

# 东莞配电网谐波测量及其统计分析

曾江, 于文俊, 余涛

(华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 对东莞市配电网的谐波问题进行了全面的普查, 对东莞市 8 个镇, 131 个企业, 247 个配变, 采用了便携式电能质量分析仪和在线长期监测相结合的方式, 进行了实地监测。对监测数据进行统计分析后, 得出了东莞配电网的谐波污染现状。结果表明, 东莞配电网的谐波污染严重, 超过 33% 的监测点的谐波电流含量超过 10%, 急需进行谐波治理。

**关键词:** 东莞配电网; 谐波污染; 畸变率; 统计分析; 谐波治理

## Harmonic survey and statistical analysis of distribution network in Dongguan

ZENG Jiang, YU Wen-jun, YU Tao

(Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** A harmonics survey in Dongguan grid in the Guangdong province of China is presented. It measured 131 enterprises, 247 distribution transformers at 8 towns and 2 districts by using portable power quality analyzer with the combination of on-line measuring. Important conclusions are made and it is showed that the harmonics pollution in district grid is severe. It can be seen from that 33 percent of monitoring point's harmonic current distortion content rate are higher 10 percent and the harmonic pollution elimination in Dongguan must be carried out.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50807016 and No.507010).

**Key words:** distribution network in Dongguan; harmonic pollution; distortion ratio; statistical analysis; harmonic elimination

中图分类号: TM714 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)24-0167-05

## 0 引言

电力谐波污染及其治理一直是电气行业的一个重点问题。近年来, 国民经济、特别是制造业的高速发展, 以及我国对用户节电效率要求的不断提高<sup>[1]</sup>, 使得大量具有非线性特性的电气设备, 如以具有强烈非线性特性的电弧为工作介质的设备、以电力电子元件为基础的开关电源设备等; 这些电气设备是典型的谐波源, 给配电网带来了大量的谐波污染<sup>[2,3]</sup>。珠三角东莞地区是全球有名的“世界工厂”, 各种制造业都十分发达, 因此其配电网电力谐波污染情况尤为突出。但东莞电网目前尚未在配电网配置在线谐波监测系统, 因此有必要采取实地测量的方法收集东莞配电网谐波的一手可靠资料。

为了高效快速地掌握东莞谐波污染情况, 对东莞配电网的概况进行了研究后, 在东莞供电局各部门的配合下, 对东莞各镇进行问卷普查, 然后结合各镇的电网结构和负荷特点<sup>[4]</sup>, 初步选择了包括电

子重镇石碣、造纸业集中的中堂、小五金名镇长安等 3 个镇, 从这 3 个镇中数千家企业中筛选典型重要污染谐波源 30~50 个进行谐波实地测量。这一范围后来扩大到 8 个镇, 共计 131 个企业, 247 个配变进行了实地监测。

在得到大量监测数据后, 对监测得到的数据进行统计分析, 由此得到了东莞配电网谐波污染现状。结果表明, 东莞配电网的谐波污染严重程度超过了笔者的预想, 几乎所有行业都有一些企业存在较大的谐波污染, 部分行业中几乎超过一半的企业成为标准的谐波源, 东莞谐波污染形势非常严峻。

## 1 东莞谐波监测地点和行业选择

在 2007 年广东电网公司 A 类科技项目《东莞配电网谐波监测及其对电网危害的综合研究》支持下, 对东莞地区典型重要污染谐波源进行谐波实地测量。对东莞谐波监测点进行选择和选取<sup>[5-8]</sup>。

(1) 大型工业及重工业: 钢厂业、冶炼业、电气化铁道等。

钢铁厂中除了非线性负荷电弧炉外, 还常常大

量地采用变频器,因此普遍有较大的谐波问题,冶炼厂的各类中频炉及整流负荷也较多,谐波问题也较大,电气化铁道除了严重的谐波问题外,还有严重的三相不平衡问题,需要重点关注,将采用三相谐波监测仪,对高压侧和低压侧同时测量。

