

Bode 100 – アプリケーションノート

DCバイアス電流を印加した インダクタの電気特性測定



By Hermann Haag

© 2019 by OMICRON Lab – V1.1

Visit www.omicron-lab.com for more information.

Contact support@omicron-lab.com for technical support.

目次

1	はじめに.....	3
2	測定セットアップおよび準備	4
3	測定結果.....	5
4	バイアス電源による測定誤差	7
5	結論.....	9

注記:

Bode 100 のセットアップ、調整、およびキャリブレーションなどの基本的な手順については、Bode 100 ユーザーマニュアルに記載されている。Bode 100 ユーザーマニュアルは、下記よりダウンロード可能である。

www.omicron-lab.com/

注記:

本アプリケーションノートに記載されているすべての測定は、Bode Analyzer Suite V3.21 を用いて実施されている。本書に示した測定を再現するには、同バージョンまたはそれ以降のバージョンを使用すること。最新バージョンは下記からダウンロード可能である。

www.omicron-lab.com/

1 はじめに

本アプリケーションノートでは、Bode 100 ベクトル・ネットワーク・アナライザ(VNA)と、Voltech 社 (www.voltech.com)製のサードパーティ機器である DC1000 電流源を組み合わせ使用し、DC バイアス電流を印加した状態でのインダクタの電気的特性を簡単に測定する方法を示します。DC1000 は、広い周波数範囲にわたって高い出力インピーダンスを有する、電流バイアス用途に特化して設計された電流源です。

本測定では 3 種類の異なるインダクタを測定し、DC 電流に対するインダクタンスの挙動を比較します。その後、電流源によって生じる測定誤差について考察します。

インダクタのインダクタンスは、印加される電流に依存する場合があります。磁束密度(B)と磁界強度(H)の関係は、以下の式で表されます。

$$B = \mu H$$

ここで、 μ は磁性材料の透磁率を表します。磁気コアにおける飽和効果により、磁界強度が増加すると透磁率が低下することがあり、その結果、図1に示すような特性が現れます。なお、本解析ではヒステリシス効果は無視しています。

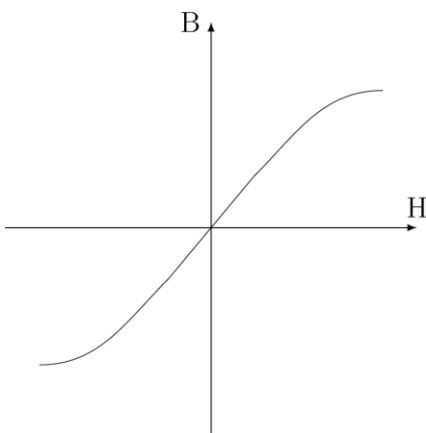


Figure 1: 磁束密度(B)と磁界強度(H)の関係

インダクタンスは透磁率に比例し、磁界強度は電流に比例するため、インダクタンスは印加電流に依存することになります。

$$\begin{aligned} H &\sim I \\ L &\sim \mu \\ L &= f(I) \end{aligned}$$

パワーエレクトロニクス分野では、インダクタは DC バイアス電流が流れた状態で動作することが一般的です。そのため、DC バイアスを印加した状態でのインダクタンス測定は、実際の動作中におけるインダクタの挙動を理解するうえで、非常に有用な情報を提供します。

2 測定セットアップおよび準備

本測定では、インダクタを被測定デバイス(DUT)とし、直流バイアス電流の印加によってインダクタの特性がどのように変化するかを調査します。

インピーダンス測定は、Bode 100 を用いたワンポート(One-Port)インピーダンス測定として構成しました。測定周波数範囲は 100 Hz から 1 MHz に設定し、デフォルト設定を用いてフルレンジのオープン/ショート/ロード校正を実施しました。Trace 1 の表示形式は振幅(Magnitude)、Trace 2 は位相(°)に設定しました。

DC1000 電流源は DUT に接続し、Bode 100 を DUT に接続する前に電源を投入しました。

NOTICE

まずDC1000を被測定デバイス(DUT)に接続し、DC電流を設定してからBode 100を接続してください。電源投入時および電源切断時の電圧スパイクは、Bode 100の出力に損傷を与える可能性があります。

