

カットコアと積層コアからなる直交磁心型可変インダクタ

佐藤翼空, 中村健二, 大日向 敬*, 有松健司*
(東北大学, *東北電力)

Orthogonal-core-type Variable Inductor consisted of Cut-core and Laminated-core

T. Sato, K. Nakamura, T. Ohinata*, and K. Arimatsu*
(Tohoku University, *Tohoku Electric Power Co., Inc.)

はじめに

太陽光や風力などの分散型電源の導入拡大に伴い、系統電圧が不規則かつ急峻に変動する問題が顕在化している。これに対して、可変インダクタは電力用コンデンサと組み合わせて系統に並列に接続することで、無効電力補償型の系統電圧調整装置として応用できる。

本稿では、カットコアと積層コアの2種類のコアからなる新しい直交磁心型可変インダクタについて、リラクタンスネットワーク解析 (RNA), 並びに試作試験の両面から検討を行ったので報告する。

提案する直交磁心型可変インダクタの特性

Fig. 1 に、カットコアと積層コアからなる直交磁心型可変インダクタの諸元を示す。同図に示すように、直交磁心はC形のカットコアとC形の積層コアを90度回転接合させて構成される。これにより、両コアの積層が揃うため、接合面での層間短絡を防ぐことができる。カットコアの脚部には直流制御巻線を施し、積層コアの脚部には交流主巻線を施す。このような構成で、制御側から直流励磁を加えると接合面の共通磁路が磁気飽和し、交流主巻線側から見た実効的なインダクタンスが変化するため、可変インダクタとして動作する。

本可変インダクタの特性算定には、RNAを用いた。Fig. 2 に3次元RNAモデルの一部を示す。同図中の赤色で示した磁気抵抗は積層面内の非線形磁気抵抗であり、材料のB-H曲線と寸法から与える。一方、

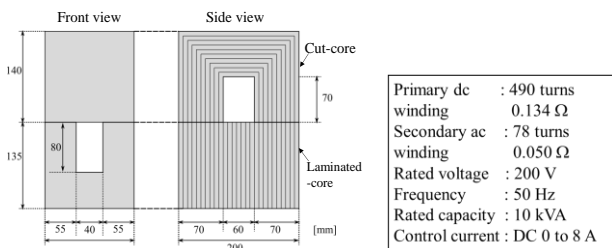


Fig. 1 Specifications of an orthogonal-core-type variable inductor consisted of a cut-core and a laminated-core.

黒色の磁気抵抗は積層方向および磁心外空間を表す線形磁気抵抗である。

Fig. 3(a)に、無効電力制御特性の計算値と実測値を示す。この図を見ると、良好な制御性を有すること、計算値と実測値は良好に一致することが了解される。同図(b)は主巻線電流歪み率である。この図より、歪み率は全動作範囲で5%以下であり、低歪みであることが了解される。

参考文献

- 1) O. Ichinokura, T. Jinzenji, and K. Tajima, *IEEE Trans. Magn.*, **29**, 3225 (1993).

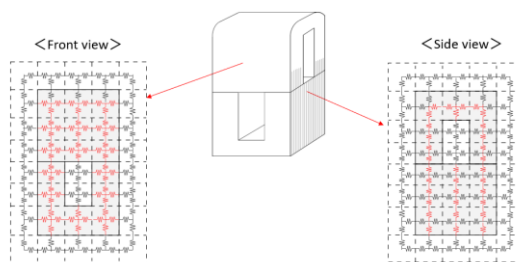
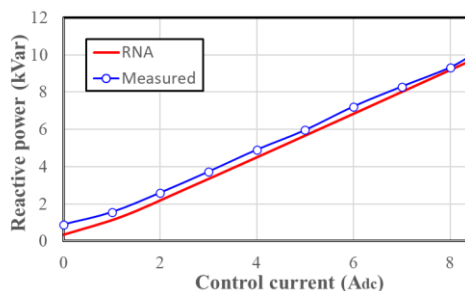
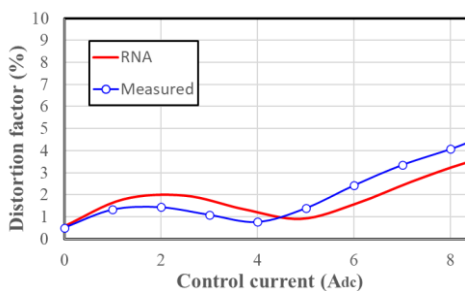


Fig. 2 A part of the 3D-RNA model of the orthogonal-core.



(a) Reactive power characteristic



(b) Normalized distortion factor of the secondary ac current
Fig. 3 Comparison of basic characteristics of the proposed orthogonal-core-type variable inductor.

パワーインダクタ用磁性微粒子内包アルミナの作製とその磁気特性

濱田敬文、遠藤恭*、藪本健成、石飛学、太屋岡篤憲**、藤田直幸
(奈良高専、*東北大、**北九州高専)

Fabrication of magnetic ultrafine particle embedded porous alumina for power inductor and their properties.

