Labview 下使用快速傅立叶变换求交流电压有效值

背景

信号系统分析中，常有针对测试电压进行分析并求其有效值的需求。某些场合只有直流电压，其有效值与其峰值相等，这种情况很好分析；而大多数场合，测试信号还含有交流电压分量，其有效值就不能简单等于信号的最大值。工程实践中，根据有效值的定义，有很多种算法可以用于计算交流电压有效值，比如功率计算法，积分法，傅立叶变换等等。

本文介绍一种借助 Labview 的信号分析 vi，求交流电压有效值的比较简便的方法，既能保证精度，又能把计算量控制在一定范围内，即快速傅立叶变换法。

原理

最初傅立叶变换（FT）是作为能量分析的数学工具被提出的。它的定义是：

如果 f(t）是时间 t 的函数，且 t 满足狄里赫莱条件：具有有限个间断点；具有有限个极值点；绝对可积。则有下图公式成立。称为积分运算 f（t）的傅立叶变换。

$$F(\omega) = \mathcal{F}[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t}\, dt.$$

傅里叶变换

实践中，对于信号系统，我们可以简单理解为 f（t）就是随时间变化的模拟信号，而 F（ω）是它的针对时间域的广域积分。

仅仅有了这个变换工具还不够，为了使用计算机进行傅立叶变换，也就是利用计算机“有限”的硬件资源，必须将函数 f（t）重新定义，抽取为一系列离散点（Discrete point）而非连续域内变化的函数，且须满足有限性或周期性条件。满足这样条件的傅立叶变换称为离散傅立叶变换（DFT）。此处公式从略。

离散之后的傅立叶变换已经可以被计算机求解了，但复杂而冗长的计算公式常常带来效率上的低下，而工程实践中只需要“简洁”、“精度足够”的算法。快速傅立叶变换（FFT）应运而生。公式如下：

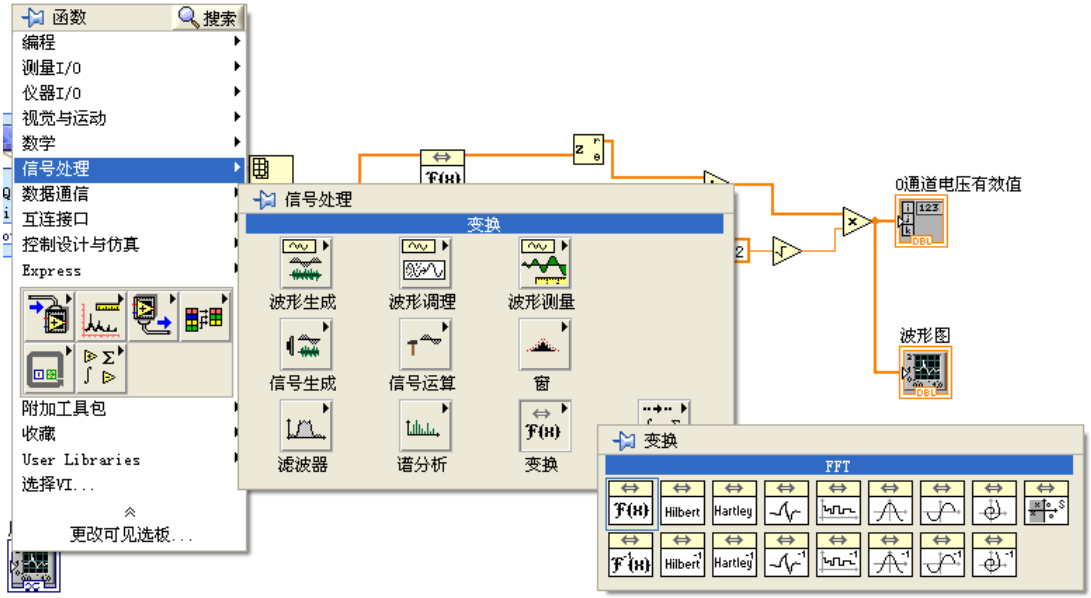
$$X(k)=\sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk} \quad k=0,1,2,\cdots,N-1$$

