HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Analysis of high-frequency electromagnetic devices based on equivalent circuit and homogenization method [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	劉, 橋
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16025号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92451
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Liu_Qiao_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　劉　橋

審査担当者　主　査　教　授　五十嵐 一
副　査　教　授　野口 聡
副　査　教　授　北 裕幸

学位論文題名

Analysis of high-frequency electromagnetic devices based on equivalent circuit and homogenization method
（等価回路と均質化法による高周波電磁デバイスの解析）

本学位論文では, インダクタ・非接触給電システム・モータなどの電磁界の等価回路表示および均質化法による解析について述べている. 従来, これら電気電子デバイスの解析は有限要素法等による電磁界解析法により行わて来たが, 計算コストが大きいことが問題であった. 特に, 過渡現象や非線形性を考慮した時間領域解析では, この問題は深刻であった. 著者はこの問題を解決するために, これらデバイスの渦電流を考慮した等価回路を構成する新しい方法を提案している. また多重巻き線やリッツ線のような微細構造を等価な電磁特性を持つ均質材料に置き換える均質化法を用い, 効果的にデバイスの等価回路を構成する方法を提案している.

第 1 章では, 本研究の背景, 目的と論文概要について述べている.

第 2 章では, 測定または解析により得た入力インピーダンスを基に, 電気電子デバイスの等価回路を決定する方法について述べている. ここでは, 等価回路としてインダクタンスと抵抗から成るカウアー回路 (ラダー回路) を仮定し, その入力インピーダンスが与えられたインピーダンスと一致するように, 回路定数を決定している. 特に著者は, 低周波でも精度よく回路定数を決定できるように目的関数を修正した. また非接触給電において, コイル間の位置ずれ量に対応して回路定数を変化させることで, 位置ずれによるインピーダンス変化を考慮した等価回路表現を可能とした. また構成したカウアー回路の初段のインダクタンスに磁気コアの磁気飽和特性を導入することで, 磁気飽和を考慮した時間領域解析を可能とした. 構成したカウアー回路による時間領域の解析結果は, 有限要素法による解析結果とよく一致しており, 計算精度を保ったまま, 解析速度を大幅に改善できることを示した.

第 3 章では, 均質化法によるデバイスの有限要素解析と, それに基づく等価回路生成について述べている. 本手法では, デバイスの多重巻き線を複素透磁率を持つ均質材料に置き換えることで, 巻き線の微細構造を考慮せずに有限要素解析を行うことが可能である. ここで解析的に導かれた素線の複素透磁率を用い, それを Ollendorff の式に適用すること均質材料の複素透磁率を得ている. さらに著者は, 均質材料の複素透磁率を連分数展開することでカウアー回路を解析的に導き, これを永久磁石モータの渦電流解析に適用した. これにより, 巻き線を微細構造のサイズや表皮厚に合わせて離散化せずに, 高い計算精度かつ高速な渦電流損失解析を実現できることを示した.

第 4 章では, 変位電流および渦電流を考慮したデバイスの等価回路について述べている. 従来の等価回路では渦電流の効果が考慮されていなかったため, 等価回路から求めた電流を有限要素解析

による渦電流解析に適用し, これより渦電流の効果を考慮した交流抵抗を導き, これを等価回路の抵抗に適用する方法が用いられていた. 著者は, 渦電流の効果を直接的に等価回路に反映させるために, 巻き線の複素透磁率から求めた複素インダクタンスを等価回路に導入した. これにより, 渦電流および変位電流を考慮した非接触給電コイルの等価回路を構成した. さらにこれにより求めたインピーダンスの周波数特性とフルウェーブの有限要素解析による結果を比較し, 両者が良好に一致することを示した.

第 5 章では, 本学位論文の結論を述べている.

これを要するに, 著者は電気電子デバイスの渦電流および変位電流を考慮した等価回路表現を提案するとともに, 均質化に基づいた等価回路表現を提案した. これにより高精度かつ高速な時間領域解析を実現できることを示した. 著者による本研究は, 電気工学に寄与するところ大なるものがある. よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格ある者と認める.