



电子技术实验报告



姓名：UNikeEN 班级： 学号： 实验成绩：
同组姓名：无 实验日期：2022.11.15 指导老师：

有源滤波器实验

实验目的

1. 掌握由运算放大器组成的低通、高通和带阻有源滤波器的工作原理。
2. 掌握 RC 有源滤波器的设计方法。
3. 掌握各类有源滤波器的调试方法和测试技能。

实验原理

运算放大器有许多优点，它与 RC 网络组成的滤波器具有不需电感元件，并有一定增益及体积小、重量轻、性能稳定、易于调试等优点，而且由于运放具有高输入阻抗和低输出阻抗的特点，可以用低阶滤波器级联的方法构成高阶滤波器，但由于运放的带宽有限，因此只能用在频率不太高的场合。

有源滤波器可以分为低通、高通、带通和带阻滤波器，理想滤波器的幅频特性如图 1 所示。从通带滤波器通带特性看，可分为平坦型（巴特沃斯）、纹理型（契比雪夫）、线性相位型（贝塞尔）等滤波器，图 2 为三种二阶低通滤波器的幅频特性。

有源滤波器属于线性系统，其传递函数可表示为

$$A(s) = \frac{a_m s^m + \dots + a_1 s + a_0}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0}$$

根据信号系统理论，这样的系统网络总可以分为几个二阶网络和一个一阶网络级联后实现。因此，二阶滤波器的设计是滤波器的设计基础。对于低通、高通、带通和带阻有源滤波器，其二阶网络函数分别为：

低通型

$$A(s) = \frac{A_0 \omega_n^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_n}{Q}\right)s + \omega_n^2}$$

高通型

$$A(s) = \frac{A_0 s^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_n}{Q}\right)s + \omega_n^2}$$

带通型

$$A(s) = \frac{A_0 \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2}$$

带阻型

$$A(s) = \frac{A_0(s^2 + \omega_0^2)}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q}\right)s + \omega_0^2}$$

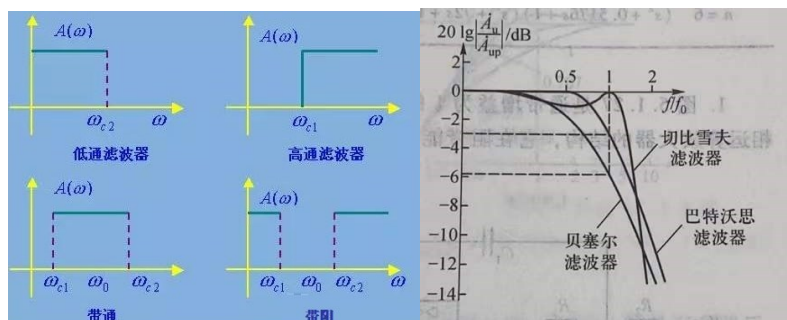


图 1

图 2

因此有源滤波器的主要特性参数有下列几项：

1. 特性角频率 ω_n ：它只与 RC 元件有关。

2. 截止角频率 ω_c ：指频率特性下降 3dB 所对应的频率。对一阶有源滤波器， ω_n 就等于 ω_c ，对于二阶有源滤波器， ω_n 不一定是 ω_c ，还与等效品质因数 Q 有关，当 $Q=1/\sqrt{2}$ 时， ω_n 即为 ω_c 。等效品质因数 Q 是衡量滤波器频率选择性的重要指标，对于低通和高通滤波器， Q 值直接决定其幅频特性的形状， $Q>1/\sqrt{2}$ 时出现谐振峰， Q 越大，谐振峰越高。对于带通和带阻滤波器， Q 值决定通带和阻带的宽度， Q 越大，通带和阻带就越窄，即 $Q=\frac{\omega_0}{2\pi BW}$ ，式中 BW 为通带和阻带的宽度， ω_0 为通带和阻带的中心频率。

3. 通带增益 A_0 ：指通频带中滤波器的增益，低通滤波器的通带增益就是直流增益。有源滤波器中最简单也是最常用的巴特沃思滤波器，这种滤波器对幅频特性的要求是：在小于截止频率 ω_c 的范围内，具有最平坦幅度，而在超过 ω_c 后，幅频特性迅速下降。对 n 阶巴特沃思低通滤波器的幅频特性，可以写成：

$$\left| A\left(\frac{j\omega}{\omega_c}\right) \right| = \frac{A_0}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}\right)}}$$

