

## Suggestion: Kicker Power Supply for the Variable Energy Beam Disposal System of MR

Hidetoshi Nakagawa

High Energy Accelerator Research Organization(KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

It is necessary to dispose of the beam in the arbitrary energy so that the MPS may appropriately function. The control of the power supply of the kicker for the beam disposal is discussed in order to realize it. The beam must be disposed of in the short time, when the abnormality arose in the equipment. As a result of examining both of power supply for the kicker and kicker control, it was proven that a realization was possible. By using timing control equipment and pattern power supplies, the beam is disposable within 2% in respect of the error of the kick angle. The error of the kick angle is not important, because destination of the beam after the disposal is a dump, if the activation of the accelerator is avoided. It is shown that the kicker can realize a demand of the MPS in this discussion.

### 提案：MRの任意エネルギービーム廃棄システム用キッカー電源

#### 1. 序

大強度加速器である J-PARC の Main Ring(MR) は放射化を避けるために異常時にはビームの捨て場所であるアポートダンプにビームを捨てるように設計されている。加速器設計当初は設計[1]があったのだが、現状はキッカーの電源の制御方法などの問題で目標を実現できていない。加速器保護装置(MPS)からはビーム廃棄の要請を作業に必要な時間内に伝達できるように作ったので、キッカー電源を改造(追加?)することで、任意エネルギーでのビーム廃棄が実現できないか考察してみた。

以前はキッカー5台で速い取り出し(FX)を行っていたので電源の追加できめ細かな制御をおこなうのが難しかった。最近の改造でキッカーの数が10台に増えた。とりあえず電源は5台で運転されるのだが電源を更に5台追加して10台とし、一部をパターン電源にすることと、トリガタイミングを制御することで最大で2%程度の蹴り角の誤差でビーム廃棄操作が実現できることが判った。

MPSの観点からは任意エネルギーでのビーム廃棄が絶対に必要なので、キッカー電源の追加を提案する。

#### 2. キッカーの状況

今年の6月までは図1の(a)のようにキッカー5台に5台の電源から電力を供給し運転に使っていた。現在改造中で今年の10月からは図1の(b)のようにキッカー10台に5台の電源から電力を供給し運転を行う予定である。10台のキッカーを独立に使うことを考えると、電源の改造でMPSからの要求は満足できることが分かった。

すでに5台の電源は存在する。あと5台の電源を追加し10台体制にする。1台だけビーム廃棄に寄

与するように動かし、他の9台のタイミングをずらして動かすなら、3 GeVの入射時に使える。同じことを1, 2, 3, 4と増やしてゆくなら3 GeV刻みで適切なビーム廃棄を実現できることになる。これでは粗すぎるので、10台のうちの2台をパターン設定の電圧可変の電源とし、ステップの間をリニアに補う。これで図2の(c)のように3 GeVから30 GeVまでリニアにビーム廃棄のエネルギーを変えることができることになる。

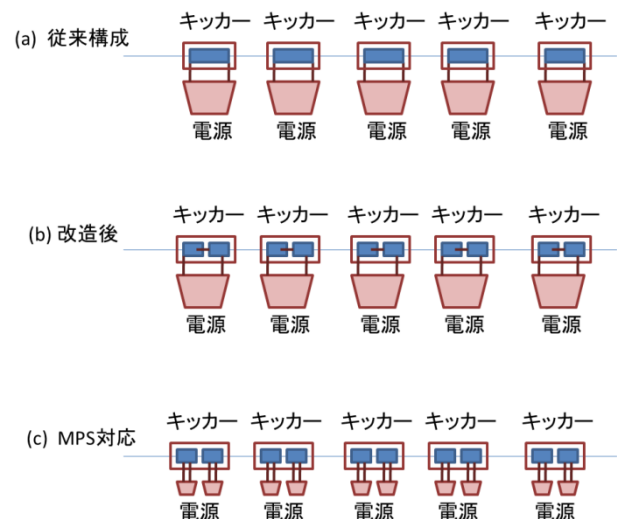


図1 キッカーと電源の組み合わせ

ただ、キッカーの通電のためには立ち上がり特性をよくするためにサイラトロンと呼ばれる放電管が使用される。サイラトロンを安定に使うためにはあまり極端に低い電圧での使用は望ましくない。ここでは電圧を2倍の範囲で変化させることで計画を立ててみた。

