[参考資料]

チップ積層セラミックコンデンサの静電容量と誘電正接の測定について

ページ

1.はじめに----------1
2.チップ積層セラミックコンデンサの特性----------2
2-1.温度特性
2-2.電圧特性
(1)AC 電圧特性
(2)DC バイアス特性
2-3.周波数特性
2-4.まとめ
3.LCR メータと測定治具----------3
3-1.LCR メータ
3-2.測定治具
4.LCR メータの測定原理----------3
4-1.測定原理
4-2.測定電圧
4-3.静電容量の測定回路モード
5.LCR メータ 4284A による静電容量の測定方法---------5
6.LCR メータ 4278A による静電容量の測定方法---------7
7.終わりに----------9
参考文献----------9

Innovator in Electronics

muRata

村田製作所

TD.No.C10

[参考資料]

1.はじめに

高誘電率系（B 特性、F 特性）のチップ積層セラミックコンデンサを LCR メータで測定する際、公称静電容量値通りの値が得られない場合があります。

この要因として、一つは、チップ積層セラミックコンデンサの B，F 特性の静電容量と誘電正接は、温度、電圧（AC，DC）及び周波数によって大きく変化しますが、規定の条件で測定されていないことに依ります。もう一つは、測定器の設定が合っていないことや測定器の性能が規定の条件を満足しないことに依ります。

一つ目の解決方法は、チップ積層セラミックコンデンサの特性を理解して、温度、電圧（AC,DC)、周波数の 3 条件を規定して測定することです。実際には、公規格 JIS C 5101-1-1998 の静電容量（4.7 項）及び誘電正接（4.8 項）に規定されており、高誘電率系コンデンサの静電容量と誘電正接の測定条件は表 1 のようになります。このときの測定温度は 20℃です。

表 1 測定条件

公称静電容量	測定周波数	測定電圧
C≦10μF (10V以上)	1±0.1kHz	1.0±0.2Vrms
C≦10μF (6.3V以下)	1±0.1kHz	0.5±0.1Vrms
C＞10μF	120±24Hz	0.5±0.1Vrms

2 つ目の解決方法は、測定器の性能を十分に理解し、表 1 の測定条件を満足しているかを確認して測定器を使用することです。

最初に、静電容量と誘電正接の測定に影響するチップ積層セラミックコンデンサの特性について述べます。次に、実際に使用される LCR メータや測定原理について述べ、最後に、チップ積層セラミックコンデンサの静電容量と誘電正接を正しく測定する方法の一例を説明します。

2.チップ積層セラミックコンデンサの特性

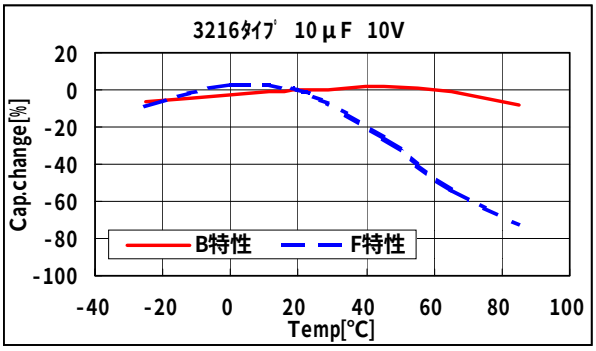
チップ積層セラミックコンデンサは、小型、高信頼性、低インピーダンス、極性がないなどの特長を有していますが、その反面、温度による静電容量の変化、電圧による静電容量の変化などのデメリットがあります。

以下、チップ積層セラミックコンデンサ 3216 ﾀｲﾌﾟ 10μF の B 特性と F 特性を例に挙げ、静電容量と誘電正接の測定に影響する各種特性について説明します。

