

分布式电源的配网合环短路电流分析

房静静¹, 吉兴全¹, 高 鹏¹, 李可军²

(1. 山东科技大学 信息与电气工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东大学 电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘 要:合环转供电作为一种有效的不停电转负荷措施, 满足了提高配电网供电可靠性的要求。然而, 分布式电源并网将对环路内的短路电流产生较大影响, 破坏系统稳定性, 造成的后果不容忽视。在分布式电源并网前先对合环稳态电流进行建模计算, 分析分布式电源并网的多个因素对合环短路电流产生的不同影响, 提出相应解决方案, 为进一步研究智能配网环境下的合环操作提供理论依据。

关键词:分布式电源; 合环; 配电网络; 短路电流

中图分类号: TM744

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2013)02-0103-06

Analysis of Loop-closing Short-circuit Current with Distributed Generation Combination in Distribution Network

Fang Jingjing¹, Ji Xingquan¹, Gao Peng¹, Li Kejun²

(1. College of Information and Electrical Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong, 266590, China; 2. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250061, China)

Abstract: As a kind of effective measures of shifting load without power outage, loop-closing operation satisfies the requirements of the power supply reliability of improving the distribution networks. However, the distributed generations have enormous influences on short-circuit current in the loop closing circuits, and damage the stability of distribution networks, so the serious consequences can not be ignored. Before the distributed generation combination, a method of steady current modeling with loop-closing should be offered, and then the impact of distributed generations on short-circuit current of loop closing is analyzed in order to propose the corresponding solution and facilitate further study of loop closing theories and methods in intelligent distribution network.

Key words: distributed generation; loop-closing operation; distribution network; short-circuit current

我国的供电系统以“大机组、大电网、高电压”为主要模式, 电能传输过程中, 线路损耗较大, 而且对峰荷的调整难度较大。分布式电源(distributed generation, DG)则以分散独立的小电源占据优势^[1], 在满足线路要求的情况下, 将 DG 并入配电网中, 可为长距离输电做补充, 同时也降低了网损。在用电高峰期, 并入 DG, 可为用户提供一部分电能, 起到削峰的作用, 降低电能供应时的峰谷差, 调节峰谷平衡。当出现大面积停电事故时, DG 可作为备用电源并入电网, 确保系统的正常运行, 提高供电的安全性和可靠性。

另一方面, DG 的接入使得配电网由单电源供电变成了双电源甚至多电源供电, 将改变系统的潮流分布和短路电流水平。我国配电系统普遍采用“闭环设计, 开环运行”的运营模式, 当系统发生故障, 或对线路进行检修时, 可通过合环操作, 利用联络开关实现负荷转移, 显著提高供电的可靠性, 但 DG 并网对配电网合环会造成较大影响^[2]。

文献[3]分析了分布式电源的注入功率对配电网重构的影响, 提出了 DG 注入功率综合优化算法, 并分

收稿日期: 2012-11-05

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2011FM008); 山东省科技发展计划项目(2012G0020503)

作者简介: 房静静(1987—), 女, 河北乐亭人, 硕士研究生, 主要从事配网自动化方面的研究. E-mail: fangjingjing726@163.com

析了 DG 并网后的无功优化问题。文献[4]针对多种分布式电源并网对系统电压和网损的影响进行了研究,并分析了不同位置的 DG 对系统电压和网损的影响,指出 DG 并网对系统的影响不仅与并网位置有关,还与 DG 容量与负荷的相对大小有关。文献[5]介绍了分布式电源并网后对电网的不利影响,提出了一种采用电磁耦合抑制并网时产生的谐波的解决方案。可见,计及 DG 的配电系统分析已引起足够重视,并出现了较多的研究手段和方法,但在 DG 对配网合环操作的影响方面尚缺乏细致的研究。

