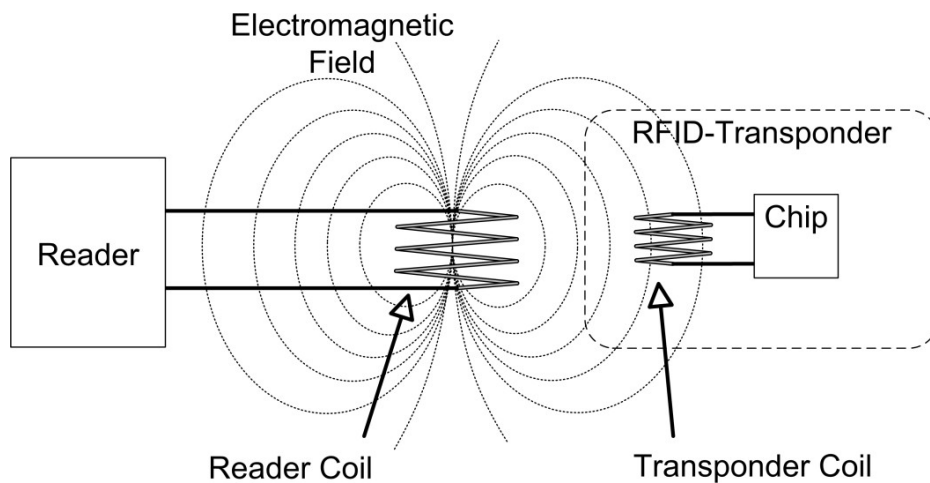


# Bode 100 – アプリケーションノート

## 非接触 RFID タグの測定



By Florian Hämmerle & Martin Bitschnau

© 2017 by OMICRON Lab – V3.1

Visit [www.omicron-lab.com](http://www.omicron-lab.com) for more information.

Contact [support@omicron-lab.com](mailto:support@omicron-lab.com) for technical support.

## 目次

1	概要.....	3
2	RFID タグの共振周波数測定 .....	3
2.1	測定課題.....	3
2.2	測定セットアップ .....	5
2.3	デバイスのセットアップおよび校正.....	6
2.3.1	デバイスのセットアップ.....	6
2.3.2	校正:.....	6
2.4	測定結果.....	7
3	RFID タグのQ値測定.....	10
3.1	測定タスク.....	10
3.2	測定結果.....	10
4	まとめ.....	12
5	参考文献.....	12

**Note:** Bode 100 のセットアップ、調整、校正といった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ます。Bode 100 ユーザーマニュアルは、以下の URL からダウンロードできます。

[www.omicron-lab.com/bode-100/downloads#3](http://www.omicron-lab.com/bode-100/downloads#3)

**Note:** 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 V3.11 を使用して実施されています。本書に示されている測定を実行するには、本バージョンまたはそれ以降のバージョンを使用してください。最新バージョンは、以下の URL からダウンロードできます。

[www.omicron-lab.com/bode-100/downloads](http://www.omicron-lab.com/bode-100/downloads)

## 1 概要

本アプリケーションノートでは、Bode 100 を用いて、DUT(被測定デバイス) に接触することなく 13.56 MHz RFID トランスポンダタグの共振周波数およびQ 値(品質係数)を測定する方法を示します。なお、本手法は 125 kHz などの他の周波数帯にも同様に適用可能です。

本アプリケーションノートには、これらの測定に必要なすべての情報が含まれています。追加の背景情報については、(Bitschnau, 2016) を参照してください。

RFID タグの正確な共振周波数を測定することは、RFID タグと RFID リーダ間の通信が正しく動作することを保証するため、製造プロセスにおいて重要となる場合があります。共振周波数に加えて、Q 値もシステム性能にとって重要な指標です。Q 値の高いタグは動作距離を拡大できますが、特に複数のトランスポンダがリーダの電界内に存在する場合には、動作上の問題を引き起こす可能性があります。タグに直接接触する測定は困難な場合が多く、また接続ケーブルによって付加される容量が共振周波数に大きな影響を与えることがあります。

さらに、DUT が外部から物理的にアクセスできない場合もあります。本書で示す測定は、DUT(トランスポンダ)と測定用コイル(リーダ)との磁気結合を利用して行われます。このため、本手法は非接触測定(コンタクトレス測定)と呼ばれます。

