

フェライト薄膜を磁心とした高周波インダクタの GHz帯における電磁気特性向上

中野拓真、宮崎翔太、尾崎由美子、小池邦二、井ノ口大輔
(TDK株式会社)

Improvement of Electromagnetic Properties in GHz Frequency of Ferrite Thin Film Integrated RF Inductor
Takuma Nakano, Shota Miyazaki, Yumiko Ozaki, Kuniji Koike, Daisuke Inokuchi
(TDK Corporation)

はじめに

5Gの導入に伴い、高周波インダクタ(RFI)に対して、さらなる小型化とQ値の向上の必要性が増してきた。市販のRFIでは主に空芯タイプのインダクタが採用されている。磁性体をコアにすることで、コイルの断面積や巻き数を減らすことが出来るため、これらの要求を達成することが期待されるが、GHz帯では磁性体のうず電流損失や強磁性共鳴の高周波数化などが課題となっている。フェライトは金属と比較して高い電気抵抗を持ち、高周波でのうず電流損失を低減できることが知られている。また、磁性体を薄膜化することで、より大きな形状磁気異方性を利用でき、広い周波数帯において透磁率実部を利用できる可能性がある。本報告では、NiZnおよびCoフェライト薄膜を内蔵したRFIを作製し、その高周波特性について検討する。

実験方法

フェライト薄膜を磁心としたソレノイドコイルを用いたRFIの外観と断面図をFig.1に示す。RFIは下部配線、フェライト薄膜、上部配線から構成され、上下配線はビアにより電氣的に接続されている。コイル部分はCuの電解めっきにより形成した。比較として空芯タイプのRFIについても作製した。フェライト薄膜はフェライトめっき法¹⁾により成膜し、組成は $\text{Ni}_{0.16}\text{Zn}_{0.20}\text{Fe}_{2.63}\text{O}_{4+\delta}$ もしくは $\text{Co}_{0.11}\text{Fe}_{2.89}\text{O}_{4+\delta}$ とした。

RFIの高周波特性はRF同軸GSプローブを接続したネットワークアナライザを用いて評価した。

実験結果

作製したRFIのインダクタンスおよびQ値の周波数特性をFig.2に示す。空芯タイプのRFIと比較して、NiZnフェライトを磁心とした場合は1GHz程度まで、Coフェライトを磁心とした場合は2GHzまで、インダクタンス、Q値とも向上することが確認された。フェライト薄膜の利用により、5G周波数帯域においても優れた高周波特性を持つRFIが得られることが分かった。当日はフェライト薄膜の高周波透磁率など、その他磁気特性も併せて報告する。

謝辞

NiZnフェライト薄膜のサンプルをご提供いただきました東京工業大学 松下伸広教授、高周波磁気特性を測定していただきましたTohoku-TMIT 藪上信教授、遠藤恭准教授、沖田和彦研究員に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) N. Matsushita, et. al., J. Surface Finishing Society Jpn., 61, 425 (2010).

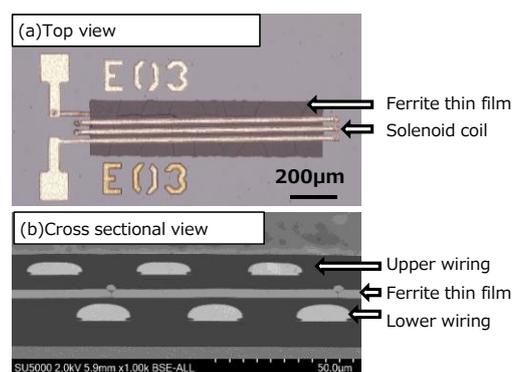


Fig. 1 (a) Top view and (b) cross sectional view of ferrite thin film integrated RFI

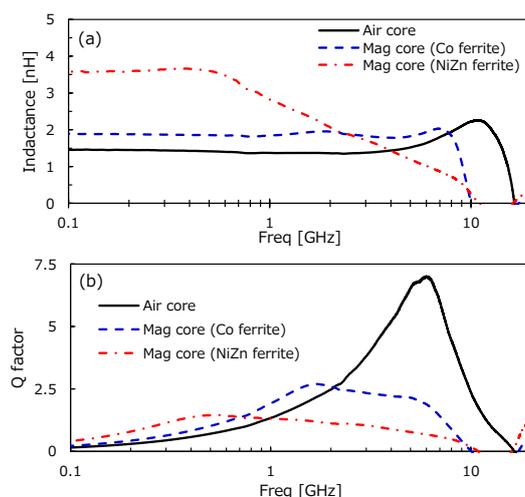


Fig. 2 Frequency dependence of (a) inductance and (b) Q factor of ferrite thin film integrated RFI

電子機器の実回路に適応可能な高周波近傍磁界測定手法の提案

荏田健徳^{1,2*}, 石田竜太^{1,2}, 後藤太一², 石山和志²
^(¹東北大学大学院 工学研究科, ²東北大学 電気通信研究所)

Proposal of a High Frequency Near Magnetic Field Measurement Method Applicable to Actual Circuits in Electronic Devices

T.Karita^{1,2*}, R.Ishida^{1,2}, T.Goto², K.Ishiyama²

(¹Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., ²RIEC Tohoku Univ.)

