

关于片状独石陶瓷电容器的 静电容量和介质损耗角正切的测量

1. 前言	2
2. 片状独石陶瓷电容器的特性	2
2-1. 温度特性.....	2
2-2. 电压特性.....	3
2-3. 频率特性.....	5
2-4. 总结.....	6
3. LCR 仪表和测试夹具.....	6
3-1. LCR 仪表	6
3-2. 测试夹具.....	7
4. LCR 仪表的测量原理.....	7
4-1. 测量原理.....	8
4-2. 测量电压.....	8
4-3. 静电容量的测量电路模式.....	9
5. 根据 LCR 仪表 4284A 的静电容量的测量方法	10
5-1. 接通 LCR 仪表的电源.....	10
5-2. 已安装测试夹具的状态	10
5-3. 测量器的设定	10
5-4. 校正.....	14
5-5. 测量.....	15
6. 根据 LCR 仪表 4278A 的静电容量的测量方法	15
6-1. LCR 仪表的电源接通	15
6-2. 已安装测试夹具的状态	15
6-3. 测量器的设定	15
6-4. 校正.....	16
6-5. 测量.....	17
7. 后记.....	18



1. 前言

用 LCR 仪表测量高诱电率型(B 特性, F 特性)的片状独石陶瓷电容器时, 有时不能获得与标称静电容量值一样的值。

其主要原因是, 第一: 片状独石陶瓷电容器的 B、F 特性的静电容量和介质损耗角正切, 虽然随温度、电压(AC、DC)及频率而改变, 但却无法按照规定的条件而测量。第二: 测量装置的设定不符合或测量装置的功能不能满足规定条件。

其解决方法是, 第一: 理解片状独石陶瓷电容器的特性, 要规定温度、电压(AC、DC)、频率3种条件以后测量。实际上, 已经规定在国家标准JISC5101-1-1998的静电容量(4.7项)及介质损耗角正切(4.8项)上, 其高诱电率型电容器的静电容量和介质损耗角正切的测量条件如表1所示。此时的测量温度为20℃。

表 1 测量条件

标称静电容量	测量频率	测量电压
$C \leq 10 \mu\text{F}$ (10V以上)	$1 \pm 0.1\text{kHz}$	$1.0 \pm 0.2\text{Vrms}$
$C \leq 10 \mu\text{F}$ (6.3V以下)	$1 \pm 0.1\text{kHz}$	$0.5 \pm 0.1\text{Vrms}$
$C > 10 \mu\text{F}$	$120 \pm 24\text{Hz}$	$0.5 \pm 0.1\text{Vrms}$

第二: 要充分理解测量装置的功能, 确认是否满足表 1 的测量条件以后请使用测量装置。首先, 叙述影响静电容量和介质损耗角正切的片状独石陶瓷电容器的特性。随后, 叙述实际使用的LCR仪表及测量原理, 最后, 举例说明片状独石陶瓷电容器的静电容量和介质损耗角正切的准确的测量方法。

2. 片状独石陶瓷电容器的特性

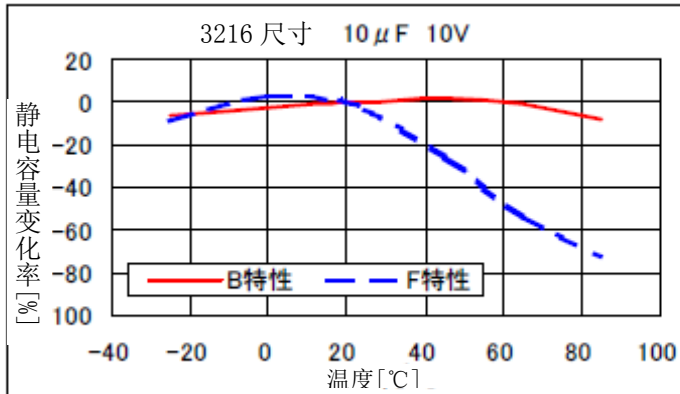
片状独石陶瓷电容器虽然具有小型、高可靠性、低阻抗、无极性等特点, 但是却存在温度随静电容量而变化、及电压随静电容量所变化等的缺点。

