

接入分布式电源配电系统新型 继电保护应用

分布式电源接入配电网后，传统单电源辐射状的配电网将变为多电源系统，改变了配网原有的故障电流水平和方向，这对传统配电网保护带来了拒动、误动、灵敏度降低和重合闸失败等问题，使得配网中常用的电流三段式保护无法满足要求。本文首先总结了传统配电网继电保护配置，通过建立配电网含不同容量不同位置分布式电源和不含光伏电源的 PSCAD/EMTDC 模型，比较短路电流，分析对原有保护配置的影响。通过应用新型继电保护，提高接入分布式电源配电网的可靠性及稳定性。

郑舒 徐志华 赵景涛 谢虎 王文歆/国电南瑞科技股份有限公司

0 引言

分布式发电作为一种环保、高效、灵活的发电方式，有助于促进能源的可持续发展、改善环境并提高绿色能源的竞争力。开发诸如太阳能这样环保高效的新能源，合理利用可再生资源，将改善如今资源短缺和生态恶化造成的困境。同时，越来越多的国家为了提高其集中式配电网的可靠性和稳定性而投入分布式电源 (Distributed Generation, DG)，解决原有系统的一些问题^[1]。

然而，分布式电源接入到系统中以后，配电网潮流方向会相应改变，故障时的短路电流水平也将发生变化，这将导致传统的配电网保护配置方案不再适用。为了在新情况下保证保护的正确动作，有必要去研究新型的保护方案，以消除分布式电源的接入对传统保护带来的影响，为分布式发电技术的广泛应用扫除技术上的障碍。

1 传统配电网的继电保护配置

配电网的继电保护主要需要做到故障切除、故障隔离和恢复供电三点，从而能够使配电网供电可靠。就现有的配电网保护来说，考虑到经济性的因素，基本使用三种模式：线路上广泛应用的三段式电流速断、基于 FTU 的馈线保护^[2]和基于自动重合闸的馈线保护。

电流速断保护、限时电流速断保护和定时限过电流保护都是在电流升高而动作的保护。它们之间的主要区别在于启动电流是按照不同的原则来选择。电流速断的启动电流是按照躲开本线路末端的最大短路电流来整定；限时速断是按照躲过下级各相邻元件电流速断保护的最大动作范围来整定^[2]；而定时限过电流保护则是按躲开本线路最大负荷电流来整定。

实际配电系统中常常将电流速断保护、限时电流速断保护和过电流保护组合在一起，或者三者同时使用，如此来确保迅速而有选择性地切除故障。

三段式电流保护的缺点是它直接受电网的接线以及电力系统的运行方式变化的影响而变化。如整定值必须按系统最大运行方式来确定，而灵敏度则必须用系统最小运行方式来校验，这就使它往往不能满足灵敏系数和保护范围的要求^[3]。但是三段式电流保护简单、可靠，并且在一般情况下也能满足快速切除故障的要求，因此在电网中特别是在 35 kV 及以下的较低电压的配电网中得到广泛应用。



郑舒/工程师

关键词/Keywords

分布式电源 ·
配电网 ·
继电保护 ·

2 接入分布式电源对继电保护的影响

2.1 未接入分布式电源时的配电网故障仿真

本文应用包头某变电站的实际算例来反映不同地点、不同容量分布式电源对配电网短路电流分布的影响,及其对配电网继电保护装置的影响。

根据该变电站的主接线图及系统参数,将 10 kV 馈线处简化后用 PSCAD/EMTDC 搭建了一次仿真模型。110/10 kV 中压变电站的高压 110 kV 侧等效为一同步发电机电源,根据高压侧断路器额定容量,将系统基准容量取 500 MW,负荷及线路阻抗按如图所示选取,将馈线保护安装在该馈线系统的 A、B、C 母线处。如图 1 所示。