はじめに

高周波近傍磁界計測用プローブとして一般的にループコイルが用いられている¹⁾が、金属製のため本来の磁界分布を乱してしまう²⁾。そのため本研究では、磁気光学結晶のガーネットとパルスレーザを利用し、さらにストロボ法により交流磁界の位相情報を含めて低侵襲に測定可能な高周波近傍磁界計測システム³⁾について検討を行っている。ストロボ法を使う上ではレーザのパルス発振と被測定信号の同期が必要である。先行研究では測定対象から基準となる同期信号を取り出し、それを用いて

被測定磁界とレーザ発振を同期させていた。しかし、GHz級の信号を取り出すことは、測定対象へノイズを与え本来の磁界分布を乱す可能性があり、容易ではない。

そこで本研究では、PLLを用いて基本クロックから高周波信号を生成する電子機器の基本的な構成に着目し、同期信号を測定対象回路の測定位置における駆動信号ではなく、基本クロック源から取得することで、測定対象への影響を低減した磁界測定法を提案する。測定対象回路の水晶発振器から取り出した基本クロック信号(10MHz)をPLLによって逡倍し、トリガ信号をレーザ発振周波数帯まで引き上げることで同期を実現する。これにより、本測定システムを実際の電子機器へ対応可能となり、より効率的な電子機器のEMI対策を行うことができると考える。

実験方法

Fig.1に本研究における磁界計測システムの概略を示す。測定対象のマイクロストリップ線路(MSL)に配置したガーネットにレーザ光を垂直に照射し反射光を検出する。反射光はガーネットの磁気光学効果により、垂直磁界強度に依存した偏光状態の変化が起こるため、それを検出することで垂直方向成分の磁界強度が測定できる。今回は検証として測定回路の基本クロック信号源(水晶発振器)としてファンクションジェネレータ(FG)を用いる。FGからPLLに参照信号として10MHzの信号を入力し、3.2GHzの信号を生成する。分周器を用いて1/32分周し、後段の回路を用いてレーザトリガ信号を生成する。FGより10MHzの参照信号によって同期しているシグナルジェネレータ(SG)を測定回路内のPLLに模し、MSLへの投入電力を17dBmとして、900MHz, 1200MHz, 2400MHzの3つ正弦波信号についてそれぞれ磁界測定を行った。

実験結果

MSLの磁界分布計測結果をFig.2に示す。MSLの両端部に位相情報を含めた出力が確認でき、設置したガーネットに対して面直方向の発生磁界が精度よく取得できていることが伺える。また、FGの参照信号を基にSGで生成した複数の周波数の磁界についても磁界計測が可能であり、提案した手法によって、同期信号として水晶発振器の基本クロック信号を用いた磁界計測が可能であることを示すことができた。製品化された電子回路を用いた測定結果については講演会で発表する。

参考文献

- 1) R. Paul: Introduction to Electromagnetic Compatibility 2nd edition, pp. 10-11, John Wiley, New York (2006).
- 2) M. Takahashi, K. Kawasaki, H. Ohba, T. Ikenaga, H. Ota, T. Orikasa, N. Adachi, K. Ishiyama and K. I. Arai J. Appl. Phys. 107, 09E711 (2010).
- 3) 立岡大青, 梶修一郎, 石山和志, パルスレーザを用いた高周波近傍電磁界計測における新しい同期手法の提案, 日本磁気学会論文特集号, Vol. 4, No. 1, pp. 37-40 (2020年4月)

