

# 异步联网后云南电网失步特性与解列系统方案研究

肖友强<sup>1</sup>, 俞秋阳<sup>2</sup>, 陈义宣<sup>1</sup>, 方胜文<sup>2</sup>

(1. 云南电网有限责任公司规划研究中心, 云南 昆明 650011;  
2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:**云南电网与南方电网主网实现异步联网,云南电网的失步振荡特性随之发生新的变化。利用基于电压比相原理和  $U\cos\varphi$  原理的失步振荡中心搜索方法,对异步联网后云南电网典型方式下的多重严重故障进行仿真研究,确定失步振荡中心的分布区域和失步断面的构成类型。云南电网目前配置的分散独立式失步解列装置,对于复杂断面的失步判别和解列效果均不理想,因此在研究云南电网失步特性的基础上,针对并列式失步断面和长链式失步断面,提出基于  $U\cos\varphi$  判据和电压比相判据的失步解列系统构建方法,设计并初步验证了滇西北、滇中西南、滇东北失步解列系统构建方案与初步策略。

**关键词:**失步振荡; 振荡中心; 失步解列; 解列系统

**中图分类号:**TM712;TM761

**文献标志码:**A

**文章编号:**2096-3203(2018)01-0097-06

## 0 引言

随着鲁西背靠背和永富直流工程的投产,云南电网与南方电网主网实现异步互联,有效化解了交直流功率转移引起的电网安全稳定问题。云南电网交流送出断面上可能出现的失步振荡中心也不复存在,电网安全稳定第二、三道防线的装置和策略得到了简化。异步联网虽然消除了云电交流外送通道的失步风险,但也对云南电网内部失步特性产生影响,一旦直流发生闭锁,大量过剩功率在云南电网内部窜动,可能引发失步振荡。

云南电网目前装设分散独立式失步解列装置,就地进行失步判别,通过定值整定来一定程度上实现解列控制的配合<sup>[1-4]</sup>。这种配置现状能否适应异步联网后失步特性的变化,目前尚无相关研究结论。另一方面,业界认为针对目标电网的失步特性,综合利用多种失步判据,结合可靠通信技术构建失步解列系统是多频振荡与复杂断面失步判别与解列的很好思路<sup>[5-7]</sup>。

首先研究异步联网后的云南电网的失步振荡特性,然后针对当前解列装置配置方案的不足,提出按区域和断面配置的解列系统构建方案。

## 1 研究条件

以云南电网2018年丰水期大方式为基础,考虑多种典型开机方式。结合发生概率,选取以下4种

严重故障,进行失步特性研究。

(1)  $N-2$  故障后稳控拒动。电网失去2个元件,相应的安全稳定控制系统拒动,可能引发失步。

(2)  $N-1.5$  故障。同一送电通道2个元件均发生故障,但最终仅损失一个元件,此时稳控系统不会动作,但故障冲击比单一故障严重,可能引发失步。

(3) 开关拒动。三相短路单相开关拒动,故障持续时间长,故障隔离后网架结构变化大,可能引发失步。

(4) 多直流闭锁。云南电网共有7回直流送出,考虑逆变侧落点相近的直流同时发生连续换相失败导致闭锁,可能引发失步。

## 2 失步振荡中心分析方法

文中采用电压比相原理和  $U\cos\varphi$  原理来研究电网的失步特性。

### 2.1 电压比相原理

将2个同一电压等级的母线电压进行相位比较,进行比相的2个母线称之为“比相对”,当某一比相对的相角差超过  $180^\circ$ ,在  $0^\circ$  到  $360^\circ$  之间周期性变化时,判定该比相对两侧电网发生失步振荡,振荡中心位于比相母线之间的区域。以图1两机系统为例,采用下列假设条件:

- (1) 两侧等值电势  $E_M$  和  $E_N$  幅值相等;
- (2) 系统等值阻抗角为  $90^\circ$ ;
- (3) 从  $E_M$  到  $E_N$  阻抗均匀分布。

取  $E_N$  为参考向量,设其幅值为1,相位为  $0^\circ$ ,M侧系统等值电势  $E_M$  的初始相角为  $\delta_0$ ,则两侧系统功

收稿日期:2017-09-17;修回日期:2017-10-23

基金项目:南方电网科技项目“十三·五云南电网振荡解列装置配置方案研究”

