渦電流の抑制を目的としたトランス巻線構造の提案

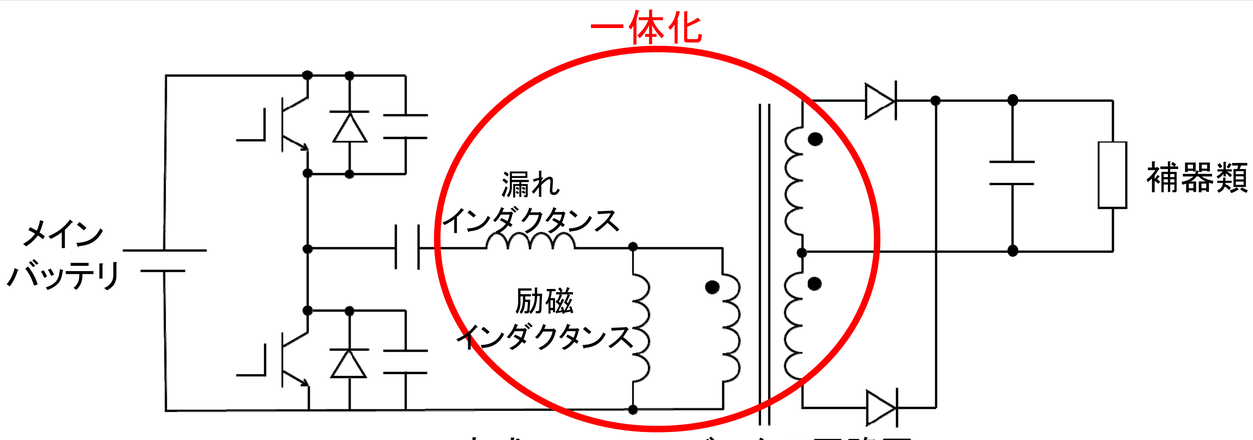
A Proposal of transformer winding structure for suppressing eddy current

1. まえがき

● 電気自動車の高性能化に伴い, バッテリからエアコンなどの補器類に電力を供給するDC-DCコンバータも小型・軽量・大容量化が必須

LLC方式DC-DCコンバータ

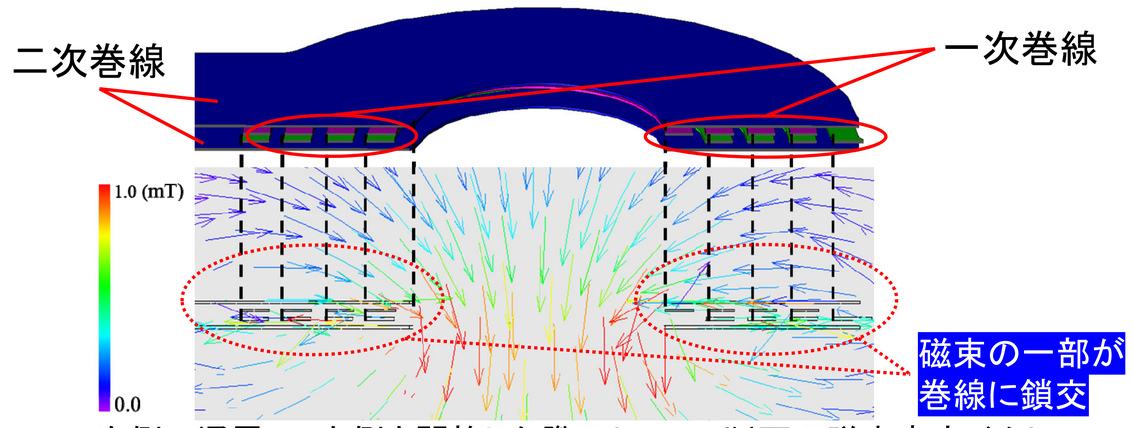
● 共振を利用してソフトスイッチング
⇒高周波動作においても高効率を達成可能
● 共振リアクトルと絶縁トランスが必要
● プリント基板を用いたコアレストランスの採用により, 漏れインダクタンスを共振リアクトルとして利用



LLC方式DC-DC コンバータの回路図

コアレストランスの問題点

● 磁束の一部が巻線導体に鎖交
● 鎖交磁束による渦電流が発生し, 渦電流損が発生



一次側に通電, 二次側を開放した際のトランス断面の磁束密度ベクトル

本研究の目的

渦電流損を低減する巻線構造の検討

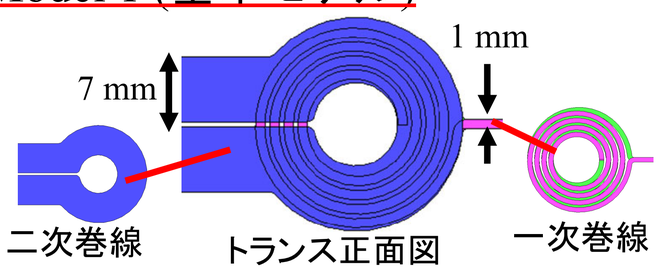
2. 電磁界シミュレーション

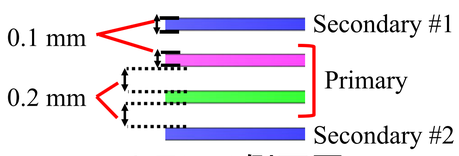
● 電磁界解析ソフトJMAGで右に示す条件でシミュレーションを行い, 二次巻線の電流分布を確認(表皮効果・渦電流を考慮)

