

TIMING FEEDBACK SYSTEM FOR THE KICKER PULSE

Takashi Naito^{1,A)}, Atsushi Hayakawa^{B)}

A) High Energy Accelerator Research Organization(KEK), Accelerator Lab.

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-0801

B) Kanto Information Service Co. Ltd.

8-21 Bunkyo, Tsuchiura, Ibaraki, Japan, 300-0045

Abstract

The stabilization of a kicker is very significant to stabilize the beam orbit of the extracted beam, which needs a precise orbit control for the ultra-low emittance beam. The thyatron switch of the kicker has a timing drift of the response time, which come from the environment temperature change, the aging of the thyatron, etc.. To cure the timing drift of the kicker pulse, a timing feedback system has been introduced for the trigger signal of the kicker. The feedback system consists of an oscilloscope (TEK3054), digital delays (Hamamatsu C1097) and a control computer. The kick timing of the kicker is stabilized from 10ns to less than 1ns by the feedback system.

キッカーパルスのタイミングフィードバックシステム

1. はじめに

放射光リングなどの蓄積リングではoff-axis入射が行われている。off-axis入射は、パルスのなバンパ軌道を作り入射ビームをアクセプタンスの中に入れて入射し、入射ビームが一周する間にバンパ軌道に戻すようにする。傾きを持って入射された入射ビームは、アクセプタンスの中で大きく振動するが、シンクロトロンダンピングによって次の入射までにはダンプし、次にバンパ軌道を作ってもセプタムに当たらない。この入射方法は既に入射ビームの存在するバケットに注ぎ足し入射が可能であるが、大きなリングのアクセプタンスが必要になる。ILCのダンピングリングでは（特にポジトロンリングでは）、入射ビームに対して大きなアクセプタンスを持つ事が出来ないためon-axis入射の必要がある。on-axis入射は、周回しているビームの通過後にキック電磁場を立ち上げ入射ビームの入射角をゼロ度にし、周回しているビームと同じ軌道にする。キック電磁場は、次の周回ビームが来るまでにゼロにする必要がある。そのため、リングのバンパ間隔より速い立ち上がり、立ち下がりのキック電磁場が必要となる。同様にon-axis出射は、前の周回ビームが過ぎ去った後にキック電磁場を立ち上げ目的バンパをキックする必要がある。そのため、キッカーは高速性とキックパルスのタイミングが安定である必要がある。

ATFで使用されているキッカーは高電圧パルスをビームのタイミングに同期させる必要があるが、トリガ信号が安定であっても高電圧デバイスは温度や経年変化等により変動する。高電圧パルスのタイミングが変動するとビーム軌道が変動するばかりではなく、高電圧パルスが発生するノイズも

変動するためビームに同期して計測を行っているビームモニタにも影響を与える。安定したビームの入射、取り出しを行うためには高電圧パルスのタイミングを安定化する必要がある。

ATFダンピングリングの入射、取り出しキッカーは、CX1671 Thyatronを2本並列動作させて25kV, 1kAを発生させている。^{[1][2]}パルス幅は、それぞれ60ns, 300nsである。高電圧パルスは2本の合成であるためタイミングの変動はビームに敏感である。2本のThyatronのタイミングの変動が同じでない場合、合成したパルス波形はそれぞれの波形と違ってしまうため、タイミングの変動はビームのキック角にも直接影響する。特に取り出しキッカーでは、300nsのパルス波形のflattopを使い150ns間隔の3バンパ同時取り出しが行われているが、このモードでは、先頭バンパと3番目のバンパはそれぞれパルスの立ち上がり/立ち下がりエッジ付近にあり安定なパルスタイミングが要求される。

ATFキッカーにパルスのタイミングを計測し、変動をデジタルディレイによって補正するシステムを導入した。このフィードバックシステムの導入によって、パルスのタイミングの変動はショットごとのジッターの範囲まで抑える事が出来た。また、計測データのロギングからジッターを小さくする最適なreservoir 電圧を見いだす事も可能となった。このシステムはATFで予定されているILC用のstrip-line kickerにも使用される予定である。

2. システム構成

図1にタイミングフィードバックシステムの構成を示す。2本のThyatronには独立に2.8ns step

¹ E-mail: takashi.naito@kek.jp

delayによってタイミング調整され、トリガが供給されてる。

各Thyratronの波形をオシロスコープ(TDS3045 5Gs/s)によって測定し、パルスの立ち上がり時間の初期値からのずれを補正するようにDigital Delayにセットする。このフィードバックは長時間での変動に対する補正を想定しているため、応答時間は10秒程度とゆっくりである。波形の測定は1Hzであり、測定値は10回平均化して使用している。オシロスコープの時間精度は~400psであり、平均化により~100psが期待出来る。時間精度は後述の様にオシロスコープの時間精度よりThyratronのタイミングジッターが大きく、制限される。Digital Delayは、最小30psステップで最大32nsまでの設定が可能である。

