

[2 a - 3]

CONCEPTUAL DESIGN OF TWO STAGE ALPHA MAGNETS WITH AN RF CHOPPER FOR PRODUCING A SHORT ELECTRON BUNCH WITH A HIGH CURRENT AND THE NARROW ENERGY SPECTRUM

Kato R. and Isoyama G.

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

ABSTRACT

An injector system is described that optimizes the longitudinal charge distribution of the bunch by using an alpha magnet with an RF chopper. Since the longitudinal wake field of the bunch shape obtained by the system is compensated with the sinusoidal slope of the accelerating RF field, the energy spread of the single bunched beam in the high-brightness high-current linac can be greatly reduced.

RF チョッパーとアルファ電磁石によるバンチ形状制御系の概念設計

1. はじめに

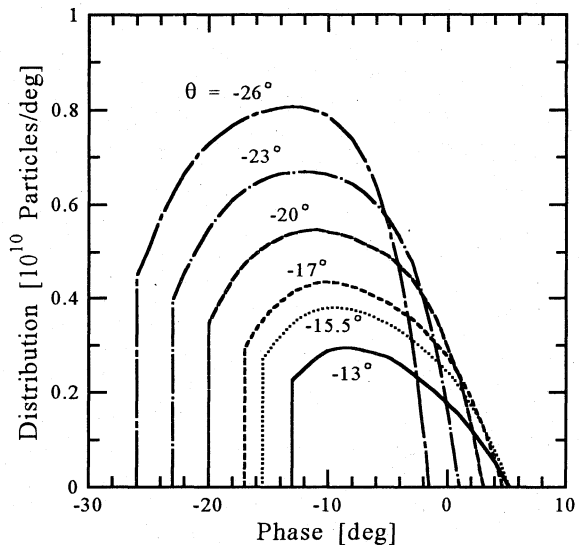
電子バンチ自身が加速構造体内に誘起するウェーク場は、P. B. Wilson により理論的な研究がなされている¹⁾。バンチ内電子数が多く、バンチ長が短い電子ビームを加速する RF 電場の形状は、このウェーク場の影響により、正弦波から歪んだ形になる。

我々は、昨年度、大阪大学産業科学研究所の Lバンド電子ライナックからの高輝度短バンチビームの時間構造とエネルギースペクトルを測定した²⁾。この結果、ストリークカメラにより測定されたバンチ形状とウェーク場の理論を用いて、測定されたエネルギースペクトルの形状をほぼ説明することに成功した³⁾。ガウス型に近い形状の高輝度電子ビームを RF のピークで加速する場合、バンチ長をわざと長めに調整した方が、エネルギースペクトルが良くなることがわかった。しかし、バンチ形状が自由に選択できる場合にはこの限りではない。実際、ウェーク場を考慮した上で、エネルギースペクトルの幅を計算上最小にすることができるバンチ形状はすでに G. A. Loew と J. W. Wang により報告されている⁴⁾。

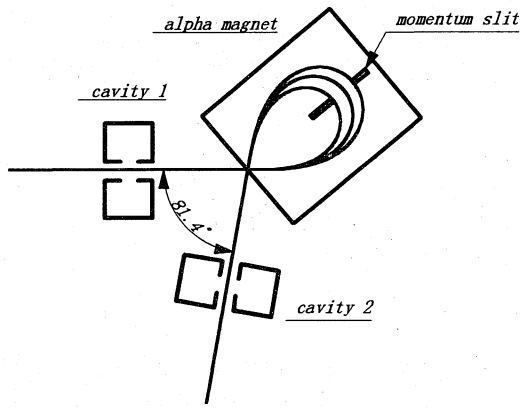
この報告では、Loew 等が導いたバンチ形状を作り出すための新しい入射器系を提案し、どこまで理想的なバンチ形状が実現できるかをシミュレーション等を用いて考察する。

2. 機器の構成

第 1 図に Loew 等により導かれたバンチの形状を示す。この様なバンチ形状を得るためには、バンチ内に密度差を作り出すためのバンチコンプレッサーの機能とバンチの時間的な前部と後部を切り落とすビームチョッパーの機能が必要となる。この機能を達成するために、前後に加速空洞、電磁石内にエネルギー分析用スリットを配置したアルファ電磁石を考えた。



第 1 図 エネルギースペクトルの幅を零に出来るバンチ形状。横軸は RF のピークを基準とする時の位相角、縦軸は単位位相角あたりの電子数。加速管の周波数は 2856 MHz、ピーク電場は 18.9 MV/m。θ はバンチ先頭部の RF ピークからの位相の進み。