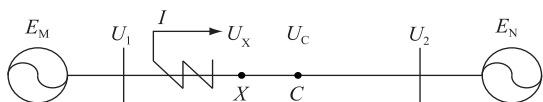


图1 两机等值系统

Fig.1 Equivalent two-machine power system

角为:

$$\delta = \Delta\omega t + \delta_0 \quad (1)$$

其中  $\Delta\omega$  为两侧系统转速差,假设失步振荡过程中恒定。根据以上假设条件,两机等值系统中失步振荡中心位于线路阻抗中点,设其电压为  $U_c$ ,  $X$  为线路上任意一点,  $M$  侧到  $X$  的阻抗与  $X$  到  $N$  侧的阻抗之比为  $a$ ,  $X$  的电压  $U_x$  与  $E_N$  之间的夹角  $\theta$  的表达式为:

$$0 \leq a \leq 1, \quad \begin{cases} 0 \leq \delta < \frac{\pi}{2} & \theta = \arctan\left(\frac{\sin\delta}{a + \cos\delta}\right) \\ \frac{\pi}{2} \leq \delta < \pi & \begin{cases} \text{if } (a + \cos\delta < 0), \theta = \pi + \arctan\left(\frac{\sin\delta}{a + \cos\delta}\right) \\ \text{else, } \theta = \arctan\left(\frac{\sin\delta}{a + \cos\delta}\right) \end{cases} \\ \pi \leq \delta < \frac{3\pi}{2} & \begin{cases} \text{if } (a + \cos\delta < 0), \theta = \pi + \arctan\left(\frac{\sin\delta}{a + \cos\delta}\right) \\ \text{else, } \theta = 2\pi + \arctan\left(\frac{\sin\delta}{a + \cos\delta}\right) \end{cases} \\ \frac{3\pi}{2} \leq \delta < 2\pi & \theta = 2\pi + \arctan\left(\frac{\sin\delta}{a + \cos\delta}\right) \end{cases}$$

$$a > 1, \quad \theta = \arctan\left(\frac{\sin\delta}{a + \cos\delta}\right) \quad (2)$$

当失步振荡中心位于  $N$  侧与  $X$  点之间时,  $a$  取值将介于 0 和 1 之间,此时比相对  $N$  侧与  $X$  点的相角差  $\theta$  的轨迹如图 2 所示。

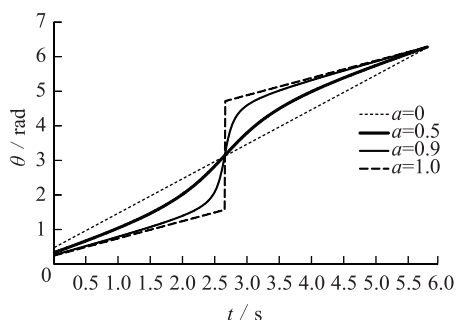


图2 失步比相对的相角差曲线

Fig.2 The curve of phase angle difference

当  $a$  越接近 1 时,比相区间越小,相角差  $\theta$  穿越  $180^\circ$  时斜率越大,只要振荡中心位于比相区间内,各比相对相角差均在同一时刻穿越  $180^\circ$ 。

仿真分析中,将可能发生失步的区域中任意 2 个母线组成比相对搜索集合。寻找相角差穿越  $180^\circ$ ,并在  $0^\circ$  到  $360^\circ$  之间周期性变化的失步比相

对,利用以上特性,并结合电网拓扑,可以确定振荡中心所在线路。目前比相原理已初步应用于失步解列装置,但在南方电网暂未得到广泛应用<sup>[8-9]</sup>。

## 2.2 $U\cos\varphi$ 原理

仍以两机等值系统为例,如图 3 所示。失步过程中振荡中心的电压  $U_c$  与解列装置安装处的电压  $U$  以及电压和电流的夹角  $\varphi$  之间存在确定的函数关系:  $U_c = U\cos\varphi$ ,因此可以利用  $U\cos\varphi$  的变化来近似地反映振荡中心电压的变化。

