

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.03.026

# 含有逆变器的微网保护方法的研究

张玉凤<sup>1</sup>, 陈松立<sup>2</sup>, 吉高卿<sup>3</sup>

(1. 江苏建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221116;  
3. 河北建筑工程学院, 河北 张家口 075000)

**摘要:** 微网故障检测与保护的研究是配电网领域的热点问题。文中首先分析了微网保护面临的主要问题, 然后提出了一种新的对含有逆变器分布式电源的微网内部故障的保护方法: 实时计算分布式电源等效工频阻抗幅值的变化情况来识别微网内部线路故障; 利用不平衡电流来识别微网内部负荷故障; 最后基于 PSACD/EMTDC 搭建的仿真模型验证了新方法的正确性。

**关键词:** 微网故障; 逆变器; 分布式电源; 等效阻抗

## Study on Protection Method of Micro-grid with Inverter

ZHANG Yufeng<sup>1</sup>, CHEN Songli<sup>2</sup>, JI Gaoqing<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Jiangsu Xuzhou 221116, China;  
2. China University of Mining and Technology, Jiangsu Xuzhou 221116, China;  
3. Hebei University of Architecture School of Electrical Engineering, Hebei Zhangjiakou 075000, China)

**Abstract:** The detection fault method and protection for micro-grid is a hot issue in distribution system. The major problem that the micro-grid facing is first analyzed. Then, a novel protection method for the micro-grid that includes inverter is first proposed in this paper. The micro-grid line fault can be discriminated by calculating the amplitude of equivalent impedance, and the load fault can be identified by the unbalanced current. At last, the simulation results prove the new method to be reasonable.

**Key words:** micro-grid; inverter; distributed generation; equivalent impedance

## 0 引言

目前, 中国能源与环境问题日益严重, 微网技术作为一种新型利用新能源的方式, 得到了广泛关注。目前微网的结构主要包括 3 类: 交流微网, 直流微网以及混合微网, 其中交流微网是目前最为流行的一种组成方式, 在这种结构条件下, 微网的电源、能量的分配以及负荷都是以交流形式进行的<sup>[1-3]</sup>。

由于目前微网的示范工程大都容量较小, 并且拓扑结构较为简单, 因此在保护配置上都选择简单的过流保护<sup>[4-11]</sup>。但事实上, 随着微网规模的不断扩大, 微网保护变得越来越复杂, 特别是在含有逆变器的微网保护中, 由于逆变器过流能力较低的原因, 微网内部故障时在分布式电源和逆变器共同调节下短路电流较小, 此时依靠简单的过流保护已经很难

满足保护的要求, 此时需要其他的保护策略来识别内部故障。

文中重点研究了微网在孤岛运行方式并且分布式电源含有逆变器时正确识别微网内部故障的方法: 对于微网内部线路故障, 可以通过微源的等效阻抗变化情况来识别故障; 对于微网内部负荷故障, 可以采用三相电流之和或者测量流经中性点处的电流来识别负荷故障; 最后基于 PSACD/EMTDC 仿真验证了结论的正确性。

## 1 微网保护面临的问题及保护方案的研究

### 1.1 微网保护面临的问题

微网保护设置的根本原则与大电网保护相类似, 要求保护具有选择性, 一般不希望直接将微源切除, 且微网中电源不仅给普通负荷供电, 还会给许多热负荷提供电能<sup>[6]</sup>。微网的某些特点决定了微网保

收稿日期: 2015-10-08; 修回日期: 2015-11-21

护又与传统大电网保护有所不同:传统电网中潮流往往具有单一性,而微网中潮流具有双向性;传统电网在发生内部故障时,电流显著增大,利用电流显著增大的特性可以为保护提供特征;微网既可以并网运行,也可以孤岛运行,在并网运行时,电网可以给微网提供较大的短路电流,此时过流保护一般可以正确识别故障。在微网孤岛运行时,其容量较小,特别是在含有逆变器的微网情况下,此时提供的短路电流有限;由于逆变器过流能力较低,此时在分布式电源和逆变器共同控制下,短路电流往往较小,简单的过流保护已经无法满足保护的要求,不同电网下短路电流基波幅值曲线见图1。经典大电网短路时,基波电流幅值将会大幅度增加,见图1(a);但在微网内部短路时,基波电流幅值增加有限,见图1(b)。基于上述分析,文中将重点分析微网在孤岛运行且分布式电源含有逆变器情况下,微网保护的配置问题。

