

TURN-BY-TURN BEAM OSCILLATION MONITOR FOR THE MULTI-BUNCH BEAM

Takashi Naito¹, Sakae Araki, Hitoshi Hayano, Takao Ieiri, Kiyoshi Kubo, Shigeru Kuroda, Toshiyuki Okugi,
Nobuhiro Terunuma, Junji Urakawa,
High Energy Accelerator Research Organization(KEK), Accelerator Lab.
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-0801

Abstract

The beam oscillation monitor measures the significant parameters of the storage ring: the tune, the instability, the beam loading, etc. Usually, the measurement is done under the condition of the single bunch operation, because of the hardware can be applicable only for the single bunch operation. We demonstrated two types of new hardware for the beam oscillation monitor at the multi-bunch operation. One is a combination of the fast analogue switch and the turn-by-turn beam position monitor electronics. The other is a very fast oscilloscope with a long waveform memory. The beam test results are presented.

マルチバンチ用ビーム振動モニタの開発

1. はじめに

蓄積リングに於いてビーム振動モニタは、リングの特性を測定するモニタとしてよく用いられる[1]。通常、そのハードウェアはターンごとにビームポジションを測定する回路とその結果を蓄積するメモリとからなる。ターンごとにビームポジションを測定する回路は、前段信号処理回路とビームに同期してビーム信号をAD変換する回路により成り、AD変換には100ns~1 μ sを要する。そのため測定は数nsの間隔のマルチバンチを区別することが出来ず、通常シングルバンチで測定する。マルチバンチ運転時の要求はあるが、ハードウェアが対応出来ないため個々のバンチのビーム振動は計測出来なかった。

マルチバンチの個々のバンチの振動を計測するために、我々は2つの方法を提案し、ビームテストを行った。一つは、高速のアナログゲートを用いてマルチバンチビームから任意の1つのバンチの信号のみを切り出して、既存のビーム振動モニタに入力する方法。この方法は、切り出したビーム信号に対しては既存のビーム振動モニタと同じ分解能でビームポジションを測定することが出来る。しかし、1回の測定で一つのバンチのみの計測であり、次の測定で別のバンチにゲートをかけて測定しても時間的に別のビームを測定していることになる。

もう一つは、最近のオシロスコープ技術の発展により高速(0.1nsサンプリングが可能)、長時間(ビーム振動から見るとmsは長時間である)のビーム信号の取り込みが可能となり、数千ターン分の波形を全て取り込み、その波形からそれぞれのバンチの振動を算出する方法。この方法は、同時に全てのバンチのビームポジション信号を取り

込むことが出来、同時測定が出来るが、測定電圧に対する分解能はオシロスコープの分解能で決まり、8ビットの分解能しかない。

それぞれにメリット、デメリットがあり測定する目的によって使い分けることによってリングの性質を理解するための有益なモニタとなる。

ビームテストは、KEK-ATF ダンピングリングで行い。2.8ns間隔20バンチのマルチバンチビームの振動を測定することによって行った。KEK-ATFでは蓄積されビームに強制振動を起こすためのエキサイタにシングルパルスによるキッカーを用い、キッカーに与えるパルスに同期してビーム振動モニタのデータ取得を行う様に設計されている[2][3]。

2. 高速アナログゲート

図1に高速アナログゲートを用いたマルチバンチビーム・振動モニタの構成を示す[4]。BPMからのマルチバンチ信号を高速アナログゲートによって選択した1バンチ信号にしている。高速アナログゲートを通して後は、Turn-by-turn BPM回路によって周回ごとのBPM信号をAD変換しメモリに蓄積する。AD変換は、前段回路のlow pass filterにより低周波成分を取り出し、track-and-holdにより信号のピークをholdさせ、14bit ADCによりデジタル値にしている。

高速アナログゲートには、Hittite社製HMC234C8(Isolation:52dB at 2GHz)を使用した[5]。実際の波形を図2に示す。3バンチのビーム信号はゲート信号のタイミングを合わせることで、1バンチの信号のみを通過させている。図2ではゲート信号はケーブル長の関係でBPM信号より早い様になっているが、ゲート信号は3バンチの先頭バンチを通過させるタイミングで高速アナログゲート

¹ Mail address: takashi.naito@kek.jp

に与えられている。3バンチのうちの先頭バンチのみが出力されている様子が解る。

この高速アナログゲート付きビーム振動モニタを使いKEK-ATF ダンピングリングに於いて2.8ns 間隔20バンチのマルチバンチビーム運転時のビーム振動を測定した。ビームエキサイタにより強制振動を与えた時のベータトロン振動をFFT変換した結果を図3に示す。測定時の運転条件では、tune shiftなどのバンチによる違いは測定されなかった。

