

COMMISSIONING OF NEW BENDING MAGNET POWER SUPPLY OF PF-AR RING

Toshiyuki OZAKI^{A)}, Atsuyoshi AKIYAMA^{A)}, Masaaki ONO^{A)}, Tsuyoshi SUENO^{A)},
Tatsuro NAKAMURA^{A)}, Takashi OBINA^{B)}, Toshio KASUGA^{B)}, Yukinori KOBAYASHI^{B)},
Shinya NAGAHASHI^{B)}, Kentaro HARADA^{B)}, Tsukasa MIYAJIMA^{B)}

^{A)} Accelerator Laboratory

^{B)} Photon Factory

High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801, Japan

Abstract

In PF-AR ring, a new power supply for the bending magnets was fabricated. The design is based on the magnet power supply of J-parc main ring. It consists of two converters, reactors, hybrid-filter and controllers. In this spring, the installation was done and the beam test was performed under the new power supply. In the tuning period, a broken trouble of a surge absorber in the switchgear cubicle was happened. The distortion spectrum in three-phase 6600V line show that higher harmonics above 40th component which generated by the converters had caused ohmic heating in the surge absorber.

PF-ARリング 偏向電磁石電源の更新

1. はじめに

ARは、トリスタンMR用の8GeV入射器として建設されたが、現在は、6.5GeVの放射光専用運転である。近年、老朽化対策が必要になっている。偏向電磁石電源は大電源であるからゆえの危険を伴っているので更新する事になった。AR運転時の偏向電磁石の通電電流は、1392Aである。マシンスタディなどを考慮し、新しい偏向電磁石電源（B電源）の定格を1500A、1200Vとした。性能の向上を目指し、電流安定度は10ppm/12hour以内、リップルは10ppm 以内を仕様値とした。

2. 新偏向電磁石電源の製作および調整

AR-B電源の基本構成は、J-PARCの50GeVリングの電磁石電源と同じである。負荷は56台の偏向電磁石である。負荷の定数は、0.73オーム1.05Hである。B電源の本体は、変換器盤2台、OVP盤、直流リアクトル盤、フィルタ盤、電源制御盤からなり、全長7.8m、全重量12.7tonである。変換器は、2直列2並列のブリッジで構成され、3パルスPWM制御方式で動作する。つまり、IGBTを用いて交流のピーク部で対称に3回チョッパしている。常に力率が1になる長所がある。OVPは過電圧保護である。3倍の周波数になった交流をハイブリッド・フィルタで直流にする。リップル電圧を高周波チョッパし、その高周波電流を交流側に戻し、負荷側へのリップル電流を減らす機能をもつ回路である。

AR特有の問題点は、ブスバーを用いた給回路にある。過去に、2回ほど地絡事故を起こしている。したがって、将来も警戒せねばならない。その対策として、プラス側DCCTとマイナス側DCCTとの差が閾値を越えた場合に、アラームを出すことにした。この配置は、さらにコモンモード電流リップルとノーマルモード電流リップルに測定にも使えるメリットがある。通常は、マイナス側DCCTを電流フィードバック用、プラス側DCCTを電流モニター用として使用し、電流値異常の有無を判定するために用いられる。

屋外の受電部は、専用変圧器2台、高圧盤（VCB）からなる。AR変電所からの6600Vを高圧盤で受ける。停止時は、高圧盤の遮断器でオフにする。過電圧保護、地絡保護のインターロックがある。変圧器は、6600V/500Vである。専用にデザインされた変圧器で、変換器のスイッチング時の跳ね上がり電圧が、変圧器のインダクタンスに起因するので、%インピーダンスを1.5%に下げている。したがって、変圧器の短絡時の強度維持のために強度補強をしている。また、高調波による渦電流損や浮遊損の増加の対策をしている。

制御は、アークネット通信により、電源制御盤にある電磁石電源制御ボードを通して、操作（CBon, CBoff, on, off, reset）、ステータス表示（local, ready, CBcomplete, PWRcomplete）、電流設定（16ビット）、故障情報（12点）の各信号

