

介绍

工程师在比较公布的电气值时，需要一个共同的对比基准。最理想的是，一个制造商生产的电感值为 100 nH，自谐频率（SRF）为 1 GHz 的电感等同于所有其他制造商生产的有相同公布值的电感。然而，实际上测试仪器和夹具会影响 SRF 的测量。由于所有制造商使用的测试仪器和夹具不相同，因此公布的 SRF 规格并非都相等，这就使电感的比较变得困难。下面的讨论目的在于提供一些确定和比较 SRF 的见解。

电感的谐振

理想电感的电阻和电容为零。但事实上电感有“寄生”电阻和电容。电感的第一自谐频率是电感与其自电容产生共振的最低频率。第一共振可以通过电感和电容的一个并联组合来展示，如图 1。电阻“R1”限制接近谐振频率的阻抗。

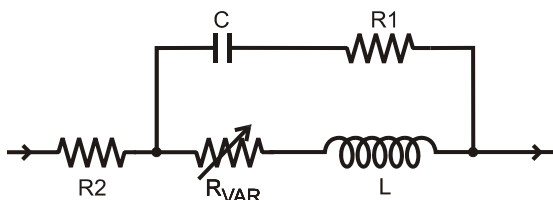


图 1. 电感模型

在电感的自谐频率下，下面的所有条件都符合：

- 输入阻抗达到峰值。
- 输入阻抗的相角为零，从正极（电感）到负极（电容）。
- 由于相角为零，Q 也为零。
- 有效电感为零，因为负电容电抗 ($X_C = 1/j\omega C$) 正好抵消了正电感电抗 ($X_L = j\omega L$)。
- 双端口插入损耗（例如，S21 dB）为最大值，对应频率与 S21 dB 的关系图表中的最小值。
- 双端口相角（例如，S21）为零，从较低频率的负极到较高频率的正极。

对这些条件的任何一个进行测量都可以确定一个电感的 SRF。

电容如何影响 SRF

电感电容历来被称为“跨绕线电容”，这是基于绝缘线圈之间电荷分离的结果这一假设。但是，如果电感是在一个传导地面上测量，那么线圈和地面之间的电容也是测量的一部分。从测量地面到线圈的距离以及测量基板的有效介电常数会影响到地电容。这就在某种程度上解释了测试夹具如何影响 SRF 测量。下面的公式显示 SRF 与 LC 电路中的电感和电容有何关联。

$$SRF = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ 单位赫兹(Hz)}$$

其中：

L 是电感，亨利

C 是电容，法拉

从上面的公式可以清楚地看到，电感或电容增大会降低测量的 SRF。电感或电容减小会提高 SRF。

夹具对 SRF 测量的影响

需要用夹具来将电感连接到测试仪的端子上。在完成校准和夹具补偿后，就假定在测量中已将所有夹具影响去嵌入（消除）。

夹具补偿使用开路 and 短路块，但它不能够测定一个特定电感与测试夹具的交互影响。因此，在校准和夹具补偿后，测量的电感和夹具之间可能存在一些残余电容。结果就使同一电感的 SRF 测量因不同的测试仪和夹具组合而有所改变。线艺规定了用于测量其电感的 SRF 的特定测试仪和夹具。

为了说明残余夹具电容对 SRF 的影响，图 2 使用 AWR Microwave Office / Visual System Simulator 2002 绘制了一个 100 nH 片式电感的有效串联电感图表。修正的 SPICE 模型仿真显示了输入端的额外 0.01 pF 到地电容的影响。之所以使用“有效电感”

