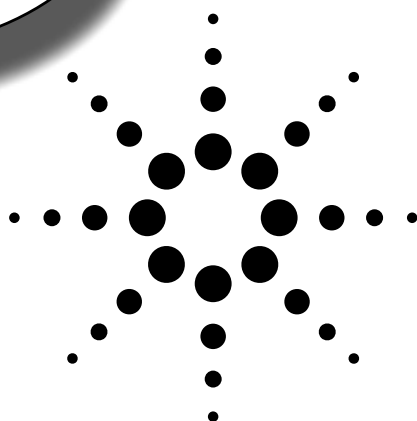


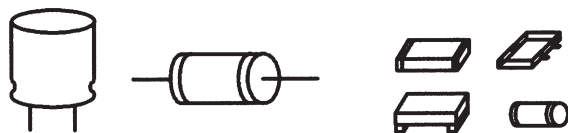
Hints

エンジニアのための インピーダンス測定の 8つのヒント



Application Note 346-4

<MEAS DISPLAY>		SYS MENU	MEAS DISP
FUNC : Z- θ		RANGE : AUTO	
FREQ : 100.000kHz		BIAS : 0.000 V	
LEVEL : 1.00 V		INTEG : LONG	
Z : 150.000 Ω			BIN No.
			BIN COUNT
θ : -90.000 deg			
			LIST SWEEP
Vm : 50.00mV		Im : 10.74mA	
CORR: OPEN, SHORT			



設計通りのパフォーマンスを得るために
使用する部品のチェックのノウハウ

ご注意

2002 年 6 月 13 日より、製品のオプション構成が変更されています。
カタログの記載と異なりますので、ご発注の前にご確認をお願いします。



Agilent Technologies

Innovating the HP Way

エンジニアのためのインピーダンス測定

はじめに

エンジニアにとってインピーダンス測定は様々な目的で利用されますが、その代表的な用途として回路設計で使う部品を前もってチェックするというものがあります。電子部品は販売の時点で10uFなどの値が表示されていますが、実際に部品が壊れていないかは言うまでもなく、その部品が使われる条件でどんな値を示すかは回路の完成時に必要な性能を出すために非常に重要な問題になります。本書では初めてインピーダンス測定を行うとするエンジニアにとって、最低限覚えておくべきエッセンスを説明します。

8つのヒントの概要

本書の前半部分(ヒント1~4)ではインピーダンス測定の一般知識について解説し、測定器を選ぶ時や使い始める時に注意すべき点について解説します。また、後半部分(ヒント5~8)ではインピーダンス測定器を使い込む上で必要となる知識について解説します。後半部に関しては、すでにインピーダンス測定器を使っているエンジニアにも参考になるよう重要な点を網羅しています。

- ヒント1 インピーダンス測定のパラメータの意味
- ヒント2 インピーダンス測定が必要な理由
- ヒント3 最良のインピーダンス測定器選択のポイント
- ヒント4 最良の測定治具選択のポイント
- ヒント5 適切な誤差補正方法による精度の改善
- ヒント6 レベル依存性の高い電子部品の正確な評価法
- ヒント7 低損失(低D/高Q)を高精度で測定する方法
- ヒント8 電子部品評価を効率よく行うための方法

皆様の必要とされる情報に応じ、必要な部分だけでも読んで理解できるよう構成しています。ぜひ、仕事にお役立て下さい。

インピーダンス測定器の基本概念

インピーダンス測定器は基本的に図1の回路で構成されます。

信号源の信号はソース抵抗をへて被測定物(Device Under Test、略称:DUT)へ印加されます。DUTにかけられた電圧を電圧計でDUTに流れた電流を電流計で検出しその比からインピーダンスを求めます。

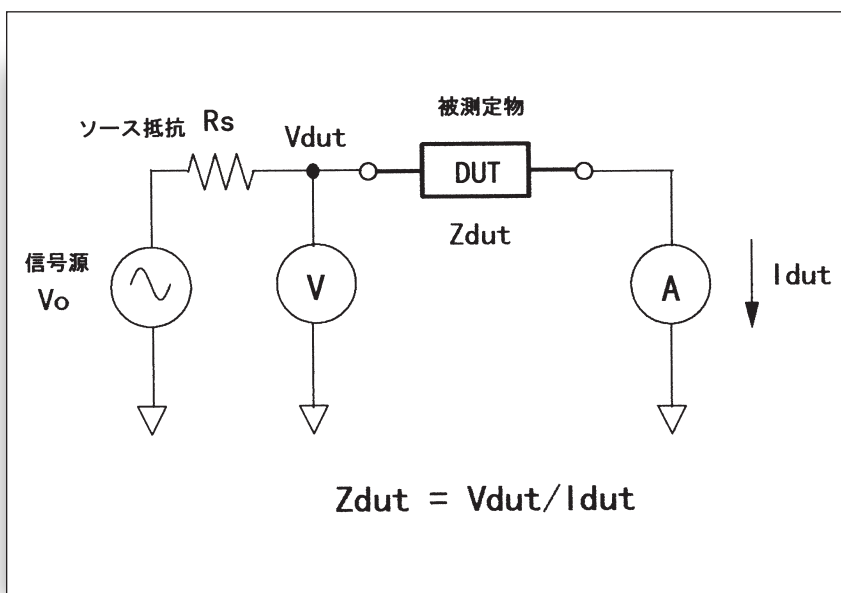
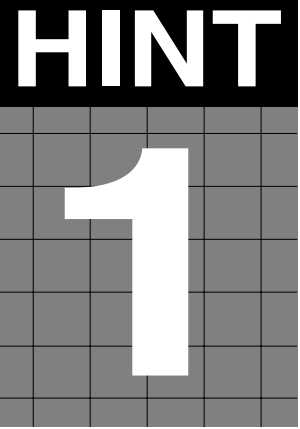


