

5. 调出模式: 这是使存入基准存贮器内的数据送到数据母线上, 而从 A/D 变换器输出的数据被阻塞。在减法器中进行 $A - 0 = A$ 运算, 经显示存贮器及 D/A 变换器, 然后重现在显示器上, 作为比较信号使用。

6. X-Y 记录模式: 8750 A 可以带记录仪。当处于记录模式时, 显示存贮器的数据不能更新, X-Y 记录的信号是原存入的数据。

7. 短路模式: 工作在这种模式时, 8750 A 脱离了测试系统。在正式测试之前, 要进行定标工作, 这时要反复使用这种短路模式。

五、除去 8750 A 外过有一种 8501 A 存贮规一化器。它可以程控, 与 HP-IB 接口兼容, 可在自动测试系统中与 8505 A 网络分析仪配套使用。8501 A 的功能也比 8750 A 的功能多。除去具有 8750 A 的功能外, 8501 A 还有三种独特

的功能。

1. 不仅能够存贮和重现直角坐标的信号, 还能存贮与重视极坐标的信号。

2. 可以将多次测量结果求平均值, 从而提高信噪比, 最大可能提高的信噪比达 27 db。在群延时测量或对于经很大衰减的信号进行测量中, 由于信噪比变得很低, 使测量的分辨率和准确度都大大降低。在这种情况下, 使用 8501 A 无疑是很好的。

3. 能将存贮器内的数据乘以 2、5 或 10, 然后输出, 这样就提高了数据显示的分辨率。

总之, 存贮规一化器的出现, 为微波扫频测试系统提供了更大的活力。在成本增加不大的情况下, 能使计算机的数据处理技术得到应用, 因此, 存贮规一化器成为微波扫频测试系统中一台附属的又是必须的仪器。

高频电感线圈和脉冲电容器分布参数的测量方法

中国科学院力学研究所 胡昌信

提 要

本文阐明了用等效电路——二次谐振法测量分布参数的原理和方法, 导出了用于实际测量的计算公式, 在无交流电桥和 Q 表的地方, 还可以同时测量集中参数, 此法原则上可以消除由测量设备和连接线所带来的误差, 提高测量精度。

一、引 言

测量一个集中电感器或电容器在高频下的分布参数在许多场合显得十分重要。高频电感线圈是振荡回路的主要元件之一, 是无线电接收机、发射机和各种无线电设备必不可少的部件, 它的分布电容是基本参数之一。由于分布电容的存在, 增加了线圈的有效电感和有效电阻, 降低了稳定度而且在某种程度上降低了线圈的品质因数。这里说的分布电容包括了线圈匝与匝之间的电容和线圈整体的对地杂散电容。储能脉冲电容器是所有高电压强电流放电和脉冲放电激光器的最基本设备, 由于分布电感的存在, 使放电不能得到陡峭的脉冲前沿和极短的放电持续时间, 降低了放电功率。这里

说的分布电感包括了电容器极板间的电感和引出线的电感。因此, 用在高频下的电感线圈和快速放电条件下的电容器, 在电路中都不能简单地看成单一的集中元件, 还必须考虑它们分布参数的存在, 否则将会给分析工作带来很大的困难。然而, 要想从理论上计算分布参数, 都只能采用很粗略的经验或半经验公式, 因此, 长期以来都在寻求实测分布参数的方法。目前在电工和电讯中常用的 Q 表法和短路放电法, 在测量各种不同型号和规格的线圈和电容器的分布参数时, 不仅测试手续麻烦, 费时费事, 而且精度不高, 甚至常常得不到结果而使人失望, 这就是我国目前所有的电力电容器厂都不采用 Q 表法而宁愿探求新的测量方法的原因。本文介绍一种用等效电路——二次谐振法

