滤波器传递函数模型测试实验指导书

一、实验目的

1．复习并掌握时域测试的基本原理；
2．正确应用矩形脉冲响应法（阶跃响应法）测试通道动态特性及判别通道传递函数表达方式；
3．通过实验深刻了解系统传递函数的含义；
4．了解滤波器的时间响应特性以及时域测试与频域测试的区别；
5．掌握时域反求传递函数的方法。

二、实验内容

1．测定一阶低通滤波器的传递函数（求取增益 K 和时间常数 T）并与理论值比较；
2．测定一阶高通滤波器的传递函数（求取增益 K 和时间常数 T）并与理论值比较；
3．测定二阶低通滤波器的传递函数（求取增益和时间常数 T1 和 T2）并与理论值比较。

三、实验原理及方案

1．时域测试的原理

输入函数 r(t)，输出函数 c(t)，传递函数 g(t)，故 c(t)=r(t)*g(t)；其对应的频域上的输出为：

$$C(s) = R(s) \bullet G(s)$$

若输入为冲激函数，即 R(s)=1，则 C(s)=G(s)，即输出函数等于传递函数。但实际不存在冲激函数，故用合适的阶跃函数或者方波一定程度替代（有界性）。通常使用的测试函数为方波、阶跃，此实验选用的是方波。通过系统得到的响应在测试后可能会因为器件的误差与标称值会不同，所以需要用 matlab 进行拟合，以拟合结果为准。与传统的系统辨识反求传递函数方法相比，通过示波器进行的时域测量只有一次测试，而且准确度比较高，其他方法如扫频法精确但步骤比较繁琐，点测法精确度有限且测试过程也较繁琐。

2．时域测试与频域方法比较

采用时域的分析方法比较简单直接，能够直观分析电路的输入输出，以及各个测试点的波形。但是时域分析不能确定电路对于不同频率的响应，也无法准确了解不同频率的信号对电路的干扰。频域分析为分析频率对电路的影响提供了直接的方法，在对现代电子线路的分析中，发挥了越来越大的作用。

3．系统原理图及响应分析

(1) 一阶低通滤波器

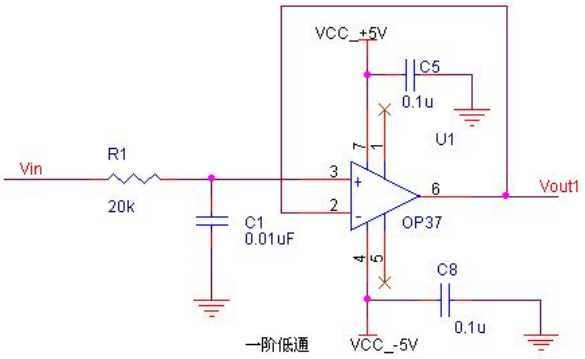

图 1 一阶低通滤波器电路图

一阶低通滤波器电路图如上图 1，则其传递函数为：

$$G(s)=\frac{1}{Ts+1}$$

其中时间常数 T=RC，设输入阶跃信号的幅度为 1V，阶跃响应：$c(t)=1-e^{-\frac{t}{T}}(t\geq 0)$，如图 2，当 t=T 时，c(T)≈0.632V。

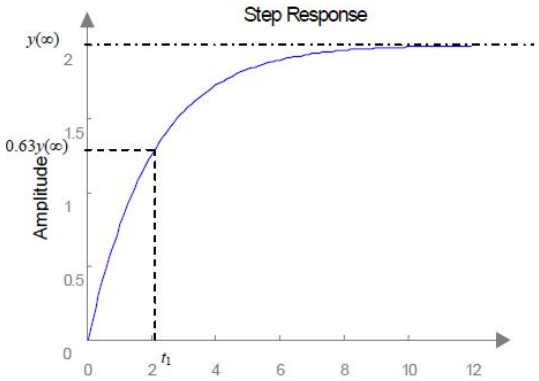

图 2 一阶低通滤波器阶跃响应

因此，当测得输出函数上升值为幅度的 63.2%所对应的时间值即为时间常数 T，即可求出传递函数。

(2) 一阶高通滤波器

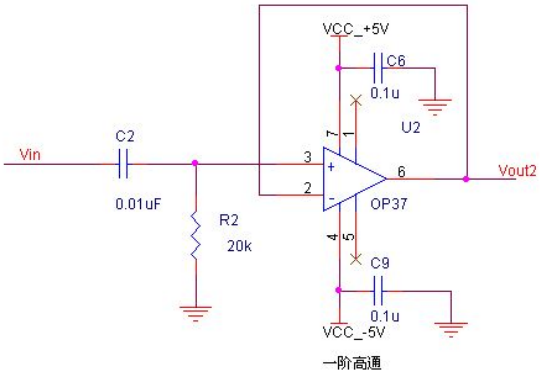

图 3 一阶高通滤波器电路图

一阶高通滤波器电路图如上图 3，则其传递函数为：

$$G(s)=\frac{Ts}{Ts+1}$$

其中时间常数 T=RC，设输入阶跃信号的幅度为 1V，则其阶跃响应：$c(t)=e^{-\frac{t}{T}}(t\geq 0)$，当 t=T 时，c(T)≈0.368V。因此，当测得输出函数下降值为幅度的 36.8%所对应的时间值即为时间常数 T，即可求出传递函数。

