

斩波技术在小型水电站励磁系统改造中应用

董锋斌, 皇金锋

(陕西理工学院 电气工程与自动化系, 陕西 汉中 723003)

摘要: 分析了同步发电机直流励磁机控制方案中自励系统和他励系统方式存在调磁电阻损耗大、励磁系统效率低的缺点, 提出采用直流斩波技术对直流励磁机控制方案进行改造和优化。自励直流斩波励磁系统的上位机选用工业控制机, 应用工程设计法设计调节器, 选用可编程控制器 (PLC) 为控制器, 对励磁进行自动控制。上位机通过 RS-485 和 PLC 通信, PLC 接受上位机的控制命令, 实时传送现场工况 (同步机发出的电压、电流; 励磁电压、电流及计算的有功、无功功率)。根据同步机的数学模型、脉宽调制控制的斩波器的数学模型, 应用工程设计法确定其调节器的控制算法为比例积分微分 (PID) 调节。该系统已在一小型水电站投入使用。

关键词: 直流斩波技术; 励磁改造; 可编程控制器

中图分类号: TM 33; TM 73

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)07-0078-03

同步发电机励磁方式按励磁电源不同分为 3 种方式^[1]。大中型发电机组, 多采用交流励磁机方式和静止励磁方式, 而小型发电机组, 多采用直流励磁机和静止励磁方式^[2]。在大量的小型水电站旧机组励磁系统中, 直流励磁机方式仍在发挥作用, 主要优点是: 励磁机与主机同轴, 当系统发生故障时, 由于主机的惯性大, 励磁机转速不受影响, 能够照常励磁; 由于励磁机可以改变极性, 所以在切断负荷时能够快速去磁; 当系统中发生故障时, 在发电机励磁线圈绕组内感应的交流电可以形成闭环回路不至于发生转子过电压; 较丰富的制造、运行和维护经验^[3-4]。但也存在以下缺点: 直流励磁机有较大的时间常数, 因此电压响应速度慢; 机械式或电磁式的励磁调节器, 响应速度慢; 机械整流复杂而不可靠, 维护麻烦; 调磁电阻因流过的电流很大, 电能在电阻中损耗也大, 整个励磁系统效率低^[5]。针对以上缺点, 本文提出采用直流斩波技术对直流励磁机励磁方式进行改造和优化。该控制方案在陕西山阳一小型水电站机组励磁系统改造中通过调试并能顺利运行。

1 直流励磁控制方案讨论

直流励磁机系统分为自励系统和他励系统, 下面分别介绍其优、缺点。

1.1 自励系统

自励直流励磁机原理结构框图见图 1。其中, 直流励磁机 G 和同步发电机 G_F 同轴。发电机转子绕组 L_r 由专用的自励式直流励磁机 G 供电, 调节 R_C 可以改变电流 I_{RC} 大小, 从而调整发电机转子电流。由自动调压器输出的 I_{ZTL} 和 I_{RC} 共同负担 L_{LQ} 的调整功

率。 I_{ZTL} 为励磁调整电流, L_{LQ} 为直流励磁机的励磁绕组。T 是变压器。

此系统的优点是设备少 (相对于他励直流励磁机系统), 励磁机可以减少自动调压器的容量。缺点是励磁机有大的时间常数, 因此, 电压响应速度慢; 调整电阻 R_C 因流过的电流很大, 电能在电阻中损耗也大, 整个励磁系统效率低。

1.2 他励系统

他励直流励磁机原理结构框图见图 2。其中, 直流励磁机 G、副励磁机 G_L 都和同步发电机 G_F 同轴。发电机的转子绕组 L_r 由直流励磁机 G 供电。此系统的优点是相对于自励直流励磁机系统, 励磁时间常数减小, 电压响应速度较快。缺点是投入的设备增多; 调整电阻 R_C 因流过的电流较大, 电能在电阻中损耗也大, 整个励磁系统效率低。

1.3 自励直流斩波励磁系统

针对自励系统和他励系统 2 种方案存在的缺点, 本文提出采用自励直流斩波励磁系统, 图 3 为自励直流斩波励磁机原理结构框图。其中, 直流励磁机 G

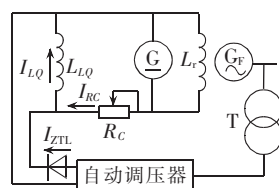


图 1 自励直流励磁机原理接线图

Fig.1 Wiring of self-excited DC dynamo

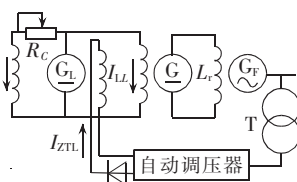


图 2 他励直流励磁机原理接线图

Fig.2 Wiring of separately excited DC dynamo

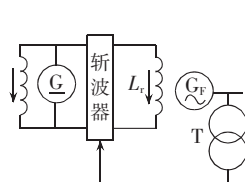


图 3 自励直流斩波励磁机原理接线图

Fig.3 Wiring of self-excited chopped wave dynamo

式中 $K_G = X_{ad}/R_f$, X_{ad} 为电枢反应电抗, R_f 为励磁绕组电阻; $\tau'_{d0} = X_f/R_f$ 为定子开路时励磁绕组时间常数, X_f 为励磁绕组电抗; $X'_d = X_d - X_{ad}^2/X_f$ 为 d 轴暂态电抗, X_d 为 d 轴同步电抗。

