

发电厂次同步振荡(SSO) 问题的解决方法

刘代祥¹ 汪立²

(1. 四川省电力工业调整试验所, 四川 成都 610061;

2. 四川中电福溪电力开发有限公司, 四川 成都 645152)

摘 要:当直流换流站发生单极或双极闭锁时, 靠近直流换流站的发电机组就极有可能产生次同步振荡(SSO), 这就迫切需要引入发电机轴系扭振保护(TSR) 装置和 SEDC 装置来用于解决次同步振荡(SSO) 引发的轴系扭振, 避免造成轴系某些部件如联轴器断裂或疲劳损坏, 保证机组和电网的安全运行。

关键词:次同步振荡(SSO); 扭振保护(TSR); 附加励磁阻尼控制器(SEDC)

Abstract: While monopolar or bipolar blocked in HVDC converter station, the subsynchronous oscillation (SSO) may occur in the generating unit nearby HVDC converter station. So a subsynchronous torsional protection (torsional stress relay) scheme is highly required to protect generator shafts from damage caused by subsynchronous resonance(SSR), which may cause some parts of generator shafts (such as shaft coupling) broken. The subsynchronous torsional protection and supplementary excitation damping controller(SEDC) demonstrate their effectiveness in detecting subsynchronous vibration and protecting generator shafts.

Key words: subsynchronous oscillation; torsional stress relay; supplementary excitation damping controller

中图分类号:TK474 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2012)02-0078-07

0 引 言

汽轮发电机组轴系扭振是指在发生机电扰动时, 汽轮机驱动转矩与发电机电磁制动转矩之间失去平衡, 使轴系这个弹性质量系统产生一种振动形式——扭转振动。引起扭振的原因来自两方面: 机械扰动与电气扰动。前者主要指不适当的进汽方式、调速系统晃动、快控汽门等。后者一般根据大小分为两类: 一类是由串联电容补偿所引起的次同步谐振(subsynchronous resonance, SSR) 及有源电力设备及其控制系统(HVDC、PSS、SVC 等) 引起的次同步振荡(subsynchronous oscillation, SSO); 另一类是指各种急剧扰动造成的暂态冲击, 如短路、自动重合闸、误并列、甩负荷等。由直流输电引起的汽轮发电机组的次同步振荡问题, 1977 年首先在美国 Square Butte 直流输电工程调试时被发现, 后来, 在美国的 CU、IPP、印度的 Rihand - Deli、瑞典的 Fenno - Skan 等高压直流输电工程中, 都表明有可能导致次同步振荡。根据 IEEE 的 SSR 工作小组的定义, 次同步谐振是电力系统的一种状态, 即电网在低于系统同步频率的一个或几个频率

下与汽轮发电机进行能量交换。由于汽轮机和发电机的转子惯性较大, 表现出对轴系本身的低阶扭振模态十分敏感, 呈低周高应力的受力状态, 这种机电共振直接严重威胁机组的安全可靠运行, 次同步振荡现象会对发电机组和电网的安全运行带来直接的重大危险。

1 次同步振荡产生的机理

高压直流输电系统(HVDC) 引起的次同步振荡, 已经确认有两种可能的产生机理, 其中一种与直流输电换流器的快速控制有关。直流输电换流器控制与邻近汽轮发电机组轴系扭振相互作用的机理, 可用图 1 进行解释: 若机组轴系受到电磁转矩的小扰动, 会导致某一扭振模态转速和转角摄动($\Delta\omega$ 和 $\Delta\theta$), 将引起机端电压幅值与相位的相应摄动(ΔV 和 $\Delta\theta_v$), 从而导致换流母线电压幅值与相位的摄动。对应于换流母线电压相位的摄动, 换流阀触发角将产生相同的摄动($\Delta\alpha$), 从而导致直流电压和电流产生摄动(ΔV_d 和 ΔI_d); 而对应于换流母线电压幅值的摄动, 同样也会使直流电压和电流产生摄动。

上述两者的作用将导致直流电压和电流偏离平衡状态,而 HVDC 控制将感应这种偏差并加以快速校正和调整,引起发电机电磁转矩的扰动(ΔT_e),最终又反馈作用于机组轴系。如果发电机转速变化与由此引起的电磁转矩变化之间的相位滞后(包括闭环控制系统的附加相位滞后)超过 90° ,则将形成一种正反馈性质的扭振相互作用,不断助增扰动幅值,导致轴系扭振失稳。

