

阪大産研 L バンド電子ライナックタイミングシステムとビーム安定性

柏木 茂^{A)}、磯山悟朗^{A)}、加藤龍好^{A)}、三原彰仁^{A)}、岡本主税^{A)}、
山本 保^{A)}、末峰昌二^{A)}、安積隆夫^{B)}、川島祥孝^{B)}

^{A)} 大阪大学産業科学研究所量子ビーム発生科学研究分野

〒567-0047 大阪府美穂ヶ丘 8-1

^{B)} 高輝度光科学研究センター放射光研究所

〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月村光都 1-1-1 Spring-8

概要

阪大産研 L バンド電子ライナックのタイミングシステムは、電子銃、クライストロンなどの RF システム及びビーム利用実験系へ、高い時間精度の基準 RF 信号やタイミング信号を供給する必要がある。昨年度からの加速器システム全体の更新に伴い、加速器の安定化及び高精度化を目的とし、新たなタイミングシステムの構築を行っている。本稿では、現在構築中のタイミングシステムについて、加速器構成、発生電子ビームモードなども含め説明する。

1 はじめに

大阪大学産業科学研究所の L バンド電子ライナックでは、高強度の電子ビームを用いた様々なビーム利用実験が行われている。最近では、遠赤外領域の FEL 及び SASE の原理検証実験^[1]やナノ秒からサブピコ秒の時間幅の電子ビームを用いたパルスラジオリシス実験^[2]などが行われている。阪大産研 L バンドライナックでは、こうしたビーム利用実験を行うにあたり、それぞれのビーム実験の要求に応じた、異なる時間構造 (シングルバンチ、マルチバンチ) をもったビーム発生が可能である。

昨年度より、高品質でかつ極めて安定な電子ビームを各ビーム利用実験に供給するため、L バンド加速器の改修が行われている。現在までに、クライストロン及びクライストロン・モジュレーター、サブハーモニックバンチャー用 RF 源、冷却水システム、電磁石電源など、加速器を安定化させるための機器更新が行なわれた。その他、プログラマブル・ロジック・コントローラー (PLC) とパーソナル・コンピュータ (PC) を主体とした計算機制御システムを導入し、制御面での高度化および信頼性の向上を行った^[3]。これらの更新された機器を安定に時間精度よく動作させ、さらなる電子ビームの安定性向上を目的とし、現在新しい L バンドライナックタイミングシステムの構築を行っている。このタイミングシステムの高度化は各ビーム利用実験の測定システムの高精度化につながる。

今回の新たなタイミングシステムの構築では、極めて安定な加速器基準信号 (1300MHz) を発生させ、その基準信号から RF コンポーネントやレーザーシステムなどで必要な分周 RF 信号およびクロック信号を作り出すことを行った。そして、各実験系へのタイミング信号の分配には、市販のデジタルディレイと NIM 規格のロジックモジュールを組み合わせて使用し、自由度が高くまた拡張性があるようタイミングシステムの構築を行った。また、既存のタ

イミングシステムについても時間ジッター測定などを行い、新しいタイミングシステムとの比較なども行った。

2 産研 L バンドライナック

2.1 加速器構成

L バンドライナック入射部の構成は 100kV 直流型熱電子銃、3 台のサブハーモニックバンチャーとプリバンチャー、バンチャー、3m 長の L バンド加速管で構成されている。サブハーモニックバンチャーの共振周波数は、2 台が 108MHz、1 台が 216MHz である。1 台の L バンドクライストロンより出力された最大 30MW の RF パワーは、ハイパワー分配器を用いて、プリバンチャー、バンチャー、L バンド加速管へと供給される。この入射部の構成からも分るように、電子ビームを安定にバンチ圧縮し加速するためには、1.3GHz の基準信号に対してサブハーモニックバンチャーに供給される 108MHz、216MHz の分周 RF 信号、さらには電子銃のグリッドに供給されるトリガーパルスの相対的な位相・時間ジッターをできる限り小さく抑える必要がある。

2.2 電子ビーム発生

前述したように、L バンドライナックでは異なる時間構造をもった電子ビーム発生が可能である。電子銃のグリッドに供給するパルス幅を変化させると共に、SHB によるビーム圧縮の有無により、発生する電子ビームのパルス長およびビームパルス内の副バンチ間隔を変化させることが可能である。これらの電子ビーム発生モードは、ビーム利用実験の種類により使い分けされる。

表 1: ビーム発生モード

発生モード	SHB 運転	パルス長	バンチ間隔
シングルバンチ	有	~20ps	-
過渡モード	無	5 / 8 ns	0.77 ns
マルチバンチ 1	無	< 8 μ s	0.77 ns
マルチバンチ 2	有	< 8 μ s	9.2 ns

シングルバンチビームの発生においては、1.3GHz の基本加速周波数と SHB に供給される RF の相対的な位相ジッターやこれらの RF 信号と電子銃へ供給されるトリガー信号の時間ジッターが、ビームエネルギーやバンチ圧縮へ直接影響する。また、過渡モードでの電子ビーム発生では電子銃より発生された 5~8 ナノ秒の電子パルスが、プリ・

点線で囲まれた部分に示したように、Phillips 社の標準的な NIM モジュール (PS-756: Quad Majority Logic Unit, PS794: Quad Gate/Delay Generator) と遅延回路で構成されている。この同期回路部分のタイムチャートを図 2 に示す。この同期回路の精度についても、サンプリングオシロスコープを用いて同期回路出力信号 (ビーム繰り返しパルス) と加速周波数 1.3GHz 間の時間ジッター測定を行った。測定結果は、標準偏差で 5.8ps であった。また、これまで使用してきたトリガージェネレーターについても同様のジッター測定を行った。測定結果は、標準偏差で 5.9ps であったが、測定されたサンプル点を見ると数千パルスに何パルスか 100ps オーダーでタイミングが飛んでしまっているのが観測された。このようにタイミングが大きくジッターすると、電子ビームは安定せず加速管の下流まで到達しないと考えられる。