第2図 バンチ形状制御系の概念図

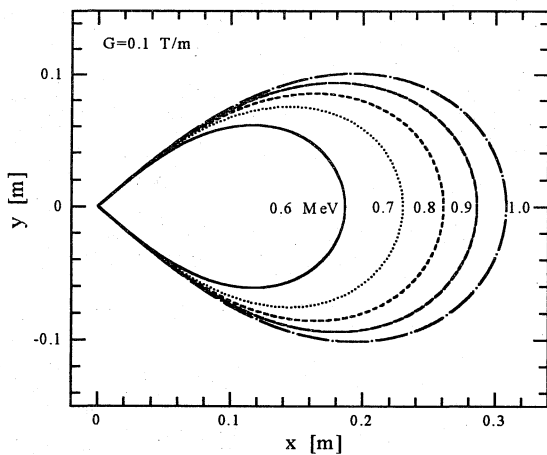
これを第2図に示す。電子銃からの電子ビームは最初の加速空洞により速度変調を受ける。この電子ビームはアルファ電磁石上でエネルギー分散により広がり、高エネルギー側と低エネルギー側をスリットにより削り取られる。これはバンチの前後を切り取るのに等しい。アルファ電磁石を出た電子ビームは、第2の加速空洞で最初の加速空洞とは逆位相の速度変調を受け、最初に与えられたエネルギー分散をゼロに戻される。ここで用いるアルファ電磁石はアクロマティックなアルファ電磁石⁵⁾を考えている。

3. アクロマティックアルファ電磁石

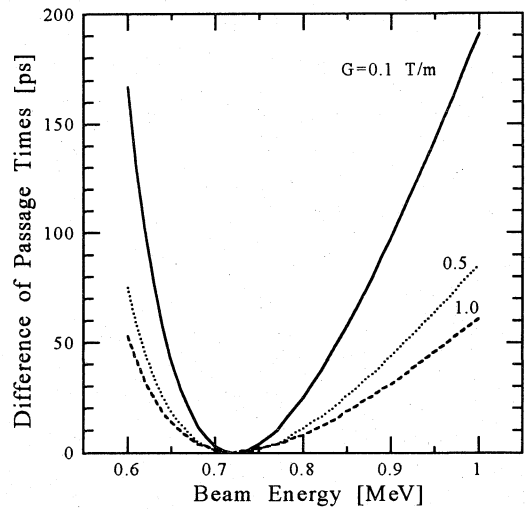
アクロマティックアルファ電磁石は

$$B_z = Gx^n \quad (1)$$

という磁場分布を持ち、この n の値と入射角 α の特定の組み合わせにより、アクロマティックが実現される。ここで G は定数である。 n と α



第3図 エネルギーの違いによる軌道差



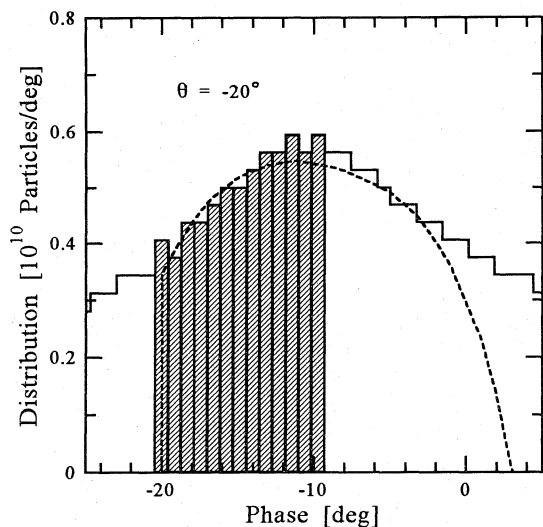
第4図 通過時間差のエネルギー依存性

の組み合わせは複数存在するが、各々 z 方向の収束に対し異なる特性を示す。この組み合わせの中で実現しやすいのは、 n が1の場合である。このときの α は 40.7 度となる。電子のエネルギーの違いによる軌道差を第3図に示す。ここでは G の値として 0.1 T/m を使用している。また、各々の電子の軌道長を速度で割った通過時間の差を第4図に示す。ここでは、もっとも速く通過した電子からの時間的遅れを縦軸にとっている。この図から解るように、バンチ圧縮を行うためには、エネルギー 0.72 MeV 以下では、バンチ前半部を低エネルギー、後半部を高エネルギーに、 0.72 MeV 以上では前半部を高エネルギー、後半部を低エネルギーに変調する必要がある。

