

[传感器]

一种平面式电感位置传感器

文/ 曹晓东 陈华坚 黄绍栋

物体的位置测量是工业生产中不可或缺的，所以位置传感器是很重要的。随着时代的发展，工业生产对物体位置测量的要求越来越高。对位置测量的高精度、快响应以及较强抗干扰性等严格要求使得一部分传统的位置传感器无法较好地适应当今的工业生产。即使一些传统的位置传感器可以满足高精度、快响应以及较强抗干扰性等严格要求，在现代工业生产中，较高的成本仍会构成一个不可忽视的问题。在介绍传统位置传感器的基础上介绍一种新型平面式电感位置传感器，这种新型的位置传感器能够很好地适应现代工业生产的要求。

随着时代的发展，工业生产对物体位置测量的要求越来越高。对位置测量的高精度、快响应以及较强抗干扰性等严格要求使得一部分传统的位置传感器无法较好地适应当今的工业生产。即使一些传统的位置传感器可以满足高精度、快响应以及较强抗干扰性等严格要求，在现代工业生产中，较高的成本仍会构成一个不可忽视的问题。

位置传感器主要分为直线位置传感器和转角位置传感器两种类型。直线位置传感器又被称作电子尺。它实际上是一个变阻器，可分为拉杆式和滑动式两类。转角位置传感器比直线位置传感器应用更加广泛，种类也更加丰富。比如，光电编码器、磁性编码器以及旋转变压器。所列举的两种类型的位置传感器的例子都属于传统位置传感器，在现代工业生产中都有自身的局限性。于是，高精度、快响应，并且具有较强抗干扰能力等优越性能的价格低廉的位置传感器自然而然地成为当今工业生产中的迫切需求。

近年来，学术界和工程界对电感式传感器的研究日渐深入，其独特的优势崭露头角。并且，尤其随着PCB技术，即印制电路板技术的发展，电感式传感器的平面化得以实现，其优势进一步扩大。平面式电感传感器凭借其低廉的价格，简单的制造过程，优越的工作性能等优势深得人们

喜爱。平面式电感位置传感器属于其中的一类，可以替代传统的位置传感器，在工业生产中发挥巨大的作用。

本文介绍一种新型平面式电感位置传感器。这种平面式电感位置传感器具有高频无接触等特点。

传统位置传感器

根据不同的物理原理，位置传感器的种类也不尽相同，可分为电阻式，基于霍尔效应的传感器，基于光电效应的传感器以及基于电磁感应的传感器等类型。其共同之处是，这些传感器都是将物体的物理位置转变为电信号。如果转变所得的电信号直接反映物体的物理位置，那么对该信号做放大等调理即可；如果转变所得的电信号不直接反映物体的物理位置，那么必须在后级信号调理部分进行位置解码。

接下来，本文介绍几种常用的传统位置传感器，其中包含了相应的优缺点分析。

1. 光电编码器

光电编码器是一种通过光电转换，将位置信号转变为数字信号的传感器。光电编码器主要由光栅盘和光电检测装置组成。根据光电编码器的制作方式和信号输出形式的不同，可将其分为增量式、绝对式和混合式三种。光电编码器的工作

原理如图1所示。码盘与被测物体同轴，其一侧是发光二极管，另一侧是光电检测装置。码盘上印制有按一定编码规则排列的条纹，有条纹的地方不透光，无条纹的地方透光。当码盘随着被测

