

方案：自平衡电桥+串联谐振

方法一：乘法器下变频

方法二：相位幅值检波器 AD8302

推荐方法二

自平衡电桥：具体分析见王老师《电子系统设计——基础与测量仪器篇》

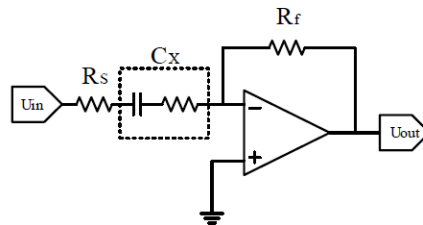


图 2 自平衡电桥

自平衡电桥如图 2 所示，利用自平衡电桥测量电容时，将视为一个复阻抗负载，为了避免复阻抗俯角接近 90° 而引起的测量误差，选取 510Ω 与被测元件串联。在自平衡电桥实现调零后，电路输入信号 U_{in} 与输出信号 U_{out} 满足：

$$\frac{U_{in}}{Z'_x} = -\frac{U_{out}}{R_f} \quad (1)$$

对 U_{out} 进行衰减调理后，与 U_{in} 一同接入相位幅度测量电路，相位幅度测量电路对 U_{in} 与 U_{out} 进行检测，由单片机读取并转化为两路信号的相差 $\Delta\varphi$ 与幅度比 A_v ，计算可得：

$$|Z'_x| = \frac{|A_v|}{R_f} \quad (3)$$

$$R_x = |Z'_x| \sin \Delta\varphi - 500\Omega \quad (4)$$

$$X_c = |Z'_x| \cos \Delta\varphi \quad (5)$$

对于电容测量电路：

$$C_x = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (6)$$

$$D = 2\pi R_x C_x \quad (7)$$

电桥的输出与原始信号有 180° 固定相移，超过了 AD8302 相位检波范围，后级需要再接一个反相器才能输入 AD8302
串联谐振：

2. RLC 串联谐振法测量电感分析与计算

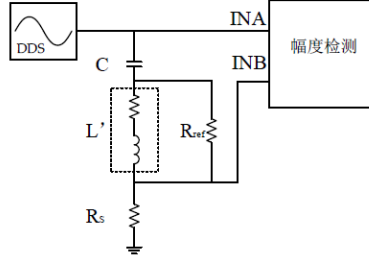


图3 串联谐振电路

串联谐振电路如图3所示，RLC 串联谐振法通过测量电路谐振电流 I_r 与谐振频率 f_r 计算电感量 L 与品质因数 Q 考虑到信号发生源输出带宽，测量频率最大为5Mhz。

计算电路中电容值为：

$$C = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 L} > \frac{1}{(2\pi \times 500\text{MHz})^2 \times 10\mu\text{H}} \approx 100\text{pF} \quad (8)$$

当输入电压频率 f 满足下式时：

$$f = f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (10)$$

电路达到谐振点，此时电流达到最大值：

$$I_{\max} = I_r = \frac{U_{in}}{R_s + R_c + R'_L} \quad (11)$$

R_s 为采样电阻，用于测量电路电流， R_c ， R_L 分别为电容，电感的等效串联电阻。通过检测 R_s 两端电压最大值时的频率 f_r ，根据电容值 C 。计算得到电感值 L_x ：

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C} \quad (12)$$

电路谐振时，电路呈阻性，由电阻分压，检测输入电压与采样电阻两端电压幅度比 A_v 计算出电感等效内阻 R_L 和品质因数 Q ：

$$\frac{U_s}{R_s} = \frac{U_{in}}{R_s + R'_L + R_c} \quad (13)$$

$$R'_L = \left(\frac{U_{in}}{U_s} - 1 \right) R_s - R_c \quad (14)$$

$$R_L = \frac{R'_L R_{ref}}{R_{ref} - R'_L} \quad (15)$$

$$Q = \frac{2\pi f_r L}{R_L} \quad (16)$$

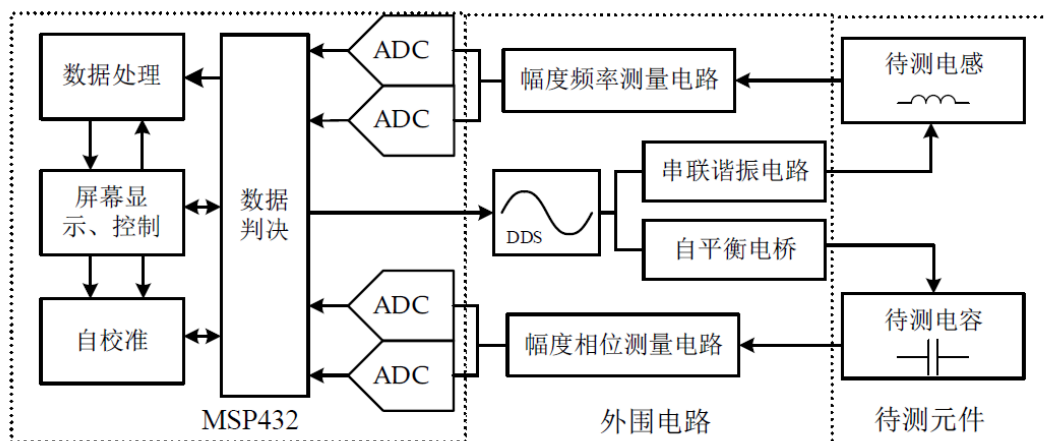


图 1 系统框图

DDS信号源：AD9854、AD9959

电桥运放：精密运放即可