

アボートキッカー電源の回路 2 重化による信頼性の向上

IMPROVEMENT OF RELIABILITY BY DUPLICATING CIRCUITS OF ABORT KICKER POWER SUPPLIES

黄瀬圭祐^{#, A)}, 徳地明^{A)}, 三増俊広^{B)}

Keisuke Kise^{#, A)}, Akira Tokuchi^{A)}, Toshihiro Mimashi^{B)}

^{A)} Pulsed Power Japan Laboratory Ltd. (PPJ)

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

スーパーKEKB用のアボートキッカーは水平方向キッカーマグネットと垂直方向キッカーマグネットから構成され、水平方向キッカー電源で200ns以下の急峻な立ち上がりで水平方向にビームをキックしたのち、その水平位置で垂直方向に10 μ sかけてゆっくりビームを散らしていくものである。水平キッカー電源の立上り時間を急峻にする分、アボートギャップは狭くなり、リングに多数のバンチを収納することが可能となり、加速器の利用率は向上する。KEKBではこの水平の立上り時間は500nsだったが、スーパーKEKBでは200ns以下に短縮されている。この水平、垂直のアボートキッカー電源は加速器が運転中は常時高圧充電状態で待機し、必要な時に間違いなくパルスを放出する必要があり、加速器電源システムの中でも最も高い信頼性が要求される電源である。放電指令に基づき、急峻な電流を流し始めた瞬間に、高圧コンデンサなどがパンク事故を起こすと、正常にビームがアボートされなくなり、加速管に損傷を与えたり、不要な放射能を発生する可能性がある。我々は、従来1台だった垂直用キッカー電源を2台に分割し、それぞれの出力を足し合わせる回路構成に変更した。これにより、万一台の高圧発生部が高圧発生中に故障を起こしても、もう一台の電源で電流を流すので、少なくとも半分の電流を確保する事ができ、安全にビームをアボートすることを可能とした。

1. はじめに

現在高エネルギー加速器研究機構では B ファクトリー加速器を始めとする、大電流かつ低エミッタンス加速器の研究が進められている。本件は、大電流、低エミッタンスのビームをビームダンプへ取り出すためのキッカー電磁石電源の製作のためのものである。SuperKEKB 加速器では、ビームをチタンの窓を通して取り出しているが、大電流、低エミッタンスのビームを取り出す場合、沢山のビーム粒子が、狭い範囲に集中して、窓を通過するため、窓が破壊されてしまう可能性が大きい。そこで、ビームをパルス4極電磁石で広げ、取り出し窓上で垂直方向にビームを Sweep させながら取り出すシステムを構築する。

本発表は、垂直方向アボートキッカー電源の二重化による信頼性の向上に関するものである。

2. 電子/陽電子リング低エミッタンスビーム 取り出しシステム

高エネルギー円形加速器にはアボートキッカーマグネットが必要である。直径数百mと言った大型の円形加速器の中には高エネルギーの電子、陽電子、イオンなどが光の速さに近い極めて高速で回っている。これらの粒子は真空容器の中を磁石の力で制御されながら、壁に衝突しないように回転して。ところが、加速器に異常が起きたり、制御に問題が発生した場合は、急峻にこれら的高速粒子を回収しないと、粒子が壁に当たり、強力な有害放射線や電磁波を発生させるばかりでなく、壁に穴

をあけるなどの障害を与える。アボートキッカーはこのように加速器を緊急停止する場合に、急速にマグネットに電流を流して、高速粒子を安全に回収壁に回収させるためのものである[1]。円形加速器の中で高速粒子は円形軌道に連続的に存在しているが、この円形軌道上に一部高速粒子が存在していない隙間がある。アボートキッカーはこの隙間部分が通過するわずかの時間の間に電流を立ち上げることで、この隙間の後から侵入してくる高速粒子を回収壁に捕捉する。アボートキッカーの電流立ち上がりが早くなると、その分、円形軌道上の粒子の隙間は狭くすることが出来るので、加速器の中を周回する粒子の量を増やすことが出来、加速器の利用効率が向上する。