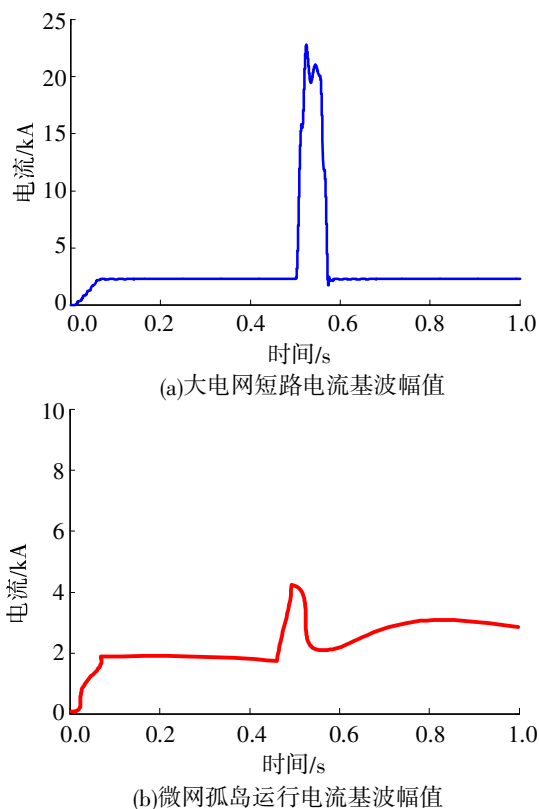


图1 不同电网下短路电流基波幅值曲线

Fig. 1 The change curve of the amplitude of primary current under different power systems

## 1.2 保护方案的研究

典型的分布式电源含有逆变器的微网示意图见图2, DG表示分布式电源。当微网外部故障时,通过断开静态开关使得微网处于孤岛运行状态。微网外部故障时,由于主网会提供较大的短路电流,因此故障可以快速切除。但对于微网内部故障时,微网保护仍然存在较大问题。微网内部故障主要包括2大部

分:图2中F点表示微网线路故障; $F_1$ 点表示微网内部负荷故障<sup>[12-19]</sup>。

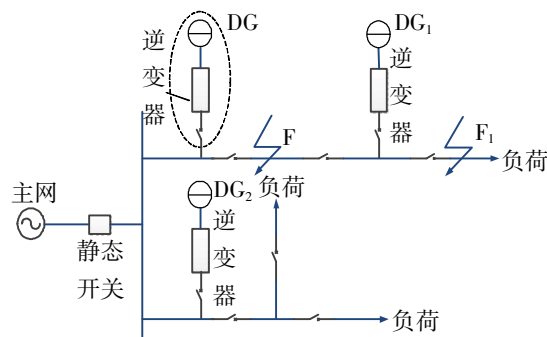


图2 典型微网电路图

Fig. 2 A typical microgrid circuit diagram

### 1.2.1 F点故障时保护方案的研究

对于图2中虚线框所示部分,由电路原理可知,可以将其等效为一个理想电压源串联等效阻抗的形式,见图3。当微网稳定运行时,等效阻抗 $Z_{eq}$ 数值稳定,但当发生F故障,特别是在微源出口附近故障时(事实上,微网内部线路往往较短,因此在微网线路内部故障时相当于在微源出口处短路),等效阻抗 $Z_{eq}$ 波动较大,因为分布式电源DG一般都配置限流模块,并且逆变器本身也会限制短路电流幅值的增大。所以对于微网内部F故障,可以通过实时检测微源出线端电压 $U$ 和电流 $I$ 的大小,实时计算等效工频阻抗 $Z_{eq}$ 幅值大小;如果幅值波动较大,则认为是F故障,如果 $Z_{eq}$ 幅值较为平稳,则认为F并未发生故障。需要指出的是,虽然工频量的计算是需要一定的时间窗长,但大电网的保护一般都是基于工频量的保护,因此在微网保护中采用工频量是可行的。

