

## TIMING SYSTEM OF ATF

T. Naito, T. Korhonen, H. Hayano, S. Takeda and J. Urakawa

KEK, National Laboratory for High Energy Physics  
 Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

### ABSTRACT

Accelerator Test Facility(ATF) for future linear collider is now under construction in KEK. The ATF consists of a 1.5GeV linac and a damping ring(DR). The timing system provides synchronized different acceleration frequencies for the linac and the DR and provides synchronized trigger signals for each device. For multi-bunch acceleration in the linac, the different cavity frequencies of  $2856\text{MHz} \pm \Delta f(4.3\text{MHz})$  are used for a compensation of transient beam loading. For multi-train injection of the DR, the timing of the kicker trigger is changed dynamically. This paper describes the timing system configuration and the performance of it.

### ATF のタイミングシステム

#### 1. はじめに

リニアコライダのための試験加速器(ATF)の各機器に供給するRF信号とトリガータイミング信号の生成について報告する。

ATF インジェクターリニアックは、電子数  $2 \times 10^{10}$  個、バンチ数 20、2.8ns 間隔のマルチバンチビームを生成し、357MHz の SHB、2856MHz S-band Buncherによりバンチングを行い、2856MHz S-band 加速管により 1.5GeV まで加速しダンピングリング(DR)に入射する。マルチバンチビームを加速するために Beam loading による Energy spread が生じるが、これを抑えるために  $2856\text{MHz} \pm 4.3\text{MHz}$  の加速管を用いた Energy Compensation system(ECS)を使用している。<sup>1)</sup> ビーム入射の繰り返しは、最高 25Hz である。

ATF DR は、Revolution Frequency : 2.1636MHz、Harmonic Number : 330、RF Frequency : 714MHz で運転される。入射キッカーは、ビームより  $\sim 10\mu\text{s}$  前の Pretrigger を必要とし、取り出しキッカーは、連続取り出しでは入射の直前の trigger ( $\sim 100\text{ns}$ ) で動作し、単入射取り出しでは、入射してから  $\sim 80\text{ms}$  遅れた trigger を必要とする。マルチトレイン入射の場合には、最高 5 Train を入射する。DR の任意の Bucket に入射するためには、インジェクターリニアックのすべてのタイミングを 2.8ns ステップで同時に変更しなければならない。

このタイミングシステムの基本思想は、以下の様な方針とした。 1) 一箇所で安定な周波数、トリガを作り各デバイスに分配する。 2) 信号の伝送は、E/O,O/E を使った光伝送システムを使い伝送する。<sup>2)</sup> 3) パルス信号に関しては、デバイス側で RF に再同期をかけて精度の良いトリガを作る。

