

传感器原理及其应用

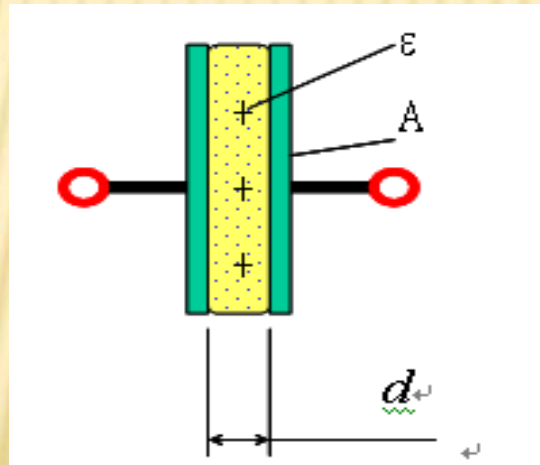
传感器原理及其应用

- 1 电容式传感器的工作原理及分类
- 2 电容式传感器的测量电路
- 3 电容式传感器的特点及设计改善措施
- 4 电容式传感器的应用

电容式传感器的工作原理及分类

1.1 工作原理及结构形式

- 电容式传感器的基本原理是将被测量的变化转换成传感元件电容量的变化，再经过测量电路将电容量的变化转换成电信号输出。
- 电容式传感器实际上是一个可变参数的电容器。



电容式传感器工作原理图

➤ 平板电容器电容量表达式为： $C = \varepsilon A/d$

➤ ε, A, d 三个参数都直接影响着电容量的大小。如果保持其中两个参数不变，而使另外一个参数改变，则电容量就将发生变化。

➤ 如果变化的参数与被测量之间存在一定函数关系，那么电容量的变化可以直接反映被测量的变化情况，再通过测量电路将电容量的变化转换为电量输出，就可以达到测量的目的。

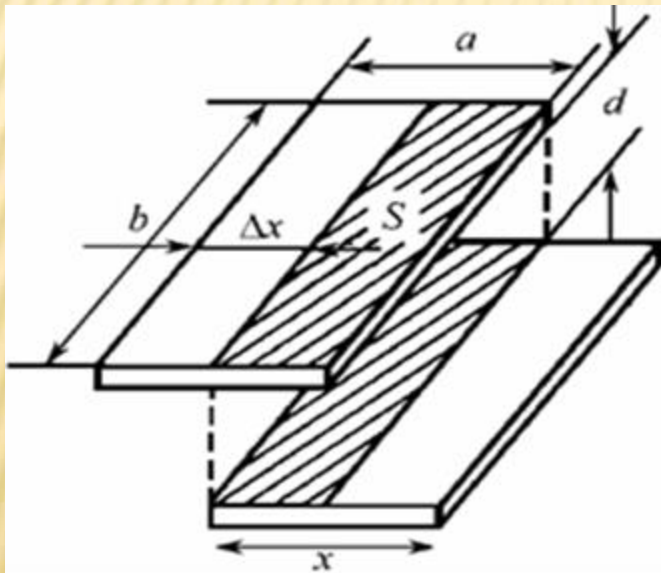
电容式传感器通常可以分为三种类型：
改变极板面积的变面积式；改变极板距离的变间隙式；改变介电常数的变介电常数式。

2.1 变面积式电容传感器

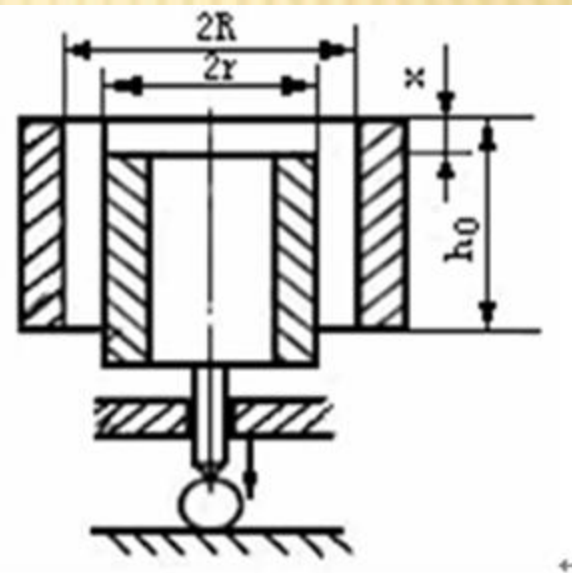
- 变面积式电容式传感器通常分为线位移型和角位移型两大类。

(1) 线位移变面积型

- 常用的线位移变面积型电容式传感器可分为平面线位移型和柱面线位移型两种结构。



(a) 平面线位移型



(b) 柱面线位移型

线位移型电容式传感器

- 对于平板状结构，在图4-2（a）中，两极板有效覆盖面积就发生变化，电容量也随之改变，其值为：

$$C = \frac{\varepsilon b(a - \Delta x)}{d} = C_0 - \frac{\varepsilon b}{d} \Delta x$$