図1. インピーダンス測定器基本概念図

インピーダンス測定のパラメータの意味



インピーダンスの定義

インピーダンスは電子部品の特性評価に使用する重要なパラメータです。インピーダンス(Z)はある周波数における電子部品の交流電流の流れを妨げる量として定義され、数学的には複素平面上のベクトル量として表されます。

インピーダンス・ベクトルは図2に示すように実数部(抵抗R)と虚数部(リアクタンスX)からなります。インピーダンスは抵抗とリアクタンスが直列接続で表されるときRとXで簡単に表されますが、並列接続の場合はその逆数のアドミタンスを使った方が便利となります。

コンデンサやコイルのパラメータ

電子部品には容量CやインダクタンスLなど部品固有のパラメータがありますが、それらはすべて抵抗RとリアクタンスXから導出されます。

リアクタンスは誘導性(X_L)または容量性(X_C)のどちらかの形をとり、誘導性の場合 $X_L = 2\pi fL$ 、容量性の場合 $X_C = 1/(2\pi fC)$ で表されます。fは周波数です。コンデンサとコイルのパラメータの概念を図3にまとめました。

クオリティ・ファクタ(Q)はリアクタンスの純度(抵抗が小さく、どの程度純粋なリアクタンスに近い)の目安であり、物理的には電子部品に蓄えられたエネルギーと消費されたエネルギーの比を表しています。Qは無次元単位であり、 $Q = X/R$ で表されます。Qは一般にインダクタに適用されます。コンデンサの場合は損失係数(D)が頻繁に使われます。この量はQの逆数であり、位相角 θ の余角である角度 δ のタンジェントであることから $\tan \delta$ とも呼ばれます。

測定回路モード

電子部品両端で測られたインピーダンスのベクトル値は、部品本体や寄生成分も含めた部品全体としての特性となります。厳密に言えばその等価回路は複雑なものになりますが、インピーダンス測定器ではその特性を2素子回路でモデル化し、直列モデルと並列モデルで表わします。インピーダンス測定器は測定回路モードとしてこれらの2つのモデルを持ちます。(図4参照)。

最近のインピーダンス測定器では、C(容量)やL(インダクタンス)の下に添字のp(parallel)やs(series)をつけ、 C_p や C_s などであらわし、直列モードと並列モードを区別しています。

また、測定結果を3素子や4素子回路モデルの形で解析したい場合には、等価回路解析機能を備えている測定器も用意されています。

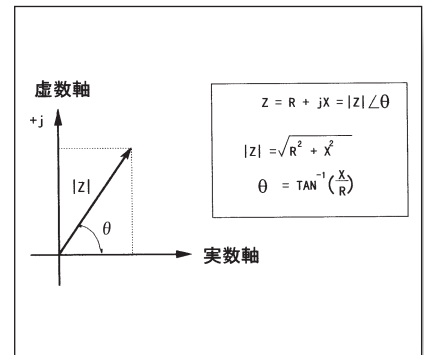


図2. 実数部と虚数部で構成されるインピーダンス

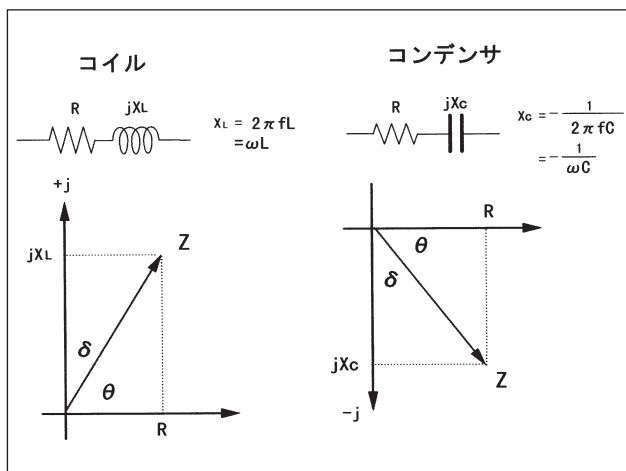


図3. コンデンサとコイルのパラメータ

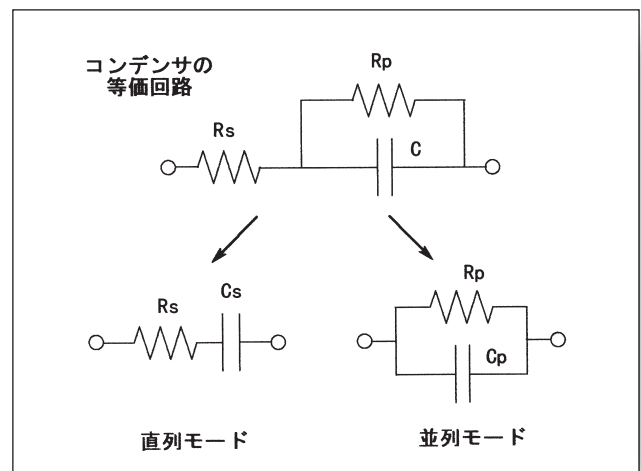


図4. 測定回路モード

HINT

2

インピーダンス測定が必要な理由

部品のカタログにはその部品の定数が記載されているにもかかわらず、なぜそれ以上測定が必要なのでしょう。その理由は、実動作条件での実際の値は公称値と異なることにあります。その理由は大きく分けて3点あります。それぞれについて解説します。

