

# 简单电力系统失步运行时对策浅析

杨炳元<sup>1</sup>, 张保会<sup>2</sup>, 吴集光<sup>1</sup>

(1. 内蒙古电力学院, 内蒙古 呼和浩特 010080; 2. 西安交通大学, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 综述了两机等值电力系统稳定破坏后, 进入稳态非同步运行时, 各运行量的变化规律。在弄清其物理过程的同时, 在一定条件下, 应采取的积极对策和分析, 并通过数字仿真对部分结论加以说明。

**关键词:** 电力系统; 电力系统稳定; 电力系统振荡

**中图分类号:** TM732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)02-0014-03

## 1 前言

考虑电力系统失稳后的对策与否, 对电力系统的安全有极为重要的影响。以往的运行经验表明, 重大系统事故的发生, 几乎都是由系统失去稳定而扩大, 因无预定的反事故对策, 而后发展为灾害性后果。因而, 不管对系统稳定性裕度要求如何严格, 措施如何完善, 总可能因一些事先不可预计的各种偶然因素叠加, 产生稳定破坏事故, 而过分提高对系统稳定性裕度的要求, 又需要大量的投资。所以, 一个较弱而有措施准备的系统, 会比较强而无措施准备的系统有更好的运行效果。

## 2 研究电力系统稳定破坏后运行量变化规律的意义

研究电力系统在某种工况下, 稳定破坏后, 运行量变化规律的意义在于: 一方面, 解释非同步运行的物理现象, 清晰这些物理现象, 就可以解释实际电力系统中, 发生系统振荡时, 各种自动装置的动作行为。另一方面, 弄清了其物理过程, 就可有的放矢地采取一些有效的反事故对策, 为研制新型的安全自动装置提供理论基础。

## 3 简单电力系统失步运行时, 运行量的变化规律综述

现对西北电网中的陕西省安康发电厂至西安南郊变电站的双回 330kV 输电线路做离线仿真计算加以说明, 等值网络如下图 1 所示。安康电厂总装机容量为 800MW, 正常由此双回线向南郊变电站送

负荷约 600MW; 当安南线其中一回线路距安康占全长线路 10% 处发生三相接地短路, 保护 0.2s 动作切除故障且设无重合闸行为。此时, 若系统不采取任何措施, 则安康电厂将相对于整个系统失步; 详见仿真结果图 2 及图 3 所示。

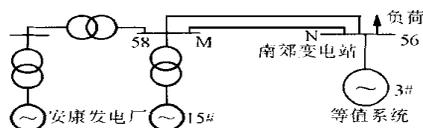


图 1 等值网络系统图

### 3.1 两机系统非同步运行时, 振荡电流的变化规律

振荡电流的包络线为一个周期函数, 振荡电流的瞬时频率随振荡电流幅值变化而变化, 当振荡电流有最小值时, 其振荡电流瞬时频率将大于两机系统中送端的频率。当振荡电流有最大值时, 其振荡电流瞬时频率将比送端的频率小。(仿真结果见图 4) 当送端等值电势高于受端电势时, 振荡电流的平均频率等于送端频率。

