

The Pilot Protection Programmes of Distribution Network Including Microgrid

Yi Shi

School of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University Of Technology, Zibo Shandong
Email: 550926482@qq.com

Received: Sep. 28th, 2016; accepted: Oct. 15th, 2016; published: Oct. 19th, 2016

Copyright © 2016 by author 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

Firstly, this paper analyzes the effect of micro-microgrid-connected group on distribution network protection. Microgrid network will cause the malfunction of protection, refuse and protection to lose selectivity, and bring many adverse effects to the protection of distribution network. Secondly, this paper proposes a new scheme based on the comparison of the current vector of fault component. The fault line is determined by comparing the current phase information collected by the direction element, and the two ends of the longitudinal link are protected to allow the signal to be disconnected. The project makes full use of the allowed type longitudinal comparison protection action speed and high sensitivity advantage; without voltage information, reducing information exchange, improving the accuracy and reliability of the protection action; application of directional element is greatly reduced to allow type communication channels, improving the reliability of allowed type longitudinal comparison protection. At last, this paper builds the Simulink simulation model, and analyzes the feasibility of the scheme under different fault conditions, which can effectively solve the micro network connected to distribution network protection problems.

Keywords

Microgrid, Distribution Network, Directional Element, Allowable Longitudinal Direction Comparison Protection

含微网群并网的配电网纵联保护方案

石毅

山东理工大学电气与电子工程学院, 山东 淄博

文章引用: 石毅. 含微网群并网的配电网纵联保护方案[J]. 智能电网, 2016, 6(5): 269-277.

<http://dx.doi.org/10.12677/sg.2016.65030>

摘要

首先, 本文分析了微网群并网对配电网保护的影响。微网群并网会引起保护的误动、拒动以及使保护失去选择性, 给配电网的保护带来了许多不利的影响。其次, 本文提出了一种基于故障分量电流向量比较的允许式纵联保护方案。通过比较方向元件采集的电流相位信息来确定故障线路, 并由纵联线路两端保护发送允许信号断开故障线路。该方案充分发挥了允许式纵联比较保护的動作速度快及灵敏度高的优势; 无需电压信息, 减少了信息交互, 提高保护动作的准确性与可靠性; 方向元件的应用极大地降低了允许式对通讯通道的要求, 提高了允许式纵联比较保护的可靠性。最后, 本文搭建Simulink仿真实验模型, 分析了在不同故障情况下该方案的可行性, 能够有效解决微网群并网给配电网保护带来的问题。

关键词

微网群, 配电网, 方向元件, 允许式纵联方向比较保护

1. 引言

微网凭借其灵活的切换并网与孤岛运行模式, 以及通过调节控制方式为配电网削峰填谷等优势, 实现了分布式电源的灵活、高效应用, 解决数量庞大、形式多样的分布式电源并网问题, 在社会中引起高度重视。主动配电网正由分布式电源并网, 逐步转变成为微网群并网。多个微网的并入给传统的配网保护带来一系列问题, 微网群的接入改变了配电网的结构, 使得单辐射配网变成了多端供电的有源网络; 此时配网的潮流以及故障电流可能由单向流动变为双向流动, 大小和方向均具有不确定性。传统的配网保护已经不能满足微网群并网下的配网保护, 微网群的并入可能导致原有保护装置的灵敏性降低或选择性失去, 使得保护装置拒动或误动。[1]-[5]为了应对微网群并网对传统的配电网保护造成的不利影响, 国内外学者做了大量的研究工作。文献[6]为配网保护提出一种自适应保护方法, 此方法有效地提高了电流保护的灵敏度, 但是无法满足因外部电源接入而产生潮流及故障电流双向流动, 从而不能解决因双向潮流而产生的非故障电流保护误动作的问题。文献[7]提出适用于主动配电网的反时限低阻抗保护方案, 此保护需要电压信息来计算阻抗, 而配电网中经常不能提供电压信息。文献[8]研究含分布式电源的电网故障特性与分析方法。文献[9]提出利用采集每条线路末端方向信息来进行馈线保护, 同样需要电压信息。文献[10]对主动配电网进行了分区域分析, 主保护通过采集并分析每个电源的同步电流向量来进行故障检测, 不仅需要收集所有电源的同步电流信息, 而且对通信通道和数据同步提出较高要求, 另外该方案还需事先进行潮流分析和短路计算, 工作量巨大, 步骤繁琐, 不适用于主动配网保护。文献[11]使用纵联保护和差动保护来为配电网提供保护。差动保护对通信通道和数据同步要求较高, 纵联保护需要电压信息来构成方向元件, 而配电网中经常不能提供电压信息。本文提出只基于故障分量电流相位的方向元件通过通信通道与纵联方向保护允许式相配合, 灵敏度高速度快, 可实现对全线路的无延时保护。并且, 此方向元件的应用, 避免了纵联方向保护可能因故障电流过低而引起的保护拒动, 并且降低了差动保护对通信通道以及数据同步的要求, 且无需电压信息。