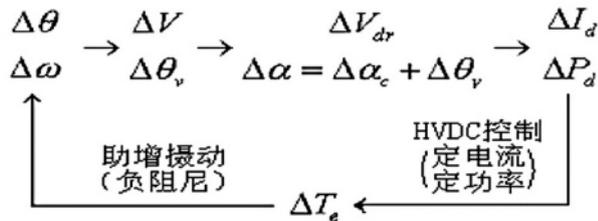


图1 HVDC 换流器控制引起次同步振荡示意图

2 盘南电厂引入扭振保护的必要性

盘南电厂 4×600 MW 机组全部投入运行,电厂通过两回 85 km 的 500 kV 输电线路接入兴仁 500 kV 直流换流站,兴仁换流站另外还有两回 500 kV 线路分别与八河和天生桥 II 站相连,兴仁换流直流站的直流额定功率为 3 000 MW, 双极直流 ± 500 kV, 通过一回线路送电至广东电网,直流双极已于 2007 年 10 月投入商业运行(电网结构如图 2 所示)。

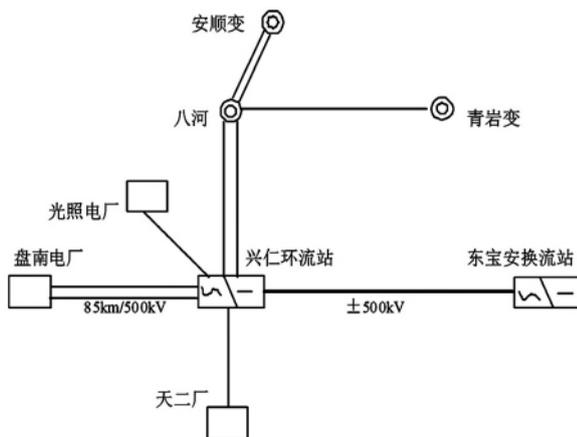


图2 盘南电厂所在区域电网结构图

由于盘南电厂距离兴仁换流站较近,经南方电网技术研究中心计算分析,当直流换流站投入运行时,盘南电厂机组的 SSR 稳定性与直流线路的输送功率及兴仁换流站连接并运行的交流输电线路的回路数有关,兴仁换流站与交流系统的联系越弱,越容易产

生 SSO。直流系统输送最大功率,兴仁换流站与交流系统的联系最弱的运行方式是产生 SSO 问题的最严重的方式,即当盘南电厂孤岛运行或天换线停运时发生次同步振荡的可能性最大。

盘南电厂 4×600 MW 机组采用东方汽轮机厂生产的亚临界、一次中间再热、单轴、三缸四排汽、冲动式、直接空冷凝汽式 N600-16.67/538/538 汽轮机配东电生产的 QFSN-600-2-22B 型汽轮发电机,其汽轮发电机的机电系统特征频率见表 1。

表1 汽轮发电机的机电系统特征频率

试验频率测量结果/Hz				
模态 1	模态 2	模态 3	模态 4	模态 5
13.115	25.095	29.330	—	—

时域仿真的结果表明,盘南电厂机组轴系的不稳定主要表现在模态 1 和模态 2,在兴仁换流站加装阻尼控制回路 SSDC 后,盘南电厂机组模态 1 和模态 2 的在各种方式下的轴系振荡均被抑制。但是, HVDC 系统是一个非常复杂的电网,当各种没有考虑到的或超出设计范围之外的特殊运行方式出现时,换流站附近的发电机组同样可能产生次同步振荡,因此必须在盘南电厂各台机组上安装轴系扭振保护装置(torsional stress relay, TSR),作为发电机组防止产生 SSO 的后备措施和最后一道防线,当机组发生次同步振荡且振荡达到一定的程度时可以切除发电机组,以保护机组的安全。