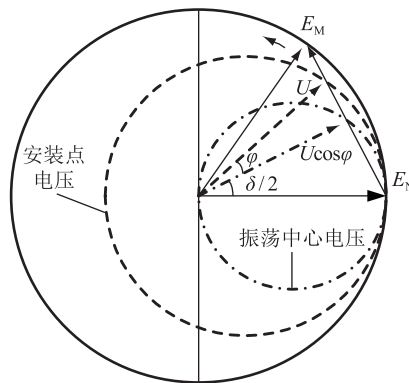
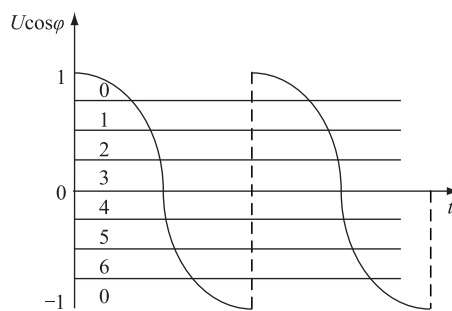


图3 振荡过程安装点及振荡中心电压变化轨迹

Fig.3 The curve of voltage in out-of-step oscillation

以母线指向线路为正方向,在正常运行期间,当装置安装处电流方向为正时,  $U\cos\varphi$  的数值近似等于 1,反之则为 -1。失步期间振荡中心电压连续变化,并且过 0。如图 4 所示,以电流方向为正为例,在一个失步振荡周期内  $U\cos\varphi$  在 1 至 -1 区间内连续变化。利用该特征,将其变化范围分为 7 个区,当  $U\cos\varphi$  连续顺序穿过相应区域时,判定发生失步。

图4 振荡过程  $U\cos\varphi$  变化轨迹Fig.4 The curve of  $U\cos\varphi$  in out-of-step oscillation

$U\cos\varphi$  判据利用失步期间振荡中心电压变化特征来判别失步,物理概念清晰,目前在南方电网大量应用于分散独立配置的失步解列装置<sup>[9-12]</sup>。

## 3 十三·五期间云南电网失步特性

文中利用上述原理对 2018 年云南电网典型方式下 4 种多重严重故障进行分析,总结故障类型与

失步特性关系,归纳失步振荡中心分布规律如下。

### 3.1 故障类型与失步特性

$N-2$  故障稳控系统拒动对电网冲击最为严重,失步特性如表 1 所示。

表 1  $N-2$  故障稳控拒动失步振荡  
Tab.1 Out-of-step oscillation of fault type 1

$N-2$ 故障形态	振荡中心位置
永丰—多乐双线	镇雄—多乐
阿海—金官双线	梨园—金官
太安—黄坪双线	丽江—羊龙潭
黄坪—仁和双线	大理—和平、鹿城
大理—和平、鹿城	功果桥电厂失步
仁和—厂口双线	大理—和平、鹿城 仁和—铜都
铜都—仁和双线	鲁地拉、龙开口、观音岩
思茅—景洪、版纳	木乃河—版纳
景洪—思茅、版纳	景洪电站联变 墨江—玉溪
墨江—惠历双线	思茅—通宝
墨江—玉溪	红河—宁州

$N-1.5$  故障仅在某些电厂送出断面和长距离薄弱断面上造成局部电网失步,如表 2 所示。

表 2  $N-1.5$  故障后失步振荡  
Tab.2 Out-of-step oscillation of fault type 2

$N-1.5$ 故障形态	振荡中心位置
观音岩—永仁	观音岩电厂
德宏—博尚	德宏—博尚
墨江—博尚	德宏—博尚、墨江

三相故障单相开关拒动也仅在某些电厂送出断面和潮流较重断面上造成失步,如表 3 所示。

表 3 开关拒动故障后失步振荡  
Tab.3 Out-of-step oscillation of fault type 3

单相开关拒动	振荡中心位置
甘永甲线中开关	甘顶—永丰、威信 大关—西衙门
小和线中开关	小湾电厂
太黄甲线中开关	太安—金官

多回直流闭锁后送端功率无法经交流通道向外疏散导致失步,这种情况仅牛从直流的三极或四极闭锁时才会出现,如表 4 所示。

表 4 多直流闭锁后失步振荡  
Tab.4 Out-of-step oscillation of fault type 4

直流闭锁故障形态	振荡中心位置
牛从直流三极闭锁	多乐—永丰、镇雄
牛从直流四极闭锁	多乐—永丰、镇雄

### 3.2 区域失步特性

异步联网后云南电网滇西北、滇东北、滇中西南 3 个区域存在失步风险,可以归纳为并列式断面与长链式断面 2 种类型。

表 5 振荡中心分区  
Tab.5 Out-of-step oscillation center in different areas

区域	振荡中心位置
滇西北	黄坪—仁和
	大理—鹿城
	大理—和平
	仁和—铜都
	太安—金官
滇中西南	德宏—博尚
	博尚—墨江
	思茅—通宝
	墨江—惠历
	墨江—玉溪
滇东北	红河—宁州
	永丰—多乐 镇雄—多乐

