

Timing System for Multi-Bunch/Multi-train operation at ATF

T. Naito, H. Hayano, J. Urakawa, T. Imai*

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, Japan

*Science University of Tokyo

A timing system has been constructed for multi-bunch/multi-train operation at KEK-ATF. The linac accelerates 20 bunches of multi-bunch with 2.8ns spacing. The Damping Ring stores up to 5 trains of multi-bunch. The timing system is required to provide flexible operation mode and bucket selection. A personal computer is used for manipulating the timing. The performance of kicker magnets at the injection/extraction is key issue for multi-train operation. The hardware and the test results are presented.

マルチバンチ / マルチトレインビームの入射取り出し のためのタイミングシステム

0. はじめに

KEKの将来計画であるリニアコライダーは、TeV領域を目指す線形加速器であり、High Luminosityを実現するために特徴のある運転がなされる設計になっている。リニアコライダーでは、1.4ns(または2.8ns)の間隔を持ったマルチバンチビームが加速され、そのダンピングリングでは、十分なダンピングタイムを得るために連続的に複数のマルチバンチビーム(マルチトレイン)を入射し、複数の入射周期の時間ダンピングリング内に滞在した後連続的に取り出される様な設計になっている。

リニアコライダーを実現するための実証マシンであるATFでは、このような動作を実現するために既に熱電子銃によるマルチバンチビームの生成[1][2]、マルチバンチビームのエネルギー拡がりを抑えるためのエネルギー補正システム[3]、それらを制御するためのタイミングシステム[4]等の開発が行われており、本研究会でも報告されてきた。

今回は、マルチトレイン運転を実現するためのタイミングシステムを構築したので報告する。

1. マルチトレイン運転

マルチトレイン運転は、図1に示すように連続的に最大5個のマルチトレインビームをダンピングリングに入射し、5倍の入射周期の時間ダンピングリング内に滞在した後順次取り出される様にしたものがある。この様な運転モードにすることによって、入

射/取出しの繰り返し周期を遅くすることなくダンピングリング内にビームが滞在する時間を増やすことが出来る。ATFダンピングリングの場合、繰り返しは25Hz(40ms)であるのに対し、ダンピングタイムは~27msである。マルチトレイン運転をするために連続的に入射/取出しのタイミングを変更するわけであるが、複数のタスクを処理している制御用計算機では、40ms以内で処理する(リニアコライダーでは6ms以内)ことは難しいため、また、複雑な運転モードを電子回路のみで構成するのは煩雑になりすぎるため、シングルタスクのパーソナルコンピュータを用いてシステムを構築した。

ATFでは、ワンターン入射/取出し方式を採用しておりマルチトレイン運転の場合、後から入射されるビームのためのキッカーパルスが既に入射されているビームにどのような影響を与えるかはキッカーマグネットの立ち上がり/立ち下がり特性が大きく影響する。このシステム構成とテスト結果について報告する。

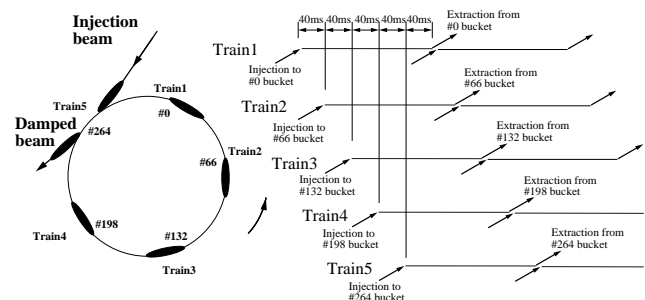


図1 ダンピングリングのマルチトレイン運転

1. システム構成

今回のシステム構成を図2に示す。ATFのトリガ信号は LineSync Module により電源同期した任意のくり返し信号が生成される。各トリガ信号は TD2 と呼ぶプリセットカウンタ方式のディレイモジュールによってビームに同期するようになっている。リングの任意のバケットにビームを入射するためには、ライナック及び入射/取出しキッカーのトリガタイミングを同時に変える必要がある。さらに連続的に入射ビームのタイミングを変えるためには、ビームのくり返しに同期して、順次そのタイミングを変えてゆく必要がある。この動作を行うためにリングの RF 周波数に同期した Revolution Frequency (2.1MHz) にトリガ信号を同期させ、その位相を変えるようにした。図2でAで示される TD2 がその動作を行っており、この TD2 のディレイ値をコンピュータから連続的に書き換えることによって 2.1MHz の位相が変わる。このディレイ値書き換えの動作を専用のコンピュータを使うことによって 1~2ms で行うことができる。CSY(Clear and Synchronize module) は、ソフトによりトリガ信号にゲートをかける機能を持ち、ビームのくり返しを任意の時間制御することが出来る。ソフトによりマルチトレインの数やバケット位置選択、入射のくり返しを制御するため既に20以上の運転モードが用意され、制御計算機からはその運転モードのフラグを与えるだけでタイミング制御が行われる。