2. 微网群并网对配网保护影响

微网群接入配电网后将改变配电网的拓扑结构以及潮流分布, 使原有辐射型网络变为多端有源网络,

对于传统保护装置及重合闸装置需要作出调整, 提出新的保护方案, 否则会因微网群的接入而引起保护的拒动、误动, 从而影响保护的选择性和灵敏性[12]。

如图 1 所示, 选取特殊位置并入微网, 分别位于母线 M 某一点的 MG1、某一馈线中部的 MG2, 以及某一馈线的末端的 MG3, 忽略微网内部故障, 假设微网内部各分布式电源的发电量已满足微网内部负荷所需, 将其视为独立电源向配网供电。分别分析接入位置不同的微网对其保护上游、保护下游及相邻母线故障的影响。

当 F1 点短路时, QF2 处保护无短路电流流过。在微网并入之前, QF1 处保护的短路电流由电源提供, 当微网 MG1、MG2、MG3 并入配网之后, QF1 处保护则感受到来自电源及并入母线的微网 M1, 以及并入相邻馈线的 MG2、MG3 所提供的短路电流, QF1 处保护的灵敏度会大幅度增加, 即时断开。与此同时, QF4 处的保护感受到来自馈线末端 MG3 所提供的短路电流, 若此电流过大, 则 QF4 处保护容易误动作。若 QF4 处保护未动作, QF3 处保护则会受到来自馈线下游 MG2 与 MG3 所提供的短路电流, 若 MG2 与 MG3 所提供的短路电流达到 QF3 处保护的的动作值时, 将造成 QF3 处的保护误动作。

当 F2 处发生短路时, QF1 处保护受到来自电源及其他馈线的微网所提供的短路电流, 将会失去选择性而断开, 对于 QF3 与 QF4 处保护同样有误动作的风险。

当 F3 处发生短路时, QF1 与 QF2 处的保护不会感受到短路电流, 因此不受影响。而 QF3 处的保护锁感受到来自电源与 MG1 所提供的正向故障电流, 及 MG2 与 MG3 所提供的反向短路电流, 若 MG1 处所提供的短路电流大于 MG2 与 MG3 提供的短路电流之和, 则 QF3 处的保护灵敏度增加, 反之, 则 QF3 处保护流过的电流可能因为达不到动作值而拒动。QF4 感受到来自线路末端微网 MG3 提供的短路电流, 若 MG3 提供的短路电流过大, 可能会引起 QF4 处保护的误动作。

当 F4 处短路时, QF1 与 QF2 处保护不会感受到故障电流, QF3 处会有电源及 MG1 提供的故障电流流过, 可能会使 QF3 失去选择性而断开, 当 QF3 没有因失去选择性而断开时, QF4 处感受到来自电源以及 MG1 与 MG2 提供的正向故障电流, 及末端微网 MG3 提供的反向短路电流, 一般情况下, 正向短路电流远大于反向短路电流, 因此会提高 QF4 处保护的灵敏度, 使其快速断开。若 QF3 因失去选择性而断开, 则 QF4 处流过的电流为 MG2 提供的正向电流与 MG3 提供的反向电流, 一般情况下会使流过保护的电流过小而拒动, 使故障点不断有短路电流流入, 有可能使瞬时性故障演变为永久性故障。

3. 新型允许式纵联方向保护

3.1. 允许式纵联方向比较保护原理

常规的允许式纵联方向保护的的动作原理是通过功率方向元件来判别线路故障的方向, 按一般规定, 母线指向线路的方向为正方向, 线路指向母线的方向为反方向。只有当功率方向元件判断流过的功率方向为正时, 发信机才能向对侧发送允许信号, 侧收信机接收不到允许信号, 就不允许其侧保护跳闸; 在内部故障时两侧方向元件均判断为正方向, 又都向对侧发送允许信号, 两侧收信机都收到允许信号, 为各侧保护跳闸提供条件。允许式纵联方向保护由于其工作原理不需要时间配合, 使高频保护动作时间缩短, 动作速度快, 灵敏度高。