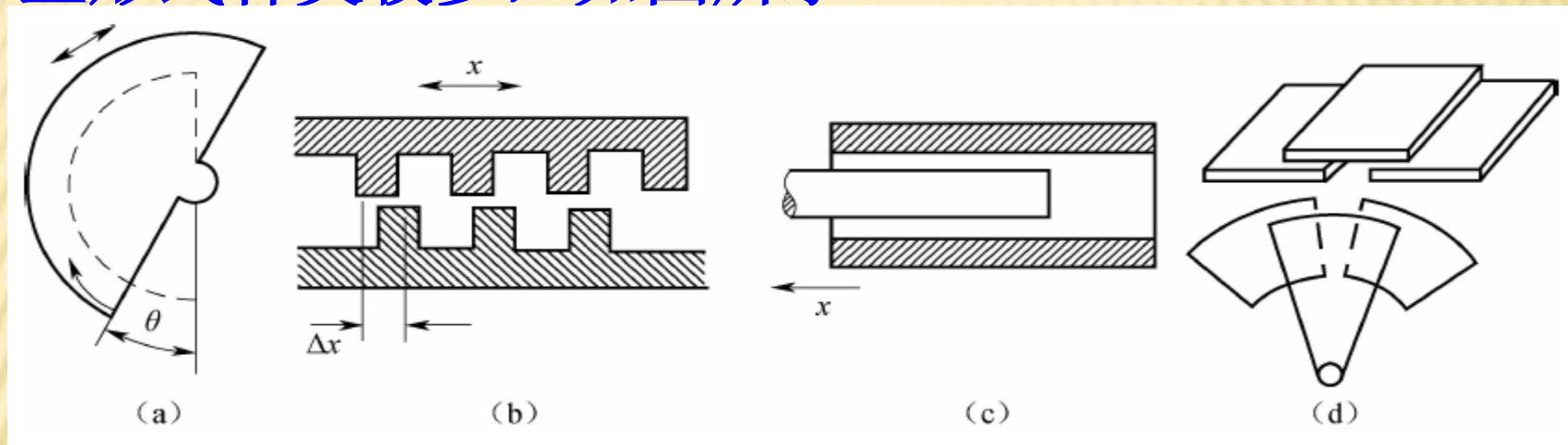
- 式中， $C_0 = \frac{\varepsilon ab}{d}$ ，为初始电容值。
- 对于柱状结构，在图4-2（b）中，覆盖面积就发生变化，电容量也随之改变，其值为：

$$C = \frac{2\pi\varepsilon(h_0 - \Delta x)}{\ln(R/r)} = C_0 - \frac{2\pi\varepsilon}{\ln(R/r)} \Delta x$$