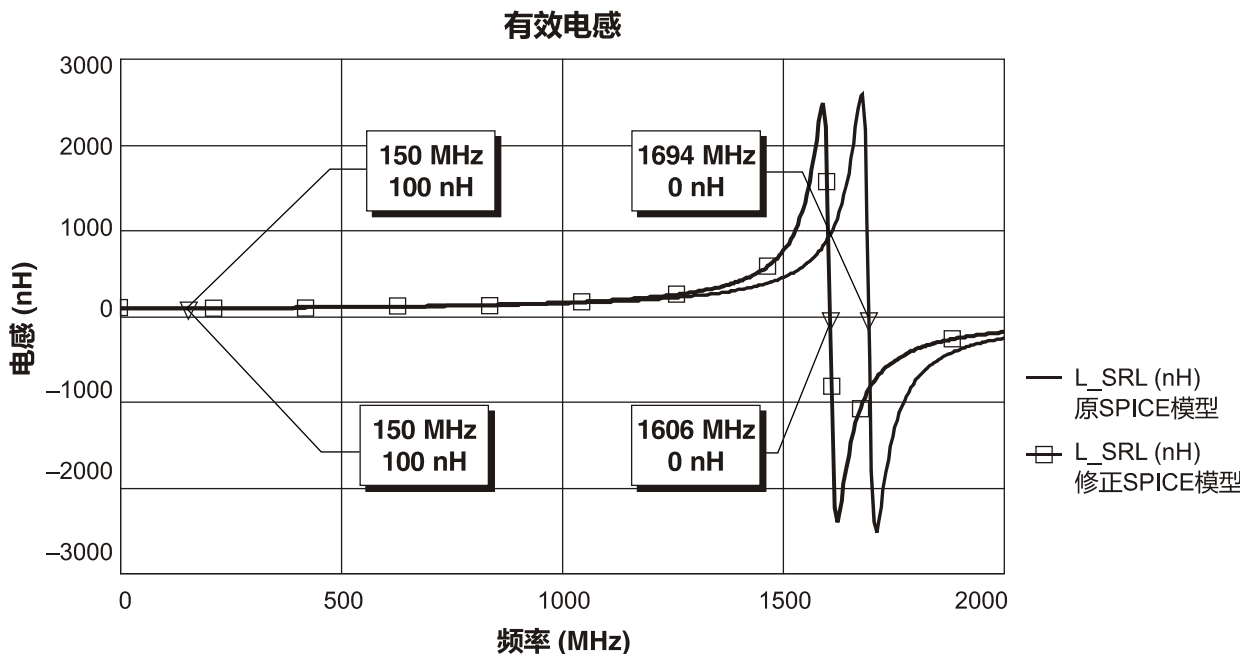


图2. 有残余电容影响的有效电感

一词，是因为两个模型的低频电感值相同（100 nH），但接近SRF的电感值受电感和夹具之间的电容影响。

残余夹具电容对较低值电感的影响更为明显。残余夹具电容对较大的功率电感的影响通常可以忽略。

从图2中可以得出几个重要的结论：

- 夹具设计和校准的细微差异对测量的SRF有很大的影响。
- 在接近测量的SRF时，夹具设计和校准的细小差异可能意味着将读取大的正电感或大的负电容之分。
- 如果电感所在的电路板的寄生电容（和电感）不同于测试夹具，电路板上的电感的SRF测量值就会不同。
- 由于SRF的测量受夹具/基板的影响，当夹具的影响很大时，就不能够对“典型的”SRF进行规定。

电容的细小差异如何影响Q

图3显示了残余夹具电容对Q值的影响。比较图2的原电感模型的Q与在输入端有额外的0.01 pF到地电容的相同电感的Q。在较低的频率下，残余夹具电容对Q值的影响很小。在较高的频率下，对Q的

影响就变得很大。在这个例子中，小的残余到地电容使峰值Q产生132 MHz的位移，并且量值降低原值的23%。

线艺如何测量电感的SRF

在制定公布的数据时，线艺一般使用相同的测试仪和夹具来测量我们所有的片式电感和功率电感的SRF：Agilent/HP矢量网络分析仪和线艺SMD-D（双端口）测试夹具。SRF被确定为插入（S21）相位从负值经过零向正值变化的频率。

因为SRF的测量对夹具的影响非常敏感，我们将我们的低电感射频片式电感的SRF规定为“最小”值，比一个代表性样品的实际平均测量值低约15%~20%。对于较高的电感值，夹具的影响变得微不足道，因此我们的功率电感的SRF被规定为“典型值”。

比较线艺电感和其他电感的SRF

在比较线艺片式电感和其他电感的SRF时，应使用相同的测试仪、夹具、校准和夹具补偿标准。不然的话，任何SRF规格误差都可能会被测试仪和夹具的影响所掩藏，可能会产生错误的结论。

