

Influence of Grid-Connected Photovoltaic Power Supply on Relay Protection of Distribution Network

Xiaosong Xu¹, Liping Jin¹, Hongyan Wan¹, Yan Gao¹, Baoping Zhang¹, Rui Wang¹, Xiaohui Cui²

¹State Grid Baoding Power Supply Company, Baoding Hebei

²Beijing Join Bright Digital Power Technology Company, Beijing

Email: cxhtyut@163.com

Received: Feb. 16th, 2016; accepted: Mar. 1st, 2016; published: Mar. 8th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the access of distributed photovoltaic power generation system, distribution network supplied by single-ended power gradually has two port sources or multi-port sources, which result in fundamental changes to magnitude and direction of distribution network load flow, and failure to work correctly when short circuit happens. With an example of photovoltaic power supply paralleled into distribution network, this paper calculates the magnitude of short current by formula, and analyzes the effect of feeder line current protection and reclosing. The result shows that the influence to feeder line protection relates to positing of photovoltaic power supply.

Keywords

Grid-Connected Photovoltaic Power Supply, Distribution Network, Relay Protection

光伏并网对配网继电保护的影响

徐松晓¹, 金丽萍¹, 万红艳¹, 高岩¹, 张保平¹, 王锐¹, 崔晓慧²

¹国网河北省电力公司保定供电分公司, 河北 保定

²北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京

Email: cxhtyut@163.com

收稿日期：2016年2月16日；录用日期：2016年3月1日；发布日期：2016年3月8日

摘要

随着分布式光伏发电系统的接入，配电网由单电源电网转化为多电源电网，使得原电网中继电保护中短路电流增大、电流方向改变等影响，导致短路故障时可能引起保护的误动或拒动。本文以光伏电源通过10 kV馈线接入配电网为例，利用短路电流计算公式计算短路电流大小，分析了对馈线电流保护所带来的影响，得出馈线电流保护的影响程度与光伏电源的接入位置有关。

关键词

光伏发电并网，配网，继电保护

1. 引言

近几年来，不可再生能源日益匮乏，而我国发电厂类型主要以直接燃烧煤、石油、天然气等能源的火力发电厂为主，严重浪费能源的同时对环境影响较大，因而电网急需向能量储存大且清洁无污染的可再生能源发展[1][2]。

另外，由于我国供电方式为集中式供电，大部分地区需要跨区域供电，传输效率低、负荷跟踪性差且发生自然灾害时停电范围较广。而随着工业的发展，国内电力供需矛盾日益突出[3]-[5]。因此，传统的供电方式已无法适应电网的需求。

分布式发电的产生有利于解决能源短缺问题、缓解“电荒”压力。分布式发电能源利用率高、安装位置灵活，可以与大电网互为备用提高整个电网的供电可靠性，降低输变电投资费用及远距离输电的线路损耗，因此电网将向吸纳更多的分布式发电方向发展[6][7]。我国分布式发电中风电发展较早且技术较成熟，但风电发展受到地域、季节的限制，而随着光伏电池价格的下降，光伏发电因其灵活性将成为我国新能源开发的主导者。

近年来我国相继颁发了许多利于光伏发电发展的政策，并鼓励个体光伏发电并网。但当光伏系统并入电网后，配电网的结构必将发生变化，当其短路时故障电流的方向、大小均产生变化，继电保护装置与系统之间的配合难度增大，影响其保护性能[8]。因此，为了改善环境、增加新能源利用率及增强配电网安全可靠，因此研究光伏并网对配电网继电保护的影响非常有意义。

光伏发电具有安全无污染、无噪声、结构简单、使用周期长等优点，光伏发电并网能够分散接入电网，实现削峰填谷、增加电网经济性，提高供电可靠性。但当光伏系统并入电网后，配电网的结构必将发生变化，当其短路时故障电流的方向、大小均产生变化，继电保护装置与系统之间的配合难度增大，影响其保护性能。因此，本文在分析光伏并网对配电网影响的基础上，以10 kV馈线为例，分析了故障位置不同，光伏并网对配电网短路电流的影响。

