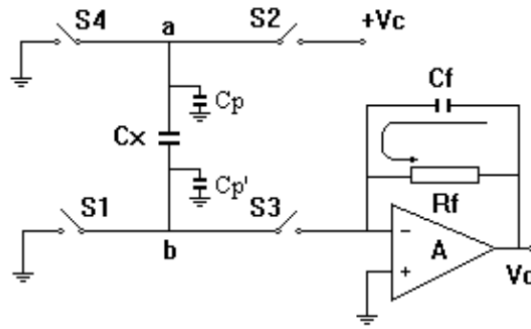


## 传感-作业3-彭程-2020011075



### 1. ODE（常微分方程）描述上述微电容测量电路模型,提供数值解

根据课程资料，可以列写微分方程如下：

$$\begin{cases} \frac{V_c - V_a}{R_2(t)} = C_p \frac{dV_a}{dt} + \frac{V_a}{R_4(t)} + C_x \frac{d(V_a - V_b)}{dt} \\ C_x \frac{d(V_a - V_b)}{dt} = \frac{V_b}{R_1(t)} + \frac{V_b}{R_3(t)} + C'_p \frac{dV_b}{dt} \\ \frac{V_b}{R_3(t)} = -\frac{V_b}{R_f} - C_r \frac{dV_b}{dt} \end{cases}$$

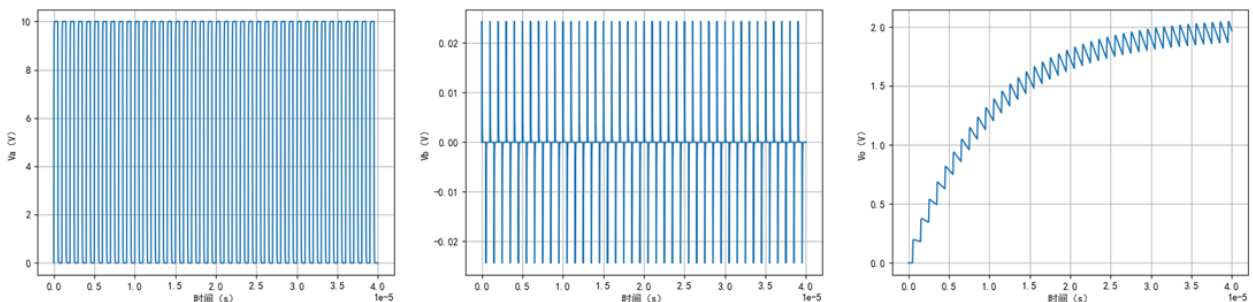
整理得：

$$\begin{aligned} \frac{dV_a}{dt} &= \frac{1}{\alpha} \left\{ \frac{(C'_p + C_x)V_c}{R_2(t)} - \frac{[R_2(t) + R_4(t)](C'_p + C_x)}{R_2(t)R_4(t)} V_a - \frac{[R_1(t) + R_3(t)]C_x}{R_1(t)R_3(t)} V_b \right\} \\ \frac{dV_b}{dt} &= \frac{1}{\alpha} \left\{ \frac{C_x V_c}{R_2(t)} - \frac{[R_2(t) + R_4(t)]C_x}{R_2(t)R_4(t)} V_a - \frac{[R_1(t) + R_3(t)](C_p + C_x)}{R_1(t)R_3(t)} V_b \right\} \\ \frac{dV_o}{dt} &= -\frac{1}{R_4(t)C_f} V_b - \frac{1}{R_f C_f} V_o \end{aligned}$$