- 式中， $C_0 = \frac{2\pi\varepsilon h_0}{\ln(R/r)}$ ，为初始电容值。

(2) 角位移型

- 角位移型是变面积式电容传感器的派生形式，其派生形式种类较多，如图所示。



(a) 角位移型； (b) 齿形极板型； (c) 圆筒型； (d) 扇型

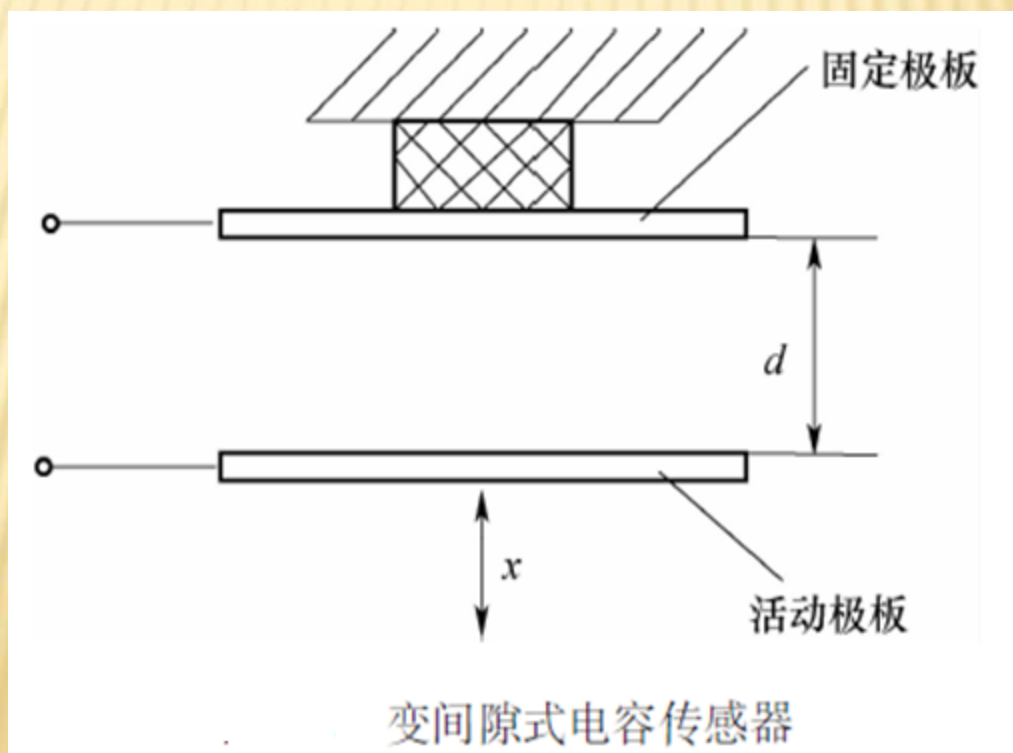
图4-3 变面积式电容传感器的派生型

在图4-3 (a) 中，当动极板有一个角位移 θ 时，它与定极板之间的有效覆盖面积就会发生变化，从而导致电容量的变化，电容值可表示为：

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A_0}{d} \left(\frac{\pi - \theta}{\pi} \right) = C_0 - C_0 \frac{\theta}{\pi}$$

2.3 变间隙式电容传感器

当电容式传感器的面积和介电常数固定不变，只改变极板间距离时，称为变间隙式电容传感器，其结构原理如图所示。图中，活动极板与被测对象相连。



- 当活动极板因被测参数的改变而引起移动时，电容量随着两极板间的距离的变化而变化，当活动极板移动后，其电容量为：

$$C = \frac{\varepsilon A}{d-x} = \frac{\varepsilon A}{d} \frac{1+\frac{x}{d}}{1-\frac{x}{d}} = C_0 \frac{1+\frac{x}{d}}{1-\frac{x}{d}}$$

- 这类传感器一般用来对微小位移量进行测量，正常工作在微米到几毫米的线位移。同时，变间隙式电容传感器要提高灵敏度，应减小极板间的初始间距。
- 为了改善这种情况，一般是在极板间放置云母、塑料膜等介电常数较高的介质。

