

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, 多采用直流机励磁和静止励磁方式^[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

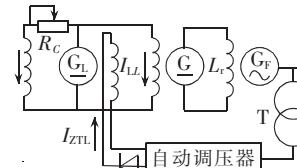


图 1 自励直流励磁机原理接线图

Fig.1 Wiring of self-excited DC dynamo

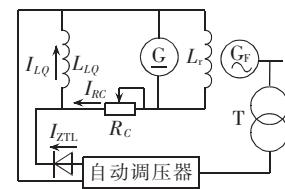


图 2 他励直流励磁机原理接线图

Fig.2 Wiring of separately excited DC dynamo

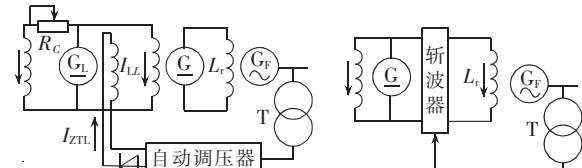


图 3 自励直流斩波励磁机原理接线图

Fig.3 Wiring of self-excited chopped wave dynamo

和同步发电机 G_F 同轴。发电机的转子绕组 L_r 由斩波器输出供电。由原理图上可见,相对于前 2 种励磁方式,减少调整电阻 R_C 。此系统具有多方面优点。

a. 无调整电阻 R_C , 电能在电阻中损耗明显减少, 整个励磁系统效率高。

b. 前 2 种方式, 都是通过调节直流励磁机的励磁电流间接改变发电机转子电流。而此种方案是由直流励磁发电机发出额定电压, 其值略大于强行励磁时发电机转子回路所需的电压值。通过调节直流斩波器的电压实时地调节发电机转子电流。

c. 励磁机的时间常数更小, 励磁机的电压响应更快。时间常数计算原理图见图 4。因为对图 1 有如图 4(a) 等值时间常数计算原理图^[6], 则有

$$U_L = E_0 + kI_{LL}, \quad k = \frac{U_1 - E_0}{I_{LL,1}}, \quad U_L = I_{LL} R_{LL} + L_{LL} \frac{dI_{LL}}{dt}$$

式中 R_{LL}, I_{LL} 为励磁机励磁线圈的电阻与电感; U_1 为励磁机电势; E_0 为自励直流发电机的残余电势值; U_1 为励磁机的工作电压值; $I_{LL,1}$ 为励磁机的工作电流值; k 为比例常数。

自励系统的时间常数 $\tau_1 = L_{LL} / (R_{LL} - k)$ 。

而对图 2 有如图 4(b) 等值时间常数计算原理图, 则有

$$E = I_{LL} R_{LL} + L_{LL} \frac{dI_{LL}}{dt}$$

式中 R_{LL}, L_{LL} 分别为励磁机励磁线圈的电阻与电感; E 为外加励磁电势。

他励系统的时间常数 $\tau_2 = L_{LL} / R_{LL}$ 。

对于图 3, 若采用 PWM 变换器控制的直流斩波器, 当控制电压改变时, PWM 变换器的输出电压要到下一个周期方能改变, 因此将其看成一个滞后环节, 输入是脉宽调节器的控制电压 U_c , 输出是 PWM 变换器的输出电压, 也就是励磁电压 U_L 。因发电机的转速基本恒定, 直流励磁机 G 的输出电压也基本保持不变。其励磁的时间常数为变换器的开关周期 T 。而一般变换器的频率为几千赫兹, 则励磁的时间常数约为 0.1 ms。从上面的分析得: T 为最小。

2 工艺实践

由第 3 种直流励磁控制方案组建的系统在陝西山阳小型水电站励磁改造系统中调试顺利通过, 并能可靠正常运行。该水电站同步发电机单机容量为 455 kW, 输出的额定电压为 6.3 kV, 额定电流为 72.2 A, 直流励磁发电机的额定容量为 20.8 kW, 额定电压为 65 V, 额定电流为 320 A。原采用直流励磁机自励方式, 单机运行较稳定, 但存在电压响应速度慢, 调磁电阻损耗大, 并网后存在困难, 运行不稳定。现改造后采用励磁自动控制系统。数月运行结果表明: 本系统机端电压稳定、自动稳压精度高、

