

# 基于快速傅立叶变换(FFT)的发电系统 信号处理及分析

谭 啸

(国家能源集团大渡河流域水电开发有限公司,四川 成都 610041)

**摘要:**在发电系统中,监控系统及各发电装置需要实时获取相关运行状态,以获得输入输出的电压、电流、有功、无功等电量参数,从而实现并网、解列、故障诊断、补偿等功能。然而,所采集的数据通常含有大量的随机噪声或干扰信号,如何快速准确的检测各参数直接决定了整个系统的性能。本文采用了数字信号处理中较为常见,也是使用最多的算法之一:快速傅立叶变换(FFT)算法,对数字信号进行处理,分析其中的频率、幅值、相位角等相关数据,并对相关数据进行了校正,得到较为准确的原始数据。为发电系统中谐波检测提供了有用的参考数据。

**关键词:**谐波;电力系统;变换算法;MATLAB 程序

**中图分类号:**U223.6+3;TM916.3;TN911.7

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2020)增 1-0117-03

## Signal Processing and Analysis of Power Generation System Based on Fast Fourier Transform (FFT)

TAN Xiao

(Guodian Dadu River Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

**Abstract:** In the power generation system, the monitoring system and the power generation devices need to obtain the relevant operation status in real time to obtain the input and output voltage, current, active power, reactive power and other electrical parameters, so as to realize the functions of grid connection, disconnection, fault diagnosis and compensation. However, the collected data usually contain a lot of random noise or interference signals. How to detect the parameters quickly and accurately will directly determine the performance of the whole system. This paper adopts fast Fourier transform (FFT) algorithm, which is one of the most commonly used algorithms in digital signal processing, analyzes the frequency, amplitude, phase angle and other related data in digital signal processing, and corrects the relevant data to obtain more accurate original data, which provides useful reference data for harmonic detection in power generation system.

**Key words:** harmonic; power system; transform algorithm; MATLAB program

## 0 引言

随着电网建设日趋完善,各类发电系统的设备装置研发及制造水平有了明显的提高,设备的可靠性及精准性都得到了极大的改善,促使电能的利用率显著提升。但是,谐波<sup>[1]</sup>问题是这些电力电子设备始终无法完全解决的问题,其对电网安全、稳定、以及经济运行均构成了严重的影响。因此,如何检测谐波、抑制谐波越来越得到大家的重视,更是对线路保护、故障点判断及故障类型判断等工作的重要前提。

## 1 谐波对电力系统的影响

在发电系统中,监控系统及各发电装置需要实时获取相关运行状态,以获得输入输出的电压、电流、有功、无功等电量参数,从而实现并网、解列、故障诊断、补偿等功能,充分发挥发电系统的优势。然而,所采集的数据通常含有大量的谐波暨随机噪声或者干扰信号,并对发电系统产生影响<sup>[2]</sup>。主要有 4 个方面:

(1)谐波电流波形有效值的增加导致了附加输电损耗。

(2)针对变压器而言,谐波电流增加了大量的铜耗。

(3)结合继电器的原理和特点,谐波有可能会

收稿日期:2020-03-23

导致保护继电器的动作特性发生改变。

(4)谐波可能会导致测量仪表产生测量误差。如何快速准确地检测各参数,直接决定整个系统的性能。微电子技术的发展使得现在可以在运算能力强大的 DSP 或其他微处理器<sup>[3]</sup>上实现各种复杂的数字信号处理,如自适应滤波、模式识别等,因此,研究发电系统中相关运行参数的信号处理具有重要意义。

## 2 快速傅立叶变换算法及其优势

### 2.1 基本概念

在数字信号处理领域,傅立叶变换是一种常见且重要的分析及计算方法,它既能够分析出信号的成分,也能够利用这些成分合成一个整体信号。常规大部分的波形能够体现出信号的成分,如正弦波、锯齿波、方波等。傅立叶变换经常以正弦波为例来分析信号的成分。依据傅立叶变换原理创立的傅立叶变换算法,利用直接测量到的原始信号,以累加的方式,来计算此信号中不同正弦波信号的频率、振幅和相位。