测量分布参数的原理和方法，导出了一些用于实际测量分布参数的计算公式，当手头缺乏交流电桥和Q表时，对测量电路稍作变换，还可以同时测定集中参数和分布参数。

本文介绍的方法适用于在实验室和工厂对各种不同型号，具有很大参数变化范围的非标准高频线圈和脉冲电容器所固有的分布参数的测量，它与用Q表法测分布参数有某些形式上的类似，但物理概念清晰，测量手续简便可靠，数据处理容易。在分析中，我们略去了各种次要过程，突出了高频下分布参数的影响。为此在考虑简化等效电路时，将高频电感线圈看成是由自身电感 L_0 和分布电容 C_x 的并联，而将储能脉冲电容器看成是由自身电容 C_0 和分布电感 L_x 的串联，如图（1）所示。虽然这是最简单的等效电路，但仍然突出了高频下的主要矛盾，却使计算公式大大地简化了。二次谐振法是无线电测量中常用的方法，原则上可以消除测试设备和连接引线所带来的误差，从而提高了测量精度。

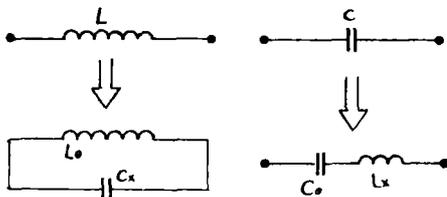


图1 用简单等效电路代替集中参数

二、分布参数测试线路和计算公式

1. 多支路并联谐振法测量高频电感线圈的分布电容

线路如图（2）所示，主要设备和元件有：高频信号发生器，它与参考电感 L 之间采用互感松耦合，以免互相影响；可变电容器

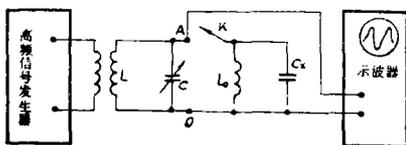


图2 多支路并联谐振法测分布电容

C ；高频示波器或高频毫伏表。 L_0 是被测线圈的电感量，由产品给出或用仪器测得， C_x 是其分布电容，AO二端接示波器的偏转板或高频毫伏表。

具体测量方法分两次：

第一次将开关K断开，此时被测线圈未接入，对于简单的并联支路，调节信号发生器和可变电容器，使电路谐振，这可以由示波器或高频毫伏表的偏转指示最大看出，设此时的谐振频率 $\omega = \omega_1 = 22f_1$ ，可变电容 $C = C_1$ ，由谐振条件得

$$L = \frac{1}{\omega_1^2 C_1}$$

第二次合上开关K，被测线圈接入，并联支路失谐，示波器上的偏转幅度明显减小，此时再调节信号发生器和可变电容器，使回路再次达到谐振，设 $\omega = \omega_2 = 22f_2$ ， $C = C_2$ ，由并联谐振条件

$$\frac{1}{\omega_2 L} - \omega_2 C_2 + \frac{1}{\omega_2 L_0} - \omega_2 C_x = 0$$

得

$$C_x = \frac{L + L_0}{\omega_2^2 L L_0} - C_2 \quad (1)$$

将L的表达式代入（1）式，经化简得

$$C_x = \frac{1}{\omega_2^2 L_0} + \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 C_1 - C_2 \quad (2)$$

或

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 f_2^2 L_0} + \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 C_1 - C_2 \quad (3)$$

式中使用单位：f—赫芝 C—法拉 L—亨利，（2）式或（3）式是计算高频线圈分布电容的一般关系式。

实际测试时，许多情况下并不需要将信号发生器的频率和可变电容器的容量都同时改变，往往是固定一个改变另一个，这样就出现了固定谐振频率法和固定电容法。

固定谐振频率法：若在两次测量中，保持 $f_1 = f_2 = f$ 不变，仅改变可变电容，则由（3）式

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_0} + (C_1 - C_2) \quad (4)$$

固定电容法：若在两次测量中保持 $C_1 = C_2 = C$ 不变而改变谐振频率，同样由 (3) 式

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 f_2^2 L_0} + \left[\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 - 1 \right] C \quad (5)$$

