

基于 LabVIEW 的双馈风力发电机组 在线谐波分析研究*

卞皓玮, 张继勇*, 张苏新, 郭 鑫
(扬州大学 能源与动力工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要:针对双馈风力发电机组在并网运行时,其电力电子变流装置将向电网注入大量谐波电流的问题,将基于 LabVIEW 的在线谐波分析技术应用到双馈风力发电机组的谐波监测分析中。开展了针对双馈风力发电机组注入电网谐波的傅里叶分析和小波包分析,提出了将傅里叶变换与小波包变换联合使用的方法;在 LabVIEW 上搭建了仿真平台,对双馈风力发电机组可能存在的谐波进行了仿真分析试验。试验及研究表明,对于平稳信号与非平稳信号进行谐波分析时,将傅里叶变换与小波包变换联合使用,两者的效能得到明显的提高,优于单独使用傅里叶变换或小波包变换,且可更准确地获取基波和谐波的实时波形与频域特性,谐波定位更准确,为谐波补偿提供了更可靠、准确的信息。

关键词:LabVIEW; 傅里叶变换; 小波包变换; 双馈风力发电机组; 谐波分析

中图分类号:TM614;TM71

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)07-0837-04

Double-fed wind turbine harmonic analysis based on LabVIEW

BIAN Hao-wei, ZHANG Ji-yong, ZHANG Su-xin, GUO xin

(School of Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: In order to solve the problem of a large number of harmonic current injected into the power grid by the power electronic converters devices when double-fed wind turbine combined to the grid, the LabVIEW-based online harmonic analysis technology was applied to the harmonics monitoring and analysis of the doubly-fed wind turbine. After the analysis of the harmonics injected by the doubly-fed wind turbine, a method was presented to combine the Fourier transform and wavelet packet transform. The simulation platform was built based on LabVIEW. The simulation test was evaluated on the harmonic current which may exist in doubly-fed wind turbine. The experimental results show that, the harmonic analysis for stationary signals and non-stationary signals, the combined use of Fourier transform and wavelet packet transform will improve both performance. The result is better than the separate use of the Fourier transform or wavelet packet transform. The combined use of them can be more accurate access to real-time waveform and frequency domain characteristics of the fundamental and harmonic, more accurate positioning of harmonic. It can provide more reliable and accurate information for harmonic compensation.

Key words: LabVIEW; Fourier transform; wavelet packet transform; double-fed wind turbine; harmonic analysis

0 引 言

谐波^[1]是风力发电机组进行电能质量测量和评估的一个重要内容。双馈风力发电机组在并网运行时,由于在转子侧有多个 IGBT 变流器,这些电力电子

变流装置将向电网注入大量的谐波电流,可能使发电机损耗增加、效率降低,产生振动和噪声,对电网用户产生谐波干扰或对设备造成损伤,因此需要对双馈风力发电机组在其连续运行期间的谐波电流进行测量及谐波分析,以便采取必要的、有针对性的谐波干扰限制

收稿日期:2011-12-31

基金项目:江苏省级重点实验室开放课题资助项目(K08017);扬州大学科技创新培育基金资助项目(2010CXJ028)

作者简介:卞皓玮(1987-),男,江苏泰州人,主要从事设备的状态监测与故障诊断方面的研究. E-mail: ionionk@163.com

通信联系人:张继勇,男,副教授,硕士生导师. E-mail: zjy@yzu.edu.cn

措施。

传统分析电力系统谐波的工具(如 Matlab)通常都没有强大的图形编程能力且很难进行在线监测分析。LabVIEW^[2-3]作为自动化测试、测量领域专用软件,可以迅速搭建实验系统,而且可以方便地利用 Matlab 的强大计算功能完成在线谐波分析。

传统的傅里叶变换不能发现谐波的突变^[4-9],而小波包变换则可以轻松地检测出谐波突变的开始与结束,但是小波变换对于频率相近的谐波有时难以区分。本研究将傅里叶变换与小波变换同时用于双馈风力发电机组的在线谐波分析中。针对几种不同谐波模型,本研究运用 LabVIEW 搭建实验平台,利用 LabVIEW 提供的 Matlab Script 节点^[10]与 Matlab 进行混合编程,以及仿真实验,并与只使用傅里叶变换和只使用小波变换处理的结果进行比较分析。

1 研究方法

1.1 傅里叶变换

傅里叶变换从本质上讲将信号分解为众多的频率成分,完成的是信号时域与频域的相互转换。直接 DFT 所需要的计算量为:

$$\begin{cases} DFT[x(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk} & 0 \leq k \leq N-1 \\ DFT[X(k)] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X(k)W_N^{-nk} & 0 \leq k \leq N-1 \end{cases} \quad (1)$$