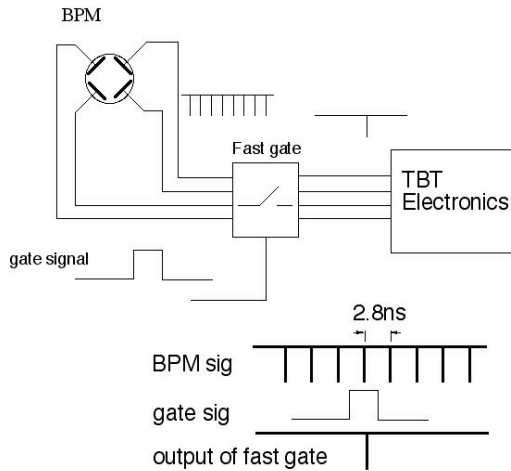


図1：高速アナログゲートの構成

2.1 スイッチング信号のキャンセル

図2では、ビーム信号の他にベースラインの変動が見える。これは高速アナログゲートのスイッチング時に出力時に現れるスイッチング信号である。本来、ゼロであるべきであるが半導体の特性でゼロになっていない。ビーム信号として後段で処理する時に都合が悪い。これを減少させるために入力信号を180° RF デバイダにより2つに分け2つの高速アナログゲートICを通過させた後、再び180° RF コンバイナにより合成する回路を開発した。この様な構成にすることによって、同じスイッチング信号を作る高速アナログゲートICの特性をキャンセルすることが出来る。ビームテストの結果を図4に示す。

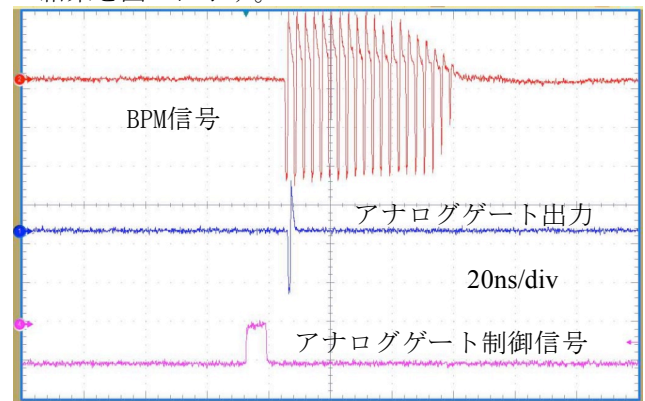


図4 スイッチング信号のキャンセル

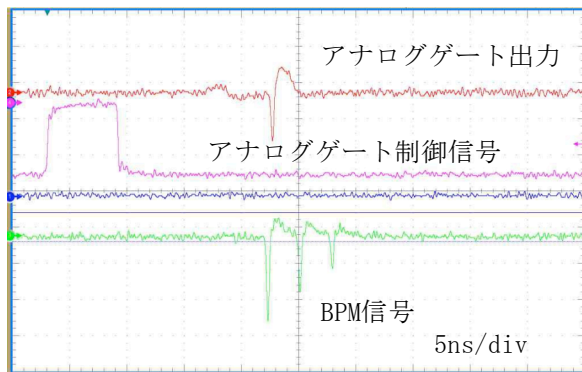


図2：高速アナログゲートを通過したBPM信号

アナログゲートの出力は、スイッチング信号がほぼキャンセルされている。現在、このアナログゲートを4チャンネル組み込んだモジュールを製作中である。

3. オシロスコープを使った振動モニタ

高速アナログゲートによる振動モニタの測定は、マルチバンチビームの個々の1バンチを取り出して測定する。この方法では別々のビームに対して個々に違うタイミングで測定するため、シンクロトロン振動の位相など同じビームの同時的に発生する相互の影響などの測定には適さない。

同一タイミングで測定するマルチバンチの振動モニタとして、大容量のメモリを持つオシロスコープを使いBPM信号を直接波形データとして取り込む方法をテストした。オシロスコープにはDPO7254(帯域2.5GHz, 最高サンプルレート0.1ns, メモリ容量50Mword/ch)を用い[6]、取得したデータは計算機によりビーム信号のピーク値をバンチごとに2000 turnのデータに変換することによってマルチバンチビームの個々の振動を同時に測定することが出来る。この測定で問題になるのはオシロスコープのADCが8bitの分解能しかないことで、サンプリング時のノイズを考慮すると実質の精度

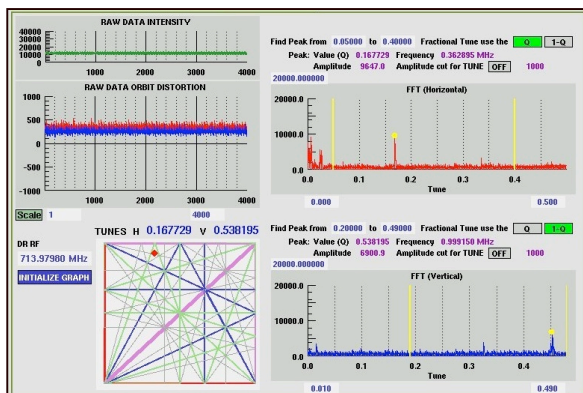


図3：高速アナログゲートを使用したtune測定

はさらに下がる。実効的な分解能を上げるためオシロスコプのオフセット機能を使い、ビーム信号のピークだけが測定レンジに入る様にした。オフセット機能を使うことによって、測定レンジを4倍程度上げることが出来、この場合、実効的な分解能は10bitに相当する。