本研究对合环稳态电流和冲击电流进行了建模和计算,并分析了分布式电源对合环短路电流产生的影响,为进一步研究智能配网环境下的合环操作理论和方法提供依据。

1 分布式电源并网对合环产生的影响

1.1 计及 DG 的合环稳态电流计算

配电网进行合环操作后,其辐射状网络结构将发生改变,成为弱环网络结构。配电网中一般只包含平衡节点和给定有功功率 P 和无功功率 Q 的节点, DG 并网后使得配电网中可能会出现给定有功功率 P 和电压幅值 V 的节点。传统的前推回代法处理网状结构和 PV 节点的能力较差,不适合直接使用,应将其进行改进。

1) 将系统解环,对辐射网进行潮流计算。

2) 根据计算结果,求得解环后各节点的计算电压与已知电压的差值,并由此计算该点的修正功率。

3) 将修正功率补偿到相应节点,再进行辐射网的潮流计算,直到电压差值满足收敛判据。

以图 1 所示的经典馈线支路为例,合环稳态潮流的具体计算步骤^[6-8]如下。

1) 网络解环

在 v_k 处解环后两节点为 $v_{k,1}$, $v_{k,2}$, 将 DG 所在节点视为 PQ 节点。

2) 回代过程

依据已知的第 $i+1$ 节点负荷 $\dot{P}_{L,i+1} + j\dot{Q}_{L,i+1}$, 电容器容量 $\dot{Q}_{C,i+1}$, 分布式电源及节点的电压 \dot{U}_{i+1} , 分布式电源的注入功率 $\dot{P}_{G,i+1} + j\dot{Q}_{G,i+1}$, 可得:

$$\text{节点 } i+1 \text{ 的负荷电流} \quad \dot{I}_{L,i+1} = \frac{\dot{P}_{L,i+1} - j\dot{Q}_{L,i+1}}{\dot{U}_{i+1}^*}; \quad (1)$$

$$\text{电容器电流} \quad \dot{I}_{C,i+1} = -\frac{j\dot{Q}_{C,i+1}}{\dot{U}_{i+1}^*}; \quad (2)$$

$$\text{分布式电源电流} \quad \dot{I}_{G,i+1} = \frac{\dot{P}_{G,i+1} - j\dot{Q}_{G,i+1}}{\dot{U}_{i+1}^*}. \quad (3)$$

设节点 i 与节点 $i+1$ 之间的支路编号为 $i+1$, 根据 KCL 计算支路 $i+1$ 的电流:

$$\dot{I}_{i+1} = \dot{I}_{L,i+1} + \dot{I}_{C,i+1} + \dot{I}_{G,i+1} + \sum_{k \in d} \dot{I}_k. \quad (4)$$

其中, d 表示以节点 $i+1$ 为父节点的所有支路的集合。若节点 $i+1$ 为末梢节点, 则支路电流:

$$\dot{I}_{i+1} = \dot{I}_{L,i+1} + \dot{I}_{C,i+1} + \dot{I}_{G,i+1}. \quad (5)$$

3) 前推过程

由 $\dot{U}_i(0)$ 和求得的 \dot{I}_{i+1} 计算母线 $i+1$ 的电压 $\dot{U}_{i+1}(1)$:

$$\dot{U}_{i+1}(1) = \dot{U}_i(0) - \dot{I}_{i+1}(R_{i+1} + jX_{i+1}). \quad (6)$$

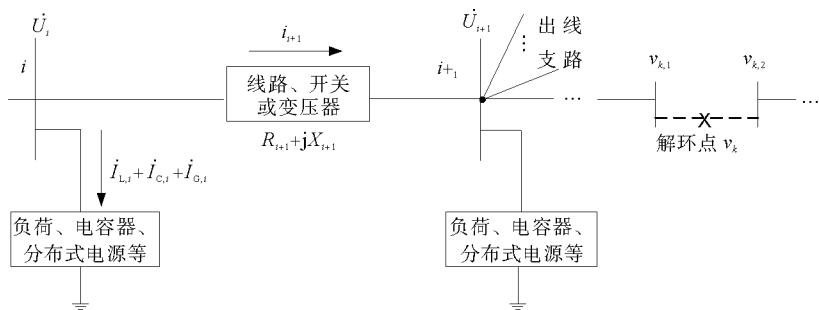


图 1 馈线模型图

Fig. 1 Feeder model

2) DG2 并入短路点的后端

当 DG2 并入短路点的后端,根据叠加原理可知,短路点的故障电流亦有增加,但此时 DG 对故障点上游支路的影响与故障类型有关。当发生三相对称短路故障时,DG2 被故障点隔离,从而对上游各支路不产生影响;在发生不对称短路时,DG2 会对短路点之前的各支路产生一个逆向电流,此时 DG 会在一定程度上减小待合环线路的电流。

