

# 基于 DSP 的船舶推进电机监测系统设计

王爱军, 王小海

(南通航运职业技术学院 轮机工程系, 江苏 南通 226010)

**摘 要:**文章阐述了一种基于 DSP 的船舶推进电机监测系统的设计思路,描述了系统硬件模块的设计和软件设计思路,为船舶推进电机监测系统的研制提供了参考。

**关键词:**船舶电力推进;在线监测;DSP;CAN 总线

**中图分类号:**U664.14

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-9891(2017)04-0029-04

## 0 引言

船舶电力推进是利用推进电机带动螺旋桨旋转,从而推动船舶前进的一种推进方式。与传统的推进方式相比,电力推进系统具有操纵性能好、安全可靠、节能环保等诸多优点,在各类船舶上的应用日趋广泛。电力推进系统主要由供配电模块、变频器、推进电机、控制器和螺旋桨组成,其中推进电机起到关键性作用。<sup>[1]</sup>对推进电机运行状态进行实时监测和分析,有助于及时发现和解决问题,减少工作人员的维护和检修工作量,提高推进系统运行的可靠性,因而船舶推进电机监测系统具有重要的现实意义。

本文研究的船舶电力推进系统具有两个西门子公司的 SSP 吊舱推进器,由两台 4.7MW 的双三相永磁同步电动机驱动,变频器输入电压为 6.6kV。本文设计了一套基于 DSP 的船舶推进电机监测系统,该系统可以实时显示推进电机的各类参数,并能将参数通过 CAN 总线传输到上位机进行存储和查询。本文将首先进行系统总体方案设计,确定系统的总体结构、硬件框架和软件架构,接着对各个具体的硬件电路进行设计和参数计算,编制各个软件模块,并根据详细设计方案构建模型系统。最后,对各个硬件电路和软件模块进行测试,检测系统是否达到预期要求。

## 1 系统总体方案设计

### 1.1 系统功能分析

该监测系统主要实现推进电机各类参数的实时显示,包括三相电压、三相电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数、转速、转矩等常规参数。同时,借助于数字信号处理技术,该系统还可以显示电流谐波频谱图和电压、电流实时波形图,以及电压波动和波形畸变等电能质量指标。另外,为了实现数据的远程采集、共享和数据分析,每个电机的监测数据会通过网络总线传送给上位机。上位机将数据进行可视化展示,并利用数据库技术进行存储,通过对历史数据的处理可以得到参数的变化规律,还可结合专家系统进行故障的判断和分析。

### 1.2 系统总体结构

监测系统主要由电机数据采集模块、主控制器模块、机旁操作显示模块、通信接口模块和上位机组成,其结构如图 1 所示。本监测系统的核心是主控制器模块,从数据采集模块获取电压、电流、转速等数据后,经过滤波处理、测量算法计算、时频分析得到其它相关数据,然后在机旁控制箱上进行显示,并通过通信模块将数据打包后发送给上位机进行进一步的处理。

