

电容式传感器



本章目录

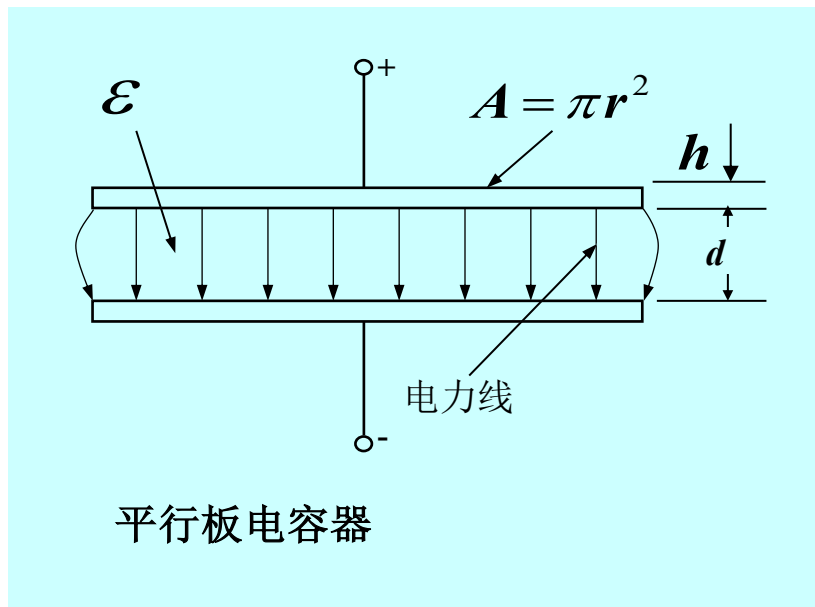
1 工作原理和结构

2 杂散电容的影响及其解决思路

3 测量电路

4 动态特性

1 工作原理和结构



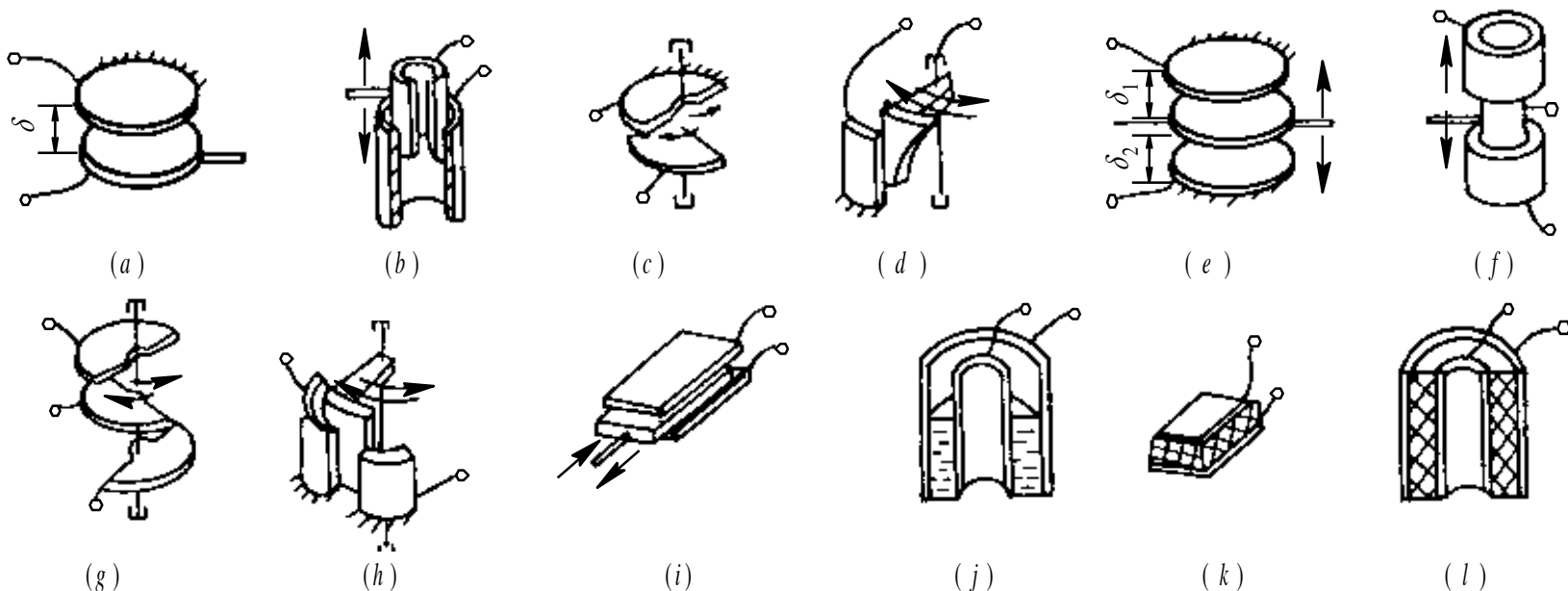
由绝缘介质分开的两个平行金属板组成的平板电容器, 如果不考虑边缘效应, 其电容量为:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

电容器的原理

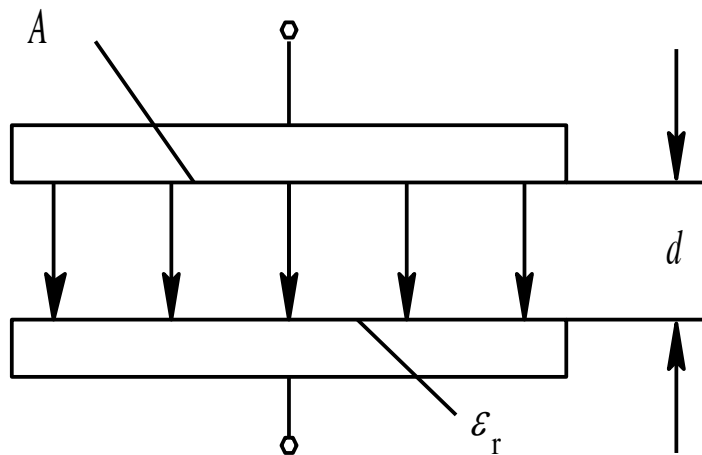
- 电容器：一个正极，一个负极，中间夹着一大块介电质(dielectric)。
- 介电质是指介电常数(dielectric constant)很高，类似于绝缘体，对于电子的“阻力”很大的物质。
- 于是电子需要很大的电压给它足够的能量才能通过介电质。电子被“推”进介电质中，数量很多但是又不至于击穿这个绝缘体，于是“进退不得”地被储存在介电质当中。

1 工作原理和结构：结构型传感器



- 电容值是电场的几何特征(极板的形状、大小和相对位置)以及电场介质特征(介电常数)的集中体现。
- 被测量 x 与电容之间的联系是通过电容的几何参数或介质参数来实现的。
- 电容传感器的结构决定了被测量与电容之间的函数关系。
- 改变 A 、 d 、 ϵ 三个参量中的任意一个量，均可使平板电容的电容量 C 改变。固定三个参量中的两个，可以做成三种类型的电容传感器。

1.1 变极距型电容传感器



●基本问题：

电容式传感器的电容值多在**pF**级

在极板的几何尺寸远大于极间距离和介质均匀的条件下，即忽略边缘效应后，其电容与结构尺寸之间的关系为：

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

ϵ ：板级间介质的介电常数

ϵ_r ：板级间介质的相对介电常数

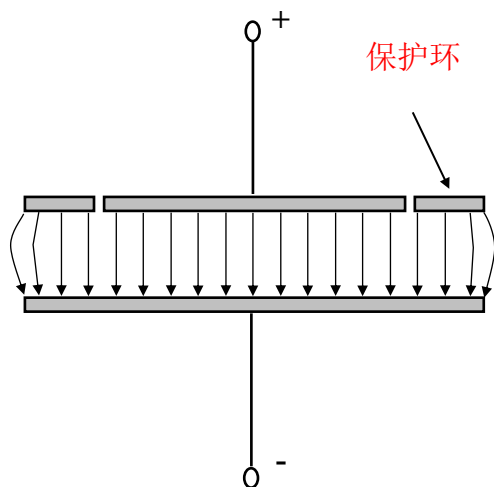
ϵ_0 ：真空中的介电常数($8.85 \times 10^{-12} \text{ C/Nm}^2$)

A ：板级的面积

d ：板级间的距离

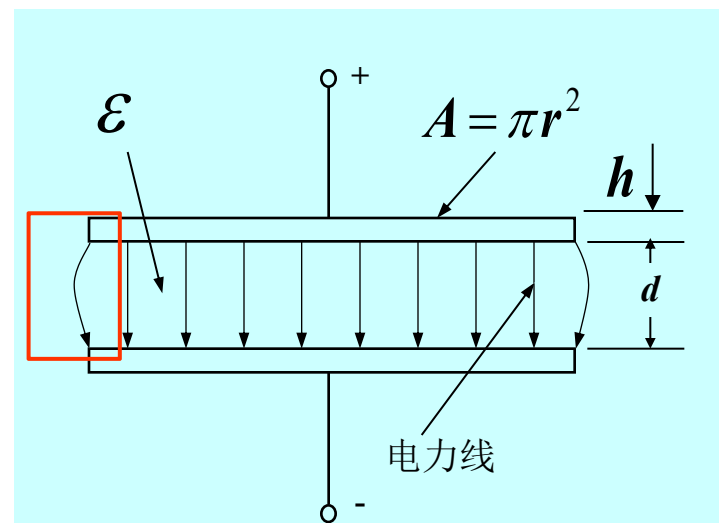
1.1 变极距型电容传感器

使用保护环减小边缘效应。



带保护环的平行板电容器

边缘效应

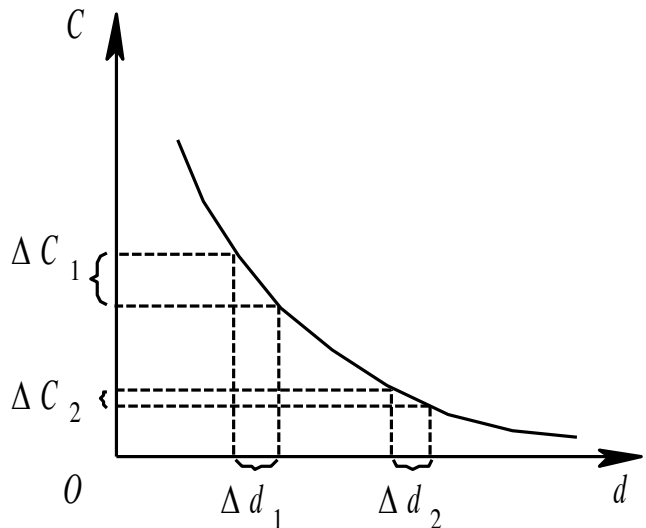


平行板电容器

1.1 变极距型电容传感器：灵敏度与非线性

$$\because C_0 = \frac{\varepsilon A}{d_0} = \frac{\varepsilon A}{d_0 \left(1 - \frac{\Delta d}{d_0}\right)}$$

$$\therefore \frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left[\frac{1}{1 - \frac{\Delta d}{d_0}} \right]$$



$$|\Delta d / d_0| \ll 1$$

$$\frac{\Delta c}{c_0} \approx \frac{\Delta d}{d_0} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right) + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^3 + \dots \right]$$

略去高次项, 得到近似的线性：

$$\frac{\Delta c}{c_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \quad |\Delta d / d_0| \ll 1$$

电容传感器的灵敏度为：

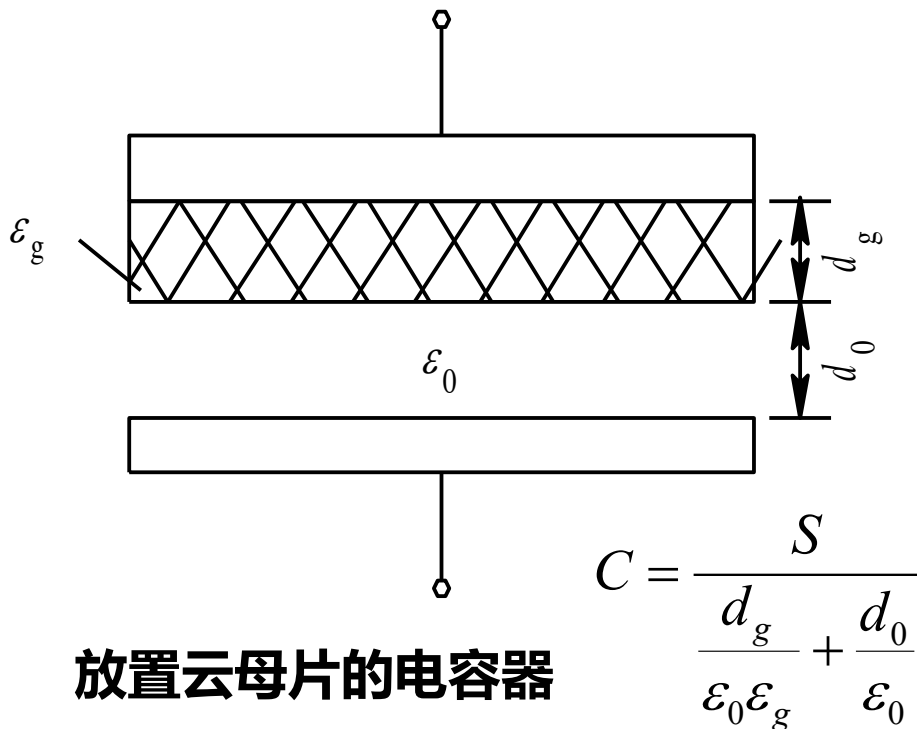
$$K = \frac{\frac{\Delta C}{C_0}}{\Delta d} = \frac{1}{d_0}$$

