

基于 DSP2808 的轴流风机控制器设计

赵小鹏, 孟凡军, 包艳, 严卫, 赵东东, 尚洁

(中航工业西安飞行自动控制研究所 机电中心, 西安 710065)

摘要: 针对工业用轴流风机, 设计了基于 DSP2808 的智能轴流风机控制器, 给出了 DSP 系统、CPLD 系统、驱动电路、功率电路、故障检测与保护电路、单端反激变换器的设计方案; 分析了风机调节流量的方法, 控制器能够根据温度反馈通过 PWM 斩波实现风机宽范围无级调速, 实现节能; 控制器能够接收外部电位计、温度传感器、485 总线的转速给定, 表决后产生最终的转速给定; 控制器具备电机绕组过热、IGBT 过热、交流侧过欠压、直流侧过欠压、直流侧过流等故障检测与保护功能; 实验结果表明: 控制器能够实现风机匀加速软启动及启动与转速闭环之间的平稳过渡, 有效降低了风机启动、运行过程的噪声, 同时实现了节能。

关键词: 轴流风机; DSP2808; 节能; 调速

Design of Controller for Axial Fan Based on DSP2808

Zhao Xiaopeng, Meng Fanjun, Bao Yan, Yan Wei, Zhao Dongdong, Shang Jie

(Electrical Mechanical Center, AVIC Xi'an Flight Automatic Control Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: According to axial fan used in industry, the intelligentized controller based on DSP2808 is designed. The DSP system, the CPLD system, the drive circuit, the power circuit, the fault detect and protect circuit, the flyback converter are presented. The method of flux regulation for the fan is analyzed. According to the temperature feedback, the controller has wide range of speed regulation by adopting PWM technique for energy saving. The controller is able to receive the speed reference by potentiometer, temperature sensor and 485 bus, the three methods are voted by DSP. The controller also has the function of motor windings over temperature, IGBT over temperature, AC over and under voltage, DC over and under voltage, DC over current detecting and protecting. The experiment results show that the uniform acceleration soft starting, the transition between starting and speed closed loop are achieved, the noise of the fan is reduced effectively and the energy saving is also realized.

Keywords: axial fan; DSP2808; energy saving; speed regulation

0 引言

风机是主要用来抽吸、输送、提高流体能量的一种机械, 用途非常广泛, 几乎涉及国民经济各个领域, 如火电站、冶金行业、石化行业; 此外, 风机还广泛应用于机柜冷却、磁悬浮、高铁等领域。据有关部门统计, 全国风机、水泵电动机装机容量总容量约为 35 000 MW, 耗电量约占全国电力消耗总量的 40%^[1]。作为应用量大、面广的高耗能设备, 风机的节电潜力较大, 其潜力挖掘的焦点是提高风机的运行效率。

风机风量大小与风机的风阻特性及风压特性有关, 就可采用与之相关的两种办法来调节风量^[2]。调节风门开度风压特性不变, 风阻特性随之改变, 传统风机多采用该方法, 该方法将部分能量消耗在挡板上, 效率较低; 调节转速风阻特性不变, 风压特性随之改变, 当需要降低风量时, 该方法相对于调节风门开度能够实现明显的节能效果, 因此设计具有调速功能的风机控制器具有重要意义。

1 系统总体结构设计

系统由轴流风机电机本体、控制器、上位机三大部分组成, 如图 1 所示。其中电机本体采用外转子无刷直流电机, 这样能够获得较好的动平衡, 同时有效减小系统轴向长度, 为防

止电机绕组过热烧坏, 电机绕组内埋热敏电阻; 控制器接收外部温度传感器或者总线指令, 完成闭环算法, 对电机进行 PWM 脉冲控制, 实现调速节能与降低噪声。传统调速风机多采用异步电机及其变频调速控制, 相对而言, 采用无刷直流电机及 PWM 斩波调速能够有效降低系统对电网的谐波干扰、实现简单控制、提高效率。