(2) 东莞地区的重要工业负荷:造纸、化工、电子行业、机械制造加工、轻工业等。

东莞地区的造纸、电子、五金、家具、化工行业是最重要的负荷,此类负荷常有的谐波现状将直接决定东莞电网的谐波污染情况。

(3) 市政生活及商业负荷:包括生活小区、酒店、智能化楼宇(电梯、变频电器等),电信局、计算中心(电力电子设备类型)等。研究表明,智能化楼宇等生活负荷造成的谐波污染已经不可小视,根据日本电气协会发表的一项报告,民用建筑产生的谐波量占总数的40%以上。在东莞某镇电信局的实测显示,其谐波含量高达37.4%。具体各镇企业数目选择为表1。

表1 选取监测行业数目列表

Tab.1 Number of industries selected to monitor

行业名称	造纸	电子	电镀	水泥玻璃	化工塑胶	金属冶炼	轻工制造	市政生活	船舶制造	电线电缆	其他
长安	1	1			1			1			
大岭山				3		3	3			1	2
道滘	6				3			1			1
麻涌									1		
桥头		4		2	6	2	8	2		2	
石碣		19	1		3	3	1	4			1
万江	4	4		1	2		4				4
江中	12			4	1	1	4	1			1

## 2 东莞谐波检测依据和仪器

谐波电流总畸变率是非常重要的指标,它反映了该负荷的非线性程度。一般认为谐波电流总畸变率低于5%以下就属于线性负荷,谐波电流总畸变率高于10%,即属于污染源。文献[9]《电能质量,公用电网谐波》GB/T14549-93对谐波有关限值、测量计算进行了明确规定。

为了满足国标检测要求,本文选择了美国福禄克公司生产的满足A类精度的电能质量检测仪——Fluke435作为谐波检测仪<sup>[10]</sup>。

### 2.1 东莞行业谐波含量统计分析

依据文献[1],再根据各行业特点,从谐波含量和组成的角度,详细地分析了从金属冶炼、轻工制造业、生活负荷、电子产业、造纸业、化工塑胶业、

水泥、建材等行业的谐波检测情况。

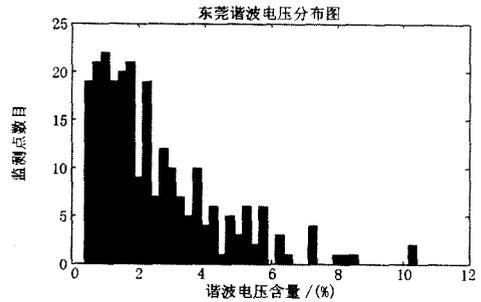


图1 谐波电压分布图

Fig.1 Distribution of harmonic voltage

可以看到,超过11%的监测点的谐波电压含量超过5%,近18%的监测点谐波电压含量超过4%。最大的谐波电压总畸变率为10.2%,为道滘的某橡胶厂。

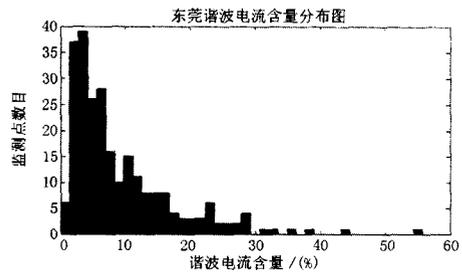


图2 谐波电流分布图

Fig.2 Distribution of harmonic current

从图2可以看到,34%的企业谐波电流总畸变率含量超过10%,18.6%的企业谐波电流总畸变率超过15%,达到重污染的标准。少数企业(2.4%)的谐波电流总畸变率超过30%,石碣镇的某钢板厂检测到谐波流含量达到55.8%,谐波污染非常严重。

