

直流伺服中的光学测速机

通过利用两相电机、制动杯形发电机及其它装置可以达到速度或位置伺服系统中的测速机反馈，但是对直传动装置来说一种途径（实际上它可在光电路公司PMI分公司找到）是光学测速机。测速机被用在伺服驱动装置中，以便测量输出件的转速、反馈一个信号，这对回路稳定（或对改善速度对输入电压的线性）是有益的。本文涉及在设计光学测速机时常遇到的某些关键问题。

尤其在代替普通模拟设备的光学测速机中得出的优点是：无刷子噪声、脉动较小、在电动机轴上惯性负载非常低并且分辨率可以通过沿着圆盘的圆周正确地刻上高密度线条达到很高（见图1.a）。在正常应用中刻上从500到5,000条线就可以了。在线条的圆阵列和光电晶体管或其它传感器之间装上一块有相等线条密度的光栅。产生信号的频率为

$$f = \frac{N \times (\text{RPM})}{60} = \frac{\omega N}{2\pi} \quad (1)$$

其中N是圆盘上的线条数。

在下面讨论时主要焦点是考虑反馈效用的波形输出、可能损害信号质量的几何因素及必须避免的其设计疑难。

圆盘的安装

当保持圆盘同心并成直角的时候，如果输出波形不给予外部调制。则电动机轴有两点主要的要求。偏心的安装产生频率调制、其成分叠加在准正弦的输出上。所谓“准”是指细分圆盘线所形成的增量脉冲所产生的真正正弦波形。正如图1.b所示，偏心安装的圆盘将有一个与其说运动的，不如说静止的中心，因此给出一个频率变化。与其同

时圆周围的线条通过传感器的孔径。在这些条件之下，如方程式1所示输出频率（用弧/秒表示）变为：

$$f = \frac{\omega N}{2\pi} \left[1 + \frac{\Delta r}{r} \cos \omega t \right] \quad (2)$$

其中 ω 是角速度， Δr 是 $(\text{TIR})/2$ ，而TIR是表示总的偏转（偏心率）。

方程式2表示，准正弦的零位围绕着圆盘周围与偏转总值或偏心率误差有关系地加速或延迟。如果 Δr 为零，则方程式2简化为方程式1。在附加方框中给出方程式2的推导。

偏心率也产生圆盘线条上下运动，当这些线条通过传感器的瞄准线时，成为传感器照明交变为每转一次的频率的原因，因此一些调幅的噪声附加于输出中。

除高精度圆盘的安装外，这些问题可以通过在第一个传感器对面装上另一个传感器真正地克服。合成输出的相加本质上消除偏转（调频FM）效应和上下效应（调幅AM）（参看方框）。

冲击颤动

在颤动图解（图1.c）上显而易见，因为斜装圆盘引起的在光栅和圆盘之间的距离变化由于传感器照明的变化产生一个“一圈”调幅分量。

对信号污染的这种形状的矫正之一，是必须在电动机轴上装一个衬套，并且机器在接上圆盘之前校准。类似于对TIR（偏心率）消除所推荐的双光学发送器将帮助补偿由于颤动引起的调幅。

