

DEVELOPMENT OF THE FAST KICKER SYSTEM UNSIG STRIP-LINE ELECTRODE

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

Abstract

A fast kicker system using strip-line electrode been developed at KEK-ATF. Damping Rings(DR) of International Linear Collider(ILC) require the bunch-by-bunch beam injection/extraction to compress the bunch spacing in the DR. The performance of the kicker system is a significant issue to decide the circumference of the DR. 3(or 6) ns of the rise/fall times and 3(or 6) MHz of the repetition are required at the base line design for ILC. The strip-line kicker system comprises multi-units of strip-line kickers, which are triggered independently with the precise timing for the beam pass through. The single unit consists of 30cm long strip-line electrode and a pair of +/-5kV pulse power supplies. The measured rise/fall times of the single unit were 3.2ns and 4.0ns, respectively. In order to improve the rise/fall time of the kick field, a waveform compensator has been developed. The rise/fall times were improved to 2.2ns and 2.4ns, respectively, with the waveform compensator. The design of the beam extraction by using the strip-line kicker system for ATF2 is described in this report.

ストリップラインを用いた高速キッカーシステムの開発

1. はじめに

ダンピングリング(DR)は、International Linear Collider(ILC)加速器の中で極小エミッタンスビームを生成するという重要な役割を持っている。ILCでは、2820(or 5640)バンチ、バンチ間隔330(or 165) nsのビームが繰返し5Hzで加速されビーム実験に使われる。全長で200km以上になるバンチトレインをDRに蓄積するためにDR内ではバンチ間隔を短くして蓄積する必要がある。この様にバンチ間隔をDRの入射/取り出しで変えるためにバンチごとの特殊なビーム入射/取り出しの操作が必要となる。Base line design[1]では、DRの周長は6.7km、バンチ間隔は3(or 6) nsである。この操作を行うキッカーの開発がDR建設の必要条件となる。表1にILC DRキッカーの要求パラメータを示す。

開発中のキッカーシステムは、複数の30cm長のストリップライン電極に印加した高速パルスによりビームを偏向させ入射/取り出しを行うものである。パルス電源には選択したバンチだけを偏向させるために高速の立上がり/立下がりを持つ必要があり、さらに高繰返し、高電圧が要求される。ストリップライン電極の長さはキックフィールドの時間応答で制限され、全体のユニット数は偏向角とパルス電源の性能から決められる。KEKではATFに於いて、単ユニットのビームテストを行い3ns以下のキックフィールドの時間応答を持つキッカーの開発を行った。時間応答改善のためにwaveform compensatorを開発し、特性改善を確認した。このキッカーシステムのATF2での使用を検討している。

Kick angle	0.6 mrad
β_x at kicker	50 m
Repetition rate of the burst	3 MHz for 2820 bunches 6 MHz for 5640 bunches
Macro-pulse length	1 ms
Repetition rate of the macro-pulse	5 Hz
Rise and fall time	<3.08 ns for electron ring and 5640 bunches <6.154 ns for positron ring and 5640 bunches
Peak kick stability	0.07%
Residual kick	<0.42 μ rad

表1 ILC DR キッカーの要求パラメータ

2. ストリップラインキッカー

ビームに対してストリップライン電極に反対方向からパルス印加するとビームはパルスの電磁場によって偏向される。そのキック力は電極を通過するビームとパルスの通過時間に比例する。それぞれが高速で電極Lの長さを通じたとすると、キック角度は、

$$\theta(t) \propto \int_t^{t+2L/c} V(t) dt \quad (1)$$

である。30cmのストリップライン電極を使用すると、Vの立ち上がりが0でもキックフィールド2nsで立ち上がる。このことからキックフィールドの立ち上がりを高速にするには電極の長さには制限があり、高圧パルスの立上りを考慮すると3ns

