

FRC プラズマの電流駆動を目的とした 高周波インバーター電源の開発

北野 勝久*, 東小菌 毅充, 岡田 成文, 後藤 誠一 (大阪大学)

Development of High-power Inverter Power Supply for Current Drive on FRC Plasma
Katsuhisa Kitano, Takamitsu Higashikozono, Shigefumi Okada, Seiichi Goto (Osaka University)

1. FRC プラズマの電流駆動とは？

高い平均 β 値を持つ FRC(Field-Reversed Configuration)プラズマは核融合エネルギー発電の炉心プラズマとして将来性を期待されているが、配位持続時間の短さが問題とされている(1)。配位の維持に関する研究はまだまだ始まったばかりであるが、炉心プラズマとして存続しうするには必須の物理課題である。FRC プラズマはトロイダル電流のみで保持されているが、その電流が流れている平面内にて回転する磁界を印加することにより電流駆動を行えることが理論的にも実験的にも実証されつつある(2)。回転磁界の周波数をイオンのサイクロトロン周波数よりも早く、電子のサイクロトロン周波数よりも低く設定することにより、回転する磁界に対してイオンはスリップするが電子は追従することになる。つまり、回転磁界の印加によって電子によるトロイダル電流の駆動が可能となる(3)。この新しい電流駆動方法を大阪大学の FRC 装置である FIX(FRC Injection eXperiment)装置(4)にて適用し、空間的に局所的な駆動実験を試み、その電流分布の平衡緩和に関する研究を行うことを考えている。実験対象とする FIX-FRC プラズマのパラメーターから計算を行うと、50~100kHz 程度の程度の回転磁界が適当であることがわかった。

本講演では、FIX 装置において電流駆動実験を行うために必要とされる電流を供給可能な高周波大電力電源の開発について発表する。

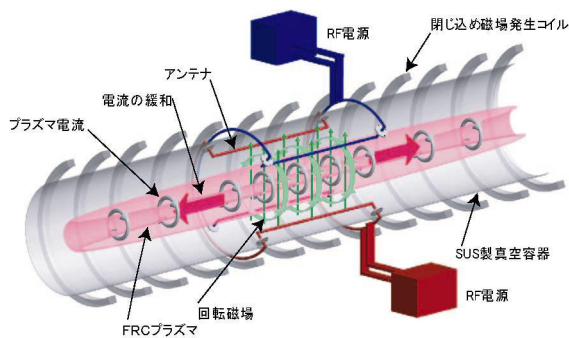


Figure 1 Current Drive of FRC plasma on FIX device

2. インバーター電源と共振回路を用いた大電力発生システム

必要な回転磁界を発生させるためには $\pm 5\text{kA}$ 程度の正弦波電流をアンテナに流す必要がある。そのために、インバーター電源と共振回路を組み合わせた回路により実現することにした。Figure.2に示すように、インバーター回路から出力された方形波は空芯トランスより昇圧された後に、LC共振回路に入力される。LC共振回路のLの部分が負荷のアンテナとなっており、それに対して並列にコンデンサを配置して並列型LC共振回路を構成している。方形波の周波数を共振周波数とすることにより、共振回路にて入力エネルギーは回生、蓄積されるので、比較的小規模のスイッチング回路で、アンテナにて大電流を流すことが可能になる。カップリングは多少悪くなるが、周波数特性等の問題から空芯型のトランスにより昇圧を行っている。

現在、FIX 装置によって生成・保持される FRC プラズマの配位持続時間は 1ms 以下であるので、この高周波電源は ms オーダーで立ち上がる必要があるが、数 ms 程度の放電が可能であれば十分であり、電源の熱負荷は考慮する必要はない。

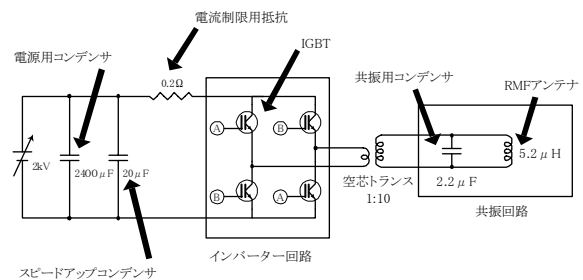


Figure 2 Schematic Layout of Power Supply

3. 実験装置

インバーター回路は IGBT を用いたフルブリッジ型の物を製作した。それぞれのアームには 1200V, 600A の耐圧を持った IGBT(三菱電機製 CM600HU-24F)を 3 直列に接続する事により、必要とされる高電圧大電流を駆動できるようなインバーター回路となった。

