

[F16p19]

IMPROVEMENT OF PULSE CHARACTERISTICS FOR INJECTION AND THE INCREASE OF THE BEAM INTENSITY IN THE ISIR SINGLE-BUNCH ELECTRON LINAC

S. Okuda, S. Suemine*, T. Yamamoto and G. Isoyama

*The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan*

ABSTRACT

A high-current electron gun developed by using a cathode-grid assembly is installed in the L-band linac at ISIR, Osaka University. The pulse characteristics of the beam for injection have been measured in the bench test. The rise time of the output beam pulse is 1.6 ns, which is considerably short compared with that for the previous gun. The rise time is expected to be made below 1 ns. The relation between the pulse characteristics for injection and the charge of the single-bunch beam generated by the linac is discussed.

産研単バンチ電子ライナックにおける入射パルス特性の改善とビーム強度の増大

1. はじめに

阪大産研 38 MeV Lバンド単バンチ電子ライナック (基本周波数: 1300 MHz) では、新しい量子ビームの発生と利用に関する研究の進展のために、YU-156陰極・グリッドアセンブリ (EIMAC) を用いたピーク電流30 Aの大電流電子銃を新たに開発し[1]、1996年より実装使用している。その開発経緯と特性試験の結果については、前回までのリニアック技術研究会で報告した[2, 3]。

産研ライナックにおける単バンチビームの発生とその電荷量増大のための開発研究は、1970年代の終わりから行われてきた。多段のサブハーモニックプリバンチャー (SHPB) の設置を中心に開発研究を行い、1984年にバンチ当りの電荷量として、最大67 nCを達成した[4]。電子銃は、Model-12 (ARCO) を使用した。さらに電荷量を増すために、電子銃からの入射特性の向上が課題であった。最近、新しく開発した電子銃を実装することにより、1997年に最大電荷量が73 nCに増大した。この主要要因としては、電子銃からの入射パルス特性の向上が考えられる。

本研究では、電子銃からのビームのパルス波形を高時間分解で観測した。またパルス特性と単バンチビームの生成過程との関係について調べた。

2. 産研ライナックと入射パルス特性

産研単バンチライナックの構成を図1に示す。

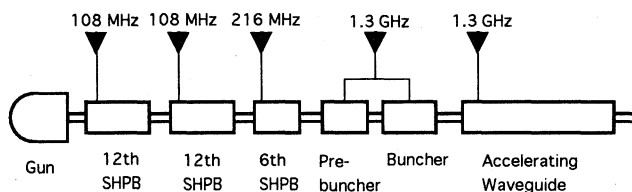


図1 産研単バンチ電子ライナックの構成

高い電荷量を得るために、基本周波数の1/12と1/6のSHPBを使用している。単バンチビームを加速する際に電子銃から入射する電子ビームのパルス幅は、第1 SHPBのマイクロ波の半周期に当たる4.5 nsと設定して設計された[4]。パルス形状が裾を引く場合、加速ビームのメインバンチに対してサテライトが発生する原因となるので、パルスの立ち上がり時間は短い方が良い。

従来の電子銃および新しく開発した電子銃の特徴の違いについては、文献2に報告した。Model-12電子銃の陰極径は51 mm φと、極めて大きい。これを使用し、バンチ当りの電荷量67 nCを観測した時の入射条件は、陽極電圧100 kV、パルス幅5 ns (FWHM)、ピーク電流30 Aであった。入射ビームのパルスの立ち上がり時間 (10から90%まで) は約2.5 nsであり、波形はほぼ三角形に近い。このようにパルス特性が良くない原因は、主として電子銃そのものにある。グリッドパルサーの信号を導入する同軸構造を含めて銃全体が一体であり、改善の余地がない。

新しい電子銃に使用されたYU-156アセンブリの陰極径は20 mm φである。陰極面積がY-796アセン

* Unicon System Corp.