对灵敏度的说明

- 一般变极板间距离电容式传感器的起始电容在 **20 ~ 100pF**之间, 极板间距离在**25 ~ 200 μm** 的范围内, 最大位移应小于间距的1/10, 故在微位移测量中应用最广。

- 小的间距可提高传感器灵敏度。但间距过小, 容易引起电容器击穿或短路。为此, 极板间可采用高介电常数的材料 (云母、塑料膜等) 作介质。

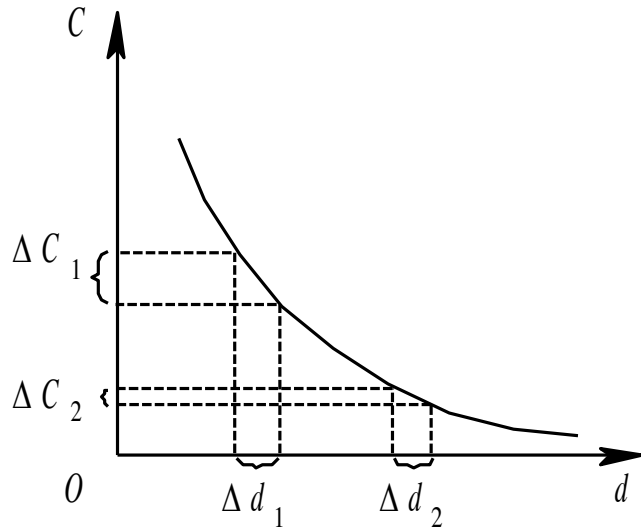
- 云母片的相对介电常数是空气的7倍, 其击穿电压不小于**1000 kV/mm**, 而空气的仅为**3kV/mm**。因此有了云母片, 极板间起始距离可大大减小。



对非线性误差的说明

$$\frac{\Delta c}{c_0} \approx \frac{\Delta d}{d_0} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right) + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^3 + \dots \right]$$

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left(1 + \frac{\Delta d}{d_0} \right)$$

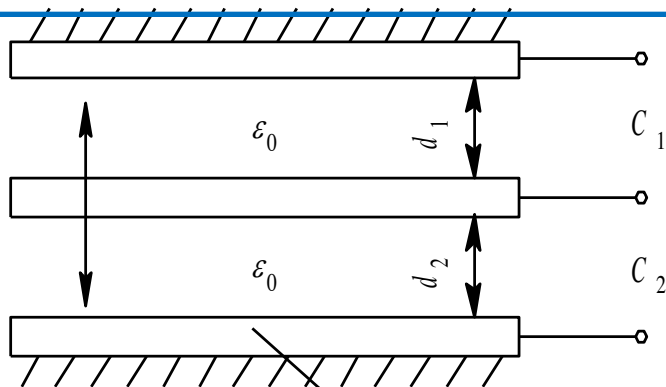


传感器的相对非线性误差 δ 为：

$$\delta = \frac{(\Delta d/d_0)^2}{|\Delta d/d_0|} = \left| \frac{\Delta d}{d_0} \right| \times 100\%$$

要提高灵敏度，应减小起始间隙 d_0 ，但非线性误差却随着 d_0 的减小而增大。

通过差动结构减少非线性误差



差动平板式电容传感器结构图

在差动式平板电容器中，当动极板位移 Δd 时，电容器 C_1 的间隙 d_1 变为 $d_0 - \Delta d$ ，电容器 C_2 的间隙 d_2 变为 $d_0 + \Delta d$ ，则

$$C_1 = C_0 \frac{1}{1 - \Delta d / d_0}$$

$$C_2 = C_0 \frac{1}{1 + \Delta d / d_0}$$

在 $\Delta d / d_0 \ll 1$ 时，按级数展开得

$$C_1 = C_0 \left[1 + \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^3 + \dots \right]$$

$$C_2 = C_0 \left[1 - \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 - \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^3 + \dots \right]$$

电容值总的变化量为

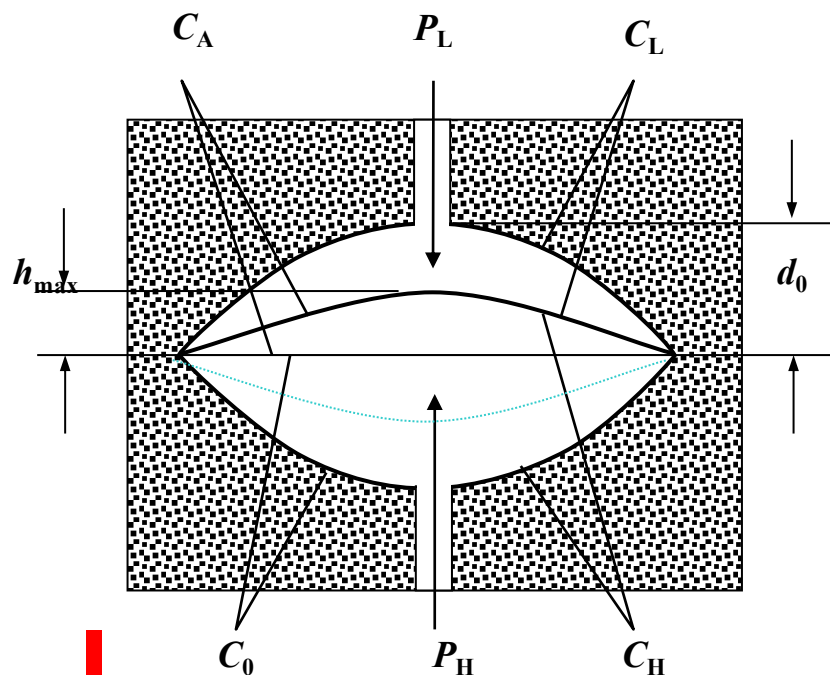
$$\Delta C = C_1 - C_2$$

$$\boxed{=} 2C_0 \left[\frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^3 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^5 + \dots \right]$$

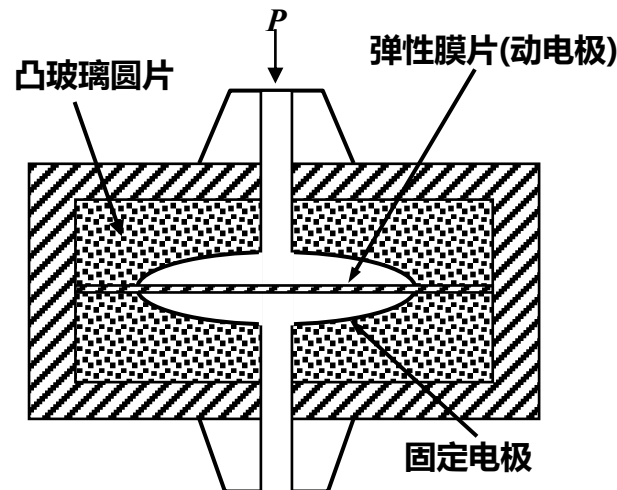
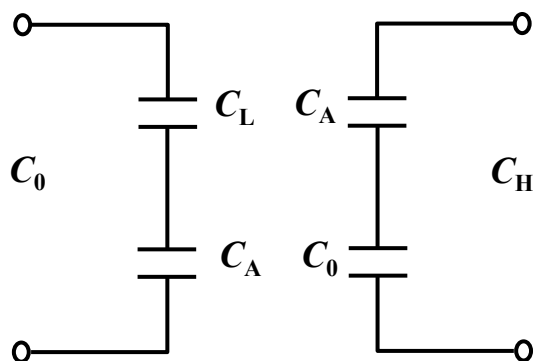
灵敏度得到一倍的改善

线性度得到改善

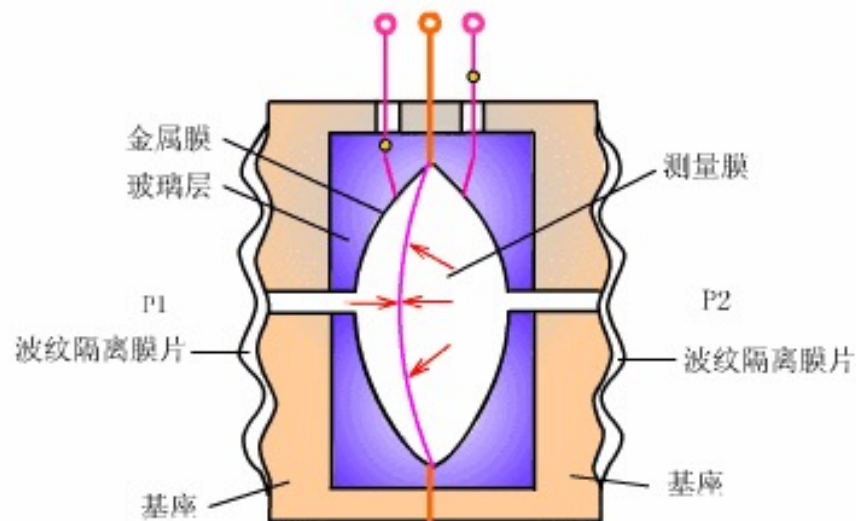
实例：球、平面型差动电容压力传感器



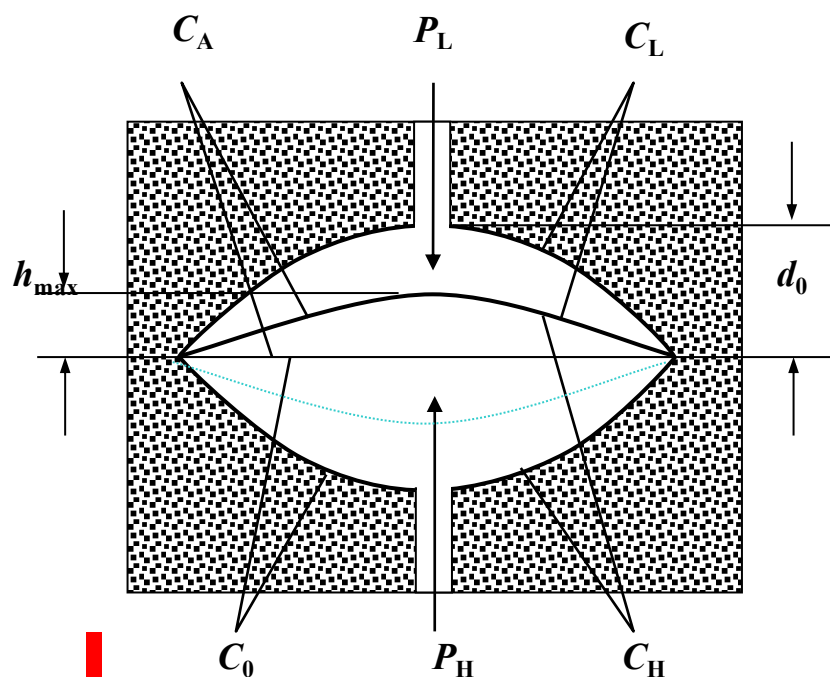
等效电路



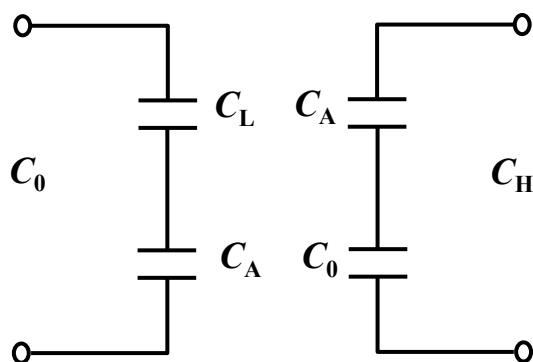
差动电容式差压传感器



实例：球、平面型差动电容压力传感器



等效电路



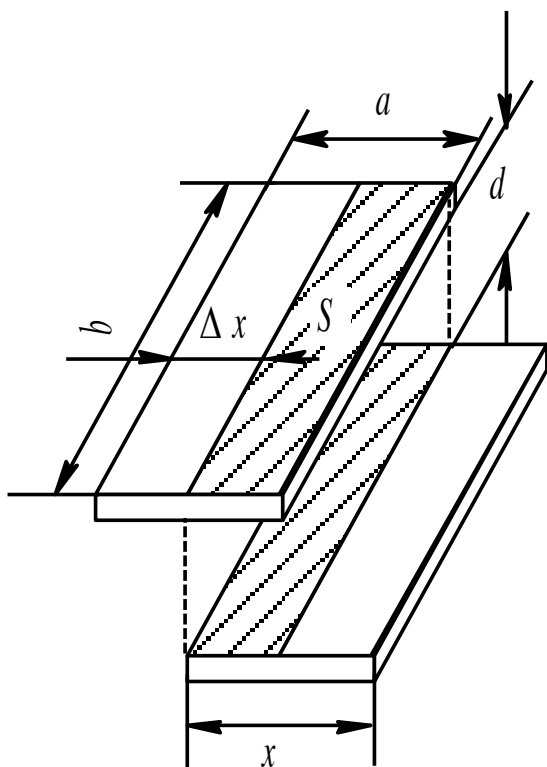
- $P_H = P_L$ 时中心膜片处于平直状态，膜片两侧电容均为 C_0 ；
- $P_H > P_L$ 时，中心膜片上凸，上部电容为 C_L ，下部电容为 C_H 。
- C_H 相当于当前膜片位置与平直位置间的电容 C_A 和 C_0 的串联；而 C_0 又可以看成是膜片上部电容 C_L 与的 C_A 串联。

$$C_0 = \frac{C_A C_L}{C_A + C_L} \Rightarrow C_L = \frac{C_A C_0}{C_A - C_0} ;$$

$$C_H = \frac{C_A C_0}{C_A + C_0}$$

$$\frac{C_L - C_H}{C_L + C_H} = \frac{C_0}{C_A} = \frac{\Delta d}{d_0}$$

1.2 变面积型电容式传感器

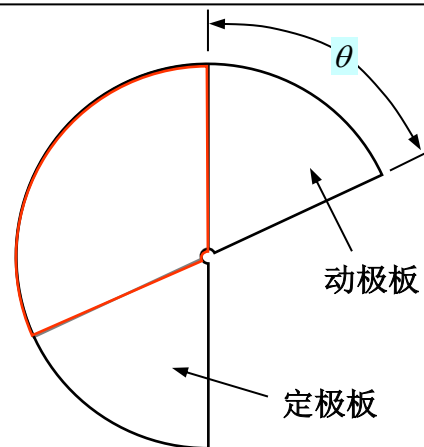


平移 Δx 时，则电容变化量为

$$\Delta C = C - C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r \Delta x \cdot b}{d}$$

