

智能配电系统的内涵及其关键技术

王守相,葛磊蛟,王 凯

(天津大学 智能电网教育部重点实验室,天津 300072)

摘要:在对有源配电系统、主动配电系统、自愈配电系统、弹性配电系统、智能配电系统等主要概念进行辨析的基础上,提出了智能配电系统分析的内涵,主要包括可靠性评估、安全性分析、风险评估、生存能力与脆弱性分析、送电能力分析、负荷接入能力分析、分布式能源接纳能力分析、经济性分析、灵活性或弹性分析、主动性评价 10 项研究内容。从数据获取、数据分析、数据应用的角度提出了智能配电系统的 10 大关键技术,包括智能配电系统的不确定性建模技术,态势感知技术,快速分析与仿真技术,分布式能源、电动汽车和负荷接纳能力评估与提高技术,储能价值分析与应用技术,风险评估与安全预警技术,优化规划技术,新型保护理论与技术,智能控制技术,与用户互动技术等,并对每项关键技术进行了具体评述。

关键词:智能配电系统;智能电网;主动配电系统;自愈;弹性系统;大数据

中图分类号:TM 727

文献标识码:A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.06.001

0 引言

配电系统 DS(Distribution System)直接向终端用户传输和分配电能,直接关系到用户的用电体验和供电服务质量,因此在电力系统中具有举足轻重的地位^[1]。一方面,历史上更多重视发电系统和输电系统的建设,忽视了对配电系统的投资;另一方面,经济和社会的快速发展导致社会用电需求快速增长,从而对配电系统的建设和发展提出了越来越高的要求。传统的配电系统中,除了部分应急电源,如柴油发动机、不间断电源等之外很少存在用户侧的电源,电能主要来自上级输电网。随着能源需求和环境保护的压力日益增长,可再生能源发电受到越来越多的重视。尤其是利用各种分散存在的能源,包括太阳能、生物质能、小型风能、小型水能、天然气等进行发电供能的分布式发电技术受到人们的关注。分布式电源通常直接接入配电系统,也可以与储能等配合组成微网(或微电网)接入配电系统。另外,电动汽车、柔性可控负荷等也开始大量接入配电系统。它们的规模化接入必然会对配电系统规划与运行产生深远的影响。为了应对这一挑战,人们提出了发展智能配电系统^[2]。

本文在对智能配电系统的相关概念进行辨析的基础上,对智能配电网的内涵及其关键技术进行了系统归纳和总结,以期对智能配电系统的发展提供借鉴。

1 概念辨析

1.1 配电网 DN(Distribution Network)和配电系统

严格意义上,配电网和配电系统这 2 个概念有

所区别,前者侧重于网络,而后者侧重于系统。但在实践中,人们往往不做区分,等同使用。配电网或配电系统是由多种配电元件和配电设施所组成的用以变换电压和直接向终端用户分配电能的一个电力网络系统。

1.2 有源配电网 ADN(Active Distribution Network)和有源配电系统 ADS(Active Distribution System)

随着越来越多的分布式电源接入配电网,人们提出了有源配电网的概念。区别于传统配电网,有源配电网作为电力公司和用户所共同面对的网络对象,是包含了大量分布式电源、储能和电动汽车等多元负荷的集电能收集、电能传输、电能存储和电能分配为一体的新型电力交换网络^[3]。有源配电系统和有源配电网的概念通常不做区分,等同使用。

1.3 未来配电系统 FDS(Future Distribution System)和世界一流配电网 WCDN(World Class Distribution Network)

未来配电系统是指面向未来需求和发展的配电系统^[4]。而未来是相对的,它的内涵随时代的发展不断发展变化,不确定性强,现在的配电系统相对于过去就是未来配电系统。所以这个概念并不科学,它不能充分反映配电系统发展的本质特征。

世界一流配电网是我国近几年为了追赶配电网建设国际水平而提出的一个目标和口号。但由于它也是一个时空相对的概念,几十年前的世界一流并不一定是现在的世界一流,现在的世界一流也不一定是未来的世界一流,其概念的内涵不明确,评价的标准亦不清晰,不得不借用智能配电网的相关指标来进行评价。因此,它可以作为当前的发展目标在国际上进行比照,但不能作为体现技术引领的目标对象。

收稿日期:2016-05-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51377115)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51377115)

