

大型抽水蓄能机组控制保护 关键技术

陈 俊

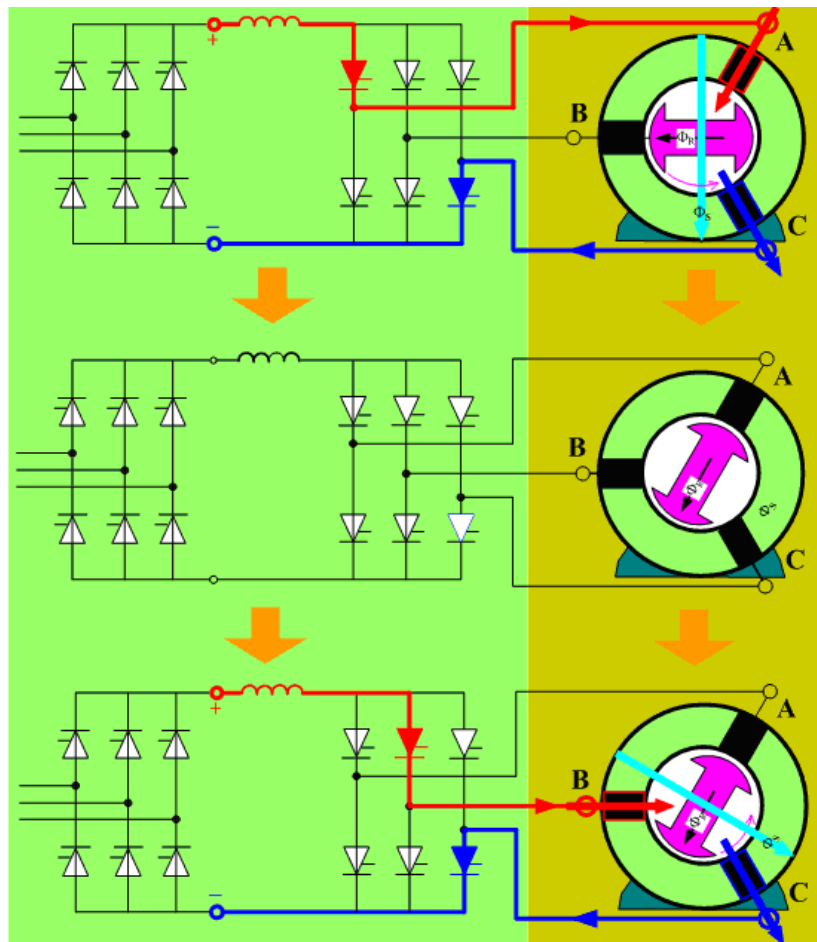
手机/微信：13851941724

E-mail: chenj@nari-relays.com

南京南瑞继保电气有限公司

- **SFC关键技术**
- 励磁系统关键技术
- 机组保护关键技术

- SFC的工作原理
 - 根据电机转子位置或机端电压信息，以频率逐渐升高的交流电压加到电机定子上，产生超前于转子磁场的定子旋转磁场，通过磁场的相互作用，将电机转子加速到设定转速。
- 配置原则及对保护的要求



