

基于 DSP 的磨机物料监测系统设计*

代少升, 李金鑫

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘要: 为了解决球磨机在运行过程中的工作负荷监测问题, 设计了一款基于数字信号处理器(DSP)的磨机物料监测系统。系统硬件主要由电源电路、磨音采集电路、信号处理电路和液晶(LCD)数据显示电路组成。系统通过拾音器采集磨音信号, 利用离散傅里叶变换(DFT)将磨音时域信号变换到频域, 根据 Parseval 定理计算磨音能量, 最后通过多项式拟合的方式得出磨音能量与磨机物料的关系。系统在 DSP 中进行磨音信号的实时处理, 将处理的频谱、声音强度(分贝值)和物料比实时显示在 LCD 触摸屏上, 以便监控人员优化生产工艺。实验结果表明, 系统可有效地监测磨机工况, 计算磨机的负荷比, 在实际的球磨机作业中得到了应用。

关键词: 球磨机; 磨音; 物料监测; 数字信号处理器(DSP)

中图分类号: TN705; TP274

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191290

中文引用格式: 代少升, 李金鑫. 基于 DSP 的磨机物料监测系统设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(9): 98-101.

英文引用格式: Dai Shaosheng, Li Jinxin. Design of mill material monitoring system based on DSP[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(9): 98-101.

Design of mill material monitoring system based on DSP

Dai Shaosheng, Li Jinxin

(College of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In order to solve the problem that monitoring the working load of the ball mill during its operation, a monitoring system of the mill material based on digital signal processor(DSP) is designed. The hardware of the system is mainly composed of four kinds of circuit, i.e., the power circuit, the grinding sound acquisition circuit, the signal processing circuit and the Liquid Crystal Display(LCD) data display circuit. The system collects the grinding sound signal through the pickups, transforms grinding signal in time domain to frequency domain by discrete Fourier transform(DFT), calculates grinding energy according to Parseval's theorem. Finally, the system gets the relationship between energy and material by polynomial fitting. The system processes the grinding sound signal in real time by DSP. Meanwhile, for the monitor personnel can optimize the production process, the processed spectrum, sound intensity(decibel value) and material ratio are displayed on the LCD touch screen. The experimental results show that the system can effectively monitor the working condition of the mill and calculate the load ratio of the mill, and it has been applied in the actual operation of the ball mill.

Key words: ball mill; grinding; material monitoring; digital signal processor(DSP)

0 引言

磨机是水泥生产中的物料粉磨设备, 在其运行过程中有“空磨”、“饱磨”、“正常磨”3 种状态。当球磨机处于“空磨”、“饱磨”状态时, 会降低球磨机的工作效率, 增加磨机功耗。因此, 使球磨机工作处于“正常磨”的工况, 能够有效提高球磨机的工作效率。目前, 球磨机物料的监测方法有: 基于数学模型的磨机负荷软测量、磨音法、振动法、功率法、超声波检测法、神经网络法等^[1-2]。在磨机长期的工作中表明: 当磨机物料较低时, 球磨机

发出的声音(简称磨音)主要来自钢球以及研磨介质与衬板之间的摩擦和碰撞, 磨音频率较高, 且听起来清脆; 当磨机物料增加时, 钢球以及研磨介质与衬板之间被物料所填充, 磨音频率降低, 磨音从清脆变得沉闷^[3]。因此, 通过对磨音的监测, 可以有效确定磨机物料, 而且磨音法是目前磨机物料监测最有效方法之一^[4]。因此, 本文基于上述特性, 根据磨音法设计出一款基于 DSP 的磨机物料监测系统, 该系统使用拾音器采集音频信号, 通过 DSP 对磨音数据的实时处理, 将处理的磨音频谱, 声强值和物料比实时显示在 LCD 触摸屏上, 以便监控人员参考。系统还具有频段可调、增益可调、阈值去噪等特点。

* 基金项目: 国家自然科学基金(61671094)

1 总体方案设计

基于 DSP 的磨机物料监测系统,以不同物料的球磨机发出的磨音信号不同为基础,通过分析拾音器采集回的磨机音频数据,间接对磨机负荷进行监测,系统监测模型如图 1 所示。系统采用高性能、低功耗的音频采集芯片和 DSP 数字信号处理器,实现对磨音信号采集、分析、处理;利用 LCD 串口触摸屏与 DSP 的双向通信,实现对磨音信号计算结果的实时显示及参数配置。