### 2.2 快速傅立叶变换的优点

随着离散傅里叶输入的点数逐步增加,其所需的运算量变得非常大。在 1965 年,图基(Tukey)和库力(Cooley)在 Mathematic Of Computation 上发布了一篇学术文章,提出了一种实现离散傅里叶变换非常有效的算法:快速傅立叶变换(Fast Fourier Transformation)的算法。

快速傅里叶变换(Fast Fourier Transformation)是将一个大点数  $N$  的离散傅里叶分解为若干小点的离散傅里叶的组合,将计算  $N$  点的离散傅里叶运算量从  $N^2$  降为  $N\log^{2N}$ ,使运算工作量明显降低,大幅提升了离散傅里叶变换计算速度。因此,在数字信号处理技术的应用方面,特别是在连续信号的频谱分析方面,快速傅里叶变换的实用性愈发凸显。

这一分析过程如下图所示:

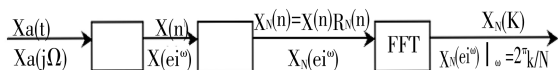


图 1 利用 FFT 计算连续信号的频谱

### 2.3 分析过程

通过快速傅里叶变换分析电力系统设备的谐波主要分为 3 个步骤:

(1)对某一连续的时间信号进行采样,并将其变换为离散序列,随后将模拟信号转为数字信号。

(2)由于在具体实测过程中,快速傅里叶变换只能对一定长度的采样信号进行处理,因此,需要截取其中一段信号,即采用数据窗的形式截断连续信号。

(3)通过快速傅里叶变换算法得到谐波分析数据,并通过分析计算得到谐波信号的具体参数(如频率、幅值、相位)。

其中,连续波形离散化、采样周期变动、模拟数字转换、数据处理等步骤均可能存在各种类型的误差,对谐波分析结果准确度影响最大的是同步误差。若信号与采样的周期不同步,还可能产生栅栏效应和频谱泄漏等现象。

## 3 快速傅里叶变换算法的 MATLAB 程序

### 3.1 仿真运算

在学习了解快速傅里叶变换源程序后,由仪器模拟出某一正弦波形及其相关参数,并对此波形进行快速傅里叶变换运算,下面的程序是通过 MATLAB 仿真<sup>[4]</sup>所使用的正弦波形及其相关参数,具体如下:

$$t = 0 : 0.001 : 0.255;$$

$$N = 256;$$

$$a = \cos(2 \times \pi \times 50 \times t) + 0.5 \times (1 - 2 \times \text{rand}(1, N));$$

$$z = \text{FFTmatlab}(a);$$

得到的 Z 数组为复数数组,输入  $[val, index] = \text{max}(a)$ ;找到最大峰值及其所对应的下标值。随后通过公式计算出该波形的相关参数:

$$\text{频率为: } f_e = 49.9239 \text{ Hz,}$$

$$\text{幅值为: } A_e = 1.4977,$$

$$\text{相位角为: } R_e = 51.72^\circ;$$

该波形的实际表达式应该如下:

$$a = \cos(2 \times \pi \times 50 \times t + R \times \pi / 180) + 0.5 \times (1 - 2 \times \text{rand}(1, N))$$

