

光伏分散接入中压配网保护与故障隔离研究

张广斌, 董俊, 束洪春
(昆明理工大学, 昆明 650504)

摘要: 光伏通过馈线多点分散接入是今后中压配电网的常态。光伏属于逆变器并网型分布式电源, 从继电保护的视角, 本文对光伏分散接入的配网保护与故障隔离的相关研究进行综述, 对后续研究工作进行展望。

关键词: 中压配网; 故障隔离; 保护; 光伏; 分散接入

Review and Outlook of distribution network protection and fault isolation considering photovoltaic decentralized access

ZHANG Guangbin, Dong Jun, Shu Hongchun

(Kunming University of Science and Technology., Kunming 650504, China)

Abstract: Multipoint decentralized access of photovoltaic through feeder will be the normal condition of medium voltage distribution network in the future. Photovoltaic belongs to inverter-based grid-connected distributed energy source. From the perspective of protective relay, the paper summarizes the related research of distribution network protection and fault isolation considering photovoltaic decentralized access and the future research work is also prospected.

Key words: distribution network, fault isolation, protection, photovoltaic, multipoint decentralized access

中图分类号: TM74 文献标识码: B 文章编号: 1006-7345 (2019) 01-0022-04

0 前言

可再生能源规模化利用与常规能源的清洁低碳化将是能源发展的大趋势, 加快发展可再生能源已成为全球能源转型的主流方向^[1]。大量光伏发电分散接入中低压配电网、高度渗透必将成为常态^[2,3]。作为电力系统与用户联系最直接的环节, 配电网担负着分配电能、服务用户的任务, 其覆盖广、运行环境复杂、馈线分支多、拓扑结构经常变化。传统配电网通常采用“闭环结构, 开环运行”。配电网在网架强度、技术装备和管理水平上都明显落后于输电网^[5]。中压配网的保护和故障隔离均远比低压配网复杂、重要, 需解决的问题也更多^[4,6]。

光伏作为传统集中电源的补充和完善, 接入配网能够改善配网的可靠性、经济性、抗灾性和智能化水平。但光伏的分散接入也改变了配电网传统的潮流结构、运行方式和故障特性^[7]。现有中压配电网的保护和故障隔离普遍是在没有考虑分布式电源接入情况下设计的, 分布式电源接入后, 可能使保护误动, 以及故障隔

离、自动重合闸、负荷转供等操作产生影响^[8-9]。尽管可通过严格限制接入容量的方式, 采取“即接即忘”原则将分布式电源看做“负功率”负荷对待, 从而不改变保护控制手段, 忽略其影响。然而, 这显然无法满足日益增长的大量分布式电源并网的需要, 也有悖于鼓励尽可能消纳新能源的初衷^[6]。此外, 高可靠性的通信难以全线保障, 电压测点稀缺, 加之线路不断延伸、T接, 网架不断生长, 使得主网成熟应用的保护原理对有源配电网只能起借鉴作用。本文对光伏分散接入的配网保护与故障隔离的相关研究进行综述。

1 逆变型DG的配网保护与故障隔离

光伏属于逆变器并网型分布式电源(以下简称逆变型DG), 现从继电保护的视角, 对含逆变型DG的配网保护与故障隔离的相关研究进展梳理为以下4个方面:

1) 逆变型DG的建模与故障特性分析。逆变型DG提供的短路电流取决于控制策略, 工作于并网方式下的逆变器主要使用电流型控制。

通常基于故障期间恒功率的原理,用戴维南定理进行等效^[11-13]。以逆变型 DG 在故障期间输出功率不变前提,推导了短路电流的解析;^[14]考虑逆变器输出电流极限限制。^[15]基于换流器故障期间输出功率特性给出了电路电流与功率的关系;^[16]考虑了 DG 在故障期间提供无功支撑的能力,建立短路电流解析模型;^[17]分析不对称故障下 DG 的瞬时功率特性,提出基于 DG 短路电流解析的多 DG 电网短路计算模型和计及不脱网运行时序和控制的多 DG 短路电流算法。