ゲート駆動波形は PC 上であらかじめ作っておいた波形を、PC 上に挿してあるデジタルアプトプット回路から出力したものをを用いるようにした。これにより、デューティ比を時間共に変化させる運転が可能になり、運転初期の突入電流の急激な上昇を防ぐことが可能である。

IGBT は直列接続されているために、個々の IGBT のゲート駆動系は絶縁されている必要がある。そのため、PC から出力された駆動信号は、光ファイバー、フォトカプラを通じてゲート駆動回路（三菱電機製 ML57161L-01）に信号を入力されるようになっている。

サージ電圧の抑制のために、個々の IGBT には非充電型 RCD スナバ回路を接続し、各アームには充電型 RCD スナバ回路を接続してある。

ステンレス製真空容器内にアンテナを設置する必要があるが、真空容器との相互インダクタンスによりアンテナの全インダクタンスは減少することになる。有限要素解析を行うことにより、必要とされる磁場を生成するためには $\pm 5\text{kA}$ 程度の電流を流す必要があることがわかった。また、FIX 装置の真空容器内にアンテナを模擬したケーブルを設置して、ステンレス容器内に設置したアンテナのインダクタンスを実験的に計測を行ったところ、ほぼ計算値と一致していることが確認された。次の章で行われる高周波電源の放電実験は、同程度のインダクタンス ($5.2\ \mu\text{H}$) のダミーコイルを用いて行った。

4. 実験結果

予備放電を行って共振周波数を測定した後に、ゲート波形を 45kHz に設定して放電を行った。コンデンサバンクの充電電圧は 2kV に設定しており、理想的には個々の IGBT には耐圧 (1200V) の 55% の電圧が印加されることになるが、素子特性のばらつきやサージ電圧により、 $80\sim 90\%$ の電圧が印加されていることが差動プローブによる計測結果からわかった。Figure 3 に共振回路で得られた電圧波形を示す。 $\pm 10\text{kV}$ がおよそ 1ms で立ち上がっていることがわかる。またこのとき電流は $\pm 5\text{kA}$ 流れており、FRC プラズマの電流駆動実験を行うために必要な電源が開発できたということが出来る。

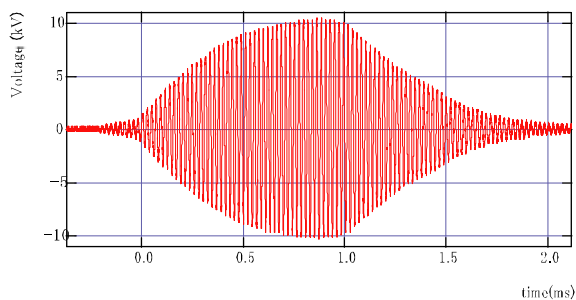


Figure 3 Time history of Voltage on LC Tank Circuit

5. まとめ

インバーター部での出力は $\pm 2\text{kV}$, $\pm 850\text{A}$ であり、共振回路では $\pm 10\text{kV}$, $\pm 5\text{kA}$ であった。このことから、昇圧トランスと共振回路の構成により、電圧、電流ゲインがそれぞれ 5 倍、6 倍であることがわかり、インバーター回路の 30 倍の電力を共振回路に流すことができた。

今後の課題としては、空芯トランスのパラメーターの最適化をした上で、回転磁界を発生させるためにもう 1 組の電源を製作し、2 台の電源を同期運転させることが重要であると考えられる。

文献

- (1) M. Tuszewski: Nucl. Fusion, 28, 2033 (1988)
- (2) H. Y. Guo: Phys. Plasmas, 9, 185 (2002)
- (3) R. D. Milroy: Phys. Plasmas, 6, 2771 (1999)