并列式断面由几回输电通道并列组成,每个通道上均会出现振荡中心,但失步特征在某些情况下并非完全一致<sup>[13-14]</sup>;长链式断面由相邻的几级输电通道串联而成,振荡中心可能在相邻的通道上发生漂移<sup>[15-16]</sup>。

## 4 失步解列系统方案设计

并列式和长链式失步断面均由多回输电线路组成,云南电网目前配置的分散独立式失步解列装置,只能针对某一回线或两回并行线进行就地失步判别和解列,无法监测整个断面失步情况,很难相互配合准确地完成整个失步断面的协调一致解列。

结合多种失步判据构成失步解列系统是目前解决这一难题的一种可行思路<sup>[17-18]</sup>。因此,文中以  $U\cos\varphi$  原理为主判据,以电压比相原理为辅助判据,结合站间通信技术,针对异步联网后云南电网失步特性,提出适用于并列式和长链式失步断面的解列系统构建方法,并设计了滇西北、滇中西南、滇东北共 3 个失步解列系统的方案与策略。

### 4.1 并列式断面失步解列系统

以滇西北失步解列系统设计方案为例,阐述并列式断面失步解列系统的构建方法。如图 5 所示,黄坪至仁和、大理至和平、鹿城共 4 回 500 kV 交流线路组成滇西北水电群外送并列式断面。选择在断面两侧的黄坪、仁和、大理装设失步解列子站,并在大理设置失步解列控制主站。

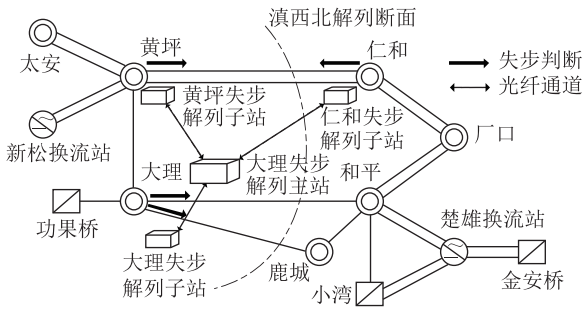


图5 滇西北失步解列系统构建方案

Fig. 5 Construction scheme of out-of-step separation system in northwestern Yunnan

子站利用  $U_{\cos\phi}$  原理作为主判据就地判别失步,并将判断结果上送主站。同时,各子站将母线电压上送主站,在主站端进行电压比相计算,作为辅助判据。大理主站的电压比相区间为黄坪至仁和区间及大理至仁和区间。当各子站上送的  $U_{\cos\phi}$  失步判别结果均成立时,主站将进一步检测各比相区间计算结果是否均满足比相原理的失步判别条件,如果满足,则由主站向各子站发出指令,解列滇西北断面4回500 kV交流线路。并列式断面失步解列系统的一般性逻辑功能如图6所示。

并列式断面失步解列系统与现有分散独立式失步解列装置相比具有以下3点优势:

- (1) 结合子站就地  $U_{\cos\phi}$  判据与主站跨区间电压比相判据,可靠性高于利用单一判据的分散独立式失步解列装置;
- (2) 在高可靠性的前提下,该系统被设计为在第一个失步周期即动作于解列,这与通常被设置为在第2或第3周期实施解列的装置相比,减小了失步过程中对电网的冲击,有利于解列后各独立子电网的稳定运行;
- (3) 能够协调一致地解开并列断面的各个输电通道,消除了分散独立式解列装置动作有先后、易形成相互干扰、可能无法全部解开整个失步断面的隐患。