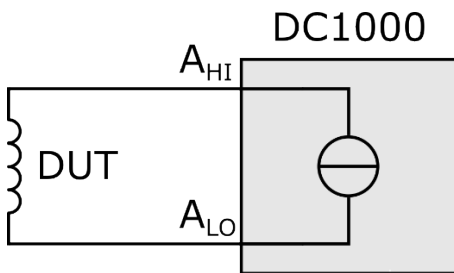


Figure 2: DUT と DC1000 の接続

次に、図3に示すように Bode 100 の出力を DUT に接続します。さらに、DC1000 のアース端子を、短いケーブルを用いて Bode 100(本体背面)のアース端子に接続します。この接続方法は、DC1000 のユーザーマニュアルにおいて推奨されています。

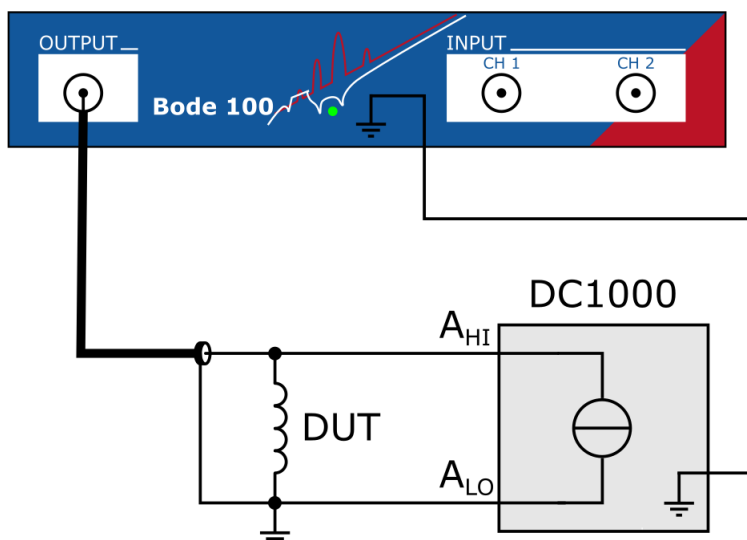


Figure 3: Bode 100 および DC1000 を用いた測定セットアップ

3 測定結果

NKL 470 μH インダクタを 100 Hz から 1 MHz の周波数範囲で測定しました。図4に、直流電流の異なる条件におけるインピーダンスの大きさを示します。直流電流は、DC1000 電流源の設定ホイールを用いて調整しました。直流バイアス電流の増加に伴い、インピーダンスの大きさは減少しています。また、理想インダクタの関係式に従い、インダクタンスも直流バイアスの増加とともに低下しています。