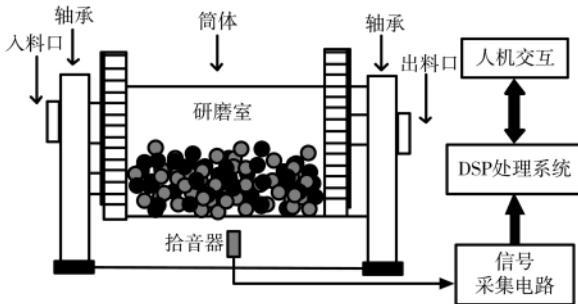


图 1 系统监测模型

2 硬件设计

系统通过磨音信号的变化来监测球磨机的物料,通过需求分析,得出系统主要由电源电路、磨音采集电路、信号处理电路和 LCD 数据显示电路组成。电源电路主要负责整个系统的电源供电;信号采集电路是通过拾音器采集磨音信号,磨音音频信号经过音频采集芯片 TLV320AIC23B (以下简称 AIC23B) 进行音频编解码;信号处理电路是 DSP 对采集的磨音信号进行数据分析及处理;数据显示电路通过 LCD 触摸屏显示当前磨音能量、磨机物料以及磨音的频谱;还可通过屏幕的参数设置界面,调整磨音频谱、增益及空磨和饱和阈值,以便能更加准确地检测磨音以及监控磨机物料。系统硬件框图如图 2 所示。

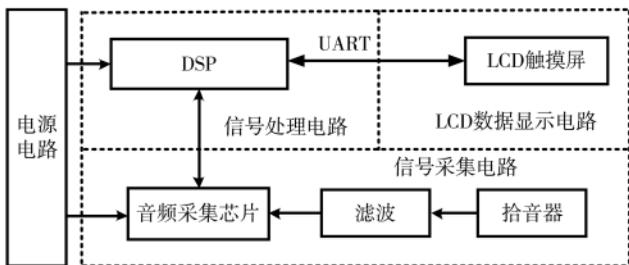


图 2 系统硬件框图

2.1 电源电路

在硬件电路设计中,电路总电源为 5 V。DSP 供电为 3.3 V 和 1.8 V,音频采集芯片和串口芯片供电为 3.3 V,因此需要电压转换。系统采用的 AMS1117 芯片为正向低压差转换芯片,其固定输出版本电压可为 1.5 V、1.8 V、2.5 V、2.85 V、3.0 V、3.3 V、5.0 V^[5]。本设计采用 3.3 V 输出和 1.8 V 输出,即 ASM1117-3.3 芯片和 ASM1117-1.8

芯片。电路中 C_1 、 C_2 、 C_4 、 C_5 为输入电容,作用是防止电路断电后电压倒置; C_3 、 C_6 为滤波电容,以保证电压稳定输出^[6],电源电路如图 3 所示。

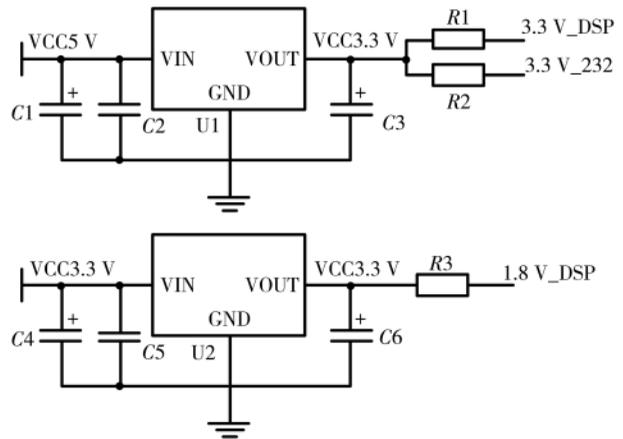


图 3 电源电路

2.2 磨音信号采集电路

系统在音频信号采集时主要考虑灵敏性和稳定性。系统采用的 AIC23B 是一款高性能的立体音频信号编解码芯片,采样频率范围可达 8 kHz~96 kHz,分别有 16 bit、20 bit、24 bit、32 bit 量化精度。AIC23B 与 DSP 的通信接口有控制口和数据口,分别使用集成电路总线 (Inter-Integrated Circuit, IIC) 和多通道缓冲串口 (Multichannel Buffered Serial Port, McBSP) 连接,控制口用于 DSP 配置 AIC23B 正常工作的参数,数据口用于 DSP 读取 AIC23B 的 A/D 采样数据^[7]。