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta x}{a}$$

C 与水平位移 Δx 呈线性关系。



平板电容式角位移传感器

$$\theta = \theta_0 = 0 \text{ 时, } C_0 = \frac{\varepsilon A}{d}。$$

$\theta \neq 0$ 时，板级间的的相对面积为：

$$A_1 = A \left(1 - \frac{\theta}{\pi} \right)$$

$$C_1 = \frac{\varepsilon A_1}{d} = \frac{\varepsilon A \left(1 - \frac{\theta}{\pi} \right)}{d}$$

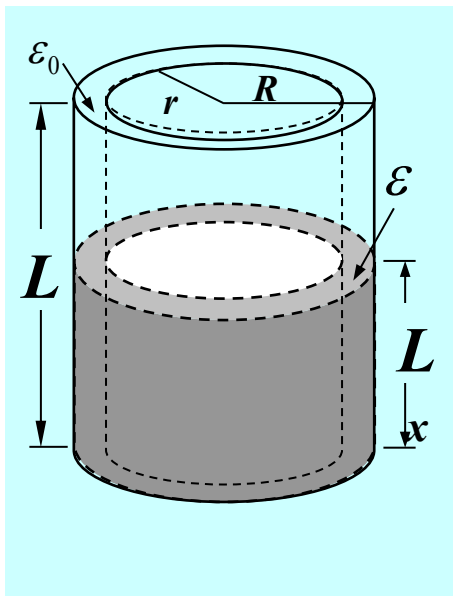
$$= C_0 \left(1 - \frac{\theta}{\pi} \right) = C_0 - \Delta C$$

C_1 (ΔC) 与 θ (角位移) 成线性关系

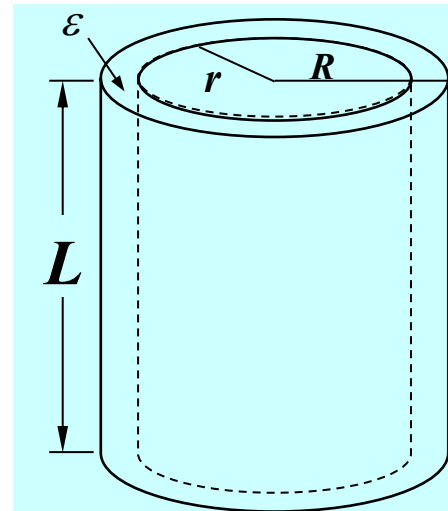
1.3变介电常数型电容传感器--测量液位

●两个覆盖长度为 L 而半径分别为 R 和 r 的同轴圆筒，在 $L \gg (R-r)$ 条件下，其电场的边缘效应可以忽略。

●该同心圆筒形电容器的总电容 C 是空气电容和液位电容并联。



$$C = \frac{2\pi}{\ln \frac{R}{r}} [\varepsilon L_x + \varepsilon_0 (L - L_x)] = \frac{2\pi}{\ln \frac{R}{r}} [(\varepsilon - \varepsilon_0) L_x + \varepsilon_0 L]$$



$$C = \frac{2\pi\varepsilon L}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r L}{\ln \frac{R}{r}}$$

ε : 板级间介质的介电常数

ε_r : 板级间介质的相对介电常数

ε_0 : 真空中的介电常数

r : 内筒外半径

R : 外筒内半径

L : 筒长

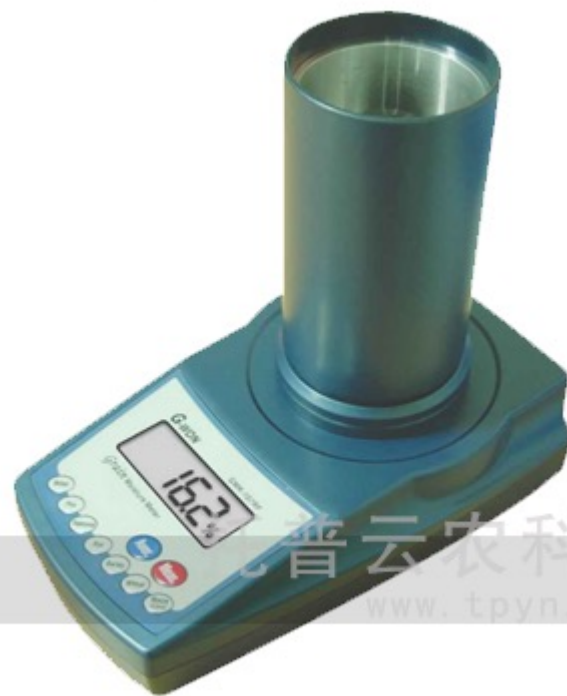
1.3变介电常数型电容传感器--测量水份

- 谷物收获时一般含水率较高，容易造成谷物发热、发酵、变质和发芽率下降。为了确保谷物安全贮存，必须将收获后的谷物及时干燥，将谷物水分降至安全贮藏标准。

- 利用水的介电常数远高于谷物介电常数的特性来测定谷物含水率。

- 测量原理：水的相对介电常数是空气的82倍，故以水为介质的电容器对水的变化非常敏感。

- 测量时相当于三个电容并联：分别是空气、水份和固体。



$$C = C_1 + C_2 + C_3 = \frac{4\pi\epsilon_0 L}{\ln(R/r)} [(1-k) + \epsilon_r k + \epsilon_{rH} k \omega_H]$$

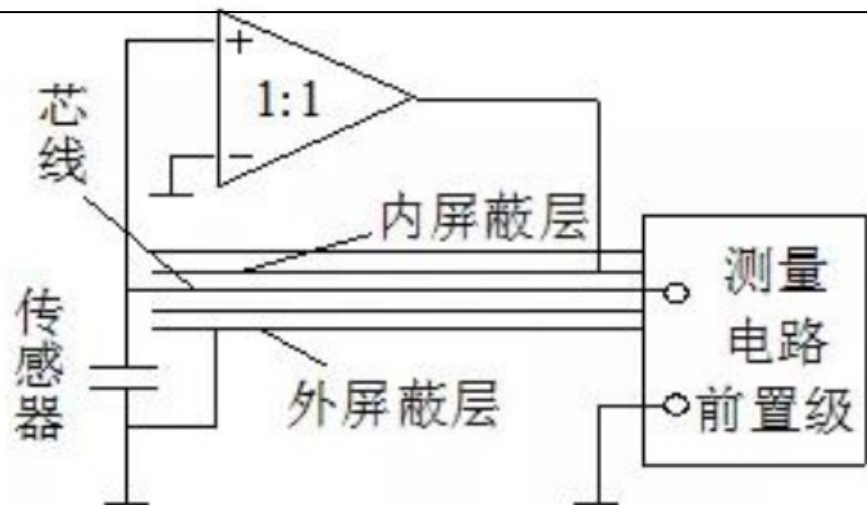
ϵ_r 被测物自身介电常数

ϵ_{rH} 水的相对介电常数

ω_H 物体的含水量

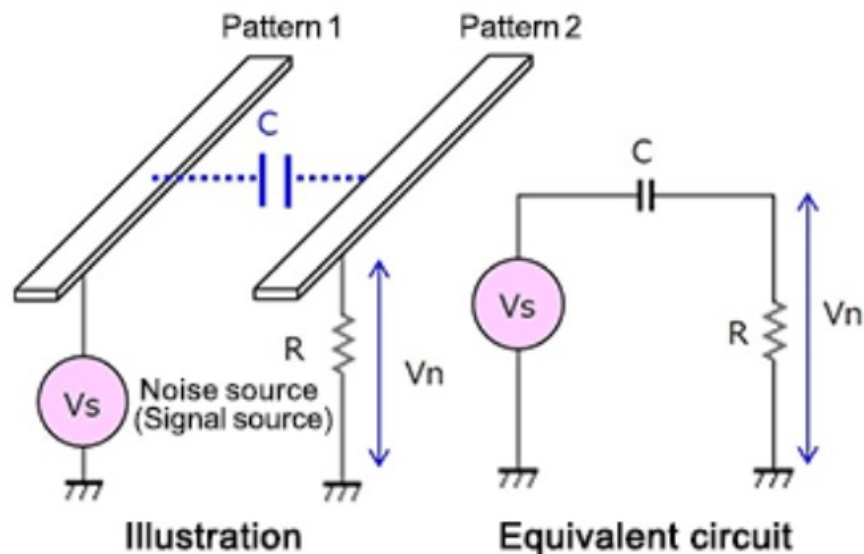
当 $k=L_x/L$ 不变时，电容的变化正比于 ω_H 的大小。

2 杂散电容的影响及其解决思路：驱动电缆



- 信号线和内层屏蔽之间存在杂散电容。
- 使得内屏蔽层与芯线等电位，但又是通过单位增益的运算放大器相连接的而互不影响的。
- 由于两端电位相等，芯线和内层屏蔽层之间的杂散电容表现为即**不吸收电荷也不释放电荷**，对电容传感器 C_x 没有影响。

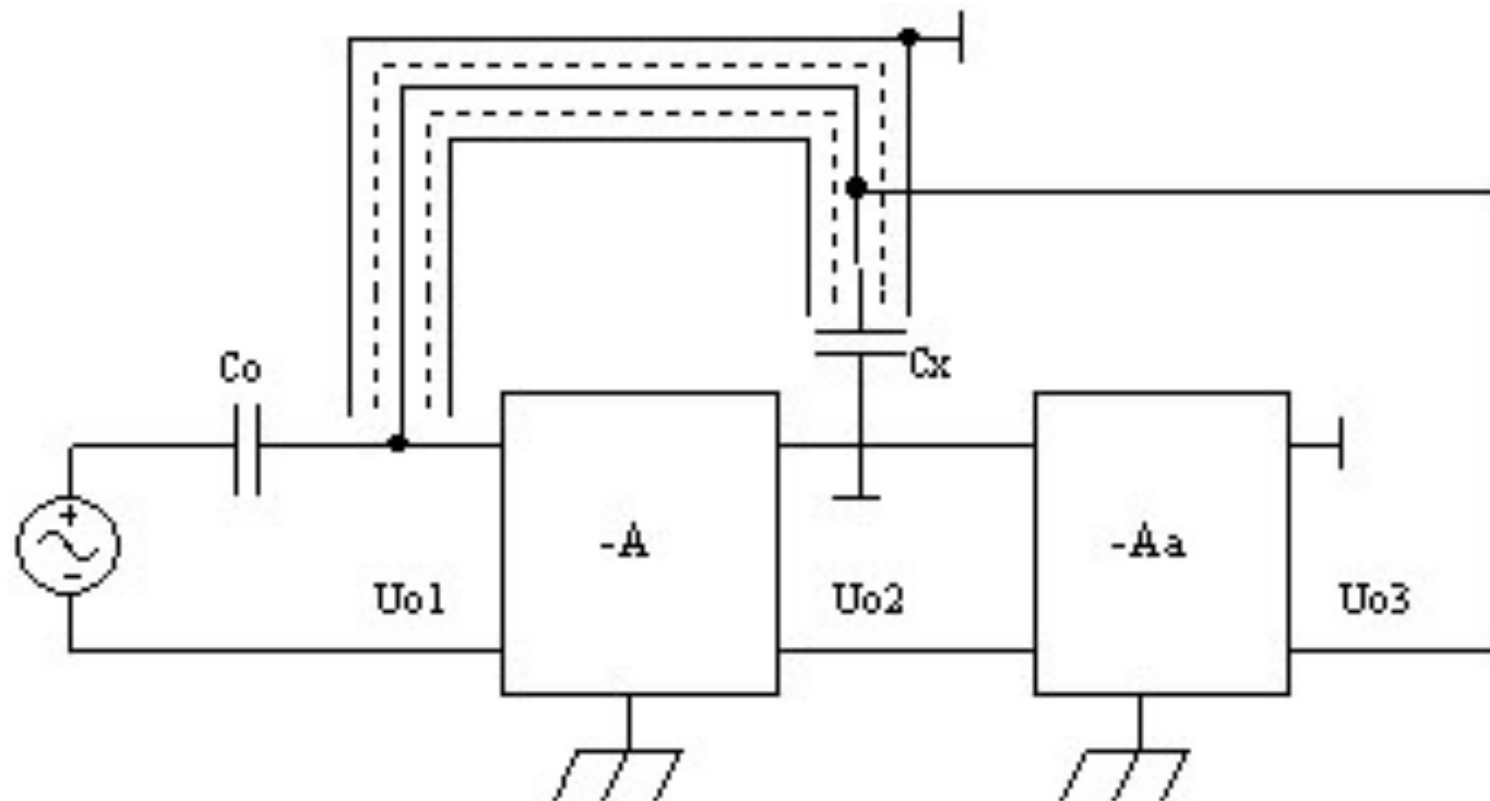
Capacitive Coupling (Electrostatic Coupling)