快速傅里叶变换

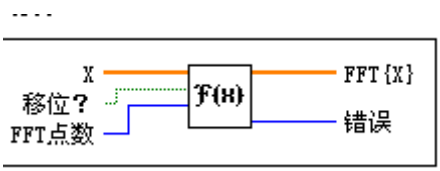
如果不管中间的数学推导过程，只重点研究其结论，可以这样理解：连续变化的模拟信号，被以 f_s 的采样频率采集了 N 个采样点，再经过 FFT 之后，可以转换为 N 个复数点（通常 N 取 2 的整数次方）之和，每个点代表一个特定频率分量 f(n)，且满足 f（n）=(n-1)*f_s/N，n 取值从 1 到 N。而每个复数的模值 A_n，对应这个频率下的信号幅值 A_f，并满足 A_f=A_n/N，（n=0）和 A_f=A_n/N，（n=1~N）由此，我们可以绘制出幅频特性图，再借助三角函数的变换，求出有效值。

程序说明

Labview 2010 作为一款功能强大的数据分析软件，自带了 FFT 功能模块，可从函数面板中找到：信号处理--------变换----------FFT：

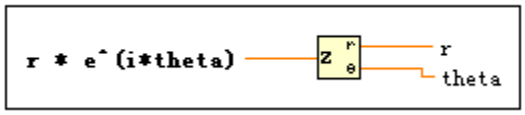


拖放到框图程序空白处，并阅读帮助：



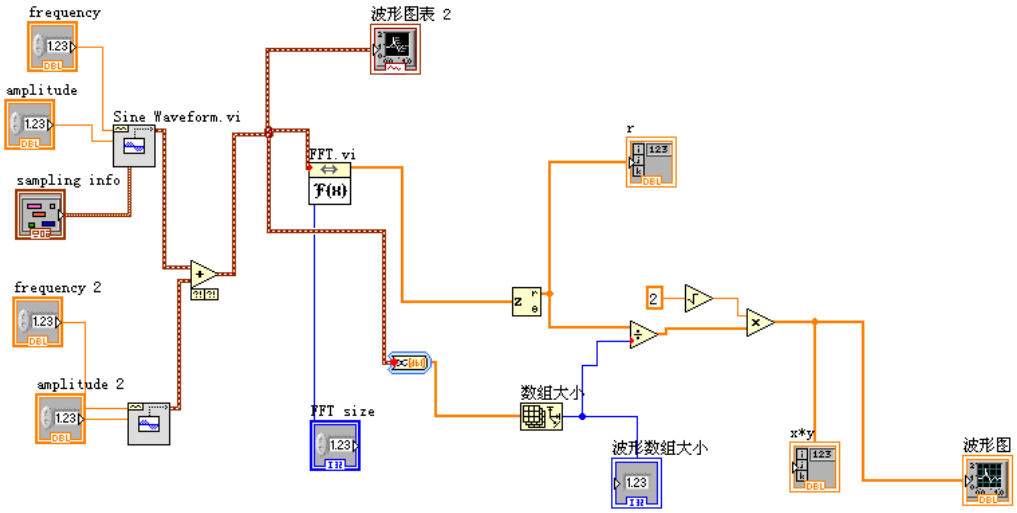
其中输入端 X 代表需要被分析的离散数据，FFT 点数表示对应变换所需点的个数。

