

ΔL , 代入式(3-4)并整理得

$$L = L_0 + \Delta L = \frac{N^2 \mu_0 A}{2(\delta_0 - \Delta\delta)} = \frac{L_0}{1 - \frac{\Delta\delta}{\delta_0}} \quad (3-6)$$

$$\Delta L = L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0 - \Delta\delta} \quad (3-7)$$

当 $\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \ll 1$ 时, 有

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^3 + \dots \quad (3-8)$$

忽略高次项得

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \quad (3-9)$$

同理, 当衔铁下移 $\Delta\delta$ 时, 传感器气隙增大 $\Delta\delta$, 即 $\delta = \delta_0 + \Delta\delta$, 则此时输出电感为 $L = L_0 - \Delta L$, 代入式(3-4)并整理, 得到相对变化量为

$$\Delta L = L_0 - L = \frac{-\mu_0 AN^2}{2(\delta_0 + \Delta\delta)} + \frac{\mu_0 AN^2}{2\delta_0} = L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0 + \Delta\delta} \quad (3-10)$$

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0 + \Delta\delta} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta\delta}{\delta_0}} \cdot \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \quad (3-11)$$

当 $\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \ll 1$ 时, 有

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0} - \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^3 + \dots \quad (3-12)$$

忽略高次项得

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \quad (3-13)$$

综上所述, 设气隙式传感器的灵敏度为 K , 则有

$$K = \left| \frac{\Delta L}{\Delta\delta} \right| = \left| \frac{L_0}{\delta_0} \right| = \frac{N^2 \mu_0 A}{2\delta_0^2} \quad (3-14)$$

由上式可知, 变气隙式传感器的输出特性是非线性的。欲增大灵敏度, 应减小 δ , 但受到工艺和结构的限制。为保证一定的测量范围与线性度, 对于变气隙式传感器, 常取 $\delta = 0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$, $\Delta\delta = (1/5 \sim 1/10)\delta$ 。

3.1.3 差动式自感传感器

自感式传感器也可以做成差分形式。在实际使用中, 常采用两个相同的自感线圈共用一个衔铁, 构成差动式自感传感器, 两个线圈的电气参数和几何尺寸要求完全相同, 图

3-3(a)为结构示意图。在固定铁芯上安装两组线圈,调整可动铁芯,使之在没有被测量输入时两组线圈的电感值相等;当有被测量输入时,一组自感增大,而另一组将减小。差动式自感传感器又可以分为变气隙型、变面积型及螺管型三种类型,见图3-3(b)~图3-3(d)。当衔铁移动时,一个线圈的电感量增加,另一个线圈的电感量减少,形成差动形式。

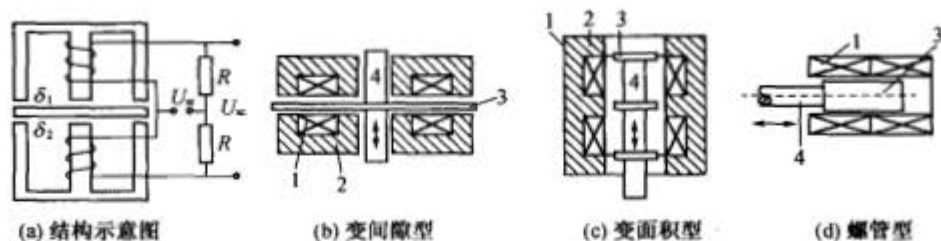


图 3-3 差分式自感传感器
1—线圈;2—铁芯;3—衔铁;4—导杆

对于图3-3(a)所示的变气隙型差动式自感传感器,当衔铁下移时,有

$$L_1 = \frac{\mu_0 AN^2}{2(\delta_0 + \Delta\delta)} \quad (3-15)$$

$$L_2 = \frac{\mu_0 AN^2}{2(\delta_0 - \Delta\delta)} \quad (3-16)$$

$$L_1 = L_0 \left[1 - \frac{\Delta\delta}{\delta_0} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^2 - \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^3 + \dots \right] \quad (3-17)$$

$$L_2 = L_0 \left[1 + \frac{\Delta\delta}{\delta_0} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^3 + \dots \right] \quad (3-18)$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = 2L_0 \left[\frac{\Delta\delta}{\delta_0} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^3 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^5 + \dots \right] \quad (3-19)$$

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_2 - L_1}{L_0} = 2 \left[\frac{\Delta\delta}{\delta_0} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^3 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^5 + \dots \right] \quad (3-20)$$

