

THE PULSED QUADRUPOLE MAGNET AT THE KEKB LOW ENERGY RING

Toshihiro Mimashi^{A)}, Mitsuo Kikuchi^{A)}, Takao Ieiri^{A)}, Akira Tokuchi^{B)}, Kohji Tsuchida^{B)}
^{A)} KEK 1-1 Oho Tsukuba Ibaraki Japan, 305-0801
^{B)} Nichicon Kusatsu Corporation 2-3-1 Yagura Kusatsu Shiga Japan, 525-0053

Abstract

In order to correct the tune shift generated by photoelectrons in the KEKB positron ring, the pulsed quadrupole magnet was designed and installed. The magnet is excited every revolution and correct the tune shift for the first 700nsec at the head of train. It has been successfully operated.

KEKB陽電子リングにおけるパルス4極電磁石

1. はじめに

KEKB[1]は電子陽電子衝突型加速器であり、3.5GeVの陽電子リングと8GeVの電子リングからなる。2008年7月現在、蓄積された最大ビーム電流は、陽電子リング2A、電子リング1.401Aである。このような大電流は、高いルミノシティを得る上で様々な現象を引き起こしている。

陽電子リングにおいて、ビームから出た放射光は、真空チャンバーの内壁にあたり電子をたたき出す。たたき出された電子は、ビームと電荷の符号が逆なので、お互いに引きつけ合いビームに影響を与える。この電子雲からの影響を少なくするために陽電子リング全体にソレノイドが巻かれた。これにより状況は大幅に改善されたものの完全に影響を排除することは出来ていない。電子雲は、ビームに対して収束力を与える。リング内では、アボートギャップ¹が存在するため、ビームが一様に存在してはいない。すなわちアボートギャップの直後では、電子雲の濃度が下がり、ベータトロンチューンは相対的に低くなる。図1は、ビーム電流750mA、1400mAのときのトレインに沿ったチューンの変化を示す[2]。チューンのずれは、特に垂直方向で顕著で、ビーム電流が1400mAの時、垂直方向で約0.012、水平方向では約0.001である。チューンのずれは、アボートギャップ直後（トレインの先頭）垂直方向で約2 μ sec、水平方向で約100nsecの間観測されている。

運転状況にもよるが、ルミノシティはしばしば、チューンダイアグラムの共鳴線近くで高くなる傾向がある。そのためチューンが高い方から共鳴線に近づこうとすると、トレイン先頭は相対的にチューンが低いので最初に共鳴線に到達しビームを失う事となる（図2参照）。設置された4極パルス電磁石はこのチューンのずれを補正するためトレイン先頭の700nsecにのみ収束力を与えるように設定されてい

る。リング全体のバンチのチューンの広がりを小さくすることにより、トレイン先頭のビームを失う事なくより共鳴線に近いところで運転する事を可能にしている。水平方向と垂直方向のどちらの共鳴線の近くで運転するかに対応して、パルス4極電磁石は収束方向を容易に変換出来るようになっている。

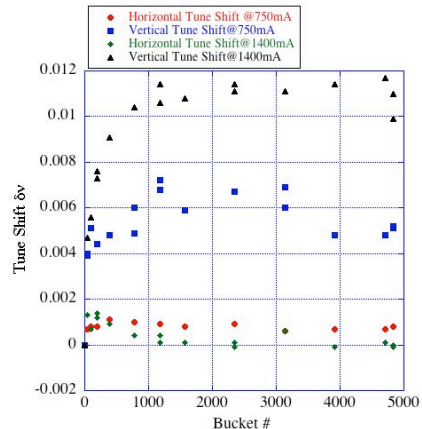


図1 KEKB陽電子リングでトレインに沿ったベータトロンチューンのずれ（750mA、1400mAで測定）

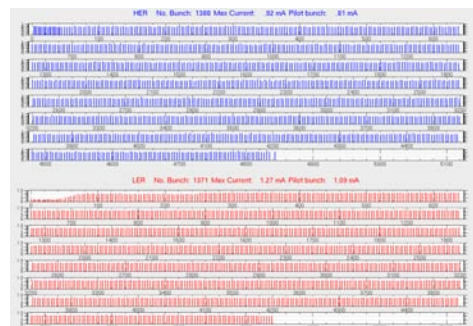


図2 バンチ電流モニター トレイン先頭でビームがかけられている例

¹ ビーム取り出しキッカー電磁石のパルスの立ち上がり時間を確保するため500nsec(1周回周期10 μ sec)のバンチが埋められない部分が存在し、それをアボートギャップと呼ぶ。