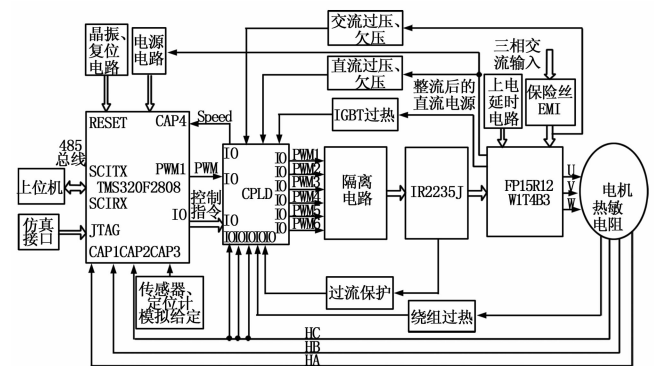


图 1 系统总体结构

2 硬件设计

2.1 DSP 系统

DSP 选用 TI 电机控制专用芯片 TMS320F2808, 外部晶振频率为 20 MHz, 经过内部锁相环 5 倍频, 主频变为 100 MHz, 其最小系统由晶振、双路电源、JTAG 接口及其它外围辅助电

收稿日期: 2014-09-05; 修回日期: 2014-10-10。

基金项目: 西安市技术转移促进工程(2009D61864)。

作者简介: 赵小鹏(1986-), 男, 陕西榆林人, 工程师, 主要从事永磁电机设计及其控制技术方向的研究。

路组成。之所以选择该型号，除了考虑体积与价格外，主要是因为该芯片带有两个 CAN 外设模块，为后续需要使用两个 CAN 口的工业应用场合奠定了一定的基础。目前，由于需求场合遵循的总线标准为 485 总线，因此，设计了 485 总线通讯硬件电路。总线通讯采用数据包的格式进行，具有包头和校验码，当总线上传输的数据受到干扰出现异常时，接收方经过判断后会丢掉该数据包，可以有效避免非真实指令导致误操作。其中，DSP 向上位机传输的数据主要包括各个故障状态标志位、实时转速、母线电流等，上位机向 DSP 传输的指令主要包括转速给定、启动/停止、正/反转等。

除了总线进行数字给定转速外，系统还可以外接工业通用 4~20 mA 电流型温度传感器或者模拟电位计，实现模拟转速给定，二者产生的电压信号经过滤波后送入 DSP 的 AD 输入口。当传感器输入悬空时，DSP 采样到的模拟电压接近零伏，相应的转速给定为零。DSP 得到 3 个转速给定的值后，进行简单的表决从而决定最终转速给定的大小，表决的方法为选取三者中的最大值。

2.2 CPLD 系统

CPLD 选用 Altera 公司 MAX II 系列的 EPM570T100C3，性价比较高，兼有上电即工作和逻辑掉电不丢失的特点^[3]。其原理图如图 2 所示。

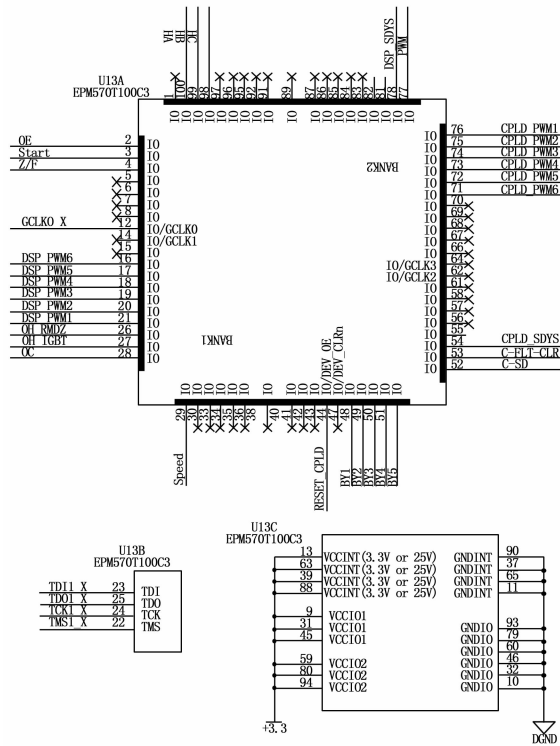


图 2 CPLD 原理图

2.3 驱动电路

CPLD 发出的六路 PWM 脉冲信号经过光耦隔离后进入驱动芯片 IR2235，IR2235 采用自举技术实现单电源对三相全桥的驱动技术，可以驱动的母线电压达 1 200 V，同时具备过流、欠压检测与保护功能，相对于常用于低压驱动的 IR2130 来说，增加了故障清除、脉冲封锁引脚。电路原理图如图 3 所示。

