

如何测量电容器和电感器的关键材料特性？

Giovanni D'Amore

是德科技

Giovanni D'Amore 讨论了使用阻抗分析仪和专用夹具来表征介电材料和磁性材料的方法。

我们习惯于考虑手机迭代或半导体制造工艺节点方面的技术进步。这些让我更快记住技术的进步，但它们都是建立在支持技术方面所取得的进步，例如在材料科学方面。

任何用回 CRT 电视机或开启旧电源的人都会知道一件事：你无法使用 20 世纪的元件来构造 21 世纪的电子产品。

例如，材料科学和纳米技术的快速发展创造了具有构建致、高性能电感器和电容器所必需的特性的新材料。

开发使用这些材料的设备需要在一系列工作频率和温度范围内精确测量电容和磁特性，如介电常数和磁导率。

复杂的属性

介电材料在电容器和绝缘体等电子元件中起着关键作用。可以通过控制其组成和 / 或微观结构来调节材料的介电常数，尤其是对于陶瓷。

重要的是在元件的开发周期的早期测量新材料的介电特性，以便预测其性能。

介电材料的电特性的特征在于其复介电常数，其由实部和虚部组成。

介电常数的实部也称为介电常数，表示材料在受到电场作用时储存能量的能力。具有较高介电常数的材料每单位体积可以存储比具有较低介电常数的材料更多的能量，这使得它们可用于密集电容器。

具有较低介电常数的材料在信号传输系统中形成有用的绝缘体，正是因为它们无法存储大量能量，所以通过它们绝缘的任何导线来最小化信号传播延迟。

复介电常数的虚部表示介电材料在电场中时所消耗的能量。这需要仔细管理，以避免使用这些新介电材料制造的电容器等器件散失太多能量。

测量介电特性

存在各种测量介电常数的方法。平行板方法将待测材料 (MUT) 置于两个电极之间。使用图 1 中所示的等式测量材料的阻抗并将其转换为复介电常数，该等式参考其厚度以及电极的面积和直径。

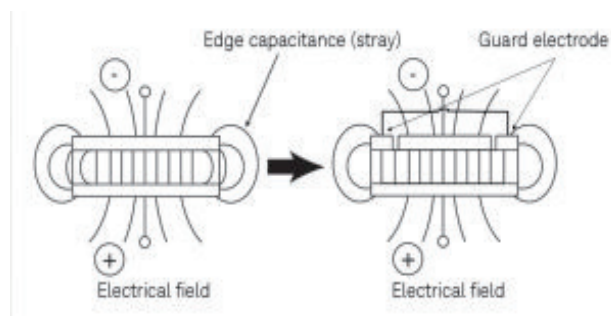


图 1 电容器护罩

该方法主要用于低频测量。虽然原理很简单，但由于测量误差，要实现精确测量很困难，特别是对于低损耗材料。

复介电常数随频率而变化，因此应在工作频率下进行评估。在高频时，由测量系统引起的误差增加，使得测量不准确。

介电材料测试夹具，例如 Keysight 16451B，具有三个电极。其中两个形成电容器，第三个提供保护电极。保护电极是必要的，因为当在两个电极之间建立电场时，它的一部分将流过安装在它们之间的 MUT。

该边缘场的存在可能导致 MUT 介电常数的误差测量。保护电极通过吸收流过边缘场的电流，从而提高测量精度。

准备样品

如果要测量材料的介电特性，重要的是只测量材料而不测量其他。因此，确保材料样品非常平坦，以消除它与电极之间的任何气隙至关重要。

有两种方法可以实现这一目标。第一种是将薄膜电极施加到被测材料的表面。第二种是通过比较电极之间的电容来得到复介电常数，在有和无材料的情况下测量电容。

保护电极有助于提高低频时的测量精度，但在较高频率下可能对电磁场产生不利影响。一些测试仪提供可选的介电材料夹具，其具有紧凑的电极，扩展了该测量技术的有用频率范围。其软件还可以帮助消除边缘电容的影响。

