はじめに

近年、イオン蓄積リングにおいて、コースティングビームに電子冷却を行ってビームをスタックし、大強度のビームを得る試験が行われている。しかし、多くのリングでは、蓄積電流の増加に伴い、横方向の不安定性の発生や、それによる電流の損失が観測されており、これが蓄積電流の上限を決めている。これに対し、COSYやS-LSRではアナログフィードバックによる不安定性の抑制が試みられているが[1]、我々は、今回、デジタル信号処理によるフィードバックの試験を行った。

デジタルフィードバックの利点として、パラメータを自由に設定できるので1)位置モニタやキッカーの位相関係が任意に選べる、2)運転中は立ち入りが困難な場合が多い加速器室から信号を引き出し、制御室などにおいて調整、試験が可能、3)チューンの成分だけをフィル

タで取り出してビームに戻すので、ノイズによるアンプの飽和がさげられる、4)単一の信号線で2次元フィードバックが可能である[2]。などが挙げられる。

2. S-LSRイオン蓄積リングと機器構成

S-LSRのパラメータを表1に示す。

Parameter	symbol	value	unit
Ion		proton	
Energy	E	7	MeV
Revolution period	T_{rev}	621	ns
Betatron tunes	$\Delta v_H / \Delta v_V$	1.64 / 1.21	
Momentum Spread	$\sigma_{\Delta P/P}$	± 0.04	%
Momentum Compaction		0.502	

また、実験に用いた構成をFig.1に示す。

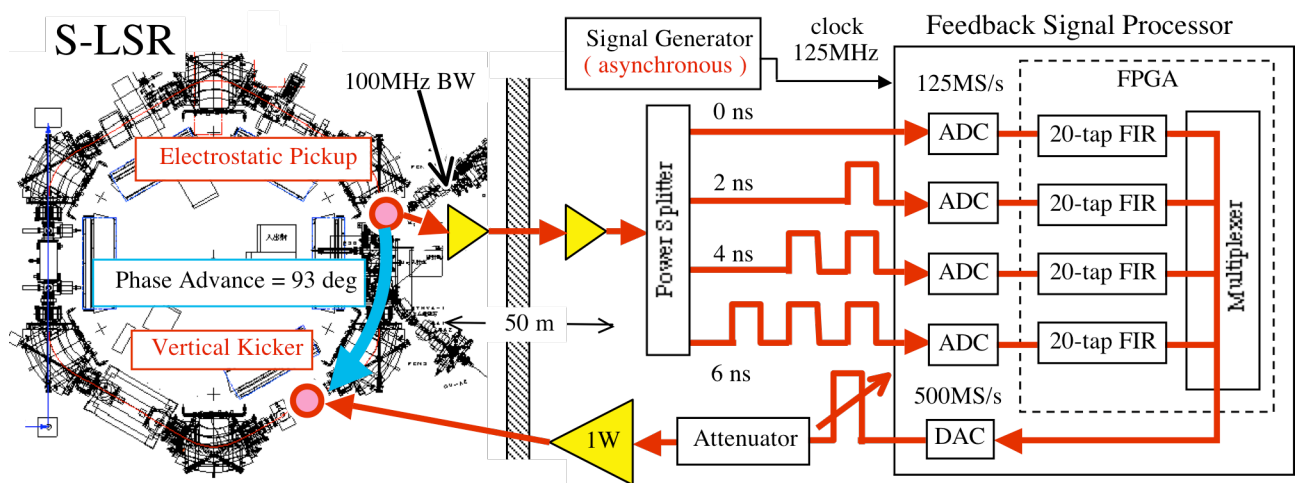


Figure 1. Setup of the digital feedback system at S-LSR ring.
位置モニタには三角形の水平2分割型静電電極位置モニタ[3] (Electrostatic Pickup) の一枚を用いた。そのた

¹ E-mail: nakmaura@spring8.or.jp , URL: http://acc-web.spring8.or.jp/~nakamura/

め、その出力には、水平、垂直のベータatron振動の信号が混入し重畳している。この位置信号は帯域100MHzのアンプにより増幅されたのち、50m長のケーブルで制御室に導かれる。そこで再度、増幅を受けた後、4分配されて、2ns = 1/500MHzずつずらしたケーブルにより時分割され、フィードバック信号処理装置の4つのADCに入力される。このADCは124MS/sで同時にサンプリングされるので、これにより495.9MS/sのサンプリングレートが得られる。フィードバック信号処理装置単体では250MHzまでの帯域があるが、今回は位置モニタのアンプの帯域100MHzがシステムの帯域を制限している。位置モニタからの水平方向の信号は、デジタルフィードバック信号処理装置において排除され、キッカーには垂直方向の信号のみがおくられている。キッカーにはビームを挟んで対向した水平の平板電極対の上側を用いた。

