

新型电网-微电网 (Microgrid) 研究综述

盛鹁^{1,2}, 孔力¹, 齐智平¹, 裴玮^{1,2}, 吴汉³, 息鹏⁴

(1. 中国科学院电工研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100080; 3. 江西省赣东北供电公司, 江西 乐平 333300; 4. 国家审计署驻长沙特派员办事处, 湖南 长沙 410001)

摘要: 首先介绍了微电网的产生背景, 并对微电网进行定义。其次, 在对比了各国微电网的研究进展现状后, 针对一个典型的微电网阐述了基本运行方式。接着介绍了微电网的电源和储能形式, 并对微源的控制器特性即频率下垂曲线进行了简单的描述。微电网输配电系统也与传统电网有着明显的不同, 由于低压线路参数的特殊性, 需要对功率调节公式进行修正。微电网系统优化与稳定也是微电网的关键研究内容之一, 初步给出了系统优化和稳定运行目标。最后, 在依托电工所在新能源方面的既有成果上, 提出了微电网的将来研究的重点和难点。

关键词: 微电网; 分布式发电; 微电源; 储能; 输配电系统; 功率调节; 系统优化和稳定

A survey on research of microgrid—a new power system

SHENG Kun^{1,2}, KONG Li¹, QI Zhi-ping¹, PEI Wei^{1,2}, WU Han³, XI Peng⁴

(1. Institute of Electrical Engineering(Chinese Academy of Sciences), Beijing 100080,China; 2.Graduate school of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080,China; 3.Gandongbei Power Supply Company,Leping 33300,China; 4.National Audit office of People's Republic of China, Changsha 410001,China)

Abstract: Microgrid is one type of future power systems put forward by foreign researchers, which has a special superiority on not only improving power quality and reliability but also relieving pressure of energy and environment. First, this paper introduces the background and definition of microgrid. Second, different countries' achievements are compared, and basic running mode is represented for a typical microgrid. After energy resource and storing energy being classified, a frequency-droop character is described. Obviously different from classic transmission and distribution system, microgrid has its own feature. And power adjustment formulation has been amended. System optimization and stability is one of key research in microgrid, therefore series of goal is offered preliminarily. In the end, based on achievement by IEE in new energy, emphasis is put forward for future research in microgrid.

This project is supported by National High Technology Research and Development of China (863 Programme) (No. 2006AA05Z246).

Key words: micorgrid; distributed generation; microsource; storing energy; transmission and distribution system; power adjustment; system optimization and stability

中图分类号: TM619

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)12-0075-07

0 引言

在过去几十年里, 电力系统已发展成为集中发电、远距离输电的大型互联网络系统, 通过复杂的功率潮流等各种控制器可对其连续调节, 并对大多数干扰具有鲁棒性。但是近年来用电负荷的不断增加, 而电网建设却没有同步发展, 使得远距离输电线路的输送容量不断增大, 受端电网对外来电力的依赖程度也不断提高, 使得电网运行的稳定性和安全性下降。近年的各种大规模停电事故尤其是 8.14 美加大停电也暴露出目前电力系统的这个严重缺陷^[1]。

鉴于上述问题, 发达国家如德国、日本、美国甚至包括一些发展中国家开始研究并应用多种一次能源形式结合(液体燃料有煤油、汽油、柴油等, 气体燃料有天然气、石油气、煤气、沼气、一切可燃废气等; 动力源更是多样化, 如水能、风能、太阳能等)、高效、经济的新型电力技术——分布式发电技术 DG (Distributed Generation)^[2~5], 即通过在配电网建立单独的发电单元对重要负荷进行供电, 与此同时, 通过 PCU (power-conditioning unit) 和外界电网进行能量交换; 由其特点, 也形象地被称作分散式发电 (Dispersed Generation) 或嵌入式发电 (Embedded Generation)。随之出现了分布式储能技

基金项目: 国家 863 高技术基金项目 (2006AA05Z246)