如图 2 所示, 当母线 BC 间发生短路时, 由功率方向为正的一端向对端发送允许信号: A→B、C→D、D→C、F→E, 没侧保护必须在方向元件动作并且受到对端允许信号的前提下才能动作。从图中可知, 仅有故障线路 BC 段满足条件, 保护动作, 将 BC 断开。而非故障线路 AB 与 EF, A 与 F 仅方向元件动作而收不到允许信号; B 与 E 仅收到允许信号而方向元件不动作, 因此 AB 段与 EF 段保护不动作。

如图 3 所示, 起动元件动作后, 正方向元件动作, 反方向元件不动作, 与 2 门起动发信机, 向对端发允许信号, 同时准备起动与 3 门。当收到对端发来的允许信号时, 与 3 门即可经抗干扰延时动作于跳闸。

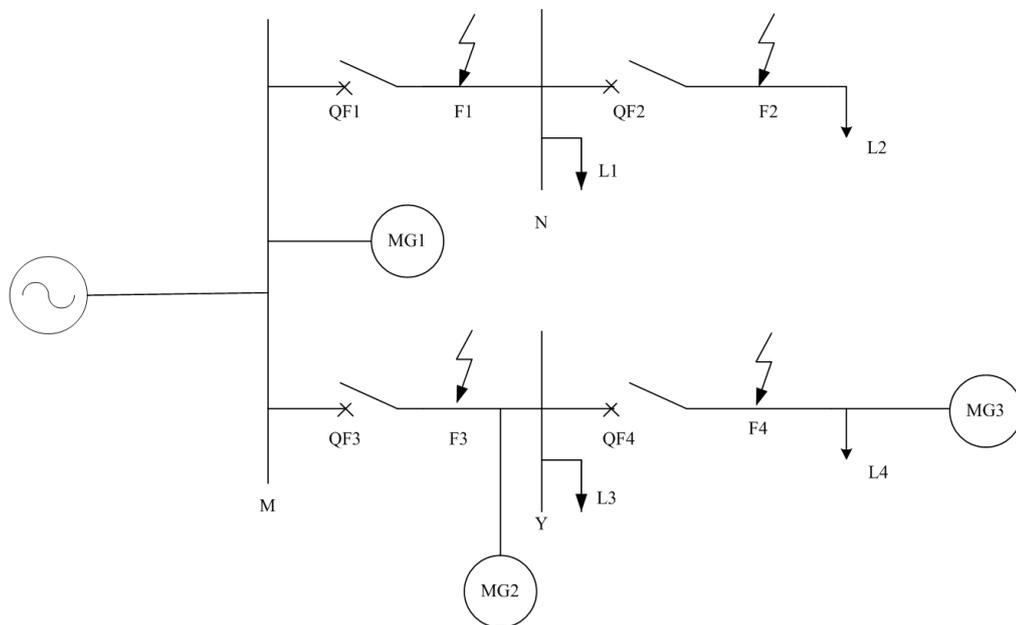


Figure 1. Diagram of distribution network with microgrids fault network
图 1. 含微网群并网的配电网故障示意图

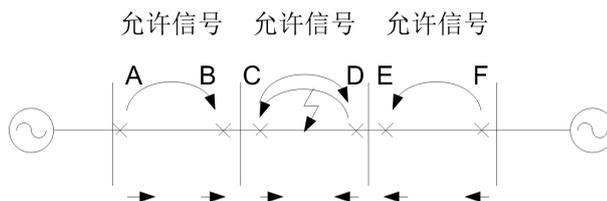


Figure 2. Schematic diagram of the allowable longitudinal direction comparison protection
图 2. 允许式纵联方向保护工作原理图

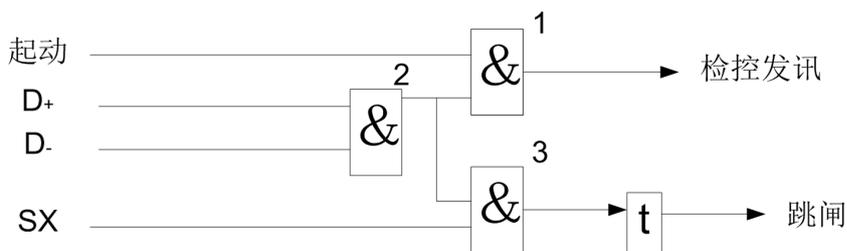


Figure 3. The logic block diagram of the allowable longitudinal direction comparison protection
图 3. 允许式纵联方向保护逻辑框图