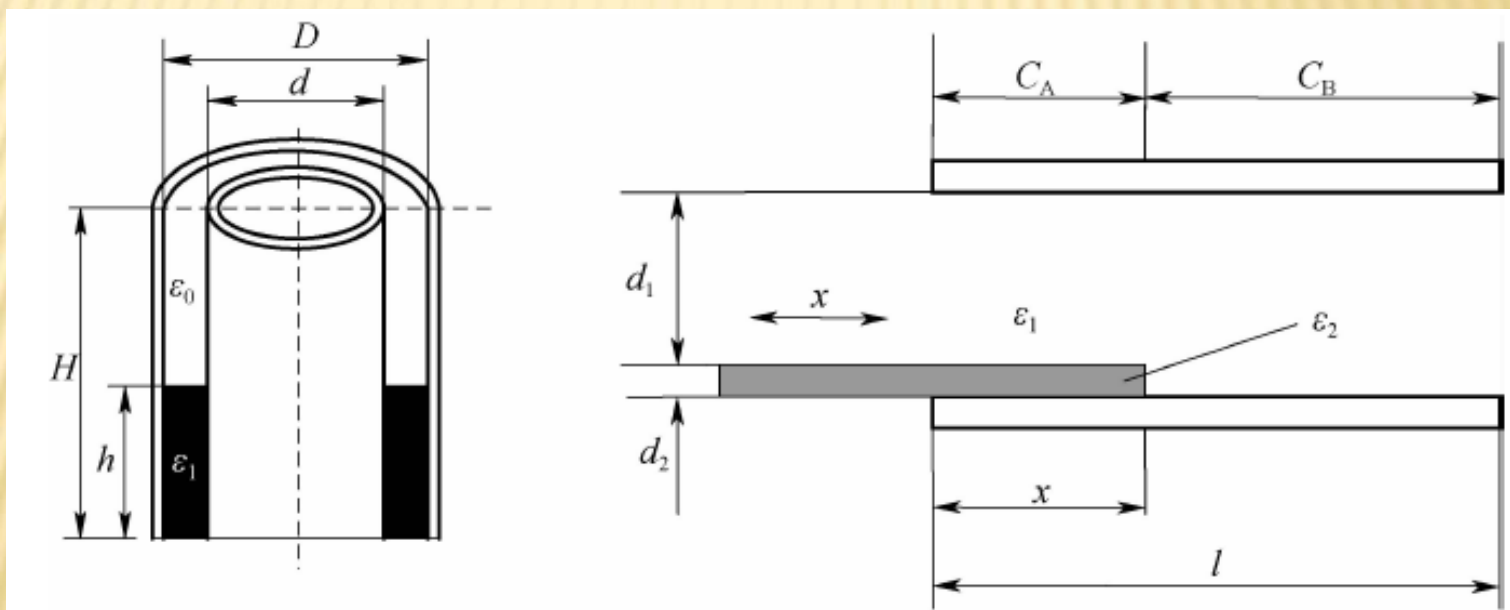
2.4 变介电常数式电容传感器

根据前面的分析可知，介质的介电常数也是影响电容式传感器电容量的一个因素。通常情况下，不同介质的介电常数各不相同。

表 4-1 典型介质的相对介电常数

材料	相对介电常数 ϵ_r	材料	相对介电常数 ϵ_r
真空	1	硬橡胶	4.3
其他气体	1~1.2	软橡胶	2.5
水	80	石英	4.5
普通纸	2.3	玻璃	5.3~7.5
硬纸	4.5	大理石	8
油纸	4	陶瓷	5.5~7.0
石蜡	2.2	云母	6~8.5
盐	6	三氧化二铝	8.5
聚乙烯	2.3	钛酸钡	1000~10000
聚丙烯	2.3	木材	2~7
甲醇	37	电木	3.6
乙醇	20~25	纤维素	3.9
乙二醇	35~40	米	3~5
丙三醇	47	硅油	2.7
环氧树脂	3.3	松节油	2.2
聚氯乙烯	4.0	变压器油	2.2

- 当电容式传感器的电介质改变时，其介电常数变化，也会引起电容量发生变化。
- 变介电常数式电容传感器就是通过介质的改变来实现对被测量的检测，并通过传感器的电容量的变化反映出来。它通常可以分为柱式和平板式两种，如图所示。

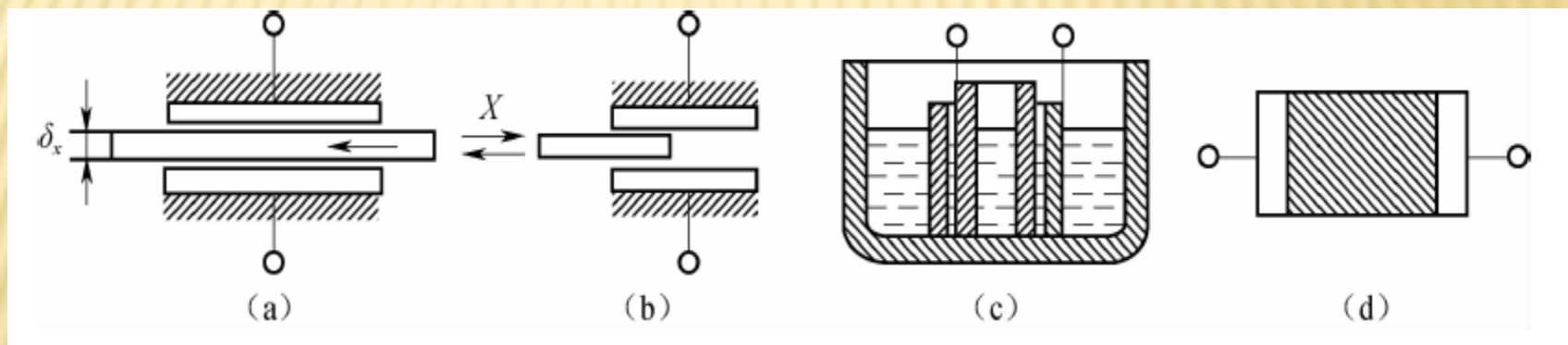


(a) 柱式

(b) 平板式

变介电常数式电容传感器

- 变介电常数式电容传感器的两极板间若存在导电物质，还应该在极板表面涂上绝缘层，防止极板短路，如涂上聚四氟乙烯薄膜。
- 变介电常数式电容传感器除了可以测量液位和位移之外，还可以用于测量电介质的厚度、物位，并可以根据极板间介质的介电常数随温度、湿度、容量的变化而变化来测量温度、湿度、容量等参数。