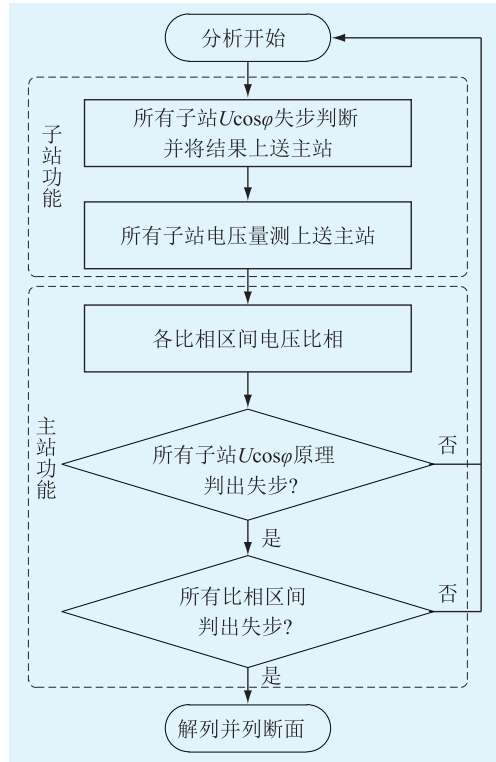


图6 并列式断面失步解列系统功能

Fig.6 The functional block diagram of out-of-step separation system for parallel sections

#### 4.2 长链式断面失步解列系统

以滇中西南失步解列系统设计方案为例,阐述长链式断面失步解列系统的构建方法。如图7所示,滇中西南电网的德宏送出断面由德宏至博尚、博尚至墨江双回500 kV输电线路组成。在失步过程中,振荡中心有漂移现象,在德宏至博尚、博尚至墨江线路上交替出现。

针对这种特征,选择在断面沿线的德宏、博尚、墨江装设失步解列子站,并在墨江设置失步解列控制主站。

子站功能与并列式断面失步解列系统相同。主站端对长链式断面的各段进行电压比相计算,作为振荡中心的定位判据。即对德宏至博尚、博尚至

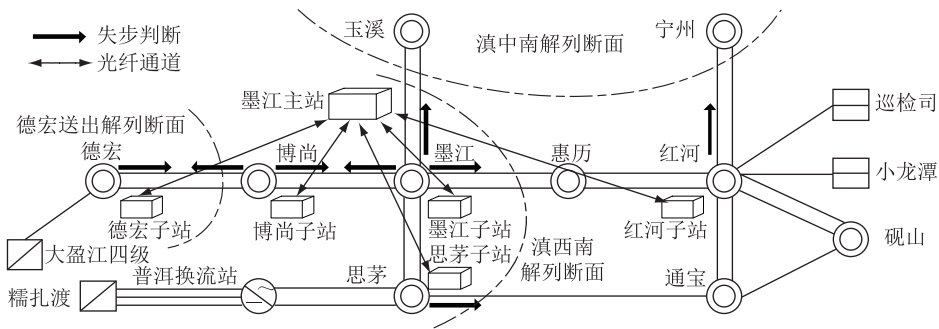


图7 滇中西南失步解列系统构建方案

Fig. 7 Construction scheme of out-of-step separation system in central and southwestern Yunnan

为振荡中心的定位判据。即对德宏至博尚、博尚至墨江这 2 个比相区间分别进行比相计算,以确定振荡中心确切位置。当某比相区间两侧子站就地  $U\cos\varphi$  判据均判出失步,且主站端比相结果也满足失步条件时,解列该比相区间的输电线路。即解列德宏至博尚或博尚至墨江 500 kV 线路。长链式断面失步解列系统的一般性逻辑功能如图 8 所示。

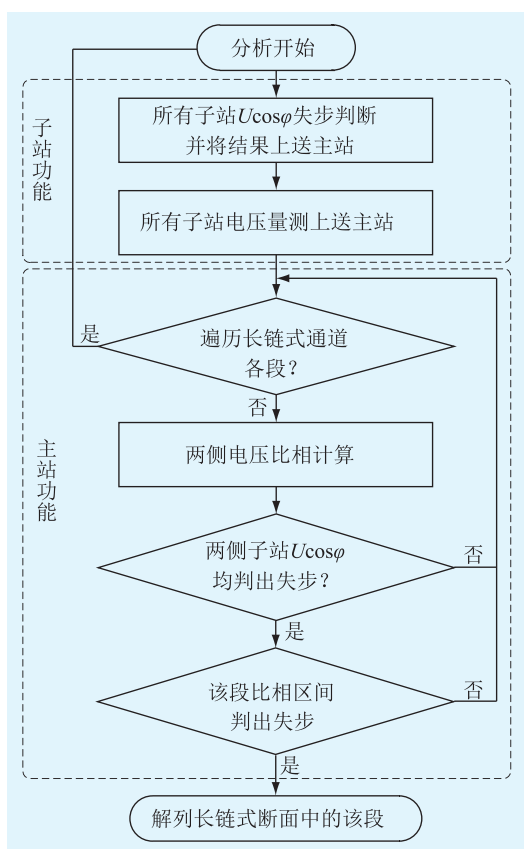


图 8 长链式断面失步解列系统功能

Fig.8 The functional block diagram of out-of-step separation system for chain sections