2. 串并联谐振法测量脉冲电容器的分布电感

线路如图 (3) 所示，所需设备和元件同图 (2)， C_0 是被测电容器的电容量，由产品铭牌给出或用仪器测得， L_x 是其分布电感，仍旧采用二次测量法：

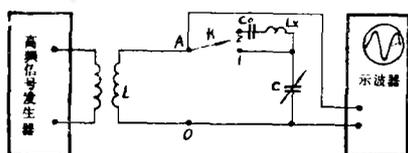


图3 串联并联谐振法测分布电感

第一次将开关K扳向位置1，被测电容器未接入，由谐振条件仍得 $L = \frac{1}{\omega_1^2 C_1}$

第二次将开关K扳向位置2，调节信号发生器和可变电容器，使电路谐振，由串并联谐振条件得

$$\frac{1}{\omega_2 L} + \frac{1}{\omega_2 L_x - \left(\frac{1}{\omega_2 C_0} + \frac{1}{\omega_2 C_2} \right)} = 0$$

$$L_x = \frac{C_2 + C_0}{\omega_2^2 C_2 C_0} - L \quad (6)$$

将L的表达式代入(6)，经化简得

$$L_x = \frac{\omega_1^2 C_1 (C_2 + C_0) - \omega_2^2 C_2 C_0}{\omega_1^2 \omega_2^2 C_1 C_2 C_0} \quad (7)$$

或

$$L_x = \frac{f_1^2 C_1 (C_2 + C_0) - f_2^2 C_2 C_0}{4\pi^2 f_1^2 f_2^2 C_1 C_2 C_0} \quad (8)$$

式中使用的单位： f —赫芝 C —法拉 L —亨利。(7)式或(8)式是计算脉冲电容器分布电感的一般关系式。也分固定谐振频率法和固定电容法。

固定谐振频率法：若在两次测量中保持 $f_1 = f_2 = f$ 不变，仅改变可变电容，则由(8)

式

$$L_x = \frac{C_1 (C_2 + C_0) - C_2 C_0}{4\pi^2 f^2 C_1 C_2 C_0} \quad (9)$$

高频时，可变电容器的容量 C_1 和 C_2 很小，约数百微微法，而储能脉冲电容器的电容量一般都在0.01微法以上，所以 $C_2 \ll C_0$ ，(9)式可简化为

$$L_x = \frac{C_1 - C_2}{4\pi^2 f^2 C_1 C_2} \quad (10)$$

固定电容法：若在二次测量中保持 $C_1 = C_2 = C$ 不变，仅改变信号发生器的频率，则同样由(8)式

$$L_x = \frac{f_1^2 (C + C_0) - f_2^2 C_0}{4\pi^2 f_1^2 f_2^2 C C_0} \quad (11)$$

若 $C \ll C_0$ 有

$$L_x = \frac{f_1^2 - f_2^2}{4\pi^2 f_1^2 f_2^2 C} \quad (12)$$

用我们介绍的方法在实验室中对自制的儒可夫斯基电流测量线圈的分布电容进行了测试，其结果与实验测定的线圈高频响应特性相符合；对若干电力电容器厂生产的脉冲电容器(型号

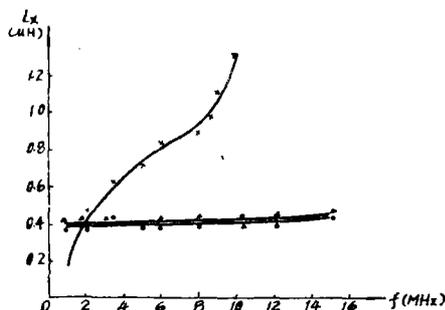


图4 脉冲电容器分布电感与频率的关系
x—CMY-N ●—MY(西安产品)
△—MY(北京产品)

