

文章编号:1008-1542(2012)05-0439-04

基于功角稳定的余热发电机励磁 DSP 控制系统

许 强

(河北省电子信息技术研究院,河北石家庄 050071)

摘 要:余热发电较普通火力发电具有蒸气压力易突变的特点,现在国内余热发电机励磁并网后多采用恒功率因数调节方式。当汽轮机蒸气压力突变瞬间,由于有功功率同向突变,发电机的功角也同向变化,当功角超过允许值时,发电机有可能失步停车。针对此问题开发了基于 DSP 的励磁三闭环控制系统。当蒸气压力大于最大值时,发电机工作于恒功角方式。当蒸气压力小于最大值时,发电机工作于恒功率因数方式。并网前发电机工作于恒励磁电流方式,从而保证了发电机始终处于既节能又可靠的运行状态。

关键词:DSP; 恒功率因数; 恒功角; 励磁三闭环

中图分类号:TP273 **文献标志码:**A

DSP control system of waste heat generator excitation based on power angle stability

XU Qiang

(Institute of Electronics and Information Technology of Hebei Province, Shijiazhuang Hebei 050071, China)

Abstract: Compared with coal-fired power generation, steam pressure of waste heat power generation has the characteristic of mutation. Now the domestic waste heat generator excitation uses constant power factor regulating mode after connected with power grid. When steam pressure of steam turbine mutates, due to that active power mutation at the same direction, the generator power-angle will change at the same direction too. When power-angle is more than the allowable value, generator may be out-of-step parking. Three closed loop excitation control devices based on DSP is developed to solve this problem. When the steam pressure is greater than the maximum value, generator works at constant power angle. When the steam pressure is less than maximum value, generator works at constant power factor mode. Before connected with power grid, generator works at constant exciting current mode, so that the generator is always energy-saving and in reliable operation.

Key words: DSP; constant power factor; constant power angle; excitation three closed loop

目前中国企业普遍采用发电机并网前工作于恒励磁电流方式,并网后工作于恒功率因数的双闭环方式。恒功率因数调节能保证无功功率随有功功率按比例变化。有功功率通过汽轮机调速器来调节,而无功率能在有功功率波动时跟踪调节励磁输出,是公认的最节能方式^[1]。但在余热发电机功角随汽轮机蒸气压力突变时,恒功率因数方式不能保证功角工作于稳定区间,有可能导致发电机失步停车。因此提出了并网后根据汽轮机的蒸气压力,采用以恒功率因数为内环保证节能性,以恒功角为外环保证可靠性的控制策略。

1 系统工作原理

三闭环控制系统的结构见图 1。

收稿日期:2012-05-15;修回日期:2012-09-02;责任编辑:陈书欣

基金项目:河北省科技支撑计划项目(10253519D)

作者简介:许 强(1966-),男,河北石家庄人,高级工程师,硕士,主要从事余热发电机励磁系统节能控制技术方面的研究。

图1中, $\cos \Phi_0$ 为发电机功率因数设定值; I_{L0} 为励磁电流设定值; I_{Lf} 为实际励磁电流。开关 K_1 由并网信号控制, 在并网前断开时为励磁电流单闭环控制系统, 开关 K_1 并网后闭合。开关 K_2 由蒸气压力 P 和实测功角 θ 控制, 当 $P < P_{max}$ 时, 开关 K_2 连接恒功率因数内环, 并通过实时检测与功率因数设定值进行比较, 其差值乘以一个调整系数, 得到附加控制量 $\Delta \cos \Phi$ 。当发电机实际功率因数低于设定值时, $\Delta \cos \Phi > 0$, 此时励磁电流环的电流偏差 $\Delta I = I_{L0} - I_{Lf} - \Delta \cos \Phi$, 正的 $\Delta \cos \Phi$ 使 ΔI 减小, 从而使励磁调节器输出减小, 可控硅控制脉冲后移^[2], 三相全控桥输出的励磁电流减小, 无功功率相应减小, 功率因数增大, 使功率因数偏差 $\Delta \cos \Phi$ 缩小, 直至 $\Delta \cos \Phi = 0$ 。反之, 功率因数将减小。当 $P > P_{max}$ 且实测功角 $\theta > 85^\circ$ (以隐极机为例, $\theta > 90^\circ$ 发电机将不稳定运行) 时, K_2 连接恒功角外环, 通过将 $(85^\circ - \theta)$ 乘以一个调整系数, 得到附加控制量 $\Delta \theta$ 。由于 $\Delta \theta < 0$, 此时励磁电流环的电流偏差 $\Delta I = I_{L0} - I_{Lf} - \Delta \theta$, 负的 $\Delta \theta$ 使 ΔI 增加, 从而使三相全控桥输出的励磁电流增加, 功角减小, 使 $\Delta \theta$ 缩小, 直至 $\Delta \theta = 0$, 保证功角不超调, 减少失步概率, 保证发电机在可靠状态下运行。