3 盘南电厂 TSR 保护配置

每台汽轮发电机组装设两套 CSC-812 型扭振保护(TSR), CSC-812 装置通过在机端监测扭振信号经解调后计算出轴系各段的疲劳,采用特殊的实时算法计算实时疲劳。每台 TSR 对每台汽轮发电机组都有单独的输入信号和跳闸输出(TSR 监测原理结构图) 2 套 TSR 保护之间无任何电气联系,当一套 TSR 保护因异常退出或检修时,不影响另一套 TSR 保护正常运行。TSR 保护功能有反时限疲劳保护和扭振发散保护。

TSR 保护定值整定原则及跳闸曲线如下。

- 1) TSR 装置作为 SSO 工况下的汽轮发电机组轴系扭振保护,以保护汽轮发电机组轴系安全为主要目的。
- 2) TSR 装置动作将导致切机, TSR 装置应当尽可能少动作。

3) 在SSO工况下,盘南电厂4台600 MW机组TSR各自独立按照整定定值动作,暂不考虑4台机组切机的疲劳定值的配合。

4) 盘南电厂TSR保护的疲劳整定定值为1%动作,即机组轴系经过一次扰动产生的疲劳损耗达到轴系疲劳寿命的1%时,TSR保护动作。

模态1值为0.33 rad/s时达到5 kWh位置疲劳极限,7951 s左右跳闸,扭转功率为180 MW。

