

主动配电网的一体化设计方法

柳春芳

(佛山电力设计院有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 介绍了主动配电网(ADN)的定义和主要特征, 阐述了主动配电网的新技术和设计要素, 对主动配电网进行一体化设计的必要性和可行性, 提出了主动配电网的一体化设计方法。提出了一体化设计方法, 采用“分步推进”和“一步一反馈”的渐进优化设计流程得出最终设计方案。将主动配电网的一次接线模式、分布式电源接入、数据采集、通信系统、继电保护、配电网自动化、运行调度和设计方案实施条件等各个方面纳入到一体化设计中。详细介绍了一体化设计方法的设计流程。

关键词: 主动配电网; 一次接线模式; 分布式电源; 运行调度; 保护与控制; 一体化设计方法

An integrated design method of active distribution network

LIU Chunfang

(Foshan Electric Power Design Institute Company Limited, Foshan 528000, China)

Abstract: The definition and the main features of active distribution network (ADN) are introduced, the new technologies and the key design factors of active distribution networks are stated, the necessity and the feasibility to integrally design active distribution networks are clarified, and an integrated design method is proposed. In order to get the optimized scheme of active distribution network, “step-by-step progressing” strategy and “one-step-one-feedback” correction method are used in proposed integrated design method. The main circuit connection modes, the distributed generation systems, the data acquisition devices, the communication system, the protection devices, the automation of distribution network, the operation dispatching system, and the implementing conditions are included in the optimized scheme. The design flow is introduced in detail.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (863 Program) (No. 2012AA050212).

Key words: ADN; main circuit connection modes; distributed generation; operation dispatching; protection and control; integrated design method

中图分类号: TM73

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2015)11-0049-07

0 引言

主动配电网(Active Distribution Network, ADN)的概念, 是国际大电网会议(CIGRE)的配电与分布式发电专委会(C6)于2008年在国际大电网会议CIGRE2008上提出的^[1-2], CIGRE2010又将主动配电网列为今后配电网的发展方向^[3]。目前主动配电网已经成为全球范围内的研究热点。近些年来, 我国电力界的不少专家学者和电力工程技术人员也对主动配电网技术展开了多方面研究, 并取得了不少成果。譬如, 文献[2]的作者对主动配电网的可行技

术进行了分析。文献[4-6]研究了主动配电网的规划问题。文献[7-11]研究了主动配电网的调度和协调控制问题。文献[12-17]研究了主动配电网的继电保护问题。文献[18-21]研究了与主动配电网相关的控制问题。文献[21-26]研究了分布式电源接入对配电网电压的影响以及允许接入分布式电源的容量问题。文献[27-32]则研究了主动配电网的接线模式问题。上述仅是本文作者在此列出的参考文献, 相信我国专家学者和工程技术人员还有许多有关主动配电网的研究成果发表于国内外期刊上和会议论文集上。

此外, 2012年, 国家高科技研究发展计划(863计划)资助了主动配电网的研究, 资助课题为“主动配电网的间歇式能源消纳及优化技术研究与应用(2012AA05212)”^[33]。作者也是该课题的参与者之

基金项目: 国家高科技研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA050212)

一。2013年3月20日,“国家能源主动配电网技术研发中心”成立(见《国家电网报》2013年4月10日第002版)。2014年4月22日,“主动配电网关键技术研究及示范”863课题在京启动(见《国家电网报》2014年5月6日第001版)。

从上述可知,主动配电网的研究,得到我国政府的高度重视和大力支持。同时,我国广大专家学者和电力界的工程技术人员对主动配电网技术的研究也倾注了很大热情。也许主动配电网技术的应用时代即将到来。鉴于这样的背景,同时考虑到主动配电网的设计与传统配电网将有很大不同,本文结合作者多年从事配电网设计的工作经验,谈谈主动配电网的一体化设计问题。

1 主动配电网的定义和主要特征

仅从主动配电网的英文词组“Active Distribution Network”看,主动配电网也可理解为“有源配电网”,但是主动配电网除了积极消纳分布式能源外,还要对分布式能源进行有效控制和管理,所以我国学者范明天教授级高工将其翻译为“主动配电网”。

