LCR 数字电桥知识培训 2016 版

（内部资料）

拟制：	Simba.Lu		日期：	
审核：	Steven.Wang		日期：	
批准：	Kelvin.Liu		日期：	
版本：	**2012 版**		日期：	2012.12.22
版本：	**2016 版**		日期：	2016.05.01

致新精密

Changzhou Zhixin Precision Electronics Co., Ltd.
All Rights Reserved

LCR 数字电桥知识培训 2016 版 1
1. 为什么叫 LCR 数字电桥? 5
2. 通用 LCR 电桥的原理模型? 5
3. 测量频率、电平及正弦交流电的基本概念？ 6
4. 纯电阻电路中交流电流、电压的关系？ 7
5. 纯电感电路中交流电流、电压的关系？ 7
6. 纯电容电路中交流电流、电压的关系？ 8
7. 什么是阻抗？ 10
8. 什么是导纳？ 10
9. 电感 L、电容 C 及与阻抗的关系 11
10. 感性器件和容性器件的阻抗导纳? 12
11. 品质因子 Q 和损耗因子 D 12
12. 选择串联模式还是并联模式？Cp、Cs、Lp、Ls？ 13
13. 被测元器件上的电压是否等于用户设定的电压？ 14
14. 仪器上这么多内阻模式，如何选择？ 15
15. 为什么不同厂家仪器测出的电感值会有差异？ 16
16. LCR 电桥的直流偏置功能 18
17. 关于电感器的直流叠加测试 18
18. LCR 电桥的量程范围 20
19. 为什么说 LCR 电桥很难测高 Q 和低 D 20
20. 为什么有时候测出来的损耗值 D 是负的? 20
21. 如何正确用 LCR 电桥的测试端连接被测件？ 21
22. 4 端测量和 2 端测量 22
23. LCR 电桥的开路清零 22
24. LCR 电桥的短路清零 23
25. 为什么 LCR 电桥测量出现”假死机”现象？ 24
26. LCR 数字电桥的常用量纲? 24
27. 作为一个新用户，怎样选择一款数字电桥？ 25
28. LCR 电桥常用的测试夹具有哪些？ 27
29. 频率不同对元件测试有影响吗? 28

致新精密

30. 电压不同对元件测试有影响吗? 28
31. 怎样选择测试电压和频率? 29
32. 对于一个已知的“电容”，客户该选用什么样的测试条件？ 29
33. 测试信号检测功能 Vm、Im 是什么意思？ 29
34. 关于 LCR 数字电桥测量准确度的问题 29
35. 什么叫等效串联电阻 Rs、并联电阻 Rp? 30
36. 怎样选择测试速度? 30
37. 仪器为什么要进行清零? 30
38. 有些 LCR 数字电桥选配 GPIB 接口有什么作用 30
39. 什么是负载校准，负载校准应注意哪些？ 30
40. 扫频和点频清零有何区别? 31
41. 测量的显示范围和精度范围有何区别? 31
42. 为什么 L 或 C 设置了,还不能进行分选(还是判断为不合格)? 31
43. 仪器的 P1\P2\P3 有何具体意义? 31
44. 增加测试线的长度对测试有没有影响 31
45. 仪器的串行软件有何功能? 31
46. 仪器可以测贴片元件吗? 31
47. 仪器通过 RS232 接口和电脑连接后没有连接成功 31
48. ZX65xx 系列可以测试哪些电容？ 32
49. 为什么 ZX8511C 比 ZX2811D 还贵 32
50. 何谓自动电平控制 ALC(Auto Level Control)？ 32
51. ZX2816B 显示数据不动？ 32
52. 测试信号电平相关性是什么意思？ 32
53. 电桥接上自动测试机或用户自制探针夹具时，测试端应怎样连接以保证测量准确？ 32
54. 各种电容的常规测试频率是多少？ 32
55. 什么是 HANDLER 接口？ 32
56. 列表扫描 List Sweep 是什么意思？ 33
57. 用 120Hz 测量铝电解电容器，发现市场上的容量表速度都很慢，有没有更加快一点的，低频高速电容测量仪是什么意思？ 33
58. 低端 LCR 数字电桥 TH2811D 和 ZX8511D 哪一种好一点？ 33

致新精密

59. 有没有能够测到 10 法拉的容量测试仪？ 33

60. 如何最方便的把 LCR 数字电桥的测量结果传送到电脑上，我不想自己写软件，也不想另外付费买软件。 33

61. 测试 SMD 贴片器件选择什么样的夹具？ 33

62. 什么叫 SCPI 通讯协议？ 34

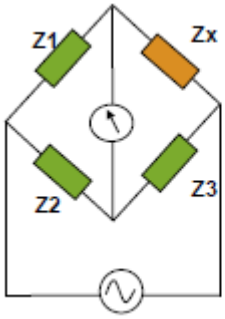
63. 双频测试仪器？ 34

64. 多参数测试仪器？ 34

致新精密

1. 为什么叫 LCR 数字电桥?

L：电感（为了纪念物理学家 Heinrich Lenz），C：电容(Capacitor)，R：电阻(Resistance)，LCR 数字电桥就是能够测量电感，电容，电阻，阻抗的仪器，这是一个传统习惯的说法。最早的阻抗测量用的是真正的电桥方法，如下图：



$$Zx = \frac{Z_1}{Z_2} Z_3$$

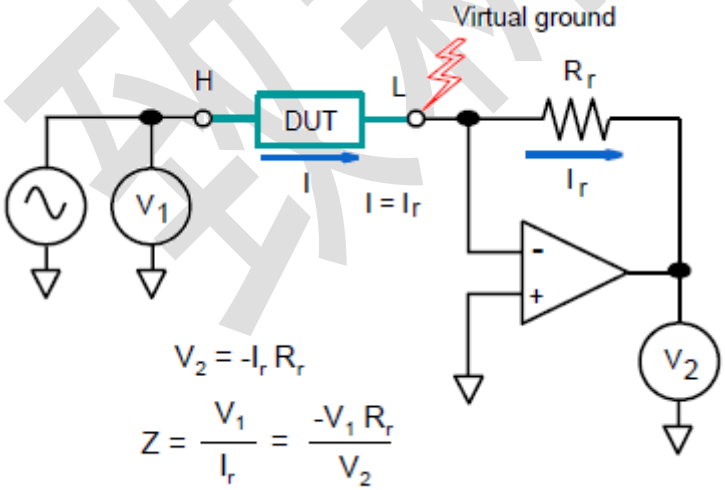
随着现代模拟和数字技术的发展，早已经淘汰了这种测量方法，但 LCR 电桥的叫法一直沿用至今。如果是使用了微处理器的 LCR 电桥则叫 LCR 数字电桥。一般用户又称这些为：LCR 测试仪、LCR 电桥、LCR 表、数字电桥、LCR Meter 等等。

常州致新的 LCR 数字电桥有： ZX8528，ZX8526，ZX8519，ZX8519，ZX8516，ZX8517，ZX8510，ZX8511D，ZX2811D 等等系列。

另外，电容测试仪和电感测试仪实际上是 LCR 数字电桥的变种，其根本原理与电桥是一样的。

2. 通用 LCR 电桥的原理模型?

随着现代模拟和数字技术的发展，特别是高速运放，微处理器技术的发展，现代阻抗测量大都使用自动平衡电桥法，如下图：



上图中：首先由信号源发生一个一定频率和幅度的正弦交流信号，这个信号加到被测件 DUT 上产生电流流到虚地“0V”，由于运放输入电流为零，所以流过 DUT 的电流完全流过 Rr，最后根据欧姆定律 DUT 的阻抗：Z = -V1*Rr/V2。因为运算放大器虚地功能的引入，使这种测量方法的精度和抗干扰能力产生了质的飞跃。

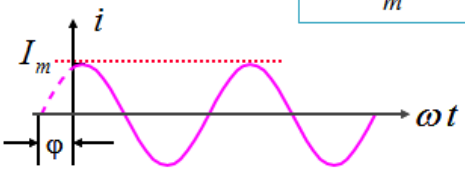
当然，以上只是一个比较抽象化的原理模型，真正的产品要复杂的多。

3. 测量频率、电平及正弦交流电的基本概念？

如果在电阻、电感和电容的电路里电动势随时间按正弦规律变化，由此产生的电流、电压也是正弦的。工程上使用正弦交流信号分析电路元件的电压电流关系及功率问题， LCR 电桥中也使用正弦交流信号分析电阻，电容，电感，或其他被动元件的阻抗。

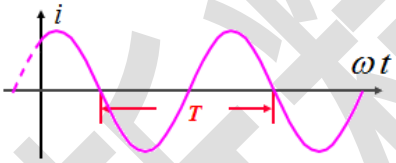
- 正弦波的特征量：

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$



特征量：
- I_m ： 电流幅值（最大值）
- ω ： 角频率（弧度/秒）
- φ ： 初相角

- 频率、周期与角频率的概念及关系：

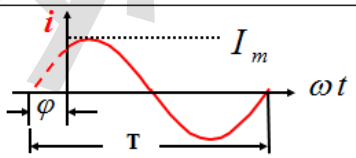
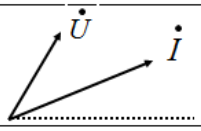


