

傅里叶变换的性质

一、实验目标

傅里叶变换是《信号与系统》、《数字信号处理》两门课程的基础。傅里叶变换的性质较为抽象，理解起来较为困难。本实验要求使用图形化的方法显示傅里叶变换的一些性质(至少应包括时移性质和尺度变换性质)。

对于信号的时移和频谱的关系，教材中只给出了抽象的公式，对于时移对频谱的影响却没有说明。教材中只指出，信号在时间上的平移，并不改变它的傅立叶变换的模。本实验要求选择一个信号，让它在时域上作移位，可调节不同的时移大小，然后用软件演示其傅立叶变换在幅度上几乎没有变换，但在相位上会有变化。

对于信号的时间与频率的尺度变换，从公式我们可以看出当时域扩展时，其频谱就应该压缩；当信号在时间上受到压缩时，其频谱就应该扩展。那么只要给出一个信号，保持其幅度不变，让信号的宽度发生变化，再观察其频域的变化，就能得到与性质相一致的结果。

二、实验要求

至少应该选择两种信号进行傅里叶变换性质的演示。推荐的两种信号是高斯信号与正弦信号。高斯的时域表示为 $s(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\{-\frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\}$ ，它的傅里叶变换也是高斯型的信号。除此之外，方波与三角波也可以考虑。

界面的要求为：

1. 界面上的信号参数应该可变，包括信号的时延和宽度。
2. 界面应该画出时域波形和它的频谱(包括幅度谱和相位谱)。

在计算信号傅里叶变换时，需要使用两种方式(系统自带和自行编程序)来得到信号的频谱。LabVIEW 中有好几种 FFT 模块，大家需要亲自实验一下各自的特点和使用范围。请注意，好几种 FFT 模块之间以及同自己编程序的结果可能都会有所区别，请注意鉴别。

三、实验说明

1. 理论准备：请仔细阅读《信号与系统》和《数字信号处理》关于傅里叶变换性质这一小节的内容，并掌握傅里叶变换的计算方法。

2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

4. 请注意傅里叶变换的概念和各种傅里叶变换适用的信号。

吉布斯振铃现象

一、实验目标：

吉布斯振铃现象是指当周期信号具有不连续点时，其截断后的傅里叶级数在不连续点附近呈现起伏。方波信号的吉布斯现象最为明显，已经证明：无论保留的傅里叶级数个数 N 取多大，其反变换后波形所呈现的峰值是方波幅值的 1.09 倍，并在方波间断点附近起伏。吉布斯现象在滤波器设计、信号检测方面都是必需考虑的问题，掌握它将对信号处理理论的理解有重要意义。

二、实验要求

至少应该选择两种信号进行吉布斯振铃现象的演示。推荐的两种信号是方波与锯齿波（锯齿波的吉布斯振铃现象不如方波明显）。

本实验的演示界面上至少应包括如下内容：

1. 原始信号波形；
2. 傅里叶级数截取的长度 N ， N 应该可变；
3. 反变换最终合成的波形图；
4. 截取长度从 1 到 N 的反变换合成波形图（在一张图形上显示）；

三、实验说明

1. 由于本实验所要变换的信号都是实信号，其傅里叶级数将只包含频率不同的各个 \cos 函数。请参考《信号与系统》书中的内容先计算出各次谐波的系数。

2. 产生波形可以使用 Analyse -> Signal Processing -> Signal Generation 中的各个波形，也可以使用 Analyse -> Waveform Generation 中的各个波形，在使用前注意看一下各个子 VI 的使用帮助，正确设置各个参数后方可使用。

3. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

4. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

数字滤波器设计

一、实验目标

数字滤波器的设计是数字信号处理的核心，不同的数字滤波器将会带来不同的精度、误差、稳定性、经济性以及运算速度。IIR、FIR 滤波器是数字滤波器的两种基本形式，掌握它们的设计参数对正确实现数字滤波器有重要的意义。

IIR 数字滤波器和 FIR 数字滤波器有各自不同的设计参数以及性能，本实验试图选择不同的滤波器类型和参数，以帮助同学们理解各种不同滤波器的设计参数对性能的影响。

二、实验要求

使用 LabVIEW Express 中的滤波器 Express(在信号分析 Express 内)来实现各种滤波器，至少应该选择四种(至少两种 IIR，两种 FIR)数字滤波器。要求实现的内容包括：

1. 使用波形产生器产生一个含白噪声的正弦波，其中正弦波和白噪声的幅度均可调，至少选择四种滤波器来滤除白噪声。要求记录各种滤波器的参数选择和输出频谱以及信噪比的关系，如果能用理论推导加以说明更好。

