

パワーデバイスの開発期間の短縮と高性能化を可能にする高精度回路シミュレーション技術

Accurate Circuit Simulation Technique for Enhancing Performance and Shortening Development Period of Power Devices

回路シミュレーションで、パワーデバイスの電力損失や動作波形の詳細な分析・評価を実現

パワーデバイスなどの部品は、電気製品の消費電力を大きく左右するため、使用状態を想定した比較評価が繰り返し行われます。

東芝は、パワーデバイスの開発効率と性能の向上を目指し、デバイスが搭載される電気回路に対して高精度に電力損失を分析できる回路シミュレーション技術を開発しました。この技術を用いることで、実際の回路では測定しにくい、任意のポイントでの電圧・電流波形をシミュレーションでき、電力損失の要因を定量的かつ詳細に分析・評価できるようになりました。

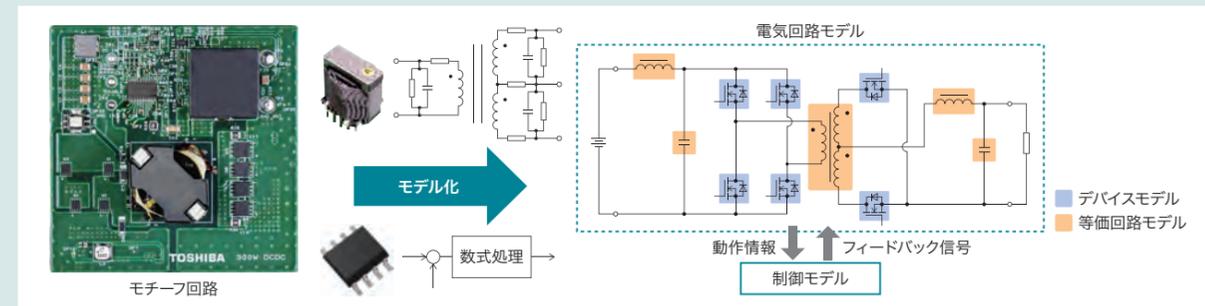


図1. 開発した回路シミュレーション技術の概要

実際の回路動作を再現する電気回路モデルと制御モデルで、構成されています。

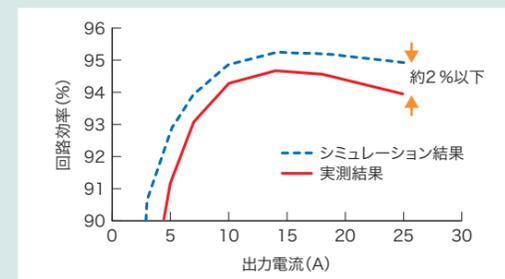


図2. 回路効率のシミュレーション結果と実測結果の比較

誤差約2%以下の高い精度で、回路シミュレーションが可能です。

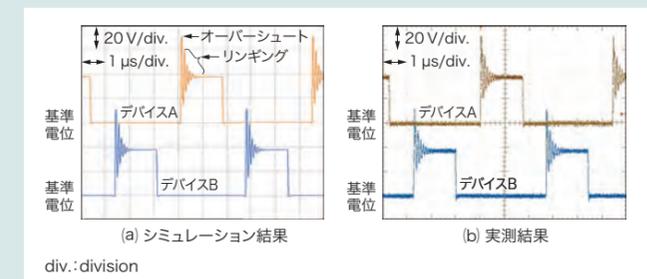


図3. デバイスに掛かる電圧波形の比較

実測結果に近い電圧波形のシミュレーション結果が、得られました。

はじめに

SDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標)⁽¹⁾に代表される国際的な目標や顧客ニーズに基づいて、省エネや小型・軽量化などに配慮した、完成度の高い製品が求められています。製品の消費電力の低減には、電気回路や、回路に搭載するパワーデバイスなどの性能が深く関係しています。

通常、部品の開発では、部品を回路に実装して評価することで、回路に適した特性を決定します⁽²⁾。したがって、同様な評価がシミュレーションで実現できれば、部品の試作回数の削減や開発期間の短縮といった開発効率の向上だけでなく、高性能化も可能になります。

