

# 基于 Matlab 的电力系统谐波评估研究

吴杰<sup>1</sup>, 刘健<sup>1</sup>, 卢志刚<sup>1</sup>, 宋国堂<sup>1</sup>, 姜顺强<sup>2</sup>

(1. 燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004; 2. 秦皇岛港务局电力公司, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:** 电力系统中, 各种非线性设备向电网注入谐波电流, 引起电网电压畸变, 电能质量下降。因此, 电力设备在接入电网之前, 必须对其注入电网公共连接点的谐波电流进行评估, 以便采取抑制措施。常规的谐波潮流计算的方法存在建立系统模型困难、计算繁琐等缺点。因此, 采用 Matlab 的 Powerlib 工具对一座 110 kV 变电站建模分析, 对注入系统的各次谐波含量进行了评估。结果表明, 利用 Matlab 进行谐波评估具有建立模型简便, 计算速度快的优点。

**关键词:** 谐波评估; 谐波潮流计算; Matlab

**中图分类号:** TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)22-0014-03

## 0 引言

在电力系统中, 随着非线性、冲击性负荷的大量增加, 公用电网中的谐波污染日益严重, 威胁电网和各种用电设备的安全经济运行。因此, 电力设备在接入电网之前必须对其注入电网公共连接点的谐波电流进行评估, 评估的标准是国家标准 GB/T 14595-93《电能质量—公用电网谐波标准》。

某港将要新建一座 110 kV 变电站。该变电站负荷主要有翻车机、高塔吊、堆料机等。这些设备的电源为大功率交直交变频装置, 运行时会有一定量的谐波注入电网。所以必须对该变电站注入系统的谐波进行评估, 以便及时发现问题并确定比较合理的供电方式或采取治理措施。变电站供电系统如图 1 所示。

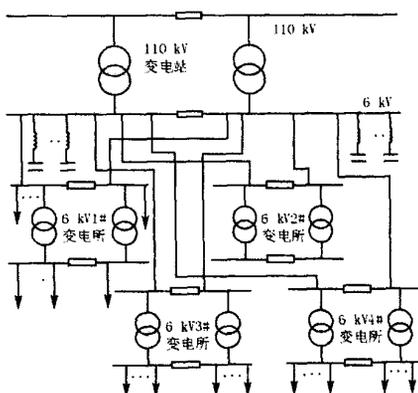


图 1 变电站供电系统示意图

Fig 1 Schematic diagram of substation supply system

本文利用 Matlab 软件中 Powerlib 工具箱中的 FFT(快速傅立叶变换)工具, 对第四变电站建模后

进行谐波分析, 得到了注入系统的各次谐波含量。以此来说明利用 Matlab 进行供电系统谐波评估的方法。

## 1 谐波评估常规方法

电力系统的谐波评估对于简单的网络可用简易计算的方法; 对复杂系统和多个谐波源可用谐波潮流计算的方法<sup>[1]</sup>。应用谐波潮流计算求解时, 应先确定谐波网络的数学模型。它是由网络中各元件的谐波参数组成的, 通常用描述谐波网络的连接情况和支路导纳的谐波节点导纳矩阵表示。电力系统中的谐波源主要是一些电力电子设备和部分变压器的励磁支路。可以将这些谐波源看作内阻抗无穷大的恒电流源。计算是由各谐波源节点注入谐波电流通过该谐波网的网络方程求解各节点的谐波电压。各节点的谐波电流由该点的谐波电压和谐波源特性决定。可以利用计算机编制潮流计算程序来分析复杂系统中的谐波状况。

为了获得谐波节点导纳矩阵, 就需要知道各元件的谐波数学模型和参数, 以及它们的连接情况<sup>[2]</sup>。在不对称情况下各次谐波具有不同的相序特性, 零序网络还会因变压器绕组的不同接线方式和接地方式而形成与正、负序网络接线。这样使计算变得繁琐。另外, 谐波计算所需的数据如供电系统各元件的频率特性和谐波参数、各谐波源的频谱特性尤其是相频特性等数据, 往往很难获得足够的足够精确的资料, 严重影响了编程计算的精度<sup>[3]</sup>。