术 (Distributed Storage), 通过储能装置储存分布式电源的多余的能量, 如超导线圈、储能电容器及储能能力巨大的超级电容器和飞轮等等。通过对上述技术展开研究得到的系列成果, 并结合电力系统用户对电能质量 (Power Quality) 的要求和电力系统发展趋势, 逐步形成了将上述技术综合在一起而形成的特殊电网形式-微型电网 (Micro Grid) [6]。

目前, 国际上对微型电网的定义各不相同 [6~10]。美国电气可靠性技术解决方案联合会 (CERTS-Consortium for Electric Reliability Technology Solutions) 给出的定义为: 微电网是一种由负荷和微型电源共同组成系统, 它可同时提供电能和热量; 微电网内部的电源主要由电力电子器件负责能量的转换, 并提供必需的控制; 微电网相对于外部大电网表现为单一的受控单元, 并可同时满足用户对电能质量和供电安全等的要求。欧盟微电网项目 (European Commission Project Micro-grids) 给出的定义是: 利用一次能源; 使用微型电源, 分为不可控、部分可控和全控三种, 并可冷、热、电三联供; 配有储能装置; 使用电力电子装置进行能量调节。美国威斯康辛麦迪逊分校 (University of Wisconsin-Madison) 的 R. H. Lasseter 给出的概念是: 微电网是一个由负载和微型电源组成的独立可控系统, 对当地提供电能和热能。这种概念提供了一个新的模型来描述微电网的操作; 微电网可被看作在电网中一个可控的单元, 它可以在数秒钟内反应来满足外部输配电网的需求; 对用户来说, 微电网可以满足他们特定的需求: 增加本地可靠性, 降低馈线损耗, 保持本地电压, 通过利用余热提供更高的效率, 保证电压降的修正或者提供不间断电源。图1是威斯康新大学新能源实验室的微电网结构图。

综合以上, 并结合我国电网的实际状况, 本文可以得出微电网的定义: 能量来源主要为可再生能源; 发电系统类型可为微型燃气轮机 (Micro-Turbine)、内燃机 (Gas Engine)、燃料电池 (Fuel Cell)、太阳能电池 (PV Panel)、风力发电机 (Wind Generator)、生物质能 (Biomass Energy) 等; 系统容量为 20 kW~10 MW; 网内的用户配电压等级为 380 V, 或者包括 10.5 kV; 如与外部电网进行能量交换, 电压等级由微电网的具体应用等情况而定。微电网的用电方式可以达到以下要求。

经济: 能源合理梯级利用—提高能源利用效率 (60%~90%)—节能, 投资回报率高、降低成本和投资, 就近供电, 减少网损。

环保: 减轻环保压力 (排放总量减少、减少征地及线路走廊、减少高压电磁污染)。

能源: 多个电源, 多种燃料, 可为用户同时提供多种能源 (电、热、冷), 解决能源危机和能源安全问题, 可利用新能源 (氢) 和可再生能源。

安全及可靠性: 调峰问题 (与燃气互补)、备用问题, 提高供电可靠性和供电质量, 防止大面积停电事故的发生, 防灾害 (战争、地震、恐怖活动等)。

电力市场: 适应电力市场发展需要。

投资风险: 降低大型电站建设投资风险。

扶贫: 解决边远地区供电困难。

目前国内多在分布式发电和分布式储能上开展相关的研究 [11~14], 对微电网的研究还基本处在起步阶段。本文在介绍国外微电网研究现状的基础上, 对微电网所需研究的相关关键问题进行归纳和总结。

1 微电网基本结构

微电网可以满足一片电力负荷聚集区的能量需要, 这种聚集区可以是重要的办公区和厂区, 或者传统电力系统的供电成本太高的远郊的居民区等。因此, 相对传统的输配电网, 微电网的结构比较灵活。