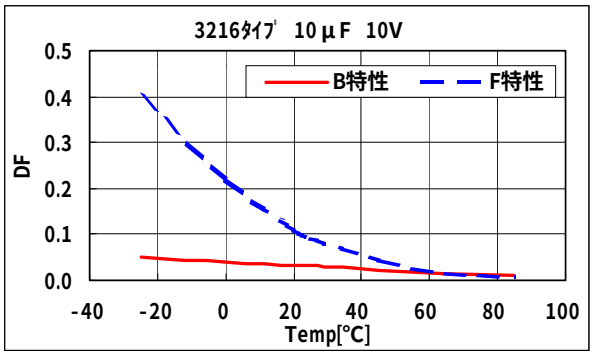
2-1.温度特性

チップ積層セラミックコンデンサ B，F 特性の温度特性を図 1 に示します。

測定条件 1kHz，1Vrms で、B 特性の場合、温度によって静電容量変化率が最大でも±10%以内であるのに対して、F 特性の場合、＋30%/-80%以内となります。また、誘電正接も温度によって変化し、温度が低くなると B,F 特性の誘電正接は大きくなります。



(a) 静電容量変化率



(b) 誘電正接 (DF)

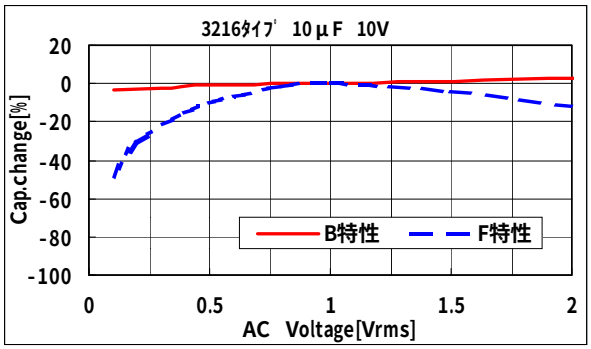
図1 温度特性

2-2.電圧特性

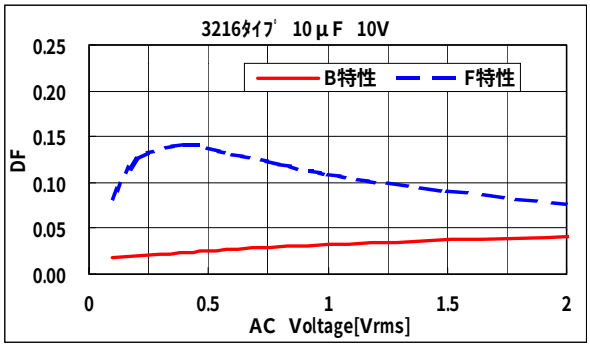
(1)AC 電圧特性

チップ積層セラミックコンデンサ B，F 特性の AC 電圧特性を図 2 に示します。

測定条件 20℃，1kHz で、B 特性の場合、AC 電圧によって静電容量変化率が最大でも±5%以内であるのに対して、F 特性の場合、最大で 50%下がり、AC 電圧が変化すると、静電容量も変化します。また、誘電正接も AC 電圧によって変化しますが、B 特性はほとんど変化しません。



(a) 静電容量変化率



(b) 誘電正接(DF)

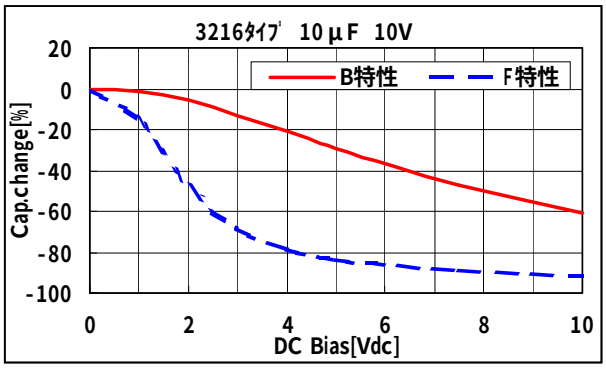
図 2 AC電圧特性

(2)DC バイアス特性

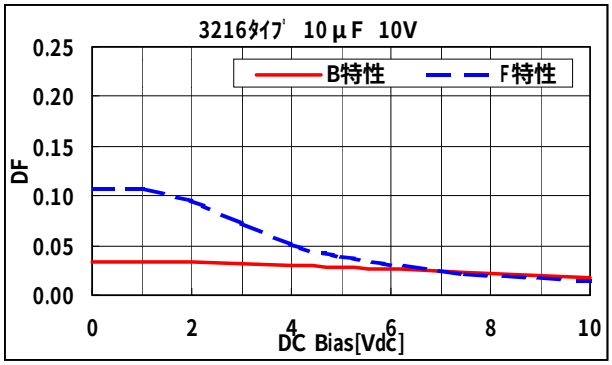
チップ積層セラミックコンデンサ B，F 特性の DC バイアス特性を図 3 に示します。

