

一种通用变频器的设计及起动机性能分析

余建刚^{1,2},朱方明³

(1. 上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072; 2. 中国人民解放军 61486 部队, 上海 200072;

3. 总参通信部驻宝鸡地区军事代表室, 陕西 宝鸡 721006)

摘要: 文中设计了一种基于 DSP 和 CPLD 的适用于 0.4 kV/15 kW 异步电机的通用变频器, 详细介绍了硬件的结构设计以及软件的编程思路, 并利用 MATLAB 对通用变频器的起动机性能进行了分析及仿真, 得出了通过采取补偿电压可大大改善通用变频器的起动机性能的结论。经实验证明本通用变频器工作稳定, 实现了对电机的智能控制, 具有较好的调速性能。

关键词: 变频器; DSP; 电压变频控制; 起动机性能

中图分类号: TM301, TM921

文献标识码: A

The Design and Starting Performance Analysis of General Frequency Converter

YU Jian-gang^{1,2}, ZHU Fan-ming³

(1. Communication & Information Engineering College of Shanghai University, Shanghai, 200072; 2. The 61486 Unit of PLA, Shanghai, 200072; 3. Baoji Deputy of Communication, PLA General Staff Headquarters, Baoji, 721006)

Abstract: A type of general frequency converter which is suitable for 0.4 kV/15 kW asynchronous motor is designed based on DSP and CPLD. The structure of hardware and programming idea of software are introduced in detail. Starting Performance of this general frequency converter is analyzed and simulated. It is proven that using compensation voltage can greatly improve the starting performance. Experiment result shows that the general frequency converter can work stably, control the motor intelligently and has good performance of speed regulation.

Key words: frequency converter; DSP; V/F control; drive characteristic

0 引言

随着电力电子元件、计算机技术和自动控制技术的迅速发展, 电气传动技术也在发生迅速变化, 交流调速取代直流调速、计算机数字控制技术取代模拟控制技术已成为大势所趋。交流电机变频调速技术是当今节能、改善工艺流程、提高产品质量、推动技术进步的一种主要手段。变频调速以其优异的调速和起制性能、高效率、高功率因数、广泛的适用范围等优点而被国内外公认为最有发展前途的调速方式。本文将设计一种基于 DSP 和 CPLD 的通用变频器, 并对其起动机性能进行分析和仿真。

1 变频器硬件设计

1.1 变频器技术指标参数

变频器技术参数如表 1 所示。

1.2 主电路的硬件结构设计

通用变频器硬件部分主要由三部分组成: 主电路、控制电路、手控盘。整体结构图如图 1 所示。

表 1 变频器技术参数

项目	指标	内容
输入电源	额定电压	三相 380 V ± 15 %
	额定频率	50/60 Hz
输出	控制方式	优化空间电压矢量 PWM 控制
	额定电压	三相 380 V ± 10 %
	频率范围	1~200 Hz
	频率分辨率	0.1 Hz
运行	转矩提升	转矩提升(V/F 和 V ² /F)曲线可设定; 内置 4 条转矩提升曲线, 转矩性能 5 Hz 达到 50% 额定转矩
	启动频率	1 Hz~10 Hz
操作功能	加减速时间	可设定, 有二组加减速时间
	点动运行	点动频率在“下限频率”和“上限频率”内可调
	自由段运行	键盘控制方式下按设定参数运行
	正反转	键盘或无源端子控制
保护功能	频率设定	电位器或外部信号(0~5 V/0~10 V, 0~20 mA)键盘、外部控制逻辑
	起/停控制	无源触点或键盘控制
显示	频率变化率	可设定, 一定频率变化量下所需要的时间
	输入缺相、欠压、过电流、过载、电流失速、过热	
适配电机	0.4 kV/15 kW 异步电机	
故障显示	故障报警, LED 闪烁	

收稿日期: 2008-09-03

作者简介: 余建刚(1975-), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要从事通信电源的研究工作。