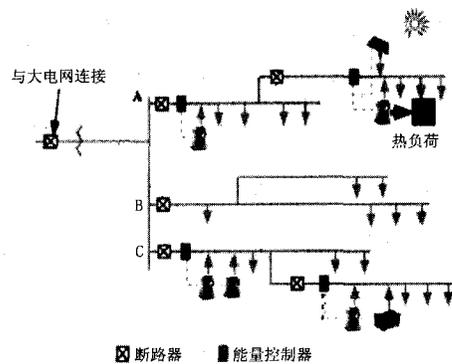


图1 微电网示意图

Fig. 1 Micro grid architecture

如图1所示的微电网中, 该系统为放射状的带有馈线ABC以及负载。此系统与外部配网通过隔离开关连接。负载侧馈线电压通常为 480 V 或根据用户自己定义。馈线A所带的微电源可以热、电双联供。考虑到潮流控制器在馈线A热负荷的附近, 控制器通过能量管理系统在允许的程度内来调节潮流。当负载变化时, 本地微电源自行调节功率输出。馈线A和C连接重要负荷 (也称敏感负载), 且有微电源连入微网; 馈线B连接有非重要的负荷, 在一定情况下可以切除该馈线及其负荷。例如, 当配网系统中的电能质量达不到用户要求时, 微电网可以使用如图1所示的隔离装置将自己与外部电网隔

离; 同时, 馈线 B 可以通过 B 点的断路器将自己与微电网和电网同时隔离。

图 1 只是微电网结构的一种形式, 具体的结构随负荷等方面的需求而不同, 如敏感负荷对电能质量和可靠性要求更高等。但是基本单元应包含微能源、蓄能装置、管理系统以及负荷。其中大多数微能源与电网的接口都要求是基于电力电子的, 以保证微电网以单个系统方式运行的柔性 and 可靠性。表 1 列出了国外的微电网几种结构^[15~19]。

2 微电源和储能及其控制器

2.1 微电源和储能分类

微电源是微电网中重要的组成部分。它反应时间在毫秒级, 采集本地信息来控制微电源。微电源

自身中基本的动作不需要为电源之间的联系, 即每个变换器在负荷变化的情况下不用与其他电源等装置进行数据交换。控制器的基本输入量是输出功率的稳定工作点时的母线电压和功率。在时域中, 电源总供给功率和负荷总需求功率都是动态变化的, 并且两者并不是每时每刻都能达到供需平衡。在电源总发电功率大于负荷总需求功率时, 将多余的能量储存在储能单元中; 同样的, 在电源总发电功率小于负荷总需求功率时, 将储能单元中储能的能量以恰当的方式释放出来。如今, 储能方式有许多种, 各种方式的性能也是各异。需要研究根据系统稳定的需求来选择储能方式^[5,7]。

传统电力系统的电源都是同步发电机。然而, 微电源因燃料来源而各不相同, 我们可以将供电电源分成三种基本的大类:

表1 国外微电网研究比较

Tab.1 Foreign research of microgrid

研究机构	建立时间	系统容量	电压等级	能 源
威斯康辛大学麦迪逊分校	2001	200 kW	208 V/480 V	微燃机、燃料电池
芬兰Fampere工业大学	2005	96 kW	400 V	太阳能电池、蓄电池
希腊雅典工业大学	2002	80 kW	400 V	微燃机、太阳能电池、燃料电池、风机, 飞轮储能
欧盟微电网实验室 (葡萄牙、希腊、英国等)	2002	210 kW	400 V	燃料电池、微燃机, 飞轮储能、蓄电池
加拿大多伦多大学	2005	7.5 MW	13.8 kV/480 V	柴油/汽轮机

