

数字多用电表

摘要：以 STM32 为控制核心，设计制作了数字万用表。本系统主要包括电阻电桥、555 振荡电路、三点式电容振荡电路、交流有效值测量电路。电阻电桥通过测量电桥两端的电压差信号，555 振荡电路输出方波信号，三点式电容振荡电路输出调制波，交流信号通过 AD637 输出直流有效值信号。以上信号通过模拟开关进行控制。模拟开关的输出信号进入 ADS1118 通过采样进行模数转换，将信号参数显示在 LED 显示屏上。经测试，系统能准确、快速测量并显示电阻值、电容值、电感值以及交流信号、直流信号的有效值，并且能够通过无线模块发送至 PC 端。系统达到题目的全部指标要求，测试结果良好，人机交互方便，并且在功能上有一定的拓宽。

关键词：电阻电桥、振荡电路、ADS1118

一、 系统方案

1.1 方案比较与选择

1.1.1 电阻测量电路

方案一：惠斯通电桥

方案二：放大电桥法。利用全桥电路桥臂之间的电压的分压和四个电阻之间的阻值关系输出电压差。优点是精度较高，能对电阻变化，输出有效变化，减小非线性误差。缺点是电路复杂、输出电压差。

1.1.2 电容测量电路

方案一：电容串联分压。通过 STM32 输出特定频率的方波，待测电容与三个已知的电容构成电桥，通过待测电容与已知电容之间的电压关系式可得到电容容值。其优点是电路简单，测量方便。缺点是电容测量精度较低。

方案二：555 振荡电路。555 振荡电路作为一个方波信号发生电路，其输出的频率仅与电阻电容值有关。可以通过输出频率与电容之间的关系式，确定电容。其优点是电容精度高，输出频率稳定。缺点是电路结构复杂。

由于系统对精度要求较高，故采用方案二。

1.1.3 电感测量电路

方案一：三点式振荡电路。以电容三点式振荡电路产生一定频率的正弦波，后级连接缓冲电路从而得到尽量稳定的输出。负载与选频网络相连，根据不同的电感参数选出不同的频率，根据谐振频率算出电感值。由于反馈电压取自电容，而电容对晶体管非线性特性产生的高次谐波呈现低阻抗，所有反馈电压中高次谐波分量很小，因而输出波形稳定可靠。但是反馈系数与回路电容有关，如果用改变电容的方法来调整振荡频率，必然会改变反馈系数，影响起振。

方案二：三角波产生电路

1.1.4 交流电压测量电路

方案一：峰值保持。利用二极管单向导通特性，对电容进行充电。从而交流信号变成直流信号。在通过电压跟随器进行阻抗变换和隔离。便于 ADC 的采集和安全。其优点是电路简单，输出结果稳定。缺点是只能测量正弦信号。

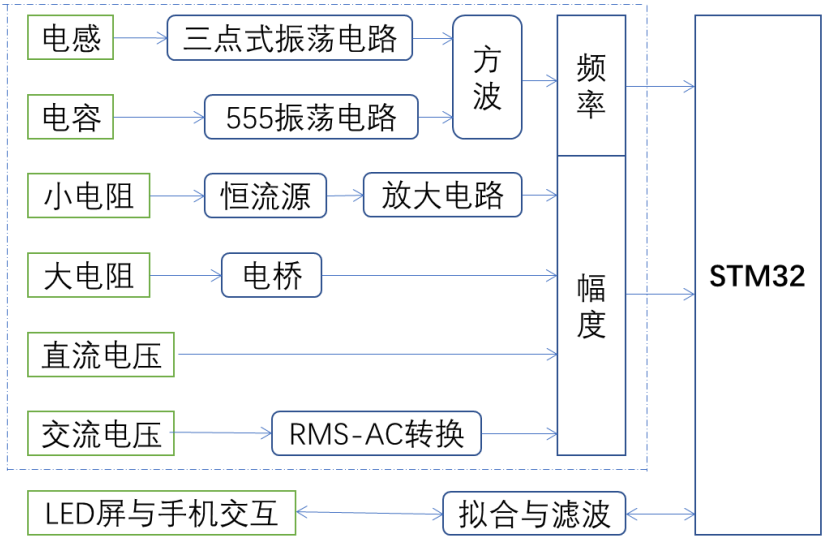
方案二：AD637 测量。AD637 是一款完整的高精度、均方根直流转换器,可计算任何复杂波形的真均方根值。可以测量含直流分量以及多次谐波的交流信号。其优点是测量精确、可测量多种信号的有效值。缺点是电路结构复杂，需要电压