- 静止变频器关键技术

- 转子位置检测技术

- 在机组启动前准确检测转子位置；
 - 抗噪声干扰；
 - 解决转子位置精确、稳定测量的难题。

- 脉冲换相技术

- 在定子电压低，不满足自然换相的工况下，实施逆变桥的强迫换相；
 - 针对可控硅型SFC，解决机组低速阶段高效、平稳启动的问题。

- 静止变频器关键技术

- 变频条件下的测控技术

- 变频信号测量；
 - 实时跟踪频率的移相触发；
 - 解决0~65Hz变频电气量准确测量及控制计算的难题。

- 全程的闭环调节技术

- 拖动全程实现闭环调节。

- 静止变频器关键技术

- 基于高压取能的光电触发技术

- 一次系统就地取能；
 - 适用于高压条件的光电触发系统；
 - 满足高压、多元件串联时的触发要求；
 - 解决抗干扰及触发系统监视的技术难题。

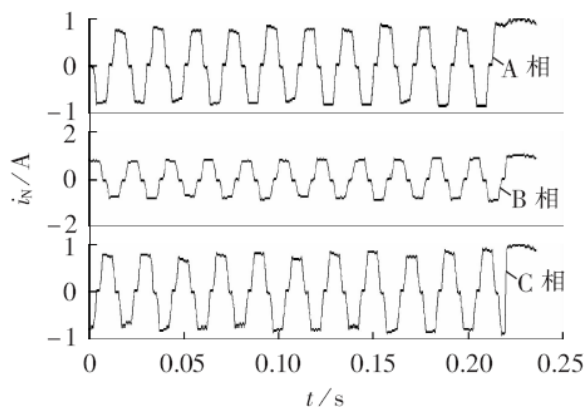
- 电力电子回路保护技术

- 可控硅元件过电压保护；
 - 解决SFC设备的快速、可靠的全方位保护难题。

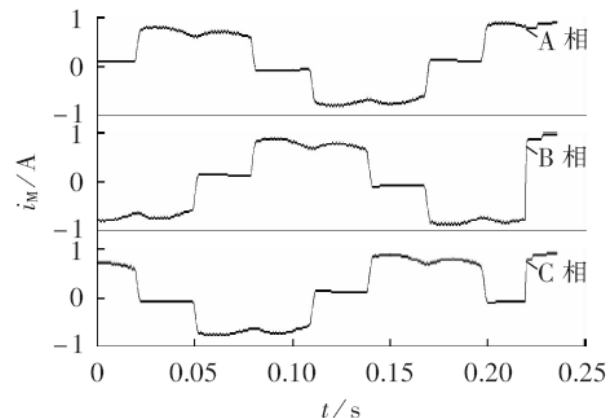
- SFC系统继电保护关键技术

- SFC变流桥差动保护

难点：SFC的网桥侧为工频电流，而机桥侧为变频电流。



(a) 网桥侧电流



(b) 机桥侧电流

RTDS试验表明：动作时间小于30ms（2倍），与机桥侧频率无关。

- SFC系统继电保护关键技术

- 输出变压器变频差动保护
- 电流变化率保护
- 机桥侧频率测量算法

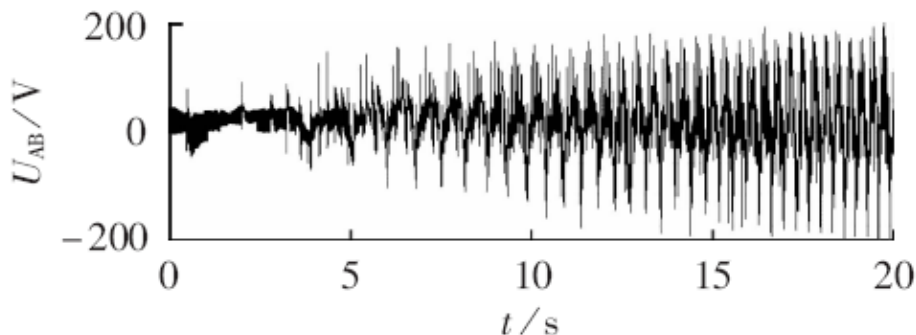


图 4 机桥侧 U_{AB} 原始波形

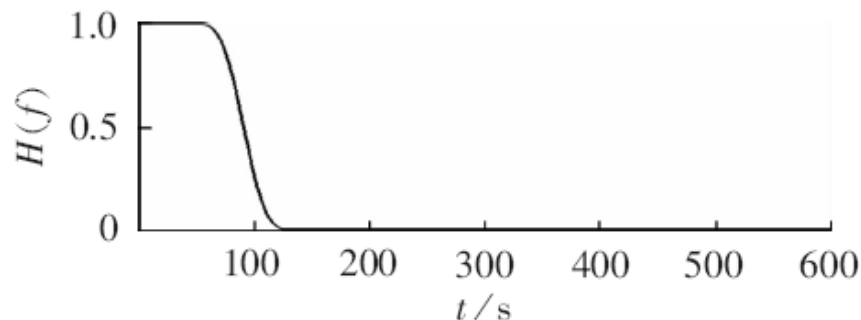


图 5 数字低通滤波器的幅频特性

