

# 枢纽变电站黑启动方式下同期并网问题的探讨

汤义勤, 赵萍, 季敏剑

(台州电业局, 浙江 临海 317000)

**摘要:** 电力系统发生特大事故可能导致电网解体为数个孤网, 并使一些发电厂断掉了和系统的联系成为孤岛, 如何迅速恢复孤网间的联网及孤岛电厂的快速再入网, 是电网安全运行必须考虑的问题, 也是被瓦解的电力系统有效实施黑启动所必须面对的现实。枢纽变电站配置快速、精确的同期装置已成为当今电力系统必须解决的问题。

**关键词:** 解列; 孤网; 孤岛电厂; 同期装置; 黑启动

## About the problem of hub substation synchronization during power system black start

TANG Yi-qin, ZHAO Ping, JI Min-jian

(Taizhou Electric Power Bureau, Linhai 317000, China)

**Abstract:** Serious accidents of power system may make power grid disaggregated into several isolated networks and make some power plants become "isolated islands" due to disconnected with power system. How to rapidly recover the power network connection between isolated networks and connect system of isolated plant again? It is the problem that must be taken into account for secure operation of power grid. In the meantime, it is the fact that must be faced with for collapsed power system to effective implementation of black start. The configuration of rapid and precise synchronizer for hub substation has become the problem that must be solved for current power system.

**Key words:** disconnection; isolated network; isolated plant; synchronizer; black start

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)10-0074-04

## 0 引言

近年来, 电网的安全稳定性已成为公众越来越关注的话题。在发生大面积停电事故后, 能否成功进行“黑启动”, 是加快电网事故恢复、减少事故损失最重要的手段<sup>[1]</sup>。

电力系统的规模越来越大, 不论是电源容量、电源数量、线路数量、电压等级都在快速增长, 这是电力系统的必然发展趋势, 因其大大地提高了供电的可靠性、经济性及电能质量。然而由于网络结构的复杂化, 使事故蔓延的速度和面积也随之增大, 人们在获得大电网带来诸多益处的同时, 也必须付出更多的努力应对可能发生的各种事故所带来的灾难。

在电网不断扩大的进程中, 若相应的技术措施未能跟上电力系统的规模, 会降低系统应对事故的抗御能力<sup>[2]</sup>。本文将引用2004年8月一次强度超常的台风“云娜”肆虐浙江沿海地区造成电网解体的例子, 以此来分析供电系统同期并网存在的问题,

并提出解决方案。

## 1 变电站同期功能的现状

浙江电网常规控制变电站往往配置BT-1B同期检查继电器, 利用在合闸回路中串入同期检查继电器动作接点的同期闭锁电路来完成开关的合闸。事实上这种所谓“检同期”, 它和当今能够严格按照同期数学模型进行同期控制的同期装置完全是两码事<sup>[3]</sup>。此外, 综合自动化变电站线路微机测控装置中也移植了前述“检同期”功能, 它本质上是用微机实现同期闭锁的同期检查继电器<sup>[4]</sup>。实际应用上, 这种同期装置满足正常运行方式下同频并网, 不满足黑启动方式下电网差频并网的需求。出于电网安全的考虑, 差频同期功能的应用往往由电厂侧来实现。变电站仅考虑同期功能, 但基本不进行同期操作, 通过解除同期来进行开关合闸。

## 2 电网解列时变电站同期问题的分析

电力系统中存在着一些与系统联系较薄弱的发

电厂(发电厂与系统的联络线数量少,或者稳定储备不足),在系统发生事故时会与系统解列成为孤岛。可以想到,如果发电厂与系统的联络线不配置自动同期装置,要恢复发电厂与系统的联系,唯一的办法就是将所有发电机从母线上切除,再将联络线在母线无压的情况下合到母线上,剩下工作就是用各发电机的同期装置一台一台地与系统并网。不难设想在系统因事故处在十分危急的时候,如此来恢复电源是难以保证系统安全的。

2004年8月14日,强度高达16级的台风“云娜”在浙江省温岭市石塘镇登陆。由于“云娜”台风的正面袭击,台州电网遭受重创:8个220 kV变电所全停7个;38个110 kV变电所全停34个;125个35 kV变电所(含升压站与用户变)全停118个;22条220 kV线路21条停电;64条(60回)110 kV线路59条停电;185条35 kV线路166条停电;871条10 kV线路854条停电。台州电厂8台机组全部停机,全市网供负荷从100万kW跌至3千kW。