选择相同出力 5 MVA 的分布式电源 DG,分别改变其并网的位置,分析其对短路电流的影响。图 6 列出了 DG 的不同接入位置对短路电流值的影响。

由图 6 可知,分布式电源并网位置越接近短路点,对增加短路电流的影响越大,使得短路电流对系统的冲击越明显。

2.2 DG 容量对短路电流的影响

随着容量的增加,DG 对短路电流的分流作用近似为成比例地增长^[9]。若 DG 并入短路点的后端,当 DG 容量足够大时,产生的逆向电流足够大,甚至将引起非方向型保护跳闸。在节点 3 处并入 10 MVA 容量的 DG,支路电流分布如图 7 所示。

可见,节点 3 处并入的 DG 将在支路 1—2 上产生较大的逆向电流,使得原支路电流减小。

在节点 3 处并入不同容量的 DG,分别为 5, 10, 20 MVA。仍在节点 5 处短路,进行计算,短路电流的结果比较如图 8 所示。

由图 8 可知,分布式电源并网容量越大,短路电流的增加值越大。

2.3 DG 并网引起的电压变化对短路电流的影响

若分布式电源通过感应发电机并入配网,则在感应发电机启动瞬间会造成并入 DG 侧的合环开关电压突降,使得合环点两侧的电势差瞬间增大;若 DG 接入点接近于环路末节点,DG 的接入同样将导致局部节点电压升高。以上两种情况均增大了合环电流,进一步增大了合环线路的短路电流。

