



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103345245 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 09

(21) 申请号 201310321014. 9

(22) 申请日 2013. 07. 29

(71) 申请人 邵阳学院

地址 422004 湖南省邵阳市大祥区七里坪

(72) 发明人 林立

(51) Int. Cl.

G05B 23/02 (2006. 01)

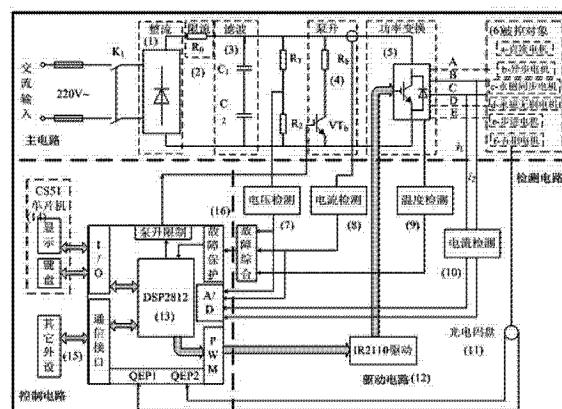
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

多功能电机控制策略测试实验装置及其应用

(57) 摘要

多功能电机控制策略测试实验装置及其应用，硬件电路由主电路、检测电路、控制电路、驱动电路四部分构成。主电路中整流、限流、滤波、泵升电压泄放电路、功率变换电路依次连接；检测电路检测直流母线电压、电流、功率变换板的温度、功率变换电路出线端的电流；本发明采用 DSP+CS51 单片机双CPU架构，控制电路由 DSP2812 控制系统及 CS51 单片机输入和显示系统及外设电路构成；DSP2812 通过隔离驱动与功率变换电路相连接；功率变换电路由五个独立的桥臂构成，通过改变输出端子与被控电机的接线方式，修改算法的 C 语言程序，就可实现对六种不同类型的电机进行控制；还可开展 DSP 评估板实验研究。本装置具有高性价比、多功能特色；同时，开放的软件系统，可进行二次开发，特别适合本科生、研究生和研究所开发不同电机不同控制策略的实验验证。



1. 多功能电机控制策略测试实验装置,硬件电路由主电路、检测电路、控制电路、驱动电路四部分构成,主电路中整流(1)、限流(2)、滤波(3)、泵升电压泄放电路(4)、功率变换电路(5)依次连接;电压检测电路(7)检测整流后的直流母线电压、电流检测电路(8)检测直流母线电流、温度检测电路(9)检测功率变换板的温度、电流检测电路(10)检测功率变换电路出线端的电流、光电码盘电路(11)检测被控的电机转速与DSP2812的QEP1和QEP2相接;其特征在于:采用DSP+CS51单片机双CPU架构;控制电路由DSP2812控制系统(13)及CS51单片机输入和显示系统(14)及外设电路(15)构成;DSP2812通过隔离驱动(12)与功率变换电路(5)相连接;功率变换电路(5)由五个独立的桥臂构成,通过改变输出端子与被控电机(6)的接线方式实现对六种不同类型的电机进行控制。

2. 根据权利要求1所述多功能电机控制策略测试实验装置,其特征是:输出端子与被控电机(6)的连接方式,在功率变换电路(5)五个桥臂中:任接两个桥臂可搭建直流电机的H型桥式直流斩波调压电路;任接三个桥臂可搭建对异步电机的变频变压逆变电路;任接三个桥臂可搭建对无刷直流电机(BLDCM)或永磁同步电机(PMSM)的变压变频逆变电路;任接四个桥臂可以搭建步进电机控制电路;连接五个桥臂可搭建五相异步电机或五相永磁同步电机变压变频逆变电路。

3. 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,其特征是:功率变换电路(5)连接直流电机时,硬件配置上,DSP2812通过事件管理器EVA或EVB产生互补对称的4路PWM脉冲实现对H型桥式电路的脉宽调制调压调速;可进行H型桥式单极性、双极性和受限单极性转速单闭环、电流和转速双闭环、及位置、电流和速度三闭环直流电机控制策略的实验研究;也可在此基础上开发新的控制策略,如模糊、智能PI、非线性解耦高性能控制策略,不同控制策略用DSP系统C语言编程实现。