物体转动时，光电检测装置便会接收到排列规则不同的阴影。因此，可以通过阴影信息判断码盘是否在转动，并且通过阴影的排列规则解算出转角和转速的大小。

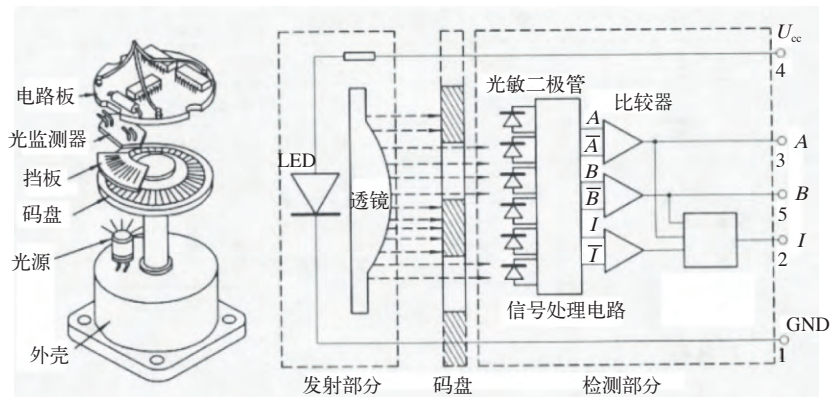


图1 光电编码器原理结构图

目前应用比较多的光电编码器是绝对式光电编码器和增量式光电编码器。其中，增量式光电编码器的应用更为广泛。

增量式编码器输出A、B和Z三组脉冲。A和B两组脉冲相差 90° ，由此可以判断出被测物体的旋转方向。当编码器每旋转一圈时，Z相会输出一个脉冲，用来定位基准点的位置。增量式光电编码器的特点是可以得到被测物体旋转经过的角度差，却无法直接定位被测物体处于哪个具体的绝对角度上。增量式光电编码器的优点是，构造原理简单，易于实现；机械寿命长，几万个小时以上不存问题；分辨率高；抗干扰能力较强，可满足信号的较长距离传输。增量式光电编码器的缺点是，只能获得相对角度，无法直接得到被测物体的绝对角度。在选用一款增量式光电编码器时，需要考虑的因素第一是分辨率。即编码器转动一周所产生的脉冲个数，也称为PPR，即脉冲数/转，这是在制造编码器的时候固定的。第二是精度。精度往往被误认为等同于分辨率，其实不然。精度表示在选定的分辨率范围内，实测值偏离标准值的程度。精度与码盘的加工质量、制造精度和安装技术有关。第三是信号输出形式。光电检测器件输出的信号电平较低，无法直接进行信号解调或者远距离传输。所以，在编码器内部，还要有信号处理电路进行信号的放大和整形。增量式光电编码器的信号输出形式有很多种，有集电极开路输出、电压输出、线驱动输出、互补型输出和推挽式输出等。

为了记录被测物体当前的绝对角度，在进行增量式光电编码器的应用时会增加参考点。比如，打印机开机后，会进行开机找零的方法进行校准工作。但是，这样的方法比较麻烦，有的时候实际情况甚至不允许开机找零。于是，绝对式光电编码器出现了。绝对式光电编码器与增量式光电编码器的不同之处在于码盘上透光和遮光的条纹。绝对式光电编码器的条纹具有唯一性，每一组条纹对应一个角度。因此，它可以标示出被测物体的绝对角度。编码的设计可采用二进制码、循环码以及二进制补码等方案。在实际的工程应用中，往往需要测量角度范围在 $[0, 2\pi)$ 之外的角度。因此，除了单圈绝对式编码器，绝对式编码器还有多圈式。对于单圈绝对式编码器，无论实际转过多少角度，测量结果总落在 $[0, 2\pi)$ 。多圈绝对式编码器的中心码盘旋转时，当超过一圈，由于齿轮的带动，会转动另一组码盘或多组码盘，在单圈编码的基础上再增加圈数。多圈绝对式光电编码器的特点一是可以直接读出角度坐标的绝对值；二是没有累积误差；三是掉电后位置信息不会丢失。由于编码器的每一个位置具有唯一性，因此具有掉电记忆功能。

总的来说，光电编码器具有精度高、响应速度快，并且可以输出当前绝对轴角位置等优点。同时，它也存在着无法适应恶劣环境和价格昂贵等缺点。

2. 旋转变压器

旋转变压器是一种电磁式位置传感器，又称

作同步分解器。它是一种测量角度的小型交流电动机，主要用来给旋转运动装置提供位置反馈信号。

旋转变压器和普通变压器的工作原理基本相同。区别在于，普通变压器一次和二次绕组相对位置固定，则输出电压和输入电压之比为常数，而旋转变压器的一次和二次绕组会随着转子角位移的变化发生相对位置的变化，其输出电压的大小也随转子角位移的变化而变化，且该输出电压的幅值与转子转角呈一定关系。根据该关系的不同，旋转变压器可分为线性旋转变压器、正余弦旋转变压器和比例式旋转变压器。

以正余弦旋转变压器为例。如图2所示，主体部分由定子绕组和转子绕组构成。在变压器的定子槽中布置了两个空间互成的绕组，分别称作定子激励绕组D1D2和定子矫正绕组D3D4。在转子槽中也布置两个空间互成的绕组，分别称作正弦输出绕组Z1Z2和余弦输出绕组Z3Z4。定子绕组和转子绕组分别作为变压器的一次绕组和二次绕组。定子绕组接受励磁电压激励，励磁频率通常选取400 Hz、3000 Hz或5 000 Hz等。转子则通过电磁耦合得到感应电压。