其中：

$$\alpha = C_p C_x + C'_p C_x + C'_p C_p$$

这里我们用python实现了4阶龙格-库塔法来求解上述的微分方程，根据求解结果绘图如下：



取不同的 $C_x$ ,得到的 $V_o$ 如下：

真实 $C_x/pF$	输出 $V_o/V$
0.5	1.003
1	2.004
2	4.010
4	8.012
5	10.021

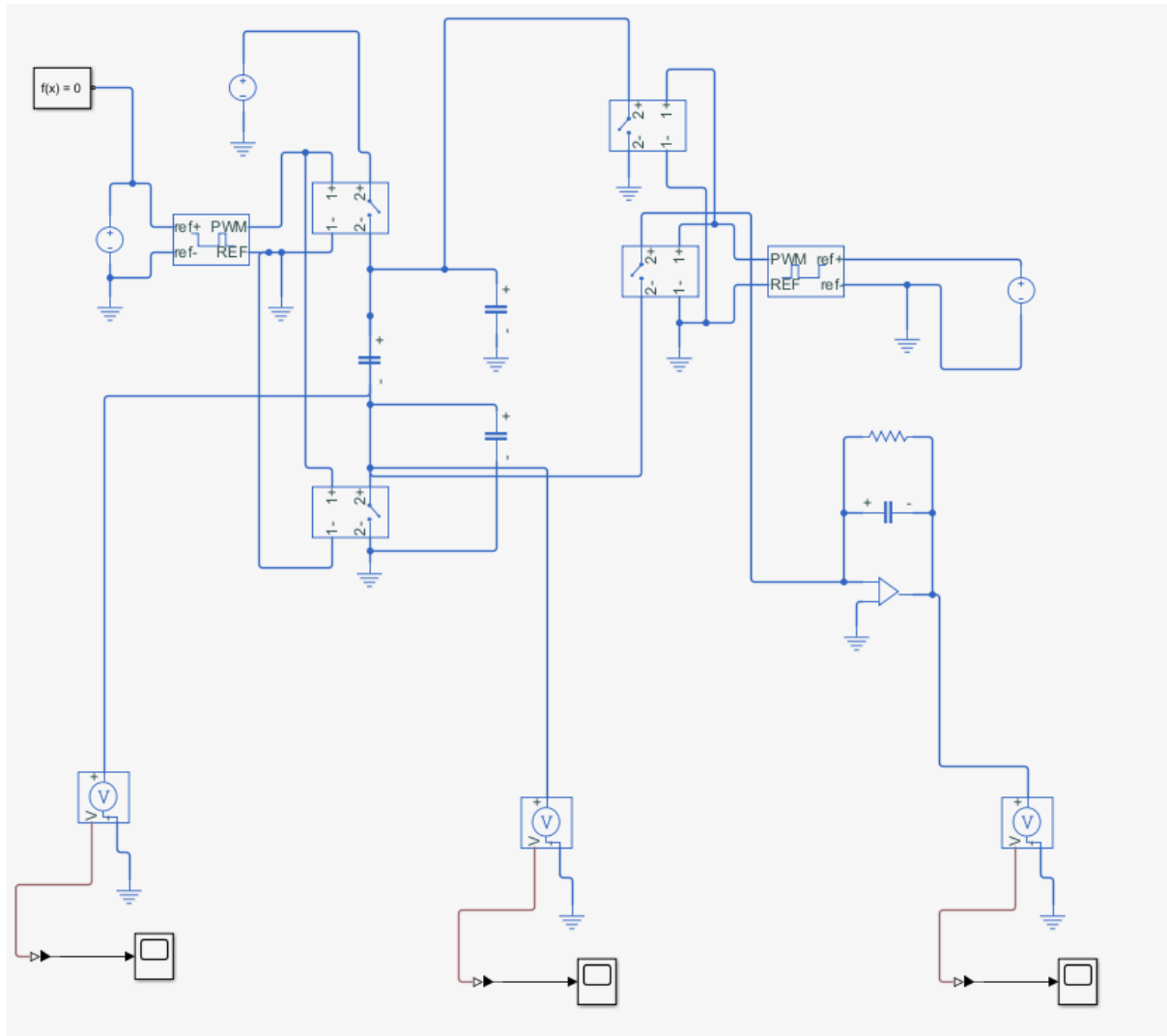
研究数值解和电容值之间的关系，不难发现二者呈近似线性的关系，近似计算，当 $fR_fC_f \gg 1$ 时，可以近似有：

