

浅谈电力系统领域内电力电子技术的发展方向

电力电子技术是近年发展起来的一门应用性很强的学科，目前已经成为了电力系统的重要组成部分。但电力电子设备及装置对电网电能质量有一定的影响，本文着重探讨了对该影响的监测及治理措施，同时从电能质量管理角度展望了电力电子技术的发展方向。

冯欢¹ 陆正忠²/1.国网上海浦东供电公司 2.国网上海奉贤供电公司



冯欢/工程师

关键词/Keywords

电力电子技术·
应用·
电力系统·
电能质量·

0 引言

电力电子技术是综合了电力技术、电子技术和控制技术，对电能进行变换和控制的技术，也是近年发展起来的一门应用性很强的学科。其中电力电子器件是电力技术的核心，变流电路是电力电子技术的基础，控制技术是电力电子技术的纽带。

近10年来电子开关器件的功率处理能力和切换速度有了显著提高，特别是近年电子开关元件的价格下降，电力电子装置的工业市场和应用领域正在不断扩大。

随着电力电子技术的发展，电力电子技术已经应用到电力系统的各个方面，包括发电、输配电和储能系统环节等等，成为电力系统重要的组成部分。据美国能源部数据统计：从发电到最终用户之间，目前所有电能的大约30%是经过电力电子技术控制和变换的。到2030年，在发电到受电两个环节之间使用电

力电子技术控制和变换的电能预计高达80%。

1 电力电子技术在电力系统中的应用

目前，电力电子技术在电力系统中的应用主要有以下几个方面。

1.1 应用于电力拖动系统

电力拖动是电力市场主要用户，其占有量大概是整个电力系统容量的60%。电力电子技术在电动机功率调整日趋发挥着重要的作用。传统的调速控制逐渐由调幅调速变化为调频调速。

目前，低压中小功率的调速变换器的发展水平相对成熟，中压大功率变频器的发展却不尽人意，存在的主要问题是运行可靠性不高、通用性较弱且成本较高。

1.2 应用于柔性输电系统

目前，柔性输电系统主要分为两大类：一类是针对防止电网污染而设计的功率因数校正和谐波治理装置（谐波或无功补偿装置），大规模成熟的应用还是以低压、小容量的居多；另一类是针对高压直流输电而设计的直流输电装置，柔性输电系统对于大容量、远距离输电来说具有很强的经济性和优越性。

目前，柔性输电系统的发展水平还相对较低，而且有些产品的性能相对较低，有时候甚至本身就是一个谐波污染源。主要表现在以下几个方面：

1) 在现有器件耐压、耐流的水平下，大容量化难以实现。

2) 控制技术, 包括谐波含量的实时分析理论等需要进一步发展。

3) 设备自身由于控制策略和器件的开关过程等等因素的影响, 使得自身就对电网发出谐波污染。

1.3 应用于电源系统

应用电源系统主要指的是直流电源、脉冲电源、UPS电源和稳压电源等等, 这些应用也是电力的主要应用之一。

1.4 应用于照明和电炊等居民家电非线性负荷系统

目前应用最多的是节能照明和高频电磁炊具。

1.5 应用于分布电力能源系统

最近电动汽车充电桩建设蓄势待发, 小水力、风力、特别是太阳能等再生能源的开发应用越来越广泛。然而, 要能够使这些功率小、分布散和电压等级多样的电站并网运行, 那么基于电力电子技术的并网技术研究就显得十分重要。

2 电力电子装置对电力系统的影响

随着越来越多的电力电子产品投入到电力系统中得到广泛应用的同时, 其装置本身对电网电能质量的危害性也日益显现。电力电子设备由于非线性和快速开关特性, 属于非线性时变负荷, 根据电路相关理论, 此种负荷极易产生谐波等污染电能质量。对电力系统的影响主要有三方面: ①整流装置对电能质量的影响; ②逆变装置对电能质量的影响; ③电力电子装置对电能质量的影响。

随着电力电子装置的广泛应用, 目前配电网的电能质量正受到严重影响。2001年11月中电联在上海组织召开了电能质量专题研讨会, 对全国各地代表反映的非线性负荷引起的电网谐波污染现状高度重视。会上指出: 随着工业负荷种类的增多和大量非线性负荷的增长, 配网谐波污染的问题正日益突出, 它将直接威胁到电力安全生产和用户利益, 因此对谐波污染的治理已刻不容缓。同时指出, 目前对谐波污染的监测与治理覆盖面和力度还不够, 要求上海市区供电企业重点对地铁和居民家电非线性负荷和不对称负荷引起