## 2 RFID タグの共振周波数測定

### 2.1 測定課題

Bode 100 を使用して、RFID トランスポンダカード(スマートカード)の共振周波数を測定します。

以下に示す DUT の写真から分かるように、トランスポンダのアンテナやチップに対して電気的な接続を行うことはできません。



Figure 1: ID-1 Infineon スマートカード(クラス1)

図に示した RFID タグは 13.56 MHz 帯で動作します。この周波数で動作する RFID システムでは、通信に誘導結合が用いられます。以下の2つの図は、リーダとタグ(トランスポンダとも呼ばれる)との間の誘導結合を示しています。右側には、システムの等価回路モデルが示されています。 $M$  は相互インダクタンスであり、磁気的に結合された回路を、集中定数素子で構成された回路図として表現するためのパラメータです。リーダ側のコイルは、寄生する銅損抵抗  $R_1$  とインダクタンス  $L_1$  の直列接続としてモデル化されています。相互インダクタンス  $M$  の右側に配置された二次側は、RFID カードの等価回路を示しています。 $R_2$  は RFID アンテナの銅損を表します。

コンデンサ  $C$  と抵抗  $R_L$  は RFID チップを表しています。コンデンサ  $C$  はインダクタンス  $L_2$  と組み合わせられることで、約 13.56 MHz で共振するように設計されています。

通常、アンチコリジョン(衝突回避)の観点から、共振周波数は 13.56 MHz より高めに設定されます。

多くの場合、リーダの電界内に 2つのトランスポンダが存在しても性能を維持できるように、共振周波数は 13.56 MHz より 1~5 MHz 高い値に選ばれます。

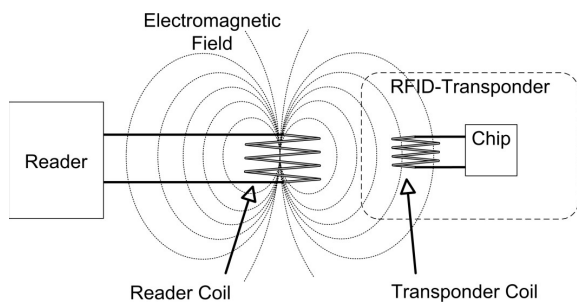


Figure 2: 動作原理

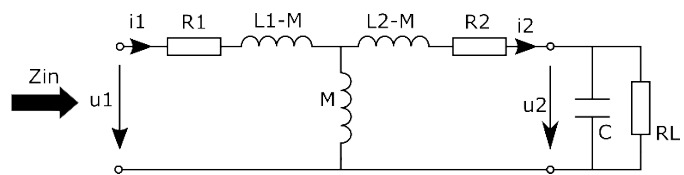


Figure 3: 等価回路モデル

RFID トランスポンダの共振周波数は、RFID チップ入力端に印加される電圧  $u_2$  が最大となる周波数として定義されます。タグの共振周波数は、磁気的に結合されたリーダコイルの入力インピーダンスを測定することで求めることができます。トランスポンダの磁気結合回路は、図4に示されているようにリーダコイル側へ等価変換することが可能です。このとき、変換後のトランスポンダのインピーダンスは  $Z'$  と表されます。測定される入力インピーダンス  $Z_{in}$  の導出から、 $Z_{in}$  はリーダコイルの回路要素と、変換されたトランスポンダインピーダンス  $Z'$  との直列接続で構成されていることが分かります。数式による詳細な導出については、(Bitschnau, 2016) の 5.2 節を参照してください。

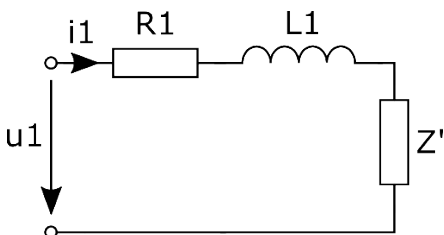


Figure 4: 変換後等価回路

数式による導出から、トランスポンダの共振周波数は、変換されたインピーダンス  $Z'$  の実部が最大となる点と相関していることが分かります。したがって、変換された(測定された)トランスポンダインピーダンス  $Z'$  の最大値を求めることで、トランスポンダの共振周波数を測定することができます。なお、測定結果からはリーダコイル自身のインピーダンスを除去する必要がある点に注意してください。