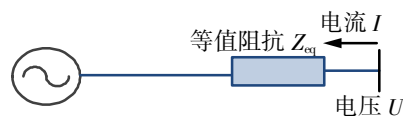


图3 微源等效示意图

Fig. 3 The equivalent diagram of a trickle source

### 1.2.2 $F_1$ 故障保护方案研究

当负荷发生内部故障时,无论负荷中性点是否接地,此时负荷三相电流都不再对称,会有不平衡电流产生。不同负荷接线图见图4。当负荷中性点不接地时,可以通过电流互感器实时计算电流 $i=i_a+i_b+i_c$ 的大小,如果电流 $i$ 由0突然增大,则表示负荷内部发生故障,见图4(a);当负荷中性点直接接地时,见图4(b),可以直接测量中性点电流 $i_n$ 的大小来识别负荷内部故障。因此可以设置一个合理的门槛值,当检测到的不平衡电流超过门槛值时,则表示负荷内部故障,否则负荷并未发生内部故障。需要指出的是,该方法在中性点处附近发生故障时,不平衡电流

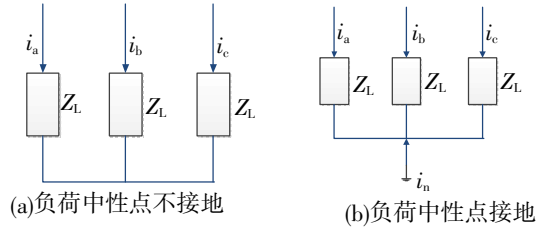


图4 不同负荷接线图

Fig. 4 Different wiring diagram of the load

很小,可能低于门槛值,因此不能正确识别内部故障。但按照继电保护的要求,对于此类故障,由于不平衡电流较小,保护可以延迟动作或者只发信号。

## 2 仿真验证

基于 PSACD/EMTDC 搭建了图 2 所示的仿真模型,仿真模型中只保留了 DG 一个分布式电源。仿真中 DG 采用  $P$ (有功)— $f$ (频率)和  $Q$ (无功)— $U$ (电压)下垂控制,其总体控制结构见图 5<sup>[20]</sup>。图 5 中电压、电流控制器按照文[5]所设计。故障起始时间为 1 s,持续 10 个周波,系统频率为 50 Hz。

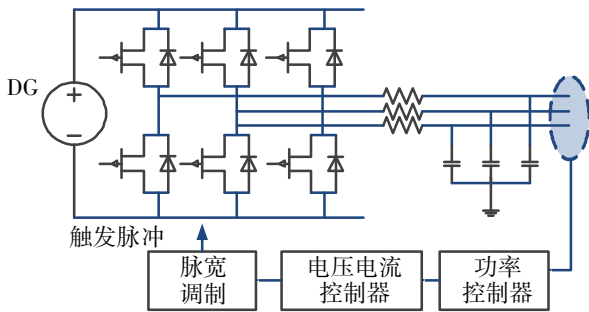


图5 分布式电源控制图

Fig. 5 The control of distributed generator

### 2.1 微网线路故障仿真图

微网正常运行及 F 点故障时等效阻抗  $Z_{eq}$  的变化曲线图见图 6。通过图 6(a)可以看出当微网稳定运行时,等效阻抗  $Z_{eq}$  的幅值非常平稳,但当 F 点故障时,在 DG 和逆变器共同控制下,等效阻抗  $Z_{eq}$  幅值波动较大,但一般呈现出先减小后增大的趋势,这是因为故障刚开始时电流增大,但随后电流在微源和逆变器共同控制下抑制了电流的增大过程。通过图 6(b)可看出,等值阻抗与微网稳定运行时差异较大。

### 2.2 负荷内部故障仿真分析图

不同负荷接线方式下不平衡电流的变化曲线见图 7。图 7(a)表示负荷中性点不接地情况下 F<sub>1</sub> 点发生金属性接地故障时不平衡电流曲线图,图 7(b)表示负荷中性点接地情况下 F<sub>1</sub> 点经 5 Ω 过渡电阻发生接地故障时不平衡电流曲线图。通过图 7 可以看出,无论负荷中性点是否接地,当微网负荷内部故障时,不平衡电流都由 0 突然增大,因此可以通过设置