(a)测介质厚度；(b)测量位移；(c)测量液位；(d)测温度、湿度

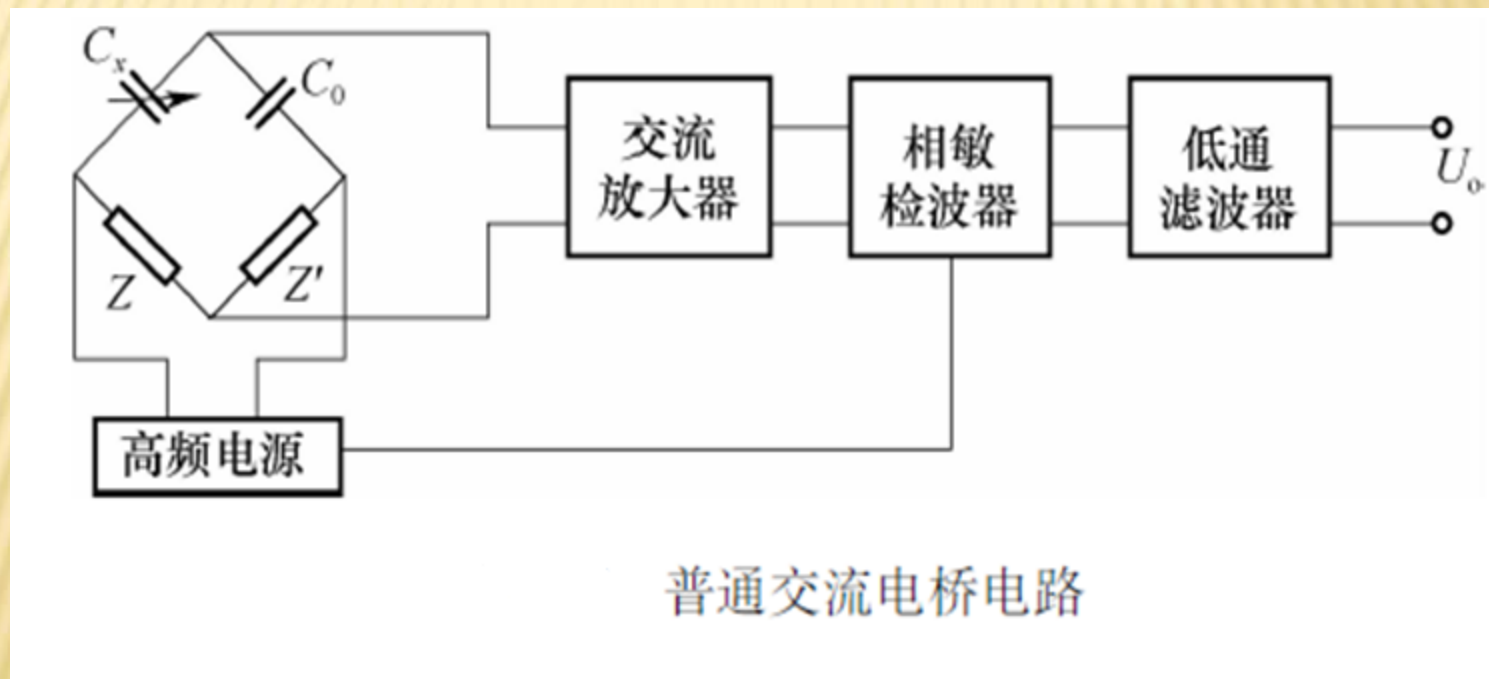
图4-6 常见变介电常数式电容传感器

2 电容式传感器的测量电路

- 电容式传感器输出电容量以及电容变化量都非常微小，这样微小的电容量目前还不能直接被显示仪表所显示，无法由记录仪进行记录，亦不便于传输。
- 借助测量电路检出微小的电容变化量，并转换成与其成正比的电压、电流或者频率信号，才能进行显示、记录和传输。
- 用于电容式传感器的测量电路很多，常见的电路有：普通交流电桥、变压器电桥、双T形电桥电路、紧耦合电感臂电桥、运算放大器式测量电路、调频电路、脉冲宽度调制电路等。