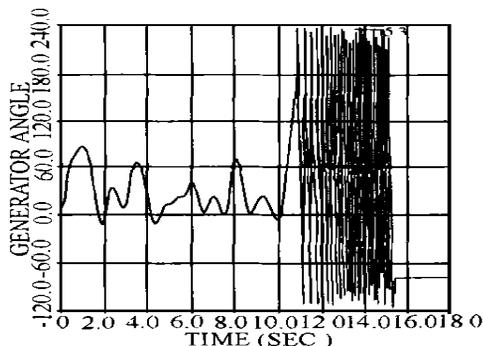


图 2 安康发电厂机组与等值系统间的功角曲线

### 3.2 两机系统非同步运行时, 振荡电压的变化规律

振荡电压是与振荡电流同周期的周期函数(比较图 4 与图 5 可得)。振荡电压的瞬时频率: 在送端电压频率高于受端电压频率, 而受端振荡频率虽在

收稿日期: 1999-04-28

作者简介: 杨炳元(1967-), 男, 本科, 讲师, 从事大型同步发电机失步预测的研究工作。

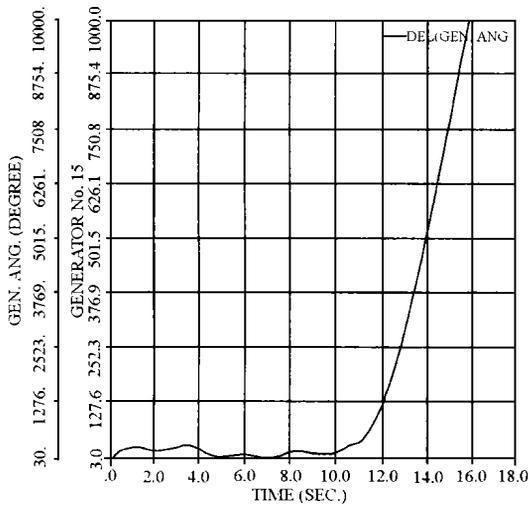


图3 安康电厂机组的功角摇摆曲线

原受端频率附近波动,且越靠近振荡中心,则波动越大。振荡电压平均频率,是以振荡中心为界,靠送端侧任一点电压平均频率与送端发电机的频率相同,而靠受端的一侧任一点的电压平均频率与受端发电机的频率相同(由图5与图6比较可得)。

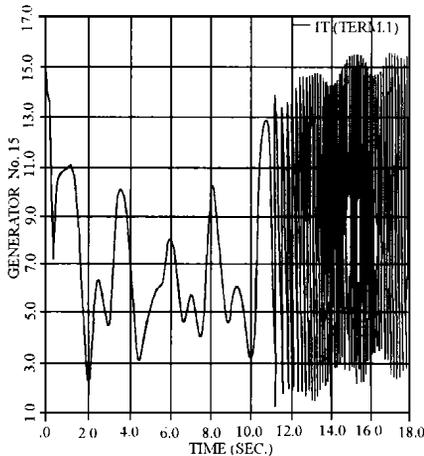


图4 安康电厂机组电流变化曲线

### 3.3 两机系统非同步运行时,测量阻抗的变化规律

a) 当两侧电势不相等时,母线处(如前图1所示的M或N)阻抗继电器测量阻抗变化轨迹均是一个圆。在送端,圆轨迹总是从右向左扫过阻抗平面;而在受端,其移动轨迹为自左向右扫过阻抗平面。

b) 当等值两机系统的等值电势幅值相等且全网阻抗角均匀时,上述测量阻抗变化轨迹为一穿过系统阻抗平面的直线。

## 4 电力系统失步后的反事故对策

根据 CIGRE 第 11 委员会和第 34 委员会对有关发电机组失步问题的调查研究结果表明:除加速故

障切除速度及进行适当的重合闸措施外,若振荡中心在发电机组之外或振荡电流产生的力矩等价于三相短路时电流力矩的 0.6~0.7 时,为了可能的快速再同步,允许发电机很短时间的失步运行而不进行切机,可采取如下积极的反事故措施。

### 4.1 快速减低原动机功率

切机的缺点是开关断开后,同时切除了系统的部分惯性并且当系统恢复时又要进行并列操作。现代的大容量汽轮机组有高速阀门控制,可以在 0.2s 内快速关闭汽轮机输入功率,而不减少系统的惯性,因此,在火电厂这种控制方式比切机更容易实现。

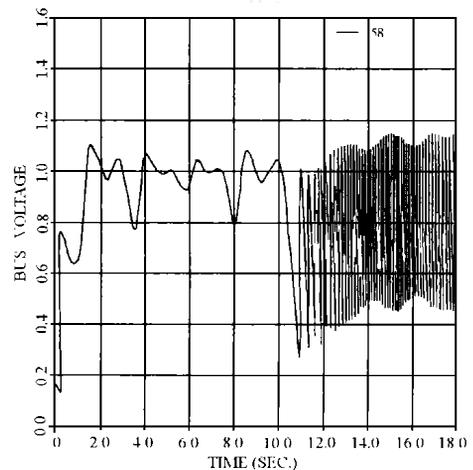


图5 安康电厂高压母线电压变化曲线

快关汽门分为两种,一种是短暂快关,即在发出指令后迅即关闭中压调节汽门,在极短时间内,例如在小于发出指令后的 0.5s 内将提供汽轮机的机械功率降低到满负荷时的 30%~40%,然后经短时间,例如 1s,再逐渐重开中压阀门,使输入到原动机的机械功率回升到快关前的值或给定的新值。另一种快关汽门的方式是持续快关,即当中压阀门快速关下时,主控制阀也同时部分关闭,当中压阀门再度开启后,主控制阀继续保持在部分关闭位置,使事件后的发电机组输出功率长期处于被关闭后的值,起到部分切机的作用。