測定条件 20℃,1kHz,1Vrms で、B 特性の場合、DC バイアス印加電圧によって最大で 60%下がりますが、F 特性の場合、最大で 90%も下がります。

チップ積層セラミックコンデンサの場合、DC バイアス印加電圧が高くなると、静電容量は小さくなります。また、誘電正接も DC バイアス印加電圧が高くなると小さくなります。



(a) 静電容量変化率



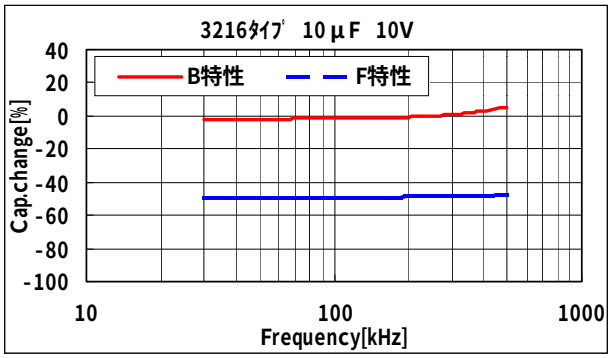
(b) 誘電正接(DF)

図 3 DCバイアス特性

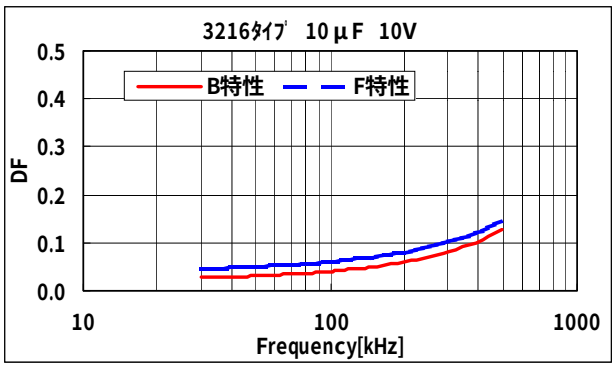
2-3.周波数特性

チップ積層セラミックコンデンサ B，F 特性の周波数特性を図 4 に示します。

チップ積層セラミックコンデンサの場合、測定周波数を変えても、B,F 特性両方とも静電容量はほとんど変わりませんが、誘電正接は周波数により変わります。また、F 特性の静電容量変化率が約 50%以上減少しているのは、一般的にインピーダンスアナライザでは、AC 電圧が 1Vrms 印加できず、0.1Vrms になるためです。AC 電圧が 0.1Vrms のとき、F 特性の静電容量変化率は、図 2 の AC 電圧特性に示すように約 50%減少します。



(a) 静電容量変化率



(b) 誘電正接(DF)

図 4 周波数特性

2-4.まとめ

以上のように、チップ積層セラミックコンデンサの静電容量と誘電正接は、温度,AC 電圧,DC バイアス及び周波数で変化します。従って、静電容量と誘電正接は、温度、電圧（AC,DC)、周波数の 3 条件を規定して測定しなければなりません。回路を設計する際は、使用環境や条件におけるチップ積層セラミックコンデンサの特性を十分に考慮して使用してください。

3.LCR メータと測定治具

この章では、代表的な LCR メータと測定治具を紹介します。

3-1.LCR メータ

コンデンサの静電容量と誘電正接を測定する装置は、一般に LCR メータが使用されます。代表的な LCR メータとしては、図 5 に示すようなアジレント・テクノロジー社の 4284A、4278A、4268A があります。測定器によっては、表 1 の測定条件を満足しない場合がありますので、後に示します 4 章の測定原理、5 章、6 章の測定方法をよく読んでご使用下さい。

(a) 4284A

(b) 4278A

(c) 4268A

図 5 ＬＣＲメータの外観写真

3-2.測定治具

測定治具は、そのLCRメータに合ったものを選ぶ必要があります。チップタイプに使用される代表的な治具を図6に示します。

(a) 16034E

(b) 16334A

図 6 測定治具の外観写真

測定治具には、アジレント・テクノロジー社の 16034E のように治具の所定位置にチップを置き、チップ端面にピンを当てて測定するタイプと、16334A のように治具がピンセットの形をしていて、そのピンセットでチップの両端を挟んで測定するタイプの２種類に分類されます。