以谐波电流总畸变率超过10%作为是否存在严重谐波污染的门槛的话,造纸业有超过60%的配变的谐波电流总畸变率超过10%,金属冶炼加工业、市政商业生活类的负荷,也有超过40%的配变监测到其谐波电流总畸变率超过10%,电子类、化工塑胶类、水泥建材类的企业的谐波污染也非常严重。

从表2中可知道,当前的污染主要以3、5、7次谐波污染为主,其中5次谐波污染最为严重,3次谐波污染正在增多。3次谐波的主要原因是集中的单相非线性负荷或大型单相设备所致<sup>[11,12]</sup>。在一些单相设备为主的企业、公司、办公楼等,存在很大的3次谐波电流。以东莞某照明公司为例,这家公司没有明显的大型设备,主要生产节能灯,但由于节能灯的3次谐波电流含量可达70%以上,甚至超过100%,因此这家公司的3次谐波电流和电压都

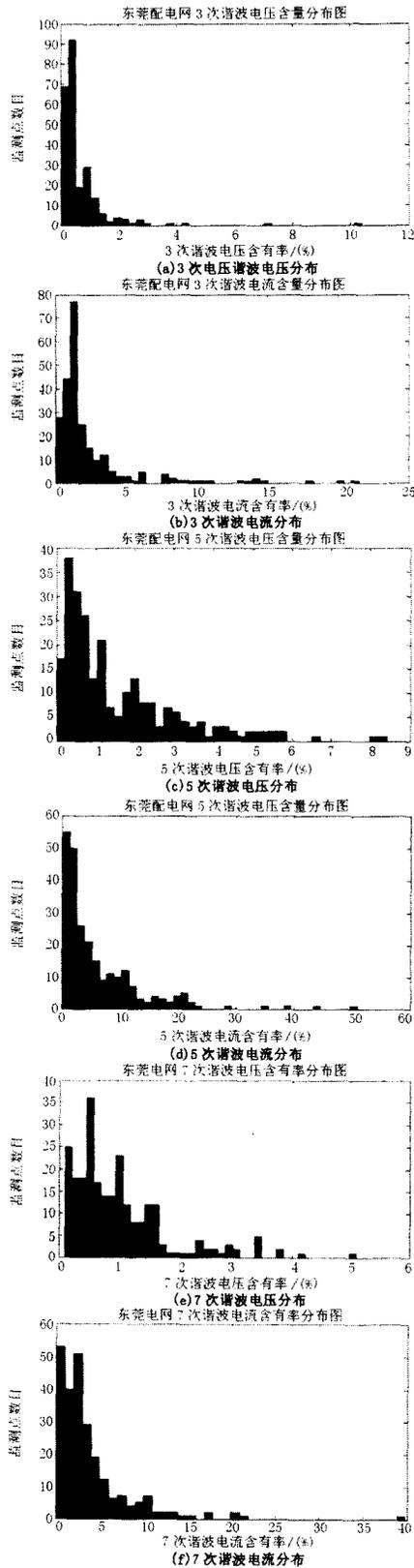


图3 各次谐波含量分布图

Fig.3 Distribution of harmonic content

超过国标值, 其3次谐波污染对电网构成了严重威胁。需要注意的是, 水泥建材行业内的3次谐波电流也有一些企业有较大的含量。

表2 各次谐波含量分析表

Tab.2 Harmonic content analysis table

谐波次数	电压		电流			
	监测点超标 (>4%)	占监测点百分率	监测点最高含量	监测点超标数 (>10%)	占行业监测点百分率	监测点最高含量
3次	3	1.21%	10.40%	10	4.05%	21.50%
5次	20	8.10%	8.40%	53	21.46%	51.00%
7次	2	0.81%	5.10%	21	8.50%	39.81%