下面, 以片状独石陶瓷电容器3216尺寸的 $10 \mu\text{F}$ B特性和F特性为例, 说明影响静电容量和介质损耗角正切测量的各种特性。

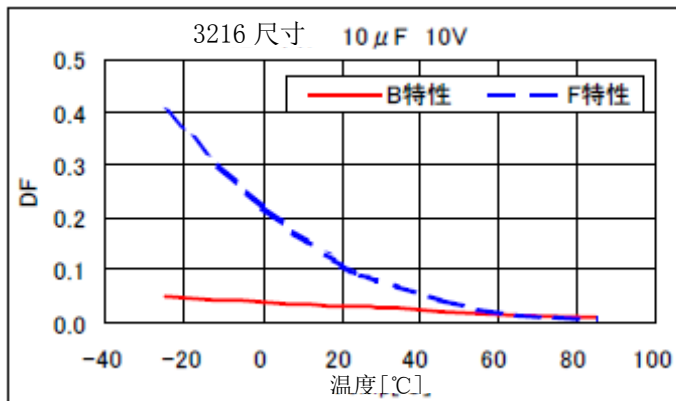
2-1. 温度特性

图 1 表示片状独石陶瓷电容器 B、F 特性的温度特性。

测量条件为1kHz, 1Vrms中, B特性时, 根据温度此静电容量的变化率最大也在 $\pm 10\%$ 之内, 与之相反, F特性时, 在 $+30\%/-80\%$ 以内。并且, 介质损耗角正切也根据温度而改变, 温度降低的话B、F特性的介质损耗角正切也增大。



(a) 静电容量变化率



(b) 介质损耗角正切 (DF)

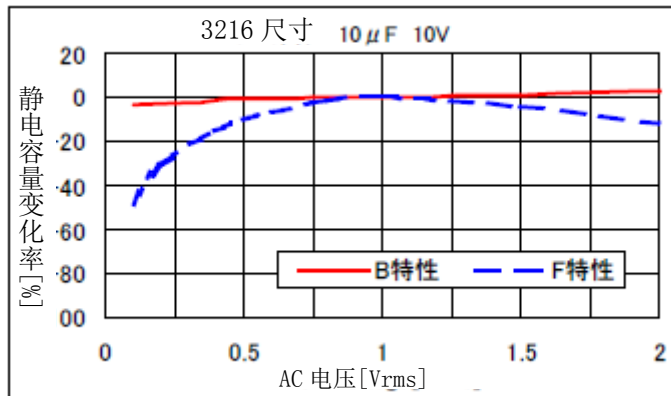
图 1 温度特性

2-2. 电压特性

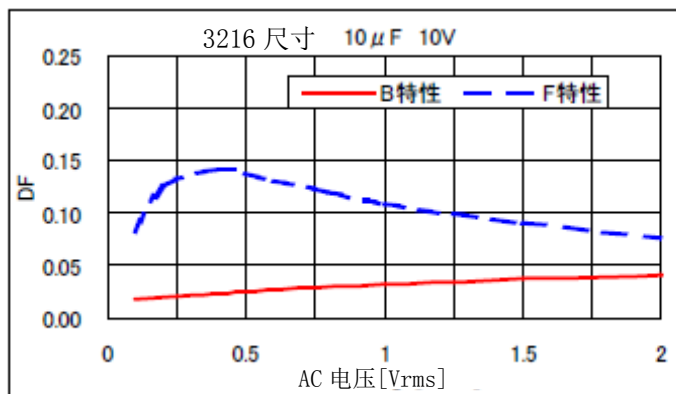
(1) AC 电压特性

图 2 表示片状独石陶瓷电容器 B、F 特性的 AC 电压特性。

测量条件为 20°C、1kHz 中，B 特性时，根据 AC 电压此电容变化率最大也在 $\pm 5\%$ 之内，与之相反，F 特性时，最大降低到 50%，AC 电压改变的话容值也会改变。介质损耗角正切随 AC 电压变化，但是 B 特性几乎不变。



(a) 静电容量变化率



(b) 介质损耗角正切 (DF)