描述变化周期的几种方法

1. 周期 T： 循环一次所需的时间 单位：秒，毫秒. .
2. 频率 f： 每秒变化的次数 单位：赫兹，千赫兹...
3. 角频率 ω :每秒变化的弧度 单位：弧度/秒, rad/s

$$f = \frac{1}{T} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

- 正弦波的 4 种表示方法：

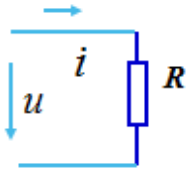
波形图	
瞬时值	$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$
相量图	
相量	$\dot{U} = a + jb = Ue^{j\varphi} \Rightarrow U\angle\varphi$

测试信号电平就是的正弦波有效值（RMS 值）。

致新精密

4. 纯电阻电路中交流电流、电压的关系？

根据 欧姆定律



$$\boxed{u = iR}$$

设 $u = \sqrt{2}U\sin\omega t$

则 $i = \dfrac{u}{R} = \sqrt{2}\dfrac{U}{R}\sin\omega t = \sqrt{2}I\sin\omega t$

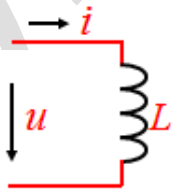
- 频率相同
- 相位相同
- 相量关系：

$$\dot{U} = U\angle 0^\circ = IR\angle 0^\circ = \dot{I}R$$

$$\boxed{\dot{U} = \dot{I}R}$$

5. 纯电感电路中交流电流、电压的关系？

基本关系式： $u = L\dfrac{di}{dt}$



设 $i = \sqrt{2}I\sin\omega t$

则 $u = L\dfrac{di}{dt} = \sqrt{2}I\omega L\cos\omega t$

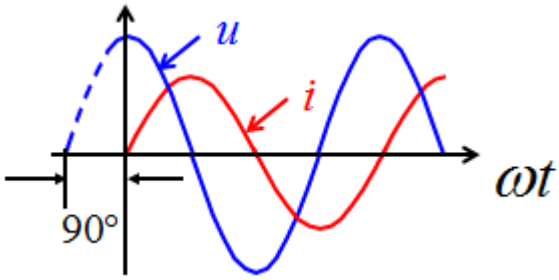
$$= \sqrt{2}IX_L\sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$= \sqrt{2}U\sin(\omega t + 90^\circ)$$

- 频率相同

致新精密

- 相位相差 90 度（u 领先 i 90 度）



- 相量关系：

$$\begin{cases} i = \sqrt{2} I \sin \omega t \\ u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + 90^\circ) \end{cases}$$

设： $\dot{I} = I\angle 0^\circ$

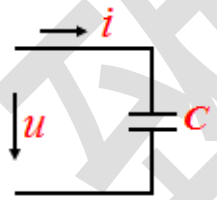
$\dot{U} = U\angle 90^\circ = I\,X_L\angle 90^\circ\angle 0^\circ$

$= \dot{I} j X_L$ 或 $\dot{I} = \dot{U} / j X_L$

- 电感电路中复数形式的欧姆定律：

$$\boxed{\dot{U} = \dot{I}(jX_L)}$$

6. 纯电容电路中交流电流、电压的关系？



基本关系式:

$$\boxed{i = C\frac{du}{dt}}$$

设：$u = \sqrt{2}U \sin \omega t$

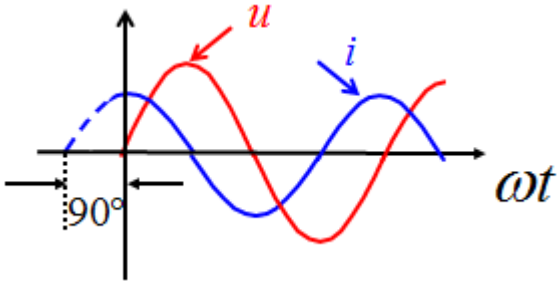
则：

$$\boxed{\begin{aligned} i &= C\frac{du}{dt} = \sqrt{2}UC\,\omega\cos\omega t \\ &= \sqrt{2}U\omega\,C\cdot\sin(\omega t + 90^\circ) \end{aligned}}$$

- 频率相同

- 相位相差 90 度（i 领先 u 90 度）

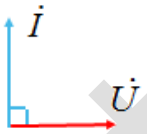
致新精密



- 相量关系：

设：$\dot{U}=U\angle 0^{\circ}$

$\dot{I}=I\angle 90^{\circ}$



则：$\dot{U}=U\angle 0^{\circ}=IX_C\angle 0^{\circ}$

$=IX_C\angle 0^{\circ}\angle 90^{\circ}\angle -90^{\circ}=X_C\dot{I}\angle -90^{\circ}$

$=-jX_C\dot{I}$ $\boxed{\dot{U}=-jX_C\dot{I}}$

- 电容电路中复数形式的欧姆定律：

$$\boxed{\dot{U}=-jX_C\dot{I}}$$

致新精密

7. 什么是阻抗？

在具有电阻、电感和电容的电路里，对交流电所起的阻碍作用叫做阻抗。阻抗常用Z表示，是一个复数，实部称为电阻，虚部称为电抗，其中电容在电路中对交流电所起的阻碍作用称为容抗，电感在电路中对交流电所起的阻碍作用称为感抗，电容和电感在电路中对交流电引起的阻碍作用总称为电抗。 阻抗的单位是欧姆。

- 矢量
- 交流测试信号
- 阻抗的单位： Ω 欧姆

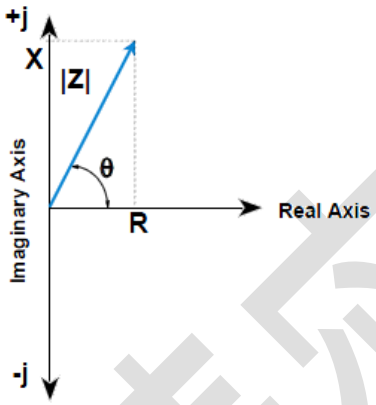
$$Z = R + jX = |Z|\angle\theta$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right)$$

$$R = |Z|\cos\theta$$

$$X = |Z|\sin\theta$$



以上：Z 阻抗[Ω]、 R 电阻[Ω]、 X 电抗[Ω]、 |Z| 阻抗的绝对值[Ω]、 θ 阻抗的相位[以度或弧度为单位] 、Rs 等效串联电阻[Ω]，也称ESR。

一般LCR数字电桥都有测量阻抗的功能，例如：ZX8511D，ZX8516A，ZX8519A，ZX8518，ZX8526，ZX8528...等等。

8. 导纳？

导纳(admittance)是电导和电纳的统称，在电力电子学中导纳定义为阻抗(impedance)的倒数，符号Y，单位是西门子，简称西(S)，导纳是个向量：Y = G + jB：

$$Y = \frac{1}{Z}$$

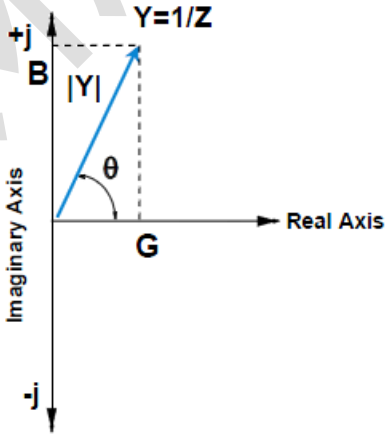
$$Y = G + jB = |Y|\angle\theta$$

$$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B}{G}\right)$$

$$G = |Y|\cos\theta$$

$$B = |Y|\sin\theta$$



导纳的单位:Siemen 西门子

以上：Y 导纳[S]、 G 电阻[S]、 B 电抗[S]、 |Y|导纳的绝对值[S]、 θ 阻抗、导纳的相位[以度或弧度为单位]、 Rp 等效并联电阻[Ω]。

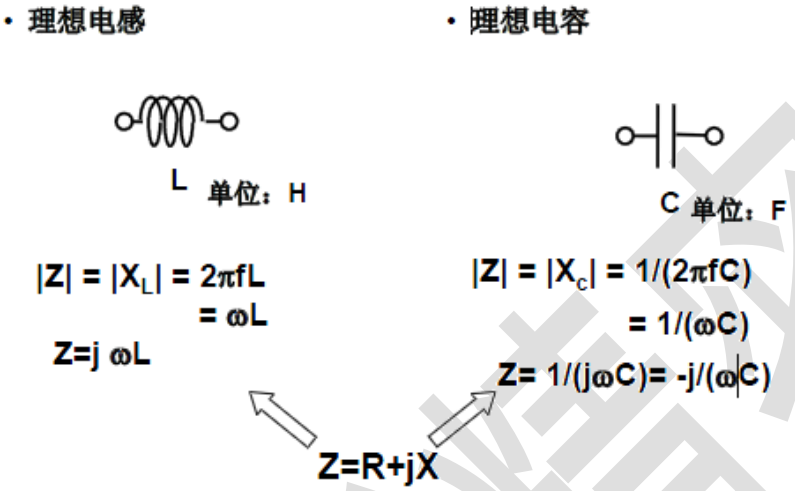
一般LCR数字电桥都有测量导纳的功能，例如：ZX8511D，ZX8516A，ZX8519A，ZX8518，ZX8526，ZX8528...等等。

