

[P7-10]

Multi-bunch beam generation by Thermionic Electron Gun

M. Kuriki, D. Aizawa^a, H. Hayano, T. Naito, and V. Vogel^b

High Energy Accelerator Research Organization

Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

a) Tohoku-Gakuin University

Chuo 1-13-1, Tagajo, Miyagi 985 Japan

b) Branch of Inst. of Nuclear Physics

142284 Protvino, Moscow Region, Russia

(June 4, 1999)

Abstract

KEK-ATF is doing R&D works establishing a high-current and low-emittance electron beam for the future JLC project. The acceleration of "Multi bunch beam" is one of the essential technique for JLC. In ATF, the acceleration of 20 bunch electron beam has been studied.

The intensity of each bunch has to be flat within 1.0 % for the stable acceleration which is necessary to the low-emittance beam. On the other hand, a fluctuation of the intensity of the multi-bunch beam in ATF has been observed. This fluctuation makes the acceleration and the injection to the damping ring unstable. Finally, it affects the emittance of the beam.

The purpose of this study is stabilizing the intensity of the multi-bunch beam generated by the Thermionic Electron Gun.

熱電子銃によるマルチバンチビーム生成

I. KEK-ATF INJECTER SYSTEM

KEK-ATF は JLC 計画のための超低エミッタンスビーム生成のための試験加速器である。ATF は リニアック、ビーム輸送経路、ダンピングリング、そして取り出しラインから成り立っている。

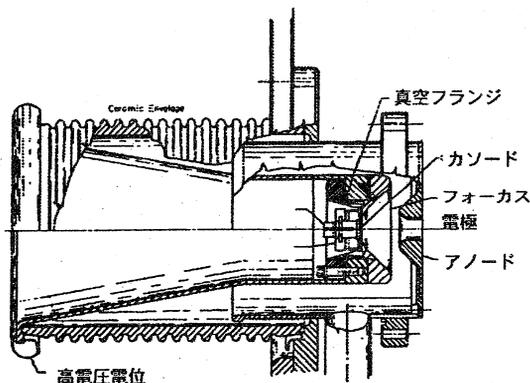


FIG. 1. A schematic view of Thermionic Electron Gun

リニアックは 80 MeV のプレインジェクターと 1.54 GeV リニアックから成り立っている。プレインジェクターの目的は電子ビームを生成し、それを相対論的エネルギーまで加速することである。またリニアックでの加速を安定させるために、その時間的広がりを 20 ps 程度にまで圧縮 (バンチング) しなければならない。

電子銃で生成される電子ビームはおよそ 1 ns 程度の時間的広がりを持っている。このビームを圧縮する

ために二台の Sub-harmonic buncher、SHB が設置されている。

SHB はともに 357 MHz という加速管に入射する高周波の 1/8 の周波数により運転される定在波型の高周波空洞である。一台目の SHB により 1 ns あったバンチ長を 500 ps 程度に圧縮する。さらに二台目の SHB はバンチ長を 170 ps 程度にまで圧縮する。

SHB の後には 2856 MHz という加速管の高周波と同じ周波数で運転される進行波型の 0.75m バンチャーと 3m 加速管が設置されている。これらはバンチ長を 20ps まで圧縮するとともに、相対論的エネルギーである 80MeV まで電子を加速する。

ATF で使用されている熱電子銃はグリッド付き三極管陰極型 (EIMAC Y796) である。熱電子銃部、グリッド電圧生成のためのグリッドパルサー、高圧生成のための HV ガンパルサーから成り立っている。

熱電子銃の構造を FIG. 1 に示す。熱電子銃は陰極、グリッド、ウェルネット電極、陽極からなる。

陰極には W に Ba を含浸させたものをもちいている。その陰極を 1000 °C から 1400 °C に熱することによって、熱電子を発生させる。陰極には 180 kV の高電圧が印加されており、生成された電子は陽極との電位差によって誘導される。

電子の生成を制御するために、陰極前面にグリッドがおかれている。このグリッドに逆バイアス電圧を印加し、さらに順バイアスのパルスを加えることにより、パルス状に電子を発生させる。パルスの時間構造とバイアス電圧によって、ビームのパルス長と密度を制御する。

マルチバンチを生成するためには、グリッドに高電圧をパルス状に印加する。本研究では 2.8 ns 間隔で、20 個のバンチを一周期ごとに発生させる。このような高電圧のパルス信号を生成するために、次のような方法を用いている。

基準信号よりもまず ECL レベルのマルチバンチ用のパルス信号を生成する。その信号を二つに分岐し、一つは RF アンプにおくり、2.8 ns 間隔の高圧のパルスを生ずる。分岐されたもう一つの信号は Long Pulser に送られ、幅およそ 55 ns の矩形波を出力する。そしてこの RF アンプからのパルス波と、矩形波を合成することで 20 個のパルス信号を生成している。つまり、連続する高周波成分を矩形波で切り出すのである。

