

电涡流传感技术原理及应用

宁波水表股份有限公司（浙江省水表研究院） 姚灵

1. 概述

电感传感是以电涡流传感技术为基础，采用 LC 振荡谐振回路中电感元件与被测金属零件之间的位置改变使其电感量（或阻抗、品质因数等参数）发生变化，进而改变回路振荡输出幅值作为输出量的非接触传感方法。由该方法组成的传感器具有结构简单、频率响应宽、灵敏度高、测量线性范围大、抗干扰能力强、体积小等特点，因此除了应用于水表叶轮等旋转零件的转速及旋转量测量外，还被广泛应用于振动、位移、厚度、温度、硬度等物理量的测量，以及无损探伤等领域。

2. 基本工作原理

电涡流传感技术是利用电涡流物理效应，将某些非电量（如：转速、位移等）转换成电感元件的电感量、阻抗以及品质因数 Q 值的变化量，从而进行非电量的测量。

由图 1 所示，一个通有交变电流 i_1 的电感线圈，由于电流的变化，在线圈周围就会产生交变磁场 H_1 。如被测导体处于该交变磁场作用范围之内，该导体内便会产生电涡流 i_2 ，电涡流也将产生一新磁场 H_2 ，由于 H_2 与 H_1 方向相反，因而抵消部分原磁场，从而导致电感线圈的电感量、阻抗和品质因数发生改变。

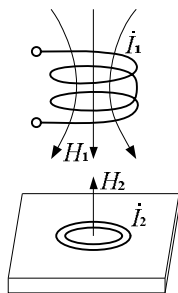


图 1 电涡流传感技术原理图

通常，电感线圈的阻抗、电感量和品质因数的变化与被测导体的几何形状、电导率、导磁率等因素有关，也与电感线圈的几何参数、电流的频率、以及线圈与被测导体之间的距离等有关。如果控制上述参数中仅有一个参数作变量，其余参数均不变，就可构成测量转速、位移、温度、硬度等的各种传感器。

3. 变位置型传感器结构

电涡流传感器结构很简单，主要由一个固定在框架上的电感圆线圈所组成，线圈用多股

漆包线或银线绕制而成，见图 2。变位置型电涡流传感器进行位移或位置测量是基于传感器线圈与被测导体平面之间的位置变化或间隙变化。

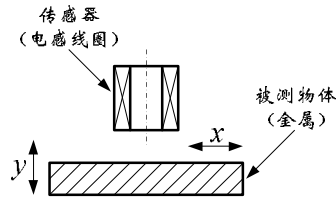


图 2 变位置型传感器测量位置或位移原理图

电涡流传感器电感线圈内部也可加入磁芯材料，这样做可以在保证一定电感量的条件下减少线圈匝数，提高线圈 Q 值。同时，加入磁芯可以感受较弱的涡流磁场变化，改善传感器的灵敏度，增大测量范围。

4. 谐振调幅式测量电路

目前电涡流传感器所配用的谐振电路主要有调幅式、调频式和调幅调频式等三种。从稳定性看，调幅式最好。因为采用了石英晶体振荡器，其振荡频率和幅值比较稳定。

调幅式测量电路工作原理见图 4。它由石英晶体振荡器、并联谐振电路、高输入阻抗高频放大器、检波器和滤波器等组成；传感器电感线圈 L 和谐振电容 C 共同组成并联谐振回路。石英晶体振荡器相当于一个恒流源，由它向并联谐振回路提供频率为 f_0 的稳定性很好的高频激励电流 I_0 。

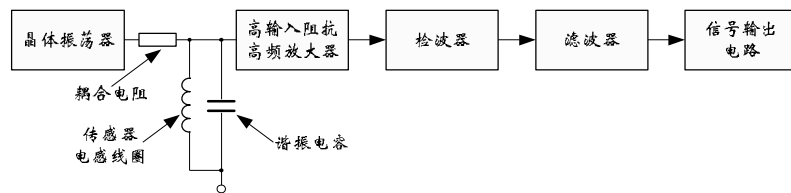


图 4 调幅式测量电路原理框图

当没有被测导体存在时，并联谐振电路调谐在谐振状态，此时电路的 Q 值最高，阻抗也最大，电流 I_0 流过并联谐振电路时在回路上的压降也最大，其值为 U_0 ；当被测导体靠近电感线圈时，谐振回路 Q 值下降，线圈等效电感减少，谐振峰右移，谐振回路工作在失谐状态，频率为 f_0 的电流 I_0 流过阻抗减少的并联谐振电路，因此压降从原来的 U_0 下降为 U_1 ；如果被测导体进一步靠近电感线圈，电路 Q 值就会继续下降，且对应于 f_0 的阻抗更小，压降进一步下降为 U_2 。谐振曲线受位置或距离变化而改变的情况见图 5 所示。

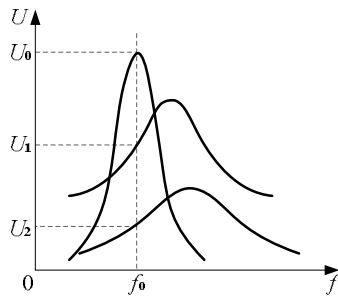


图 5 谐振曲线变化示意图

5. 电感传感方式在水表中的应用

5.1 原理与方法

由于电感传感方式可以较好地解决磁敏传感方式易受水中铁性杂质及外界磁场干扰等问题,因此受到了较为广泛的关注和应用。目前已经有专用的单片机芯片(如 MSP430FW42×系列芯片)可以方便地在计量表计上实现无磁传感,并对叶轮或示数指针等零件的转速及旋转变量进行有效的非接触测量与转换。