2) 含逆变型 DG 的配网保护。馈线发生故障时,逆变型 DG 往往属于弱馈侧,很难先于主电源侧保护动作,加之一般要求 DG 在故障期间一段时间内保证不脱网并参与无功调节,因此, DG 在故障期间也提供短路电流,原先单电源辐射下的基于电流幅值的速断和过流保护整定困难,可能发生误动、拒动。针对此问题,出现了以下几种解决思路:

a 限制分布式电源的接入位置和接入容量^[18-20]。此类方法仅适用于渗透率不高的场景,且与鼓励分布式电源分散接入相冲突。

b 调整电流保护定值,加装方向元件,基于方向或拓扑状态自适应定值^[21-23]。此类方法基于本地信息,不依赖通信,动作快,但无法感知整体运行状况,整定仍较为困难。

c 通过增加通信,改用基于主站的集中式保护、纵联保护、级联闭锁保护等^[24-32]。此类方法对通信高度依赖,实时性和可靠性难保证。

3) 含逆变型 DG 的馈线故障检测与隔离。原有馈线自动化系统对单电源辐射状配网馈线发生短路故障的检测、区段定位和隔离起着良好的作用。DG 的接入改变了网络结构和故障电气量分布,造成原有系统功能失效。针对此问题,出现了以下三种改进思路:

a 基于重合闸时 DG 已脱网的特点实现区段定位和隔离。只适用于配有重合闸的架空线路而不适用于电缆线路,且重合于永久性故障对断路器造成破坏,对瞬时性故障也丧失了定位能力^[33]。

b 提高故障电流阈值^[34]。保证只对主电源流经的短路电流有感知能力,实际仍是以限制 DG 接入容量和牺牲弱故障时的灵敏度为代价,

对于分布式光伏持续分散接入需频繁修改定值,难适用于多 DG 灵活并网、脱网。

c 根据故障电流方向进行区段定位^[35]。需监测各开关处的电流、电压信息,馈线上的开关一般不具备电压测点,需加装互感器,工程造价过高。

4) 孤岛检测^[36-38]。分布式电源接入使得故障所致保护跳闸后的馈线仍可能带电,此时电能质量无法保障,影响故障熄弧,影响重合闸,对故障检修人员构成严重安全威胁,因而需要进行孤岛检测来确保非计划孤岛时 DG 全部脱网。当前研究出的孤岛检测方法主要包括基于广域信息的检测方法和基于本地信息的检测方法两大类。前者通过无线、有线、载波等方式传输断路器的状态信息,通过网络拓扑和断路器的分合状态判断是否出现孤岛,严重依赖通信。后者基于本地检测量实现,并可进一步细分为被动式和主动式两类。被动式检测利用孤岛时分布式电源与公共连接点(PCC)的电压、相位、频率、谐波畸变等检测孤岛,无需外加硬件,对负荷无冲击,但存在较大盲区,当 DG 与负荷功率匹配度较高以及多逆变器并网时容易失效。主动式根据 DG 定时向 PCC 节点注入的主动扰动能否被感知来判别是否发生孤岛,包括阻抗测量、频率漂移、电压漂移、频率突变等多种不同实施途径,理论上无死区,但多 DG 并网时,单个 DG 的扰动易被稀释,多 DG 同时扰动难保持步调一致,且对电能质量有影响。

2 研究展望

从继电保护和馈线自动化的视角看,中小型光伏电站通过馈线分散接入中压配网带来的不利影响主要包括两方面:

1) 额外的故障电流。

2) 馈线跳闸后不再立即失压。故障电流方面,由于并网逆变器自身的控制作用, DG 所提供的短路电流非常有限(不超过额定电流的 1.2~1.5 倍),单个 DG 并网对短路电流的贡献十分有限,即便考虑到多个逆变型 DG 分散接入,其群体短路电流也能通过规划阶段的接入方式来予以限制^[39]。换言之,对一个存在的光伏经馈线多点分散接入的配电系统,其短路电

