

縦型 GaN パワーデバイスを用いた昇圧コンバータ

恩田敬治^{*1}, 林 伸亮^{*1}, 恒川雄一^{*1}

Boost Converter Using Vertical GaN Power Devices

Keiji Onda^{*1}, Nobuaki Hayashi^{*1}, Yuichi Tsunekawa^{*1}

1. はじめに

近年、SiC や GaN などのワイドバンドギャップ半導体の実用化が進められている。縦型構造の GaN パワーデバイスは従来の Si パワーデバイスと比較し、高周波スイッチング回路において低損失化や電磁ノイズ低減などの効果が期待できる。

豊田合成で開発中の縦型 GaN パワーデバイスを用いた高周波の昇圧コンバータを設計開発した。今回その省エネ性や電磁ノイズの低減効果について紹介する。

2. 昇圧コンバータと計測方法

回路を図-1に、外観を図-2に、回路定数を表-1にそれぞれ示す。制御方式は、電圧フィードバック型 PWM 制御である。回生用ダイオード D には、縦型 GaN-Schottky Barrier Diode (SBD)¹⁾ 又は Si-Fast Recovery Diode (FRD) を使用した。スイッチング周波数を 500kHz ~ 800kHz の範囲で変化させた。高周波化による損失増加を抑えるため、高周波特性の良い部品を選定し、回路インピーダンスを下げる工夫をプリント基板設計に盛り込んだ。

動作モードは回生用ダイオード D の逆回復性能差を分かり易くするために、コイル電流を連続モードでハードスイッチングさせた。ダイオード電流の測定はカレントプローブ (Tektronix 社: TCP0030A) を、電力の測定にはパワーメーター (横河電機 (株): WT1800) を使用した。

放射ノイズレベルは、CISPR25 (車載機器の放射妨害波測定法) に準拠して測定した。図-3は、電波暗室内において昇圧コンバータを 500kHz のスイッチング周波数で動作させた時の放射ノイズの測定風景である。

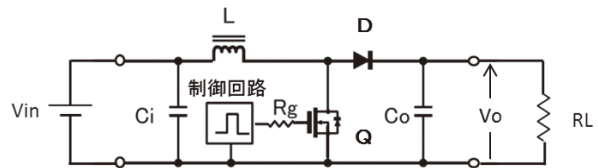


図-1 回路

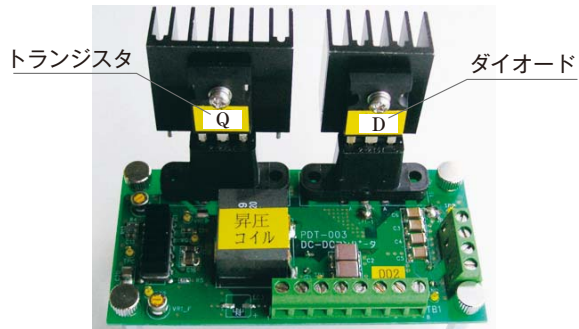


図-2 外観

表-1 回路定数

項目	定格・仕様	
入力電圧	V_{in}	DC12 ~ 100V
出力電圧	V_o	DC150 ~ 500V
昇圧コイル	L	29 μ H
ゲート抵抗	R_g	10 Ω
トランジスタ	Q	1200V/20A
ダイオード	D	600V/50A
周波数	f	500kHz ~ 800kHz

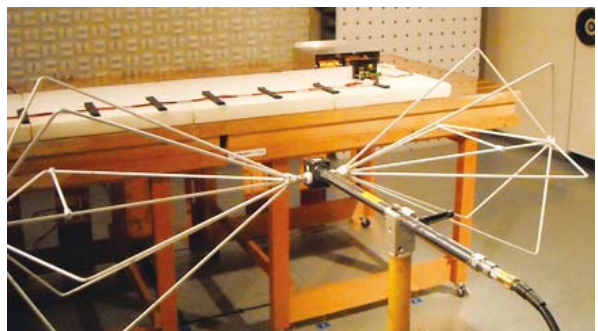


図-3 放射ノイズ測定

*1 商品開発部 電子技術室

3. 計測結果

図-4 にスイッチング動作時のダイオード D の電流波形を示す。逆回復特性の計測条件は、 $di/dt = -500A/\mu s$, $T_a = 25^\circ C$ である。GaN-SBD は Si-FRD と比べて、リカバリー電流 I_r のピークが $-10.4A$ に対して $-3.8A$ と約 60% 低くなっている。逆回復時間 t_{rr} も $28ns$ に対して $16ns$ と約 50% 短くなっている。GaN-SBD の逆回復電荷 Q_{rr} は Si-FRD と比べて約 80% 少ない。いずれも GaN-SBD の高速性が良いことを示す結果になっている。