### 3.2 快速傅里叶变换算法的信号处理

通过 MATLAB 程序的仿真计算<sup>[5]</sup>,得出以下原始、测量波形及对比图,以及原始信号频谱图。

### 3.3 数据修正

以上数据是通过计算得到的,从计算的结果

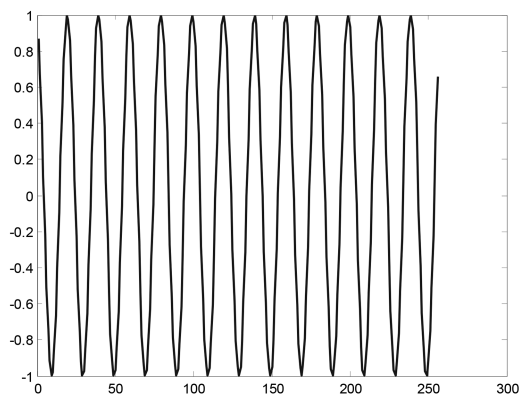


图 2 原始数据波形图

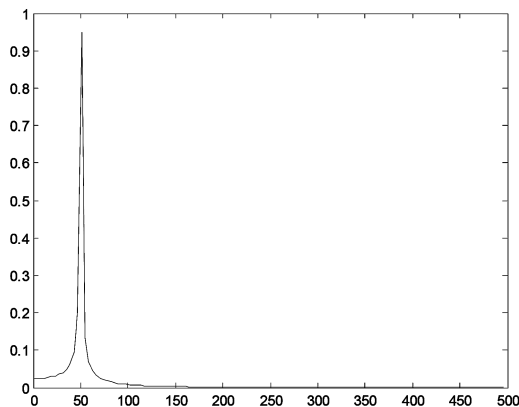


图 5 原始信号的频谱图

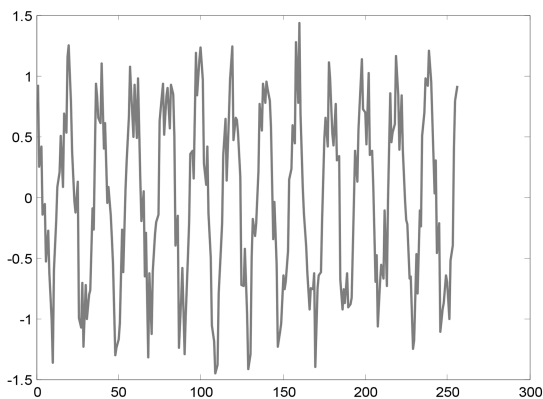


图 3 采样数据波形图

里叶变换计算后形成的频谱分布是一条谱线,那么这条整数次谐波的频率、幅值和相角,就能够利用该谱线的相关参数计算出来。

若谐波是非整数次,该谐波分量则可能落在两个频率分辨点之间。此时再通过快速傅里叶变换,则无法直接得到它的准确值,而需要通过临近的两条幅值最大的谱线来计算。因此,就有可能出现栅栏效应或者导致频谱泄露,致使结果中的相位、幅值和频率等信号参数精度不高,尤其是相位误差较大。

因此,在得到这些数据之后还需要对它们进行校正<sup>[6]</sup>,减小误差,以得到更加准确的数据。一般情况下是加矩形窗通过加窗的方法,可利用 MATLAB 及相关公式直接进行计算。

通过校正计算,得到了如下数据:

$$\begin{aligned} f_a &= 50.0119 \text{ Hz} & f_e &= 49.9239 \text{ Hz} \\ A_a &= 0.9968 & A_e &= 1.4977 \\ R_a &= 30.968^\circ & R_e &= 51.72^\circ \end{aligned}$$

### 3.4 结果分析

(1)通过校正,与右列未校正前的数据相比,还是存在很大误差,特别是相位角和幅值。因此,进行误差校正的必要性是非常大的,如果不进行校正,则会严重影响分析结果。

(2)延长采样区间,可以减小快速傅里叶变换的栅栏效应,提高谐波分辨率。

(3)增加矩形窗进行快速傅里叶变换可以减小谐波分析的泄漏现象。

### 3.5 实践体会

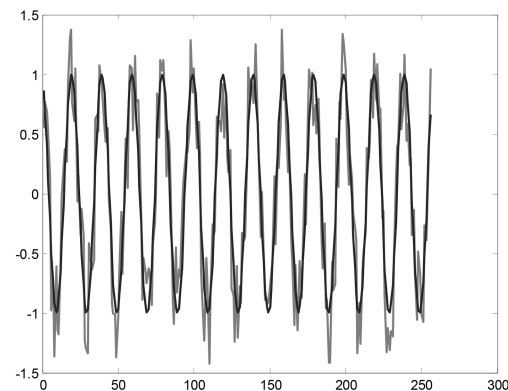
我们虽然知道了如何去解决频率泄漏等问

(下转第 127 页)

中我们可以知道该波形的最大幅值大约在 50 Hz 的时候出现(图 5)。

在日常的测量中,实际处理的谐波信号是经过采样和模拟信号至数字信号的转换,且得到的是有限长的数字序列。在采样过程中,若截取时间是一个工频周期,实测信号所含的整数次谐波分量会刚与谐波的频率分辨点重合,通过快速傅