致新精密

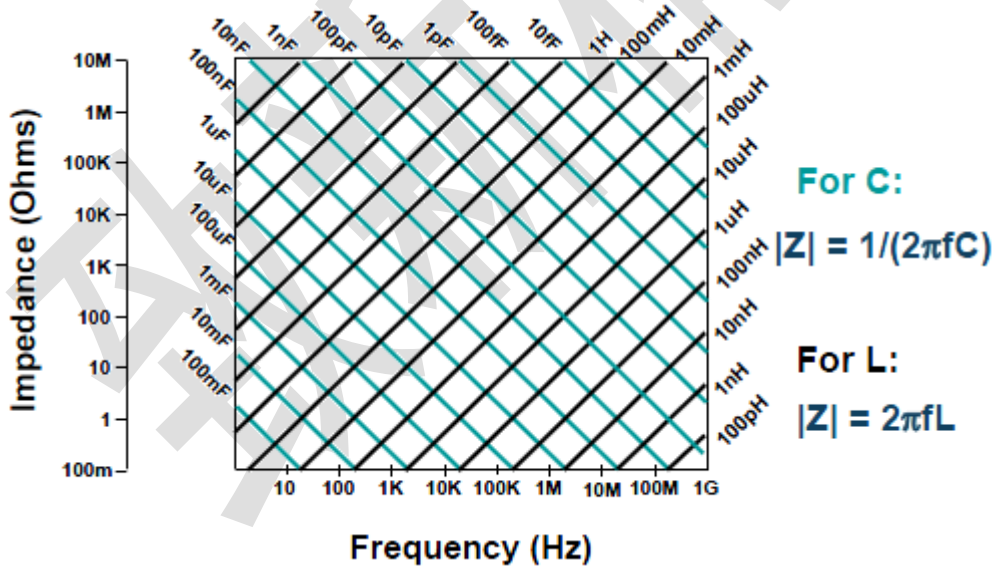
9. 电感 L、电容 C 及与阻抗的关系

电感：当线圈通过电流后，在线圈中形成磁场感应，感应磁场又会产生感应电流来抵制通过线圈中的电流。这种电流与线圈的相互作用关系称为电的感抗，也就是电感，单位是“亨利（H）”。理想电感 L 与阻抗的关系：|Z| = |XL| = 2*pi*f*L。

电容：（Capacitance）亦称作“电容量”，是指在给定电位差下的电荷储藏量，记为 C，国际单位是法拉（F）。理想的电容 C 与阻抗的关系：|Z| = |Xc| = 1/(2*pi*f*C)



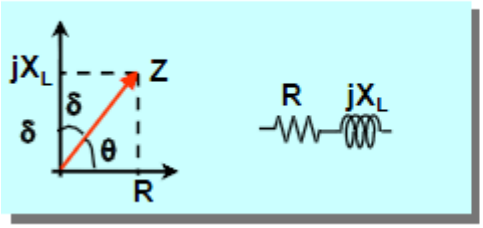
电感和电容的阻抗 VS.频率



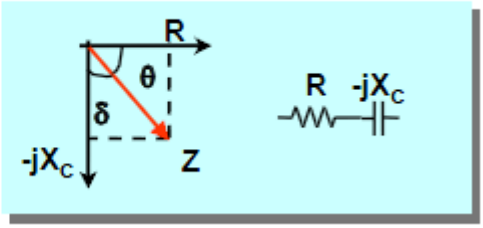
由上面的公式和图片可见，电感和电容的阻抗与频率成线性关系，使用 ZX8518、ZX8526、ZX8528 等带曲线扫描功能的、具 DDS 频率发生的 LCR 数字电桥可以分析非理想电感和电容的阻抗频响特性。

10. 感性器件和容性器件的阻抗导纳?

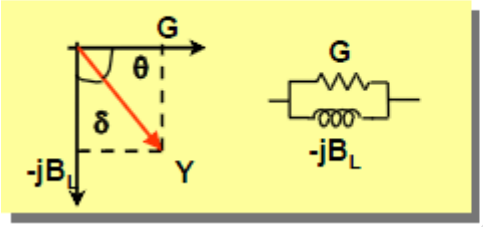
1. 感性矢量 (阻抗)



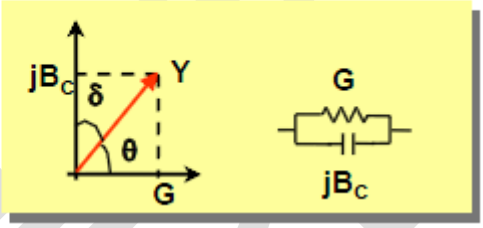
2.容性矢量 (阻抗)



3. 感性矢量 (导纳)



4.容性矢量(导纳)



11. 品质因子 Q 和损耗因子 D

品质因子 Q 值是衡量电感器件的主要参数。是指电感器在某一频率的交流电压下工作时，所呈现的感抗(储能部分)与其等效损耗电阻(耗能部分)之比。电感器的 Q 值越高，其损耗越小，效率越高。

损耗因子 D 值是衡量电容器件的主要参数。是指电容器在某一频率的交流电压下工作时，其等效损耗电阻与所呈现的容抗之比。电容器的损耗 D 越小，效率越高。

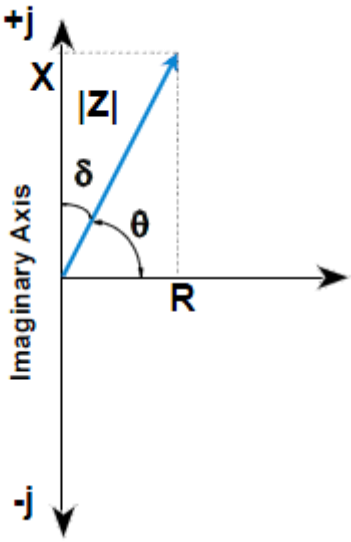
- Q = X/R = (储备能量)/(损失能量)
- D = 1/Q (主要针对电容)

$$Q=\frac{1}{D}=\frac{1}{\tan\delta}=\frac{X_L}{R}=-\frac{X_C}{R}=\frac{B_L}{G}=\frac{B_C}{G}$$

器件越好： R → 0

Q → ∞ D→ 0

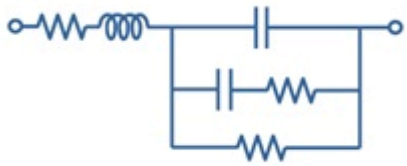
Z=R+jXc　　Y=G+jB



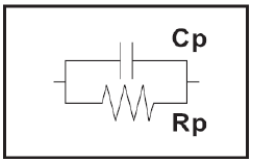
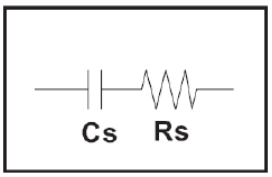
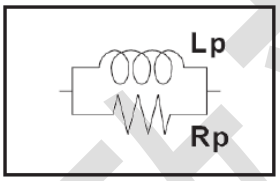
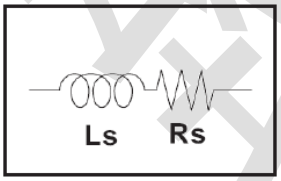
损耗越大的元器件在实际使用过程中发热就越大，效率就越低。

12. 选择串联模式还是并联模式？Cp、Cs、Lp、Ls？

(一) 真实世界的电子元器件包含寄生参数，如下图：

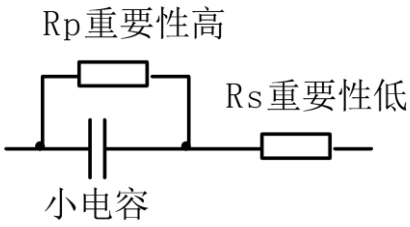


(二) LCR 数字电桥可以使用两种等效电路模式来测量 L、C 或 R：并联和串联，如下表：

电路模式	测量功能	D，Q 和 G 的定义
Cp 模式：  	Cp-D Cp-Q Cp-G Cp-Rp	$D = \frac{1}{2\pi f Cp Rp} = \frac{1}{Q}$ $G = \frac{1}{Rp}$
Cs 模式：  	Cs-D Cs-Q Cs-Rs	$D = 2\pi f Cs Rs = \frac{1}{Q}$
Lp 模式：  	Lp-D Lp-Q Lp-G Lp-Rp	$Q = \frac{Rp}{2\pi f Lp} = \frac{1}{D}$ $G = \frac{1}{Rp}$
Ls 模式：  	Ls-D Ls-Q Ls-Rs	$Q = \frac{2\pi f Ls}{Rs} = \frac{1}{D}$

(三) 电容的电路模式的选择

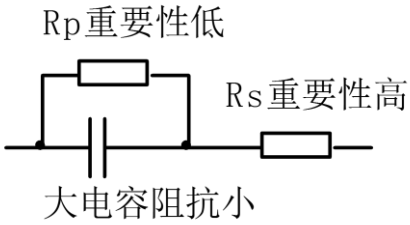
小电容:（由下图模拟）：



小电容可产生大电抗，这意味着相比之下并联电阻（Rp）的影响明显大于串联电阻 （Rs）

的影响。与容抗相比，Rs 表示的电阻值的影响可忽略不计，所以应使用并联电路模式（Cp-D 或 Cp-G）。

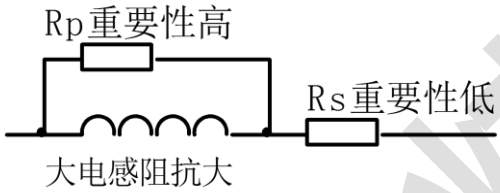
大电容:（由下图模拟）:



测量涉及大电容值(低阻抗)，则 Rs 比 Rp 更重要，所以应使用串联电路模式(Cs-D 或 Cs-Q)。

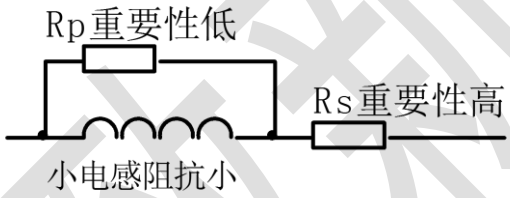
(四) 电感的电路模式的选择

大电感:（由下图模拟）:



给定频率下的电抗相对较大（与小电感的电抗相比），所以并联电阻比串联电阻更重要。因此，并联等效电路模式（Lp-D、Lp-Q 或 Lp-G）更为适用。

小电感（由下图模拟）:



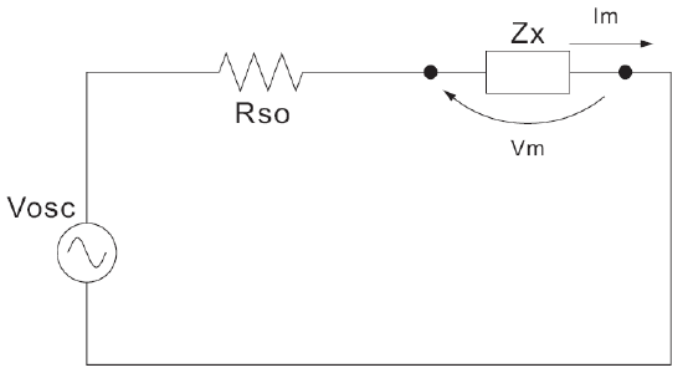
对于小的电感值，电抗变得相对较小（与大电感的电抗相比），所以串联电阻分量更重要。因此，串联等效电路模式（Ls-D 或 Ls-Q）更适用。

(五) 以下经验法则可用于根据电容或电感阻抗大小来选择电路模式:

- 阻抗大于约 10kΩ 使用并联电路模式。
- 阻抗小于约 10Ω 使用串联电路模式。
- 阻抗在两值之间 根据电容器或电感器制造商的建议进行选择。
- ◆ **公司的 ZX2811D，ZX8511D，ZX2816B 等仪器可根据阻抗大小和阻抗相位角自动选择 Cp、Cs、Lp 或 Ls，进一步方便了客户。同时也可以根据用户具体需求自行选择。**

13. 被测元器件上的电压是否等于用户设定的电压？

测试信号电平和被测件的简化模型如下图：



可见被测件的测试信号电平取决于测试信号电平、LCR 电桥的源内阻和被测件阻抗的分压，如下所示：

$$|Vm| = \frac{|Zx|}{|Rso + Zx|} \times |Vosc|$$

$$|Im| = \frac{|Vosc|}{|Rso + Zx|}$$

式中：

|Vosc| 用户设定的信号电压电平。

Rso LCR 电桥的源电阻（目前常州致新的仪器一般都有 5 种内阻模式供用户选择）。

|Vm| 加到被测件上的信号电压电平

|Im| 在被测件中流过的信号电流电平

|Zx| 被测件的阻抗

由以上公式可知，被测件上的电压不一定等于用户设定的电压。具体要根据以上公式算的。

14. 仪器上这么多内阻模式，如何选择？

常州致新精密的大部分 LCR 电桥提供 5 种信号源内阻模式可选择：30 Ω、100 Ω、10 Ω/CC（Constant Current）、50 Ω 和 10/100。

当测试电感时，如果没有指定要与哪家的仪表进行数据比对，为了降低铁心材料的非线形而引起的效应，应降低测试信号电平，建议用户选择 100 欧姆的量程。反之，为了与其他家型号的测试仪进行数据对比，必须保证与其有相同的信号源内阻模式。以下是几款经典的仪器使用的内阻模式：

致新精密

30 Ω 可类比于：CH107X/GR1689

100 Ω 可类比于：HP4284A/E4980A/Chroma3250

10 Ω/CC 可类比于：CH106X/WK3245

50 Ω 可类比于：HK3532

另外，10/100 内阻模式：当用户需要用 100kHz 测量 1uF~10uF 的 CBB 的损耗时，可以使用这种内阻模式，可以提高测量结果特别是损耗因子的稳定性。

15. 为什么不同厂家仪器测出的电感值会有差异？

电感器是由导线环绕一个磁芯所组成，其特性依据使用的磁芯材料而定。要制作电感器，空气可说是最简单的磁芯材料，但由于电感量与所用磁芯的磁导率成正比，空气磁导率极小，由于体积效率的关系，不利于制造电感器，通常使用磁性材料，如铁氧体、高导磁合金、或纯铁体等。

真实的电感并不是一个纯电感，典型电感器的等效电路如下图所示：

大电感　　小电感

图 实际电感器的等效电路

致新精密

有磁芯的电感器的电感量受磁性材料的磁导率μ的影响，磁芯的磁感应强度随流过电感线圈的电流所产生的磁场强度的变化而变化，其变化关系由磁化曲线描述，下图为一个电感线圈的典型的磁化曲线。

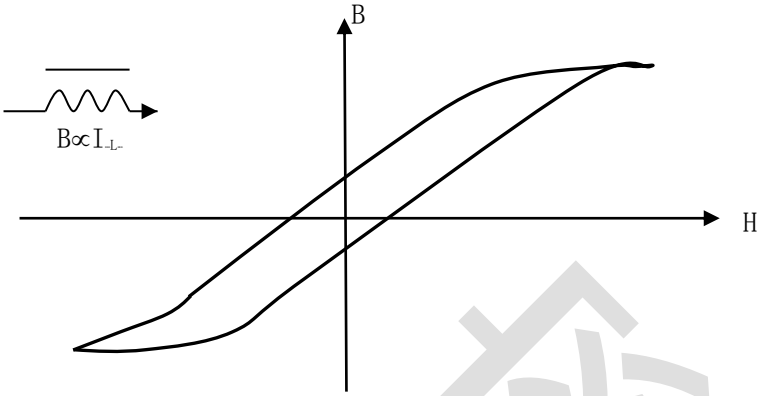


图　磁芯电感器磁化曲线

当对磁性材料施加一个静态磁场时，其磁感应强度 B 随着磁场强度 H（与流过电流的大小成正比）的增加而增加，**电感量 L∝磁导率μ，B=μH**，图 10-2 为 B、H、L 的关系曲线。

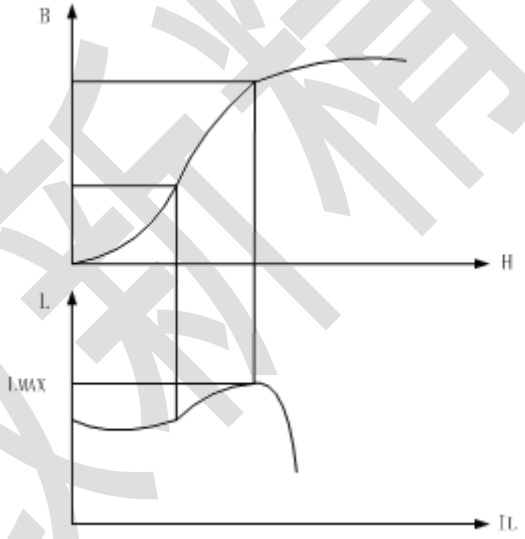


图 10—2　磁场强度、电感量的相互关系图

由上图可以看出，随着磁感应强度的增加，磁芯超过磁饱和点后，电感量将会下降。

综上所述，电感器（特别是磁芯电感器）将因测试信号和测量频率的不同将有很大的变化。

由于不同厂家仪器的测试信号电流的不同，所以使用不同测试仪器时可能会得到不同的测试结果。

碰到这种情况，用户可以关注一下这 2 种仪器的信号源输出电压和信号源内阻。

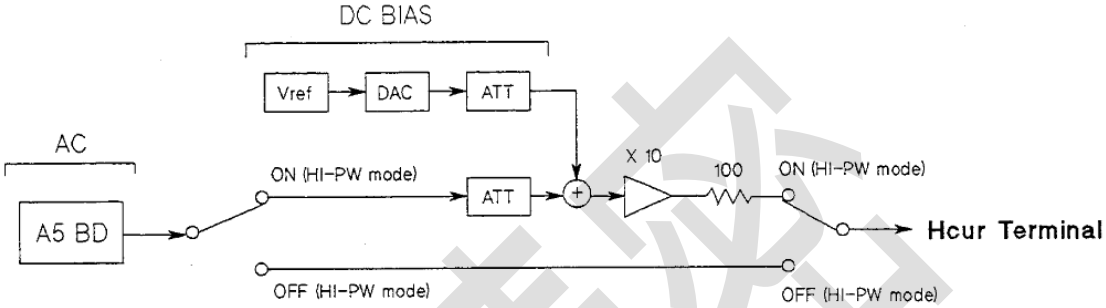
致新精密

16. LCR 电桥的直流偏置功能

在实际应用中大部分情况下电感线圈中会有直流电流流过，电容器两端则叠加有直流电压。为了客观评估电感值和电容值，电感器、电容器必须在模拟实际使用条件下进行测量，就是与客观使用条件取得近似的测试解决方案就是在交流测试的同时，给电感器叠加直流偏流，给电容器叠加直流偏压。

