

谐振法测量脉冲电容器分布电感的原理和方法

胡昌信

(中国科学院力学研究所)

提要: 本文介绍了用谐振法测量脉冲电容器分布电感的基本原理和测试方法。经适当变换后,还可以测量电感线圈的分布电容。

Principle and method for measurement of distributed inductance of pulse capacitor by means of resonance method

Hu Changxing

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: In this paper, fundamental principle and method for measurement of distributed inductance of pulse capacitor by means of resonance method are introduced. Through proper transformation, the present method can be used to measure distributed capacitance of inductance coil too.

一、问题的提出

在开展脉冲 CO₂ 激光器的研究中, 储能电容器是最基本的设备。通常要求贮存在电容器中的能量在尽可能短的时间内放出。在设计电路时, 虽可以采用各种办法使放电回路各部分的寄生参数尽量小, 比如可以使回路连线的电感减小到 100 毫微亨左右, 然而, 所使用的脉冲储能电容器的分布电感则是无法改变的。正是由于这些分布电感, 常会严重影响放电波形, 如不认真考虑它的存在, 则会给分析工作带来很大的困难。因此, 测量

脉冲储能电容器的分布电感是个亟待解决的问题。本文介绍一种用谐振法—代替法结合测量脉冲电容器分布电感的方法。

二、谐振法的基本原理

1. 谐振法概念

我们首先研究由电感 L 和电容 C 组成的简单并联电路 (见图 1), 设外加交流电压为:

$$U = U_m \sin \omega t$$

收稿日期: 1979 年 10 月 12 日。

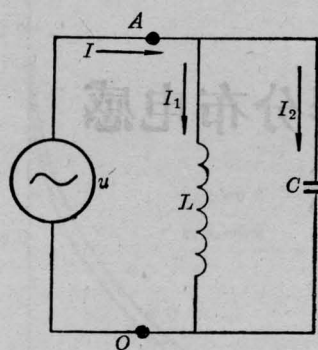


图1 L 、 C 组成的简单并联电路

总电流为 I , 则

$$I = U \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) \quad (1)$$

令

$$b = \frac{I}{U} = \frac{1}{\omega L} - \omega C = b_L + b_C \quad (2)$$

b 是回路的导纳, 也就是回路阻抗的倒数, b_L 为电感电纳, b_C 为电容电纳。

如果从 AO 二端自左向右看过去的入端导纳 $b=0$, 则回路发生电流谐振。由谐振条件 $b=0$ 得

$$b_L + b_C = \frac{1}{\omega L} - \omega C = 0$$

谐振频率

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

利用谐振公式, 可由 ω 、 L 、 C 三个参数中, 已知二个求出第三个。

2. 串并联谐振法

假设有一电路如图 2, 由两条并联支路组成, 支路 1 为参考电感 L , 支路 2 由可变电容 C 、固定电容 C_0 和电感 L_x 三者串联而成。显然支路 1 的电纳

$$b_L = \frac{1}{\omega L}$$

支路 2 的电纳

$$b = \frac{1}{x} = \frac{1}{\omega L_x - \left(\frac{1}{\omega C_0} + \frac{1}{\omega C} \right)}$$

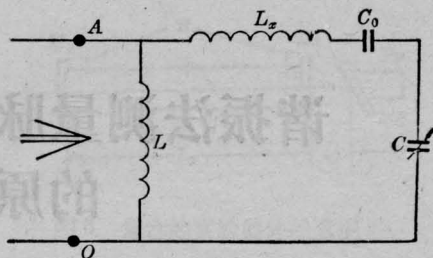


图2 串并联谐振电路图

x 为支路 2 的串联阻抗。由电纳之和为 0 的并联谐振条件 $b_L + b = 0$, 得

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

解出 L_x , 得

$$L_x = \frac{C_0 + C}{\omega^2 C_0 C} - L \quad (4)$$

由式 (4) 可以从已知参数直接计算 L_x , 不过在实际测试中, 并不需要知道参考电感 L 的数值 (详见测试方法)。

3. 多支路并联谐振法

设有一电路, 由四条支路并联组成, 如图 3 所示, 每条支路的电路元件分别为 L 、 C 、 C_0 和 L_x , 符号意义与图 2 相同。从 AO 二端看过去的导纳若满足并联谐振条件, 则