本研究利用 W_N^{nk} 的对称性和周期性,将长序列分解为短序列,从而可以减少运算量。快速傅里叶变换就是在此特性基础上发展起来的。

快速傅里叶变换(FFT)是离散傅里叶变换(DFT)的一种快速算法,基于 FFT 的谐波测量是当今应用最广泛的一种高效变换算法,通过该算法可以直接得到波形各频谱分量,并且在检测电力谐波时能够满足计算机对有限长序列进行频谱分析的要求。

1.2 小波变换

在许多问题中,研究者只是对某些特定时间段或频率段的信号感兴趣,只要提取这些特定时间或频率点上的信息即可。

小波包分析属于线性时频分析法,它具有良好的时频定位特性以及对信号的自适应能力,因而能够对各种时变信号进行有效的分解。假设信号为 $\mu(t)$,则可以定义一组如下小波包函数:

$$\begin{cases} \mu_{2n}(t) = \sqrt{2} \sum_k h(k)\mu_n(2t-k) \\ \mu_{2n+1}(t) = \sqrt{2} \sum_k g(k)\mu_n(2t-k) \end{cases} \quad (2)$$

信号将被分解为高频成分与低频成分,研究者把高频与低频成分分别再次分解,通过不断地分解信号,就可以得到如图 1 所示的分解树。本研究运用小波包多分辨率的特性分析信号,可轻松地将信号中感兴趣的高频和低频部分分离出来进行处理^[11-15]。

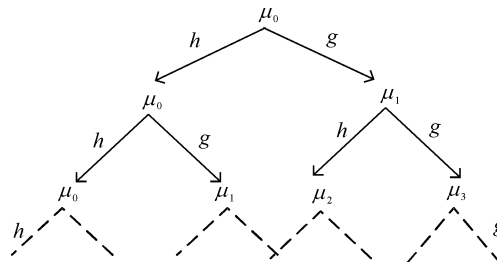


图 1 小波包变换示意图

1.3 傅里叶变换与小波包变换联合使用

基于傅里叶变换与小波包变换的特点,通过将两者联合使用则既可以分析分析平稳信号,也可以分析突变信号,这样就扬长避短,发挥了两者的优点。

本研究首先对原信号进行 FFT 与小波包变换处理,然后根据 FFT 的结果重构感兴趣频段的小波包系数,从小波包变换与傅里叶变换结果来综合分析谐波的特性。分析过程示意图如图 2 所示。

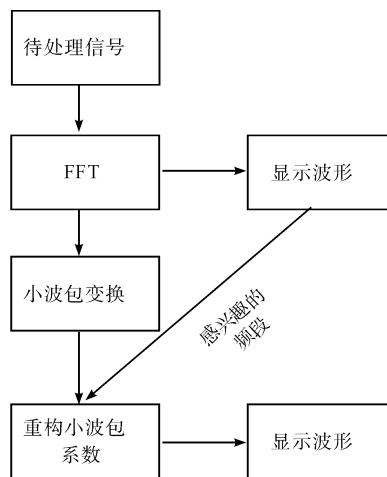


图 2 信号处理流程图

2 谐波分析系统设计

2.1 总体设计

基于 LabVIEW 的双馈风力发电机组在线谐波分析系统必须具备信号采集、数据分析存储与显示模块。

系统结构如图 3 所示。

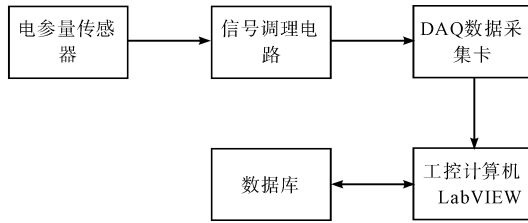


图 3 系统框图

2.2 仿真测试平台

通过利用 LabVIEW 中的 Matlab Script 节点,可以非常方便地实现 LabVIEW 和 Matlab 的混合编程,调用 Matlab 中的库函数,完成对信号的各种处理。本研究搭建的测试平台如图 4 所示。