$$C_x = \frac{V_o}{V_c f R_f}$$

代入 $V_o$ 计算得到 $C_x$ 的值为 2.005pF，误差为 0.25%。

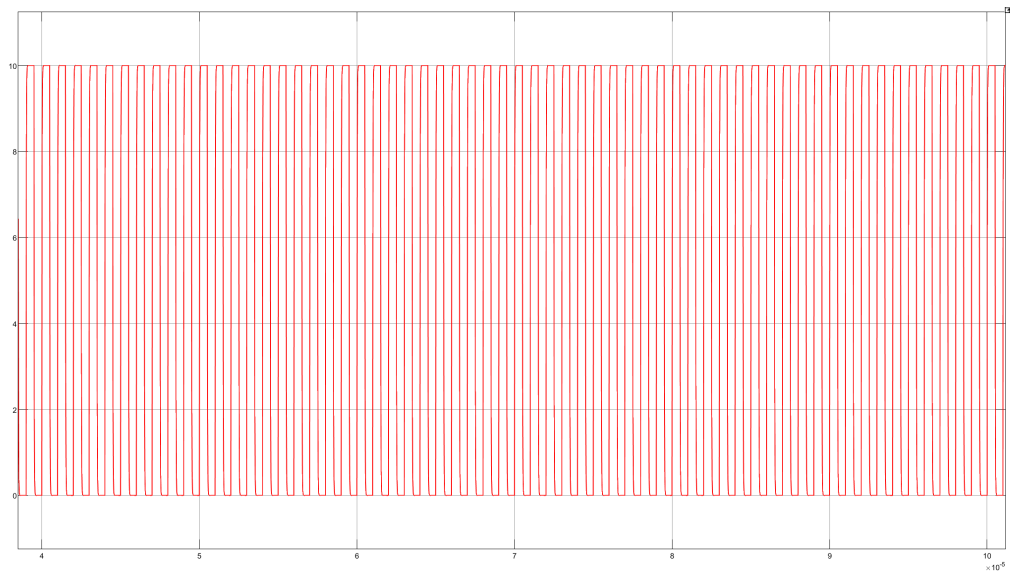
## 2. 电路仿真

使用matlab作仿真电路如下：

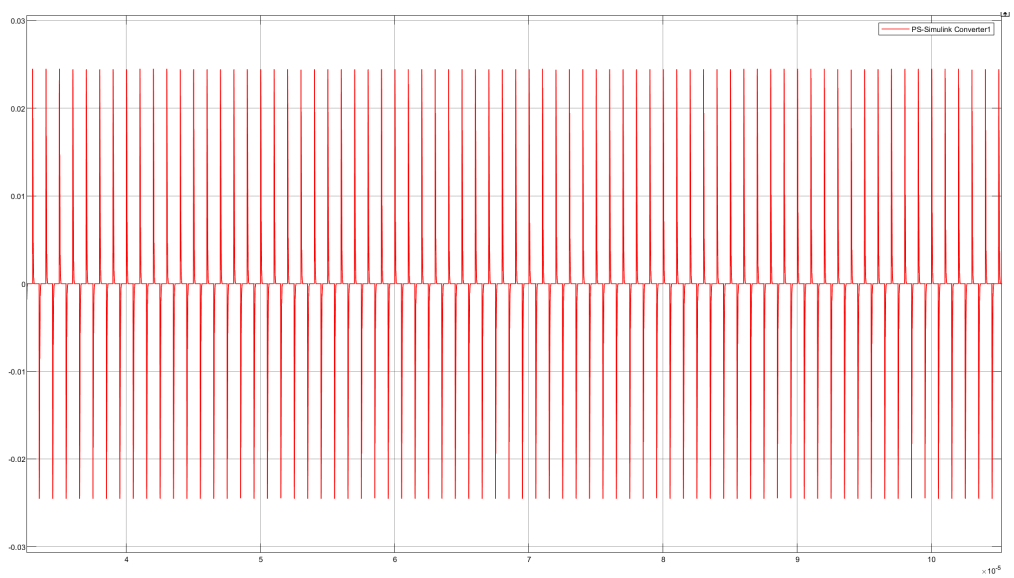


得到电压输出图像如图所示：

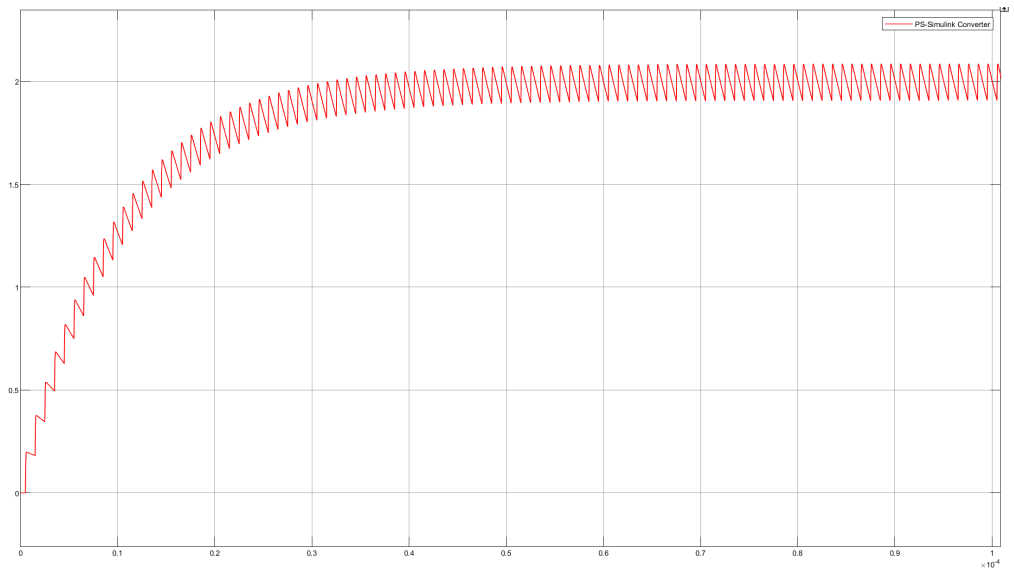
$V_a$ ：



$V_b$  :



$V_o$  :



多组实验数据如下：

真实 $C_x/pF$	输出 $V_o/V$	测量 $C_x/pF$	误差
0.5	0.994	0.498	0.4%
1	1.992	0.996	0.4%
2	3.980	1.991	0.45%
4	7.970	3.985	0.36%
5	9.966	4.982	0.4%

得到的关系同1问，为近似线性关系。

讨论杂散电容 $C_p$ 、 $C_p'$ 及反馈电容 $C_f$ 对电路输出特性的影响：

- 当 $fR_fC_f \gg 1$ 时，只要充放电的时间足够长， $V_o$ 将趋向于稳定的线性关系，给不同的 $C_f$ ，振荡幅度越小，则达到基准输出所需要的时间也越长。
- 该电路具有抗分布电容特性，因而杂散电容对电路输出特性没有明显影响，代入不同的 $C_p$ 、 $C_p'$ ，得到的结果大致相同。

### 3. 调研其他微电容测量电路

通常，电路中寄生电容的大小一般在 10-100pF 量级，如果直接采用一般测量电容的方法，则会很大程度上受到寄生电容的影响从而无法测量出小电容的电容值大小，为了解决问题，有以下解决办法：

