

Time Domain Response Achievement of a System by Labview Based on the Magnitude of its Frequency Response

Ting Gao¹, Yufeng Sun², Mei Li³

1,2 Department of system engineering, Beijing university of Aeronautics and Astronautics, BUAA, Beijing, China

3 School of Geophysics and Geoinformation Systems, China university of Geosciences, CUGB, Beijing, China

Email: ¹gaoting86@126.com, ²syf@buaa.edu.cn, ³maggieli@cugb.edu.cn

Abstract: To study the transfer characteristics of a system, the most commonly method is to measure phase-frequency and amplitude-frequency characteristics of its transfer function. It is easy to obtain amplitude-frequency characteristics, but the measure and analysis of the phase-frequency characteristics is much more difficult. However, the phase information is necessary when evaluates the impulse characteristics of a system using results of frequency measurement. For a minimum phase system, the method of impulse and step response reconstruction using amplitude and phase information is presented in this paper, where the phase information is estimated from amplitude-frequency characteristics based on Hilbert transform. The paper also gives a kind of realization of the method using virtual instrument based on Labview platform, and the validity of the method is verified by means of a practical application finally.

Keywords: Vitrual instrument; Hilbert transform; frequency-domain response; time-domain response

基于幅频特性的系统时域响应提取的 Labview 实现

高 婷¹, 孙宇峰², 李 梅³

1, 2 北京航空航天大学可靠性与系统工程学院, 北京, 中国, 100191

3 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京, 中国, 100083

Email: ¹gaoting86@126.com, ²syf@buaa.edu.cn ³ maggieli@cugb.edu.cn

摘 要:研究系统的传递特性, 最常用的方法是直接测量其传递函数的相频特性和幅频特性, 幅频特性一般容易得到, 但相频特性的测量和分析却比较困难。而在利用频率测量结果评价一个系统的脉冲特性时还需要考虑系统的相位信息。针对最小相位系统, 本文介绍了采用希尔伯特(Hilbert)变换, 根据系统的幅频特性估计出相位信息, 并且由幅度和相位信息重构出系统的冲激响应和阶跃响应的方法。文中阐述了如何在 Labview 平台下, 利用虚拟仪器技术实现了系统的相位恢复, 并且进一步得到系统的冲激和阶跃两种时域响应, 最后用实际案例验证了算法的正确性。

关键词: 虚拟仪器; Hilbert 变化; 频域响应; 时域响应

1 引言

应用频率响应来描述系统的方法很常用, 包括幅频特性和相频特性响应描述。但是在很多场合下很难得到系统的相频特性。例如, 电磁兼容测量中的许多指标都是在频域通过连续波测量来描述和检验的。这一方法通过逐一测量某个系统在各个频率点上的幅度响应, 以幅频特性曲线的形式给出系统的指标^[1]。在连续波测量中, 缺少相频特性这一缺陷似乎并无妨碍, 但从完全描述一

个系统的角度来考虑, 尤其是在时域测量中, 当希望由系统的频域响应来评价其对脉冲信号的时域响应时, 相位信息是十分重要的。

另外, 宽带取样示波器校准广泛应用的方法是扫频源法, 用已校准的宽带扫频正弦信号作为信号源去校准示波器。该方法优点是简单易行而且宽带扫频正弦信号源很容易得到, 缺点是丢失了相位信息。如果假定个频率分量均具有零相位, 则变换到频域时, 将造成较大的误差。

除上述两种例子还有很多需要相频特性但难于得到的情况, 针对这类问题, 本文提出了利用 Hilbert 变化得到系统相位信息、进一步重构时域响应的方法, 通过虚拟仪器 Labview 平台予以恢复相频信号和重构时域信号, 并且进行了实例验证。

2 基于幅频特性的时域响应提取方法

在满足最小相位系统的情况下, 系统的对数幅度和相位满足离散 Hilbert 变化关系^[2], 为求系统相位信息可以利用 Hilbert 变化。另外, 在实际应用中还可以根据相位和幅度信息进一步重构系统的冲激响应和阶跃响应^[3]。

传递函数满足某一幅频特性的系统有无穷多, 因为其相频特性是可以任意选择的, 但其中只有一个为最小相位系统。所谓最小相位系统是指离散传递函数在单位圆外没有任何零、极点的系统。设系统的传递函数为 $H(w)$, 最小相位系统传递函数的实部 $H_R(w)$ 和 $H_I(w)$ 可以通过 Hilbert 变换来联系^[4]。即有

$$H(w) = H_R(w) + jH_I(w) \quad (1)$$

$$H_R(w) = h_R(w) \quad (2)$$

其中 $h_R(w)$ 、 $h_I(w)$ 分别是 $H_R(w)$ 和 $H_I(w)$ 的 Hilbert 变换。将 $H(w)$ 写成幅度和相位的形式:

$$H(w) = |H(w)|e^{j\theta(w)} \quad (3)$$

并取 $H(w)$ 的自然对数

$$\begin{aligned} \ln H(w) &= \ln |H(w)| + j\theta(w) \\ &= G(w) + j\theta(w) \end{aligned} \quad (5)$$