据文献[2]介绍,CIGRE C6对主动配电网的基本定义是:主动配电网(ADN)是通过灵活的网络拓扑结构来管理潮流,以便对局部的分布式能源(Distributed Energy Resources, DER)进行主动控制和主动管理的配电系统。上述的主动配电网定义已得到国际学术组织CIREN(国际供电会议,英语:International Council on Electricity Distribution,法语简称CIREN)和IEEE的广泛认可^[2]。该定义概括了主动配电网拟达到的目标和拟采用的方法。

为了进一步阐明主动配电网的内涵,下面对主动配电网的主要特征作简要描述。根据已有研究成果并结合作者的理解,归纳的主动配电网的主要特征为:

(1) 主动配电网的一次网架结构能够满足较高渗透率的分布式电源从不同电压等级和地理位置接入,并配置了在分布式电源和负荷大幅度变化情况下的潮流双向流动的有效调节手段和配电网电压的有效控制手段。

(2) 主动配电网配备了高可靠性和足够带宽的通信网络和优化调度控制软件系统,并实现了对分布式能源和配电网线损(这里指技术线损)的有效管理。

(3) 主动配电网应配备完善的继电保护和自动化系统,再考虑到采用一些配电新技术和分布式电源接入等因素,与传统的被动配电网(Passive Distribution Network, PDN)相比,主动配电网应具有

更高的供电可靠性。

2 主动配电网的设计要点

主动配电网涉及到多方面新技术和新方法的应用,其设计既要继承传统配电网的设计方法,又要充分考虑主动配电网的特点,特别要关注主动配电网对设计的新要求。现归纳主动配电网的设计要点如下:

(1) 区内分布负荷和分布式能源预测。负荷数据和分布式能源发电系统出力数据是主动配电网设计的重要依据。在传统的配电网设计中,负荷预测一般在规划阶段进行,区内负荷分布数据在可行性研究阶段需要进一步明确,而在设计阶段直接采用。在传统配电网规划时,负荷预测一般针对一个较大区域进行,对较小区域的分布负荷预测往往精度不高。对主动配电网,区内不仅需要预测分布负荷,而且需要预测接入的分布式能源出力。同时,主动配电网由于有大量分布式能源接入问题,潮流双向流动,区内分布负荷数据和分布式能源发电系统出力数据对一次网架的设计及优化非常重要。因此,在主动配电网设计中,对区内分布负荷数据和分布式能源发电系统出力数据的精度要求较高。但目前尚未见有针对分布负荷预测和分布式能源预测的商用软件工具出售。需要强调的是,上述预测数据需要附带地理信息,以便构建一次网架。这一点与传统配电网设计对负荷数据的要求类似。

(2) 主动配电网一次网架设计及优化。结构合理、运行灵活的一次网架是主动配电网实现目标的基础。由于主动配电网不仅需要满足用电负荷的需要,还要考虑分布式电源接入、新技术的应用(如储能系统接入)以及运行方式优化等的要求,主动配电网的一次网架设计比传统配电网难度大得多。譬如,分布式电源的接入设计就是一个极其关键的问题。一方面需要考虑分布式能源的就地消纳以降低电能的传输损耗,另一方面还要考虑分布式电源的渗透率问题。迄今,关于分布式电源渗透率问题的研究已经受到普遍关注。由于涉及到配电网的运行稳定性以及电压调控等问题,主动配电网中分布电源渗透率选择是非常重要的。但是,如何考虑渗透率,以及多高的渗透率为好等方面,目前尚存在多种学术观点。这也是主动配电网一次网架的设计遇到困难。此外,一次网架的设计还应考虑对传统配电网的继承性问题。因为主动配电网是在传统配电网的基础上发展的,应该考虑能够将现有配电网改造建设成为主动配电网的可能性。鉴于此,主动配电网在网架接线模式选择、变/配电站主接线型式与设备

布局、开关设备的配置与选择以及配电线路型式等都应该考虑对现有配电网的继承性问题。

(3) 主动配电网的通信网设计。通信系统是主动配电网采集数据和控制命令传输的通道,是实现继电保护、自动化系统和调度控制的前提。主动配电网设备台数和分支线路多,还有分布式电源和储能系统接入,需要传输的数据量大,对通信系统的带宽要求高。同时,为了保证数据传输通道的畅通,对通信系统的可靠性要求也高。在设计主动配电网时,对通信系统的设计必须予以高度重视。