## 2.2 測定セットアップ

前述のとおり、RFID トランスポンダを励振するためにはリーダーコイルが必要です。そのため、本測定では B-RFID-A ボードを使用します。このリーダーコイルは 2 巻線構造を有しており、ISO/IEC 14443 に準拠した クラス 1 およびクラス 2 アンテナを備える RFID トランスポンダの測定用に設計されています。トランスポンダとリーダーコイルとの距離は 10 mm に設定されています。

以下の写真は、リーダーコイルおよび DUT を含む測定セットアップを示しています。

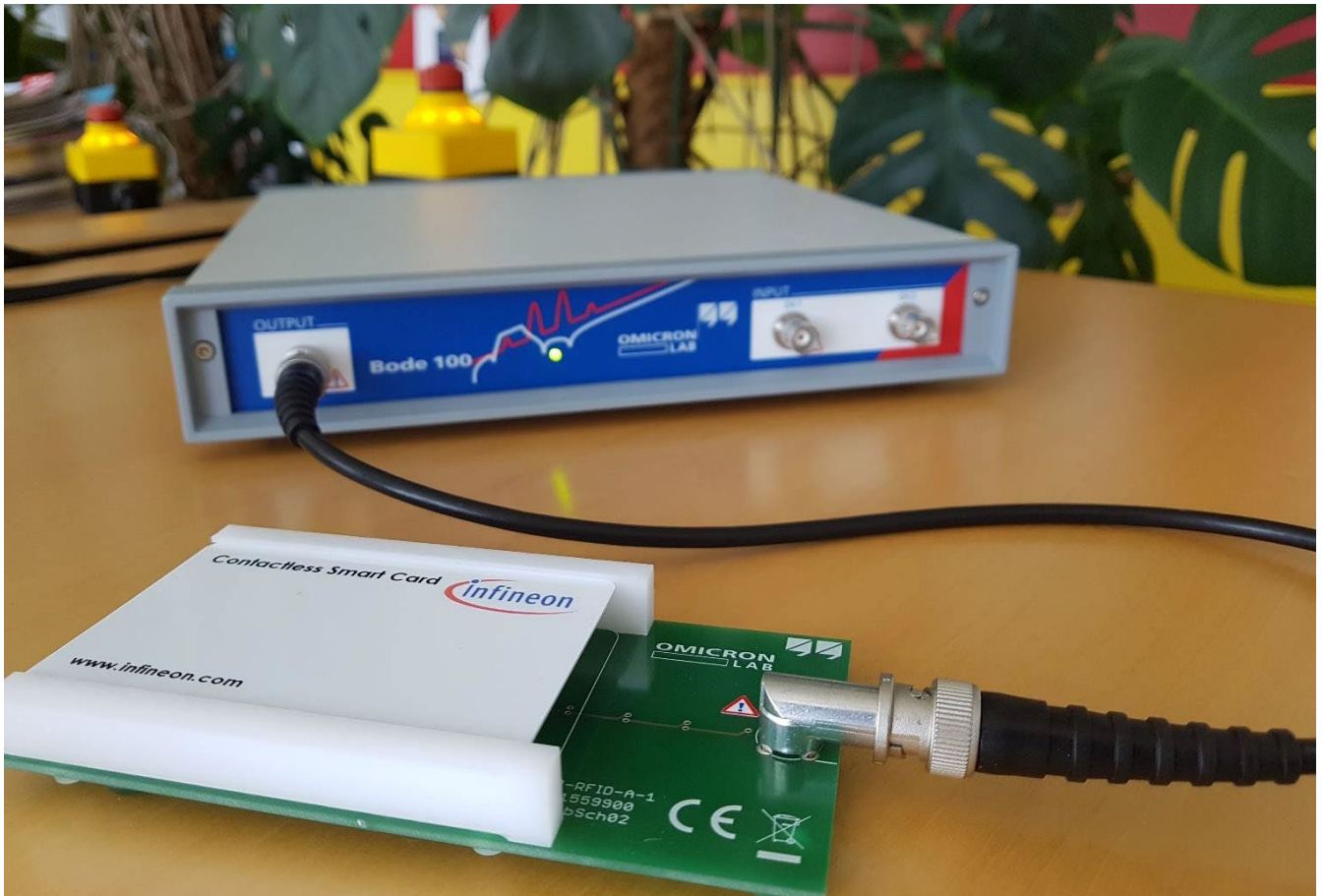


Figure 5: 測定セットアップ

### 注意:

再現性を確保するため、カードとリーダーコイルの相対位置を一定に保ってください。また、周囲環境(設置台)の透磁率および導電率が測定結果に影響を与える可能性がある点にも注意が必要です。金属製のテーブルの上には設置しないようにしてください。