1) 直流电源, 如燃料电池、太阳能电池、蓄电池以及储能电容器等, 其并网方式如图 2。

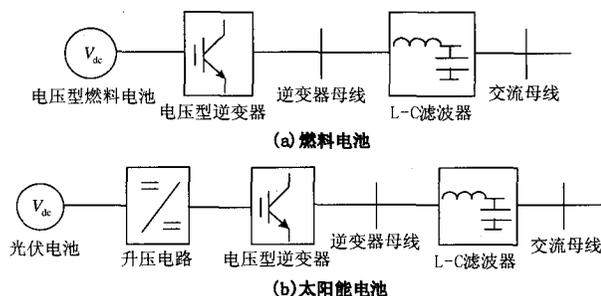


图2 直流逆变电源
Fig2 DC/AC source

2) 交直交电源, 如微轮机, 其发出的交流电需要整流然后逆变, 如图 3。

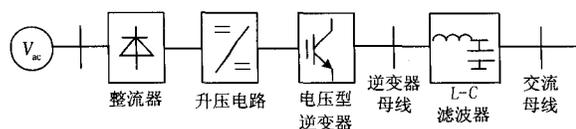


图3 交直交电源
Fig.3 AC/DC/AC source

3) 工频交流电源, 如以鼠笼式感应电机为主的风力发电机和传统的小功率同步发电机。

2.2 微电源控制器

第一类和第二类的电源最后可以归结为图 4 所示形式。输出 P 和 Q 的幅值由基本等式 (1)、(2) 表示^[21]。 P 主要决定于功率角 δ_p (逆变器输出到负荷的角度差), 而 Q 决定于逆变器输出电压 V 。

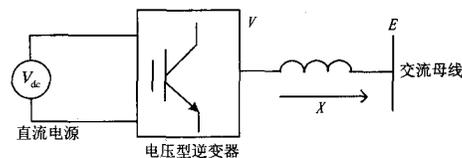


图4 直流逆变并网
Fig.4 DC source connected to microgrid by inverter

$$P = \frac{3VE}{2X} \sin \delta_p \quad (1)$$

$$Q = \frac{3V}{2X} (V - E \cos \delta_p) \quad (2)$$

在微电网中, 由于几个微电源互连, 很难对它们进行联合 $P-Q$ 控制的。因此, 各个微电源对自

身的电压调节对维持可靠性和稳定性就显得有必要了。若没有本地电压调节,连有大量微电源的系统将经历电压或无功功率振荡。电压控制需要确保没有大的感性电流环流出现在电源之间。这相当于受到同步发电机的冲击。在传统电网中,发电机之间的内阻抗通常大到足以防止产生环流。而在放射性结构的微电网中,大的感性电流环流是个问题。电压稳定点有所偏差的话,电流环流将超过微电源的额定值。当产生于微电源中的感性电流变成容性的时候,母线电压的整定值需要降低。相反的,当电流变成感性的时候,母线电压的设定值就要提高。这种控制策略的目标曲线如图 5 所示。

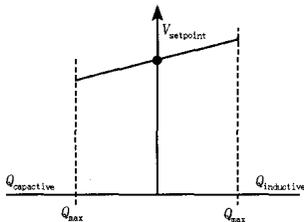


图 5 无功-电压调节曲线

Fig.5 Q-V adjusting curve

微电网系统有与外部电网并网和独立运行两种模式。当电网并网时,微电网内的负荷根据用户的情况从电网内部以及外部吸收能量。由于电压降落、故障、停电检修等原因造成外部电网连接中断,微电网需要从并网平滑过渡到独立运行状态。与外部电网隔离后,微电网进入独立运行模式。微电网内部的每个微电源电压相角变化导致本地频率下降。在独立运行模式下,由于微轮机和燃料电池的慢响应,负荷跟踪和欠惯性问题随之出现。储能单元的存在,会导致系统频率会有轻微减小。所以,设计成独立运行模式下的微电网系统必须提供储能单元来确保起始能量平衡。这些问题需要直接利用每个微电源独立工作时的功率-频率曲线函数得到解决。

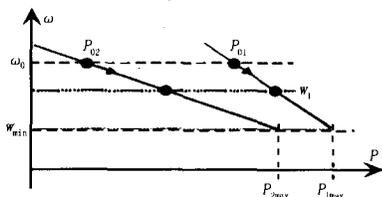


图 6 功率频率控制曲线

Fig.6 Power vs frequency drop control

假定有两台微电源,如图 6。设电源分别有不同的额定值 P_{1max} 、 P_{2max} 。在并网模式下有基频功

率 P_{10} 、 P_{20} 。曲线下降定义为确保两个系统工作在额定功率和同样的最小频率下。

当功率需求变化时,两个电源工作在不同的频率下,这导致电源之间的功角发生变化。之后,电源的频率将会朝向相对较低的同一值 ω_1 变化。

曲线 2 所代表的电源最初工作在相比曲线 1 较低的功率下。在新的出力定值上,曲线 2 已经增加了它在总的功率需求中的份额。尽管功率在几十毫秒级别时间内调节,但是频率恢复需要相对长的时间。因此,恢复功能必须包括在每个控制器中。