常州致新的大多数 LCR 电桥可以进行内部直流偏置叠加或借助外部设备进行直流偏置叠加。

- **内部直流偏置叠加：**



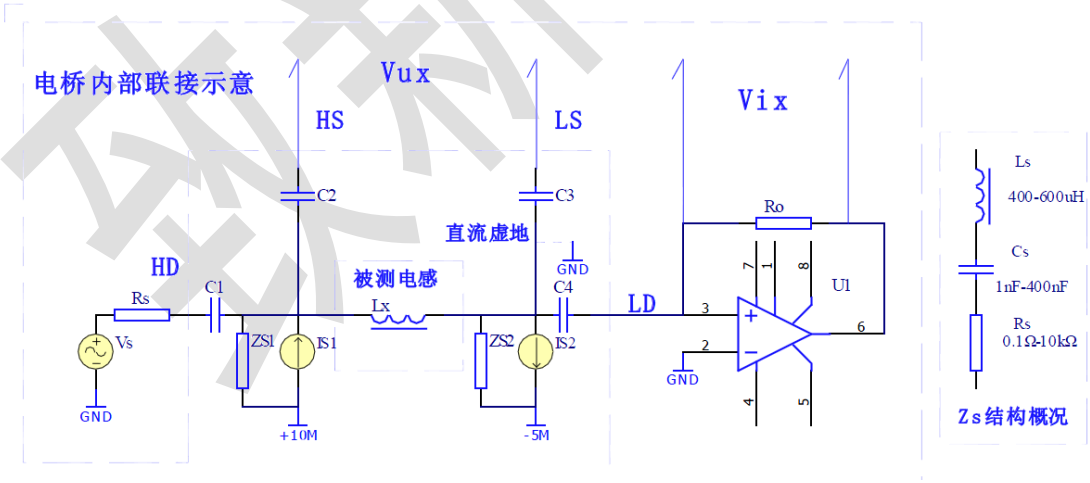
ZX8518/19 系列仪器内部标配 0V、1.5V、2V 测试仪器，可选配±100mA，±10V 偏置电压源。

ZX8526 系列仪器内部标配±5V 偏置电压源。

ZX8528 系列仪器内部标配 0V、1.5V、2V 测试仪器，可选配±100mA，±40V 偏置电压源。

- **外部直流偏置叠加：**

需配专业的直流恒流电源仪器，其叠加原理如下图：



17. 关于电感器的直流叠加测试

磁性电感器（变压器）更多应用于电源电路及滤波电路，纹波、噪声及干扰抑制中，这类应用中电感器中总要流过一定的工作电流，模拟这种应用的测量方法就是**叠加直流测试，**如下图所示。不同的叠加电流，其所对应的电感量也不一样，这就是电感器的直流叠加特性。高导磁易饱和磁芯电感器具有显著的直流叠加特性。

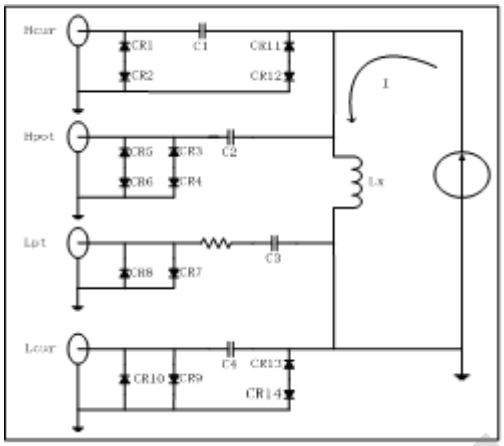


图　使用外部偏置电流源叠加测试

使用外部偏置电流源时，电流源应具有尽可能大的交流阻抗，以减小测试误差。上图中，电流源的等效并联阻抗将直接影响测量精度。

用电压源做偏置源时，由于电压源的交流阻抗极小，则必需在电压源输出端串接足够大的电抗器，一般要求ωL1 >> ωLx，并具备足够的电流承受能力，如下图所示：

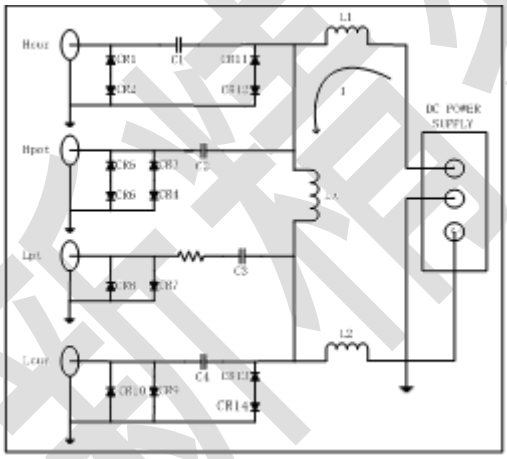


图　使用外部电压源叠加测试

电流源可能会干扰测试信号，隔离电容的充放电也会造成测试信号产生抖晃，这将影响到叠加测试的稳定性，并因测试量程易变而降低测试速度。

提示：一般仪器内部配的偏流原测试精度高，速度快，频率范围宽.常州致新的ZX2819A,ZX8518，ZX2789 系列仪器具可选内偏置功能，可提供 0～1A 的内部偏置电流源，频率范围可以到 2MHz。

本公司也提供有专用的外部偏置电流源可使偏流测试简单化，并提供抗冲击保护措施、隔离措施，有效范围内的精度保证等。

另外，测试夹具一般由金属材料组成。当金属材料与电感器靠得很近时，来自电感器的漏磁通会在此金属材料内产生涡流。产生涡流的大小与金属体的大小和形状均有关系，涡流大小不同，则测量结果也将不同。同时，金属体也会使电感器中的磁通量发生变化，从而使电感量发生变化。**因此，在测量电感器时，应尽可能使被测件远离金属件。**

18. LCR 电桥的量程范围

为了测量更宽范围的阻抗，LCR 电桥内部一般都会安装 5 到 10 个量程。这些量程就类似于天平秤的砝码，测量大的质量，需要用大的砝码来平衡，测量小的质量需要用小的砝码来匹配。

一般 LCR 都提供自动选择量程和手动选择量程 2 种模式：

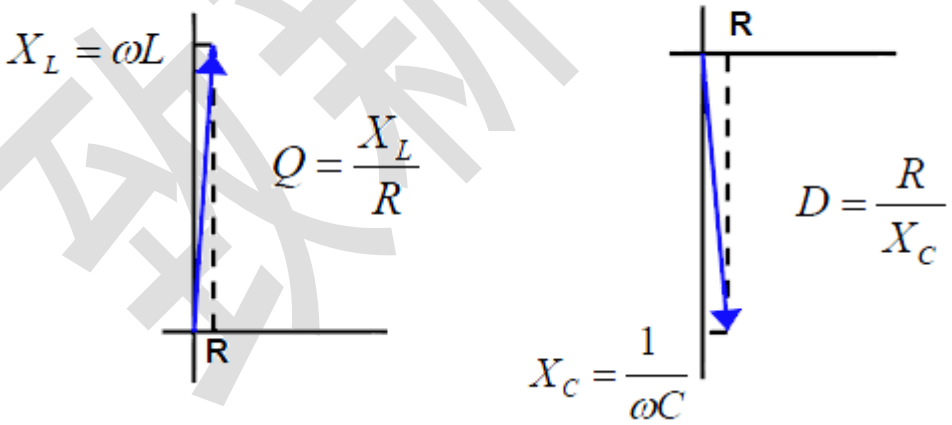
模式	功能概述	优点	缺点
量程自动（自动选择）	为被测件的阻抗设置最佳阻抗范围	用户无需选择阻抗范围	由于改变测量范围的时间，故测量时间较长。
量程保持（手动选择）	不管被测件的阻抗如何，使测量都用固定阻抗范围进行	无需改变测量范围的时间(用于分选机时速度比较快)	用户需要按照被测件的值选择适当的范围

另外，常州致新的 LCR 数字电桥在以上 2 种模式上还扩展了 1 种分选模式，就是当用户用于自动分选机时，仪器会根据用户设定的标称值，自动选择需测量的量程范围，这样，既省去了用户计算量程范围的麻烦，有提高了仪器测量分选的速度。

19. 为什么说 LCR 电桥很难测高 Q 和低 D

LCR 电桥 Q 值和 D 值测量是依据一下原理公式：

- **电感Q值测量**
- **电容D值测量**



假定 Q = 100， 则 ESR 为 1/100 的 XL。可见，ESR 在 Z = ESR + j*XL 中占的分量比较小，所以仪器或测量环境引起 ESR 微弱的变化都会被放大 100 倍，反应出的现象就是：Q 值稳定性不好或测量数据跳动较大。同样的道理也适用于电容 D 的测量。

用户能做的就是尽量选择好一点的测试夹具改善效果，原则：能用 0m 的不要用 1m 的，能用 4 端测量不要用 2 端测量。

20. 为什么有时候测出来的损耗值 D 是负的?