4.LCR メータの測定原理

この章では、LCR メータの測定原理、測定電圧などの測定に必要な基本的な事について説明します。

4-1.測定原理

LCR メータの代表的な測定方式は自動平衡ブリッジ法であり、その原理図を図 7 に示します。

高ゲインアンプは、抵抗 R に流れる電流と DUT に流れる電流が等しくなるように、即ち DUT の L 端側(低電位)が常に仮想接地(電位=0)となるように、自動的にゲインが調整されます。そのときの出力電圧 E2、帰還抵抗 R 及び入力電圧 E1 から DUT のインピーダンス Zx が求まります。

$$Zx = R \cdot E1/E2$$
$$E1 = |E1| \angle \theta 1 = |E1| \cos \theta 1 + j|E1| \sin \theta 1$$
$$E2 = |E2| \angle \theta 2 = |E2| \cos \theta 2 + j|E2| \sin \theta 2$$

また、このとき、E1 と E2 の位相角 **θ1、θ2** も同時に測定され、位相角と Zx より抵抗成分 Rx とリアクタンス成分 Xx が計算され、静電容量と誘電正接が求まります。

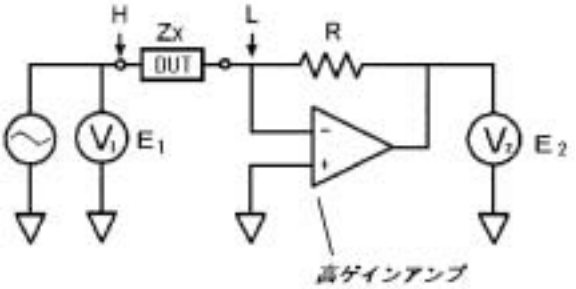


図 7　自動平衡ブリッジ法の原理図

4-2.測定電圧

一般に、LCR メータは、内部の電源を保護するために内部抵抗を持っています。この内部抵抗の大小によっては、実際に測定するコンデンサ両端の電圧が降下することになり、正確な静電容量と誘電正接を測定することができなくなります。

LCR メータによっては、10μF などの大容量品を測定するとき、コンデンサのインピーダンスが極端に低くなるために、指定した測定電圧の印加が不可能になります。

実際に、図 8 に示します簡単な等価回路を使って説明します。DUT に印加される測定電圧 **Edut** は、電源の出力電圧 **E0** を DUT のインピーダンス **Zx＝R+jX** と LCR メータの持つ内部抵抗 **Rin** で分圧された値となります。

DUT に印加される測定電圧 Edut は、

$$Edut = E0 \times \frac{\sqrt{(R^2 + X^2)}}{\sqrt{\{(Rin + R)^2 + X^2\}}}$$
$$X = 1/\omega C = 1/2\pi fC$$

となり、コンデンサの測定電圧は、電源の電圧と異なります。従って、測定する際は、自動的に測定電圧を設定電圧に保つ機能(ALC)がついているタイプを推奨します。また、そのような機能がない LCR メータについては、実際にコンデンサ両端の電圧をテスタなどで確認し、手動で設定する必要があります。

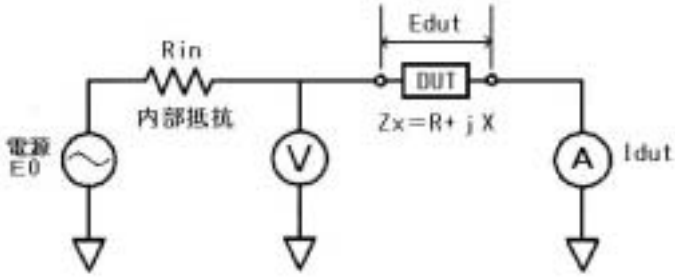


図 8　DUT に印加される測定電圧

4-3.静電容量の測定回路モード

静電容量の測定回路モードには、一般に並列等価回路モードと直列等価回路モードの 2 種類があります。

(1)小さい静電容量の場合（図 9 参照）

小さい静電容量は、リアクタンスが大きく、即ち高インピーダンスとなり、並列抵抗 Rp の影響は直列抵抗 Rs の影響よりも大きくなり、Rs を無視することができ、測定回路は、並列等価回路モードとなります。