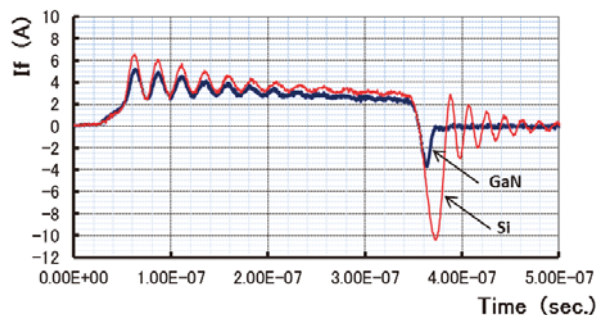


図-4 ダイオード電流波形

図-5 に、GaN-SBD 又は Si-FRD を使用した場合の昇圧コンバータの電力損失を示す。GaN-SBD を搭載した回路は Si-FRD を搭載した場合と比べて、スイッチング周波数 $500kHz \sim 800kHz$ の範囲において、電力損失が約 35% ~ 50% 低減している。これは、リカバリー電流 I_r に起因するダイオード D のリカバリー損失低減と、リカバリー電流 I_r がスイッチングデバイス Q に流れることにより発生するスイッチング損失の低減効果が大きいことを示している。

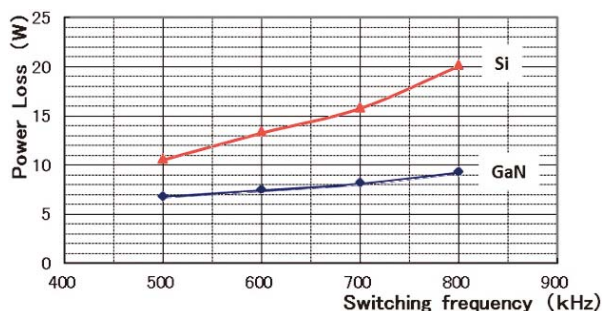


図-5 回路の電力損失

図-6 に周波数 $30MHz \sim 200MHz$ の放射ノイズの計測結果を示す。GaN-SBD を搭載した回路は、周波数 $30 \sim 50MHz$ 及び $60MHz$ 近辺で約 $5 \sim 10dB \mu V/m$ 放射ノイズが低減している。放射ノイズ面においても GaN-SBD が有利である

ことがわかる。これは図-4 に示すように、Si-FRD のリカバリー電流が $13.5A_{p-p}/20 \sim 40MHz$ の減衰振動をしながらゼロに収束しているのに対して、GaN-SBD のリカバリー電流がほぼ振動無くゼロに収束しているため、この帯域の放射ノイズが低減したものと推測される。また、この電流振動の低減は、GaN-SBD の接合容量と回路インピーダンスとの整合によるものである。

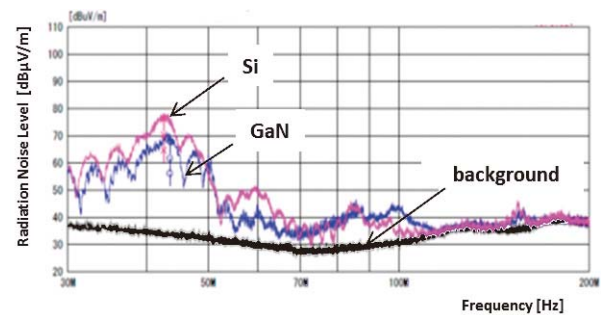


図-6 放射ノイズ

4. まとめ

縦型 GaN パワーデバイスを用いた昇圧コンバータの性能評価を行った。その結果、省エネ性能と放射ノイズ性能が Si パワーデバイス比べて良好であることを確認した。

謝辞

パワーデバイスをご提供頂いた研究開発部の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) Nariaki Tanaka, Kazuya Hasegawa, Kota Yasunishi, Noriaki Murakami, Tohru Oka : "50A vertical GaN Schottky barrier diode on a free-standing GaN substrate with blocking voltage of 790V", Applied Physics Express 8, pp.071001 (2015)

著者



恩田 敬治



林 伸亮



恒川 雄一