5、7次谐波增加的主要原因是随着对能耗的日益重视以及变频器对电机性能的提升, 企业内变频器的应用日益广泛<sup>[11,12]</sup>。由于企业的趋利性, 购买的变频器几乎都是价格低廉, 谐波污染较大的低档次产品, 这些产品为了节约成本, 其输入端几乎没有采取任何的谐波处理措施, 电源部分是简单的六脉动整流, 因此谐波电流的特征分量是  $6n \pm 1$  次, 这是造成5、7次谐波污染的根本原因。此外, 为进一步减少成本, 整流桥后都直接接大电容或者串小电感, 是5次谐波电流含量大大超过7次谐波电流含量的主要原因。

### 2.2 东莞各行业谐波含量统计研究分析

在表1中给出了具体的行业划分、行业数目以及行业所属镇名。由表3可知道, 东莞各行业中造纸行业面广量大而谐波污染又最严重, 故在本节中只给出了造纸谐波含量行业统计。

表3 电流谐波含量超过10%的各行业监测点百分含量

Tab.3 More than 10 percent of the total harmonic current distortion rate in different industries

	所有的监测点	不合格监测点百分含量/(%)
造纸业	54	62.96
电子	63	26.98
水泥玻璃	17	28.13
化工塑胶	32	35.29
金属冶炼	15	40.00
轻工制造	37	11.11
市政生活	9	44.44
船务制造	4	50.00

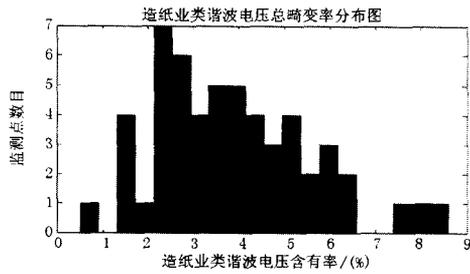


图 4 造纸业谐波电压分布图

Fig. 4 Distribution of harmonic voltage in paper industry

共有 33 个监测点谐波电压总畸变率超过 3%，约占 61.11%，共有 22 个监测点谐波电压总畸变率超过 4%，约占 40.74%。含量最高的企业中堂镇的某纸业，达到了 8.60%。

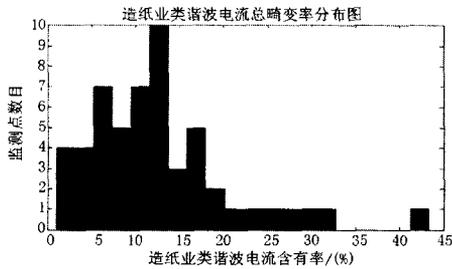


图 5 造纸业谐波电流分布图

Fig. 5 Distribution of harmonic current in paper industry

共 34 个监测点的谐波电流总畸变率超过 10%，约占 62.96%。其中中堂某纸厂谐波电流总畸变率到达 43.30%，污染最重。

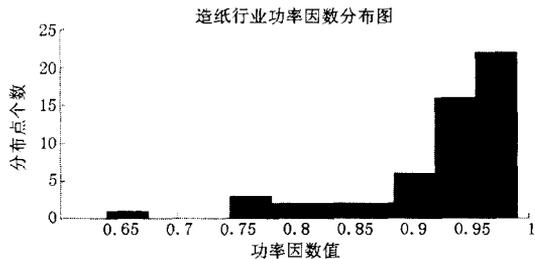
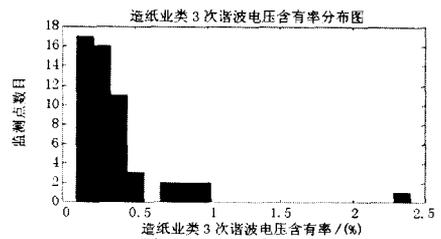