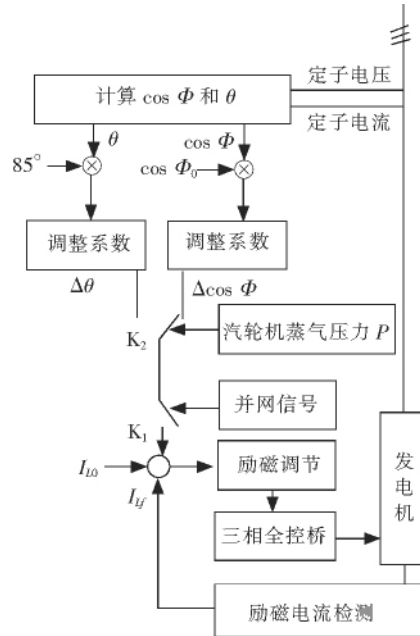


图1 三闭环控制系统结构

Fig. 1 Structure of three closed loop control system

2 硬件电路组成

励磁控制系统中核心 CPU 采用 TMS320F2812 数字信号处理器, 它是 32 位定点 DSP, 主频达 150 MHz, 其整合了快速的 A/D 转换器、Flash 存储器、增强的 CAN 模块、多通道缓冲串口、事件管理器 等外设, 为励磁控制系统数据采集、处理和 控制任务提供平台。在设计中采用 16 位、6 通道同步采样的并行接口模数转换器 ADS8364, 其上 6 路模拟量输入采用全差分输入方式。本系统中内部缓冲器采用 +3.3 V 供电, 因此其数据线可与 3.3 V 供电的 TMS320F2812 接口采用直连方式, 不需要进行电平转换。输入采集系统的模拟量有定子电流、定子电压、蒸气压力, 为了使输入的模拟信号与 ADS8364 采样需求的信号范围相匹配, 电流信号应转换为电压信号, 并由预处理电路对输入模拟信号进行滤波、放大和平移处理。图 2 为 ADS8364 的输入信号调理电路^[3], 双极性单端输入经调理后的输出信号为差分信号, 分别接 ADS8364 的同相输入端 CHA(0)+ 和反相输入端 CHA(0)-, 其中第 1 级运算放大器为电压跟随器, 以提高电路的输入阻抗; 第 2 级运算放大器为二阶低通滤波器, 对输入 A/D 转换器中的高次谐波干扰信号进行滤波处理, R_5

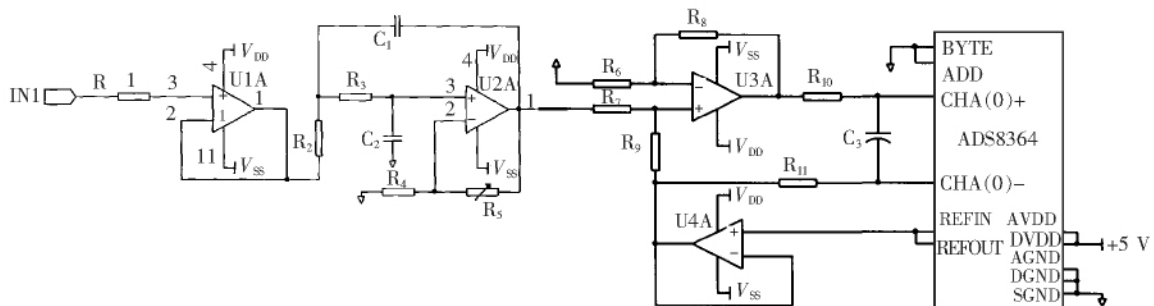


图2 输入信号调理电路

Fig. 2 Input signal conditioning circuit

为电位器,可以调节放大倍数,滤波电路引起的电压相位移在软件中加以补偿,用以保证参数计算的精度;第 3 级运算放大器 U3A 和 R_6, R_7, R_8, R_9 构成电阻网络,用来调节输入模拟信号的电压在 ADS8364 的输入允许范围之内,这种输入方式可以有效减少共模噪声,提高采集精度,REFIN 和 REFOUT 短接输出 +2.5 V 基准电压,通过电压跟随器 U4A 提供给差分电路。电阻网络根据 IN1 的信号范围,对信号进行缩放和平移,使其满足 ADS8364 的输入要求。其余各路输入信号调理见图 2。ADS8364 与 TMS320F2812 硬件接口电路见图 3, TMS320F2812 根据定子电压、定子电流计算出 $\cos \Phi$ 和 θ ,再根据蒸气压力和 θ 进行恒 $\cos \Phi$ 和恒 θ 切换,并采用 PID 调节励磁电流。