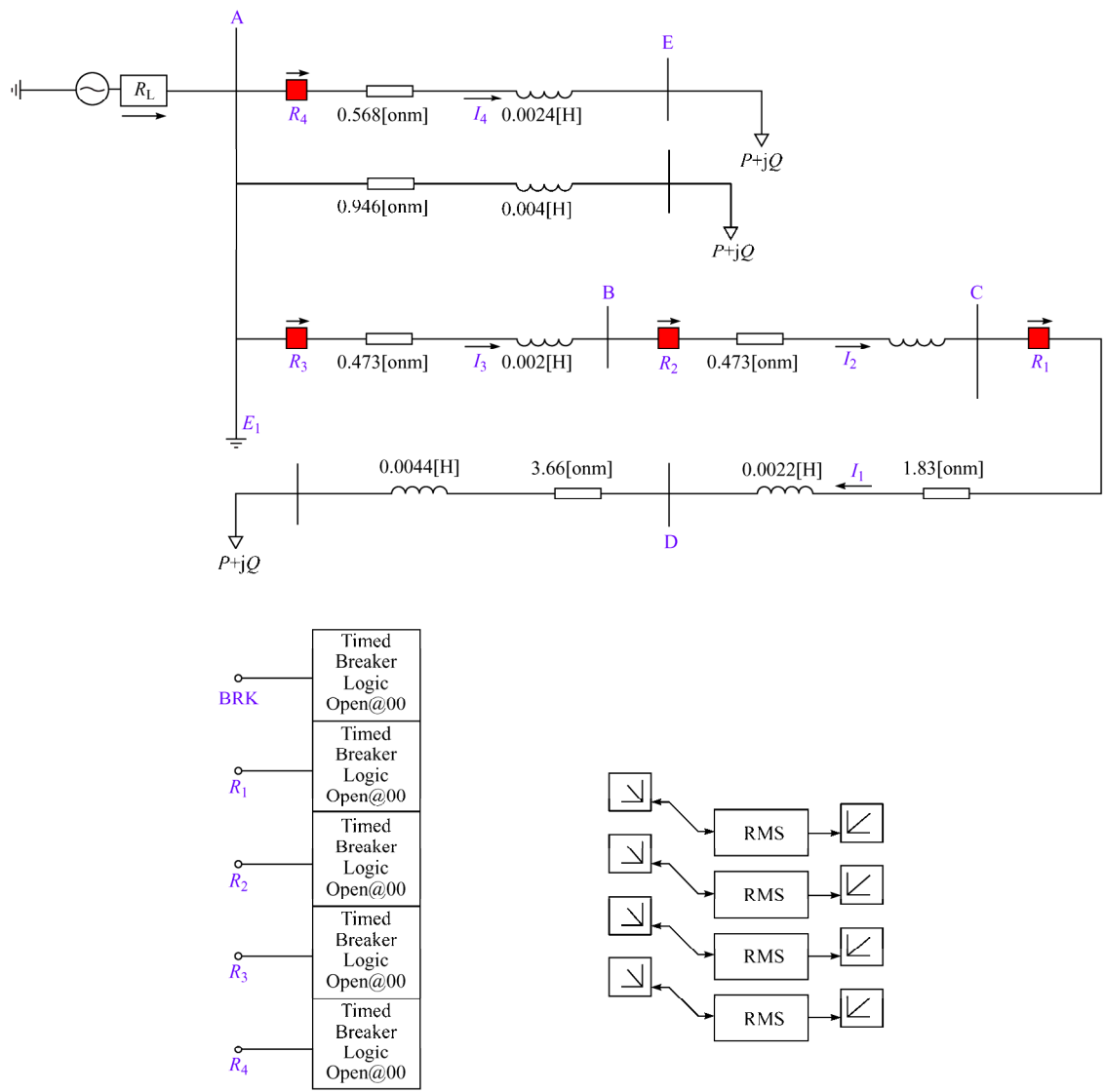


图 1 10 kV 馈线系统简化模型

R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为每段线路上装的保护,通过仿真,可以测得未接入 DG 时正常状态下 R_1 、 R_2 、 R_3 处的电流约为 0.610 kA, R_4 处的电流为 2.010kA。当分别在 B、C、D、E 处发生三相短路故障时,保护安装处的短路电流可以通过仿真得到。见表 1。

表 1 未接入分布式电源时短路电流

短路点	R_1 电流 /kA	R_2 电流 /kA	R_3 电流 /kA	R_4 电流 /kA
D 点	1.552	1.552	1.552	1.986
C 点	0.003	3.267	3.267	1.956
B 点	0.004	0.004	6.277	1.885
E 点	0.589	0.589	0.589	5.462