朱方明(1974-), 男, 四川资中县人, 工程师, 硕士, 主要从事通信电源和短波通信的研究工作。

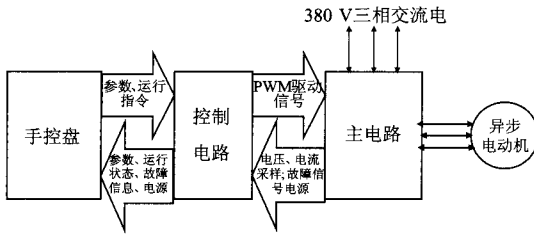


图1 变频器整体结构

采样信号的处理;与手控盘进行通讯,接收手控盘的设置参数和控制命令,同时将变频器的运行状态参数实时传递给手控盘进行显示等。

控制电路的核心是一片 DSP,它与可编程逻辑器件 CPLD 配合完成对主电路的控制、故障信号的处理、端子输入信号的处理、与手控盘的通信等变频器的主要逻辑控制功能。AD 转换芯片负责将主电路送来的电流以及外部端子输入的模拟信号转换成数字信号传送给 DSP。EEPROM 存储变频器的初始参数以及当前运行参数,并和 DSP 交换数据。控制电路的硬件结构图如图 4 所示。

1.2.1 主电路主要功能及硬件设计

主电路的主要功能是将输入的三相交流电整流为直流,接收控制板的 PWM 控制信号,驱动 IGBT 的导通和关断,向电机输出频率变化的三相 PWM 电压;实现电流、电压、温度等运行参数的采样,并传送给控制电路;为控制电路提供电源等。主电路拓扑结构如图 2 所示。

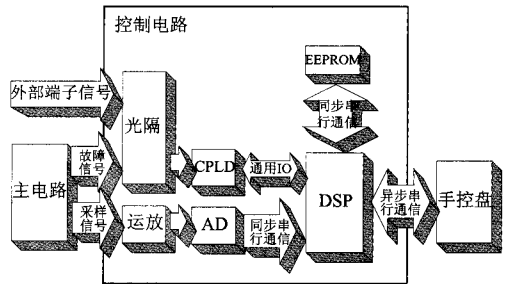


图4 控制电路硬件结构图

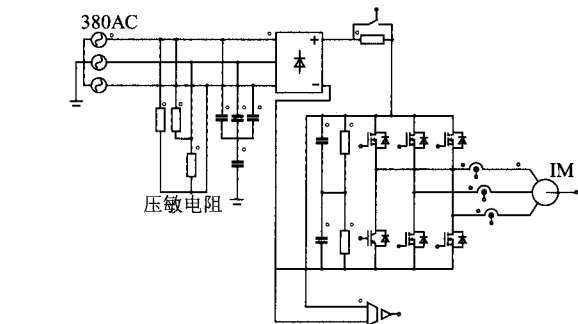


图2 15 kW 变频器主电路拓扑结构

在控制电路中, DSP 选用 TI 出品的 TMS320LF2407APGA,该芯片采用了高性能的静态 CMOS 制造技术,具有低功耗和高速度的优点。工作电压为 3.3 V,有四种低功耗工作方式。单指令周期最短为 25 ns(40 MHz),最高运算速度可达 40 MIPS,四级指令执行流水线,非常适用于电动机的实时控制; CPLD 选用为 Altera100TQFP 出品的 Max3128 A,电源电压 3.3 V; AD 转换芯片选用 MAXIM 出品的 MAX1270,电源电压 5 V,而通讯接口电路选用 AD 出品的 Max490ESA,电源电压 3.3 V。

1.2.3 手控盘主要功能及硬件设计

手控盘的主要功能是运行参数、保护参数、电机参数、变频器参数、运行段设定参数、PID 参数等六组参数的选择与设定,提供原始设定、上次运行和手动设定三种方式;系统运行方式设定,给出给定信号和启动、停止、方向等控制指令来控制传动;系统运行状态的实时显示;实时故障信息报警;运行中设定改变目标频率,包括目标模式和点动模式;与控制电路的通讯。

在手控盘中主要实现键盘扫描、液晶读写和串行通信三部分功能。在硬件设计中,采用如下方案:采用总线模式,将键盘和液晶均视为外部存储器,通过地址分类产生不同的片选信号,从而实现总线的分时复用。这种设计方法硬件电路设计较复杂,但程序编写简单,一条读、写操作只需要 1 条命令就能完成。

图 5 是手控盘的硬件结构,其中 GAL 产生片选信号,实现键盘和液晶的分时占用总线,锁存器负责向 GAL 提供地址信息,两个总线驱动在片选信号的指示下分别进行键盘扫描和液晶读写。

器件通过理论计算以及参考 ABB 15 kW 变频器器件参数,选取主要器件参数如下:

