

超高速スイッチング素子駆動方式の検討

◎矢島哲志 野口季彦（長岡技術科学大学）

1. はじめに

MOSFET はゲート入力容量を高速に充放電することによって、高速スイッチングを実現することができる。しかし、高耐圧の素子になるほど入力容量は大きくなり、高周波動作が困難になる⁽¹⁾。将来実用化される SiC-MOSFET では固有の物性値も相俟って、入力容量の更なる高速充放電が必要である。本稿ではこのような超高速スイッチング素子の駆動方式について計算機シミュレーションで検討したので報告する。

2. 動作原理

〈2・1〉 インダクタ方式

図 1 にプッシュプル形のゲートドライブ回路にインダクタを付加した回路を示す。制御信号がオフ状態のとき (Q1, Q2, Q5 : オフ, Q3, Q4 : オン), E1-L1-Q4-R6 の経路で L1 にエネルギーが蓄えられる。制御信号がオン状態に切り換わったとき (Q1, Q2, Q5 : オン, Q3, Q4 : オフ), L1 に蓄えられていたエネルギーが R7-ZD1 を通り入力容量に転送される。主素子と電源との間で $E1 > V_{gs}$ の関係を保つことで, ZD1 により同経路での電源側への逆流は起らない。オン状態からオフ状態へ切り換わったときには, E2, L2, Q5, R6, R8, ZD2 で同様の動作を行う。

〈2・2〉 補助電源方式

図 2 にプッシュプル形のゲートドライブ回路に補助電源を付加した回路を示す。制御信号がオン状態 (Q1, Q2 : オン, Q3 : オフ) になると Q4 がオン状態になり, E3 が E1 に重畳する。R6-C1 の微分回路の時定数で決まる一定時間が経過すると Q4 がオフ状態になり, E3 は重畳されなくなる。制御信号がオフ状態 (Q1, Q2 : オフ, Q3 : オン) になると, オン状態にある Q5 によって E4 が E2 に重畳する。R7-C2 の積分回路の時定数による一定時間が経過したら Q5 がオフ状態になり, E4 は重畳されなくなる。

3. 計算機シミュレーションによる検証

提案した 2 方式の有効性を確認するため, 内部ゲート抵抗 $R_g : 1.9 \Omega$, 入力容量 $C_{iss} : 2000 \text{ pF}$ の MOSFET を RC 直列回路で模擬し, 計算機シミュレーションにより動作検証を行った。インダクタ方式でのシミュレーション条件は, 制御信号 : 5 MHz/Duty 50%, 電源電圧 E1, E2 : 8 V, ゲート抵抗 R3, R4 : 1.5 Ω , インダクタ L1, L2 : 0.15 μH , 制限抵抗 R6, R7, R8 : 1.5 Ω , 3.3 Ω , 3.3 Ω , ツェナー電圧 ZD1, ZD2 : 36 V とした。補助電源方式でのシミュレーション条件は, 制御信号 : 5 MHz/Duty 50%, 電源電圧 E1, E2 : 8 V, ゲート抵抗 R3, R4 : 1.5 Ω , 補助電源電圧 E3, E4 : 12 V とした。電源電圧, ゲート抵抗を同一条件とし, 提案回路を付加していない従来のプッシュプル形ゲートドライブ回路を比較対象とした。

図 3 に C_{iss} の電圧波形を示す。従来法のターンオン時の -6.4 V から 6.4 V までの立ち上がり時間を 100% とする

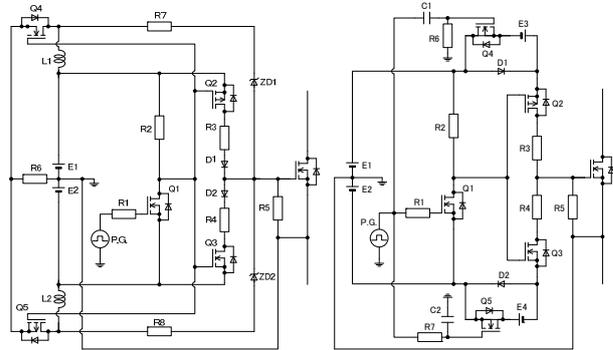


図 1 インダクタ方式

Fig.1. Inductor energy storage method.

図 2 補助電源方式

Fig.2. Auxiliary power supply method.

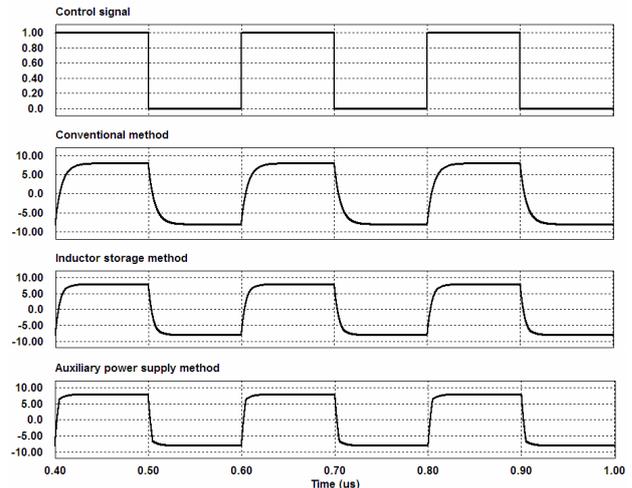


図 3 Ciss の電圧波形のシミュレーション結果

Fig.3. Simulation results of Ciss voltage waveform.

と, インダクタ方式では 66.5%, 補助電源方式では 30.2% となった。MOSFET を RC 直列負荷で模擬しているので立ち下がりも同様である。どちらの提案回路でも従来法より立ち上がり, 立ち下がりが速くなるのがわかる。

4. まとめ

本稿では超高速スイッチング素子の駆動方式について計算機シミュレーションで検討した。インダクタ方式を適用することにより MOSFET のゲート充放電時間を 2/3 に, 補助電源方式を適用することにより 1/3 に短縮できることを確認した。

参考文献

- (1) 小松, 野口:「高周波 EMI ノイズを低減する超高速スイッチング素子駆動回路の開発」, 電学 SPC, Vol.SPC-07, No.11-20, Page43-48, 2007.01.26
- (2) 稲葉:「パワー-MOSFET 活用の基礎と実際」, 第 3 版, CQ 出版, 2007