(2)大きい静電容量の場合(図 10 参照)

大きい静電容量は、リアクタンスが小さく、即ち低インピーダンスとなり、直列抵抗 Rs の影響は並列抵抗 Rp の影響よりも大きくなり、Rp を無視することができ、測定回路は、直列等価回路モードとなります。

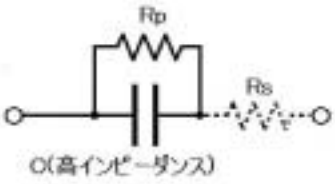


図 9　小さい静電容量
(並列等価回路モード)

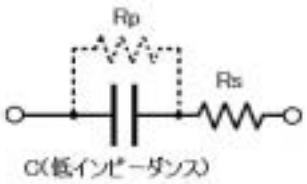


図 10　大きい静電容量
(直列等価回路モード)

(3)測定回路モードは、コンデンサのインピーダンス値で決定され、LCR メータの内部抵抗の関係からインピーダンス値が 10Ωを目安に測定回路モードが変わります

静電容量とインピーダンスの関係は図 11 のようになります。これは、公規格 JIS C 5101-1-1998 に規定されている 4.7 項の静電容量、4.8 項の誘電正接より、静電容量 10μF 以下は 1kHz で測定し、静電容量 10μF を超えるものは 120Hz で測定するため、インピーダンスは全て 10Ω以上であり、並列等価回路モードで測定します。また、静電容量が 100μF を超える場合は、インピーダンスが 10Ω未満となるため、直列等価回路モードで測定します。

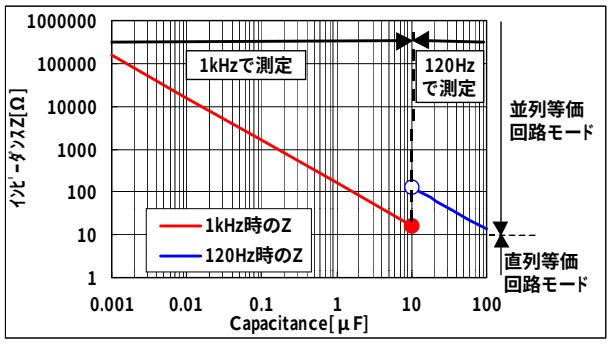


図 11 静電容量とインピーダンスの関係

5.LCR メータ 4284A による静電容量の測定方法

この章では、代表的な LCR メータ 4284A と測定治具 16034E の組み合せで正しい静電容量の測定方法を述べます。

5-1.LCR メータの電源 ON

測定器は、ウォーミングアップが必要であり、実際に測定する 30 分前に必ず電源を入れておいてください。

5-2.測定治具を取りつけた状態

測定器に測定治具を図 12 に示すように取りつけます。

5-3.測定器の設定

測定条件は、Measure Setup の画面（図 13 参照で設定します。

(1)FUNC→Cp-D

(2)Freq and Level→表 1 参照。

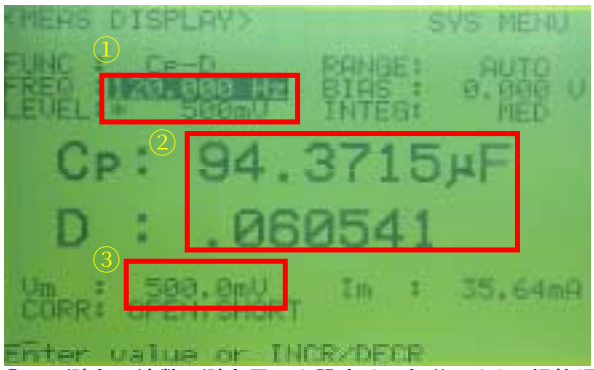
図 12 測定治具を取りつけた状態

図 13 Measure setup 画面

【注意 1】Freq and Level の設定が合っていない場合、静電容量を正確に測定することはできません。実際に例を挙げて説明します。

例) 試料：4532 ﾀｲﾌﾟ B 特性 100μF

この試料の測定周波数と AC 電圧は、Freq：120Hz,Level：0.5Vrms です（図 14 参照）。もし、違う条件の 1kHz,1Vrms で測定した場合、図 15 に示しますように、静電容量は約 20%も低い値となり、正しく表示されません。