(4) 主动配电网的继电保护和自动控制系统设计。主动配电网一次系统结构比传统的被动配电网复杂,短路电流也不再是单方向的,传统的配电网继电保护系统难以适应。因而主动配电网的继电保护系统设计将是一个重点。同样,主动配电网的自动控制系统也将变得复杂,因为它需要应对潮流双向流动、设备类型增多以及运行方式多变等等问题。

(5) 主动配电网的优化运行调度系统设计。优化运行调度系统是主动配电网的控制中心,其设计尤为重要,虽然其架构与现有的调度系统类似,但必须考虑到实现主动配电网优化运行控制的需要,对硬件系统和通信接口要留有足够的升级空间。由于主动配电网的优化运行调度方法尚处于研究阶段,调度中心的商用软件还有待开发。因此,对调度中心的完整设计目前还有困难。

(6) 主动配电网的预留接口设计。主动配电网实施应该是分步进行的。区内分布式电源不可能全部一次性接入。新的配电网技术也将会根据其成熟度逐步采用。所以,主动配电网的一次系统、二次系统和通信系统在设计时均应预留接口,以满足发展需要。但是,预留接口设计必须统筹兼顾实际需要和经济性。

3 主动配电网的一体化设计方法

主动配电网的一体化设计方法的基本思想是:采用“分步推进”和“一步一反馈”的渐进优化设计流程得出最终设计方案,并将主动配电网的一次接线模式、分布式电源接入、数据采集、通信系统、继电保护、配电网自动化、运行调度和设计方案实施条件等各个方面纳入到一体化设计中。所提一体化设计方法的关键是设计任务状态转移图。

3.1 设计任务状态转移图

为使主动配电网的一体化设计易于操作,设计了一种设计任务状态转移图。在设计任务状态转移图中,采用方框表示设计工作的“开始”和“完成”标记,采用带数字的圆圈表示设计工作的“任务节

点”,采用带文字标注的有向弧线表示设计任务的“状态转移”,规定前面任务节点的输出结果是后面任务节点的设计基础。图1给出了4个任务节点的设计任务状态转移图示例。

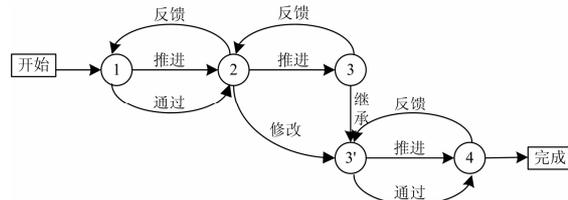


图1 设计任务状态转移图示例

Fig. 1 An example of design task state transfer graph

图1中,任务节点1是基础工作任务,其输出的结果应经过认真核对确认无误才算完成。任务节点1的设计任务完成后,设计工作向前推进至任务节点2。任务节点2的任务初步完成后,将输出结果反馈至任务节点1进行校核。如果校核通过,则重新回到任务节点2对其输出结果进行确认,宣告任务节点2的设计任务完成,设计工作可进一步向前推进。图1中的任务节点3的初步输出结果经反馈校核不满足任务节点2的要求,需要重新修改,而修改兼顾了继承初步输出结果和修改要求,修改后的设计任务输出结果处于节点3'。依此类推,最后完成一体化设计的整个设计任务。

本文所述的一体化设计方法是“自上而下”的层次设计。“自上而下”理解为从全局到局部,从总体到个别,从框架到细节。而层次设计是指:如果设计任务状态转移图的某个任务节点涉及到较大的设计子任务,则可以进一步绘制第二层次的设计任务状态转移图。第二层次的设计任务状态转移图的绘制应以下文介绍的第一层次的任务节点彗星图为基础。在第二层次的设计任务状态转移图中,任务节点的编号应包含第一层次的任务节点号和第二层次的任务节点序号。例如,对应于第一层次任务节点2的任务状态转移图的任务节点编号为2-1、2-2、2-3等。同理,如果有必要,还可以绘制第三层次的设计任务状态转移图。由此可见,采用层次设计的设计任务状态转移图,能够使设计任务分层细化,使设计内容全面覆盖,且清晰明了。