电压响应速度快、无调磁电阻和损耗小。下面针对此系统的硬件和软件作简单介绍。

2.1 系统硬件简介

2.1.1 励磁系统结构框图

励磁系统结构框图如图 5 所示。图中, TA 是电流互感器, S_{MK} 是灭磁开关, K_{QC} 是起磁接触器。

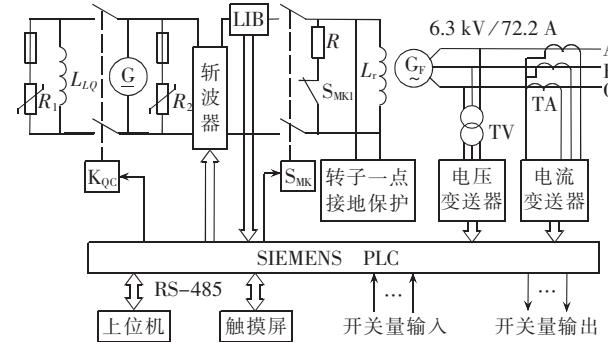


图 5 励磁系统结构框图

Fig.5 Structure of excitation system

2.1.2 主要部分简介

a. 选用工业控制计算机作为上位机, 通过 RS-485 和 PLC 进行通信, 从 PLC 得到工况信息, 而且向 PLC 发布命令。

b. 选用 S7-300 型 PLC 作控制器, 其具有可靠性高、抗干扰能力强、硬件配套齐全、维修方便等特点^[7]。向上和上位机通信, 接受上位机的命令, 并将工业现场的工况(同步机发出的电压、电流、励磁电压、励磁电流以及计算出的有功功率和无功功率等数值)向上位机传送。同时, 将上述信息送给触摸屏, 使其在触摸屏上正确地显示。

c. 触摸屏使操作人员不但可以在操作室操作控制, 还可以浏览系统电压、电流, 励磁电压、电流, 以及所有开关量输入和输出信号所对应的开关状态。在系统出现操作失败、操作故障等时, 触摸屏上会出现滚动的报警信息, 便于操作人员及时了解工况并能快速排除故障。同时, 还可以从触摸屏上了解设备状态和历史曲线等。

d. 斩波器是由斩波主回路和 PWM 控制器组成, 是控制系统的执行装置。其中, 主回路主要有滤波电容、绝缘栅型双极晶体管 IGBT、续流二极管等组成。PWM 控制器主要有脉宽调压控制和保护电路组成, 采用占空比控制技术^[8]。

e. 变送器主要包括电压变送器和电流变送器。向 PLC 提供机端电压、负载电流和励磁电流的数值, 一方面为调用相应的算法提供依据, 同时为上位机、触摸屏上显示提供数据。

2.2 软件简介

2.2.1 调节器的选择

同步发电机的数学模型^[5]。在不计饱和特性, 如以输出变量(机端电压 U_t), 输入变量为励磁电压 U_L 和定子电流 I_d 的传递函数为

$$U_t(s) = \frac{K_G}{\tau'_{d0} s + 1} U_L(s) - \frac{\tau'_{d0} X'_d s + X_d}{\tau'_{d0} s + 1} I_d(s)$$

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。

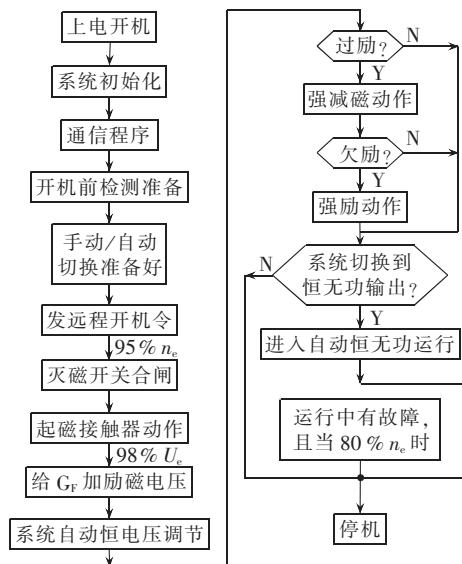


图 6 程序流程图

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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 廖常初. 大中型 PLC 应用教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [9] 李先彬. 电力系统自动化 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1992.
- [10] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [11] 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.
- [12] 张明勋. 电力电子设备设计和应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

董峰斌(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