¹ Mail address : takashi.naito@kek.jp

以下のキックフィールドを得るにはストリップライン電極の長さは30cm程度に制限される。(1)式より、キック角度はLが長いほど大きな値になるが、立上りの制限から長くすることは出来ない。高圧パルスの電圧を高くすることも、技術的に多くの難しい点があり、あまり高い電圧を作る事が出来ない。そのため1台のストリップラインキッカーでは、高速の立上がりと十分なキック角度を両立させることは難しい。ストリップラインキッカーを使いILCのパラメータを満足するためには、キック角度の小さなユニットを複数台用意し、ビームのタイミングに合わせてトリガーすることによって合成キックフィールドが必要なキック角度を生成するシステムに必要がある。全体では、15~20台のストリップラインキッカーが必要になる。ストリップラインキッカーシステムの全体構成図を図1に示す。

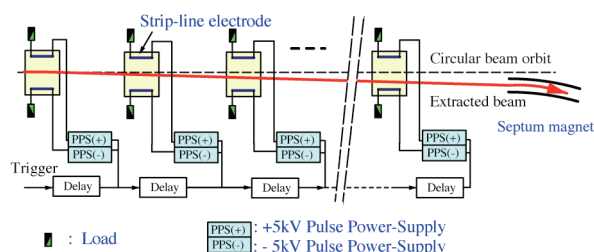


図1 ストリップラインキッカーの全体構成図

ストリップラインキッカーのキック角度は、

$$\Delta\theta = 2g \frac{eV L}{E d}, \quad (2)$$

ここで、Eはビームエネルギー、Lはストリップライン電極の長さ、dはストリップライン電極の間隔である。gはgeometry factorと呼ばれ、電極の形状がフィールドに影響する係数であり、次式で求められる。

$$g = \tanh\left(\frac{\pi\omega}{2d}\right). \quad (3)$$

ここで ω はストリップライン電極の幅である。

3. ATF-DRに於けるビーム試験

ストリップラインキッカーの時間応答特性を確認するためにATF-DR内で1ユニットの実験を行った。[3] 1ユニットでは、ビームをリングから取り出すだけのキック角度をビームに与えることは出来ないため、キック直後のDR内でのビーム位置の変位を測定する事によってキック電磁場を求めた。ATF-DR内で30cm長のストリップライン電極にFID社製FPG5-3000Mにより5kVの高圧パルスを与えた時に得られた電磁場の時間プロファイルを図2に示す。この測定からキック電磁場の立上がり時間3.2ns、立下がり時間4.0nsが得られた。ILC DR キッカーの要求パラメータである3ns以下の立上がり、立下がりを実現するために waveform compensatorを導入し、立上がり時間、立

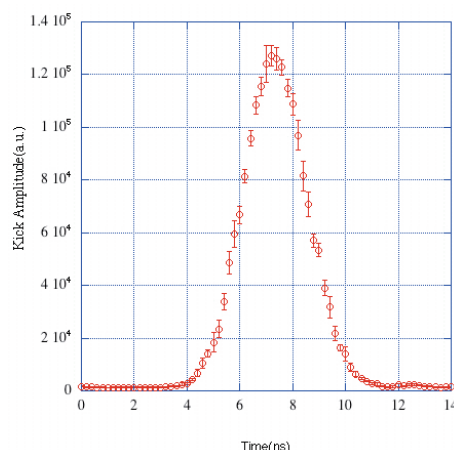


図2 測定したキック電磁場プロファイル

下がり時間の改善をはかった。[4]

waveform compensatorは、図3に示す様に主パルスと逆極性の補正パルスを別々のストリップラインで生成し、合成波形の立上がり時間、立下がり時間特性が改善することを目指したものである。実験では、立上がり時間は2.2ns、立下がり時間は2.4nsまで改善することが確かめられた。

これらの実験よりストリップラインキッカーの特性はILC DR キッカーとして十分な候補であることを示すことが出来た。また、waveform compensatorの実験は2つの高速パルスの時間合成が問題なく行われていることを示した。2つの高速パルスの時間安定度は、100ps以下であることも測定から求められた。

ILCのキッカーシステムでは、15~20台のストリップラインユニットのトリガー時間をずらしてビームの到着時間に最大のキック電磁場を得られるようにするが、その中の1、2台を waveform compensatorとして使用することは極性の反転とトリガー時間の調整だけで簡単に変更する事が出来る。