## 2.3 デバイスのセットアップおよび校正

### 2.3.1 デバイスのセットアップ

共振周波数は、変換されたトランスポンダインプीडダンスの実部の最大ピークと相関します。したがって、Bode 100 はインピーダンススイープを測定できるように設定する必要があります。

測定は、Bode 100 の測定タイプ「One-Port」を使用して実行できます。

**Welcome, please select a measurement type...**

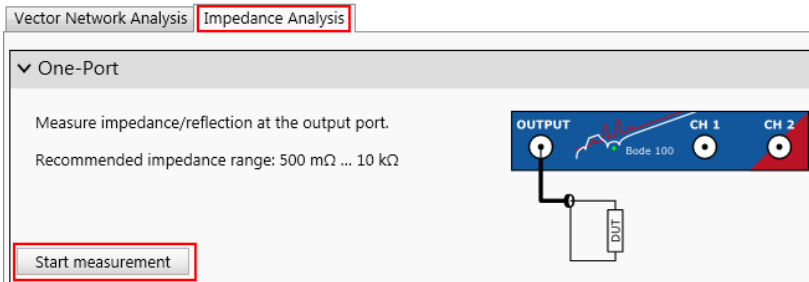


Figure 6: Start menu

開始周波数(Start Frequency): 10 MHz

終了周波数(Stop Frequency): 20 MHz

スイープモード(Sweep Mode): Linear(リニア)

ポイント数(Number of Points): 401 以上

レベル(Level): -18 dBm

受信機帯域幅(Receiver Bandwidth): 100 Hz

以下の図に示すように、「Format」を「Real」に設定してください。

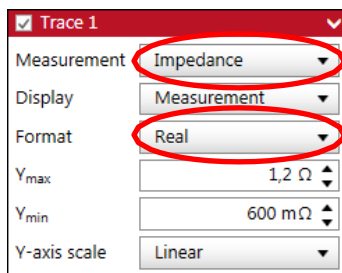


Figure 7: Trace 1の設定

### 2.3.2 校正:

測定結果からケーブルのインピーダンス成分を除去するため、接続ケーブルの先端でオープン、ショート、ロードのキャリブレーションを実施することを推奨します。キャリブレーション時の信号/雑音比(S/N比)を向上させるため、ソースレベルは 0 dBm に設定してキャリブレーションを行ってください。

#### Note:

Bode 100 のインピーダンスキャリブレーションの実施方法については、Bode 100 ユーザーマニュアルを参照してください。

## 2.4 測定結果

上記の設定およびキャリブレーションを用いて、測定を開始することができます。まず、相互誘導のない状態でリーダーコイルを測定します。そのため、リーダーコイルとトランスポンダコイル間の誘導結合を防ぐために、RFIDトランスポンダカード(DUT)をリーダーコイルの磁界から取り除いてください。

### リーダーコイルのインピーダンス測定

単一スイープを実行すると、以下の測定結果が得られます。図から分かるように、抵抗値  $R_1$  は周波数に対して一定ではありません。これは表皮効果によるものです。