跟随器以及滤波电路。

由于题目要求能测试任意波形信号有效值，故采用方案二，利用 AD637 测量。

1.2 系统方案描述

系统总体框图如图 1.1 所示，总体方案如下：电阻电桥输出电压差信号，555 振荡器输出频率信号，克拉波振荡器输出频率信号，交流信号通过有效值测量电路输出直流电压信号，直流信号直接输出直流电压信号，这些信号全部接入到模拟开关的输入端，STM32 输出信号控制模拟开关的使能端，控制模拟开关的信号选择。模拟开关输出信号通过 AD 转换器采样电压波形信号，送入控制电路进行处理，通过交互结构获取信息。



二、 理论分析与计算

2.1 放大电桥

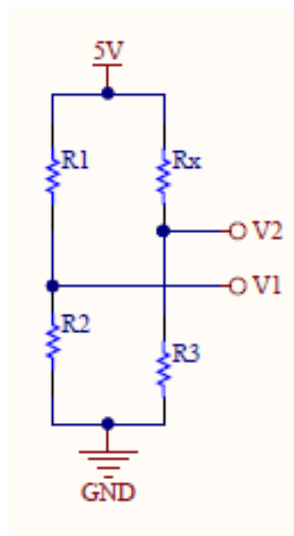


图 1

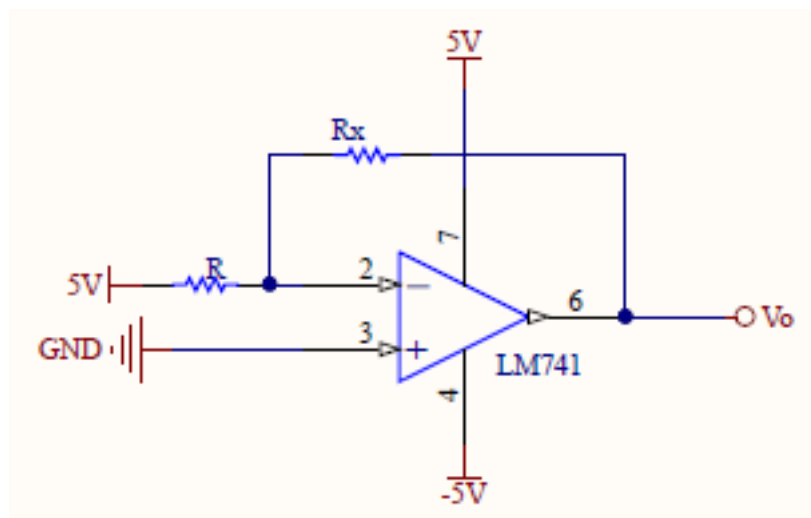


图 2

如图 1 通过电阻分压，分别测量 V_o, V_{ref} ，

$$V_1 = \frac{R_2 V_i}{R_1 + R_2}, \quad V_2 = \frac{R_3 V_i}{R_x + R_3},$$

$$\text{则 } R_x = \frac{R_3 (R_1 + R_2) V_i}{R_2 V_i + (R_1 + R_2) (V_2 - V_1)} - R_2$$

