

国产励磁系统在进口燃气发电机组的应用

牟 伟, 姜季献, 张建彪, 许训炜, 吴 龙
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要:与常规火力发电机组励磁系统比较, 由于燃气发电机组的特殊运行需求其配套励磁系统在设备配置、功能设计以及信号接口方面有其特殊之处, 文中以某电厂新建进口燃气发电机组为依托, 以燃气发电机组的运行需求为主线, 讨论了国产励磁系统全面满足燃气发电机组的静止变频器(SFC)启动、建压并网发电和解列停机等不同工况的特殊应用设计以及提高设备可靠性的措施。通过现场实际成功应用, 证明了相关设计的可靠性, 为燃机用国产励磁系统的功能完善、性能提升提供借鉴。

关键词:励磁系统; 燃气轮机; SFC 启动; 信号交互

中图分类号: TM621.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)04-0059-04

由于燃气轮机联合循环系统(GTCC)将燃气轮机单循环及蒸汽轮机单循环结合在一起, 运行灵活, 技术先进, 热效率高, 机组启动快, 自动化程度高, 调峰性能好, 成为当代最先进的商业化火力发电技术, 能满足日益严格的环境保护要求^[1]。随着我国经济进一步发展对电力高峰负荷和电网供电安全要求的增加以及环保意识的增强, 在国内发展天然气联合循环发电技术对于电力调峰、调整能源结构以及节能减排具有重要意义。

目前国内已投运或新建燃气联合循环电站采用 GE、西门子、ALSTOM、三菱等进口燃气轮机, 或采用由国内主机厂与上述国外厂商合作制造的燃气机组。而二次控制及保护设备, 如 SFC 静止变频器、EXC 励磁系统、GP 保护设备则基本由国外进口设备垄断。随着国产二次控制保护设备技术的发展, 目前燃机二次设备已具备采用国产设备的条件, 如国产励磁系统在控制性能、通信接口及自动化程度上已完全满足国内燃机励磁控制的需要。

1 励磁系统配置

燃机用励磁系统一般采用自并激静止励磁方式。目前国内燃机的启动过程主要使用静止变频器(SFC)启动^[2,3], 在启动中需要励磁系统与之配合, 接入它励电源提供励磁电流, 因而燃机用励磁系统与常规火电机组的自并励系统在配置上略有不同^[4]。而调节器、功率整流桥以及灭磁系统可实现在启动工况和发电工况下的复用, 节省设备成本。但调节器需要根据外部信号识别机组工况, 正确切换励磁电源开关并工作在正确模式。本项目燃机为 ALSTOM 燃气发电机组, 励磁系统采用新一代 PCS-9400 燃机智能励磁系统, 系统配置原理如图 1 所示。

除常规自并励系统所具有的励磁变、调节控制柜、

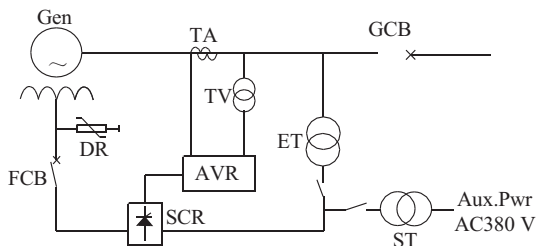


图 1 燃机用励磁系统配置原理图

功率整流柜、灭磁和过压保护柜外, 还配置开关切换柜, 柜内设置启动变压器和切换开关。切换开关实现 SFC 启动工况和自励建压工况下的励磁电源切换。PCS-9400 励磁系统配置冗余双通道励磁调节器, 任一通道调节器均包含电压闭环(AVR)、电流闭环(FCR)和定角度开环(OR)3 种基本控制方式, 在 AVR 方式下还可投切无功闭环、功率因数闭环、无功卸载、调差以及 PSS-2B/4B 等附加控制。调节器具有超高速的采样和计算能力, 工频每周波采样 72 点, 计算速度 4000 次/s, 模型计算更精确。PCS-9400 励磁系统采用脉冲光纤传输方式和分布式触发脉冲发生, 提高触发脉冲传输的抗干扰能力, 解决了整流桥之间共用脉冲问题。对可控硅元件电流、励磁电压电流等进行在线监测, 实现整流桥元件级智能均流和灭磁电阻能耗在线计算。PCS-9400 励磁系统还配置智能 IO 单元, 实现与变频器 SFC、燃机控制系统(TCS)、故障录波器等信号接口, 并进行控制逻辑操作。IO 单元与 AVR 通过光纤连接, 向调节器发出不同工况下的控制指令, 并接收 AVR 的反馈状态。