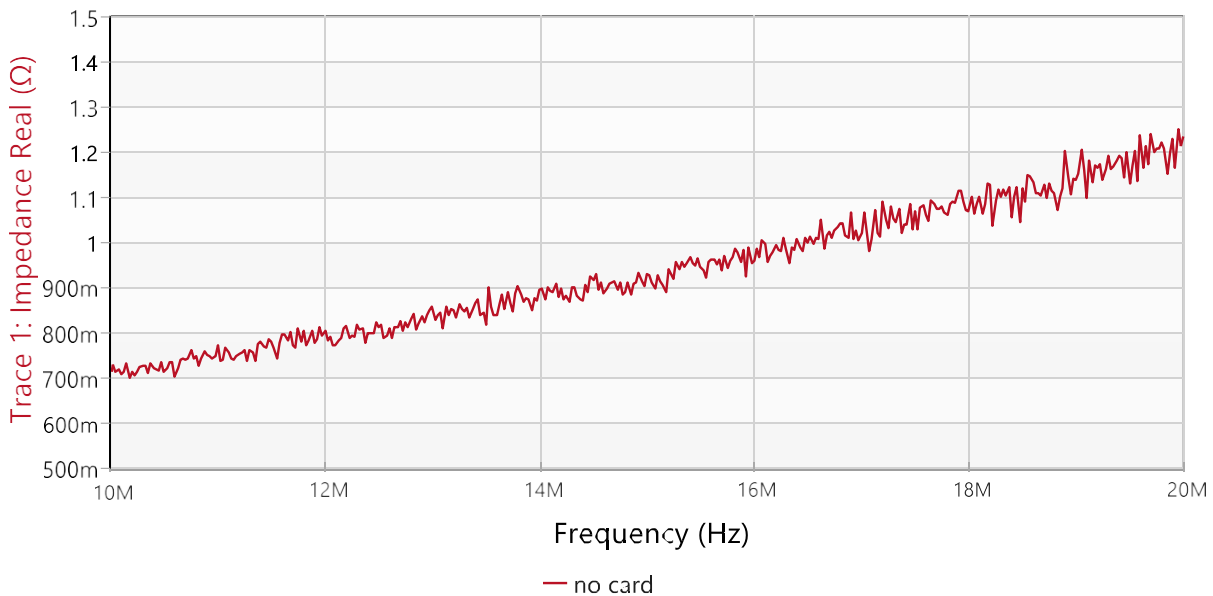


Figure 8: B-RFID-A 結合コイルの直列抵抗

この測定結果は  $Z'$  を計算するために必要となるため、メモリに保存します。測定データをメモリに保存するには、画面右下にある「Measurement → new memory」ボタンを押してください。

Measurement → new memory

**Note:** メモリには、測定データの複素数成分全体(実部および虚部)が常に保存されます。

トランスポンダをリーダーフィールドに配置する。

次に、RFID トランスポンダをリーダ治具内に配置します(Figure 5参照)。

信号レベルは測定結果に大きな影響を与えるため、2 種類の測定を行います。

まず、ソースレベルを -18 dBm に設定し、新しいスイープを実行します。スイープ完了後、その結果をメモリトレースとして保存します。次に、ソースレベルを 2 dBm に設定して、同様の測定を行います。すべての測定が完了したら、3つの異なるメモリトレースを、それぞれ内容が分かるようにリネームしてください。

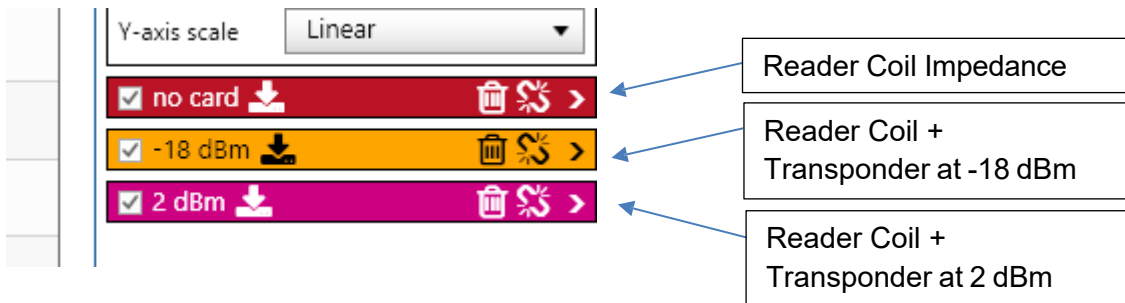


Figure 9: 保存されたメモリトレース

### 変換インピーダンス $Z'$ の計算

次に、実測データからリーダーコイルのインピーダンスを減算することで、変換インピーダンス  $Z'$  を求めます。この計算は、以下に示すトレース設定を用いて、Bode Analyzer Suite 上で直接実行できます。