電子部品自体の値のばらつき

同じ公称値をもつ電子部品であっても製造ロットの違いなどにより、規定精度内でのばらつきが発生します。特に回路の性能をだすために電子部品にも高い精度が要求される場合などには、値のばらつきをチェックすることが必要となります。

電子部品のもつ寄生成分

電子部品にはリードのもつ残留インピーダンスやリード間の浮遊容量など寄生成分が含まれます。部品全体のインピーダンスは部品本体部の公称値に加えてこれら寄生成分のインピーダンスも加えて考える必要があります。(図5を参照)。また、電子部品を取りつける時のリードの長さや間隔によっても部品全体の実際のインピーダンスは変わることになりますので、実際に使用する状態での値のチェックが必要です。

使用条件によって変わる値

電子部品(寄生成分も含めた総体と呼ぶ)は使用される条件によってインピーダンスの値が変化します。ここで言う使用条件とは、電気信号の周波数、AC信号レベル、DCバイアスなどのことを示します。設計する回路内での使用条件で事前に値を評価することは信頼できる回路を設計するための重要なポイントとなります。

以下に、使用条件による特性変化(依存性)の代表的なものをあげます。

周波数依存性—すべての電子部品には周波数依存性があります。例として、図6にコンデンサの周波数特性を示します。図には寄生成分によってその波形がどう変わるかも付け加えました。

AC信号レベル依存性—コンデンサ(特にセラミック・コンデンサ)はAC信号電圧レベルに依存し、インダクタはAC信号電流レベルに依存します。図7にこれらの依存性の例を示します。