另外，程序中还用到了复数运算的 vi，用于分离复数的模：

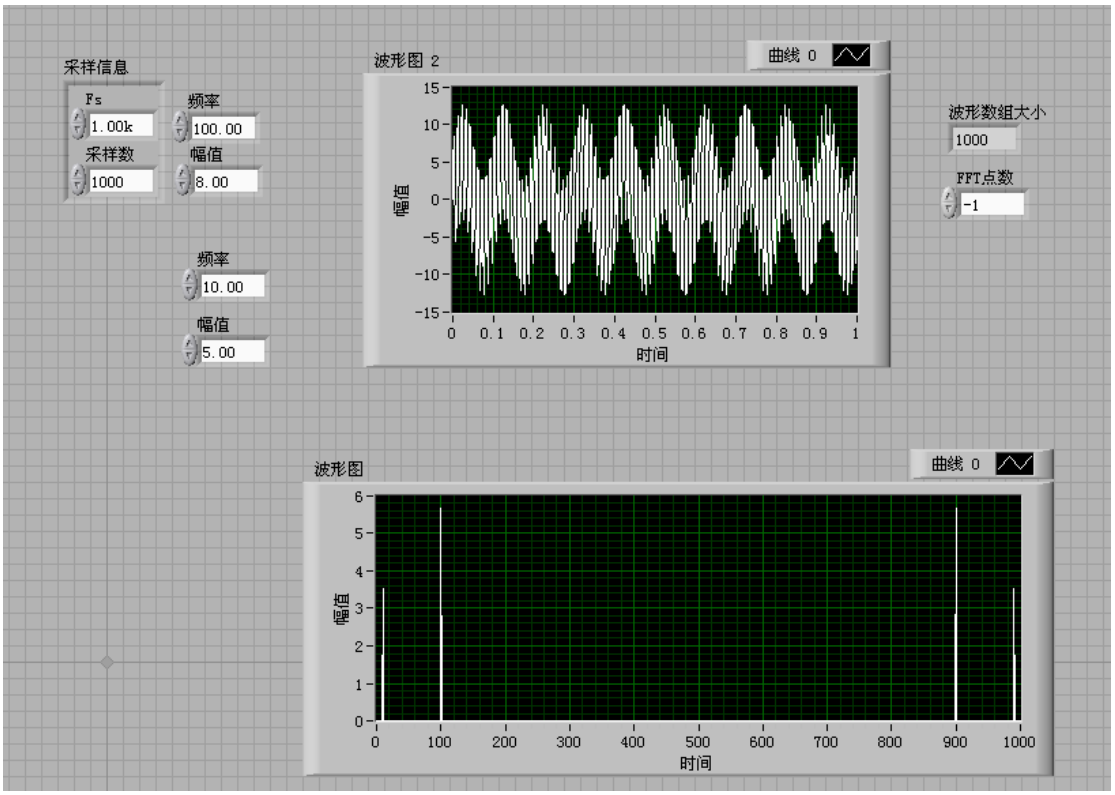


接下来用 Labview 自带的信号发生器模拟产生两组正弦波形，作为 FFT 的输入，来观察输出情况。

最终完成的整体框图程序如下：

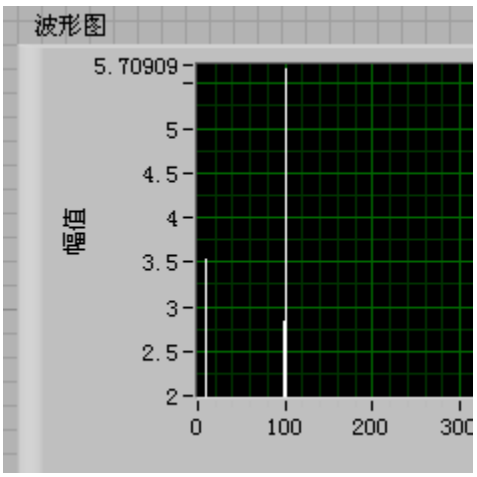


前面板设计如下：



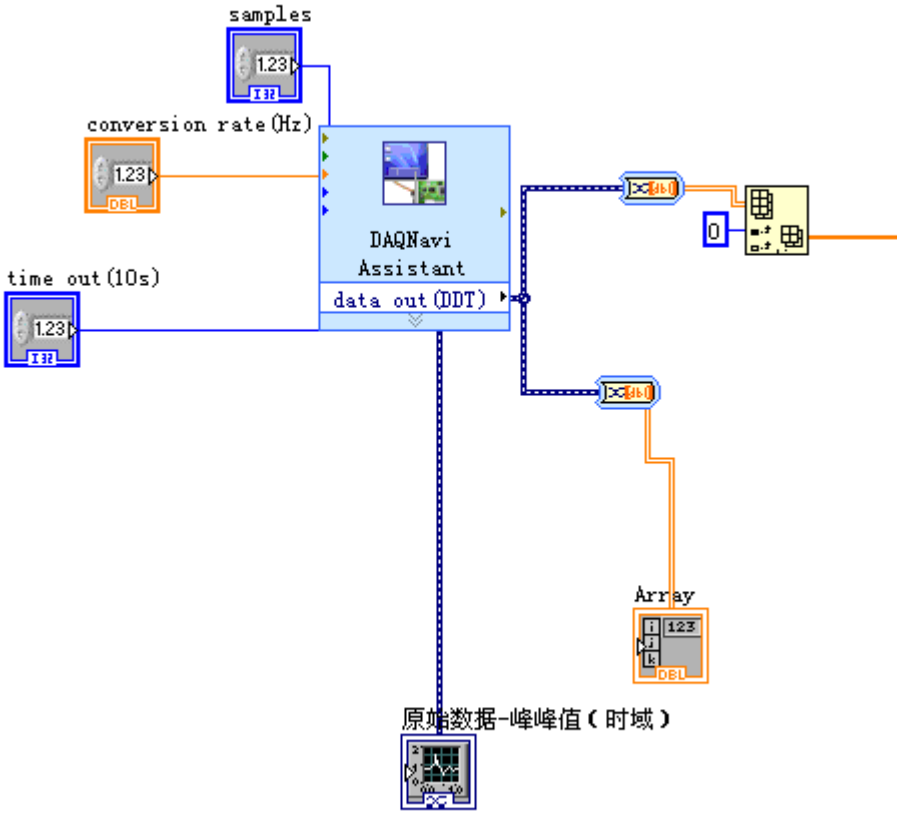
实测中，输入两个正弦波，分别为 100Hz，+/-8V 和 10Hz，+/-5V。上图的波形图 2 是混叠以后的结果，波形图是对应的频谱图，纵坐标则对应每种信号分量的有效值。