$$Z = j\omega L$$

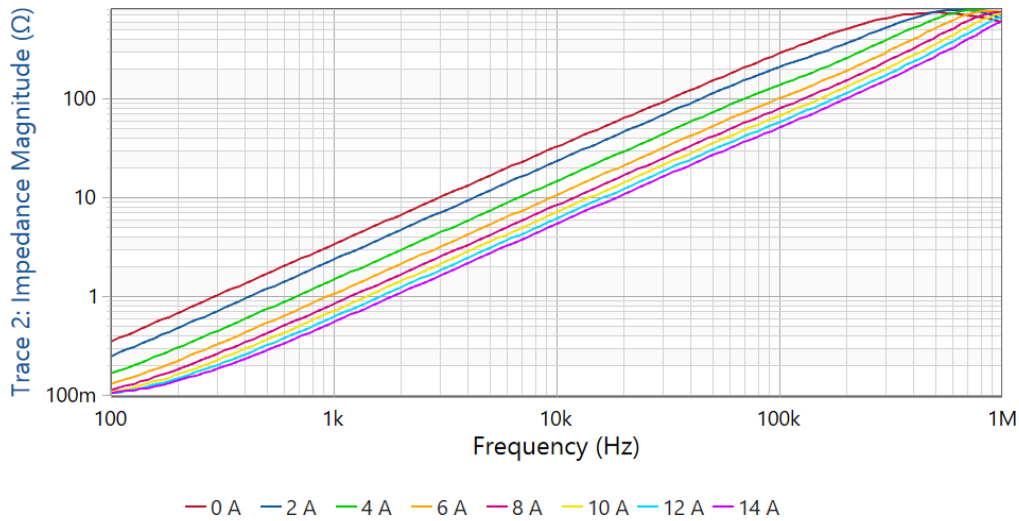


Figure 4: インダクタのインピーダンス振幅の周波数特性

Figure 5 は、インピーダンスをインダクタンス L_s として表した結果を示している。直流バイアスの増加に伴うインダクタンスの低下が明確に確認できます。

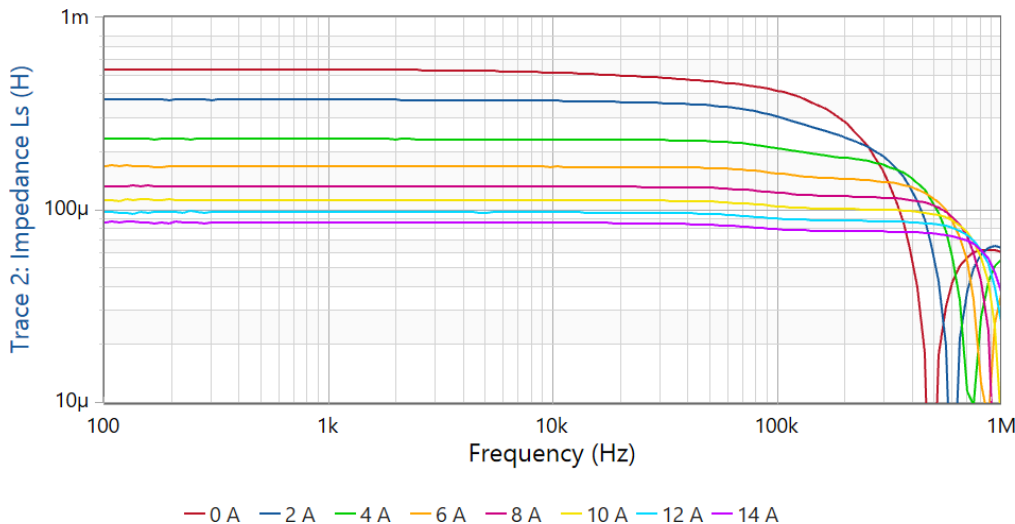


Figure 5: 異なる直流バイアス電流条件におけるインダクタンスの周波数特性

Figure 6は、10 kHz において測定した直流バイアス電流に対する公称インダクタンスを示しています。青色の曲線は、前節で測定したインダクタの結果を示しています。残りの2本の曲線は、追加で測定した2つのインダクタを表しています。470 μH (青)および 700 μH (緑)のインダクタはいずれも定格電流 5 A です。一方、15 μH (赤)のインダクタは定格電流 30 A です。3つすべてのインダクタにおいて、定格電流以下であってもインダクタンスが大きく低下することが確認できます。

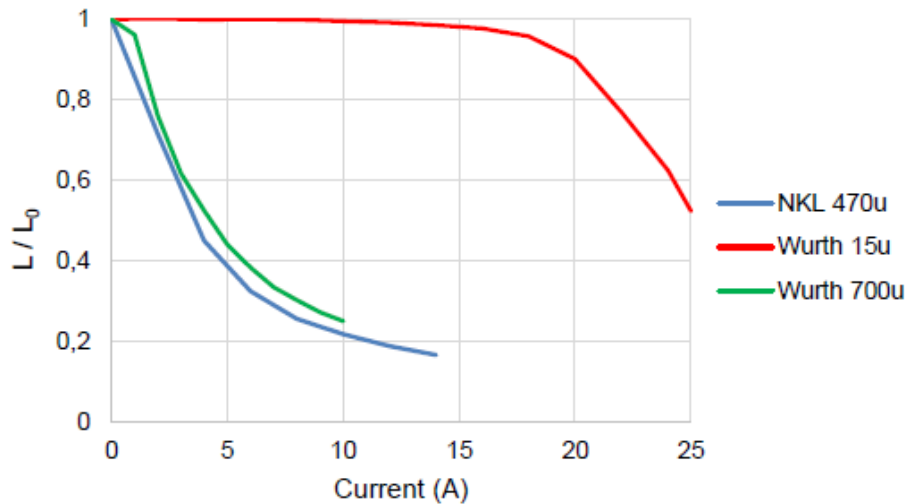


Figure 6: 直流バイアスなしのインダクタンスを基準としたインダクタンスと電流の関係(10 kHz にて測定)