那么 $H(w)$ 的相角 $\theta(w)$ 和幅度的对数 $\ln |H(w)|$ 也将有 Hilbert 变换相联系

$$\theta(w) = -G_h(w) \quad (6)$$

$G_h(w)$ 表示 $G(w)$ 的 Hilbert 变换。

Hilbert 变化可用快速傅立叶变换 (Fast Fourier Transform, FFT) 实现。其运算过程如下:

对 $|H(w)|$ 等间隔采样并取采样长度为 2 的 N 次方:

$$|H(k)| = |H(w_k)|, k = 0, 2^N - 1 \quad (7)$$

计算 $|H(k)|$ 的自然对数并镜像延拓长 2^{N+1} , 即为 $G(k)$;

计算 $G(k)$ 的快速傅立叶反变换 (Inverse Fast Fourier Transform, IFFT) 得到时间序列 $g(n)$;

按照下式构造一个新的序列 $g'(n)$

$$g'(n) = \begin{cases} g(n) & n = 0, 2^N \\ 2g(n) & n = 1, \dots, 2^N - 1 \\ 0 & n = 2^N + 1, \dots, 2^{N+1} \end{cases} \quad (8)$$

计算 $g'(n)$ 的 FFT, 得到 $G'(k)$

$$G'(k) = FFT(g'(n)) \quad (9)$$

它的实部是 $\ln |H(k)|$, 虚部为传递函数相位的一个最小相位逼近。

将 $G'(k)$ 取指数, 可根据估计的相位信息恢复 $H(k)$

$$H(k) = \exp(G'(k)) \quad (10)$$

3 基于 Labview 的实现方法

虚拟仪器, 是在通用的计算机平台上定义和设计仪器的功能, 充分利用计算机强大的图形界面和数据处理能力, 提供对测量数据的分析和显示。Labview, 是目前国际上首推应用最广的虚拟仪器开发环境之一, 主要应用于仪器控制、数据采集、数据分析、数据显示和数据通讯等领域。

需要说明的是本文的 Hilbert 变换不能采用 Labview 自带的 Fast Hilbert Transform 函数。因为 Labview 自带的 Fast Hilbert Transform 函数, 所对应的原信号和变换后输出信号都是解析信号, 也就是仅仅有正频率部分的复信号^[5]。而本文要处理的信号不单有正频率, 所以需要在 Labview 平台下构建 Hilbert 变化。

获得时域响应的核心思想是利用原信号 (对数幅度谱) 和 Hilbert 变换后信号 (相位谱) 变换到时域后组成一个因果稳定实序列, 因此需要对原信号做傅立叶反变换, 得到相位谱的傅立叶反变换后, 再做傅立叶变换得到系统的相位谱。经上述变换得到的 $H(w)$ 既有幅度信息又有相位信息, $H(w)$ 的虚部即为相位。

用 Labview 对幅频响应进行预处理 (使其数据结构满足 Hilbert 变换的需要), 取对数后进行 Hilbert 变换, 经过取指数和傅立叶反变换得到示波器的冲激响应。由冲激响应积分可得到阶跃响应。图 1 是得到冲激响应, 阶跃响应的原理图。

本方法从文本中读入实测的幅频特性数据, 对数据预处理、取对数, 得到对数幅度谱。对其构造 Hilbert 变换, 得到系统相频响应。其中 Hilbert 变化过程根据公式(7)处理对数幅度, 然后 IFFT 变换, 得到系统 Hilbert 变化前冲激响应。将它与另外一个按照公式(8)构造的矩阵相乘, 之后进行 FFT 变换就完成了 Hilbert 变换, 同时得到了系统相频响应。经过系统相频响应取指数和

IFFT 变换, 即可得到对 Hilbert 变换后的冲激响应, 积分进一步得到阶跃响应, 即构造出了系统的时域响应。

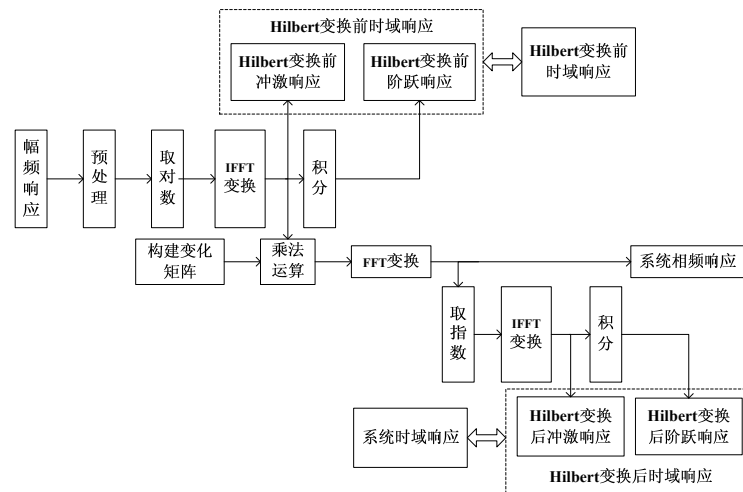


Figure 1. Schematic diagram of phase-frequency and time domain characteristics achievement