如图1所示,当台州电厂机组全部停机后,220 kV线路供电全部中断,220 kV国清变、临海变、桔乡变、泽国变、海门变、金清变均失去大网电源。台州全网只剩下#1电站(龙溪电站)、#2电站(下岸电站)、#3电站(富山电站)在持续发电,随后#3

电站由于富永1849线路永久性故障而被迫停机。台州电网开始实施黑启动预案。#1电站、#2电站分别供天台、仙居两县部分负荷,由于台州电力调度系统位于临海,必须确保临海市区电力供应。经运行方式调整后, #1电站通过龙平1834、国平1836、国天1861、临天1813线后供220 kV临海变,确保了台州电力调度系统供电。由于临海变原有同期装置无法实现差频并网, #1电站与#2电站电源无法在临海变进行同期并网,两个区域小电源供电无法保持稳定。#1电站供电负荷受控, #2电站因负荷过重导致系统稳定破坏解列装置动作被迫停机。

在大网恢复正常后,如果能迅速在临海变恢复220 kV系统与110 kV系统的电源联网,使110 kV系统的功率缺额由220 kV大网补足,系统解列事故的影响会很快消除。但是临海变和系统所有变电站一样,没有配置自动同期装置,因而快速恢复两个都含有电源的110 kV系统和220 kV系统的联接已成为不可能,此时唯一的出路就是将110 kV系统的所有发电机与系统解列,然后在110 kV线路无压的情况下并入220 kV电网,再逐台操作各发电机并入110 kV系统。显然,这是以人为制造110 kV系统停电为代价的。这样,重要变电站所用电、重要负荷都得不到供电保障。

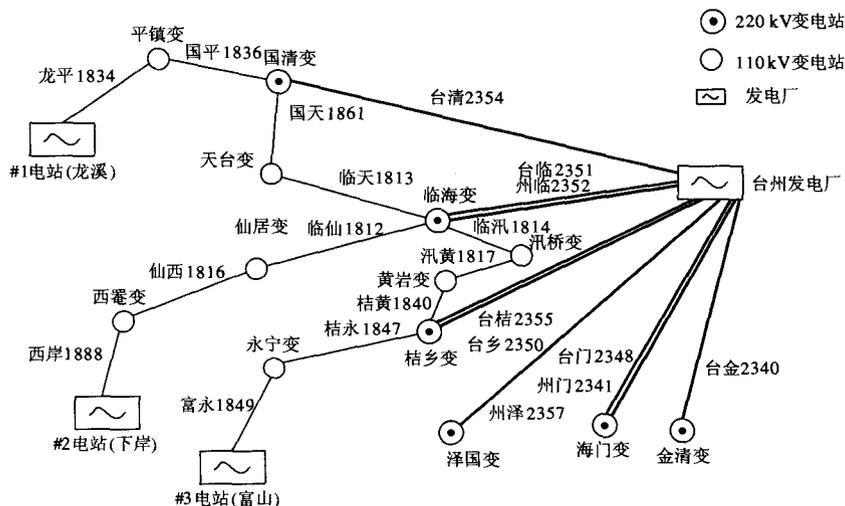


图1 台州电网部分网架结构图

Fig.1 Structure of sub grid of Taizhou Power Network

### 3 自动同期装置的配置意义

在电力系统规模很小时,人们遇到的同期操作是面对发电机并网的需要<sup>[5]</sup>。随着电力系统规模的不断扩大,同期操作已越出了单台发电机对电网并网的范畴,整座电厂对电网、电网对电网的同期已

提到电力系统运行需求的议事日程上。特别是当电力系统发生大的解列事故时,更是非常需要快速地完成这类形式的同期操作。但遗憾的是枢纽变电站的设计中,没有配置自动同期装置,无法实现大网和小网间、小网和小网间的直接联网<sup>[6]</sup>。

同期操作并不是单一的发电机对电网的同期,

确切地讲,所谓同期操作是指联接两个交流电源的操作。据此,同期操作就具有两种表现形式:一种是两个没有电磁联系交流电源的联接,如发电机并入电网。另一种是两个已有电磁联系交流电源的联接,例如在环网开环点的合环操作就是。前者的主要特点是完成同期操作,同期前两电源的频率有差异,故称之为差频同期。而后者的主要特点则是完成同期操作前两电源的频率相同,故称之为同频同期<sup>[7]</sup>。

差频同期遵循在两电源频差及压差相近时捕捉相位差角接近零度时完成同期操作的准则。同频同期遵循在两电源压差相近时捕捉相位差角(实质为功角)在允许值内时完成同期操作的准则。理想的差频同期并网时的冲击电流接近零,但同频同期时必定有冲击电流(即环流),除非与进行同频同期(合环)操作支路并联的另半环传输功率为零。因为同频同期本质上是将原来联接两个电源的线路再并联上一条新的支路,新支路的加入必将将对原运行线路进行分流,即引起了电网的潮流重新分配,这就是产生环流的实质。环流是潮流重新分配引发的,是正常操作的结果。只要环流数值不超过新投运线路的继电保护定值都是允许的。

