

在应用频率下 测试电感

线艺 Coilcraft

测量 L、Q、SRF 和 DCR 的设备和技術

介绍

准确地测量电感总是比测量其他无源元件要困难一些。测量线圈的主要困难在于，线圈电感和它的效率在很大程度上受频率的影响；同样地，线圈寄生效应（分布电容和铁芯/铜线电阻损耗）会随频率的变化而发生显著的变化。在应用频率下测量线圈即“使用频率测试”要比在传统的标准频率下测试更能代表电路中元件的基值。

通常，测量频率仅为方便测量而规定。如果测量频率不是电路（或“使用”）频率，测试结果一般不能够取得与指定电路相同的电感值或展示相同的效率。鉴于设备和方法最近得到了发展并且现在能够灵活地选择测试频率，应该在实际的使用频率下去测试电感，尤其是当有高精度的要求时。

电感参数

一个线圈的主要电气参数是电感、Q（效率）、直流电阻（DCR）和自谐频率（SRF）。所有主要电气参数由设计控制，虽然不是完全地。电感和 Q 经常在很大程度上受所使用的测试仪表和测试频率的影响。

Q 反映电感的效率，是元件储存能量同损耗能量之比。Q 反映电感的能量储存能力，它与测量频率成正比，与相同频率下元件产生的电阻（铜线和铁芯）损耗成反比。

DCR 是电感在通上直流不变的电流时，电感中的铜线对电流的阻力。DCR 让我们了解因电感加入到电路而在电路中发生的插入损耗。DCR 还说明仅仅是在发热的情况下电感会消耗多少能量。

当频率超过 SRF 时，元件的作用就不再是电感。SRF 由（低频）电感和线圈的匝间有效电容的并联组合决定。

测试设备

测试方法的适当选取在很大程度上决定测量的准确度。不同的电气参数所使用的测试仪和测试方法不同，并且每台仪表都有量程、频率和误差限。寄生效应和测试夹具的影响是测量中不可忽视的因素。一般情况下必须对仪表、夹具、频率和电流（如适用）进行规定以实现可重复和可靠的测试。

阻抗分析仪一般用于测量电感元件的电感和 Q。一直以来也有极力使用网络分析仪来测量 Q。可以用零相位法在网络分析仪上测量 SRF。DCR 通常用低电阻表测量。

测试仪的选择还影响测量值。仪表的影响是因每台设备使用不同的测量方法和频率而造成的。

部份的差异可归因于不同的仪表，但主要是由于不同的频率。总之，正确的仪表应该是能够在所要求的频率下进行准确和可重复性测试的仪表。

Agilent/HP 4991A 和 4287A 通常用于测量射频线圈的电感。这些阻抗分析仪的频率范围为 1 MHz ~ 3 GHz，能够满足实际应用频率下的测量。

测定电感的传统方法

几十年来，Q 表是测定 L 和 Q 参数值的传统方法。然而，Q 表要求测试频率在其振荡器的范围内和调谐电容器的极限内。同时，Q 表测量的电感是以电容（pF）来表示的。Q 表也有比中频更易于使用的特定频率（称为蓝线），因为调谐电容器上的附加刻度盘能够直读电感。

市面上供应的 Q 表的精确度为 3% 甚至更低。Q 表误差需要使用设定“标准件”（被确定为有特定和精确值的高精度元件）。校正件如同供应商和用户确定的有特值的标准。校正件被视为特定的标准元件，

并且在每次测试时用来设置每台仪表。校正仍然是最精确的方法，此方法误差小，可重复性高，并且在任何频率下都适用。然而，校正方法存在严重的后勤缺陷：制造商和客户之间对校正件的制定和计量，和每次测试调试仪表的工作。

其他电气参数 SRF 和 DCR 一般是根据 L 和 Q 来规定的，对其使用的测试方法却很少有说明。缺少 SRF 和 DCR 的具体测试方法表明电感是主要参数并且需要谨慎控制。

应用频率测试

传统测试方法的基本困难在于，线圈在一个频率下测试，又在另一个频率下使用。图 1 和图 2 显示了传统测试方法的基本问题。

电感与频率

图 1 显示三个不同电感的电感值和频率的对数扫描。当这些产品在一个标准频率下测试时，它们的电感值看起来相同。在实际的电路频率下，这些线圈却大不相同。这三个线圈可以代表三种不同的设计或相同设计的三个不同线圈。如果使用频率就在三个电感聚合的点上，那么这些线圈是等效的。如果电路频率与测试频率大不相同，那么测试频率下的电感一般不能够表示使用频率的电感。

即使这些线圈没有相互偏离，电感值仍然会改变。当设计要求一个特定的电感值，而特定线圈未能达到预期值时，电感随频率改变而产生的结果就此体现出来。这一改变通常是夹具的不同和电路寄生效应引起的，从而特定值也相应的抵消。

图 2 显示在测试频率和应用频率下测试的另一个结果。它显示了一特定线圈的电感精度随频率变化的情况。两个频率下的标称电感值及其公差都有显示。如果该线圈在测试频率下的公差为 5%，那么在应用频率下的公差则可能为 10%。这些公差限额随频率而缩小或扩大，取决于线圈的设计。公差限额的不恒定这一事实导致精度随频率变化而失去控制。