图 1 获取系统相频和时域响应原理图

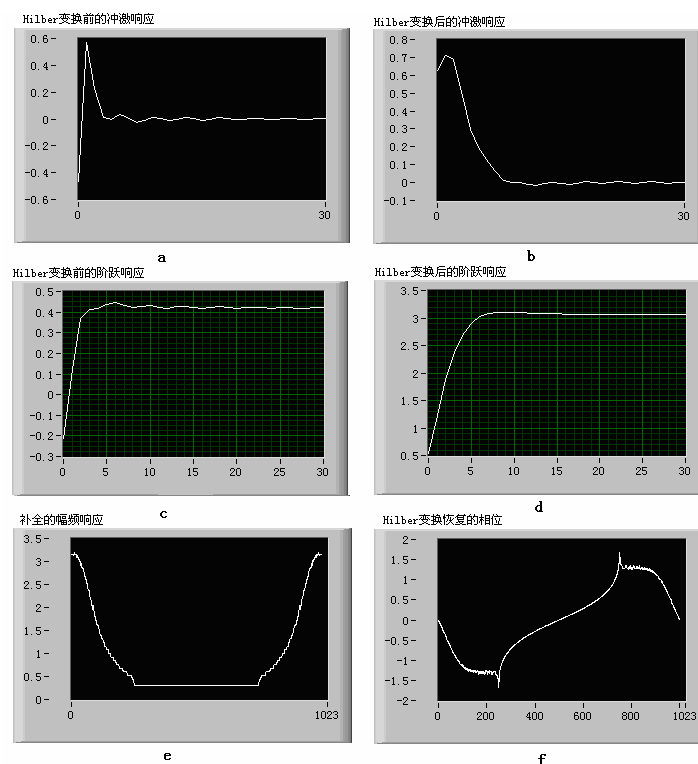


Figure 2. Result show by front panel

图 2 前面板结果

4 案例应用

为计算方便, 将实际采集到的幅频曲线取 256 个数据, 将该组数据以文本形式存储, 作为幅频信号输入到

后面板中, 对数据进行了预处理之后, 系统幅频特性曲线如图 2(e)所示。幅频特性曲线取对数, Hilbert 变换之后, 得到系统相频响应如图 2(f)所示。系统相频响应经过指数运算和 IFFT, 重构出系统的时域的冲激响应如图

2(b)所示,进一步积分得到阶跃响应如图 2(d)所示。图中显示的结果与理论数据分析结果相符,证明本设计的合理性和正确性。

5 结论

本文介绍了利用离散 Hilbert 变换从系统的幅频响应恢复丢失的相位信息,并在此基础上精确的重构系统的冲激响应和阶跃响应,从而获得系统的时域特性参数方法,该方法适用于最小相位系统的情况。将该方法在虚拟仪器 Labview 平台上予以实现。宽带取样示波器校准等情况下,由于实际系统是最小相位系统,所以可以利用该设计进行相位信息恢复和系统时域响应的重构,具有很好的实用价值。

References (参考文献)

- [1] A.E.Yagle, A.E.Bell. One and two-dimensional minimum and nonminimum phase retrieval by solving linear systems of equation[J]. *IEEE Trans.Signal Processing*,1999
- [2] M.H.Hayes, J.S.Lim and A.V.Oppenheim.Signal reconstruction from phase or magnitude[J].*IEEE Trans.Acoust.Sepeech,Signal Processing*,1980
- [3] SHI Li-hua,ZHOU Bi-hua,CHEN Bin,GAO Cheng,Time domain characterization of a system based on the magnitude of its frequency response,*Chinese journal of radio science*, 2000, 12, P469-471(ch)
石立华, 周壁华, 陈彬, 高成.基于幅频曲线的系统时域响应特性评价方法.电波科学学报.2000,12:469-471
- [4] Li Mei,Liu Huifang,Shen Haihong,A new calibration method for broadband system,*Electrical Measurement & Instrumentation*, 2004,9:23-25(ch)
李梅, 刘慧芳, 沈海鸿.宽带系统校准的新方法.电测与仪表.2004, 9:23-25