从上图中可以看到，横坐标代表频率，以 500 为中点，图形完全对称。所以只分析前一半波形。在 10Hz 和 100Hz 有明显尖峰产生，对应峰值分别为 3.5 和 5.7，与理论值 5/2^1/2 和 8/2^1/2 一致。



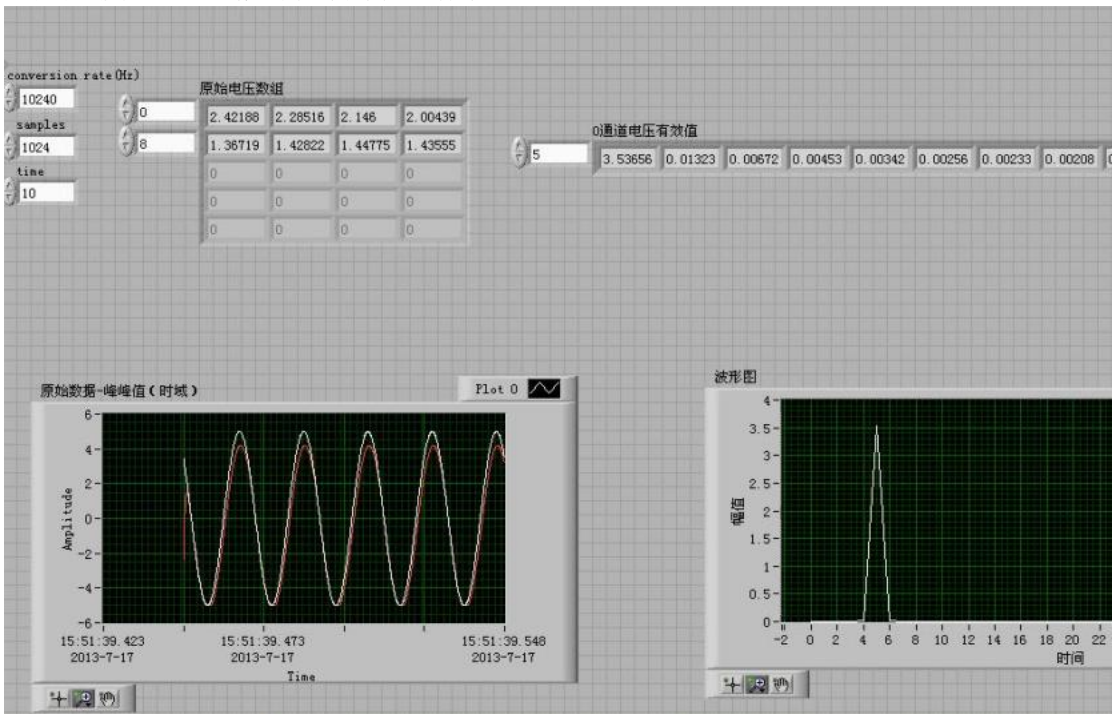
结合 DAQNavi 测试

再用研华公司的 USB-4711+DAQNavi 驱动替换上一步采用的 Labview 自带信号发生器，并在对应通道 0 连接信号发生器产生正弦信号，就可以模拟现场情况进行频率、有效值的分析。