4. 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,其特征是:功率变换电路(5)连接异步电机时,用DSP2812系统C语言编程,可进行基于稳态模型的开环变压变频调速和转差频率闭环控制的变压变频调速实验研究;也可进行基于动态模型的矢量控制、直接转矩控制及其他高性能控制策略的研究,如非线性状态反馈线性化、滑模变结构、模糊、神经网络;硬件配置上,DSP2812的事件管理器EVA或EVB产生六路带死区的互补对称的PWM脉冲,控制3个桥臂中的六个电力电子器件,实现对异步电机的变压变频控制,研究基于异步电机稳态模型的VVVF开环控制和转差频率VVVF闭环控制,研究基于动态模型的矢量控制和直接转矩控制,也可研究其他控制策略,如无速度传感器控制、非线性解耦控制、滑模变结构控制、模糊控制。

5. 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,其特征是:功率变换电路(5)连接永磁电机时,硬件配置上,DSP2812的事件管理器EVA或EVB产生六路带死区的互补对称的PWM脉冲,控制3个桥臂中的六个电力电子器件,实现对永磁电机的变压变频控制,控制策略用DSP2812系统C语言编程可进行矢量控制、直接转矩控制及其它高性能控制策略的研究,如非线性状态反馈线性化、滑模变结构、模糊、神经网络等控制策略;永磁电机包括无刷直流电机BLDCM和正弦波永磁同步电机PMSM,研究基于动态模型的永磁同步电机矢量控制和直接转矩控制,也可研究其他新型控制策略,如无速度传感器控制、非线性解耦控制、滑模变结构控制、模糊控制等,也可研究永磁同步电机的定子电流控制策略,如最大转矩比电流控制(MTPA)、弱磁控制、损耗最小控制、恒功率因数控制。

6. 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,其特征是:功率变换电路(5)连接步进电机时,硬件配置上,DSP2812的事件管理器产生8路PWM脉冲实现对功率变换电路8个电力电子器件的PWM控制,控制策略用DSP系统C语言编程,开展步进电机的高精度定位控制算法及实验测试研究。

7. 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,其特征是:功率变换电路(5)连接五相异步电机或五相永磁电机时,可进行开环VVVF实验、矢量控制及直接转矩控制实验研究,也可开展五相电机其他高性能控制策略的实验研究;硬件配置上,DSP2812的事件管理器EVA和EVB共同产生10路带死区的互补对称的PWM脉冲,控制功率变换电路的10个电力电子器件实现对五相异步电机或五相永磁同步电机的变压变频调速,可开展五相电机的矢量控制、直接转矩控制以及其他高性能控制策略及实验测试研究;软件设计上,用DSP2812系统C语言编程实现不同的控制策略。

8. 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,其特征是:在以上五种不同电机实验系统平台上,只需DSP编程,便可实现容错控制算法,开展缺相容错控制策略的研究,为新的控制策略研究打下实验基础。

9. 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,其特征是:开展DSP2812评估板实验研究,DSP2812+CS51双CPU控制系统,可以进行DSP2812的基本实验,如I/O口实验、A/D实验、中断实验、PWM实验、SPI实验、eCAN实验、SCI实验,也可进行工业应用系统的控制板实验;还可进行《DSP原理及应用》、《电力电子技术》、《运动控制系统》课程的实验教学、课程设计和毕业设计及大学生创新实验室的创新实验装置。

多功能电机控制策略测试实验装置及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及同一平台进行六种不同类型电机控制策略的测试实验装置,本发明还涉及该装置的应用。适用于高年级本科生、研究生、科研人员进行不同电机控制策略的性能测试实验及 DSP2812 评估板,为实验提供硬件支撑平台。