模态2值为0.21 rad/s时达到6 kWh位置疲劳

极限,3525 s左右跳闸,扭转功率为210 MW。

模态3值为0.41 rad/s时达到2 kWh位置疲劳极限,4104 s左右跳闸,扭转功率为70 MW。

4 TSR保护可靠性验证

1) 2008年3月31日电网故障,兴仁HVDC换流站直流功率闭锁时2号机TSR装置的录波文件分析如图3和图4。



图3 电网故障TSR装置的模态波形

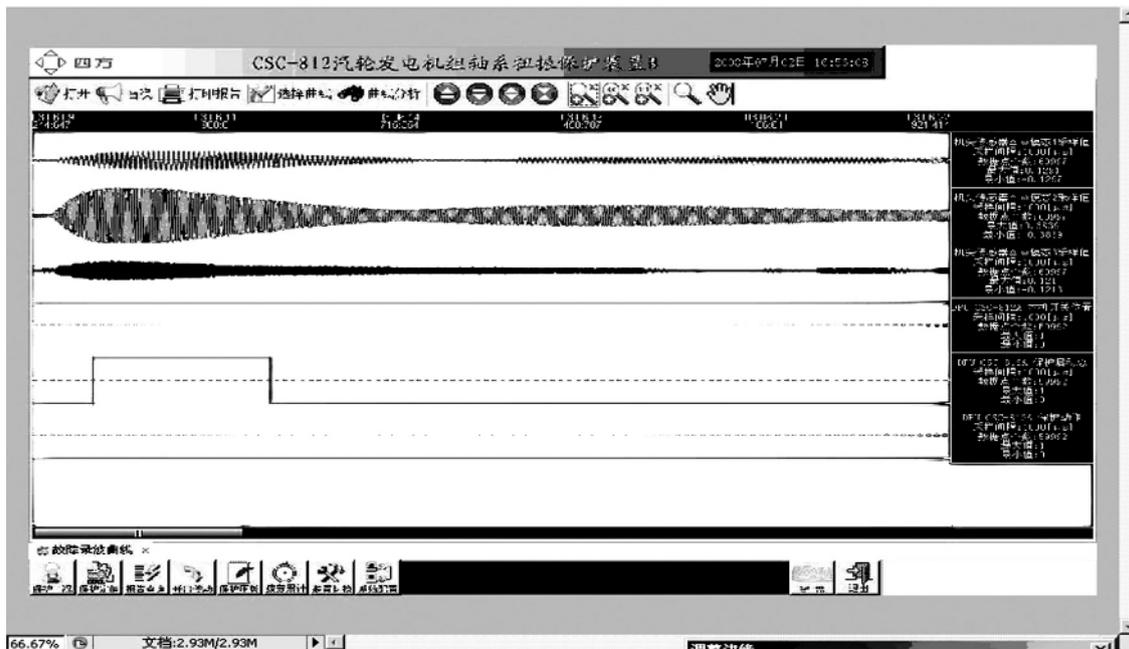


图4 电网故障TSR装置的局部图形

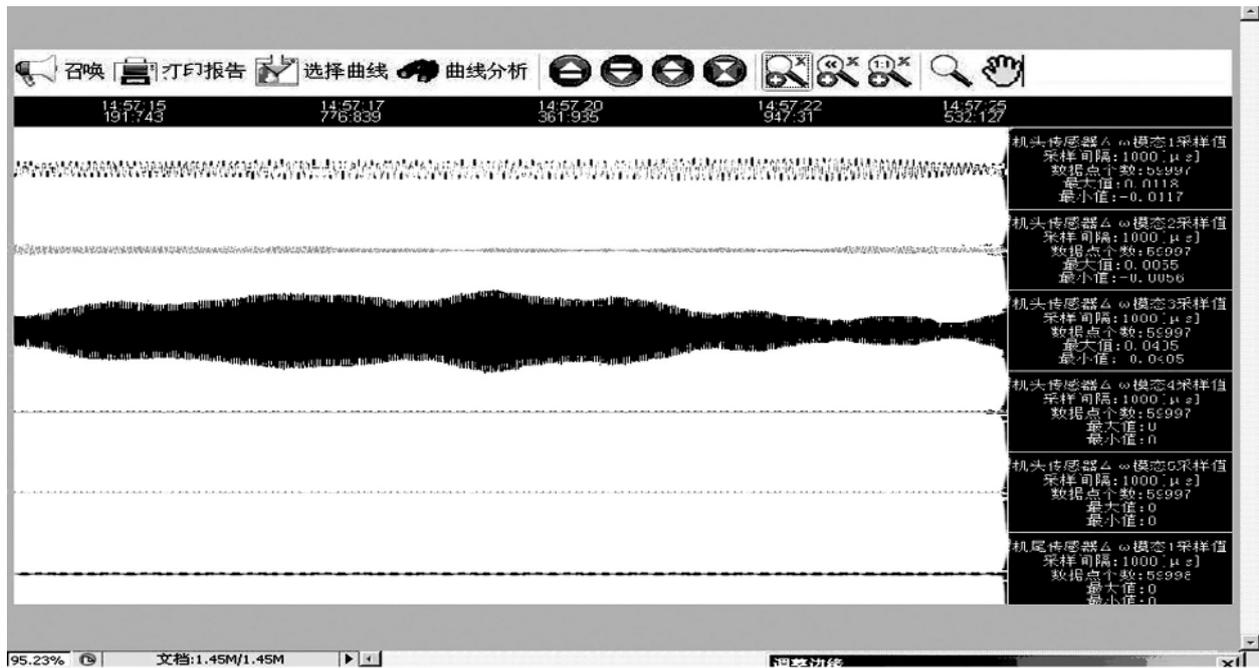


图5 降压运行试验的模式波形

模态1最大值为0.1291,最小值为-0.1297;模态2最大值为0.3839,最小值为-0.3839;模态3最大值为0.121,最小值为-0.1213。通过离线分析3个模态幅值均未达到轴系扭转疲劳累计,其中模态2幅值最大,但距疲劳累计值也较远,且在20s内完成衰减,因此对机组轴系疲劳无影响。

