

实验八 电感位移传感器特性研究

【实验目的】

1. 了解电感位移传感器工作原理；
2. 测量自感式传感器特性；
3. 测量差动变压器式传感器特性。

【实验原理】

1. 自感式位移传感器

当磁棒插入线圈中并发生位移时，回路自感的大小与这回路所围面积的磁链数有关，由于磁棒在外部的磁感线是发散的、密度较稀，在内部的磁感线密度很大，所以自感 L 随磁棒位移 x 而发生变化。而自感式传感器是把被待测位移变化转换成自感 L 变化的一种传感器。自感式传感器的自变量为 L ，电感测量常见方法有以下两种。

(1) RL 分压法测电感

图 9.1 (a) 所示的 RL 分压法测量电感接线图，因为电感的电流落后电压 90° ，而串联电路流过的电流是相同的，所以电感的电流与电阻的电压同相位。我

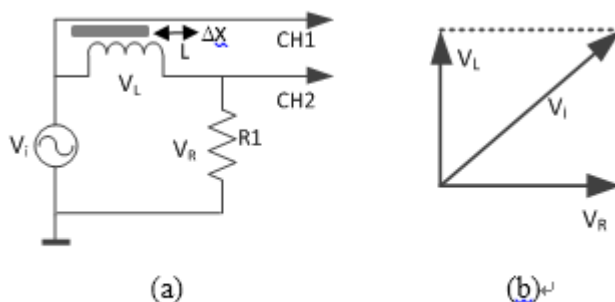


图9.1 RL分压法

们把电阻电压 V_R 放在 X 轴上，则电感电压 V_L 在 Y 轴正向。因为串联电路流过的电流相同，所以我们可以把电流因子约去。由图 9.1 (b) 可知

$$\frac{V_R}{V_i} = \frac{V_R}{\sqrt{V_R^2 + V_L^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega L/R)^2}} \quad (1)$$

$$L = \frac{R}{\omega} \sqrt{(V_i/V_R)^2 - 1} \quad (2)$$

所以，只要已知 R 、 ω 、 V_i ，测量 V_R 即可求出 L 。

(2) LC 谐振电流法测量电感

如图 9.2 所示，我们再在 RL 回路中串入一个电容 C。串联电路流过各元件的电流相同，但电容上的电压落后电流 90° 。我们仍把电阻上的电压作为参考量放在 x 轴，那么，电容电压将位于 y 轴的负方向。

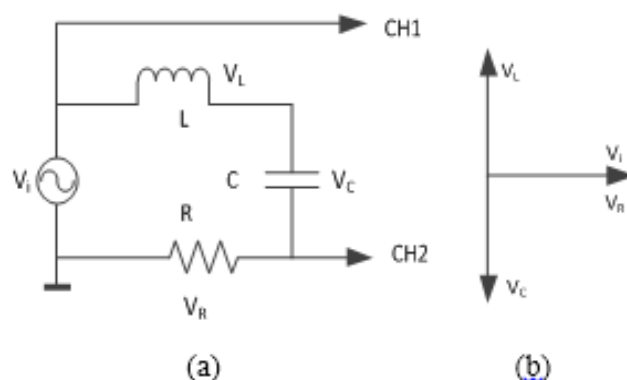


图 9.2 LC 谐振电流法

这样电容上的电压和电感上的

电压都位于 y 轴且方向相反。一种特殊情况下，无论电感和电容的值是多少，总能找到一个频率使得 $V_C = V_L$ ，由图 9.2 (b) 看出，在 y 方向上的合成量为零。这种情况称之为谐振，此时回路电流为谐振电流，用取样电阻 R 就得到了取样电压，此时取样信号与信号源信号同相位且为最大值，利用这个特点，我们可以测量精确电感。由 $V_C = V_L$ ，约去电流因子我们有 $X_C = X_L$ ，即

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} \quad (4)$$

可以看出，只要信号源频率、电容 C 已知，L 就可以计算。这种测量方式避免了测量仪表直接加在被测元件上，对于小容量电容测量很有好处，由于是比较相位，所以特别灵敏。但是做成测量仪器时，测量电路复杂，一般常用于实验室研究中。

2. 差动变压器式位移传感器（互感式）

这种传感器把被测量转换为初级线圈与次级线圈间的互感量 M 变化。当初级线圈接入激励电源后，次级线圈就将产生感应电动势，当两者间的互感量变化时，感应电动势也相应变化。由于常常把两个次级线圈反向串联即差动连接，故称为差动变压器式传感器。

(1) 示波器法测量差动电压

两个次级线圈 W_2 、 W_3 感应出的交流信号相位相同的端口称为同名端，即标有小黑点的位置，如图 3 所示。把 W_2 、 W_3 的同名端反向串联后接入示波器，输出电压的幅度变化反映出两个互感 M_1 、 M_2 的大小变化，相位改变则反映出衔铁位于中心位置的哪一侧。显然，三个线圈相对位置以及衔铁位置的任何变化都会导致互感的变化，从而使得输出电压的幅度和相位发生变化。