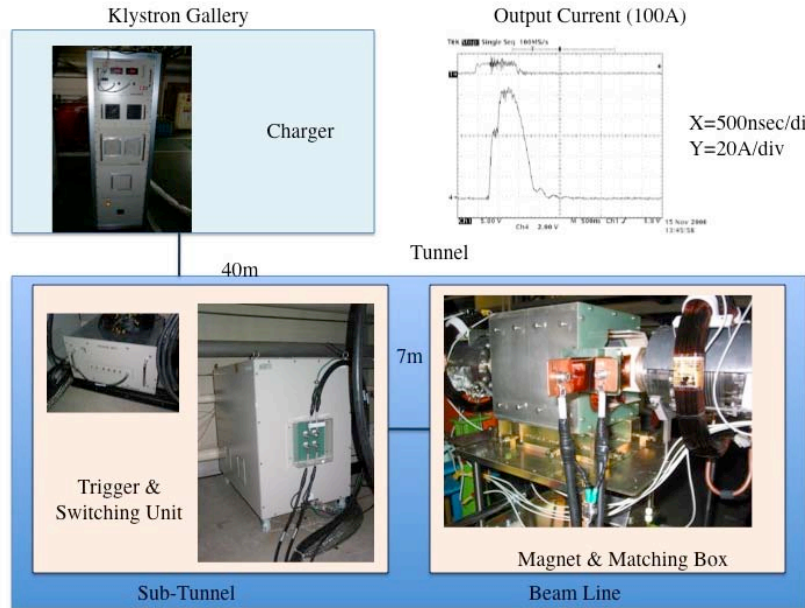


図3 パルス4極電磁石電源の構成

2. 4極パルス電磁石システム

表1にパルス4極電磁石の性能を示す。パルス4極電磁石の繰り返し周波数はビームの周回周波数と同じ約100kHz、出力電流波形は1.5 μ sec幅の正弦半波である。磁場は500nsecのアポートギャップの間に立ち上がり、トレイン先頭で最高になる。補正出来る垂直方向のベータatronチューンは最大0.005、最大出力ピーク電流は100A、その時の磁場勾配は、0.075T/mである。

Parameter name	Value
Tune Shift δv (Vertical)	0.005
Field gradient dBy/dx (T/m)	0.075
Ferrite core length (mm)	250
Bore Radius (mm)	58
Length of ceramic (mm)	420
Ti coating thickness (μ m)	6
Coil inductance(μ H)	5-6
β_y @ Pulsed magnet (m)	30
β_x @ Pulsed magnet (m)	6
Peak current (A)	100
Output current waveform	Half sinusoid
Pulse width (μ sec)	1.5
Repetition rate (kHz)	100

表1 パルス4極電磁石パラメーター

2.1 4極電磁石

図1からわかるように、電子雲が引き起こす水

平方方向のベータatronチューンのずれは、垂直方向に比べて小さいので、パルス4極電磁石は、 β 関数の振幅が垂直方向で大きく(30m)水平方向で小さい(6m)場所に設置された。パルス4極電磁石は、フェライトコアで出来た電磁石である。100kHz、100Aの運転状態でのフェライトコアでの発熱は、2.3W程度と予想され問題はない。コイルは2ターン2並列で、インダクタンスは約5 μ Hである。図4にフェライトコアを示す。磁場勾配の一様性は、4極電磁石のポール幅によって制御され、3cmのアパーチャーの範囲で、 2.2×10^{-3} 以下になるように設計されている。



図4 4極電磁石フェライトコアと水冷式セラミックチェンバー

2.2 セラミックチェンバー

図4右図に、電磁石内部に挿入された水冷式セラミックチェンバーを示す[3]。セラミックチェンバーでの発熱は主にビームによるチェンバー表面での誘導電荷から来るものであり、電磁石の磁場が誘起するうず電流によるものは17W程度と小さい。