2.1 普通交流电桥电路

- 普通交流电桥测量电路如图4-7所示， C_x 为传感器电容， Z' 为等效配接阻抗， C_0 和 Z 分别为固定电容和固定阻抗。

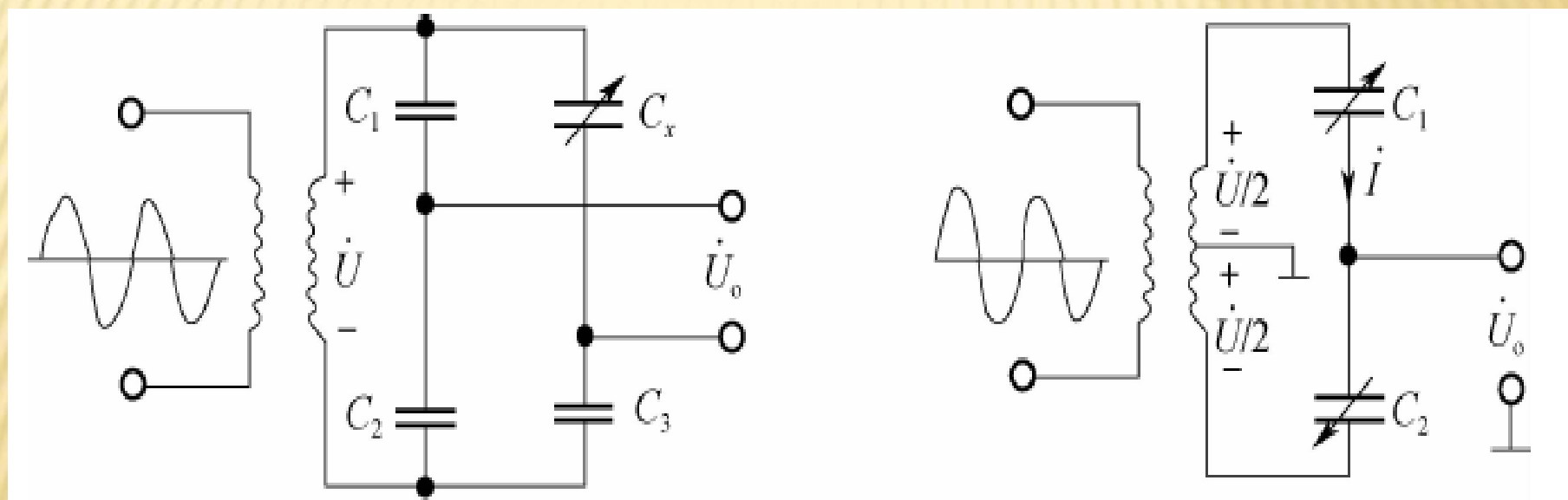


- 传感器工作前，先将电桥初始状态调至平衡。当传感器工作时，电容 C_x 发生变化，电桥失去平衡，从而输出交流电压信号。
- 此信号先经过交流放大器将电压进行放大，再经过相敏检波器和低通滤波器检出直流电压、并滤掉交流分量，最后得到直流电压输出信号，它的幅值随着电容的变化而变化。
- 电桥的输出电压为：

$$\dot{U}_o = \frac{\Delta Z}{Z} \frac{\frac{1}{2}}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z'}{Z} + \frac{Z}{Z'} \right) + \frac{Z + Z'}{Z_i}} \dot{U}$$

2.2 变压器电桥电路

- 电容式传感器接入变压器电桥测量电路如图所示，它可分为单臂接法和差动接法两种。



(a) 单臂接法

(b) 差动接法

(1) 单臂接法

- 图4-8 (a) 所示为单臂接法的变压器桥式测量电路，高频电源经变压器接到电容桥的一个对角线上，电容 C_1 、 C_2 、 C_3 和 C_x 构成电桥的四个臂，其中 C_x 为电容传感器。
- 当传感器未工作时，交流电桥处于平衡状态，有：
$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_x}{C_3}$$
- 此时，电桥输出电压 $U_0 = 0$ 。
- 当 C_x 改变时 $U_0 \neq 0$ ，电桥有输出电压，从而可测得电容的变化值。

(2) 差动接法

- 变压器电桥测量电路一般采用差动接法，如图4-8(b)所示。 C_1 和 C_2 以差动形式接入相邻两个桥臂，另外两个桥臂为次级线圈。在交流电路 C_1 和 C_2 的阻抗分别为：
为：

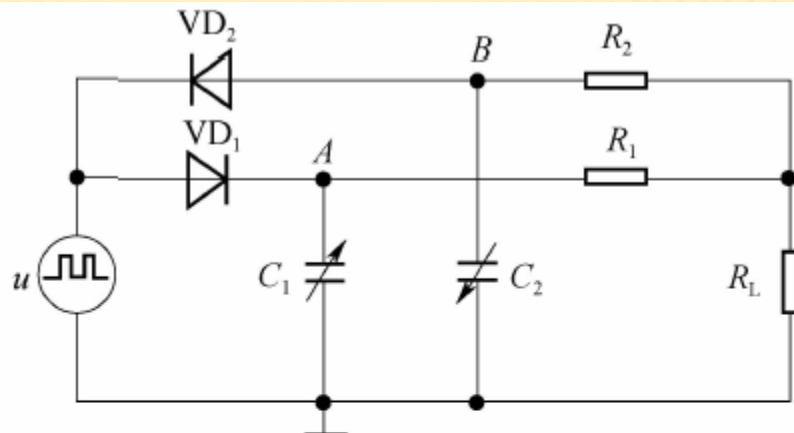
$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_1}; \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2}$$

- 则有，
$$I = \frac{U}{Z_1 + Z_2}$$

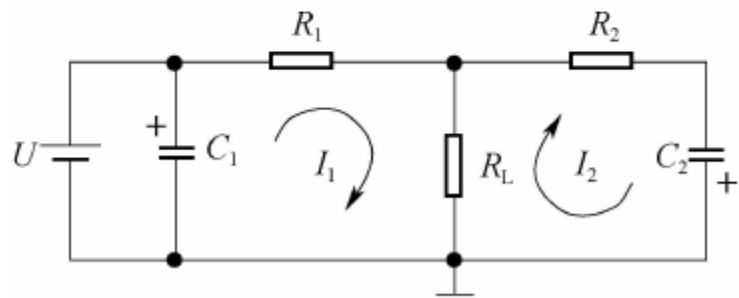
- 故，当输出电压为 U 时，电桥空载输出电压为
$$\dot{U}_0 = \dot{U}_{C_2} - \frac{U}{2} = \frac{U}{Z_1 + Z_2} Z_2 - \frac{U}{2} = \frac{U}{2} \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{U}{2} \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$$

