

文章编号: 1672-2892(2010)04-0480-05

## 一种新的汽轮机保护系统监控仪

黄洪全, 方方, 龚迪琛

(成都理工大学 核技术与自动化工程学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 介绍了基于高性能 DSP 芯片 TMS320F2812 的汽轮机保护系统监控仪的实现。传感器检测的汽轮机信号送至 DSP 芯片进行高效的数字处理及逻辑判决, 并将处理结果送到 PC 机、执行机构或其他仪表, 实现对汽轮机的监控。由该仪器组建的保护系统, 具有数据处理速度快、精密度高、体积小等优点; 特别地, 当采集点或控制点过多以致一片 DSP 任务繁忙时, 可通过增强型控制局域网(eCAN)总线对多个仪器组网, 进行任务的分担, 以实现分布式实时监控。

**关键词:** 数字信号处理器; 汽轮机; 监控; eCAN 总线

**中图分类号:** TN957.52<sup>+</sup>4; TP391

**文献标识码:** A

## A new monitor-controlling instrument of turbine protection system

HUANG Hong-quan, FANG Fang, GONG Di-chen

(School of Nuclear Technology and Automation, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

**Abstract:** This study introduced the realization of a new monitor-controlling instrument of turbine protection system based on high performance DSP TMS320F2812. The signal of turbine measured by sensor was processed effectively by DSP or judged logically, then the result was outputted to PC, executive body or other instruments, in order to monitor and control the turbine. The protection system with this instrument is provided with many advantages, such as small volume, quick processing and high accuracy. Particularly, a few instruments can be collected by enhanced Control Area Network(eCAN) bus for realization of distributed real-time control.

**Key words:** DSP; system turbine; monitor and control; eCAN bus

汽轮机是发电厂的原动机, 运行必须可靠, 才能保证向电网输送的电力符合数量和供电品质(电压与频率)要求。为了确保汽轮机的运行安全, 防止设备损坏事故的发生, 除了要求调节系统动作可靠以外, 还应具备必要的保护系统。保护系统的作用是对主要运行参数: 转速、轴向位移和胀差、真空、油压、振动、热应力、汽压等进行监视, 当这些参数值超过一定的范围时, 保护系统动作, 使汽轮机减少负荷或者停止运行。保护系统对某些被监视量还有指示作用, 对维护汽轮机的正常运行有着重要意义。TI 公司推出的 32 位 TMS320F2812 DSP 芯片, 是目前数字控制最高性能解决方案, 数字信号处理能力强, 片内外设及接口极其丰富, 用它作为监控仪的主控器, 使汽轮机保护系统具有快速、实时、准确、精密度高、体积小等特点; 同时, 也便于现场网络化的实现<sup>[1-3]</sup>。

### 1 监控仪硬件设计

监测仪的硬件构成如图 1 所示, 主要包括: 高性能 TMS320F2812 DSP 数字信号控制器, 汽轮机各状态检测通道(含速度、轴向位移和胀差、真空、油压、振动、热应力、汽压等检测通道)<sup>[4]</sup>, 控制信号/变送信号输出通道(含电压、电流、继电器保护信号及状态指示信号输出等通道), 通信接口(含串行通信接口(Serial Communication Interface, SCI)与 eCAN 接口), 键盘与显示模块, 日历时钟, D/A 转换及存储器等。

#### 1.1 TMS320F2812 DSP 数字信号控制器

DSP 的主要功能<sup>[2]</sup>: 1) 通过 GPIO、A/D 转换及事件管理器对汽轮机的速度、振动、油压、轴向位移和胀差、真空、热应力、汽压及防火等信号进行监测, 并进行必要的信号处理后, 向执行器或其他仪表输出相应的模拟或

收稿日期: 2009-12-15; 修回日期: 2010-04-26

开关量，实现汽轮机保护。2) 通过 SCI 接口与上位机通信，采用 Windows 中文界面实现人机对话，便于对数据进一步处理；利用 eCAN 总线实现多个仪器组网，便于协作。3) 通过 GPIO 接口控制键盘/显示模块，实现参数、功能设置及数据显示。4) 通过 GPIO 接口与指示灯连接，显示状态信息，如“报警”、“正常”等。

