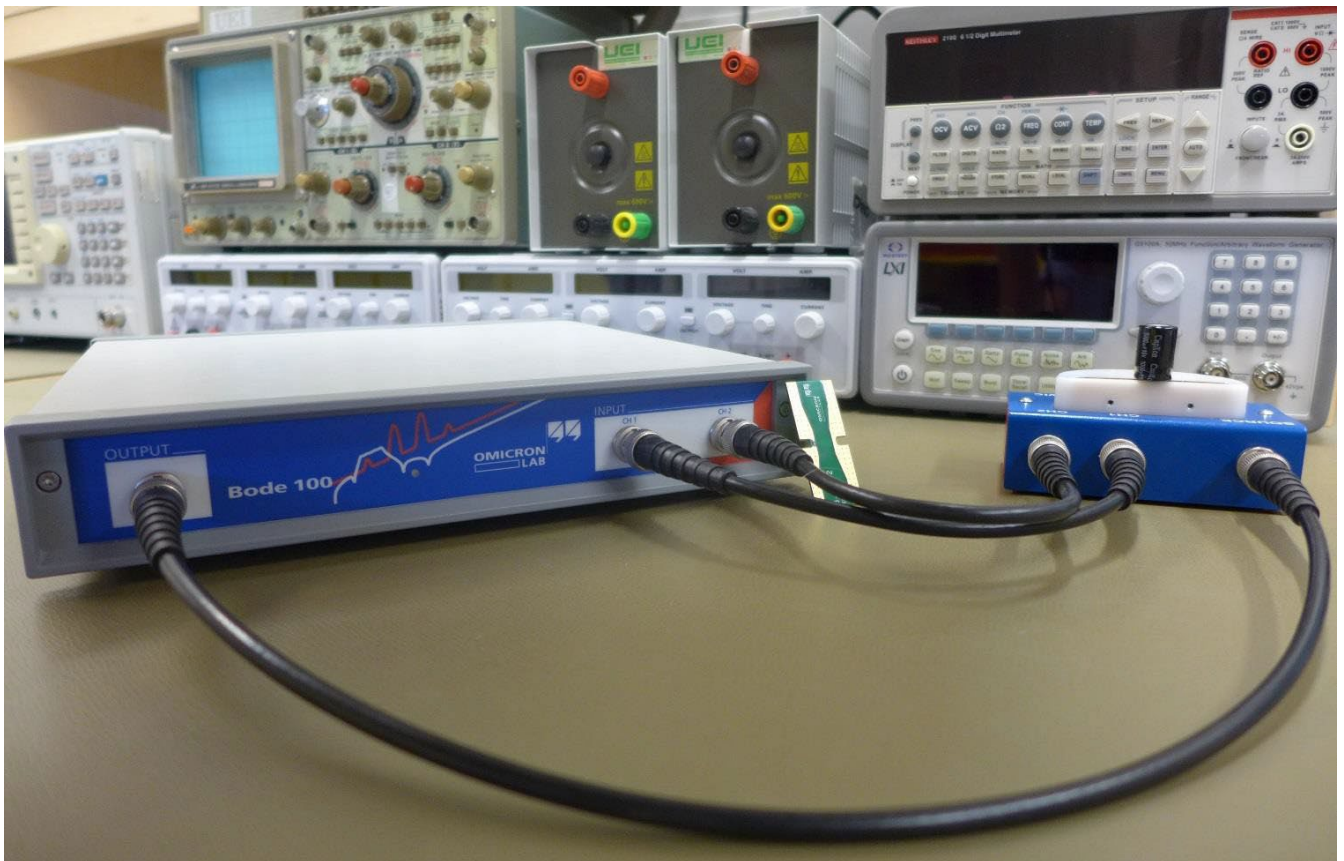


Bode 100 – アプリケーションノート

コンデンサの等価直列抵抗(ESR)の測定



By Florian Hämmerle

© 2017 by OMICRON Lab – V2.1

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 | 測定タスク | 3 |
| 3 | 測定セットアップと結果 | 4 |
| 3.1 | 測定機器..... | 4 |
| 3.1.1 | 被試験デバイスのデータ | 4 |
| 3.1.2 | ESR仕様 | 4 |
| 3.2 | 測定セットアップと校正 | 5 |
| 3.2.1 | 測定セットアップ | 5 |
| 3.2.2 | インピーダンスアダプタの校正 | 6 |
| 3.2.3 | コンデンサ測定 | 8 |
| 3.3 | 測定結果..... | 10 |
| 4 | まとめ..... | 12 |