背景技术

[0002] 现代电力传动在高铁、轻轨、动车、机床、航空、航天、战舰、机器人、变频、伺服系统领域得到广泛应用,不同的应用对象,传动系统采用的电机也不同,电力传动用电机主要有直流电机、异步电机、永磁同步电机、永磁无刷电机、步进电机和新开发的五相电机(五相异步电机和五相永磁同步电机)(简称六类电机)等,各种电机系统为提高各自的性能,可采用不同的控制策略,但验证控制策略是否有效,必须经过实验验证,为此必须建立实验平台。传统的方法是不同的电机系统建立不同的实验平台,然后在建立的实验平台上进行实验,这种方法的弊端是电机实验平台通用性差,因而实验装置的功能单一、性价比较低。至今为止,未见有适合于多种电机多种控制策略验证及兼有 DSP2812 评估板功能实验装置的发明报道。

发明内容

[0003] 本发明的目的是为了提高实验平台的性价比和通用性,开发一种高性价比、多功能电机控制策略实验装置,提供一个多功能、性价比较高的实验平台。

[0004] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:多功能电机控制策略测试实验装置,硬件电路由主电路、检测电路、控制电路、驱动电路四部分构成。主电路中整流、限流、滤波、泵升电压泄放电路、功率变换电路依次连接。电压检测电路检测整流后的直流母线电压,电流检测电路检测直流母线电流,温度检测电路检测功率变换板的温度,电流检测电路检测功率变换电路出线端的电流,光电码盘电路检测被控的电机转速与 DSP2812 的 QEP1 和 QEP2 相接。采用 DSP+CS51 单片机双 CPU 架构,控制电路由 DSP2812 控制系统及 CS51 单片机输入、显示及其外围电路构成,DSP2812 控制系统电路配以存储器扩展、I/O 口、SPI、eCAN、A/D 及事件管理器 EV,并为电流检测及转速检测预留了接口电路,便于实现二次开发及不同电机控制策略的验证,基于 CS51 为核心的键盘和显示电路,实现有关参量的输入及速度、电流或电压的显示,采用的双 CPU 结构提高系统的运算速度。驱动电路采用高速光隔,实现控制电路和功率变换电路的连接。

[0005] 功率变换电路由五个独立的桥臂构成,通过改变输出端子与被控电机的接线方式,分别对六类电机进行多种控制策略的验证,在功率变换电路五个桥臂中:任接两个桥臂可搭建直流电机的 H 型桥式直流斩波调压电路;任接三个桥臂可搭建对异步电机的变频变压逆变电路;任接三个桥臂可搭建对无刷直流电机(BLDCM)或永磁同步电机(PMSM)的变压变频逆变电路;任接四个桥臂可以搭建步进电机控制电路;连接五个桥臂可搭建五相异步电机或五相永磁同步电机变压变频逆变电路。

[0006] 多功能电机控制策略测试实验装置的应用,主要有以下七个方面:

一是功率变换电路连接直流电机时,DSP2812 通过事件管理器 EVA 或 EVB 产生互补对称的 4 路 PWM 脉冲实现对 H 型桥式电路的脉宽调制调压调速;可进行 H 型桥式单极性、双极性和受限单极性转速单闭环、电流和转速双闭环、及位置、电流和速度三闭环直流电机控制策略的实验研究,也可在此基础上开发新的控制策略研究,如模糊、智能 PI、非线性解耦高性能控制策略的研究,研究直流电机的不同控制策略,如转速负反馈单闭环直流调速、带电流截止的转速负反馈直流调速、电流内环转速外环双闭环直流调速以及位置环、速度环和电流环三环伺服系统,不同性能的控制策略用 DSP2812 系统 C 语言编程实现。

[0007] 二是功率变换电路连接异步电机时,用 DSP 系统 C 语言编程,可进行基于稳态模型的开环变压变频调速和转差频率闭环控制的变压变频调速实验研究,也可进行基于动态模型的矢量控制、直接转矩控制及其他高性能控制策略的研究,如非线性状态反馈线性化、滑模变结构、模糊、神经网络等控制策略 DSP 的事件管理器 EVA 或 EVB 产生六路带死区的互补对称的 PWM 脉冲,控制 3 个桥臂中的六个电力电子器件,实现对异步电机的变压变频控制研究基于异步电机稳态模型的 VVVF 开环控制和转差频率 VVVF 闭环控制,研究基于动态模型的矢量控制和直接转矩控制,也可研究其他新型控制策略,如无速度传感器控制、非线性解耦控制、滑模变结构控制、模糊控制。