允许式纵联方向保护当发生区内故障时，在内部故障时传送高频电流，由于内部故障时可能引起通道破坏，所以允许式保护可靠性较低。欲将允许式纵联方向保护应用到配电网中，需要采取措施，降低其对通讯通道的高要求，以保证允许式纵联方向保护的可靠性。

3.2. 基于故障分量的电流元件

其故障分类图如下所示：

图 4 所示为微网并网的配电网某一馈线故障示意图，其故障分量网络如图 5 所示， $-U_f$ 为故障点的

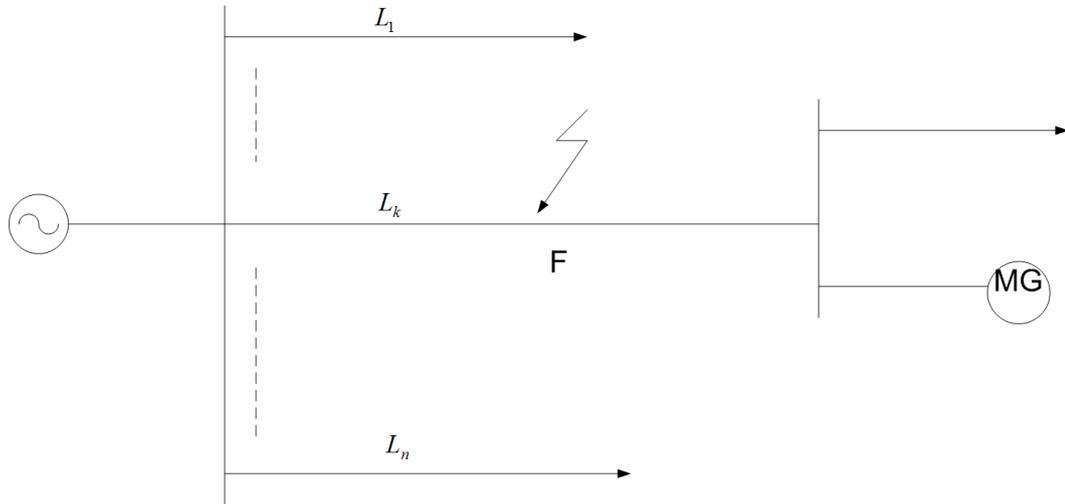


Figure 4. The diagram of the fault of distribution network with microgrid
图 4. 微网并网下配网故障示意图

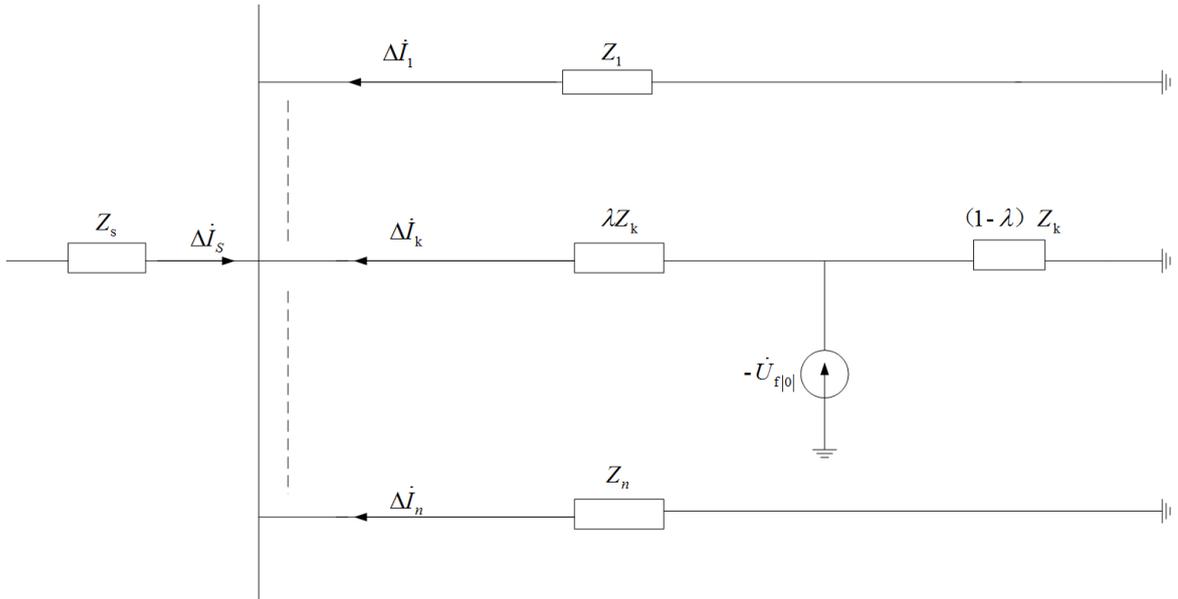


Figure 5. Fault component network
图 5. 故障分量网络

故障分量电势； Z_s 为系统电源阻抗； Z_1 、 Z_k 、 Z_n 表示线路阻抗； $\Delta \dot{I}_s$ 为流过电源支路的故障分量电流， $\Delta \dot{I}_n$ 为各线路的故障分量电流。 $\Delta \dot{I}_k$ 为故障线路故障分量电流。