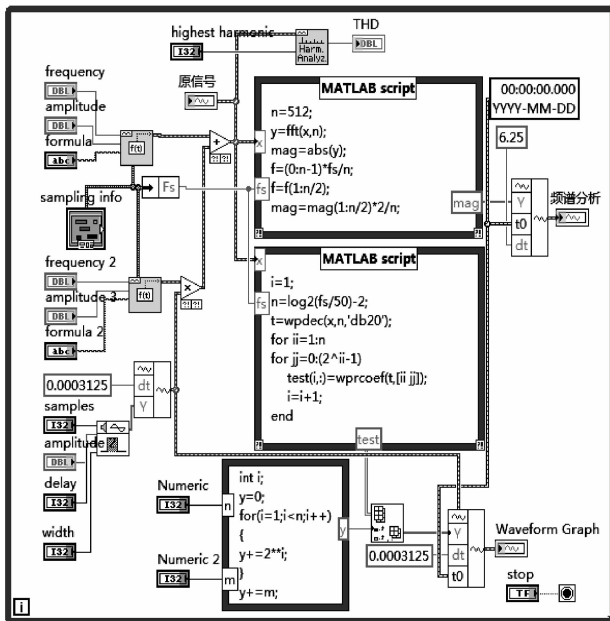


图 4 LabVIEW 中搭建的仿真平台

本研究首先使用 LabVIEW 提供的模块产生模拟信号,替代实际测量信号,经过 Matlab Script 节点调用 Matlab 库中的函数进行 FFT 变换或小波包变换,最后将处理完的波形显示出来。

在实际进行在线谐波分析时,研究者只需将图 4 中的模拟信号替换为实际从数据采集卡测得的信号,就可以进行在线的谐波分析了,充分体现了 LabVIEW 平台搭建简易、快捷的特点。

3 仿真算例

3.1 平稳信号谐波测试仿真

仿真信号由基波、5 次、7 次和 11 次谐波组成。相

应数学表达式为:

$$f(t) = \sin(100\pi t) + \frac{1}{5}\sin(500\pi t) + \frac{1}{7}\sin(700\pi t) + \frac{1}{15}\sin(1100\pi t) \quad (3)$$

平稳信号分析结果如图 5 所示,采样频率选择 3.2 kHz,采样点数为 512。本研究先用 FFT 对信号进行传统的频谱分析,结果如图 5(b)所示。从图 5(b)可知,信号中含有基波、5 次、7 次和 11 次谐波。

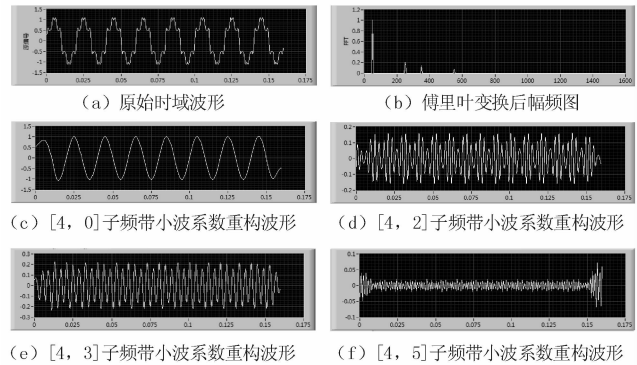


图 5 平稳信号分析结果

随后本研究用 db10 小波对信号进行 4 层小波包分解,分解示意图如图 6 所示。根据小波包的二分频特性可知,图 6 中第 4 尺度的频带 [4, 0]、[4, 2]、[4, 3]、[4, 5] 反映的频带范围依次是 0 ~ 100 Hz、200 Hz ~ 300 Hz、300 Hz ~ 400 Hz、500 Hz ~ 600 Hz,这些频段分别对应基波、5 次、7 次和 11 次谐波。本研究对这些频段进行小波包系数重构,重构波形如图 5(c)、5(d)、5(e)、5(f)所示。

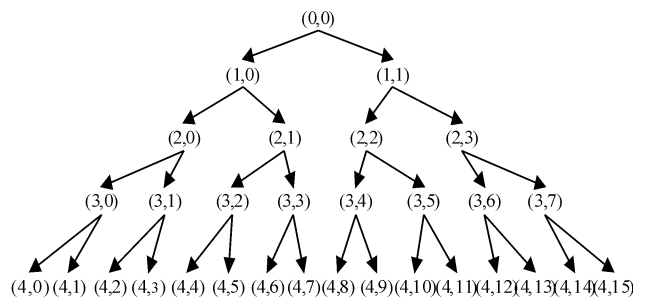


图 6 4 层小波包分解频带划分

从上面的仿真可以看出,平稳信号经过傅里叶变换后,仅能反映原始波形中谐波成分及幅值,只有频域信息而无时域信息,这就是傅里叶变换的不足之处。而根据傅里叶变换结果重构感兴趣频段的小波包系数,可以实现基波、3 次、5 次、11 次谐波的准确分离,时频信息同时可见,为谐波补偿措施提供了很好的依据。