这里约定,任务状态转移图为“前向单链式”。“前向单链式”包含两个方面的含义:一是任何任务节点的设计基础都来自于前面任务节点的输出,即后面任务节点的输出不能作为前面任务节点的设计基础;二是一幅任务状态转移图只有一个前向链,即单链。根据这种约定,将一个综合设计任务在时

间轴上以链式展开。这就使得设计任务分解明确，任务节点输入输出清晰，便于修改设计和设计结果评估。但是，上述约定允许一个任务节点有多个输入。即可能前面若干任务节点的输出结果均为后面某一任务节点的设计基础。图 2 给出了两个输入的任务节点示例。在该示例中，任务节点 2 和任务节点 4 均是任务节点 5 的设计基础。

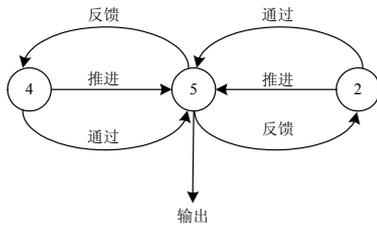


图 2 具有两个输入的任务节点示例

Fig. 2 An example of task node with two inputs

3.2 任务节点描述

任务节点具有 3 个要素，分别为节点输入(设计基础)、节点设计内容和节点输出。任务节点的三要素采用列表描述。表 1 给出了任务节点 3(某 10 kV 供电区域的一次系统设计任务)的列表描述示例。

表 1 任务节点 3 三要素

Table 1 Three element form of task node 3

节点输入	节点设计内容	节点输出
1) 分布负荷、分布式电源出力	1) 10 kV 一次系统设计。	1) 一次系统原理源出力和上级电源变电
站地理分布数据和实施	2) 10 kV 配电站高低压一次	接线图。
条件。任务节点 1 输出。	接线设计和主变选择。	2) 一次系统地理
2) 设计原则和设计标准。	源接入设计。	接线图。
任务节点 2 输出。	4) 设计方案仿真计算分析。	计算结果。

大部分任务节点中的设计任务内容需要细化。为此，本文设计了任务节点彗星图(因为形状像拖尾的彗星，故命名为彗星图)。在任务节点彗星图中，首先是用节点符号指明节点序号，并用向后伸出的方框逐项列出该任务节点的设计任务内容。图 3 示出了任务节点 1 的彗星图。

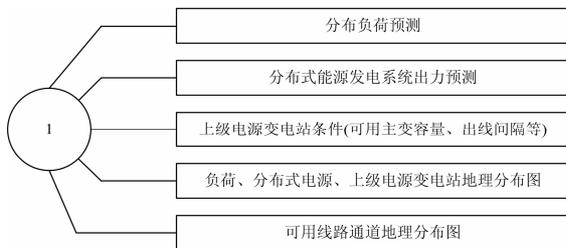


图 3 任务节点彗星图示例

Fig. 3 An example of task node comet graph

从图 3 知，任务节点 1 需要完成分布负荷预测、分布式能源发电系统出力预测、区内上级电源变电站条件调查、线路通道调查以及绘制相应的地理分布图。需要强调的是，绘制任务节点彗星图时应列出该任务节点的所有设计任务内容，不能漏项。

3.3 主动配电网的一体化设计流程

主动配电网的一体化设计步骤如图 4 所示。设计时首先依据图 4 的每个步骤绘制设计任务状态转移图、任务节点彗星图和填写任务节点三要素表，接着整个过程按设计任务状态转移图顺序进行设计。

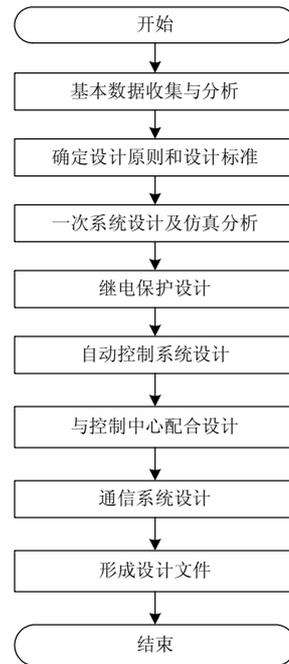


图 4 主动配电网一体化设计步骤

Fig. 4 Block diagram of design procedure of active distribution network

限于篇幅，本文对整个设计过程不展开叙述。下面仅图 4 中各个步骤的主要任务和要求作简要说明。

步骤 1：基础数据收集与分析。该步骤与规划方案相衔接，其任务前文已经提及，主要是确定设计区内的分布负荷、分布式电源发电系统出力、上级电源变电站能够提供的条件以及方案实施的地理条件，并需要绘制地理分布图。