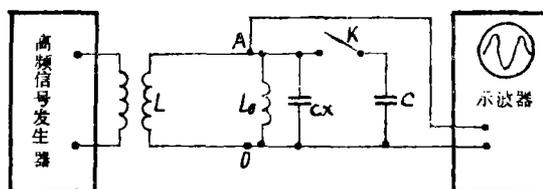


图5 电感 L_0 和分布电容 C_x 的测量电路

有: MY, CMY-N, CH 等) 的分布电感进行了测试, 作出了分布电感与使用频率的关系曲线, 如图(4)所示。另外还对四机部某厂生产的定型脉冲电容器产品进行了实际测试, 都获得了良好结果。

三、高频线圈、脉冲电容器集中参数和分布参数的测试

前面已经指出, 等效电路——二次谐振法还可以同时测定集中参数和分布参数, 在没有交流电桥和Q表的地方, 可以代替它们的作用, 此时只需将测试电路和计算公式作适当变化即可。

1. 多支路并联谐振法测高频线圈的电感 L_0 和分布电容 C_x

线路如图(5)所示, 它实际上是图(2), 只是将可变电容改为已知固定电容并和被测电感调换了位置, 将参考电感改为已知标准电感, 测试方法和计算公式如下。

第一次开关K不合上, 调节信号发生器的频率, 使三条并联支路谐振, $\omega = \omega_1 = 2\pi f_1$, 仍可用公式(1), 但应注意此时已知电容 $C = 0$, 得

$$C_x = \frac{L + L_0}{\omega_1^2 L L_0} \quad (13)$$

第二次合上开关K, 接入已知电容C, 再调信号发生器达到谐振, 有 $\omega = \omega_2 = 2\pi f_2$, 由(1)

$$C_x = \frac{L + L_0}{\omega_2^2 L L_0} - C \quad (14)$$

式(13)和(14)中, ω_1 、 ω_2 、C和L是已知的, 未知数是被测电感量 L_0 和分布电容 C_x , 联立(13)和(14)二式, 求解可得

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{\omega_1^2 \omega_2^2 C L - (\omega_1^2 - \omega_2^2)} L \\ &= \frac{f_1^2 - f_2^2}{4\pi^2 f_1^2 f_2^2 C L - (f_1^2 - f_2^2)} L \end{aligned} \quad (15)$$

$$C_x = \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2 - \omega_2^2} C = \frac{f_2^2 C}{f_1^2 - f_2^2} \quad (16)$$

式中使用单位同前。(15)式和(16)式是计算被测高频线圈电感量和相应分布电容的关系式, 在第二次测量中由于加入了已知电容C, 故谐振频率降低, $f_2 < f_1$, 计算公式均得正值, 不像在Q表法的测量中那样, 有时会出现负值。

2. 串并联谐振法测量脉冲电容器的电容量和分布电感

线路如图(6)所示, 它与图(3)类似, 也是将已知电容C和被测电容互换了位置, 仍可利用公式(6)。

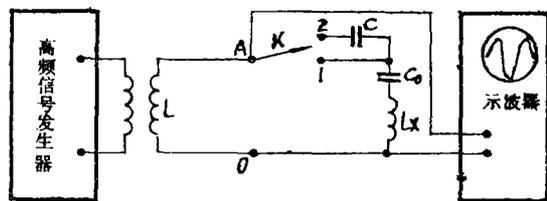


图6 电容 C_0 和分布电感 L_x 的测量电路

第一次将开关K扳向位置1, 谐振时由(6)式并注意此时 $C \rightarrow \infty$,

$$L_x = \frac{1}{\omega_1^2 C_0} - L \quad (17)$$

第二次将开关K扳向位置2, 谐振时有

$$L_x = \frac{C + C_0}{\omega_2^2 C C_0} - L \quad (18)$$

将(17)、(18)二式联立, 得被测电容器的电容量

$$C_0 = \left[\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 - 1 \right] C = \left[\left(\frac{f_2}{f_1} \right)^2 - 1 \right] C \quad (19)$$