Note: Basic procedures such as setting-up, adjusting and calibrating the Bode 100 are described in the Bode 100 user manual. You can download the Bode 100 user manual at www.omicron-lab.com/bode-100/downloads#3

Note: All measurements in this application note have been performed with the Bode Analyzer Suite V3.23. Use this version or a higher version to perform the measurements shown in this document. You can download the latest version at

www.omicron-lab.com/bode-100/downloads

1 はじめに

この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と B-WIC インピーダンスアダプタを組み合わせて、コンデンサの等価直列抵抗(ESR)を測定する方法について説明します。

2 測定タスク

コンデンサの ESR(等価直列抵抗) は、その特性動作に強く影響します。絶縁損失を無視した場合、自己共振周波数以下におけるコンデンサの動作は、下図に示す等価回路モデルで表すことができます。

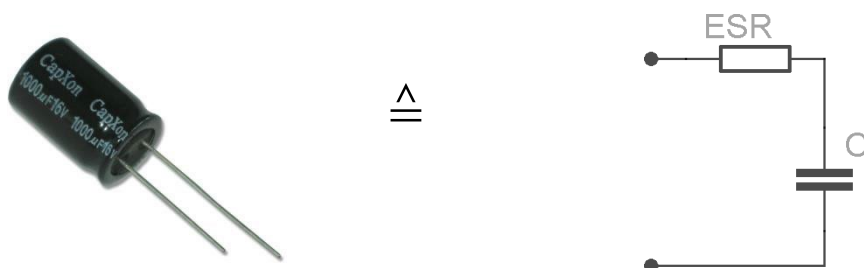


Figure 1コンデンサの等価回路モデル

一部のアプリケーションでは、コンデンサが適用されるシステムの動作が、直列抵抗(ESR)によって影響を受けることがあります。そのため、コンデンサの ESR 値を把握することは非常に重要です。しかし一般的に、コンデンサメーカーは ESR について多くの情報を提供していません。

このドキュメントでは、Bode 100 ベクトルネットワークアナライザを使用して、10 Hz から 1 MHz の範囲でコンデンサの ESR を測定する方法を示します。

3 測定セットアップと結果

3.1 測定機器

- Bode 100 ベクトルネットワークアナライザ
- インピーダンステストフィクスチャ(B-WIC または B-SMC)
- 被測定デバイス(この例では、1000 μ F、16 V の無極性電解コンデンサを使用)
- 校正ボード B-CAL

3.1.1 被試験デバイスのデータ

このコンデンサのデータシートには、ESR に関して次の情報が記載されています：

120 Hz、20 °C において、 $\tan \delta$ (損失角の正接)、すなわち Dissipation Factor(DF)は最大 20%(=ワーストケース)と規定されています。

3.1.2 ESR仕様

前ページに示した等価回路モデルを前提とすると、損失係数(DF)と ESR の間には以下の関係式が成り立ちます：

$$\tan \delta = \text{ESR} \cdot \omega \cdot C$$

データシートの情報を使用すると、120 Hz、20 °C における ESR は以下のように計算できます：

$$\text{ESR} = \frac{0,2}{2\pi \cdot 120 \text{ Hz} \cdot 1000 \mu\text{F}} = 265 \text{ m}\Omega$$

続いて、Bode 100 を使用して、このコンデンサが同様の ESR 値を示すかどうかを確認します。

3.2 測定セットアップと校正

3.2.1 測定セットアップ

インピーダンスアダプタ B-WIC は、下図のように Bode 100 に接続します。



Figure 2: 測定セットアップ

Bode Analyzer Suite を起動後、「Impedance Analysis(インピーダンス解析)」メニュー内で Impedance Adapter Measurement(インピーダンスアダプタ測定) を選択し、“Start measurement” ボタンをクリックします。