当弱电系统检测到故障信号时，只要将 SD 信号置为高电

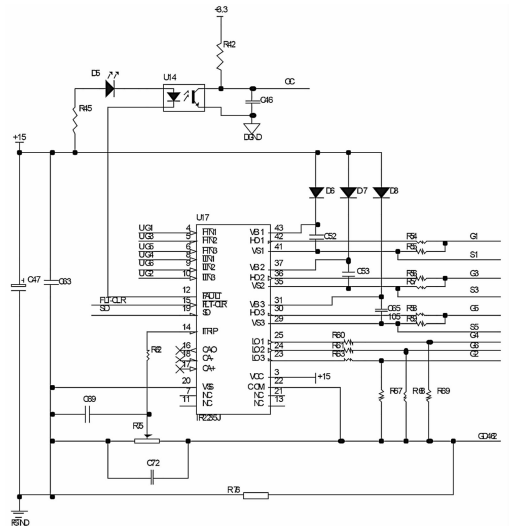


图 3 驱动电路原理图

平，即可通过 IR2235 的内部硬件结构封锁逆变桥的所有驱动信号，实现对系统的保护。

2.4 功率电路

功率逆变桥选择德国英飞凌公司的 FP15RT12W1T4，该模块内部集成三相不可控二极管全桥整流，同时集成三相 IGBT 全桥逆变，母线电压达 1 200 V，集电极正常工作电流为 15 A，其内部结构原理如图 4 所示。

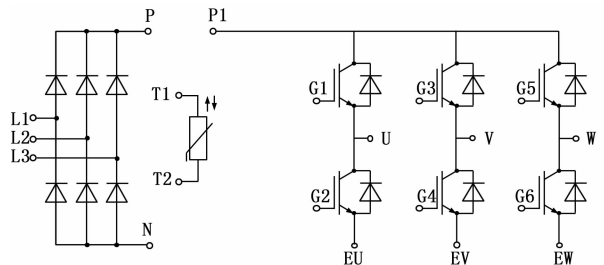


图 4 功率模块内部结构原理图

风机控制器从电网引入三相四线制的动力电源，经过 EMI 滤波后，进入 FP15RT12W1T4 的 L1、L2、L3 引脚，进行全桥整流，得到电机母线直流电压，在接近空载的情况下，该直流电压的平均值为线电压波头值的大小，即倍的相电压的有效值，为 539 V，而实际上相当于带了弱载，因此，该直流电压的平均值为 2.34 倍的相电压的有效值，为 515 V。FP15RT12W1T4 模块的逆变桥母线电压为 1 200 V，留有足够的余量。

为了减小直流母线上的脉动，在 FP15RT12W1T4 的 P 脚和 P1 脚之间串接平波电抗器，同时为了防止直流高压上电瞬间在母线电容两端产生较大的电流冲击，设计了继电器延时电路，CPLD 发出的延时控制信号经过三极管放大后控制继电器的吸合。

2.5 故障检测与保护电路

由于应用场合对系统的可靠性有一定的要求，因此需要设计完善的故障检测与保护电路。系统按照故障的严酷度将故障分为两大类，其中第一类包括：转子位置故障，IGBT 绕组过

热, 电机绕组过热; 第二类包括交流侧过、欠压故障, 直流侧过、欠压故障, 直流侧过流故障。当第一类故障出现时, 封锁脉冲控制信号, 故障消失后, 系统也不允许风机自行启动, 必须由上位机重新触发才能启动; 当第二类故障出现时, 也封锁脉冲控制信号, 但是故障消失后, 系统允许电机自行重新启动。交流侧的过、欠压检测先将三相交流电进行半桥整流, 得到的直流电压经分压、放大后与参考进行比较, 并将过、欠压信号送入 CPLD。

2.6 单端反激变换器

电源是整个控制器能量的输入源, 系统从工业动力电取电, 经整流后的高压一方面作为电机全桥逆变的电源, 另一方面经过单端反激变换器将其转换为低压直流电源为控制芯片及驱动等提供电源。单端反激式开关电源线路简单, 所需元器件少, 能够提供多路隔离输出, 在小功率电子设备中普遍应用^[4]。控制芯片采用 UC3842, UC3842 具有可微调的振荡器、高增益误差放大器、电流取样比较器、大电流图腾柱式输出, 能进行精确的占空比控制, 是驱动功率 IGBT 的理想器件。

3 控制策略研究

系统采用 TMS320F2808 完成数字转速闭环算法, 由 CPLD 实现电机换相逻辑。由于硬件系统母线电压为高压, 因此软件上需要对上电延时的继电器进行控制, 防止上电瞬间在母线电容两端产生较大的冲击电流,

