

发电厂励磁功率柜均流因素分析及处理

杨 斌, 王文栋

(河北国华沧东发电有限责任公司, 河北 黄骅港 061113)

摘要: 针对国产励磁系统各功率柜电流输出不均衡的问题, 分析了影响并列运行可控硅励磁整流桥均流效果的各种因素, 并对各相应因素进行了分析。在综合了现场实际情况及设备运行工况后, 提出利用加装磁环和更改交流进线的方法消除励磁输出电流不均问题的方法, 大大提高了均流系数。通过现场数据分析均流系数、温度和噪声均合格, 验证了所用方法的有效性和合理性, 适合作为提高励磁系统功率柜均流系数的方法。

关键词: 励磁; 均流; 磁环; 功率柜; 交流进线

Analysis and treatment of excitation power cabinet current sharing factors in power plants

YANG Bin, WANG Wen-dong

(Cang-dong, Hebei Guohua Power Co., Ltd, Huanghua Port 061113, China)

Abstract: Aiming at the issue of current output imbalance of power cabinets in excitation system made in China, the factors influencing the current sharing effects of parallel operation thyristor excitation rectifier bridge are analyzed. Combining with the practical situation and running state of equipments, this paper points out that through installing magnet and changing AC inlet, the problem of current output imbalance will be solved, which improves the current sharing coefficient significantly. The proposed method has been proved to be effective and reasonable after analyzing the site data which show that current sharing coefficients, temperature and noise are qualified, and such method is a suitable way to improve the excitation system power cabinet current sharing coefficients.

Key words: excitation; current sharing; magnet; power cabinet; AC inlet

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)24-0199-04

0 引言

随着交流励磁机和静止整流励磁系统的普遍应用, 大功率硅整流元件(二极管和可控硅)的使用越来越频繁。为了提高励磁系统的可靠性和增加励磁电源的容量, 一般均采用多柜并联运行, 多个功率单元并列运行时, 由于各种因素导致各个功率单元出力不一致, 从而影响功率单元寿命, 影响强励效果, 给系统的长期稳定运行带来隐患。

某电厂 1# 机组在试运行过程中, 在机组带有功为 610 MW, 无功为 71 Mvar 时, 励磁系统功率柜输出电流分别是 890 A、690 A、590 A、500 A、500 A, 存在着励磁系统各功率装置输出电流不太平衡的现象。本文针对各种原因进行了相关分析并提出了相应的改进措施, 使各个功率柜的出力尽量达到一致, 以实现功率柜间的电流均衡, 有利于系统长期稳定运行。

1 原因分析

对于自并激励磁系统来说, 发电机、励磁变压器、和每个并列运行的整流装置就分别组成了几个并联的电压源, 可控硅功率柜的输出与发电机转子就组成了它们的负载, 且可控硅功率柜的输出电流大小与各并联支路的阻抗成反比。

发电机自并激励磁系统可用图 1 电路等效。

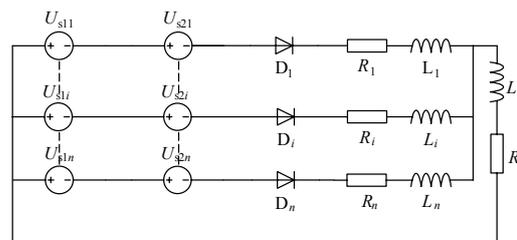


图 1 自并激励磁系统等效电路

Fig.1 Self shunted excitation system equivalent circuit

图 1 中: U_{S1i} 表示第 i 个可控硅功率柜输出电压的大小; U_{S2i} 表示第 i 个可控硅功率柜可控硅的平均通态压降; R_i 表示励磁系统中第 i 个可控硅功率柜的交直流回路的等效电阻; L_i 表示励磁系统中第 i 个可控硅功率柜的交直流回路的等效电感 (包括自感和互感); R 表示发电机转子回路电阻; L 表示发电机转子回路电感。