SuperKEKB 加速器は非対称な電子/陽電子コライダーである。アクセラレータコンプレックスは、7GeV 電子リング(HER)および 4GeV 陽電子リング(LER)により構成されている。デザインビーム電流は LER の HER と 3.6A の 2.62A である。そして、デザイン水平線放射率は HER の 2.4nm および LER の 3.2nm である。アクセラレータコンポーネントとベル II の保護 検出器 および放出安全のために、個々のリングはビームアボートシステムを持っている。それらは、蓄えられたビームをビームダンプに転換し、リングにおいてどこにもビームを吐くことを防止する。

[#] kise@myppj.com

Table 1: Emittance, Beam Current and Beam Size at the Extraction Window in the SuperKEKB Accelerator Complex

| | HER | LER |
|----------------------|--------|--------|
| Beam Energy | 7 GeV | 4GeV |
| Beam Current | 2.62A | 3.6A |
| Horizontal Emittance | 2.4nm | 3.2mm |
| $\sigma x@window$ | 0.36mm | 0.74mm |

3. アボートキッカー電源

3.1 目標仕様

陽電子リング用低エミッタンスビーム取り出しシステムに使用されるアボートキッカー電磁石システムは水平方向1台、垂直方向1台、パルス4極電磁石2台からなり、垂直方向キッカーは、2台のパルストランスユニットを通して 10μ 秒後の電流値が合計 $2.1kA$ となるパルスの立ち上がり部分を使う(Fig. 1 参照)。垂直方向キッカー電磁石の立ち上がり時間は、 $15 \mu sec$ とする。垂直方向キッカー電磁石のインダクタンスは、 $8.65 \mu H$ である。

2台のパルストランスを使用する理由は、1台が故障しても、垂直方向の SWEEP が、0 にならないようにすることによって、取り出し窓の破壊を防ぐためである。

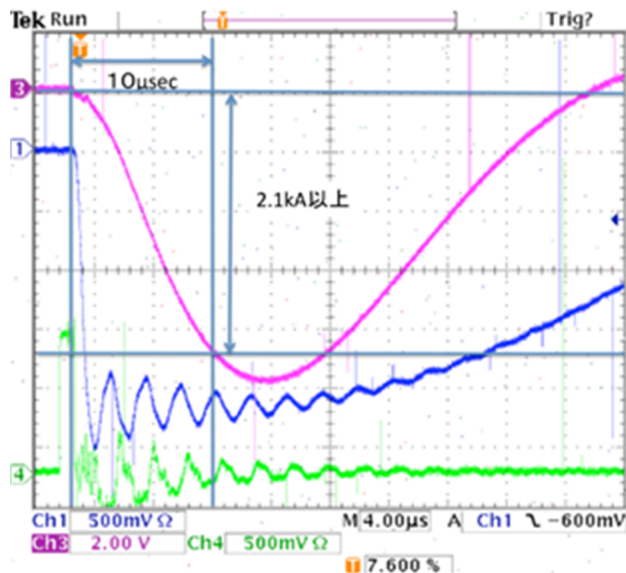


Figure 1: Abort kicker power supply output current waveform.

3.2 設計構成

充電器は出力電圧 DC40k を使用し、スイッチング素子はサイトロン CX1175C を使用する。1 台の充電器、サイトロンで水平電磁石電源 1 台、四極電磁石電源 2 台、垂直電磁石電源 2 台に電力を供給する。Figure 2 にアボートキッカー電磁石システムの概念図を示す。