流必然应是合格的。馈线失压方面,传统的单电源辐射网或专线接入的分布式电源,馈线故障跳闸后必然随即失压,重合闸、沿线的馈线智能分段开关、转供联络开关等动作均需依赖线路过流后随即失压这一特征。而逆变型DG经馈线分散接入后,一方面可能由于故障特征微弱而无法快速脱网;另一方面为了希望故障期间不给系统造成更大的扰动,往往需要分布式电源在故障期间提供一定电压支撑能力而非立即脱网,加之逆变型DG所提供的故障电流本身就非常有限,对设备的破坏不大,因此DG侧断路器往往需滞后于主电源的保护动作,导致主电源跳闸后DG仍会持续向故障线路供电一段时间。这导致馈线上部分区段不再满足过流后随即失压的特征,给重合闸、智能分段开关以及转供联络开关的动作和配合带来了问题,需要采取措施予以克服。

随着分布式电源在系统中的占比越来越高,其在配电网中继续保持被动的角色已经不合适,特别是对于逆变型DG,应尝试使其在配电故障期间中发挥更主动、积极的作用。逆变型DG的分散接入相当于增加了沿馈线的分布式测点,特别是配电线上所稀缺的电压测点,充分利用这些测点,理应对故障检测和区段定位有利。此外,逆变型DG还具备通过调整换流器的触发脉冲来主动施加扰动的能力。与主电源相比,单个DG的容量很小,正常情况下,DG对馈线电压、电流几乎无法施加任何扰动。但在故障期间,特别是当主电源切除时或当主电源位于故障点上游而DG位于故障点下游时,DG在它和故障点所构成的区间内起主导作用,主动扰动的能力得以体现。通过反复多次来确认或根据变化趋势来调整扰动强度,使得其对于配网中特征较弱的故障探测独具优势。有必要利用馈线故障后至馈线重合闸之前的这一时间窗口,尝试发挥光伏接入所带来的故障观测能力提升和主动扰动能力,尝试将馈线故障检测与隔离功能下放,尝试基于光伏并网点及其有限近邻观测信息完成馈线故障分布式检测与就近隔离。研究基于主动扰动技术的故障探测、瞬时/永久性故障辨识和孤岛检测方案,辅以配网模态感知技术和适配机制,与现有馈线保护和馈线自动化系统实现主动配合,有望在尽可能少地改

变既有馈线保护与配网自动化终端及通讯设备且不劣化现有保护动作性能的前提下,提升馈线故障检测和隔离效果。

3 结束语

分布式光伏接入配网将是未来配电网的常态,这给配电网的运行、保护与控制带来了更多挑战。从继电保护的视角看,光伏经馈线多点分散接入中压配网所带来的不利影响主要是对馈线保护、馈线自动化和配网自动化等既有二次系统动作逻辑或配合上的破坏,而非其提供的短路电流对一次设备的破坏。与此同时,光伏接入还带来了沿线故障观测能力的提升和并网逆变器在故障期间具备主动扰动能力这两方面积极影响。尝试合理利用这些积极影响,通过光伏侧的主动参与来更有效地为配网故障检测和隔离提供帮助,并且更加灵活、友好地融入馈线保护和配网自动化等二次系统,将具有重要的科研价值和工程应用前景。