を、B電源本体と取り合っている。ロケーション番号などは旧B電源のそれを引き継いだ。外部停止信号は、非常停止・パトライト停止、電磁石異常・ブスバー異常の2点である。

本年の春季停止期間に、新旧のB電源の交換を行った。新AR-B電源の据付では、ピット内に銅板(幅30cm、厚さ0.4t、長さ8m)を敷設し、床に固定したチャンネルベースとB電源本体との間に絶縁(10mm厚のガラスエポキシ樹脂)を入れ、

アースを銅板に集約し、この銅板から最短距離で、電源室のA種接地に接続した。A種接地は、電源棟前に1.5m(14φ)のアース棒を8本打ち込み、4オームを新規に作った。電磁石56台の midpoint から100sq.ケーブルを上記の銅板まで敷設し接続した。すべての工事完了の後、B電源の総合検査および調整をした。6.5GeV運転で、旧B電源では、受電電力は6600V 269Aであったが、新B電源は力率1であるために、6600V 115Aに改善された。

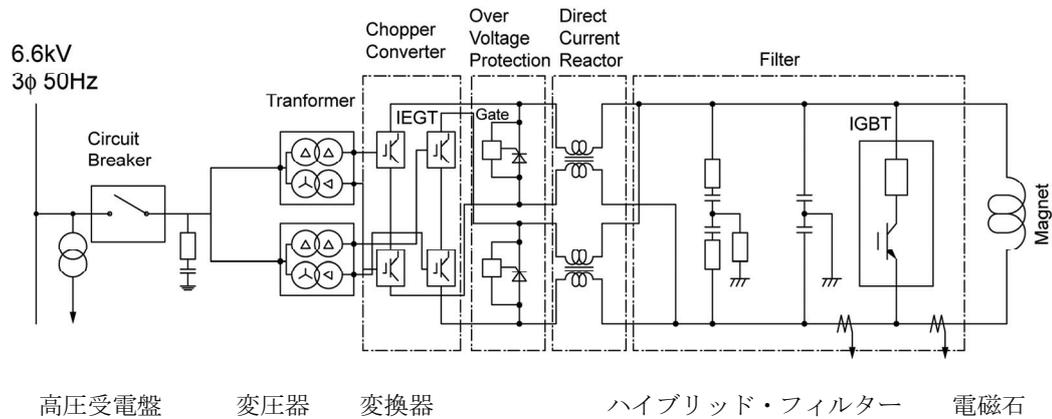


図1 新設の偏向電磁石電源の概念回路図

旧B電源はサイリスタ電源である。更新以前に40次までの高調波を測定した。新B電源も試運転開始時に40次までを検討した。6.5GeV運転の高調波実効電流は旧B電源は14.7Aで、新B電源では10.1Aであるから、電流歪みが改善されている。

次数	旧B電源	新B電源
3次	0.45(A)	0.57(A)
5	2.74	0.96
7	2.39	0.38
11	2.64	0.38
13	2.25	0.01
17	2.14	0.40
19	1.47	1.13
21	0.36	0.61
23	9.43	9.38
25	8.91	2.39
27	0.55	1.19
29	2.02	1.66
31	2.45	0.38
35	1.86	0.57
37	1.65	0.40

表1 新旧のB電源の高調波電流の比較

3. 新B電源によるビーム運転

B電源の検査終了後、新B電源によるビーム運転のコミッショニングを実施した。外部の較正DCCCTを用いて新旧のB電源の電流値の相違を調べ、その結果を運転ソフトに反映させておいた事により、短時間でARビーム運転を再現できた。

新B電源の電流安定度が検査期間内に仕様を満たすまでに到らなかったため、その影響を心配していた。とくに入射に問題が出てきて、入射ビームが入らない時もあった。B電源更新前と更新後でのAR運転のチューンの時間変動の比較すると、新B電源の電流安定度の調整が不十分であることが分かる。つまり、以前のAR運転は、Q電源の電流安定度で決まっていた。つまり、図2(左)に示すようにV方向(左下の図)しか動いていない。ところが図2(右)に示す更新後のデータでは、HとVが連動して同じ動きをしている様に見える。つまり、ビームの安定度が新B電源の安定度に支配されている事が理解できる。