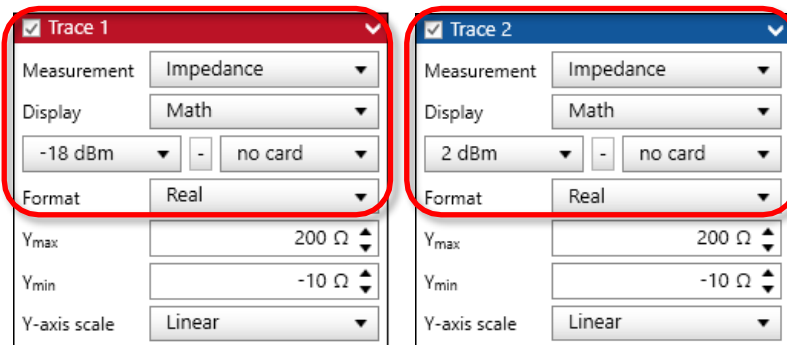


Figure 10: 共振周波数表示用の設定(トレース1およびトレース2)

表示形式(Display)は「Math」に設定し、Bode Analyzer Suite の数式機能を使用します。次に、2つのオペランド(メモリカーブ)と演算子「-」を選択します。

この例では、トレース1は、信号レベル -18 dBm で測定したデータから、リーダーコイルのインピーダンス(カードなし)を減算するように設定されています。これにより、信号レベル -18 dBm における目的の変換インピーダンス  $Z'$  が得られます。トレース2では、測定信号レベル 2 dBm における変換インピーダンス  $Z'$  が得られます。

これらの設定により、以下に示すように 2 つの共振曲線が得られます。

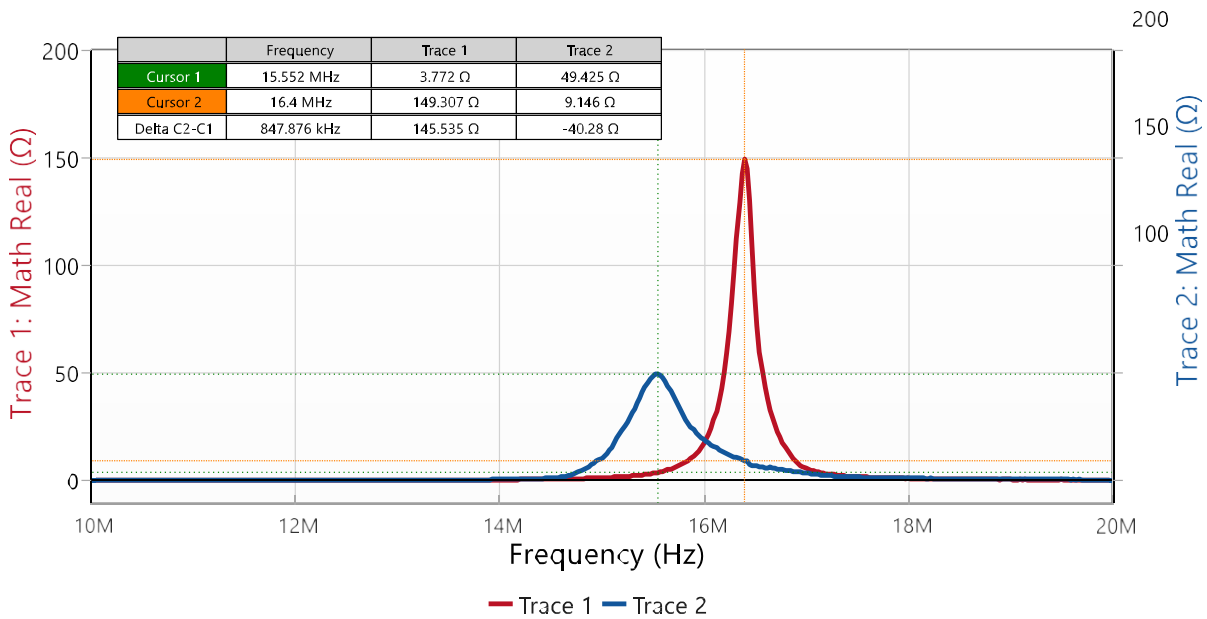


Figure 11: 共振周波数測定

トランスポンダの共振は、測定に使用する信号レベルに強く依存することに注意してください。信号レベルが高くなるほど、RFID チップが測定結果に与える影響が大きくなります。共振周波数は、「Jump to Max」カーソル機能を使用して求めることができます