DCバイアス依存性—コンデンサ、インダクタ、ダイオード、トランジスタなどの部品は、DCバイアス依存性を有します。図7に例を示します。

これらの依存性を評価するため、インピーダンス測定器は測定に必要とされる測定周波数、AC信号レベル、DCバイアスが設定できる機能を備えています。

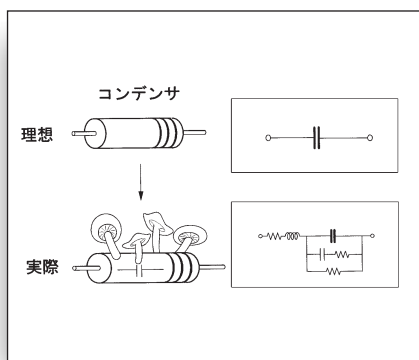


図5. 理想的コンデンサと実際

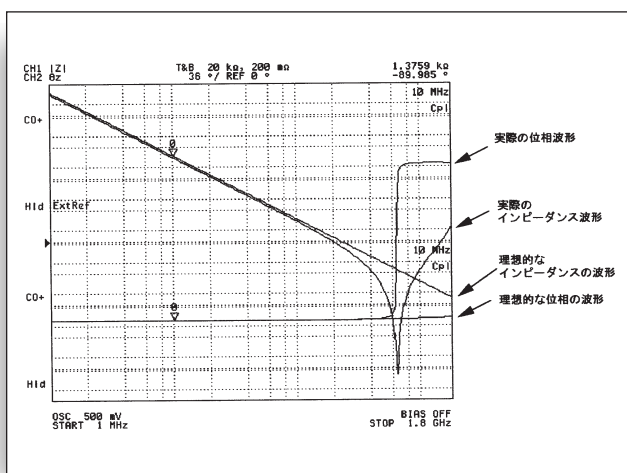


図6. コンデンサの周波数特性

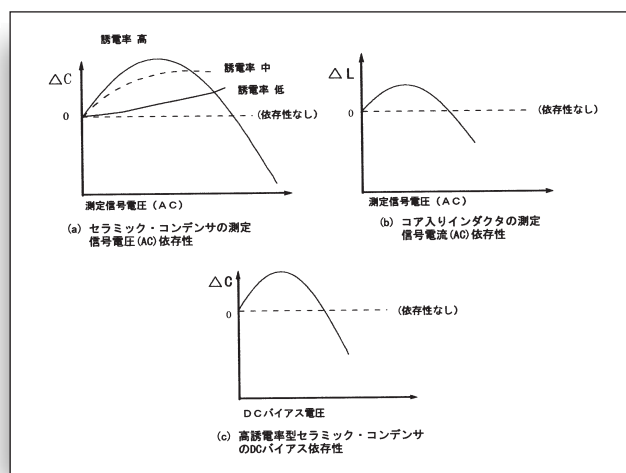


図7. 測定信号レベル(AC) / DCバイアス依存性

最良のインピーダンス測定器選択のポイント

インピーダンス測定器が使用される目的は大きく分けて2つあります。

- 1) 部品が回路で実際に使用される条件下で満足に機能することを評価する
- 2) 部品が定められた値であるかどうかをすばやくチェックする

インピーダンス測定器には測定結果を数値で表示するメータ・タイプと波形で表示するアナライザ・タイプがありますが、目的に合わせてそれらを使い分ける必要があります。

一般にインピーダンス測定器の選択に際しては、どんな電子部品のどんなパラメータをどれ位の正確さで測定したいかを明確にした上で、以下の項目を検討することが重要です。

測定精度

インピーダンス測定器のもつ測定精度は測定する部品のインピーダンスの値に依存して変化します。コンデンサやコイルの場合、インピーダンス値は周波数によって変化しますから、測定精度の把握に際してはまず測定する周波数においてインピーダンスの値はいくらになるかを知る必要があります。

図8はコンデンサの測定周波数とインピーダンスの関係を示します。図より例えば1nFのコンデンサを1MHzで測定する時、測定するインピーダンスは約160Ωであることがわかります。測定器の測定精度表にはこの図も併記されていますので簡単に測定精度を知ることができます。

また、測定精度はインピーダンス測定器に使われている測定技術に依存します。図9の各測定技術の線は測定精度10%以内で測定できる範囲を示しています。

測定条件（周波数、信号レベル、DCバイアス）

部品の特性を正しく把握するには、その部品が使われる電気的條件での測定が必須になります。測定器には測定に使用したい周波数、信号レベル、DCバイアスなどの範囲が満足されている必要があります。

その他の便利な機能

最近のインピーダンス測定器には、基本測定のほかに測定効率を向上するために便利な機能を備えている測定器が多くありますので、測定器がどのような機能を所有しているかに関しても考慮する必要があります。

例えば、LCRメータでも掃引パラメータを変化させながら測定できるリスト掃引機能があります。周波数、信号レベル、DCバイアスを変化させながら数点の測定が行え依存性解析が簡単に行えます。

トランス測定機能を備えたLCRメータでは、本来1次側、2次側の切り替えやDCR測定などセットアップを変えながら行う必要があるトランス測定を、一度の接続で行うことを可能にしました。

BASIC言語による内蔵プログラミング機能では一連の測定シーケンスのプログラミングや他の測定器の制御などが、外部コンピュータを使わずに行えます。

測定治具（アクセサリ）

インピーダンス測定器を選ぶ際にもう一つ重要な点として、測定する電子部品に合った測定治具があるかどうかがあります。電子部品には様々な形状やサイズのものがありますので、使用可能な測定治具の中に、最適なものがあるか否かを見極めた上で測定器を選択します。

HINT

3

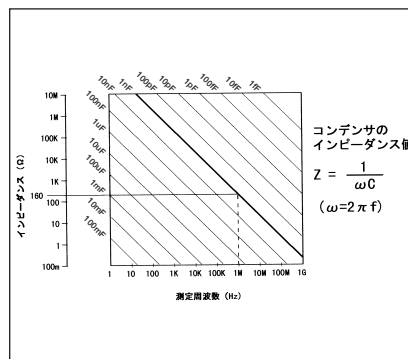


図8. コンデンサの測定周波数とインピーダンスの関係

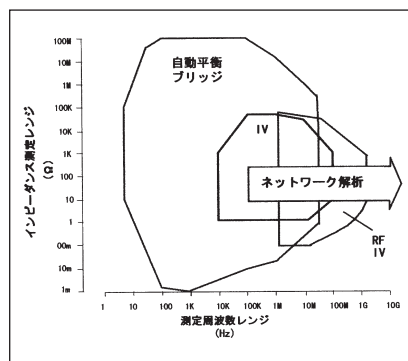


図9. インピーダンス測定器の測定技術

HINT

4

最良の測定治具選択のポイント

測定治具の種類

測定治具は大きく分けて2種類に分類することができます。

1つは測定する部品を固定するテスト・フィクスチャです。リード部品用の他に最近ではチップ部品用なども充実し、様々な形状やサイズの部品に対応して測定治具が用意されています。

2つめは測定点を延長するための延長ケーブルです。測定精度の低下を最小限に押さえるために、残留インピーダンスが小さく、特性が安定したものであることが要求されます。

ここでは特にテスト・フィクスチャの選択におけるポイントについて解説します。

適用DUTの形状やタイプ

第1のポイントは、テストフィクスチャの構造がDUTに合うことです。最近ではリード部品に代わってチップ部品が主流になってきましたし、その大きさもますます小さくなる傾向にあります。コンタクト部の形状がDUTに合うかどうか、適応寸法はいくらであるかをチェックする必要があります。

電気的特性

第2のポイントは、電気的特性です。DUTを測定する電気的条件下においてテストフィクスチャが良好な特性を持っていることに注意する必要があります。そ

の電気的特性には次のものがあげられます。

- 使用可能周波数範囲
- 使用可能AC信号レベル範囲
- 使用可能DCバイアス範囲
- テストフィクスチャの追加誤差

インピーダンス測定においては測定精度は測定器の精度にテストフィクスチャの追加誤差を加えたものになりますので、その特性を正しく把握してから使う必要があります。

使いやすさ

第3のポイントは使いやすさです。リード部品用のワニ口タイプやチップ部品用ピンセットタイプのテストフィクスチャなどは使いやすさを考えて作られた代表的なものと言えます。これらは部品を即座にチェックしたいという場合に適しています。

