

分布式电源对重要用户供电可靠性的影响研究

刘金森¹ 张彦¹ 何艳杰² 陈洪柱²

(1. 贵州电网公司电网规划研究中心, 贵州 贵阳 550003;

2. 天津天大求实电力新技术股份有限公司, 天津 300384)

摘要: 在配电网重要用户附近配置分布式电源, 可以在外部电源故障时为重要用户继续供电。采用了基于馈线区的配电网可靠性计算方法, 建立了分布式电源的可靠性计算模型, 提出了含分布式电源的重要用户供电可靠性评估方法。并通过实际算例, 验证方法的有效性, 分析了分布式电源对重要用户供电可靠性的影响。

关键词: 分布式电源; 供电可靠性; 重要用户

Abstract: The configuration of distributed generation around important users can provide power supply when external power failure occurs. According to reliability calculation method of distribution network based on feeder zoon, the reliability calculation model of distributed generation is established. Then the evaluation method of power supply reliability for important users considering distributed generation is proposed. The actual calculation verifies the validity of the proposed method, and the effect of distributed generation on power supply reliability of important users is analyzed.

Key words: distributed generation; power supply reliability; important user

中图分类号: TM76 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)05-0047-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.011

0 引言

现代社会对电能高度依赖, 对电力用户特别是重要用户连续稳定供电是电力企业履行社会责任的重要体现。重要电力用户是指在国家和地区的社会、政治、经济生活中占有重要地位, 对其中断供电将可能造成人身伤亡或较为严重的环境污染、政治影响、经济损失或社会秩序混乱的用电单位。根据重要用户对供电可靠性的要求不同, 可以分为特级重要用户、一级重要用户、二级重要用户和临时重要用户^[1-2]。

近年来, 随着环保压力的增大和新能源技术的进步, 分布式电源(distributed generation, DG)和储能装置接入电网的比例越来越高。对于含有 DG 的配电网, 发生故障后除了通过联络线路转带负荷, 还可以通过 DG 与负荷组成孤岛运行继续为负荷供电^[3]。因此, 分布式电源的接入给供电可靠性带来了深远影响, 深入研究含有分布式电源的重要用户可靠性计算具有重要意义。

1 基于馈线区的供电可靠性评估

为了保证重要用户的供电可靠性, 其接线模式一般选择多分段多联络、双环网或 N 供一备的接线模式。但是不论用户有几路电源供电, 通常只有一个电源点作为主电源, 其他作为备用电源断开连接, 因此配电网正常运行状态下是辐射状网络。

根据开关在故障隔离和恢复供电过程中的重要性, 对辐射状配电网按照开关位置进行馈线区分割, 如图 1 所示。

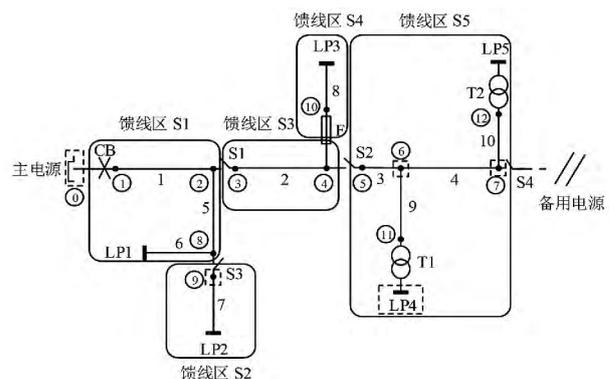


图 1 基于馈线区的配电网分区示意图

将具有同样开关元件或保护元件的配电网分段定义为1个馈线区,图1所示配电网可以分为5个馈线区。每个馈线区包括开关(保护装置)、线路、负荷和分布式电源等元件。每个馈线区受故障影响的结果是一致的^[4]。

根据拓扑学原理,将配电网分为通路和节点,其中节点又可以分为开关节点、负荷节点、连接节点、源节点和联络节点。开关节点作为馈线区分割的标志,与每个馈线区一一对应,因此通过对开关节点的编码就可以完整表示配电网的拓扑结构。配电网编码分层、分支和分级示意图如图2所示。