2. 光伏并网对配电网的影响

一般来说，光伏并网对电网造成的影响主要包括以下几个方面：

2.1. 对电网频率稳定性的影响

系统的频率稳定取决于有功功率的平衡，光伏作为常规电源的有效补充，虽然小规模小容量并网对

电网有功平衡的影响微乎其微，但超过一定规模后其出力变化时必然引起系统频率变化，若波动较大，将会影响电网的频率稳定。

2.2. 对故障中短路电流的贡献

光伏多接入配电网，处于电网末端，配电网发生短路故障时其短路电流必然来自系统，光伏接入后必将增大配电网故障时的短路电流，将对配电网中原有的中低压设备造成影响。

2.3. 对电能质量的影响

光伏并网逆变器采用工频调制易产生谐波，并联输出谐波放大现象难以预测与治理；光伏发电具有随机性和波动性特征，发电出力变化比对接入地区的电网电压、波形造成影响，若接入比例过大，对电网频率也会造成影响。

2.4. 对未来智能配电网规划、设计的影响

未来电网发展的方向是智能电网，光伏的接入方式、消纳等必然影响智能配电网的规划、设计。具体说来，光伏接入将加大配电网规划中电力负荷的预测难度，同时光伏受气候等自然条件的影响，无法为规划区提供持续的电力，使配网变电站的选址、配电网的接线和投资等问题更加复杂和不确定。

2.5. 对馈线重合闸的影响

在根本上，大多数配电网所出现的故障现象都是瞬时性的问题。在这个角度上看，在配电网系统中采用重合闸能够有效地提升系统的稳定性，同时还降低电网系统维护的工作量。在单端供电的配电网结构下，对架空馈线都是用重合闸来实现瞬时故障的供电的，这样便可以很好的保护配电网的正常运行了。但随着光伏电源的引入，这个问题就不那么简单了。如果光伏电源与配电网之间的联络线在发生故障后跳开了，那么光伏电源就不会影响重合闸对配电网的保护作用。

3. 光伏发电并网对配电网继电保护的影响

配电网的供电可靠性、灵活性和安全性由于光伏发电系统的并入将会提高，但配电网的结构也因此发生变化，配电网短路电流的大小、方向受到不同程度的影响，导致配电网继电保护动作越来越复杂。

4. 不同故障位置光伏并网对配电网的影响

以 10 kV 馈线为例，分析了光伏发电系统对配电网三相短路时短路电流的影响。

如图 1 为含光伏发电系统的配电网模型，光伏发电系统直接接在馈线 AB 段上。设系统容量为 $S = 100$ MW，系统电压为 $E_s = 10.5$ kV，系统电抗为 X_s ，光伏发电系统电压为 E_p ，等效阻抗为 X_p ，为了分析方便，令 $E_s = E_p = 1$ ，系统电抗 $X_s = 0.5$ ，线路电抗值 $X_1 = X_2 = aX_s$ ， $X_3 = X_4 = 2aX_s$ ， a 取值为 6；光伏发电系统的等效电抗为 $X_p = bX_s$ ， b 取值为 3，位于距离母线 A 的 zX_3 处；假设在线路 AD 的 k_1 点发生三相短路， k_1 点到 A 的电抗值为 xX_1 ；在线路 DE 的 k_2 点发生三相短路， k_2 点到 D 的电抗值为 yX_2 ，如图 2 所示。

4.1. k_1 点发生故障

当 k_1 点发生三相短路时， k_1 点的短路电流由 S 和 PV 共同发出，其值为：

$$I_{R_1} = \frac{1}{\left(ax + \frac{b + 2az}{1 + b + 2az}\right) X_s} \quad (1)$$