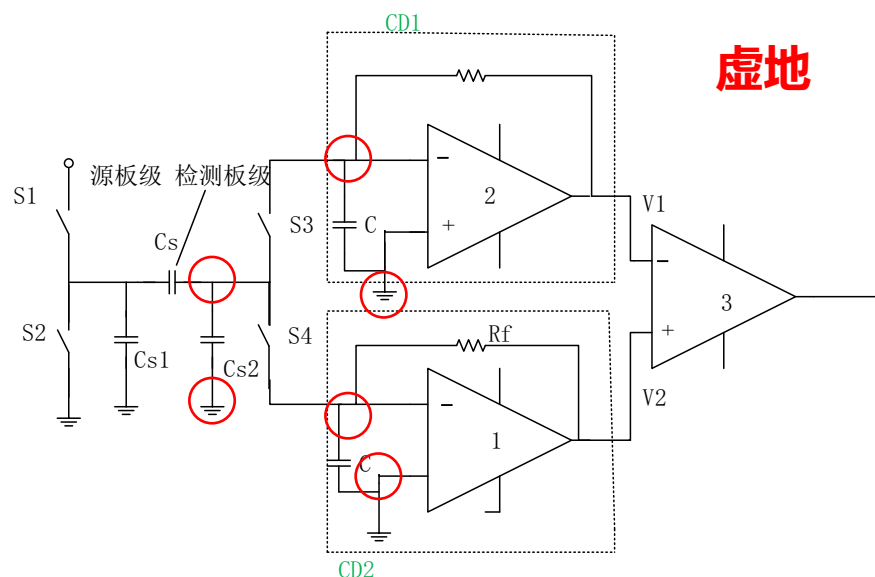
- Illustration of capacitive coupling between patterns due to stray capacitance
- Noise occurring on the side of pattern 1 causes a voltage V_n relative to GND due to capacitive coupling:

$$V_n = j\omega R C V_s$$

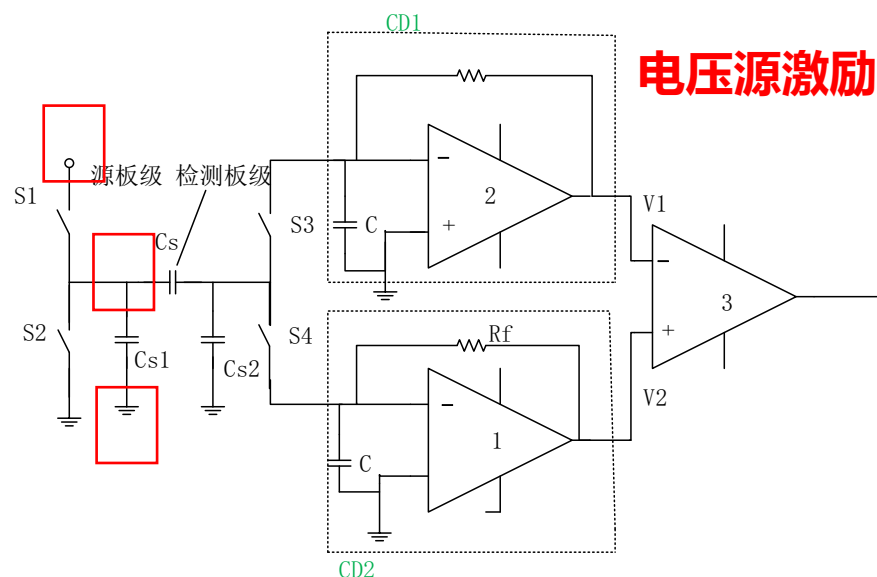
2 杂散电容的影响及其解决思路：改进的驱动电缆技术



2 杂散电容的影响及其解决思路



- 由于运算放大器的虚短虚短特性，杂散电容 C_{S2} 两端电位相同,在电路中相当于不工作。



- 当杂散电容 C_{S1} 变化时，由于信号源的恒压（并联）特性，相当于信号源对杂散电容和有效电容进行独立激励，使得信号源本身不被干扰，从而不会影响对有效电容的测量。

恒电荷激励

定义：激励源保证极板上的电荷恒定，与电容的大小无关。

此时输出变量为电压，其大小将随电容 C_x 的变化而变化。

$$U_c = \frac{1}{C_x} Q_0 = \frac{Q_0}{\varepsilon A} d$$

- U_c 与 d 有单值线形关系，而与 ε 与 A 则是单值非线性关系。恒电荷激励更适用于**变极距型**电容传感器。
- 恒电荷或恒电流激励，测量电路的输入阻抗应为无穷大，否则形成的并联分路成为电荷泄露回路。

恒电压激励

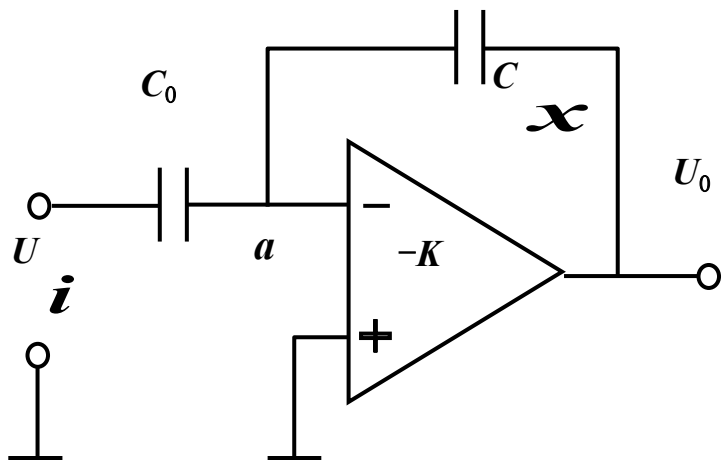
定义：保持电容器上的交流电压有效值恒定不变。

此时输出变量为电流 I_c ，其大小将随电容 C_x 的变化而变化。

$$I_c = 2\pi f C_x U_{c0} = 2\pi f U_{c0} \frac{\varepsilon A}{d}$$

- 恒电压激励更适用于**变面积型和变介电常数型**电容传感器。对于变极距型传感器，采用恒电压激励时存在理论非线性。
- 恒电压激励，测量电路的输入阻抗应为零，否则形成的串联阻抗会分压。

3 测量电路

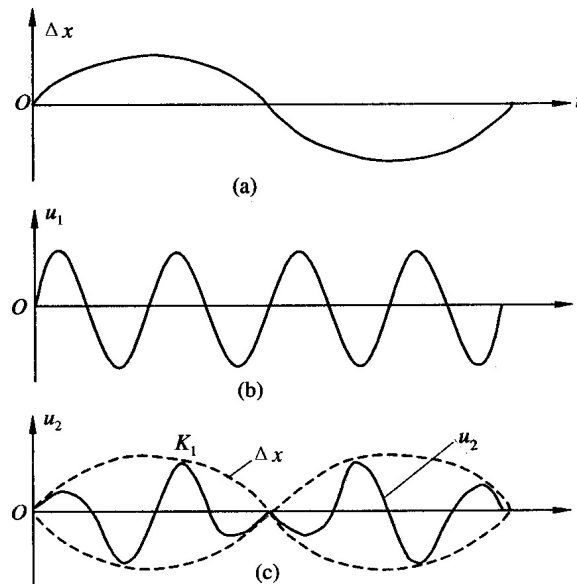


反相比例放大器：
$$\tilde{U}_0 = -\tilde{U}_i \frac{\tilde{Z}_x}{\tilde{Z}_0}$$

$$\tilde{Z}_0 = \frac{1}{j\omega C_0}, \tilde{Z}_x = \frac{1}{j\omega C_x} \Rightarrow \tilde{U}_0 = -\frac{C_0}{C_x} \tilde{U}_i$$

$$C_x = \frac{A\varepsilon}{d_x}$$

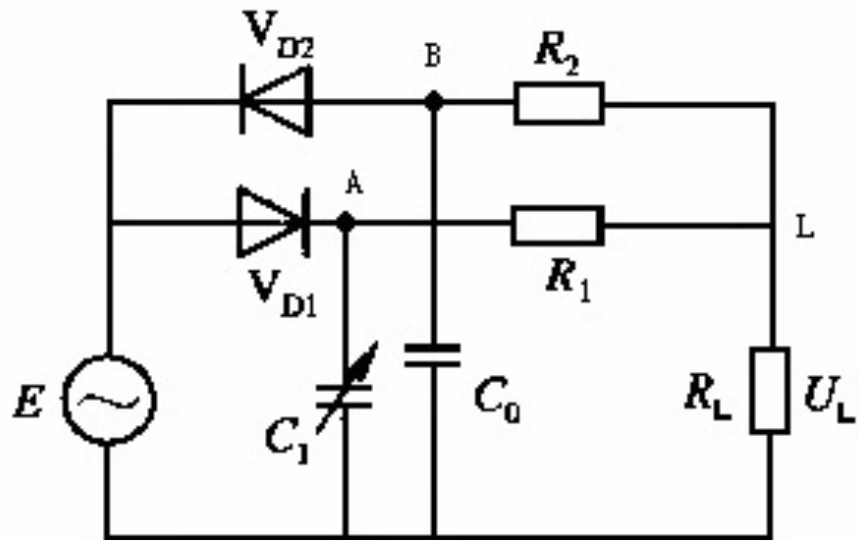
$$\tilde{U}_0 = -\tilde{U}_i \frac{C_0}{A\varepsilon} d_x$$



- 由高频交流正弦波供电
- 输出信号的相位由激励电源和待测信号两种因素的相位所决定；
- 其频率与电源频率相同；
- 幅值与被测量（如位移）成正比；
- 大小不能反映方向；

3.1 二极管双T电桥电容测量电路

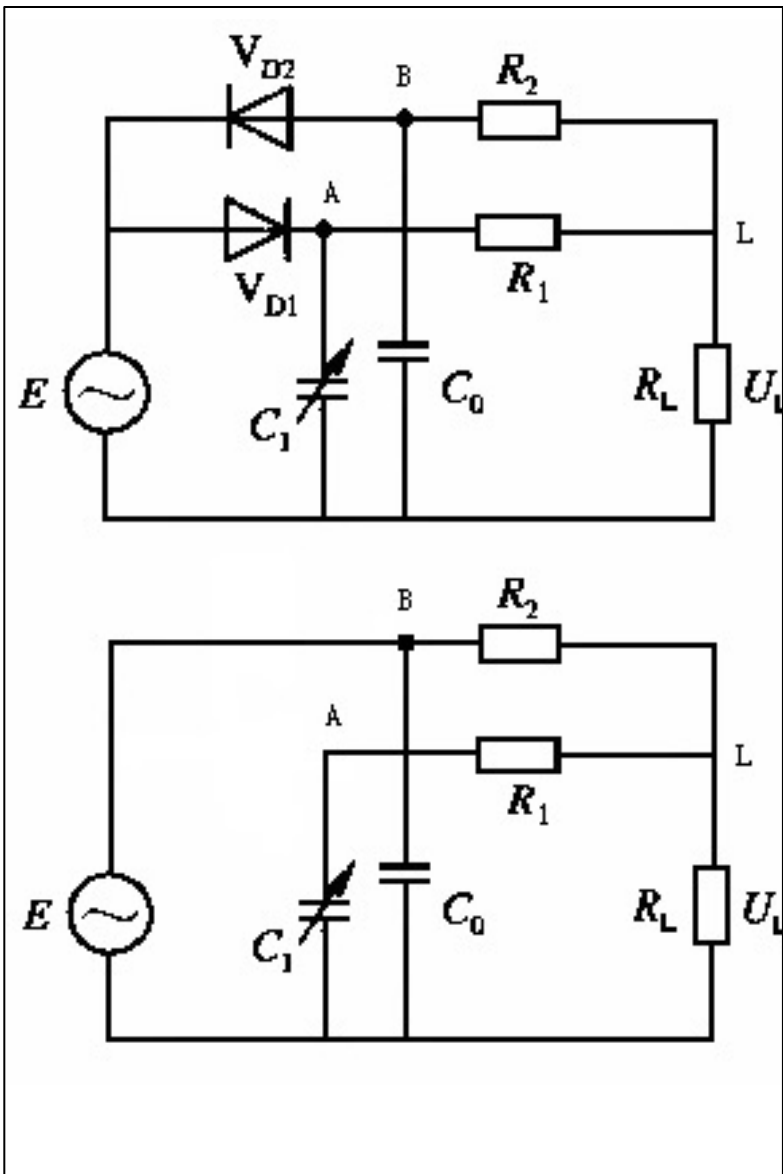
- 美国麻省理工学院教授K.S.LION发明非线性双T网络。
- 该线路非常简单，不需要附加相敏解调器，就能获得高电平的直流输出，而且灵敏度较高。
- 可以将两个二极管以及二个电阻都放在探头内，同时大大缩短电容引线，减小分布电容的影响。
- 电源的频率与幅值的稳定性直接影响精度。



