

パワーモジュールの設計に関わる配線表皮効果のコンパクトモデリング

Busbar Skin Effects Modeling for Power Modules

産総研¹ ○福田 浩一¹, 服部 淳一¹, 佐藤 佳宏¹, 佐藤 弘¹, 山口 浩¹

AIST¹, ○Koichi Fukuda¹, Junichi Hattori¹, Yoshihiro Sato¹

Hiroshi Sato¹, Hiroshi Yamaguchi¹

SiC のパワーモジュールでは、10 ナノ秒に 100A オーダーの電流を流すポテンシャルを持っており、モジュール配線の寄生効果の影響が懸念される。配線内を流れる電流が表皮効果の影響を受けるため、モジュール設計ではそれらの見積りがキーとなる。高周波回路ではこれを周波数空間でモデル化するが、パワーモジュールのスイッチングでは経時変化として捉える必要がある。我々は表皮効果が電流密度分布の変化が、電磁界の進入による拡散現象として表わせることを元に、経時変化を見積るためのコンパクトモデル化を目指す検討を行なった。

Fig.1 に電磁界シミュレータを用いて、銅配線に 100A の電流を流した場合の厚み方向の電流密度分布の経時変化を示す。配線厚さ方向の分布は表皮効果により、一様に流れるまでに約 $1\mu s$ を要している。この図に見られるように、電流密度分布は表面から配線内部に侵入するが、それは Maxwell 方程式から得られるように電磁界の拡散として捉えることが可能である。Fig.2 に拡散に基づくコンパクトモデルの描像を示す。電流が表皮に沿って伝導することは表皮効果に比べて桁違いに高速なため、表皮全体に電流が注入され、それが拡散して配線内部に浸透していくと考えた。Fig.3 にこのようにして求めた厚み方向の電流密度分布の経時変化を示す。Fig.1 の電磁界シミュレーションによる電流密度分布の経時変化をよく捉えている。電流分布がある配線のインダクタンス・抵抗は、配線を細かく分割して積算する手法を用いた[2]。Fig.3 の平行配線について次元近似、電磁界計算の両者から、その手法で求めたインダクタンス・抵抗を Fig.4 に示す。このように表皮効果を拡散現象と捉えることで、電流分布や寄生効果の経時的な見積りが可能である。

本研究は総合科学技術イノベーション会議の SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「次世代パワーエレクトロニクス/SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」(管理法人：NEDO)により実施されました。

- [1] S. Sato et al., "Characteristics of a Wire-Bonding-Less SiC Power Module Operating in a Wide Temperature Range," ECS Trans., vol. 69, no. 11, pp. 123-132, 2015.
- [2] Cletus Hoer, and Carl Love. "Exact Inductance Equations for Rectangular Conductors With Applications to More Complicated Geometries." (1965).

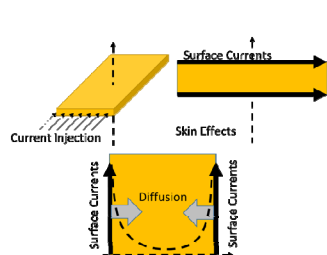


Fig.1 Schematics of our diffusion based skin effect model.

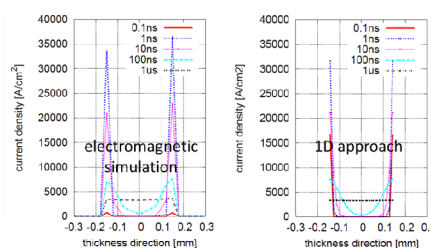


Fig.2 Current density at the center of a 40x10x0.3mm Cu plate for simulation(left) and 1D model(right).

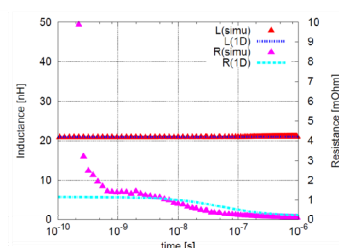


Fig.3 Time dependent inductance L and resistance R simulated and the 1D approach.