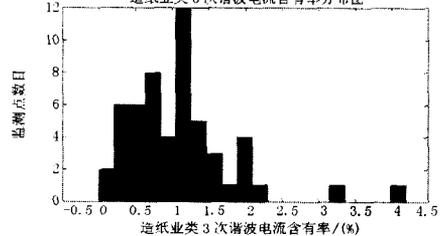
图 6 造纸行业功率因数分布

Fig.6 Values of power factor in paper industry

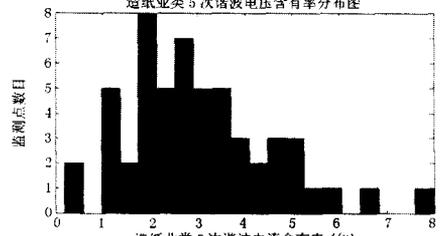
图 6 给出了造纸行业功率因数分布图，从上图来看多数监测点的功率因数数值分布在[0.90,1.00]这个区间里。其中在[0.90,0.95]的有 21 个，占 38.88%，在 (0.95, 1.00) 的有 22 个，占 40.74%，小于 0.90 的有 11 个，占 20.37%。



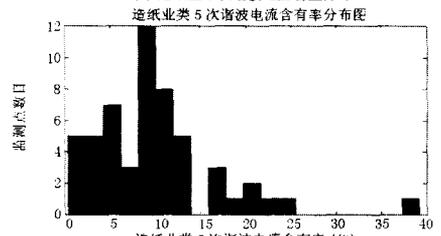
(a) 造纸业 3 次谐波电压含量分布



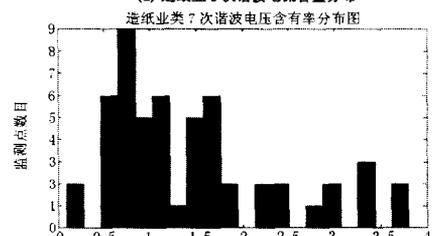
(b) 造纸业 3 次谐波电流含量分布



(c) 造纸业 5 次谐波电压含量分布



(d) 造纸业 5 次谐波电流含量分布



(e) 造纸业 7 次谐波电压含量分布



(f) 造纸业 7 次谐波电流含量分布

图 7 造纸业各次谐波含量图

Fig.7 Distribution of harmonic content in paper industry

从图 7 可以得出表 4, 进而可以看出: 造纸厂等行业的污染非常严重, 其生产线上的卷扬机等设备已经大量采用变频器等电力电子设备, 造成了谐波污染。在这里笔者只列出了造纸行业的统计, 实际上经过对其它行业的统计测量结果表明, 目前几乎各行业都存在谐波污染。这说明随着电力电子技术的发展和普遍应用, 谐波污染已经不仅限于一些传统的谐波污染行业如钢铁、化工等行业, 而是随着节能灯、变频器的广泛使用, 谐波污染开始在各行各业中出现, 连一些传统的正常负荷, 也出现了谐波污染的现象。

### 3 污染现状分析结论

从东莞谐波检测的结果来看, 可以得出以下结论:

表 4 造纸行业各次谐波含量分析表

Tab. 4 Harmonic content analysis table of paper industry

造纸行业谐波次数	电压			电流		
	监测点超标数 (>3%)	占行业监测点百分率	监测点最高含量	监测点超标数 (>10%)	占行业监测点百分率	监测点最高含量
	3 次	0	0.00%	2.40%	0	0.00%
5 次	24	44.44 %	8.00%	22	22.74%	39.20%
7 次	5	9.26%	3.80%	8	14.81%	15.80%

(1) 目前东莞谐波污染呈现全面扩散的趋势, 以造纸、电子、化工塑胶、金属冶炼加工、水泥建材等这些行业的谐波污染最为严重, 需要重点监控, 在市政商业生活类负荷的谐波污染已经不能忽视。