可控硅触发的一致性 是保证不同的可控硅功率柜的等效电路中的 U_{S1i} 大小相等; 可控硅通态压降决定 U_{S2i} 的大小; 而二极管 D_i 则表示可控硅回路的电流具有方向性。据此, 以下三点是影响功率柜均流效果的主要原因:

a) 可控硅触发的一致性的影响

由于 n 个可控硅整流桥公用一个励磁变压器, 所以它们的交流侧输入电压是相等的。据以上分析可知, 在忽略可控硅通态压降差异的基础上, 如果每个可控硅整流桥交直流回路的等效电阻和电感都相等, 则可控硅触发的一致性直接决定了电压源并联支路电压的大小, 从而决定了可控硅功率柜之间均流的好坏。

b) 可控硅的平均通态压降的影响

当可控硅触发的一致性很好时, 则可以认为 U_{S1i} 相等; 如果每个可控硅整流桥交直流回路的等效电阻和电感也都相等, 则可控硅平均通态压降将直接影响到可控硅功率柜的均流。根据可控硅伏安特性图 2 可知: 可控硅的平均通态压降会受到可控硅结温的因素的影响^[1], 即当可控硅的工作电流较小时, 可控硅的结温与平均通态压降成负相关关系; 而当可控硅的工作电流较大时, 可控硅的结温与平均通态压降成正相关关系。即当电流增大时, 可控硅斜率电阻增大, 可控硅的平均通态压降增大, 所以当某一功率柜输出电流较大时, 在相同散热条件的情况下, 电流输出大的可控硅装置的发热量增加,

可控硅平均通态压降会增大, 所以该装置的输出电流幅度会相对减小, 原来输出小的装置输出幅度会相对增加, 最终各装置输出电流达到一个新的平衡状态, 均流系数会上升。

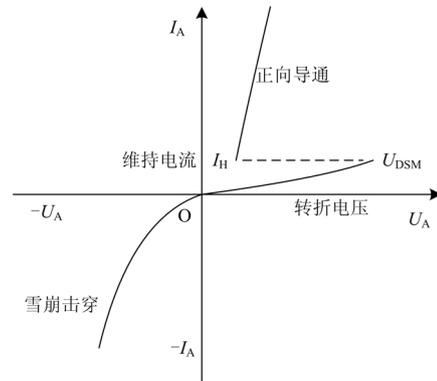


图 2 可控硅 V/A 特性
Fig.2 SCR V / A characteristic

c) 交直流回路电阻和电感的影响

当可控硅的平均通态压降相等, 且可控硅触发的一致性很好, 则交直流回路的等效阻抗的差异将成为可控硅功率柜均流的主要障碍。

2 采取措施

根据影响功率装置输出均流效果的因素, 励磁系统已经采取了以下措施。

a) 对可控硅触发方式采用的是强触发方式, 首先保证了各可控硅触发的一致性;

b) 对可控硅都进行了合理的选择, 最大限度地保证了各可控硅平均通态压降的一致性。

在采取了以上措施的基础上, 各整流装置交直流回路阻抗的差异是引起该电厂可控硅整流输出不平衡的主要原因, 励磁变电源从一侧进线方式如图 3。

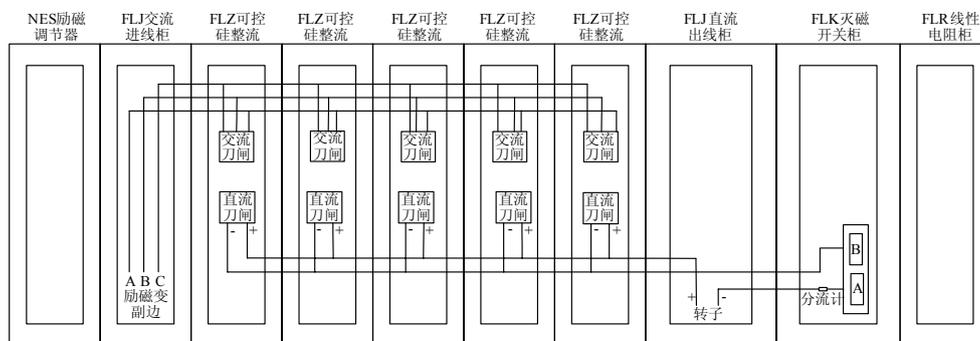


图 3 当前布置
Fig.3 Current layout

由于#1和#2柜之间连接铜排上流过的电流近似为一个功率柜输出电流的4倍,#2和#3柜之间连接铜排上流过的电流近似为一个功率柜输出电流的3倍,#3和#4柜之间连接铜排上流过的电流近似为一个功率柜输出电流的2倍,所以对应段铜排的压降近似与流过的电流成正比,进而造成#1柜与#2柜的电流相差最大,#2柜与#3柜以及#3柜与#4柜、#4

柜与#5柜的电流差异逐渐缩小,与目前贵厂励磁系统各功率柜输出是相吻合的。

因此采用合理的布局,尽量减小可控硅功率柜交直流回路阻抗的差异的方法,是提高均流系数的有效手段^[2]。如把该电厂交流进线位置布置在5台功率装置的中间位置如图4,功率装置输出均流系数会有明显的提高。