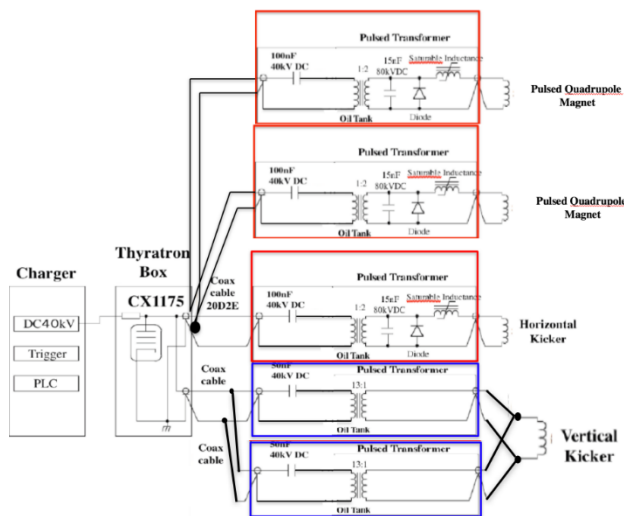


Figure 2: Conceptual diagram of abort kicker electromagnet system.

パルストランスに使用するコアの形状は全て同じ同心構造であることから、実装方法として、全てのコアを同一中心軸上に並べて配置し、円筒状の油タンクの中に収納した。コンデンサも同様に円形で実装した。円筒の片端面が入力端子側になり、もう一方の端面が出力端子側になるが、それぞれの端面の中心部分に絶縁貫通端子を設け、大気側から油中へバイアス電流を通电できる構造とする。両端面に取り付けた絶縁貫通端子間は油タンク内で中心軸上に沿って電気的に接続されており、この端子間に電流を導通することで全てのコアにバイアス電流を流すことができる。出力端子部に CT を実装し、出力電流のモニターを行っている。

出力部には出力電流調整用のサージ抵抗を最大 20 並列で取り付け可能である。片方のタンクの故障時の逆電流防止の為、出力にはダイオードを取り付けている。

パルストランスユニットはトンネル内に設置される為、絶縁油は安全性を考慮し、可燃性の低いシリコンオイルを使用している。

Figure 3 に回路図、Fig. 4 にタンク内部組立図、Fig. 5 に外観写真を示す。

電源の温度変化による絶縁オイルの体積の変化に伴う圧力変化を吸収するためのコンサベータを製作した。コンサベータは、体積の変化をペローズで吸収する構造で、密閉構造とした。製作するパルストランスユニット2台に対して1個のコンサベータを取り付けることとした。

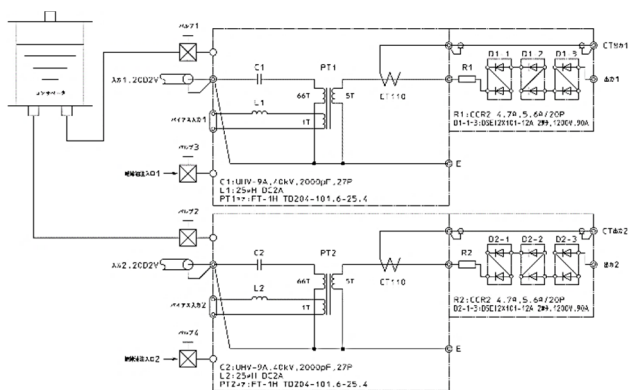


Figure 3: Vertical pulse transformer circuit diagram.

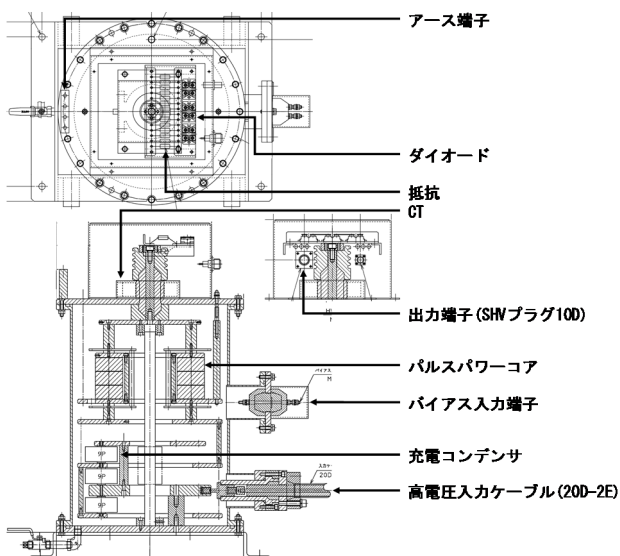


Figure 4: Vertical pulse transformer assembly drawing.