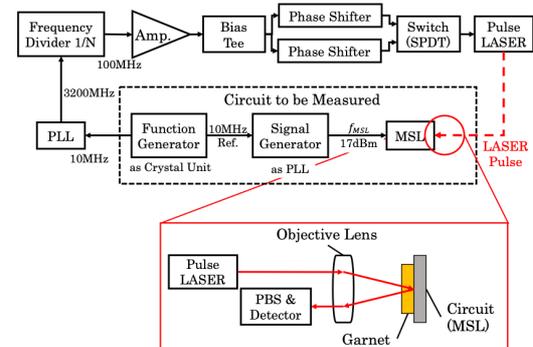


Fig. 1 Schematic of the magnetic field measurement system

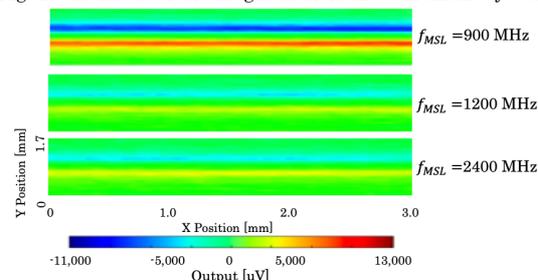


Fig. 2 Measured magnetic field distribution near MSL

低周波 Wiegand パルスによる MI センサの駆動に関する研究

姚睿軒^{1, 2}, 竹村泰司², 内山剛¹

(¹名古屋大学, ²横浜国立大学)

Study on Driving MI Sensor Using Low Frequency Wiegand Pulse

R. Yao^{1, 2}, Y. Takemura², T. Uchiyama¹

(¹Nagoya Univ., ²Yokohama National Univ.)

はじめに

アモルファスワイヤなどの軟磁性体に高周波電流又はパルス電流を通電すると、表皮効果によってそのインピーダンスは外部磁界による巨大変化を示す。これを磁気-インピーダンス効果 (Magneto-impedance effect, MI 効果) を呼ぶ。MI センサの駆動には、従来は MHz 以上の高周波交流電流やパルス電流が使われることが多く¹⁾、低周波信号を使った駆動に関する研究は少ない。Wiegand センサの特徴は、低速で変化する磁界に対してその変化速度にほぼ無依存なパルスを出力することであり、バッテリーレス IoT 設備の開発に有用なものである²⁾。本研究は、低周波パルス電流駆動による MI センサの出力特性を検討した結果に基づいて、パルス高速整形駆動回路を開発し、10Hz の Wiegand パルスで MI センサの駆動に成功したので報告する。

実験方法

ファンクションジェネレータからのパルス電流を MI センサに通電して、立ち上がり時間 t_r 、繰り返す周波数 f_{osc} 、励磁電流 i_w を調整し、MI センサの出力電圧 E_w を測定した。Wiegand センサ (Wiegand ワイヤ: $\phi:0.25$ mm, length:11 mm, 検出コイル: 3000turn) の長手方向に $f=10$ Hz、500e の交流磁界を印加し、Wiegand パルスを高速整形駆動回路から MI センサに通電し、MI センサの出力電圧 E_w を測定した。

実験結果

Fig. 1 に示すように、500kHz 以下のパルス電流を入れた時、MI センサの出力特性は繰り返す周波数 f_{osc} に依存せず、出力電圧はほぼ同じである。MI センサの出力電圧は励磁電流 i_w と立ち上がり時間 t_r にのみ依存し、 i_w と t_r が小さいほど MI 効果は顕著になる。高速整形回路によって、パルス幅 $20 \mu s$ の Wiegand パルスを立ち上がり時間 t_r が 100ns 以下のときに大きな MI 効果が観測できた。整形回路の外部電圧 V_{cc} を変化すると、MI センサの入力電圧も変化する。Fig. 2 に示すように、最小 $V_{cc}=1.31V$ で、MI センサ出力の良い直線性を維持することも可能である。この場合の MI センサの消費電力は約 $2 \mu W$ である。

参考文献

- 1) K. Mohri and Y. Honkura, *Sensor Letters* Vol.5, pp. 267-270, 2007.
- 2) Takahashi et al., *J. Mag. Soc. Jpn.* 42, 49, 2018.

謝辞

本研究の一部は、名古屋大学卓越大学院未来エレクトロニクス創成加速 DII 協働大学院プログラム、JST 及び名古屋大学融合フロンティアフェローシップの支援を受けたものである。この場を借りて御礼申し上げます。

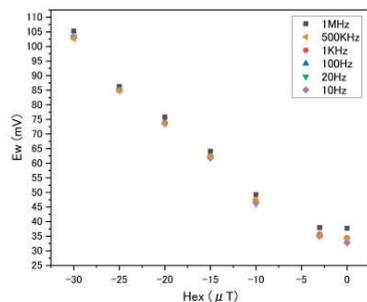


Fig 1. Characteristics of pulse driven MI effect depending on different frequency of pulse.

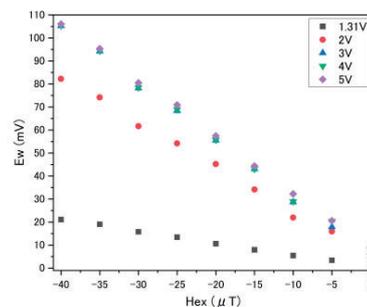


Fig 2. E_w - H_{ex} characteristics at different pulse input V_{cc} .