2.3 双T形电桥电路

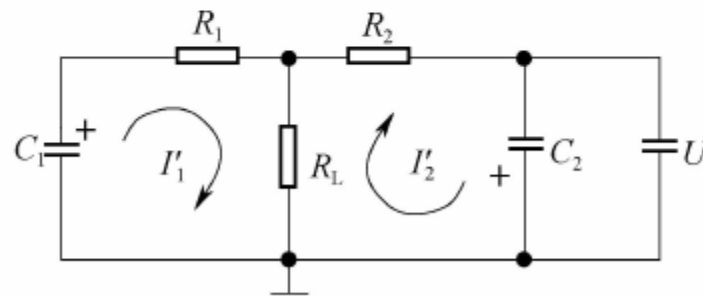
- 双T形电桥电路如图所示，高频电源 u 提供幅值为 U 的方波。



(a) 双T型电桥连接



(b) 正半周



(c) 负半周

2.4 运算放大器式测量电路

- 运算放大器式测量电路的原理图如图所示。电容式传感器跨接在高增益运算放大器的输入端与输出端之间。

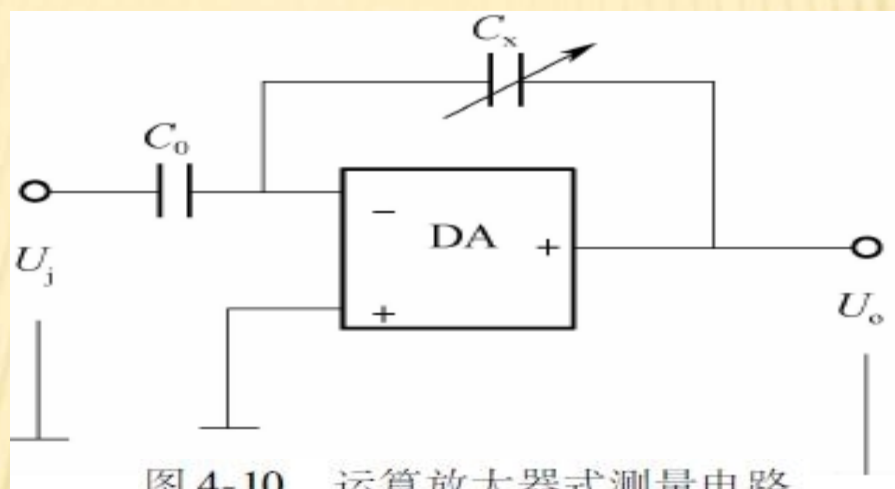


图 4-10 运算放大器式测量电路

- 由于运算放大器的放大倍数非常大，而且输入阻抗很高，可认为是一个理想运算放大器。则输出电压

u_0 为：

$$u_0 = -\frac{C_0}{C_x} u_i$$

- 可见，运算放大器的输出电压 u_0 与极板间距离成线性关系。运算放大器电路解决了单个变极板间距离式电容传感器的非线性问题，但要求运算放大器的开环放大倍数和输入阻抗都足够大。
- 理想运算放大器的开环放大倍数 $A \rightarrow \infty$ ，且输入阻抗 $Z_i \rightarrow \infty$ 。为保证仪器精度，还要求电源电压的幅值和固定电容 C_0 值稳定。