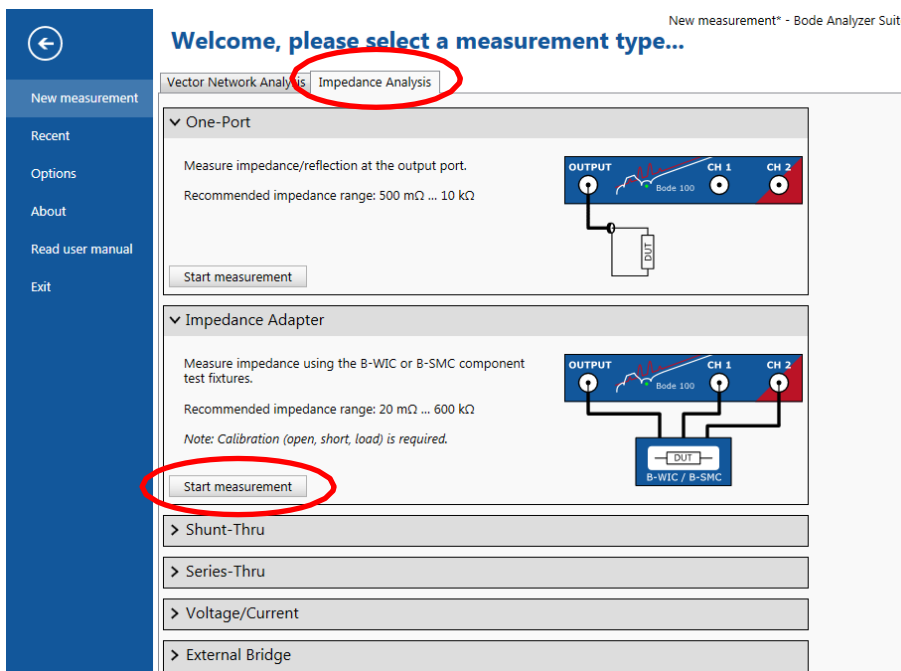


Figure 3: スタートメニュー

3.2.2 インピーダンスアダプタの校正

測定を行う前に、インピーダンス校正を実施する必要があります。B-WIC アダプタの校正は、B-WIC アダプタに付属している B-CAL 校正ボードを使用して行います。