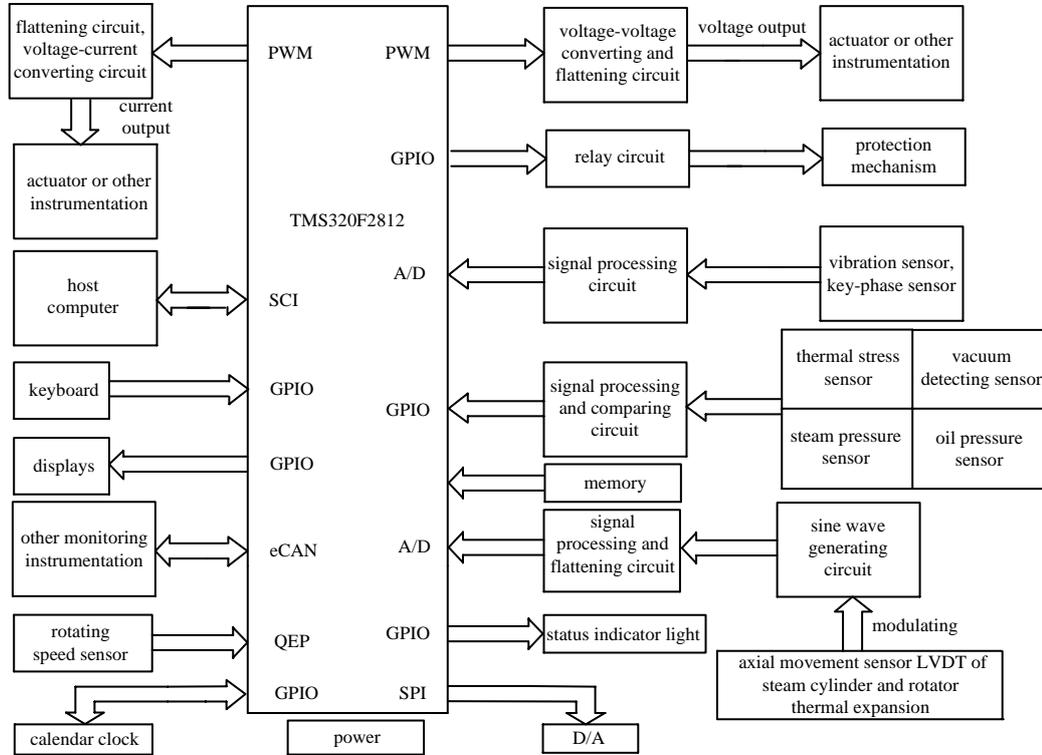


Fig.1 Hardware structure of monitor-controlling instrument  
图 1 监控仪的硬件构成

### 1.2 轴向位移和胀差监测

#### 1) 传感器选择

由于线性可变差动变压器(Linear Variable Differential Transformer, LVDT)位移传感器具有工作可靠、线性度好、重复性好、精密度高、动态特性好，并且可在强磁场、大电流、潮湿等恶劣环境下工作的特点，所以采用 LVDT 位移传感器测量轴向位移、汽缸膨胀与转子膨胀。胀差由汽缸膨胀与转子膨胀计算得到。LVDT 的工作原理是：将铁芯的位移量变成电压信号输出，如图 2 所示。为了提高传感器灵敏度，改善线性度，将 2 个次级线圈反串接，输出 2 个次级线圈电压之差，其电压差值与位移量成线性关系。

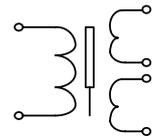


Fig.2 Principle of LVDT  
图 2 LVDT 工作原理

#### 2) 信号产生及调制电路

LVDT 位移传感器所需正弦波信号由 ICL8038 产生。正弦波信号的频率及幅值可以通过 ICL8038 外围电容和电阻调节。若有更高要求，可考虑采用 MAX038 来做主函数发生器。

幅值对称的正弦波信号(频率：1 kHz；信号源幅度：6 V<sub>p-p</sub>)在传感器 LVDT 位移信号调制下，经过二极管环路转化成波动的直流，再由电容滤波成平直的直流。LVDT 输出端经过两极放大电路送至 DSP 的 A/D 通道，监测同一个被测量接入两路 LVDT 传感器输入信号。