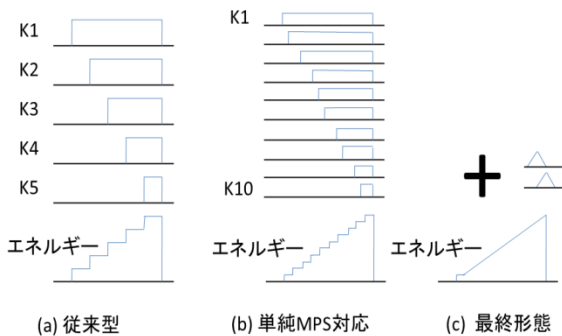


図 2 概念図： 運転とエネルギー

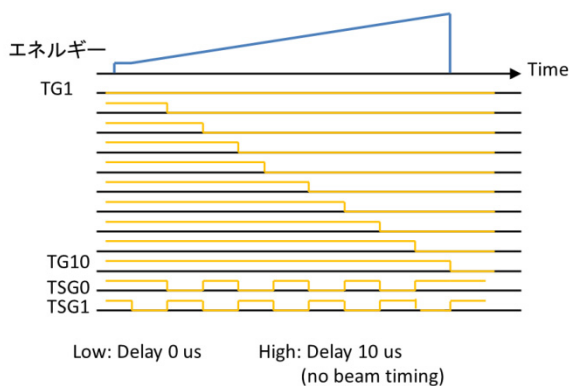


図 3 単純なタイミング操作

### 3. MPS のビーム廃棄関連の機能

本論に入る前にキッカーシステムに要求を送る MPS の説明をする。MPS は各電源などの装置の異常発生信号を入力として加速器の運転を停止すると共に MR 内にあるビームをダンプへ送る指令を出す。MPS の入力には機器異常以外にビーム損失状況の測定結果もある。ビーム損失により発生した放射線が設定レベルを超えると MPS へ異常信号が来る。10  $\mu$  秒よりも速く動作する。MPS もそれに対応できるように、信号伝送時間なども含めたシステム全体での遅れを 10  $\mu$  秒以下である。ビームロスが発生し決められた強度を上回るなら、20  $\mu$  秒を要せずにキッカーがビームを蹴りだすように MPS から指令が出る。機器異常発生時にはビームロスはミリ秒程度の時間を要し、ビームロス検出後 100  $\mu$  秒以内でビーム廃棄を実行するならビームのほとんどをダンプ送りにできるという計算結果がある。[2]

## 4. 実装技術

### 4.1 概要

キッカーの磁場はトリガにより 1  $\mu$  秒程度で立ち上がり、ビームはリング内を 1 周する 5  $\mu$  秒程度でビームはダンプへ行く。ビームを蹴ることに関し

ないキッカーはトリガを 10 マイクロ秒程度遅らせることで、安定に動かしながらビームに対する影響をなくすることができる。従来のキッカー制御にトリガの遅延制御とパターン型電圧可変電源を組み合わせることで任意エネルギービーム廃棄システムができることになる。

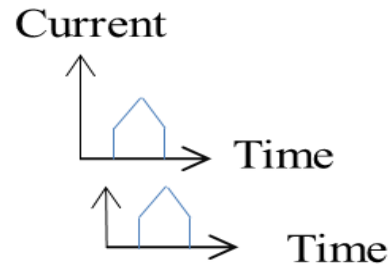


図 4 パターン電源

### 4.2 電圧一定電源

従来型の定電圧電源で 0 から 6 までの 7 段階での階段型の廃棄エネルギーの実現に使用される。

### 4.3 パターン型電圧可変電源

2 台を組にして使用する。半分の電圧から規定値までを変化させることで 1 台の電圧一定電源の範囲をカバーする。ただし、急激な電圧変化を避けるために図 4 のように電圧変化を逆にした 2 組で実現する。電圧を下げる方へ動き待機状態（規定値の 1/2）まで動く方はトリガを遅らせることで運転から除外する。

### 4.4 トリガ遅延装置

ビーム廃棄に関与しないキッカーのトリガを 10 マイクロ秒遅らせる制御をおこなう。2 タイプの電源両方に必要なため、制御入力 1 本とトリガ入力 1 本とトリガ出力 10 本を持つ。図 3 と図 5 にこの装置の動きの例を示す。

パターン電源のパターン発生器と組み合わせて、キッカー用電源の総合蹴り角制御を行う。

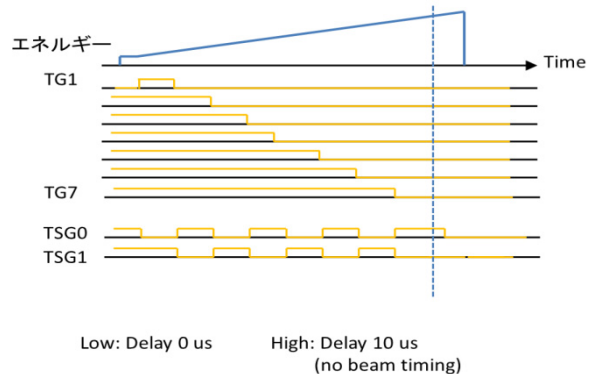


図 5 タイミング操作（実用化）

#### 4. 実装上の問題

パターン型電圧可変電源の動作範囲を 1/2 から規定値とするために、キッカーの台数の問題で最後の 10% のエネルギーの範囲では理想の動きをさせることができない。その部分での電圧パターンを詳細に検討し、図 6 のようにトータルでのエネルギーの理想値からの誤差を最大で 2% 程度にすることができることがわかった。