1.4 主动配电网 ADN(Active Distribution Network)和主动配电系统 ADS(Active Distribution System)

主动配电网的概念最早在欧洲提出。主动配电网是为了应对新形势下有源配电网的挑战而采取的主动的技术和管理手段^[5-6]。而主动配电系统所涵盖的内容则更广些,既包括电力公司的主动配电网措施,也包括微电网及其他用户积极参与的需求侧响应的内容。但在实践中,人们对这 2 个概念往往不做区分,等同使用。

1.5 自愈配电网 SHDG (Self-Healing Distribution Grid) 和自愈配电系统 SHDS (Self-Healing Distribution System)

随着经济和社会的发展,人们对供电可靠性和电能质量的要求越来越高,尤其是一些高精尖设备的生产企业和金融、信息等产业,对持续可靠供电的要求更高。但是电网无法保证 100% 的可靠性,总会发生一些故障,因而在故障后保持对重要负荷的持续供电,并对停电负荷快速恢复供电就变得非常重要。于是人们提出了自愈的概念^[7]。发展自愈配电网或自愈配电系统就是以自愈为目标。在实践中,人们对自愈配电网和自愈配电系统这 2 个概念往往不做区分,等同使用。

1.6 弹性配电网 RDG (Resilient Distribution Grid) 和弹性配电系统 RDS (Resilient Distribution System)

弹性是反映配电系统对扰动快速灵活响应的能力,其最重要的特征即是恢复力。弹性电网能够更好地应对小概率-高损失极端事件,能及时将事件影响范围最小化,在灾害破坏无法避免的情况下,还能灵活适应环境变化并有能力快速恢复电网供电能力^[8-9]。

1.7 智能配电网 SDG (Smart Distribution Grid) 和智能配电系统 SDS (Smart Distribution System)

为了应对有源配电网的挑战,在智能电网的大背景下,人们提出了智能配电网的理念来推动新型配电网的技术发展。“Smart”本身既具有灵活、高效的含义,也具有智能化的含义。智能配电系统是全面体现了高度的灵活性、主动性、经济性、安全性和可靠性的高级配电系统。就如智能机器人的发展一样,智能配电系统的发展是一个永无止境的、不断动态发展和完善的过程。

2 智能配电系统分析的内涵

2.1 智能配电系统可靠性评估 (SDS Reliability Assessment)

一般意义上,配电系统可靠性评估是对配电系统过去历史的性能状态进行评价,反映了配电系统对持续供电的保障能力。只要用户不停电就不会影

响对系统供电可靠性的评价。例如,如果在一个时间段内用户从未停电,则在该时间段内的系统的供电可靠性可以认为是 100%。配电系统可靠性评估可分为元件可靠性评估和系统可靠性评估两部分。现有的配电系统可靠性评估一般建立在对以往漫长时间内的元件和系统可靠性数据分析的基础之上,并以此为基础预测未来较长一段时间内的系统可靠性,主要为配电网规划提供参考。

分布式电源、储能、电动汽车、微电网等的引入会对配电系统的可靠性产生重要影响。智能配电系统的可靠性评估就包含了分布式发电系统可靠性评估、微电网可靠性评估、含分布式电源和微电网的配电系统可靠性评估^[10]等内容。智能配电系统条件下提出适应新需求的可靠性评估指标和评估算法是该领域的技术关键。

2.2 智能配电系统安全性分析 (SDS Security Analysis)

智能配电系统安全性是指有源配电系统针对一组预想事故集合(负荷变化、支路开断、短路故障、分布式电源投退等),能够保持对全部或大多数负荷的不间断供电,并能够通过开关操作或其他技术手段,快速隔离故障区域和恢复对非故障区域的供电,并保持潮流及电压幅值在允许的限值范围内的能力。可见,安全性是针对一组预想事故集而言的,没有绝对的安全性。

智能配电系统的安全性分静态安全性和动态安全性。静态安全性主要关注配电系统在某一配电一次设备(线路、变压器等)或者分布式电源、微电网停运后的安全供电问题,主要的校验方法包括基于 $n-1+1$ 准则和基于 $K(n-1+1)$ 准则的静态安全性校验方法^[11]。动态安全性则主要关注分布式电源和多样化负荷给配电网带来的电压稳定性和频率稳定性问题。自愈能力是对配电系统安全性评价的一个重要指标。

2.3 智能配电系统风险评估 (SDS Risk Assessment)

