

DEVELOPMENT OF THE KICKER SYSTEM FOR INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER

Takashi Naito^{1,A)}, Junji Urakawa^{A)}, Masao Kuriki^{A)}, Nobuhiro Terunuma^{A)}, Hitoshi Hayano^{A)}

^{A)} KEK High Energy Accelerator Organization

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

Abstract

The development of the new kicker system has been carried out in KEK-ATF. The kicker system for inject/extract the beam to/from the damping ring required to extraordinary parameters for International Linear Collider. For example, the repetition rate is 3MHz, the raise time of the pulse is less than 3ns, etc. The kicker system consists of the strip-line electrodes and the very fast pulse power supplies. The beam test of the single module was carried out at KEK-ATF damping ring.

ILC キッカーの開発

1. はじめに

International Linear Collider(ILC)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作業が行われている。 ILCのダンピングリングは、リニアックのバンチトレインそのものを入れようとする300kmにも及ぶ巨大なものになってしまうため、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。 この操作を行うのがキッカーであり、従来のリングへの入射/取り出しの様なリングの一周間に渡って入射/取り出し軌道を作るといった動作ではなく、それぞれのバンチを選択的に入射/取り出しを行う必要がある。 どれだけバンチ間隔を短く出来るかは、キッカーパルスの立ち上がりに依存し、ダンピングリング内でのバンチ間隔は、ダンピングリングの周長を決定するため、キッカーの性能はダンピングリングのパラメータを決定する上で重要な役割を持つ。 現在、ダンピングリングの周長は17km, 6km, 3kmが検討されており、リニアックで330nsであったバンチ間隔はダンピングリング内ではそれぞれ、18ns, 6ns, 3nsとなる。 従って、キッカーパルスの立ち上がりは、それ以下が要求され、繰り返しは、リニアックのバンチ間隔から3MHzで動作する必要がある。

このパラメータを実現するには、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. キッカーパラメータ

ストリップラインにビームの進行方向と逆向きにパルスを印加すると、パルスとビームそれぞれにストリップラインを通過する時間が必要となるため、

fieldの立ち上がり時間(T)はストリップラインの長さをL、光速をCとすると、

$$T = 2L/C$$

また、パルスに立ち上がり時間(Tr)があると

$$T = Tr + 2L/C$$

となる。 その様子を図1に示す。 この結果から、高速の立ち上がりを実現するにはストリップラインの長さにも制限がある。

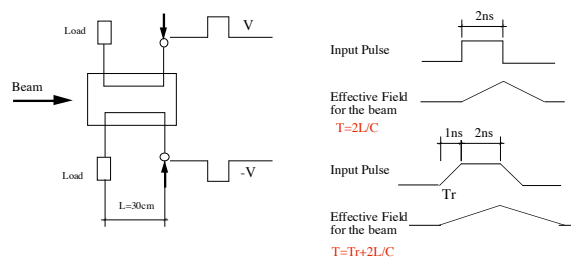


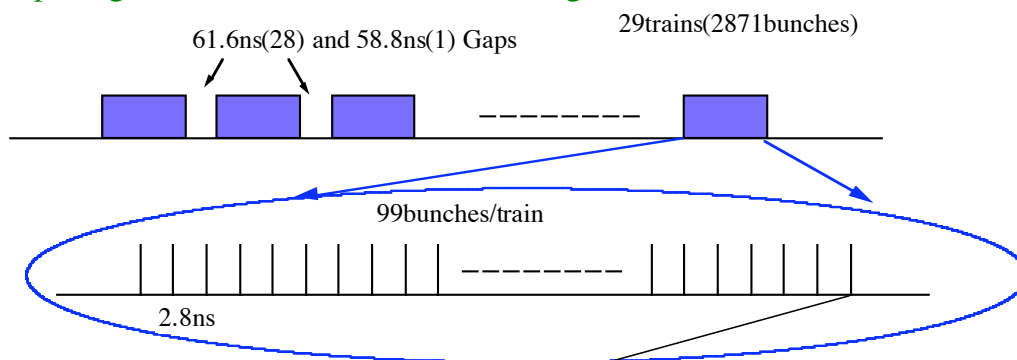
図1 ストリップラインのfieldの立ち上がり

ダンピングリングの設計では図2に示すように、リング内では2.8ns間隔でビームが存在しており隣り合うバンチに影響を与える事無く1バンチのみを蹴り出すには2.8ns以下の立ち上がりが必要となり、リニアックで330nsの間隔のバンチトレインにするには3MHzの繰り返しが必要される。なお、instabilityを押さえるためのgapが何か所か設けられており、このgapは、キッカーにとって立ち下がり時間に~60nsの余裕が持てることになる。