2 励磁设备信号交互

燃机主控系统 TCS 与 SFC、励磁等设备的信号交互量较多, 采用 Profibus-DP 通讯方式连接。励磁 IO 接口单元主要实现与 SFC 和 TCS 的信号交互。IO 单元的应用能够灵活实现与外部设备或系统间的所有开关量、模拟量交换, 可以采用硬接线或通讯方式。IO 单元根据

外部输入信号和机组当前状态准确识别当前工况,根据 SFC 或 TCS 系统发出的指令正确进入启动工况或自励发电工况。励磁控制装置与主控和变频器之间的信号交互如图 2 所示。

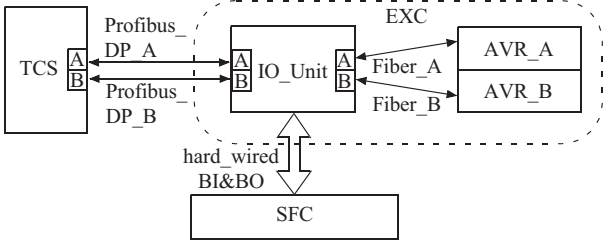


图 2 励磁控制与主控和变频器之间的信号交互

励磁系统与 SFC 之间的信号交换不多,且由于相关信号的重要性与实时性,故信号交互宜采用硬接线方式实现,信号列表如表 1 所示。另外由于 2 台机组配置有 2 套 SFC 装置,每套 SFC 都可启动任一台机组,即有直通启动和交叉启动需求,因而对励磁系统而言需要与 2 套 SFC 装置建立信号交互,并且需要相互闭锁。实际实现时可采用 PLC 器件,根据 TCS 发出的 SFC 选择指令建立励磁与被选择 SFC 间的信号通道。

表 1 励磁系统与 SFC 系统的二次控制接口

信号类别	励磁系统输入	励磁系统输出
开关量	励磁启动	励磁已投入
	励磁停止	—
	SFC 故障 (跳灭磁开关)	励磁故障 (跳 SFC)
模拟量	励磁电流给定 (4~20 mA)	励磁电流反馈 (4~20 mA)

励磁系统与主控 TCS 系统之间采用一对一的信号交换,信号交换量较多但实时性要求不高,信号列表如表 2 所示。现场励磁系统与 TCS 之间采用 Profibus-DP 的总线通讯方式,它是一种国际化、不依赖于设备制造商的开放式现场总线标准,适合于快速、时间要求严格和可靠性高的通信任务,广泛应用于制造业自动化、轨道交通、电力自动化领域。采用冗余化 Profibus 总线通讯,极大简化了信号电缆接线,扩展了励磁设备从站与 TCS 主控的信号交换数量,提高了系统运行的可靠性。

3 SFC 启动过程的功能设计

励磁 IO 单元根据开入和 TCS 通讯信号识别机组当前工况,满足启动条件时发出励磁就绪 (ready) 信号,等待 SFC 的启动指令。TCS 在同时收到励磁和 SFC 的 ready 信号并检查相关断路器和刀闸位置无误后向 SFC 发启动命令。在 SFC 启动阶段,励磁系统的工作流程如图 3 所示。当收到 SFC 的启动令后 IO 单元首先判断并调整电源开关状态,确保励磁变开关在分位且启动变开关在合位;而后检查整流电源电压的特征、合灭