因此，信号质量的主要决定因素看来是圆盘在电动机轴上的安装，以达到高度的同

度与正交性。

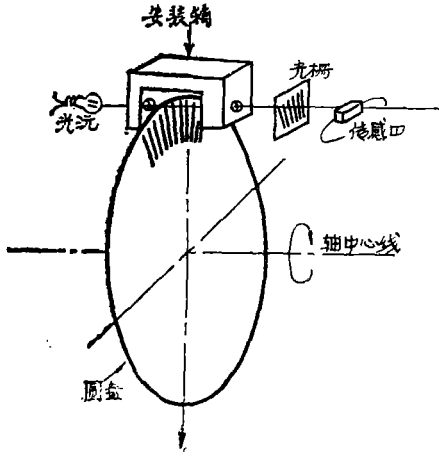


图1.a

在正常使用光学测速机时可以沿着圆盘的圆周刻下从500—5,000条线,以得到直流电动机速度反馈所要求的精度。

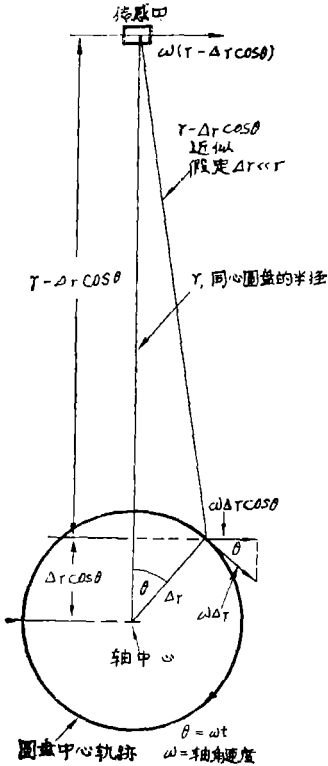


图1.b

离开中心安装的圆盘与其说将有一个动的,不如说静止中心,因此,给与速度连续地变化,在这种速度时其圆周线通过传感器的孔径。

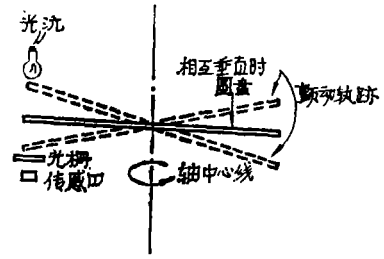


图1.c

当光学测速机的圆盘安装得不垂直于(在接近公差内)旋转轴的时候,圆盘和光栅之间距离变化将在其输出端产生调幅分量。

信号处理

由光学测速机产生的准正弦波形当作直流电动机的控制反馈可以放大或用各种方法处理,例如,变换到TTL适合的矩形波(见图1.d)因为传感器输出电平的范围从几毫伏到几百(具有几千欧姆输出阻抗),电动机发送器闭合来尽量避免噪声而作出任何处理是合理的。如果只要放大信号,考虑到传感器衰减(rolloff),提供足够的带宽是重要的,以使用高转/分处理信号。

例如,2000转/分的一个5000条线圆盘的输出频率为

$$f = \frac{N \times (\text{转/分})}{60} = \frac{5000 \times 2000}{60} = 166 \text{ 千赫兹}$$

用一个典型传感器(在几十千赫兹时它的衰

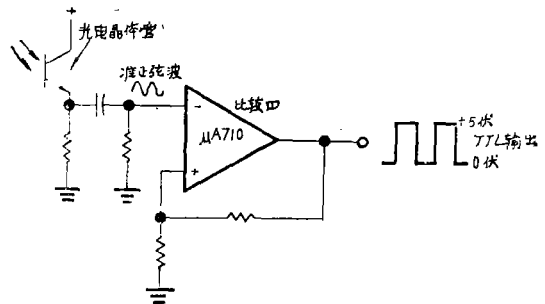


图1.d

如果需要作伺服设计,把一个光学测速机的准正弦输入变换成TTL兼容性的矩形波可以通用所示出的比较器电路来达到。

减3分贝), 166千赫兹信号将比低频时小得多。解决办法是必须应用如图2.a上一种运算放大器, 所以要减小限制带宽的传感器的内部电容。

用一个如前所示的电路可以达到使传感器的输出准正弦变换到兼容性TTL的5伏峰值矩形波。除非性能要求包括通过很低的频率或者所要求直接读出包含的电子装置是比较简单。在这种情况下用直流耦合光学装置, 去掉抑制低频的传输耦合电容器。用同样光源照明所修正的电路(图2.b示出第二个光电晶体管)是通过把它连接到另一个比较器的输入来使用的。为了从同样光源得到能量, 光电晶体管 Q_1 和 Q_2 紧密插在一起(Q_1 在光栅划线部分之下面, 而 Q_2 在光栅透明部分之下)。交流信号只出现在 Q_1 上, 而直流部分出现在 Q_1 和 Q_2 两个的上面。为了扩大在发射极 Q_2 上的电位(与在 Q_1 发射极上的电位相等), 选用电阻 R_2 在 Q_1 上交流分量使比较器在正常情况下为开关状态。