答：理论上，损耗值 D 应恒为正，但在极低损耗的情况下，仪器仍可能会测出负的 D 值，

如-0.00001，正如上面分析的超低损耗的电容 ESR 极小，一般已经超出了仪器测量的精度范围，仪器测量的随机噪声可能使 ESR 为负，因此我们认为这种负值显示也是正常的。

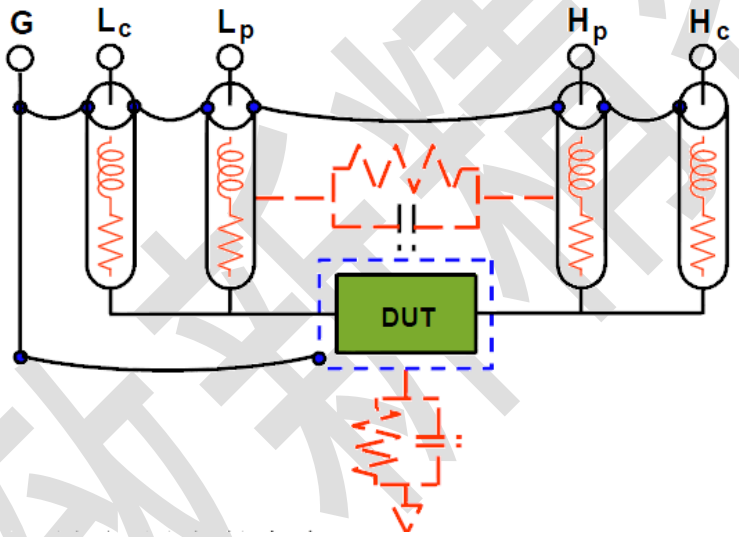
另外，对于高精度的损耗测量，我们建议直接在端面夹具上进行测量，同时建议用户进行可靠的开路短路清零，而引出的电缆线将使损耗的测量精度大大降低。

另外，也有可能是用户过度清零引起的。

21. 如何正确用 LCR 电桥的测试端连接被测件？

仪器具有电流驱动高端 Hcur、电流驱动低端 Lcur、电压检测高端 Hpot、电压检测低端 Lpot 和对应于每测试端的屏蔽端一共四对测试端。

每个测试端都含有屏蔽层，屏蔽目的在于减小对地杂散电容的影响和降低电磁干扰。测量时 Hcur、Hpot 和 Lpot、Lcur 应在被测元件引线上连接，形成完整的四端测量，以减小引线及连接点对测试结果的影响（尤其是损耗测量）。特别是在对低阻抗元件进行检测时，应将检测端 Hpot、Lpot 连接至元件的引线端，以防止引线电阻加入被测阻抗，其连接的原则为 Hpot、Lpot 所检测的应为被测件上实际存在的电压。Hcur、Hpot、Lpot、Lcur 也可简称为 Hc、Hp、Lp、Lc。一般通用 LCR 电桥采用 5 端连接法连接到被测件即可，如下图：



如果接触点及引线电阻 R_{lead} 远小于被测阻抗（例如：$R_{lead}<Z_x/1000$，精度要求不高于 0.1%）时则 Hcur、Hpot 及 Lpot、Lcur 可连接在一起后再连至被测元件两端（两端测量）。

在进行一些精度要求较高的测量时，使用测量夹具比使用测试导线（仪器附配的开尔文夹具）要好的多。开尔文测试线在 10kHZ 下频率测试时，可以有较好的测量结果，但超过 10kHZ 频率时，开尔文测试线很难满足测试要求。因为在高频时，导线之间间隙的变化直接改变了测试端杂散电容和电感，而测试导线总是难以加以固定的；测试导线也容易引起其它的测试误差。

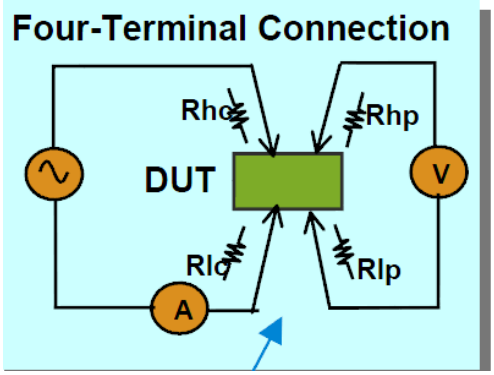
因此，在较高频率进行测量时应尽可能使用测试夹具，如果由于条件所限，则仪器清零时测试线的状态应尽可能与测试时保持一致。

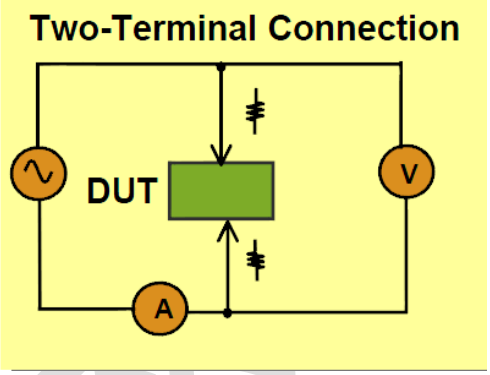
高精度的测量应满足以下几方面的要求：

1. 分布阻抗必须降至最小，尤其测量高阻抗元件时。
2. 接触电阻必须降至最小。
3. 应使测试端形成完整的四端对测量。
4. 触点之间必须可以短路和开路。短路和开路清“0”可以轻易地减少测试夹具的分布阻抗对测量的影响。对于开路清“0”，测试端应该与被测件连接时一样，以相同

的距离隔开。对于短路清“0”，低阻抗的短路片应该连接在测试端之间。

22. 4 端测量和 2 端测量





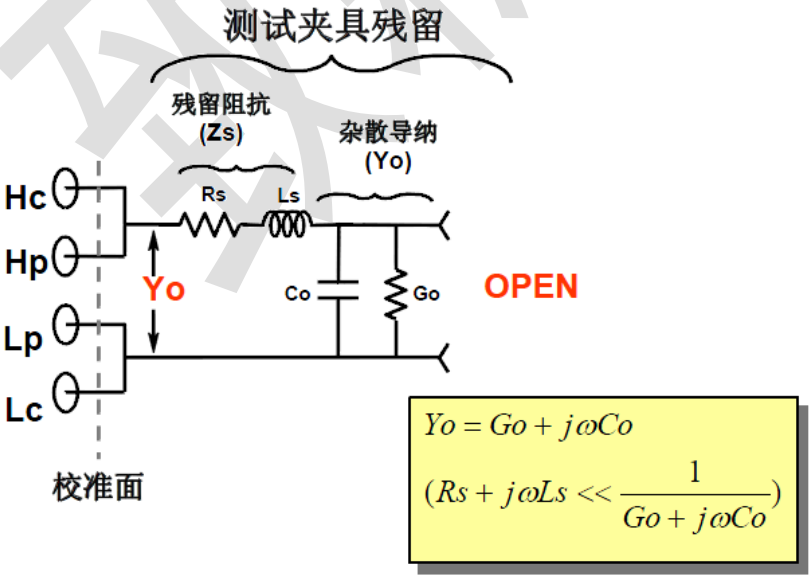
上图是 4 端测量和 2 端测量的抽象原理图。

LCR 电桥内部可以等效为上内部有 1 个电压表用来测量被测件 2 端的压降，和 1 个电流表测量流过被测元件的电流，最后测到的电压除以电流就是被测元件的阻抗。

由上图看出当使用 2 端连接测量时，测量线上线阻产生的压降会被电压表检测进去，所以最后结果里含有测量线上的电阻。

由上图看出当使用 4 端连接测量时，电压表的检测端直接接触到被测件上，由于电压表的输入阻抗非常高，所以电压表最后测量到的电压实际上就是被测元件上的压降。最后测到的电压除以电流就是被测元件的真实阻抗，就这样消除了测量线上的电阻的影响。

23. LCR 电桥的开路清零

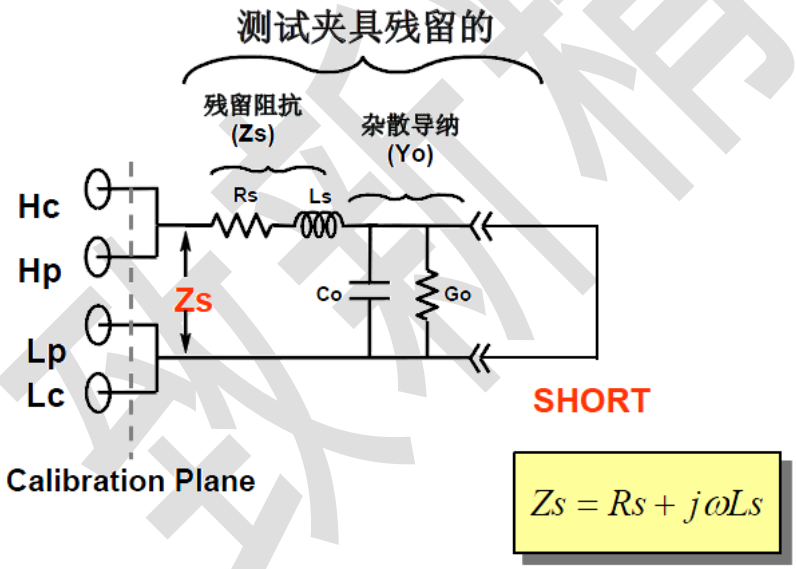


LCR 电桥的开路校正用于补偿测试夹具上的杂散导纳（Yo）。

注意：用户在进行开路清零时一定要使测试夹具可靠开路：就是要保持夹具上不夹任何东西，并且保证 Hc 端和 Hp 端可靠接触，Lp 端和 Lc 端可靠接触。

如果使用的是 ZX28Y11 这种夹具最好保证高端夹子与低端夹子的距离与将来测试时距离是一样的，如下图：

24. LCR 电桥的短路清零



LCR 电桥的短路校正用于补偿测试夹具上的残留阻抗（Zs）。

注意：用户在进行短路清零时一定要使测试夹具可靠短路。如果使用的是 ZX28Y05 测试夹具，只要保持测试簧片干净，并插上干净的短路片即可。

如果使用的是 ZX28Y11 测试夹具，需要注意 4 个测试簧片的接触顺序有要求，要使 Hp 端与 Hc 端接触，然后再与 Lc 端接触，再与 Lp 端接触。**直观的说就是红线与蓝线接触在一边，白线与黑线接触在另一边**。如下图：