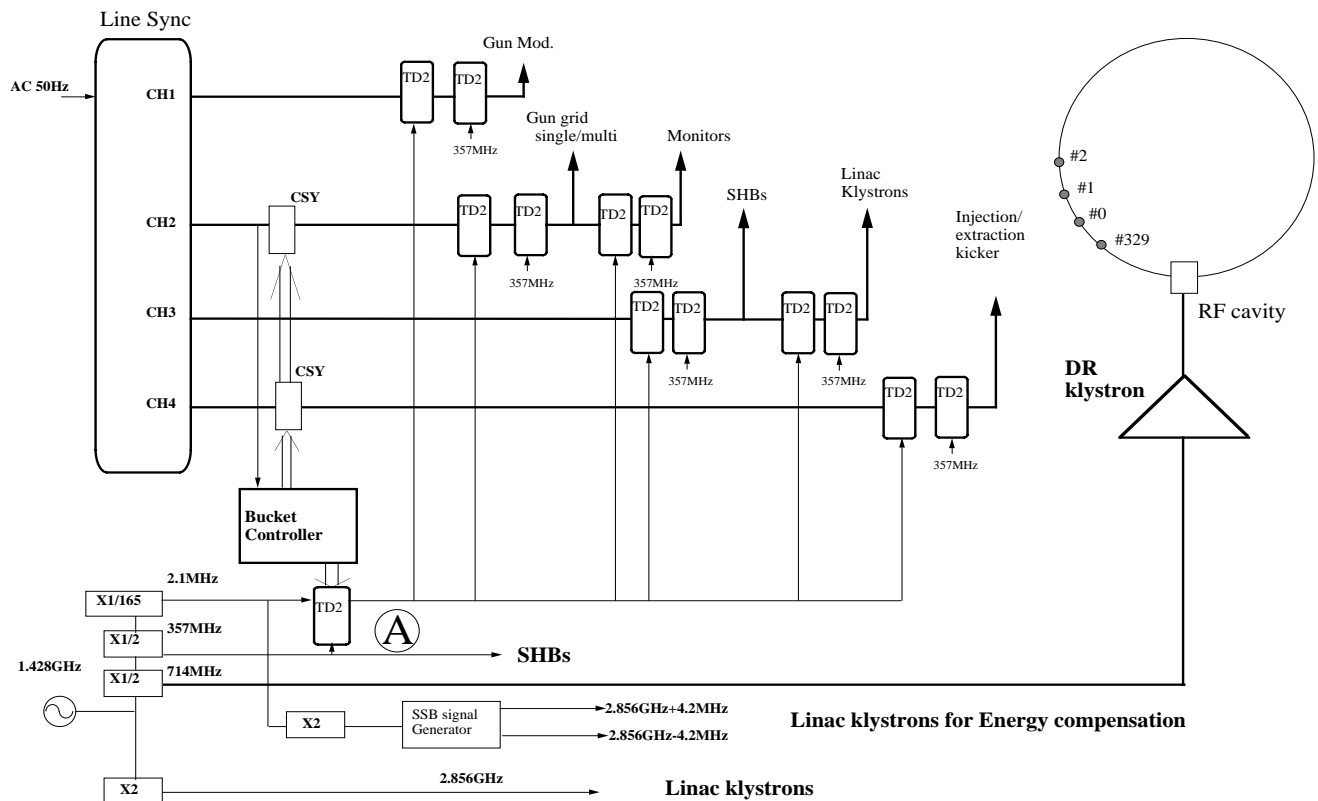


図2 システム構成

2. 動作テスト

マルチバンチの加速試験はすでに行われ20バンチのビームをダンピングリングに入射可能なエネルギー拡がりに押さえられることが確認されている。しかし、放射線シールドの点からダンピングリングでの蓄積、取り出しは、まだ行われていない。今回は、シングルバンチビームを使い複数バンチの連続入射/取出しテストを行った。テストでは、2トレイン（この場合、2バンチ 231ns 間隔）、3トレイン（154ns 間隔）、4トレイン（115.5ns 間隔）までは問題なく入射/取出しが行われたが5トレイン（92.4ns 間隔）では、最後の入射で後ろのビームを落としてしまった。図3に4トレイン運

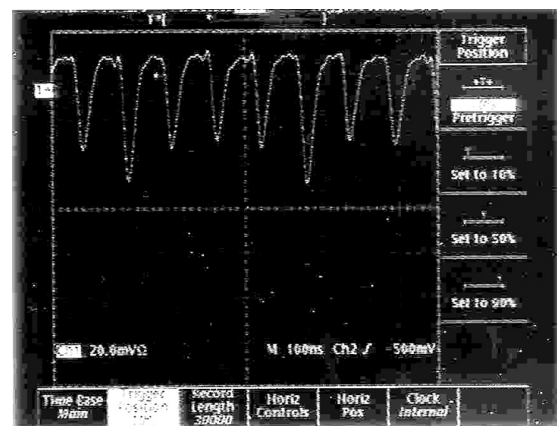


図3 4バンチ（115.5ns 間隔）のビーム波形

転時の CT の波形を示す。1つのビームだけが入射直後であるために電流量が多いが、他のビームは均等に蓄積されている様子が解る。

3. 入射/取出しキッカーマグネットの特性

2バンチのビームを、それぞれ違うバケット間隔に入射し、どのバケットまで入射可能かを調べた。その様子を図4に示す。1バンチあたり2 mAを入射した場合、キッカーパルスの前縁にあたるタイミングでは92.4nsの間隔でも100%近い入射効率であったが、キッカーパルスの後縁にあたるタイミングでは115.5ns以降徐々に入射効率が悪くなっている。