电感传感方式主要由设置在水表叶轮或其它旋转零件上的金属半圆片和由单片机内部 SCAN IF 模块以及外接的两个电感元件 L 和电容器 C 构成的 LC 振荡器所组成,其工作原理见图 6。 LC 振荡器工作时,当水表叶轮或其它旋转零件上覆盖有金属片的区域 a 旋转

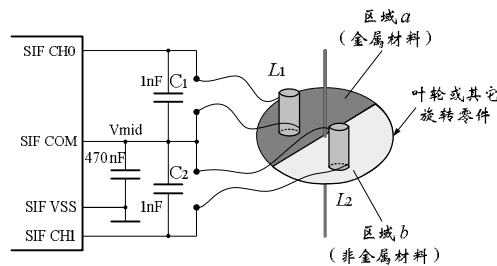


图 6 电感传感方式原理图

到电感元件 L_1 或 L_2 的下方时,振荡波因在金属片上产生电涡流而振幅很快衰减, LC 回路发生明显的阻尼振荡;而当无金属材料的区域 b 出现在电感元件 L_1 或 L_2 的下方时,振荡波受电涡流的影响较小, LC 回路处于准阻尼振荡状态,其振荡波形成的衰减要比前者小得多,见图 7。

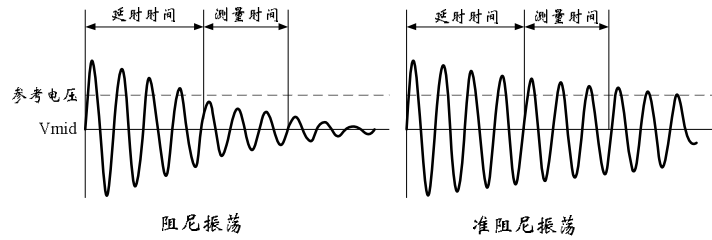


图 7 LC 振荡波形图

采用电感传感方式时，设定合适的参考电压和延时时间指标很重要。当在测量时间内所测得的电压值小于参考电压时，即 LC 振荡幅值在参考电压之下时，便可确定此时该电感元件 L 处于叶轮区域 a 位置；反之，当测得电压大于参考电压时，就可确定其在叶轮区域 b 位置。若测量时间内测得的电压值均在参考电压以下或以上数值时，则需重新设置参考电压和延时时间，以确保输出幅值都大于参考电压值（在区域 b 位置）或都小于参考电压值（在区域 a 位置），即能准确区分出两种输出状态值。假定把电感元件在区域 a 时的振荡输出记为状态 0，在区域 b 时的输出记为状态 1，由于设计中通常使用两个 LC 振荡器（即两个电感元件 L ），所以在叶轮或旋转零件转动一转时，电感传感方式共会出现四个输出状态的组合，见图 8。如果输出状态变化序列次序为 01、11、10、00，则可判断叶轮或旋转零件为正转，如果输出状态变化序列次序为 00、10、11、01，则为反转。

电感传感方式通常只适用于干式水表的信号采集。

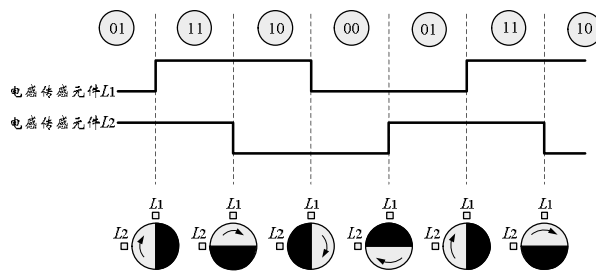
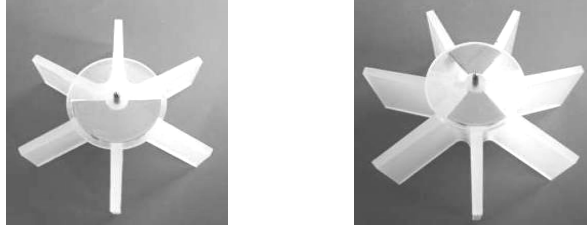


图 8 叶轮或旋转零件位置变化时电感传感的输出状态

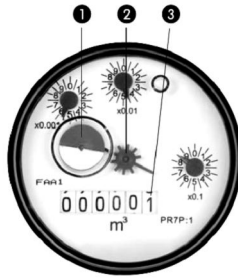
5.2 金属薄片零件设置

为使电感元件在测量时感受到电涡流的影响，需在水表相应旋转元件上安装金属薄片零件，用于产生电涡流。金属薄片可以直接安装在水表叶轮上，也可安装在表盘上的示数指针上，具体由信号采集需要的脉冲当量来决定。图 9 是安装金属薄片的常用方式，其中图（a）为直接在叶轮上取信号，分为单一金属片和双金属片两种；图（b）为在示数指针上取信号，金属片安装在示数指针上。其中 1 为安装在示数指针上的金属片，2 为中心指针，3 为字轮

式计数器。



(a) 金属薄片安装在叶轮上



(b) 金属薄片安装在示数指针上

图9 在旋转零件上安装金属薄片