グリ (EIMAC) の1.5倍で、その他の幾何学的条件は、両者ともほぼ同じである。ウェネルト、陽極電極および銃管は設計し製作した。これまでの試験において、パルス幅 5 ns (FWHM)、陽極電圧100 kVで、最大ピーク電流30.1 Aが得られている[1, 3]。これらの条件は、Model-12の場合とほぼ等しい。ただし電流密度は、陰極径の違いを反映してModel-12の6.5倍になる。パルス特性は、Y-796とほぼ同じと推定され、パルスの立ち上がり時間も1 ns以下になることが期待される。

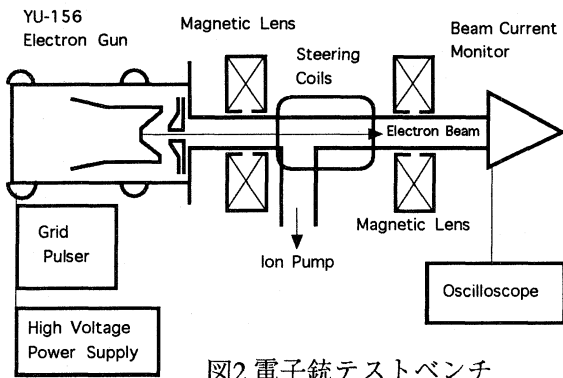


図2 電子銃テストベンチ

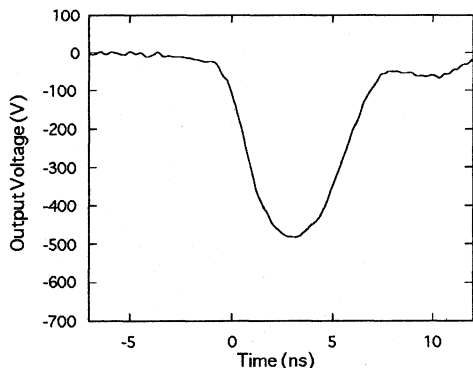


図3 グリッドパルサーの出力電圧波形 (抵抗終端12.8 Ω)

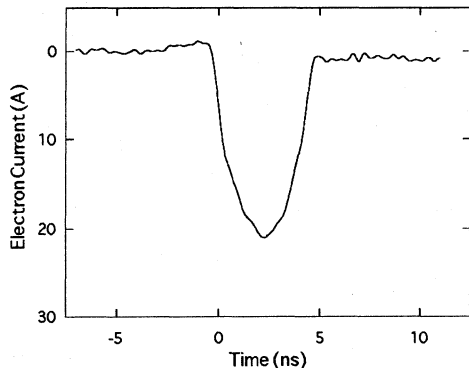


図4 電子銃からのビームのパルス波形の例 (陽極電圧：90 kV、グリッドバイアスの電圧：403 V)

3. 新しい電子銃のパルス特性の測定方法

電子銃からのビームのパルス波形を観測するために、図2に示すようなテストベンチを用いた。電子銃、2個の集束電磁石およびビーム電流モニタなどで構成される。電子銃からのビームの軌道はEGN2eコードで計算したが、輸送中の損失はほとんどないと見積られる。ビームモニタは同軸構造を持ったビームキャッチャーで、分解時間は30 ps以下である。モニタからの信号波形を周波数応答1 GHzのオシロスコープで観測した。

グリッドパルサーは、トランジスタを3段に重ねたアバランシェパルサーで、これを4台並列に設置して、低インピーダンスの負荷に対応できるようにした。このグリッドパルサーを12.8 Ωの抵抗で終端した時の出力電圧波形を図3に示す。ピーク電圧-480 V、パルス幅5.1 ns (FWHM)、立ち上がり時間約2.1 nsである。この立ち上がり時間は、まだ十分短いとはいえない。最近トランジスタの選択などを行うことによって、パルス特性の良いパルサーの開発を行い、現在160 psまで短縮されて、ベンチテストの準備を行っている。

実験では、グリッドパルサーの動作条件を固定し、陰極・グリッド間に印加するバイアス電圧を変えることによって、グリッドを通して引き出されるビーム電流を制御した。実際に電子銃に供給される電圧は、負荷によって変化する。電子銃動作時のピーク電圧は直接測定できないが、実験結果におけるバイアス電圧とビーム電流の関係から、約700 Vと推定された。

4. 電子銃からのビームのパルス波形の測定結果

電子銃からのビームのパルス波形の測定結果の一例を図4に示す。パルスの立ち上がり時間は1.6 nsである。以前使用した電子銃Model-12では、ビームパルスの立ち上がりは約2.5 nsであったので、これが大きく改善された。図3に示したグリッドパルサーの出力波形と比べて立ち上がり時間が短いのは、主としてバイアス電圧によりパルサーの波形が整形された結果と考えられる。このバイアス電圧を考慮したグリッドパルサーの出力波形の立ち上がり時間は1.2 nsである。これらの結果から、YU-156アセンブリおよびグリッドパルサーからの信号導入部を合わせた部分の立ち上がり時間への寄与は、1.1 nsとなる。これらの内、パルサーについては、前述のように大幅に短く改良された。また信号導入部についても改善が可能であり、その準備を進めている。