步骤 2：确定设计原则和设计标准。该步骤需要明确一次网架可采用的结构模式、配电站建设标准和主变容量系列、线路设计标准、开关设备选用原则、分布式电源接入原则(包括允许的最大渗透率)、继电保护配置原则、自动控制设备和系统配置

原则、通信系统配置准则以及各种接口预留准则等。

步骤 3: 一次系统设计及仿真分析。该步骤根据步骤 1 和步骤 2, 确定供电分区、一次系统接线模式、配电站布局和高低压侧主接线以及出现间隔、分布式电源接入位置、储能系统容量及接入位置、无功补偿设备容量及接入位置等。此外, 还要为将来新技术的采用、负荷增长以及分布式电源的增加预留一次系统接口。

步骤 4: 继电保护设计。该步骤任务十分明确, 就是为所设计的配电网配置继电保护。需要注意的是针对主动配电网, 对继电保护有更高的要求, 而具体要求已经在步骤 2 给出。

步骤 5: 自动控制系统设计。该步骤任务需要根据自动控制装置的种类和控制方式确定, 同时特别要关注配网自动化系统的选用以及与继电保护的配合问题。这一步骤主要涉及依据由步骤 2 给出。

步骤 6: 与控制中心配合设计。考虑到主动配电网控制中心的建设与小区域配电网的建设或改造不一定同步, 在控制中心已经建设完成的情况下, 需要本步骤。

步骤 7: 通信系统设计。在继电保护、自动化系统以及与控制中心的配合设计完成后, 可以明确对通信系统带宽、延时以及可靠性方面的具体要求, 再结合步骤 2 给出的设计原则和设计标准, 通信系统的方案可以确定。

步骤 8: 形成设计文件。该步骤与传统配电网设计相同, 此处从略。

4 结束语

本文介绍了主动配电网的定义和主要特征, 并对主动配电网的设计要素进行了分析。在此基础上, 综合考虑了一次系统接线模式、分布式电源接入、继电保护和自动控制系统、通信系统、信息采集、运行调度等方面提出了一种主动配电网的一体化设计方法, 并给出了所提设计方法的详细流程。

所介绍的一体化设计方法, 是基于目前对主动配电网的认识和以往配电网设计的经验提出的, 旨在与广大同行进行交流。由于作者水平所限, 本文一定存在不足之处, 希望广大同行不吝指教。

参考文献

- [1] CELLI G, GHIANI E, MOCCI S, et al. From passive to active distribution networks: methods and models for planning network transition and development[C] // 42nd International Conference on Large High Voltage Electric Systems 2008, CIGRE 2008, Paris, France, 2008: 1-11.
- [2] 范明天, 张祖平, 苏傲雪, 等. 主动配电系统可行性技术的研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(22): 12-18.
FAN Mingtian, ZHANG Zuping, SU Aoxue, et al. Enabling technologies for active distribution systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(22): 12-18.
- [3] 范明天. 2010 年国际大电网会议配电系统及分散发电机组研究进展与方向[J]. 电网技术, 2010, 34(12): 6-10.
FAN Mingtian. Strategic plans of CIGRE distribution system & disperse generation (C6)[J]. Power System Technology, 2010, 34(12): 6-10.
- [4] 曾博, 刘念, 张玉莹, 等. 促进间歇性分布式电源高效利用的主动配电网双层场景规划方法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 156-163.
ZENG Bo, LIU Nian, ZHANG Yuying, et al. Bi-level scenario programming of active distribution network for promoting intermittent distributed generation utilization[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 156-163.
- [5] 张建华, 曾博, 张玉莹, 等. 主动配电网规划关键问题与研究展望[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 13-23.
ZHANG Jianhua, ZENG Bo, ZHANG Yuying, et al. Key issues and research prospects of active distribution network planning[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 13-23.
- [6] 钟清, 孙闻, 余南华, 等. 主动配电网规划中的负荷预测与发电预测[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(19): 3050-3056.
ZHONG Qing, SUN Wen, YU Nanhua, et al. Load and power forecasting in active distribution network planning[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(19): 3050-3056.
- [7] 章健, 张弛, 董惠荣, 等. 基于多代理的含分布式能源的主动配电网及运营管理系统研究[J]. 华东电力, 2013, 41(11): 2229-2232.
ZHANG Jian, ZHANG Chi, DONG Huirong, et al. Multi-agent based active distribution network with distributed energy resources and its operation management system[J]. East China Electric Power, 2013, 41(11): 2229-2232.
- [8] 王健, 谢桦, 孙健. 基于机会约束规划的主动配电网能量优化调度研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 45-52.
WANG Jian, XIE Hua, SUN Jian. Study on energy dispatch strategy of active distribution network using chance-constrained programming[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 45-52.
- [9] 尤毅, 刘东, 钟清, 等. 多时间尺度下基于主动配电网的分布式电源协调控制[J]. 电力系统自动化, 2014,