U_E 为电压信号，可为正弦波或方波；
 C_1 、 C_2 为差动电容传感器的电容，
或者一个为固定电容，另一个为
电容传感器的电容， R_L 为负载电阻。

3.1 二极管双T电桥电容测量电路

- ① **$t=0$ 时刻**：电源处于正半周，此时 D_1 导通， D_2 截止， C_1 立即充电至电源电压， $U_A = +U_E$ 。
- ② **$0 < t < T/2$** ： $U_A = +U_E$ ，
- ③ **$t = T/2$ 时刻**：电源转为负半周，此时 D_2 导通， D_1 截止，由于 D_1 立即截止，在这一时刻，可认为 C_1 来不及放电， $U_A = +U_E$ ，同一时刻 C_0 立即充电至电源负电压， $U_B = -U_E$ ，则 $U_L = 0$
- ④ **$T/2 < t < T$** ： C_1 放电， U_A 电压呈指数下降，而 U_B 电压不变，则 U_L 处电压是从零变负，流经 R_L 的电流 i_{f1} 是从下指向L点，变化规律也是服从指数规律的。



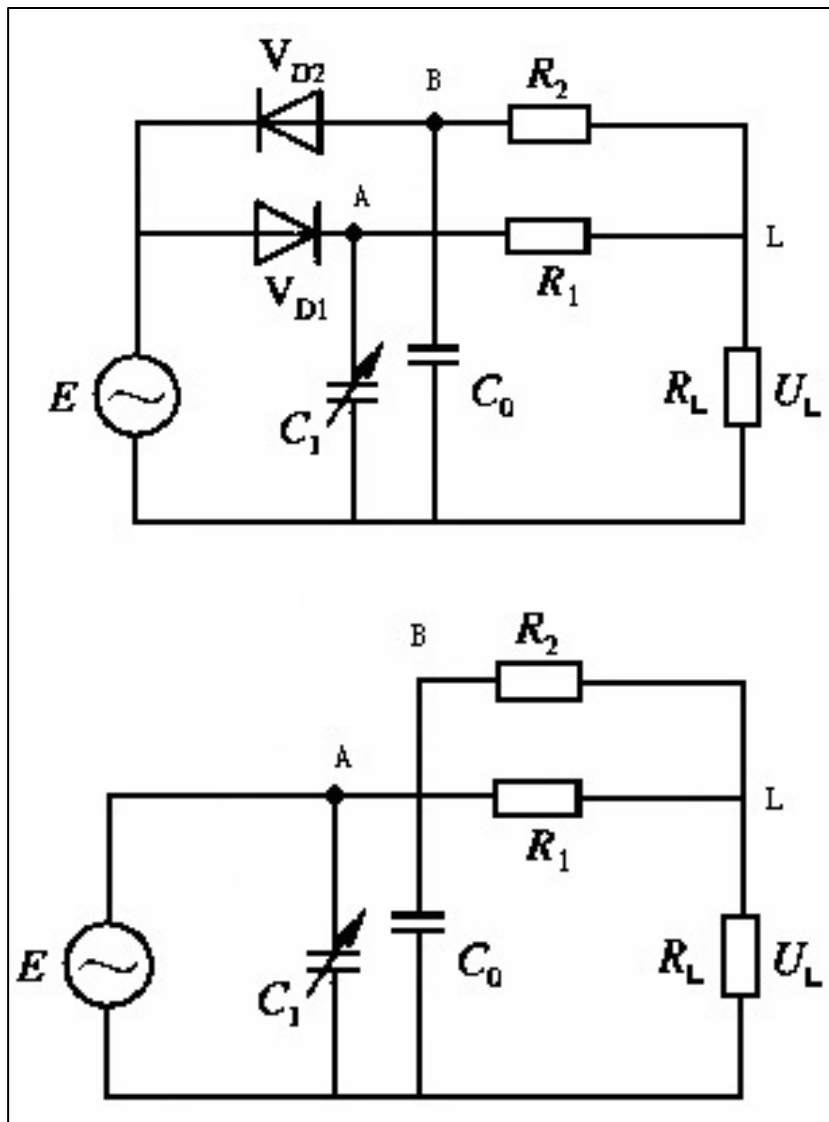
3.1 二极管双T电桥电容测量电路

⑤ $t=T$ 时刻

电源转为正半周，此时 D_1 导通， D_2 截止，由于 D_2 立即截止，在这一时刻，认为 C_0 来不及放电， $U_B = -U_E$ ，同一时刻 C_1 立即充电至电源正电压， $U_A = +U_E$ ，则 $U_L = 0$

⑥ $T < t < 3T/2$

C_0 放电， U_B 电压呈指数下降，而 U_A 电压不变，则 U_L 处电压是从零变正的，流经 R_L 的电流 i_{f2} 是从L点指向下的，变化规律也是服从指数规律的。

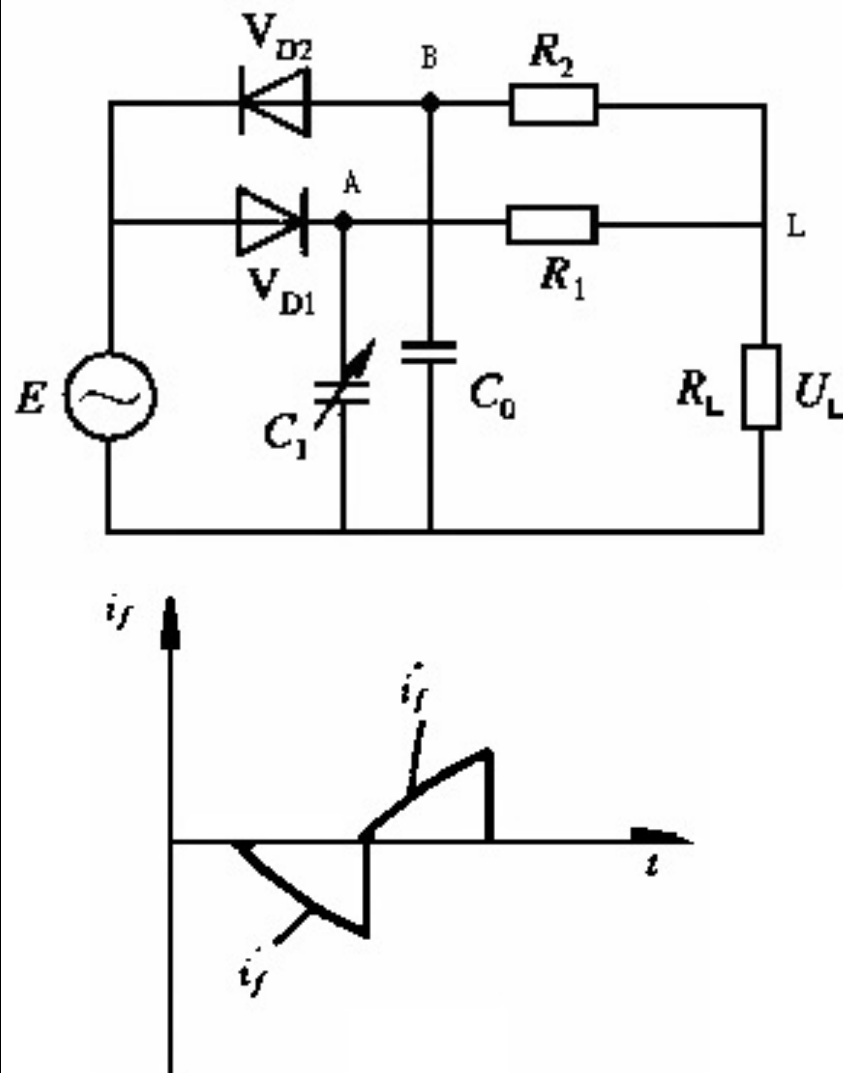


3.1 二极管双T电桥电容测量电路

在 $T/2 < t < 3T/2$ 这一周期时间内：

- 当传感器不工作时 $C_1 = C_0$ ，那么在电源正负半周流经 R_L 电阻的电流是波形相同的，而方向相反的，所以流经 R_L 上的电流平均值为零。

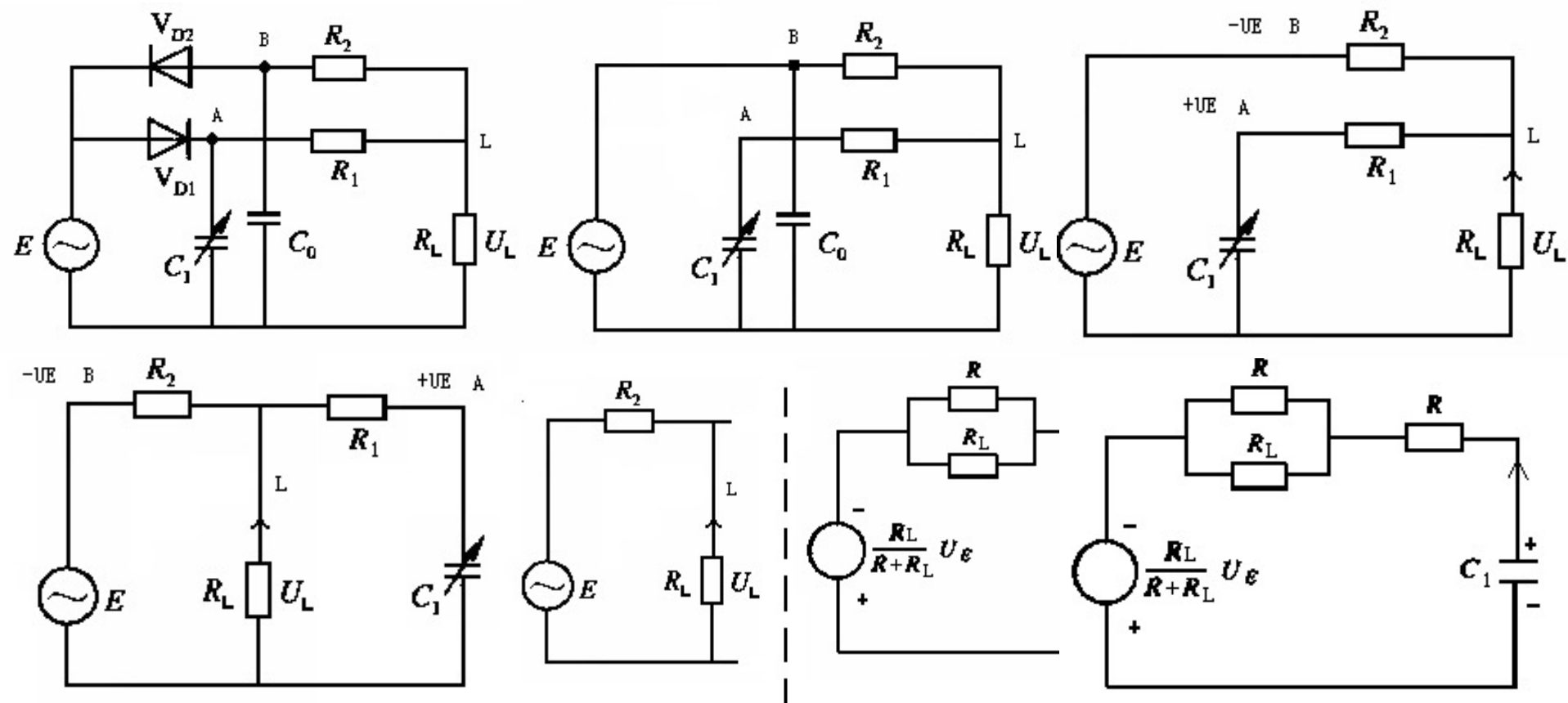
- 当传感器工作时， $C_1 \neq C_0$ ，流经 R_L 上的电流平均值不为零。