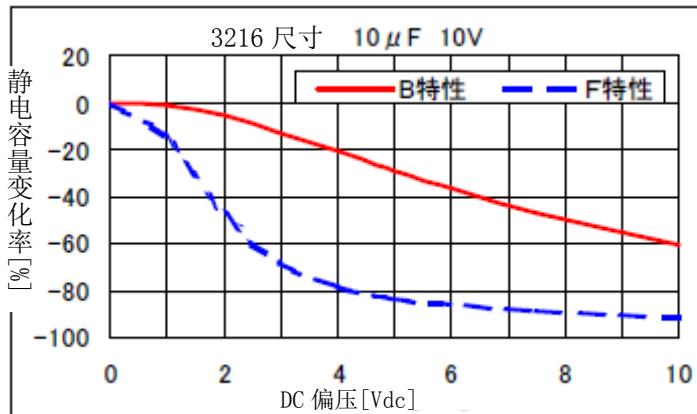
图2 AC电压特性

(2) 直流偏压特性

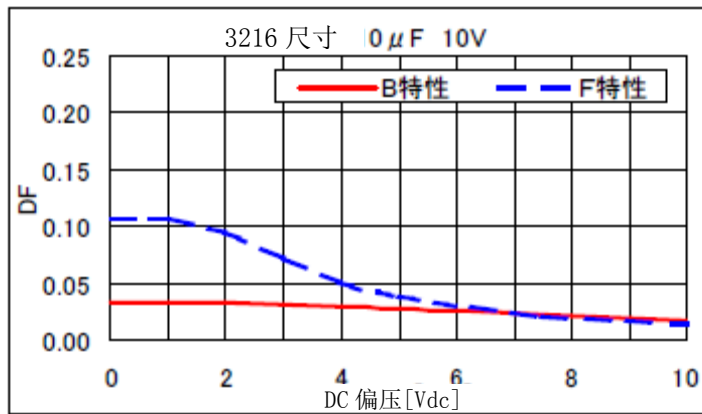
图3表示片状独石陶瓷电容器B、F特性的直流偏压特性。

测量条件为20℃、1kHz、1Vrms中，B特性时，根据直流偏置电压最大下降到60%，F特性时，最大下降到90%。

片状独石陶瓷电容器中，直流偏置电压变高的话静电容量变小。介质损耗角正切也随直流偏置电压的增大而变小。



(a) 静电容量变化率

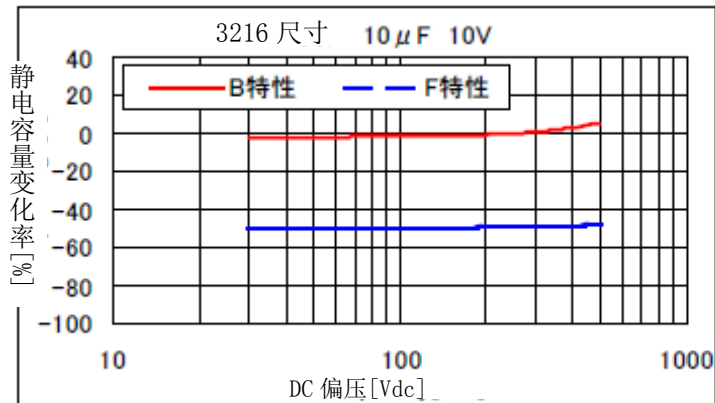


(b) 介质损耗角正切 (DF)

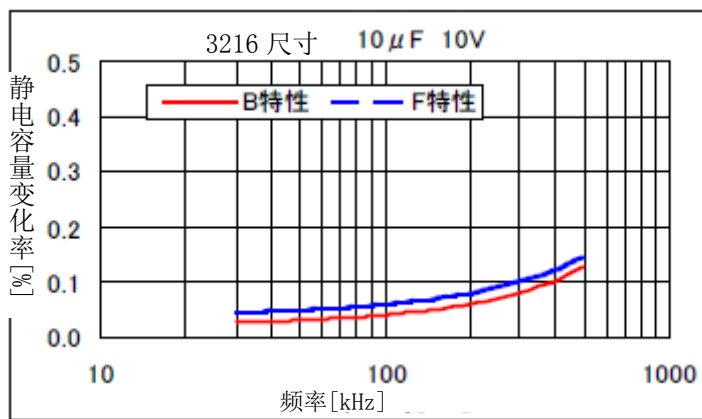
2-3. 频率特性

图 4 表示片状独石陶瓷电容器 B、F 特性的频率特性。

片状独石陶瓷电容器中，即使改变测量频率，2种B、F特性中的静电容量几乎不变，但是介质损耗角正切根据频率而改变。F特性的静电容量变化率大约减少50%以上的原因是，在一般情况下，阻抗分析仪中，AC电压没有施加1Vrms，而成为0.1Vrms。AC电压0.1Vrms时，F特性的静电容量变化率也跟图2所示的AC电压特性一样大约减少到50%。



(a) 静电容量变化率



(b) 介质损耗角正切 (DF)

图4 频率特性

2-4. 总结

如上所述，片状独石陶瓷电容器的静电容量和介质损耗角正切，在温度、AC 电压、直流偏压及频率中变化。从而静电容量和介质损耗角正切，必须规定温度、电压 (AC、DC)、频率 3 种条件以后测量。设计电路的时候，要充分考虑使用环境和条件方面的片状独石陶瓷电容器的特性之后请使用。