東芝は、パワーデバイスの開発効率と性能の向上を目指し、高精度に電力損失を分析できる回路シミュレーション技術を開発しました。

開発した回路シミュレーション技術

図1に、開発した回路シミュレーション技術の概要を示します。モーターとした回路は、東芝デバイス&ストレージ(株)が公開している電源回路の300W絶縁型DC(直流)-DCコンバーター⁽³⁾です。一般的な回路シミュレーション

ンでは、設計した回路動作の確認や、熱設計に用いる発熱のオーダーを見積もればよく、電力損失における実測値との差は数十%程度まで許容されます。一方、部品変更に伴う僅かな差異を比較評価するためには、実測値との差は数%程度であることが求められます。

そこで今回、電気回路モデルの構築にあたり、動作電圧・電流波形を精度良く再現できる回路部品の等価回路モデルを開発するとともに、東芝グループが開発した高精度なデバイスモデルを採用しました。更に、実際の回路動作を再現して電力損失のシミュレーション精度を高めるために、制御モデルを追加しました。

部品の等価回路モデルは、DC成分からパワーデバイスのスイッチング周波数よりも1桁以上高い周波数成分まで、広い帯域にわたってインピーダンス特性を測定し、その結果を再現するように寄生インダクタンスや抵抗を組み合わせて作成しました。広帯域のインピーダンス特性が必要な理由は、パワーデバイスのスイッチング動作に伴って、様々な周波数成分の電圧と電流が発生するためです。個々の部品モデルが完成した後、実際の回路と同じ構成となるように各部品を接続し、更に実測結果と同じ電圧・電流波形を得るために、部品間の配線インピーダンスも考慮して電気回路モデルを構築しました。

また、制御によって決まる回路動作は、効率や電圧・電流波形に影響します。このため、制御モデルはスイッチング周波数だけでなく、動作遅延も考慮した構成としました。ここで、演算時間の増加を抑制するために、過電流保護をはじめとする電力損失の分析に影響を与えない回路は排除するなどの工夫も取り入れました。これにより、精度を損なわずに、実用的な時間でシミュレーションができるようになりました。

シミュレーション精度の評価

モーター回路でのシミュレーション精度を、実測結果と比較して評価しました(図2)。出力電流に対する、回路効率の変化の様子が実測結果と一致し、約2%以下の誤差を実現しました。また、制御モデルにより、スイッチングのタイミングがほぼ同じパルス状の波形だけでなく、パワーデバイスの耐圧に関するオーバーシュートや電磁ノイズに関するリングングについても実測結果に近い波形が得られ、回路シミュレーションの精度が十分であることが分かりました(図3)。

これらの結果から、実際の回路を用いて測定することなく、シミュレーションで回路上の任意のポイントで瞬間的に生じる現象を見積もることが可能になりました。これにより、電力損失の要因を定量的かつ詳細に分析・評価できます。

今後の展望

今後、開発したシミュレーション技術を用いて、パワーデバイスの開発期間の短縮と更なる性能向上を目指します。また、電源回路のモーターも順次増やしていきます。更に、配線間の電磁界結合などを取り込み、オンボード電源などで生じる電磁ノイズに対して早期に対策手法を提案できる環境の整備も進めていきます。

文献

- (1) 外務省, "JAPAN SDGs Action Platform". 外務省. <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/index.html>>, (参照 2020-08-06).
- (2) 東芝デバイス&ストレージ, "U-MOSIX-Hシリーズはスイッチング電源の効率向上に最適な製品". 12V-300V MOSFET. <<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/product/mosfets/12v-300v-mosfets/articles/the-u-mos9-h-series-are-the-ideal-mosfets-for-improving-the-efficiency-of-switched-mode-power-supplies.html>>, (参照 2020-08-06).
- (3) 東芝デバイス&ストレージ, "300W 絶縁型DC-DCコンバーター". リファレンスデザインセンター. <https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/design-development/referencedesign/articles/300w-Isolated-dc-dc_powermanagement_rd024.html>, (参照 2020-08-06).

長谷川 光平

生産技術センター 電子機器・実装・制御技術領域 制御技術研究部
IEEE・電子情報通信学会会員