(3) 二阶巴特沃斯低通滤波器

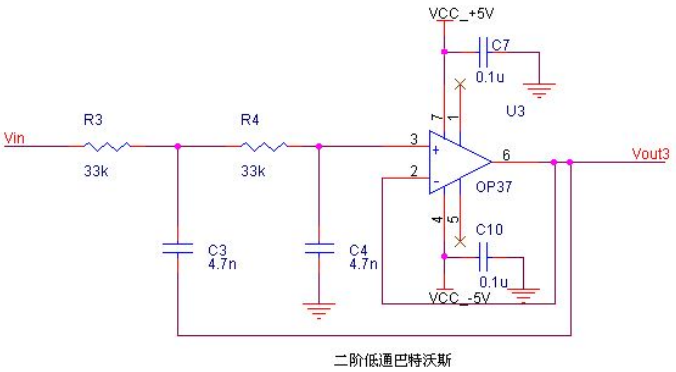

图 5 二阶巴特沃斯低通滤波器电路图

二阶巴特沃斯低通滤波器电路图如图 5 所示，则其传递函数：

$$G(s)=\frac{1}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$$

其中 $T_1=R_3\bullet C_3$、$T_2=R_4\bullet C_4$ 为时间常数。设输入阶跃信号的幅度为 1V，则输出函数有：$C(s)=\frac{1}{s}\bullet G(s)$，其所对应的时域函数为：

$$c(t)=1+\frac{T_1}{T_2-T_1}e^{-\frac{t}{T_1}}-\frac{T_2}{T_2-T_1}e^{-\frac{t}{T_2}}$$

在本实验中，用 MATLAB 的 cftool 工具箱对示波器导出的数据进行曲线拟合，然后拟合出曲线函数即为系统的阶跃响应曲线 $c(t)$，然后通过 $c(t)=g(t)*r(t)$ 和 $C(s)=G(s)\bullet R(s)$ 得出系统的传递函数 $G(s)$。

四、实验仪器与设备

信号函数发生器（1 台）、数字存储示波器（1 台）、多路直流稳压电源（1 台）、实验板（1 块）、导线若干。

五、实验步骤

(1) 一阶低通滤波器的传函测量

①：首先调节直流稳压电源使其产生一个+5V 和-5V 直流电压，然后关闭直流稳压源，连接好输出线（注意连

接方法)，接在实验板的电源输入处（+5V、—5V）。

②：打开信号发生器，调节信号发生器使其产生方波，打开示波器电源，使示波器探针接在电路板的信号输出端（VOUT1、VOUT2、VOUT3）。

③：确保电路连接正确后，最后打开直流稳压源电源（注：正负级电源要接正确，否则会损坏器件），接入信号发生器产生的输入信号。

④：用示波器观察输出波形。按下示波器上的“AUTO”按钮，再仔细调节示波器及信号发生器的频率和幅值等使得示波器观察到的波形尽量有一个周期且满幅。

⑤：调整好输出波形，用 U 盘将波形从示波器导出。将 U 盘插入电脑，导出的波形文件，将波形数据保存为 txt 格式，文件中的数据即为示波器满屏采样后的幅值点和时间点。

⑥：将 txt 中的数据信息导入到 matlab 中用 cftool 工具箱进行数据拟合，通过拟合得到输出函数，再进行运算得到传递函数。与理论计算的传递函数作比较。（低通滤波器拟合过程见附录）

(2) 一阶高通滤波器的传函测量

实验步骤同一阶低通。

(3) 二阶巴特沃斯低通滤波器传函测量

实验步骤同一阶低通。

六、实验报告要求

(1) 通过一阶低通滤波器、一阶高通滤波器、二阶低通巴特沃斯滤波器的电路原理图计算出传递函数。

(2) 在示波器上观察并在实验报告上附出一阶低通滤波器、一阶高通滤波器、二阶低通巴特沃斯滤波器的矩形脉冲响应图形。

(3) 通过矩形脉冲响应波形结合 Matlab 反求以上滤波器的传递函数并与电路图中计算出的传递函数作比较。(要求写出拟合的程序，涉及的图表及详细的反求过程)

七、思考题

(1) 不同函数类型（巴特沃斯、贝塞尔、切比雪夫等）的响应各有什么特点，相互之间有什么区别。

(2) 怎么从二阶或者高阶的响应波形中看出该滤波器是哪种类型、阶数以及反求传递函数。