なお、アジレント・テクノロジー製の測定治具についてはインピーダンス測定アクセサリ・ガイド (P/N 1A661) を参照下さい。図10にアクセサリ・ガイド内での記述例を示します。測定治具の形状や適応DUTの寸法など詳しく解説されていますので、簡単に最適な測定治具を選択できます。



Agilent Technologies 16034E テストフィクスチャ



測定器との接続端子部：BNC、4端子対
外形寸法：(約)128(幅)×60(高さ)×71(奥行)mm
追加誤差：±1.5×(f/10)²%
Dオフセット誤差：0.015×(f/10)²、f：周波数(MHz)

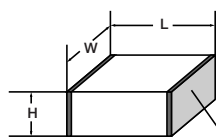
使用可能測定器：Agilent 4192A、Agilent 4194A (インピーダンス測定モード) Agilent 4263B、Agilent 4278A、Agilent 4279A、Agilent 4284A、Agilent 4285A

使用周波数：DC～40MHz、DCバイアス：-40V～+40V

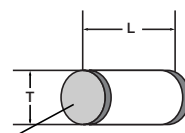
使用可能温度範囲：0～55℃ (使用可能測定器と同じ。Agilent 16034Eのみについては、70℃位まで使用できます。)

チップ部品を、測定電極ではさみこんで測定します。

測定可能な試料の寸法：



電 極



L : 0.1～8.0mm
W : 0.5～10.0mm
H : 0.5～10.0mm
T : 0.5～3.0mm

図10. アクセサリ・ガイド内の記述例

適切な誤差補正方法による精度の改善

校正と補正の概念

インピーダンス測定器は出荷時に標準器を用いて測定器の測定端面(フロントパネルのコネクタの部分)で校正(英語で Calibration と呼ばれる)されます。これは測定端面に直接DUTを接続すれば製品の取扱説明書に定義されている測定確度が得られることを意味します。

延長ケーブルによって測定点を延長する場合、ケーブル補正機能を使って校正面をケーブルの先端まで移動することができます(図11参照)。この機能をもつ測定器では取扱説明書にケーブル先端での測定確度も定義されます。

測定器の校正面に測定治具を装着する時、測定値から測定治具のもつ残留インピーダンスを取り除く必要があります。これを測定治具の誤差補正あるいは簡単に誤差補正(英語で Compensation または Correction と呼ばれる)と呼びます。

測定治具の誤差補正

最も代表的な誤差補正機能としては OPEN/SHORT 補正があります。ショート(インピーダンス 0Ω)とオープン(インピーダンス無限大)の2つの状態において測定治具の残留インピーダンスを測定し、実測値から削除します。図12にその等価回路モデルと計算式を示します。

一般にアジレント・テクノロジー標準の測定治具を使って測定を行う場合は OPEN/SHORT 補正によって測定治具の残留インピーダンスを取り除くことができます。さらに複雑な測定治具の補正には OPEN/SHORT/LOAD 補正も用意されています。

誤差補正機能を用いて精度の高い測定を実現するためには、以下の点に注意する必要があります。

積分時間とアベレージング

誤差補正実行時に積分時間を長めにしアベレージングを大きめに設定することにより、より精度の高い誤差補正の実行が可能となります。

測定時のA/Dコンバータの積分時間を長く設定することにより、電源周波数やその高調波ノイズなどの不要な信号の影響を除去することができます。また、アベレージング機能は測定値に対するランダム雑音の影響を低減することができます。

誤差補正実施時の確認

誤差補正実施時に誤差補正がうまくおこなえているかのチェックをすることをお勧めします。一般に、正確な補正実行のためにはオープン補正インピーダンス値はDUTのインピーダンスの100倍以上、ショート補正インピーダンス値の場合は100分の1以下である必要があります。

いくつかの測定器では補正データ測定時の生データを画面上で見ることができます。その他の測定器では補正機能をオフにして測定することで、ショートやオープンのインピーダンス値の確認ができます。

精度向上のためのユーザ定義点校正モード

測定器の誤差補正モードには固定点校正モードとユーザ定義点校正モードがあります。誤差補正機能では通常あらかじめ決められた周波数点で誤差補正を行い(固定点校正モード)、その他の周波数点では補正データを補間して作ったものを使用します。この時、非常に微妙な測定を行う場合は補間されたデータであることの影響が出てきます。そこで測定器にはユーザ定義点校正モードが用意されており、現在設定しようとしている測定点上での誤差補正を行うことでより精度の高い測定が可能になります。

