

パワーデバイスの実動作時における導通損失測定システムの開発

村上秀徳*, 貞森裕也**, 長井 聡***

Development of Conduction-Loss Measurement System for Power Device at Real Operating Condition

Hidegori MURAKAMI*, Yuya SADAMORI**, and Satoshi NAGAI***

In recent years, next generation SiC(Silicon Carbide) power devices became to be in practical use. Measurement methods of switching losses of these devices were already developed and applied. But measurement method of conduction losses at real operating conditions are not established. At real operating conditions, off-state voltages are relatively high, and on-state voltages are low. It is difficult to measure low voltage accurately between high voltage.

In this paper, the authors proposed novel measurement system of conduction losses at real operating conditions.

Key Words : Power Device, Conduction Loss, A/D Converter, Resolution

1. はじめに

近年, 新材料を使った次世代パワーデバイスのSiC(炭化ケイ素)デバイスが実用化され, さらにその次の世代のGaN(窒化ガリウム)デバイスに注目が集まっている. これらの新形デバイスおよび従来のデバイスについてもスイッチング損失の測定方法は確立しているものの, 実動作時の導通損失を正確に測定する方法は確立されていない. そこで, 本報告ではインバータ・コンバータ回路を変更することなく実際の動作時の導通損失を正確に測定するシステムの開発を目指す.

2. 導通損失測定の問題点

電力変換システムに使用されるパワーデバイスはオンかオフかのいずれかの状態にあり, オフ時には数10から数1000Vの電圧が印加される一方, オン時の電圧は数V程度となる. 例えばオフ電圧250V, オン電圧2.5Vを同時に測定するために8ビット分解能のデジタルオシロスコープを使うとすれば, 1LSBの電圧は1V程度となり, オン電圧の正確な測定は不可能である¹⁾. 一方, 1LSBを10mV, フルスケール2.55Vとすると, オフ時にはフルスケルを

大幅に超える電圧が印加されるため, 応答の遅れによる測定誤差増加, あるいは回路の破壊の可能性がある. そのため, オフ時の高電圧をカットし, オン時の電圧をそのまま出力し, 導通損失を高精度で測定可能とする回路の開発を目指す.

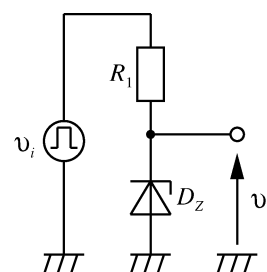


Fig. 1 Measurement Circuit using Zener Diode

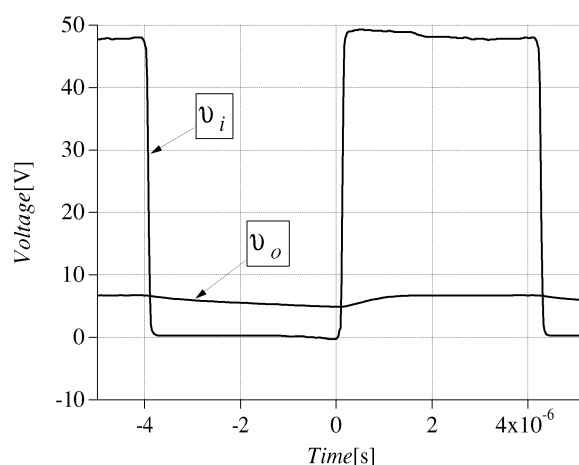


Fig. 2 Measured Waveforms of Fig. 1

原稿受付 平成21年8月31日

* 平成20年度電気工学科卒業(現在(株)デンソー勝山)

** 電気電子工学科4年在学中

*** 電気電子工学科

3. 試作回路 1

最初に Fig. 1 に示す, 最も簡単なツェナダイオードを使った回路で測定を行った. Fig. 2 に動作波形を示す. また, Fig. 3 に信号源として使用した SEPP インバータ回路を示す. S_1 , S_2 には MOSFET を使用している. Fig. 2 において v_i が SEPP インバータの出力電圧波形で, S_2 電圧に等しい. v_o は回路 1 の出力電圧波形であり, オフ時の高電圧はカットできているが, オン時の電圧に全く追従できておらず, 実用にならないことが明らかである.