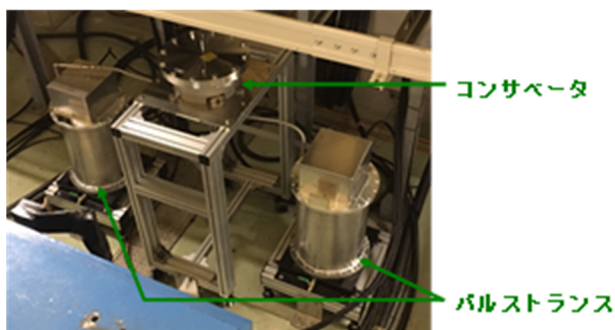


Figure 5: Vertical pulse transformer exterior photo.

3.3 評価試験結果

単体での評価試験結果を以下に示す。Figure 6 は垂直用パルストランスのタンク内に実装したカレントモニターの出力電流波形である。模擬負荷インダクタンスは $27\mu\text{H}$ で試験実施し 10usec で 1.05kA の出力を確認した。

Figure 7 は2台接続同時運転時の試験波形で、模擬負荷は $13.5\mu\text{H}$ 、 $10\mu\text{s}$ で 2.1kA の出力を確認した。

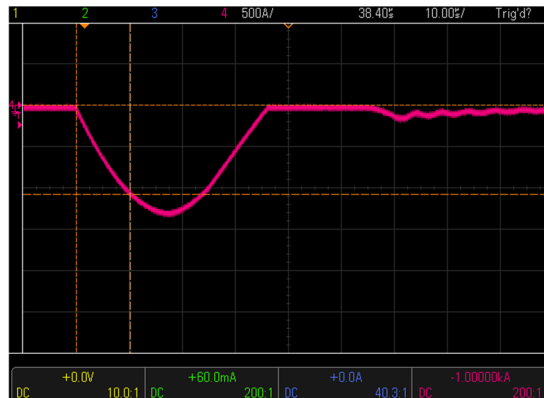


Figure 6: Single output waveform (simulated load current).

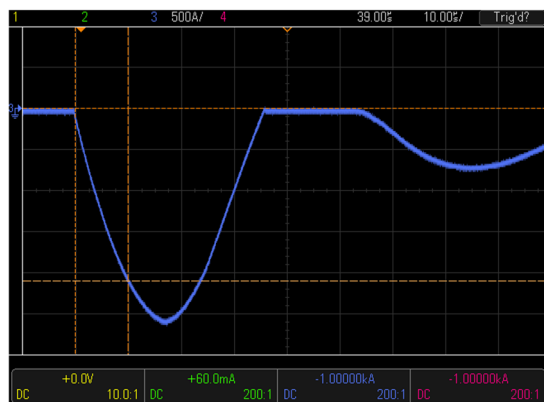


Figure 7: Simultaneous output waveform of two units (simulated load current).

4. 今後の展望

垂直パルストランス2台同時評価試験により目標仕様どおりの特性を確認できた。垂直パルストランスを2台に分割することにより、システムの信頼性は大幅に向上したと考えられる。次のフェーズとして、本年度(2017年)中に設置完了する予定である。

参考文献

[1] T.Mimashi *et al.*, "THE DESIGN OF BEAM ABORT SYSTEM FOR THE SUPERKEKB", IPAC'10, The 1st International Particle Accelerator Conference Kyoto, Japan/May 23-28, 2010.