

# GaN-FET を用いたインバータ電源の製作

○伊藤 康彦<sup>ab)</sup>、中野 治久<sup>ac)</sup>、富里 哲夫<sup>d)</sup>

a) 核融合科学研究所 b) 技術部、c) プラズマ装置学ユニット、d) ㈱ユニオン電機

## 1. はじめに

国際熱核融合炉 (ITER) にて実装が計画されている中性粒子ビーム入射加熱装置 (NBI) があり、これに保守性に優れた高周波負イオン源を適用するための研究開発がおこなわれている。NBI 装置の模式図を図 1 に示す。

NBI の動作を簡単に述べると、イオン源では高周波放電により水素プラズマを発生させ、そこから水素負イオンを取り出し、それを加速した後に電氣的に中性化し、残留したイオンを除去して核融合プラズマに入射し加熱する装置である。

現在イオン源にて水素プラズマ放電を励起するためのアンテナコイルに、高周波電力を供給するインバータ電源 (周波数 500k~4MHz、~60kW 目標) を製作中である。本稿ではインバータ電源のスイッチング素子に GaN-FET を用いた回路基板の設計製作過程においての途中経過を述べる。

## 2. インバータ電源回路

本回路及び周辺回路の構成を図 2 に示し、主要部の動作を説明する。

### 2.1 インバータ回路

フルブリッジ構成のインバータ回路基板は、直流

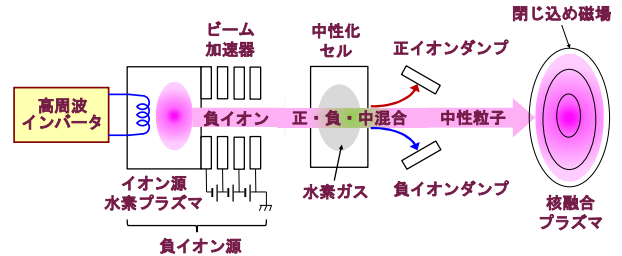


図 1. 中性粒子ビーム入射装置

電源 (最大 600V, 15A) 出力を最高 4MHz の高速スイッチングを行うことにより、アンテナコイルに高周波電流を供給する。スイッチング素子には GaN-FET (Infineon-IGOT60R070D1) を用いる。本素子は高耐圧  $V_{DS}=600V$ 、高電流  $I_{DS}=60A$ 、高速  $V_{DS\_Srew-rate}=200V/ns$  の割に低 ON 抵抗  $70m\Omega$  である。

本基板は Infineon 社の評価基板を参考に改造したもので、変更点を述べる。

- 1) ハイサイド側ゲートドライバ電源の絶縁をトランスから DC-DC コンバータに変更した。
- 2) GaN-FET を過電流保護するため、ドレイン電流をログスキーコイル (1mm  $\Phi$  チューブに 0.2mm  $\Phi$  線を 40 回巻き) にて検出し、しきい値以上で全基板の動作を停止させる。

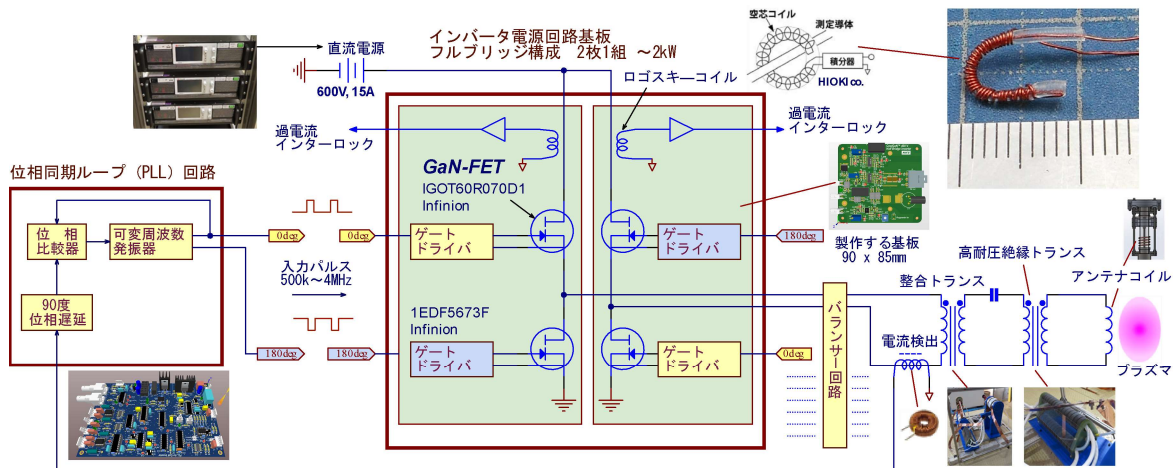


図 2. インバータ電源回路と周辺回路の構成

3) 基板 3 層目が全面高電圧電源電位となっていたものを、GaN-FET と高電圧電源部直下のみにも縮小した。

## 2.2 位相同期ループ (PLL) 回路

プラズマ放電状態の変動により共振周波数が変化すると、負荷に供給する電圧と電流の位相がずれることになる。この時スイッチング素子がハードスイッチング状態となって過負荷で素子が破損に至る可能性が高い。PLL 回路は負荷供給電圧と電流の位相差に応じて内部発振器の周波数を制御し、適切な共振周波数に合わせる。

