

MULTI-BUNCH BEAM EXTRACTION USING STRIP-LINE KICKER AT KEK-ATF

T.Naito¹, S.Araki, H.Hayano, K.Kubo, S.Kuroda, T.Okugi, N.Terunuma, J.Urakawa
High Energy Accelerator Research Organization(KEK), Accelerator Lab.
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-0801

Abstract

The kicker of the International Linear Collider(ILC) has very special role, it injects/extracts the beam to/from the damping ring(DR). The long bunch train(1320 - 5120 bunches), which has a bunch spacing of 189 - 480ns, is compressed to 3ns(or 6ns) into the DR. The bunch train is then decompressed again from the DR to the main linac. The kicker acts as the bunch-by-bunch beam manipulator to compress and decompress the bunch spacing into/from the DR. It requires a fast rise/fall time (3 or 6ns) and a high repetition rate (6 or 3MHz). A multiple strip-line kicker system is a most promising candidate to realize the specification of the ILC design. The beam extraction experiment using the proto-type of the strip-line kicker has been carried out at KEK-ATF. The stored multi-bunch beam with 5.6ns spacing in the DR was extracted successfully with 308ns bunch spacing. The experiment set up and results are reported.

高速キッカーによるビーム取り出しシステムの開発

1. はじめに

International Linear Collider(ILC)では、バンチトレインの長さが300kmにも及ぶため、そのままのバンチ間隔のビームをダンピングリング(DR)に入れると300kmの周長のDRが必要になる。適切な周長のDRとするために個々のバンチの軌道进行操作してDRの中ではバンチ間隔の狭いバンチ構造にする必要がある。この操作をキッカーが行うため、ビーム入射、取出しを行うキッカーの性能がダンピングリングの設計上、重要な役割を担っている。ILCでは、入射リニアックからバンチ間隔：308(154)ns、バンチ数：2820(5640)バンチのビームが加速され、DRではバンチ間隔は3(6)nsに圧縮される、エミッタンス減衰したビームは再びバンチ間隔：308(154)nsで取り出され、主ライナックで加速される。このような特殊なビーム操作を行うキッカーは繰返し：3.25(6.5)MHz、キックパルスの立ち上がり/立ち下がり：3(6)nsが必要となる。KEKでは複数のストリップライン電極に半導体パルサーの高速パルスを印加することによって高速、高繰り返しのキックフィールドを実現する方式を提案し、開発を行っている。既に、ストリップライン電極の単体試験では2.2ns/2.4nsの立ち上がり/立ち下がり時間を実現した。[1][2][3] ILCでは、KEK方式のキッカーを採用することを前提(ベースライン)に議論が進められている。Base line design[4]では、DRの周長は6.7kmである。ATF-DRでは、このストリップライン電極を複数ユニット用いたシステムでのビーム取り出し実験を

行い、先端加速器(ATF) DR内を5.6ns間隔で周回するバンチトレインから308ns間隔のバンチトレイン、30バンチを取り出すことに成功した。

2. ストリップラインによるビーム取り出しの構成

KEKの先端加速器(ATF)ではILCのFinal Focus Systemのテストのために垂直ビームサイズを37nmまでフォーカスさせるATF2 projectが進められている。ATF2 projectではマルチバンチビームの取り出しも予定されているがパルスマグネットでのキッカーシステムのビーム取り出しは、154ns間隔、3バンチまでである。さらに多くのバンチトレインを取り出すにはストリップラインキッカーによってビームを取り出す必要がある。ATF2でのストリップラインキッカーを使ったビーム取り出しは、図1に示す様にDR内に蓄積した5.6ns間隔10バンチ、3トレイン、合計30バンチのビームを1バンチずつ308ns間隔で取り出し、約10 μ sのバンチトレインを作る。取り出しはバンチトレインの最終バンチから308ns間隔で取り出し、3バンチごとに5.6nsタイミングをシフトし(バンチ間隔は5.6ns狭まる)、次の3バンチを取り出すことによって、ほぼ連続した間隔の30バンチビームを作ることが出来る。この取り出しシステムはILCのキッカーとバンチ数以外は同じであり、ILCのキッカーのプロトタイプとしての評価を行うことが出来る。

¹ Mail address : takashi.naito@kek.jp

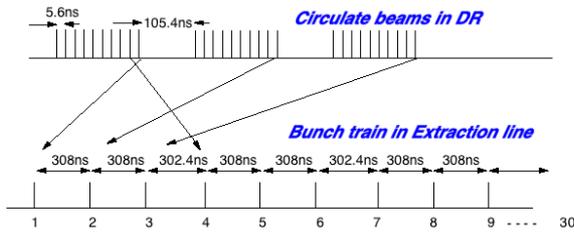


図1 DR、ATF2に於けるバンチ間隔

ATF-DR内にストリップラインキッカーをインストールする上で問題となるのは、ストリップラインキッカーがパルスマグネットに比べて単位長さ当たりのキック角度が小さい為、ATF-DR内に十分なドリフトスペースが取れないことである。パルスマグネットは60cm長で4.6mradのキック角度を生成しているが、同じ長さでストリップラインキッカーでは電極の間隔等を調整しても1.5mrad程度までしかキック角度を生成出来ない。