[0008] 三是功率变换电路连接永磁电机时,硬件配置上,DSP2812 的事件管理器 EVA 或 EVB 产生六路带死区的互补对称的 PWM 脉冲,控制 3 个桥臂中的六个电力电子器件,实现对永磁同步电机的变压变频控制,控制策略用 DSP2812 系统 C 语言编程可进行矢量控制、直接转矩控制及其它高性能控制策略的研究,如非线性状态反馈线性化、滑模变结构、模糊、神经网络等控制策略;永磁同步电机包括无刷直流电机 BLDCM 和正弦波永磁同步电机 PMSM,研究基于动态模型的永磁同步电机矢量控制和直接转矩控制,也可研究其他新型控制策略,如无速度传感器控制、非线性解耦控制、滑模变结构控制、模糊控制等,也可研究永磁同步电机的定子电流控制策略,如最大转矩比电流控制 (MTPA)、弱磁控制、损耗最小控制、恒功率因数控制。

[0009] 四是功率变换电路连接步进电机时,硬件配置上,DSP 的事件管理器产生 8 路 PWM 脉冲实现对功率变换电路 8 个电力电子器件的 PWM 控制,控制策略用 DSP 系统 C 语言编程,开展步进电机的高精度定位控制算法及性能测试。

[0010] 五是功率变换电路连接五相异步电机或五相永磁电机时,可进行开环 VVVF 实验、矢量控制及直接转矩控制实验研究,也可开展五相电机其他高性能控制策略的实验研究;硬件配置上,DSP 的事件管理器 EVA 和 EVB 共同产生 10 路带死区的互补对称的 PWM 脉冲,控制功率变换电路的 10 个电力电子器件实现对五相异步电机或五相永磁同步电机的变压变频调速,开展五相电机的矢量控制、直接转矩控制以及其他高性能控制策略的研究;软件设计上,用 DSP2812 系统 C 语言编程实现不同的控制策略。

[0011] 六是在以上五种不同电机实验系统平台上,只需 DS2812P 编程便可实现容错控制算法,可以开展缺相容错控制策略的研究,为新的控制策略研究打下实验基础。

[0012] 七是开展 DSP2812 评估板实验研究,DSP2812+CS51 双 CPU 控制系统,可以进行 DSP2812 的基本实验,如 I/O 口实验、A/D 实验、中断实验、PWM 实验、SPI 实验、eCAN 实验、SCI 实验,也可进行工业应用系统的控制板实验;还可进行《DSP 原理及应用》、《电力电子技

术》、《运动控制系统》课程的实验教学、课程设计和毕业设计及作为大学生创新实验室的创新实验装置。

[0013] 本发明具有以下积极效果，在本实验装置硬件平台上，只改变接线方式而不需增加其他硬件，软件上只需修改算法的 C 语言程序，就可以开展六种电机的不同控制策略的性能验证，最大限度的发挥本装置的作用，实现高性价比和七种基本功能：一是直流电机控制策略研究实验平台；二是异步电机控制策略研究实验平台；三是永磁同步电机控制策略研究实验平台；四是步进电机控制策略研究实验平台；五是五相电机控制策略研究实验平台；六是容错控制策略研究实验平台；七是 DSP2812 评估板功能及教学实验装置。电机控制实验系统开发涉及到电力电子技术、控制理论、单片机、DSP 和运动控制系统等多门专业知识，建立一个完善而又性价比较高的实验平台难度大，本实验装置设计的硬件系统，能完成六类电机不同控制策略的验证，提高开发新控制策略的实验验证能力，适用范围广，性价比高，有很好的市场应用价值。