2.4 DG 并网引起的等值阻抗变化对短路电流的影响

短路电流计算中,接入 DG 可以用接入一个理想电压源和一个阻抗进行等效。相当于故障等值网络中在 DG 接入点对地增加一个阻抗,从而减小环路总阻抗,增大环路电流。

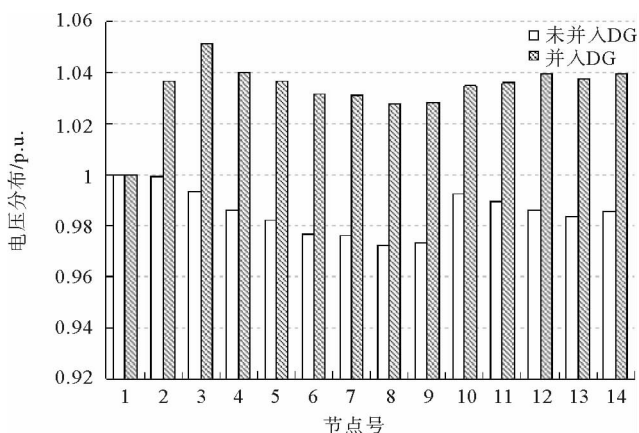


图 4 节点电压分布柱状图

Fig. 4 Distribution of node voltage

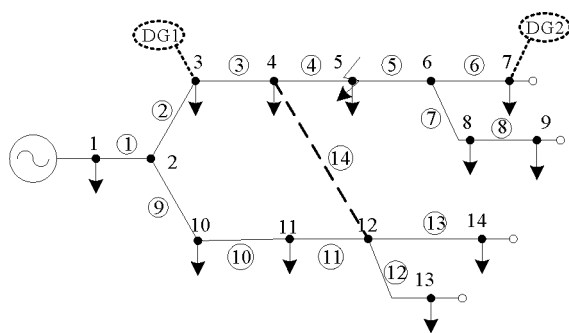


图 5 含 DG 的 14 节点配电系统图

Fig. 5 Diagram of 14-bus distribution network with DG

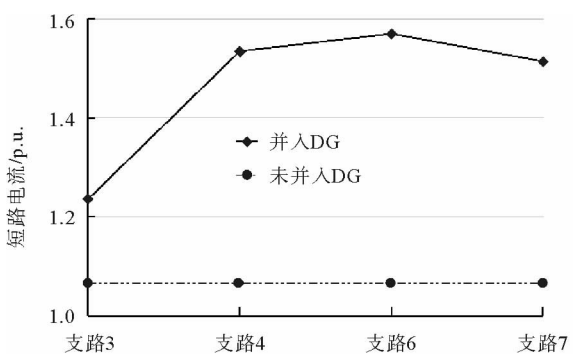


图 6 DG 并网的位置对合环线路短路电流的影响图

Fig. 6 The influence of DG grid position on ring loop-closing short-circuit current

2.5 DG 并网使大量谐波引入电网

谐波引起并网侧电压波形畸变,将改变此处电压的相角,增大合环点两侧的相角差,增大合环电流,甚至产生过电流,进一步增大了短路电流值。谐波还将对馈线产生集肤效应,增大合环线路的总阻抗,减小短路电流。由于谐波引起的电流改变值不能进行精确计算,因此,谐波对环路短路电流的影响无法准确预测。

综上所述,应在 DG 并网前采取有效措施以减小 DG 接入给合环短路电流带来的影响。可以先进行建模仿真,按 DG 的不同接入位置、不同的负荷水平、和不同的合环点进行定量分析(含潮流计算和冲击电流计算)和风险评估,选取最合适的并网接入点,将影响降至最低。在环路中装设谐波吸收过滤装置,吸收过量谐波,减小谐波对合环短路电流的影响,以保证配电网合环后的安全稳定运行。

3 结束语

对前推回代法进行了改进,使其适用分布式电源并网后的潮流计算。根据改进后的前推回代法,通过仿真计算,得到 DG 并网后的潮流结果,并与不接 DG 时的情况进行了对比,反映出 DG 并网对配电网稳态潮流的影响。在此基础上,探讨了不同位置、不同容量等条件下分布式电源并网对合环短路电流产生的影响,并通过仿真数据进行了验证,为进一步研究含分布式电源的配电网合环操作提供依据。

参考文献:

[1]肖鑫鑫,刘东. 分布式功能系统接入电网模型研究综述[J]. 华东电力,2008,36(2):76-81.
Xiao Xinxin,Liu Dong. Review of grid-connection models of distributed energy supply systems[J]. East China Electric Power,2008,36(2):76-81.

[2]李黎. 分布式发电技术及其并网后的问题研究[J]. 电网与清洁能源,2010,26(2):55-58.
Li Li. A study on distributed generation and its effects in power system[J]. Power System and Clean Energy,2010,26(2):55-58.

[3]赵晶晶,李新,彭怡,等. 基于粒子群优化算法的配电网重构和分布式电源注入功率综合优化算法[J]. 电网技术,2009,33(17):162-166.
Zhao Jingjing,Li Xin,Peng Yi,et al. A comprehensive optimization algorithm for injection power of distributed generation and distribution network reconfiguration based on particle swarm optimization[J]. Power System Technology,2009,33(17):162-166.