长链式断面失步解列系统与现有分散独立式失步解列装置相比,除了具有双判据可靠性高的优势之外,还实现了对振荡中心的精确定位,解决了振荡中心漂移情况下,分散独立式失步解列装置难以准确持续地捕捉到失步振荡特征而导致的误动和拒动问题。

利用并列式与长链式断面失步解列系统构建方法,文中还设计了滇中西南解列系统中滇西、滇中断面的失步解列功能,以及滇东北解列系统,这 3 个系统共同构成了异步联网后云南电网失步解列第 3 道防线。

根据所设计的方案,以滇西北失步解列系统为例,仿真 0 s 时刻黄坪至仁和发生 N-2 故障且稳控拒动时,系统发生失步如图 9 所示,大理侧  $U\cos\varphi$  判

据和主站电压比相判据均满足动作条件,在第一个失步振荡周期结束时,即仿真 1.5 s 时刻滇西北解列系统动作,将滇西北电网与云南主网分列运行。随后,两侧异步运行系统相角差已无实际意义,而滇西北侧  $U\cos\varphi$  数值恢复正常,两侧系统均各自保持同步稳定运行。

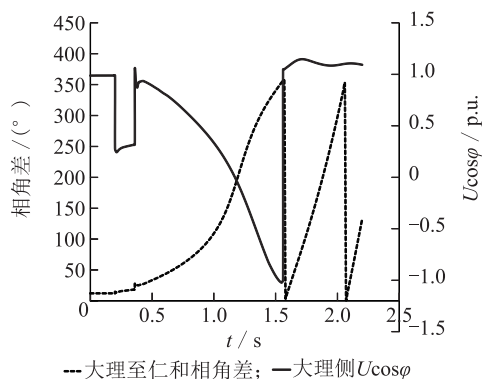


图 9 滇西北失步解列系统动作仿真曲线

Fig.9 Simulation curve of out-of-step separation system in northwestern Yunnan

## 5 结语

首先利用电压比相原理和  $U\cos\varphi$  原理对异步联网后云南电网的失步特性进行了研究,发现失步断面主要位于滇西北、滇东北、滇中西南 3 个区域,并可归纳为并列式和长链式失步断面 2 种类型。然后结合电压比相判据和  $U\cos\varphi$  判据,提出了适用于并列式与长链式断面的失步解列系统构建方法,并设计了滇西北、滇东北、滇中西南失步解列系统方案和策略,用于弥补云南电网现有分散独立式失步解列装置的不足,以适应异步联网后云南电网新的失步特性。文中所提出的失步解列系统方案,还需在多种方式、多种故障类型下进一步验证其有效性,方可付之于工程实施。

### 参考文献:

- [1] 赵 勇,徐光虎,张 勇. 南方电网的失步特征与解列措施适应性分析[J]. 南方电网技术,2010,4(3):38-41.  
ZHAO Yong, XU Guanghu, ZHANG Yong. Analysis on out-of-step characteristics of China southern power grid and adaptability of its splitting measures[J]. Southern Power System Technology, 2010, 4(3):38-41.
- [2] 黄 河,曾勇刚,俞秋阳. 南方电网失步解列装置整定方案[J]. 电力系统自动化,2008,32(5):90-94.  
HUANG He, ZENG Yonggang, YU Qiuyang. Study on setting scheme of out-of-step separation systems in China southern power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(5):90-94.
- [3] 白 杨,高 鹏,孙光辉,等. 中国南方电网失步解列装置的