当 $|A_0|=1$ 时， $|A|$ 随 ω 的增高而单调下降，到 $\omega=\omega_c$ 时， $|A|=1/2^{0.5}$ 。不管 n 取何值， ω_c 即为上述的 3dB 截止频率。显然， n 值越大，通带内越接近理想矩形，而阻带内衰减也越大，衰减为 $20n$ dB/十倍频程，或近似为 $6n$ dB/倍频程。

由于使用运算放大器的各类有源滤波器已有定型电路，在应用时，只需根据对滤波器的要求确定阶数 n 。由图 3 可知，每一个多项式代表一个有源滤波器。二次多项式所代表的二阶滤波器的 Q 系数就是它的一次项系数的倒数。例如 $n=4$ 的情况，两个二阶滤波器的 Q 系数分别为 $1/0.765=1.307$ 和 $1/1.848=0.541$ ，有了 ω_c 和 Q 就可以利用公式直接计算出电路各元件。

n	多项式因子 $B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$s^2 + 1.414s + 1$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.6180s + 1)(s^2 + 1.6180s + 1)$
6	$(s^2 + 0.5176s + 1)(s^2 + 1.414s + 1)(s^2 + 1.9318s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0.4450s + 1)(s^2 + 1.247s + 1)(s^2 + 1.8022s + 1)$
8	$(s^2 + 0.3986s + 1)(s^2 + 1.111s + 1)(s^2 + 1.6630s + 1)(s^2 + 1.9622s + 1)$

图 3 巴特沃斯多项式

实验电路与实验过程

一、二阶有源低通滤波器设计实验

1. 按图 4 连接二阶有源低通滤波电路。电路输入 U_{in} 为 1kHz, 1V_{pp} 交流信号, 用示波器观察输入输出信号, 并做记录。

2. 测量所设计的低通滤波电路的幅频响应曲线。 U_{in} 为 1V_{pp} 弦交流信号, 改变 U_{in} 频率, 测量不同频率点下的 U_{out} 电压, 记录数据并绘制幅频响应曲线。