T. Hamada, Y. Endo*, K. Yabumoto, M. Ishitobi, A. Tayaoka**, N. Fujita
(NIT Nara College, *Tohoku Univ., **NIT Kitakyushu College)

はじめに

100MHz 帯で動作するパワーインダクタの小型化のためには、その周波数で高透磁率を示す磁性材料が必要である。我々は、陽極酸化ポーラスアルミナ膜の孔に電析法で磁性微粒子を充填した新規磁性材料の開発を目指している。この材料では、(1)粒子径がサブ μm 以下、(2) アスペクト比が 100 以上、(3) 体積充填率が 80% 以上、(4) 微粒子の配列を一方向に揃えることなどが狙えるため、反磁界や渦電流の影響が小さくなり、高周波での優れた磁気特性が期待できる。今回、高アスペクト比柱状 Ni 微粒子を内包したポーラスアルミナを作製したため、その作製プロセスと磁気特性について報告する。

実験方法

Fig.1 に作製手順を示す。(a) 純度 99.9% の Al 板を $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.3M 水溶液を使用して 20°C で陽極酸化 (40V、25 時間) を行った。ポーラスアルミナにはバリア層と呼ばれる絶縁膜があり、電析法で Ni を微細孔に充填するためにはバリア層を除去する必要がある。そこで、電流回復法¹⁾によりバリア層の除去を試みたが、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ では、完全除去ができなかった。そこで、(b) 溶液を溶解力の高い H_3PO_4 0.97M 液に変更し、電流回復法によるバリア層の薄化を行った。その後、(c) H_3PO_4 中で 20 分放置して孔を拡大した。続いて、(d) 極性を反転させ電流を $50\sim 200\text{mA}/\text{cm}^2$ まで 2 分おきに $50\text{mA}/\text{cm}^2$ ずつ段階的に上昇させることでポーラスアルミナ膜を素地から剥離した。(e) アルミナ膜の Al 素地側に Cu (純度 99.9%) を蒸着した。(f) $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 910mM、 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 190mM、 H_3BO_3 490mM 浴で 2~20 分間 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ で電析 (50°C 、対極 Ti-Pt) し、微細孔に Ni を充填した。(g) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 400mM と HCl 2mM を 60°C で調整し Cu 側に滴下することで Cu 膜を除去した。

実験結果

Fig.2 のように電析時間 20 分で長さ約 $50\mu\text{m}$ の Ni の析出が確認できた。また、今回作製したポーラスアルミナの微細孔の径は約 50nm 程度であったので、Ni 微粒子はアスペクト比 1000 程度であると見積もられた。

Fig.3 に膜面に対して垂直と面内の 2 方向から測定した磁化曲線を示す。膜面に対して垂直方向が面内方向より磁化曲線が立っていることから垂直磁気異方性を示す Ni 内包アルミナテンプレートが得られたことが分かった。

参考文献

1) Tatsuya MASUDA, et al., *Electrochemistry*, **82**, p448-455 (2014).
謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 (21K04162) の補助を受けた。

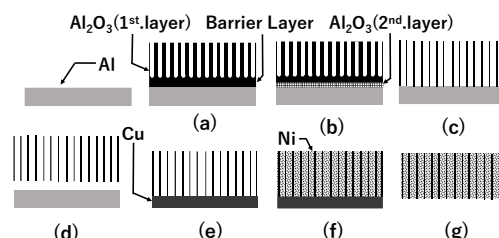


Fig.1 Cross-sectional images of each process in the fabrication of Ni ultrafine particle embedded porous alumina.

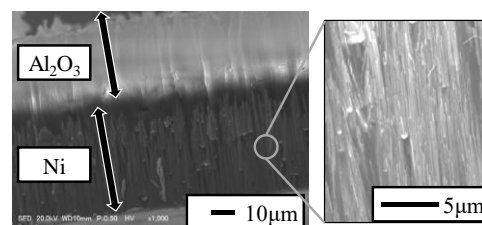


Fig.2 Cross-sectional SEM image of Ni ultrafine particle embedded porous alumina.

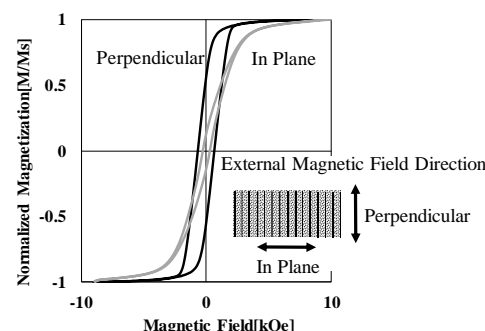


Fig.3 M-H curve of Ni ultrafine particle embedded porous alumina.

