

ワイドバンドギャップ半導体スイッチによる 低損失電圧変換回路の開発

電子情報部 ○田村陽一 森田正樹 化学食品部 吉村慶之

1. 目 的

電気・電子機器の電源部には電圧変換回路が内蔵されている。降圧型電圧変換回路の基本構成を図1に示す。半導体スイッチで毎秒数万回のON/OFFのスイッチングを行い降圧するが、スイッチングの瞬間に発生する電力損失が省エネを阻む要因となっている。

本研究では、スイッチング特性が良好であるワイドバンドギャップ(以下WBG)半導体スイッチの入手が容易になったことから、従来型半導体スイッチと比較評価し、WBG半導体スイッチの有用性を確認することを目的とした。

2. 内 容

検証用電圧変換回路と実用電圧変換回路を製作し、電力損失を評価した。

2.1 検証用電圧変換回路

検証用回路としてハーフブリッジ回路を用い、外部の信号発生器から半導体スイッチをON/OFFする制御信号を取り込む構成とした(図2)。入力電圧は直流50V、出力電圧は直流25V、デューティ比は50%とし、出力負荷は50Ωおよび25Ω、スイッチング周波数は25kHz、50kHz、100kHz、250kHz、500kHzとした。半導体スイッチは、従来型ではSTMicroelectronics社製Si(シリコン)-MOSFET(酸化絶縁膜半導体電界効果トランジスタ)STW57N65M5、WBGではUnitedSiC社製SiC(炭化ケイ素)-MOSFET UF3C065040K3S、Transphorm社製GaN(窒化ガリウム)-MOSFET* TP65H050WSを各回路に2個ずつ使用した。

*カスコードの製品を使用したことからGaN-MOSFETと表記した。

2.2 検証用回路における電力損失評価

入力電圧用安定化電源と出力負荷用電子負荷で電力を測定し、出力電力から入力電力を減じた値を半導体スイッチの電力損失とした。図3より従来型半導体スイッチで使われる数十kHz程度のスイッチング周波数で、WBG半導体スイッチによる電力損失は従来型の50%程度であり、半導体スイッチを差し替えるだけでも電力損失を低減できることが示された。それよりも高い周波数では、従

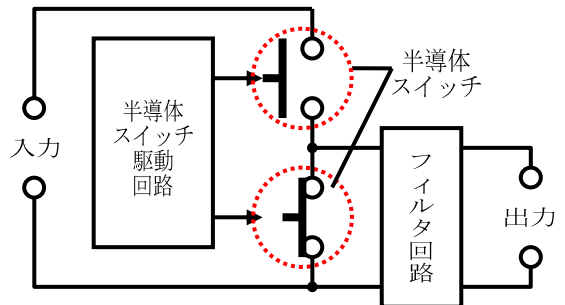


図1 電圧変換回路の構成

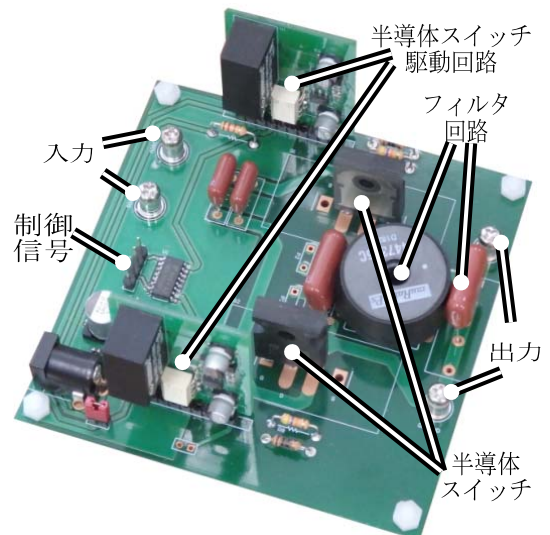


図2 検証用電圧変換回路

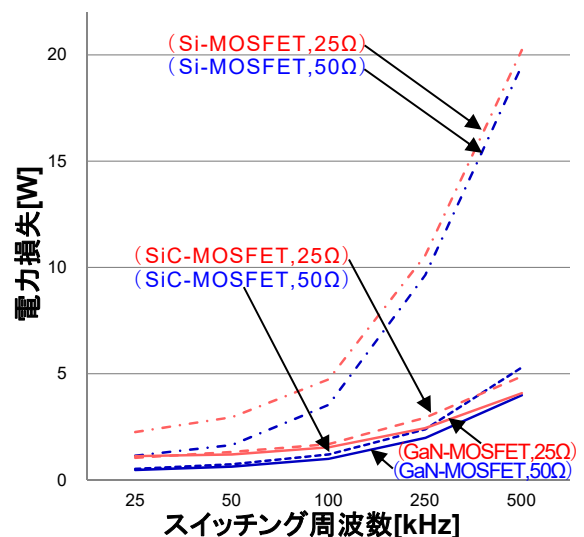


図3 半導体スイッチにおける電力損失

来型半導体スイッチの電力損失は大幅に増加するが、WBG半導体スイッチの電力損失は緩やかに増加し、数百kHzではSiC-MOSFET、GaN-MOSFETの双方で従来型の30%以下の電力損失となり、その有効性が示された。