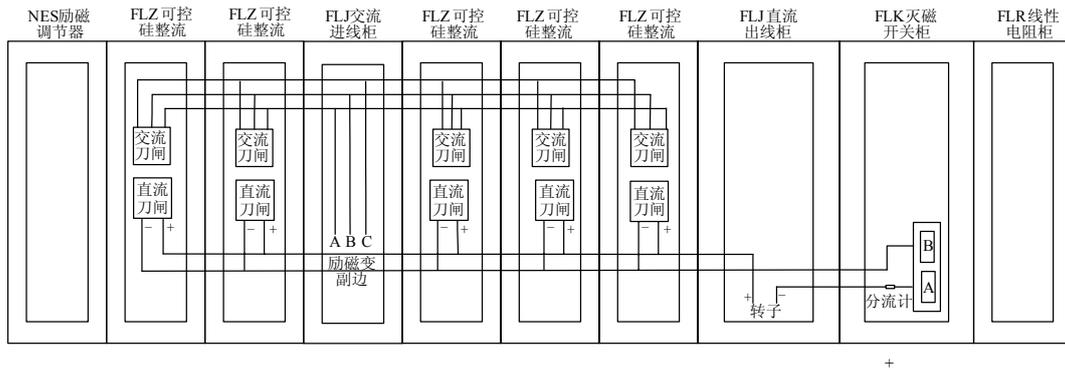


图4 合理布置

Fig.4 Reasonable layout

3 数据处理

电力部行业标准 DL/T 650-1998《大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件》规定:“功率整流装置的均流系数一般不小于0.85”。

假如当机组励磁电流达到1.1倍额定励磁电流5019 A时,(1#机组额定励磁电流为4563 A,1.1倍励磁电流为5019 A)

根据 DL/T 583-2006 标准中均流系数 K_1 计算公式:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^m I_i}{m I_{\max}}$$

式中: $\sum_{i=1}^m I_i$ 为 m 条并联支路电流的和; I_{\max} 为并联支路中的电流最大值。

可计算出各整流装置的输出电流情况及励磁系统均流系数,如表1。

从表中数据分析可知,当机组在1.1倍额定励磁电流情况下运行时,在退出两柜的情况下,可控硅整流装置中单柜最大输出电流为2084.3 A,能够保证单柜装置输出电流不大于装置本身额定输出电流3000 A的要求,且仍有一定的裕度。另外该电厂配置5台额定输出电流为3000 A的功率装置。当5台功率装置全部投入后,由于各可控硅功率柜

的输出电流远小于其额定输出电流,再由于可控硅的平均通态压降并非与可控硅的负载电流线性变化,而一般所指的可控硅平均通态压降是指可控硅额定电流附近的通态压降,所以此时单单从可控硅平均通态压降来说当可控硅的工作点远远离开其额定工作点时,即使可控硅的均流不好,无论对于可控硅的寿命,还是励磁系统的正常运行都没有任何不良影响^[3-4]。

表1 输出电流及均流系数

Tab.1 The output current and current sharing coefficient

励磁电流	FLZ1	FLZ2	FLZ3	FLZ4	FLZ5	均流系数
3 170 A	890 A	690 A	590 A	500 A	500 A	0.71
1.1 倍额定励磁电流 5 019 A	1 409 A	1 092 A	934 A	792 A	792 A	0.71
	1 682 A	退出	1 207 A	1 065 A	1 065 A	0.74
	1 642.5 A	1 325.5 A	退出	1 025.5 A	1 025.5 A	0.76
	1 607 A	1 290 A	1 132 A	退出	990 A	0.78
	2 084.3 A	退出	退出	1 467.3 A	1 467.3 A	0.80
	2 037 A	退出	1 562 A	1 417 A	退出	0.82
	1 937 A	1 620 A	1 462 A	退出	退出	0.86

相关国标并没有对发电机组励磁系统的功率柜配置(包括单柜额定输出、机柜数量等)提出明确的要求。但是目前国内许多评标工作中均以励磁系统功率配置“越大、越多”为标准,导致配置功率装置数量相对比较多^[5]。我公司针对600 MW机组的励磁系统功率装置常规配置是4台,单柜额定

输出 2 500 A。该电厂配置的是 5 台, 3 000 A 额定输出的功率装置。好处是无庸置疑的, 功率装置裕量大, 单柜输出小, 任意退出一柜或两柜均能满足机组各种工况运行的要求。缺点是对励磁系统均流系数带来负面影响, 由于各装置并不是工作在其额定运行点附近, 根据 DL/T 843-2003 标准中对于功率柜均流测试要求是当功率整流装置输出均接近或达到该整流装置额定输出电流时, 测量每柜或每个并联支路的电流。因此并不能把国标中的均流系数要求作为衡量励磁系统功率装置性能好坏的唯一标准。

