

传感-作业2-彭程-2020011075

3-4 用半桥电路差动检测悬臂梁自由端的振动时，上下两个应变片连接在R1和R2处，和连接在R1和R3处有何不同？用公式推导说明。

注意到 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} = n$ ，当应变片连接在 R_1 、 R_2 处时，有

$$\begin{aligned} e_1 &= \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) E \\ &= \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 - \Delta R_1} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) E \\ &= \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) E \\ &= \frac{\Delta R_1}{R_1} \frac{1}{1+n} E \end{aligned}$$

当 $n=1$ 时，取得最大灵敏度 $e_1 = \frac{1}{2} \frac{\Delta R_1}{R_1} E$

当应变片连接在 R_1 、 R_2 处时，有

$$\begin{aligned} e_2 &= \left(\frac{R_1 + \Delta R}{R_1 + \Delta R + R_2} - \frac{R_3 - \Delta R}{R_3 - \Delta R + R_4} \right) E \\ &= \left(\frac{R_1 + \Delta R}{(1+n)R_1 + \Delta R} - \frac{R_3 - \Delta R}{(1+n)R_3 - \Delta R} \right) E \\ &= \left(\frac{n\Delta R(R_1 + R_3)}{[(1+n)R_1 + \Delta R][(1+n)R_3 - \Delta R]} \right) E \end{aligned}$$

当 $n=1$ 时，取得最大灵敏度 $e_2 = \left(\frac{\Delta R(R_1 + R_3)}{[2R_1 + \Delta R][2R_3 - \Delta R]} \right) E$

根据所得公式可知，当应变片连接在 R_1 、 R_2 处时为线性关系，当应变片连接在 R_1 、 R_2 处时为非线性关系。另一方面，当应变片连接在 R_1 、 R_2 处时可以起到温度补偿的作用，具有更高的灵敏度。

3-7 为什么说变极距式差动电容位移测量比单电容局部线性位移测量的线性度还要好？

$$\begin{aligned} \Delta C &= \frac{\epsilon A}{d_0 - \Delta d} - \frac{\epsilon A}{d_0 + \Delta d} \\ &= C_0 \left(1 + \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \dots \right) - C_0 \left(1 - \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 - \dots \right) \\ &= C_0 \left(2 \frac{\Delta d}{d_0} + O \left(\left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 \right) \right) \end{aligned}$$

对单电容局部线性位移测量应用泰勒展开，有

$$\begin{aligned}
\Delta C &= \frac{\epsilon A}{d_0 + \Delta d} - \frac{\epsilon A}{d_0} \\
&= C_0 \left(\frac{\Delta d}{d_0} - \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \dots \right) \\
&= C_0 \left(\frac{\Delta d}{d_0} + O \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right) \right)
\end{aligned}$$

比较可知, 变极距式差动电容位移测量方式系数更大, 且无穷小项阶次更高, 因而非线性误差更小, 线性灵敏度更高。

4-9 闭环式加速度测量的灵敏度是否与弹簧弹性系数有关? 开环检测呢? 分别写出其测量灵敏度的表达式。

根据 PPT 推导过程, 伺服式 (闭环) 加速度测量方法满足

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = -S_f i - m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

其中 $i = S_d S_s y$, $S_f = BL$

上式可表示为

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = -\frac{d^2 x}{dt^2}$$

其中

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{S_d S_s S_f}{m} + \frac{k}{m}}, \zeta = \frac{c}{2m\omega_0}$$

加速度计工作状态为

$$y = -\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 x}{dt^2}$$

因而 \ddot{x} 输出灵敏度为

$$S_{U_0} = \frac{U_0}{\ddot{x}} = \frac{-mR}{S_f} \frac{1}{1 + k/(S_d S_s S_f)}$$

由于一般满足 $S_d S_s S_f \gg k$, 因而 $S_{U_0} \approx \frac{-mR}{S_f}$, 可近似认为加速度测量的灵敏度与劲度系数无关。开环情况下, 同理可知因而 \ddot{x} 输出灵敏度为

$$\begin{aligned}
S_{U_0} &= \frac{-mR}{S_f} \frac{1}{k/(S_d S_s S_f)} \\
&= \frac{-mR S_d S_s}{k}
\end{aligned}$$

因此开环时, 加速度测量的灵敏度与弹簧弹性系数有关。

4-10 用固有频率为2000Hz, 衰减比为0.5的加速度检测仪, 分别检测1200Hz的振动加速度和400Hz的振动加速度, 比较两种情况下加速度检测的系统误差的大小。