从上述电网事例我们知道若在枢纽变电站配置同期装置,对区域内小电网进行集中同期并网将会确保地区电网的可靠供电。对电网的事故应急具有重要的意义。尤其是厂网分开后,为确保电网的安全,供电系统必须考虑在枢纽变电站安装同期装置。同期装置不仅在电网发生事故时保证快速恢复解列了的诸电源的再联网,而且它也是保证变电站实现真正无人值班不可或缺的手段。

## 4 自动同期装置的功能要求

### 4.1 输电线路的同期装置应具备自动识别同期性质(差频或同频同期)的功能

当今的电力系统可以说是大环套小环,除了单端电源的馈线外,所有双侧电源输电线路不仅都会有同期操作的需求,而且同期性质还会随着系统的运行方式变化而变化。如图2的环网,三个电源 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 由三条线路 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 联接构成环网,如需 $L_1$ 由停运状态转为运行状态,可通过在断路器 $B_1$ 实施同期操作即可( $B_2$ 已在线路无压时先行合上)。然而,如果线路 $L_2$ 和 $L_3$ 的运行方式不同时,在 $B_1$ 处进行的同期操作的性质就不同。例如当 $L_2$ 也在停运状态,在 $B_1$ 的同期操作属差频同期,因电源 $S_1$ 和电源 $S_2$ 是两个孤立的电源。但如 $L_2$ 、 $L_3$ 在运行状态,则在 $B_1$ 进行的同期操作属同频同期(合环操作),因

电源 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 在 $B_1$ 断开时已经有了电磁联系, $B_1$ 是个开环点。应该说在当今大型电力系统中遇上同频同期的概率比差频同期高,而且由于系统运行方式的变化往往在一个变电站或发电厂内是无法预知同期性质的。因此,同期装置对同期性质的自动识别功能是绝不可忽视的必备功能<sup>[8]</sup>。

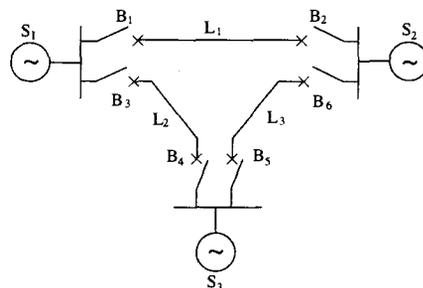


图2 环网示意图

Fig.2 Sketch map of ring network

### 4.2 输电线路配置的同期装置可以1对1,也可以1对多

输电线路的同期装置与发电机的同期装置在配置上不完全相同,发电机的同期装置配置从可靠性出发,通常按1对1配置,甚至有些按2对1配置,即一台发电机配两台同期装置。而线路同期装置因操作频度不高,可1对多配置,即多条线路共用一台同期装置,在线路数较多的电站因继保小室按电压等级分开布置,此时同期装置的数量可按电压等级配置。为了简化接线提高自动化程度,可采用同期选线器与同期装置匹配的模式。将各同期点的有关同期信号,如电压互感器二次电压、断路器辅助触点,合闸控制信号、遥信信号等汇集到同期选线器的输入端,同期选线器的输出端则联接到同期装置上,如图3所示。

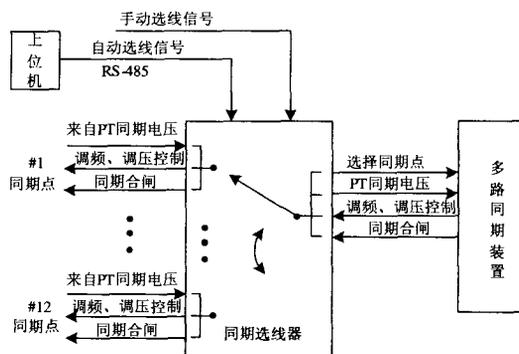


图3 同期装置与同期选线器的联接示意图

Fig.3 Sketch map of synchronization device and line-selector connection

同期选线器接受上位机或运行人员发来的选线

命令,将所选相应同期点的信号切换到同期装置上,并启动同期装置工作。同期装置完成并网操作后自动退出工作,并等待由选线器发来的新的同期指令。可以看出,这样的配置真正支持了变电站的无人值班。