为了简化计算，提高测量精确度，令 $R_1 = 10R_2$ ， $R_2 = R_3 = R$ ， $R_1 = 10R_2$ 可得

$$R_x = R \frac{11V_i}{V_i + 11(V_2 - V_1)} - R$$

2.2 恒流源电路

如图 2 所示, 负载电阻连接输出端和负输入端作为反馈电阻, 当 $R > 2R_x$ 时, 反馈电阻分压对输出电流的影响可以通过反馈作用消除,

输出电流 $I = V_{cc} / R$, 负载两端电压与负载电阻成线性关系 $V_o = IR_x$, 可知

$$R_x = V_o R / V_{cc}$$

2.3 555 振荡电路

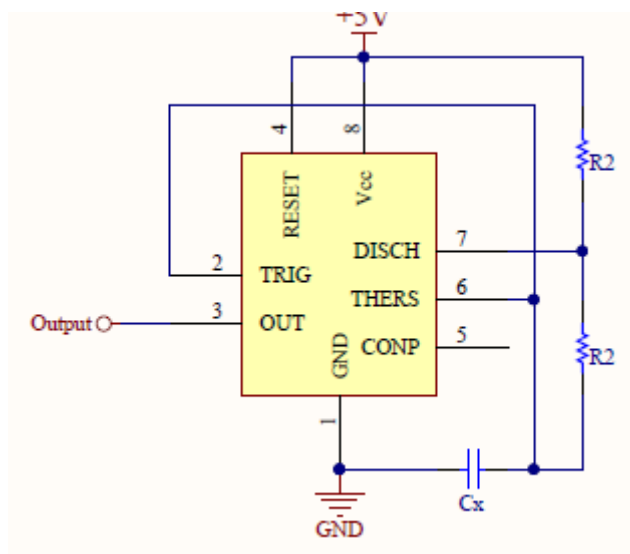


图 1

电路接通电源的瞬间, 由于电容 C 来不及充电, $V_c = 0V$, 输出 V_o 为高电平。同时, 集电极输出端对地断开, 电源 V_{cc} 对电容 C 充电, 电路进入暂稳态, 此后, 电路周而复始地产生周期性的输出脉冲。多谐振荡器两个暂稳态的维持时间取决于 RC 充、放电回路的参数。

暂稳态 I 的维持时间, 即输出 V_o 的正向脉冲宽度

$$T_1 = k(R_1 + R_2)C$$

暂稳态 II 的维持时间, 即输出 V_o 的负向脉冲宽度

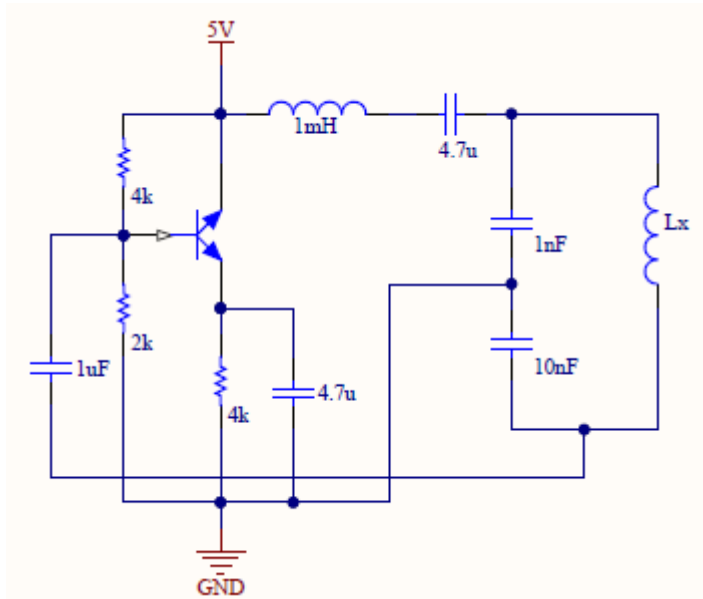
$$T_2 = kR_2C$$

因此, 振荡周期

$$T = T_1 + T_2 = k(R_1 + 2R_2)C$$

k 为可以通过实验测量的比例系数。

2.4 三点式振荡电路



电路由串联电容 C_1, C_2 与待测电感 L_x 构成的回路以及正反馈放大器组成。如图 4 所示，振荡器接通电源后，电路中的电流迅速增大并且产生脉动信号。当脉冲信号中存在的特定频率的谐波与谐振回路的固有频率相等时，电路产生谐振，通过电路放大及正反馈使振荡幅度不断增大。当振荡幅度达到三极管集电结导通电压时，晶体管进入非线性区域，产生自给偏压，使放大器的放大倍数减小，最后达到平衡，最终得到特定频率的振荡信号输出。