我々のタイミングシステムでは、同期回路部分より出力されたタイミング信号を直接、分割・遅延しビーム繰り返し信号として各加速器コンポーネントに配ることは行わない。同期回路出力 (ビーム繰り返し信号) をトリガーにデジタルディレイ (Stanford Research Systems DG535) を動作させ、それより作り出された任意遅延パルスと加速器全体の基準クロックとなる 27MHz 信号との AND をロジックモジュール (PS-756) を使ってとることで、高精度にパルスの分割・遅延を実現する。デジタルディレイの DG535 自身は 50ps 程度の遅延時間ジッターを持っているが、ここで必要な任意の遅延パルス (DG535 出力) の時間精度は、基準クロック 27MHz の半周期 (18ns) もあれば十分である。この遅延システムの時精度は、27MHz の加速器基準信号の安定度とロジックモジュール (PS-756) の時間精度で決定され、5ps 以下の時間精度は容易に実現できる。そして、電子銃のグリッドに供給するトリガーパルス、レーザーシステムへのトリガー信号、そのほかパルスラジオリシス実験系に供給するタイミング信号の間には、数百マイクロ秒からミリ秒の大きな遅延時間が必要であるが、上の方法を使うことにより、パルスを大きく遅延させる事も、また遅延時間の異なるパルスの数も容易に増やす事が可能である。更に、ここでデジタルディレイに DG-535 を使用することにより、GPIB などのインターフェースを使い計算機制御も可能である。

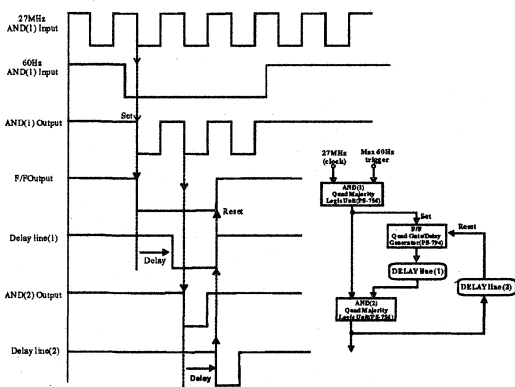


図 2 : 同期回路部分のタイムチャート

また図 1 の中で、ビーム繰り返しの同期信号を作り出す際に、2 段に同期回路を構成しているのは、モジュレータの繰り返しとビーム繰り返しを独立にプリセットスケーラーを使い設定することができるようにするためと、加

速管に供給する RF パルスとビームタイミング信号 (電子銃トリガー) の間にジッターを持たせないためである。L バンドライナック既存のタイミングシステムでは、27MHz の一周期分に相当する約 37ns の時間ジッターがビームタイミングとモジュレータへのタイミング信号の間で存在する。この時間ジッターは、過渡モードでの加速器運転の場合にエネルギージッターとして問題となってくる。

その他、産研 L バンドライナックのタイミングシステムでは、パルスラジオリシス実験で使用するレーザーアンプシステムへ 960Hz という繰り返しの遅い信号を供給する必要がある。この信号は、ナノ秒オーダーの時間安定度でよいが、今回は 27MHz の基準信号を分周して作り出すことにした^[5]。また、サブハーモニックバンチャーのアンプなどへ送られるトリガー信号は高い時間精度を必要としないので、クライストロンのトリガー信号をもとに、DG535 を用いて直接遅延時間の異なる複数のパルスを生成する。

4 タイミングシステムとビーム不安定性

現在、Parmela などの計算機コードを用いて、SHB や加速管に供給される RF と電子ビームの時間関係が変化した場合、ビームの安定性にどのように影響を与えるか調べている。また、前述した過渡モードの電子ビームが加速管へ入射するタイミングが変化した場合に、ビームの平均エネルギーがどの程度変動するか計算より求めると、既存のタイミングシステムのように 27MHz の 1 周期分 (37ns) の時間ジッターがあった場合、ビームのエネルギーは約 0.6% 揺らぐという結果になる。(加速管への入力パワーは 20MW) 今回のタイミングシステムでは、電子ビームと加速管への RF 供給の時間ジッターは数ピコに抑えられているので、このようなエネルギー揺らぎは無い。今後、最終的なタイミングシステムの評価は実際に加速された電子ビームのエネルギーや時間ジッターなどを測定して行いたいと考えている。その際、タイミング系に起因したビーム不安定性であるか、その他の加速器コンポーネントに起因するものかを見極める必要がある。また、ビームシミュレーションでタイミングシステムに必要とされる時間精度を明確にしていきたいと考えている。

5 謝辞

高輝度光科学研究センター (SPring-8) の花木博文先生には、タイミングシステム更新にあたりご協力頂きました。ここに感謝致します。

参考文献

- [1] R. Kato et al., Nucl. Instrum. & Methods A 483 (2002) 46-50
- [2] 古澤孝弘 他、Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 1-9, 2002 pp.225 (7P-37)
- [3] 加藤龍好 他、Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Ibaraki, , 2003 pp.51-53 (WD-5)
- [4] H. Tsuchida, Opt. Lett. 23 (1998) 286
- [5] H. Suzuki et al., Nucl. Instrum. & Methods A 431 (1999) 294-305