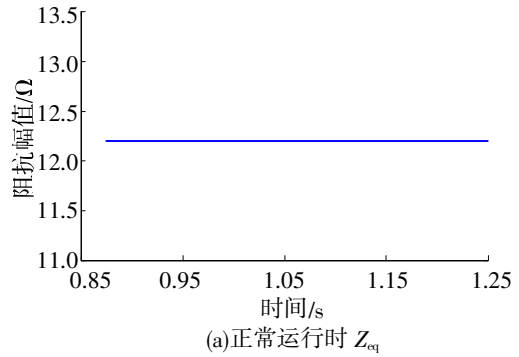
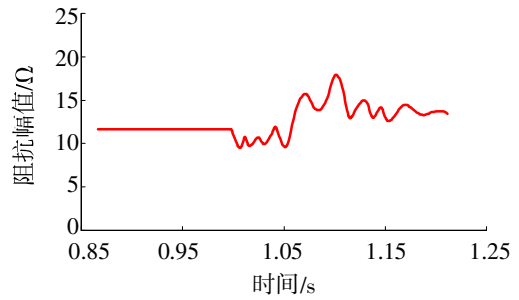
(a)正常运行时  $Z_{eq}$ (b)故障时  $Z_{eq}$  变化曲线图

图6 等效阻抗幅值变化曲线图

Fig. 6 The change curve of equivalent impedance amplitude

一个合理的门槛值来正确识别 F<sub>1</sub> 故障,门槛值的设置要考虑不平衡负荷引起的不平衡电流的影响。

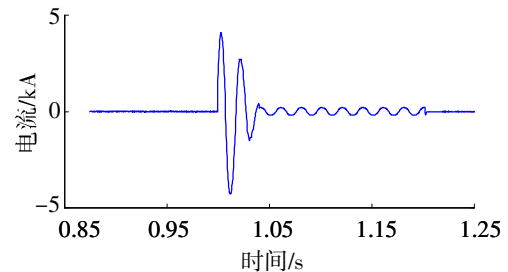
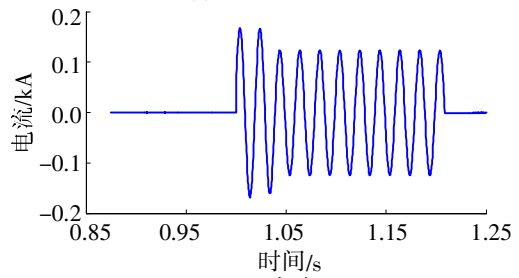
(a) 电流  $i=i_a+i_b+i_c$ (b) 电流  $i_n$ 

图7 不平衡电流变化曲线图

Fig. 7 The change curve of unbalanced current

## 3 结论

文中重点研究了微网在孤岛运行且分布式电源含有逆变器情形下微网内部故障的保护方法:对于微网内部线路故障,可以通过实时检测等效阻抗幅值的大小来识别;对于微网内部负荷故障,可以通过实时检测不平衡电流的大小来识别。新的保护