HINT 5

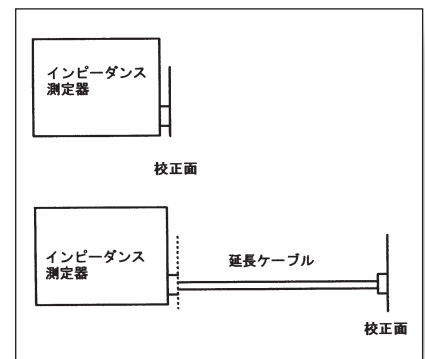


図11. 測定器の校正面とケーブル補正

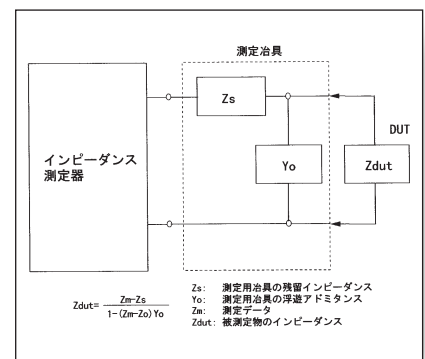


図12. OPEN/SHORT補正

HINT

6

レベル依存性デバイスの正しい評価法

電子部品は印加される信号により値が変化します。それを依存性と呼んでいますが、例えばコンデンサはAC電圧レベルに対する依存性を、コイルはAC電流レベルに対する依存性を持ちます（ヒント2を参照下さい）。これらの部品の特性を把握する場合、実際に部品にはいくらの信号レベルが印加されているかを知ることは、その部品が使われる環境での値を知る上で非常に重要となります。

DUTのインピーダンスと信号レベル

インピーダンス測定器で設定する信号電圧レベルは測定器の信号源での設定電圧を示します。この時、DUTにかかる実際の信号レベルは、信号源の出力電圧を部品のインピーダンスと測定器のもつソース抵抗で分圧されたものとなります。図13に信号源、ソース抵抗、DUTのインピーダンスと実際にDUTにかかる電圧値の関係を図示します。

測定信号レベルモニタ

最近のインピーダンス測定器では、実際にDUTにかかる信号レベルをモニタすることができるレベルモニタ機能を備えているものがあります。これによりマルチメータなどを別に用意して電圧値を測る手間が省け、簡単にDUTにかかる信号レベルを知ることができます。

定電圧/定電流測定信号モード

コンデンサやコイルは周波数によってインピーダンスの値が変化しますから、部品を一定の信号レベルを用いて測定したい場合は、通常、信号レベルをチェックしながら信号源の出力レベルを調整するという操作が必要となります。

これを自動的に行うためには、上述のレベルモニタ機能と外部コントローラを使用して、レベルモニタ値から信号源にフィードバックをかけるプログラムを作成することで実現可能です(図14参照)。

また、これを測定器の内蔵機能として有しているものもあり、それを定電圧/定電流測定信号モードと呼んでいます。DUTに“実際に”かけたい信号レベル値を測定器に入力し、定電圧/定電流測定信号モードをオンにするという簡単な操作で一連の測定を行います。

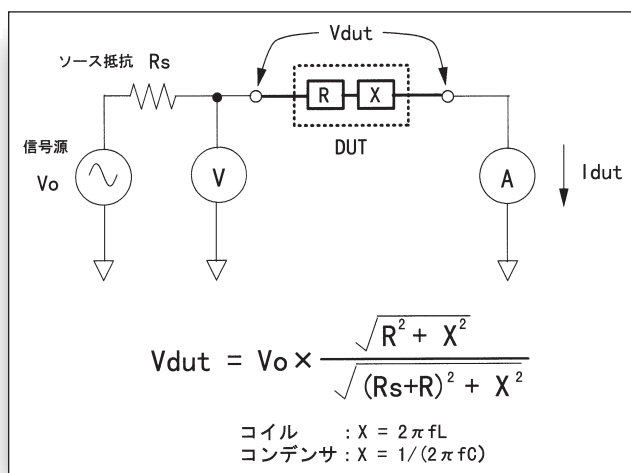


図13. DUTにかかる信号レベル

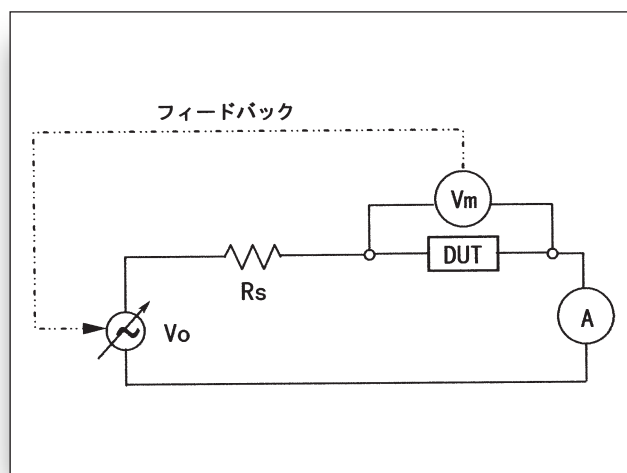


図14. 定電圧/定電流測定

低損失(低D/高Q)部品を高確度で測定する方法

損失係数(D)やクオリティファクタ(Q)の定義

DやQはコンデンサやコイルの品質を表すパラメータであり、その定義を図15に示します。Rが小さいほど、すなわち、コンデンサにおいてはDが小さいほど、コイルにおいてはQが大きいほど品質がよいことを表します。