3 微电网输配电系统

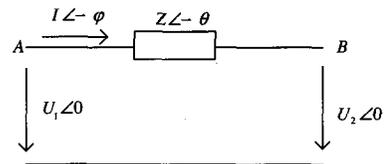
和传统电网相同,微电网中也需要自身的输配电系统^[21~23]。由于微电网的电源相对电网范围来说距离较短。整个系统中输配电的电压等级为低压或者同时带有中压两个等级。微电网的低压传输线和中压及高压输电线路参数特点不同^[25~27],见表 2。

表 2 线路阻抗参数

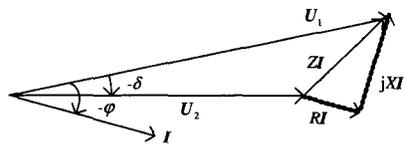
Tab.2 Typical line parameters

类型	$R/\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	$X/\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	R/X
低压	0.642	0.083	7.7
中压	0.161	0.190	0.85
高压	0.060	0.191	0.31

由于微电网中分布式电源多采用电力电子装置并入微网,且与负载相距很近,没有长传输线输电过程。因此与大电网相比,它有一些不同,并相应地使得一些传统电力系统分析方法在应用于微电网之前,需要进行修正。图 7 表示功率从电源经传输线到负载以及相位关系。



(a) 简单示意图



(b) 相位关系图

图 7 功率传输

Fig.7 Power flow

$$P = \frac{U_1}{R^2 + X^2} [R(U_1 - U_2 \cos \delta) + XU_2 \sin \delta] \quad (3)$$

$$Q = \frac{U_1}{R^2 + X^2} [-RU_2 \sin \delta + X(U_1 - U_2 \cos \delta)] \quad (4)$$

从表 2 可以看出, 对于中高压传输线 ($X \gg R$), 电阻 R 可以忽略不计。若功率角 δ 很小, 则 $\sin \delta \doteq \delta$, $\cos \delta \doteq 1$ 。式 (3)、(4) 可以写成式 (5)、(6)

$$P \doteq \frac{U_1 U_2}{X} \delta \quad (5)$$

$$Q \doteq \frac{U_1^2}{X} - \frac{U_1 U_2}{X} \quad (6)$$

对于以低压为主的微电网, 系统其呈现阻性 ($R \gg X$)。因此, 上面基于频率-电压的公式在这里不再适用, 需要进行修正。仍然设 δ 很小, 则 $\sin \delta \doteq \delta$, $\cos \delta \doteq 1$ 。式 (3)、(4) 可以写成式 (7)、(8):

$$P \doteq \frac{U_1^2}{R} - \frac{U_1 U_2}{R} \quad (7)$$

$$Q \doteq -\frac{U_1 U_2}{R} \delta \quad (8)$$

式(7)、(8)中, 可以看到在阻性线路 ($R \gg X$) 和功率角 δ 很小的前提下, 电压降 $U_1 - U_2$ 主要取决于有功 P , 而功率角 δ 及频率 f 主要取决于无功 Q 。因此, 在基于高压线路的频率下垂控制策略在基于低压线路的微电网中不再适用。在微电网中, 应采取线性 $P-V$ 和 $Q-f$ 下垂控制策略。

4 微电网系统优化与稳定运行

4.1 系统优化

系统优化可以通过微电网能量管理系统完成。能量管理系统使用信息来满足当地的电、热需求、电能质量的要求、电和天然气的消耗、批发或零售服务需求、电网的特殊要求、需求侧管理要求、拥塞度等等, 以决定微电网需要从配网系统吸收的能量总和。以下是能量管理系统的的功能^[21-23]:

- 1) 为每个功率流和微电源控制器提供独立的功率和电压调定点;
- 2) 确保热和电负荷得到满足;
- 3) 确保微电网满足与输电系统通信;
- 4) 使排放和系统损耗最小;
- 5) 使运行效率最大;
- 6) 在独立运行和与外电网重联下提供逻辑控制信号等。

4.2 稳定运行

微电网的稳定问题可以从以下两个角度进行研究:

从外部电网角度上看, 微电网可以被看作一个分布式电力装置。但是, 与单个分布式发电系统相比, 微电网系统更为复杂, 交换的电能功率也将更大, 电能也不会像前者一样只流入电网, 而是能与外部电网进行双向的能量交换。并且, 为了适应用户所要求的供电可靠性和安全性, 微电网与电网并联的连接点可能为多个。这样, 微电网对大电网的影响相比单独的分布式发电装置要复杂得多。与电网并联的微电网多了, 也会影响外部电网稳定。对微电网自身来说, 并网运行方式是其正常工作方式之一。由于下列问题: 在电网内部, 由于某个发电单元故障、检修等原因退出运行或者负荷急剧增加, 致使供电功率不足需要与外电网并联引进功率; 或者由于在某种极限情况, 在满足负荷和储能需求后, 仍有功率富余, 可与外电网并联向外送出能量; 以及在由于母线电压降落、外部电网发生故障或并联网络线突然跳闸等造成外部电网连接中断, 微电网需要平滑地从并网运行模式到独立运行模式时, 诸如因出力不能和负荷达到平衡而导致的逆变器频率偏差等等。针对上述不同情况对微电网稳定的影响, 需要分别通过采取不同的分析和建模方法加以研究。

5 结论

近年来国外关于微电网的理论和实验研究已经取得了一定的成果, 且电工所对新能源发电及相关课题的研究做了许多工作, 积累了不少经验^[27-29]。本课题拟在以前研究工作基础上, 还需要在以下几方面进行更加系统、深入的探讨:

- 1) 微电网的并、离网运行方式的不同和储能单元的存在, 使得微电网存在内部能量的多向、多路径流动与传输, 需要建立适合该特点的网络设计和运行理论的基础;
- 2) 由于微电网内部组成部分时间常数相差很大 (一次能源转化的时间常数以秒计, 发电装置中的电磁暂态过程以毫秒计, 电力电子变换器中开关及其控制过程以微、纳秒计), 需要建立多参量复杂系统的建模、仿真与优化方法;
- 3) 根据负荷要求 (敏感关键负荷和非敏感负荷) 和电网的不同状况, 对策略进行完善和细化, 特别注意不同策略的整合和过渡;
- 4) 对微电网输配电结构进行改进、参数优化, 并分析其对电网电压的影响时, 要兼顾经济性、稳