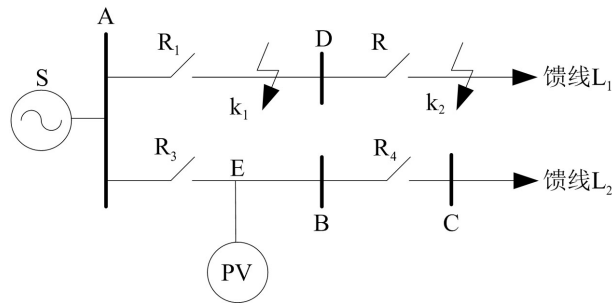


Figure 1. Distribution network model with photovoltaic power supply

图 1. 含光伏发电系统的配网模型

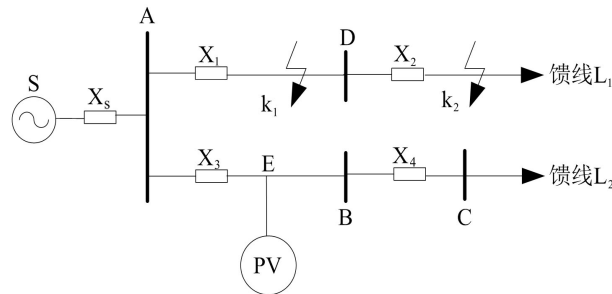


Figure 2. Equivalent circuit of photovoltaic power supply

图 2. 含光伏配电网等值电路

当光伏发电系统并网位置变化(即 z 的取值不同)时, 流经保护 R_1 的短路电流为

$$I_{R_1} = \begin{cases} \frac{8}{24x+3}, & z=0 \\ \frac{20}{60x+9}, & z=0.5 \\ \frac{32}{96x+15}, & z=1 \end{cases} \quad (2)$$

保护 R_1 的 I 段电流保护整定值为:

$$I_{dz1} = K_{rel} \frac{1}{(1+a)X_s} \quad (3)$$

式中, $K_{rel} = 1.2$, 为可靠系数。

用整定软件仿真得出光伏发电系统并网位置不同、故障点 k_1 发生位置不同时, 流经保护 R_1 的短路电流如图 3 所示, 图中曲线从上往下一次为 $Z=0$ 、 $Z=0.5$ 、 $Z=1$ 时流经保护 R_1 的短路电流曲线, 从图中可以看出随着光伏发电系统的并网位置逐渐靠近母线 A, 流经保护 R_1 的短路电流逐渐增大, 随着 k_1 点越来越靠近母线 A, 流经保护 R_1 的短路电流也逐渐增大。当 k_1 靠近母线 A 首端($x \in [0, 0.5]$)时, 流经保护 R_1 的短路电流远远大于电流速断保护的整定值, 说明在 $x \in [0, 0.5]$ 内保护 R_1 能可靠动作、且灵敏度较高; 但当 k_1 靠近母线 A 末端($x \in [0.8, 1]$)时, 流经保护 R_1 的短路电流小于电流速断保护的整定值, 此时可由限时电流速断保护在一定延时 Δt 后隔离 k_1 点。为避免光伏发电系统并入配电网后对短路电流的助增作用使电流速断保护的保护区增加、导致保护 R_1 失去选择性, 应重新整 R_1 的 I 段保护电流值, 使其可靠躲过 AD 端的最大短路电流。

4.2. k_2 点发生故障

当 k_2 点发生三相短路时, 流经保护 R_1 、 R_2 点的短路电流值一样, 由 S 和 PV 共同发出, 其值为:

$$I_{R_1} = \frac{1}{\left[a(1+y) + \frac{b+2az}{1+b+2az} \right] X_s} \quad (4)$$

保护 R_2 的 I 段电流保护整定值为:

$$I_{dz2} = \frac{1}{(1+2a)X_s K_1} \quad (5)$$

式中, $K_1 = 1.3$, 为可靠系数。

当光伏发电系统并网位置变化(即 z 的取值不同)时, 流经保护 R_2 的短路电流为:

$$I_{R_2} = \begin{cases} \frac{8}{24x+27}, z=0 \\ \frac{20}{60x+69}, z=0.5 \\ \frac{32}{96x+111}, z=1 \end{cases} \quad (6)$$

当光伏发电系统并网位置不同、故障点 k_2 发生位置不同时, 流经保护 R_2 的短路电流如图 4 所示, 由图可以看出, 光伏发电系统并网位置不同时, 流经保护 R_2 的故障电流基本相同, 当故障点 k_2 的发生位置不同时流经保护 R_2 的故障电流在整个区间内都远大于电流速断保护的整定值, 因此在馈线 DE 段发生故