参考文献

- [1] 国家能源局,“国家能源局关于印发《太阳能发展“十三五”规划》的通知”.国能新能[2016]354号,2016.12.
- [2] 王勃华.2016年中国光伏产业回顾及2017年展望.光伏行业2016年发展回顾与2017年形势展望研讨会,北京,2017.2.
- [3] 国家发改委、国家能源局,《电力发展“十三五”规划》.北京,2016.11.
- [4] 刘健,董新洲,陈星莺,等.配电网故障定位与供电恢复[M].北京:中国电力出版社,2012.
- [5] 束洪春.配网选线保护与故障定位[M].北京:科学出版社,2016.
- [6] 徐丙垠,李天友,薛永端.智能配电网建设中的继电保护问题(讲座一)配电网继电保护的特点与发展趋势[J].供用电,2012,(01):12-17.
- [7] 陶顺,肖湘宁,彭骋.编译.有源智能配电网[M].北京:中国电力出版社,2012.
- [8] Rich Seguin, Jeremy Woyak, David Costyk, et al. High-Penetration PV Integration Handbook for Distribution Engineers, NREL Technical Report, NREL/TP-5D00-63114, January 2016.
- [9] 范明天,张祖平,苏傲雪,苏剑.主动配电系统可行技术的研究[J].中国电机工程学报,2013,(22):12-18+5.
- [10] IEEE-SA Standards Board, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Std 1547-2003, June 2003.
- [11] Baghaee H R, Mirsalim M, Sanjari M J, et al. Effect of type and interconnection of DG units in the fault current level of distribution networks[C]. Proceedings of the 13th International Power Electronics and Motion Control Conference,

- September 1-3, 2008, Poznan, Poland: 313-319.
- [12] Wan Hui. Protection coordination in power system with distributed generations[D]. The Hong Kong Polytechnic University, 2007.
- [13] 孙景钉, 李永丽, 李盛伟, 等. 含逆变型分布式电源配电网自适应电流速断保护[J]. 电力系统自动化, 2009, (14): 71-76.
- [14] C. A. Plet, M. Graovac, T. C. Green and R. Iravani. Fault response of grid-connected inverter dominated networks[C]. IEEE PES General Meeting, Minneapolis, MN, 2010: 1-8.
- [15] 毕天姝, 刘素梅, 薛安成, 杨奇逊. 逆变型新能源电源故障暂态特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, (13): 165-171.
- [16] 潘国清, 曾德辉, 王钢, 等. 含PQ控制逆变型分布式电源的配电网故障分析方法[J]. 中国电机工程学报, 2014, (04): 555-561.
- [17] 王强刚. 分布式发电接入电网故障穿越控制及短路电流计算方法[D]. 重庆大学博士学位论文, 重庆: 2015.
- [18] 陶顺, 郭静, 肖湘宁. 基于电流保护原理的DG准入容量与并网位置分析[J]. 电网技术, 2012, (01): 265-270.
- [19] 王江海, 邵能灵, 宋凯, 等. 考虑继电保护动作的分布式电源在配电网中的准入容量研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, (22): 37-43.
- [20] Zhan H, Wang C, Wang Y, et al. Relay Protection Coordination Integrated Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation Sources in Distribution Networks[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2016, 7(1): 55-65.
- [21] 张艳霞, 代凤仙. 含分布式电源配电网的馈线保护新方案[J]. 电力系统自动化, 2009, (12): 71-74.
- [22] H. H. Zeineldin, H. M. Sharaf, D. K. Ibrahim and E. E. D. A. El-Zahab. Optimal Protection Coordination for Meshed Distribution Systems With DG Using Dual Setting Directional Over-Current Relays[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 6(1): 115-123.
- [23] 陈晓龙, 李永丽, 谭会征, 等. 含逆变型分布式电源的配电网自适应正序电流速断保护[J]. 电力系统自动化, 2015, (09): 107-112.
- [24] 司新跃, 陈青, 高湛军, 等. 基于电流相角突变量方向的有源配电网保护[J]. 电力系统自动化, 2014, (11): 97-103.
- [25] 王婷, 刘渊, 李凤婷, 等. 光伏T接高压配电网电流差动保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, (13): 60-65.
- [26] N. El Halabi, M. García-Gracia, J. Borroy and J.L. Villa. Current phase comparison pilot scheme for distributed generation networks protection[J]. Applied Energy, 2011, 88(12): 4563-4569.
- [27] T. S. Ustun, C. Ozansoy and A. Zayegh. Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2012, 27(3): 1560-1567.
- [28] I. Chilvers, N. Jenkins and P. Crossley. Distance relaying of 11 kV circuits to increase the installed capacity of distributed generation[J]. IET Generation, Transmission and Distribution, 2005, 152(1): 40-46.
- [29] 段建东, 崔帅帅, 刘吴骥, 等. 基于电流频率差的有源配电网线路保护[J]. 中国电机工程学报, 2016, (11): 2927-2934.
- [30] 刘兴杰, 王凯龙, 郭栋. 含高渗透率光伏电源的配电网线路电流差动保护方案[J]. 太阳能学报, 2016, (07): 1805-1812.
- [31] 李斌, 张慧颖, 王敬朋, 等. 分布式电源多点接入配电系统的集成保护[J]. 电力系统自动化, 2015, (15): 90-95.
- [32] 许偲轩, 陆于平, 章桢, 等. 分布式发电配电网新型充分式保护原理及方案[J]. 电网技术, 2014, (09): 2532-2537.
- [33] 高孟友. 智能配电网分布式馈线自动化技术[D]. 山东大学博士学位论文, 济南: 2016.
- [34] 刘健, 张小庆, 同向前, 等. 含分布式电源配电网的故障定位[J]. 电力系统自动化, 2013, (02): 36-42+48.
- [35] 康文文, 赵建国, 丛伟, 施晓寒. 含分布式电源的配电网故障检测与隔离算法[J]. 电力系统自动化, 2011, (09): 25-29.
- [36] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 智能配电网建设中的继电保护问题, 讲座六 有源配电网保护技术[J]. 供用电, 2012, (06): 15-25+69.
- [37] P. Deshbhratar, R. Somalwar and S. G. Kadwane. Comparative analysis of islanding detection methods for multiple DG based system[C]. 2016 International Conference on Electrical Electronics and Optimization Techniques (ICEEOT), Chennai, 2016: 1525-1530.
- [38] S. C. Paiva, H. S. Sanca, F. B. Costa and B. A. Souza. Reviewing of anti-islanding protection[C]. 2014 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, Juiz de Fora, 2014: 1-8.
- [39] J. Keller and B. Kroposki. Understanding Fault Characteristics of Inverter-Based Distributed Energy Resources, NREL Technical Report, NREL/TP-550-46698, 2010.