的谐波、负序分量和三相不平衡度的防治措施开展研究。

统计数据表明, 从2003~2013年的10年间, 配电系统中的谐波含量, 由电压谐波总畸变率为4.93% (3次谐波电压含有率的95%概率值为4.03%), 迅速上升到了5%以上。

3 电力系统电能质量监测

在电力系统领域内电力电子技术发展过程中, 必须警惕其对电网的污染, 因此电网电能质量监测就显得尤为重要。

电能质量监测按照不同的目的, 大致可以分为四种类型: ①供配电系统电能质量专项监测; ②供配电系统电能质量综合监测; ③电力系统与电气设备电磁兼容故障诊断; ④电能质量控制装置运行效果监测。

以上监测应由供电企业 and 专业公司共同配合完成。

3.1 供配电系统电能质量专项监测

(1) 供配电系统供电质量专项监测——供电企业完成

供配电系统供电质量专项监测主要针对电力用户供电质量的监测。

供配电系统供电质量一般用电压频率偏差、电压偏差、谐波电压、电压波动和闪变、三相电压不平衡度、电压暂升暂降等参数描述。

供电质量指标的恶化不仅影响电力系统的安全可靠与经济运行, 而且影响电力用户中对电压质量敏感的用电设备的安全可靠与经济运行。因此, 实际应用中经常需要对供配电系统供电质量的专项指标进行监测, 根据监测结果设计最优的电能质量解决方案, 包括供电电压质量控制装置的选择和控制参数的优化等。

(2) 干扰用户 (干扰负荷) 用电质量专项监测——专业公司完成

干扰用户用电质量专项监测主要针对电力公司与电力用户接点处的用电电流质量指标。

干扰用户用电质量一般用注入PCC点的基波电流、负序电流、谐波电流、无功波动、无功冲击、有功冲击和功率因数等参数描述。

为了保证电力用户配电网的电能质量以及定

量划分各用户负荷对配电网污染责任，必须对于干扰负荷用电质量指标进行专项监测与分析，并根据监测分析结果提出治理要求。

3.2 供配电系统电能质量综合监测

供配电系统电能质量综合监测主要包括供配电系统供电质量监测、干扰用户用电质量监测和干扰负荷用电质量监测。

电能质量综合评估主要完成供电母线短路容量和电能质量限值计算、供配电系统基波电压状态分析与评估、谐波电压状态分析与评估、谐波潮流分析与评估、基波功率潮流分析与评估、供电变压器负载功率评估、系统安全运行评估和系统经济运行评估。

为了构建安全可靠、优质高效的供配电网，必须对配电系统的电能质量进行系统的测试评估，并针对综合测试评估结果，发现电力系统中存在的电能质量问题，综合考虑治理措施。

3.3 电能质量控制装置运行效果监测

电能质量控制装置运行效果可用供电电压质量改善率、干扰负荷接入系统的母线总进线用电电流质量改善率、电能质量控制装置全响应时间和本体损耗等指标来评价。

供电电压质量改善率具体由谐波电压的改善系数、电压变动的改善系数、电压闪变的改善系数、电压偏差的改善系数和负序电压的改善系数等参数描述。用电电流质量改善率具体由谐波电流系数、负序电流的改善系数和无功补偿系数等参数描述。

通过测试电能质量控制装置接入系统前后的运行数据，对接入前后系统的供电电压质量和用电电流质量各项参数进行分析与评估，进而评价电能质量控制装置的功能特性。

根据以上分析可见，对电力系统中存在的电能质量问题来说，从发现到解决方案设计，以及电能质量控制装置的运行效果评估，均需要进行电能质量的监测与分析。

4 电力系统电能质量的治理措施

在电力系统中，由于不同电网的电网结构、电压等级和用电特性等不同，因此不同电网的电能质量问题也不尽相同，治理的措施也不同。因

此根据电能质量监测分析结果，有针对性地选择电能质量的治理措施，选择最优的控制参数，才能使提升电能质量的解决方案最优化。

所幸的是，电力电子产品在对电网造成污染的同时，电力电子技术的发展本身也在对电网的污染进行着治理。

抑制和消除谐波有两种基本途径：一种是改进电力电子装置，使其不产生谐波，且功率因数控制目标为1，这当然只适用于作为主要谐波源的电力电子装置；另一种是装设谐波补偿装置来补偿谐波，这对各种谐波源都是适用的。