IGBT 选用 MITSUBISHI 的 IPM 模块 PM100CVA120,25℃时电流 100 A,驱动需 4 路 15 V 隔离电源配合驱动模块,开关频率最大 20 kHz;三相不控整流桥的整流二极管参数为 1 600 V,30 A,整流桥输出电流 100 A,型号选 SEMIKRON;SKD 100/16 (1 600 V,100 A);传感器中,电压采样采用压频转换方法,由 AD654 压频转换芯片实现此功能,测量变频器输出电流采用 LEM 公司的 LAH100-P,100 A(有效值)电流传感器,整流模块中集成温度传感器一个,用于过热保护。主电路的电气连接图如图 3 所示。

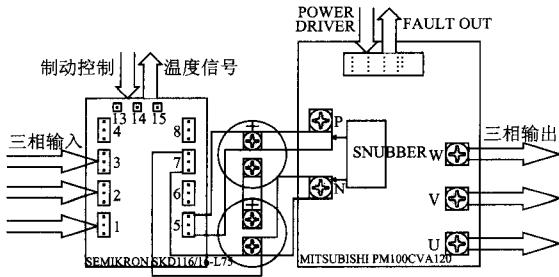


图3 主电路电气连接图

1.2.2 控制电路主要功能及硬件设计

变频器控制电路的主要功能是控制逻辑,根据用户设定的参数控制变频器的运行;PWM 算法的实现,在 DSP 中实现两电平空间矢量 PWM,并将六路 PWM 信号传送给主电路;对主电路的控制;对主电路

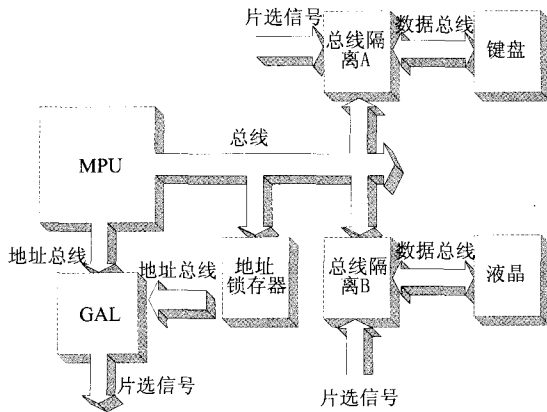


图5 手控盘硬件结构图

单片机选用51系列的P89C58RD2BA,控制盘中所有的控制功能均由单片机完成,此单片机为8位单片机,内有32K×8bit片内flash,4路8位IO。液晶模块选用精电蓬远的COG-VP12864,具有4×128点阵,若汉字为16×16点阵,英文为16×8点阵,则可以同时显示4行,每行8个汉字或16个英文字符;单电源供电,内部可以自己产生负电源,简化了电源系统;同时支持并行通讯和串行通讯。通讯协议采用全双工差动的RS422,通讯接口选用支持这一协议的MAX490。手控盘的外观图如图6所示。

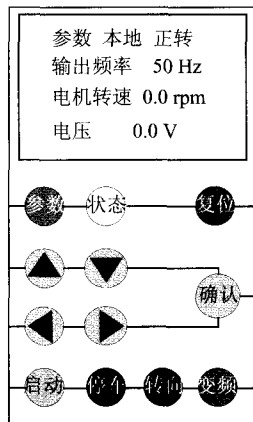


图6 手控盘外观图

2 软件设计

2.1 DSP 软件设计

DSP与单片机采用异步串行通信,DSP使用自带的SCI模块。DSP的SCI模块支持CPU与其他使用标准格式的异步外设之间的通信。SCI接收器和发送器是双缓冲的,每一个都有它自己单独的使能和中断标志位。两者都可以独立工作,或者在全双工的方式下同时工作。为了确保数据的完整性,SCI对接收到的数据进行间断检测、奇偶性校验、超时和帧出错的检查。

DSP的发送和接收数据都使用SCI接收中断。向单片机发送数据时,收到单片机回发的奇校验通过信息“0xE0”或奇校验错误信息“0x55”时进入中断,中断调用SCI发送程序,发送程序根据收到的回发信息

发送下一帧数据或重新发送上一帧数据。DSP接收单片机发来的数据时,接受到一帧数据就进入中断,中断调用SCI接收程序,在接收程序中,根据奇校验结果向单片机回发奇校验信息。DSP的发送、接收程序流程如图7所示。