(2) 各谐波源用户对谐波污染的危害性认识严重不足。谐波对电网及设备造成很大危害, 增大电网损耗, 造成变压器、电机等振动、发热, 甚至过电压击穿绝缘。在对东莞配电网进行谐波检测的过程中, 同时对用户进行了简单的谐波知识调查工作, 发现用户对谐波可能造成变压器过热、电容器不能正常运行一无所知, 只知道盲目地更换电容器, 申请加装大容量变压器, 对谐波可能造成电动机振动、过热、绝缘击穿等造成电机损坏更是一片茫然, 无形中造成浪费。

(3) 谐波源用户缺少对谐波的主动治理。从对监测点的初步调查来看, 东莞市的 10 kV 用户很少认识到谐波的危害, 除了极少数企业, 因为谐波污染过于严重, 导致生产不能正常运行的, 才被动地安装谐波抑制装置。比如某电子厂, 在安装某变后, 由于谐波严重, 谐波电流畸变率超过 32%, 使

得工厂无法正常生产, 才安装了无源滤波器, 但即使如此, 其无源滤波器的安装容量偏少, 谐波仍然严重, 谐波电流畸变率仍然高达 19% 以上。

(4) 东莞配电网谐波污染的程度在不断加深。由于变频器、节能灯等基于电力电子技术的新产品在性能和节能方面对老产品的明显优势, 此类设备占用电设备的比例明显增加, 甚至原来的一些工厂, 谐波污染很轻, 但技术改造后, 谐波污染明显增大。比如石碣镇某电子厂, 原来采用日本设备, 工作频率为 60 Hz, 完全靠自己发电, 后来随着油价飞涨, 安装了一套不间断电源(UPS)性质的设备改用市电供电, 电流谐波含量达到 24%, 反过来成为谐波重污染户。

### 参考文献

- [1] 李路新. 行业用电分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [2] 郝江涛, 刘念, 幸晋渝, 等. 电力系统中间谐波的来源危害[J]. 四川电力技术, 2005, 28(2): 11-14.  
HAO Jiang-tao, LIU Nian, XING Jin-yu, et al. The Sources and Harms of Interharmonics in the Power System[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2005, 28(2): 11-14.
- [3] Subjak J, Macquikin J. Harmonic-Causes, Effects, Measurements and Analysis: an Update[J]. IEEE, 1990, 26(5): 1034-1042.
- [4] Xu W, Halpin M, Ranada S. Test Systems for Harmonics Modeling and Simulation[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(2): 579-587.
- [5] 王雪峰, 刘玉. 对山西电网谐波源用户普查测试的分析[J]. 华北电力技术, 1996, (9): 4-7.  
WANG Xue-feng, LIU Yu. Harmonic Source Users of Shanxi Power Network[J]. North China Electric Power, 1996, (9): 4-7.
- [6] 吴丹岳, 吴敏辉. 福建省电力系统谐波污染状况分析[J]. 福建电力与电工, 1996, 16(4): 21-23.  
WU Dan-yue, WU Min-hui. Fujian Power System Harmonic Pollution Analysis[J]. Fujian Electric Power and Electrical Engineering, 1996, 16(4): 21-23.
- [7] 赵继光, 李中霞. 南海配电网谐波测量分析[J]. 农村电气化, 2007, (07): 22-23.  
ZHAO Ji-guang, LI Zhong-xia. Distribution Network in the South China Sea Harmonic Analysis[J]. Rural Electrification, 2007, (07): 22-23.
- [8] 戴通生. 加强用户谐波管理 保证电网电能质量[J]. 电力需求侧管理, 2007, 9(1): 63-65.  
DAI Tong-sheng. Reinforce User Harmonious Waves Management to Ensure Grid Power Quality[J]. Power Demand Side Management, 2007, 9(1): 63-65.