风险一般被定义为事故发生概率与产生后果严重性的乘积^[12]。

$$\lambda_{\text{risk}} = \sum_{i=1}^N P_t(E_i) \cdot \eta_{\text{sevt}}(E_i) \quad (1)$$

其中, $P_t(E_i)$ 为 t 时刻事故 i 发生的概率; $\eta_{\text{sevt}}(E_i)$ 为事故 i 产生后果的严重性; N 为系统考虑的事故数。

风险反映了不确定性对主体目标的影响,通过风险分析可找出系统的不安全因素。即使用户不停电一样可能影响安全性,没有绝对的安全性,也就说明了风险存在的普遍性,只是风险的大小不同。

智能配电系统的风险评估既包括对单个配电设备的风险评估,也包括对整个系统的风险评估;既包

括考虑一次设备故障影响的配电系统风险评估,也包括考虑通信、保护等二次设备故障影响的配电系统风险评估,还包括间歇式新能源发电、储能、电动汽车等接入下的有源配电系统风险评估。智能配电系统条件下也需要提出适应新需求的风险评估指标和算法。

2.4 智能配电系统生存能力与脆弱性分析(SDS Survivability & Vulnerability Analysis)

配电系统的生存能力与脆弱性分析的目的是分析评估系统面对重大灾害的生存能力(Survivability),找到系统存在的薄弱环节(Vulnerability)。这也是所谓弹性配电系统所关注的问题^[13]。

解决配电系统生存能力与脆弱性的手段包括:加强配电系统中闭环网的试点和建设,提高网架水平;构建能量互通的多微网系统,以在面临重大灾害等原因造成大电网停电时,保证对重要负荷的持续供电。

2.5 智能配电系统送电能力分析(SDS Transfer Capability Analysis)

智能配电系统的送电能力也可称为供电能力,反映了有源配电系统传输电能的能力。其包括配电系统单个元件(线路或变压器)的功率输送能力,也包括配电各电压等级(110 kV、10 kV 和 0.4 kV)线路的输送能力及各级变压器的输送能力,还包括配电系统某个区域的供电能力。它是自上而下反映配电系统为用户供应电力的能力。它受上、下游所有母线和支路的限值约束。正如一个输水管道,其输送能力受到上、下游水管的限制。

以支路 k 为例,其 p 相最大功率输送能力的目标函数为:

$$\max S_{TCA,k}^p \quad (2)$$

约束条件包括但不限于:

- (1) 母线电压约束;
- (2) 支路载流量约束;
- (3) 支路容量约束;
- (4) 变压器容量约束。

2.6 智能配电系统负荷接入能力分析(SDS Load Accommodation Capability Analysis 或 SDS Loadability Analysis)

配电系统的负荷接入能力^[14]既包括单点接纳负荷能力,也包括区域系统或网络接纳负荷能力。它自下而上反映配电网接入负荷的能力。

以母线 k 为例,其 p 相最大负荷接入能力的目标函数为:

$$\max S_{LAC,k}^p \quad (3)$$

约束条件包括但不限于:

- (1) 母线电压约束;
- (2) 上游支路载流量约束;
- (3) 上游支路容量约束;
- (4) 上游变压器容量约束。

配电系统负荷接入能力分析的内容既包括对传统负荷的接入能力分析,也包括对电动汽车等多元负荷的接入能力分析。

2.7 智能配电系统分布式能源接纳能力分析(SDS DR Hosting Capability Analysis)

智能配电系统的分布式能源接纳能力,既包括单点接纳分布式能源能力,也包括区域系统或网络接纳分布式能源能力。其自上而下反映电网接纳分布式能源的能力。分布式能源接纳能力受到节点电压约束、支路载流量约束、网架结构、分布式电源与负荷特性、短路电流限制、电能质量等多种影响因素的制约。

某区域配电网允许的分布式能源最大接入容量的目标函数为:

$$\max \sum_{j \in G} P_j^G \quad (4)$$

其中, G 为某区域配电网接入的所有分布式能源集合。

约束条件包括但不限于:

- (1) 母线电压约束;
- (2) 支路载流量约束;
- (3) 支路容量约束;
- (4) 变压器容量约束。

2.8 智能配电系统经济性分析(SDS Economy Analysis)