## 2 基于 Matlab 的电力系统谐波评估

由于常规的谐波潮流计算方法存在建立系统谐

波模型比较复杂、有些模型参数很难获得等缺点,因此本文采用了 Matlab环境下运用 Powerlib工具箱中的电力系统元件建立变电站仿真模型,进而进行谐波评估工作。该变电站主要负荷是变频设备驱动的电动机。变频设备通过整流变压器接入该变电站下属变电所的 6 kV 母线,变频设备通过整流,把交流变成直流,再通过逆变器变频为各类电机供电。这类设备运行时,将产生一定幅值的谐波电流注入电网侧。变频器的简单统计如表 1 所示(由于实际中的变频器数量众多,表中只列出了几组有代表性的)。

因为主要研究注入系统的谐波电流值,并且谐波源主要是变频设备,所以根据实际情况对系统适当简化,将负荷归类为三种:6脉波整流逆变供电的负荷、12脉波整流逆变供电的负荷和直接的工频交流负荷(如照明、排水、除尘设备等)。仿真的模块图如图 2 所示。

表 1 部分变频器工作特点

Tab 1 Performance characteristic of some frequency-converters

安装位置	功率 /kW	数量	工作方式	同时工作可能性
翻车机	500	3	周期性工作	较大
定位车	1080	3	周期性工作	较大
装船机行走	340	2	非周期短时工作	较小
洒水系统	90	6	长时间工作	4台同时工作

图 2 中虚线框的模块 1 代表 6 脉波整流逆变系统的典型结构,模块 2 代表 12 脉波整流逆变的典型结构。模块 3 代表典型的工频负荷。模块 1 和模块 2 可以封装成子系统(如图 2 中下部的 subsystem1 和 subsystem2)。多个以这 3 种典型模块为代表的子系统(subsystem)连接在变电站的 6 kV 侧组成整个负荷系统(受图的大小限制,图 2 未给出仿真时连接的所有的子系统,只给出了有代表性的模块)。

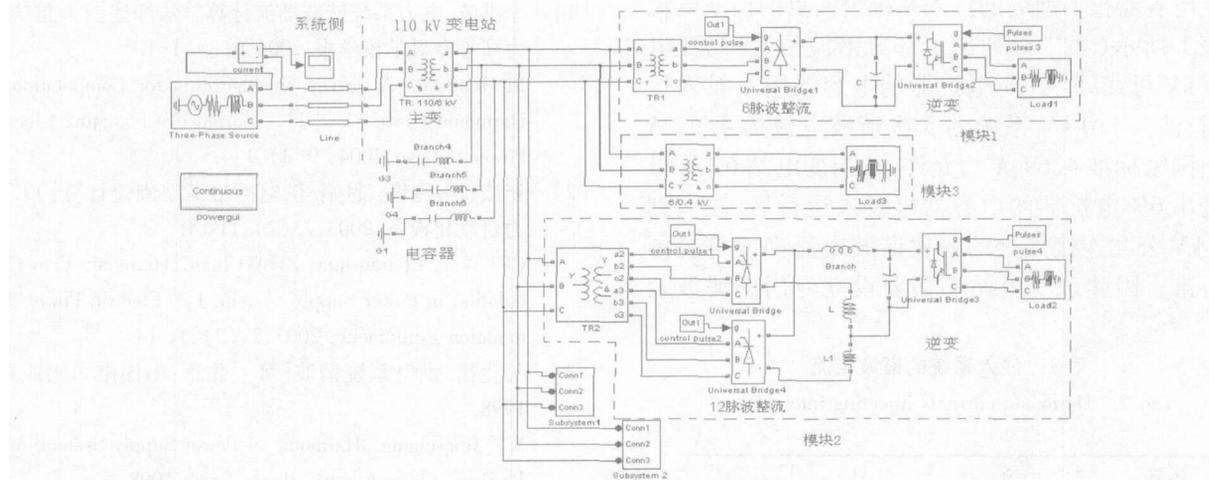


图 2 仿真系统图

Fig 2 Simulation system of the 110 kV PCC

进行谐波计算时,确定了变频器的结构、运行方式和所带的负荷功率,谐波源的注入谐波量就可以在仿真时由 Matlab 自动计算了。所以详细地统计了各种设备的功率和功率因数,以及不同时刻设备投入的种类和数量,可以得到极端情况下(即同时工作的变频器数量最多时)的各个设备的组合情况,此时注入系统的谐波含量最高。利用图 2 中左下角的“Continuous (powergui)”中的“FFT”工具可以对注入系统的电流进行傅立叶分解<sup>[4]</sup>,得到谐波的频谱图如图 3 所示。