(下转第 176 页 continued on page 176)

经整定延时启动母线保护中的失灵保护功能。

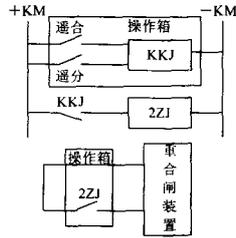


图9 手分时重合闸放电原理图

Fig.9 Discharge theory of superposition switch in hand-disconnection time

芝堰变工程中智能终端装置中取消了KKJ双位置继电器，后台或测控装置遥分开关通过第一套智能终端装置实现。220 kV线路投入保护动作启动重合闸及单相位置不对应启动重合闸，退出三相位置不对应启动重合闸功能，遥分开关时开关三相跳闸位置分别闭锁第一套、第二套重合闸，不设计遥分开关闭锁重合闸功能。

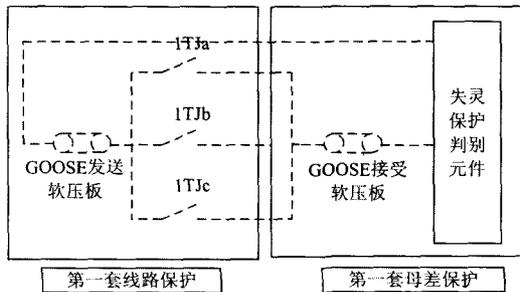


图10 新220 kV开关失灵保护启动原理图

Fig.10 Digital protection of routine 220 kV switch startup theory

另外，兰溪变220 kV线路投三相重合闸方式，且220 kV第二套母差保护停役时母线故障，第一套母差保护动作通过第一套智能终端装置三跳开关第一跳圈并闭锁第一套线路重合闸；如果投入某线路

三相位置不对应启动重合闸功能，开关跳开后第二套线路保护三相位置不对应启动重合闸，合上开关，对故障母线进行又一次冲击，引起事故扩大，因此芝堰变的220 kV线路停用三跳位置不对应启动重合闸功能。

### 8 结论

数字化变电站是一个全新的课题，也是未来变电站的发展方向，依托现代计算机技术的快速发展，自动化、网络化和智能化水平将不断创新和提高，需要广大电力技术人员不断探索、不断积累经验。500 kV芝堰变只是一个过渡阶段的数字化变电站，下一步将会采用合并单元MU，开关场就地将二次电流、二次电压转换为光信号，通过光缆接入保护、测控装置；再下一步会采用光CT、光PT、智能一次设备，实现真正的数字化。将不同发展阶段的继电保护进行分析比较，总结归纳其中的不同点并在实际工作中加以应用，有助于广大电力技术人员更快、更好地了解、掌握新技术。

### 参考文献

[1] 冯亚栋.数字化变电所培训材料[Z].南京:南京南瑞继保电气有限公司.  
 [2] 高翔.数字化变电站应用技术[M].北京:中国电力出版社, 2008.

收稿日期: 2009-05-12

作者简介:

杜浩良(1977-),男,本科,工程师,长期从事继电保护整定计算及运行管理工作; E-mail: panding@xjgc.com  
 李有春(1968-),男,本科,高级工程师,长期从事电力系统继电保护管理工作;  
 盛继光(1960-),男,本科,工程师,长期从事电力系统继电保护管理工作。

(上接第171页 continued from page 171)

[9] 李世林,刘军成.电能质量国家标准应用手册[M].北京:中国标准出版社, 2007.  
 [10] 福禄克工业测试产品应用文集—电能质量测试应用案例[Z].福禄克公司内部资料, 2006.  
 [11] Arrillaga J, Medina A, Lisboa M, et al. The Harmonic Domain: a Frame of Reference for Power System Harmonic Analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(1): 433-440.  
 [12] Emanuel A E. On the Assessment of Harmonic Pollution. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(3): 1693-1698.

收稿日期: 2009-01-16; 修回日期: 2009-04-09

作者简介:

曾江(1972-),男,讲师,博士,主要研究领域为电力电子在电力系统中的应用研究; E-mail: zengxy@scut.edu.cn  
 于文俊(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统谐波分析;  
 余涛(1974-),男,副教授,博士,主要研究领域为复杂电力系统的非线性控制理论和仿真、电能质量等。