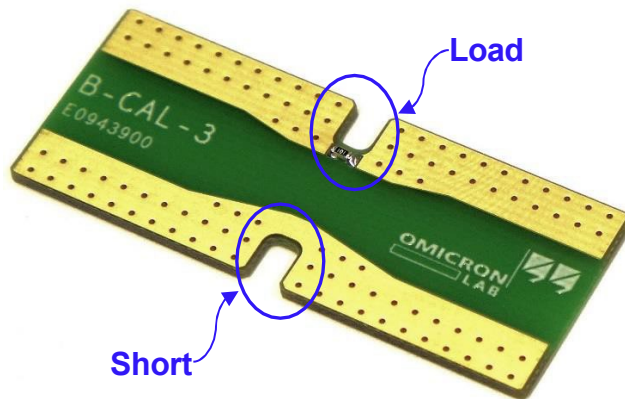


Figure 4: B-CAL 校正ボード

インピーダンスアダプタを校正するには、Full-Range アイコンをクリックし、新しい校正を実行します。

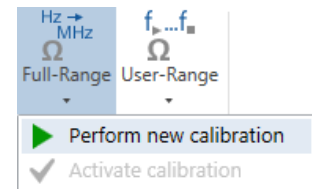


Figure 5: 校正の実行

校正ウィンドウでは、3つの校正ポイント(Open、Short、Load)をそれぞれ Start ボタンをクリックして開始します。

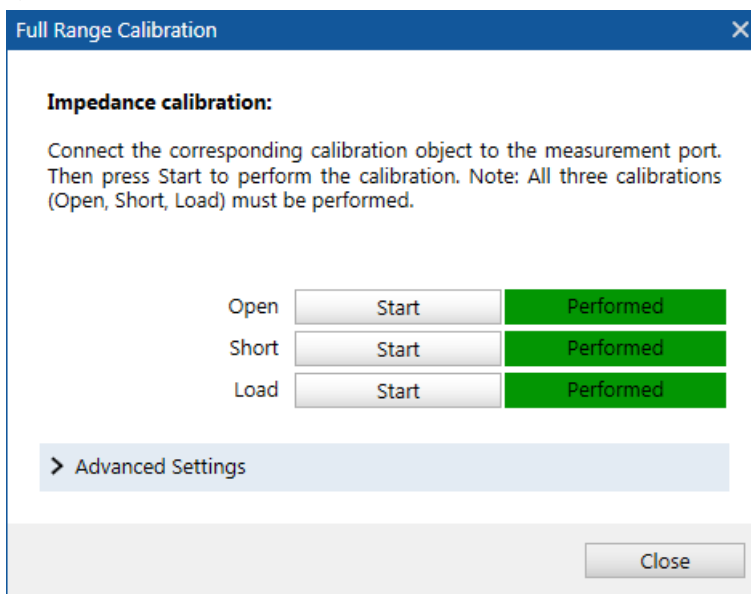


Figure 6: プローブ校正ウィンドウ(校正完了)

それぞれの校正ポイント(Open、Short、Load)では、正しいインピーダンスをアダプタに接続した状態で測定を行う必要があります。以下の図は、正しい校正セットアップを示しています。

オープン校正:



Figure 7: 負荷がない状態のインピーダンスアダプタ

被試験デバイス(DUT)を接続せずに、オープン(開放)校正を実行します。

注意:

オープン校正は電界の変化に非常に敏感です。校正中は、手やその他の物をインピーダンスアダプタの電極に近づけないでください。

ショート校正:

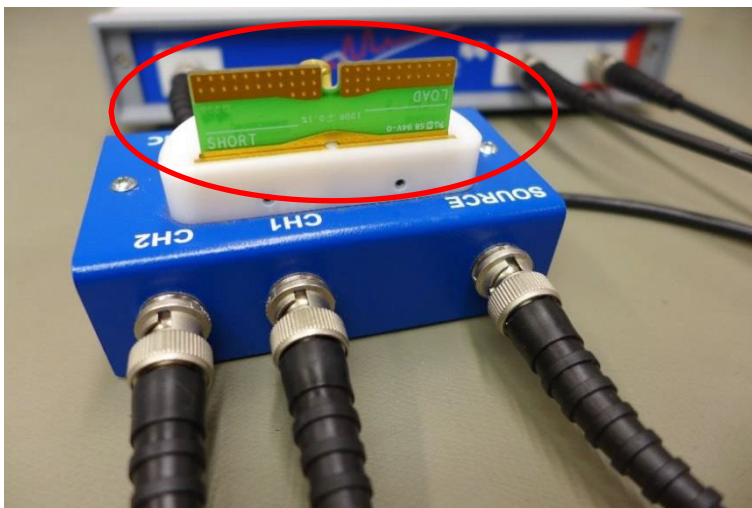


Figure 8: ショート状態でのインピーダンスアダプタ

キャリブレーションボードのショートバーを、上の写真に示すようにインピーダンスアダプタへ接続します。確実に良好な接触が得られていることを確認し、SHORT キャリブレーションを行うために、ボードを水平にしてアダプタへ挿入してください。

ロード校正:

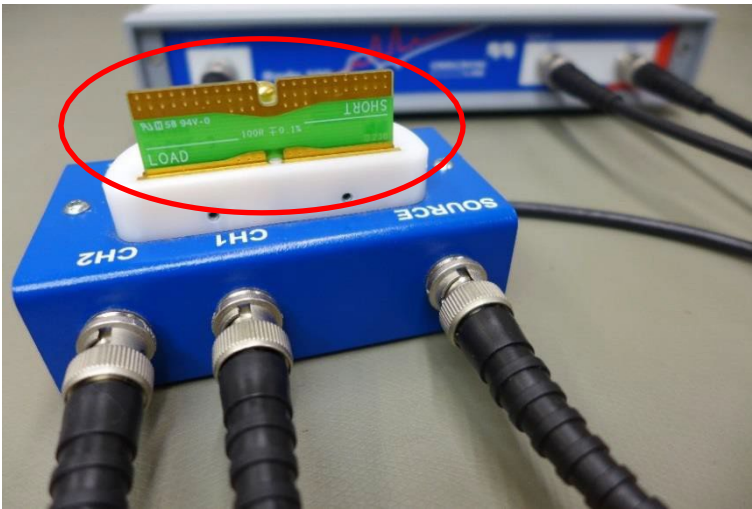


Figure 9: 100Ω負荷を接続したインピーダンスアダプタ

キャリブレーションボードの LOAD 側を水平にしてアダプタへ接続し、LOAD キャリブレーションを実行します。

3.2.3 コンデンサ測定

次の写真のようにコンデンサを接続します。寄生インダクタンスを最小限に抑えるため、リード線ができるだけ短くなるように、コンデンサを深く差し込んでください。リードが長くなると測定結果に影響を与える可能性があります。