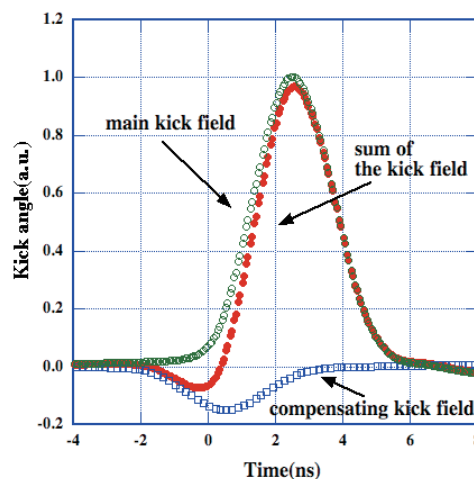


図3 waveform compensatorによる波形合成

4. ATFでのビーム取り出し設計

ATFでは、ILCのFinal Focus Systemのテストのためにビームサイズを37nmまでフォーカスさせるATF2 project が来年度から開始されようとしている。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現在のキッカーシステムで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4に示す様にDR内に蓄積した60(30)バンチのビームを1バンチずつ154(308)ns間隔で取り出し、約10μsのバンチトレインを作る。

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アングルの小さい為に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。現在、使用されているパルスマグネットは60cm長で4.6mradのキックアングルの生成しているが、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1.3mrad程度までしかキックアングルの生成出来ない。

この問題を解決するために、図5に示す様なLocal Bumpと補助Septum magnetを組み合わせた構成を現在設計中である。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、パルスのに上下するLocal Bumpを正確に作ること、小さな軌道差を分離するセパレータの薄いSeptum magnetを作る必要がある。これらの設計を現在行っている。

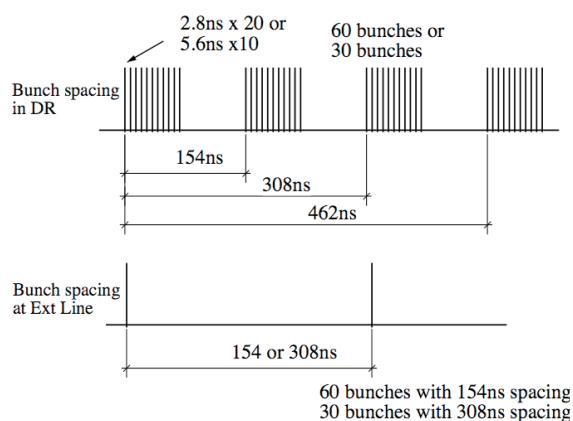


図4 ストリップラインキッカーによるマルチバンチビーム取り出し

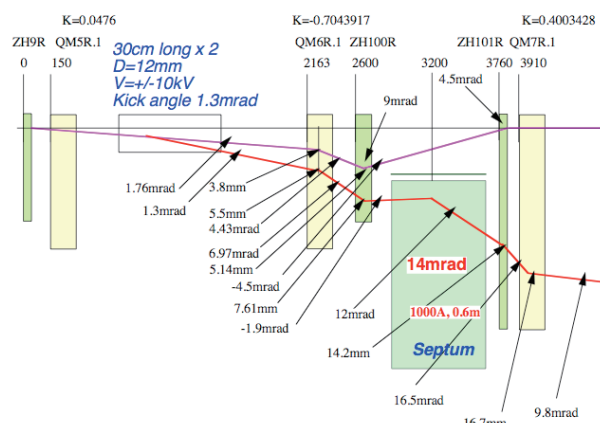


図5 ストリップラインキッカーによるビーム取り出し軌道

5. まとめ

ストリップライン電極を用いたキッカーシステムを設計し、ビーム実験を行った。単体試験では waveform compensatorを用い3 ns以下の立ち上がり、立ち下がりのキック電磁場を実現した。

このシステムを用いATF-DRから取り出しラインへのビーム取り出しを行う予定で準備が進められている。

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、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] Edited by A.Wolski et al., "Configuration Studies and Recommendations for the ILC Damping Rings", LBNL-59449, Cockcroft-06-04, Feb. 2006
- [2] B.I.Grishanov, et al., "TEST OF VERY FAST KICER FOR TESLA DAMPING RING", Proceedings of the Particle Accelerator Conference '97, Vancouver, Mar 1997
- [3] 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
- [4] 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