

単純なモデルにひと工夫加えて
ゲート・チャージ特性を実物に近づける

正確なスイッチング損失がわかる パワー MOSFET の SPICE モデル作成術

堀米 毅

Tsuyoshi Horigome

● パワー MOSFET の正確な損失予測にはリアルな SPICE モデルが必要

いまや、スイッチング電源やインバータを作るときは、無駄な電力(損失)をできるだけ出さないエコに配慮するのが常識でしょう。

損失は、パワー MOSFET、ダイオード、コイル、コンデンサなどさまざまな部品から発生します。中でもパワー MOSFET の損失は大きな割合を占めます。スイッチングするパワー MOSFET の損失は主に次の2種類です。

- (1) スwitching 損失：ON と OFF の入れ替わりに発生
- (2) 導通損失：ON している間に発生

最近では、パワー MOSFET のオン抵抗が数 m ~ 数十 mΩ にまで低下しているため、導通損失はそれほど問題ではなくなりました。もっぱらスイッチング損失を下げる努力が行われています。

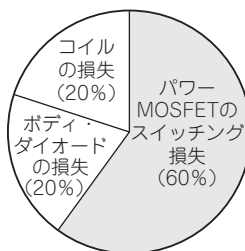
スイッチング損失は、LTspice などの SPICE 系シミュレータを使った予測が有効です。しかし、現在広く使われている一般的な MOSFET の SPICE モデルは、実際のデバイスを正確に表現していないため、シミュレーション結果の精度がよくありません。

スイッチング損失の計算を誤ることは、温度上昇の予測を間違えることになるので、放熱器を必要以上に小さく見積もったり、熱に弱い部品を近くにレイアウトしたりして、回路の寿命を縮めてしまいます。

図1は、入力電圧12V、出力電圧30V、出力電流0.2Aの昇圧型スイッチング電源の損失の要因とその割合を示した一つの例です。図1(a)は実機、図1(b)はシミュレーション結果です。実機(実測)では60%を占めているスイッチング損失が、シミュレーションでは全体の22%しか占めていません。

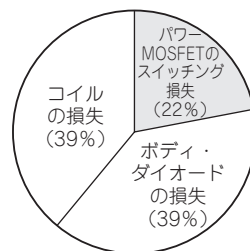
図1の原因は、広く出回っているシンプルな構造の SPICE モデル (LEVEL = 3) を使っているからです。このモデルは、ゲート電圧にミラー容量が依存

●損失の合計250mW



(a) 実機

●損失の合計128mW



(b) シミュレーション結果

図1 実機とシミュレーションではスイッチング損失の占める割合が大幅に異なる

表1 二つのパラメータ C_{GSO} と C_{GDO} がゲート・チャージ特性に影響を与える

モデル・パラメータ名	モデル・パラメータの内容	デフォルト値 [F/m]
C_{GSO}	チャネル幅1mあたりのゼロ・バイアス・ゲート-ソース間容量	4.0×10^{-11}
C_{GDO}	チャネル幅1mあたりのゼロ・バイアス・ゲート-ドレイン間容量	1.0×10^{-11}

しない線形特性になっています。このほうが計算量が少なく、CPUが非力でも速く確実に答えを導けます。しかし、実際のパワー MOSFET は、ミラー容量がゲート電圧に対して非線形に変化します。最近の CPU の性能であれば非線形な計算など簡単です。リアルな SPICE モデルで計算しなせば、より実際に近いスイッチング損失を計算で求めることができます。

単純な SPICE モデルは 使いものにならない

- ミラー容量が固定だからスイッチング損失の計算結果が実物とかけ離れる

ミラー容量は、二つのパラメータ C_{GSO} 、 C_{GDO} (表1)