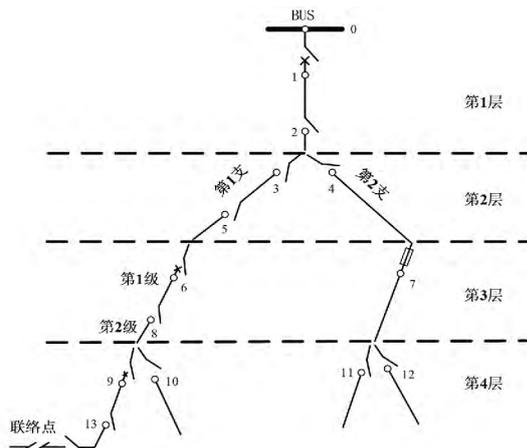


图2 配电网编码示意图

根据基于馈线区的配电网故障处理模式,将故障后的配电网分为无影响区域、前向区域、故障区域和后向区域,从而建立系统的故障模式影响分析(failure mode and effect analysis, FMEA)表,采用蒙特卡洛模拟法(Monte Carlo simulation, MCS)通过产生随机数的方式对配电网元件状态进行抽样,确定故障元件、故障发生时刻TTF、故障持续时间TTR和故障隔离时间TTI。

以TTR为例介绍状态抽样。认为故障无记忆性,则故障修复时间服从指数分布,其概率密度函数为

$$f(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (1)$$

式中: $f(t)$ 表示元件在 t 时刻被修复的概率; μ 表示元件修复率。则元件修复时间为 T 的概率为

$$F'(T) = 1 - F(T) = e^{-\mu T} \quad (2)$$

式中, $F'(T)$ 为区间 $[0, 1]$ 内的数,因此可以通过产生 $[0, 1]$ 内的随机数的方式抽样TTR,抽样公式为

$$TTR = -\frac{1}{\mu} \ln R \quad (3)$$

式中, R 为区间 $[0, 1]$ 内均匀分布的随机数。

这里主要研究的负荷点可靠性指标有^[5]:

1) 停电时间(power outage duration, POD)

负荷点停电时间是指统计时间内该负荷点停运持续时间,单位一般为h/次或h/年。

2) 缺供电量(energy not supply, ENS)

负荷点缺供电量是指统计时间内该负荷点因停电造成的电量损失,记负荷点功率为 L_a ,则 $ENS = POD \times L_a$,单位一般为kWh/次或kWh/年。

2 分布式电源的可靠性计算模型

目前,电网中常见的DG主要包括风机、光伏、小型燃气轮机和生物质能发电等,以及相应的储能装置,这里主要讨论间歇不可控DG对重要用户供电可靠性的影响。

2.1 风力发电时序模型

根据目前常用风力发电机类型,通用的风机出力函数为

$$P_w = \begin{cases} 0, & 0 \leq SW_t < V_{ci} \\ (A + B \times SW_t + C \times SW_t^2) P_r, & V_{ci} \leq SW_t < V_r \\ P_r, & V_r \leq SW_t \leq V_{co} \\ 0, & SW_t > V_{co} \end{cases} \quad (4)$$

式中: SW_t 、 V_{ci} 、 V_r 、 V_{co} 分别为风机的实时风速、切入风速、额定风速和切出风速; P_w 和 P_r 为风机的实时出力和额定出力;参数 A 、 B 、 C 为风机出力曲线非线性部分的多项式拟合系数。 SW_t 的实时序列可以采用自回归滑动平均(ARMA)模型产生^[6-7]。

2.2 太阳能发电时序模型

光照强度可以采用光照动态概率模型或HDKR模型产生^[8]。光伏阵列的实时出力模型为

$$P_b = \begin{cases} P_{sn} (G_{bt}^2 / (G_{std} R_c)), & 0 \leq G_{bt} < R_c \\ P_{sn} (G_{bt} / G_{sd}), & R_c \leq G_{bt} < G_{std} \\ P_{sn}, & G_{bt} \geq G_{std} \end{cases} \quad (7)$$

式中: P_b 和 P_{sn} 分别为光伏的实时功率和额定功率; G_{bt} 和 G_{std} 分别为实时光照强度和额定光照强度; R_c 为某一特定强度的光强,实时光强超过 R_c ,光伏出力与光强的关系开始由非线性变为线性。

2.3 负荷时序模型

负荷点第 t 个小时的实时负荷为

$$L_t = L_p \times P_w \times P_d \times P_h(t) \quad (8)$$

式中: L_p 为年负荷峰值; P_w 、 P_d 和 $P_h(t)$ 分别为第 t 个小时对应的年-周负荷曲线、周-日负荷曲线和日-小时负荷曲线中的值。

2.4 储能装置时序模型

以铅酸蓄电池为代表建立储能装置模型。铅酸蓄电池的两池模型(kinetic battery model, KiBaM)可以较为全面地反映蓄电池充放电极限与 SOC 之间的关系,具体参见文献[9]。