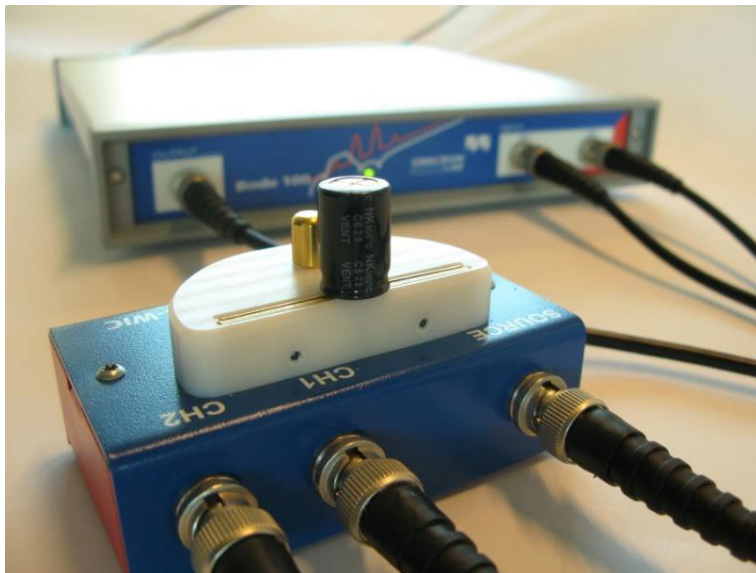


Figure 10: インピーダンスアダプタに接続されたコンデンサ

コンデンサ測定では、スイープパラメータを以下のように設定します:

開始周波数(Start Frequency): 10 Hz
停止周波数(Stop Frequency): 1 MHz
スイープモード(Sweep Mode): 対数(Logarithmic)
ポイント数(Number of Points): 201 以上
ソースレベル(Source level): 13 dBm
レシーバ帯域幅(Receiver Bandwidth): 30 Hz

まず、コンデンサのインピーダンスの周波数特性を確認するため、インピーダンスの大きさ(Magnitude) と位相(Phase) を測定します。

これらを測定するためには、以下のトレース設定が必要です。

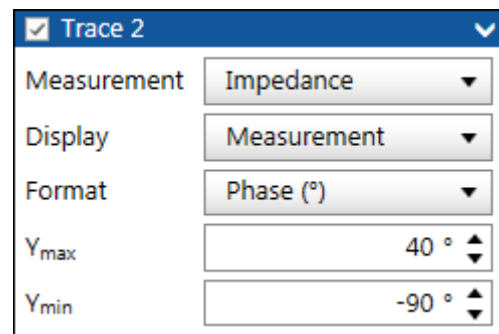
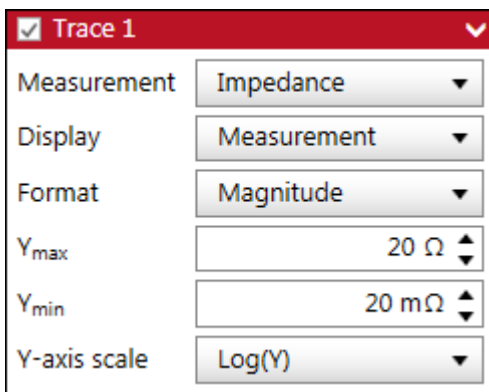



Figure 9: トレース1設定 - インピーダンスの大きさ(Magnitude)

Figure 10: トレース 2 設定 - 位相(Phase °)