さらに、電流安定度の改善の調整を行って、上記のような現象は消えた。

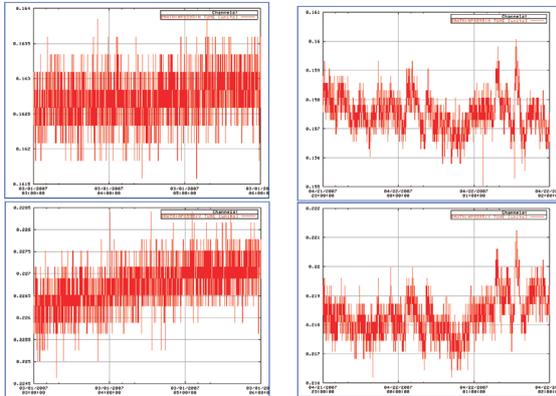


図2 新旧のB電源でのチューン時間変動

4. 高次高調波問題

ビーム試験運転終了後、電流安定度を向上するための調整をした。この時は、KEKB とPF-ARは共に停止していて、このB電源の単独運転である。種々の改造や設定変更を経て、夕刻より、電流安定度の評価のための長時間運転を始めた。屋外トランスヤードで、微かに悪臭がし、さらに受電盤の周囲が焦げたような悪臭したので、受電盤の背面扉を開けて、ドアインターロックでB電源を強制停止した。

受電盤の内部を目視すると、VCB開閉時用サージアブソーバが破損し、その内部の油が周囲に飛び散っていた。(回路としては、3相交流の中性点と各相との間に入っている単純なRC回路である。抵抗は100Ω 40W。) 図3が示すように、3本ある碍子の内の右1本は抜け落ち、内部は黒く焦げたようになっていた。また、サージアブソーバの筐体は、内部から大きく膨張している。また、受電盤の正面のメーターの内、零相電圧が1600Vでピークホールドされているので、地絡が発生したと考えられる。



図3 損傷したサージアブソーバ

損傷の原因の調査のために、同等品サージアブソーバを付けて、そのS相の電流の測定した。50 Hzは計測上の問題で無視すると、図4に示すように6 kHzで共振している事が判明した。

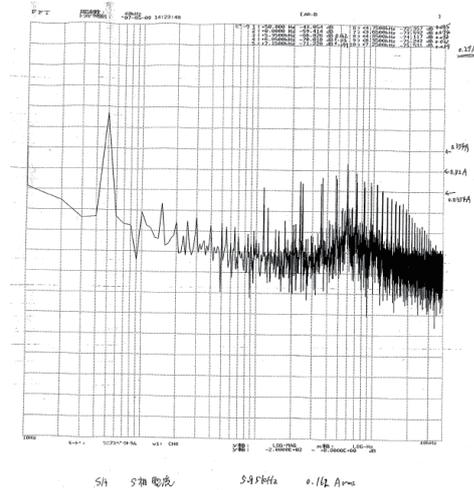


図4 高調波のスペクトル

このデータから、VCBサージサブソーバに流入する電力を計算すると119W/相になり、上記の抵抗を異常加熱した事の説明になる。

仮対策として、仮設サージアブソーバを製作した。これは、外部へスパイク・ノイズの流出を防ぐ効果があると思われる。AR運転中のサージアブソーバの抵抗の表面温度上昇から120W/相のロスを推定できる。

KEKB とPF-AR同時停止期間は変電所のコンデンサが切り状態であった事も上記の事故で原因であった。AR変電所のコンデンサ1台と第5, 7, 11調波フィルタの3台が、入り状態であることが運転条件とするインターロックを設けた。また、AR変電所の第1バンクの外には、高調波の影響が出ていない事も、ラインの電圧歪み測定から判明している。

現在、高調波流出の対策としてフィルターの設計を進めている。

5. 謝辞

偏向電磁石電源の製作、調整にあられました東芝原子力開発部、東芝三菱産業システムの方々へ感謝します。

高調波トラブル問題は、高エネルギー加速器研究機構内の電気・電源部門の多くの方々の多大の御支援、助言に支えられました。ここに感謝します