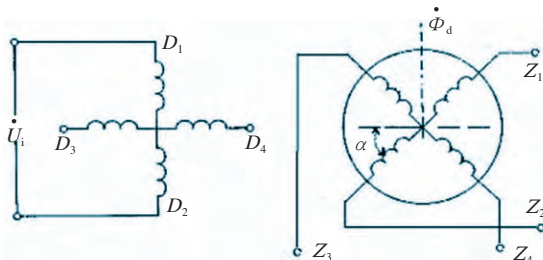


图2 正余弦旋转变压器原理图

两组转子得到的感应电压两两正交，幅值随着转角的变化分别做正余弦函数变化，且频率和励磁频率相同。

旋转变压器的优点，一是可靠性强，可以在恶劣的环境下工作；二是适用范围广，可用在更高的转速下；三是直观性强，数据输出结果更加方便直观。然而，旋转变压器的成本较高。

3. 电感式位置传感器

电感式位置传感器利用磁路磁阻的变化，将非电量信息转换为传感器线圈的电感变化。

传统的电感式位置传感器为线圈绕组时，感应线圈需要绕制在庞大的铁心上，体积大且结构复杂，还需要后端的信号调理电路。此类传感器测量精度高，结构可靠，输出功率大，但是价格较贵。示值误差通常的范围是0.1%~0.5%。电感

式位置传感器由于频率响应慢，不适用于快速动态响应系统。

根据转换原理的不同，电感式位置传感器可分为自感式和互感式两种。自感式传感器中，线圈的电感量随位置变化而变化。自感式传感器又被称作变磁阻式传感器。互感式传感器利用变压器原理，使一、二次绕组间的互感量随位置变化而变化，一般做成差动式。互感式传感器又被称作差动变压器。按照测量对象进行分类，传统的电感式传感器又可分为变气隙长度式和变面积式。变气隙长度式可用来测量直线位移，一般被称作LVDT，即线性可变差动变压器。变面积式一般用来测量角位移，被称作RVDT，即旋转可变差动变压器。

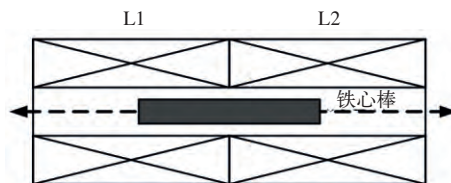


图3 自感式传感器

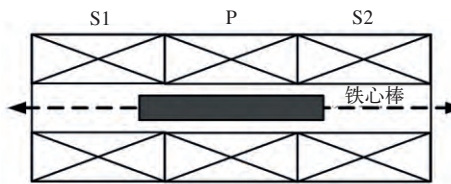


图4 螺线管差动变压器

图3为自感式电感传感器的等效图。此类传感器利用线圈自感量的变化实现位置测量。当测量目标移动时，带动衔铁产生位移，线圈内的气隙厚度发生变化，遂导致磁路中的磁阻变化，从而引起电感线圈的电感量的变化。根据这种电感量的变化来确定衔铁位移，包括大小和方向。

图4为螺线管差动变压器结构图。根据变压器的工作原理，给一次绕组P施加激励电压U时，在二次绕组S1和S2上分别产生了感应电动势E1和E2。当活动衔铁处于中间平衡位置时，互感系数M1和M2相同，则E1=E2，差动变压器输出电压为零。当活动衔铁向左或者向右移动时，两边互感系数不同，则存在电势差，且该电势差随着位移变化，根据该电势差的变化值即可确定此时活动衔铁的位移量。

电感式传感器的特点是工作可靠、寿命长；灵敏度高、分辨率高；精度高、线性度好；性能稳定、重复性好。但是其频率响应低，不适用于

快速动态响应的场合。

一种新型平面式电感位置传感器

由于对传感器的精度、成本和对恶劣环境的适应性等性能的要求越来越高,研究人员提出了新型的平面式电感传感器。本节所举例的传感器属于无接触高频电感式位置传感器,由一块印制有发送和接收线圈的PCB天线和一个独立的谐振电路组成。如图5所示,以一款直线式传感器为例,下方的是PCB天线,该PCB上印制有发送和接收线圈,上方的是可移动的具有高品质因数的谐振电路。