この問題を解決するために、図2に示す様なLocal Bumpと補助Septum magnetを組み合わせた構成とした。ビーム取り出しは次の様なシーケンスで行われる。ビーム入射後、ビームがダンプした後にLocal Bumpを作り、軌道を補助Septum magnetに近づける。その後ストリップラインキッカーによって、1バンチずつビーム取り出しを行う。この動作を実現するには、ストリップラインキッカーの正確な動作の他に、パルスの上下するLocal Bumpを正確に作ることで、小さな軌道差を分離するセパレータの薄い補助Septum magnetが必要となった。

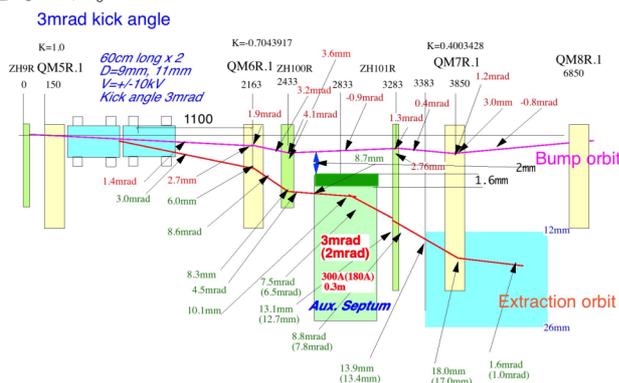


図2 ストリップラインキッカーによるビーム取り出し軌道

2.1 高速キッカーの立ち上がり

ストリップライン電極には電極長60cmのものを2ユニット使用し、電極幅はそれぞれ9mm、11mmを使用した。ストリップライン電極をドライブするパルス電源はFID社のFPG10-3000KN

(10kV, 4nsパルス幅) を正負2台づつを使用した。

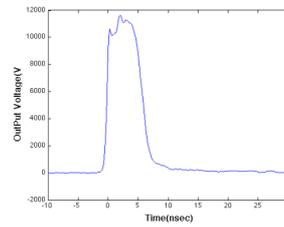


図3 パルス波形

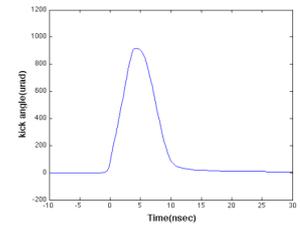


図4 キックフィールド

図3にFPG10-3000KNの波形を示す。FPG10-3000KNの波形と電極の長さから計算したキックフィールドのパルス形状を図4に示す。キックフィールドは5ns以下でピークに達している。従って、ATF-DR内で5.6ns間隔で周回しているマルチバンチに対して、直前を周回するバンチに影響することなく特定のバンチを取り出すことが可能であることが解る。

2.2 補助Septum magnet

周回ビームと取り出しビームの軌道差を作るために補助Septum magnetを設計製作した。このSeptumはセパレータ電極が1.6mm厚、長さ60cm、偏向磁場0.1T(@1000A)の設計である。真空容器内に入れる仕様で、電流、冷却水は真空容器外から供給する。図5にSeptumの写真を、図6に電流-磁場特性を示す