要求されるキッカーのパラメータを表1に示す。ストリップラインの設計にも依るが、これだけの磁場を発生させるためには数十kV以上の電圧が必要となり、このパラメータを一台のパルス電源で実現するのは難しい。また、ストリップラインの長さによる立ち上がり時間の制限があるため、現実的には複数台のストリップラインとパルス電源を用意し、時

¹ E-mail: takashi.naito@kek.jp

Bunch spacing in DR(3km circumference design)



Bunch spacing in Linac

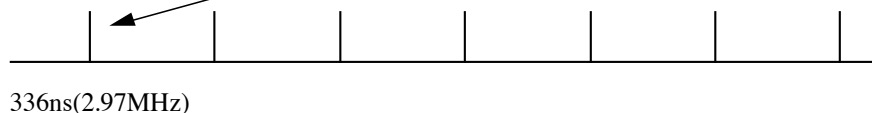


図2 ダンピングリング、リニアックに於けるバンチ間隔

間をずらしてトリガすることによって全体として必要な蹴り角を得る方法が考えられている。

表1: specifications of the kicker

Kick angle	$\theta \sim 0.6 \text{ mrad}$ or $\int Bdl \sim 0.01 Tm$ at 5GeV and $\beta=50m$
Stability	$> 7 \times 10^{-4}$
Rep. Rate	$\sim 3 \text{ MHz}$

3. ATF でのビームテスト

ATFダンピングリングに長さ30cmのストリップライン電極を入れ、高速のパルス電源でビームをキックした時の振動軌道を測定することによって、実際のビームの蹴り角を測定することが出来る。特に、ビームのベータatron振動の振幅からキック量を測定する事により精度の良い測定が期待される。

3.1 高速パルス電源

高速パルス電源は、世界各国の研究所で開発が進められているが、今回我々はFID社のパルサーを用いて評価テストを行った。表2にスペック、図3に波形を示す。波形は2ns以下で立ち上がっており、

表1: specifications of the FID pulser

Pulse voltage	$\sim 5 \text{ kV}$, 50ohm
Rise time	1-1.2ns
Pulse width at 50%	2-3ns
Repetition rate	$< 3 \text{ MHz}$

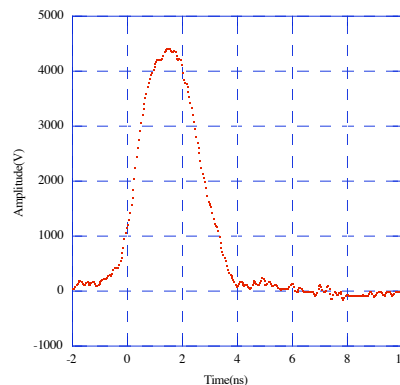


図3 FPG5-300M(FID) 出力波形

3.2 ストリップライン

ストリップライン電極は、今回はATFのtune測定のために設計されたものと同じものを作り使用した。放電耐圧等既知のものを使用する事によって、想定外の問題を排除し、高速の立ち上がりを確認することを目的とした。電極の長さ、距離等の最適化は今回の結果をもとに行う予定である。ストリップライン電極の形状を図4に示す。

3.3 計測システム

キッカーが発生するビームのキック量は、ATFのtune測定にも用いられているTurn-by-turn Beam Position Monitor(TBT)を用いる。TBTは、14bit精度でビーム位置の測定を行い、そのコヒーレント振動スペクトラムから加速器のtuneを求める事が出来るが、スペクトラムの振幅はパワーであり、その平方根は振幅を表す。この方法で求めたキッカーに