分布电感

$$\begin{aligned} L_x &= \frac{1}{(\omega_2^2 - \omega_1^2) C} - L \\ &= \frac{1}{4\pi^2 (f_2^2 - f_1^2) C} - L \end{aligned} \quad (20)$$

式中单位同前。(19)式和(20)式是计算脉冲电容器电容量和分布电感的公式。由于在第二次测量中串入电容C后, 使电容量减小, 故谐振频率升高, $f_2 > f_1$, 计算公式均得正值。

四、几点讨论

1. 等效电路——二次谐振法主要用来测试各种非标准电感电容的分布参数，它比 Q 表法和短路放电法要简便得多，已在实验室测得了较好结果。其次，在缺乏交流电桥和 Q 表的情况下，也可以部分地取代它们的功能。

2. 此法的测量误差较小，原则上可以消除显示设备和连接引线的寄生参数所带来的误差，下面以测量电容器分布电感的固有谐振频率法（见公式 9）为例来给以证明。设连到示波器的引线电容和示波器的输入电容之和为 C_0 ，它并联在 AD 二端，则图（3）的电路变为图（7）。第一次将开关 K 扳向位置 1，由谐振条件得

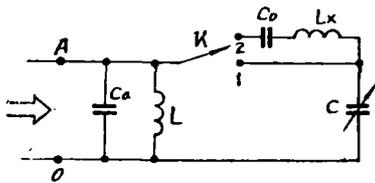


图 7 考虑引线电容和示波器输入电容的等效电路

$$L = \frac{1}{\omega^2(C_1 + C_0)} \quad (21)$$

第二次将开关 K 扳向位置 2，谐振时有

$$L_x = \frac{\omega^2 L C_2 C_0 + (C_2 + C_0)(\omega^2 C_1 L - 1)}{\omega^2 C_2 C_0 (\omega^2 C_1 L - 1)} \quad (22)$$

公式看来是复杂了一些。将（21）式之 L 代入（22）式，经化简得

$$\begin{aligned} L_x &= \frac{C_1(C_2 + C_0) - C_2 C_0}{\omega^2 C_1 C_2 C_0} \\ &= \frac{C_1(C_2 + C_0) - C_2 C_0}{4\pi^2 f^2 C_1 C_2 C_0} \end{aligned} \quad (23)$$

（23）式与（9）式完全相同，故证明了引线、显示设备的附加电容所致的误差可以不考虑，同理可证明其他寄生参数的影响都可以不考虑。对电感线圈分布电容的影响也可作类似证明。

3. 本方法的误差来源主要有：高频信号发生器的调谐误差和读数误差以及可变电容器难于准确调谐引入的误差。由于实验室条件较差，在读取可变电容值 C_1 和 C_2 时，所致误差较大，可达 3.5%，故本方法测量分布参数的精度在 5% 以内，这对一般工厂测试已是足够的了。

4. 若采用更复杂的等效电路以计算分布参数，公式将要复杂得多，而所得精度改进甚微。

用 LSI 实现 IEC 625 标准接口

哈尔滨电工仪表研究所 张礼勇 程玉润

现代自动测控系统中，可编程且带 GP-IB 的测控设备中，其通用接口部分的实验方法是：对控制器即微计算机或 IEC 母线控制器通常以软件实现其接口功能，而对大量的形形色色的常规测控仪器来说，都使用大规模集成电路——接口总线芯片（Inter face bus chips）。此类芯片几乎能包括接口功能的全部（十种功

能），像 Motorola 公司的 MC68488（讲者/听者），Intel 公司的 8291（讲者/听者），8292（控者），Philips 的 HEF-4738（讲者/听者）及 Texas 的 TMS9914（讲者，听者，控者）均系此类产品。本文将以前 HEF-4738 芯片为例来说明这种大规模集成电路的使用方法。

图 1 是以 HEF 4738 为核心构成的通用接