二极管双T桥路数值计算：

● $T/2 < t < T$ ，电源处于负半周（ $R_1 = R_2 = R$ ）

此时 D_2 导通， D_1 截止， C_1 放电， U_A 电压从 $+U_E$ 呈指数下降，而 $U_B = -U_E$



● $T/2 < t < T$, 电源处于负半周 ($R_1=R_2=R$)

$$i_1 = \frac{[U_E + \frac{R_L}{R + R_L} U_E]}{R + (R//R_L)} e^{-\frac{t}{[R+R//R_L]C_1}}$$

$$I_1 = \frac{1}{T} \int_0^T i_{f1} dt$$

同理可得正半周电流

$$i_2 = \frac{[U_E + \frac{R_L}{R + R_L} U_E]}{R + (R//R_L)} e^{-\frac{t}{[R+R//R_L]C_0}}$$

$$I_2 = \frac{1}{T} \int_0^T i_{f2} dt$$

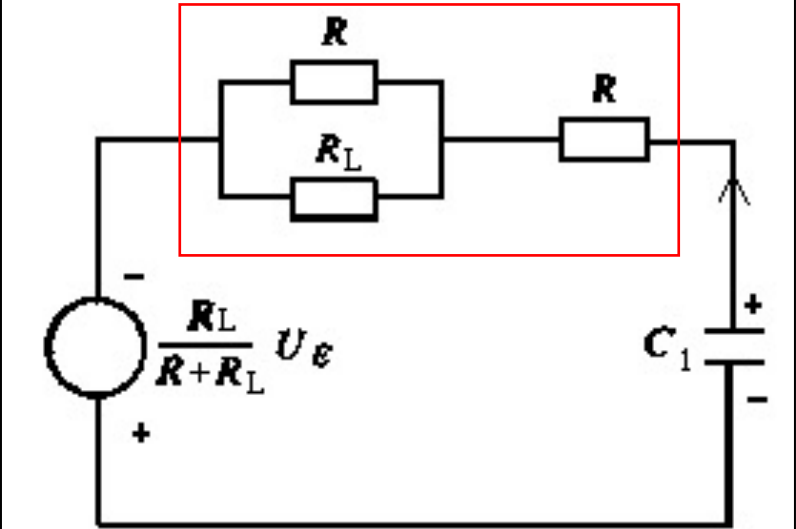
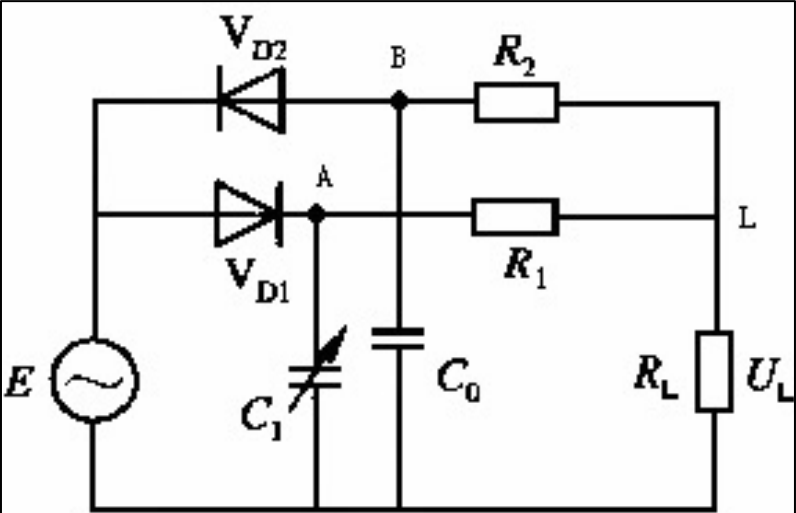
$$\text{则} U_L = \frac{RR_L}{R + R_L} (I_2 - I_1)$$

$$= \frac{RR_L(R + 2R_L)}{(R + R_L)^2 T} U_E (C_0 - C_1 - C_0 e^{-k_0} + C_1 e^{-k_1})$$

$$\text{式中} k_0 = \frac{R + R_L}{2R_L C_0 (R + 2R_L)} T, k_1 = \frac{R + R_L}{2R_L C_1 (R + 2R_L)} T$$

$$\text{当} k_0 = \frac{R + R_L}{2R_L C_0 (R + 2R_L)} T, k_1 = \frac{R + R_L}{2R_L C_1 (R + 2R_L)} T \text{ 均} > 5 \text{ 时,}$$

$$U_L \approx \frac{RR_L(R + 2R_L)}{(R + R_L)^2 T} U_E (C_0 - C_1), \text{其非线性误差小于} 1\%$$



3.1 二极管双T电桥电容测量电路

$$U_L \approx \frac{RR_L(R+2R_L)}{(R+R_L)^2 T} U_E (C_0 - C_1)$$

①电压激励，变面积式电容传感器。

$$C_0 = \frac{\varepsilon(A + \Delta A)}{d} \quad C_1 = \frac{\varepsilon(A - \Delta A)}{d}$$

$$C_0 - C_1 = \frac{2\varepsilon\Delta A}{d}$$

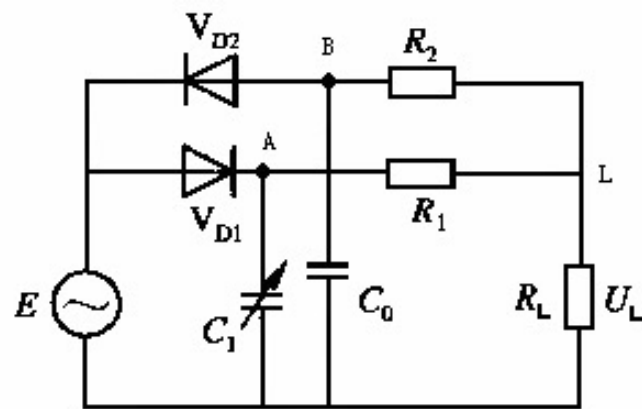
②电压激励，变极距式差动电容式传感器

$$C_0 = \frac{\varepsilon A}{d - \Delta d} \quad C_1 = \frac{\varepsilon A}{d + \Delta d}$$

$$C_0 - C_1 = \varepsilon A \left(\frac{1}{d - \Delta d} - \frac{1}{d + \Delta d} \right)$$

③引入 $(1/C_0 + C_1)$ 后，可用于变极距式差动电容式传感器

$$\frac{C_0 - C_1}{C_0 + C_1} = \frac{\left(\frac{1}{d - \Delta d} - \frac{1}{d + \Delta d} \right)}{\left(\frac{1}{d - \Delta d} + \frac{1}{d + \Delta d} \right)} = \frac{\Delta d}{d}$$



3.2 水份测量电容式传感器的测量电路

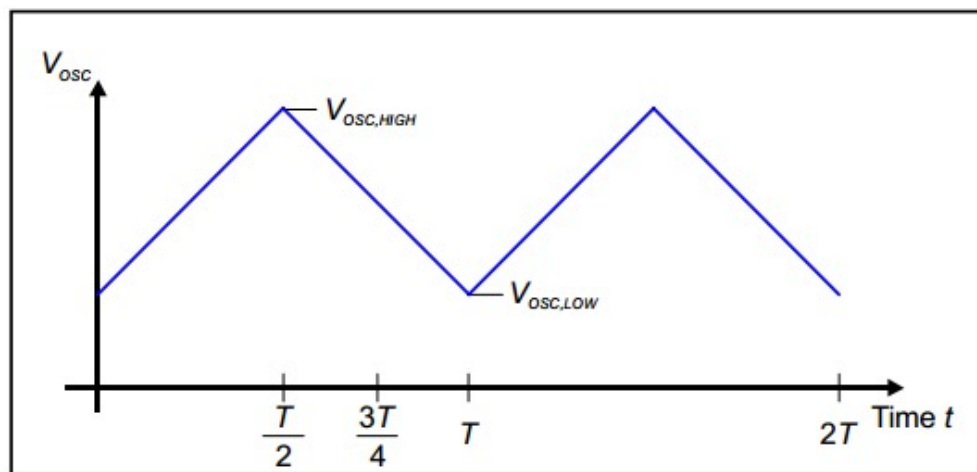


Figure 2: oscillator voltage curve

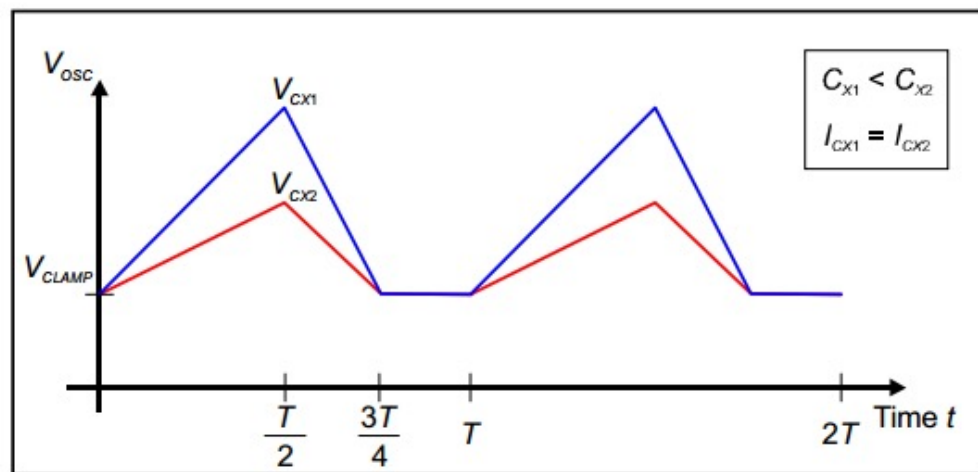


Figure 3: integrator voltage curve

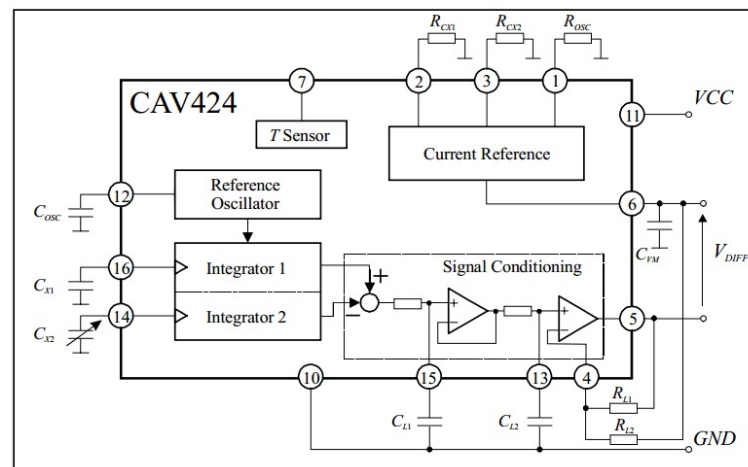
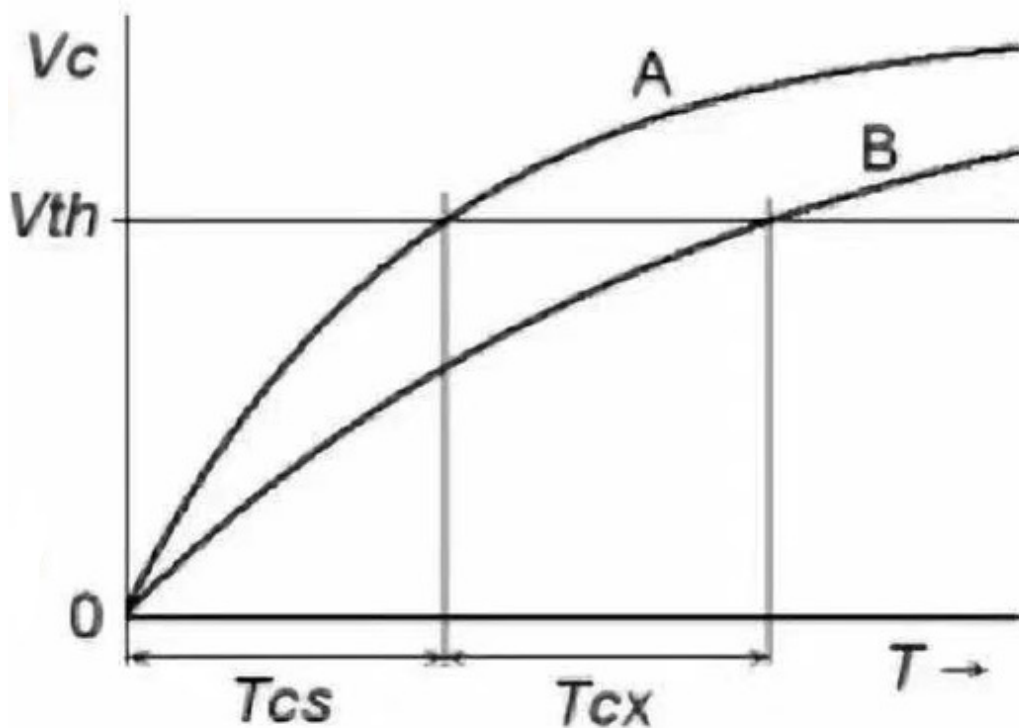
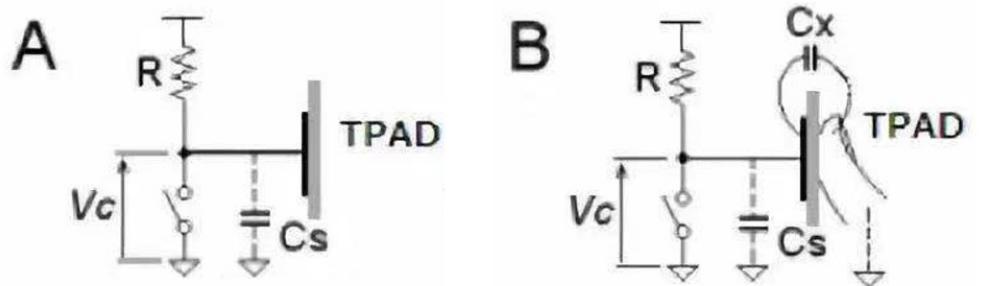