收稿日期:2017-03-18

作者简介:王爱军(1981—)男,湖南汉寿人,南通航运职业技术学院轮机工程系讲师。

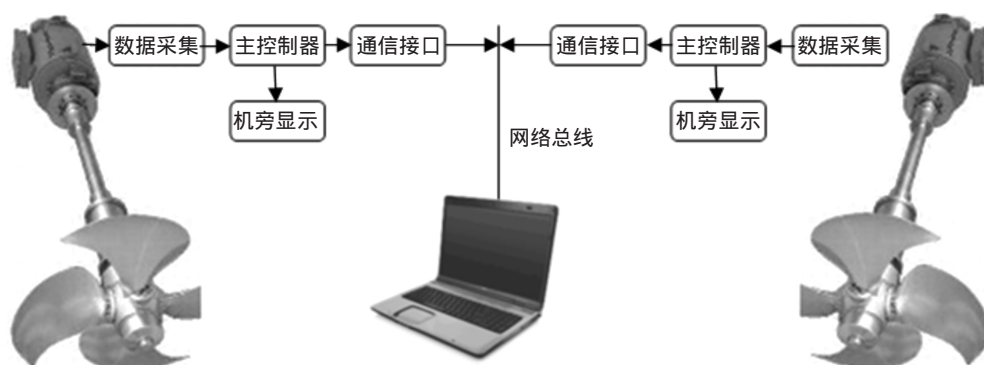


图1 船舶推进电机监测系统架构图

### 1.3 主控制器选型

一般监测系统常用的主控制器包括单片机和 DSP。由于单片机的运行速度较慢,不能保证参数监测的准确性和实时性,而如果增加单片机数量,将大大提高成本。对于滤波处理算法、快速傅立叶变换等算法,单片机更是远远无法满足实时运算的要求。DSP 是指数字信号处理器,与普通的微处理器相比,主要特点是采用哈佛结构,取指和指令执行可以并行;具有专门的硬件乘法器和浮点运算部件,特别是 DSP 具有一些特殊指令如乘加乘减指令、并行加载存储指令、重复允许指令等,使得数字滤波、FFT、卷积等算法的速度大大加快,满足监测系统实时运算要求。<sup>[2-3]</sup> 因此本系统使用 DSP 作为主控制器,具体为 TI 公司的新款 TMS320F28335 浮点 DSP 控制器。该控制器具有 16 通道 12 位的 ADC,可使用 6 个通道 DMA 加速 ADC 数据的处理,由于具有 32 位浮点处理单元和快速硬件乘法器,在滤波算法和 FFT 算法处理时能保证精度和实时性的要求。TMS320F28335 控制器具有丰富的通用 IO 口和通信接口,并且在 TI 公司提供的开发环境 CCS 中具有丰富的软件设计标准例程,可大大简化系统设计。

### 1.4 通信接口选择

以往船舶监测系统较多的采用 RS485 总线,但是 485 总线通信只能以主从方式通信,灵活性较差,因此本系统采用实时性、灵活性、可靠性更高的 CAN 现场总线。CAN 总线是一种性能优异的现场总线,具有以下特点:采用非破坏性总线仲裁技术,高优先级的数据能够得到实时传输;采用差分传输,抗干扰能力强;通信方式灵活,可以实现主从式通信,也可以实现多主通信。CAN 总线在船舶上的应用越来越广泛,本文所涉及船舶上的机舱集中监测报警系统以及电站监控系统等都采用了 CAN 总线,因此采用 CAN 总线有助于系统扩展和降低维护成本。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 电压电流采集电路设计

本系统中对于电压、电流信号的采集,都采用霍尔元件。由于变频器输出的电压、电流波形含有较大的谐波成分,不适合使用互感器变换,而霍尔元件利用霍尔效应闭环原理,可测量的量程大,带宽通常可达 100kHz,并可以测量直流、交流、脉冲和各种不规则波形的电压、电流。因此,霍尔电压、电流传感器成为各种发电机、变频电机测量电力参数的首选。为了使传感器的输出与 DSP 的 AD 输入接口电压匹配,中间还采用了信号调理电路。

### 2.2 转速采集电路设计

用于电机位置和转速检测的传感器主要有旋转变压器、光电编码器和磁性编码器。其中磁性编码器是近年来发展起来的一种新型电磁敏感元件,与光电编码器原理类似,但磁性编码器可靠性高,不易受尘埃、湿气影响,响应速度快而且成本更低,在未来的电机控制系统中将被广泛使用。磁性编码器由磁性转子、磁性传感器和信号处理电路组成,信号处理电路最后输出的是数字脉冲信号,可以直接与 DSP 的 QEP 接口相接。磁性编码器接口电路与输出信号波形图如图 2 所示。