由于磨音信号的频率基本在 4 000 Hz 以下^[8-9],因此 DSP 通过 IIC 配置 AIC23B 采样频率为 8 kHz,采样量化精度为 16 bit。AIC23B 采用 3.3 V 供电。拾音器采集到磨音信号后:首先,进行 RC 低通滤波,避免高频信号干扰;然后,利用 AIC23B 的 LLINEIN 和 RLINRIN 引脚对磨音信号的左右声道线性采集;采集后的数据通过 McBSP 读取到 DSP 中。BCLK 为时钟信号,当 McBSP 为从模式时,其接收时钟和帧同步时钟由 AIC23B 产生;McBSP 为主模式时,其接收时钟和帧同步时钟由 DSP 产生^[10]。DIN/DOUT 是串口数据输入/输出接口,连接 McBSP 的发送接收引脚,串行数据高位在前,低位在后。LRCIN/LRCOUT 为数据口输入/输出帧信号,AIC23B 为主模式时,AIC23B 提供帧信号;AIC23B 为从模式时,帧信号提供给 AIC23B。磨音采集电路可完成对磨音信号的有效采集,其电路如图 4 所示。

2.3 LCD 触摸显示电路

系统在 LCD 触摸显示方面采用 7 英寸的串口 LCD 触摸屏,DSP 与屏幕通过串口通信,因此采用专为标准串口设计的单电源电平转换芯片 MAX232;电源供电为 3.3 V,串口屏供电为 5 V。TXD、RXD 和 DSP 通过串口通信,接收 DSP 的串口数据;通过 MAX232 的引脚 T2OUT

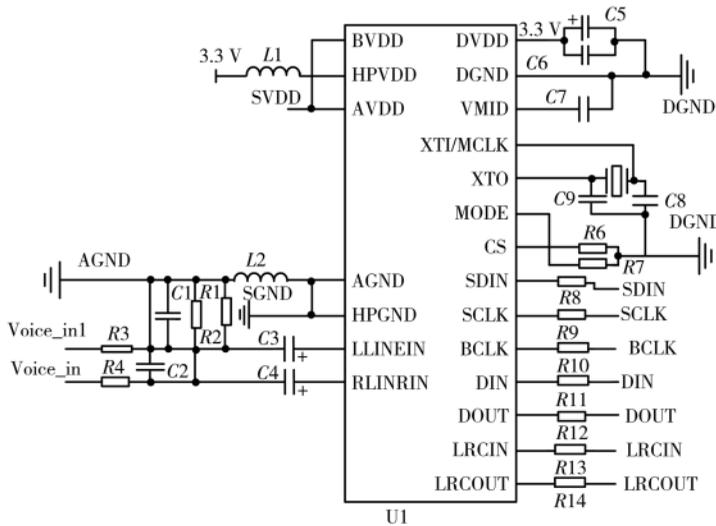


图4 磨音信号采集电路

和 R2IN 分别与串口屏的 DOUT 和 DIN 相连接,工作时为串口屏提供数据,电路如图 5 所示。在屏幕上可清晰直观地显示磨音能量、磨机物料比、磨音频谱。此外,还可以通过设置增益、频带宽度、中心频率、空磨上限以及饱磨下限等方式增加磨音的测量精度。

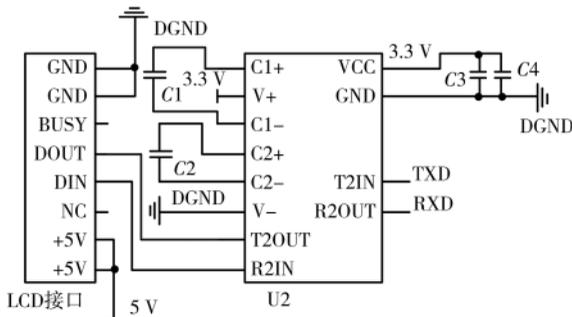


图5 触摸屏 LCD 显示电路

3 软件设计

3.1 系统测量原理

磨机的物料与磨音的频谱分布有密切关系,由于采集的磨音信号为离散信号,因此,首先对磨音信号进行时频变换,变换采用离散傅里叶变换:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \quad (k=0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (1)$$