図5 補助Septum magnet

Field Measurement of the Auxiliary Septum Magnet

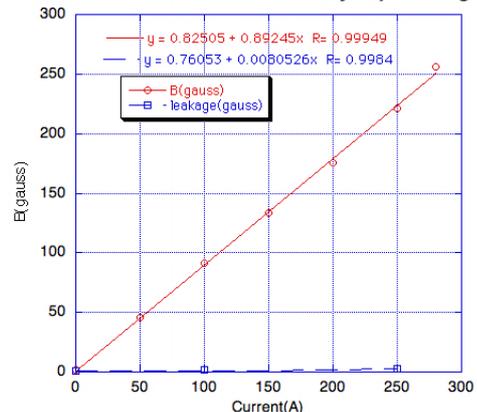


図6 電流-磁場特性

3. ビーム取り出し試験

ビーム取り出し試験は、既存のパルスマグネットをストリップラインに置き換えることによって行った。設置の様子を図7に示す。

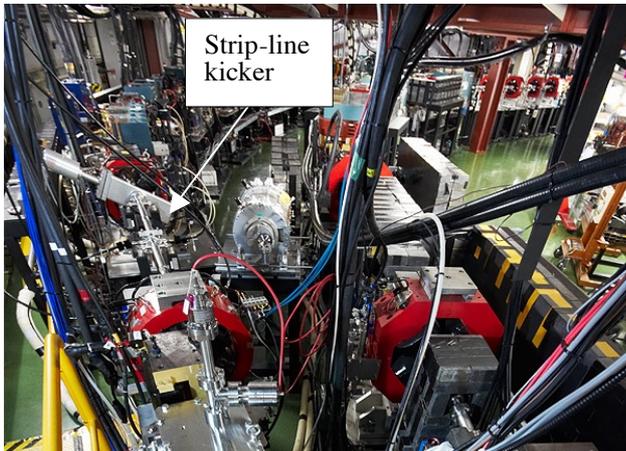


図7 DRにインストールされたストリップライン

3.1 マルチバンチ取り出し

30バンチまでのマルチバンチ取り出しは、ATF2ビームラインでの電流モニタ(ICT)で確認された。図8に電流モニタの波形を示す。308ns間隔30バンチの信号を観測し、システムが設計通り動作していることを確認することが出来た。しかし、電流強度は非常に弱く、バンチごとの強度も一定していない。この波形はDR内に蓄積されたバンチ波形を反映しており、この時、非常に少ない電流しか蓄積することが出来なかった。この実験を行った時、DR内では縦方向ビーム振動によるインスタビリティが観測されており、このため蓄積電流が少なく安定しなかったものと思われる。

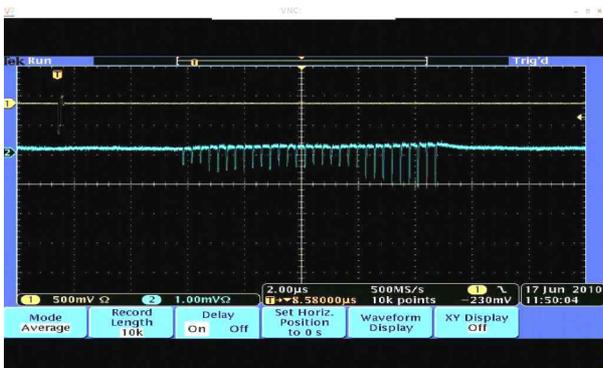


図8 ATF2ビームラインで観測された電流波形

3.2 キックアングルの安定度 (シングルバンチ)

キックアングルの安定度をATF2ビームラインの軌道測定から求めた。各BPMでビーム位置の分布と

R12から蹴り角の広がりを見算した。測定には15個のCavity BPMを用いた。400ショットと700ショットのビームの蹴り角の広がりを見算を図9に示す。

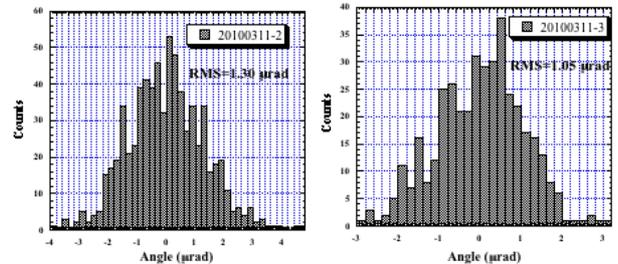


図9 蹴り角の分布測定

この測定からストリップラインキッカーの安定度は 4.3×10^{-4} 、 3.5×10^{-4} であった。この値はダブルキッカーによる安定度とほぼ同程度である。

5. まとめ

ATF DRに於いてストリップラインキッカーによりマルチバンチの取り出しに成功した。この結果はILC-DRのキッカーシステムとして、ストリップラインキッカーが実用に近づいたことを示している。キッカーの性能として、シングルバンチの安定度は従来のキッカーシステムに対して同等であることが確認された。マルチバンチに関しては、30バンチの取り出しに成功し、設計通りの動作をしていることを確認した。安定度については、ATF DRの安定化等まだ、いくつかの課題がある。今後、測定ツールを整備することによって安定度の評価を進める予定である。

6. 謝辞

この実験はILC国際共同開発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、生田施設長、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グループの方々へ感謝いたします。

参考文献

- [1] T.Naito, et al., "第2回加速器学会年会報告集", Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society in Japan, Tosu, Jul. 20-22, 2005
- [2] 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
- [3] T.Naito, et al., "第4回加速器学会年会報告集", Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society in Japan, Sendai, Aug. 1-3, 2007
- [4] Edited by A.Wolski et al., "Configuration Studies and Recommendations for the ILC Damping Rings", LBNL-59449, Cockcroft-06-04, Feb. 2006