2.5 调频电路

- 调频电路是将电容式传感器的电容与电感元件构成振荡器的谐振回路。其测量电路原理框图如图所示。

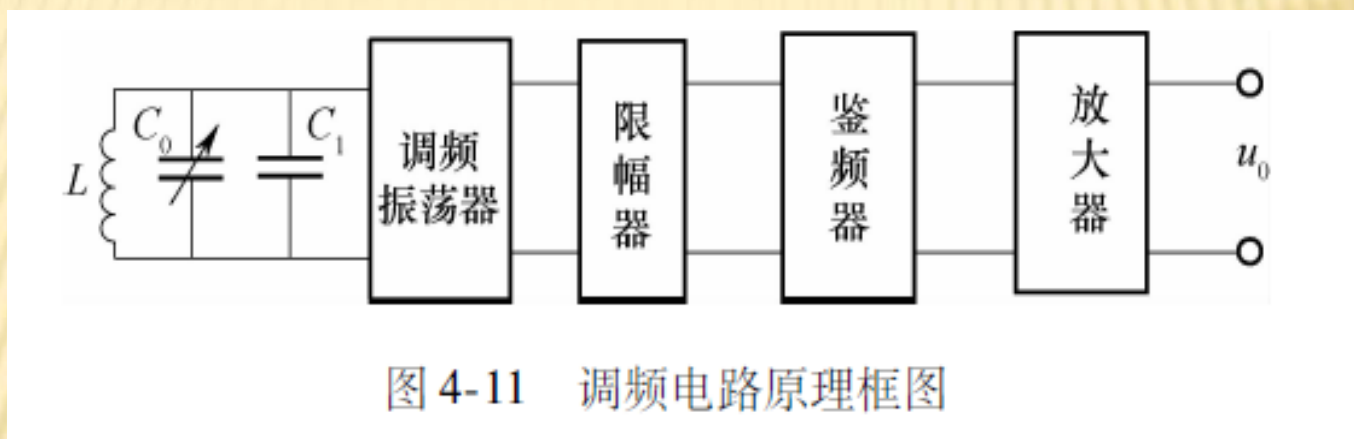


图 4-11 调频电路原理框图

- 当电容工作时，电容变化导致振荡频率发生相应的变化，再通过鉴频电路把频率的变化转换为振幅的变化，经放大后输出，即可进行显示和记录，这种方法称为调频法。

➤ 当传感器未工作时，振荡频率为：

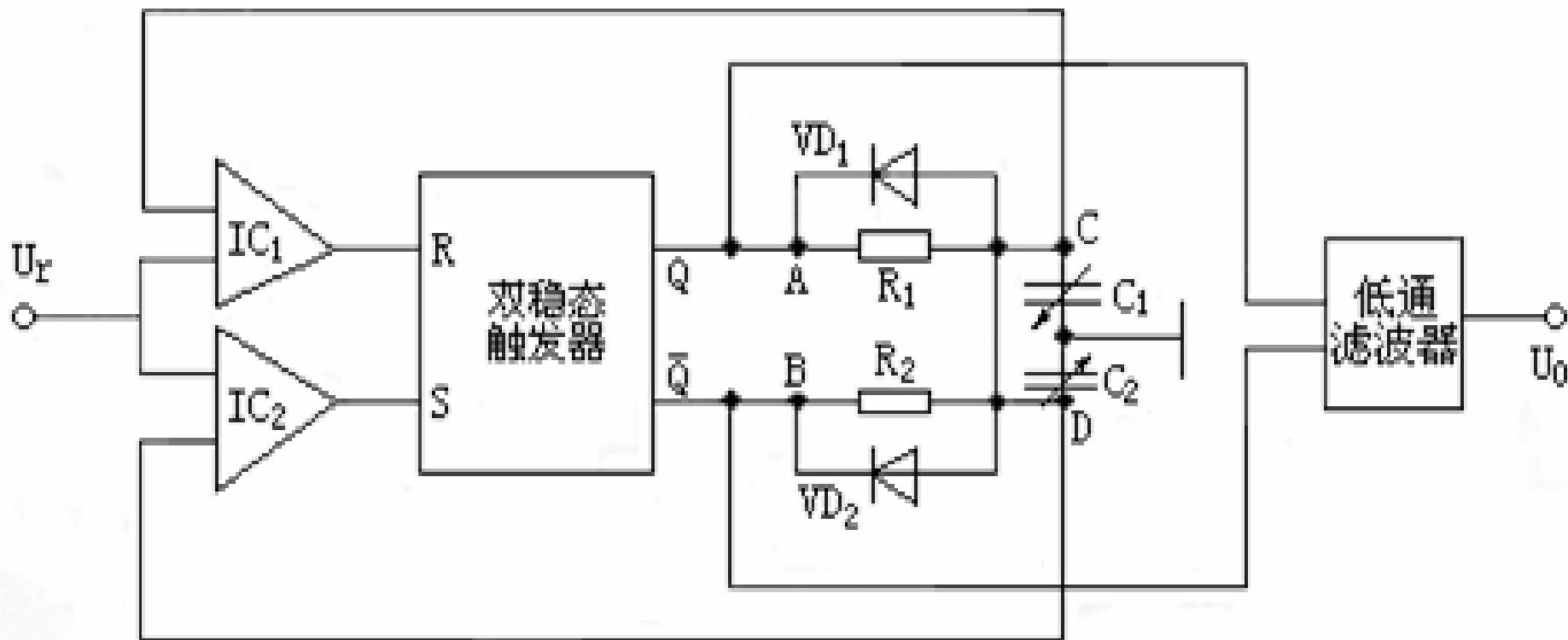
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C_0 + C_1 + C_c)}}$$

➤ 用调频电路作为电容式传感器的测量电路具有下列特点：

- (1) 抗干扰能力强，稳定性好；
- (2) 灵敏度高，可测量 $0.01\mu m$ 级的位移变化量；
- (3) 能获得高电平的直流信号，可达伏特数量级；
- (4) 由于输出为频率信号，易于用数字式仪器进行测量，并可以和计算机进行通信，可以发送、接收，能达到遥测遥控的目的。

2.6 差动脉冲宽度调制电路

差动脉冲宽度调制电路如图所示，它是利用对传感器电容的充放电使电路输出脉冲的宽度随传感器电容量的变化而变化，再通过低通滤波器得到相应被测量变化的直流信号。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/478141102112006070>