上述の設定とキャリブレーションをすべて適用した状態で シングルスイープ測定(single sweep)  を実行すると、次ページに示される測定結果が得られます。

3.3 測定結果

以下のグラフは、10 Hz～1 MHz におけるコンデンサのインピーダンスの大きさを示しています。

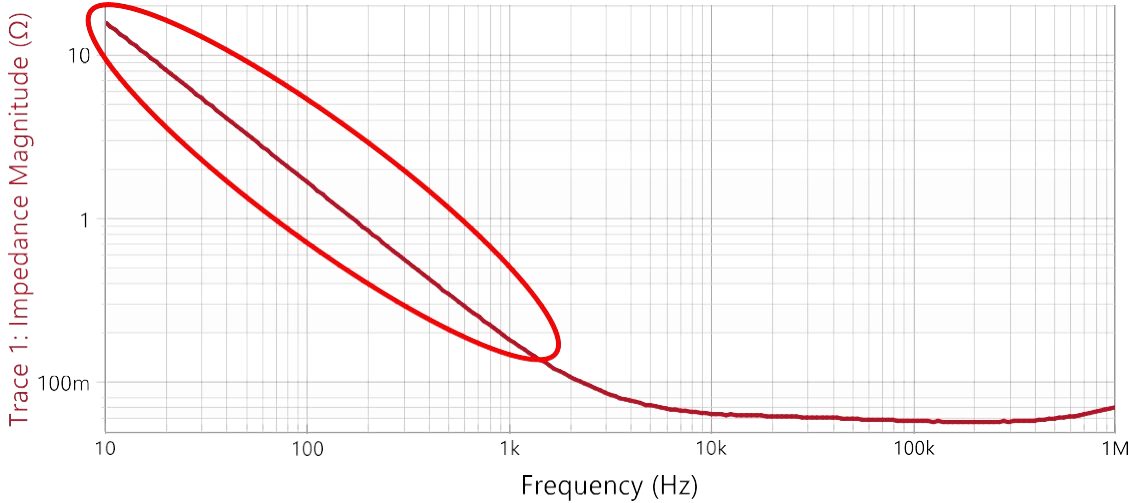


Figure 11: 周波数依存のインピーダンス(大きさ)

結果を見ると、開始周波数からおよそ 1kHz まで 直線的な特性が確認できます。この領域では、寄生インダクタンスおよび寄生抵抗の影響はほとんどなく、したがってコンデンサのインピーダンスは主に次式で表されるリアクタンス成分 X_C のみによって決まります。そのため、両対数(double logarithmic)表示では直線的なカーブとして見えるわけです。

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

共振周波数では、コンデンサの容量成分が寄生インダクタンスによって打ち消されます。この結果、インピーダンスは ESR(等価直列抵抗) による抵抗成分のみが支配的となり、共振ピークは ESR により減衰します。今回のコンデンサでは ESR が比較的高いため、共振点は非常に平坦(フラット)になります。