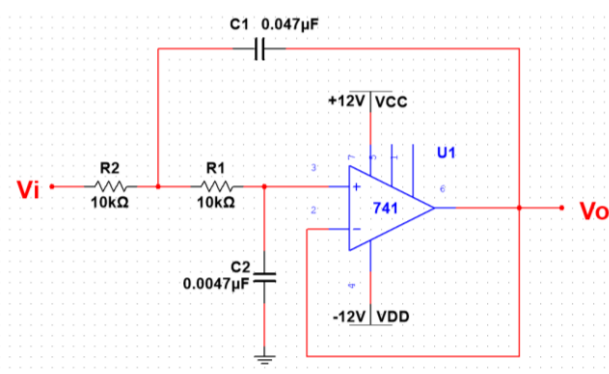


图 4 有源低通滤波器电路图

二、二阶有源带通滤波器设计实验

1. 按图 5 所示连接二阶有源带通滤波电路。电路输入 U_{in} 为 1kHz, 1V_{pp} 的三角波交流信号, 用示波器观察输入输出信号, 并做记录。

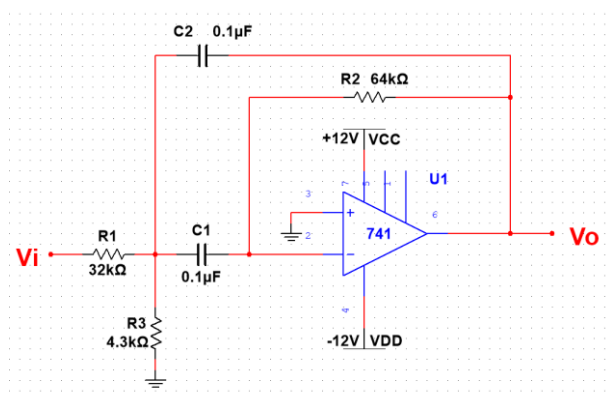


图 5 有源带通滤波器电路图

实验数据记录与计算

一、二阶有源低通滤波器设计实验

1. 输入输出波形信号记录如下（图 6，CH1 黄色曲线为输出，CH2 蓝色曲线为输入）

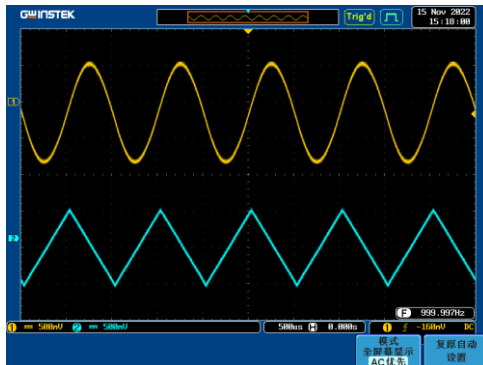


图 6 低通输入输出波形

2. 幅频特性曲线

表 1 低通滤波器幅频实验记录表

Uin 频率 / Hz	500	600	700	850	900	930	954	970	1k
Uout 电压峰峰值 / V	1.28	1.38	1.49	1.68	1.72	1.72	1.74	1.72	1.7
Uin 频率 / Hz	1.05k	1.1k	1.2k	1.3k	1.4k	1.5k	1.7k	2k	2.5k
Uout 电压峰峰值 / V	1.64	1.56	1.34	1.14	944m	800m	560m	384m	244m