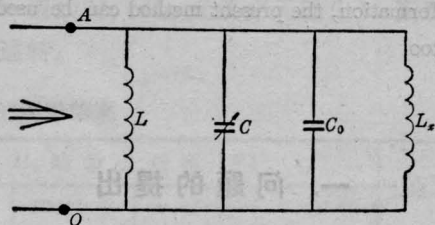


图3 多支路并联谐振电路图

$$b = \sum_{i=1}^4 b_i = 0$$

即 $b_1 + b_2 + b_3 + b_4 = 0$

$$\text{或} \quad \frac{1}{\omega L} - \omega C - \omega C_0 + \frac{1}{\omega L_x} = 0$$

解出 L_x , 得

$$L_x = \frac{L}{\omega^2 L (C_0 + C) - 1} \quad (5)$$

由 (5) 式, 同样也可以计算电感 L_x 。

三、测量方法

用谐振法和代替法相结合测量脉冲电容器分布电感的实际线路如图4所示。所谓代替法实质上是二次测量法，便于消除引线误差和读数误差。

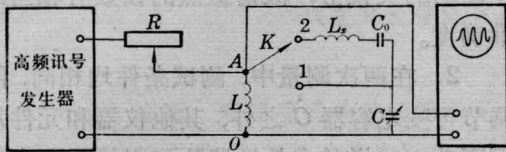


图4 串并联法测量分布电感线路图

C_0 是被测脉冲电容器的电容量， L_x 是它的分布电感，是我们所需要测量的。若 L_x 很小，可将脉冲电容器的等效回路看成是由电容 C_0 和电感 L_x 的串联，AO 二端接示波器的偏转系统。

测量前，要粗略估算脉冲电容器在使用中的放电频率，作为选择谐振频率的参考。只有在测试频率和使用频率基本接近时（当然只是数量级的接近），测出的分布电感才愈接近真实。在我们的测量中，选取频率 $f=10^6$ 赫为谐振频率， R 一般用数百欧姆。

具体测量分二次，方法如下：

第一次将开关 K 扳到位置 1，此时被测电容器未接入，相当于图 2 中的 L_x 和 C_0 均被短接，或者说相当于 $L_x=0$ ， $C_0=\infty$ ，由于讯号发生器的频率已大致选定， L 是不变的参考电感，对于 L 和 C 的简单并联回路，调节可变电容器 C 可以使回路发生谐振，这可以由示波器偏转指示最大看出。因为并联谐振时，回路的阻抗最大， R 上的压降最小。设此时频率为 $\omega=2\pi f$ ，可变电容 $C=C_1$ ，记下此二数据。可以看出，图 4 是图 2 的实际电路，故可应用公式 (4)，注意到 $L_x=0$ 和 $C_0=\infty$ ，得

$$L = \frac{1}{\omega^2 C_1} \quad (6)$$

第二次将开关 K 扳向位置 2，于是被测电容器接入，回路中加入了 C_0 和 L_x ，若此时保持频率 f 不变，则并联支路失谐，示波器上的讯号幅度明显地减小。此时再调节可变电容器 C ，使回路再次达到谐振，设此时 $C=C_2$ ，由 (4) 式并将 (6) 式代入 (4)，得到

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

化简得

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

这便是用串并联法计算分布电感的准确关系式。但是，通常当谐振频率很高时 C_2 很小，约数百微微法，而大能量贮能电容器的 C_0 一般在 0.01 微法以上，所以 $C_2 \ll C_0$ ，于是 (7) 式可简化为

$$L_x = \frac{C_1 - C_2}{\omega^2 C_1 C_2} = \frac{C_1 - C_2}{4\pi^2 f^2 C_1 C_2} \quad (8)$$