- PCS-9575静止变频器应用情况

- 沙河抽水蓄能电站

- 国内第一套完全自主知识产权的SFC系统；
- 2012年7月14日投运2年以来，启动1300余次，启动成功率100%。

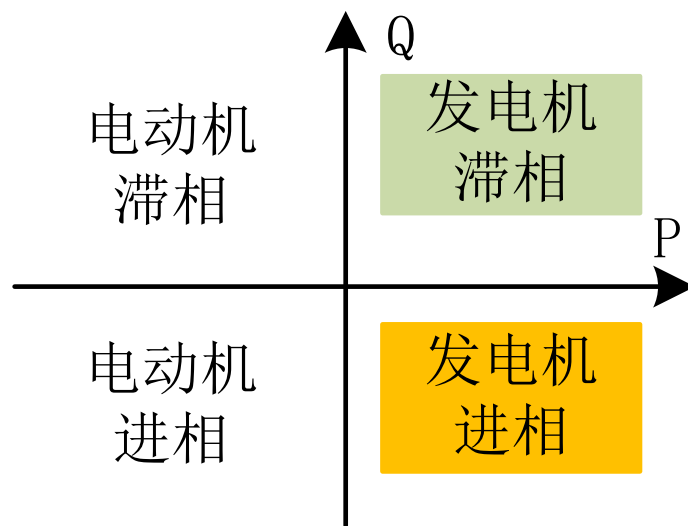
- 安徽响水涧抽水蓄能电站

- 2014年4月5日进入试运行，7天完成整组动态试验，运行情况良好。



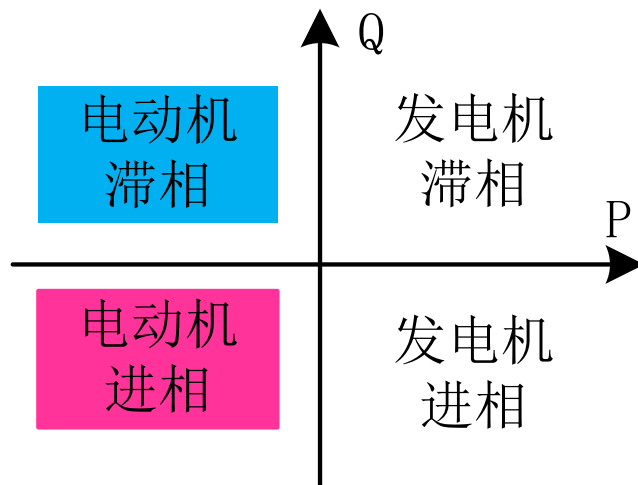
- SFC关键技术
- 励磁系统关键技术
- 机组保护关键技术

- 调节器适应发电机四象限运行工况
 - 发电工况时，发电机运行在第1、4象限
 - 调节器限制和保护与常规水电机组类似



- 调节器适应发电机**四象限运行工况**

- 水泵抽水时，运行在**第2、3象限**，有功反向，机端电压反序，启动过程中机端电压频率范围0~50Hz，需要对调节器的一些限制和保护做**特殊处理**（如VF限制，有功算法，四象限PSS），以满足电动工况下的限制保护要求。



- 抽水蓄能调节器运行模式

抽水蓄能励磁调节运行模式

电压闭环调节

电流闭环调节

恒角度运行

恒机端电压运行

恒无功功率运行

恒功率因数运行

自动卸载无功功率

系统电压调节

电流环

背靠背发电

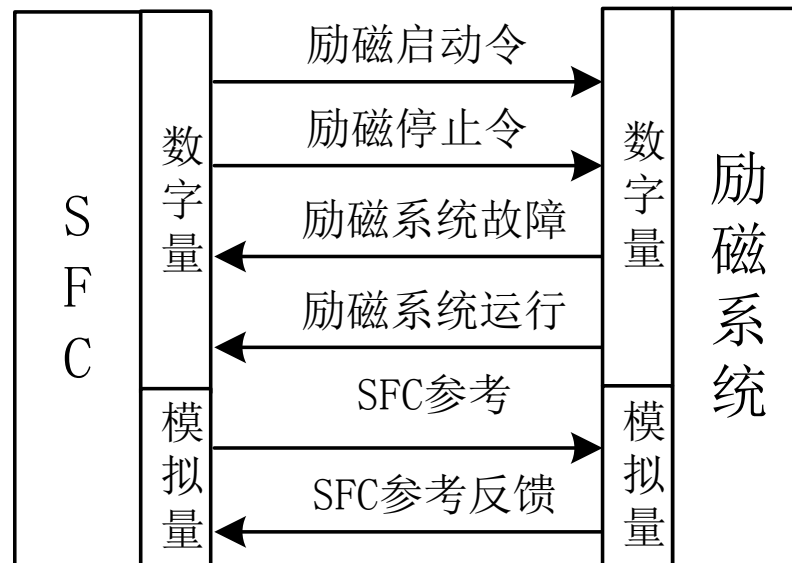
背靠背水泵

SFC启动

- **抽水蓄能调节器运行模式——背靠背发电**
 - 低于95%转速时，调节器处于电流闭环，通常置为空载额定励磁电流
 - 高于95%转速时，调节器处于电压闭环，由对方同期调整机端电压
- **抽水蓄能调节器运行模式——背靠背水泵**
 - 启动全程，调节器始终处于电流闭环
 - 并网后，调节器置为电压闭环