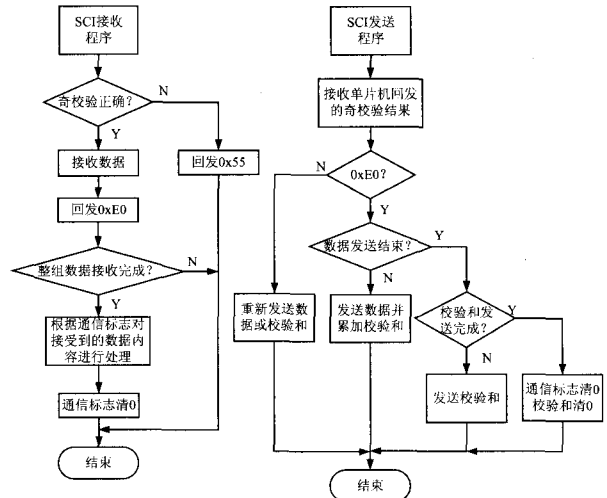


图7 SCI发送、接收程序流程

2.2 单片机软件设计

单片机方面,单片机开始发送或接收一组数据时,和DSP程序不同,单片机发送和接收数据都使用查询的方式。每进入一次发送或者接收程序,就利用循环完成发送或接收一组数据。

特殊地,由于故障保护和显示的优先级较高,单片机接收DSP发来的故障信息报头0xE5时采用中断方式,接收到报头后,进入接收程序接收故障信息。

单片机的发送、接收程序流程如图8所示。

3 起动特性分析

变频器的控制策略通常采用V/F控制,矢量控制,直接转矩控制等。由于V/F方式控制电路和算法简单,成本低易于实现,因此采用V/f恒定控制,本文将对V/f恒定控制方法进行详细分析。

3.1 理论分析

当电动机电源的频率变化时,电动机内部阻抗也随之改变,从而引起励磁电流的变化,使电动机出现励磁不足或励磁过强的情况。励磁不足则磁通太弱,没有充分利用电机的铁芯,是一种浪费,电动机也难以给出足够的转矩;励磁过强时电动机又将出现磁饱和,造成电动机功率因数和效率的下降。过大的励磁电流也容易使绕组过热而损坏电机。因此,在改变频率进行调速的同时,必须采取必要的措施来保证电动机的气隙磁通处于高效状态(即保持磁通基本不变)。这是V/f控制的出发点。

三相异步电动机每相电动势的有效值为

$$E = 4.44fN_1K_1\Phi_m$$

式中, E 为气隙磁通在定子绕组中的感应电势; f 为定子频率; Φ_m 为每极气隙磁通; N_1 为绕组匝数; K_1 为系数。可见, 只要控制 E 和 f , 即可控制磁通。为了使气隙磁通在整个调速过程中保持不变, 只需在改变电源频率 f 的同时改变感应电动势 E , 使其满足 $E/f = \text{常数}$ 即可。

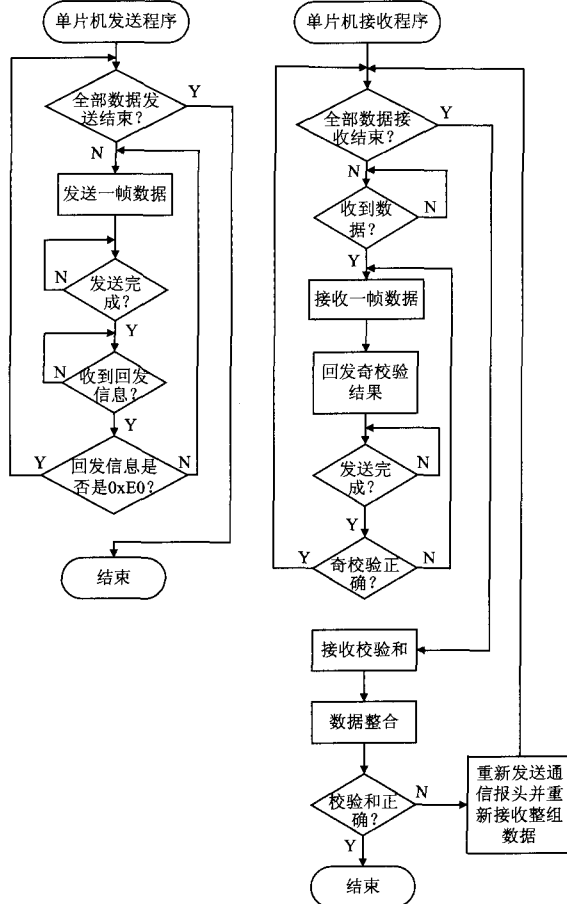


图8 单片机发送、接收程序流程

但是在电动机的实际调速控制过程中, 由于 E 为电动机的感应电动势, 无法直接进行检测和控制。而由异步电动机定子侧一相等效电路可知 $\dot{U} = \dot{E} = \dot{I}_1 (R_1 + jX_1)$ 。因此, 当定子阻抗上的压降与定子电压相比很小时 $U \approx E$ 。所以只要控制电源电压和频率, 使得 $U/f = \text{常数}$, 即可使气隙磁通基本保持不变。