### 1.3 振动与键相监测

振动信号探测器<sup>[5]</sup>和键相信号探测器的输出电压，经处理后送入 DSP A/D 转换接口。

瓦振信号通过磁电式速度传感器获取，由二阶 Butterworth 带通滤波器(BPF)滤波后，再经积分器转换为瓦振位移。轴振信号通过电涡流传感器获取，输出为偏置交流位移信号，该信号通过隔交取直电路后可得到涡流探头与轴间的静态位移，若通过带通滤波器后又得到轴振位移。

键相信号由涡流传感器获取，并经施密特触发器后输出脉冲信号，该信号一路用于启动振动信号的采集，并作为各谐波分量的相位基准，另一路经锁相环后用于速度测量。

#### 1.4 速度监测

采用事件管理器正交编码器脉冲 QEP 接口进行测速。对 CAP1/QEP1 和 CAP2/QEP2(对于 EVA 模块), 或 CAP4/QEP3 和 CAP5/QEP4(对于 EVB 模块)输入的正交编码脉冲进行解码和计数, 可以获得速率及方向信息。为了启用 QEP 接口, 必须对 EVA(或 EVB)模块的 T2CON(或 T4CON)寄存器、CAPCONA(或 CAPCONB)寄存器进行设置。

#### 1.5 真空、油压、热应力、汽压等监测

将真空、油压、热应力、汽压等信号送入比较器, 与超限值进行比较, 比较器输出(高或低电平)信号送 DSP 的 GPIO; 当 GPIO 为高电平时, DSP 通过继电器通道发出保护指令<sup>[6-7]</sup>。

#### 1.6 显示与键盘操作

使用 7279A 实现键盘与数码显示管的管理。通过数码显示电路可以看到监测结果及运行状态, 如各通道位移或电压电流值、监测值的警告、危险超限判别和状态指示、输出等; 通过键盘可以进行功能和参数的设置。该部分通过 DSP 的多个通用 I/O 口 GPIO 控制。

另外, 还添加 MCG12864A8-3 液晶显示器, 用以显示各种波形、曲线(如振动频谱、时域波形)等。该部分通过 DSP 的通用 I/O 口 GPIO 控制, 使用 PWM 输出调节背光的明暗程度。

#### 1.7 SCI 串口

TMS320F2812 的 SCI 串口具有 16 级 FIFO, 最高波特率为 38 400 bps, 并支持多处理器通信。监控仪与上位机采用 SCI 串口通信, 发送与接收通过 6N139 光耦隔离并实现电平转换。

#### 1.8 信号输出通道

输出分为: 电流、电压输出, 继电器输出及指示灯信号输出。

1) 电流、电压信号的输出有 2 种。一是由 DSP 输出 PWM 波, 经 4050B 电平转换, 得到脉冲序列, 再经过滤波电路的平直及多级放大与跟随得到 0 V~10 V(或 0 V~5 V)的电压输出; 电压经过缓冲、多级放大又可得到一个与负载无关的电流 4 mA~20 mA(或 0 mA~10 mA, 相当于一个恒流源)。二是采用 DSP 的 SPI 接口与 4 路 12 位数模转换器 MAX5742 连接实现。电压与电流信号由输出端子送与外部其它仪表或执行器。

2) 继电器输出。DSP 的 GPIO 口经 TIL117 隔离后与继电器连接。各继电器均有一组触点输出(常闭、中点、常开), 用以发出保护指令, 如“速度超限”、“膨胀超限”等保护。

3) 指示灯信号输出, 由 DSP 的 GPIO 口控制 LED 管实现。

#### 1.9 日历时钟

为了便于系统记事, 设置了日历时钟电路。通过 DSP 的 2 根 GPIO 线模拟 I2C 总线, 实现与串行日历时钟芯片 PCF8583 的连接。

#### 1.10 增强型控制局域网(eCAN)模块

DSP 的 eCAN 模块传输率为 1 Mbps, 与其他控制器在电磁干扰环境下通信可靠, 与其他仪器连接, 构成现场工业局域网。

#### 1.11 存储器与电源

DSP 程序代码较多, 处理数据量大, 特扩展 2 片存储容量为 64 K 的 16 位 RAM IS61LV6416。采用 TPS767D301 电源芯片为 DSP 提供 1.8 V 和 3.3 V 电压。