使用快关汽门需要特别注意的是:快关的执行速度不能超过机组动力设备设计及运行条件限制。

### 4.2 切负荷

在受电侧预防系统失步的控制原理是快速切去部分负荷,以减小减速功率。在小系统切去较少负荷,可以抵上大的送电系统切去较多机组同样的作用。切集中负荷,可以提高系统运行频率,可以减轻某些电源线路的过负荷,可以提高受端电压水平,因而有利于系统的安全稳定运行。

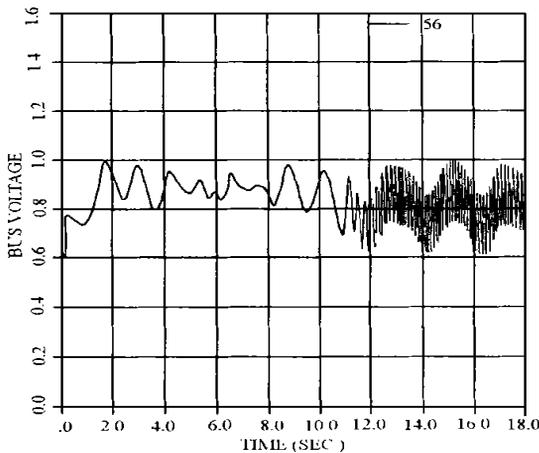


图6 西安南郊变电站高压母线电压变化曲线

误切负荷的副作用很大,因而需慎重使用。减小和避免误切负荷的可行办法之一,是增加被切负荷的某种参量的就地判别监控,只有当本地的判别元件动作而又收到遥切命令时才执行切负荷。

#### 4.3 串联电容的强行补偿

在线路上有串联电容器补偿时,强补是一个经济有效的提高稳定措施,所谓强补方式是指让一部分串联电容器在功角增大时自动退出,这样留下的电容器  $X_c$  ( $X_c$  电容器电抗) 增大,对线路电感的补偿作用增大,因而提高了暂态稳定极限。

#### 4.4 强行励磁

当系统有振荡迹象时,对励磁系统快速强行升高励磁,由于发电机电势  $E$  的提高也可以使发电机电磁功率  $P_e$  快速提高,对提高输电能力发挥积极作用。

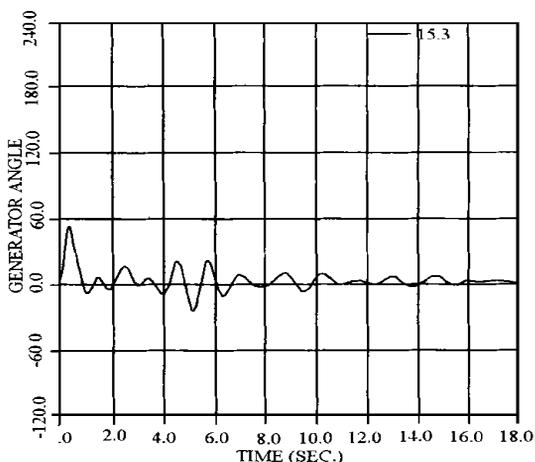


图7 采取切机措施后的安康发电厂机组与等值系统间的功角曲线

快速励磁是一种提高暂态稳定的常用措施,在弱传输系统中,在规定的故障切除时间下,快速励磁

对提高暂态稳定条件下的线路极限传输功率很有好处。根据简单电力系统中稳定控制的等面积定则,由于快速励磁只能对制动面积起作用,所以,效果比不上快速切除故障,因快速切除故障即减小了加速面积又增加了制动面积,具有双重效果。

#### 4.5 电气制动

电气制动是指在故障切除后在送端电厂母线上短时间投入一电阻器,以吸收发电机组因故障获得的加速能量,使发电机组在故障切除后得以快速减速,从而减小最大摇摆角,达到提高稳定水平的目的。此方法通常用于大型水电厂,且关键问题是制动电阻须快投入且按时退出。虽然使用电气制动需要增加一次设备,但因为它是短时间作用的,并且制动能量可以控制,因此控制得好可以得到较好的效果,而对系统的不良副作用小。

因对短时扰动轻易切机是一种麻烦,因此应尽可能采用优先制动后切机控制方式,保证只是永久性扰动才进行切机。但是不管制动还是切机,当设置在容量较小的送电侧时,为了保持与大系统同步,花较小的控制代价可以取得较好的控制效果。反之,如果在大系统中采取控制措施则是不合理的。