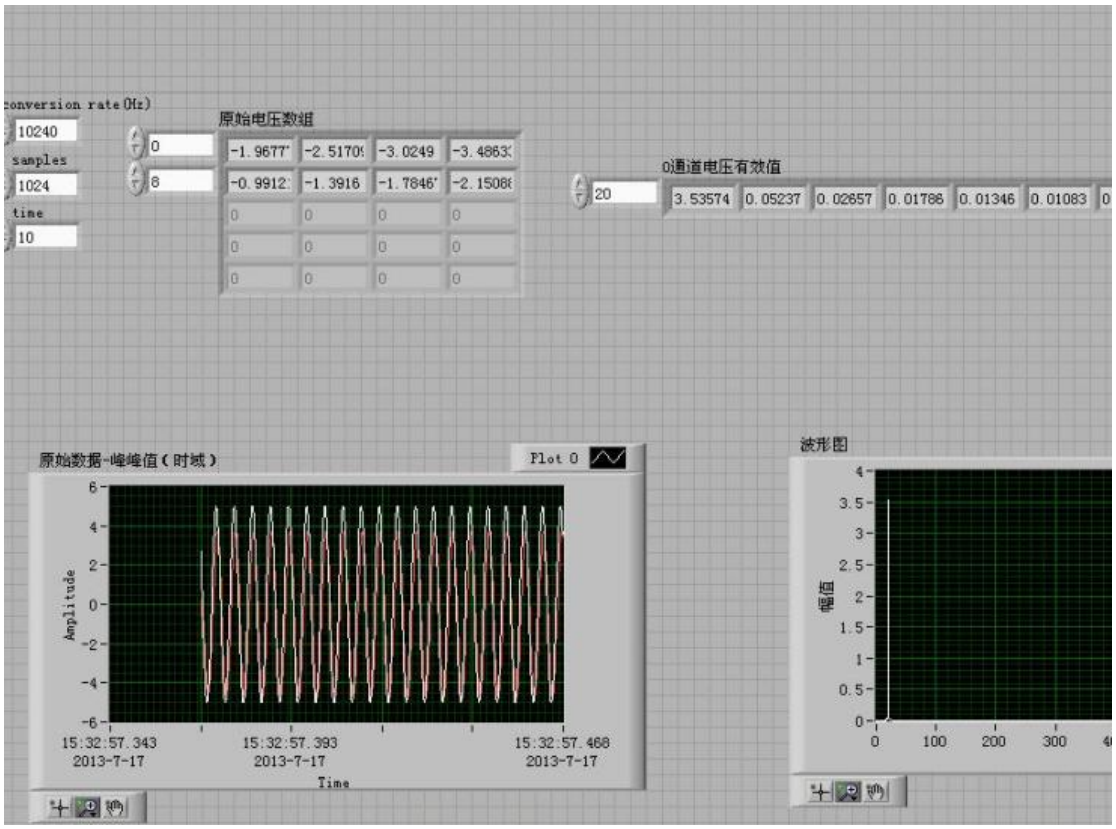


上面这段程序用于把波形信号按照不同通道分离出来，交给后续 FFT 的 vi 进行处理。

下面是接入 5Hz 信号后分析的结果：右下图



信号提高到 200Hz 后分析的结果：



结论

经过上述测试与分析，验证了 Labview 下使用 FFT 分析交流电压有效值和频率的可行性与简便性。

需要特别注意两点：

1. 采样频率与外部信号的倍数关系应该至少满足 2 倍，而且倍数越大越能保证信号更完整地还原。本例测试中均保持在 20 倍以上的关系。
2. 频率的分辨率与采样点数有关，采样频率不变时，采样点数越大，频率的分辨率越高。本例中频率分辨率=10，也就是频谱图中横坐标两点间隔=10Hz。