上式中不存在偶次项,显然差动式自感传感器的非线性误差在 $\pm\Delta\delta$ 工作范围内要比单个自感传感器的小得多。

忽略高次项,得

$$K = \left| \frac{2L_0}{\delta_0} \right| = -\frac{N^2 \mu_0 A}{\delta^2} \quad (3-21)$$

可见灵敏度提高一倍。

差动式与单线圈电感式传感器相比,具有下列优点:

- ① 线性好;
- ② 灵敏度提高一倍,即衔铁位移相同时,输出信号大一倍;
- ③ 温度变化、电源波动、外界干扰等对传感器精度的影响,由于能互相抵消而减小;
- ④ 电磁吸力对测力变化的影响也由于能相互抵消而减小。

变气隙型自感传感器灵敏度高,它的主要缺点是非线性严重,为了限制线性误差,示值范围只能较小;它的自由行程小,因为衔铁在运动方向上受铁芯限制,制造装配困难。变截面型自感传感器灵敏度较低,变截面型的优点是具有较好的线性,因而,范围可取大些。螺管型自感传感器的灵敏度比截面型的更低,但示值范围大,线性也较好,得到广泛应用。

3.1.4 自感式传感器的测量电路

1. 交流电桥式测量电路

图 3-4 所示为交流电桥测量电路,把传感器的两个线圈作为电桥的两个桥臂 Z_1 和 Z_2 ,另外二个相邻的桥臂用纯电阻代替。在起始位置时,衔铁处于中间位置,两边的气隙相等,两只线圈的电感量相等,电桥处于平衡状态,电桥的输出电压 $U_o = 0$ 。

当衔铁偏离中间位置向上或向下移动时,两边气隙不等,两只电感线圈的电感量一增一减,电桥失去平衡。电桥输出电压的幅值大小与衔铁移动量的大小成比例,其相位则与衔铁移动方向有关。假定向上移动时输出电压的相位为正,而向下移动时相位将反向 180° 为负。因此,如果测量出电压的大小和相位,就能决定衔铁位移量的大小和方向。对于高 Q 值 ($Q = \omega L/R$) 的差动式电感传感器,其输出电压为

$$\dot{U}_o = \frac{\dot{U}_{AC}}{2} \frac{\Delta Z_1}{Z_1} = \frac{\dot{U}_{AC}}{2} \frac{j\omega \Delta L}{R_0 + j\omega L_0} \approx \frac{\dot{U}_{AC}}{2} \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3-22)$$

式中: L_0 为衔铁在中间位置时单个线圈的电感; ΔL 为单线圈电感的变化量。

将 $\Delta L = L_0(\Delta\delta/\delta_0)$ 代入式(3-22)得

$$\dot{U}_o = \frac{\dot{U}_{AC}}{2} \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \quad (3-23)$$

可见电桥输出电压与 $\Delta\delta$ 有关。

2. 变压器式交流电桥

变压器式交流电桥测量电路如图 3-5 所示,电桥两臂 Z_1 、 Z_2 为传感器线圈阻抗,另外两桥臂为交流变压器次级线圈的 $1/2$ 阻抗。当负载阻抗无穷大时,桥路输出电压为

$$\dot{U}_o = \frac{Z_1 \dot{U}}{Z_1 + Z_2} - \frac{\dot{U}}{2} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \frac{\dot{U}}{2} \quad (3-24)$$

当传感器的衔铁处于中间位置,即 $Z_1 = Z_2 = Z$ 时,有 $\dot{U}_o = 0$,电桥平衡。

当传感器衔铁上移时,即 $Z_1 = Z + \Delta Z$ 、 $Z_2 = Z - \Delta Z$,此时

$$\dot{U}_o = \frac{\dot{U}}{2} \frac{\Delta Z}{Z} = \frac{\dot{U}}{2} \frac{\Delta L}{L} \quad (3-25)$$

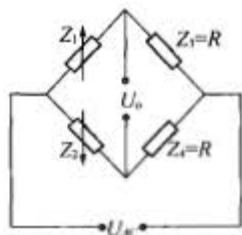


图 3-4 交流电桥测量电路

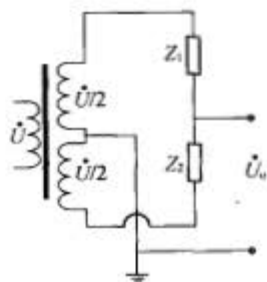


图 3-5 变压器式交流电桥