Figure 4: functional diagram CAV424

CX1和CX2分别连接测量参考端和测量端，利用电容差值进行测量。

如 CX1取值范围为 10pF ~ 1nF，则可测 CX2的范围为 0 ~ 10.5pF 到0 ~ 2nF。

3.3 电容触摸屏测量原理

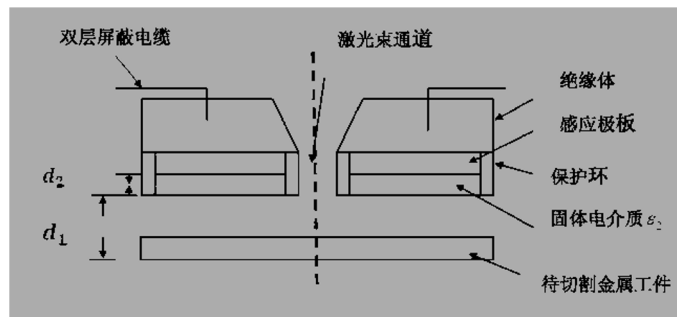
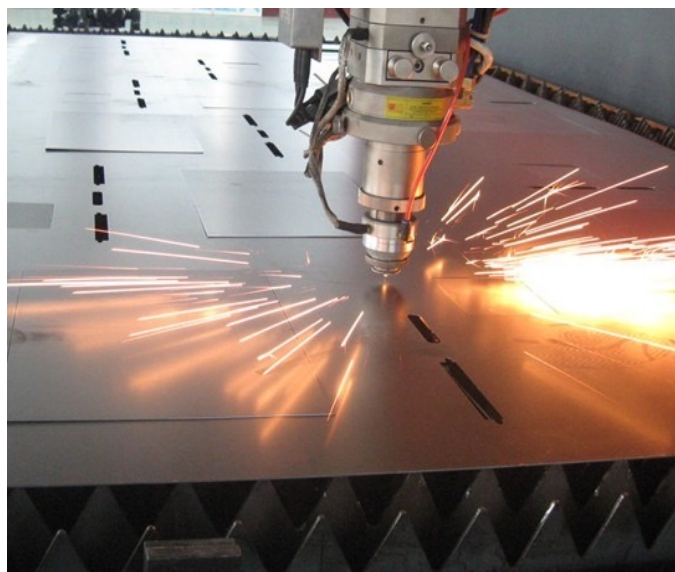


电容触摸屏原理：

通过充放电的曲线不同来检测是否被按下。

TPAD可以用一块覆铜区域来替代，通过检测电容的充放电常数来确定是否按下。

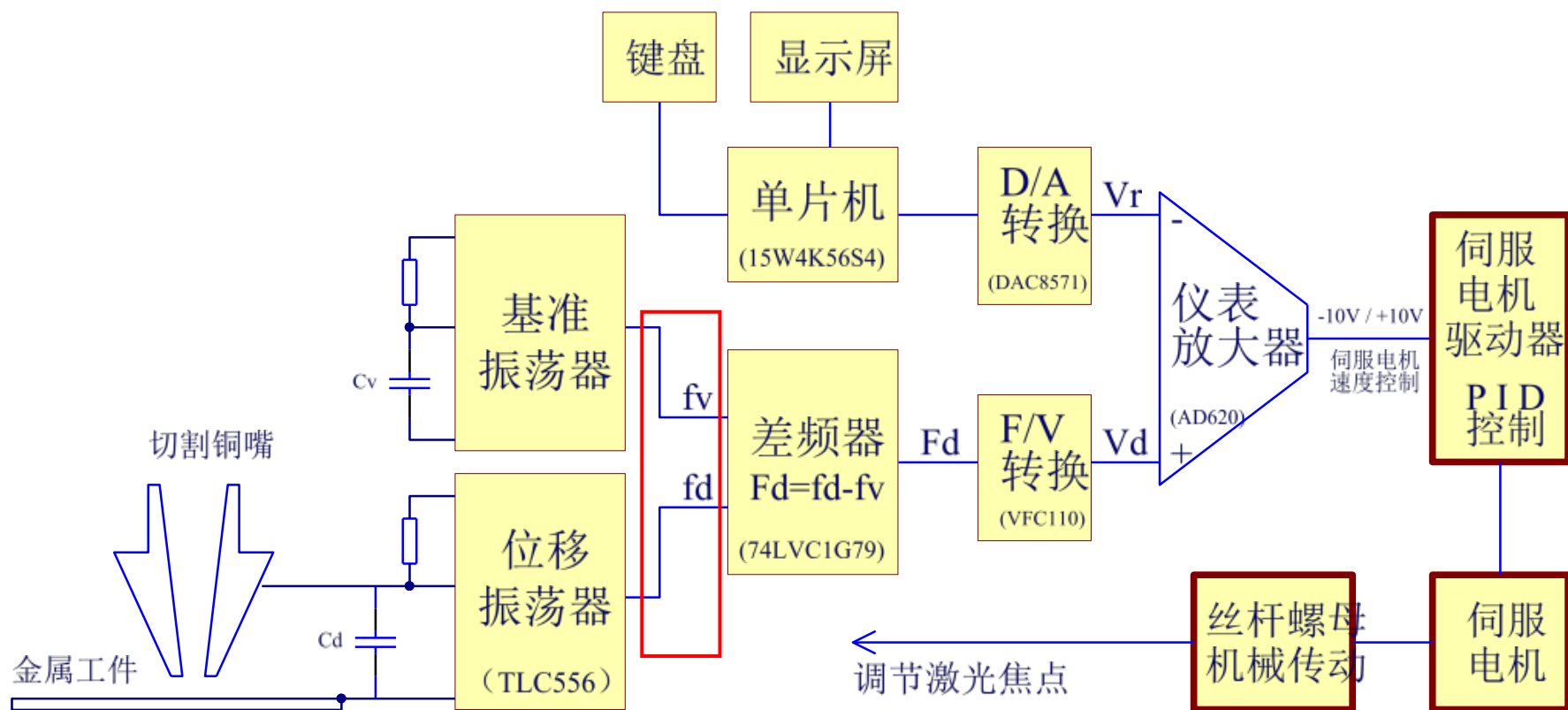
3.4 电容式激光焦点测量传感器及其测量电路



☆激光切割加工是指用高功率密度的激光去照射待加工的金属工件表面，工件在激光照射下被迅速的**溶化、汽化**并形成孔洞。在激光光束与加工工件的相对运动之下，形成对金属材料的切割，被**激光烧灼形成的熔融物**被辅助气体在拖拽力的作用下从切缝内吹出。

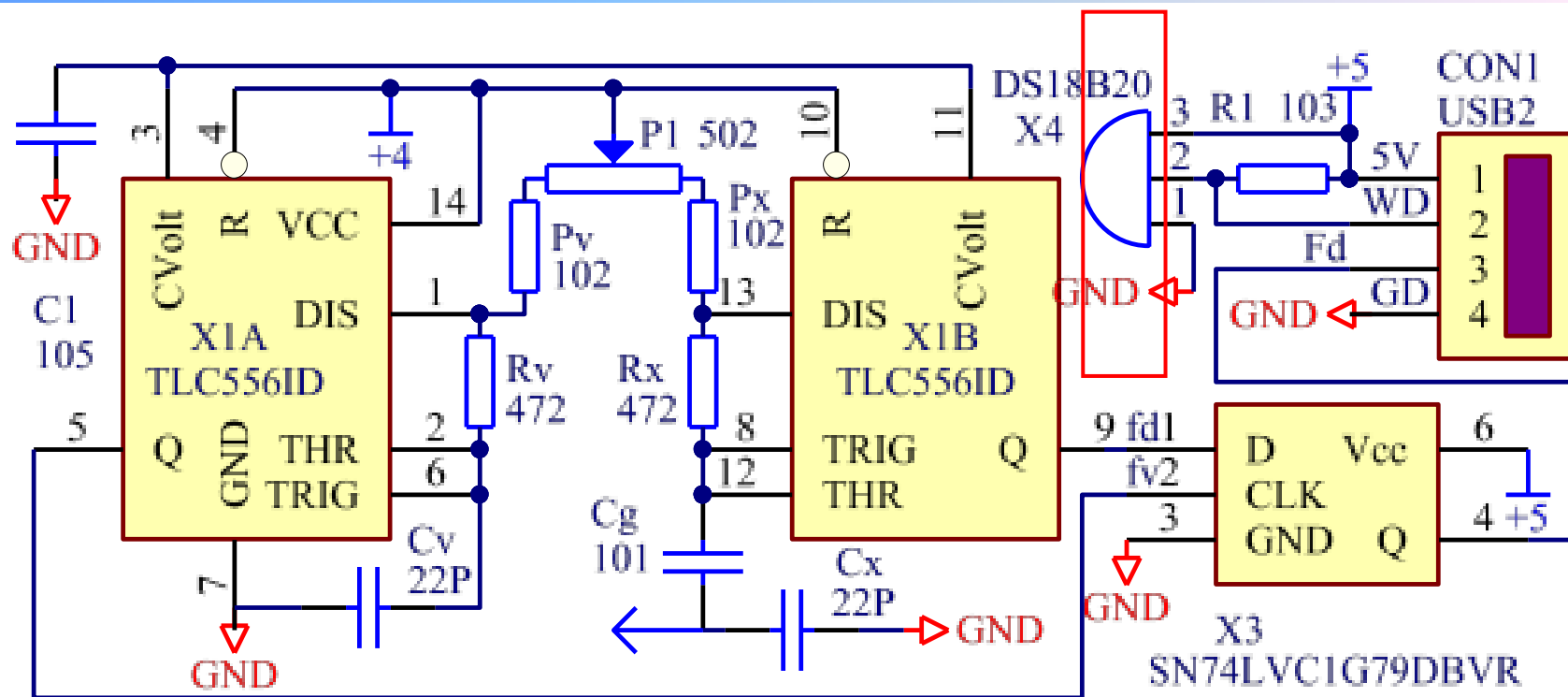
☆在实际生产加工中，待切割加工的工件表面通常是不平整的，使用激光焦点位置测量系统获得实际距离，再通过控制系统调节激光切割头的焦距，使切口处的功率密度最大。