4. バンチ形状制御のシミュレーション

実際にこのバンチ形状制御系を用いてえられるバンチ形状のシミュレーションを第5図に示す。ここでは、この系を通過した後、加速周波数 2856 MHz 、ピーク電場 18.9 MV/m の加速管に入射し、RF ピークの前方 20° にバンチの先端を乗せることを前提としている。入射電子のエネルギーは 130 keV で、これに対し最初の空洞でピーク電圧 27 kV の変調をかけると仮定している。

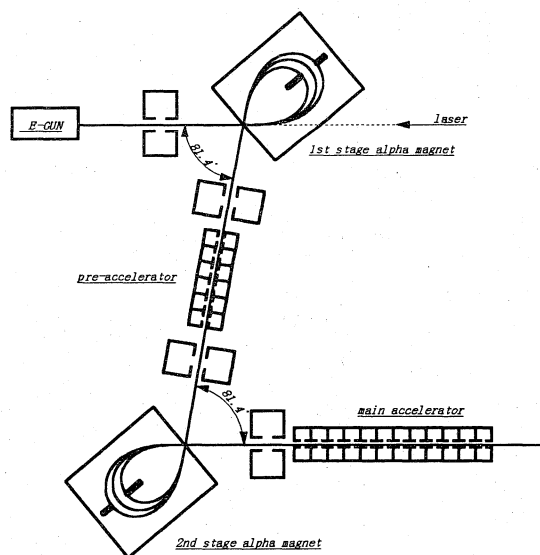
このバンチ形状を実現するのに必要な入射電子ビームはピーク電流 285 A 、パルス幅 $30 \sim 60 \text{ ps}$ の均一分布である。これはレーザー・フォトカソード電子銃を利用したとしても、かなり大きな値である。このように大きな入射電



第5図 バンチ形状制御のシミュレーション
破線は理想的なバンチ形状。ヒストグラムが密度変調をかけられたバンチ形状。斜線部はそこでスリットを通過した電子の分布。

流が必要となるのは、圧縮比が3程度と低いことと1回だけの圧縮しか仮定していないことによる。実際に運用するときには、複数回の圧縮により徐々にピーク電圧を高めていく必要がある。

この系では高エネルギー側のスリットはバンチ先端部を決め、この位置はその他のパラメータから決まる。低エネルギー側のスリットはバンチ後端部を決め、これにより総電子数が決められる。第5図に示されているのは、約 5×10^{10} 個になるバンチの長さである。低エネ



第6図 バンチ形状制御系を2段階に用いる場合の概念図

ギースリットでバンチ幅を 20° 程度まで広げると、電子数を 1×10^{11} 個まで取ることができる。バンチ幅を 20° 以上に広げると電子数は増加するが、エネルギースペクトルが悪化する。

5. まとめ

実際にこの装置を運用するときには、第6図のような系が考えられる。まず、レーザー・フォトカソード電子銃から得た電子ビームをバンチ形状を整えつつ圧縮し、Lバンド前段加速管で空間電荷効果が無視できるエネルギーまで加速する。次にSバンド加速管での理想的なバンチ形状に圧縮し、主加速管に入射する。このようにバンチ圧縮を2段階に用いる事により効率よく、短いバンチが実現出来るであろう。

現在開発研究されている高輝度電子ライナックはウェーク場の影響が無視できないほどの大電流・短バンチ電子ビームを加速する。このような高輝度電子ライナックでエネルギー幅の狭い電子ビームを得ようとすれば、何らかの方法でバンチ形状の細部構造まで制御することが必要となる。ここで挙げたのはそのバンチ形状制御の方法の一つである。

1) P. B. Wilson, "High Energy Electron Linacs," SLAC-PUB-2884 (February, 1982) Chap. 10.

2) R. Kato, Y. Iwase, Y. Nakajima, G. Isoyama and S. Suemine, Proc. 20th Linear Accelerator Meeting in Japan (1995) 323-325.

3) 加藤龍好、小林宏史、岩瀬康弘、中島康行、近藤玄、末峰昌二、磯山悟朗、"産研ライナックの電子バンチの時間構造とエネルギースペクトル," 大阪大学産業科学研究所 第29回附属放射線実験所研究会 -量子ビームの発生と応用- (1996) 28-31.

4) G. A. Loew and J. W. Wang, IEEE Trans. on Nucl. Sci. NS-30 (1985) 3228-3230.

5) Harald A. Enge, Rev. Sci. Instr. 34 (1963) 385-389.