3.2 非平稳信号谐波测试仿真

风力发电机组有时会遇到非平稳信号,如系统中发生故障时电压会发生突变,从一个平稳状态突变到另一个平稳状态。现假设模拟信号中基波一直存在,5次、7次、13次谐波从0.05 s时加入。则信号的数学表达式为:

$$f(t) = \sin(100\pi t) + \frac{1}{5}\sin\left[500\pi(t - 0.05) + \frac{\pi}{6}\right] + \frac{1}{6}\sin\left[700\pi(t - 0.05) + \frac{\pi}{3}\right] + \frac{1}{12}\sin\left[1300\pi(t - 0.05) + \frac{\pi}{4}\right] \quad (4)$$

非平稳信号分析结果如图7所示,本研究先用FFT对信号进行传统的频谱分析,结果如图7(b)所示,从图7(b)中可知信号中含有基波、5次、7次和13次谐波。

基波、5次、7次和13次谐波分别处在0~100 Hz、200 Hz~300 Hz、300 Hz~400 Hz、600 Hz~700 Hz的频段中,对应图6中第4尺度的[4,0]、[4,2]、[4,3]、[4,6]。本研究对这些频段进行小波包系数重构,重构波形如图7(c)、7(d)、7(e)、7(f)所示,从图7中可以清晰地看出突变信号。

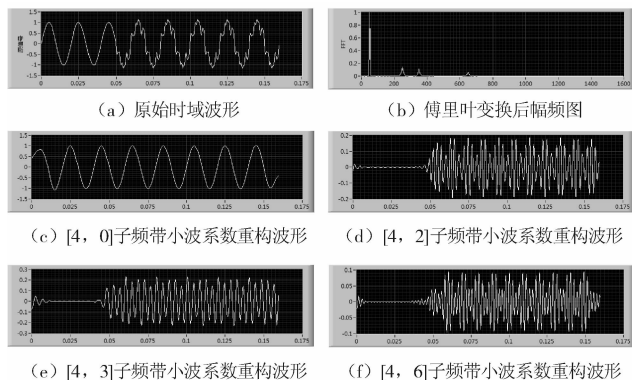


图7 非平稳信号分析结果

从上面的仿真可以看出,对于非平稳信号:由于傅里叶变换只有频域信息而无时域信息,这导致傅里叶变换只能显示出这段时间中信号所含有的频率,而在信号的突变检测上显得无能为力。而根据傅里叶变换结果重构感兴趣频段的小波包系数,可以方便、准确地实现信号突变检测,为谐波补偿措施提供很好的依据。

4 结束语

针对双馈风力发电机组可能存在的谐波,本研究提出了将傅里叶变换与小波包变换联合使用的方法,并基于LabVIEW平台进行了仿真分析试验。

仿真及研究结果表明:对平稳信号与非平稳信号进行谐波分析时,通过将傅里叶变换与小波包变换联合使用,两者的效能可得到明显的提高,能够发挥两者的优点,可更准确地获取基波和谐波的实时波形与频域特性,谐波定位更准确,从而为谐波补偿提供更可靠、准确的信息。

参考文献(References):

- [1] 李志荣. 电力系统中的谐波和谐波抑制[J]. 科技创新导报,2010(32):68.
- [2] 陈锡辉,张银鸿. LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [3] 徐明,于业明. LabVIEW 中 Matlab 的调用[J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2005,19(4):92-95.
- [4] 唐俊龙,陈连举,文勇军. 基于虚拟仪器技术的电力谐波失真分析[J]. 电测与仪表,2010(23):24-25.
- [5] 王吉元. 基于小波分析的电能质量谐波检测虚拟仪[J]. 工业仪表与自动化装置,2010(5):77-79.
- [6] 龚静. 小波变换与傅里叶变换在谐波分析中应用比较[J]. 东北电力技术,2009(9):21-24.
- [7] 杨桦,任震. 基于小波变换检测谐波的新方法[J]. 电力系统自动化,1997(10):39-42.
- [8] 秦前清,杨宗凯. 实用小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1994.
- [9] 张凯,周隰,郭栋. 虚拟仪器工程设计与开发[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [10] 文雷,加玛力汗·库马什. Mathscript 节点在电力谐波分析中的应用研究[J]. 中国科技信息,2010(23):24-25.
- [11] 董新洲. 小波变换应用于电力系统故障信号分析初探[J]. 中国电机工程学报,1997,17(1):39-42.
- [12] 唐贵基,刘玉秋. 基于 LabVIEW 的虚拟测试分析仪的信号分析功能设计[J]. 仪器仪表用户,2004,11(1):24-26.
- [13] 刘从兵. 基于小波分析的声发射信号降噪处理方法[J]. 机电工程技术,2010,39(7):82-84.
- [14] 李曙光,张梅军,陈江海. 基于小波包和分形盒维数的滚动轴承故障诊断[J]. 机械,2010,37(8):21-23.
- [15] 张贤达,保铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京:国防工业出版社,1998.

[编辑:李辉]