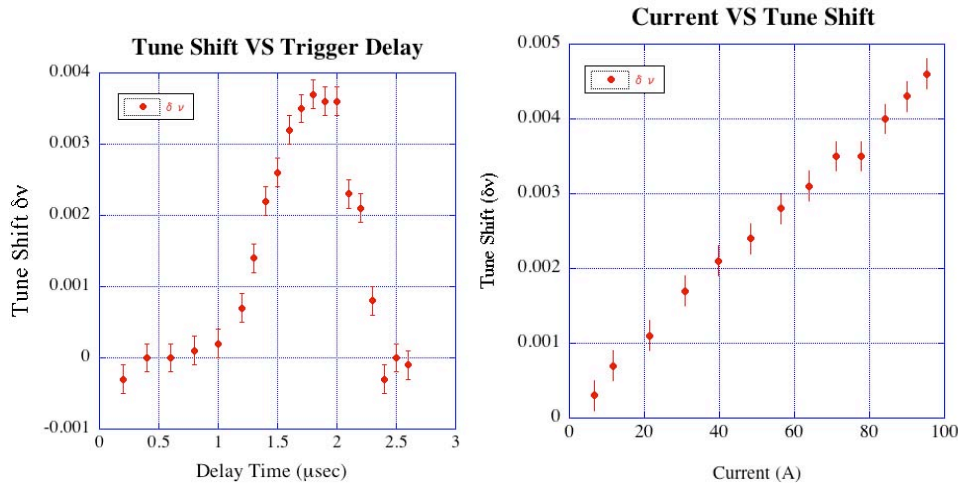


図5 励磁電流、トリガータイミングを変えたときの垂直方向のベータトロンチューンの変化

2.3 4極電磁石パルス電源

このシステムが一番困難な部分は、電源の設計にある。この電磁石を運転するためには大電流を100kHzという高い繰り返しで供給しなくてはならない。ここで、鍵となるのがスイッチング素子の選択である。この電源では、FET素子が選択された。8直列3並列、合計24個のFETが使用されている。図3に電源全体の概略図を示す。電源は、3つの部分からなる。充電器と制御インターフェース部分は地上の電源室に設置されている。スイッチング素子と主コンデンサーはビームからの放射線を直接は受けないように電磁石から7m充電器から40mのサブトンネル内に置かれた。出力電流波形を調節するためのマッチングインピーダンスは、4極電磁石の真下に設置され正弦半波の出力電流波形が、アンダーシュートしないようにしている。このように大電流が通る領域は、主コンデンサーと電磁石の間の7mに限られ、周辺機器へのノイズの影響を最小限に押さえている。

3. KEKBでの運転

パルス4極電磁石の性能を確認するため、1バンチにのみ入射後、パルス4極電磁石を励磁し、垂直方向のベータトロンチューンを測定した。図5の左図は、パルス電磁石のトリガータイミングを少しずつずらしていった時のチューン変化を測定したものである。右図は、励磁電流のピーク値とチューンの変化量の関係を示したものである。

KEKBのラティスに新たに収束力が加えられた事によりトレインの先頭ではβ関数はゆがみを生じることとなる。衝突点でのβ関数のゆがみは、次のように書く事が出来る。

$$\Delta\beta(s_0) = -\frac{\beta(s_0)}{2\sin(2\pi\nu)} \beta(s_1) \Delta K(s_1) \cos[2(\Phi(s_1) - \Phi(s_0)) - 2\pi\nu]$$

KEKBは、通常半整数のベータトロンチューンの近くで運転されているため、ゆがみの大きさは無視出来ない。そこでβ関数のゆがみがルミノシティと入射効率へ与える影響を調べた。図6はベータトロンチューンが、(ν_x, ν_y)=(45.515, 43.587)で運転されたときのZDLM²で測定されたバンチごとのルミノシティを示したものである。先頭の約350バンチがβ関数のゆがみの影響を受けている部分であるが、ルミノシティの低下は観測されなかった。ビームの入射率も調べられたが、他のバンチとの差はなかった。

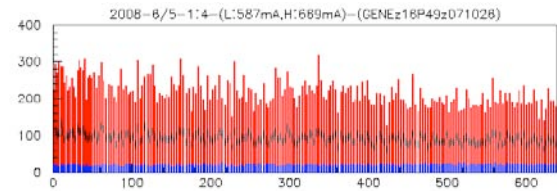


図6 バンチごとのルミノシティ

4. まとめ

パルス4極電磁石は、KEKB陽電子リングへ設置され、安定に運転されている。また、電子雲によって引き起こされたベータトロンチューンのずれは補正されていることが、実際のビームで確認された。

5. 参考文献

- [1] S.Kurokawa et al, "KEKB B-Factory Design Report", KEK Report 95-7, August 1995.
- [2] T. Ieiri et al, Proc. of ECLLOUD'07, Daegu, Korea, (2007),p152.
http://chep.knu.ac.kr/ecloud07/upload/ECloud07_Proc_v2.pdf.
- [3] T.Mimashi et al, "Water Cooling Ceramic Chamber for KEKB Kicker magnet", Proceedings of the EPAC2000, Vienna, Austria, June 2000, p2444.

² Zero Degree Luminosity Monitor