在功率柜三相交流的输入端接入磁环是一种解决可控硅功率柜均流问题的有效方法, 也是解决该电厂目前均流问题的比较方便、简单的方法。它的原理是当磁环中通过交流电流时, 其周围将呈现出随时间而变化的磁力线。根据法拉第电磁感应定律——磁生电来分析, 变化的磁力线在线圈两端会产生感应电势, 此感应电势相当于一个“新电源”。当形成闭合回路时, 此感应电势就要产生感应电流。由楞次定律知道感应电流所产生的磁力线总是要力图阻止磁力线的变化的。磁力线变化来源于外加交变电源的变化, 故从客观效果看, 磁环线圈有阻止交流电路中电流变化的特性^[6-7]。通过调节磁环磁阻的大小来改变功率装置的交流阻抗, 磁阻越小, 其产生的磁场就越大, 等效产生阻抗就越大。以此来增加该功率装置的交流阻抗, 达到均衡各柜输出电流的目的, 且对机组励磁系统性能没有任何影响^[8]。但它也有一定的缺点, 第一, 它在单柜输出大于 2 000 A 时会产生一定的噪声; 第二, 它将消耗一定的功率引起发热, 发热量在 30~50 W 左右, 温升不超过 5°。目前扬州第二发电厂 660 MW 发电机组(额定励磁电流 6 337 A)由于其接线的特殊性, 也安装了磁环, 效果良好, 且已正常运行一年多。

我厂最终确定在 1、2 号功率柜交流进线处加装磁环的方法来改善 3 号机组励磁系统的均流系数。同时, 对于 4 号机励磁系统将交流进线柜布置在 5 台可控硅装置中间, 能够改善均流系数, 因此请设计院考虑重新排列 5 台可控硅装置的可行性, 工程部协调封闭母线厂家和南瑞电气控制公司为设计院提供资料, 实现 4 号机励磁系统盘柜优化布置, 最终改善 4 号机励磁系统的均流系数, 各功率柜温升和噪声都在规定范围内^[9], 见表 2、表 3。

4 结论

综上所述, 该电厂 1#机组励磁系统目前运行状况对可控硅特性无任何影响, 且对机组的稳定运行

表 2 加装磁环前后各功率柜电流对比表
Tab.2 Comparative table before and after installation of magnetic ring current rectifier cabinet

	无磁环	加磁环
功率柜 1/A	890	760
功率柜 2/A	690	730
功率柜 3/A	590	725
功率柜 4/A	500	590
功率柜 5/A	500	550
均流系数	0.712	0.88

注: 总励磁电流分别为 3 170 A, 3 355 A。

表 3 温度/噪声测量数据
Tab.3 Temperature / noise measurement data

	温度	噪声
功率柜 1/°C	47	96
功率柜 2/°C	45	95
功率柜 3/°C	32	80
功率柜 4/°C	33	72
功率柜 5/°C	31	74

注: 室温 27°C, 温度是指交流进线, 负荷 600 MW。

无任何影响。另外, 当任意退出一柜时能满足机组各种工况运行的要求, 包括 2.5 倍强励; 当任意退出两柜时能满足机组 1.1 倍额定励磁电流长期运行。

针对该电厂目前励磁功率柜输出电流不平衡的情况, 最后从成本和效果两方面考虑采用加装均流环的方法最终使各个功率柜甚至各可控硅的出力达到一致, 效果理想。然而这毕竟是亡羊补牢的做法。我们更应该采取积极主动措施防患于未然, 本文推荐采用 ABB 公司的智能均流方法。另外, 均流是为了均功耗、均发热, 在整流元件容量裕度较大, 运行的工况点较低, 以及整流器的散热能力足够强时, 没有必要斤斤计较那 85%, 即使是 60%、50% 的电流差别也不会有什么问题, 只有设计裕量太小时才须“均流”。

参考文献

- [1] 冷增祥, 徐以荣. 电力电子学基础[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992.
- [2] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [3] 许实章. 电机学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [4] 刘取. 电力系统稳定性及发电机励磁控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [5] 陆继明, 毛承雄, 等. 同步发电机微机励磁控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [6] 方思立, 朱方. 电力系统稳定器的原理及其应用[J]. 北京: 中国电力出版社, 1996.