①は、測定周波数と測定電圧を設定する部分であり、規格通り FREQ:120Hz、LEVEL：500mV に設定されています。
②は、静電容量と誘電正接の表示部であり、100μF 品が約 94μF であり、問題ないです。
②の Vm は、実際の測定電圧をモニターしており、500mV 印加されています。

図 14 測定条件：120Hz、0.5Vrms

①は、規格と違う FREQ:1kHz、LEVEL:1V に設定されています。
②の 100μF 品は約 75μF しかなく、正しい条件より 20%低くなります。
③の Vm は、実際の測定電圧をモニターしており、1V 設定して 21mV しかかかっていません。

図 15 測定条件:1kHz、1Vrms の場合

(3) Hi-PW (High Power) →ON と ALC (Automatic Level control) →ON

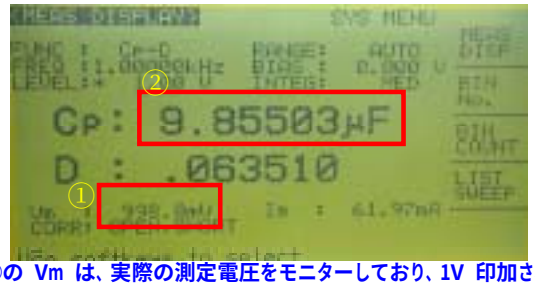
Hi-PW を ON にすると、電源の電圧が最大 1Vrms から最大 10Vrms まで測定できるようになります。また、ALC は、測定電圧を設定電圧に保つ機能であり、常に ON 状態にしてください。測定電圧を 1Vrms に設定しても 1Vrms になっていなければ正しく静電容量を測定することができません。実際に例を挙げて説明します。

例) 試料:3216 ﾀｲﾌﾟ B特性 10μF

ALC と Hi-PW を ON にすると、測定電圧は 1Vrms 印加され、静電容量は約 9.86μF と正確に測ることができます(図 16、17 参照)。もし、ALC を OFF にした場合、測定電圧は 184mVrms と低く、静電容量も約 8.43μF と低くなります(図 18、19 参照)。

①は、ALC ON と Hi-PW ON を意味します。
②は、ALC がオンを意味するマークです。

図 16 ALC ON 状態の Measure Setup 画面

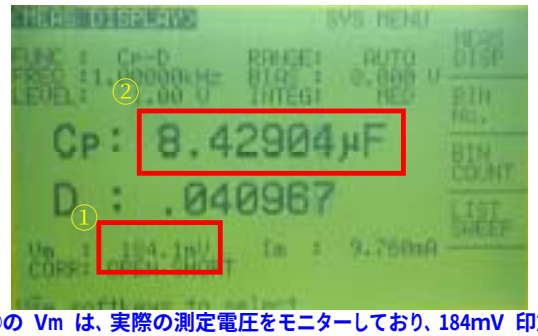


①の Vm は、実際の測定電圧をモニターしており、1V 印加されています。
②の 10μF 品は、9.86μF あり、問題ないです。

図 17 ALC ON 状態の Measure Display 画面

①は、ALC OFF と Hi-PW ON を意味します。
②は、ALC のマークがなく、オフを意味します。

図 18 ALC OFF 状態の Measure Setup 画面



①の Vm は、実際の測定電圧をモニターしており、184mV 印加されています。
②の 10μF 品の静電容量は、8.42μF と低くなります。

図 19 ALC OFF 状態の Measure Display 画面

[注意 2] コンデンサに印加されている測定電圧の確認方法

実際に測定電圧を確認する方法は、テスタをチップの両端にあてて、設定電圧の通りに測定電圧がかかっているかを確認します。

図 17 の場合をテスタで測っている様子を図 20 に示します。テスタの値が 998mVrms を示していることがわかります。

また、図 19 の場合をテスタで測っている様子を図 21 に示します。テスタの値が 187mVrms を示しており、AC 電圧が 1Vrms かかっていないため、静電容量が低く出ています。