2. 使用波形产生器产生一个含有两个相近频率的正弦波，比如选择 160Hz 和 180Hz。同要求 1 类似，选择不同的滤波器以及不同的参数来滤除任一频率的正弦波，记录各种滤波器的参数选择和输出频谱的关系，如果能用理论推导加以说明更好。

三、实验说明

1. 请注意各种滤波器的滤除频率分量的能力，并注意各种滤波器的特性，可能需要复习《数字信号处理》。

2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

调制与解调

一、实验目标

通信系统在人、系统之间的信息传递上起着至关重要的作用。在所有的通信系统中，源信息都要先被某一发射装置或是调制器所处理，以将它变化到在通信信道最适合传输的形式，而在接收端又可通过适当的处理将信号给予恢复。调制就是将一个载有信息的信号嵌入另一个信号的过程，以便于有效地传输信号。

为了简化，本实验只要求对幅度调制与解调过程进行演示。载有信息的调制信号和某一正弦载波信号相乘就得到已调信号。而信号时域的相乘带来的就是其在频域的频谱的搬移，即调制信号的频谱搬移到载波信号的频率上。

二、实验要求

本实验要求首先产生频谱有特点的信号（比如两个正弦信号的线性组合），然后对其进行幅度调制和解调，要求表现出信号的频谱的翻转和搬移的确切过程。幅度调制方式包括普通 AM，双边带和单边带三种。

本实验的演示界面上至少应包括如下内容：

1. 原始信号频率（可改变）；
2. 载波频率（可改变）；
3. 调制后的频谱和波形；
4. 解调后的频谱和波形；

三、实验说明

1. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

2. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

内插与抽取

一、实验目标

内插与抽取是数字信号处理的基本操作，是最简单的非线性变换操作。对一个数字信号进行内插，频谱会压缩；反之，如果对一个数字信号进行抽取，频谱会展宽。内插与抽取也与 Nyquist 采样定理相关。在内插后，为了保持信号的频谱，还需要经过低通滤波器，这个类似于恢复模拟信号的过程。

内插与抽取是现代通信系统数字信号处理的核心，现代通信系统的基带处理模块不可能离开这两个环节。掌握它有非常现实的意义。

二、实验要求

本实验要求表现出信号频谱在内插和抽取后的变化，同时为了内插后信号保持原有的样子，还需要低通滤波器。还需要展示信号频谱如果不符合内插和抽取的要求，信号会变形。

本实验的演示界面上至少应包括如下内容：

1. 原始信号频谱（内插和抽取可选择不同的信号）；
2. 原始信号；
3. 内插和抽取倍数；
4. 内插和抽取后的波形；
5. 内插恢复后的频谱与波形；
6. 信号频谱不合适时，信号的变形情况。

三、实验说明

1. 请注意内插和抽取操作对信号频谱的要求。
2. 请注意信号和频谱的显示方法。
3. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。
4. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

弥散及栅栏效应

一、实验目标

计算机可处理的长度总是有限的，而信号的长度可以是无限长的，这样在处理信号时必然就进行了长度上的截断。截断相当于对被处理信号加窗处理。如果不做特殊要求，通常截断时就自然加了一个矩形窗，在频域其频谱函数是一个 Sinc 函数。信号在加了窗处理后就产生了弥散，从而造成频谱函数的皱折效应，使频谱失真。一般来说，信号在时域只要加了窗，在频域就会不可避免地产生弥散，造成失真。

为了抑制这种后果，在处理时可采取下列两种措施：

增长截断长度。这样可使 Sinc 函数的主瓣变窄，旁瓣向主瓣密集，可减小泄漏。（理想情况下，如能获得至的无限个时间记录则可得到理想的 FFT 解，然而在实际中仅限于人们使用有限的时间记录）

采用不同的窗函数。为抑制矩形窗函数所引起泄漏，可以采用其它类型的窗函数，如三角窗，Hanning 窗，Hamming 窗和指数窗等。这些窗的频谱函数与矩形窗相比可有两方面改进：一是使频谱主瓣突出；二是使旁瓣尽快衰减，实际上这二者往往不可兼得，要视具体需要选用。

栅栏效应是指在对信号频谱进行采样时，经过这种采样所显示出来的频谱仅在各频率采样点上，而不在这些点上的频谱分量都显示不出来，即使在其它点上有重要的峰值也会被忽略。这一效应对周期信号尤为严重，因其频谱是离散的，如处理不当这些离散谱线可能不被显示。