### 2.3 CAN 总线通信模块

CAN 总线通信包括上位机的 CAN 通信模块和主控制器的 CAN 通信模块。上位机使用 USB 转 CAN 接

口接入CAN网络。TMS320F28335控制器本身具有两个增强型CAN总线控制器eCAN2.0B接口模块,因此只需要在外部接上满足性能要求的总线驱动器即可。本文选用了TI公司的SN65HVD230。该总线驱动器工作在3.3V,抗干扰性能好,可靠性高,信号传输速率最高可达1Mb/s。完整的CAN通信网络如图3所示。

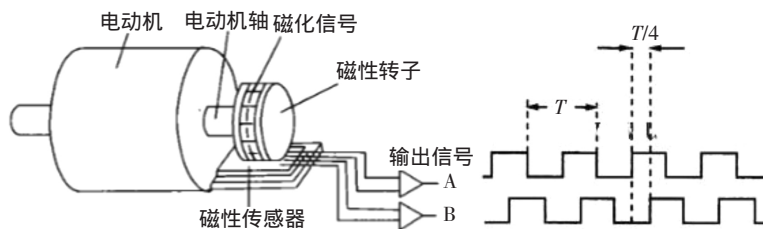


图2 磁性编码器接口电路与输出信号波形图

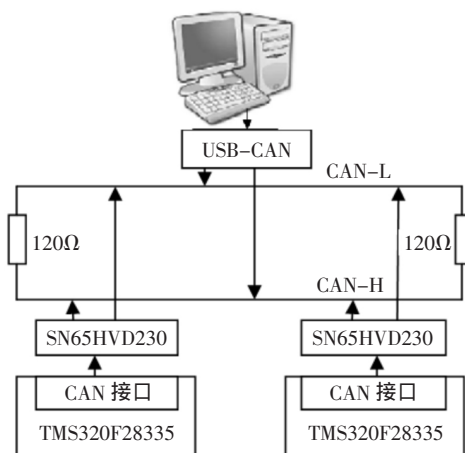


图3 CAN总线通信网络框图

### 3 系统软件设计

#### 3.1 主控制器软件的设计

主控制器软件设计基于TI官方的CCS5.5集成开发环境,为了简化软件设计,本文利用TI官方移植好的嵌入式实时操作系统 $\mu$ COS-II作为软件模块的开发基础。使用该操作系统后,各个软件模块的设计变为操作系统任务的设计,这样FFT算法、短时傅立叶变换等可以作为优先级较高的任务运行,而人机接口模块可以作为优先级较低的任务运行,以保证算法实现的实时性。主控制软件模块包括硬件初始化、操作系统初始化、数据采集任务、滤波任务、参数计算任务、FFT任务、按键任务、显示任务和CAN通信任务等,各任务之间通过消息队列来进行通信。

正常工作时,数据采集任务触发运行,以一定的周期启动ADC采集电压、电流、转速数据,当获取一个基本周期的数据后,分别向滤波任务和CAN通信任务发送信号。CAN通信任务将数据组包,向上位机发送,为了减少CAN通信数据量,这里只发送电压、电流和转速数据。滤波任务完成滤波处理后,向FFT任务和参数计算任务发送信号,启动FFT任务和参数计算任务。FFT任务通过计算得到各次谐波,由于20次以上的谐波幅度很小,因此只计算20次以下的谐波,这样可大大减少计算量。参数计算任务根据电学定律,计算有功功率、无功功率、功率因数。显示任务根据用户的选择可在液晶屏上显示三个界面:实时的电压与电流波形图、频谱图和主要参数显示图。

#### 3.2 上位机软件的设计

上位机软件用C#语言编写,以Microsoft Visual Studio 2015为开发环境。上位机软件的作用是将采集到的推进机电压、电流、转速、转矩信号进行数字滤波处理、特征参数计算、计算结果的显示、计算结果在数据库的存放等。上位机功能的实现均严格遵循模块化编程的设计原则,各个模块分工明确、相互独立,统一受主程序的调用。主要模块包括CAN总线通信模块、数据库读写模块、GUI模块、数字信号处理模块、故障诊断与分析模块。部分功能和主控制器是类似的,从CAN通信接口获取周期性的电压、电流数据后,