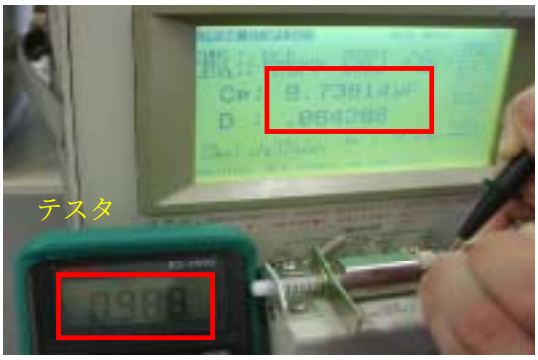


図 20　ALC ON 状態のテスタでの測定例

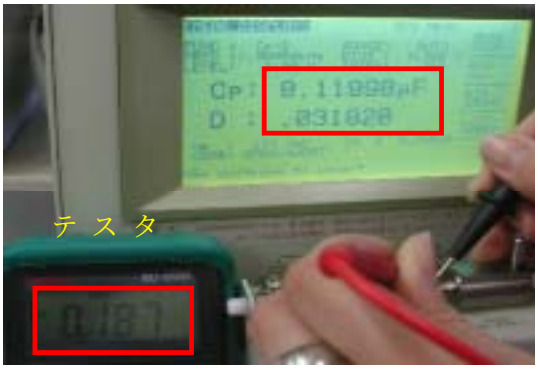


図 21　ALC OFF 状態のテスタでの測定例

5-4.校正

校正は、5-3 の測定の設定後、MEAS SETUP の COMPEN で実施します。また、校正の内容は、Short 校正と Open 校正で、校正の順番は関係ありません。

(1) Short 校正

Short の状態は、図 22 を参照下さい。このとき、Rs が 0.03Ω以下であることを確認してください。もし、0.03Ω以下にならない場合は、端子をアセトン等で洗浄してください。

(a)16034E　　(b)16334A

図 22　Short の状態

(2)Open 校正

Open 校正は、チップの寸法に合わせて行ってください。Open の状態は図 23 を参照してください。

5-5.測定

校正終了後、チップ積層セラミックコンデンサを測定します。

(a)16034E　　(b)16334A

図 23　Open の状態

6.LCR メータ 4278A による静電容量の測定方法

この章では、代表的な LCR メータ 4278A と測定治具 16034E の組み合せで正しい静電容量の測定方法を述べます。

6-1.LCR メータの電源 ON

測定器は、ウォーミングアップが必要であり、実際に測定する 30 分前に必ず電源を入れておいてください。

6-2.測定治具を取りつけた状態

測定器に測定治具を図 24 に示すように取りつけます。

図 24　測定治具を取りつけた状態

6-3.測定器の設定

測定条件は、図25で示しますMenuの画面で設定します。

(1)測定項目の設定

MENU→MEAS PARAMETER→Cp-D

(2)測定周波数、測定電圧の設定

MENU→SIGNAL SOURCE→FREQ→1kHz
→OSC→1.0V

【注意4】4278Aの測定周波数は、1kHzと1MHzの2種類です。従って、表1の10μFを超える大容量コンデンサの測定周波数は120Hzであり、測定できません。10μFを超える大容量コンデンサは4284Aまたは4268Aで測定してください。

図25　Menu画面

【注意5】コンデンサに印加されている測定電圧の測定方法

測定電圧を1Vrmsに設定した場合、実際に1Vrmsかかっていないと、静電容量は正確に測定することができません。

実際の測定電圧は、テスタをチップの両端に当てて、設定電圧がかかっているかを確認します。

図 26 の場合、3216 タイプ B 特性 10μF において、測定周波数 1kHz、測定電圧 1 Vrms です。実際に、測定電圧は 1.0Vrms であり、静電容量は、10.4μF です。