#### 1. 充/放电电容测量电路

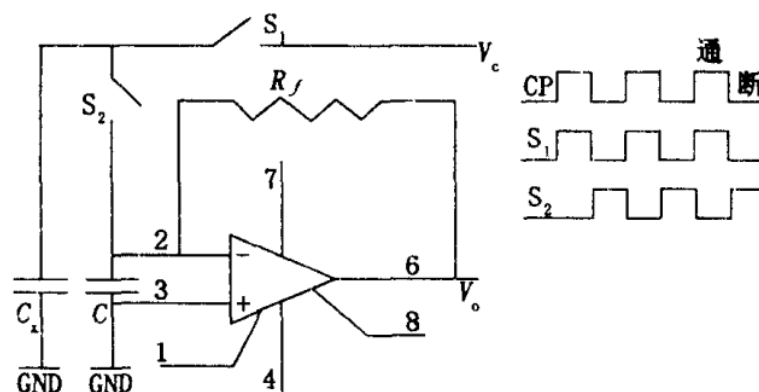


图 1 充/放电电容检测电路

充 / 放电电容测量电路基本原理如上图所示。由CMOS开关  $S_1$  给未知电容充电，再由第二个 CMOS开关 $S_2$  放电至 电荷检测器。在一个信号充 / 放电周期内从  $C$ ，传输到检波器的电荷量，在时钟脉冲控制下放电过程重复进行，最后给出一个直流输出电压。

#### 2. AC电桥 电容测量电路

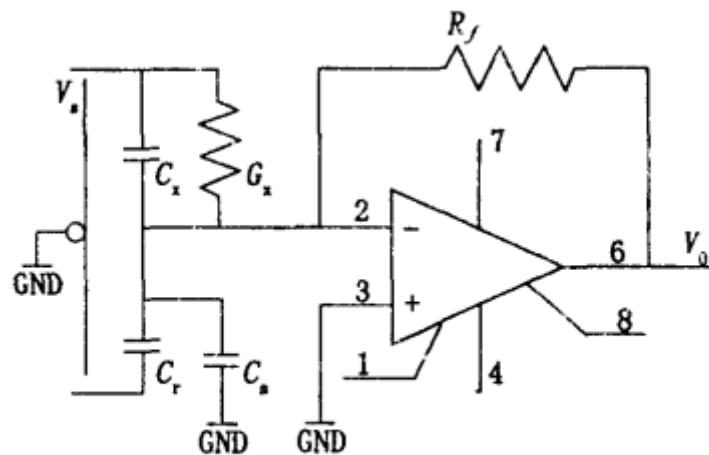


图3 AC电桥电容测量电路

AC电桥电容测量电路如上图所示，其原理是将被测电容在一个桥臂，可调的参考阻抗放在相邻的一个桥臂，二桥臂分别接到频率相同 / 幅值相同的信号源上，调节参考阻抗使桥路平衡，则被测桥臂中的阻抗与参与阻抗共轭相等。这种电路的主要优点是精度高，适合作精密电容测量，可以做到高信噪比。

### 3. 交流锁相放大电容测量电路

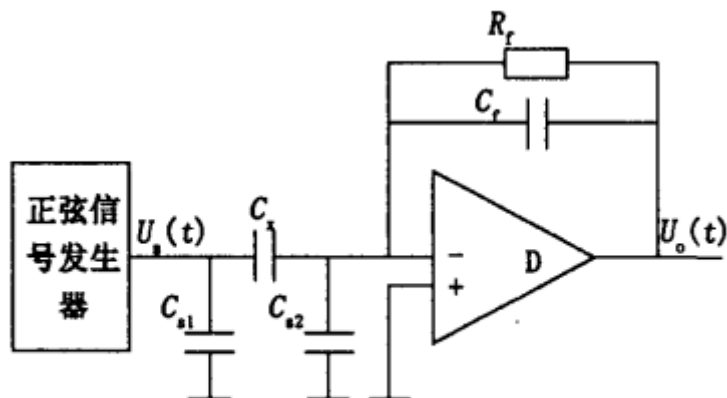


图5 交流电容测量电路

交流型的 C / V 转换 电路基本原理如上图所示。正弦信号对被测电容进行激励，激励电流流经由反馈电阻、反馈电容  $C_f$  和运放组成的检测器 D 转换成交流电压。输出电压值正比于被测电容值。为了能直接反映被测 电容的变化量。