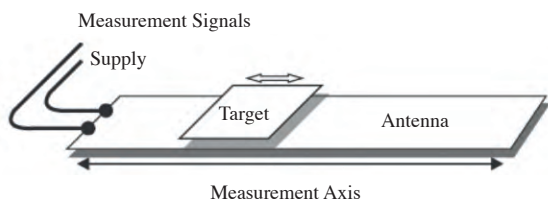


图5 一种直线式平面式电感位置传感器

其工作原理如图6所示。当向发射线圈中输入高频电流时,发射线圈中会产生高频电磁场。而激励信号频率与谐振器的固有频率相同,当LC谐

振器进入该磁场时,谐振器会感应出同频率的高频电流,该高频电流又会产生高频磁场,并在接收线圈中感应出高频电流。由于sin/cos接收线圈空间相互位置上的特殊性,sin/cos线圈的输出信号中包含了LC谐振器相对于PCB天线的位置的信息。

图7是一款PCB天线的示意图。它是一块印制有发射线圈和接收线圈的四层PCB板。从图中可以看出,sin线圈和cos线圈在绘制时呈 90° 的相移位置关系。这种空间上特殊位置关系使得其输出信号为相角相差 90° 的正弦信号。PCB板周围一圈是发射线圈。

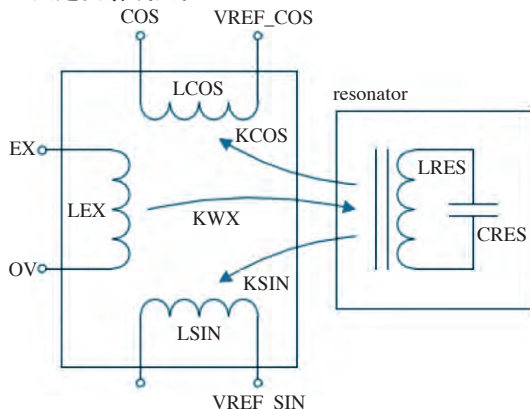


图6 一种平面式电感位置传感器的工作原理

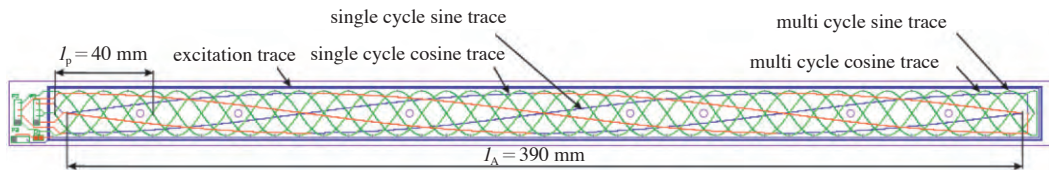


图7 一种直线式电感位置传感器的PCB天线

目标PCB是一个简单的LC并联谐振电路,其中的电感由印制在PCB上的导电轨道组成,导电轨道通常与被测物体的移动部件固定在一起。如图8所示,该LC并联谐振电路由一个电感和两个电容组成。

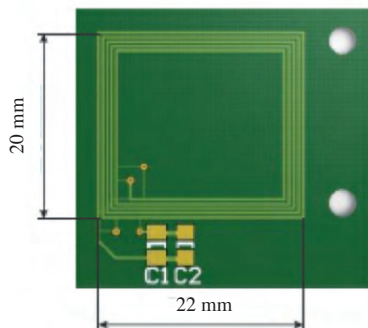


图8 一种直线式电感位置传感器的目标PCB

该款传感器之所以备受青睐,是因为相较于其他位置传感器,它具有很多优点。例如:高

频的特性使得传感器可以实现高精度、快响应测量;一块PCB天线可以测量多个目标PCB;利用互感技术可以进行无接触式测量;该款传感器可以在恶劣的环境下工作;另外,由于其在PCB上走线,该传感器的成本非常低。

国外研究该款传感器的有德国海拉、英国Zettlex、英国CambridgeIC和美国TI等公司,目前还未发现有国内公司研究这款传感器。

结束语

本文所介绍的一种新型平面式电感位置传感器具有精度高、响应快,能够适应恶劣环境以及成本低的优点,可以替代传统的位置传感器,在工业生产中发挥巨大的作用。EA

(收稿日期:2015.06.01)

(编辑:白文亭)