## 2 上位机软件设计

上位机软件总体上可分为组态、故障诊断和数据库管理 3 大功能模块。

### 2.1 组态软件设计

组态软件设计为 Windows 中文界面, 操作简单, 使用方便, 其主要功能为: 仪表的测量参数与功能设置,

汽轮机相关数据与状态监测。

由于系统测量参数与功能较多，下面仅以轴向位移与膨胀监测为例加以说明。

本监测仪最多可以测量 16 通道模拟信号，可编程为：1) 通道独立工作：每个通道单独测量，两通道间不发生联系；2) 两通道监测同一参量：两通道测量同一个参数，可实现高可靠测量，并有差值鉴别等功能；3) 两通道补偿式测量：两通道中一个测量正向位移，另一个测量负向位移，两通道组合测量位移全程；4) 斜面测量：测量斜面位移并自动斜率补偿，转换为热膨胀。

组态软件提供差值鉴别、变化速率鉴别等多种定制测量功能，来满足不同需要；可对传感器进行全量程线性补偿；实时记录测量数据，可方便下载，进行数据分析和故障诊断。参数的设置分为：基本设置、通道设置、传感器线性化、输出设置等。基本设置：系统名称、编号、组件名称和产品 ID、仪表工作方式、通道旁路置、可选择传感器类型、测量单位量纲等。

通道设置：传感器输出范围、线性范围、灵敏度等；测量量程、零点电压和零点值；测量方向、斜面补偿、安全栅补偿、传感器线性修正等。

传感器线性化：对每个电涡流传感器，可以输入 21 组数据，对传感器进行线性修正；当差值超限时，用户可以选择是否发出警告和锁定危险控制输出，防止误动作，对机组提供更可靠的保护。

输出设置：设置仪表报警、危险组合逻辑、差值鉴别参与控制的方式、联锁控制是否投入、设置仪表报警电流、电压输出形式等。继电器输出功能形式由软件编程决定：根据需要可将每个继电器组态为一(或双)通道 OK、警告、正向警告、负向警告、危险、正向危险、负向危险等功能之一。

正确设置好仪表各项参数后，通过串行电缆将参数下载到仪表中，仪表随即复位并运行。

另外，组态软件设计有多种画面与图表，如机组概貌图、数据表、时域波形图、频谱图、轴心轨迹图、棒图、级联图、瀑布图、波德图、趋势分析图等，可以直观地观测汽轮机(组)运行情况。

### 2.2 故障诊断和数据库管理软件

故障诊断是根据经监测仪预处理后的各测点数据，采用有效的方法(如统计诊断、逻辑诊断、神经网络、专家系统等)进行处理后，对常见故障和一些复杂的故障情况提供详细的故障诊断报告，同时提供分析过程的描述<sup>[6-8]</sup>。

数据库管理软件用于对历史数据(如振动信号特征值、转速、启停、报警状态及时间等)进行存储与管理，为故障诊断和治理提供依据，并提供方便的查询、显示、报表打印等功能。

## 3 DSP 软件设计

DSP 的软件主要包括检测输入、输出、键盘与显示、通信、日历时钟等模块，如图 3 所示。

SCI 与 eCAN 通信接口的基本功能通过键盘设置。SCI 可设为 2 400/4 800/9 600/19 200/38 400 bps 波特率、UART 模式或多处理器模式。键值读取采用中断方式。A/D 转换由中断驱动。

对输入的振动数据需进行插值、FFT 变换(或小波变换)及特征值的提取等预处理；对输入 DSP 的开关量编程为“二取二”或“三取二”判决，以提高“保护”的可靠性；轴向位移及膨胀检测编程为“二对一”方式，即对每一检测点采取两路检测，以提高测量准确度。