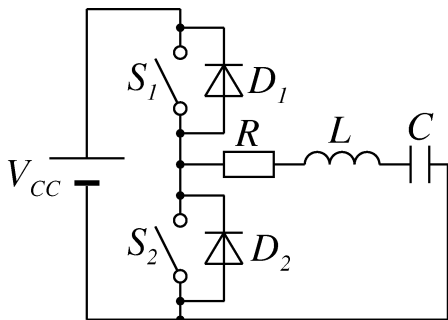


Fig. 3 SEPP Inverter Circuit

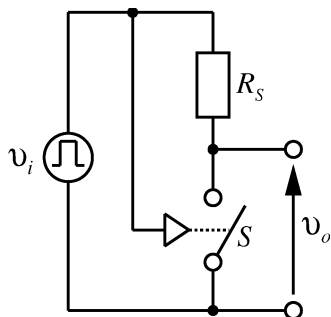


Fig. 4 Block Diagram of Circuit 2

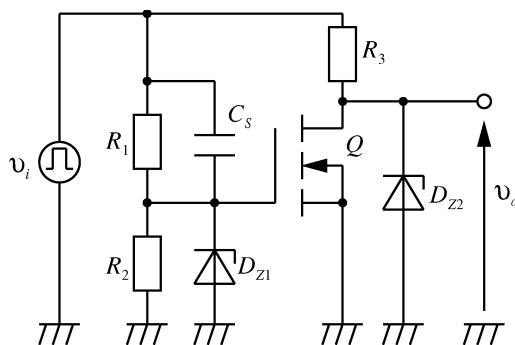


Fig. 5 Circuit Diagram of Circuit 2

4. 試作回路 2

Fig. 4 にスイッチ素子を 1 個用いた試作回路 2 のブロック図を示す. この回路では, 入力が高電圧の期間はスイッチ S をオンし, 出力電圧を 0 にする. この期間, 直列抵抗 R_s には電流が流れるため, 損失が発生する. 入力が低電圧の期間はスイッチ S をオフし, R_s を通して入力電圧をそのまま出力する. Fig. 5 に実際の回路図を示す. C_s はスピードアップキャパシタ, D_{z1} はゲートの過電圧保護用のツェナダイオード, D_{z2} は Q の応答遅れによる過電圧を抑制する.

Fig. 6 に C_s が無い時の, Fig. 7 に C_s を接続した時の Q のゲート波形を示す. インバータ回路は Fig. 3 に示すものを使用している. これらを比較すると, C_s による応答速度の改善効果が大いことが分かる.

Fig. 8 に C_s を接続した試作回路 2 の出力波形を示す. この波形より, 原因は不明であるが, 回路が期待通りの動作をしていないことが分かる.

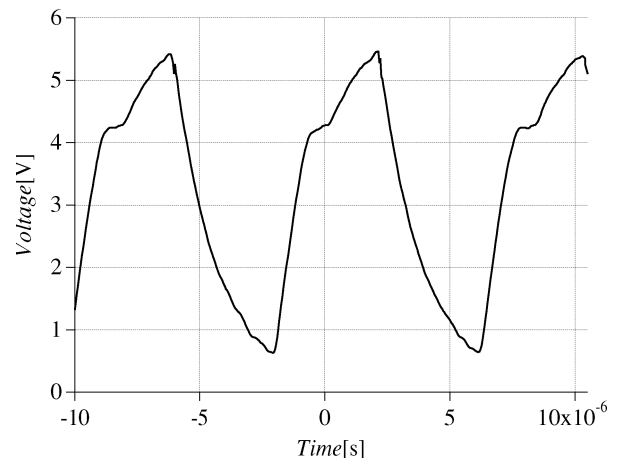


Fig. 6 Gate Waveform without C_s

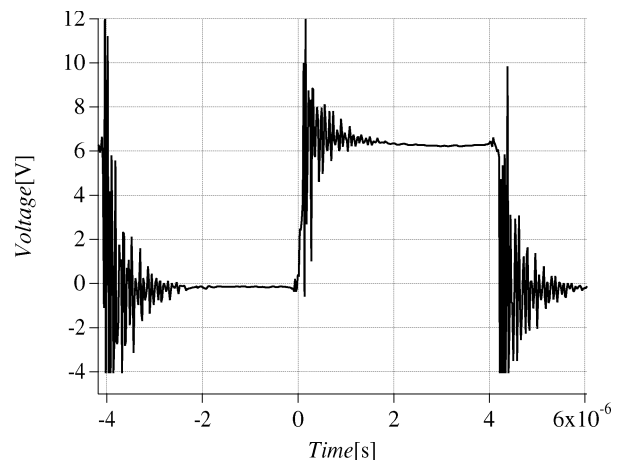


Fig. 7 Gate Waveform with C_s

5. 試作回路 3

Fig. 9にスイッチ素子を2個用いた試作回路3のブロック図を示す。この回路では、入力が高電圧の期間はスイッチ S_H をオフ、 S_L をオンし、出力電圧を0にする。入力が高電圧の期間はスイッチ S_H をオン、 S_L をオフし、入力電圧をそのまま出力する。