400Hz 情况下加速度检测的系统误差更小。

根据 PPT 推导过程，加速度检测输出幅值满足：

$$y = \frac{A \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

当 $\omega \ll \omega_0$ 时，支点加速度检测幅值满足

$$y = A \frac{\omega^2}{\omega_0^2}$$

因此，

- 当 $\zeta = 0.5, \omega_0 = 2000Hz, \omega = 1200Hz$ 时：计算得 $y_1 = 0.41A, y_2 = 0.36A$ ，误差 $\Delta E = 12.3\%$
 - 当 $\zeta = 0.5, \omega_0 = 2000Hz, \omega = 400Hz$ 时：计算得 $y_1 = 0.0408A, y_2 = 0.04A$ ，误差 $\Delta E = 2.0\%$
- 因此 400Hz 情况下加速度检测的系统误差更小。

5-2 填空：

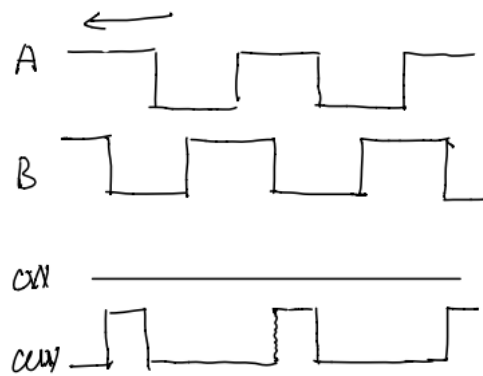
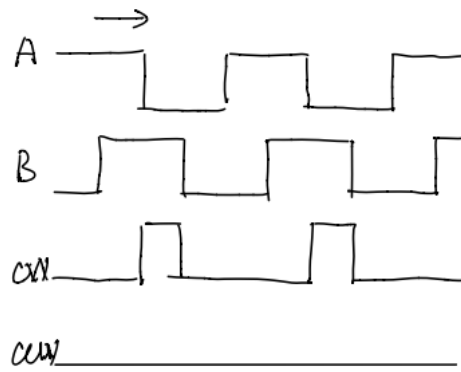
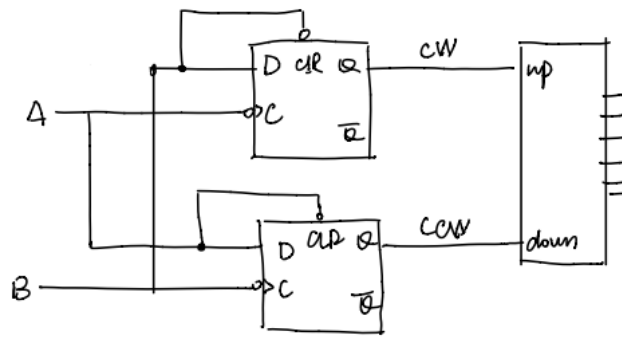
光栅标尺由栅距同为P的（主尺）和（副尺）构成。

光电传感器检测透过两窗口的光强，理想输出波形是（平滑的三角）波形。

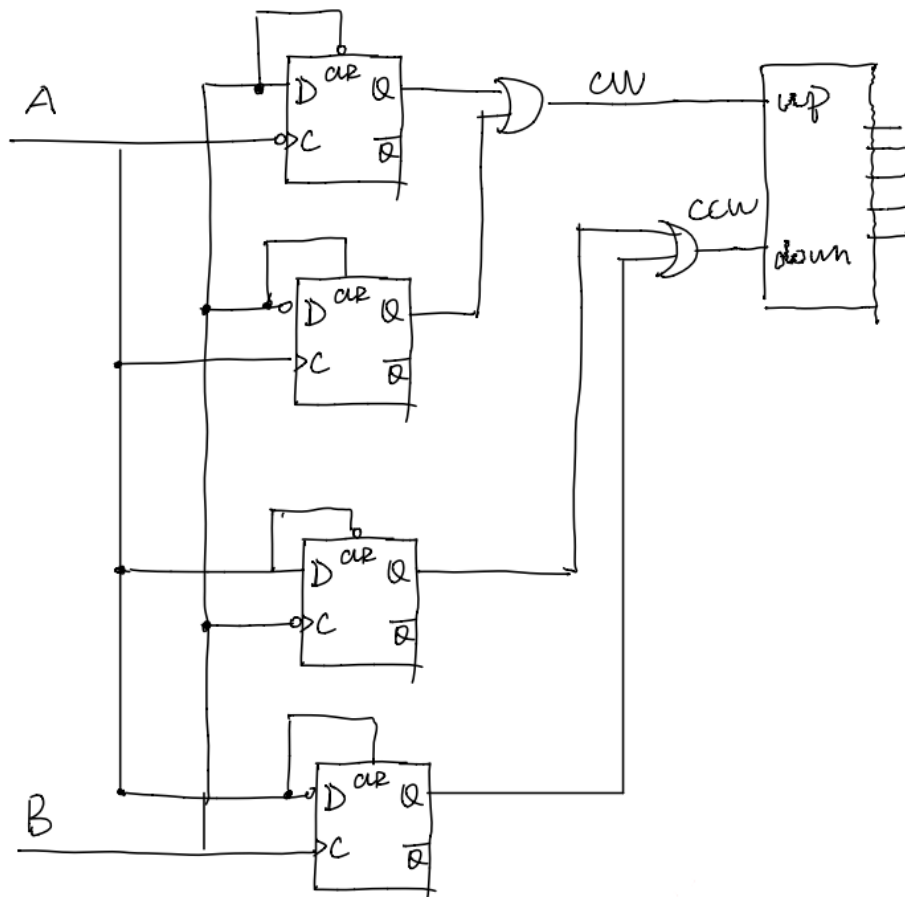
A相和B相传感器面对的窗口相距（ $\frac{1}{4}$ ）个栅距，输出信号相差（ $\frac{\pi}{2}$ ）rad。