5. 単バンチビームの加速試験と考察

産研ライナックで新しい電子銃を使用して、単バンチビームの最大電荷量が得られた際の入射ビームの条件と加速ビームの条件を表1に示す。この

表1 単バンチビームの電荷量最大時の入射ビームと単バンチビームの条件

<u>Injection from the Electron gun</u>	
Anode voltage:	106 kV
Pulse width:	5 ns
Peak current:	23 A
<u>Beam conditions</u>	
Mode:	Single-bunch beam
Energy:	27 MeV
Energy spread (FWHM):	3.7%
Charge/electron bunch:	73 nC
Bunch width (FWHM):	26 ps

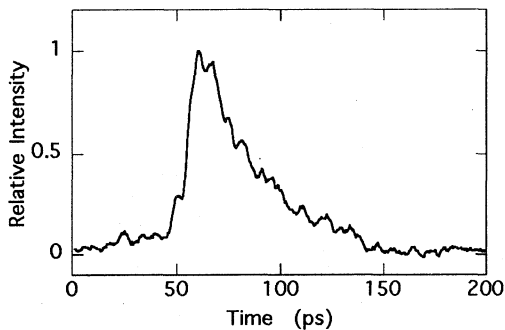


図5 ストリークカメラで測定したバンチ形状

電子銃の最大電流30.1 Aより低い電流値で実験を行っている。この理由は、電子銃から出たビームの電流密度が比較的高くてビームの横方向の広がりが大きく、現在加速器に設置されている集束電磁石の配置では、ビームの損失があるからである。損失を押さえるよう、この配置を変更する準備を行っている。

加速管からまっすぐの場所に設けた真空窓からビームを取り出し、空気中でのチェレンコフ光をストリークカメラで測定してバンチ波形を得た(図5)。単一ショットで測定し、時間分解能は約3 psであった。この測定で得られたサテライトの割合は、全電荷量の2%以下であった。

以前に最大電荷量67 nCが得られた時の条件と比較すると、入射ピーク電流は23 Aで約20%少なく、加速ビームの電荷量は約10%多い。この主な理由は、入射パルス特性の改善によりバンチャー系での圧縮過程においてビームの損失が減少したこと、およびビームの質の向上により輸送効率が増加したことがあげられる。

電子銃からのビームパルスの立ち上がりが遅くなると、バンチャー系で単一のバンチに圧縮でき

る電荷量が減少する。通常は、加速ビームにおいてサテライトバンチを最小にするような加速器要素の動作条件を選択するが、この過程におけるビーム挙動については現在解析を行っている。

今後電子ビームの立ち上がり時間を1 ns以下にすると共に電子銃出口の集束電磁石の配置を最適化し、最大入射電流での加速試験を行う。これにより単バンチビームの電荷量は、バンチ当り約100 nCまで増大することが期待される。また、電子銃からの入射ビームのパルス幅を1 ns以下にすることにより、バンチ幅1 ps以下の短パルスビームを発生させる予定である。

6. まとめ

新しい電子銃を産研Lバンドライナックに実装して単バンチビームの加速を行った結果、1バンチ当りの最大電荷量73 nCが得られ、従来の記録を更新した。電子銃からの入射ビームのパルス波形を調べた結果、立ち上がり時間が減少し、これによって単バンチビームの電荷量が増加したものと考えられる。今後、電荷量をより増大させ、またバンチ幅1 ps以下の短パルスビームの発生をめざすと共に、これらの電子ビームの新しい利用研究を進める。

参考文献

- [1] S. Okuda, T. Yamamoto, S. Suemine and S. Tagawa, Nucl. Instr. and Meth. A (in press).
- [2] S. Okuda, S. Suemine, T. Yamamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Proc. 21th Linear Accelerator Meeting (1996) 287.
- [3] S. Okuda, S. Suemine, T. Yamamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Proc. 22th Linear Accelerator Meeting (1997) 267.
- [4] S. Takeda, K. Tsumori, N. Kimura, T. Yamamoto, T. Hori, T. Sawai, J. Ohkuma, S. Takamuku, T. Okada, K. Hayashi and M. Kawanishi, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-32 (1985) 3219.