$$\Delta \dot{I}_s = -\frac{Z'_s}{Z_s + Z'_s} \times \Delta \dot{I}_k \quad (1)$$

式中 $Z'_s = Z_1 // Z_2 \cdots // Z_i \cdots // Z_n (i \neq k)$ 。

流过某条线路的故障分量电流为

$$\Delta \dot{I}_i = -\frac{Z'_i}{Z_i + Z'_i} \times \Delta \dot{I}_k \quad (2)$$

式中 $Z'_i = Z_1 // Z_2 \cdots // Z_{i-1} // Z_{i+1} \cdots // Z_n (i \neq k)$ 。

系统电源阻抗 Z_s 与各馈线阻抗 Z_k 、 Z_n 的阻抗角是相似的， $\Delta \dot{I}_k$ 与 $\Delta \dot{I}_s$ 、 $\Delta \dot{I}_n$ 方向相反，因此线路故障电流方向与其他线路的故障电流方向 $\Delta \dot{I}_s$ 与 $\Delta \dot{I}_n$ 是不同的。

如图 6 所示，发生故障的线路的短路电流故障分量的相位几乎与其他线路的故障分量相位相反，它的幅值也是最大的，可以通过方向元件采集故障分量信息来确定故障区域，并且通过幅值的比较来增强判据。

依据故障线路与其他线路电流的相位差来定位故障线路，本文采用基于故障电流相位的方向元件，即至少采集 3 条以上的线路电流分量，若其中一条线路的电流分量与其他线路的电流分量相差大约 180° ，则定位此故障线路。其判据如下[13]：

$$\arg \frac{\Delta \dot{I}_k}{\Delta \dot{I}_j} \approx 180^\circ \quad (3)$$

式中， $j \neq k$ ，且 $j=1 \cdots n, n \geq 3$ 。

3.3. 应用方向元件的允许式纵联方向比较保护

本文所提方向元件，只需要 3 条线路的电流测量量即可判断方向。利用此方向元件，与允许式纵联保护相配合，能够准确的定位故障线路，减少了信息交互，并且降低了对数据同步及通讯通道的要求，避免了区内故障引起的通道破坏，增加了纵联比较保护的可靠性。

如图 7 所示，某一馈线短路时，保护装置采集临近线路的电流，根据这些故障分量的电流相位来判断故障方向，当故障方向为正时，向对侧发出跳闸允许信号，并且等待对侧线路发送允许信号，两段保护判断一致时跳闸。并且通过通讯装置向故障线路相连的微网发出退网信号，使其与配网断开，进入孤岛运行状态，避免微网持续向故障点供电。

当 f1 处发生短路时，继电器 RM 收集母线 M 上全部馈线电流，可以判断出在 L1 处发生了正向故障，对于其他线路来说是反向故障，RM 紧接着将收集到的母线 M 上的电流相位信息传递给对侧母线的继电器 RN，与此同时，RN 将收集到的母线 N 上所有电流的相位信息传递给继电器 RM，从而判断出故障在 L1 上，两侧分别向对方发送允许信号，跳开相间短路器。

当 f2 处发生短路时，假设 L2 末端连接降压变压器，则 RM 采集母线 M 上所有电流相位，即可得 L2 发生正向故障，其余线路均为反向故障，L2 线路受端向对侧发出允许信号，并且等待接收对侧发信机发出的允许信号，收到信号后，保护启动，线路跳闸。