图 3 (a)为变电站电容器没有投入时注入 110 kV 公共点的电流谐波频谱图;图 3 (b)为电容器投

入运行后的谐波电流频谱图。图中横坐标为谐波次数,纵坐标为谐波电流和基波电流的比值(百分数)。可以根据基波电流幅值和比值求得谐波电流值。

### 3 结果分析

国家标准 GB/T14549 - 1993《电能质量 - 公用电网谐波》规定了在 750 MVA 基准的短路容量下,注入系统 110 kV 公共连接点的各次谐波电流允许值。本系统 110 kV 公共连接点实际最小短路容量不同于假定的基准短路容量,应该按照 GB/T14549 - 1993 附录 B 和按照 GB/T14549 - 1993 附录 C 的

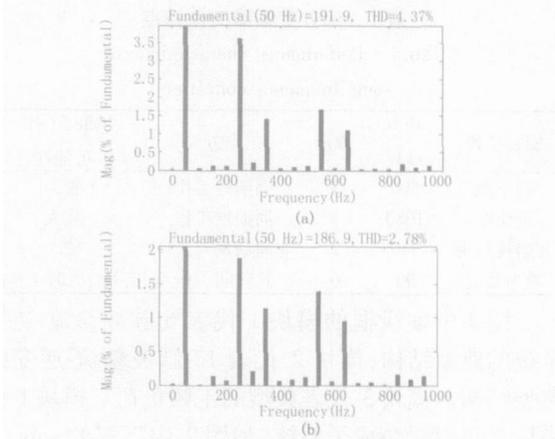


图 3 注入 110 kV 公共点的电流谐波频谱

Fig 3 Hamonic currents spectrum injecting into the 110 kV PCC

要求进行换算得到本系统允许注入 110 kV 公共连接点的谐波电流允许值。

电容器投入前后的注入系统公共点的谐波电流如表 1 所示 (表中只列出了部分谐波值)。当变电站 6 kV 母线处串 6% 电抗器的电容器组不投入运行时,注入 110 kV 系统的 5 次谐波电流为 4.92 A 超出国家标准 4.69 A 的允许值;当变电站 6 kV 母线处串 6% 电抗器的电容器组投入运行后,注入到 110 kV 公共连接点处的各次谐波电流都能符合国家标准。因此该变电站不需要设立专门的滤波装置。

表 2 注入系统的谐波电流

Tab 2 Hamonic currents injecting into system

	A					
次数	3	5	7	11	13	17
允许值	4.31	4.69	3.97	2.85	2.45	1.98
投入前	0.21	4.92	1.92	2.25	1.51	0.27
投入后	0.31	2.49	1.51	1.84	1.26	0.23

## 4 结语

基于 Matlab 的电力系统谐波评估适用于电力设备 (尤其是变电站等复杂的系统) 投入运行前的系统建模仿真。本文由于篇幅所限,仅分析了注入系统的谐波电流。实际上,本文的方法还可以对系统中的任意元件 (比如电容器) 进行电压和电流的谐波分析。相对于谐波潮流计算的谐波分析方法,基于 Matlab 的电力系统谐波评估有以下优点:

1) 不需要建立系统的谐波导纳矩阵,省掉了许多繁琐的计算过程;Matlab 中的电力系统元件的参数可以方便地调整。

2) 不需要编程计算,不用考虑编程的算法问题。仅需要利用 Matlab 中的变压器和线路等现有模型,组成网络。运行后,得到结果。数据的精度高;

3) 当系统的运行方式改变时,可以在 Matlab 中很方便地修改网络结构。得到新的结果。

要利用 Matlab 进行谐波评估也需要一定的条件:

1) 建立谐波源 (主要是电力电子设备) 的模型是关键。必须查明谐波源的参数,包括设备的型号、容量、台数、额定电压、额定电流、接线方式、运行控制方式、控制参数和各次谐波发生量,以及变压器的参数和连接方式等。这样可以建立较精确的模型。