#### 2. タイミングシステムの構成

図 1 に構成図を示す。基本周波数は、分周器、通倍器の構成を出来るだけ少なくしてジッターの発生

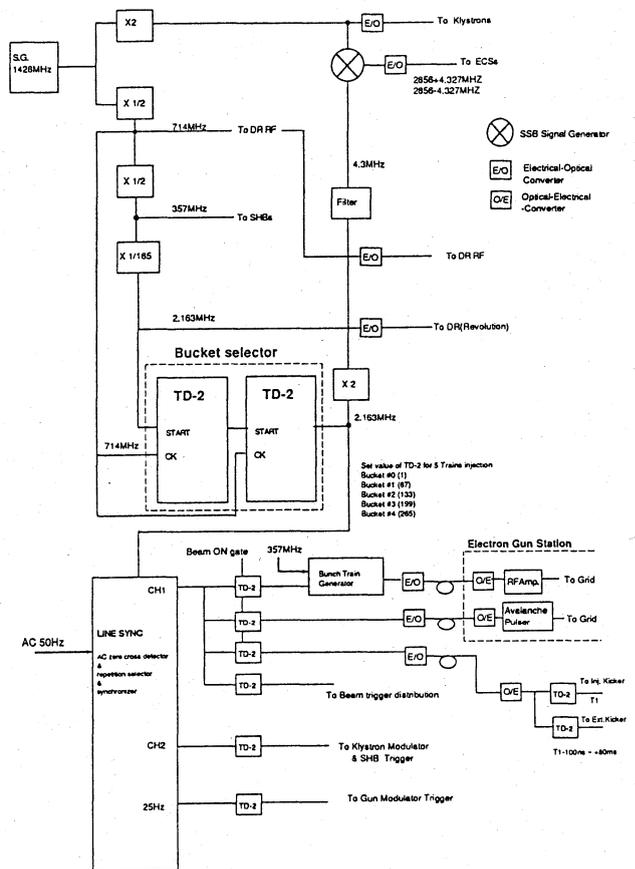


図 1 タイミングシステムの構成

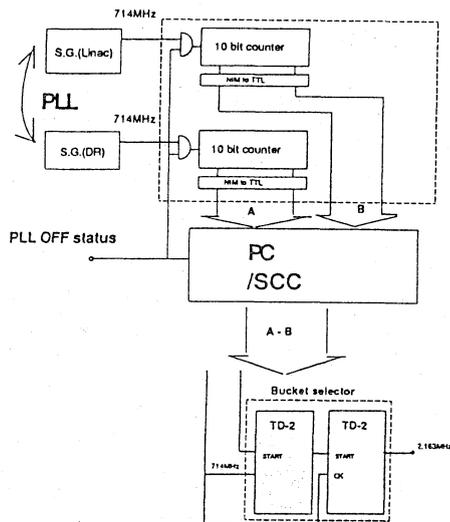


図2 バケットマッチングの構成

要因を減らす目的から1428MHzとし、2倍して加速周波数(2856MHz)、1/2倍してDR加速周波数(714MHz)、1/4倍してSHB(357MHz)、1/660倍してRevolution Frequency(2.16MHz)を作り出している。バケットの選択は、DRのRF周波数をリニアックの加速周波数と同期させたままリニアックのビームタイミングを移動させることによって行う。また、ECSのためのSSBジェネレーターに入力する4.3MHzは、Revolution Frequencyを2倍して作られ、それと加速周波数とを合成しECS用の2856MHz±4.3MHzを作り出している。

### 2.1 リニアックのトリガタイミング

リニアックの繰り返し信号は、大電力デバイスが電源から受ける影響を最小にするために電源同期させている。商用50Hzから繰り返しを取り出し、それを分周した25, 12.5, 6.25, 3.12, 1.56, 0.78, 0.39Hzの繰り返しを選べるようにしてある。この繰り返しは、ビーム、クライストロンモジュレータ、電子銃モジュレータ各々に個別の繰り返しを選択出来るようにしてある。繰り返しが違って、それぞれの関係は $1/2^n$ の関係になっているため同期した繰り返しを生成する。各出力はRevolution Frequencyと同じ2.16MHzに同期させている。さらに、各デバイスが必要とするトリガタイミングの時間関係はTD-2が作っている<sup>3)</sup>。TD-2は、RF信号を用いたクロックに同期し、入力パルスに対し設定時間だけDelayさせたパルスを生成する。設定時間がソフトで決定できるため機器の変更、追加などに柔軟に対応することができる。TD-2に714MHzのRFをクロックとして使用した場合時間ジッターを $\sim 5\mu\text{s}$ 以下に抑えることが出来る<sup>4)</sup>。

### 2.2 DRバケットセクター

DR内でのバケットの選択は、トリガタイミング発生同期用のRevolution FrequencyをTD-2によって位相をずらすことによって行う。どのバケットを選択した場合もECSの $\Delta f(\pm 4.3\text{MHz})$ の位相を一定にするためにTD-2によって位相をずらした後のRevolution Frequencyから2通倍してECS用の4.3MHzを作り出している。

連続入射によるBucketの回転は、TD-2のDelay値を連続的に変更することによって行う。例えば、5 Train入射の場合はBucket #1, Bucket #67, Bucket #133, Bucket #199, Bucket #265をショットごとに変えることによって実現する。最高25Hzで運転するためには、40ms以下で書き変える必要があるがATFの制御計算機からこの操作をするのは時間的に難しいので、専用のPCと補助クレートコントローラを使用して連続的にTD-2のDelay値を変更する。テストでは、単機能動作で $\sim 1\text{ms}$ でCAMACコマンドの実行が可能である。

### 2.2 DRバケットマッチング

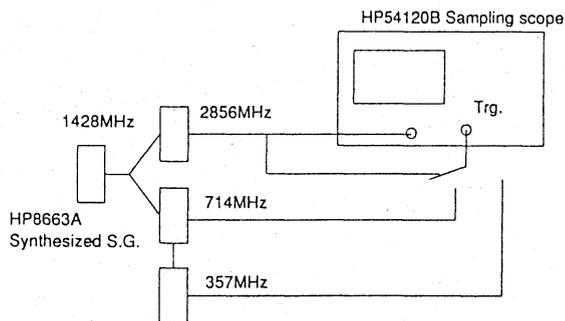
DRでのDispersion測定等のために、DRの加速周波数を変える場合がある。基本信号発生器をずらせばハードウェアは簡単であるがその他の周波数に対して時間関係が崩れてしまう。そこで専用のシンセサイザーを用意し、通常はPLLで基本信号発生器の周波数(714MHz)にロックしておき運転し、測定を行うときのみPLLをはずし違った周波数で運転を行うようにする。そして、再びPLLロックした後に次の入射を行うようにする。このとき、PLLがはずれている間にDRの加速周波数は基本信号発生器の周波数に対してどんどん流れてゆき、再び周波数は同じになってもバケットセクターの示しているタイミングは必ずしも同じタイミングではない。KEKのTRISTANでは、このバケットマッチングのために加速周波数からダウンコンバートした1MHzの位相を検出し、この位相が一定値になるまで一方のシンセサイザーの周波数をup/downさせる回路を使用した<sup>5)</sup>。