3 含分布式电源的重要用户供电可靠性计算

分布式电源接入后,配电网故障位置的上下游区域可以通过 DG 与负荷形成孤岛,继续保持对用户供电。图 3 说明了含 DG 配电网故障后的孤岛形成过程。

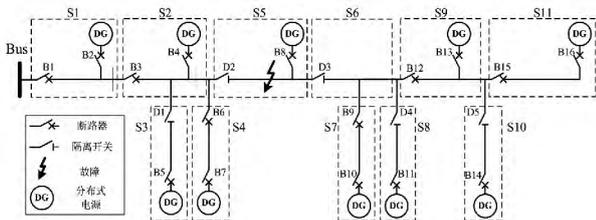


图 3 含 DG 配电网孤岛分区

图 3 所示配电网可以分为 11 个馈线区,假设 S5 馈线区发生故障,故障前后保护装置动作,断路器隔离故障区间、非故障区间的孤岛形成情况如表 1 所示。

表 1 故障后各馈线区分类

区域类型	馈线区编号
故障区	S5
无影响区	S1
上游隔离区	S2、S3
上游无缝孤岛区	S4
下游隔离孤岛区	S6、S8
下游无缝孤岛区	S7、S9 ~ S11

故障发生后,故障区和上游隔离区停电,下游隔离孤岛区短暂停电后恢复供电,其他区域不受影响,可持续供电。故障隔离完成后,多个以馈线区为单位的孤岛可以通过 DG 供电独立运行,也可合并成组合孤岛运行。

孤岛中需要保持电源和负荷的功率平衡,当瞬时负荷大于当时 DG 和储能的出力上限时,需要削减负荷以保持孤岛稳定。当孤岛内均为普通负荷(负荷优先级相同)时,负荷削减的目标函数为

$$\max \sum_{k=1}^{N_L} \int_{t_{st}}^{t_{end}} L_k(t) X(k) \quad (9)$$

式中: t_{st} 和 t_{end} 表示孤岛起始和结束时间; N_L 表示孤岛内负荷点数量; $L_k(t)$ 表示第 k 个负荷点的实时功率; $X(k)$ 表示负荷点削减状态, $X(k) = 1$ 表示该负荷保留, $X(k) = 0$ 表示负荷被削减。负荷削减的目标就是保证在孤岛运行期间的电能供给最大。

当负荷中存在重要用户时,各负荷点之间优先级出现不同。当 DG 出力减少或储能放电极限约束导致需要削减负荷时,应该优先保证重要用户的供电。为了表征这种优先级区别,为各负荷点赋权。

$$\max \sum_{k=1}^{N_L} \int_{t_{st}}^{t_{end}} \lambda(k) L_k(t) X(k) \quad (10)$$

权重系数 $\lambda(k)$ 的经验取值如表 2 所示。

表 2 不同重要程度用户在削减负荷时的权重取值

用户类型	权重取值范围
特级重要用户	$\lambda \geq 100$
一级重要用户	$35 \leq \lambda < 100$
二级重要用户	$10 \leq \lambda < 35$
临时重要用户	$\lambda \geq 10$
普通用户	$\lambda = 1$

以 IEEE RBTS Bus 6^[10-11] 中的多分支馈线系统为基础,构建含有多个分布式电源的配电系统,如图 4 所示。

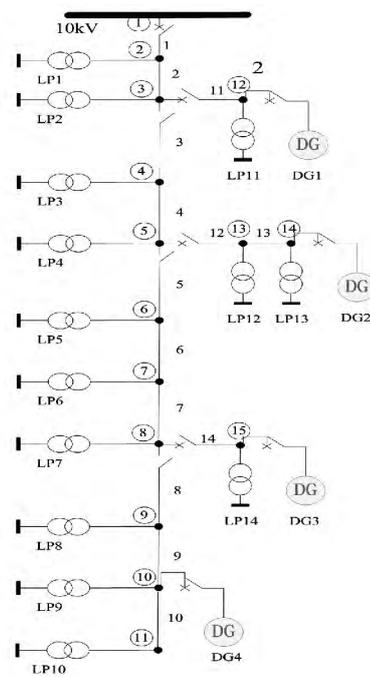


图 4 含分布式电源配电网结构图

图中每个 DG 包含风机、光伏和一定容量的储能装置。假设负荷点 LP14 为某二级重要用户,外部故

障时 DG3 与 LP14 形成孤岛运行,上游故障时 DG1、DG2 和 DG4 均有可能与 LP14 形成组合孤岛运行。通过按比例调整算例中分布式电源容量计算 LP14 可靠性,可以分析 DG 对用户供电可靠性的影响。