配电系统经济性分析主要包括配电系统的资产利用率评估、配电系统建设的成本效益分析、基于可靠性的配电系统的经济性评估等。

2.9 智能配电系统灵活性或弹性分析(SDS Resilience Analysis)

针对所谓弹性配电系统的需求,分析配电系统对扰动快速灵活响应的能力,即恢复力评估。分析反映配电网网架灵活易扩展,供电路径灵活可变,可更多接入负荷的能力。分析反映配电网可更多地灵活接入分布式电源、储能、电动汽车等的的能力。在通过负荷接入能力分析和分布式能源接纳能力分析得到上限值的基础上,可与当前状态比较,得到存在的裕度,从而实现对配电系统灵活性的分析。

2.10 智能配电系统主动性评价(SDS Activeness Assessment)

针对主动配电系统的需求,对主动配电系统的主动性特征进行评价,主要包括配电系统的态势感知与风险预警能力评价、负荷需求响应能力评价等。

3 智能配电系统的关键技术

智能配电系统的关键技术很多,难免会挂一漏万。在此,仅从智能配电系统数据获取、数据分析、数据应用的角度提出智能配电系统的十大关键技术,如图 1 所示。

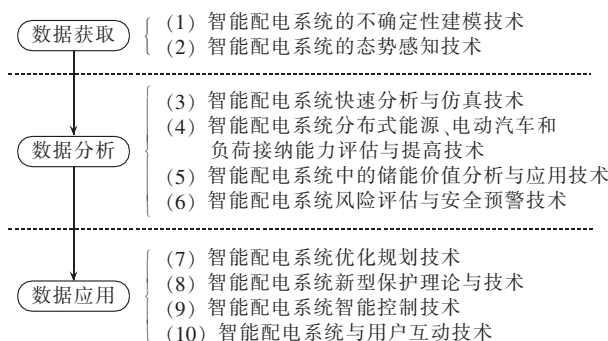


图 1 智能配电系统的十大关键技术

Fig.1 Ten key technologies of smart distribution system

下面对这 10 项关键技术逐一做简要评述。

3.1 智能配电系统的不确定性建模技术

反映负荷波动特性的不确定性建模一直是电力系统建模中的难点问题,而随着分布式电源、电动汽车等间歇性、随机性强的电源和多元化负荷在配电系统的高渗透率接入,配电系统的不确定性越来越强。

传统的确定性建模方法显然难以满足对配电系统中这些强不确定性因素进行表达的需求。传统的优化分析方法需要各物理量的准确的点值信息,而分布式电源发出的电能、用户消费的负荷功率时刻都会发生较大的波动变化,难以预知其准确的数值。而且,传统优化分析方法得到的优化结果往往依赖于所给的具体点,受参数变化的影响较大,优化结果的适应性和可信度差,难以适应系统结构和状态的变化,一旦条件改变,其优化的效果和性能会大幅降低,有时甚至适得其反。因此,研究考虑不确定性的智能配电系统建模和分析方法十分必要。

3.2 智能配电系统的态势感知技术

智能配电系统的态势感知既涵盖了传统的数据采集,更聚焦于实时感知配电系统的各种不确定性因素的变化及影响,如负荷随机需求响应、电动汽车无序接入、分布式电源间歇性出力、外部灾害因素等。其从态势觉察、态势理解、态势预测、态势呈现 4 个层面逐层递进。

智能配电系统的态势感知关键技术主要包括:

- (1) 提高可观测性的量测优化配置技术;
- (2) PMU 优化配置及数据应用技术;
- (3) 高级量测体系构建技术;
- (4) 含分布式电源的配电三相状态估计技术;
- (5) 计及不确定性的分布式电源建模及出力预

测技术;

(6) 负荷分层分级预测技术;

(7) 智能配电系统的大数据与云平台技术。

以智能配电系统的大数据与云平台技术为例,智能配电系统采集的多源异构的数据既包括系统管理和运行的数据,也包括用户的用电数据,还包括气象信息数据、社会经济数据,以及用户侧的分布式电源、微电网、电动汽车等数据,具有海量、更新速度快等大数据的固有特性,因此,有必要提出针对智能配电系统的大数据体系架构和处理方法,开发智能配电系统的大数据和云平台应用技术。

3.3 智能配电系统快速分析与仿真技术

智能配电系统快速分析与仿真技术通过基于数据的快速分析和仿真,拓展了数据价值。其主要内容包括:

(1) 数据缺失条件下的潮流分析技术;

(2) 快速三相不对称潮流计算技术;

(3) 含分布式电源的交直流混合配电网潮流计算技术。

3.4 智能配电系统分布式能源、电动汽车和负荷接纳能力评估与提高技术

该项关键技术的主要内容包括:

(1) 分布式能源、电动汽车和负荷接纳能力的影响因素分析方法;

(2) 分布式能源、电动汽车和负荷接纳能力评估技术;

(3) 分布式能源、电动汽车和负荷接纳能力提升技术。

智能配电系统分布式能源、电动汽车和负荷接纳能力受多种影响因素的制约,主要影响因素包括:

- a. 节点电压约束;
- b. 支路载流量约束;
- c. 网架结构;
- d. 分布式能源与负荷特性;
- e. 短路电流限制;
- f. 电能质量;
- g. 可靠性;
- h. 保护配置;
- i. 并网稳定性;
- j. 控制手段;
- k. 能量管理手段。

3.5 智能配电系统中的储能价值分析与应用技术

通过智能配电系统中的储能价值分析与应用技术发掘储能智能配电系统中的应用价值。

储能在配电系统中具有消减不确定性、削峰填谷、平抑功率波动、调频、调压等功能。通过储能的合理配置,可以促进可再生能源消纳、提高电网运行经

济性、保证电网安全稳定运行、提高供电电能质量、通过构建微电网独立运行提高供电可靠性、提供系统备用等。通过储能的价值分析和定价研究,可以促进储能的发展,并促进其在智能配电系统中发挥重要作用。

3.6 智能配电系统风险评估与安全预警技术

智能配电系统风险评估与安全预警技术的主要内容包括:

- (1) 配电元件和系统的风险建模方法;
- (2) 考虑一次设备影响的配电系统风险评估;
- (3) 考虑通信、保护等二次设备影响的配电系统风险评估;
- (4) 间歇式新能源发电、储能、电动汽车等接入下的配电网风险评估;
- (5) 配电系统的静态安全分析与静态安全预警;
- (6) 配电系统的动态安全分析与动态安全预警。

3.7 智能配电系统优化规划技术

智能配电系统的优化规划技术包括:

- (1) 网络优化规划技术;
- (2) 自愈结构优化规划技术;
- (3) 分布式电源优化规划技术;
- (4) 电动汽车优化规划技术;
- (5) 储能的优化规划技术;
- (6) 源网储荷协同优化规划技术。

以微电网中储能的优化规划为例,微电网中合理配置功率型和能量型储能,并从储能系统运行的角度出发,通过对微电网经济运行、储能充放电计划的优化,实现系统的运行成本最小与储能效益最大化。

3.8 智能配电系统新型保护理论与技术

考虑分布式电源和微电网的接入对配电系统保护的影响,考虑交直流混合配电系统的需求,需要开展智能配电系统新型保护理论与技术研究。

3.9 智能配电系统智能控制技术

智能配电系统智能控制技术主要包括:

- (1) 自适应分层分布式智能控制技术;
- (2) 自愈技术;
- (3) 含高渗透率分布式电源/储能的配电网无功/电压智能控制技术。

自适应分层分布式智能控制技术旨在适应分布式电源、微电网、电动汽车、柔性负荷等具有主动特性的元件接入传统配电网后的运行和控制。多智能体的特点非常适合智能配电系统这样复杂的多维的系统的分布式智能控制。

3.10 智能配电系统与用户互动技术

智能配电系统与用户互动技术包括:

- (1) 区域多微电网能量管理与协同调度技术;
- (2) 用户参与自动需求响应技术;

(3) 用户群参与系统调频技术;

(4) 满足用户差异化需求的主动调度技术。

智能配电系统的互动化特性的表现之一是在分布式电源、微电网及区域多微电网参与配电网的协同调度上。

智能配电系统的互动化特性的表现之二是电能互动,是指用户参与自动需求响应,根据各种激励措施调整用电方式,并应用自备分布式电源参与市场的行为,同时也可以以用户群的群体效用参与系统调频。

智能配电系统的互动化特性的表现之三是在服务层面的互动化,主要体现在能够满足用户对供电可靠性和电能质量的差异化需求。

4 结论

智能配电系统所包含的内容广泛,本文在对智能配电系统的相关概念进行辨析的基础上,提出了智能配电系统分析的内涵,并从数据获取、数据分析、数据应用的角度提出了智能配电系统的几大关键技术。