我々は、少し違った方式のバケットマッチングを検討している。同じタイミングにするにはPLLをはずした時にバケットが何個分流れていったかを数えればよいのであるから、高速のカウンタでPLLのはずれた二つの周波数を数え、その差をオフセットとしてバケットセクターに書き込むことによってバケットマッチングを行う。構成図を図2に示す。この方式の利点は、構成が非常に簡単であること、バケットマッチングのためにシンセサイザーの周波数を動かさないこと等が挙げられる。

### 3. 分周器/光伝送システムの特性

#### 3.1 分周器の特性

基本周波数から通倍器/分周器により各周波数を作り出しているが、時間ジッターについて特性をサンプリングオシロスコープにより評価した。2856MHzを分周器の出力でトリガして測定することによって2856MHzに対する時間ジッターを測定した。その結果を、図3に示す。2856MHzでセルフトリガした場合、時間ジッターは $\sigma$ 値で0.7ps。これは、測定システムに起因するものと思われる。714MHz、357MHzの分周器による時間ジッターは1ps以下であり問題がないことを確認した。また、ECS用の2856MHz $\pm$ 4.3MHzの時間ジッターは、0.8psであることが報告されている<sup>6)</sup>。



	測定値 (ps) rms	分周器のジッター (ps) rms
2856MHz	0.7	—
714MHz	1.1	0.85
357MHz	1.0	0.71

図3 分周器の時間ジッターの測定

#### 3.1 光伝送システムの特性

長距離に亘る信号の伝送には光伝送システムを使っている。光ケーブルは、住友電工製 Phase Stabilized Optical Fiber を用いている。この光ケーブルは、通常の光ケーブルと比較して非常に優れた温度特性を持っている。その特性を図4に示す。E/O、O/Eは、Ortel社製 3510A(Transmitter)、4511A(Receiver)を使用している。

分周器の特性と同じように光伝送システムの特性を測定した(図5)。光伝送システムの時間ジッターは、0.7psであり十分問題がないことを確認した。

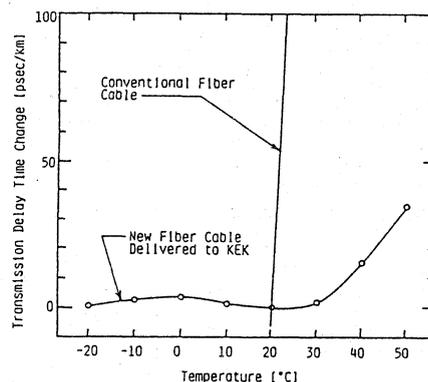


図4 光ケーブルの温度特性  
(参考文献2より)

#### References

- 1) T.Korhonen et. al., "R&D OF THE TIMING SYSTEM", Proc. of Linac Conf.'94 (p831) Tsukuba Japan
- 2) S.Tanaka et. al., "Precise timing signal transmission by a new optical fiber cable", KEK-90-5
- 3) K.Ishii, "Digital delay CAMAC module with 550MHz periset counter(TD-2)", KEK-83-14 September 1983 A/I
- 4) T.Korhonen et.al., "Performance Evaluation of a High Bandwidth Timing Module", KEK Internal, 96-3 1996
- 5) M.Kikuchi et.al., "BUCKET SELECTOR AND TRANSFER TIMING IN TRISTAN", Proc. of the 6th Symp. of Acc. Sci. and Tec., p230 1987
- 6) T.Korhonen et.al., "Energy compensation system of the ATF Linac", Proc. of the 20th Linear Acc. Meeting in Japan, Sep.1995

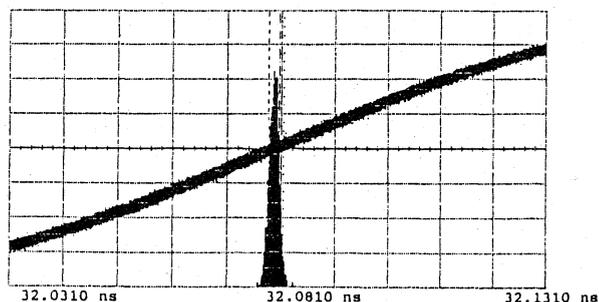
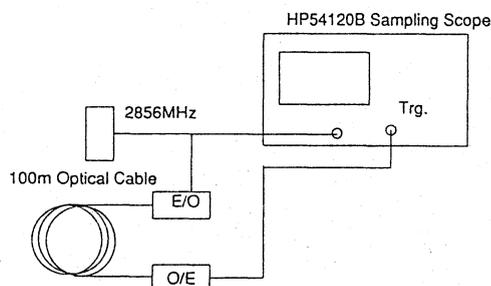


図5 光伝送システムの時間ジッターの測定