注：上表中数据示波器截图见文末附页。

绘制曲线如下图，可以发现频率在 954Hz 左右时，输出电压幅度最大。

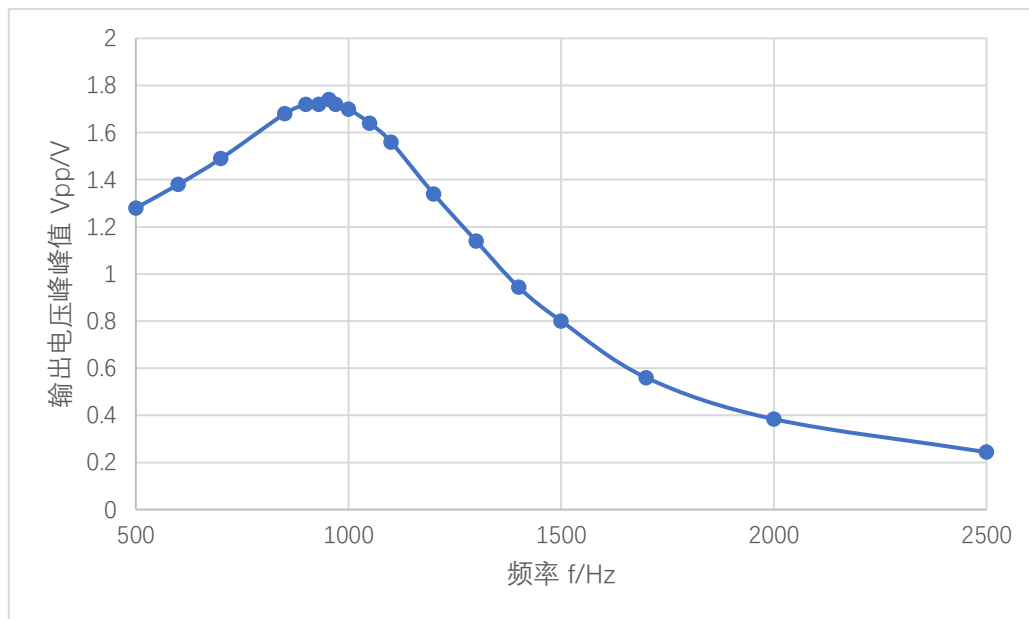


图 7 低通幅频特性曲线

二、二阶有源带通滤波器设计实验

1. 输入输出波形信号记录如下（图 8，CH1 黄色曲线为输出，CH2 蓝色曲线为输入）

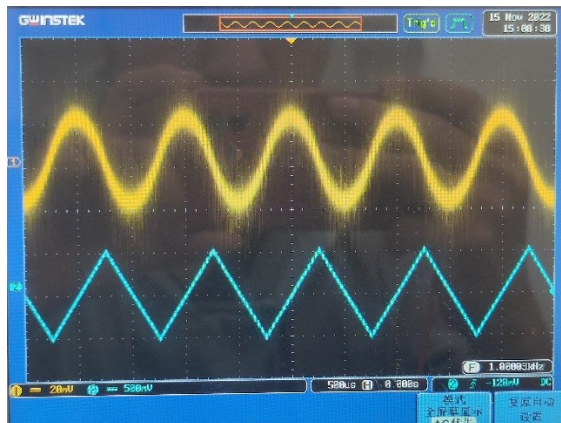


图 8 带通输入输出波形

误差分析

1. 测量时，电路存在集成电路内部噪声及电容电阻参数热噪声，示波器显示的输出波形宽度较宽，在确定中心点使用坐标功能测量时存在误差。
2. 由于各种原因，运算放大器的工作状态非理想状态，导致测量结果不完全精确。
3. 实验板、导线存在的电阻不容忽视，导致测量值与理论值之间产生误差。

本次实验，示波器得到的波形符合理论，实验较为成功。

注意事项

1. 改接电路时务必关闭电源输出开关，否则有较大概率烧坏芯片。
2. 信号发生器使用通道的输出电阻需要设置为高阻状态。
3. 741 芯片使用前先测试芯片是否故障。

实验思考