2) 必须了解系统参数,包括谐波源与连接点的额定电压、短路容量、谐波电压和谐波阻抗等。

## 参考文献:

- [1] 李洪波. 电力系统谐波潮流计算算法综述 [J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2004, 9(3): 1-4  
LI Hong-bo. A Survey on Algorithm for Computation of Harmonic Power Flow [J]. Journal of Chongqing Electric Power College, 2004, 9(3): 1-4
- [2] 崔威, 李建华, 赵娟. 供电网络谐波潮流计算 [J]. 电力自动化设备, 2003, 23(2): 11-14.  
CUI Wei, LI Jian-hua, ZHAO Juan. Harmonic Flow Calculation in Power Supply System [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(2): 11-14.
- [3] 吴竟昌. 供电系统谐波 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.  
WU Jing-chang. Harmonic of Power Supply System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [4] 吴天明, 谢小竹, 彭彬. Matlab 电力系统设计与分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.  
WU Tian-ming, XIE Xiao-zhu, PENG Bin. Designing and Analysis of Power System Using Matlab [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004.

收稿日期: 2006-04-18; 修回日期: 2006-08-19

作者简介:

吴杰 (1959 - ), 男, 副教授, 研究生导师, 研究方向为电力系统无功补偿与电压稳定;

刘健 (1981 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为电网规划;

卢志刚 (1963 - ), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统经济运行和人工智能。E-mail: xiansun@ysu.edu.cn

(下转第 45 页 continued on page 45)

- Maintenance Scheduling for Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (21): 50-51, 62
- [10] 袁崇义. Petri网原理 [M]. 北京:电子工业出版社, 1997.
- YUAN Chong-yi The Principle of Petri-nets [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997.
- [11] 王玮, 徐丽杰, 王林, 等. 基于工作流的电力系统检修管理建模方法和技术实现 [J]. 电力系统及其自动化, 2004, 28 (13): 80-84.
- WANG Wei, XU Li-jie, WANG Lin, et al The Modeling Method and Realization of the Power System Overhaul and Repair Management Based-on Workflow Technique [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (13): 80-84.
- [12] 欧阳俊, 杨贵中. 基于对象 Petri网 workflow 建模的研究与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26 (10): 2688-2691.
- OUYANG Jun, YANG Guan-zhong Research and Implementation of Workflow Modeling Based on Object Petri-net [J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26 (10): 2688-2691.
- [13] Kawahara K, et al A Proposal of a Supporting Expert System for Outage Planning of Electric Power Facilities Retaining High Power Supply Reliability, Part II Knowledge Processing and Simulation Results [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998: 1459-1465.

收稿日期: 2006-07-17; 修回日期: 2006-08-31

作者简介:

雷云川 (1979 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为微机继电保护; E-mail: leiyunchuan@tom.com

吕飞鹏 (1968 - ), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力系统继电保护和故障信息处理智能系统;

胡美蓉 (1973 - ), 女, 工程师, 从事电力系统运行管理。

### Studies on the management system of maintenance scheduling for power systems based on workflow

LEI Yun-chuan<sup>1</sup>, LÜ Fei-peng<sup>1</sup>, HU Mei-rong<sup>2</sup>, XIE Xi<sup>1</sup>, CHEN Dong<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Nanchong Electric Power Bureau, Nanchong 637100, China)

**Abstract:** In order to implement the automation of the business process of the management of maintenance scheduling for power systems, a new solution based on MS NET framework is presented by utilizing Microsoft Windows workflow Foundation (WWF). A typical business process of maintenance scheduling is modeled and validated by using Petri net, and the visualization method to realize the maintenance scheduling workflow model is given based on WWF model-driven and component-oriented design. The requirements of practical applications can be easily satisfied with better extensibility, less development and implementation cost.

**Key words:** workflow; maintenance scheduling; Petri net; Windows Workflow Foundation (WWF)

(上接第 16 页 continued from page 16)

### Research on harmonic calculation of power system based on Matlab

WU Jie, LIU Jian, LU Zhi-gang, SONG Guo-tang, JIANG Shun-qiang

(1. Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

2. Qinhuangdao Harbor Bureau Electric Company, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** In power system, harmonic from nonlinear loads has caused power network voltage distorted and power quality decreased. In order to suppress the harmonic, it is necessary to evaluate harmonic currents injecting into PCC of the equipment before being installed. Because custom harmonic flow calculation has the drawback of difficulty for building model and intricacy for counting, this paper proposes a method using the Powerlib in Matlab to build the model for a 110 kV substation, and assess the value of the harmonic currents emitting into the system. The result of harmonic evaluation indicates that the proposed method has the advantages of simply building model and rapid computation of the outcome.

**Key words:** harmonic evaluation; harmonic flow calculation; Matlab