このキッカーはニュートリノ実験にも使用するよう設計された両方向蹴り型装置である。この場合、ビームのエネルギーは一定で、高度に安定した蹴り角が要求される。パターン電源には対応切り替えなどの高度な制御が要求される可能性がある。

#### 5. まとめ

以上の話を総合して任意エネルギーでのビーム廃棄が実現できる確信が得られた。ただし、この提案は「示唆」レベルであり、実現には電源の技術とビーム軌道という加速器物理との両面での詳細な検討が必要である。この両面の検討は専門家に任せたいと思う。

#### 6. 付属議論

遅い取り出し時にはフラットトップ時間が長くなるためビーム廃棄時に機能するセプタムの熱負荷に問題が生じる可能性がある。また、遅い取り出し時間中はビーム廃棄を実行しない約束になっている。そこで、図 7 のようにセプタムを 2 度動かす検討をしたいと考えている。

### 最終段階

K1-K7:Fix

K8,K9,K10:可変

Nfix	K8	K9	K10	total V(rel)	Linear(rel)	Diff(rel)	Diff(rel)*10
7	0.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.000	0
7	0.00	0.95	0.95	0.89	0.91	-0.020	-0.2
7	0.50	0.90	0.90	0.93	0.92	0.010	0.1
7	0.56	0.87	0.87	0.93	0.93	-0.001	-0.0075
7	0.63	0.86	0.86	0.93	0.94	-0.006	-0.055
7	0.69	0.88	0.88	0.94	0.95	-0.005	-0.0525
7	0.75	0.90	0.90	0.96	0.96	-0.005	-0.05
7	0.81	0.91	0.91	0.96	0.97	-0.007	-0.0675
7	0.88	0.92	0.92	0.97	0.98	-0.009	-0.085
7	0.94	0.96	0.96	0.99	0.99	-0.004	-0.0425
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.000	0

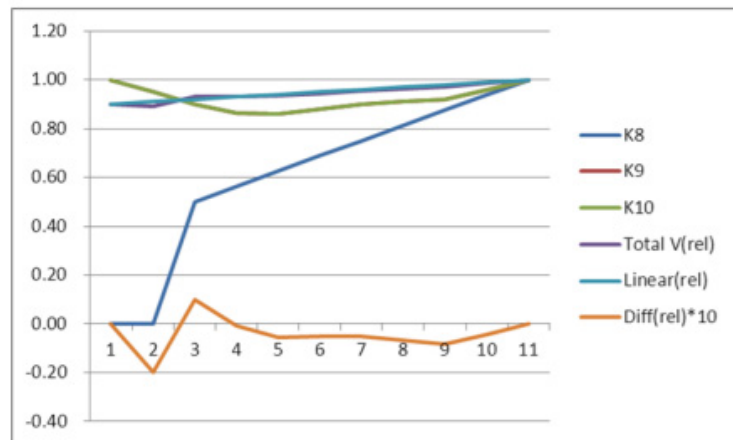
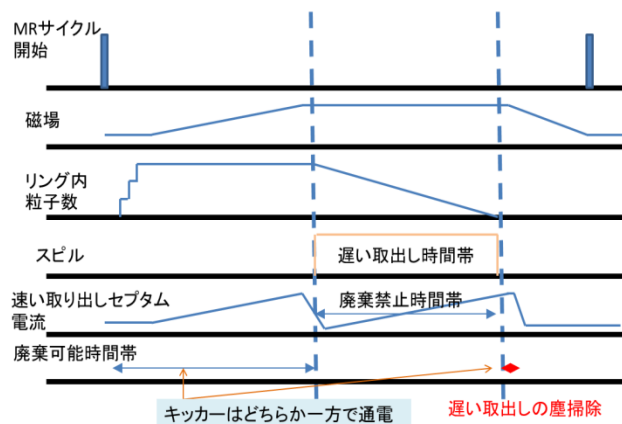


図 6 最終段階のエラー量決定 2%以下で運転できる。

図 7 遅い取り出し時にはセプタムの制御も工夫がいる。異常時のビーム廃棄と正常に取り出された時の残存ビームの廃棄と両対応にする。ただし、セプタムの熱容量は FX 対応のみ。



## 参考文献

- [1] 白壁, private communication, 2002.
- [2] 町田, private communication,  
<http://www-cont.j-parc.jp/members/hn/MPS5/Katoh.pdf>