以可靠性指标负荷点年停电时间 POD 为例,分析 DG 的影响,结果如图 5 所示。

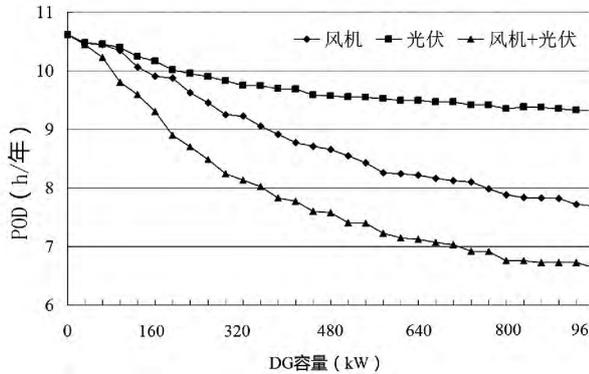


图5 DG 接入容量对重要用户 POD 的影响

从图 5 可以看到,分布式电源的接入对重要用户供电可靠性具有重要影响,具体分析如下:

1) 图中 3 条曲线均呈下降趋势,说明风机、光伏和储能装置的接入可以减少用户年平均停电时间,提高了用户供电可靠性。

2) 不同种类分布式电源对重要用户供电可靠性的提高不同。在本算例所采用的气象条件下,接入相同容量的风机比光伏对可靠性的提高效果更加明显。

3) 不同种类的分布式电源互相配合,可以在无风、阴天或夜晚等不同气象条件下起到为重要用户持续供电的作用,对可靠性的提升有更加积极的作用。

4 结论和建议

在蒙特卡洛仿真计算供电可靠性的基础上,通过馈线区分割编码和分布式电源模型的建立,提出了含分布式电源的可靠性计算方法。通过实例分析,证实了分布式电源的接入对于重要用户供电可靠性具有一定的提升作用,不同种类的分布式电源共同配置、在一定范围内增加分布式电源接入容量可以进一步提高重要用户供电可靠性。

参考文献

[1] GB/Z 29328-2012,重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范[S].

[2] 邵靛. 重要用户的风险评估体系研究[J]. 电气应用, 2013, (S1): 561-563, 595.

[3] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100-106.

[4] R. P. Broadwater, H. E. Shaalan, A. Oka et al. Distribution System Reliability and Restoration Analysis[J]. Electric Power System Research, 1994, 29(3): 203-211.

[5] R. Billinton, J. E. Billinton. Distribution System Reliability Indices[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1989, 4(1): 561-568.

[6] Rajesh Karki, Po Hu, Roy Billinton. A Simplified Wind Power Generation Model for Reliability Evaluation[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21(2): 533-540.

[7] R. Billinton, H. Chen, R. Ghajar. Time-series Models for Reliability Evaluation of Power Systems Including Wind Energy[J]. Microelectronics Reliability, 1996, 36(9): 1253-1261.

[8] Jeongje Park, Wu Liang, Jaeseok Choi, et al. A Probabilistic Reliability Evaluation of a Power System Including Solar/Photovoltaic Cell Generator[C]. IEEE Power & Energy Society General Meeting, July 26-30, 2009, Calgary, AB, Canada.

[9] James F Manwell, Jon G McGowan. Lead Acid Battery Storage Model for Hybrid Energy Systems[J]. Solar Energy, 1993, 50(5): 399-405.

[10] R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief. A Reliability Test System for Educational Purposes - basic Distribution System Data and Results[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1991, 6(2): 813-830.

[11] R. Billinton, S. Johnnavithula. A Test System for Teaching Overall Power System Reliability Assessment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(4): 1670-1676.

作者简介:

刘金森(1983) 硕士,主要从事配电网一次规划、供电可靠性规划研究等工作;

何艳杰(1987) 学士,主要从事配电网规划及供电可靠性规划研究等工作;

陈洪柱(1983) 学士,主要从事配电网规划、供电可靠性及配电自动化相关研究工作。

(收稿日期: 2015-06-23)