通过参数计算和 FFT 处理,也可获得相应的其它参数并在屏幕上获得更加形象生动的显示。

#### 4 测试和仿真

本监测系统大部分功能由软件实现,硬件只要保证传感器测量的精度和信号调理电路的高信噪比就可以,因此测试的重点在于各软件模块的功能是否满足要求。这里以电流信号的数字滤波和频谱分析为例,给出测试的方法和仿真的结果。在 CCS 中建立仿真工程,利用 C 语言生成电流信号的输入数据,该电流信号包括了 6 次、8 次、12 次谐波,并加入了高斯白噪声信号,将生成的数据复制为数据文件,作为滤波程序和频谱分析程序的输入,使用实时仿真模式,通过 JTAG 接口将数据实时传输给 DSP 进行处理。仿真的结果如图 4 所示。通过结果可知,滤波和频谱分析程序实现了所需的功能。

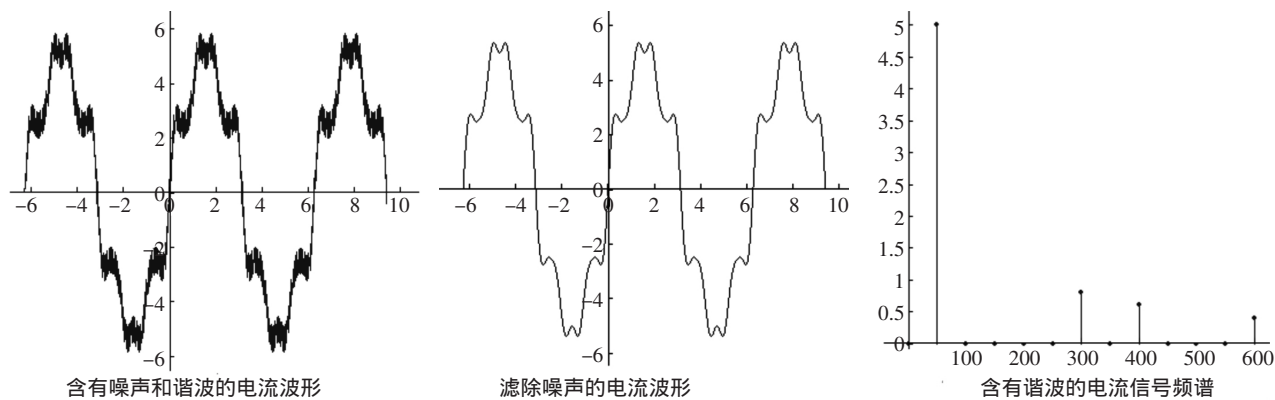


图 4 滤波和频谱分析波形

#### 5 结束语

本文介绍了基于 DSP 的船舶推进电机监测系统的结构和软硬件设计方法,经测试,该系统具有较好的可靠性和实用性。基于 CAN 总线的网络结构,可进一步构成双 CAN 冗余网络,提高通信的可靠性。系统的大部分功能由软件实现,具有很好的灵活性,部分功能通过软件升级进一步改进,如短时傅立叶变换算法可改用离散小波分析算法,使得对电机状态变化特征的获取更加有效。

#### 参考文献:

- [1]李性珂.六相同步电机控制系统在船舶电力推进中的应用[J].舰船科学技术,2017(8):34-36.
- [2]余一彪.DSP 技术与应用基础[M].北京:北京大学出版社,2009.
- [3]高勇.基于 DSP 的船舶电力推进系统的数据通信模块的设计与实现[D].大连:大连海事大学,2010.

## Design of Ship Propulsion Motor Monitoring System Based on DSP

WANG Ai-jun, WANG Xiao-hai

(Dept. of Marine Engineering, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

**Abstract:** This article expounds the design plan of a ship propulsion motor monitoring system based on DSP as well as its system hardware module and software, which is expected to serve as a reference for the research and development of ship propulsion motor monitoring system.

**Key words:** Ship electric power propulsion; Online monitor; DSP; CAN bus