图2.c示出发射极电位不同的图将影响比较器的性能。第二行示出, 当光源能量变化的时候, Q_2 输出直流电压降比正常工作第一行 Q_2 低。直到 Q_2 发射极上电压降足够低(第三行)防止由于比较器转换 Q_1 输出的交流分量, 对称的总损耗不相当严重。

光电晶体管必须成对匹配, 因为它们是非线性的。灯的老化或电源电压的变化不会产生困难。但是灯泡的机械位移(特别用窄束光源)将造成麻烦。在光发射二极管(LED)上钨丝光源占优先, 其照明的窄圆锥体可以在直流耦合的光学装置产生对称问题。二极管的长寿命优点可以在降低电压工作的钨丝灯泡来弥补。在用串联小电阻, 标准5伏(限制着, 以避免过份的调节)可以达到50,000多小时(5.5年)。

光学测速机在伺服设计中的许多应用, 非平凡的一项包含测速机的输出(对基准振荡器的相位锁定)。通过应用一个高精度的基准振荡器(大约为百分之一), 超精度的速度

控制可因在振荡器和转速输出之间周期同步而达到。

偏心率分析的光学

测速机的圆盘:

为了导出本文中方程式2, 在邻近图中附注, 测速机电输出频率 f 随圆盘中心围绕着电动机轴中心作圆周运动而周期地变化。测速机输出的周期 T 可用下式表示:

$$T = \frac{d}{v} = \frac{\text{线条之间间隔}}{\text{通过传感器的线性速度}} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

用相等的间隙线条, 在正确的同心情况下线条中心之间距离 d 将是 $d = 2\pi r/N$, 其中 N 是线条数而 r 是相当于中心圆盘的旋转半径。但在下面讨论离开中心的情况, 围绕轴中心的圆盘中心旋转半径(从图上看 $\omega r \cos\theta$)影响线条间隔, 似乎间隙准确地变化:

$$d = \frac{2\pi(r - \Delta r \cos\theta)}{N} \quad (4)$$

因此输出频率得到调频分量 $f = \frac{1}{T} = \frac{v}{d}$

$$= \frac{\omega r N}{2\pi(r - \Delta r \cos\omega t)} \quad (5)$$

要注意, 因为偏转半径 Δr 比起 r 是那么小, 实际上通过传感器的线性速度 v 仍然没有影响。用 r 除方程式(5)的右边一项并展开级数给出

$$f = \frac{\omega N}{2\pi} \left[1 + \frac{\Delta r}{r} \cos\omega t + \left(\frac{\Delta r}{r} \cos\omega t \right)^2 + \dots \right] \quad (6)$$

同时忽略高次项给出方程式2

在如本文所述分别以 180° 装上双传感器的情况下, 值得注意, 谐波含量因此大大地减少, 因为由只有一个传感器产生的调频被变化到插入第二个传感器的调幅(同于第一个, 用类似论证, 频率等于

$$f_{180} = \frac{\omega N}{2\pi} \left[1 - \frac{\Delta r}{r} \cos\omega t \right] \quad (7)$$