## 5 黑启动方式下发电厂与系统的并网

按照电网的黑启动预案,黑启动方式下保证局部电网的可靠供电为首要任务<sup>[9]</sup>。我们应该摒弃原有的以主网来电后电厂再进行并网的落后思维,应利用变电站同期装置将小电源组成强大的供电网,先确保区域内电网的可靠供电,待主网恢复供电后再完成大网与小网的并网,从而确保重要负荷的可靠供电。部分大型水电站处于台风袭击的薄弱区,在大网供电中断的情况下承担起重要的后备电源作用。成为孤岛后的小电网可以很快的通过枢纽变电站的同期装置恢复与系统的联系,此后再将其他小电网通过同期装置与系统联网,无疑,这对于确保电网稳定是有重大意义的。

进行输电线的同期操作是无法像发电机并网那样,在频差和压差条件不满足时,可以通过控制机组的调速器和励磁调节器来创造同期条件。但如果站在更宏观的基点上,应该想到还有调度这一运行机构存在,完全可以通过调度员的指挥对相关发电厂实施控制,以促成同期条件尽快实现。

## 6 结束语

为枢纽变电站配置自动同期装置是提高电力系统安全运行水平的重大措施。必须摒弃那种用固定相角差闭锁同期合闸回路的“检同期”过时技术。还应认识到给变电站配置同期装置不只是提高自动化水平的问题,而是关系到提高系统抵御系统崩溃能力的重要技术措施。自动同期装置实质上是具有自动化及保护双重特性的重要二次设备<sup>[10]</sup>。

## 参考文献

- [1] 李继红,倪秋龙,金啸虎. 浙江电网黑启动方案编制研究[J]. 华东电力, 2006, (1): 13-15.  
LI Ji-hong, NI Qiu-long, JIN Xiao-hu. Establishment of Black Start Schemes for Zhejiang Power Grid[J]. East China Electric Power, 2006, (1): 13-15.
- [2] 刘映尚,等. 黑启动过程中继电保护和自动装置的特性和运行[J]. 中国电力, 2005, 27 (5): 36-38.  
LIU Ying-shang, et al. Operational Issues of Protections and System Security Equipments in Black Start[J].

Electric Power, 2005, 27 (5): 36-38.

- [3] 叶念国. 传统的“检同期”概念不能再沿用下去了[J]. 电力自动化产品信息, 2002, (12): 36-38.
- [4] 刘湘涛, 周继明. 微机自动准同期并列装置[J]. 船电技术, 1998, (1): 16-18.  
LIU Xiang-tao, ZHOU Ji-ming. Microcomputer Automatic Quasi Synchronization Device[J]. Marine Electric & Electronic Technology, 1998, (1): 16-18.
- [5] 赵燕茹. 发电厂同期接线设计的新尝试[J]. 山西电力, 2003, (3): 17-19.  
ZHAO Yan-ru. A New Sample of Simultaneous Wiring Design of Power Plant[J]. Shanxi Electric Power, 2003, (3): 17-19.
- [6] 周二保. 微机准同期装置运行分析和状态检修探讨[J]. 水电自动化与大坝监测, 2005, (2): 32-34.  
ZHOU Er-bao. Operation Analysis and Condition-based Maintenance Discussion of Microcomputer Automatic Synchronization Device[J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2005, (2): 32-34.
- [7] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [8] 卓乐友, 叶念国, 翁乐阳, 等. 微机型自动准同步装置设计和应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [9] 李本瑜, 李玲芳, 扬强, 等. 云南电网“黑启动”及快速恢复方案探讨[J]. 云南电力技术, 2002, (4): 33-35.  
LI Ben-yu, LI Ling-fang, YANG Qiang, et al. Discussion on Scenarios of Black-starting & Fast Resuming of Yunnan Power Grid[J]. Yunnan Electric Power, 2002, (4): 33-35.
- [10] 陈雷, 朱世伟, 陈晓苏. 双微机全自动准同期控制装置[J]. 计算机工程与应用, 1994, (1): 19-22.  
CHEN Lei, ZHU Shi-wei, CHEN Xiao-su. A Di-microprocessor Based Automatic Quasi-synchronization Device[J]. Computer Engineering and Application, 1994, (1): 19-22.

收稿日期: 2007-09-05; 修回日期: 2007-09-24

作者简介:

汤义勤 (1971-), 男, 高级工程师, 学士, 从事继电保护和自动装置的技术管理工作; E-mail: tangyiqin@tz.zpepc.com.cn

赵萍 (1963-), 女, 高级工程师, 从事继电保护和自动装置的技术管理工作;

季敏剑 (1964-), 男, 工程师, 从事电网安全管理、运行方式管理工作。