Figure 7は、縦軸に直流バイアスなしのインダクタンスを基準としたインダクタンス、横軸に定格電流を基準とした電流を示しています。測定したインダクタは前節と同一です。470 μH および 700 μH のインダクタでは、定格電流においてインダクタンスが 50 %以上低下しています。一方、15 μH のインダクタでは、定格電流の 80 % に相当する電流(直流電源の最大供給電流である 25 A)において、インダクタンスが約 40 % 低下しています。

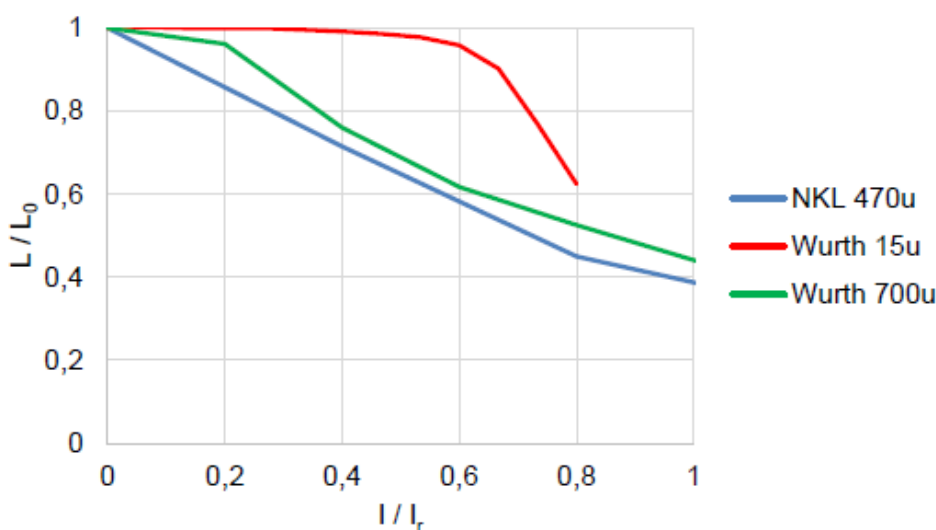


Figure 7: 定格電流を基準とした相対バイアス電流に対する相対インダクタンス(10 kHz)

4 バイアス電源による測定誤差

一般的な電流源は、専用の直流バイアス電源であっても有限の出力抵抗、すなわち出力インピーダンスを有しており、本書で示した測定を行う際には誤差の原因となります。VNA は DUT(被測定デバイス)のみを測定するのではなく、DUT と電流源が並列に接続された回路全体を測定することになります。

Figure 8およびFigure 9に、470 μH インダクタのインピーダンスの振幅および位相を示します。青色の曲線は、電流源を接続せずに測定した DUT のインピーダンスを示しています。赤色の曲線は、電流を 0 A に設定した状態で、DUT と電流源を並列接続した場合のインピーダンスを示しています。インピーダンス振幅はおよそ 100 kHz 以上で偏差が生じ始め、位相については 10 kHz 未満の周波数からすでに差異が現れています。インピーダンスの振幅が大きくなるほど、並列接続された電流源のインピーダンスによって生じる測定誤差も大きくなります。この点は、特に直列抵抗を測定する際に考慮する必要があります。