3. LCR 仪表和测试夹具

本章介绍典型的 LCR 仪表和测试夹具。

3-1. LCR 仪表

电容器的静电容量和介质损耗角正切的测量装置一般使用 LCR 仪表。作为典型的 LCR 仪表有，如图 5 所示的安捷伦科技有限公司的 4284A、4278A、4268A。根据测量装置的不同不能满足表 1

中的测量条件，所以请仔细阅读第4章的测量原理、及第5章、第6章的测量方法之后使用。



(a) 4284A



(b) 4278A



(c) 4268A

图5 LCR仪表的外观照片

3-2. 测试夹具

测试夹具必须选择符合LCR仪表的装置。图6表示使用典型的贴片型夹具。



(a) 16034E

(b) 16334A

图6 测试夹具的外观照片

测试夹具被分为2种类型，一种和安捷伦科技有限公司的16034E一样，在夹具的规定位置上放置芯片，使引脚接触芯片端进行测量的类型，另一种和16334A一样镊子状的夹具，用此镊子夹住芯片两端而测量的类型。

4. LCR 仪表的测量原理

本章说明LCR仪表的测量原理以及测量电压等测量中的基本事项。

4-1. 测量原理

关于 LCR 仪表，典型的测量方式是自动平衡桥接法，在图 7 中表示其原理图。

高增益放大器中，为了使电阻R中流过的电流和DUT中流过的电流相同，即让DUT的L端测(低电位)经常成为虚拟接地(电位=0)，要自动地调整增益。此时的输出电压E2、反馈电阻R和输入电压E1中求出DUT的阻抗Zx。

$$Z_x = R \cdot E_1 / E_2$$

$$E_1 = |E_1| \angle \theta_1 = |E_1| \cos \theta_1 + j |E_1| \sin \theta_1$$

$$E_2 = |E_2| \angle \theta_2 = |E_2| \cos \theta_2 + j |E_2| \sin \theta_2$$

此时可同时测量E1和E2的相位角 θ_1 、 θ_2 ，根据相位角和Zx可计算电阻成分Rx和电抗量Xx，并求出静电容量和介质损耗角正切。

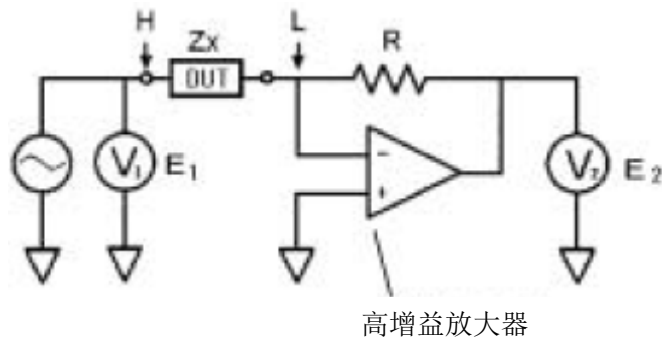


图7 自动平衡桥接法的原理图

4-2. 测量电压

一般 LCR 仪表，为了保护内部电源具有内部电阻。根据该内部电阻大小的不同，实际上测量的电容器两端电压下降，无法正确测量静电容量和介质损耗角正切。

根据 LCR 仪表测量 10 μ F 等的高容量产品时，因电容器的阻抗极端下降，无法施加规定的测量电压。

实际上，用图8所示的简单等效电路说明。施加在DUT上的测量电压Edut，将电源的输出电压E0分压成DUT的阻抗Zx=R+jX和LCR仪表内部阻抗Rin值。

施加在DUT上的测量电压Edut为：

$$E_{dut} = E_0 \times \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{\sqrt{(R_{in} + R)^2 + X^2}}$$

$$X = 1 / \omega C = 1 / 2 \pi f C$$

因此，电容器的测量电压不同于电源电压。从而测量的时候，推荐具有将测量电压保持自动设定电压的功能(ALC)型。并且，对于不具备此功能的LCR仪表，实际上用测试仪确认电容器两端的电压，只能手动设定。