25. 为什么 LCR 电桥测量出现"假死机"现象？

答：经常遇到客户反映，他的仪器好像不测了，无论插什么器件，显示的结果都不变，一动不动。这可能就是用户进行的不正常的开路短路清零造成的，比如说：开路清零时夹具上夹了被测件甚至短路片；短路清零时夹具没有短路，夹了被测件或者直接就开路。当然，也有可能是用户的操作本身没有问题，是夹具坏掉了。
遇到这种情况，用户可以先把仪器的开路短路功能关掉，看看仪器能否正常测量。

26. LCR 数字电桥的常用量纲?

电阻，阻抗	μΩ	微欧	10^{-6} 欧姆
	mΩ	毫欧	10^{-3} 欧姆
	Ω	欧姆	10^{0} 欧姆
	kΩ	千欧	10^{3} 欧姆
	MΩ	兆欧	10^{6} 欧姆
电容	pF	皮法	10^{-12} 法拉
	nF	纳法	10^{-9} 法拉
	μF	微法	10^{-6} 法拉
	mF	毫法	10^{-3} 法拉
	F	法拉	10^{0} 法拉
电感	nH	纳亨	10^{-9} 亨
	μH	微亨	10^{-6} 亨
	mH	毫亨	10^{-3} 亨
	H	亨	10^{0} 亨
频率	Hz	赫兹	10^{0} 赫兹
	kHz	千赫兹	10^{3} 赫兹
	MHz	兆赫兹	10^{6} 赫兹

电压	μV	微伏	10^{-6} 伏特
	mV	毫伏	10^{-3} 伏特
	V	伏	10^{0} 伏特
电流	nA	纳安	10^{-9} 安培
	μA	微安	10^{-6} 安培
	mA	毫安	10^{-3} 安培
	A	安	10^{0} 安培

27. 作为一个新用户，怎样选择一款数字电桥？

答：a. 测量频率不超过 10kHz，经济实用型 LCR 数字电桥，可以满足一般电阻电容电感的测试要求：ZX8511D，ZX2811D。

b. 测量 CBB 等薄膜电容器的测试频率需达到 100kHz，并且对损耗的要求比较高：ZX8516A，ZX8519A。

c. 测量电感数据与以前 1062 兼容：使用 ZX1085A 的 10/CC 内阻模式。

d. 测量高频陶瓷电容的损耗或 Q 值：ZX8528 系列 LCR 数字电桥。

e. 高频电感值测量：ZX8526A(20Hz~2MHz)

f. 测量普通电解电容：ZX6515。

g. 测量法拉级超大电容器：ZX6515F。

h. 同时测量 120Hz 容量，100kHz 的 ESR：ZX2816_1X, ZX2786_2X。

i. 分析换能器压电陶瓷：ZX8501(20Hz~100kHz)，ZX8518(20Hz~300kHz)，ZX8526(20Hz~5MHz)。

j. 这只是一个大致的选型思路，具体请咨询致新精密。

致新精密

下面是这些常用 LCR 电桥的一些图片：

28. LCR 电桥常用的测试夹具有哪些？

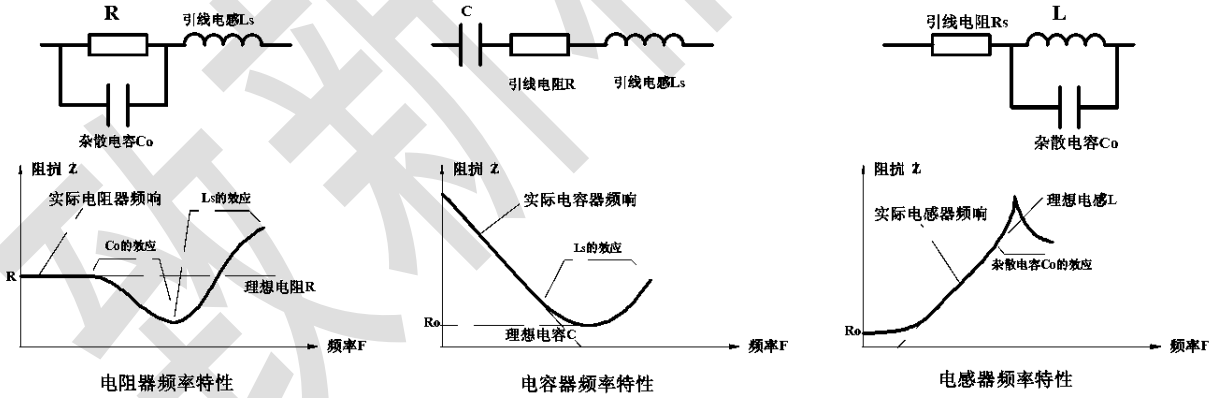
ZX28Y05	 ZX28Y05 ● 开尔文测试夹具
ZX28Y10	 ZX28Y10 ● 镀金专用短路片
ZX28Y11	 ZX28Y11 ● 四端开尔文测试电缆
ZX26009B(选配)	 ZX28Y09B ● SMD开尔文测试电缆
ZX28Y18(选配)	 ZX28Y18 ● SMD测试夹具

致新精密

ZX28Y08(选配)	ZX28Y08 ● SMD测试夹具
ZX28Y19(选配)	ZX28Y19 ● 开尔文测试夹具

29. 频率不同对元件测试有影响吗?

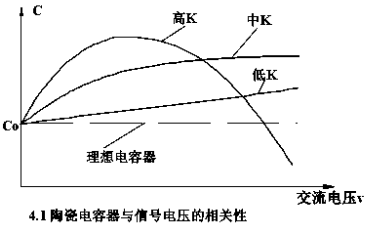
答：有。所有元件均与信号频率有相关性。其变化的大小主要取决于元件寄生(杂散)参数的大小，使用仪器时可能仅考虑了串联和并联两种等效方式，真正的元件等效模式可能远比串联和并联等效复杂的多。下图大致表示了某些规格的电阻器、电感器、电容器的频率响应。



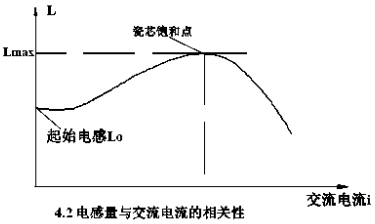
30. 电压不同对元件测试有影响吗?

答：有。所有元件均存在信号电平的相关性。即在规定测试频率下，元件数值与信号电平的大小有关。有些元件数值对电平的变化不敏感，然而有些元件对信号电平具有极强的敏感性，如高 K（高介电常数）值的陶瓷电容器，高导磁率的电感器等。因此，对此类器件规定其测量信号电平（电压或电流）是非常重要的。元件与信号电平的相关性如下图所示。

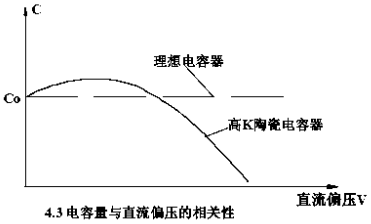
致新精密



4.1 陶瓷电容器与信号电压的相关性



4.2 电感量与交流电流的相关性



4.3 电容量与直流偏压的相关性

31. 怎样选择测试电压和频率?

