

## DEVELOPMENT OF THE FAST KICKER SYSTEM FOR ILC

T.Naito<sup>1</sup>, H.Hayano, M.Kuriki, N.Terunuma, J.Urakawa  
High Energy Accelerator Research Organization(KEK), Accelerator Lab.  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-0801

### Abstract

The development of the strip-line kicker system for ILC has been carried out at KEK-ATF. The kicker system is a key component of the design of the ILC damping ring. The one of the difficulty of the kicker system is to realize the 3ns rise/fall time of the kicker field. Especially, the falling edge of the kicker pulse has a slower falling time for the rise time and some of the pulse tail exists at the falling edge. The rise/fall time improvement system was developed, which uses bipolar kick pulses. This system is also applicable to cure the pulse tail. The resulting rise time of the kick field is 2.2ns by using the system.

## ILCのためのKicker Systemの開発

### 1. はじめに

International Linear Collider(ILC)は、世界中に一台の加速器を世界的な研究協力により建設することを目して進められている。その加速方式は超伝導リニアック方式が採用され、加速器の各パラメータを最適化する議論が進められている。ILCのダンピングリングに関する設計は、周長6km、バンチ間隔3ns、バンチ数2800または5600を基本とする円形リングとして進められている。ダンピングリング内ではバンチ間隔を短くした特殊なビーム入射/取り出しの操作が必要となる。従って、この操作を行うキッカーの開発がダンピングリング建設の必要条件となる。現在、放射光リングなどのほとん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、リングのアクセプタンスが大きい場合に用いられ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、リングのバンチ間隔より速い立ち上がり、立ち下がりキック電磁場が必要となる。キック電磁場の繰り返しはライナックのバンチ間隔から3MHzまたは6MHzで2800Pulseまたは5600Pulse(~1msec)、

5Hz(200msec)で運転される。従って、このパルス電源は、1/200のバースト運転となる。[1][2]

この様な高繰り返し、高速の立ち上がり、立ち下がりを実現するには、既存の高圧パルス電源と集中定数型マグネットでは不可能である。いくつかの方式が提案されているが、我々はFET高速パルス電源とストリップライン型の電極を複数用いた方式を提案し、ATFダンピングリングにおいてビームテストを行った。その結果について報告する。

### 2. ダンピングリングのビーム入出射

ダンピングリングの入射、取り出しキッカーの動作を図1に示す。ダンピングリング内でビームは、バンチ間隔3nsで周回している。前後のバンチに影響がないように周回している直前のバンチが通過した直後にキック電磁場を立ち上げ、取り出すビームのタイミングでキック電磁場が最大になるようにパルスを与える。キック電磁場は次の周回しているビームが来る前にゼロにする必要がある。実際には、数十バンチ間隔でギャップを設けるために片方のエッジには3ns以上の余裕がある。