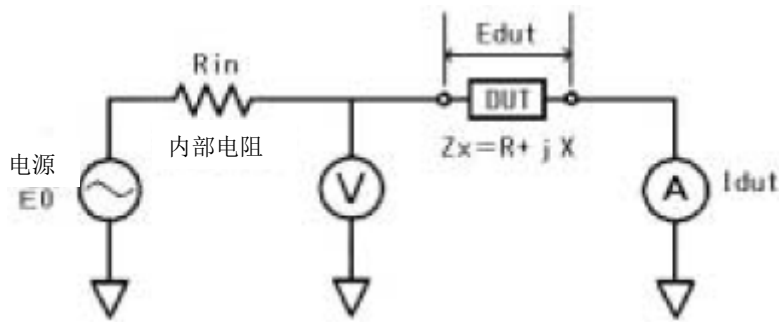


图8 施加在DUT上的测量电压

4-3. 静电容量的测量电路模式

静电容量的测量电路模式一般包括并列等效电路模式和串联等效电路模式 2 种类型。

(1) 小静电容量的情况(参考图 9)

关于小静电容量，其电抗大，即成为高阻抗，并联电阻 R_p 的影响比串联电阻 R_s 的影响大，可以忽略 R_s ，测量电路成为并列等效电路模式。

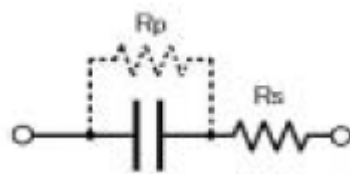
(2) 大静电容量的情况(参考图 10)

关于大静电容量，其电抗小，即成为低阻抗，串联电阻 R_s 的影响比并联电阻 R_p 的影响大，可以忽略 R_p ，测量电路成为串联等效电路模式。



C(高阻抗)

图9 小静电容量
(并列等效电路模式)



C(低阻抗)

图10 大静电容量
(串联等效电路模式)

(3) 测量电路模式取决于电容器的阻抗值，基于 LCR 仪表的内部电阻，以阻抗值 $10\ \Omega$ 为基准改变测量电路模式。

图11表示静电容量和阻抗的关系。根据国家规格JISC5101-1-1998的4.7项静电容量、4.8项的介质损耗角正切，用1kHz测量小于等于 $10\ \mu\text{F}$ 的静电容量，用120Hz测量超过 $10\ \mu\text{F}$ 的静电容量，因阻抗全部都大于等于 $10\ \Omega$ ，可用并列等效电路模式测量。并且，静电容量超过 $100\ \mu\text{F}$ 时，因阻抗小于 $10\ \Omega$ ，用串联等效电路模式测量。