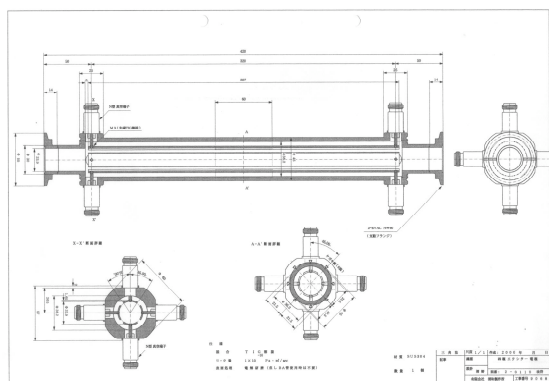


図4 ストリップライン電極

よる振幅はベータトロン振動のみを比較しているためノイズ等の影響を排除することが出来、精度の良い測定が期待出来る。実際の測定では、パルスを印加するタイミングを変えることによってキックフィールドの変化をビームの振幅として計測する事が可能である。

TBTでは、相対的な測定は精度があるが測定には振動のダンピングの効果も入っているため蹴り角を求めるには精度に疑問が残る。ATFでは、シングルターンBPMが採用されており、96個のBPMは各ターンごとに測定することが出来る。このシングルターンBPMの測定タイミングをキッカーのタイミングに合わせる事に依ってキック前と後のビーム位置が分かる。その結果とTransfer matrixから蹴り角を求める事が出来る。

4. 測定結果

図5にキッカーパルスのタイミングをスキャンした時のベータトロン振動の振幅を示す。縦軸は、シングルターンBPMの結果から蹴り角に変換してある。横軸は、パルスのディレイであるため時間の進行は右から左へ流れスコープの波形とは逆になるが、図

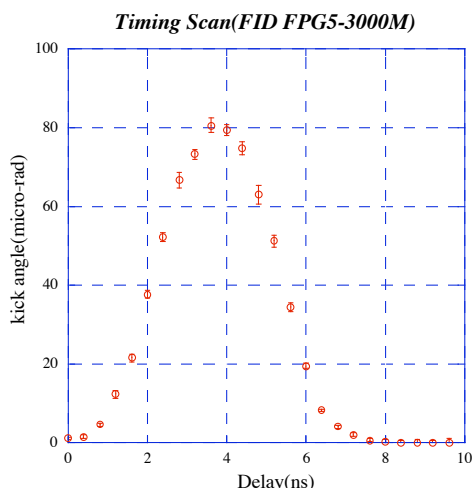


図5 タイミングスキャン

3の波形の立ち上がり時間が増加した(計算では $\sim 4\text{ns}$)波形と相似であることが分かる。蹴り角も計算値($\sim 80\mu\text{-rad}$)と一致する。

今回の結果から、ストリップラインキッカーは約3nsという高速の立ち上がりに対しても予測どおりの性能を持つ事が確認され、周長3kmのダンピングリングの設計に必要なキッカーの可能性を示す事が出来た。

5. 今後の予定

今回のビームテストは片電極のみにパルスを印加して行ったが、対抗電極に逆極性のパルスを同時に印加した場合のテスト、最高3MHzでのパルスの安定度、パルスごとのジッターの測定等を行う予定である。

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戸塚機構長、神谷施設長、榎本主幹、高崎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グループに感謝いたします。

参考文献

- [1] R. Brinkmann et al., "TESRA Technical Design Report" http://tesra.desy.de/new_pages/TDR/accel.html
- [2] B.I. Grishanov et al., "Test of very fast kicker for TESLA Damping Ring", Proceedings of the PAC1997, Vancouver, Canada, 12-16May, 1997
- [3] B.I. Grishanov et al., "Very Fast Kicker for Accelerator applications", NIM A 396 28-34, 1997
- [4] F. Shumidt et al., "Analysis of Turn-by-turn Orbit Data and Dynamic Aperture Considerations for the ATF Damping Ring", ATF report ATF-99-14(CLIC-note-419) 1999
- [5] J.P. Ptier et al., "Observations on Tune and β functions at the ATF Damping Ring", SLAC-PUB-7784 Mar 1998