## 2.3 バランサー回路

本インバータ回路基板は 2 枚 1 組のフルブリッジ構成で出力 2kW 程度までの運用を予定しており、これを 8 並列で一つの筐体に収め、それを 4 並列して出力 60kW を目標としている。

しかし、この様な多チャンネル並列構成では、各基板特性のバラつきにより、チャンネル毎の出力電圧に差が生じ、低い出力電圧の基板に他の基板から電流がコモンモードとして流入し、過負荷状態となる可能性がある。

このアンバランス状態を回避するため、図 3 に示す様にフェライトコアを各チャンネル出力に挿入する。これで電流の偏りはフェライトコアで吸収されるが、その吸収分は電力損失となる。

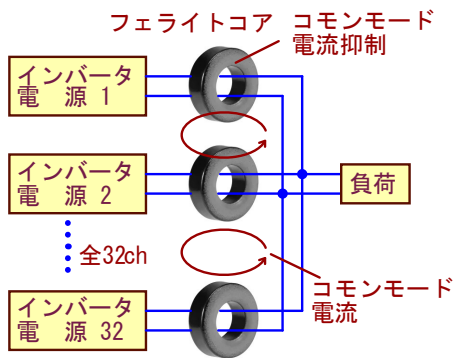


図 3. バランサー回路

## 3. 製作状況

本インバータ回路基板は組み立て中であるため、外観の 3D 画像を図 3、及び図 4 に示す。

基板裏側に実装する GaN-FET の放熱には、ヒートシンクとの間に厚さ 5mm の銅板をヒートスプレッドとして挟み、ハイサイド側素子の絶縁板として熱伝導率がアルミニウムに近い厚さ 1mm の窒化アルミニ

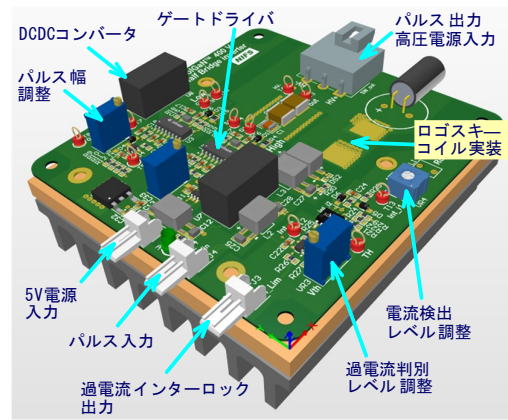


図 4. インバータ回路基板表側

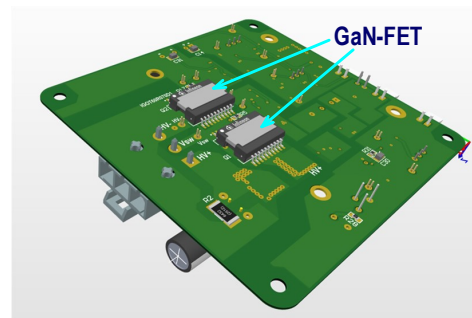


図 5. インバータ回路基板裏側

ウム板を 30mm 角に切断して用いる<sup>[1]</sup>。

ロゴスキーコイルは、基板上のパッドに幅 6mm の銅網線を、GaN-FET ハイサイド側のドレイン接続をバイパスする様にはんだ付けし、その網線に通す。

## 4. まとめ

ITER で実装が計画されている NBI の高周波負イオン源の開発研究で利用するインバータ電源回路を製作中である。最初は 1 組のフルブリッジ回路を製作し、出力 1.5kW、周波数 2MHz を目指す。最終的にはこれを 32 並列して 60kW、4MHz を目標とする。

## 参考文献

- [1] MHz 周波数帯のワイヤレス電力伝送における高出力化・高効率化・伝送距離向上のための要素技術研究、大矢根 蒼、名古屋大学大学院工学研究科博士論文、2023 年 3 月

## 謝辞

インバータ電源設計製作において、株式会社ユニオン電気、富里哲夫氏から多大な技術的アドバイスを頂いたことに感謝する。