抽水蓄能调节器运行模式——SFC启动

- 低于95%转速时，励磁系统输出由SFC控制
- 高于95%转速时，调节器不再受SFC控制，转为电压闭环，跟踪系统电压



• 柔性电气制动与混合电气机械制动技术

- 抽水蓄能机组在抽水和发电之间快速转换，对发电机快速停机要求较高，必须配置电气制动；
- 将柔性电气制动与励磁一体化设计，在发电机停机制动时，随发电机转速变化，柔性调节发电机定子电流和转子电流，保证发电机阻尼矩基本不变，提高发电机停机速度，缩短机组在发电工况和水泵工况之间的转换时间，提高抽蓄机组动态响应品质。

- 智能灭磁控制技术

- 抽水蓄能机组频繁启动及工况切换，对灭磁装置安全可靠
性要求更高；
- 智能灭磁控制技术：实时测量停机灭磁时的励磁系统状
态，综合应用逆变灭磁、交流辅助灭磁及电阻灭磁方式
，实现正常及无短路时的逆变平滑灭磁、励磁系统故障
时的开关无弧分断灭磁、发电机短路时的快速灭磁等功
能，提高灭磁可靠性，**延长灭磁装置使用寿命。**

- SFC关键技术
- 励磁系统关键技术
- 机组保护关键技术

- 抽水蓄能机组特点—可逆式水泵水轮发电电动机机组
 - 电气上要求电源相序随发电和电动工况而转换，同时电机本身的通风、冷却系统和轴承结构都能适应双向旋转。
 - 一切与相序有关的保护均受其影响，需根据运行工况自动进行相序转换。

- 抽水蓄能机组特点—工况转换频繁、运行方式多
 - 担任填谷调峰、调频的作用，一般每天要启停数次。
 - 发电运行、发电调相、抽水运行、抽水调相、SFC启动、背靠背启动、背靠背拖动等超过10种运行方式。
 - 水头变化较大的电站，为适应抽水工况下较大扬程的变化，有的机组还通过变极实现两种转速的抽水运行工况。
- 要求在各种运行工况下都有尽可能完善的保护配置，并在工况转换时能够实现快速安全切换。

- 抽水蓄能机组特点—水泵启动方式复杂

- 大型机组以SFC启动为主，背靠背启动为备用方式。

- 启动时低频过程对保护的影响

- 水泵工况启动时，定子电流的频率和幅值随着转速升高而变化。启动初始阶段，转速很低，频率也低，可能造成机组保护装置的**误动或拒动**。抽水蓄能机组在水泵启动过程之始已加励磁，且持续时间较长，需要将可能误动的保护功能闭锁，同时在启动过程中仍具有一定的可靠工作的保护功能。

- 机组运行工况判别

- 为实现各种运行工况下不同保护功能的正确投入和闭锁，依据开关辅助接点和监控系统信号准确判别运行方式。

- 辅助接点异常判别

- 机组保护均按双重化配置，接入任一套保护的辅助接点出现异常时，保护装置应能够快速判别并发出报警信号。
- 一般采用辅助接点逻辑关系、开关位置与监控信号校验等方式判别。

- 软件自动换相

- 发电和抽水时，机组旋转方向相反，电气相序也相反。
- 根据运行工况自动完成相序转换，确保装置在换相过程中的安全性和可靠性。
 - 差动保护
 - 正负序电压分量、电流分量
 - 阻抗元件
 - 功率元件
 - 方向元件等

- 水泵工况启动过程对保护的影响及对策
 - 抽水蓄能机组在水泵启动过程之始已加励磁，且启动频繁，部分保护功能被闭锁，因此需配置具有一定灵敏度的保护功能，反应机组相间故障和定子接地故障的保护。
 - 增设：低频差动保护
低频过流保护
低频定子接地保护
 - 闭锁：常规差动保护、负序过流、失磁、失步……