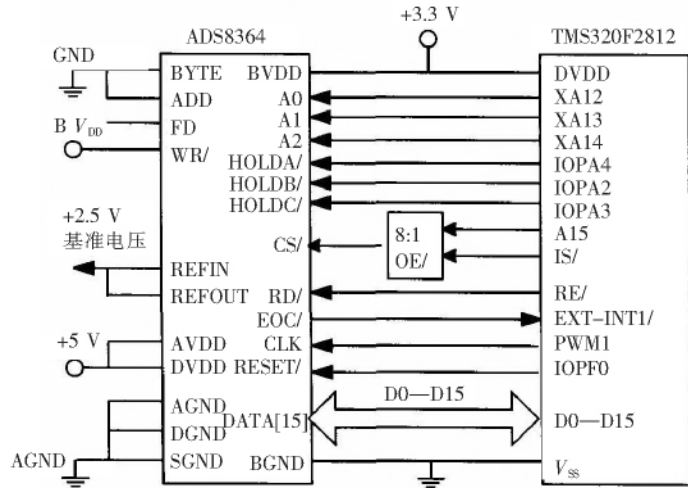


图 3 ADS8364 与 TMS320F2812 接口电路
Fig. 3 ADS8364 and TMS320F2812 interface

3 软件设计

DSP 主程序在对系统、外围芯片接口、标志位和各种参数变量进行初始化后,循环查询 CAN 和 RS485 总线的数据接收标志位,并根据相应的数据请求做出正确的处理。其流程图见图 4。

5 个中断服务程序主要包括以下几方面。

1) 利用定时器 1 启动定子电流、定子电压和蒸气压力,在其中断程序内读出转换结果并放入相应的数据组中。采样间隔由 DSP2812 捕获的中断所测得的交流信号频率来确定。

2) 为了能在极短的时间内对励磁装置进行控制,应把所需的计算和控制方法放在定时器 3 的中断程序中完成:对定子电压和定子电流运用 128 点傅里叶算法,得到 $\cos \Phi$ 和功角 θ ;根据蒸气压力上限值和功角 θ 上限值决定采用恒功率因数调节方式还是恒功角调节方式。

功率因数和功角按以下方法进行实时测量。

为了保证定子电压和定子电流的采集精度,采用了傅里叶级数算法,由交流电压有效值公式

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

将其离散化,以一个周期内 128 个采样电压代替一个周期内连续变化的电压

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{m=1}^{128} u_m^2 \Delta T}$$

函数值,则 $U = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{m=1}^{128} u_m^2 \Delta T}$ 。式中, ΔT 为采样时间间隔, u_m 为各采样电压的瞬时值,考虑到 $128 = T/\Delta T$,则电压有效值 $U = \sqrt{\frac{1}{128} \sum_{m=1}^{128} u_m^2}$ 。同理电流

$$U = \sqrt{\frac{1}{128} \sum_{m=1}^{128} u_m^2}$$

有效值计算公式为 $I = \sqrt{\frac{1}{128} \sum_{m=1}^{128} i_m^2}$ 。则离散化后的有功功率计算公式为 $P = \frac{1}{128} \sum_{m=1}^{128} u_m i_m$,功率因