Fig. 10に具体的な回路図を示す。入力信号をシュミットトリガ74HC14で整形し、ゲートドライバTC4428²⁾を通してブリッジドライバIR2110³⁾により2個のMOEFETを駆動する。 C_s は回路2と同様にス

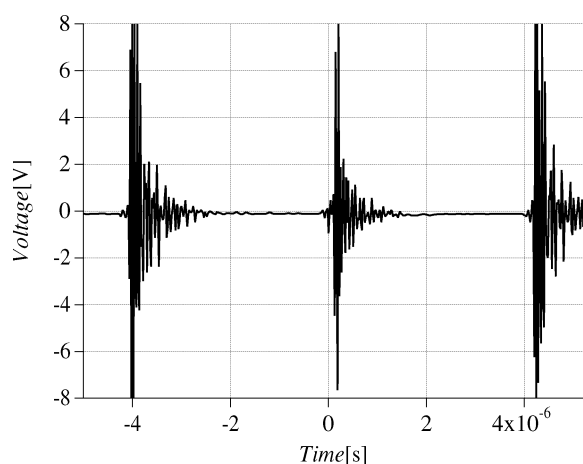


Fig. 8 Output Waveform of Circuit 2

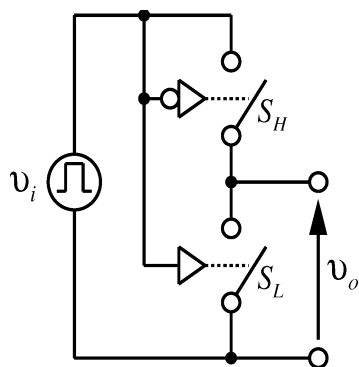


Fig. 9 Block Diagram of Circuit 3

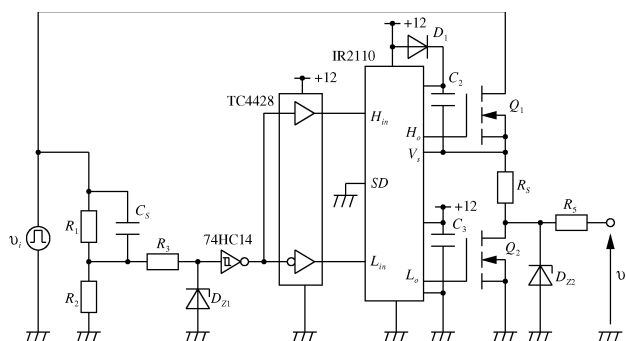


Fig. 10 Circuit Diagram of Circuit 3

ピードアップキャパシタである。 R_s は Q_1 と Q_2 の短絡電流および D_{z2} 電流の制限用である。なお、この R_s には連続して電流は流れず、スイッチングの瞬間のみ流れるため、損失に関する考慮は不要である。 Q_1 と Q_2 の応答には遅れがあり、サージ電圧を抑制