用于电力系统的谐波治理的电力滤波分为无源滤波和有源滤波两种。无源滤波装置具有大容量和低价位的特点，在电压等级较高的领域，以无源滤波为主。有源滤波装置具有对系统影响小，补偿和滤波效果好、响应时间短等优点，已经成为电力滤波的发展方向，近年来随着全控型电力电子功率器件的大量使用，有源滤波技术在推广使用中。

据估计，配网全部电力负荷中谐波含量由目前的5%，再有5~10年将会很快达到或超过10%，因此建议：①从现在起就要着手将配电变压器由Y/Y接法改用 Δ /Y接法，以减小3次谐波电压；②将并联型无功补偿设备，逐步调换成集功率因数校正和谐波治理为一体的混合型有源电力滤波装置；③对于居民小区建议设置3次零序滤波器，达到无功补偿，降低谐波电压和减小中性线电流的作用；④电力企业着手加强电力电子装置调试、检修人员的培养。

5 结束语

电力电子技术的应用已经深入发电、输电和用电等各个方面。然而，随着应用领域及应用范围的扩大，反过来又对电力电子技术的发展提出更高的要求。

1) 标准化：根据情况，不断完善行业标准，并且在产品研制过程中贯彻执行相关的标准。

2) 大容量化：高压、大电流产品的市场需求量比较大，而由于电力电子器件发展水平的限制，这方面的发展目前还不尽如人意。

(下转第839页)

transfer of Power Quality [S].1995.

[4] 张欣欣. 电能质量在线监测系统与PQDIF的实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2008.

[5] 聂晶晶. 电能质量监测系统及PQDIF数据存储格式的研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.

[6] 王云杰. 电能质量监测系统及PQDIF格式应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2009.

[7] 何维国, 谢伟, 张健. 上海电网电能质量监测系统[J]. 华东电力, 2010, 38(4):497-499.

[8] 袁晓东, 罗曦, 顾伟. 电能质量监测统一平台及PQDIF数据格式研究[J]. 江苏电机工程, 2009, 28(5):29-32,51.

[9] GB/T 19862-2005电能质量监测设备通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

[10] DL/T 1368-2014电能质量标准源校准规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

[11] 王玲, 徐柏榆, 李珂, 等. 电能质量监测装置全自动校准系统设计与应用[J]. 电测与仪表, 2014, 51(1):95-100.

[12] ISO 8879 Information processing, Text and office systems: Standard Generalized Markup Language (SGML)[S].1986.

[13] Bray T, Paoli J, Sperberg-McQueen C.M.. Extensible markup language (XML) 1.0[S]. [http:// www.w3.org/xml/1998/06/xmlspec-report-19980910.htm](http://www.w3.org/xml/1998/06/xmlspec-report-19980910.htm), 1998.

[14] 张仕, 毛宇光. XML语法检查的实现[J]. 计算机工程与设计, 2002, 23(11):86-90.

作者简介

陈卫东 (1983-), 男, 工程师, 主要研究电能质量分析与控制、微电网技术方向。

郭敏 (1984—), 男, 助理工程师, 从事电能质量方面的研究。

金庆忍 (1988—), 男, 工程师, 从事电能质量及无功电压方面研究。

(收稿日期: 2015-11-20) **EA**
(编辑: 朱历)

(上接第833页)

3) 高性能化: 电力电子技术发展迅速, 并且在许多领域都开始大规模应用, 但是在控制性能改善方面还需要作大量的研究。

4) 高可靠性: 电力系统安全问题历来就是一个很值得重视的问题, 如果电力电子设备本身就不可靠, 那么在实际应用中可能会给电力系统的安全运行带来隐患。

5) 无污染化: 电力电子设备对电网的污染已经成了公认的问题。目前, 由于电力电子设备发展的落后性, 很多设备产生的污染, 需要别的设备去进行治理, 属于被动型, 因此主动型设备(自身治理自身)的发展也成为了一个趋势。

6) 高效率、高度集成化: 由于开关器件的损耗使得设备的效率偏低, 不仅造成能源的浪费, 同时还使得设备需要很大的散热器以及足够的尺

寸去解决热的问题。

7) 信息化: 和现代微机技术及通信技术结合起来使得设备网络化, 真正满足高度自动化的要求。

8) 普及化: 充分扩展电力电子技术潜在的应用范围, 使该技术在电力系统中得以最大程度的应用。

作者简介

冯欢 (1970-), 女, 工程师, 从事电力系统电子技术应用工作。

陆正忠 (1968-), 男, 助理工程师, 从事配电网电能质量管理工作。

(收稿日期: 2015-11-20) **EA**
(编辑: 朱历)