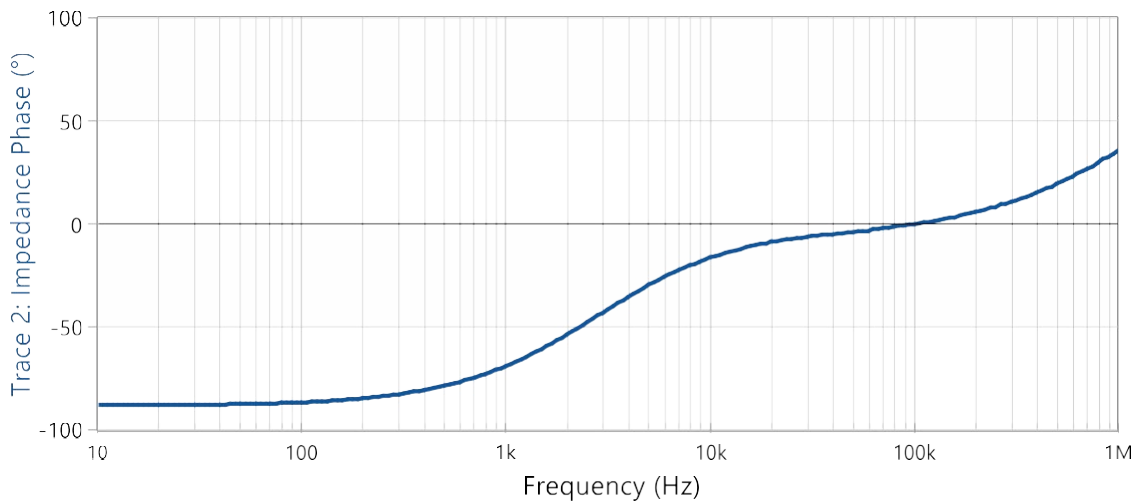


Figure 12: インピーダンスの位相

前述したように、低周波数では寄生要素がインピーダンス全体に対してほとんど影響を及ぼしません。そのため、実際のコンデンサも理想コンデンサのように振る舞い、位相は -90° となります。周波数が上昇すると寄生要素の影響が大きくなります。グラフを見ると、コンデンサは 100 kHz 以上の周波数ではインダクティブ(誘導性)に変化していることがわかります。

Bode 100 では、直列等価回路(series equivalent circuit) の値を直接測定することが可能です。この測定を行うには、トレースの表示形式を Rs(ESR の測定) または Cs(直列容量の測定) に変更するだけです。以下の図は、選択されたトレース設定を示しています。:

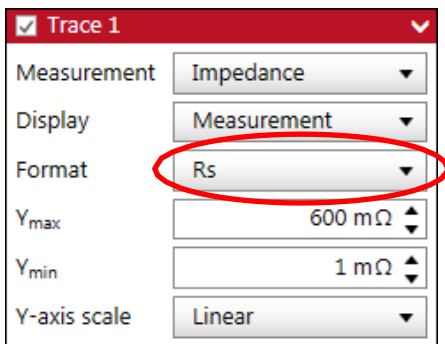


Figure 13: トレース1設定 - Rs

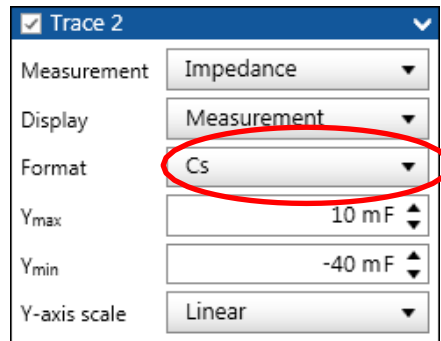


Figure 12: トレース2設定 - Cs(直列容量)

スイープを開始すると、以下のような測定カーブが得られます。

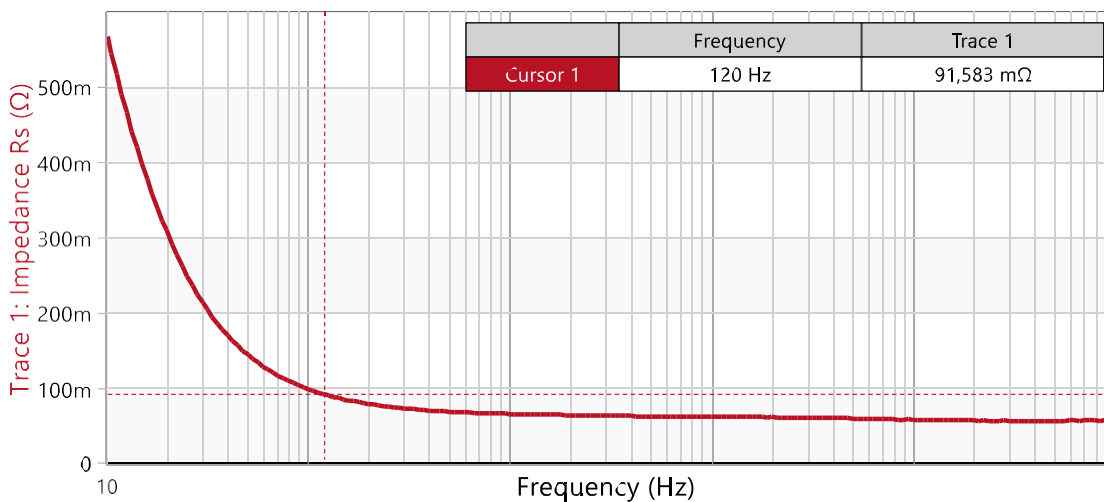


Figure 14: 周波数依存の抵抗成分(ESR)