二、实验要求

本实验要求对一个正弦信号截断后通过不同的窗函数来显示弥散，即，理想的正弦信号是无限长的，当截取有限长的信号时它的频谱可能会弥散。通过加窗可以改善这种弥散。栅栏效应可以这样演示，将一个频率可变的正弦信号周期经过给定长度 DFT 变换来计算频谱，可以明显观察到信号谱线的分裂。

本实验的演示界面上至少应包括如下内容：

1. 窗函数的选择与参数设置；
2. 加窗函数之前与之后的频谱；
3. DFT 的长度选择，频率变化以及谱线分裂的情况；

三、实验说明

1. 请注意对理论的理解和结果的解释。
2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

二阶系统的频域特性

一、实验目标

二阶系统是信号与系统的重要内容之一，本实验准备给出二阶系统的频域特性。此二阶系统由RLC电路组成。如图1所示：

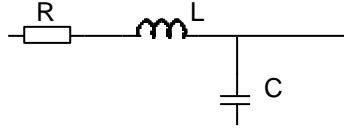


图1 二阶系统示意图

二、实验要求

本实验要求根据不同的 R , L , C 值，实时地绘制出相应的幅频特性与相频特性。此外，界面上还需要包括整个系统的冲激响应。 R , L , C 也需要在界面上出现。 R , L , C 的值需要可以输入。

三、实验说明

1. 请注意对理论的理解和结果的解释。
2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。
3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

利用声卡实现波形输出和数据采集

一、实验目标

利用声卡进行数据采集与分析，具有实现简单、界面友好、性能稳定等诸多优点。LabVIEW 环境已经实现了音频信号的采集分析及数据存盘重载。

随着 DSP(数字信号处理)技术走向成熟，PC 声卡本身就成为一个优秀的数据采集系统，它同时具有 A/D 和 D/A 转换功能，不仅价格低廉，而且兼容性好、性能稳定、灵活通用，软件特别是驱动程序升级方便。而且声卡用 DMA(直接内存读取)方式传送数据，极大地降低了 CPU 占用率。一般声卡 16 位的 A/D 转换精度，比通常 12 位 A/D 卡的精度高，对于许多工程测量和科学实验来说都是足够高的，其价格却比后者便宜得多。

如果利用声卡作为数据采集设备，可以组成一个低成本高性能的数据采集与分析系统。当然，它只适合采集音频域的信号，即输入信号频率必须处于 20~20000Hz 的音频范围内。如果需要处理直流或缓变信号，则需要其他技术的配合。

二、实验要求

利用声卡实现波形输出和数据采集，利用声卡和廉价的数据采集卡，重新实现实验 5 或实验 6。

实验的要求同实验 5 或实验 6。

三、实验说明

1. 理论准备：请仔细阅读相关书籍，弄懂 LabVIEW 数据采集与产生的原理与方法。

2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

频率的测量(每人只用完成一种方法)

一、实验目标

在数据采集的环境下，信号的频率测量和信号的频率跟踪是基本且重要的问题。只有测得被测信号的频率后，才有可能对其实现整周期采样，从而为接下来的数字信号处理创造有利条件。在能测到信号频率的基础上也才有可能实现对被测信号的跟踪，即在信号的频率发生变化时，及时调节采样频率，以保证整周期采样。

在数据采集的环境下，可以通过现有的条件，例如信号的幅值以及计算机的处理能力来计算信号的频率。本次实验的内容与目的就是通过几种软件模拟测量信号频率的方法来加强对信号处理等知识的学习以及理解。本次实验用到的测量频率的方法有：

(1) 时域方法：

多周期平均计数法：通过对多个周期采样样本数的统计，然后求均值的方法求信号频率；

(2) 频域方法：

比例法：通过对频谱图中真实频率谱线的相邻两条谱线的数学关系，求得频率；

二、实验要求

测量现实信号的频率。信号由模拟的信号源产生，在选择以上的两种方法进行测量，并比较各种方法测量的准确程度。两种方法实现时的具体方法如下：

(1) 多周期平均计数法

在数据采集的环境下，利用计数方法测量信号的频率虽然不太好用，但是可以尝试对它进行改进。改进为可以对多个周期的采样信号进行计数，然后以其平均值作为频率测量值。假定采样频率为 F_s ，共采集 m 个周期的信号，用计数的方法找到各个周期的样本个数，分别为 N_1, N_2, \dots, N_m ，那么对应于各周期的频率值分别为 $F_s/N_1, F_s/N_2, \dots, F_s/N_m$ ，考虑 m 个周期的频率的均值，有

$$f = \frac{F_s}{m} \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \dots + \frac{1}{N_m} \right)$$