2.2 不同容量分布式电源的接入对保护的影响

设在馈线母线 C 处接入分布式电源 PV1(此处考虑的为光伏电源)，容量分别为：500 kW、1 MW、6 MW、10 MW，0 MW 为接入 DG 的状态，在 B 母线处发生三相短路故障，保护安装处电流可以通过仿真测得。见表 2。

表 2 接入不同容量分布式电源 PV1 时短路电流

PV1 /MW	R ₁ 电流 /kA	R ₂ 电流 /kA	R ₃ 电流 /kA	R ₄ 电流 /kA
0	0.004	0.004	6.277	1.885
0.5	0.706	6.244	6.113	1.886
1	0.706	6.408	6.227	1.887
6	0.706	6.408	6.227	1.887
20	0.706	6.577	6.342	1.887

2.3 分布式电源接入不同位置对保护的影响

分别将分布式电源 PV1、PV2 分别接入主馈线的 B 母线和 C 母线处，并且接入的 PV1 和 PV2 容量都是 6 MW。通过仿真可以得到分别接入两个分布式电源时不同故障点处发生三相短路故障，R₁、R₂、R₃、R₄ 四个保护测得的短路电流大小。见表 3、表 4。

表 3 接入容量为 6 MW 的 PV1 时短路电流

短路点	R ₁ 电流 /kA	R ₂ 电流 /kA	R ₃ 电流 /kA	R ₄ 电流 /kA
D 点	2.071	2.071	0.143	2.028
C 点	0.001	6.531	0.321	2.028
E 点	0.696	0.696	0.598	5.515

表 4 接入容量为 6 MW 的 PV2 时短路电流

短路点	R ₁ 电流 /kA	R ₂ 电流 /kA	R ₃ 电流 /kA	R ₄ 电流 /kA
D 点	2.816	0.058	0.058	2.027
B 点	0.706	6.408	6.227	1.887
E 点	0.764	0.319	0.319	5.510

2.4 分布式电源的接入对继电保护的影响分析

一般分布式发电系统都是通过 35 kV 及以下电压等级馈线接入配电系统，接入分布式电源的配电网在故障发生时，其故障电流的分布和大小明显与不接 DG 时不同。由于 DG 对故障电流的助增或者分流作用，流过保护装置的故障电流可能增大也可能减小，它将改变原有保护的范

围和灵敏度，给保护装置间的相互配合带来问题。结合前面对实例的仿真结果进行分析，分布式电源对配电网电流保护的影响主要在以下几个方面。

1) DG 接入点在故障点的上游且故障点位置在保护的上游时，没有短路电流流经保护，流经该保护的短路电流与 DG 的接入位置无关。如实例仿真所示，在 C 点发生故障时，不管 DG 是在 B 点接入还是在 C 点接入，都没有短路电流流过保护 R₁，故而不影响保护 R₁ 的整定值。

2) DG 所在馈线上游发生故障时，流经保护的短路电流随着 DG 接入容量的增大而增大，可能导致 DG 所在馈线线路保护误动作。如实例所示，如果在馈线 BC 段接入 PV1，当 AB 段任意点发生三相短路故障时，保护 R₂ 将感受到由 PV1 提供的反向故障电流。根据表 2 所示，若接入分布式电源 PV1 且其容量足够大时，反向故障电流大约在 6 kA 左右，而没有接 DG 时保护 R₂ 的整定值由 C 点发生故障的最大短路电流决定，其大小根据表 1 所示为 3.267 kA，所以明显比没有接 DG 时线路上所设置的电流速断保护动作值大。由于该实例中保护 R₂ 上没有装设方向判别元件，所以保护 R₂ 流过超过其整定值就直接动作。而最靠近电源侧的保护 R₃ 上流过的电流与 DG 的接入无关，所以其大小只跟故障点位置有关，动作值不需要改变。

3) 与 DG 接入线路的相邻线路如果发生故障，光伏电源发出的电流会流向故障点，这个与原本流向反向的电流由可能导致本线路保护误动。在上述实例中，如果在馈线 BC 出口处接入 PV1，当故障发生在与 PV1 不在一条线路的馈线 AE 上的 E 点时，该线路上的保护 R₄ 不但有系统电源的电流流过，还有 DG 的反向电流。根据表 1 所示，在未接入 DG 时故障点在 E 点，保护 R₄ 所测电流大小为 5.46 kA，而接入 PV1 后根据表 3 可知保护 R₄ 处的电流为 5.51 kA，大于没有接入 PV1 时的电流值，保护 R₄ 的灵敏性比未接入 DG 时高。而 DG 接入的馈线 AB 上的保护 R₃ 流过光伏电源的反向电流，大小为 0.6 kA，在 PV 容量足够大时会造成 R₃ 的误动。