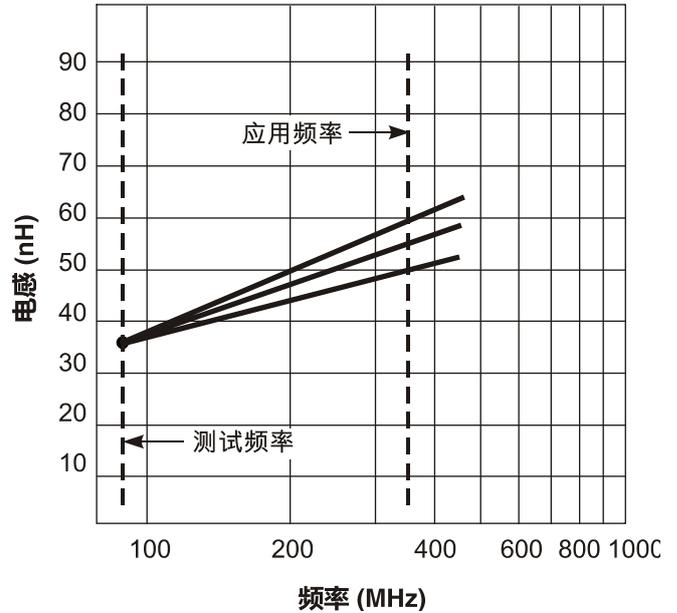


图 1. 三个不同的电感，电感值随频率变化而变化

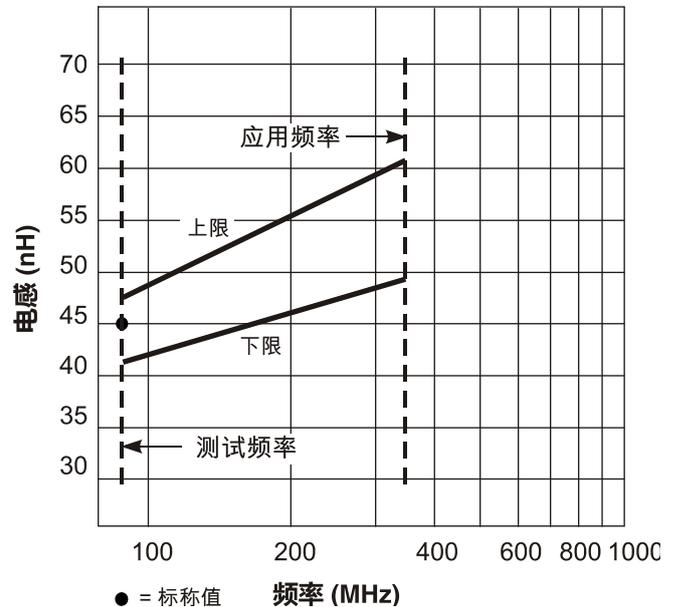


图 2. 电感的精度随频率变化而变化

在任何情况下，电感是随频率的变化而变化的，在应用频率下测试能较好地控制规格。在应用频率下测试并校正，是确定线圈应用性能的极为有效的方法。

确定应用频率下的电感测试

在使用频率下测试电感器的电气步骤如下：

电感

1. 确定标称电感值。
2. 确定测试仪表、夹具和频率。
3. 确定电感公差。
 - a. 用六西格玛或其他合适的方法来确定允许的百分比公差。
 - b. 评估测试频率下标称阻抗的仪表误差。将步骤 3a 中确定的允许公差减去此百分比误差。
 - c. 确定仪表和夹具的可重复性。将步骤 3b 的结果减去此百分比误差。此结果为规定的公差。由于所有误差都已被考虑进去，制造商应依规定的公差测试而无需校正。

Q

1. 确定绝对最小 Q 值（允许最小值）。用六西格玛或其他合适的方法来确定允许最小值。客户应依此公差进行测试。
2. 确定测试仪表、夹具和频率。
3. 为制造确定最小 Q 值。
 - a. 评估测试频率下标称阻抗的仪表误差。校正步骤 1 中确定的允许最小值（即，将最小 Q 值加上与仪表误差相等的数）。
 - b. 确定仪表和夹具的可重复性。调整步骤 3a 中确定的新的允许最小值（即，将最小 Q 值加上与测试可重复性相等的数）。此结果为规定的公差。由于所有误差都已被并入最终调整后的 Q 规格中，制造商应依规定的公差测试而无需校正。

DCR

1. 确定绝对最大 DCR（允许最大值）。用六西格玛或其他合适的方法来确定允许最大值。
2. 确定测试仪表和夹具。
3. 为制造确定最大 DCR。
 - a. 评估标称电阻的仪表误差。校正步骤 1 中确定的允许最大值（即，将最大 DCR 减去与仪表误差相等的数）。
 - b. 确定仪表和夹具的可重复性。调整步骤 3a 中确定的新的允许最大值（即，将最大 DCR 减去与测试可重复性相等的数）。此结果为规定的公差。由于所有误差都已被并入最终调后的 DCR 规格中，制造商应依规定的公差测试而无需校正。

SRF

确定绝对最小 SRF（允许最小值）。假设在已筛选过的一批器件中有需要测试，只有电感值需要 100% 测试。其他参数是伴随着电感值的，因此仅需验证。

校正规格

由于不同的夹具和环境因素，使用校正方法并且在使用频率下测试能够消除误差，而且能够加严规格。校正方法可用于电感的任何参数，但最常用于电感和 Q。

结语

线圈电感和 Q 是受频率影响的，测试方法对这些参数有更进一步的影响。在实际电路频率下确定和测试是控制电感参数的恰当方法。使用频率测试能够确保元件与其实际应用一致。

电感的主要参数是相互关联的线圈设计函数。电感规格应考虑元件变数和测量系统误差。