3.4 电容式激光焦点测量传感器及其测量电路



被测模拟量从传感器输出要经过**较长的导线**送到后续的模拟或者数字**信号处理电路**中的干扰问题如何解决？

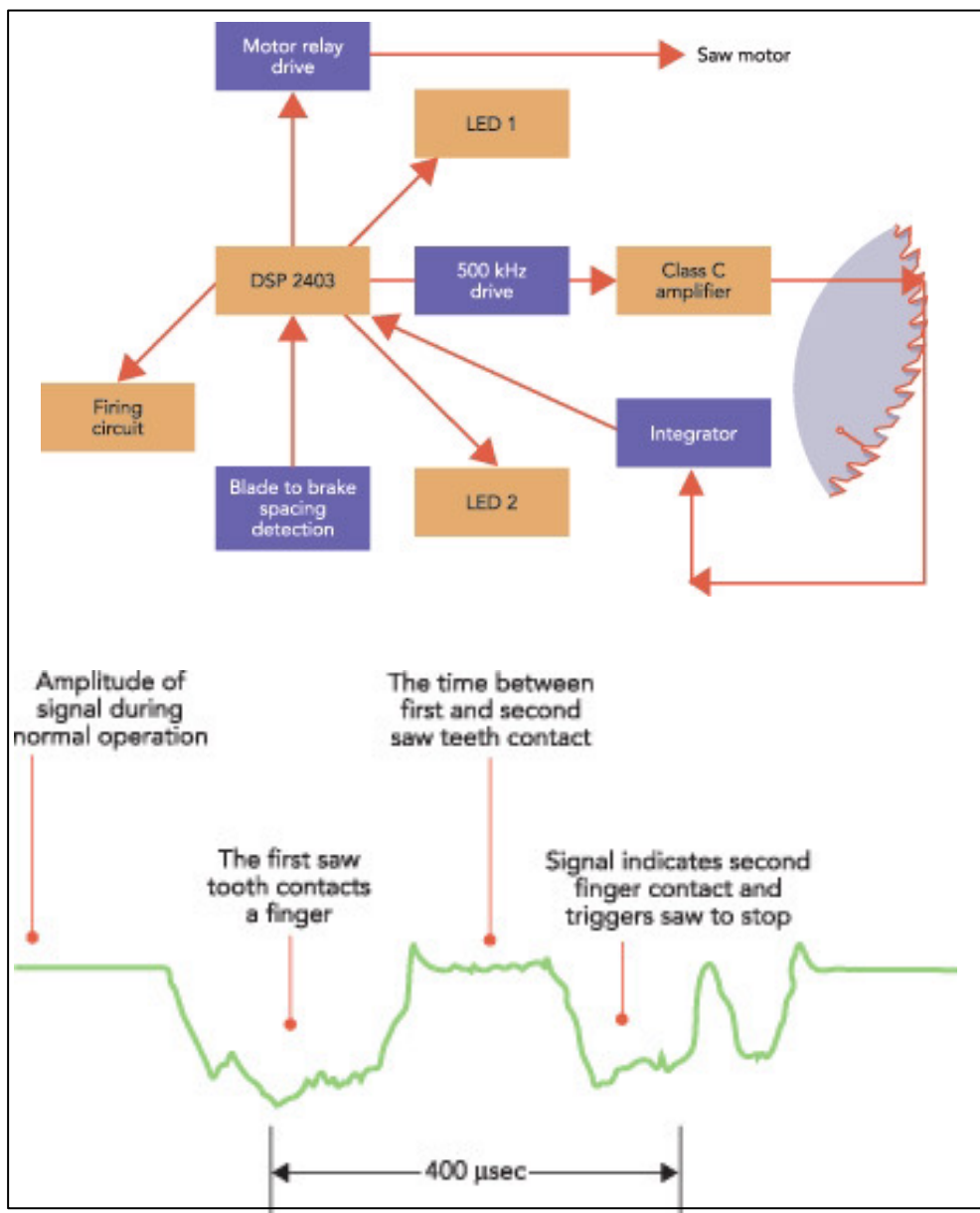
3.4 电容式激光焦点测量传感器及其测量电路



☆基于差动模式可以降低共模噪声的考虑，一路振荡器的电容是基准电容，另一路振荡器的电容是传感器电容。

☆在电路设计中把参考电容的波形从D触发器的时钟端引入，把敏感电容的波形从D端引入，D触发器的输出为两个波形的频率差。这样可以减少温度对电路的影响，对电源电压的波动也有抑制作用。

3.5 木工防护装置（手指救星）

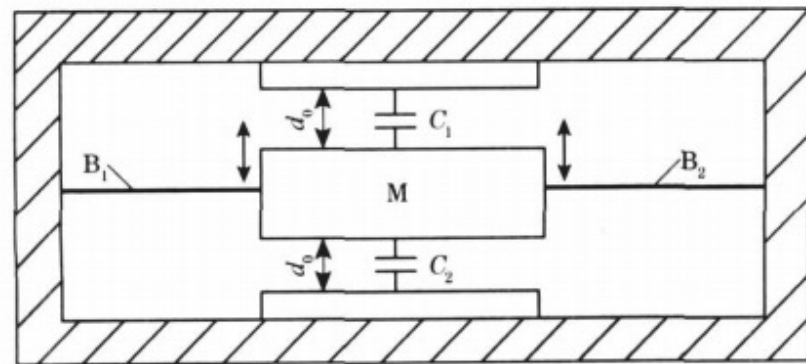
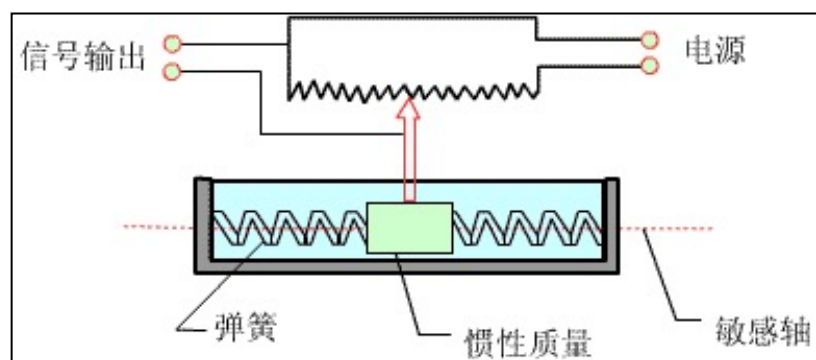
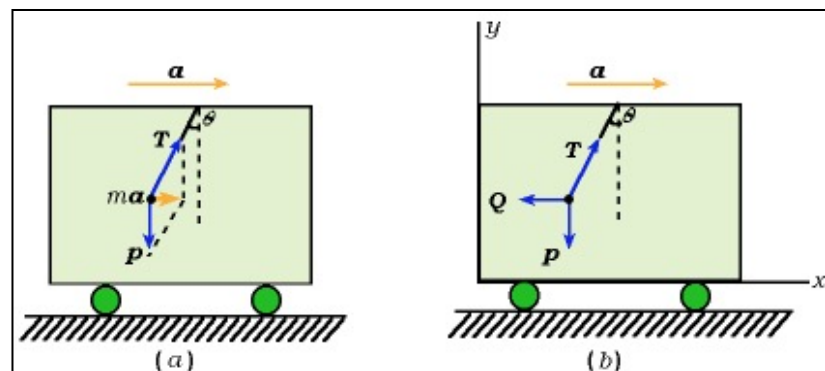


- 将一个500kHz的正弦波信号，加于电锯刀片，振幅峰值可以在3 ~ 25伏之间调整。
- 由于刀片是良好的导体，该高频信号能够在整个刀片上保持一致性。
- 由于人体带有电容，当手指和刀刃发生接触时，最大将引起40%的信号衰减。
- 积分器每6微秒就对来自刀片的传感信号进行绝对积分计算。积分器的幅值则由DSP在每个第6微秒末采样，且采样电容会在下一个采样周期前被放空。
- 采用积分器是由于它能够测量刀片信号的幅值，并对噪声扰动有一定的抵抗力。
- 实时性指标：在五毫秒内强行制动刀刃，探测+制动

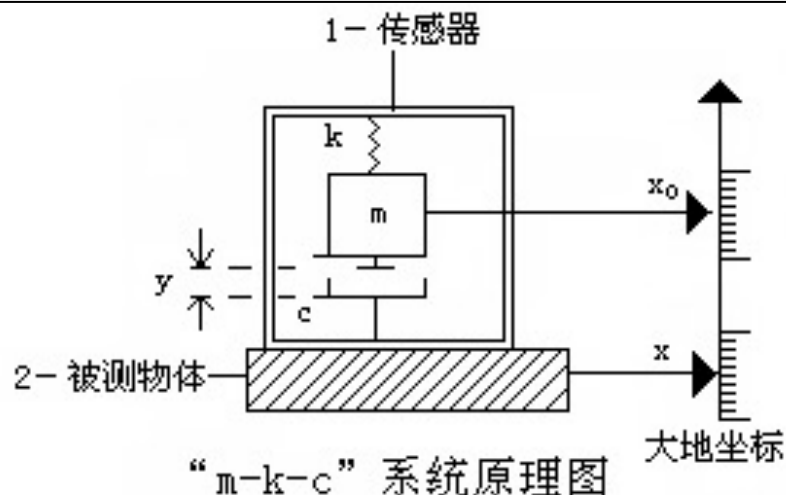
4 动态特性（以电容式加速度传感器 为例）

- 当传感器壳体随被测对象沿垂直方向作直线加速运动时，**质量块**在惯性空间中相对静止，**两个固定电极**将**相对于质量块**在垂直方向产生大小正比于被测加速度的位移。

- 此位移使两电容的间隙发生变化，一个增加，一个减小，从而使 C_1 、 C_2 产生大小相等、符号相反的增量，此增量正比于被测加速度。



4 动态特性（以电容式加速度传感器 为例）



根据牛顿第二定律，物体(动极板)受到惯性力 F_R ，阻尼力 F_P ，弹簧力 F

$$F_R + F_P + F = m \frac{d^2 x_0}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = 0$$

动极板和定极板之间的相对位移：

$$y = x_0 - x$$

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

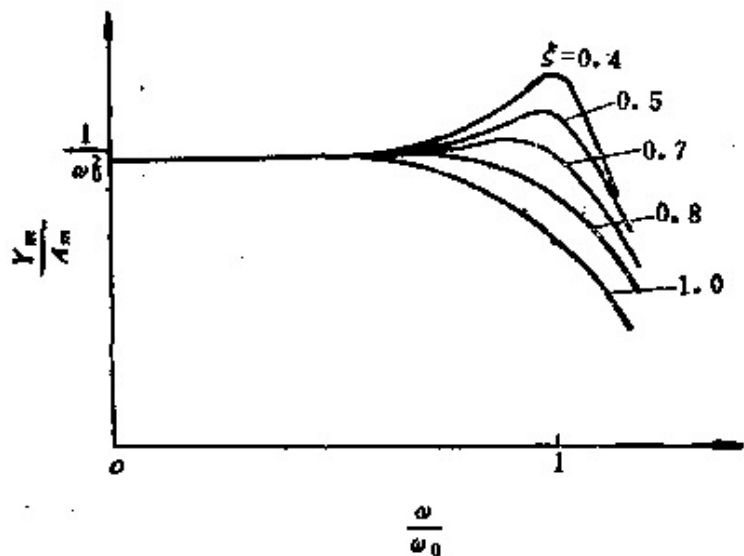
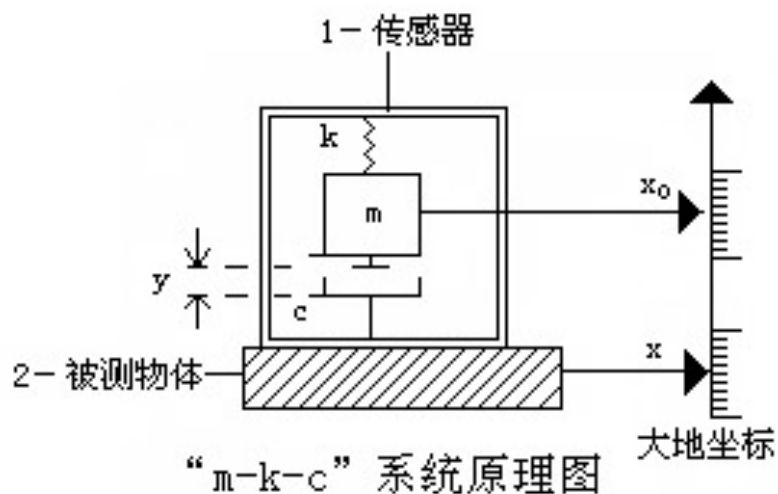
- 将被测参数 x 的大小，变为电容动极板相对位移 y 的转换。
- 不依赖外部信息，在运动体的内部可以测出物体的加速度。
- 对所测得的加速度，积分一次可得速度，积分两次得载体在积分时间间隔中的位移。如果再考虑初始条件，就能完全确定载体在任一时刻的位置与速度。

$$\text{位移传感器 } x = X_m \sin \omega t$$

$$\text{速度传感器 } V_m = \omega X_m \cos \omega t$$

$$\text{加速度传感器 } A_m = -\omega^2 X_m \sin \omega t$$

4 动态特性（以电容式加速度传感器 为例）



提高固有频率，增大频区，但灵敏度降低。

$$A_m = \omega^2 X_m$$

$$Y_m = \frac{1}{\omega_0^2} \frac{A_m^2}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + 4\xi^2(\frac{\omega}{\omega_0})^2}}$$

$$\text{当 } \frac{\omega}{\omega_0} \ll 1 \text{ 时, 即 } Y_m \approx \frac{1}{\omega_0^2} A_m$$

传感器的振幅将反映被测量的加速度

$$Y_m = \frac{(\frac{\omega}{\omega_0})^2}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + 4\xi^2(\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \cdot X_m$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \xi = \frac{\eta}{2\sqrt{km}}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2\xi(\frac{\omega}{\omega_0})}{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2}$$

与电感式传感器的比较

(1) 电容器电容很小，分布电容影响很大，抗干扰能力差。

(2) 电容传感器激励频率很高，一般在 $10^5 \sim 10^6$ Hz数量级。

(3) 在匹配条件下电感传感器的输出功率是电容传感器的 10^4 倍，电容传感器必须经过功率放大。

(4) 电容传感器对被测对象施加的电场力远远小于同等条件下电感传感器。

(1) 小气隙电感的电感很大，有很强的抗干扰能力，不需要特别的屏蔽措施。

(2) 电感传感器激励频率较低一般从 $10 \sim 10^4$ Hz数量级。

(3) 计算分析表明，在同样结构参数及合理激励参数条件下，小气隙电感传感器的磁场能量约为电容传感器的 10^4 倍，而电感传感器可以直接驱动一定负载。对于差动变压器，还可以利用 N_2/N_1 比值达到最佳匹配。

本章作业

- 1、习题：4-2、4-4、4-7、4-10、4-11、4-14
- 2、说明电容式传感器的边缘效应。
- 3、说明球、平面型差动电容压力传感器原理
- 4、变介电常数型电容传感器—水份和液位测量原理
- 5、说明去除杂散电容的驱动电缆技术的原理
- 6、说明二极管双T电桥电容测量电路的计算原理
- 7、说明电容式加速度传感器的工作原理。
- 8、比较电容式传感器和电感式传感器的性能。