实际上，在非整周期采样的条件下上式中 N 的取值只有两种情况，即多一个或少一个样本。假定分别是 n_1 和 n_1+1 ，与它们对应的周期分别是 m_1 和 m_2 ，则上式可以改写为

$$f = \frac{F_s}{m} \left(\frac{m_1}{n_1} + \frac{m_2}{n_1 + 1} \right) = \frac{1}{m} (m_1 f_1 + m_2 f_2)$$

其中， $f_1 = \frac{F_s}{n_1}$ 和 $f_2 = \frac{F_s}{n_1 + 1}$ 分别对应于被测信号频率的最大偏差值和最小偏差值。

可以看出所求出的频率值实际上是在 m 个周期范围内的加权平均值，相对测量误差 $\delta \leq \frac{1}{mn}$ 。如果满足采样频率是被测信号频率的 10 倍，且采样样本数超过 10 个周期，则频率测量误差可以控制在 1% 以内。该结果是可以接受的，它显然是通过增大周期数来弥补偏低的采样率。

(2) 比例法

考虑采样信号的频谱，如图2所示。

图中显示的是主瓣内的谱线 y_k 和 y_{k+1} ，其谱线序号分别为 x_k 和 x_{k+1} ，而频率的准确值位于横坐标处。可以利用 y_k 和 y_{k+1} 这两条谱线的幅值对间隔 $x_{k+1} - x_k$ ，即 Δf 进行细分。中给出了一种简单而且有效的细分方法，称为比例法。

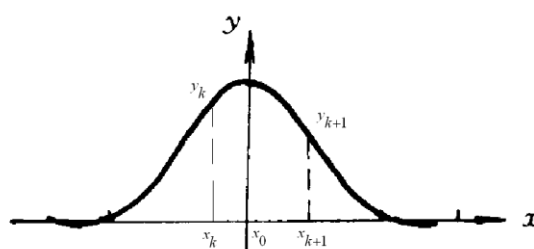


图2 比例法的示意图

在矩形窗的情况下，可以关的视 x_0 处为重心，则有

$$\frac{y_k}{y_{k+1}} = \frac{x_{k+1} - x_0}{x_0 - x_k}$$

于是

$$\frac{y_k + y_{k+1}}{y_{k+1}} = \frac{x_{k+1} - x_0 + x_0 - x_k}{x_0 - x_k} = \frac{x_{k+1} - x_k}{x_0 - x_k} = \frac{1}{x_0 - x_k}$$

所以

$$x_0 = \frac{y_{k+1}}{y_k + y_{k+1}} + x_k$$

$$f = \Delta f g x_0 = \left(\frac{y_{k+1}}{y_k + y_{k+1}} + x_k \right) g \Delta f$$

对Hanning窗可以导出

$$x_0 = \frac{2y_{k+1} - y_k}{y_{k+1} + y_k} + x_k$$

$$f = \left(\frac{2y_{k+1} - y_k}{y_{k+1} + y_k} + x_k \right) g \Delta f$$

三、实验说明

1. 理论准备：请仔细阅读相关书籍，弄懂 LabVIEW 数据采集的原理与方法。
2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。
3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

三极管伏安特性的测量

一、实验目标

本实验同实验 4 类似，都是伏安特性的测量。不同的是，这次实验测量的对象是三极管。

二、实验要求

三极管的伏安特性曲线表示以基极电流 I_b 为参变量时，集电极电流 I_c 和集电极与发射机间电压 U_{ce} 之间的关系，即

$$I_c = f(U_{ce})|_{I_b=const}$$

测量电路如图2所示：

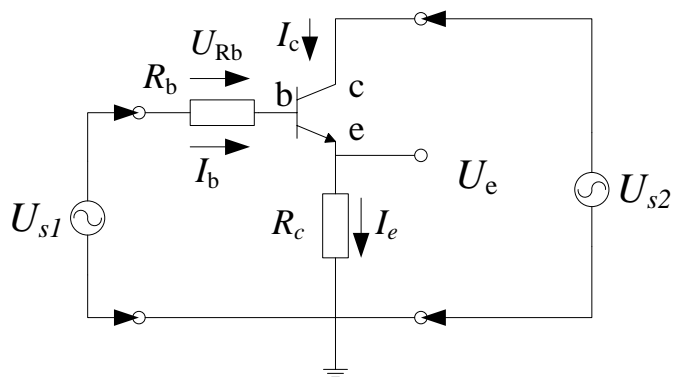


图3 三极管特性测量电路

同二极管的测试不同，三极管测量需要两个独立的电源。也就是说，需要两个通道的模拟输出 U_{s1} , U_{s2} 。其余需要注意的问题同二极管的测量，同样也要完成两种方法即有规律的信号和随机信号的测试。