ここでは、低損失部品を高確度で測定する方法について3つの注意点について解説します。

接触抵抗の最小化

第1の注意点は部品と測定治具の間の接触抵抗です。図16は2端子または4端子でコンタクトする場合の接触抵抗の様子と発生するDの誤差を表わしています。接触抵抗が増加する原因として、単に接続が不十分な場合や測定治具のコンタクト部が汚れていたり酸化していたりする場合があります。きっちりとしたコンタクトを心がけること、測定治具のコンタクト部が汚れたり劣化している場合には洗浄したりやすりで磨くことが解決策となります。

正しい誤差補正の実行

第2の注意点は誤差補正を正確に行うことです。特に、ショート実行時にショート状態が完全でない場合、第1の注意点

(接触抵抗がある場合)と同じ現象を起こします。しっかりとショート状態を作り誤差補正を実行する必要があります。

一般に誤差補正の精度を上げるには、積分時間やアベレーシングを長くとることが有効に働きます。微少な残留インピーダンスをとるためにこの方法をお勧めします。

高確度測定器の使用

第3に測定器自体の測定確度に注意します。製品カタログに定義されているDやQの測定確度から実現したい測定確度に合った測定器を選択します。一般に、インピーダンス測定確度のよい測定器ほど、DやQの測定確度もよくなります。

これらの注意点を考慮して実施しても、DやQの値がマイナスになることがあります。これは測定原理上の以下の理由によるものです。

Q測定概念を図17に示します。測定するインピーダンスのベクトルは図中の円で示す測定誤差範囲をもちます。高Q(または低D)を測定する場合は、Xに比べてRの値がきわめて小さいためベクトルがリアクタンス軸に近くなります。この時、測定確度の範囲内でもRがマイナスの領域に入ってしまうことがあるため、DやQがマイナスになるという現象が発生します。

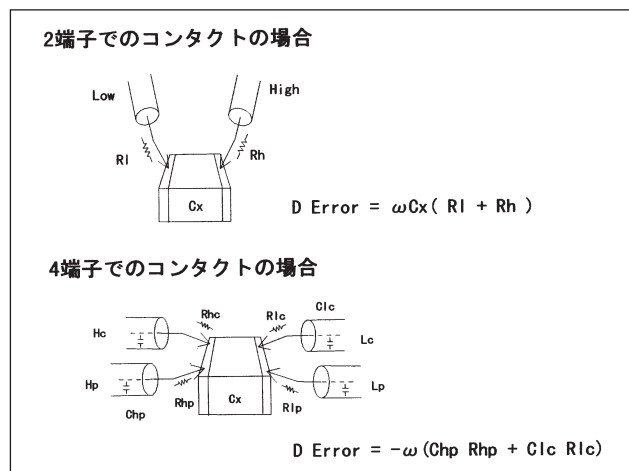


図16. DUTと測定治具間に生じる接触抵抗

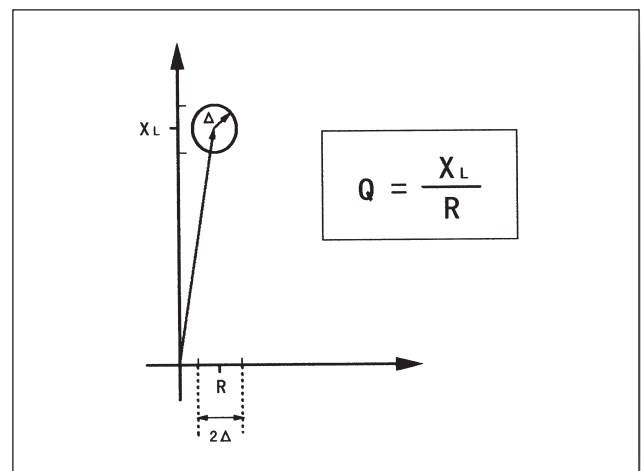


図17. Q測定概念

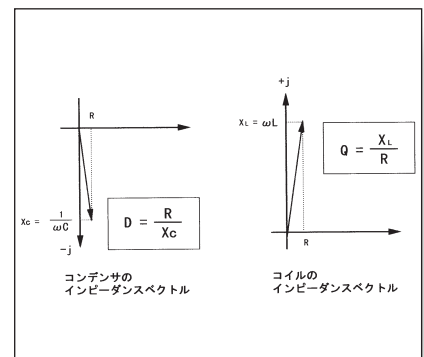
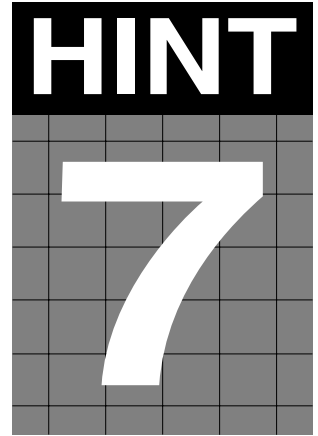


図15. 損失係数(D)とクオリティファクタ(Q)

電子部品評価を効率よく行うための方法

電子部品評価を効率よく行いたい場合、一つの方法としてスイッチを使ってスキニングシステムを構築するというものがあります。これにより、例えば電子部品の温度試験など信頼性評価が効率よく行えます。