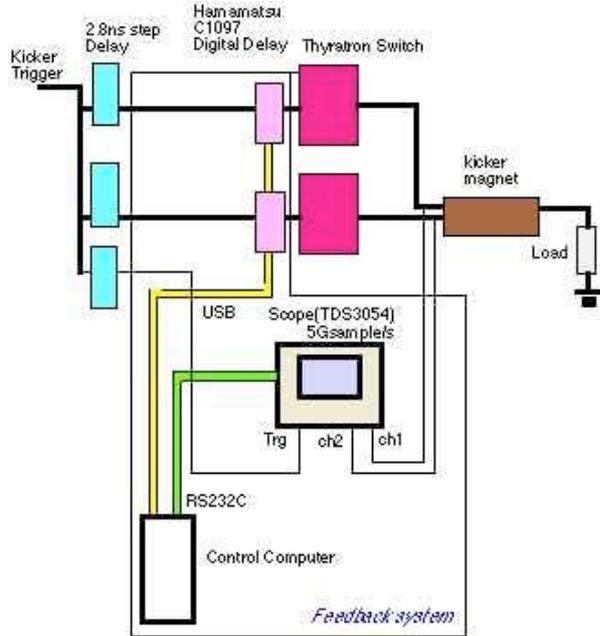


図1：フィードバックシステム

3. 測定結果

図2にフィードバックoffの場合とonの場合のキッカーパルスの波形を示す。FB offではThyratronのスイッチタイミングがずれるとパルスの形状も反射波の様子も変わる。FB onではスイッチタイミングを絶えず一致させることが出来るので2つの

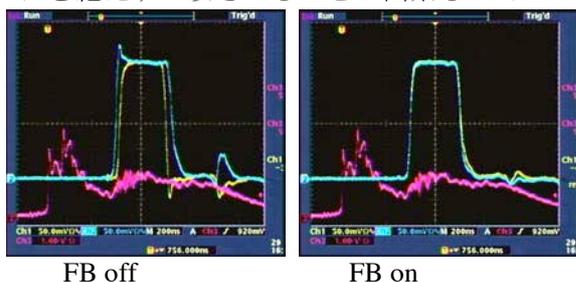


図2 Thyratron 電流波形のタイミングによる違い

パルスの波形、波高値が一致している様子が判る。

図3に意図的に目的値をずらした場合の追従の様子を示す。赤の測定値で青が設定値である。この例では、フィードバックの設定ステップは250psであり、目的値が20nsずれている時に約400秒で目的値に到達し、それ以降は測定値が一定値になるように制御している様子が判る。

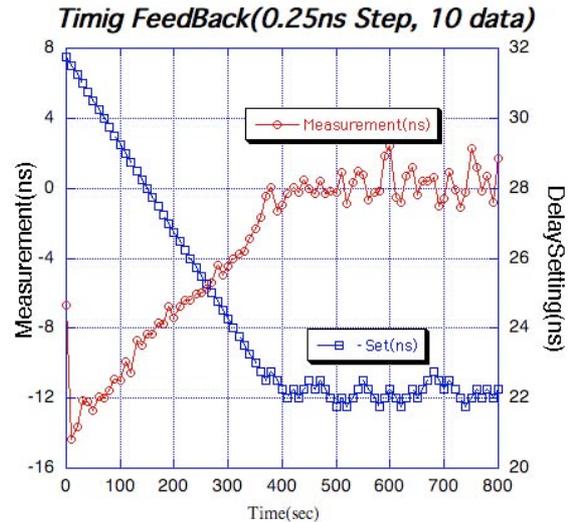


図3：フィードバックの追従特性

3.1 本システムを使ったreservoir 電圧の調整

図4 a, bに約6時間の測定値とフィードバックの設定値の変化を示す。タイミングの平均値は2つのThyratronでゼロに保たれているがThyratron2の測定値はショットごとの変動が大きく、フィードバックの追従も不安定になっている。タイミングジッターの大きさは、Thyratron1が+/-1nsなのに対して、Thyratron2は-2ns~+7ns程度まで広がっている。これはreservoir電圧が最適値より低いためにタイミングジッターが大きくなっているものと推測される。Thyratron2のreservoir電圧を、4.20Vから4.24Vまで上げると、図4 c, dの様に変わった。Thyratron2のタイミングジッターはThyratron1よりは少し大きいがほぼ同程度まで小さくする事が出来た。一般にThyratronのreservoir電圧の調整は、オシロスコープでの短時間の測定を見ながら行われるが、この様に本システムを使用する事により長時間の変動の様子からreservoir電圧の最適値を決めることが出来る。