定性、安全性、可靠性等多种指标的要求。

参考文献

- [1] 胡学浩. 2003年国外(美加、意大利、瑞典和英国)大停电事故经验及教训[A]. 电力系统安全及其战略防御高级学术研讨会论文集[C].
HU Xue-hao. 2003 Huge Power Accident Experience and Lesson (Americia, Canada, Italy, Swiss, U K)[A]. In: Power System Security and Strategic Defense, Senior Academic Meeting[C]. 2003.
- [2] 梁有伟, 胡志坚, 陈允平. 分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 71-75.
LIANG You-wei, HU Zhi-jian, CHEN Yun-ping. A Survey of Distributed Generation and its Application[J]. Power System Technology, 2003, 27(12): 71-75.
- [3] 周筮. 关于我国可再生能源发电的问题分析及对策研究[J]. 电网技术, 2003, 25(7): 1-3.
ZHOU Huang. Research on Existing Problem Problems in Power Generation by Regenerable Energy Source and Its Corresponding Countermeasures[J]. Power System Technology, 2003, 25(7): 1-3.
- [4] Morren J, de Haan S W H, Ferreira J A. Distributed Generation Units Contributing to Voltage Control in Distribution Networks[A]. In: 2004 39th International Universities Power Engineering Conference[C]. 2004. 789-793.
- [5] Macken K J P, Bollen M H J, Belmans R J M. Tigation of Voltage Dips Through Distributed Generation Systems[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 2004, 40(6): 1686-1693.
- [6] Caire R, Retiere N, Martino S, et al. Impact Assessment of LV Distributed Generation on MV Distribution Network[A]. In: 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting[C]. 2002. 1423-1428.
- [7] Niknam T, Ranjbar A M, Shirani A R. Impact of Distributed Generation on Volt/Var Control in Distribution Networks[C]. In: IEEE Power Tech Conference Proceedings[C]. Bologna: 2003.
- [8] Hatziargyriou N D, Dimeas A, Tsikalakis A G et al. Management of Microgrids in Market Environment[A]. In: International Conference on Future Power Systems[C]. 2005.
- [9] Lasseter R H, Paigi P. Microgrid: a Conceptual Solution[A]. In: IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference PESC[C]. 2002. 4285-4290.
- [10] Lasseter R H. MicroGrids[A]. In: Power Engineering Society Winter Meeting[C]. 2002. 305-308.
- [11] 张颖颖, 曹广益, 朱新坚. 燃料电池——有前途的分布式发电技术[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 57-61.
ZHANG Ying-ying, CAO Guang-yi, ZHU Xin-jian. Fuel Cell—a Promising Distributed Generation Technique[J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 57-61.
- [12] 肖立业. 超导电力技术的现状和发展趋势[J]. 电网技术, 2004, 28(9): 33-37, 41.
XIAO Li-ye. Present Station and Development Trend of Superconducting Power Technology[J]. Power System Technology, 2004, 28(9): 33-37, 41.
- [13] 王成山, 郑海峰, 谢莹华, 等. 计及分布式发电的配电系统随机潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2004, 29(24): 39-44.
WANG Cheng-shan, ZHENG Hai-feng, XIE Ying-hua, et al. Probabilistic Power Flow Containing Distributed Generation in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 29(24): 39-44.
- [14] 王建, 李兴源, 邱晓燕. 含有分布式发电装置的电力系统研究综述[J]. 电力系统自动化, 2004, 29(24): 90-97.
WANG Jian, LI Xing-yuan, QIU Xiao-yan. Power System Research on Distributed Generation Penetration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 29(24): 90-97.
- [15] Laaksonen, H, Saari P, Komulainen R. Voltage and Frequency Control of Inverter Based Weak LV Network Microgrid[A]. In: International Conference on[C]. 2005. 1-6.
- [16] Meliopoulos A P S, Cokkinides G, Lasseter R. A Multiphase Power Flow Model for /spl Mu/grid Analysis[A]. In: Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences[C]. 2003.
- [17] Katiraei F, Iravani M R, Lehn P W. Micro-grid Autonomous Operation During and Subsequent to Islanding Process[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004.
- [18] Kariniotakis G N, Souttanis N L. Dynamic Modeling of MicroGrids[A]. In: International Conference Future Power Systems[C]. 2005.
- [19] Pecos Lopes J A, Moreira C L, Madureira A G, et al. Control Strategies for MicroGrids Emergency Operation[A]. In: 2005 International Conference Future Power Systems[C]. 2005.
- [20] 姜桂宾, 裴云庆, 杨旭, 等. SPWM 逆变电源的无互联信号线并联控制技术[M]. 中国电机工程学报, 2003, 23(12): 94-98.
JIANG Guibin, PEI Yunqing, YANG Xu, et al. Parallel Operation of Sinusoid Without Control Interconnections[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(12): 94-98.
- [21] 王平洋. 配电系统规划中的若干重要问题[J]. 电网技术, 2001, 25(5): 1-5.
WANG Ping-yang. Some Important Problems in Distribution Planning[J]. Power System Technology, 2001, 25(5): 1-5.
- [22] 陈金富, 陈海焱, 段献忠. 含大型风电场的电力系统