图 4 波形重叠对比图



及富水情况,采取相应的处理措施,降低了施工风险、保障了施工安全。该超前探测方法将更好的应用到深埋长距离隧洞施工中,为其安全、快速地施工起到很好的指导作用。

#### 参考文献:

- [1] 杨立财等. 隧道施工超前地质预报技术应用研究[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(12): 114-116.
- [2] 李勇等. 隧道施工地质超前预报方法[J]. 地质与资源, 2004, 13(2): 119-122.
- [3] 聂利超. 隧道施工含水构造激发极化定量超前地质预报理论及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(11): 2374.

(上接第 119 页)

题,但是更应该知道造成频率泄漏问题的原因,只有知道了起因,才能从源头减小出现各种误差的可能性,使误差大大降低。总结归纳后主要有以下几个方面:

(1) 一般而言,原始的波形通常是周期信号,但是在离散傅里叶分析中往往是截取某一段数据,而这就是所谓的加窗,会导致离散傅里叶的结果同真实结果有差别。

(2) 由于采样的频率不一定与信号频率成整数倍,可能会导致频率泄漏。若采样的频率与信号频率成整数倍,对应频谱最大值的频率就是信号频率(就单正弦信号而言)。

(3) 计算机的有限精度计算也会导致频率泄漏。而频率泄漏的解决方法是进行频率补偿。

#### 4 结 语

在发电系统中,监控系统及各发电装置需要实时获取相关运行状态,以获得输入输出的电压、电流、有功、无功等电量参数,从而实现并网、解列、故障诊断、补偿等功能。伴随着社会的发展,各类电网建设规模逐步扩大,电力系统谐波出现

(上接第 123 页)

- [5] 肖慈垚. 大型水电厂引水管排水方式的分析与选择[J]. 红水河, 2015, 34(05): 75-77.

#### 作者简介:

梁成刚(1996-),男,甘肃天水人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

刘江红(1987-),男,四川自贡人,工程师,工学学士,从事水电站

- [4] 赵永贵等. 隧道地质超前预报研究进展[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(3): 460-464.

- [5] 张俊文. TBM引水隧洞超前地质预报方法研究与应用. 长江工程职业技术学院[J]. 2020, 37(2): 11-14.

#### 作者简介:

张俊文(1971-),男,汉族,湖北孝感人,大学本科,高级工程师,长江委陆管局枢纽工程管理中心副总工,水利工程建设及运行管理;

李久源(1987-),男,汉族,河南南阳人,大学本科,工程师,水电十四局新疆KS隧洞项目总工程师,水利工程施工管理.

(责任编辑:卓政昌)

的新问题、新情况也越来越复杂。因此,有必要更好地监测各种数据,有效利用快速傅里叶变换来分析谐波的特点,以得到最真实、准确的结果,从而实现发电系统的安全可靠运行。

#### 参考文献:

- [1] 容健纲,张文亮. 电力系统谐波[M]. 第1版. 华中理工大学出版社. 1994:144-151.

- [2] 李红,杨善水. 电力系统谐波检测的现状与发展[J]. 现代电子技术. 2004, 9(176): 81-84.

- [3] 杨荫福,段善旭,朝泽云. 电力电子装置及系统[M]. 第1版. 华中科技大学出版社. 2006. 9 : 180-181.

- [4] 黄文梅,熊桂林,杨勇. 信号分析与基础——MATLAB语言及应用[M]. 第1版. 国防科技大学出版社. 2003. 7: 74-76.

- [5] 董长虹. Matlab信号处理与应用[M]. 第1版. 国防工业出版社. 2005: 51-84.

- [6] 频谱分析的校正方法[J]. 振动工程学报. 1994. 6: 172-179.

#### 作者简介:

谭啸(1986-),男,汉族,湖北宜昌人,硕士,现供职于国家能源集团大渡河公司,主要从事电力生产管理及工程管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

运行管理工作;

杨自聪(1989-),男,四川宜宾人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

梅沈锋(1994-),男,湖北黄冈人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

杨泽鹏(1995-),男,山西运城人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作.

(责任编辑:卓政昌)