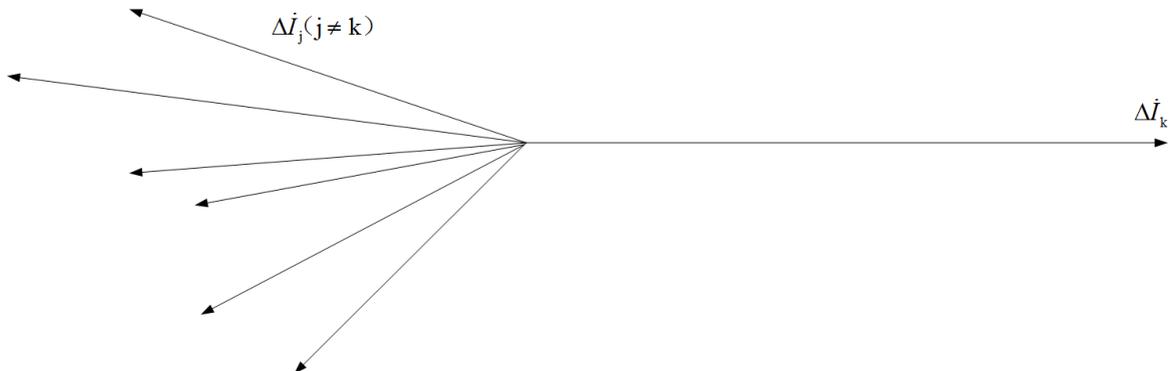


Figure 6. The current fault component diagram of the fault line

图 6. 线路发生故障时电流故障分量图

4. 仿真验证

本文提出了依据故障分量电流相位进行故障定位的方向元件与纵联比较保护相配合进行故障切除，提高了保护的灵敏度及选择性，并且此元件能够防止非故障线路误动作，为检验本文所提出的方向元件理论依据是否准确，使用 Simulink 进行仿真验证此方向元件的有效性显得意义重大。

仿真模型如图 8 所示，模拟了输电网中 330 kV 系统经过 100 km 的输电距离以及降压变压器为配电网中的一条低压母线 M 供电。母线 M 上接入了一个微网以及负荷 LD1、LD2、LD3。模拟的微网中，为设参简便，定为一由 10 台额定功率 1.5 MW 的双馈风机组成的风力发电厂，经过升压变压器由公共节点 (PCC)接入配网，在理想状态下持续为配网供电[14]。模型中采用 Crowbar 电路来建立此微网系统。负荷主要有电阻和电感构成，阻抗角为 39.1° ，有功功率 $P = 1500 \text{ kW}$ ，无功功率 $Q = 1200 \text{ kW}$ 。

微网 MG 与负荷 LD1、LD2、LD3 接入配网，并通过降压变压器与大电网相连。设定变压器额定容量为 1500 MW，短路功率 8 GW。在 F1 及 F2 模拟不同类型故障来验证方向元件的可靠性，从而判定能否与纵联保护相结合提高配网稳定性。判断相位过程中通过正序分量来计算，可以反映各种类型的故障。

图 9 表示 F1 点发生三相短路故障时，流入微网线路电流与母线 M 上其他线路电流的相对相位。 α_1 为流入微网支路的电流超前流入负荷 LD1 支路电流的相位， α_2 为流入微网支路的电流超前流入负荷 LD2 支路电流的相位， α_3 为流入微网支路的电流超前流入负荷 LD3 支路电流的相位，采样间隔为 0.05 ms。从图中可以看出，三相短路刚刚发生时，三条波形波动幅度较大，但波形基本一致，在 $120^\circ \sim 150^\circ$ 范围内波动，与微网支路的电流相位近乎反向(相位差接近 180°)，与式(3)中判据对应，可得出母线与微网间线路故障。