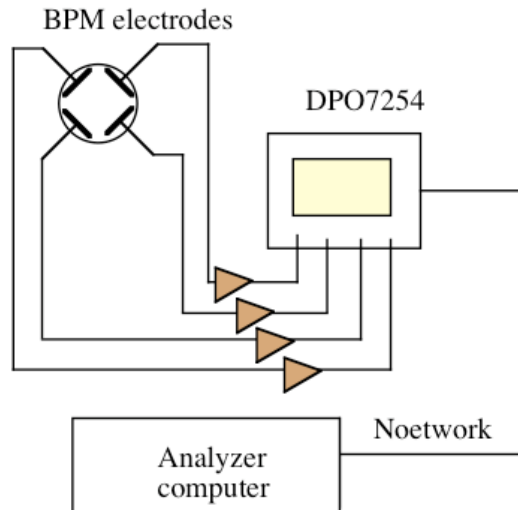


図5 オシロスコプを使った振動モニタ

3.1 振動測定

図6に2.8ns間隔、3バンチ運転時の2000 turnのX、Yのポジションを示す。この測定では2番目のバンチのみを高速キッカーによりY方向に振動させた時の振動を測定している。2番目のバンチはシングルキックにより発生した振動の減衰する様子が観測される。X方向にはほとんど振動していない。

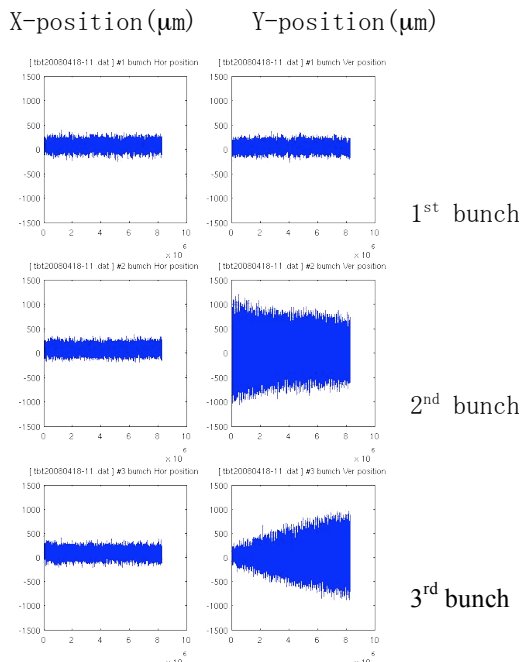


図6 3バンチビームの振動測定

また、1番目のバンチにも振動の影響は表れていない。しかし、3番目のバンチに徐々に振動が増幅されてゆく様子が測定されている。これは2番目のバンチのビームが生成したwake fieldが3番目のバンチに影響しているものと思われる。この振動のカップルの度合いは運転の条件に依存するため、運転条件とバンチ振動のカップルの関係について調べている。

4. まとめ

振動モニタはリングの特性を測定するモニタとして、tuneの測定だけでも多くの応用がある。四極電磁石の強度を変えた時のtune shiftはその場所でのbeta functionを求めることが出来、RF周波数を変えた時のtune shiftはchromaticityを、betatron振動の振幅に依存するtune shiftからはnonlinear fieldの強さを求めることが出来るなど多くの用途がある。ATFダンピングリングでは、さらにfast ion instabilityが発生した時のバンチ振動モニタとして、また、高速キッカーの動作の検証にも使用する予定である。

マルチバンチ運転に於ける個々のバンチの振動が測定出来る様になったことは、さらに多くの応用が期待出来る。

6. 謝辞

本システムの開発はILC国際共同開発の一環として進められているもので、計画を推進して下さいました鈴木機構長、生出施設長、山口主幹、横谷ILC推進室長に感謝致します。また、実験に協力していただきましたATFグループの方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] M. Minty and F. Zimmerman, "Measurement and TRIP REPORT FOR THE INSTALLATION AND COMMISSION OF THE DOUBLE EXTRACTION-KICKER SYSTEM AT KEK", ATF report 06-04
- [2] T. Naito et al., "Installation and measurement of the ATF Injection Kicker", Proceedings of the 11th Sym. on Acc. Tec. and Sci., Hyogo, 1997
- [3] T. Naito et al., "第3回加速器学会年会報告集", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006
- [4] T. Ieiri et al., "第6回加速器学会年会報告集", Proceedings of the 6rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society in Japan, Tokai, Aug. 5-8, 2009
- [5] <http://www.hittite.com>
- [6] <http://www.tek.com>