式中, $x(n)$ 为采样数据, $X(k)$ 为离散傅里叶变换后的数据, N 为采样点数。

根据 Parseval 定理,可计算磨音信号的能量,计算能量公式如下:

$$E = M \sum_{k=0}^{N-1} |X(k)|^2 \quad (2)$$

式中, N 为采样长度, E 为信号能量, M 为与 k 无关的系数^[11]。

根据不同料位磨机的磨音信号的声强值变化明显,通过磨音能量可计算磨音声强,声强计算公式如下:

$$I = 10 \lg E \quad (3)$$

式中, I 表示声强,单位为 dB; E 为磨音信号能量。

最后,利用多项式曲线拟合的方法,得到声强与磨机物料的关系:

$$L = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1} \quad (4)$$

式中, L 表示磨机负荷, x 代表当前的声强值, n 表示数据个数, p 为多项式系数。

3.2 软件开发流程

系统按照需求主要完成功能:磨音信号采集、磨音数据分析与处理、磨机物料监测、设置参数的存储等。程序流程如图 6 所示。

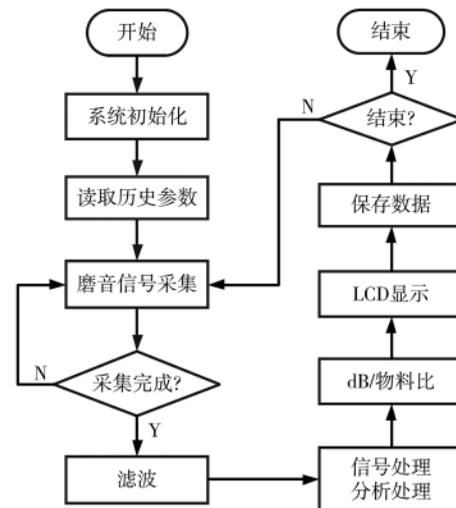


图6 系统软件流程图

系统工作时,首先接通电源并读取串口触摸屏的历史设置参数到 DSP,完成系统初始化配置;初始化完成后,DSP 通过 IIC 向 AIC23B 发送磨音信号采集命令,拾音器开始对磨音信号开始采集;采集完成后,通过 RC 滤波对信号进行滤波处理;接着 DSP 通过 McBSP 将滤波后将数据读取到内存中,通过对信号处理分析,得到当前磨机的物料状态;最后将数据传输到 LCD 屏幕上并显示。通过 LCD 触摸屏可调整磨音采集的音频频段、增益、空磨上限和饱磨下限等。LCD 触摸屏自带的 Flash 可保存设置的历史参数,供 DSP 重新上电后读取。

4 实验及结果分析

为验证系统的功能,对某水泥厂的一台转速为 48 r/min,装球量为 65 t 的干式球磨机进行现场试验。首先将拾音器置于磨机中部,距离磨机约 20 mm 的位置,使拾音器采集到最佳的磨音信号。系统工作时初始参数设置如下:增益设置 70 dB,频带宽度 4 000 Hz,中心频率 2 000 Hz,设置参数如图 7 所示。初始化完成后,即可采集磨音数据,对球磨机物料进行监测,监测结果实时显示,如图 8 所示。图 8 为球磨机工作时某一时刻的监测值,此时磨音强度约为 110 dB,物料比为 40%,系统显示的分贝值和物料比与现场工人经验值较吻合。

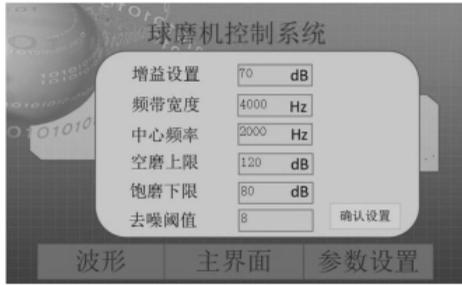


图7 系统初始参数设置图

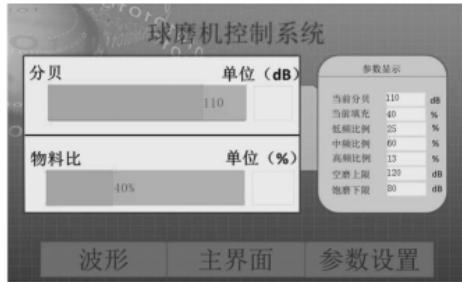
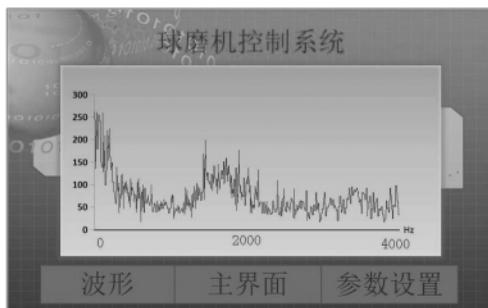
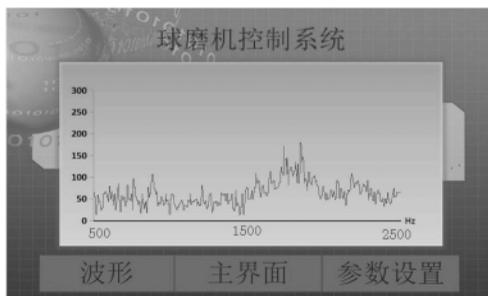