(トレース1を右クリックし、Cursor 1 → Jump to Max (Trace 1) を選択)。

信号レベル	共振周波数
-18 dBm	16.40 MHz
2 dBm	15.55 MHz

**ヒント:**

共振周波数は、次章で示す カーソル計算機能「resonance frequency – quality calculation」を使用して測定することも可能です。

## 3 RFID タグのQ値測定

### 3.1 測定タスク

共振周波数に加えて、RFID トランスポンダの\*\*品質係数(Q 値)\*\*も、DUT に直接接触することなく測定することができます。Q 値は以下の式で定義されます。

$$Q = \frac{f_0}{f_{BW}} = \frac{\omega_0}{\omega_{BW}} \quad (1)$$

ここで、 $f_0$ は共振周波数、 $f_{BW}$ は帯域幅を表します。帯域幅の上限および下限は、共振周波数における電力の半分となる周波数点として定義されます。本測定における信号対象は、RFID チップ両端の電圧 $u_2$ です。帯域幅の上下限は、 $\text{Real}\{Z'\}$  が共振時の値の1/2 に低下する周波数を測定することで求められます。この考え方の数学的な証明／導出については、(Bitschnau, 2016) に記載されています。

### 3.2 測定結果

Q 値測定に使用する測定セットアップは、共振周波数測定と同一です。前章で得られた測定結果をそのまま使用し、Bode Analyzer Suite 3.11 以降で利用可能な「Fres-Q」機能を使用します。「Fres-Q」カーソル計算機能は、共振ピークを自動的に検索し、共振周波数および Q 値を計算します。

Fres-Q 機能を使用するには、「Cursor」タブを選択し、以下に示すように「Fres-Q」を選択してください。

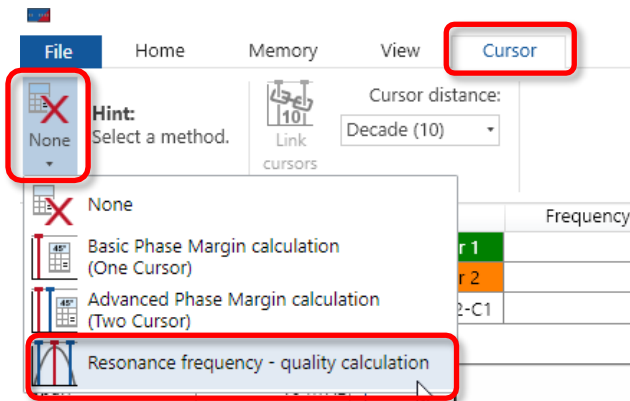


Figure 12: Fres-Q 機能の有効化

次に、「Trace 1」の「Real」を使用するように選択し、「Find peak」ボタンをクリックします。

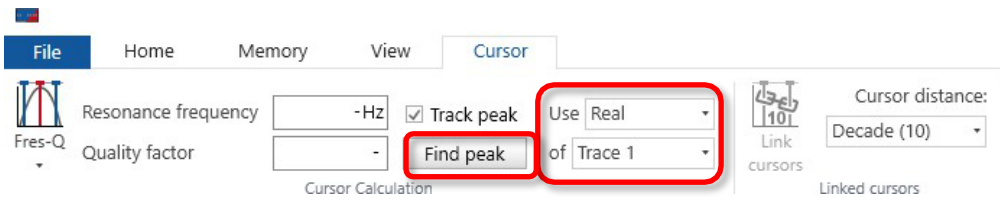


Figure 13: カーソルタブの設定

Bode Analyzer Suite は、以下の図に示すように、共振曲線上に 3 つのカーソルを自動的に配置し、次の式を用いて Q 値を計算します。

$$Q = \frac{f_0}{f_{BW}} = \frac{16.4 \text{ MHz}}{260.048 \text{ kHz}} = 63.056$$