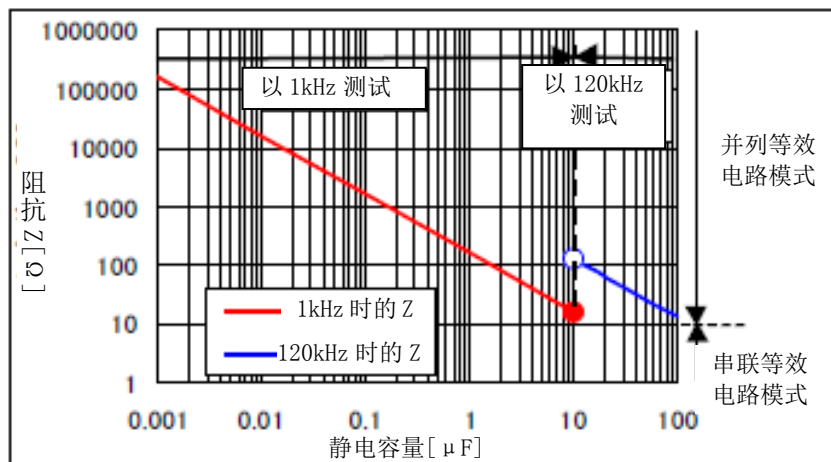


图 11 静电容量和阻抗的关系

5. 根据 LCR 仪表 4284A 的静电容量的测量方法

本章叙述组合典型的 LCR 仪表 4284A 和测试夹具 16034E 正确测量静电容量的方法。

5-1. 接通 LCR 仪表的电源

测量器需要准备工作，实际测量 30 分钟之前请务必接通电源。

5-2. 已安装测试夹具的状态

按照图 12 在测量器上安装测试夹具。

5-3. 测量器的设定

在 Measure Setup 的画面(参考图 13)上设定测量条件。

(1) FUNC → Cp-D

(2) Freq and Level → 参考表 1。



图 12 安装测试夹具的状态

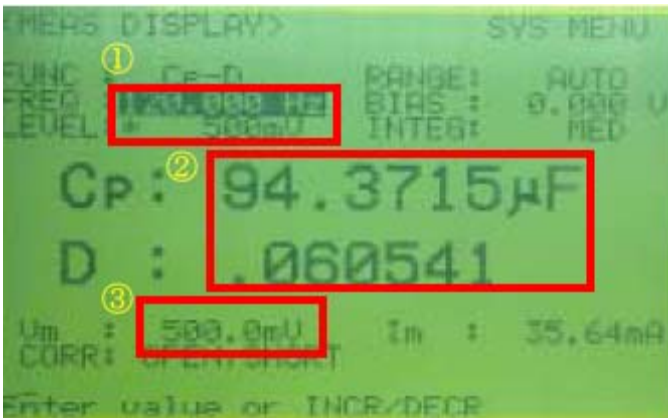


图13 Measure setup画面

【注1】Freq and Level 的设定不符合的话，不能正确测量静电容量。实际举例说明。

例) 样品: 4532 尺寸 B 特性 100 μ F

此样品的测量频率和AC电压是，Freq: 120Hz、Level: 0.5Vrms(参考图14)。假如用不同的条件1kHz、1Vrms测量的话，如图15一样，静电容量变为大约降低20%的值，不能正确显示。

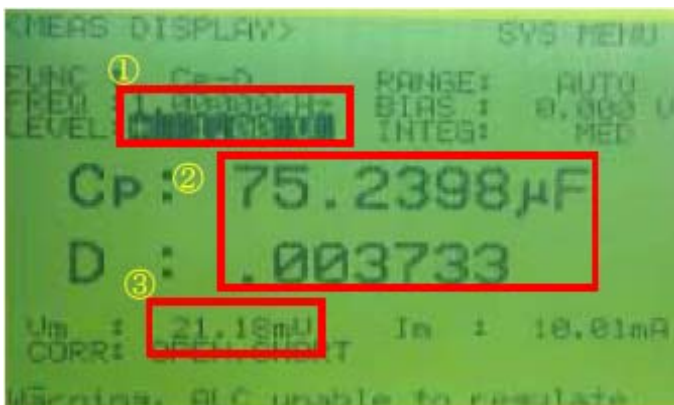


①是设定测量频率和测量电压的部分，基于规格设定为 FREQ: 120Hz、LEVEL: 500mv。

②是静电容量和介质损耗角正切的表示部分，100 μ F 的物大致成 94 μ F，没有问题。

③Vm 是监测实际的测量电压，已施加 500mv。

图 14 测量条件:120Hz、0.5Vrms



①设定成与规格不同的 FREQ:1kHz、LEVEL:1v。

②的 $100\ \mu\text{F}$ 的物大约只有 $75\ \mu\text{F}$ ，与正确条件相比低 20%。

③ V_m 是监测实际的测量电压，设定成 1V 、但施加的只有 21mV 。

图15 测量条件: 1kHz 、 1Vrms 的情况

(3)Hi-PW(High Power)→接通和 ALC(Automatic Level control)→接通

接通 Hi-PW 的话，可以测量最大 1Vrms 至 10Vrms 的电源电压。

并且，ALC 具有将测量电压保持设定电压的功能，要始终保持接通状态。就算把测量电压设定为 1Vrms ，如果达不到 1Vrms 就不能准确测量静电容量。

实际举例说明。

例) 样品: 3216 尺寸 B 特性 $10\ \mu\text{F}$

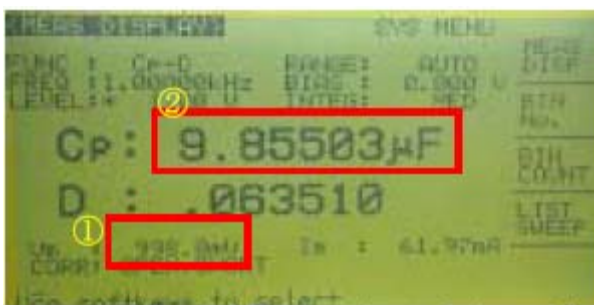
接通ALC和Hi-PW的话，测量电压就施加 1Vrms ，静电容量可以正确测量为 $9.86\ \mu\text{F}$ (参考图16、17)。假如，断开ALC的话，测量电压降低为 184mVrms ，静电容量也降低为 $8.43\ \mu\text{F}$ (参考图18、19)。