1. 如何识别集成运放所组成的电路为有源滤波器，它与运算电路有何异同？

（1）有源滤波一般指滤波电路上有有源器件的滤波，具有输出阻抗低、便于多级驱动的优点。同时，基于运放的有源滤波器还可以对信号进行放大。

而对于对滚降速率要求不高，以及频率较高的滤波器，无源滤波更合适，在电源纹波过滤上也一般采用无源滤波。

（2）运放电路主要还是用来做运算放大，而基于运放的滤波器主要用于滤波，两者的用途不一样，分析方法也有差别（一个去算传递函数，一个用虚短、虚断的方法分析），但是都是用的模拟电路的基本原理。

2. 实验中的有源滤波器的最高工作频率受什么因素限制？请解释其原因。

（1）R 受电路阻抗限制，典型高频系统阻抗 50Ω ，因此 R 不能太小，否则电路不能驱动

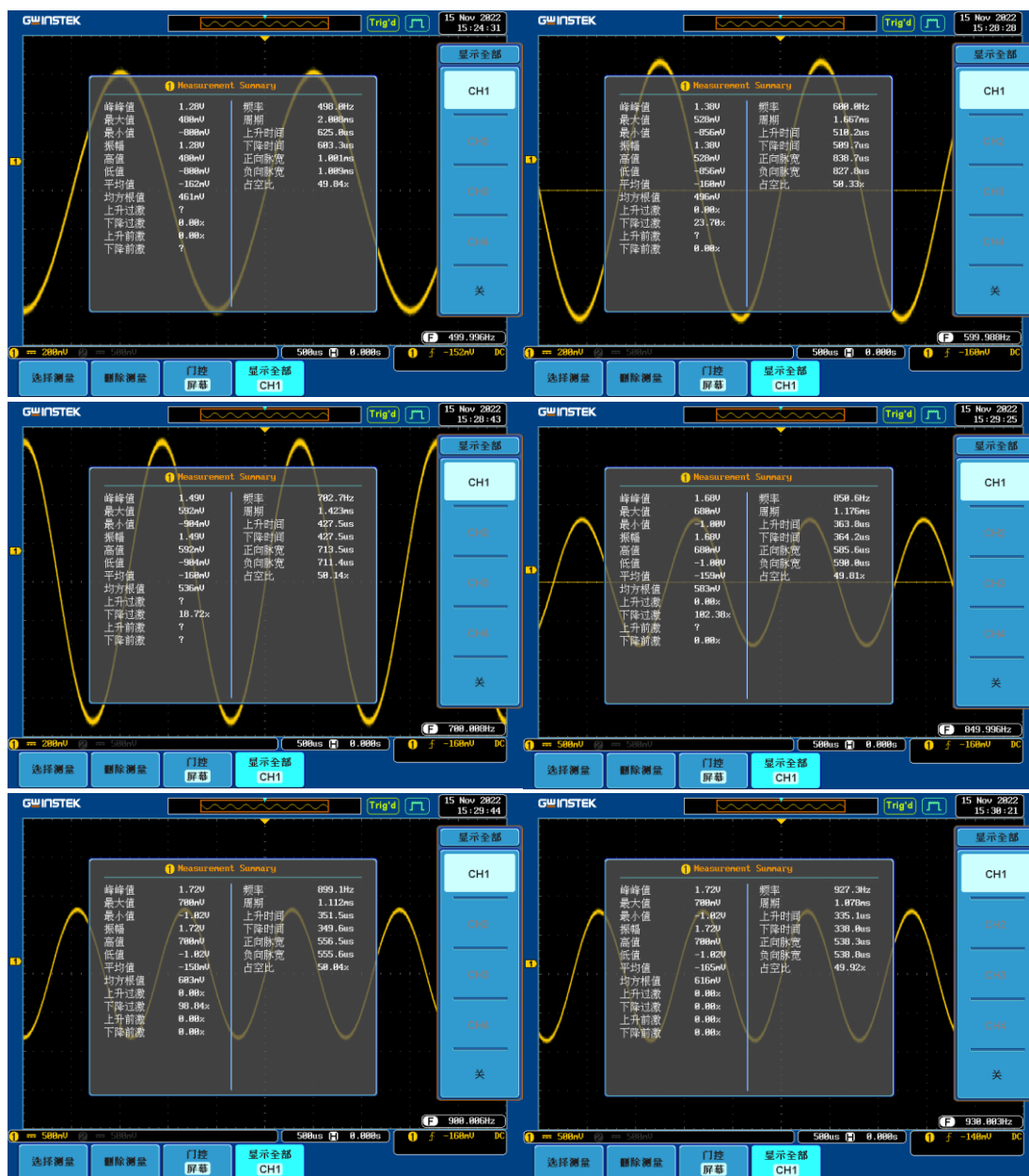
- (2) C 受分布参数影响, 布线电容不能为零且不准确, 因此电容不能太小;
- (3) 集成运放在截止频率上开环增益必须大于滤波器增益 50 倍, 也是严重的制约因素; 因此最高频率做不高, RC 通常用于低频滤波, 高频滤波应采用 LC 滤波器。