また、フィードバックの追従の様子からATFのキッカーシステムではトリガタイミングの変動は2つのThyratronで同じ傾向ではなく、むしろ反対方向に変動することが判った。これは、PFLによる高電圧は一つのために、一方が早くトリガすると他方がトリガする時には高電圧が下がっているためにさらにスイッチするタイミングが遅くなる傾向にあるためであると思われる。

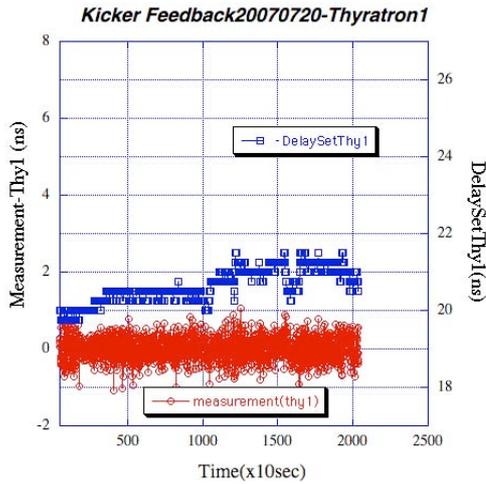


図 4 a : Thyatron 1

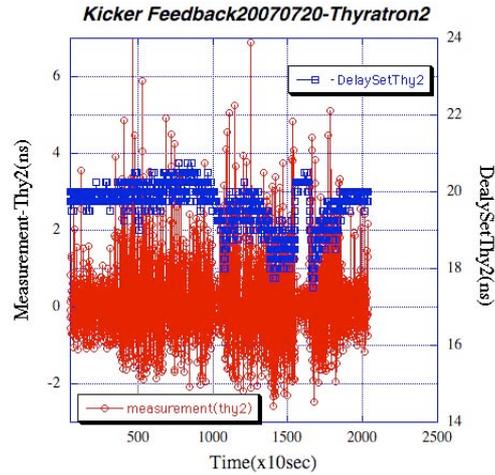


図 4 b : Thyatron 2

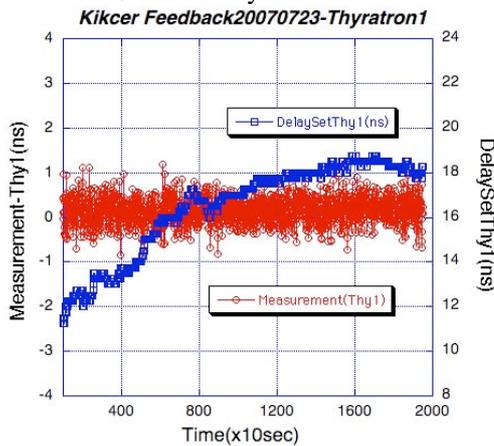


図 4 c : Thyatron 1

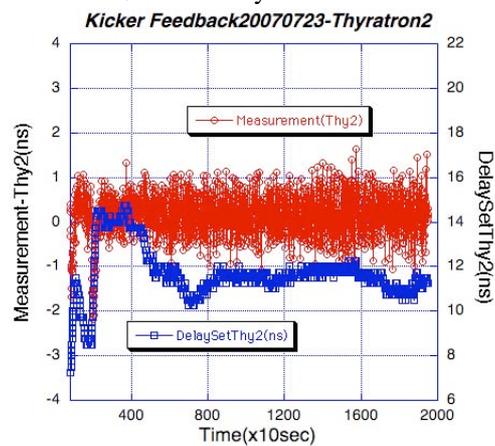


図 4 d : Thyatron 2

4. Strip-line kickerへの応用

ATFでは、ILC用キッカーのprototypeとしてstrip-line kickerを2ユニット使用したキッカーでビーム取り出し実験を行う事を計画しているが^[3]、この実験で使用される10kV半導体スイッチも長時間運転では温度ドリフト等のためにパルスタイミングが変動することが判っている。strip-line kickerではパルスのタイミングを200ps以下の精度で合わせる必要があり、2ユニットに使われる4台の10kV半導体スイッチのトリガに本システムを導入する予定である。本システムではタイミングジッターのため時間精度の検証までは至らなかったが、タイミングジッターの小さな半導体スイッチでは100ps以下の時間精度が実現出来るものと期待される。

5. まとめ

キッカーにタイミングフィードバックを導入することによって、キッカーパルスのタイミングの変動は約 ± 1 nsのジッター以下にすることが出来た。また、パルスタイミングの測定からreservoir電圧の最適値を決める事が出来る様になった。この

フィードバックは、ATF入射／取り出しキッカーに導入され安定に動作している。また、strip-line kickerの実験にも本システムを導入する予定である。

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、神谷施設長、佐藤主幹、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. N. Nguyen and J. Krzaszczak, "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