通过开路，短路和负载补偿，可以减少夹具和分析仪产生的残余误差。一些阻抗分析仪内置了这种补偿功能，有助于在很宽的频率范围内进行精确测量。

评估介电材料的特性如何随温度变化需要使用温控室，并且需要耐热电缆。一些分析仪提供软件来控制热室和耐热电缆套件。

测量磁性材料

与介电材料一样，铁氧体材料正在稳步改进，并广泛用于电子设备中作为电感元件和磁铁，以及作为变压器、磁场吸收器和抑制器的部件。

这些材料的关键特性包括它们的磁导率和在关键工作频率下的损耗。具有磁性材料夹具的阻抗分析仪可在宽频率范围内提供精确且可重复的测量。

与介电材料一样，磁性材料的磁导率是在实部和虚部中表示的复杂特性。实数表示材料传导磁通量的能力，虚数表示材料的损耗。具有大磁导率的材料可用于减小磁系统的尺寸和重量。磁性材料的磁导率的损耗分量可以最小化，以便在变压器等应用中实现最大效率，或者最大限度地用于屏蔽等应用。

复合磁导率由材料形成的电感器的阻抗决定。在大多数情况下，它随频率而变化，因此应根据工作频率进行表征。在较高频率下，由于固定装置的寄生阻抗，难以进行精确测量。对于低损耗材料，阻抗的相位角是至关重要的，尽管相位测量的精度通常不足。

磁导率也随温度而变化，因此测量系统应能够在很宽的频率范围内准确评估温度特性。

通过测量磁性材料的阻抗可以导出复合磁导率。这是通过在材料周围缠绕一些导线并测量相对于导线末端的阻抗来完成的。结果可能会根据导线的缠绕方式以及磁场如何与周围环境相互作用而改变。

磁性材料测试夹具（见图 2）提供了一个环绕 MUT 环形的单圈电感器。单匝电感中没有漏磁通，因此夹具中的磁场可以通过电磁理论计算出来。

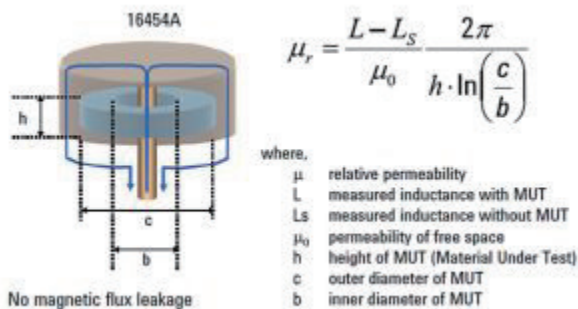


图 2 磁性材料测试夹具

当与阻抗 / 材料分析仪结合使用时，同轴夹具和环形 MUT 的简单形状可实现精确评估和 1kHz 至 1GHz 的宽频率覆盖。

测量前可以消除测量系统引起的误差。由阻抗分析仪引起的误差可以通过三项误差校正来校准。在较高频率下，通过低损耗电容器校准可以增强相位角精度。

夹具可以提供另一个误差源，但是可以通过在没有 MUT 就位的情况下测量夹具来补偿其中的任何残余电感。

与介电测量一样，评估磁性材料的温度特性需要温度室和耐热电缆。

更好的移动电话、更先进的驾驶辅助系统和更快的笔记本电脑都依赖于各种技术的不断进步。我们可以衡量半导体工艺节点的进展，但是一系列支持技术正在快速发展，以使这些新工艺成为可能。

材料科学和纳米技术的最新进展使得生产具有比以前更好的介电和磁性的材料成为可能。然而，测量这些进步是一个复杂的过程，特别是因为材料和安装它们的固定装置之间所不需要的相互作用。

精心设计的仪器和夹具可以克服许多这些问题，并为那些在这些领域没有专业知识的用户带来可靠、可重复和高效的介电和磁性材料特性测量。结果应该是在整个电子生态系统中更快速地部署先进材料。