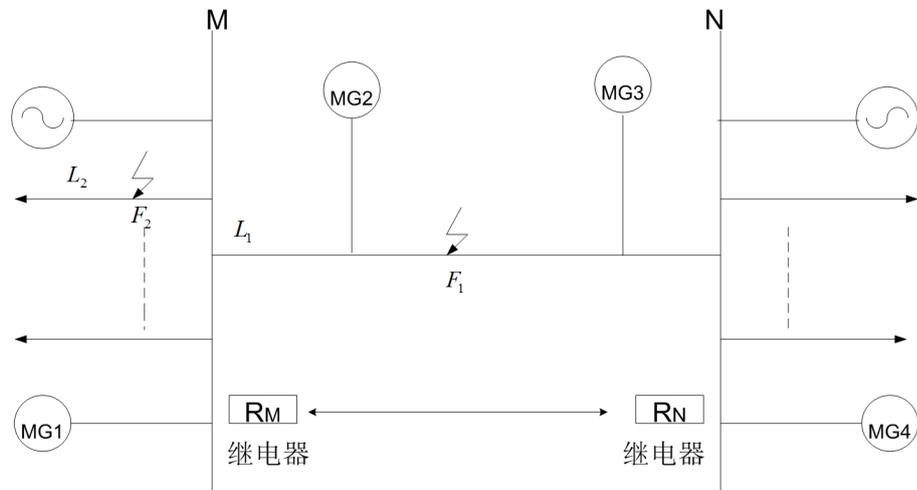


Figure 7. Pilot protection of distribution network line
图 7. 配电网线路的纵联保护

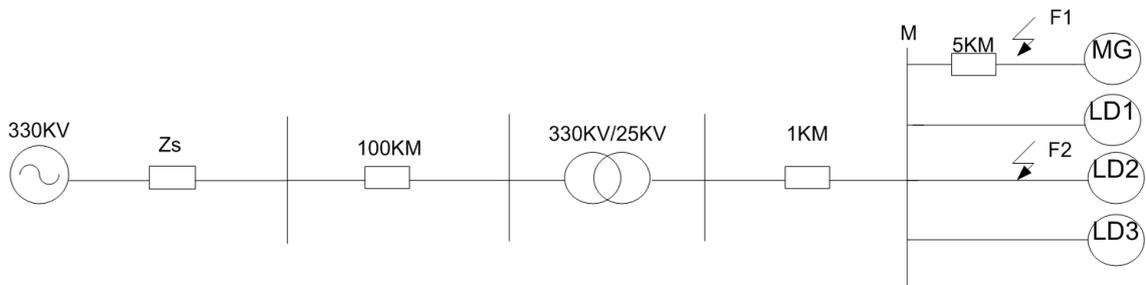


Figure 8. Simulation model diagram
图 8. 仿真模型图

图 10 表示 F2 点发生三相短路故障时，流入负荷 LD3 线路的电流与母线 M 上其他线路电流的相对相位。 α_1 为流入负荷 LD3 支路的电流超前流入微网支路电流的相位， α_2 为流入 LD3 支路的电流超前流入负荷 LD1 支路电流的相位， α_3 为流入 LD3 支路的电流超前流入负荷 LD2 支路电流的相位，采样间隔为 0.05 ms。由图中可以看出，三相短路故障发生的起始阶段，3 个波形的差别比较大，由于故障后微网中双馈风机的控制方式发生改变，引起 α_1 与其他两个波形的差别比较大，但 3 个波形的波动范围在 $110^\circ\sim 190^\circ$ 波动范围内，依然符合式(3)的判决，证明故障在母线 M 与负荷 LD3 之间的连接线上。

仿真结果与对基于故障分量电流向量的方向元件理论分析相吻合，证明了此元件在多端纵联保护中

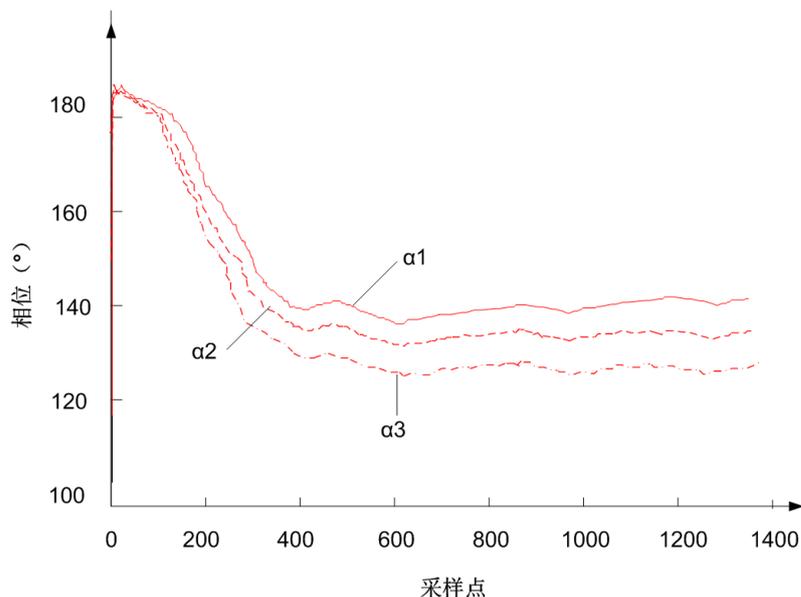


Figure 9. Fault component circuit phase diagram of three phase short circuit at F1
图 9. F1 点三相短路时故障分量电路相位图

