

研究成果報告書

研 究 題 目		平面型トランス銅損低減にむけた巻線配置構造の最適化手法の解明	実 施 年 度
			2016 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学 大学院自然科学研究科	
	氏 名	梅谷 和弘	印
1. 研究の目的・背景 トランスは、絶縁性を保ちながら電力を供給できることから、電力の安全な運用に必要不可欠であり、データセンサーの通信機器など社会インフラを支える電気機器の電源に広く利用されている。近年の半導体技術の発展に伴い、電気機器の電源回路は小型化のため高周波で駆動される。 しかし、高周波でトランスを駆動すると、近接効果によって巻線内部の電流が極端に偏り、損失（銅損）が著しく増大する問題が起こる。本研究では特に高周波駆動用の小型トランスとして広く普及している平面型トランスをターゲットに、この近接効果の影響を抑制した銅損が小さい巻線配置を探求する。この前段階として、巻線配置がどのように近接効果に影響し、どの程度の銅損につながるか明確にする必要がある。 これまで、近接効果の影響を調べるため一般には電磁界シミュレーションが用いられてきた。しかし、シミュレーションでは、ある一つの具体的なトランス構造について電流分布や銅損を計算することはできても、様々な巻線配置についてどの構造が最適であるか求めるためには非常に長い時間がかかることが多い。そのため、現実的な電気機器の開発期間での巻線配置の最適化は難しいものとされてきた。 そこで、本研究では電磁界理論に基づく解析的アプローチを採用することで、比較的簡単な計算によって巻線配置と銅損の関係を定式化し、これに基づき素早く巻線配置を最適化できる手法の提案を目指した。申請時点では、電磁界理論の一つである電磁界のラグランジアン表現に着目し、これを電力工学に応用することで、平面型トランスの電流分布とそれによって発生する銅損を概算できる手法を理論的に導出できていた。 ここから最適化手法の提案するために、導出した新しい電流分布・銅損解析手法を実機によって検証する、その後、これを応用し新たな巻線配置最適化手法を提案し、これについても実機によって実証する。 本助成期間内では、上記の手順のうち新しい電流分布・銅損解析手法の実機検証までを目標に研究を行った。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

本研究は当初の予定では次の4ステップの内、3ステップまでの達成を目標にしていた。

ステップ1: 導出した高周波トランスの銅損試算手法の実機検証

ステップ2: 導出した高周波トランスの並列巻線の電流分配導出手法の実機検証

ステップ3: 上記二つを利用した電流分布および銅損の予測のケーススタディ

ステップ4: 導出した電流分配・銅損解析を応用した巻線配置最適化の実証

本助成期間で当初の予定通りステップ3までの内容を達成することができた。結果として、導出した手法は実験結果と整合的で十分妥当性が高いことを確認できた。したがって、比較的簡単な計算で銅損を試算する手法を確立できた。（なお、本研究では高周波トランスの以外に、高周波インダクタについても、同様に本手法が適用できることを確認している。）

①高周波インダクタの並列巻線の新たな電流分配解析

二つの並列巻線を持った高周波インダクタ（図1参照）に導出した電流分配解析手法を適用し解析結果と実機を比較することで、ステップ2の内容を達成した。（本研究は主に高周波トランスを研究対象としているが、導出した解析手法はインダクタにも適用できたため、これによって原理検証を行った。）解析結果と実験結果は整合的で、導出した電流分配解析は十分な妥当性があることを確認できた。また、これ等の解析結果を分析したところ、電流分配は巻線層の巻数比や巻線層間のスペースに大きく左右されることが分かった。

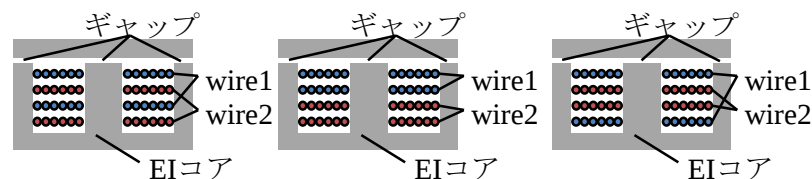


図1 解析したインダクタの断面図(wire1とwire2は並列接続)