- 配合[J]. 电力系统自动化,2006,30(7):85-88.  
BAI Yang, GAO Peng, SUN Guanghui, et al. Coordination of out-of-step separation devices in China southern power grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(7):85-88.
- [4] 常宝立,涂亮,方胜文,等. “两渡”直流投产后南方电网振荡中心特性分析[J]. 现代电力,2016,33(1):47-53.  
CHANG Baoli, TU Liang, FANG Shengwen, et al. Characteristic analysis of oscillation center for China southern power grid on commissioning of "Liang Du" HVDC project[J]. Modern Electric Power,2016,33(1):47-53.
- [5] 孙光辉,吴小辰,曾勇刚. 电网第三道防线问题分析及失步解列解决方案构想[J]. 南方电网技术,2008,2(3):7-11.  
SUN Guanghui, WU Xiaocheng, ZENG Yonggang. Analysis on the problems about the third defense line of power systems and the concept of dealing with the separation relay after loss of synchronism[J]. Southern Power System Technology,2008,2(3):7-11.
- [6] 张保会,汪成根,郝治国. 电力系统失步解列存在的问题及需要开展的研究[J]. 电力自动化设备,2010,30(10):1-6.  
ZHANG Baohui, WANG Chenggen, HAO Zhiguo. Problems and solutions of power system out-of-step islanding [J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(10):1-6.
- [7] 高鹏,王建全,甘德强,等. 电力系统失步解列综述[J]. 电力系统自动化,2005,29(19):90-96.  
GAO Peng, WANG Jianquan, GAN Deqiang, et al. Review on power system out-of-step separation[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(19):90-96.
- [8] 王珂,崔晓丹,叶萌,等. 广州电网复杂故障阻隔策略研究[J]. 电力系统保护与控制,2015,(12):123-128.  
WANG Ke, CUI Xiaodan, YE Meng, et al. Block strategies of the sever faults of Guangzhou power grid [J]. Power System Protection and Control,2015,(12):123-128.
- [9] 董希建,赵杰,凌超. 基于相位角原理的失步振荡解列判据机理研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(7):1-6.  
DONG Xijian, ZHAO Jie, LING Chao. Research on out-of-step oscillation criterion mechanism based on principle of phase angle[J]. Power System Protection and Control,2010,38(7):1-6.
- [10] 宗洪良,任祖怡,郑玉平,等. 基于  $U\cos\varphi$  的失步解列装置[J]. 电力系统自动化,2003,27(19):83-85.  
ZONG Hongliang, REN Zuyi, ZHEN Yuping, et al. An out-of-step splitting device based on the changing track of the voltage of oscillation center [J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(19):83-85.
- [11] 李战鹰,张建设,黄河. 南方电网失步解列系统特性RTDS仿真试验研究[J]. 南方电网技术,2008,2(1):31-35.  
LI Zhanying, ZHANG Jianshe, HUANG He. RTDS simulation study on the performance of out-of-step splitting systems in China southern power grid[J]. Southern Power System Technology,2008,2(1):31-35.
- [12] 宗洪良,孙光辉,刘志,等. 大型电力系统失步解列装置的协调方案[J]. 电力系统自动化,2003,27(22):72-75.  
ZONG Hongliang, SUN Guanghui, LIU Zhi. Coordination of out-of-step protection equipment in large power systems [J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(22):72-75.
- [13] 郭珂,唐飞,廖清芬. 多频失步振荡场景下大区互联电网失步振荡中心电压频率演变规律研究[J]. 中国电机工程学报,2015,35(13):3257-3263.  
GUO Ke, TANG Fei, LIAO Qingfen. Study on out-of-step center in multi-frequency oscillation of interconnected power system [J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(13):3257-3263.
- [14] 唐飞,杨健,刘涤尘. 基于电压频率特性的大区联网失步振荡中心研究[J]. 高电压技术,2015,41(3):754-761.  
TANG Fei, YANG Jian, LIU Dichen. Study on the oscillation center of interconnected area power grids based on voltage frequency characteristic [J]. High Voltage Engineering,2015,41(3):754-761.
- [15] 丁剑,马世英,吴丽华. 长距离输电型电网振荡中心分布及解列措施[J]. 电力系统自动化,2015,(10):186-191.  
DING Jian, MA Shiyong, WU Lihua. Out-of-step oscillation centers distribution and islanding operation of long distance transmission interconnected power system [J]. Automation of Electric Power Systems,2015,(10):186-191.
- [16] 唐飞,杨健,刘涤尘. 基于电压频率特性的大区联网失步振荡中心研究[J]. 高电压技术,2015,41(3):754-761.  
TANG Fei, YANG Jian, LIU Dichen. Study on the oscillation center of interconnected area power grids based on voltage frequency characteristic [J]. High Voltage Engineering,2015,41(3):754-761.
- [17] 夏彦辉,董宸,孙丹,等. 独立局域电网三道防线建设方案分析[J]. 电力工程技术,2017,36(3):76-81.  
XIA Yanhui, DONG Chen, SUN Dan, et al. Analysis on construction scheme of three defense lines for independent local power grid [J]. Electric Power Engineering Technology,2017,36(3):76-81.
- [18] 张洪喜,沈军,赵青春,等. 一种综合判别电力系统失步的新方法[J]. 电力工程技术,2017,36(4):86-90.  
ZHANG Hongxi, SHEN Jun, ZHAO Qingchun, et al. A new method of synthetic judging out-of-step on power system [J]. Electric Power Engineering Technology,2017,36(4):86-90.