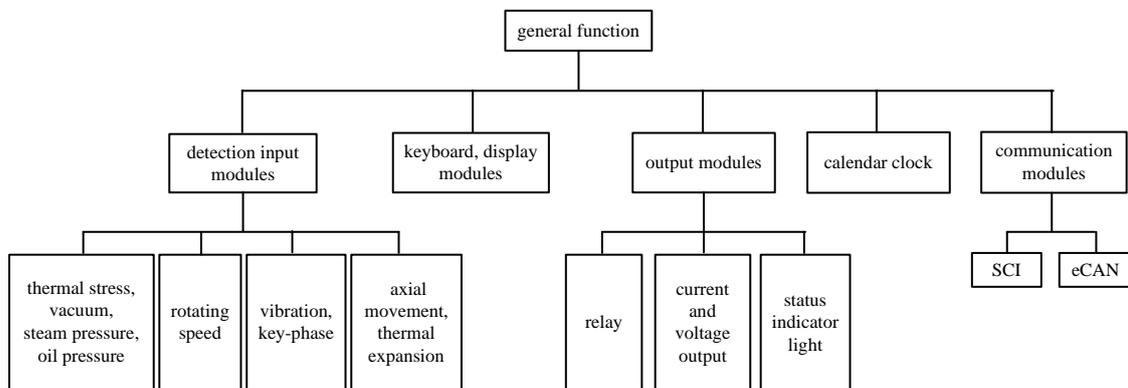


Fig.3 Software structure of DSP  
图 3 DSP 软件构成

## 4 结论

本文采用高性能的 TMS320F2812 DSP 芯片组建的汽轮机保护系统, 具有数据处理速度快、精密度高、体积小等优点; 特别地, 当采集点或控制点过多以致一片 DSP 任务繁忙时(如对汽轮机组的监测时), 可通过 eCAN 总线对多个仪器组网, 进行任务的分担, 以实现分布式实时监控。本系统已取得较好的初步试验效果, 但上位机故障诊断和数据库管理软件还有待进一步完善。

### 参考文献:

- [1] 陈金鹰. DSP 技术及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
- [2] 刘和平. 数字信号处理器原理、结构及应用基础—TMS320F28x[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [3] 王仕龙. 一种基于数字信号处理的汽轮机故障诊断系统[J]. 中国电力, 2006,39(8):57-61. (WANG Shi-long. DSP-based fault diagnosis system on turbo-generator[J]. Electric Power, 2006,39(8):57-61.)
- [4] 吕俊锋. 核电机组汽轮机监测仪表的特性及应用[J]. 电力建设, 2003,24(5):49-52. (Lü Jun-feng. Characteristics and Application of Monitor Instrument for Turbine of Nuclear Power Units[J]. Electric Power Construction, 2003,24(5):49-52.)
- [5] 陈小强. 基于 DSP 的汽轮机振动状态监测仪[J]. 汽轮机技术, 2003,45(1):51-53. (CHEN Xiao-qiang. DSP-based Turbine Vibration Condition Monitoring Instrument[J]. Turbine Technology, 2003,45(1):51-53.)
- [6] 邓艾东. 基于计算机的汽轮机状态监测分析系统的设计[J]. 汽轮机技术, 2001,43(5):309-310. (DENG Ai-dong. The Design of State Monitor and Analyse System of Turbo-generators Basing on Computer[J]. Turbine Technology, 2001,43(5):309-310.)
- [7] 杨雪萍. 汽轮机状态检修与状态监测的研究[J]. 华北电力技术, 2003,6:22-24. (Yang xue-ping. Study on State Monitoring and Condition-based Maintenance in Steam Turbine[J]. North China Electric Power, 2003,6:22-24.)
- [8] 裴文剑. 一种新的监测诊断系统的数据预处理方法[J]. 汽轮机技术, 2005,47(2):134-136. (PEI Wen-jian. A New Data Preprocessing Method in the Condition Monitoring and Fault Diagnosis System[J]. Turbine Technology, 2005,47(2):134-136.)

### 作者简介:



黄洪全(1973-), 男, 重庆市人, 博士, 讲师, 主要从事电气工程、信息处理、DSP 技术与自动控制等方面的教学与研究.email: huanghongquan@cdut.cn.

方方(1954-), 男, 北京市人, 博导, 教授, 主要从事仪器仪表等方面的教学与研究。

龚迪琛(1974-), 男, 四川省内江市人, 在读博士研究生, 讲师, 主要从事自动化方面的教学与研究。

(上接第 475 页)

### 作者简介:



陆文杰(1986-), 男, 江苏省无锡市人, 在读硕士研究生, 主要从事汽车电子与汽车测试方面的研究.email:xiaoma1357@163.com.

张为公(1959-), 男, 杭州市人, 教授, 博士生导师, 主要从事汽车电子与测控技术及机电仪一体化方向的研究。

龚宗洋(1979-), 男, 南京市人, 博士, 主要从事汽车测试技术与智能控制方面的研究。

刘彩丽(1986-), 女, 石家庄市人, 在读硕士研究生, 主要从事汽车电子与汽车测试方面的研究。