$$I = \sqrt{\frac{1}{128} \sum_{m=1}^{128} i_m^2}$$

$$P = \frac{1}{128} \sum_{m=1}^{128} u_m i_m$$

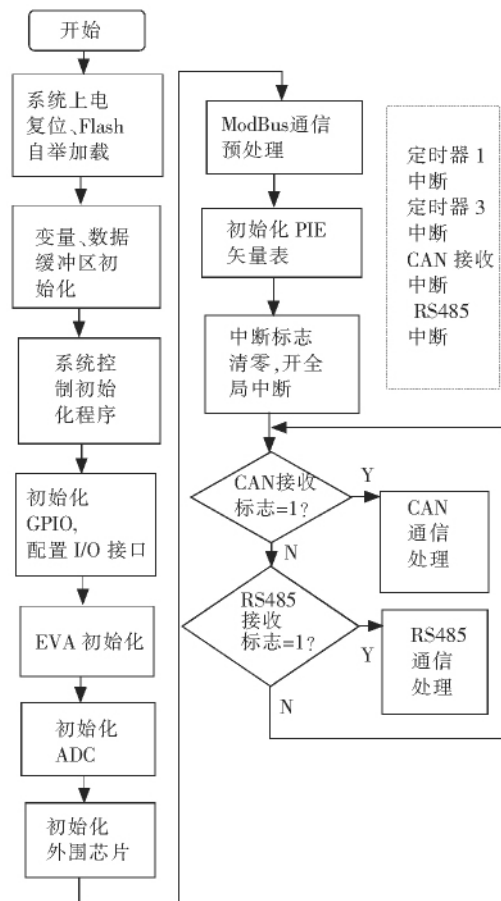


图 4 主程序流程图
Fig. 4 Flow chart of main program

数 $\cos \Phi = \frac{P}{UI}$, 采用功角 θ 间接测量方法^[4]:

$$\sin \theta = \frac{\cos \Phi}{\sqrt{1 + 2 \times K \times \sin \Phi + K^2}},$$

式中, $K=U/(IX_c)$, X_c 为发电机同步电抗值。

3) 利用 CAN 通信接收触摸屏的请求并进行处理, 置 CAN 接收标志位为 1, 表示接收数据完毕, 通过 CAN 总线向其发送测量参数、励磁参数, 并接收触摸屏下传的修改数据, 根据相应的数据进行调节。

4) 利用 RS485 通信接收上位机的请求并进行处理, 置 RS485 接收标志位为 1, 表示接收数据完毕, 向其上传测量参数、开关状态信息, 并接收上位机发出的操作命令, 进行相应控制。

5) 利用时间管理的 EVA 单元的 CAP2 引脚对同步脉冲进行上升沿捕获, DSP2812 的主频为 120 MHz, 用测周期法得到机端频率。

4 测试记录

测试环境: 石家庄市某集团有限公司 12 MW 背压式余热发电机 1 台。汽轮机排气压力最大值为 5.5 MPa。

测试内容: 改变汽轮机排气压力, 比较三闭环调节与双闭环调节方式下的发电机运行稳定性。

测试标准: 发电机实测功率因数为设定值(滞后 0.90), 判为节能; 实测功率因数为超前, 判为失步。

测试记录见表 1。

表 1 测试记录
Tab. 1 Test record

排气压力/MPa	励磁三闭环调节方式		励磁恒功率因数双闭环调节
5.7	恒功角	(滞后 0.98)	失步停车
5.6	恒功角	(滞后 0.95)	超前 0.99
5.5	恒功角	(滞后 0.90)	滞后 0.90
5.4	恒功率因数	(滞后 0.90)	滞后 0.90

余热发电机励磁三闭环调节既保证了汽轮机排气压力在正常范围内发电机的节能性, 又保证了汽轮机排气压力大于最大值时发电机的稳定性, 克服了励磁恒功率因数双闭环调节在汽轮机排气压力大于最大值时发电机进相运行和失步停车的弊端。

5 具体实施及效果

石家庄市某集团有限公司 1 台 12 MW 余热发电机提供全厂 10% 的发电量, 该发电机励磁控制系统以前为恒功率因数调节模式, 余热发电系统每年因失步造成的故障停车为 3 至 4 次, 每次直接经济损失约 100 万元, 并向大气排空高压水蒸汽。2010 年对该励磁控制系统进行了改造, 使用了笔者所述控制系统, 解决了余热发电机恒功率因数调节模式下易失步的问题, 系统稳定运行至今, 1 年为全厂减少经济损失约 400 万元, 受到用户好评。具体测试数据如下。

- 1) 过载能力: 1.4 倍;
- 2) 励磁系统响应时间: 上升不大于 0.08 s, 下降不大于 0.15 s;
- 3) 闭环动态特性: 超调量不大于 5%, 电压振荡次数低于 2 次;
- 4) 功率因数控制精度: 1%;
- 5) 功角控制精度: 1%。

参考文献:

- [1] 宋佳, 王利强. 利用 DSP 实现同步电动机功率因数闭环调节[J]. 河北工业科技(Hebei Journal of Industrial Science and Technology), 2010, 27(6): 486-488.
- [2] 陆继明. 同步发电机微机励磁控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [3] 余祖俊. 微机检测与控制应用系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [4] 河北省电子信息技术研究院. 同步电动机励磁恒功角 θ 闭环自动调节方法[P]. CN: ZL200510012726. 8, 2008-01-09.
- [5] 赵利. 同步电动机励磁电流计算与用电系统功率因数提高[J]. 河北工业科技(Hebei Journal of Industrial Science and Technology), 2011, 28(1): 26-29.