## 作者简介:



肖友强

肖友强(1962—),男,博士,高级工程师,从事电力系统稳定与分析工作(E-mail: fall-sunplus@163.com);

俞秋阳(1980—),男,硕士,高级工程师,从事电力系统稳定控制工作(E-mail: yuqy@nrec.com);

陈义宣(1982—),男,硕士,工程师,从事电力系统电力系统规划与分析工作(E-mail: chenyx@163.com)。

## Design and Implementation of Upgrading Function for Substation Telecontrol Data Model

ZHOU Yifan, YAN Youjun, QI Zhong, PENG Chuang  
(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** With the development of intelligent substation technology, the transition from traditional substation to intelligent substation will continue for a long time. Aiming at the shortcomings of manual maintenance of the remote device model as heavy workload and error-prone, the characteristics of the information structure and object model of the telecontrol device are analyzed. A remote configuration upgrade conversion scheme is proposed. Combined with the specific application examples, the program design and development process of the tool software are introduced, the modules that make up the tool are put forward, and their functions are described in detail. Compared with the traditional way, the scheme can significantly reduce the difficulty of substation remote transformation and improve the efficiency of project implementation.

**Key words:** object model; configuration tool; communication gateway; upgrade conversion

(编辑 陈娜)

(上接第 85 页)

## Modeling and Parameter Design of Load Converter Based on Virtual Synchronous Motor

HE Guanghui<sup>1</sup>, ZHANG Yangfei<sup>1</sup>, CHEN Guangyu<sup>1</sup>, YUAN Yubo<sup>2</sup>, ZHANG Chenyu<sup>2</sup>, SHI Mingming<sup>2</sup>  
(1. School of Electric Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China;  
2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** With the continuous development of power electronics technology, the load converters are constantly being connected to the power grid. So the power grid is progressively developing into a low inertia and less damping network, and the issues of power grid's security and stability are becoming increasingly prominent. Under the traditional control of converter, the load is difficult to participate effectively in the dynamic regulation of the power grid. Virtual synchronous motor technology can provide inertial support for the system so, it attracts people's attention. This paper introduces the principle of the load virtual synchronous motor, and establishes the small signal model of the load virtual synchronous motor, and it also gives a control parameter design method of the load virtual synchronous motor. This method can balance the stability and dynamic performance of the system. The Matlab / Simulink simulation results show that the correctness of the small signal model and the effectiveness of the design method which proves that it can provide some support for the stability of the power grid.

**Key words:** virtual synchronous motor; small signal model; parameter design; stability

(编辑 杨卫星)

(上接第 102 页)

## Research on Oscillation Characteristics and Out-of-step Separation System Scheme for Yunnan Power Grid After Asynchronous Interconnection

XIAO Youqiang<sup>1</sup>, YU Qiuyang<sup>2</sup>, CHEN Yixuan<sup>1</sup>, FANG Shengwen<sup>2</sup>

(1. Yunnan Power Grid Corporation Plan Center, Kunming 650011, China; 2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Yunnan Power Grid and China Southern Power Grid have become an asynchronous network. There is a new change in the out-of-step oscillation characteristics of the grid. In this paper, four kinds of multiple serious faults are studied which are under the typical mode of Yunnan Power Grid. The out-of-step oscillation sections can be divided into two types, one is the parallel section and another is the long chain section. Yunnan Power Grid is currently equipped with distributed out-of-step devices, which is not ideal for the out-of-step determination and separation for these two types of out-of-step sections. A method is presented to design an out-of-step system based on the  $U\cos\varphi$  criterion and the voltage phase difference criterion. Three out-of-step systems are designed respectively for northwestern Yunnan, northeastern Yunnan and southwestern Yunnan. The strategies of the out-of-step systems are also developed.

**Key words:** out-of-step oscillation; oscillation center; out-of-step separation; separation system

(编辑 钱悦)