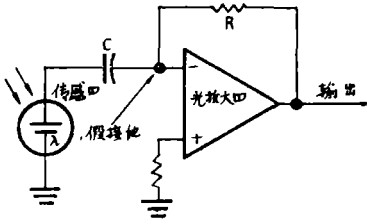


图2.a

通过把传感器运用到光放大器，把限制带宽的机内光电晶体管的电容短路，得到比较平坦的频率响应。

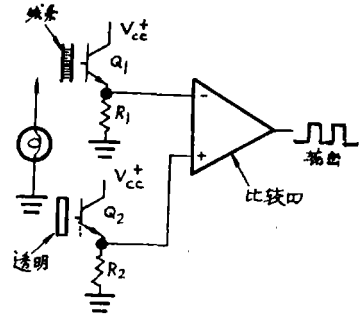


图2.b

为了改进低频传送到 TTL 适合的电路，必须要求把两个光电晶体管直接连接到比较器。参看本文。

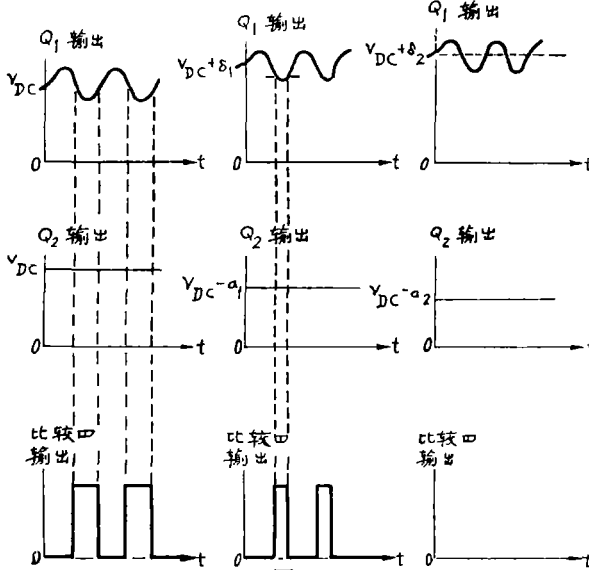


图2.c

比较器的工作图示在双光电晶体管的发射极上直流电位不等将产生对 TTL 输出的实际损耗点的对称损害。

符号的变化是由于把第二个传感器装在圆盘的反面上(见图)引起的，因此，当对一个传感器偏转使半径 r 减少到 $(r - \Delta r \cos \theta)$ ，要求另一个传感器为 $(r + \Delta r \cos \theta)$ 。

为了看到合成的两个传感器输出如何组合产生调幅，要考虑到，在一周内调制频率 f 等于那周内正弦曲线相位角变化（相当于频率变化的时间积分）。完成两种频率的这种积分，得出：

$$\begin{aligned} \phi_1 &= -\frac{N\Delta r}{2\pi r} s \sin \omega t, \text{ 和} \\ \phi_2 &= +\frac{N\Delta r}{2\pi r} s \sin \omega t \end{aligned} \quad (8)$$

当通过负和正正弦式地改变大小相等的相角对称的变化时，那么两个传感器的电压输出便可以用基本同心圆盘的频率项表示，以包含偏心率：

$$\begin{aligned} e_1(t) &= E_1 \cos \left[\frac{\omega N}{2\pi} t - \frac{N\Delta r}{2\pi r} s \sin \omega t \right] \text{ 和} \\ e_2(t) &= E_2 \cos \left[\frac{\omega N}{2\pi} t + \frac{N\Delta r}{2\pi r} s \sin \omega t \right] \end{aligned} \quad (9)$$

任意地选择余弦式，当两个正弦式联立的时候产生较简单式子：

$$e_1(t) + e_2(t) = E \left\{ \cos \left[\frac{\omega N}{2\pi} t - \phi \right] \right\}$$

$$+ \cos \left[\frac{\omega N}{2\pi} t + \phi \right] \} \quad (10)$$

其中 $\phi = \frac{N\Delta r}{2\pi r} \sin \omega t$, 而是合成峰值电压。

运用 $\cos A + \cos B$ 和 $\sin^2 A$ 的三角恒等式, 用近似 $\cos X$ 到 $1 - X^2/2$ (余弦级数的头两项) 并假定 $\Delta r \ll r$ 得出:

$$e_1(t) + e_2(t) = 2E \left[1 + \left(\frac{N\Delta r}{2\pi r} \right)^2 \frac{\cos^2 \omega t}{4} \right] \cos \frac{\omega N}{2\pi} \cdot t \quad (11)$$

方程式(11)是一个被调幅的信号, 双传感器的合成输出 (有比被调制信号的两个频率的任一个小的谐波含量) 是由这信号合成导出的。注意, 调幅分量两倍于圆盘的旋转频率。同样注意到, 调幅分量是极小的, 给出 $\Delta r \ll r$ 。

译自 "Control engineering"
vol.21, No 1, 1974,
p.56.