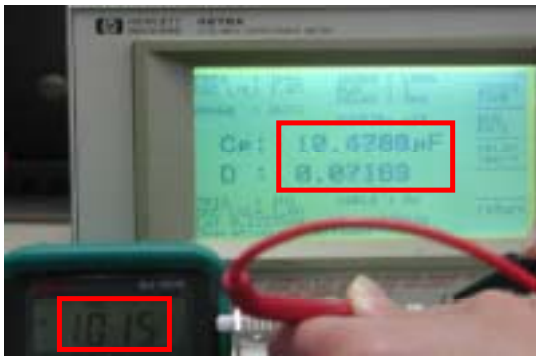


図 26　テスタの測定電圧確認

(3)ケーブルの長さ

測定治具16034Eの場合、0mです。

MENU→NEXT→CABLE LENGTH→0m

6-4.校正

校正は、MENU→NEXT→COMPENを押した画面で行います。

このとき、校正は、OPEN、SHORT、TEMP COMPENを行います。このときのOPEN、SHORTの方法は、5章のLCRメータ4284Aの測定手順を参照下さい。

OPEN COMPEN→OPEN ON

SHORT COMPEN→SHORT ON

STD OFF

TEMP COMPEN

6-5.測定

TEMP COMPEN が終了した後、チップ積層セラミックコンデンサを測定します。

【注意 6】経時変化による静電容量のエージング特性

高誘電率系チップ積層セラミックコンデンサのエージング特性は、直接静電容量の測定と関係ありませんが、静電容量が減少しますので回路設計の際はこの特性を考慮する必要があります。

高誘電率系チップ積層セラミックコンデンサ（代表的なものとして，$BaTiO_3$ を主成分とし，温度特性が B，F 特性など）は、静電容量が時間経過と共に低下する性質を持っています。この性質のことを静電容量のエージング（Aging）と呼んでいます。

静電容量のエージングは自発分極を有する強誘電性磁器に特有の現象で、磁器コンデンサをキュリー点（結晶構造が変化し、自発分極が消失する温度）以上に加熱し、その後キュリー点以下の温度に無負荷で放置したときに、時間とともに自発分極が反転しにくくなり、静電容量の時間的低下として観測されます。

尚、当現象は弊社製品に限ったものではなく、高誘電率系（$BaTiO_3$ 系）チップ積層セラミックコンデンサ全般に見られる現象です。一部の公規格では付属書を設け、静電容量のエージングについて補足説明がされております（積層コンデンサ：IEC384-10 Appendix B，等）。エージングにより静電容量が小さくなったチップ積層セラミックコンデンサはキュリー点以上に加熱すると静電容量は回復します。そして、キュリー点以下に冷えた時点から再びエージングが始まります。

一般に、高誘電率系チップ積層セラミックコ

ンデンサの静電容量は、150℃以上の熱処理から24 時間後の値を基準として、対数時間グラフ上でほぼ直線的に低下します。経時変化による静電容量のエージング特性の代表例を図 27 に示しますので、ご参照下さい。

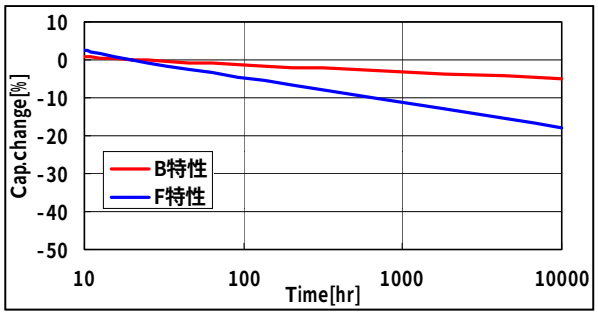


図 27　経時変化による静電容量のエージング特性

高誘電率系チップ積層セラミックコンデンサをご使用いただく場合には、エージング現象による静電容量の変化をご配慮いただきますと共に、特に静電容量の安定性が必要な場合には、実際の機器でのご確認をお願いします。尚、温度補償用チップ積層セラミックコンデンサには、エージング現象はありません。

7.終わりに

チップ積層セラミックコンデンサを正確に測定するためには、チップ積層セラミックコンデンサの測定に影響する特性や LCR メータを十分に理解する必要があります。

今回、特に間違いやすい点、見逃しやすい点及び注意事項を記載しましたのでご活用下さい。

参考文献

・アジレント・テクノロジー社の 4284A 取扱説明書
・アジレント・テクノロジー社の 4278A 取扱説明書
・アジレント・テクノロジー社のインピーダンス測定ハンドブック、2001 年第 2 版発行
・オーム社のセラミックコンデンサの基礎と応用、2003 年第 1 版発行

作成：2005 年 8 月