收稿日期: 2018-03-01

作者简介:

张广斌, 昆明理工大学

董俊, 昆明理工大学

束洪春, 昆明理工大学

加拿大化学家发现硅纳米粒子可使锂电池蓄电能力提高10倍

来源: 科技部

硅材料因储量丰富, 且能比锂电池中使用的石墨吸收更多的锂离子, 被认为具有制造大容量电池的前景。但硅颗粒在吸收和释放锂离子时会膨胀和收缩, 在多次充放电循环后容易破裂。

加拿大阿尔伯塔大学化学家布里亚克(Jillian Buriak)团队发现将硅塑造成纳米级的颗粒有助于防止它破裂。研究测试了四种不同尺寸的硅纳米颗粒, 确定多大的尺寸才能最大限度地发挥硅的优点, 同时最大限度地减少其缺点。它们均匀分布在由具有纳米孔径的碳制成的高导电性石墨气凝胶中, 以弥补硅的低导电性。他们发现, 最小的颗粒(直径仅为30亿分之一米)在多次充放电循环后表现出最佳的长期稳定性。这克服了在锂离子电池中使用硅的限制。这一发现可能导致新一代电池的容量是目前锂离子电池的10倍, 朝着制造新一代硅基锂离子电池迈出了关键的一步。

这项研究有广阔的应用前景, 特别是在电动汽车领域, 可以使其行驶里程更远, 充电速度更快, 电池重量更轻。下一步是开发一种更快、更便宜的方法来制造硅纳米颗粒, 使其更容易运用在工业生产上。此项研究成果发表在《材料化学》杂志上。