①意味着 ALC 接通和 Hi-PW 接通。

②意味着 ALC 接通的记号。

图 16 ALC 接通状态的 Measure Setup 画面



① V_m 是监测实际的测量电压，已施加 1V 。

②中的 $10\ \mu\text{F}$ 产品成 $9.86\ \mu\text{F}$ ，没有问题。

图 17 ALC 接通状态的 Measure Display 画面



①意味着 ALC 断开和 Hi-PW 接通。

②意味着不存在 ALC 的记号、断开状态。

图 18 ALC 断开状态的 Measure Setup 画面



①Vm 是监测实际的测量电压，已施加 184mv。

②中 10 μF 的静电容量降低为 8.42 μF。

图19 ALC断开状态的Measure Display画面

【注 2】施加在电容器上的测量电压的确认方法

实际上确认测量电压的方法是，使测试仪接触芯片的两端，与设定电压一样确认是否施加到设定电压。

图 20 表示用测试仪测量图 17 情况的状态。可知测试仪的值显示 998mVrms。

图21表示用测试仪测量图19情况的状态。测试仪的值显示187mVrms，因为AC电压没有施加 1Vrms，所以静电容量表现为低。

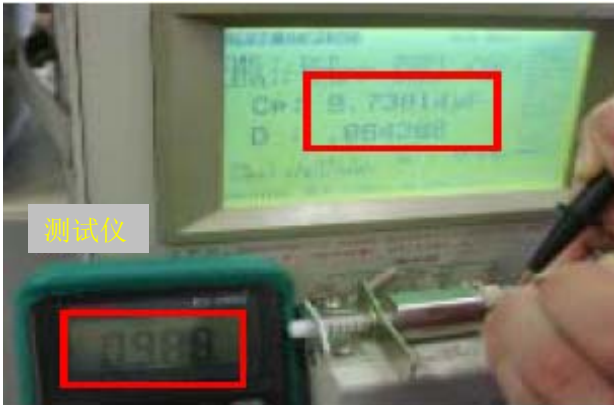


图 20 用测试仪测量 ALC 接通状态的示例

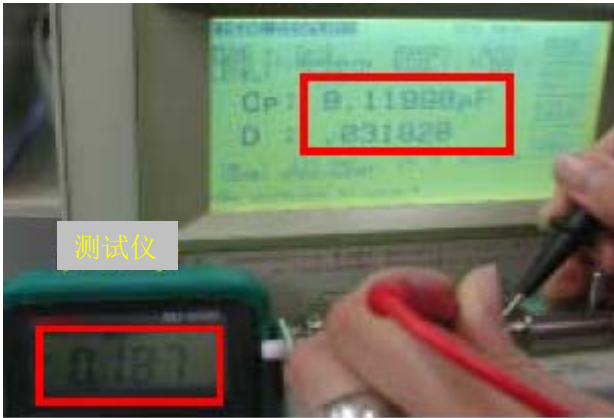


图 21 用测试仪测量ALC断开状态的示例

5-4. 校正

校正是设定 5-3 的测量后 MEAS SETUP 的 COMPEN 中实施。校正内容包括 Short 校正和 Open 校正，与校正的顺序无关。

(1) Short 校正

Short 的状态请参考图 22。此时请确认 R_s 是否小于等于 0.03Ω 。当不小于等于 0.03Ω 时，用丙酮等清洗端部。



图 22 Short 的状态

(2) Open 校正

Open 校正，请按照芯片大小进行。Open 的状态请参考图 23。

5-5. 测量

结束校正后，测量片状独石陶瓷电容器。

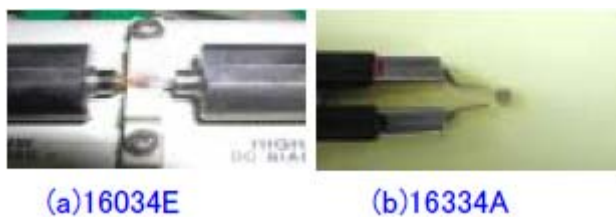


图23 Open状态

6. 根据 LCR 仪表 4278A 的静电容量的测量方法

本章叙述组合典型的LCR仪表4278A和测试夹具16034E，准确测量静电容量的方法。

6-1. LCR 仪表的电源接通

测量器需要准备工作，实际测量30分钟之前请务必接通电源。

6-2. 已安装测试夹具的状态

按照图 24 在测量器上安装测试夹具。



图24 已安装测试夹具的状态

6-3. 测量器的设定

图 25 所示的 Menu 画面中设定测量条件。

(1) 测量项目的设定

MENU→MEAS PARAMETER→Cp-D

(2) 测量频率，测量电压的设定

MENU→SIGNAL SOURCE→FREQ→1kHz→OSC→1.0V

【注 4】4278A 的测量频率包括 1kHz 和 1MHz 的 2 种。由此，表 1 中的超过 10 μ F 的大容量电容器的测量频率为 120Hz，不能测量。