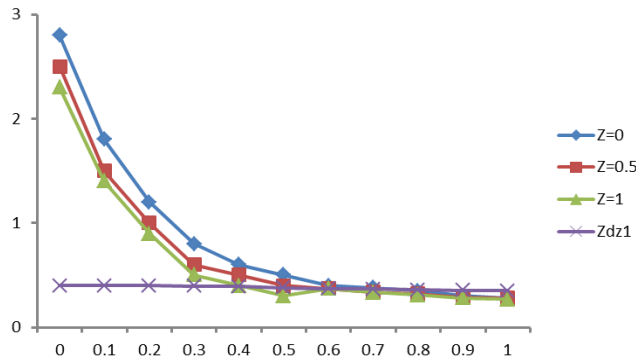


Figure 3. Photovoltaic current flows through different locations in R_1
图 3. 光伏不同位置流过 R_1 的电流

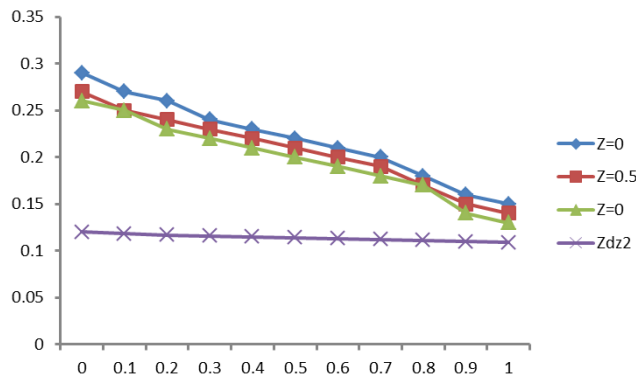


Figure 4. Photovoltaic current flows through different locations in R_2
图 4. 光伏不同位置流过 R_2 的电流

障时保护 R_2 都可以准确灵敏的反应并可靠动作。

综上所述,光伏发电系统并网位置不同,对电流保护的影响不尽相同,光伏发电系统并入配电网后可能引起配电网继电保护的拒动或误动,使保护更加复杂。为解决光伏电源接入配电网后对电流保护带来的影响,提出以下应对措施:

- 1) 配电网故障主动将光伏电源退出,使得传统的配电网保护不受到任何影响。
- 2) 限制光伏电源的接入位置,尽量做到配电网定值能够配合,不需做调整。
- 3) 采用故障电流限流措施,故障时将光伏电源影响降到最低。

5. 结论

本文分析了光伏接入配网后对电网的影响,研究了光伏发电系统故障点发生位置不同时光伏并网对配电网继电保护的影响。当光伏系统并网后配电网变为多电源结构,改变了流经相邻馈线保护的故障电流的大小和方向,进而导致保护的误动或拒动,使配电网继电保护更加复杂,因而传统的电流保护已不能适应含光伏发电的配电网,需要进一步研究含光伏系统配电网的继电保护整定方案。

参考文献 (References)

- [1] 王立乔,孙孝峰. 分布式发电系统中的光伏发电技术[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 徐青山. 分布式发电与微电网技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [3] 韩英铎,姜齐荣,谢小荣,等. 从美加大停电事故看我国电网安全稳定对策的研究[J]. 电力设备,2004,5(3): 8-12.
- [4] 邵德军,尹项根,陈庆前,等. 2008年冰雪灾害对我国南方地区电网的影响分析[J]. 电网技术,2009,33(5): 38-43.
- [5] 曾鸣,李娜,刘晓立. 印度大停电对我国电力工业的启示[J]. 华东电力,2012,40(8): 1273-1276.
- [6] 梁有伟,胡志坚,陈允平. 分布式发电及其在电力系统的应用研究综述[J]. 电网技术,2003,27(12): 71-75.
- [7] 王成山,王守相. 分布式发电供电系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化,2008,32(20): 1-4.
- [8] 季阳. 分布式发电技术与智能电网技术的协同发展趋势[J]. 电网技术,2010,34(12): 15-23.