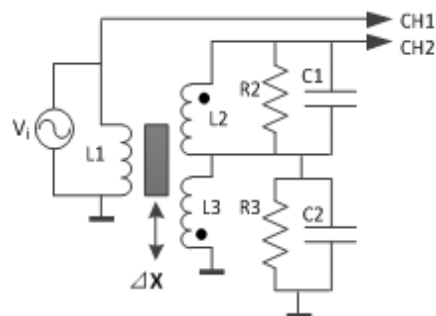


图 9.3 交流示波器法

为了避免开路测量带来的干扰和减轻相位不对称，可以接适当的 RC 负载。这种方法不能完全消除零点残余电压，但是能完整地观察到磁通的变化过程。

(2) 直流法测量差动电压

这种方法是把差动变压器的两个次级输出电压分别整流，然后把整流后输出的差值作为测量对象。整流电路有全波和半波两种形式，依据输出的种类又分为电压输出和电流输出两种，所以组合出四种电路结构。图 7 给出了最简单的半波整流法测量的电路原理图，这种方法避免了相位偏移带来的影响，消除零点残余电压的条件大为降低，避免了参数不对称带来的零点偏移，所以对零点判断的灵敏度很高。

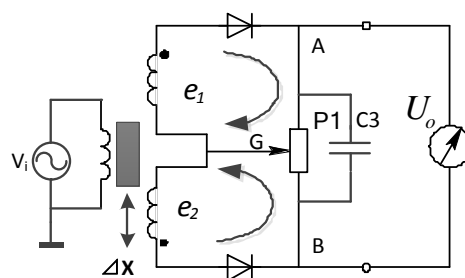


图 9.4 半波整流法

从图 9.4 中可知，电位器 P_1 的 A 、 B 相对 G 点都是正电压，调节 P_1 的抽头位置，总能找到一个位置，使得 A 、 B 两端的电压相对 G 点相等，即 $U_o=0$ ，这样就消除了零点残余电压。而 U_o 的正负指示了出衔铁的方位。

【实验仪器】

电感位移传感器实验仪（1 件），双通道信号发生器（1 件），双通道示波器（1 件），九孔连接板（1 件），万用表（1 件），检波二极管（2 件），BNC-九孔板连接线（3 件），导线（2 件），短路桥（5 件）。

P_1 : $10k\Omega$, R_1 : 100Ω , R_2 、 R_3 : $2k\Omega$, C_1 、 C_2 : $0.01\mu f$, C_3 : $4.7\mu f$ 。

【实验内容】

1. RL 分压法测量 L

- (1) 按图9.1接线，只使用线圈L2，另外两个线圈L1、L3不连任何元件并移到一边。R取 100Ω ，取信号发生器设定为正弦波、幅度为 $5V_{pp}$ ，频率为 $10kHz$ ，设置示波器参数使之适合测量。
- (2) 测量输出电压与位移的关系。以磁棒中点为参考0点，以 $-30mm$ 为测量起始点， $5mm$ 为步长移动L2，过0点直到磁棒的固定端，同时记录示波器上测量到的输入电压 V_i 和输出电压 V_o ，特别注意记录L2电感量最大时的位置和电压值，这点位置不一定在磁棒的几何中点。
- (3) 计算L，找出L最大时的位置作为 Δx 坐标的原点，作L与位移量 Δx 关系曲线。
- (4) 根据（3）的结果讨论磁通沿磁棒方向上的变化。

2. 用示波器测量差动变压器的输出

- (1) 信号发生器设置不变，按图9.3连接电路。
 - (2) 模仿铁芯移动工作模式。把三个线圈靠紧作为一个整体移动，以磁棒中点作为坐标0点。然后从 $-50mm$ 处为测量起点，步长为 $5mm$ ，过0点直到磁棒另一固定端。测量差动电压 U_o 与 Δx 的关系，同时要记录输入电压 V_i 的变化。同样要确定出 U_o 最小处的坐标。
 - (3) 模仿电感移动工作模式。把两个次级线圈L2、L3分开靠紧磁棒两侧的安装底座，注意不能有移动。先测定L1输出最小时的坐标位置。然后移动初级线圈L1，从一侧到另一侧，步长 $5mm$ 。测量差动电压 U_o 与 Δx 的关系，同时要记录输入电压 V_i 的变化。
 - (4) 对（2）（3）测得的输出电压 U_o 与 Δx 关系曲线作归一化处理（x、y值分别除以其中的最大值），注意 Δx 的原点应选在差动电压最小时的位置上。
- * (5)** 三个线圈靠紧，定位在平衡位置不动。只改变激励信号的频率，取 $20kHz$ 、 $30kHz$ 、 $40kHz$ 、 $50kHz$ 、 $60kHz$ 频点，测量输出电压对频率的变化并记录波形的变化，注意随时调整CH2的灵敏度。
- * 3** 用半波整流法测量差动变压器的输出。按图 9.4 接线，重复内容 2 中的（2）、（3）、（4）。

*4 LC 谐振电流法测量电感，按图 9.2 接线，重复内容 1 中的内容，比较两种方法。

【思考题】

1. 如何计算 Δx 的原点？已知线圈（含架）的宽度为 14mm。
2. 当激励频率升高后，零点残余电压会怎样变化？为何不能抵消？
3. 磁棒中的磁通是如何分布的，为什么线圈移到端部时，电感量会迅速减小？
4. 互感是如何定义的？根据本实验的仪器，设计一个测量互感的方案。
5. 半波整流法是如何消除零点残余电压的？优点是什么，缺点是什么？为什么说对零点判断的灵敏度很高？