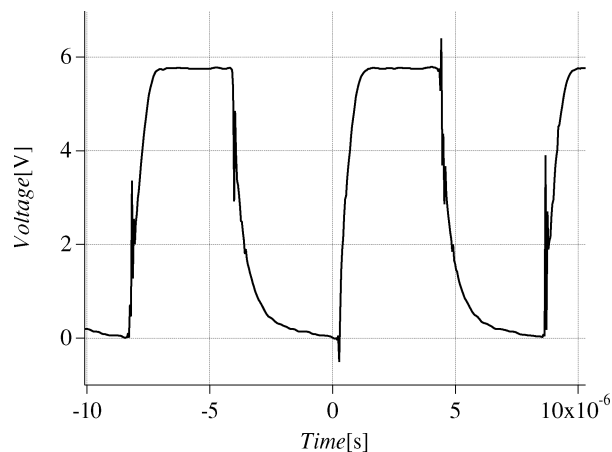


Fig. 11 Input Waveform of 74HC14 without C_s

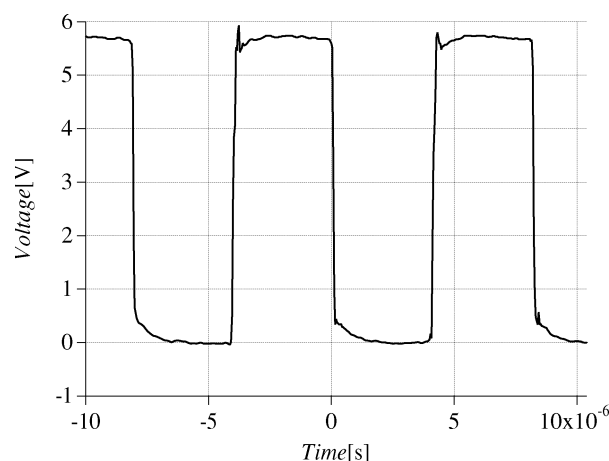


Fig. 12 Input Waveform of 74HC14 with C_s

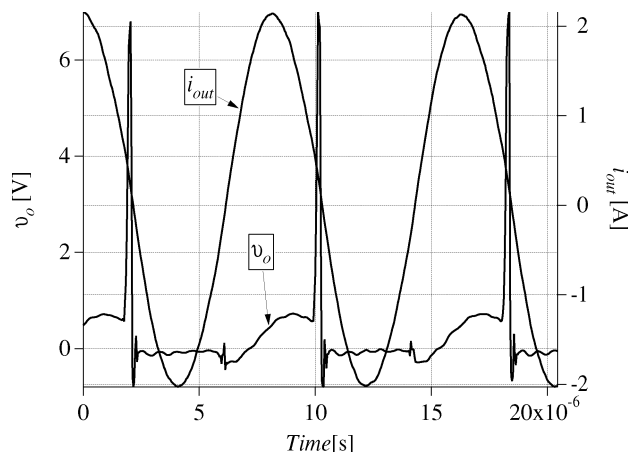


Fig. 13 Output Waveform of Circuit 3 and Inverter Output Current Waveforms

するため D_{Z2} は必須である。

Fig. 11 に C_s が無い時の、Fig. 12 に C_s が無い時の 74HC14 の入力波形を示す。これらの波形より、試作回路3においても C_s の効果が大きいことが分かる。

Fig. 13 にインバータ出力電流 i_{out} と試作回路3の出力波形 v_o を示す。インバータ回路の負荷は直列共振回路であるため出力電流はほぼ正弦波となっている。

回路3の出力波形 v_o には回路の応答遅れによるサージ電圧が発生しているが、 D_{Z2} により 7V 程度に制限されており、損失測定時の精度に与える影響は

少ない。Fig. 14 には Fig. 13 の拡大波形を示す。信号源として使用したインバータのスイッチ素子は MOSFET であるので、オン電圧は電流に比例することが予想されるが、概ねその傾向が見られる。しかし、波形の歪み・振動・時間遅れ等が見られるため、改善の余地がある。この波形より、導通期間のみを切り出して1秒当りの損失を計算すると 0.29W となった。一方、MOSFET のオン抵抗と出力電流から損失を概算すると 0.4W 程度となり、比較的測定結果の近い値であると言える。

6. ま と め

本報告では、3種類の回路の試作実験を行い、そのうち1つが実用可能であることが明らかとなった。試作実験に用いたIC素子は本報告の目的に合致するように設計されていないため、測定結果には改善の余地がある。

今後は最適な回路をディスクリート素子などで実現し、より精度の高い回路システムの開発を目指す。

参 考 文 献

- 1) 例えばテクトロニクス(株) DPO7000 シリーズ仕様書など、テクトロニクス(株)ホームページ
- 2) TC4428 Datasheet, Microchip Technology Inc.
- 3) IR2110 Datasheet, International Rectifier

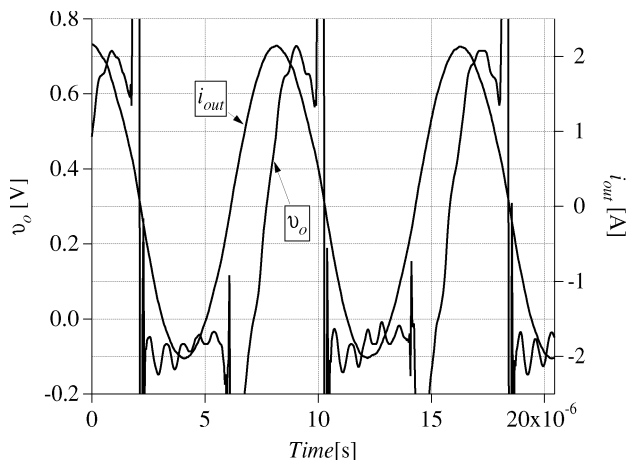


Fig. 14 Expanded Waveforms of Fig. 13