同时由于风机实际工作时为单一转向, 对频响也基本上没有要求, 因此, 电机采用软启动控制策略, 转速闭环采用 BANG-BANG 控制算法。

实际工作时, 利用 DSP 的 EPWM4 周期中断完成闭环算法, 其中, 转速闭环的调节周期为 50 ms; 实时转速测量采用测频法, 电机霍尔位置传感器输出 3 个互差 60° 电角度的脉冲波, 由 CPLD 对霍尔信号进行逻辑综合后得到三倍频信号, 这样可以提高电机低速运行时转速的测量精度, 然后送入至 DSP 的 ECAP4 口, 在捕获中断程序中计算出实时转速, 并对实时转速进行滑动平均滤波算法。DSP 经过闭环算法后输出一路 PWM 斩波信号, CPLD 将其与霍尔信号、各个故障信号进行逻辑综合后生成 6 路 PWM 控制信号实现对电机的控制及系统保护。CPLD 换相逻辑仿真波形如图 5 所示。

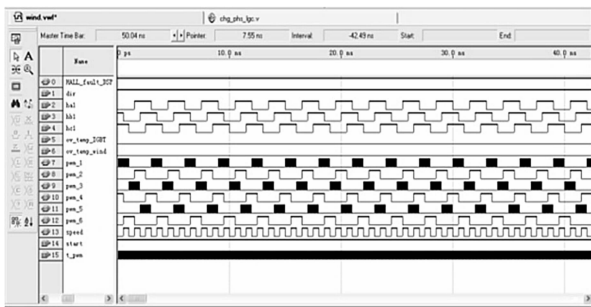


图 5 CPLD 换相逻辑仿真

4 实验结果

三相工业动力电源上电瞬间母线直流高压的波形如图 6 所示。

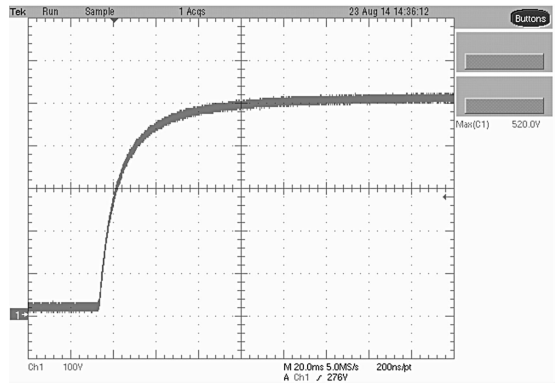


图 6 上电瞬间母线直流电压波形

风机转速闭环 800 rpm 时, 上电瞬间转速波形如图 7 所示。由图 7 可以看出, 电机为匀加速软启动, 无超调, 虽然响应偏慢, 但是考虑风机系统对响应的快速性基本无要求, 相对强调其平稳性, 因此设计满足系统需求。

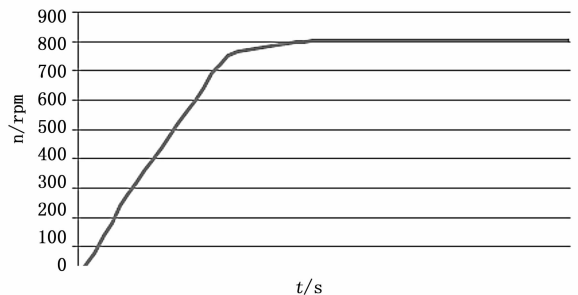


图 7 转速响应波形

控制器的瞬态响应过程偏慢, 同时电机在转速给定较低, 例如几十转时, 驱动电路自举电容没有办法维持功率管开通需要的 120° 宽的导通电压, 影响整个系统控制效果, 这两方面是后续控制器需要特别改进的地方。

5 结论

控制器只引入三相四线制工业动力电源, 集单端反激电路、控制电路、隔离电路、驱动电路、功率电路于单块 PCB 板上, 体积小, 操作方便。实验结果表明: 单端反激电路实现了低压直流电源的转换, 在硬件设计具有完善的故障保护电路的基础上, 利用软件算法实现了高压风机的软启动及平稳运行, 同时通过调速实现了节能控制。

参考文献:

[1] 徐甫荣, 陈辉明. 风机水泵变频调速节能的分析与计算 [A]. 第九届全国电技术节能学术年会论文集 [C]. 2007.
 [2] 陈伟, 魏治国. 风机用高压电机斩波内馈调速节能分析 [J]. 煤, 2007, 16 (8): 69-74.
 [3] 王诚, 吴继华, 范丽珍, 等. Altera FPGA/CPLD 设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
 [4] 李劲, 陶益民. 基于 TOPSwitch-GX 的单端反激式开关电源的设计与应用 [J]. 上海电气技术, 2009, 2 (3): 4-9.