II. バンチ毎の電子密度の不均一

JLC のインジェクターとして、バンチ毎の電子密度の不均一度がおよそ、1.0% 以下に抑えられていることが必要である。

相沢 [1] によると、バンチャーのチューニングや、位相や振幅に ramp をかけることによって、ビームローディングによる密度の不均一を抑制することができる。また、バンチャー系では補正できない、電子銃の出力そのものに不均一が存在していることを指摘している。

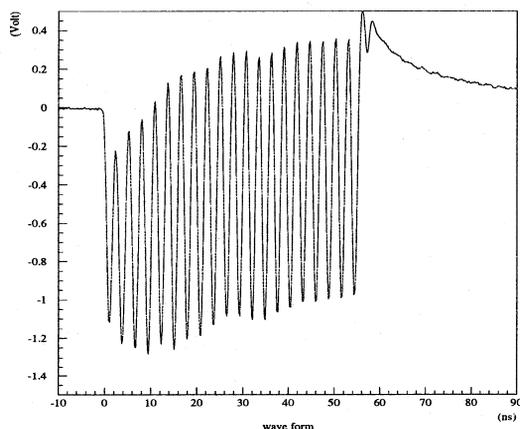


FIG. 2. Current Transformer, CT によるビーム電流の測定結果

FIG. 2 は電子銃の直後に設置されている Current Transformer, CT と呼ばれる電流モニターによってビーム電流を測定したものである。グリッドにかけたバイアスは 250 V である。CT はアマロファスコアにコイルを巻き付けたもので、ビームの通過によって生ずる磁場の変動を電流として検出するものである。インダクタンスによる読みだしなので電流の絶対値にたいする感度はよくないが、応答が早く、マルチバンチビームのそれぞれのバンチ毎の相対密度を測定するのに適している。

この結果によると、最初の数バンチと 9 番目と 10

番目のバンチの密度が他に比べて明らかに下がっている。これらの不均一は統計的に有意であり、繰り返しごとにほぼ一定している。

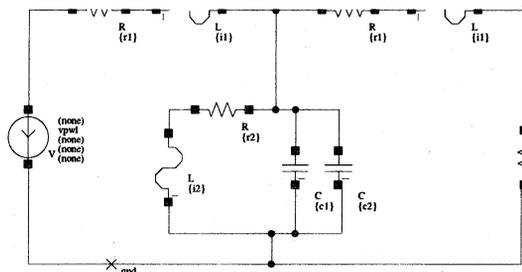


FIG. 3. 電子銃のグリッドの等価回路。グリッドからソケット、ソケットからグリッドへのラインにインダクタンス、ソケットとグラウンド間にキャパシタンスをそれぞれ仮定した。

これらの不均一度は電子銃のグリッドバイアスに依存しており、バイアスを下げていく、つまりビームカレントを増加させると減少し、バイアスを上げる(カレントを減少させる)と増加する。電子銃で生成される電子の密度は、グリッドにかかっているバイアスと、パルサーの出力の差にほぼ比例する。従って、この結果より、パルサーの入力波形に歪みがあり、バイアスによってその相対的な大きさが変化をしていると推測される。

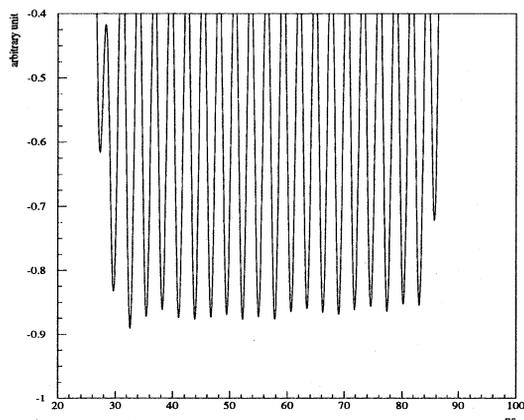


FIG. 4. グリッドへの印加パルスの回路シュミレーター SPICE による再現波形。

そこでグリッドパルサーの出力を電子銃の負荷を除いた状態で波形として記録し、それを回路シミュレーションの入力として用いて、測定されているような出力の不均一性を再現できるかどうか試みた。シュミレーションに用いたのは SPICE と呼ばれるソフトウェアである。電子銃の等価回路として FIG. 3 に示されているものを仮定した。

FIG. 4 は SPICE によるグリッドにかかる電圧の再現波形である。電子ビームで観測されているような立上り部分でのなまりが再現されている。この立上りでのなまりは、配線のインダクタンスとソケットの有するキャパシタンス間での共振が原因となっている。