本文纯粹是从技术的角度探讨智能配电系统的关键技术,并没有涉及太多市场、政策等因素的影响。由于只是一家之言,难免挂一漏万,尤其对概念的理解难免存在争议,但希望能对当前智能配电系统领域的相关研究起到抛砖引玉和引发思考与讨论的作用。

参考文献:

- [1] 王守相,王成山. 现代配电系统分析[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2014:1.
- [2] 王成山,王丹,周越. 智能配电系统架构分析及技术挑战[J]. 电力系统自动化,2015,39(9):1-8.
WANG Chengshan,WANG Dan,ZHOU Yue. Framework analysis and technical challenges to smart distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems,2015,39(9):1-8.
- [3] CIGRE Task Force C6.11. Development and operation of active distribution networks[R]. [S.l.]:CIGRE,2008.
- [4] HINGORANI N. Future distribution system[C]//Innovative Smart Grid Technologies,IEEE PES. [S.l.]:IEEE,2012:1.
- [5] 徐丙垠,李天友,薛永端. 主动配电网还是有源配电网?[J]. 供用电,2014,1(4):18-20.
XU Bingyin,LI Tianyou,XUE Yongduan. Active distribution network or not?[J]. Distribution & Utilization,2014,1(4):18-20.
- [6] 王守相,葛磊蛟. 主动配电系统运行与控制关键技术[J]. 电力建设,2015,36(1):85-90.
WANG Shouxiang,GE Leijiao. Key technology of operation and control of active distribution system[J]. Electric Power Construction,2015,36(1):85-90.
- [7] YOU Haiho,VITTAL V,YANG Zhong. Self-healing in power systems:an approach using islanding and rate of frequency decline-based load shedding[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2003,18(1):174-181.

- [8] LIU C C. Distribution systems: reliable but not resilient?[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2015, 13(3): 93-96.
- [9] 别朝红, 林雁翎, 邱爱慈. 弹性电网及其恢复力的基本概念与研究展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(22): 1-9.
BIE Zhaohong, LIN Yanling, QIU Aici. Concept and research prospects of power system resilience[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(22): 1-9.
- [10] WANG Shouxiang, LI Zhixin, WU Lei, et al. New metrics for assessing the reliability and economics of microgrids in distribution system[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2013, 28(3): 2852-2861.
- [11] 余贻鑫, 王成山, 刘建明, 等. 中国电气工程大典——配电系统自动化篇[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 999.
- [12] XIAO Fei, MCCALLEY J D. Power system risk assessment and control in a multiobjective framework[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2009, 24(1): 78-85.
- [13] WALLNERSTROM C J, HILBER P. Vulnerability analysis of power distribution systems for cost-effective resource allocation [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2012, 27(1): 224-232.
- [14] MIU K N, CHIANG H D. Electric distribution system load capability: problems formulation, solution algorithm, numerical results [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(1): 436-442.

作者简介:



王守相

王守相(1973—),男,山东高密人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为分布式发电、微电网与智能配电系统(E-mail: sxwang@tju.edu.cn);

葛磊蛟(1984—),男,湖北咸宁人,博士研究生,研究方向为智能配用电和不确定性仿真;

王凯(1992—),男,山东广饶人,博士研究生,研究方向为智能配电和储能。

Main contents and key technologies of smart distribution system

WANG Shouxiang, GE Leijiao, WANG Kai

(Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The concepts of ADS(Active Distribution System), SHDS(Self-Healing Distribution System), RDS(Resilient Distribution System) and SDS(Smart Distribution System) are clarified and the SDS contents are presented, including reliability assessment, security analysis, risk assessment, survivability & vulnerability analysis, transfer capability analysis, loadability analysis, DR hosting capability analysis, economy analysis, resilience analysis, and activeness assessment. From the perspective of data acquisition, data analysis and data application, several SDS critical technologies are presented and discussed, including uncertainty modeling, situation awareness, fast analysis & simulation, assessment & enhancement of accommodation capability of distributed energy resources, electric vehicles & loads, evaluation & application of energy storage system, risk assessment & safety alarming, optimal planning, new protection theory, smart control, and interaction with power users.

Key words: smart distribution system; smart grid; active distribution system; self-healing; resilient system; big data