2) 图5是兴仁换流站进行降压运行试验时录下

的波形。

由于降压运行是一个稳态的过程,所以由图5可知3个模态的幅值都很小,即使是模态3的幅值也远没有达到录波启动的门槛值0.2,所以它对机组的大轴不会产生影响。

3) 图6是功率波动试验时的录波图形。

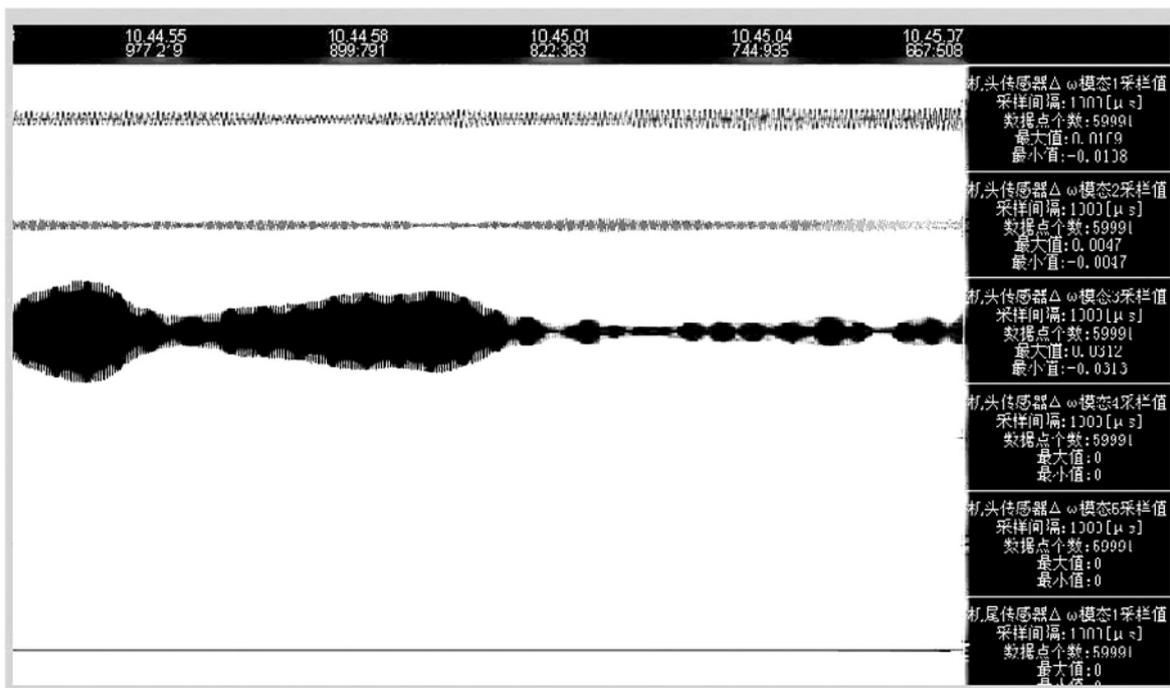


图6 功率波动试验的模式波形

由图6可知在HVDC系统做小的功率波动试验时3个模态中只有模态3有一点很小的反应,其他两个模态基本上没有变化,所以这种功率波动试验对机组不会有影响。

5 盘南电厂的SSO问题解决

南方电网技术研究中心在RTDS系统上做了针对盘南电厂轴系扭振保护装置(TSR)的动模试验,试验结果表明,在各种运行方式下(正常运行、八换线检修、天换线检修和电厂孤岛运行等各种运行方式),直流投入SSDC均可有效抑制次同步振荡,不会引起TSR装置动作。针对盘南电厂负荷通过双回直流线路送出引发的SSO问题,从TSR装置做静态试验到机组的启动试验机组正常运行,再到兴仁换流站的在线功率波动试验及直流闭锁试验可以看出CSC-812(TSR)都做出了正确的反应。

6 SEDC装置的引入

在目前的网架结构下,仿真结果显示盘南电厂的SSO问题在直流侧投入SSDC装置后可以有效抑制次同步振荡,但随着直流网架的增加,其周边大型发电机组的SSO问题将会日益复杂,随着对机组SSO问题的深入研究,提出了采用汽轮发电机组附加励磁阻尼控制器(supplementary excitation damping control-

ler,SEDC)来抑制机组的次同步振荡的方法。

6.1 SEDC装置原理

目前国内的SEDC装置是通过安装在汽轮发电机组上的轴系测速传感器,对汽轮发电机组的转速进行连续监视和分析,并对转速信号进行滤波的解调处理,进而得到与转子的固有扭振频率相对应的扭振分量,再经过对各个扭振模态信号的比例移相处理,形成各个模态的控制信号,同时考虑励磁控制器的容量限制进行限幅,将各个模态的控制信号进行叠加形成总的SEDC控制输出信号,将此控制输出信号叠加到励磁调节器的控制信号上,通过励磁控制器产生一个与发电机转子上的次同步感应电流幅值大小相等、相位相反的电流,进而形成与机组扭振作用相反的电磁转矩,只要SEDC的调节比例和移相环节参数适当,这个转矩就能对轴系的次同步扭振起到正阻尼作用,从而抵消机组扭振的影响,如图7。

6.2 SEDC装置在伊敏电厂的应用

2010年6月23日,四方公司的CSC-811P附加励磁阻尼控制器(SEDC)在伊敏发电厂,成功完成了二期两台600MW机组的扭振激发、抑制试验和串补投退、拉合线路等试验,试验结果如下。