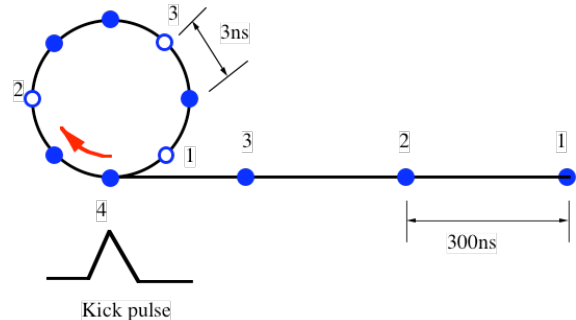


図1 Beam extraction from DR to Linac

<sup>1</sup> Mail address : takashi.naito@kek.jp

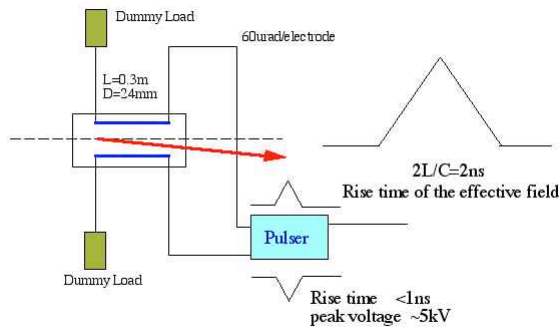


図2 Strip-line single unit

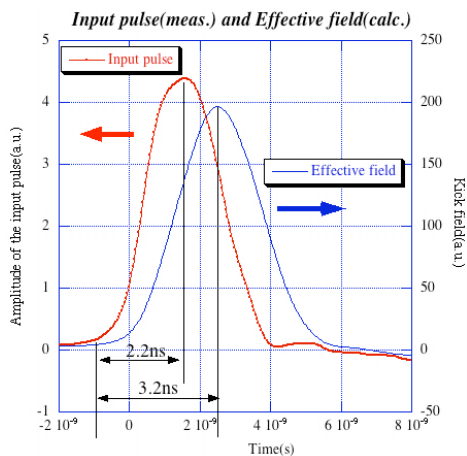


図3 キック電圧パルスとキック電磁場

るが入射、取り出しでは進む方向が逆になるため3nsの速い立ち上がり、立ち下がり両方が要求される。KEKでは、ストリップライン電極とFET高電圧パルス電源を多数ユニット同時に動作させることで実現することを目指している。[3]

基本ユニットを図2に示す。~30cmのストリップライン電極に両極性の高速パルスを通過させ、キック電磁場を得る。キック電磁場はストリップライン電極を通過する時にその長さを通過する時間が必要となりストリップライン電極を通過するとキック電圧パルスの立ち上がり立ち下

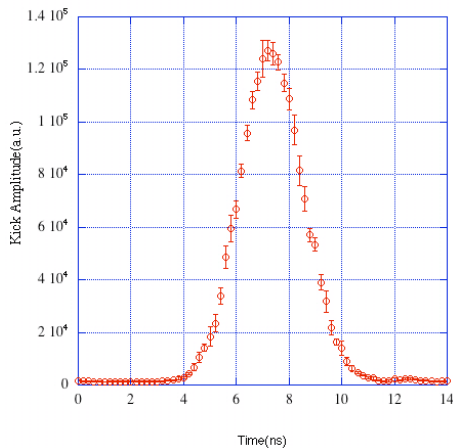


図4 測定したキック電磁場プロファイル

りは遅くなる。図3は、FID社の5kVパルス波形と30cmのストリップライン電極を通過した時のキック電磁場の計算値を示す。

ATFでの実験では、キッカーパルスのタイミングをスキャンした時ビームに励起されるベータトロン振動の振幅から蹴り角の変化を測定した。測定したビームキック電磁場プロファイルを図4に示す。図3に示した計算の立ち上がりとはほぼ一致した立ち上がりが見られている。

### 3. 立ち上がり、立ち下がり特性の改善

立ち上がり、立ち下がりの特性は、デバイスの応答やストリップライン電極の長さなど物理的な制約のためこれ以上の改善は難しい。特に、立ち下がりには立ち上りに比べて高速にすることが難しく、また、パルスの反射などのために立ち下がり直後にパルス電磁場をゼロにすることは極めて難しい。この問題に対して、2つの高速パルスの時間をずらして合成することによって立ち上がり、立ち下がり時間を改善し、また、反射パルスを必要なタイミングでゼロにする方法を考案した。図5に示す様にメインパルスに対し、逆極性の振幅のパルスの時間をずらして合成することによって、立ち上がり時間が改善される。図5ではメインパルス1に対して0.2の振幅の逆極性パルスを合成した場合のシミュレーション結果である。多少の振幅は犠牲にするが立ち上がり特性が改善されている様子が分かる。このパルス合成の利点は、合成するパルスの振幅とタイミングによって任意のタイミングでキック電磁場をゼロにすることが可能であること。しかし、合成キック電磁場のゼロクロスがあまり急峻だとタイミングジッターやドリフトの影響を受けやすいので出来るだけ緩やかなスロープでゼロクロスとなるよう設計すべきである。