この結果から、コンデンサの ESR(等価直列抵抗) は周波数によって大きく変化することがわかります。

次の図は、直列容量(series capacitance)の測定結果を示しています。10 Hz における容量値は 993 μF です。およそ 90 kHz では、内部インダクタンスによって 直列共振(series resonance) が発生していることがわかります。

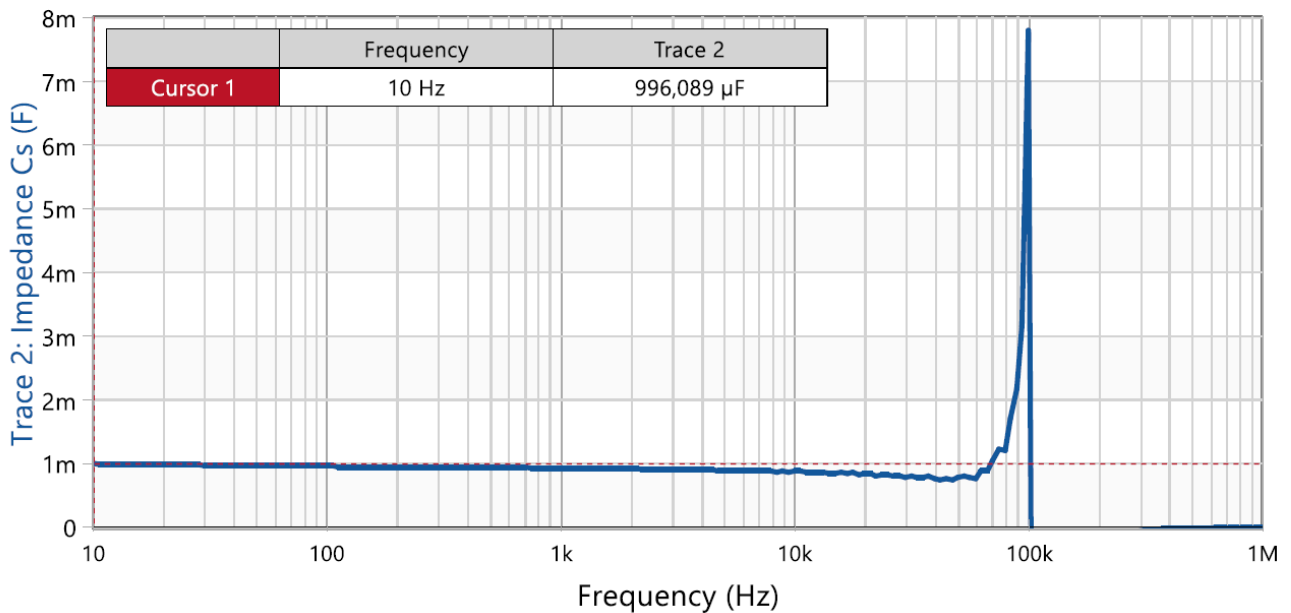


Figure 15: 直列容量

正確な直列抵抗値(ESR)は、カーソル機能を使用することで簡単に測定できます。データシートに記載されている値と比較するため、カーソルを 120 Hz に設定します。

| | Frequency | Trace 1 | Trace 2 | |
|--|-----------|-------------------|-----------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Cursor 1 | 120 Hz | 91,583 m Ω | 953,941 μF | |
| <input type="checkbox"/> Cursor 2 | | | | |
| <input type="checkbox"/> Delta C2-C1 | | | | |

Figure 16: 120 Hz に設定したカーソルウィンドウ

120 Hz における 等価直列抵抗(ESR) は約 92 m Ω であり、データシートの情報から算出したワーストケース値(265 m Ω)の 半分以下となっています。

4 まとめ

Bode 100 は、インピーダンスアダプタ B-WIC と組み合わせることで、コンデンサなどの受動部品を 簡単かつ高速に解析する手段を提供します。今回の測定結果からわかることは、

- ① このコンデンサの ESR は周波数によって大きく変化する
- ② ESR は、データシートに記載されている値のおよそ 1/3 程度である
- ③ コンデンサの使用可能な周波数範囲を確認できる
- ④ 共振周波数を容易に特定できる

これにより、設計段階での適切なコンデンサ選定や実測値を踏まえた評価がより正確に行えます。



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®