表 2 励磁系统与 TCS 系统的二次控制接口

信号类别	励磁系统输入	励磁系统输出
	(TCS 输出)	(TCS 输入)
	励磁启停	励磁启停状态反馈
	转速 >90%	励磁就绪状态
	无功卸载投退	远方 / 就地状态
	自动 / 手动切换	自动 / 手动状态
	无功闭环控制投退	无功闭环投退状态
	因数闭环控制投退	因数闭环投退状态
	PSS 功能投退	PSS 功能投退状态
	同期使能	励磁告警
	机组并网 (同时保留硬接线)	励磁故障
	—	从通道运行正常
开关量	—	通道切换状态
	—	转子超温
	—	过励 / 低励限制
	—	伏赫兹限制
	—	参考超限
	—	启动电源开关状态
	—	励磁电源开关状态
	—	灭磁开关状态
	—	—
	—	—
模拟量	冷却温度 1	转子温度测量
	冷却温度 2	PSS 输出
	定子电压参考值	定子电压参考反馈
	无功功率参考值	无功功率参考反馈
	功率因数参考值	功率因数参考反馈
	励磁电流参考值	励磁电流参考反馈
	报文帧计数	报文帧计数
	对时日期 / 时间	日期 / 时间反馈
	—	励磁电压 / 电流测量
	—	—

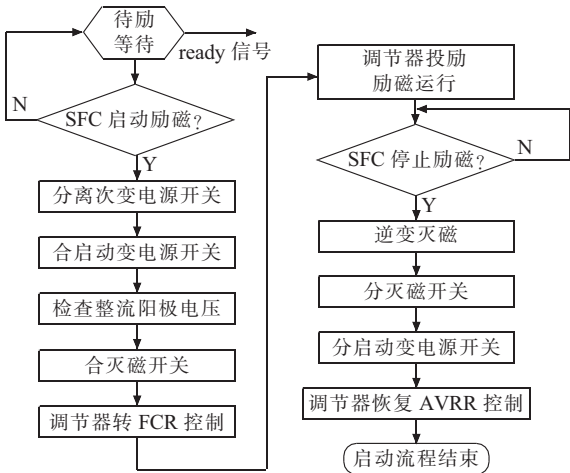


图 3 SFC 启动阶段励磁系统工作流程

磁开关、控制调节器转手动并投励,迅速将励磁电流调节至 SFC 的指定值。上述步骤若有异常,IO 单元向 SFC 发出励磁故障信号,同时退出启动流程、记录故障 ID 并向 TCS 发出告警信号。

若拖动过程无异常,燃机达到自持转速后,SFC 发

励磁停机令,调节器逆变灭磁;而后 IO 单元分开灭磁开关和启动变开关,恢复调节器控制方式至电压闭环,SFC 启动流程结束。励磁系统和 SFC 间需建立完善的相互跳闸机制。拖动过程中,励磁 IO 单元全面监视励磁状态和启动电源状态,并等待 SFC 的停机指令。若出现励磁控制、整流或灭磁任一部份故障且不宜后续并网发电运行时,IO 单元向 SFC 和 TCS 发出励磁故障信号,通知 SFC 停机。若出现厂用电它励电源消失、跌落等异常,IO 单元立刻通知 SFC 停机,避免机组定子过流。反之,SFC 运行中一旦出现异常需要停机,比如定子过压或过流,SFC 发出灭磁开关跳闸令和励磁停机令。灭磁开关分断并接入灭磁电阻,IO 单元退出 SFC 启动流程。另外在拖动阶段调节器接收 SFC 的电流参考值时需要根据现场情况采取必要的限幅措施,防止硬接线回路干扰导致输出励磁电流偏离正常值。由于电流参考采用 4~20 mA 输入,在拖动阶段输入不会小于 4 mA,一般电流值也小于空载额定励磁电。IO 单元实时监测输入回路,一旦参考输入回路异常立刻通知 SFC 停机。在 SFC 拖动阶段,调节器的励磁电流控制模型如图 4 所示,励磁电流参考输入带限幅保护功能。

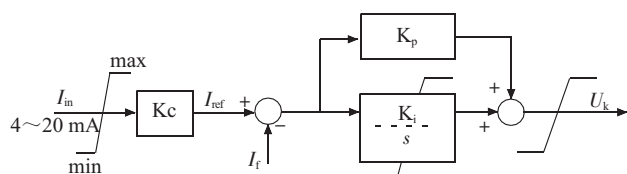


图4 建压并网阶段励磁工作流程

4 建压发电过程的功能设计

达到自持转速(该燃机为 2700 r/min)后 SFC 退出,由燃气轮机带动发电机继续升速至同步转速。励磁 IO 单元识别机组当前工况,满足开机条件时向 TCS 发出 ready 信号并等待 TCS 的起励指令。一旦收到起励令,励磁系统的工作流程如图 5 所示。