三、电路与程序设计

3.1 电阻电桥

3.1.1 放大电桥

供电电压为 E ，令 $R_1 = 10R_2$ ， $R_2 = R_3$ ，则输出电压差为

$$U = E \frac{R_1 * R_3 - R_x * R_2}{(R_x + R_1)(R_3 + R_2)} \quad 3.1$$

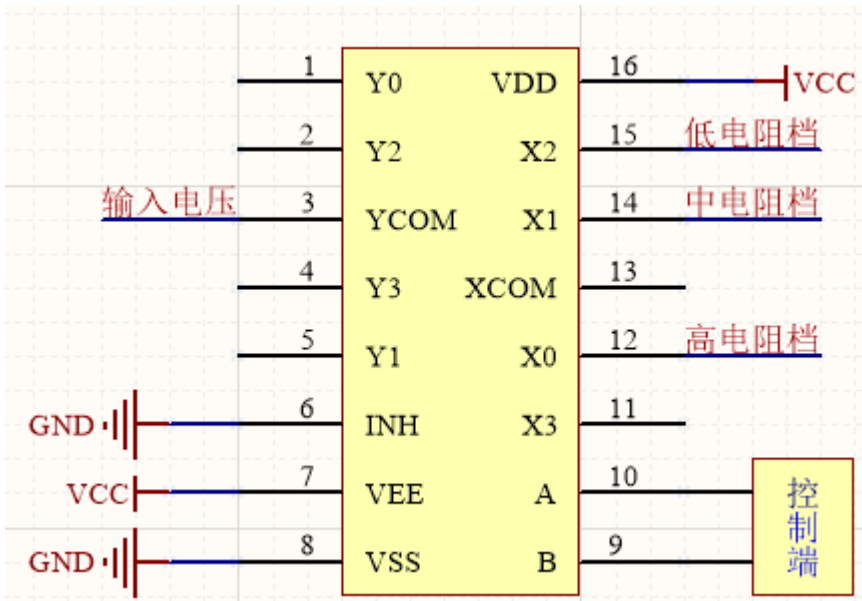
在不同的档位的时 R_1, R_2, R_3 相等取不同值。100 Ω - 1k Ω 时取 100 Ω ，1k Ω - 10k Ω 取 1k Ω ，10k Ω - 100k Ω 取 10k Ω ，100k Ω - 1M Ω 取 100k Ω ，

3.1.2 量程切换

通过模拟开关 CD4052B 在不同量程之间切换。CD4052 是一个差分 4 通道数字控制模拟开关，有 A、B 两个二进制控制输入端和 INH 禁止端，STM32 输出的数字信号可控制 V_{pp} 达到 20V 的模拟信号。测量电阻时，接通电阻的档位产生的电压信号被 STM32 控制中心捕获，并打开对应的电阻档位通道。

INH	A	B	Channel
0	0	0	X0,Y0
0	1	0	X1,Y1
0	0	1	X2,Y2
0	1	1	X3,Y3
1	X	X	None

表格 1



3.2 555 振荡电路

使用集成芯片 555，体积小巧。在稳态工作模式下 555 定时器可输出连续的特定频率的方波。为了使输出频率较低选取 $R1=22k\Omega$ ， $R2=51k\Omega$ ，通过 STM32 测频模块得到输出方波频率，

3.3 三点式振荡电路

为了有利起振，选用较小的起振电容。同时，为了得到尽量稳定的输出，在

后级接上的缓冲电路选取较大的电容值，最后以通过比较器除去调制波中振幅较大的二次、三次谐波，将调制波转换成频率与幅度稳定的方波

3.4 STM32 测频模块

把正弦波转换成频率相等，幅度达到 STM32 可以捕获到的上升沿的方波。将该方波作为外部时钟源接至 STM32 指定管脚，同时将 STM32 的 TIM2 设置为外部时钟源模式，将 TIM3 的周期设置为 500ms。当方波上升沿到来时，TIM2 将向上计数，并在 TIM3 产生的中断中计算方波的频率。

3.5 无线模块

STM32 通过串口与 ESP8266 模块相连，通过 TCP 协议与 PC 端共同构成局域网。使用 C#编写上位机，最终实现 PC 端对系统的控制，并能将本系统采集数据实时发送至 PC 端。

四、测试方案与测试结果

4. 1 测试仪器

表 4.1 测试仪器及型号

仪器名称	型号
直流稳压稳流电源	RIGOL DP832
60MHz 双通道数字示波器	Tektronix TDS 1002
150MHz 双通道函数发生器	Tektronix AFG3152C

4.2 测试条件与测试结果

4.3 测试结果分析

系统完成了所有基本要求以及部分发挥要求，各项指标均达到题目要求。对于基础功能要求，系统能够在精度要求内实现对电阻、电感、电容的测量。对于发挥要求，系统能够将 100~1M 电阻的测量精度提高至 0.5%。本系统能基本达到题目要求，但在测量过程中仍存在读数不稳定等缺点。

五、总结

本系统采用 STM32 作为数据处理核心，分别通过直流电桥电路、555 振荡电路、三点式电容振荡电路测量电阻、电容、电感，并利用 AD637 芯片完成了对

交流信号有效值的测量，很好的完成了题目对测量精度的要求。为了方便人机交互，我们还添加了无线通信模块，实现了 PC 端对本系统的控制。在最终的测试环节中，本系统完成了所有基本要求以及部分发挥要求。