- 38(9): 192-198.
- YOU Yi, LIU Dong, ZHONG Qing, et al. Multi-time scale coordinated control of distributed generators based on active distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(19): 192-198.
- [10] 于文鹏, 刘东, 余南华. 馈线控制误差及其在主动配电网协调控制中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(13): 108-115.
- YU Wenpeng, LIU Dong, YU Nanhua. Feeder control error and its application in coordinate control of active distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(13): 108-115.
- [11] 尤毅, 刘东, 钟清, 等. 主动配电网优化调度策略研究[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(9): 177-183.
- YOU Yi, LIU Dong, ZHONG Qing, et al. Research on optimal schedule strategy for active distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(9): 177-183.
- [12] 周卫, 张尧, 夏成军, 等. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 1-5.
- ZHOU Wei, ZHANG Yao, XIA Chengjun, et al. Effect of distributed generation on relay protection of distributed system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(3): 1-5.
- [13] 胡汉梅, 郑红, 赵军磊, 等. 基于配电网自动化的多 Agent 技术在含分布式电源的配电网继电保护中的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(11): 101-105.
- HU Hanmei, ZHENG Hong, ZHAO Junlei, et al. Application of the distributed automation based multi-Agent technology in the distributed protection with DG[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(11): 101-105.
- [14] 庞清乐, 高厚磊, 杜强, 等. 面向智能配电网的保护与控制方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 28-32.
- PANG Qingle, GAO Houlei, DU Qiang, et al. Protection and control method for smart distribution grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 28-32.
- [15] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 智能配电网建设中的继电保护问题[J]. 供用电, 2012, 29(6): 15-25, 69.
- XU Bingyin, LI Tianyou, XUE Yongduan. Relay protection issues in construction of smart distribution network lecture 6 protections for active distribution network[J]. Distribution & Utilization, 2012, 29(6): 15-25, 69.
- [16] 庄伟, 牟龙华. 智能配电网信息物理融合保护系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(4): 113-118.
- ZHUANG Wei, MU Longhua. Study on cyber-physical relaying protection system of intelligent distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(4): 113-118.
- [17] 刘凯, 李幼仪. 主动配电网保护方案的研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(16): 2584-2590.
- LIU Kai, LI Youyi. Study on solutions for active distribution grid protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(16): 2584-2590.
- [18] 唐西胜, 邓卫, 齐智平. 基于储能的微网并网/离网无缝切换技术[J]. 电工技术学报, 2011, 26(增刊 1): 279-284.
- TANG Xisheng, DENG Wei, QI Zhiping. Research on grid-connected/islanded seamless transition of microgrid based on energy storage[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(S1): 279-284.
- [19] 曾祥君, 罗莎, 胡晓曦, 等. 主动配电网系统负荷控制与电能质量监测[J]. 电力科学与技术学报, 2013, 28(1): 41-47.
- ZENG Xiangjun, LUO Sha, HU Xiaoxi, et al. Load control and power quality monitoring in active distribution system[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2013, 28(1): 41-47.
- [20] 刘一兵, 吴文传, 张伯明, 等. 基于有功-无功协调优化的主动配电网过电压预防控制方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(9): 184-191.
- LIU Yibing, WU Wenchuan, ZHANG Boming, et al. Overvoltage preventive control method based on active and reactive power coordinated optimization in active distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(9): 184-191.
- [21] 赵拥华, 方永毅, 王娜, 等. 逆变型分布式电源接入配电网对馈线自动化的影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(24): 117-122.
- ZHAO Yonghua, FANG Yongyi, WANG Na, et al. Research on the impacts on feeder automation by inverter-based distribution generation connected to the distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(24): 117-122.
- [22] 裴玮, 盛鸥, 孔力, 等. 分布式电源对配网供电电压质量的影响与改善[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(13): 152-157.
- PEI Wei, SHENG Kun, KONG Li, et al. Impact and improvement of distributed generation on distribution network voltage quality[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(13): 152-157.
- [23] 王志群, 朱守真, 周双喜, 等. 分布式发电对配电网电压分布的影响[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 56-60.
- WANG Zhiqun, ZHU Shouzhen, ZHOU Shuangxi, et al. Impacts of distributed generation on distribution system

