

図5：負荷インピーダンスのモデル計算と実測。上段はインピーダンスで下段は位相。

2.3 変換器ゲイン

図2中で変換器のゲインは比例ゲイン： K_{CNV} として記述している。一般的には単純な線形応答ではなく、非線形性を持ち合わせている。しかし、MRの主電磁石電源はその非線形性が特に顕著であった。図6に変換器への入力信号(CNV_EC)と出力電圧との関係を示す。

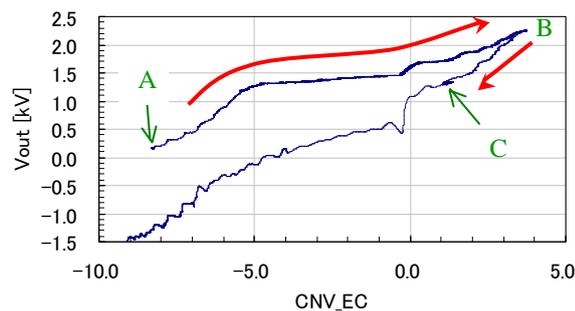


図6：変換器のゲイン。横軸は変換器への入力信号(CNV_EC)で、縦軸は出力電圧(Vout)。

ビームを入射する Flat Bottom である点 A から、加速に応じて出力電流をあげるにつれて出力電圧は矢印の向きに上昇し、出力電流を上げる途中で出力電圧は最大となる(点 B)。ビームを出射する Flat Top では出力電圧は最大電圧より低い点 C となる。MRの主電磁石電源は電流の立ち下がり精密制御していないため、点 C から点 A への変移はここで議論しない。しかし、すくなくとも、電圧上昇時と

下降時とで変換器ゲインが違う経路を通ることがわかる。

この非線形性は主電磁石電源の変換器方式によるものである。主電磁石電源の変換器は、スナバ回生方式の電流型自励式コンバータ⁶⁾と呼ばれるもので、交流電流をスイッチング素子によって直接出力パターン電流に変換する。スイッチング素子の ON 時間とその交流に対する位相によって、出力電流を制御している。

このように変換器ゲインが変化する点は、制御ループからはフィードバックゲインが変化しているように見える。そのため、シンクロトロン用電磁石のようにパターン出力する電源では、変換器ゲインが変化する電流値を横切る際に、発振または逆に追従性が悪くなったように見える。

3. まとめ

MR 主電磁石電源をより安定に、電流リップルを小さくするため、電源の周波数応答や変換器ゲインの測定、計算等の電源特性の評価を行った。その結果、改善案として、1)600Hz の整流リップルを減少させる同調フィルタを導入するため、現行のフィルタの Q 値を変更させる。2)変換器ゲインの非線形性を補償する回路を制御ループの中に導入する、という 2 点を検討している。この夏には実際に電源に導入し、テストを行うことにしている。

参考文献

- [1] S. Nakamura, et al., "J-PARC MR における電磁石電源の問題点と対策", 加速器学会誌 vol.3, No.3, pp.292-301, 2009.
- [2] H. Someya, et al., "Magnetic Field Measurement and Ripple Reduction of Quadrupole Magnets of the J-PARC Main Ring", Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan, pp.3239-3241, 2010.
- [3] S. Igarashi, et al., "Magnetic Field Ripple Reduction of Main Magnets of the J-PARC Main Ring using Trim Coils", Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan, pp.301-303, 2010.
- [4] S. Yamada, et al., "Research and Development of Noise-Free Magnet System in J-PARC Main Ring", 第7回日本加速器学会 2010
- [5] <http://www.linear-tech.co.jp/designtools/software/>
- [6] E. Ikawa and K. Noda, "Development on Advanced Current-source-type Self-commutated Converter for Accelerator Electromagnets", The 13th S.A.S.T, Suita, Osaka, Japan, pp.60-62, 2001.