但是, 变频器用这种方式控制电动机时, 在起动阶段, f 很小, 相应的 U 也很小, 定子阻抗上的压降不能忽略, 所以这时 E/f 会大大减小, 磁通减小, 这会使起动阶段转矩很小。为了使起动阶段转矩得到提升, 必须采用电压补偿的方法。

3.2 仿真分析

利用 MATLAB, 对异步电动机空载起动过程进行仿真。

三相鼠笼型异步电动机, 极对数 $N_p = 2$, 额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$ (联结方式见下表), 额定频率 $f_1 = 50 \text{ Hz}$, 其他数据如表 2 所示。

表2 仿真所用电机参数

参数	值
额定功率 P_N/kW	2.2
额定效率 $\eta_N/\%$	83.3
额定功率因数 $\cos\varphi_N$	0.827
定子电阻 R_s/Ω	3.024
转子电阻 R_r/Ω	2.398
定子漏电感 L_{ls}/mH	11.81
转子漏电感 L_{lr}/mH	13.61
互感 L_m/mH	275
转动惯量 $J/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	0.01447

给电机加三相对称正弦电压, 采用 U/f 恒定控制方式, 对不采用电压补偿和采用电压补偿所得仿真结果加以比较, 如图 9 所示。

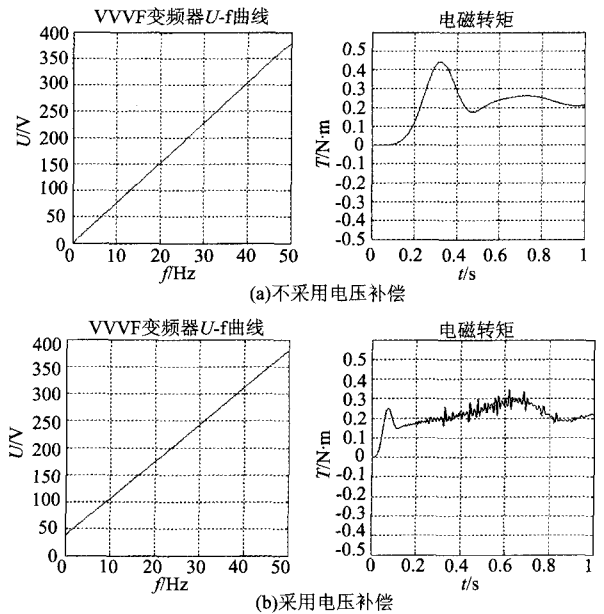


图9 异步电机起动特性仿真图

从上图可见采用电压补偿控制方式可以大大提高刚起动时 ($0 \sim 0.2 \text{ s}$) 的电磁转矩。这与理论分析相符。补偿电压 U_0 的大小对转矩-频率特性有影响, 变频器如何选择合适的补偿电压有待进一步分析。

U/f 恒定控制变频器虽然结构比较简单, 实现成本较低, 但是这种变频器采用的是开环控制方式, 精度和动态性能不是十分理想, 尤其是在低速区电压调整比较困难, 难以得到较大的调速范围, 无法有效控制转矩。

4 结束语

本文设计了一种基于 DSP 和单片机的通用变频器, 并对其起动性能进行了理论分析, 在此基础上通过 MATLAB 对采用补偿电压及其起动性能进行了仿真比较, 证明理论分析与实际情况一致。通过实验证明, 该通用变频器完全满足设计指标要求, 具有工作稳定, 调速性能优良等特点。

(下转第 68 页)

