

TIMING SYSTEM OF SCSS PROTOTYPE ACCELERATOR

Naoyasu Hosoda^{A)}, Takashi Ohshima^{A)}, Hirokazu Maesaka^{B)}, Toru Ohata^{A)}, Yuji Otake^{B)}^{A)} JASRI/SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198^{B)} RIKEN/SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

Abstract

SPring-8 Compact SASE-FEL Source (SCSS) project is in progress. To verify its feasibility, 250MeV SCSS prototype accelerator (SPA) was constructed and beam commissioning started last October. We observed first lasing in June. In this paper, we describe the timing system of SPA. The time jitter of 0.71ps was achieved for a 5712MHz synchronous delay unit. We measured the time jitter between an electron beam and a 5712MHz RF that is a main acceleration RF frequency, and got 0.34ps. This demonstrates a good stability of SPA.

SCSS試験加速器のタイミングシステム

1. はじめに

X線FEL実験のためのSPring-8 Compact SASE-FEL Source (SCSS)計画が進行している。このプロトタイプとして250MeVの試験加速器(SPA)を建設し、昨年10月よりビームコミッションを開始した。そして6月に波長49nmのFEL光の発振を確認した^[1]。この試験加速器のタイミングシステムについて報告する。

2. システム構成

SPAではタイミングジッターの目標を1ps以下とし、それを満たす機器の開発などを行ってきた^[2,3,4]。図1にSPAタイミングシステムの概念図を示す。全系の運転の基準となるマスタートリガーをつくるマスタートリガーユニット(MTU)、それに入力するための商用60Hzに同期したクロックを作るトランスボックス、マスタートリガー分配器、マスタートリガーと加速周波数クロック(238MHz RFと5712MHz RF)を入力として、各機器のトリガー信号を発生する8ch VMEトリガーディレイユニット(TDU)、TDUのLVPECL出力を0-10V、NIM、TTLに変換するレベル変換器を製作した。TDUはディレイカウンターのクロックとして238MHz RFを用い、またディレイ後

に238MHz RFと5712MHz RFに再同期することでジッターを抑えている。

タイミング信号が必要な機器は、電子銃、S-band、C-bandの各高圧電源、熱電子銃から出てきた電子ビームを1nsに切り出すビームディフレクター、各空洞へのRFを発生するIQ変調器5台へのパターン発生器(238MHz DAC)、空洞などからのRFを検波するIQ検出器やビーム位置モニター(BPM)、ビーム電流モニター(CT)などを読むための238MHz ADCのトリガー、プロファイルモニター用カメラトリガーなどである。共通化できる信号はまとめて、現在54チャンネルのディレイ信号を8台のTDUを用いて発生している。これらはクライストロンギャラリーの7箇所19インチラックに収められたVMEシャーシ内に分散して置かれている。

マスタートリガー信号は4台の分配器で各TDUへ分配している。分配器間は100Ωの2芯同軸ケーブルを用いLVDS(低電圧差動信号)で伝送している。SPAではもっとも離れたラックまでのケーブル長は30m程度なので238MHz、473MHz、5712MHzなどのRF伝送には日立電線製HF-15DやFHPX-5Dの同軸ケーブルを用いているだけで、位相安定化のフィードバックは特に行っていない。

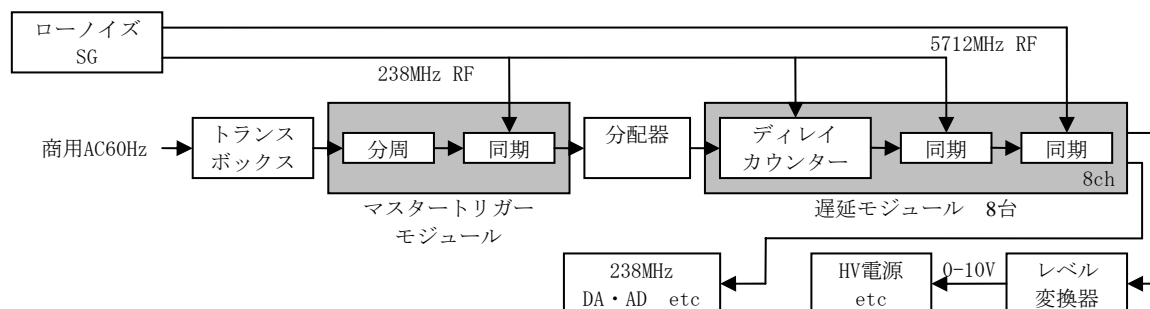


図1 : SCSS試験加速器タイミングシステムの概念図

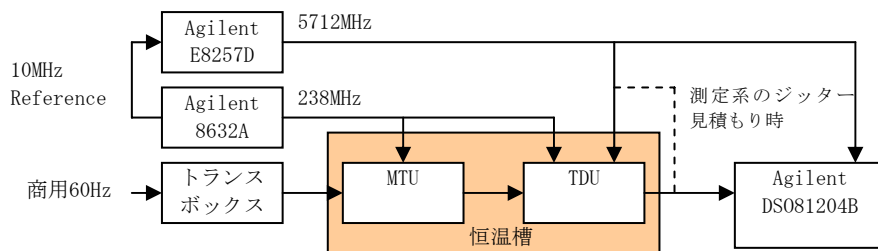


図2：ジッター・温度依存性などの測定ベンチ

3. 個々のモジュールの評価

3.1. トリガーディレイユニット(TDU)