方法可以规避微网内部故障时短路电流较小的问题,在一定程度上改善了微网保护的性能。而且新的保护方案并不严格依赖于电流的具体变化情况,因此在并网运行时仍然有效。

## 参考文献:

- [1] 潘爱强,时珊珊,董瑞安,等.微网电能质量特征及其监测分析[J].高压电器,2015,51(6):133-138.  
PAN Aiqiang,SHI Shanshan,DONG Rui'an,et al. Power quality characteristics and detection concerning in micro-grid [J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(6):133-138.
- [2] 马喜平,谢永涛,董开松,等.多能互补微电网的能量管理研究[J].高压电器,2015,51(6):108-114.  
MA Xiping,XIE Yongtao,DONG Kaisong,et al. Research on energy management of multi-energy complementary micro-grid[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(6):108-114.
- [3] QIANG Fu,ADEL N,SOLANKI A,et al. Microgrids: Architectures, controls, protections, demonstration [J]. Electric Power Components and Pystems, 2015, 43(12):1453-1465.
- [4] POGAKU N,PRODANOVIC M,GREEN T C. Modeling analysis and testing of autonomous operation of an inverter-based microgrid[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2007, 22(2):613-625
- [5] 张玉海,王新超,许志成,等.微网保护分析[J].电力系统保护与控制,2012,40(11):55-60.  
ZHANG Yuhai,WANG Xinchao,XU Zhicheng,et al. Analysis of microgrid protection [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(11):55-60.
- [6] 邓虹,杨秀,刘隽,等.微网保护技术综述[J].华东电力,2014,42(3): 0504-0509.  
DENG Hong,YANG Xiu,LIU Jun,et al. Review of micro-grid protection technology [J]. East China Electric Power, 2014, 42(3):0504-0509.
- [7] 吴在军,赵上林,胡敏强,等.交流微网边方向变化量保护[J].中国电机工程学报,2012,32(25): 158-167.  
WU Zaijun,ZHAO Shanglin,HU Minqiang,et al. Branch directional variation protection of AC microgrid [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25): 158-167.
- [8] 朱皓斌,吴在军,窦晓波,等.微网的分层协同保护[J].电网技术,2013,37(1):9-14.  
ZHU Haobin,WU Zaijun,DOU Xiaobo,et al. Hierarchical coordinative protection of microgrid [J]. Power System Technology, 2013, 37(1):9-14.
- [9] 丁明,张颖媛,茆美琴.微网研究中的关键技术[J].电网技术,2009,33(11):6-11.  
DING Ming,ZHANG Yingyuan,MAO Meiqin. Key technologies for microgrid being researched [J]. Power System Technology, 2009, 33(11):6-11.
- [10] 梁明辉.微网故障特性分析和保护原理研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [11] 赵上林,吴在军,胡敏强,等.关于分布式发电保护与微网保护的思考[J].电力系统自动化,2010,34(1):73-77.  
ZHAO Shanglin,WU Zaijun,HU Minqiang,et al. Thought about protection of distribution generation and microgrid [J]. Automation of Electric Power System, 2010, 34(1):73-77.
- [12] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微网研究综述[J].电力系统自动化,2007,31(19):100-107.  
LU Zongxiang,WANG Caixia,MIN Yong,et al. Overview on microgrid research [J]. Automation of Electric Power System, 2007, 31(19):100-107.
- [13] 邓虹,杨秀,刘舒,等.微网多级多重保护协调配置与实现[J].电网技术,2014,38(11):3088-3094.  
DENG Hong,YANG Xiu,LIU Shu,et al. Coordinated configuration and implementation of multilevel and multiple protections for microgrid [J]. Power System Technology, 2014, 38(11):3088-3094.
- [14] 丛伟,荀堂生,肖静,等.包含多微网的配电系统故障检测算法[J].电力系统自动化设备,2010,30(7):50-56.  
CONG Wei,XUN Tangsheng,XIAO Jing,et al. Faulty section detection algorithm for distribution system with multi micro-grids [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(7):50-56.
- [15] MATIN G. Protection of power system with distributed generation: state of art[R]. Zurich:Swiss Federal Institution of Technology Zurich, 2005.
- [16] 张迪,陈晶,翟明岳.自适应保护在微网中的应用研究[J].科学技术与工程,2013,35(12):9495-9498.  
ZHANG Di,CHEN Jing,ZHAI Mingyue. The research of adaptive protection in micro-grid [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 35(12):9495-9498.
- [17] 张健.逆变型分布式电源故障特性分析及配电网保护策略研究[D].武汉:华中科技大学,2010.
- [18] 牟龙华,陆健.微网的有限广域一体化保护[J].电力系统及其自动化学报,2012,24(6):20-25.  
MOU Longhua,LU Jian. Limited wide area intergration protection for microgrid [J]. Proceedings of the CSUEPSA, 2012, 24(6):20-25.
- [19] 王涛涛.微网保护的协调化[D].秦皇岛:燕山大学,2013.
- [20] 谢永涛,贾嵘,董开松,等.交流微网整体建模及仿真研究[J].高压电器,2015,51(6):101-108.  
XIE Yongtao,JIA Rong,DONG Kaisong,et al. Modeling and simulation of an AC micro-grid [J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(6):101-108.

张玉凤(1972—),女,硕士研究生,副教授,研究方向为电气工程技术。

陈松立(1954—),男,博士,博士生导师,研究方向为新能源并网技术。

吉高卿(1987—),男,硕士研究生,助教,研究方向为电子信息工程。