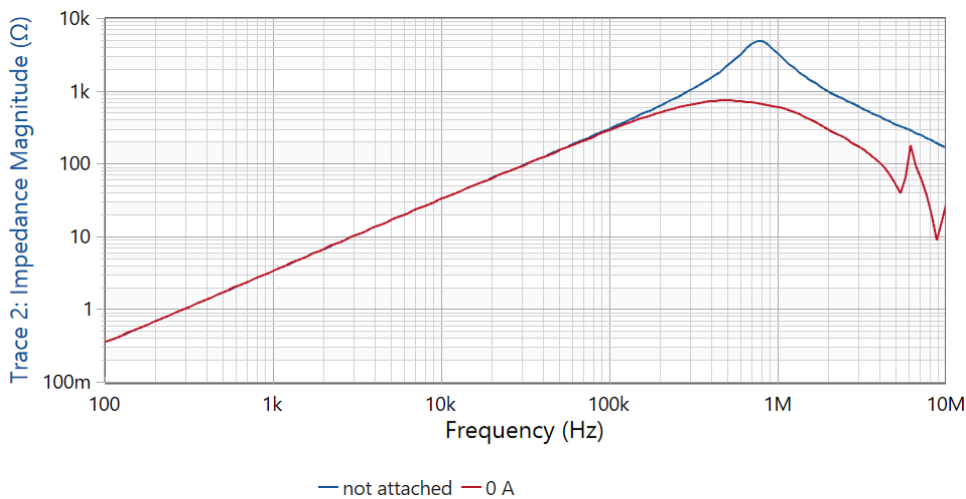


Figure 8: DC 電源なし(青)および DC 電源あり(0 A 設定、赤)でのインピーダンス振幅

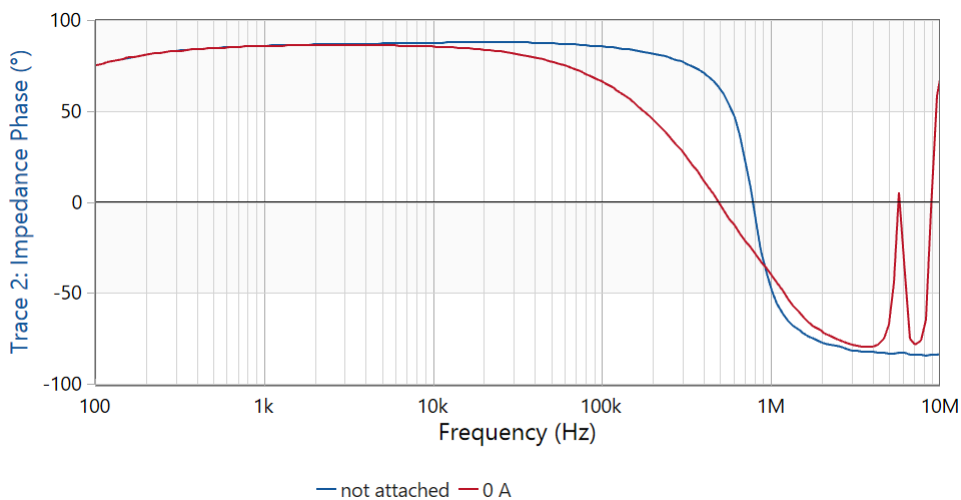


Figure 9: DC 電源なし(青)および DC 電源あり(0 A 設定、赤)でのインピーダンス位相

Figure 10 および Figure 11は、前節と同一の測定結果を示していますが、ここではインピーダンスをインダクタンスおよび直列抵抗として表しています。インダクタンスの測定結果は約 50 kHz まで妥当であるのに対し、直列抵抗の測定結果は数 kHz の周波数領域から偏差が生じ始め、100 kHz では約 5 倍に達しています。