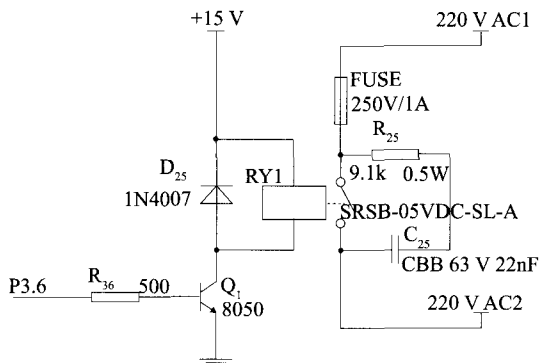


图 11 外围辅助电路

来:交流 220 V 经阻容降压,全波整流,稳压、滤波获得纯净的直流电,为接收电路、单片机和继电器供电;受控用电设备在继电器线圈吸合后直接接入 220 V 交流回路。

2.6 整机功能调试

整体功能调试以电灯作为用电设备,如图 12 所示。

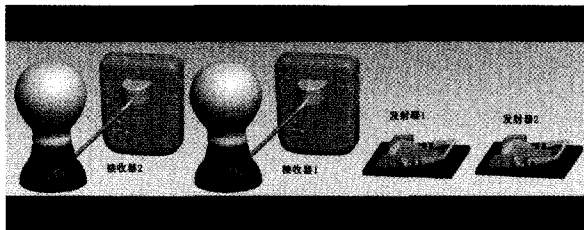


图 12 运用示意图

一对一控制:使用学习功能将接收器 1 与发射器 1 对应之后,每按一次发射器 1,电灯会切换工作状态,即点亮或熄灭。

多对一控制:使用学习功能将接收器 1 与发射器 1 和 2 对应之后,按任何一个发射器都可以使电灯切换工作状态。

一对多控制:使用学习功能将接收器 1 和 2 与发射器 1 对应之后,按发射器 1 便可以使多个电灯切换工作状态;

多对多控制:使用学习功能将接收器 1 和 2 与发射器 1 和 2 全部对应之后,按任何一个发射器都可以

使多个电灯切换工作状态。

使用删除功能可以解除任一接收器与任一发射器之间的对应关系。

射频信号可绕墙而过,由接收电路完成接收任务,因而可起到远距离遥控开关的作用,不受方向限制,室内遥控距离可保证大于 20 m(穿两道水泥墙)。

3 结束语

本文设计的基于压电俘能器的免电池学习型遥控开关可满足人们的生活和工作需要。压电转换方式的力电转换性能好、能耗低、易微型化,因此具有非常广阔的应用前景。免电池的设计具有绿色环保的概念,并且大大提高了遥控器的使用寿命。室内装修免埋管、免布线、不凿壁,有效降低施工成本并提高设计自由度。

参考文献:

- [1] 薛欢,胡元太,胡洪平,高发荣. 弱振动环境中的压电俘能器[J],华中科技大学学报(自然科学版),2008,36(3): 54-57.
- [2] Auld B A. Acoustic fields and waves in solids[M]. New York: Wiley,1973.
- [3] MSP430x12x Mixed Signal Microcontroller datasheet[S]
- [4] 沈建华. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

勘 误

《通信电源技术》杂志 2008 年第 5 期文章“基于电流型脉宽调制器的自适应反激驱动开关”的作者为上海海事大学电气自动化系李亮,刘以建,吴为民,喻多样。该篇论文的基金项目为上海市教委科技项目,编号:2008089,名称:船舶轴带发电机有源逆变技术的研究。特此更正。

《通信电源技术》编辑部
2008 年 10 月 20 日

(上接第 45 页)

参考文献:

- [1] 原魁,刘伟强,变频器基础及应用[M],北京:冶金工业出版社,1997.
- [2] 韩安荣,通用变频器及其应用(第 2 版)[M],北京:机械工业出版社,2003.
- [3] 刘和平、王维俊、江渝、邓力,等, TMS320LF240x DSP C 语言开发应用程序[M],北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [4] 苏凯, MCS-51 系列单片机系统原理与设计[M],北京:冶金工业出版社,2003.
- [5] 韩安太, DSP 控制器原理及其在运动控制系统中的应用

[M],北京:清华大学出版社,2003.

- [6] 贾玉福、孙红星,通用变频器的发展,鞍山钢铁学院学报,1997. 2, 11-14.
- [7] 唐敏,变频器技术的现状与发展[J],机电产品开发与创新,2000. 5, 26-27.
- [8] 黄刚,变频器技术的现状与发展[J],电气时代,2003. 5, 31-34.
- [9] Ni zhen-Wen. Motor rotate speed control technology on the beam-pumping unit, oil field equipment[Z],2001.
- [10] Bejerke. S Digital signal processing solutions for motor control using the TMS320F240 DSP-Controller ESIEE [Z],Paris,1996.