このようなシステムを構築する場合、考慮すべきポイントは以下の点にあります。

- 測定点の延長
- 誤差補正の方法
- 有益なインターフェース

図18に注意点の概念図を示しました。

測定点の延長

測定器の測定端面から測定点を延長する場合、ケーブルなどの特性が測定の精度に影響します。このため一般的にはスキナの入り口まではアジレント・テクノロジー標準ケーブルで延長し、その先に接続される延長ケーブルや自作の測定治具については以下の点に注意してDUTの接続点まで延長します。

- 延長する長さは極力短くする
- ロスが少なく、ノイズの影響を受けにくい同軸タイプのケーブルを使う
- できる限り測定器の端子構成のまま延長する

誤差補正の方法

測定点延長時の誤差補正上の注意点として、アジレント・テクノロジー標準ケーブルを使用している時はケーブル補正機能を用いて補正します。これにより、ケーブル先端での測定確度が保障されます(ヒント5参照)。

次に、それ以降の延長部分についてはOPEN/SHORT/LOAD補正で誤差補正を行います。この時、高精度の測定を行うためには次に述べるスキナインターフェースを使用することをお勧めします。

有効なインターフェース

スキニングシステムを構築する際に有効なインターフェイスとしてスキナインターフェースがあります。スキナ測定ではスイッチを通して測定経路が複数用意されますが、残留インピーダンスは測定経路ごとに固有の値を持つため、低損失部品など高精度測定が要求される測定ではチャンネルごとに測定経路を補正することが必要になります。このインターフェースは、チャンネルごとに誤差補正をおこなって補正データをメモリに蓄え、チャンネルの切り替えに従って補正データも切り替えながら測定に使用する機能を有していますので、各チャンネルごとに精度よく測定することが可能になります。

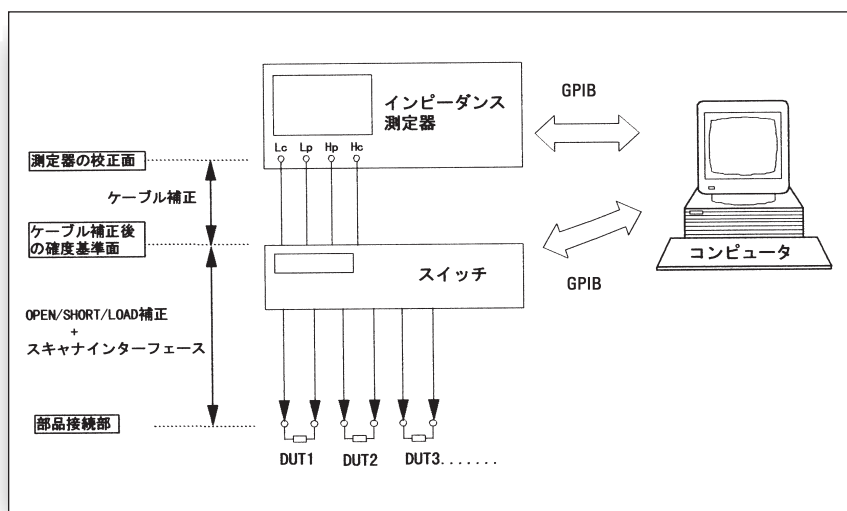


図18. スキニングシステムの構築

アジレント・テクノロジーのインピーダンス測定器

アジレント・テクノロジーのインピーダンス測定器は、幅広いラインナップを揃え、あらゆるアプリケーションでの測定要求にお応えします。以下に主なインピーダンス測定器をご紹介します。他にも部品製造検査用など、様々な測定器を取り揃えています。詳しくは“LCRメータ、インピーダンス・アナライザ、テスト・フィクスチャ、セレクション・ガイド” (P/N 00-2184)をご覧ください。

LCRメータ・シリーズ

特定の測定条件（測定周波数、信号レベルなど）を設定し、その条件下でより早くより正確に測定することをめざしたシリーズです。部品を手早くチェックしたい、ある特定の測定条件で測定したい、という用途での使用に適しています。R/Dベンチでの部品チェック、品質保証での購入部品チェックなどに適しています。



インピーダンス・アナライザ・シリーズ

ある測定条件を変化させながら部品の特性変化を見るタイプの測定器を言います。特性変化がよりよく見えるようグラフィックディスプレイをもち波形の形で結果を表示します。測定結果の検討を容易にするための各種機能、マーカやプログラミング機能なども充実しています。R/Dベンチでの使用部品の特性評価や品質保証での購入部品の信頼性評価（温度特性評価など）などに適しています。



コンビネーション・アナライザ・シリーズ

アジレント・テクノロジーのコンビネーションアナライザはネットワーク測定、スペクトラム測定、インピーダンス測定の3つの機能を1台の測定器の中に持ち、エンジニアの回路設計から部品評価まで幅広い測定ニーズに1台で応える便利な測定器です。インピーダンス測定機能でもディスプレイ上に波形を表示し特性解析が行えます。



アジレント・テクノロジー株式会社

本社 〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

計測
お客様窓口

受付時間 9:00～17:00
(土・日・祭日を除く)
※FAXは24時間受付け

TEL ☎0120-421-345
(0426-56-7832)

FAX ☎0120-421-678
(0426-56-7840)

E-mail: mac_support@agilent.com

電子計測ホームページ

<http://www.agilent.co.jp/find/tm>

- 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。



Agilent Technologies

Innovating the HP Way

00-2395
040003303-H