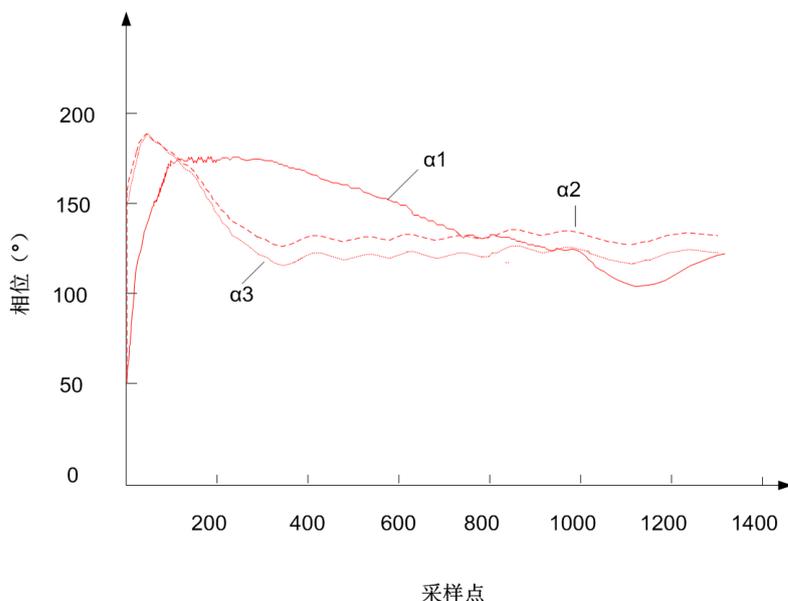


Figure 10. Fault component circuit phase diagram of three phase short circuit at F2
图 10. F2 点三相短路是故障分量电路相位图

的可用性。此外，还在 F1 与 F2 点模拟了各种类型的故障，实验结果均证明了依据故障分量电流相位的方向元件可靠性。依据此方向元件与允许式纵联保护配合，降低了纵联保护方向元件对信息采集的难度，且不需要采集电压信息[15]，避免了因电力电子器件的限流引起微网提供短路电流过小而使保护拒动，增加了纵联保护的灵敏度，以及降低了允许式纵联方向保护对通讯通道的要求，增加了其可靠性。

5. 总结

由于微网群并网的影响，传统的三段式保护已经不能满足配电网的保护需求，本文结合输电线路中已经成熟的允许式纵联方向比较保护，并提出一种依据故障分量电流相位的方向元件与之配合，通过加装此方向元件，降低了允许式纵联保护对通讯通道的要求，增大了允许式保护的可靠性，并且不需要电压信息。通过在母线所连的所有馈线加装此方向元件，能够准确的找到故障点所在线路，并通过线路两端的继电器相互发送允许信号断开故障线路，有效的减少了因微网群并网所产生的非故障线路误动作以及故障线路保护灵敏度降低等不利影响。

参考文献 (References)

- [1] 丛伟, 潘贞存, 王成山, 等. 含高渗透率 DG 的配电系统区域纵联保护方案[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(10): 81-85.
- [2] 林霞, 陆于平, 吴新佳. 分布式发电系统对继电保护灵敏度影响规律[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(1): 54-59.
- [3] 孙鸣, 赵月灵, 王磊. DG 容量及接入方式对变电站继电保护定值的影响[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(9): 46-49.
- [4] 林霞, 陆于平, 王联合. 分布式发电条件下的新型电流保护方案[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(20): 50-56.
- [5] 余琼, 余胜, 李晓晖. 含分布式电源的配网自适应保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 110-115.
- [6] 马静, 王希, 米超, 等. 含分布式电源的配电网自适应保护新方法[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 204-208.
- [7] 黄文焘, 邵能灵, 杨霞. 微网反时限低阻抗保护方案[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 105-114.
- [8] 贾伟, 张永生, 吴寿山. 用于含分布式电源配网保护的无电压方向元件研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 94-97.
- [9] 孔祥平, 张哲, 尹相根, 等. 含逆变型分布式电源的电网故障电流特性与故障分析方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(34): 65-74.
- [10] 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, 33(12): 71-74.
- [11] Sukumar, M.B. and Adly, A.G. (2004) Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems with High Penetration of Distributed Generation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **19**, 56-63. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2003.820204>
- [12] Roy, M. and Ken, F. (2006) High-Speed Distribution Protection Made Easy: Communication-Assisted Protection Schemes for Distribution Applications. Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources. Clemson, SC: IEEE, 123-138.
- [13] 刘凯, 李幼仪. 主动配电网保护研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(16): 54-61.
- [14] 张保会, 李光辉, 王进, 等. 风电接入电力系统故障电流的影响因素分析及对继电保护的影响[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(2): 2-8.
- [15] 高厚磊, 李娟, 朱国防, 等. 有源配电网电流差动保护应用技术探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 40-44.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：sg@hanspub.org