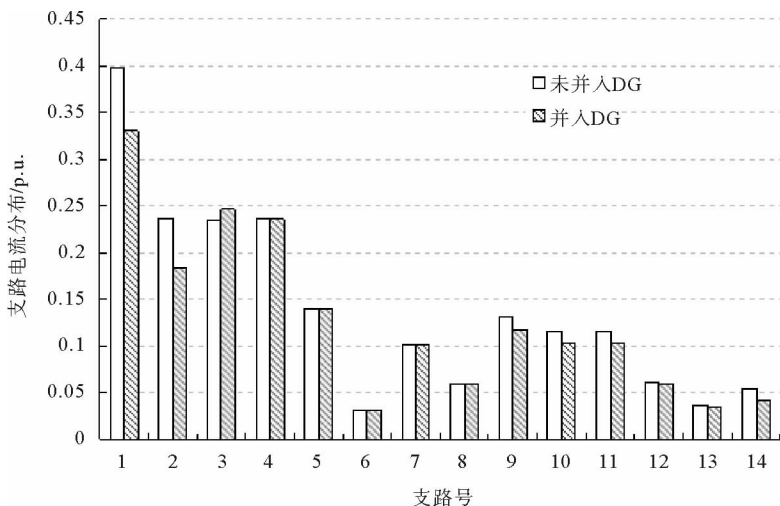


图7 大容量 DG 并网后对电流分布的影响图

Fig. 7 The influence of large capacity DG grid on current distribution

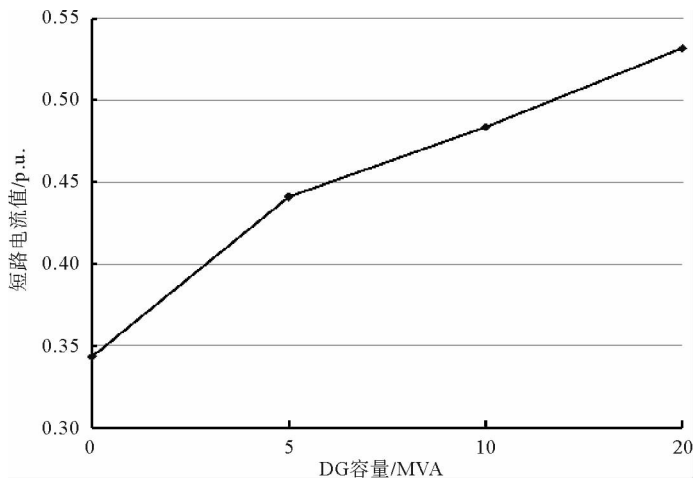


图8 DG 容量对短路电流的影响图

Fig. 8 The influence of different capacity DG on short circuit current

- [4] 李新, 彭怡, 赵晶晶, 等. 分布式电源并网的潮流计算[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 78-81.
Li Xin, Peng Yi, Zhao Jingjing, et al. Power flow calculation of distribution network with distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 78-81.
- [5] 罗安伍, 黄瑞先. 分布式发电并网不利影响及解决方案[J]. 上海电气技术, 2011, 4(1): 17-20.
Luo Anwu, Huang Ruixian. Distributed generation adverse effects while connecting with power system and its solution[J]. Journal of Shanghai Electric Technology, 2011, 4(1): 17-20.
- [6] Feijoo A E, Cidras J. Modeling of wind farms in the load flow analysis[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(1): 110-115.
- [7] 丁明, 郭学风. 含多种分布式电源的弱环配电网三相潮流计算[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(13): 35-40.
Ding Ming, Guo Xuefeng. Three-phase power flow for the weakly meshed distribution network with the distributed generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(13): 35-40.
- [8] 张立梅, 唐巍. 计及分布式电源的配电网前推回代潮流计算[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 123-128.
Zhang Limei, Tang Wei. Back/Forward sweep power flow calculation method of distribution networks with DGs[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(8): 123-128.
- [9] 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 Zhiquan, 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.

(责任编辑: 吕文红)

(上接第 102 页)

```

MatrixR[k * N + j] * = MatrixR[k * N + k];
for(i=0; i<N; i++)
    if(i! = k)
        for(j=0; j<N; j++)
            if(j! = k)
MatrixR[i * N + j] = MatrixR[i * N + j] - MatrixR[i * N + k]
* MatrixR[k * N + j];
for(i=0; i<N; i++)
    if(i! = k)
        MatrixR[i * N + k] * = -MatrixR[k * N + k];
}

for(k=N-1; k>=0; k--)
{
    if((j= jBuffer[k])! = k)
        for(i=0; i<N; i++)
            VarSwap((MatrixR + j * N + i), (MatrixR + k *
N + i));
            if((i= iBuffer[k])! = k)
                for(j=0; j<N; j++)
                    VarSwap((MatrixR + j * N + i), (MatrixR + j *
N + k));
}
free(iBuffer);
free(jBuffer);
return(1);
}

```

(责任编辑: 吕文红)