このなまりを抑えるためにはソケットの持つキャパシタンスを減少させるのが現実的な方法である。

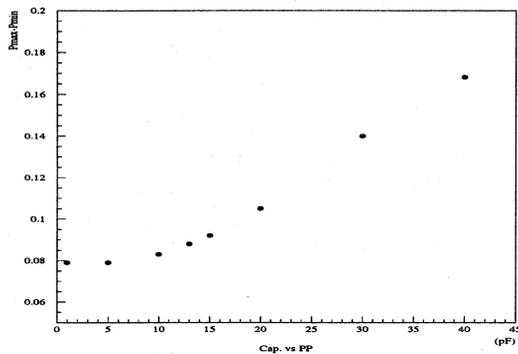


FIG. 5. 横軸はソケットの有するキャパシタンス、縦軸は電子銃の出力のばらつきの peak-to-peak 値 (相対値)。現形状のソケットのキャパシタンスは 40pF 程度。

FIG. 5 は横軸にソケットのもつキャパシタンスをとり、縦軸に各パルスのピーク値のばらつきを Peak-to-Peak の値で表したものである。現在の形状でソケットは 40pF のキャパシタンスを有していると推測される。そのキャパシタンスを 1/3 から 1/4 に抑えることにより、なまりによるピーク値のばらつきをおよそ半分に抑えることができるものと期待できる。

一方で、9、10 バンチ目におけるくぼみはシミュレーションによって再現することはできなかった。

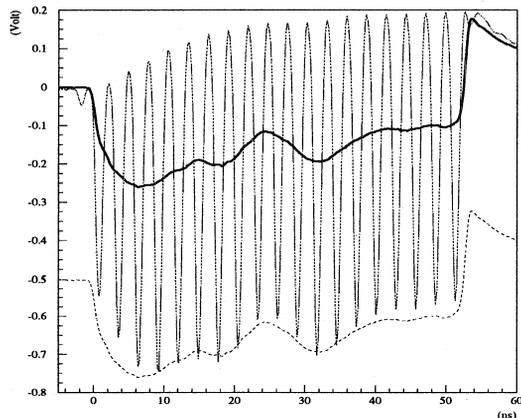


FIG. 6. 電子銃からの出力を CT(Current Transformer) でモニターしたもの。矩形波のみを印加した場合と、RF を加えた場合を重ねて表示している。点線は矩形波による出力をピーク値に重なるように上下に移動したもので、矩形波成分の歪みによって出力の不均一が生じていることがわかる。

そこで、くぼみを理解するために、電子銃に矩形波のみを印加した場合と、矩形波と RF 波を印加した場合について電子銃の出力を比較してみる。FIG. 6 は両者の場合について CT の出力波形を重ねたものである。細線は矩形波と RF 波を重ねた通常の状態によるもの、太線は矩形波のみを印加したときのものである。点線は矩形波による出力波形を通常の状態でのピーク値に重なるように上下にスライドさせたも

のである。矩形波成分のみによる電子密度の変化と、通常の運転状態でのバンチ毎の密度の変化の様子がほぼ一致しているのがわかる。これより、矩形波成分による歪みが電子密度の不均一をつくり出しているということが明らかとなった。

しかし、グリッドに矩形波を供給するパルサーの波形には、上のような歪みはみられない。また、グリッドの伝送系によるシミュレーションにおいて、立上りのなまり以外の歪みは再現できていない。

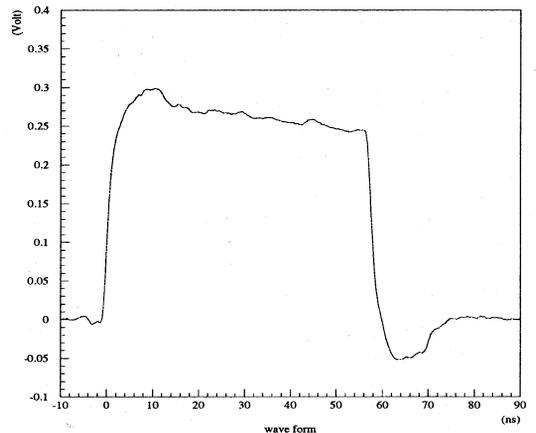


FIG. 7. グリッドパルサーとグリッド間に T 型コネクションを挿入し、オシロスコープによってグリッドにかかる電圧をモニターしたもの。

上のような歪みを生成する、シミュレーションで仮定していない成分がグリッドの回路系に存在しているかどうか確認するために、グリッドに矩形波を入力し、T 型コネクションでそれをモニターしてみた。FIG. 7 がその結果である。立上りのなまりは見受けられるが、くぼみは確認することはできない。

III. まとめ

KEK-ATF における熱電子銃を用いたマルチバンチビームについて、そのバンチ間の電子密度不均一性について研究を行った。その結果、主にグリッドパルサーに加える矩形波成分の歪みによって不均一性が生じていることがわかった。

シミュレーションの解析の結果、矩形波の立上りのなまりはソケットのキャパシタンスによって生じていることが明らかとなった。また、このなまりはキャパシタンスを 1/3 程度にすることでほぼ半減すると期待される。

マルチバンチビームの 9、10 バンチ目に存在する中央部のくぼみについては、矩形波成分の歪みによって生じていると推測される。しかしその原因については不明であり、問題の解明はこれからの課題である。

[1] 相沢大輔、1998 年度 東北学院大学修士論文