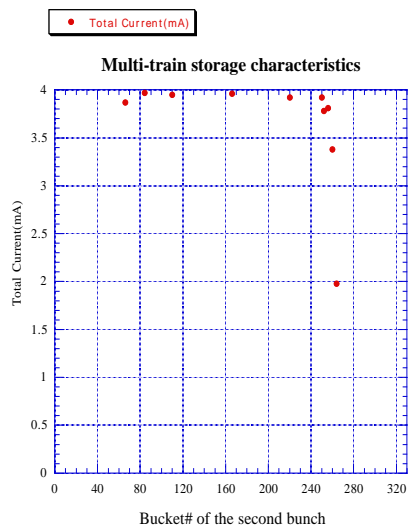


図4 2バンチ入射時の入射効率
 ダンピングリングの1周期は462ns
 330バケット、1バケットは1.4ns間隔

これはキッカーマグネットの磁場の立ち上がり特性の影響によるものと思われる。

ビームが一樣磁場を感じるようになるまでの時間は、
 $T = T_r + T_d$

で表される。(Tr:パルス電源の立ち上がり、Td:マグネット内でのパルスの伝搬時間)

図5に入射/取出しキッカーのパルス波形を示す。それぞれの立ち上がり/立ち下りに要する時間は、これらの波形と入射キッカーについては磁場モニタから $T_{rise} = 70ns$, $T_{fall} = 90ns$ 、取出しキッカーについては計算から $T_{rise} = 53ns$, $T_{fall} = 63ns$ であった。この結果からだけでは入射効率の結果を説明できないが、入射/取出しキッカー共にパルスの立ち下がりにテイルがあるのが観測されている。このテイルが他のバケットにいるビームに影響を与えているのではないかと考えられる。

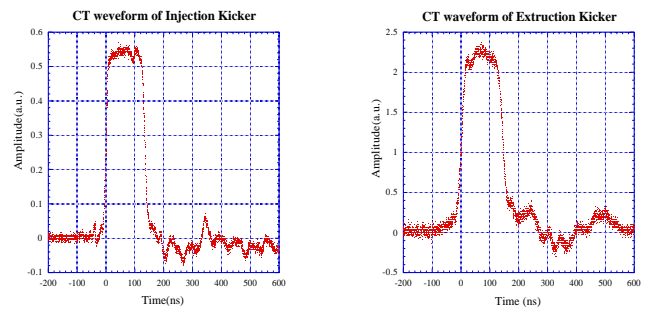


図5 入射/取出しキッカーのパルス波形

4. まとめ

マルチトレイン入射/取出しのタイミングシステムを構築し、実際の運転テストを行った結果4トレインまでの入射/取出しが可能であることをたしかめることが出来た。

今回のテストは本来、20バンチのマルチバンチを複数トレインの入射/取出しによって行うべきであるが、ATFでは放射線シールドの問題からまだマルチバンチの蓄積運転を行っていないため、シングルバンチで行った。

マルチバンチの入射/取出しでは、すでに20バンチ以上のビームを入射/取出し出来る Flat top 磁場が作られていることが確認されている。[5] [6]

5. 謝辞

今回の測定に関し、ATFオペレーショングループの協力に感謝致します。制御計算機とのGUI接続に関するソフトウェアは、関東情報サービス(株)小沢氏に協力していただきました。また、木原施設長、高田総主幹をはじめとした関係者の方々のこのプロジェクトに対するご理解に感謝いたします。

References

- [1] 内藤 他, "マルチバンチ用グリッドパルサの開発", 第17回ライナック技術研究会, 1992, p43
- [2] 栗木 他, "熱電子銃によるマルチバンチビーム生成", 第24回ライナック技術研究会, 1999, p153
- [3] S.Kashiwagi et al, "Preliminary Test of F Energy Compensation System", Proc. 1996 Int. Linac Conf., (LINAC96)
- [4] 内藤 他, "ATFのタイミングシステム", 第21回ライナック技術研究会, 1996, p
- [5] T.Naito et. al., "Installation and measurement of the ATF injection kicker", KEK Prepri. 97-135, Sep. 1997
- [6] 今井 他, "ATFにおけるダブルキッカーシステムの開発", 第23回ライナック技術研究会, 1998, p208