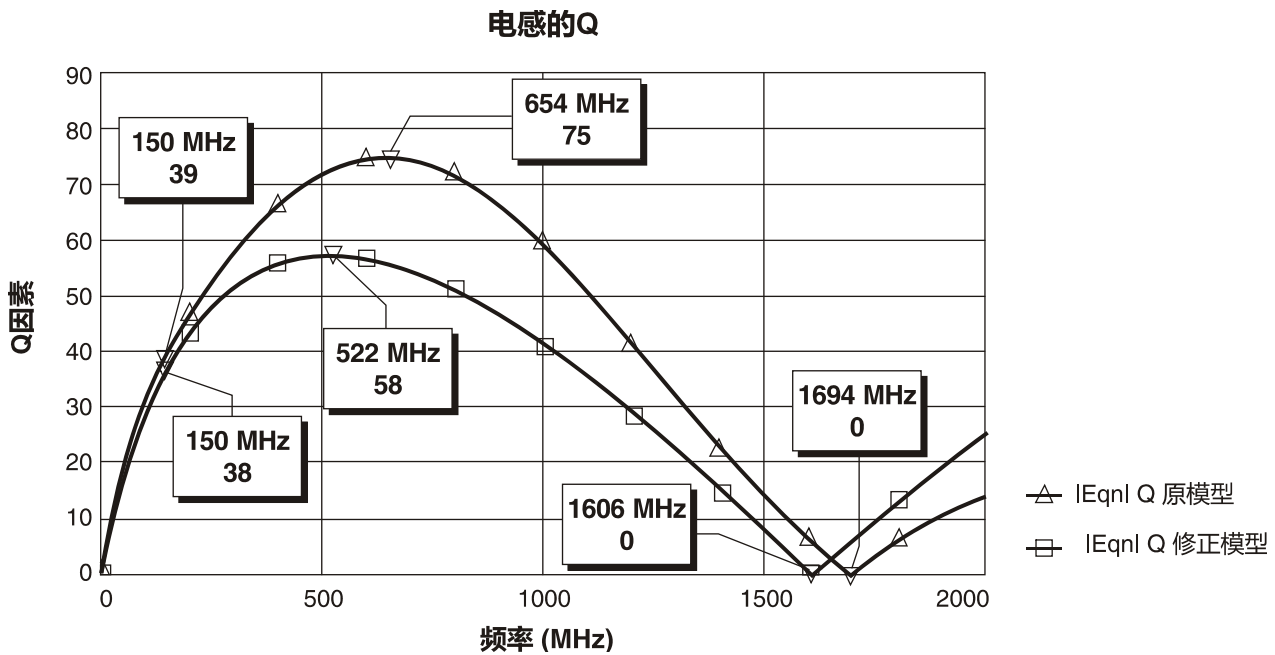


图3. 电容对测量的Q的影响

受基板影响的SRF仿真

对于电路设计人员来说，为每个新的应用电路板重新测量电感的SRF显然是不方便且没有时效的。要确定一特定应用中的电感的SRF，一个较为容易的方法是：电路仿真。

在创建我们的SPICE模型和S-参数之前，尽可能消除我们测量中的夹具影响。去嵌入测量的SRF因此会比测量值高。

然而，去嵌入SRF不是实际的SRF。任何电感的实际SRF始终取决于电感所安装的电路板的特性。换句话说，SRF是受基板影响的。

通过在特定的电路板基板上仿真线艺模型，您就能

够为您的应用确定电感的SRF。电路板基板介电常数和厚度以及电感附近的导电迹线的尺寸和布置决定电感的SRF。

Eagleware的射频和微波设计软件提供的高准确度资料库包含有许多我们的片式电感系列。基于我们的电感是在各种厚度的FR4和氧化铝板上测量，因此这些模型具有基板可扩展性。

通过仿真电路板特性和公差，电路设计人员就能够看到它们对SRF和所有其他电气特性如电感、Q、输入阻抗、相角、插入损耗和回波损耗的影响。了解这一点能够为设计人员在对比电感时提供实践依据，并最终解答电感是否适合于应用的问题。