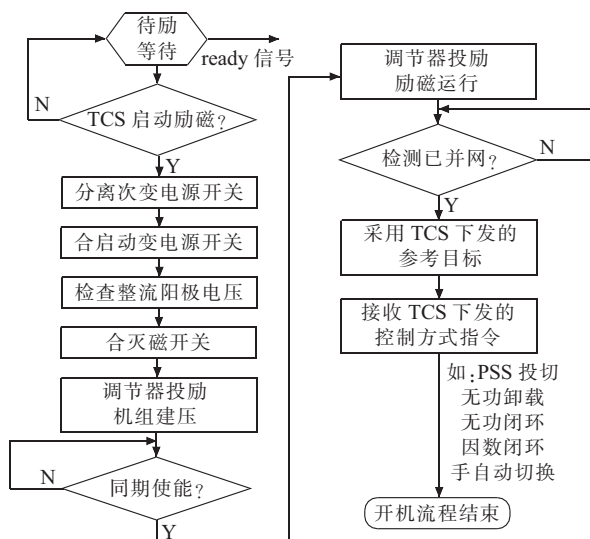


图5 SFC 拖动阶段励磁电流环控制模型

IO 单元首先判断并调整电源开关状态,确保启动变开关在分位且励磁变开关在合位;合灭磁开关并投励,AVR 按照整定速率调节机端电压至额定附近(如 $0.97 U_{\text{gn}}$)。上述步骤若有异常,调节器逆变并退出建压流程、记录故障 ID 并向 TCS 发励磁失败告警信号。

若建压过程无异常,并网前励磁 IO 等待 TCS 的同期使能令,(使能后方能)接收同期装置的增减磁信号,调节机端电压至需要值。同时向 TCS 反馈当前的电压给定。正常建压及并网过程如图 6 所示。

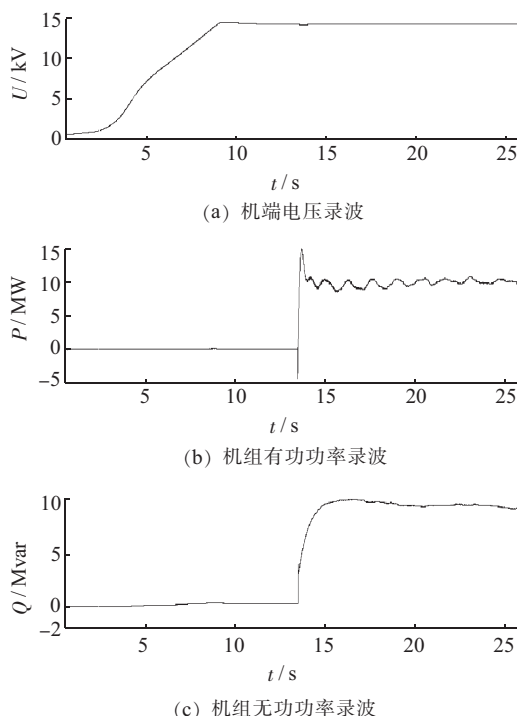


图6 建压并网阶段机组电气量录波

并网后运行人员在 TCS 上增减电压给定,TCS 实时传送该值至励磁 IO。IO 单元将接收的参考值与当前实际 AVR 给定比较,若不一致则产生增减磁信号,调整机端电压。在并网过程中,TCS 可切换励磁控制方式至不同闭环模式,如励磁电流闭环、无功闭环或因数闭环。还可以投切 PSS、调差等附加控制。

5 解列停机的功能设计

燃气发电机启停频繁,启动和停机过程都较快速,停机过程多采用程序逆功率保护解列以防气机超速。为此励磁设置无功卸载功能,使机组无功功率跟随有功下降直至 0。无功卸载使解列前定子电流接近零电流,励磁电流接近空载电流,并能显著降低解列后的定子过压水平。采用卸无功控制的励磁模型如图 7 所示,按功率因数目标值减小无功使机组负荷接近 0。

解列后励磁系统维持机组运行在空载工况,IO 单元收到 TCS 的停机指令后采用无断口灭磁方式,逆变灭磁后再延时分开关,充分保护灭磁开关触头,最大限度延长灭磁开关和灭磁电阻使用寿命。另外本项目励磁