三、实验说明

1. 在画伏安特性曲线时， U_{Rb} 最好选择为一种阶梯状的波形，这个可用数组实现。
2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。
3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

系统频率特性的测量(每人只用完成一种方法)

一、实验目标

- 同实验 6 类似, 使用 LabVIEW 来实现网络频率特性测量, 相当于完成一个简单的矢量信号分析仪。

二、实验要求

与实验 6 类似, 测量以下电路的频率响应, 不过使用不同的方法。

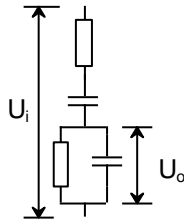


图4 待测网络——文氏电桥

可采用的方法:

(1) 正弦波组合法

首先产生一个具有所需频率成分的信号, 将其加到被测网络上。采集响应和激励信号, 最后对两者进行 FFT 后对应频率成分处幅值相除, 相位相减。

这种方法需要使用 LabVIEW 中波形生成的多调信号(在模拟波形发生的基本混合单频或者带幅值混合单频中), 注意在使用基本混合单频信号时需要指定幅度, 否则幅度可能相当大, 超过采集卡所能输出的最大值。

在使用这种方法时, 还有两点需要主要

1. 在幅值相除时, 有时输入的幅值相当小, 这时需要判断输入信号对应频点处的幅度值, 如果过小需要将其删除。
2. 使用 FFT 时, 请使用信号分析 Express 中的频谱测量 VI, 否则误差可能会相当大。

(2) Chirp 信号单步法

这种方法使用 Chirp 信号来实现所需要的单频, Chirp 信号可用信号处理->信号生成->Chirp 信号来实现。注意这种方法生成出的 Chirp 信号是一个数组, 不是一个波形, 在模拟输出时需要指定模拟输出的采样率。在使用 Chirp 信号 VI 时还要注意各个参数的含义。

三、实验说明

1. 注意频率响应的中心点, 否则误差可能相当大。

2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

参数辨识

一、实验目标

使用已有的网络频率测量VI，对未知的电路元件R, L, C进行参数估计，其中可能需要使用最小二乘法。

二、实验要求

对于图4的参数测量问题，

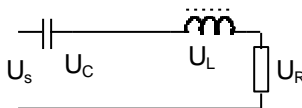


图5 RLC电路模型

其微分方程为

$$u(t) = LC \frac{d^2 u_c(t)}{dt^2} + RC \frac{du_c(t)}{dt}$$

通过拉普拉斯变换得到

$$U(s) = LCs^2 U_c(s) + RCs U_c(s) + U_c(s)$$

得到系统的频率特性函数

$$H(j\omega) = \frac{U_c(j\omega)}{U(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC - \omega^2 LC}$$

取模得到

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{U_c(j\omega)}{U(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2(R^2 C^2 - 2LC) + \omega^4 L^2 C^2}}$$

- 那么可以对不同的频点 ω ，可以得到一组 $(\omega, |H(j\omega)|)$ 。可以使用最小二乘法来求得 RC 和 LC 。

三、实验说明

1. 注意频率响应的中心点，否则误差可能相当大。
2. 大家也可以使用别的方法，只要最终结果正确，又推导过程即可。
3. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。
4. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。

●

● 参数的测量(RLC 的测量)

一、实验目标

使用一个单频正弦信号来测量 RLC 的参数值，对未知的电路元件 R, L, C 进行参数估计。

二、实验要求

如图 5 所示，本实验即使用电工技术的三表法来测量 R, C, L 的值。本实验测量总的 U_s ，并用电阻上的电压 U_R 来代替电流。还可以测得 U_L 和 U_C 。通过比较各个电压之间的相位差，就能估算出 R, C, L 的值。

三、实验说明

1. 注意电感含有电阻，而且这个电阻值是随着频率变化的，在实际测试时必须要考虑这一点。

2. 所编程序应该有适当的注释，包括框图窗口中的局部变量都需要注释。每个功能块也需要说明，程序中也需要旁注。

3. 最后要形成一个详细的报告，包括 VI 的设计，演示的原理，在完成的过程中所遇到的问题及解决方法和最终的心得等等。