高エネルギー密度と低損失を両立する空心インダクタの検討

増田 樹*, 朝雛 えみり*, 前田 浩延**, 石飛 学*
(奈良高専*, ダイヘン**)

Air-Core Inductor with High Energy Density and Low Loss Characteristics

I.Masuda, E.Asahina, K.Maeda, M.Ishitobi

(*NIT Nara College, **DAIHEN)

はじめに

非線形特性とこれに伴う損失を特に嫌うアプリケーションにおいて、空心タイプのインダクタが採用されている⁽¹⁾。これらは透磁率が変化せず、鉄損も生じないが、代わりに近接効果に起因する銅損の増加とエネルギー密度の低下を招く。一般的に近接効果の抑制には、巻線同士を離すことが効果的であると知られているが、同時にエネルギー密度を低下させるため、インダクタの大型化が避けられない。そこで筆者らは、エネルギー密度を保持しつつ銅損を抑制するため、構造面から空心インダクタの限界に挑んできた⁽²⁾⁽³⁾。本報告では、残されていた巻線用銅箔の厚さと損失の関係について示している。

巻線の厚さと損失の関係

先に提案しているインダクタの構造とその線束断面形状⁽²⁾を Fig.1 に示す。四角い筐体に収めることを想定し、銅損を抑えつつインダクタンスを稼ぐため、以下の特徴を有している。インダクタンスの外形が四角形で、窓面積が大きい。また、銅箔をフラットワイズ方向に積層して巻き、巻線の線束断面を正方形としている⁽²⁾。

Fig.2 に、銅箔の厚さを 0.01~0.5mm で可変させたときの損失特性を示す。ここで、線束断面を 10mm×10mm、巻数を 12 巻、入力電流を 2A、500kHz とし、COMSOL Inc.製 COMSOL を用いて有限要素解析を行っている。Fig.2 から、銅箔の厚さが表皮深さ δ より十分に厚いとき (領域 A)、一定の損失が確認できる。また、銅箔の厚さが表皮深さの 2.5 倍付近 (領域 B) になると、損失が減少している。この現象を表した模式図を Fig.3 に示す。領域 A では、Fig.3(a)のように同一銅箔内の交互電流⁽⁴⁾がほとんど干渉しておらず、このため損失に変化が現れなかったものと考えられる。また領域 B では、Fig.3(a)から Fig.3(b)の状態に近づいていくため、互いに逆向きの交互電流が干渉し、損失原因である電流のピークが抑制されたものと考えられる。領域 C では、同一銅箔内における電流の向きが揃う。一方で銅箔断面積の減少により、電気抵抗が増加する。すなわち、交互電流による損失と電気抵抗の増加による損失はトレードオフの関係にあり、表皮深さ付近でその最小値を示すことがわかる。

以上より、提案型インダクタの構造を決定する全パラメータが揃った。現在、プロトタイプを作製して評価を行っており、近日中に報告を予定している。

参考文献

- 1) Marian Kazimierzczuk : "RF Power Amplifiers ", Wiley ,p476 (2014)
- 2) 松田和也,他 : 電学論 D,Vol.139,No.4,pp.409-415 (2018)
- 3) 永井歩美,他 : 電学論 D,Vol.138,No.9,pp723-729 (2017)
- 4) M. Hayata et al. : The2018 International Power Electronics Conference, pp.410-415(2018)

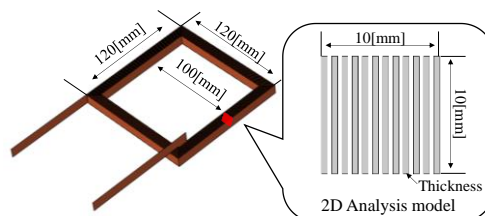


Fig.1 Proposed inductor structure

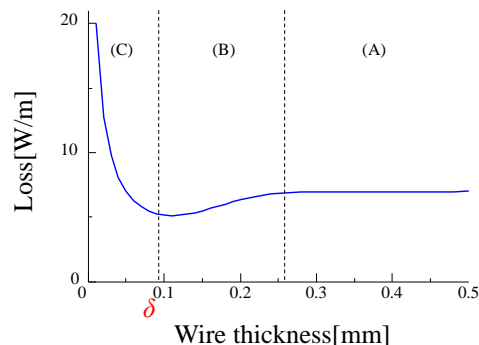
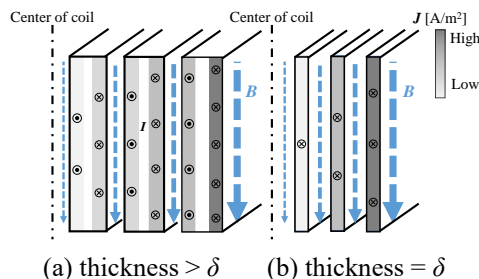


Fig.2 Loss characteristic with thickness



(a) thickness $> \delta$ (b) thickness $= \delta$
Fig.3 Distribution of current density and magnetic flux density