位置を検出したビームの部位とそれに基づいて計算されたキックが与えられるビームの部位は一致している必要がある。このタイミングの合わせこみには、垂直キッカーの下側電極の信号を用いた。0.1 μ Aの低電流で電子ビーム冷却を行いながら 3.2198MHz(2/T_{rev})のRF加速電圧を印加して10ns程度までバンチングさせることにより、この電極にバンチ信号を誘起させる。さらに信号処理装置において、位置モニタに誘起されるバンチ信号をそのままキック信号として出力されるようなFIRフィルタの設定とし(1-tap)、これがこの電極に誘起する信号との同期を観測することにより行った。システムの遅延量から、最後の位置データを取得してから、2ターン待ってキックを加えることとした。

3. デジタルフィードバック信号処理装置

デジタルフィードバック信号処理装置は、SPring-8のものを用いた[4]。4台のADCを用いるため、サンプリングレートは周回周波数 \times (4の整数倍)である必要がある。今回はサンプリングレートを周回周波数の308倍(=4 \times 77)の495.9MS/sとして124MS/sでADCを駆動した。

3.1 FIRフィルタ

デジタル信号処理には、10-tap FIRフィルタを用いた[2,5]。その応答のチューン依存性をFig. 2 に示す。

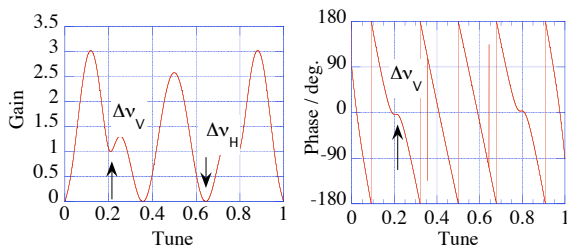


Fig. 2 Frequency response of the 10-tap FIR filter.

垂直方向のチューンにおいて、ゲインを1、位相については必要な位相差が、キッカーと位置モニタのベータatron位相差+93度と、フィードバックに必要な位置データとキックの位相差 -90度を加えた位相3度であるのに対し、ほぼ0度に設定している。さらに水平方向のチューン

においてゲインを0とすることにより、モニタの信号に混入している水平方向の位置の信号を排除している。また、データとしてキックの10+2=12ターン前のデータをもちいているが、この間のビームの運動量広がり \pm 0.04%による拡散はmomentum compactionが0.502、 $\gamma \sim 1$ であるので、 \pm 1.4nsとなるが、100MHzの帯域では効率の低下は支障となるほどではない。

3.2 非同期駆動

フィードバック信号処理装置のADC、DAC、FPGAを駆動するクロックには、周回周波数や、バンチレートに同期したクロックを用いられてきたが、今回は、非同期すなわち周回周波数とは相関を持たない信号発生器の信号をクロックとしてもちいた。これにより、これまで同期信号を作り出すために必要であった周波数の分周・通倍器を用いることなく、周回周波数の任意通倍 ($f = mf_{rev}$)でのフィードバックの駆動が容易となった。

非同期クロックが可能な条件は以下である。クロックがビームの周回に対して非同期であるので、Fig. 3のように、時間がたつと、周回するビームとADCやキックのタイミングがずれていく。この量は、非同期クロックの同期周波数 f からのずれ Δf により表され、ターンごとに

$$\Delta t = T_{rev} \frac{\Delta f}{f}$$

となる。M-tap FIRフィルタは、Mターン分のデータを用いてフィードバック信号を作っており、また、最後のデータを取得してキックまでLターン待っているとすると、この間の時間のずれは $\Delta T = (M+L)T_{rev} \frac{\Delta f}{f}$ となる。これが、

ターゲットとしている周波数帯域の時間スケールに比べて十分に短ければ無視しうるので非同期でも問題がない。今回の場合、10-tap FIRフィルタを用い、2ターン遅れてキックしている。また、周波数帯域はこの場合は100MHz程度であるが敢えて250MHzとすると、時間スケールとして、4ns = 1/250MHzとなる。これから、

$$\frac{\Delta f}{f} \ll 5 \times 10^{-4}$$

となる。これを満たす 10^{-5} での安定性および周波数のあわせ込みは容易である。この手法は、著者らがKEK-PS MRのフィードバック試験[6]でも用いている。S-LSRでは、低電流での運動量広がりが0.02%程度であるので、ショットキーモニタで周回周波数を測定することによって周波数の整合を容易に行うことができる。

4. 実験

試験の際のビームのスペクトルをFig. 4にしめす。フィードバックがOFFの時には80~90MHzで発生していた垂直方向の不安定性のピークの信号が、フィードバックONでは消失した。しかし、アナログフィードバックの場合と同様に低周波で水平方向の不安定性と思われるピークが観測された。