- 水泵工况下的特殊保护功能

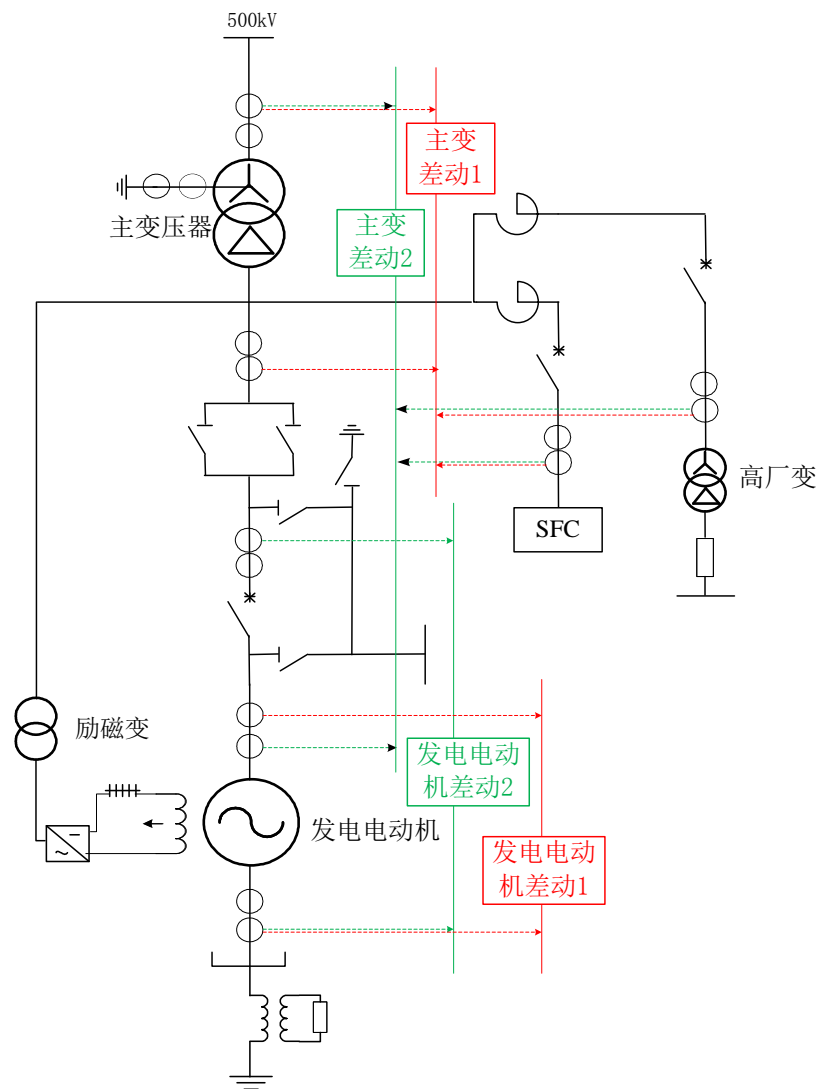
- 水泵工况时若电源突然消失，机组转速将下降，在此过程中，水头作用于轮叶的力与机组旋转方向相反，机组将产生剧烈的水力振动，有可能损坏轴承。转速过零后机组在水头作用下转为反向旋转，此时若不及时停机，机组将过速。这种工况的突然改变，对机组和输水管都很危险。

- **低功率保护**：防止水泵工况下输入功率过低造成抽水倒泄的保护，作为水泵失电的主保护。
- **低频保护**和**低电压保护**：是水泵失电的后备保护，同时可作为调相工况时的失电保护。

- 机组启动时的特殊保护
 - 电压相序保护
 - 用于鉴别机组电压相序与旋转方向是否一致的保护。
- 电气制动时的特殊保护
 - 电流不平衡保护
 - 为防止发电电动机电制动停机时定子绕组端头短接接触不良的保护，保护可延时动作于切断电制动励磁电流。

● 差动保护优化

- 大型抽水蓄能机组装设有换相设备和启动设备，常规差动保护配置在水泵启动过程中存在保护死区，因此发电电动机差动保护和主变差动保护需分别配置两套不同保护范围的差动保护。
- 小差始终投入，保护范围不跨接换相设备和启动设备。
- 大差水泵启动过程中不计入启动电流，保护范围包含换相和启动设备。



- 关于抽水蓄能机组定子接地保护

- 传统原理一般采用基波零序电压+三次谐波电压原理构成的100%定子接地保护。
- 三次谐波电压原理在蓄能机组上应用效果不好，原因是在发电和抽水工况下，三次谐波电压受工况影响而变化，按最大值整定的定值在另一工况下灵敏度较低。
- 解决以上问题的途径是采用与三次谐波无关的保护原理，采用注入式100%定子接地保护原理，在发电和抽水工况下，均能可靠工作。

- 大型抽水蓄能机组控制保护国产化情况
 - 安徽响水涧抽水蓄能电站
 - 福建仙游抽水蓄能电站
 - 广州抽水蓄能电站
 - 江苏溧阳抽水蓄能电站
 - 江西洪屏抽水蓄能电站
 - 浙江仙居抽水蓄能电站
 - ...

谢谢！

www.nari-relays.com

版本 2013

Copyright© 2013 南京南瑞继保电气有限公司版权所有