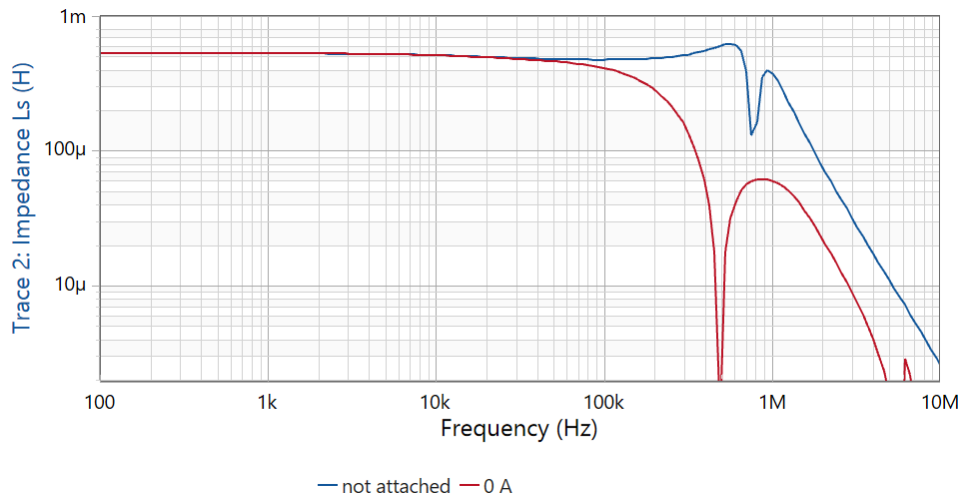


Figure 10: DC 電源なし(青)および DC 電源あり(0 A 設定、赤)でのインダクタンス

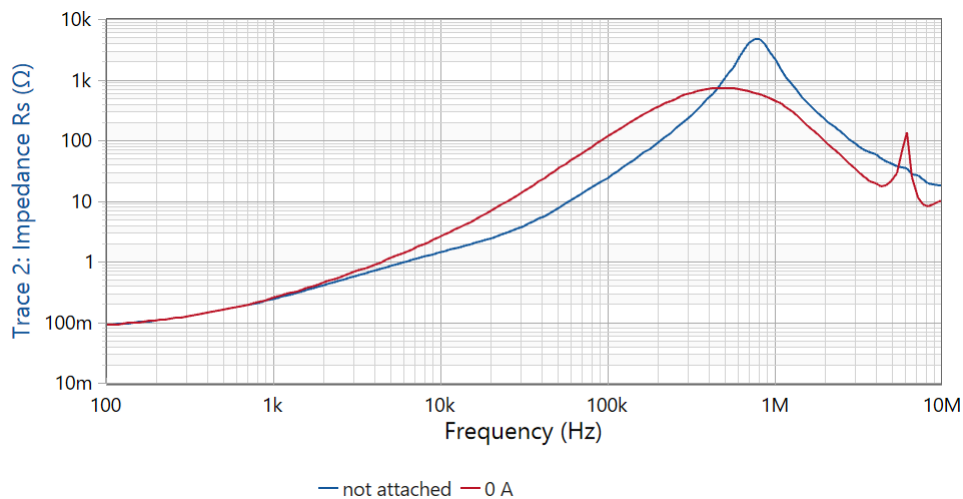


Figure 11: DC 電源なし(青)および DC 電源あり(0 A 設定、赤)での直列抵抗

5 まとめ

直流バイアス電流を印加したインダクタの測定に電流源を用いることで、コアの磁気飽和挙動に関する有用な情報が得られ、直流電流に対するインダクタンスの変化を評価することが可能です。本研究で行った測定結果から、ある種のインダクタでは、公称定格電流においてインダクタンスが 50 % あるいはそれ以上低下する場合があります。一方で、被測定デバイス(DUT)と電流源が並列に接続されることによって生じる測定誤差が発生し得るため、この影響を考慮する必要があります。特に、直列抵抗の測定や高周波数帯域におけるインダクタンスの測定では、この誤差が顕著になる可能性があります。さらに、直流バイアス用途として特別に設計されていない汎用の電流源を使用した場合、一般に出力インピーダンスが低くなる傾向があるため、測定誤差はさらに大きくなる可能性があります。



OMICRON Lab は、電子工学分野に携わる 研究者、技術者、教育関係者といった専門家向けに、スマートな計測ソリューションを提供することに特化した OMICRON electronics の事業部門です。計測作業を簡素化することで、お客様が本来の業務により多くの時間を割けるよう支援しています。

OMICRON Lab は 2006 年に設立され、現在では 40か国以上のお客様に製品とサービスを提供しています。アメリカ、ヨーロッパ、東アジアに拠点を構え、さらに国際的な販売代理店ネットワークを通じて、迅速かつ卓越したカスタマーサポートを実現しています。

OMICRON Lab の製品は、市場において最適な価格対価比(コストパフォーマンス)で提供される高品質を特長としています。高い信頼性と使いやすさにより、トラブルのない運用を可能にします。また、顧客との密接な関係と 25年以上にわたる社内での専門技術の蓄積により、現場のニーズに即した革新的な製品開発を実現しています。

製造元
OMICRON electronics GmbH

販売元
岩崎通信機株式会社

info@omicron-lab.com • www.omicron-lab.com

Smart Measurement Solutions®