#### 4.6 切机

在送电侧预防系统失步的控制原则是:快速减小加速功率,对主要向中远距离大系统输电的电厂或较小的系统而言,切机是一种较为合适的措施。切机则适合于满足长期的功率平衡。通过数字仿真结果可以看出:原仿真系统在上述同一故障0.25s后切除安康电厂50%机组,系统不再失步。(详见仿真结果图7)。

切机的优点是不花投资,对甩负荷一类事故最合适。切机适用条件:

A、如果送端只是电源,负荷全部集中在受端系统,切机措施效果明显。

B、如果送端为大系统,受端为小系统,受端负荷容量小于送端容量,送端电厂切机抑制角度摆开的效果不好,受端切负荷好。

C、希望在故障发生后尽快加速切机时间,切得愈慢,效果愈差,等到其它机组已进入失稳边缘,再切机也无济于事了,所以一般选动作快的机组变压器侧高压断路器为切机控制点。

#### 4.7 解列

在输电线极限功率占二侧系统总功率较小比例时,解列是一种比较简单而实际的解决办法。在重负荷输电线上经过各种稳定措施的(下转第36页)

合监测系统,所以它非常适用于电力自动化系统、工业自动化系统和楼宇自动化系统等。

#### 参考文献:

- [1] Texas Instruments, TMS320C3X User's Guide, 1994.  
 [2] 张东江,陈曼青. 基于嵌入式 PC 的人机接口. 中国电机工程学会继电保护专业委员会第七届学术年会论文集,北京:1998.

- [3] 北京麦克泰软件技术公司. VRTX 嵌入式实时操作系统.  
 [4] 姜霞,何海波等. 实时多任务电能质量监测软件的研究与实现. 全国高校电力系统及其自动化专业第十五届学术年会. 武汉:1999.  
 [5] VisualC++ 5 开发使用手册. 机械工业出版社.

### The research on DSP based intelligent power supervisor device

LI Bi-tao<sup>1</sup>, WEN Jin-yu<sup>1</sup>, JIANG Xia<sup>1</sup>, CHENG Shi-jie<sup>1</sup>, YI Yong-hui<sup>2</sup>, ZHANG Wang<sup>2</sup>

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;  
 2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper introduces a new developed Intelligent Power Supervisor Device (IPSD) based on powerful Digital Signal Processor (DSP). The functions that an IPSD should have are discussed. The realization of the hardware and software are also given in the paper.

**Keywords:** DSP; intelligent; power supervisor

(上接第 16 页) 努力,还是无法挽回失步系统失步时,解列也得值得考虑的一种防止事故扩大的最后应急措施。但必须有计划地安排解列点,使解列后的系统容量尽可能地平衡,所以在超高压大电网中,必须特别注意安排好解列点的问题。

以上各类措施可单独采用,也可同时采用,由于加速故障切除速度及进行适当的重合闸费用低、效果好,所以应优先采用。对于发电机的强行励磁、串(并)联电容补偿和切除并联电抗器,主要是控制电压和无功功率,容易灵活实现控制,也可优先考虑;而对于减少送受端的功率不平衡程度的措施,如切机、快关汽门、电阻制动、切负荷等,主要是控制有功功率,提高系统暂态稳定性,实现起来较困难,同时对电力系统影响也较大,通常是前两类控制不能

满足要求时采用。

### 5 结束语

针对我国电力系统的实际情况,电源的发展超前网络的发展,电源点距负荷中心较远,网络联系相对薄弱,稳定储备低;当借助于一些完善的反事故对策时,可以提高电力系统运行的安全性,取得良好的运行效果。

#### 参考文献:

- [1] 王梅义. 大电网技术. 水利电力出版社, 1991.  
 [2] 韩祯祥. 电力系统稳定. 中国电力出版社, 1995.  
 [3] 袁季修. 电力系统安全稳定控制. 中国电力出版社, 1996.

### Analysis of countermeasures for simple power system in out-of-step conditions

YANG Bing-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Bao-hui<sup>2</sup>, WU Ji-guang<sup>1</sup>

(1. Electric Power College of Inner Mongolia Polytechnic University, Huhehaote 010080;  
 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** In this paper, an overview of the variables change regularity after the disturbance of equivalent two-generator power system's stability is given. Based on the analysis of physical course, some active countermeasures are developed. In addition, the conclusions are testified through digital simulation.

**Keywords:** power system; stability of power system; vibration of power system