非破壊検査応用に向けた TMR センサによる鉄板の固有振動計測

伊藤 淳, 金珍虎, 大兼 幹彦
(東北大学大学院工学研究科)

Natural Vibration Measurement of Steel Plates by TMR Sensor for Nondestructive Testing Application

Jun Ito, Jin Zhenhu, Mikihiko Oogane

(Graduate School of Engineering, Tohoku University)

はじめに

従来のインフラ点検法では、地下埋設配管の内部の傷や腐食を遠方から評価することは難しく、検査対象物を破壊せず、遠方から調査可能な非破壊検査の実現が期待されている。高感度かつ省エネルギーで効率的な非破壊検査が求められている中で、トンネル磁気抵抗型磁気センサ (TMR センサ) はその高い性能要求を満たす可能性を有している。本研究では TMR センサを高感度なインフラ非破壊検査へ応用するため、鉄鋼材料を打撃して生じた固有振動から得られる磁気信号を TMR センサで取得する打磁試験を考案した。本研究の目的は、打磁試験法の非破壊検査への応用可能性を検討するため、寸法の異なる複数の鉄板試験体を用いて、試験体の固有振動特性を評価することにした。

実験方法

試験体には、奥行き、幅及び厚さがそれぞれ異なる鉄板(SS400)を用いた。標準試験体には、奥行き 99 mm、および、100 mm、幅 200 mm、厚さ 6 mm の鉄板を用いた。打撃装置は piezo 素子を用いており、図 1 のような構成で本検査方法を実施した。振動により生じる磁場の測定には、スピンセンシングファクトリー社製の非破壊検査用 TMR センサを用いた²⁾。

実験結果

奥行きが 99 mm と 100 mm の試験体に対して本試験を実施し、得られた磁気信号を周波数解析して得られたスペクトルを図 2 に示す。図から分かる通り、打撃周波数(617 Hz)に由来したシャープなピークと、試験体の固有振動(3200 Hz 及び 3800 Hz 近傍)に由来したブロードなピークが観測された。固有振動に由来するピークに注目すると、99 mm の奥行きをもつ試験体は、100 mm の試験体と比較して、周波数が高い側にシフトする結果が得られた。この結果は、試験体の固有振動の微小な変化を TMR センサによって検出可能であることを示している。これは、境界条件による固有振動数の変化を説明する数式モデルから定性的に説明できる³⁾。

謝辞

本研究は、東北大学先端スピントロニクス研究開発センター、スピントロニクス学術連携研究教育センター、および、東北大学 AIE 卓越大学院プログラムの支援を受けて行われた。また、TMR センサはスピンセンシングファクトリー株式会社より提供を受けた。

参考文献

- 1) N. Gucunski et al., National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nondestructive Testing to Identify Concrete Bridge Deck Deterioration. Washington, DC: The National Academies Press (2012)
- 2) M. Oogane, K. Fujiwara, A. Kanno, T. Nakano, H. Wagatsuma, T. Arimoto, S. Mizukami, S. Kumagai, H. Matsuzaki, N. Nakasato, and Y. Ando, Appl. Phys. Express **14**, 123002 (2021)
- 3) P. Dumond, D. Monette, F. Alladkani, J. Akl, I. Chikhaoui, MethodsX, **6**, pp. 2106-2117 (2019)

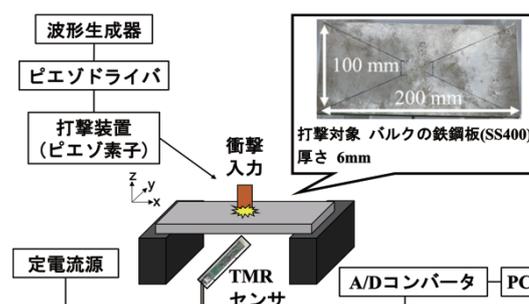


図 1 実験装置の構成

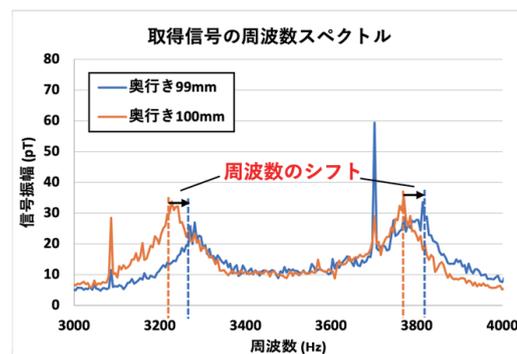


図 2 打磁周波数スペクトルの比較