TDUは5712MHz RFを扱うので、その部分は高周波アイソレーションを考慮しアルミ箱に収めている。また雰囲気温度の変動によるジッターを抑えるため、ヒーターと温度センサーを内蔵し温度安定化できるように製作した。

このモジュールのジッターや温度依存性を図2のような構成で測定した。ジッター測定にはAgilent DSO81204B (12GHz BW, 40GSa/s)オシロスコープを用いた。測定系のジッターは図中点線で示すように配線して5712MHz RF相互のジッターを測定し、0.78psであった。

ディレイの温度依存性は図3に示すようにほとんどみられなかった。TDU等が設置してあるクライストロンギャラリーとTDU内部の温度の様子を図4に示す。TDU温度は $33 \pm 1^\circ\text{C}$ 程度である。SPAでは現状、平日の昼間のみマシンを運転している。このため機器発熱による室温の日変化が大きく、特に起動直後の午前中は変化が大きい。しかしTDUに関しては今のところヒーターを用いた温度安定化は行っていないが、ビームジッターの増大は見られていない。

図5に室温時の5712MHz RFに対する各チャンネル出力のジッターを示す。これは測定系のジッターを

考慮した後の値であり、8出力を平均して標準偏差値で0.71psを達成している。

SPAではRF出力と検波に、新規開発したIQ変換

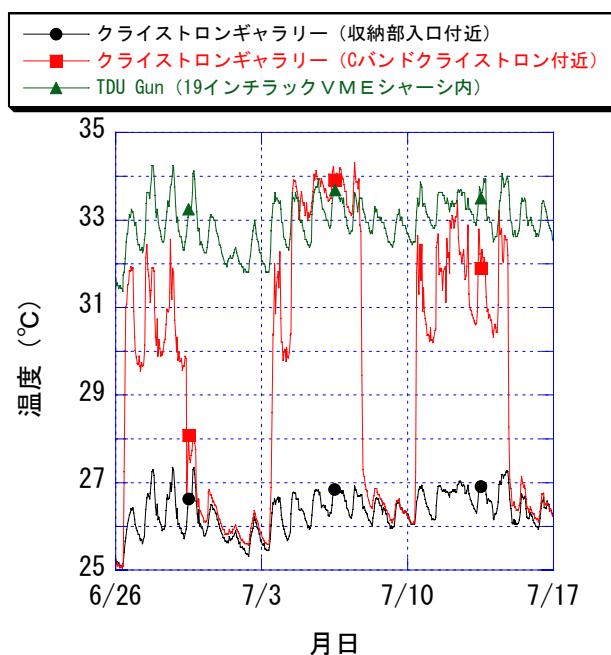


図4：クライストロンギャラリーとTDU内部の温度変化

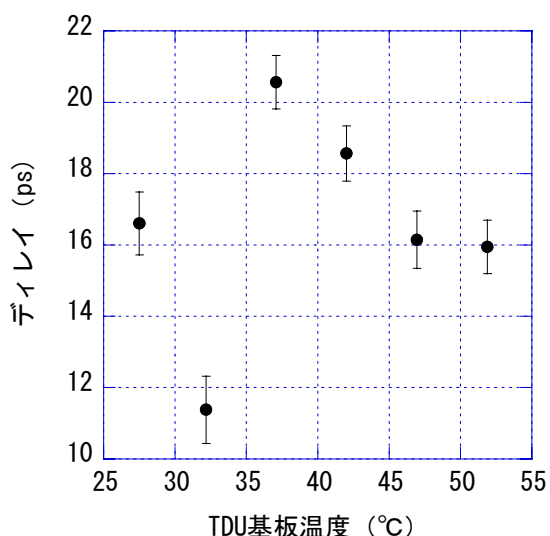


図3：TDUディレイの温度依存性。エラーバーは ± 1 標準偏差値。

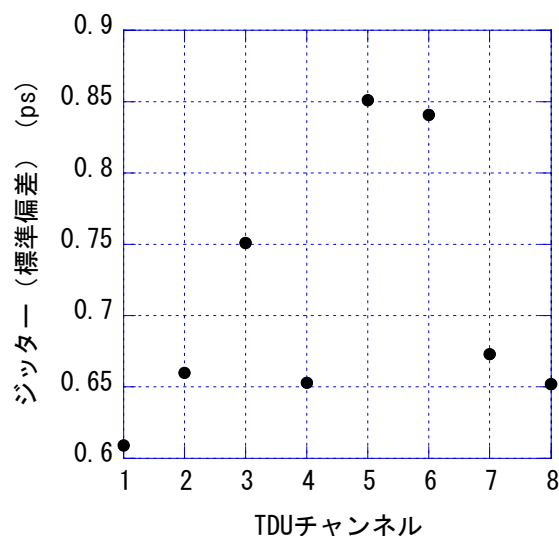


図5：5712MHz RFに対する各チャンネル出力のジッター

器・検出器、238MHz 12bit DAC・ADCを用いている。このDAC・ADCのトリガーレベルは同じLVPECLとしたので、それらは直接TDUと接続され、そのジッターで動作している。

3.2. レベル変換器

クライストロン高圧電源やビームディフレクター用ケンテックパルサーは歴史的な理由などから0-10Vレベルのパルス信号をトリガーとして用いている。またメーカー製機器やOTRモニター用カメラなどはTTLやNIMレベルの信号を用いている。これらのトリガー信号を用意するため、TDU出力レベルを0-10V、TTL、NIMレベルに変換するモジュールを製作した。このモジュールのディレイは7.1 μ sであった。TDUの場合と同じようにテストベンチにおいてレベル変換器を恒温槽に入れ、その温度依存性を測定した。表1に各レベル信号のジッターとディレイの温度依存性を示す。0-10V出力の温度依存性がとても大きい。これは後で述べるように、ビーム安定度に影響を与えている。

レベル	ジッター	ディレイの温度依存性
0-10V	13.0ps (3.2V部分)	177ps/°C
TTL	9.2ps	9.5ps/°C
NIM	5.0ps	2.5ps/°C

表1:レベル変換器各レベル出力のジッターとディレイの温度依存性