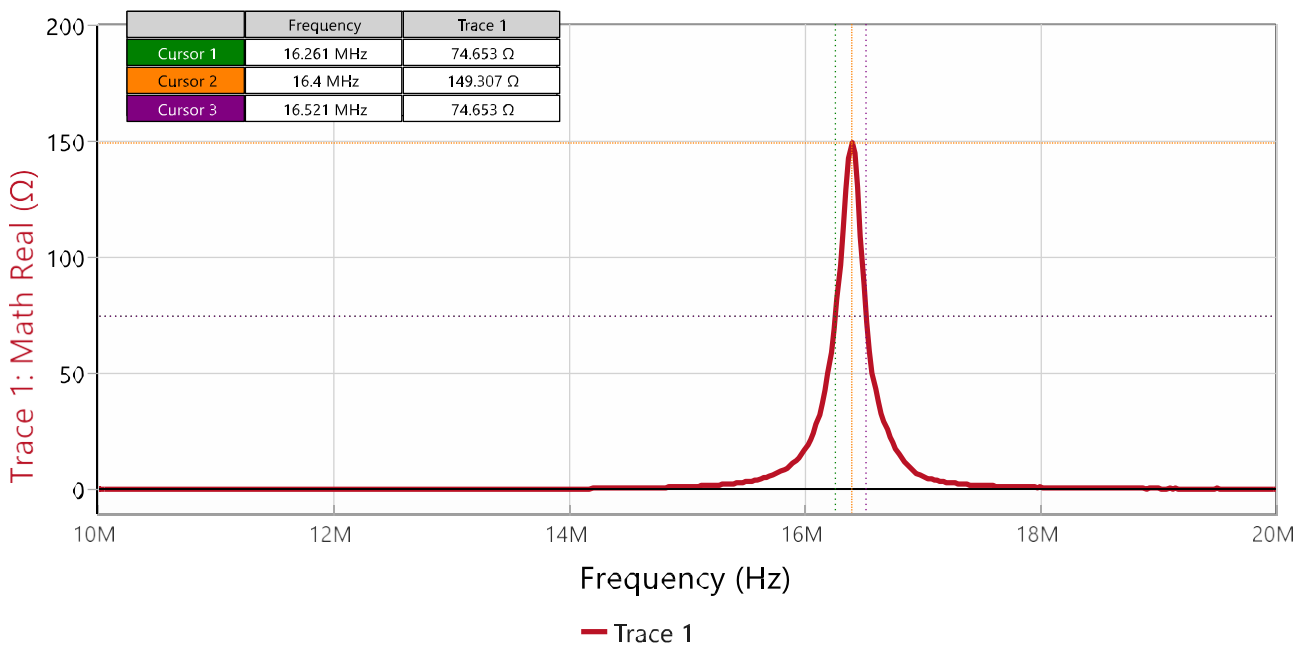


Figure 14: Q 値測定用の測定カーブおよびカーソル

計算結果は、リボン表示部に表示されます。

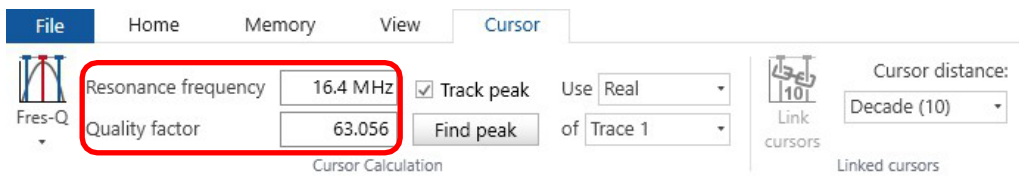


Figure 15: Fres-Q の結果表示

これにより、結果表を以下のように Q 値を含めて拡張することができます。

信号レベル	共振周波数	Q値
-18 dBm	16.40 MHz	63
2 dBm	15.55 MHz	23

## 4 まとめ

Bode 100 は、13.56 MHz RFID トランスポンダの共振周波数測定に非常に適した測定器です。クラス 1、2、および 3 の ID-1 カードを迅速かつ容易に測定するための、専用テスト治具 B-RFID-A、B、C が用意されています。

また、Bode 100 は低周波数領域の測定能力を備えているため、低周波 RFID の測定にも使用することができます。

本手法により、共振周波数だけでなく、単一の周波数応答から 2 つの特性を測定することで、RFID トランスポンダの品質係数(Q 値)も取得可能であることが示されました。

## 5 参考文献

Bitschnau, M. (2016). *Analysis of Quality Factor and Resonance Frequency Measurements of RFID Transponders*. Klaus in Vorarlberg: Omicron Lab.



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](mailto:info@omicron-lab.com) • [www.omicron-lab.com](http://www.omicron-lab.com)

Smart Measurement Solutions®