4) 对 PV 接入的馈线来说，DG 的容量大小不同或者接入位置不同时，会改变本段馈线上的

保护灵敏度,并且有可能使保护拒动。如果在馈线 BC 出口处接入 PV1,当 D 点发生故障,按照保护的选择性原则应由保护 R_1 动作切除故障。流经故障点 D 的电流由系统侧电源和 PV1 共同提供,根据表 3 所示接入 PV1 故障电流大于接入前的故障电流,由于 PV1 的助增电流作用,使保护 R_1 的灵敏性增加。如果是馈线 BC 段 C 处发生故障时,故障点 C 的故障电流大于接入 PV1 前的故障电流,而保护 R_2 仅仅感受到由系统侧电源提供的故障电流,并且 PV1 的接入造成了多一条支路分流,这将影响保护 R_2 的灵敏性,如果 PV1 的容量很大,保护 R_2 甚至会拒动。

5) 线路保护的保护区有可能受 DG 的接入而改变。没有接入 PV 当 C 点发生故障时,根据保护的选择性,应该由 R_2 动作跳闸隔离故障,或者在保护 R_2 拒动时由 R_3 作为远后备保护跳闸。当 DG 接在 C 点时,同样在 C 点故障时, DG 的容量越大则保护 R_2 上流过的故障电流越大。但 DG 的接入也增加了一条分支电路,这样会对保护 R_3 上的电流分流,故而流过保护 R_3 电流变小。根据表 4 的数据所示,相比于没有接入故障电流,对于当故障发生在 C 点的情况,保护 R_2 上流经的电流增加,其保护的线路长度变长,而流经保护 R_3 的电流减少,其保护范围将减小。

6) 随着 DG 容量的增大,可能会使保护失去选择性,馈线上只在 C 点接入 DG 时,当故障发生在馈线 CD 上时,按照保护的选择性应该由保护 R_1 动作。不过如果 DG 的容量很大,可能改变保护 R_2 的保护范围。在 D 点发生故障时,流过保护 R_2 、 R_1 电流都达到甚至超过其各自的整定值,两个保护都动作,继电保护失去了选择性。

3 新型继电保护的应用

由于计算机技术和通信技术的发展,新型馈线自动化装置也将广泛应用于接入 DG 的配电网中。其中,具有高速通信功能的新型继电保护装置,能大大改善保护的性能,既保证有选择性地切除故障,又能明显缩短动作时间。根据之前的仿真分析,为了提高保护的可靠性和选择性,将馈线上两侧装设有方向元件的保护,并且确保

保护的高速通信功能。如图 2 所示。

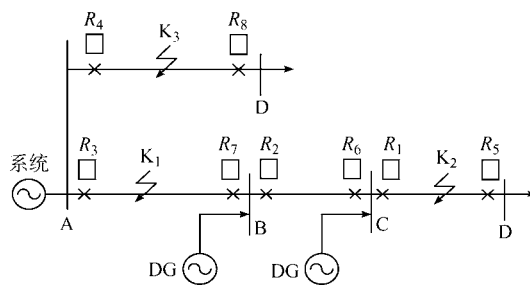


图 2 新型继电保护在接入 DG 的配电网中应用

例如在实例分析中若 DG 上游故障,即 K_1 点发生短路。受 DG 接入的影响,原本的配电网由单侧电源供电,变为多个电源供电, DG 容量足够大时,会有大于保护 R_2 、 R_3 、 R_6 和 R_7 动作电流的短路电流流经保护,并且保护 R_3 、 R_6 、 R_7 的方向元件也会启动,但是保护 R_2 的方向元件不会启动。因此可以确定短路故障位于保护 R_3 和 R_7 之间,保护 R_3 和 R_7 无延时跳闸,立即切除故障,既保证了动作的选择性,动作时间又很短。