式中使用的单位： f ——赫芝，

C ——法拉，

L ——亨利。

若分布电感 L_x 很大（或者需要测量集中电感的微小分布电容），则可把脉冲电容器的等效回路看成电容 C_0 和电感 L_x 的并联，此时的实际测试线路见图 5，它是图 3 的具体化，在计算时应该用公式 (5) 而不是公式 (4)。

电路所需设备和元件符号均同图 4，仍旧采用二次测量法。

第一次开关 K 不合上，在频率 f 时，调节 C 使电路谐振，示波器的偏转最大，读 $C=C_1$ ，由 (5) 式，注意此时相当于 $C_0=0$ ， $L_x=\infty$ ，所以 (5) 式的分母必定为 0，即

$$\omega^2 L C_1 - 1 = 0$$

得

$$L = \frac{1}{\omega^2 C_1} \quad (9)$$

第二次合上开关 K ，令谐振频率 f 不变，调节 C 使电路再次谐振，得 $C=C_2$ 。由 (5) 式，

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

将(9)式代入,化简后得

$$L_x = \frac{1}{\omega^2(C_0 + C_2 - C_1)} = \frac{1}{4\pi^2 f^2(C_0 + C_2 - C_1)} \quad (10)$$

式中单位同前。

其实,两种测试方法可以互相比较,但通常由于 L_x 很小,所以采用图4的测量线路和公式(7)或(8)。

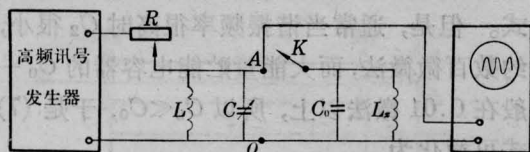


图5 并联谐振法测分布电感线路图

我们曾用这里介绍的谐振法—代替法测量了西安电力电容器厂生产的MY80-0.03

型脉冲电容器和长春793厂生产的CMY-N型脉冲电容器的分布电感值

四、讨 论

1. 谐振法和代替法相结合在作高频下分布参数的测量较为优越。谐振曲线一般都呈陡峭的尖锐形,故谐振点的读数有相当的准确度。

2. 在两次测量中,测试条件均相同,除调节可变电容器 C 之外,其他仪器和元件均可不动,这样就有效地消除了引线分布参数所致的误差。

3. 谐振法—代替法用以测量脉冲电容器的分布电感和电感线圈的分布电容都是有效的。用其他的方法,比如说电桥平衡法,就无法对容性元件作感性测量,或者对感性元件作容性测量,这是我们所介绍的谐振法的最突出的优点。

科学札记

砷化镓激光治疗过敏性鼻炎

过敏性鼻炎是耳鼻喉科常见病之一,临床表现为鼻流清水涕和鼻痒,喷嚏连连,往往有过敏体质,如皮肤过敏,药物过敏,哮喘等疾患,一般以抗过敏药物治疗,临床上有时遇到顽固病例,反复发作,难以见效。

我院耳鼻喉科门诊选择一些药物疗效不佳的过敏性鼻炎患者,试用了半导体激光治疗90例,情况如下:

性别	男 69例 女 21例	共 90例
年龄	7—74岁	
病史	半年—40年	
疗效	痊愈(指症状完全消失)	25例
	好转(指症状减轻)	52例
	无效(照10次无改变)	13例

器件: 半导体激光器(砷化镓),脉冲式,重复频率20千周/秒,波长0.9微米,峰值功率2瓦左右,经导光纤输送激光至鼻内。

方法: 每日照射一次,每次照射5分钟一侧,5次为一疗程,如有好转,再继续治疗至症状完全消失。如无好转,再继续一疗程,仍无改变者即停止治疗,作无效论。

我们认为,半导体激光器治疗过敏性鼻炎疗效较 CO_2 激光器扩束照鼻部为佳。而且,这种器件体积小,坚固防震,器件能大批生产,价格低,携带方便,能适于农村应用,便于下基层,能通过导光纤,运用自如,为激光器在医学上的应用又增添了一种新的治疗手段。

(上海海员医院 激光室)