图8为投伊冯乙线固定串补时,分别在有/无SEDC情况下3号机组模态2的转速差对比图。通过计算分析,无SEDC投固定串补时3号机组模态2衰减系数为0.063,收敛时间34s;有SEDC投固定串补时3号机组模态2衰减系数为0.199,收敛时间12s。

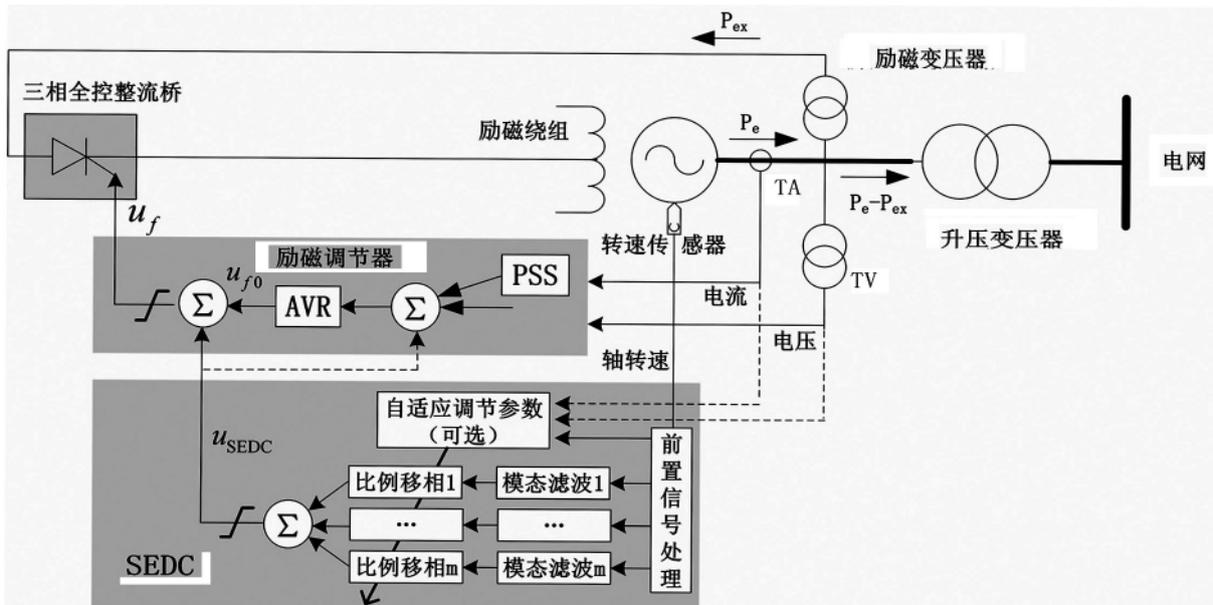


图7 SEDC的逻辑应用原理框图

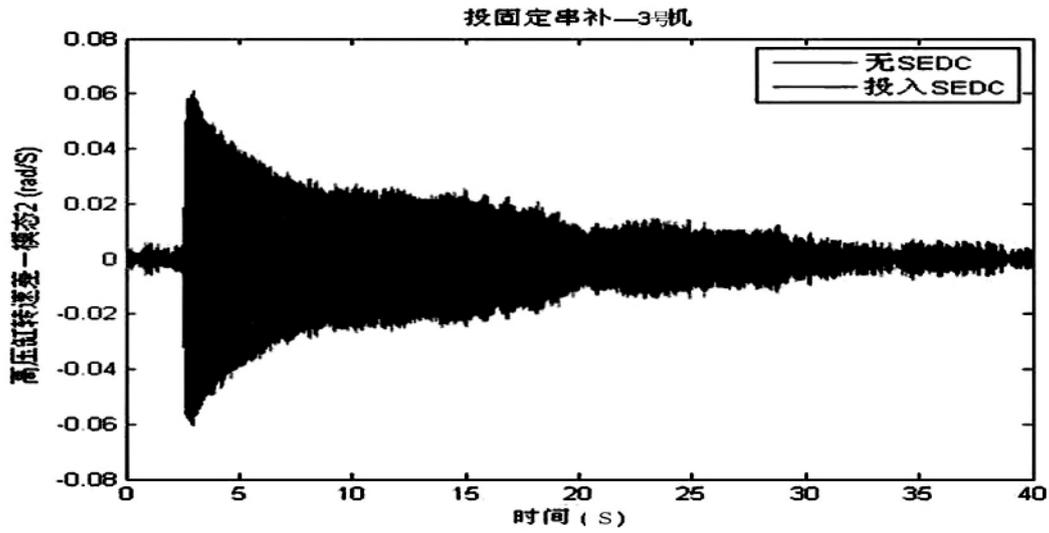


图8 投固定串补3号机组模态2动态过程

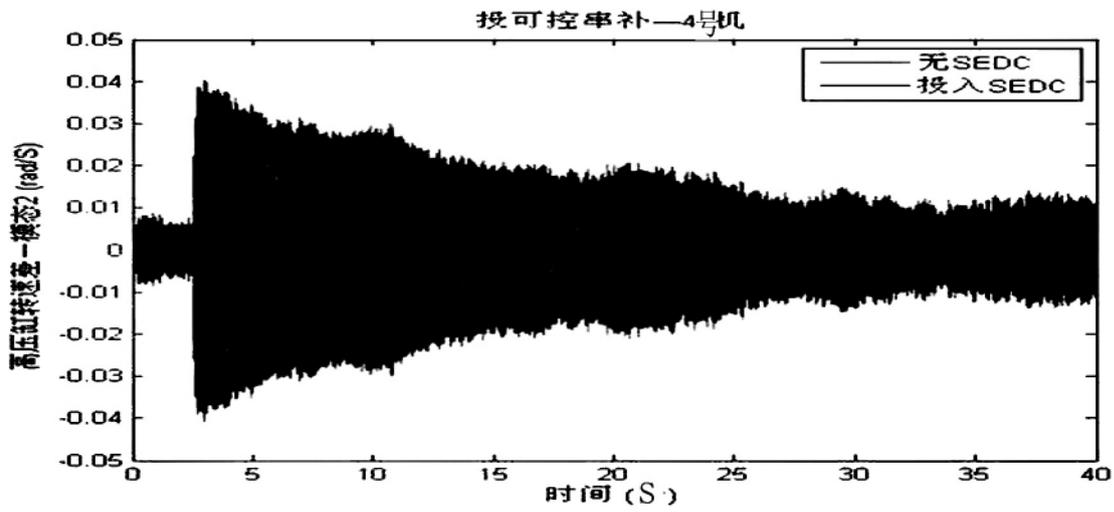


图9 投可控串补4号机组模态2动态过程

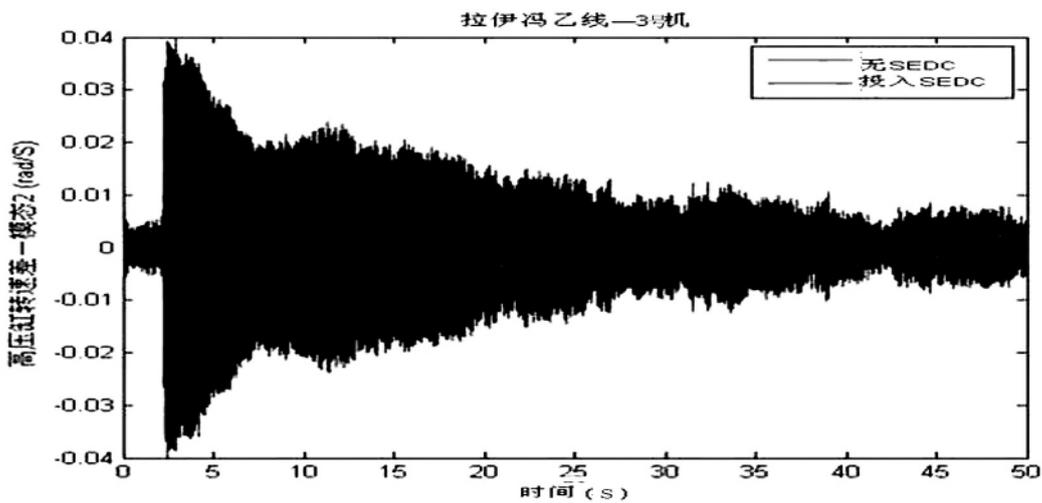


图10 拉线路3号机组模态2动态过程