3.3.60Hzトランスボックス・RF分配ケーブル

クライストロン電源や電磁石等機器の安定動作のために、マスタートリガーは商用60Hzに同期している。この60Hzクロックをつくるトランスボックスのジッターは8.1 μ sで、温度依存性は-1.23 μ s/°Cであった。

RF分配には日立電線製HF-15DやFHPX-5Dを用いているが、このうち、FHPX-5D (10m)の特性を測定した。結果、ジッターは2.0psでディレイの温度依存性は13ppm/°Cであった。なおHF-15Dはメーカーによると5ppm/°C以下である。

これらの影響は特に見えていない。

4. ビーム運転

Cバンド加速管通過後の250MeV電子ビームによってキャビティ型BPMのリファレンス空洞に誘起される信号とローレベル系での5712MHz RFとのジッターを測定した。測定値は0.85psであり、測定系のジッターを考慮すると、ビームジッターは0.34psであった。

またTDUで発生したディレイ信号とビームとのジッターを測定したところ、測定系のジッター考慮後、0.86psであった。

SPAでは500kV熱電子銃でパルス長2 μ sの電子ビームを生成し、これを直後に設置したビームディ

フレキターで1nsに切り出している。現状、タイミングシステムがビーム運転に影響を与えているのは、このディフレクタータイミングの温度ドリフトである。原因はケンテックパルサーへ送る0-10Vレベルのトリガーを発生するレベル変換器であることがわかっている。

とりあえずの対策として、ディフレクターのストリップライン電極に加えたパルス電圧をクライストロンギャラリーへ戻し、元のTDU出力との時間差をモニターしている。そして手動でトロノン型位相調整器を調整し、タイミングを補正している。

今後の対策として、レベル変換器の内部基板の温度安定化や、より温度依存性の少ないデバイスの使用などを検討している。また遠隔制御できる位相調整器(キャンドックス CDX-ATI003)を導入し、計算機フィードバックして補正することも検討している。

5. まとめ

SCSS試験加速器では、新開発した5712MHz同期型ディレイユニット(TDU)などを用いてタイミングシステムを構築した。TDU単体ではジッター0.71psを達成している。これらを用いて、現在FEL光の発振実験を順調に行っている。250MeV電子ビームの時間安定度は5712MHz RFに対しては0.34ps、TDU出力に対しては0.86psを達成している。今後SPAのさらなる安定度のための対処を行うとともに、ここで得た経験を元にSCSS本体の設計を進めていく。

参考文献

- [1] 新竹 et al., "SCSS試験加速器の現状、ならびにX線自由電子レーザー計画について", 本研究会
- [2] 細田 et al., "5712MHz同期型時間遅延VMEモジュールの開発", 第2回日本加速器学会年会・第30回リニアック技術研究会、佐賀、2005年7月20日
- [3] 大竹 et al., "SCSSのためのサブピコ秒タイミング・高周波位相制御", 本研究会
- [4] 大島 et al., "SCSS試験加速器のRFローレベルシステム", 本研究会