PWM 控制的斩波器的数学模型是当整个系统开环频率特性的截止频率满足: $w_c \leq 1/(3T)$, 将滞后环节看成一阶惯性环节, 其传递函数为 $W_{PWM}(s) = K_{PWM}/(Ts+1)$, 式中 $K_{PWM} = U_L/U_c$ 为脉宽调制器和 PWM 变换器的放大倍数, T 为开关周期。

检测反馈环节是一比例环节, 应用工程设计法, 将其整个系统的开环传递函数经过近似处理, 根据控制系统的要求, 将其设计为典型 I 型系统, 确定其调节器的控制算法为 PID 调节。

2.2.2 软件流程图

程序流程图如图 6 所示, 其中 n_e 是同步发电机的额定转速。

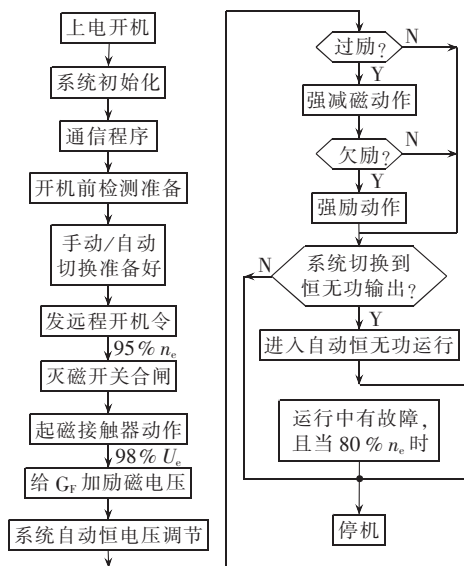


图 6 程序流程图

Fig.6 Program flowchart

3 结语

本系统采用直流斩波技术对原励磁系统进行

改造和优化, 应用工程设计法针对系统的数学模型设计出合理的调节方案, 并且采用高可靠性的 PLC 作控制器, 实现对励磁进行自动控制, 克服了外界环境变化对控制励磁的影响。使整个系统具有以下特点: 系统可靠性高、抗干扰性强; 系统能够精确、快速地调整机端电压的大小, 自动地跟踪电压设定值; 无调磁电阻、损耗小、整个系统效率高; 采用触摸屏使操作简单灵活, 具有操作失败、操作故障等故障报警功能; 通过 RS-485 和上位机通信, 使操作员操作控制方便。

参考文献:

- [1] 孙莹, 王葵. 电力系统自动化[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 韩富春. 电力系统自动化技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [3] 缪秋波, 罗高荣. 水电站数控技术应用的进展[J]. 中国农村水利水电, 2002(9): 58-60.
MIAO Qiu-bo, LUO Gao-rong. The progress of digital control technology on small hydropower[J]. China Rural Water and Hydropower, 2002(9): 58-60.
- [4] 陈光大, 蔡维由, 刘海峰. 小型水电站综合自动化系统的模式探讨[J]. 中国农村水利水电, 2001(12): 30-32.
CHEN Guang-da, CAI Wei-you, LIU Hai-feng. Discussion on mode of comprehensive automation system for small hydropower stations[J]. China Rural Water and Hydropower, 2001(12): 30-32.
- [5] 朱振青. 励磁控制与电力系统稳定[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1994.
- [6] 廖常初. 大中型 PLC 应用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] 李先彬. 电力系统自动化[M]. 北京: 水利水电出版社, 1992.
- [8] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [9] 鲍斯 B K. 电力电子学与交流传动[M]. 朱仁初, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 1991.
- [10] 张明勋. 电力电子设备设计及应用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

(责任编辑: 汪仅珍)

作者简介:

董锋斌(1973-), 男, 陕西周至人, 讲师, 主要从事电气自动化技术的教学和研究工作(E-mail: dongfb3000@126.com);
皇金锋(1978-), 男, 陕西岐山人, 硕士研究生, 主要从事电力电子技术方面教学和科研工作。

Application of chopped wave technique in excitation system reconstruction of small hydropower plant

DONG Feng-bin, HUANG Jin-feng

(Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: The reconstruction and optimization of DC dynamo excitation is performed for synchronous generator by using the DC chopped wave technique to reduce its resistive loss and enhance the excitation efficiency under self- and separate- excitation modes. The industrial control computer is adopted as the superordinate computer of the self-excited DC chopped wave excitation system and the PLC (Programmable Logic Controller) is adopted for automatic excitation control. The regulator is designed with the engineering design method. The PLC receives control commands from the superordinate computer and transmits local parameters to it real-timely via RS-485, such as the generator voltage and current, the excitation voltage and current, the calculated active and reactive powers. According to mathematical models of generator and PWM (Pulse Width Modulation)-controlled wave chopper, the PID (Proportional - Integral - Derivative) control algorithm is selected by the engineering design method for its regulator. The proposed system runs in a small hydropower plant.

Key words: chopped wave technique; excitation system reconstruction; PLC