- voltage profile[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16): 56-60.
- [24] 陈芳, 王伟, 徐丽杰, 等. 分布式电源接入对配电网电压变化的分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(4): 145-149.
CHEN Fang, WANG Wei, XU Lijie, et al. Analyzing the voltage variation of distribution network including distributed generation[J]. Proceedings of the CSU-EPSS, 2012, 24(4): 145-149.
- [25] 夏成军, 崔弘, 王强, 等. 考虑静态安全约束的分布式电源准入容量计算[J]. 电网技术, 2009, 33(16): 96-100.
XIA Chengjun, CUI Hong, WANG Qiang, et al. Penetration capacity calculation for distributed generation considering static security constraints[J]. Power System Technology, 2009, 33(16): 96-100.
- [26] 黄伟, 熊军, 徐祥海, 等. 考虑配电网电压调节的分布式电源准入功率极限计算[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 43-46.
HUANG Wei, XIONG Jun, XU Xianghai, et al. Penetration level calculation considering tap changer oscillations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(14): 43-46.
- [27] 陈庭记, 程浩忠, 何明, 等. 城市中压配电网接线模式研究[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 35-38.
CHEN Tingji, CHENG Haozhong, HE Ming, et al. Research on connection modes of urban in middle voltage distribution networks[J]. Power System Technology, 2000, 24(9): 35-38.
- [28] 王成山, 王赛一, 葛少云, 等. 中压配电网不同接线模式经济性和可靠性分析[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(24): 34-39.
WANG Chengshan, WANG Saiyi, GE Shaoyun, et al. Economy and reliability analysis of different connection modes in MV distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(24): 34-39.
- [29] 刘向军, 马爽, 许刚. 基元接线模型构建的配电网典型接线方式[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 58-63.
LIU Xiangjun, MA Shuang, XU Gang. Formation of typical connection mode for distribution network by elementary connection mode[J]. Power System Technology, 2012, 36(2): 58-63.
- [30] 顾洁, 孟昶. 配电网接线模式研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(7): 19-22.
GU Jie, MENG Yang. Research on connection mode of distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(7): 19-22.
- [31] 姚福生, 杨江, 王天华. 中压配电网不同接线模式下的供电能力[J]. 电网技术, 2008, 32(增刊 2): 93-95.
YAO Fusheng, YANG Jiang, WANG Tianhua. Power supply capacity of mid-voltage distribution networks under different connection modes[J]. Power System Technology, 2008, 32(S2): 93-95.
- [32] 何永秀, 王巍, 杨卫红, 等. 基于盲数理论的配电网接线方式评价[J]. 电工技术学报, 2009, 24(7): 139-144.
HE Yongxiu, WANG Wei, YANG Weihong, et al. Assessment of connection mode in distribution network based on blind number theory[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(7): 139-144.
- [33] 尤毅, 刘东, 于文鹏, 等. 主动配电网技术及其进展[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 10-16.
YOU Yi, LIU Dong, YU Wenpeng, et al. Technology and its trends of active distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 10-16.

收稿日期: 2014-08-18; 修回日期: 2014-12-02

作者简介:

柳春芳(1970-), 女, 高级工程师, 长期从事配电网设计工作, 主要研究方向为配电网新技术。E-mail: liuyue_er@sina.com

(编辑 张爱琴)