若 DG 接入点下游故障,即 K_2 点发生短路,短路电流大于保护 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_5 、 R_6 和 R_7 的动作电流,保护 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_5 的方向元件也会启动。然而保护 R_6 和 R_7 的方向元件不会启动。由于线路 CD 两端保护的方向元件都启动,可以确定短路故障位于保护 R_1 和 R_5 之间,保护 R_1 和 R_5 迅速跳闸,切除故障。

若 DG 相邻馈线故障,即 K_3 点发生短路,只有 AE 两端保护的方向元件启动,其余线路仅一端方向元件启动,可以确定短路故障位于保护 R_4 和 R_8 之间,保护 R_4 和 R_8 马上动作于跳闸。

这种新型继电保护利用高速的通信功能可以快速确定故障位置,有选择性地无延时跳闸,快速切除故障,避免电气设备的损坏,能大大减小 DG 对配电网可靠性的不利影响。

4 结束语

本文阐述了配电网传统的继电保护配置,依托实例建立了馈线含分布式电源和不含分布式电源的模型,并用 PSCAD/EMTDC 软件仿真测试,得到保护安装处故障电流的变化。通过分析故障电流的变化得出保护受到的主要影响,分析

(下转第 297 页)

力推广煤改电工程中，100%实施带电作业。

3.4 创新作业装备，提高作业能力

充分发挥带电作业专家团队的技术引领作用，成立“职工创新工作室”，进行专业研发，解决作业难题。成功研发全套国产化旁路作业设备和地面敷设绝缘防护设施，打破了国外对旁路设备的技术和价格垄断，解决了普及旁路作业推广应用中的难题；成功研发绝缘杆作业法带电接引流线新技术和全套专用工具，提高绝缘杆作业法作业比重；推广应用桥接施工法等带电作业新技术，使复杂带电作业项目简单化实施。截止目前，公司自主研发带电作业装备 24 项，其中 16 项已获专利，带电作业装备水平处于国内领先地位。

4 结束语

①带电作业相关的流程优化、完善是带电作业顺利实施的基础。②人员能力、素质的提高是决定带电作业实施效果的重要因素。③有效的过程监控和绩效考核是带电作业实施的有力保障。④带电作业装备的不断投入是实施带电作业的

必备条件。

参考文献

[1] GB/T 14286—2002 带电作业工器具设备术语[S]，2002.

[2] 胡毅. 配电线路带电作业技术[M]. 北京：中国电力出版社，2002：6-10.

[3] 胡毅. 输配电线路带电作业技术的研究与发展[J]. 高电压技术，2006，32（11）：1-8.

[4] 张文军，高天宝，钱远驰，等. 提升配网带电作业安全性的探讨与实践[J]. 电力安全技术，2012，14（4）：18-21.

[5] 孙宏伟，胡民，狄美华，等. 配电线路带电作业中带负荷项目[J]. 农村电气化，2011，287（4）：29-30.

作者简介

闫文君（1984），男，工程师，主要从事配电带电作业工作。

（收稿日期：2015-12-10）EA
（编辑：朱金凤）

（上接第 290）

如何应用新型继电保护减小 DG 接入对配电网的影响，该方法将提高接入 DG 的配网的稳定性与可靠性。

致谢

本文实例来自国电南瑞科技股份有限公司配电分公司项目，在此对所有项目组的成员一并致以衷心的感谢！

参考文献

[1] 孙鸣，余娟，邓博. 分布式发电对配电网馈线保护影响的分析[J]. 电网技术，2009（14）：1-2.

[2] 黄伟，雷金勇，夏翔. 分布式电源对配电网相间短路保护的影响[J]. 电力系统自动化，2008，32（1）：14-18.

[3] 陈正邦. 数字化变电站继电保护配置方案的研究[D]. 华南理工大学，2010：33.

[4] 雷金勇，黄伟，夏翔. 考虑相间短路影响的分布式电源准入容量计算[J]. 电力系统自动化，2008，32（3）：24.

[5] Peng F Z. Editorial special issue on distributed power generation[J]. IEEE Transactions on Power Electronics，2004，19（5）：32.

作者简介

郑舒（1989-），女，工程师，主要从事微电网与新能源运行控制。

（收稿日期：2015-12-10）EA
（编辑：朱金凤）