- 多时段动态优化潮流[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(3): 31-35.
- CHEN Jin-fu, CHEN Hai-yan, DUAN Xian-zhong. Multi-Period Dynamic Optimal Power Flow in Wind Power Integrated System[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(3): 31-35.
- [23] 宋云亭, 周双喜, 等. 基于 GA 的发电合成系统最优可靠性计算新方法[J]. 电网技术, 2004, 28(15): 25-30.
- SONG Yun-ting, ZHOU Shuang-xi. A New Calculation Method for Optimal Reliability Indices of Composite Power System Using GA[J]. Power System Technology, 2004, 28(15): 25-30.
- [24] Pudjianto D, Strbac G, van Overbeeke F. Investigation of Regulatory, Commercial, Economic and Environmental Issues in MicroGrids[A]. In: International Conference on Future Power Systems[C]. 2005. 1-6.
- [25] Cooper K, Dasgupta A, Kennedy K, et al. New Grid Scheduling and Rescheduling Methods in the GrADS Project[A]. In: Proceedings of 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium[C]. 2004.
- [26] Microgrids L B. Distributed Power Generation[A]. In: Power Engineering Society Winter Meeting[C]. 2001. 146-149.
- [27] 齐智平. 电工研究所“九五”期间重大科研成果[J]. 中国科学院院刊, 2002, (2): 121-124.
- QI Zhi-ping. Hoge Achievement of Research in Ninth Five IN IEE[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2002, (2): 121-124.
- [28] 马文忠, 李耀华, 孔力. 分布式电力系统中多脉宽调制电源激励下的波反射问题[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 19-22.
- MA Wen-zhong, LI Yao-hua, KONG Li. Wave Reflection Energized by Multi-Pulse Width Modulation Sources in Distributed[J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 19-22.
- [29] 付旺保, 等. 基于自抗扰控制器的变速恒频风力发电并网控制[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(3): 13-18.
- FU Wang-bao, et al. Cutting-in Control of the VSCF Power Generator Based on Auto-disturbance Rejection Controller[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(3): 13-18.

收稿日期: 2006-11-20; 修回日期: 2007-01-23

作者简介:

盛 鹏(1978-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为新能源电力系统; E-mail: shengkun@mail.iee.ac.cn

孔 力(1955-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为电力电子、分布式发电系统。

(上接第 74 页 continued from page 74)

现场, 从而消除了设备缺陷造成的对人身安全的威胁。根据现场的运行经验, 一般我们将电压继电器的动作值整定为 15 V, 这样可以可靠地保证故障时该回路可以发出预警信号。目前, 35 kV 接地二次告警回路的改造已经在实际中得到应用。在我局大多数变电站已经安装完成, 运行效果良好。

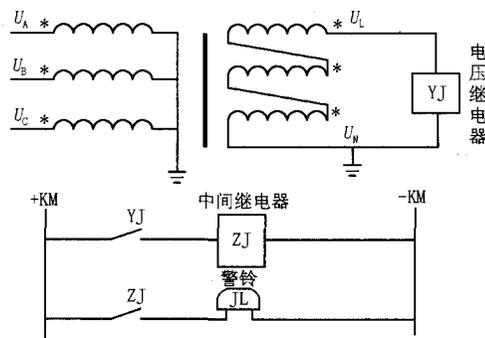


图 5 回路改造图

Fig.5 Loop transformation chart

以上是笔者对 35 kV 接地二次告警回路的改造一些想法, 在此溢于笔端, 与同行探讨, 若有不妥之处, 敬请指正。

参考文献

- [1] 万千云, 梁惠盈, 齐立新, 等. 电力系统运行实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- WAN Qian-yun, LIANG Hui-ying, QI Li-xin, et al. Electrical Power System Movement Practical Technology Question and Answer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- National Electric Power Dispatching Communication Center. Electrical Power System Relay Protection Practical Technology Question and Answer (Second Edition)[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

收稿日期: 2006-12-23; 修回日期: 2007-01-17

作者简介:

崔战涛(1981-), 男, 本科, 从事于继电保护工作; E-mail: cuizhantao851@sohu.com

樊丽君(1979-), 女, 本科, 从事变电运行工作;

杨小龙(1976-), 男, 本科, 从事于继电保护工作。

4 结束语