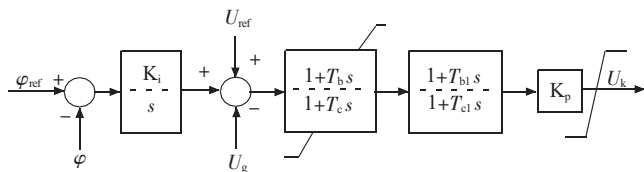


图 7 卸无功模式的 AVR 控制模型

系统在设计时还需考虑总线通讯的可靠性。由于从燃机启动到同步建压再到并网发电最后解列停机,励磁系统与 TCS 的信号交互完全采用基于 RS-485 总线的 Profibus-DP 通讯实现,因此通讯的可靠性至关重要,否则极易引起机组跳闸停机。提高励磁设备的可靠性主要考虑以下几方面:(1) 励磁 IO 采用完全独立的双路 profibus 通讯链路,且通讯内容基本一致。任一一路通讯中断不影响另一路的数据通讯。即便双路完全中断,励磁系统亦能保持中断前状态继续运行,为人工手动停机创造条件。(2) 通讯内容采用双位容错和收发动态比对,能够快速判断总线通讯异常,有效防止误操作;一旦判断出异常帧报文将立刻闭锁数据刷新。(3) 励磁系统设置完善的自检与监测功能。实现对 IO 单元、调节器、功率整流、灭磁及过压保护系统、供电电源的全方位监测,确保设备运行信息的完整性,提升设备监控水平,一旦出现异常立刻向 TCS 发出告警信号,提示运行人员检查处理。

6 结束语

由于燃气轮机联合循环发电技术的优势,使其在我国电网中的应用比重逐渐增大,发展前景广阔。本文探

讨了应用于 ALSTOM 进口燃气轮机发电机组上的国产励磁系统在系统配置、功能设计与信号交互上有别于常规励磁系统的特殊之处,介绍了现场实际应用经验与提高设备可靠性的措施。

通过在现场的成功应用,说明了国产励磁系统在功能设计、自动化程度上已完全满足国外进口燃气机组的应用需求,为今后燃机用国产励磁系统的性能完善、功能增强提供了参考经验。

参考文献:

- [1] 糜洪元. 国内外燃气轮机发电技术的发展概况及其展望[J]. 电力设备, 2006, 07(10): 8-10.
- [2] 赵昌宗. 燃气轮机的 SFC 启动[J]. 燃气轮机发电技术, 2002, 04(3): 44-47.
- [3] 王亚婧, 徐春建, 等. 燃气轮机励磁系统设计与应用[J]. 电气技术, 2013(7): 59-61.
- [4] 李国东. GE 9F 燃机励磁系统国产化改造研究[J]. 浙江电力, 2010(12): 41-43.

作者简介:

牟 伟(1981),男,四川成都人,工程师,从事电厂励磁设备的研发工作;

姜季献(1977),男,湖南襄樊人,工程师,从事励磁工程技术的管理工作;

张建彪(1977),男,江苏建湖人,工程师,从事电力系统控制和保护的技术管理与维护工作;

许训炜(1976),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统控制和保护的技术管理与维护工作;

吴 龙(1970),男,江苏宿迁人,教授级高工,从事发电机励磁及电力电子应用的研究和技术管理工作。

Application of Domestic Excitation System in Imported Gas Generator

MU Wei, LOU Jixian, ZHANG Jianbiao, XU Xunwei, WU Long
(Nanjing Nari-Relays Electric Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Compared with the excitation system of conventional thermal power unit, there are something special in the design of excitation system used in gas turbine because of the requirement. This paper discusses the functional requirements and application solutions in the domestic excitation system which satisfies the special requirements in different operation stages. The useful reference to function improvement of domestic excitation system is expected based on the practical application on the imported gas generator.

Key words: excitation system; gas generator; starting of SFC; signal exchange

(上接第 58 页)

Research and Optimization of Nanjing Power Communication Transmission Network

SHAO Mingchi, YAN Dong

(Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210019, China)

Abstract: The status of Nanjing power communication transmission network is presented in this paper. With the rapid development of power communication services, problems in Nanjing power communication networks in four aspects of network topology, hardware configurations, management method and integration of information & communication are analyzed. Accordingly, targeting to optimize Nanjing power communication network, suggestions and countermeasures are presented.

Key words: power communication; transmission network; optimization