また、逆極性の振幅のパルスを立ち下がりのタイミングに合わせる事によって立ち下がり時間が改

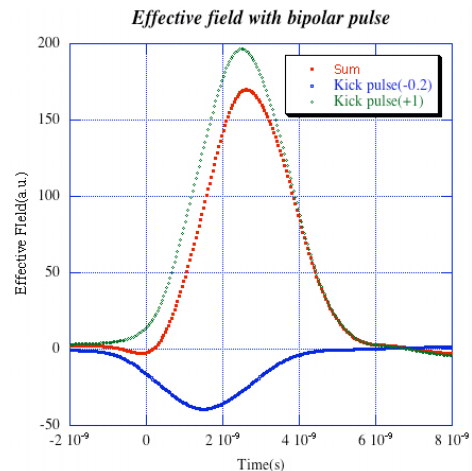


図5 パルス合成のシミュレーション (立ち上がり)

善される。図6は、図5と同じくタイミングを立ち下がりに合わせ、メインパルス1に対して0.04の振幅の逆極性パルスを合成した場合のシミュレーション結果である。

#### 4. パルス合成の実験

2台のFET高電圧パルス電源をそれぞれ2台のストリップライン電極に接続し、トリガ信号をずらしビームに与えた時のビームキック電磁場を測定した。測定は、KEK-ATFダンピングリングにおいてビームキックにより発生するベータatron振動の振幅をFFT変換したスペクトラムの振幅より求めた。その結果の例を図7に示す。測定は、振動の絶対値が示されるため逆方向のキックでも正方向の振幅として現れる。メインパルスの直前の小さなパルスが負パルスによるもので実際は逆方向にキックされている。その直後にメインパルスが立ち上がっている。本来、一度完全なゼロになるはずであるがゼロにはなっていない。その理由は、測定が200psステップであるために完全なゼロのタイミングから少し離れた点を測定した可能性があることと、後述のタイミングジッターの為に完全なゼロにはならなかったものと思われる。メインパルスの立ち上がりは、3.4nsであったものが2.2nsまで改善された。

また、この測定結果は独立な2つのキックパルスが非常に安定したタイミングで合成されていることを示している。ILCのキッカーシステムでは、20~40台のストリップラインユニットのトリガ時間をずらして、同じキック電磁場が一つのビームに加えられるようにするが、その安定度も一つの懸案であった。この測定に於いて、2つのキックパルスは200ps以下の非常に安定したタイミングでビームをキックしていることが測定された。キックパルスは、ノイズなどの影響により~100ps程度のジッターを持つ事が測定されており、これを安定化させることによってさらに安定になることが期待される。

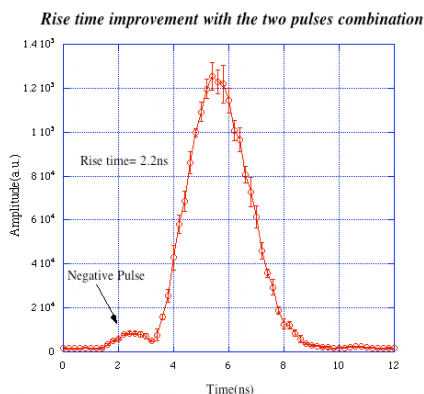


図7 測定したビームキック電磁場  
 プロファイル

#### 5. まとめ

ストリップライン電極とFET高電圧パルス電源を用いたILCキッカーシステムの開発に於いて、最大の課題であった3ns以下の立ち上がり、立ち下がりのキック電磁場を実証する基本実験を行い、3ns以下の立ち上がりが実現されていることを確認した。今後、このシステムを使いATFダンピングリングか取り出しラインへのビーム取り出し実験を行う予定である。

#### 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、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グループの方々にも感謝いたします。

#### 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