超过10 μF 的大容量电容器请用4268A或者4284A测量。



图 25 Menu 画面

【注 5】施加在电容器上的测量电压的测量方法

将测量电压设定为 1Vrms 时，实际上施加不到 1Vrms 的话，就不能准确测量静电容量。

关于实际的测量电压，使测试仪接触芯片的两端，确认是否施加到设定电压。

在图 26 的情况，3216 尺寸、B 特性、10 μF 中，测量频率为 1kHz、测量电压为 1Vrms。实际上测量电压为 1.0Vrms、静电容量为 10.4 μF 。



图 26 测试仪的测量电压的确认

(3) 电缆的长度

测试夹具16034E时长度为0m。

MENU→NEXT→CABLE LENGTH→0m

6-4. 校正

在按下 MENU→NEXT→COMPEN 的画面中进行校正。

此时，校正OPEN、SHORT、TEMPCOMPEN。此时的OPEN、SHORT的方法，请参考5章的LCR仪表4284A的测量顺序。

OPEN COMPEN→OPEN ON

SHORT COMPEN→SHORT ON

STD OFF
TEMP COMPEN

6-5. 测量

TEMP COMPEN 结束之后，测量片状独石陶瓷电容器。

【注 6】随时间的变化引起的静电容量的老化特性

高诱电率型片状独石陶瓷电容器的老化特性，与静电容量的测量没有直接的关系，但是，因为静电容量减少，设计电路时必须考虑此特性。

高诱电率型片状独石陶瓷电容器(典型的是，将 BaTiO₃ 作为主要成分，温度特性为 B、F 特性等)，随时间变化静电容量也同时降低的性质。将此性质称为静电容量的老化(Aging)。

静电容量的老化是，带自发分极的的强介电质陶瓷中特有的现象，将陶瓷电容器加热至居里点(改变晶体结构、失去自发极化的温度)以上，此后居里点以下的温度中无负荷放置，随时间变化经过自发极化很难翻转，静电容量被监测为随时间而降低。

此现象不局限于本公司的产品，而是高诱电率型(BaTiO₃ 类)的片状独石陶瓷电容器中一般能看到的现象。一部分的国家规格在附录中补充说明静电容量的老化(独石电容器:IEC384-10Appendix B, 等)。因老化引起降低静电容量的片状独石陶瓷电容器，被加热到居里点以上时能恢复静电容量。并且，冷却到居里点以下的同时又开始进行老化。

一般，高诱电率型的片状独石陶瓷电容器的静电容量，以150℃以上的热处理开始经过24小时后的值作为标准，在对数时间的图表上大体线性地降低。图27中显示随时间的变化引起的静电容量的老化特性的典型例子，请参考。

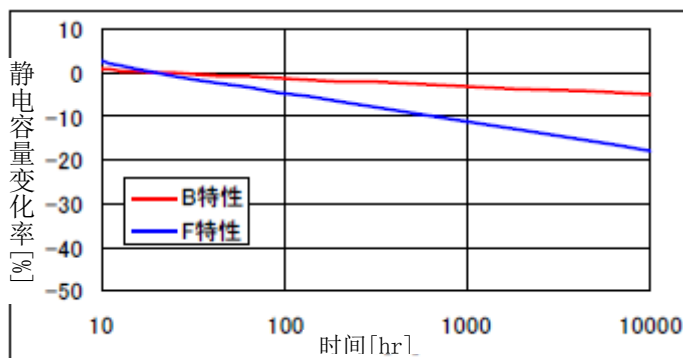


图27 随时间的变化引起的静电容量的老化特性

使用高诱电率型片状独石陶瓷电容器时，要考虑老化现象引起的静电容量的变化的同时，如特别需要稳定的静电容量时，请在实际的设备中确认。还有，温度补偿用片状独石陶瓷电容器中不存在老化现象。

7. 后记

为了正确测量片状独石陶瓷电容器，要充分理解影响片状独石陶瓷电容器的测量的特性和 LCR 仪表。

在此，特别记载容易出现的错误、容易错过、及注意事项，请有效利用。

参考文献

- 安捷伦科技有限公司的 4284A 使用说明书
- 安捷伦科技有限公司的 4278A 使用说明书
- 安捷伦科技有限公司的阻抗测量手册，2001 年第 2 版发行
- 欧姆公司 (Ohmsha, Ltd.) 的陶瓷电容器的基础和应用，2003 年第 1 版发行

编制：2005年8月