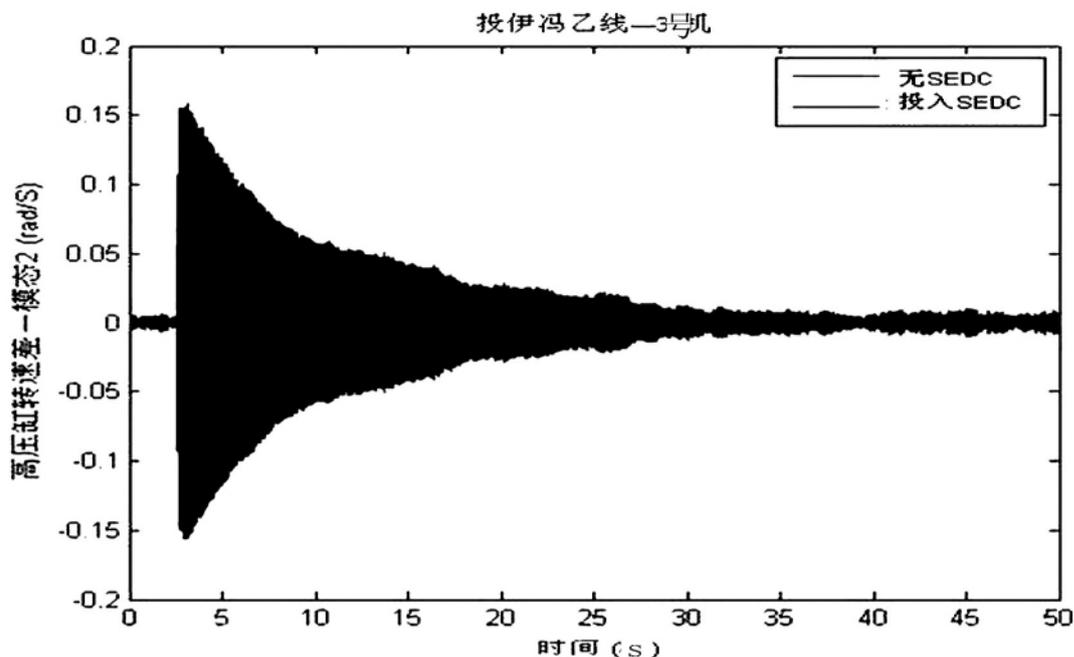


图11 合线路3号机模式2动态过程

图9为投伊冯乙线可控串补时,分别有/无SEDC情况下4号机组模式2的转速差对比图。通过计算分析,无SEDC投可控串补时4号机组模式2衰减系数为0.041,收敛时间32s;有SEDC投可控串补时4号机组模式2衰减系数为0.127,收敛时间20s。

图10为拉开伊冯乙线时,有/无SEDC情况下3号机组模式2的转速差对比图。通过计算分析,无SEDC拉开线路时3号机组模式2衰减系数为0.041,收敛时间50s;有SEDC拉开线路时3号机组模式2衰减系数为0.194,收敛时间12s。

图11为合伊冯乙线时,有/无SEDC情况下3号机组模式2的转速差对比图。通过计算分析,无SEDC合线路时3号机组模式2衰减系数为0.092,收敛时间33s;有SEDC合线路时3号机组模式2衰减系数为0.244,收敛时间13s。

7 结 语

盘南电厂SSO问题已通过投入SSDC & TSR装置得到解决,伊敏电厂的SSO问题可以利用附加励磁阻尼控制器明显地抑制,证明SSDC和SEDC是主动预防SSO问题的方案,而TSR是SSO问题产生后的后备保护。因此,对于直流输电产生的次同步振荡问题可以通过在电厂侧装设SEDC & TSR以及在换流站投入SSDC的方式来解决,在系统发生SSO引发机组轴系扭振时,加快SSO的衰减速度,减少机组的疲劳损伤,保障机组的安全运行。

作者简介:

刘代祥(1996),男,工程师,从事继电保护和高压试验工作;

汪立(1982),男,助理工程师,从事继电保护和高压试验工作。

(收稿日期:2012-02-15)

质量是企业的生命线