②並列巻線を用いた高周波トランスの新たな銅線解析手法

上記の電流分配解析と考案した銅損試算を組み合わせることで、新たに並列巻線を用いた高周波トランスの銅損と巻線構造との関係を定式化できる解析手法を提案した。これによってステップ1とステップ3を達成した。銅損を解析したトランスの構造を図2に示す。銅損の解析結果は8%以内で整合しており、導出した銅損解析手法は十分妥当性が高いことが確認できた。

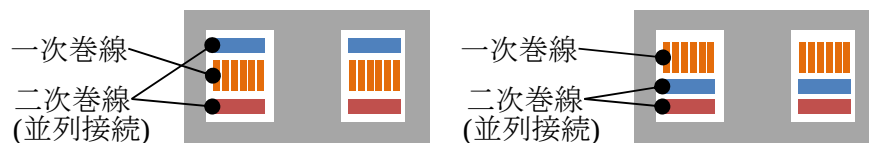


図2 解析したトランスの断面図

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

当初の計画通り，消耗品は主としてコイルおよびコア（フェライトコア・フェライト粉末）・ギャップ・ボビン・絶縁部材など，実験用トランスの制作に用いた．ただし，実験用コイルは当初はカスタム加工品を想定していたが，研究室の加工機材を用いて自分で加工することにし，これにより実験トランスの設計変更に合わせて柔軟にコイル寸法を変更できるようにした．また，当初は損失測定をカロリメータにて実施することを想定してフロリナートの購入を検討していたが，実際にはオシロスコープでの測定に切り替え，研究費の増大を抑制した．

また，LCR メータについても，研究費の増大を抑えるためアナログアッテネータを用いた電圧・電流信号計測に切り替えた．

上述の努力により，消耗品費・設備費を当初想定以上に抑制することができたので，その分を最新技術動向の調査や研究成果の発表のための旅費・学会参加費に使用した．

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究の最終目的は，高周波トランスの最適な巻線構造を素早く導出可能な設計手法の確立である．これによって，高品質で小型な高周波トランスを素早く開発することが可能となるだろう．

本助成期間では，この前段階として高周波トランスの電流分布・銅損と巻線配置との関係を電磁界理論から比較的簡単な計算のみを使って素早く定式化できる手法を提案・実証した．また，提案手法による解析結果を分析した結果，磁気部品の巻線層間のスペースの大きさや各巻線層の巻数がトランスの電流分布および銅損に大きな影響を与えることが明確となった．提案手法による銅損の理論式を用いればこれらの巻線層間のスペースや巻数比の最適値を探し出すことが可能である．今後は，この最適値の妥当性を実機で検証する予定である．

また，この技術の応用先として車載 DC・DC コンバータ用の中点タップトランスを考えている．これから 2～3 年を目途になんらかの具体的なアプリケーションに適用可能な小型で高品質なトランス構造の提案を目指してゆく．

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

本研究による成果として、提案手法で高周波インダクタの電流分布を理論的に予測できるか検証した結果を、国際会議 ICEMS2017 にて[1]、また提案手法により高周波トランス内部の銅損を試算した原理検証結果を国際会議 IECON2017 にて[2]、発表することができた。なお、IECON2017 は電力変換技術の研究成果を議論する最高峰の学会の一つであり、今回の学会発表により多くの研究者の関心を集めることができた。現在、この二つの学会発表それぞれの内容をベースとして、学術論文の執筆を進めており、前者については 2017 年 3 月に電気学会英文誌に投稿中、後者については 2017 年度の秋までに国際的な学術誌への投稿を予定している。

[1] T. Shirakawa, G. Yamasaki, K. Umetani, and E. Hiraki, “Extremum co-energy principle for analyzing AC current distribution in parallel-connected wires of high frequency power inductors,” in Proc. IEEE Intl. Conf. Elect. Mach. Syst. (ICEMS2016), Chiba, Japan, Nov. 2016, pp. 1–6.

[2] T. Shirakawa, G. Yamasaki, K. Umetani, and E. Hiraki, “Copper loss analysis based on extremum co-energy principle for high frequency forward transformers with parallel-connected windings,” in Proc. Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc. (IECON2016), Florence, Italy, 2016