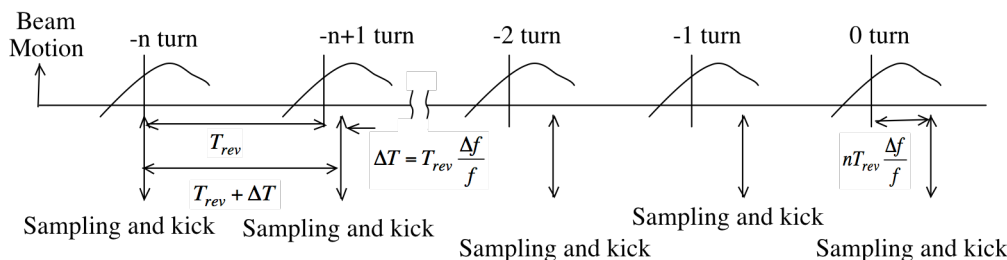


Figure 3. The timing of sampling of ADC and kick by asynchronous clock, and the beam waveform. During n-sampling of data, the timing shift to the beam waveform should be smaller than required timescale of signals

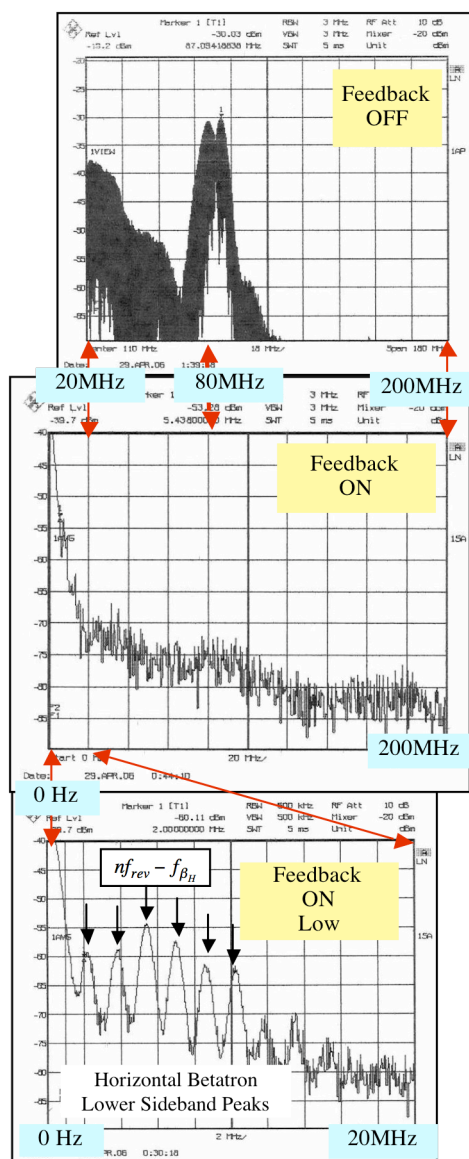


Fig. 4 Spectrum of beam motion. Top: feedback OFF, center: feedback ON, bottom: feedback ON, low frequency region.

また、Fig. 5 は、DCCTの出力であり、ビーム電流を示している。このとき、1.2mA(4.6×10⁹p+)まで蓄積された。最

後にフィードバックを切ったさいに生じた不安定性によると思われるビーム損失が記録されている。

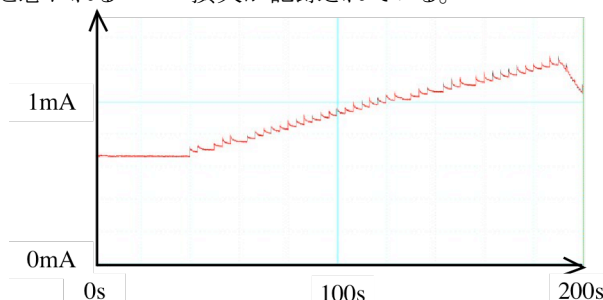


Fig 5. Stored current by DC-CT at the cooled stacking with feedback ON. Horizontal: time, vertical: current.

まとめ

この実験では、500MS/sでの非同期クロックによるデジタルフィードバックを行い、コースティングビームの垂直方向の不安定性を抑制することができた。しかし、水平方向の不安定性が観測されるようになったので、今後、デジタルフィードバックの能力である単一信号による2次元フィードバックを行い水平、垂直とも不安定性抑制を試験したい。

参考文献

- [1] S. Fujimoto et al., "Feedback Damping of Coherent Instability at S-LSR", Proc. of the 3rd Meeting of Accelerator Society in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006.
- [2] T. Nakamura et al., "Single-loop Two-dimensional Transverse Feedback for Photon Factory", EPAC'06, Edinburgh, June 2006.
- [3] S. Fujimoto et al., "Beam Monitoring System and Orbit Correction in S-LSR", Proceedings of NANOBEAM 2005, pp441-443.
- [4] T. Nakamura, K. Kobayashi, "FPGA Based Bunch-by-Bunch Feedback Signal Processor", ICALEPCS'05, Geneva, Oct. 2005, PO2.022-2.
- [5] T. Nakamura, "High Precision Transverse Bunch-by-Bunch Feedback System with FPGA and High Resolution ADC", Journal of the Particle Acc. Soc. of Japan, Vol.1, No.3, 2004(199-210), in Japanese.
- [6] T. Toyama et al., "KEK-PS MRでの横方向フィードバック・ダンパー試験", Proc. of the 3rd Meeting of Accelerator Society in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006.