答： (1)根据被测件的实际应用。
(2)根据相关产品标准。
(3)根据客户自定要求。

32. 对于一个已知的“电容”，客户该选用什么样的测试条件？

答：(1)小于100pF 电容用1MHZ 频率测量，中等容量如(1000pF-10uF)用1KHZ,10KHZ,100KHZ，国家标准测试中等电容的测试频率标准是1KHZ。电解类如铝电解，钽电解等用100HZ 或120HZ。
(2)从电平的角度说大部分电容对电平不敏感，不同电平测试变化不大，但有些介电常数大的电容与电平非常敏感，应仔细选择电平。

33. 测试信号检测功能 Vm、Im 是什么意思？

答：施加于被测件的电平是十分重要的。实际施加于被测件上的电平（电压或电流）与仪器信号源阻抗有关，虽然仪器电平相同，若信号源阻抗不同，实际施加于被测件上的电平就不同。致新精密所有型号的电桥都具有被测件电流(Im)、电压(Vm)监视功能。

34. 关于 LCR 数字电桥测量准确度的问题

答：测量准确度是反映仪器性能的主要指标之一。确切了解仪器的准确度是准确评价元件优劣的关键。
一般地，仪器准确度应比测量元件的技术指标高3—5倍。更为重要的是，通常仪器样本或其它宣传资料给出的是在某种条件下的最高准确度，这是最能产生混淆之处，应了解被测量元件在测量频率下呈现的阻抗及对应测量条件下的仪器准确度是否满足测量要求。
充分了解仪器的测量准确度是极为重要的，而且准确度与所给定的测试条件密切相关，如电平、速度、温度等。以下试举一例来加以说明即使在产品样本上给定基本准确度相同，实际是有很大区别的，我们以ZX8518、ZX8528 两款产品加以说明。
ZX8518：频率20Hz—300KHz，基本准确度0.05%
ZX8528：频率20Hz—1MHz，基本准确度0.05%
假定仪器测试条件均为慢速、电平1Vrms、温度20°C，对100pF、10nF 电容器进行测试，评估其在不同频率下的测量准确度：
测量100pF的准确度

型号 频率 (Hz)	100	1k	10k	40k	100k	200k	300k	500k	1M
ZX8518	4.06	0.59	0.13	0.11	0.10	0.25	0.65	----	----
ZX8528	0.3	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10

测量10nF的准确度

型号 频率 (Hz)	100	1k	10k	40k	100k	200k	300k	500k	1M
ZX8518	0.08	0.05	0.05	0.10	0.10	0.25	0.65	---	---
ZX8528	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10

从上表可以看出，相同基本准确度的仪器，在不同量值被测件和不同频率下其准确度是有很大区别的。

35. 什么叫等效串联电阻 Rs、并联电阻 Rp?

答：任何一个被测器件都可以等效为一个串联电路或并联电路. 串联电阻Rs 为串联等效电路中的电阻部分，Rs 也叫ESR. 并联电阻Rp 为并联等效电路中的电阻部分，Rp 也叫EPR。实际上这个问题在前面已经论述过。

36. 怎样选择测试速度?

答：一般来说,测试速度是以牺牲测试精度为代价的：速度越快,精度越差，读数稳定性差，有效位数变少。如果要测试精度,一般选择慢速，要考虑测试速度和测试精度就选择中速。

37. 仪器为什么要进行清零?

答：因为(1)由于仪器本身的漂移，会叠加一些杂散成份，如接触电阻、电感、并联电容等，不清零就会有误差。(2)短路清零对小阻抗器件更为有效，开路清零对高阻抗器件更有效。

38. 有些 LCR 数字电桥选配 GPIB 接口有什么作用

答：GPIB是General-Purpose Interface Bus的简称，即通用接口总线。我们使用一台计算机，通过GPIB控制卡可以实现一台计算机和一台或多台仪器的听、讲、控功能，并组成仪器系统，使我们的测试和测量工作变得快捷，简便，精确和高效。通过GPIB电缆的连接，可以方便地实现星型组合、线型组合或者二者的组合。

39. 什么是负载校准，负载校准应注意哪些？

答：负载校准是一种高级的仪器校准方法，可以使仪器在高于仪器原有准确度的基础上测量元件，负载校准主要用于下面两种情况：(1)当有更准确的元件并需对同规格元件进行更高准确度的测量。(2)统一现场所有LCR 数字电桥的测试数据。(3)使用负载校准可以使仪器在更高精度

下测试。

40. 扫频和点频清零有何区别?

答：(1)扫频清零一般针对实际测试频率点比较多的被测元件,点频清零一般针对只需一个频点的被测元件.(2)扫频清零会费较长时间。

41. 测量的显示范围和精度范围有何区别?

答:测量的显示范围一般大于精度范围,具体精度计算可以参考常州致新各仪器说明书中有关精度计算的章节。

42. 为什么 L 或 C 设置了,还不能进行分选(还是判断为不合格)?

答：仪器分选必须主副参数的极限标准同时设置,如只满足其中一个条件还是会判断为不合格。

43. 仪器的 P1\P2\P3 有何具体意义?

答:仪器的P1\P2\P3 用于仪器的一级,二级,三级品的分选. 一般一级品的百分比极限小于二级品极限, 二级品的百分比极限小于三级品极限。

44. 增加测试线的长度对测试有没有影响

答：有影响。一般常州致新的LCR 数字电桥出厂都进行了0米和1米线校准，如果超过1 米，需要重新校准

45. 仪器的串行软件有何功能?

答：仪器的串行软件可以通过串口连接电脑等系统设备，实现统计分析或者自动测试。常州致新的串行软件既可以通过电脑的串口卡与仪器的RS232进行通讯，也可以通过USB虚拟串口与串行软件进行通讯，这对于没有安装电脑串口卡的用户特别有用。

46. 仪器可以测贴片元件吗?

答:仪器配上专用SMD 测试夹具可以测贴片元件,常州致新提供ZX26009B和ZX28Y08供客户选购。

47. 仪器通过 RS232 接口和电脑连接后没有连接成功

答：一般都能连接成功。(1)当电脑有2 个COM 口时，要确认连接的是哪一个COM 口。(2)应确认电脑软件的波特率和仪器中的波特率一致。

致新精密

48. ZX65xx 系列可以测试哪些电容？

答：电解电容。

49. 为什么 ZX8511C 比 ZX2811D 还贵

答：ZX2811D 现处于促销阶段。

50. 何谓自动电平控制 ALC(Auto Level Control)？

答：对某些与信号电平相关性强的器件，保持施加恒定的测试信号电平（电压或电流）是非常重要的。自动电平控制（ALC）功能调整输出信号幅度，使被测件的端电压与信号电压电平设置相同；或者使被测件的电流与信号电流电平设置相同。ZX8518、ZX8519A、ZX8528/A/S 具备了电平的自动控制功能，这对测试信号相关性强的元件的测量是极为有用的。

51. ZX2816B 显示数据不动？

答：(1)确认触发方式是否为INT；(2)重新做一次正确的短路和开路清零，清零不正确可能会导致显示数据不动。

52. 测试信号电平相关性是什么意思？

答：所有元件均存在信号电平的相关性。即在规定测试频率下，元件数值与信号电平的大小有关。有些元件数值对电平的变化不敏感，然而有些元件对信号电平具有极强的敏感性，如高K（高介电常数）值的陶瓷电容器，高导磁率的电感器等。因此，对此类器件规定其测量信号电平（电压或电流）是非常重要的

53. 电桥接上自动测试机或用户自制探针夹具时，测试端应怎样连接以保证测量准确？

答：四端都直接连到探针夹具上，使用8528时应该保证四端对测试配置。

54. 各种电容的常规测试频率是多少？

答：电解电容是(100HZ或120HZ)，薄膜电容一般可以是(1KHZ-100KHZ)。低频陶瓷电容1kHz以下，高频陶瓷电容100kHz及以上。

55. 什么是 HANDLER 接口？

答：分选接口，亦称HANDLER 接口。能使仪器与元件的机械处理系统配合使用，如元件的自动

致新精密

分选系统等。HANDLER 接口应具备结果输出口（最好与仪器电气隔离）与联络信号，联络信号包括：START（测试启动）信号、EOC（ADC 完成）信号、BUSY（CPU 忙）信号。

56. 列表扫描 List Sweep 是什么意思？

答：鉴于元件对频率、电平、直流偏置电压、直流偏置电流的相关性。常州致新有多个品种仪器可对上述参数进行列表扫描。即对多点频率（或电平、偏压、偏流）扫描测量，并将测量值同时显示，还可对测试值进行比较判别。偏流的列表扫描需与电感偏流源配合使用。

57. 用 120Hz 测量铝电解电容器，发现市场上的容量表速度都很慢，有没有更加快一点的，低频高速电容测量仪是什么意思？

答：ZX6515E/ZX6515F为低频高速机，在100Hz、120Hz时，快速可达到20次/秒。
低频高速容量测试仪是指在低频(低于1kHz)时，仪器仍具有高频时的采样速度。

58. 低端 LCR 数字电桥 TH2811D 和 ZX8511D 哪一种好一点？

答：ZX8511D较TH2811D好，见下表：

	TH2811D	ZX8511D
屏幕	段码显示，黑白	LCD显示，彩色
测试速度	12次/秒	15次/秒
接口	-----	RS232,USBTMC,USBCDC,Handler
存储	-----	内部50组，外部U盘500组文件

59. 有没有能够测到 10 法拉的容量测试仪？

答：ZX6515F为大容量测试仪，可以测量10法拉的电容。

60. 如何最方便的把 LCR 数字电桥的测量结果传送到电脑上，我不想自己写软件，也不想另外付费买软件。

答：常州致新为客户提供USBHID接口，客户不用编写软件，就直接可以把测试数据上传到电脑的EXCEL或文本文档中。

61. 测试 SMD 贴片器件选择什么样的夹具？

答：选ZX28Y09/B或ZX28Y08

62. 什么叫 SCPI 通讯协议？

答：SCPI是Standard Commands for Programmable Instruments的缩写，即程控仪器（可编程仪器）标准命令集。它采用一套树状分层结构的命令集，提出了一个具有普遍性的通用仪器模型，采用面向信号的测量；它的助记符产生规则简单、明确，且易于记忆。

63. 双频测试仪器？

答：用两个频率测试和显示。如：ZX2816_1X，ZX2786_2X。

64. 多参数测试仪器？

答：可以对元件在不同频率下进行测试，并以不同的参数显示出来。如：ZX2816_1X，ZX2786_2X。

致新精密