一次側
・2層8ターン(各層4ターン)
・周波数2 MHz・振幅1 Aの電流を通電

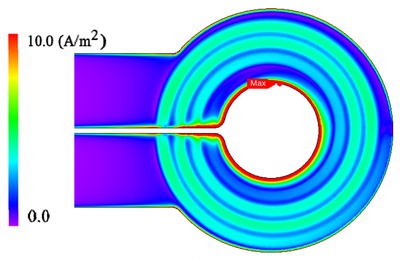
二次側
・2層2ターン(各層1ターン)
・開放・負荷(2Ω)接続の2状態で解析

Model 1 (基本モデル)





トランス側面図



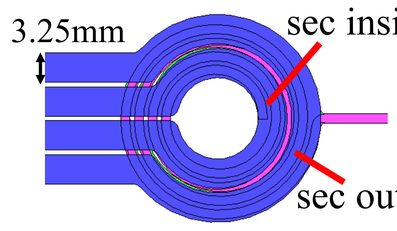
二次開放時
0.156 Wの
渦電流損発生

二次巻線の電流密度コンター図

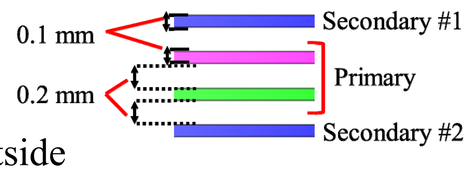
渦電流損の低減が必要

Model 2

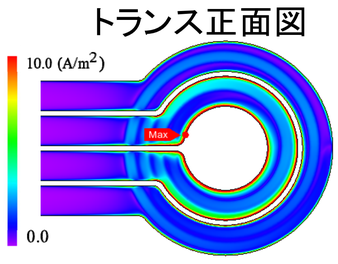
● 巻線を内外で分割
● 内側の巻線と, 外側の巻線を並列接続



トランス正面図



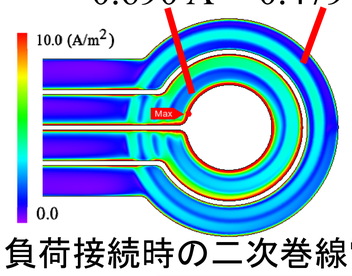
トランス側面図



二次開放時の渦電流損は
Model 1と比較して
0.135 Wに減少

開放時の二次巻線電流密度

0.690 A　0.479 A



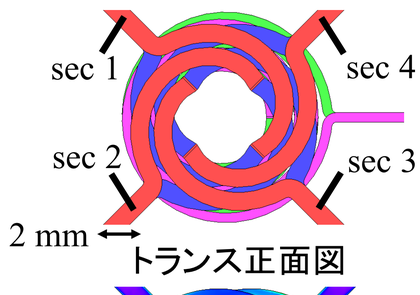
一方, 二次側に2Ωの負荷を
接続すると,
電流のばらつき大

負荷接続時の二次巻線電流密度

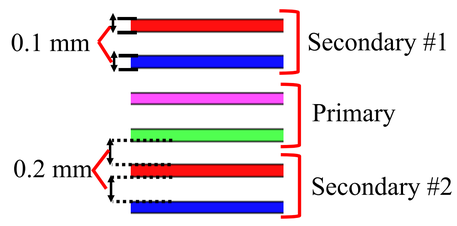
各巻線に対称性が必要

Model 3

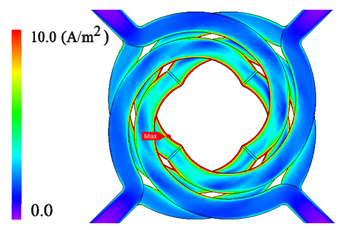
● 層数を増やして巻線を対称に分割
● 4つの巻線を並列接続



トランス正面図



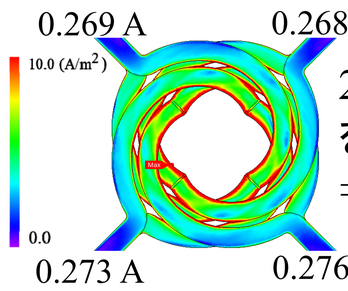
トランス側面図



二次開放時の渦電流損は
Model 1と比較して
0.149 Wに減少

開放時の二次巻線電流密度

0.269 A　0.268 A



2Ωの負荷接続時の電流分布
を確認
⇒電流のばらつき小

0.273 A　0.276 A

負荷接続時の二次巻線電流密度

● Model 1~3で, 二次側開放時の二次巻線損失と, 2Ωの負荷を接続した時の二次側電流振幅を比較

	Model 1	Model 2	Model 3
二次巻線損失 [W] (二次側開放時)	0.156	合計損失: 0.135　sec inside: 0.107　sec outside: 0.028	合計損失: 0.149　sec 1: 0.036　sec 2: 0.038　sec 3: 0.038　sec 4: 0.036
二次側電流振幅 [A] (二次側2Ω負荷接続時)	0.984	負荷電流: 0.979　sec inside: 0.690　sec outside: 0.479	負荷電流: 1.088　sec 1: 0.269　sec 2: 0.273　sec 3: 0.276　sec 4: 0.268

Model 3において,
渦電流損低減と均一な電流分布を達成

3. まとめ

● 巻線分割による渦電流損の減少を確認
● 巻線を全て対称になるように分割することで均一な電流分布を達成
● Model 3は分割数を増やすことで更なる損失低減が可能