### 4. 基于 V/T 变换的电容测量电路

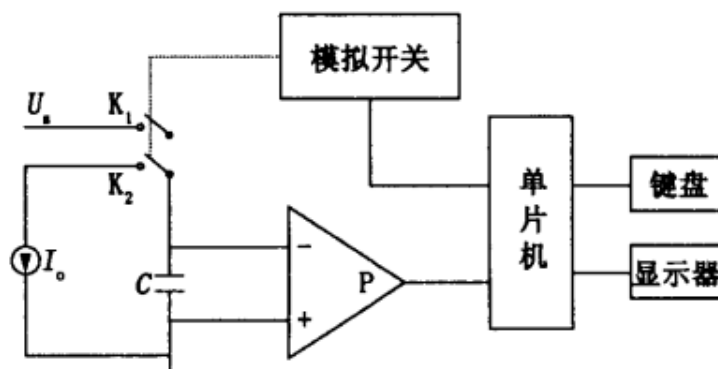


图6 测量电路原理图

测量电路基本原理如图所示，电流源为4DH型精密恒流管，它与电容C通过电子开关K串联构成闭合回路，电容C的两端连接到电压比较器P的输入端，测量过程如下：当 $K_1$ 闭合时，基准电压给电容充电，然后 $K_1$ 断开 $K_2$ 闭合，电容在电流源的作用下放电，单片机的内部计数器同时开始工作。当电流源对电容放电，比较器翻转，计数器结束计数，计数值与电容放电时间成正比。基于V/T变换的电容测量电路，对被测电容只进行一次充放电即可完成对被测电容的测量。

#### 5. 基于电荷放大原理的电容测量电路

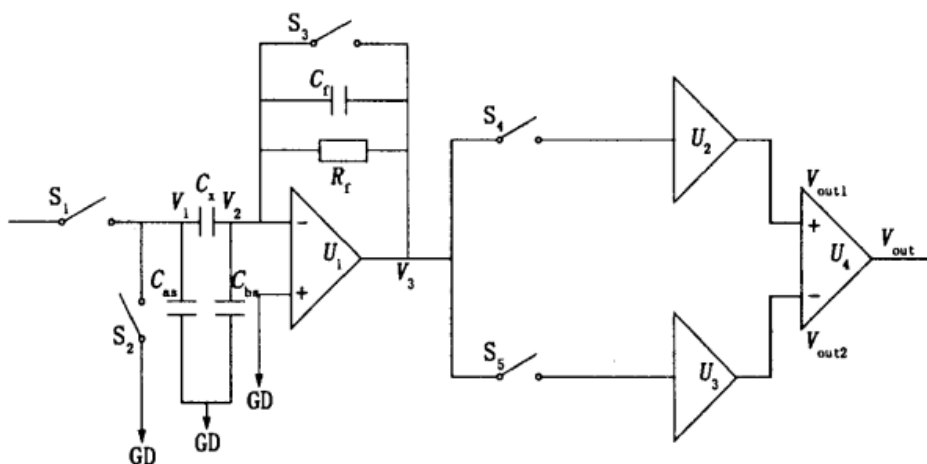


图 10 基于电荷放大电容测量电路

该电路是通过测量极板上的激励信号所感应出的电荷量而得到所测电容值的。图中 $C_x$ 为被测电容，它的左侧极板为激励电极，右侧极板为测量电极。 $C_a$ 和 $C_b$ 表示每个电极所有杂散电容的等效电容， $C_a$ 由激励信号源驱动，它的存在对流过被测电容的电流无影响。电容 $C_b$ 在测量过程中始终处于虚地状态，两端无电压差，因而它也对电容测量无影响，因此整个电路对杂散电容的存在不敏感。

#### 参考资料：

[1]邱桂苹,于晓洋,陈德运.微小电容测量电路[J].黑龙江电力,2006(5):362-366.