图8 磨机状态显示图

图9为磨机工作时的频谱显示,图9(a)中磨音频率范围为0~4 000 Hz,从图中可以看出:在0~500 Hz和1 500~2 000 Hz频段内,磨音能量较高。通过研究,0~500 Hz频段内主要为低频噪声,噪声来源现场风机电机等机械设备;1 600~2 000 Hz为球磨机正常工作时的频段。此时,通过参数设置界面,设置频段宽度为2 000 Hz,中心频率为1 500 Hz,即采集500~2 500 Hz频段内的磨音信号,采集结果如图9(b)所示。由图9(b)可以看出,磨



(a)未调整参数的磨音频谱图



(b)参数调整的磨音频谱图

图9 磨音频谱图

音信号的低频信号和信号均被滤出,1 500~2 000 Hz频段的能量占频谱能量的主要部分,即磨机正常工作时的频段。通过上述实验可以得出系统对球磨机物料监测的设计要求,并在实践中具有一定的生产指导意义。

5 结论

本文对基于DSP的磨机物料监测系统的硬件和软件做了详细描述,通过采集、分析、处理磨音信号的方式,实现了对球磨机工况的实时监测。系统在数据采集方面采用AIC23B可有效提高磨音的采样精度;在数据处理方面采用的DSP可有效提高磨音的处理速度与能力;在数据显示方面,LCD触摸显示屏可以直接显示监测结果,也可通过屏幕参数设置的方式提高磨机监测精度。此外,系统还具有良好的稳定性及实时性,可对磨机物料进行有效监测。

参考文献

- [1] 沙亚红,常太华,常建平.球磨机负荷检测方法综述[J].现代电力,2006,23(4):66-69.
- [2] EREMENKO Y I, POLESHCHENKO D A, et al. About ball mill fill level monitoring system development and research on its efficiency[C]. Proceedings of International Siberian Conference on Control and Communications. OMSK, Russia: IEEE Press, 2015: 1-4.
- [3] 李刚,王建民.磨机负荷的磨音多频带检测研究与开发[J].仪器仪表与分析监测,2008(2):6-7,16.
- [4] Gao Mingmei, FORSSBERG E. A study on effect of parameters in stirred ball milling[J]. International Journal of Mineral Processing, 2015, 37(1-2): 45-59.
- [5] 郑晓庆,杨日杰,杨立永,等.多路输出DC-DC电路设计[J].国外电子测量技术,2012,31(9):31-33.
- [6] 宋竹霞,安涛.多路输出DC稳压电源的设计研究[J].国外电子测量技术,2008,27(1):35-38.
- [7] 胡涛,陈超.TLV320AIC23B与TMS320DM642的接口技术[J].仪表技术与传感器,2006(12):36-37.
- [8] 姜德轩,申涛,王孝红.基于小波分析的磨音信号处理[J].济南大学学报(自然科学版),2011,25(3):305-309.
- [9] 张莲,陈丽.磨音信号检测与处理方法研究[J].基础自动化,2002,9(2):27-29.
- [10] 张富康,张毅,林莉兰.基于DSP的数字调频激励器前端音频数据采集设计[J].电子技术应用,2009,35(10):158-160.
- [11] 杨志刚,张杰,李艳姣.磨音影响因素分析与磨机负荷检测方法综述[J].金属矿山,2015,44(2):139-144.

(收稿日期:2019-11-27)

作者简介:

代少升(1974-),男,博士,教授,主要研究方向:图像处理、音视频编解码、红外成像系统及SOPC嵌入式系统软硬件设计等。

李金鑫(1993-),通信作者,男,硕士研究生,主要研究方向:音频信号处理、嵌入式系统,E-mail:164712239@qq.com。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所