5-4 利用D触发器和A、B相传感器脉冲输出，设计鉴向电路，并绘制鉴向时序图。为得到栅距1/2倍和1/4倍的测量分辨率，应如何设计电路？

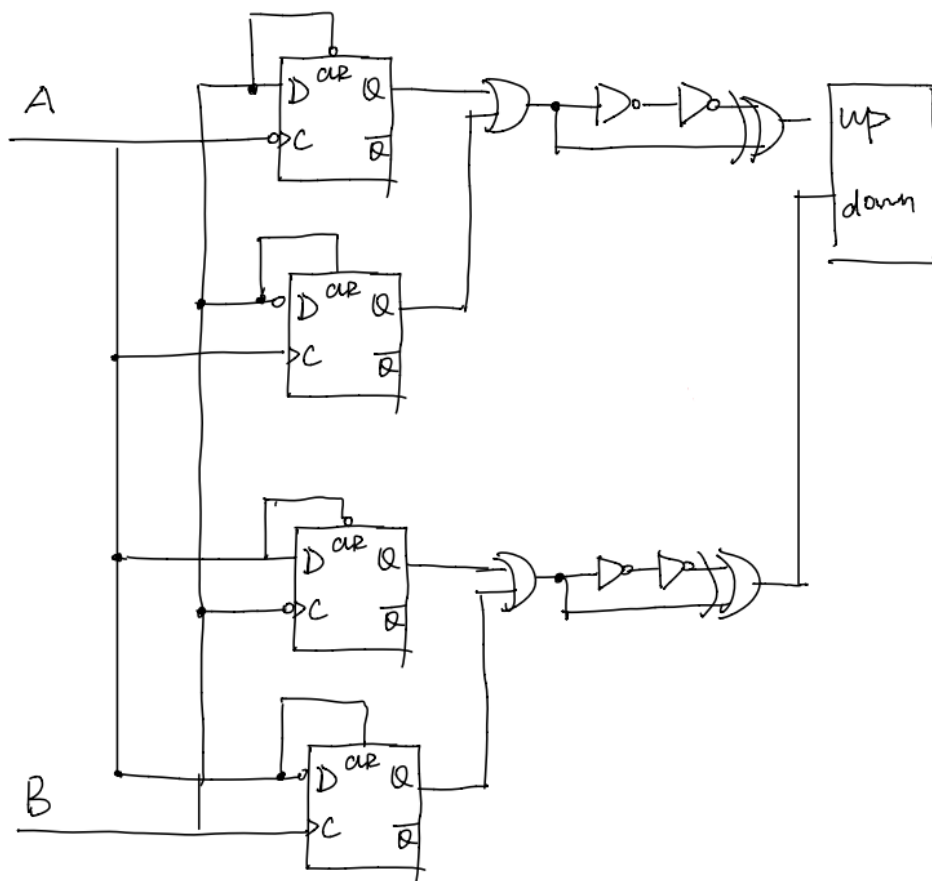
鉴向电路：



1/2测量分辨率电路：



1/4测量分辨率电路:



5-5 设动态磁栅标尺的磁极距离为0.2mm，磁标尺总长为3m，位移测量的标准测量不确定度为0.002mm。问传感器输出电压的分辨率至少应为多少Vpp，才能达到0.002mm的测量不确定度？

由于动态磁栅标尺的磁极距离为 0.2 mm , 故输出电压变化一个周期时, 对应的位移量为 0.2 mm 。因此需满足:

$$\frac{2V_{PP}}{\Delta V_{PP}} \geq \frac{0.2 \text{ mm}}{0.002 \text{ mm}}$$

$$\text{即 } \Delta V_{PP} \leq \frac{V_{PP}}{50}$$