(下转第 205 页 continued on page 205)

3.2 网络化备自投保护

解决方案: 网络化备自投是以网络化方式在GOOSE 网络底层就地实现网络化备自投, 直接利用过程层网络集中采集的各级母线电压、进线电流、相关开关刀闸位置等信息交互, 结合当前运行方式, 根据运行策略和当前的状态以及功能逻辑判断, 使测控装置通过计算分析向过程层设备发送控制命令, 如图 3 示。与常规备自投装置相比, 取消了专用的备自投装置及各保护之间的连接线, 避免了各间隔信息的重复采集, 网络化采集和传输减少了信息传输环节, 提高了备自投动作的可靠性。其主要功能包括: 进线互投或母联备投、分段备投。

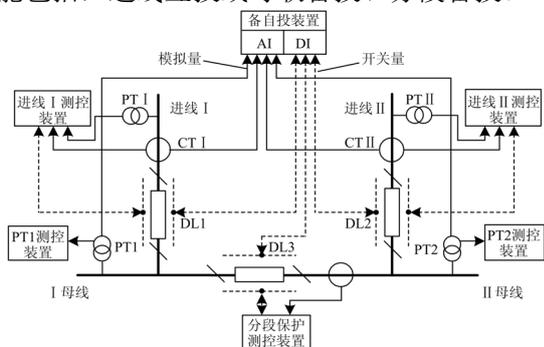


图3 网络化备自投保护示意图

Fig.3 Network diagram of BZT Protection

实际工程中根据所需的交流量和开关量个数选取不同的测控装置, 与图示中装置配置或组合方式略有不同, 但结果均需完成整个交流量和开关量的测量和控制, 不影响问题分析。

3.3 网络化的低频低压减载保护

解决方案: 网络化低频低压减载, 将母线运行信息通过网络集中采集处理、集中逻辑判断, 并将得出的减载信息通过网络发送到各间隔层设备就地执行, 如图 4 所示。与常规的低频低压减载装置相比, 减少了信息的重复采集和定值的分散重复整定, 使动作逻辑更加简化, 进一步减轻了整定校验工作量。其主要功能为: 母线 PT 智能单元进行频率的判断, 各馈线单元进行负荷的测量, 综合进行精确、有效的减载活动。

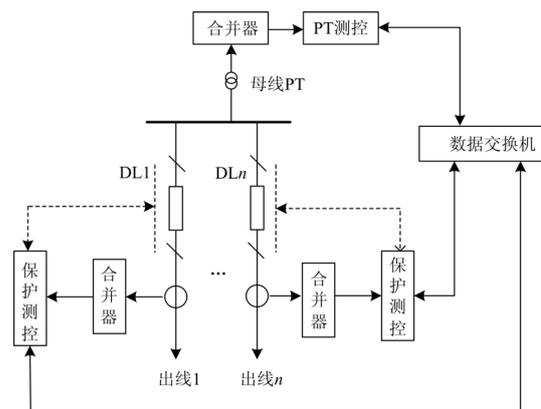


图4 网络化低频低压减载保护示意图

Fig.4 Network diagram of low-frequency low-voltage load shedding protection

4 结束语

数字化变电站应用技术实现了常规变电站自动化技术的发展与突破, 具有明显的技术特征, 其二次系统的基本结构更多地体现了网络通信技术的特点, 使新技术的应用能有机的结合电网的发展, 在此基础上提出的网络化保护的解决方案, 实现了诸多变电站二次系统创新应用功能, 其部分产品已经在多个数字化变电站工程中投入运行。

参考文献

- [1] IEC61850 communication networks and systems in substation[S].
- [2] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [3] 安超印, 王坤. 数字化变电站技术在叠彩110 kV变的应用[J]. 电力系统控制与保护, 2009, 37(22): 170-173.

收稿日期: 2010-03-26; 修回日期: 2010-06-02

作者简介:

付丽梅(1974-), 女, 工程师, 从事继电保护产品设计和调试;

席小娟(1978-), 女, 工程师, 从事继电保护产品设计和调试;

袁文嘉(1971-), 男, 工程师, 从事继电保护产品设计和调试。E-mail: yuanwenjia@sohu.com

(上接第 202 页 continued from page 202)

- [7] 周双喜, 李丹. 同步发电机数字式励磁调节器[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [8] 李基成. 现代同步发电机励磁系统及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [9] 竺士章. 发电机励磁系统试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

收稿日期: 2009-12-28; 修回日期: 2010-05-04

作者简介:

杨斌(1981-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 从事继电保护工作; E-mail: yangxiere@yahoo.com.cn

王文栋(1981-), 男, 本科, 工程师, 从事继电保护工作。