3. 有源滤波器和无源滤波器的最大区别是什么?

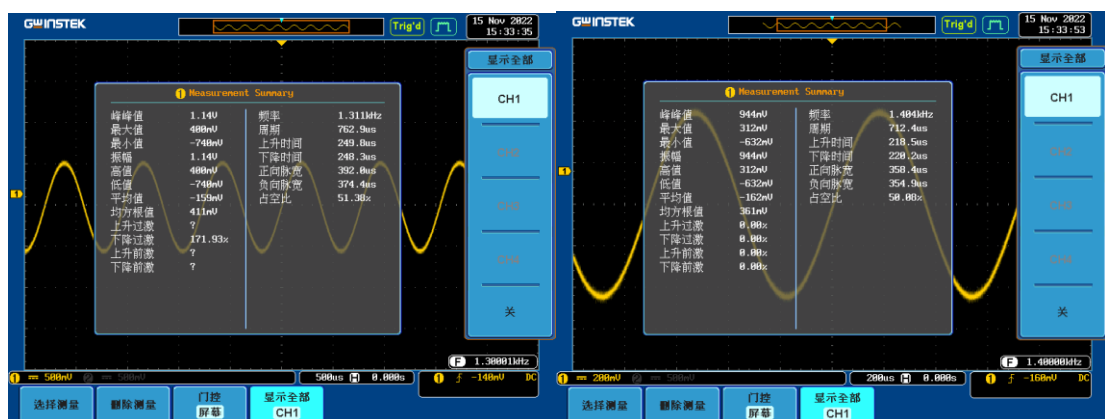
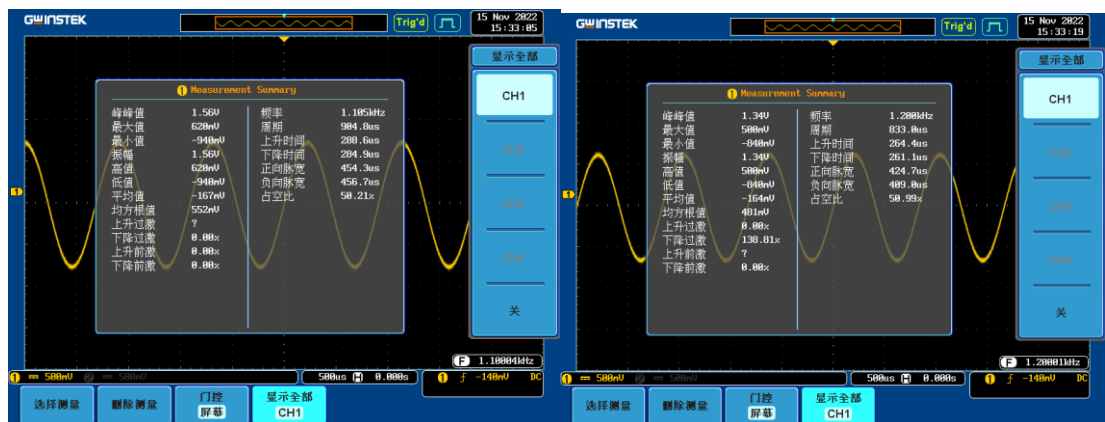
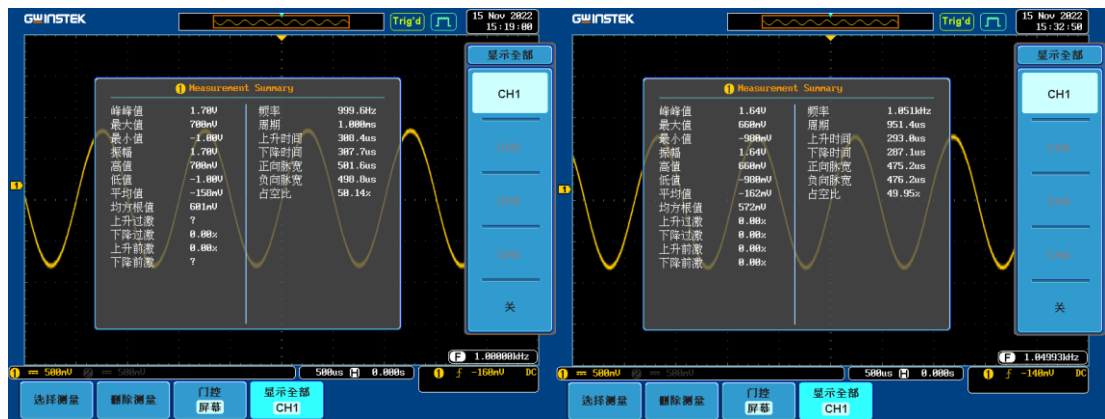
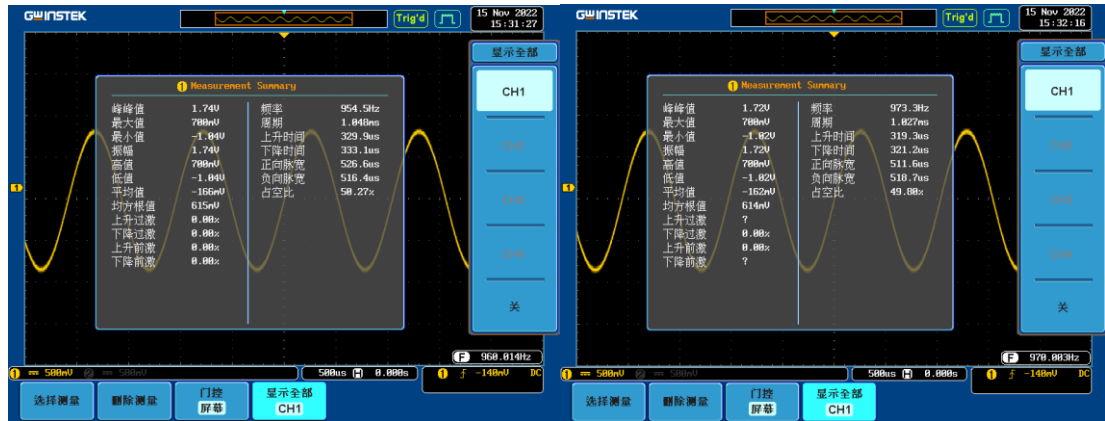
无源滤波器一般是用电阻、电容、电感等无源器件构成, 不需要供电即可工作, 而有源滤波器最常见的是由运放或者三极管构成, 需要供电才能工作。

附页

低通滤波器幅频特性曲线的示波器示数:



电子技术实验报告



电子技术实验报告