2.3 実用電圧変換回路

実用回路として3つのハーフブリッジ回路で構成した三相交流インバータ回路(図4)を用いた。19.2kHzのPWM(パルス幅変調)でスイッチングすることで、各相120°位相をずらした正弦波を出力する。入力電圧は直流50V、出力電圧は実効値25V、出力負荷は1kΩを3本使用したデルタ負荷とした。この三相交流インバータ回路に2.1節で使用した従来型半導体スイッチSi-MOSFET、WBG半導体スイッチGaN-MOSFETを6個ずつ挿し替えて比較評価した。なお、WBG半導体スイッチに関しては、SiC-MOSFETは2.1節でGaN-MOSFETより損失が大きかったことから、本節ではGaN-MOSFETのみ評価した。図5にGaN-MOSFETによる出力波形を示す。三相交流のR相、S相、T相が出力され、三相交流インバータ回路が正常に動作していることを確認した。

2.4 実用回路における電力損失評価

入力電力は入力電圧用安定化電源で測定した。出力電力はデルタ負荷の印加電圧をオシロスコープで測定し、一周期分のサンプル値から電力実効値を求めた。電力損失は出力電力から入力電力を減じて求めた。

従来型半導体スイッチの電力損失1.35Wに対し、WBG半導体スイッチの電力損失は0.05Wとなり、従来型半導体スイッチの電力損失で規格化した場合のWBG半導体スイッチの電力損失比は4%となった(表1)。

3. 結 果

検証用電圧変換回路と実用電圧変換回路を製作し、従来型半導体スイッチとWBG半導体スイッチの電力損失の特性を評価した。

WBG半導体スイッチを従来型半導体スイッチから挿し替えるだけで、電圧変換回路の電力損失が従来比で50%以下に低減可能となった。また、実用的な回路として評価した三相交流インバータ回路では、電力損失が従来比で4%に低減可能となった。さらに、WBG半導体スイッチでは、スイッチング周波数とそれに伴うフィルタカットオフ周波数を高く設定できることから、インダクタを含むフィルタ回路の小型軽量化が期待できる。これらの特徴は電源部の低発熱化、小型化、重量削減を可能とし、次世代の電子機器や電力装置に使用されるものと考えられる。

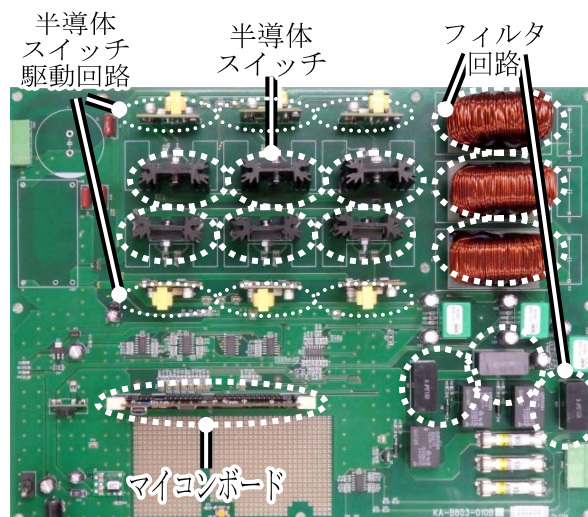


図4 実用電圧変換回路

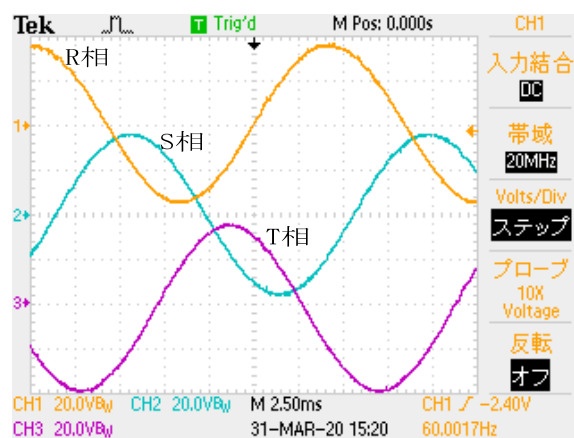


図5 三相交流波形

表1 入力電力，出力電力，電力損失

	入力電力	出力電力	電力損失
従来型半導体スイッチ Si-MOSFET	3.30W	1.95W	1.35W
WBG半導体スイッチ GaN-MOSFET	2.00W	1.95W	0.05W