附图说明

[0014] 图 1 是本发明硬件系统电路框图；
图 2 是本发明实验装置主电路图；
图 3 是本发明基于 DSP 的 PWM 双闭环直流调速系统软件流程图。

具体实施方式

[0015] 下面结合附图对发明的技术方案实现方法进行详细说明：

本发明以 TI 公司的定点 DSP-TMS320F2812 为控制器，设计了多功能电机控制策略测试实验平台，可进行直流电机、异步电机、永磁同步电机、无刷直流电机、步进电机和五相电机不同控制策略的实验验证。

[0016] 图 1 为多功能电机控制策略测试实验装置硬件系统框图，硬件电路由主电路、检测电路、驱动电路、控制电路四部分构成。

[0017] 主电路部分：主要由单相桥式整流（1）、限流（2）、滤波（3）、泵升电压泄放电（4）、带阻容吸收功能的全控器件 IGBT 及被控电机（直流电机、异步电机、步进电机、永磁同步电机、永磁无刷电机和五相电机）构成，主电路中整流（1）、限流（2）、滤波（3）、泵升电压泄放电路（4）、功率变换电路（5）及被控电机依次连接。

[0018] 检测电路部分：电压检测电路（7）检测整流后的直流母线电压，电流检测电路（8）检测直流母线电流，温度检测电路（9）检测功率变换板的温度，电流检测电路（10）检测功率变换电路（5）出线端的电流，光电码盘电路（11）检测被控的电机转速与 DSP2812 的 QEP1 和 QEP2 相接。

[0019] 驱动电路部分：驱动电路（12）将 DSP2812 发出的 PWM 信号与主电路功率部分相应的电力电子器件相连，是弱电控制强电的结合部，该系统采用六个 IR2110 驱动芯片，驱动功率变换电路（5）中的 10 个 IGBT，同时也完成对泵升电压电路（4）IGBT 的驱动。检测电路即数据采集及输出电路，包括电机电子电流、直流母线电压、功率板温度等模拟量的采集电路和数字量的采集电路以及脉冲编码器信号的采集电路。数字量通过光电隔离电路输入、输出。模拟量的采集直接采用 DSP 内部集成 ADC，片内 ADC 精度为 12 位，满足系统高精度，

单个通道转换速度为 200ns, 流水转换速度为 60ns, 高速转换可以实现高性能复杂控制算法的实现, 系统也设计了硬件保护电路, 当发生过流、过压、过热故障时, DSP2812 的 PDPINT 引脚会产生故障中断, 封锁 PWM 脉冲, 实现软件保护。

[0020] 控制电路部分:采用 DSP2812+CS51 单片机双 CPU 架构, 由 DSP2812 控制系统(13)及 CS51 单片机输入、显示系统(14)及其它外设电路(15)构成;DSP2812 控制系统(13)由 DSP2812 最小系统(电源电路、复位电路、CPU、晶振)、QEP 编码检测电路、功率驱动故障保护电路(16)、PWM 波形显示电路、Be11 报警电路、SPI 接口电路及 CAN 接口电路等部分组成。其中, DSP2812 最小系统进行了存储器扩展, 并将所有的引脚引出, 便于二次开发, 同时为了调试程序设置了仿真器接口电路 JTAG; 电源及复位电路将 5V 的电源通过 TPS75733 芯片转换得到为 3.3V 和 1.9V 的不同电压, 供给 DSP2812 用; QEP 编码检测电路与安装在电机转子上的编码器相连, 经过 DSP2812 的正交编码电路根据测速原理实现电机转子位置、速度及加速度的检测; PWM 波形显示电路显示 PWM 波形, 产生高低电平时, 发光二极管可以发光和熄灭, 从而直观的感觉 PWM 波形的产生状况; SPI 及 CAN 接口电路完成与其他外设的通信, 可以实现远程控制或遥控。CS51 单片机输入、显示电路(14), 单片机采用 C8051F310, 配以单片机最小系统, 输入采用 2*4 按键电路, 显示电路采用 4 个数码管进行显示。

[0021] 图 2 为多功能电机控制策略测试实验装置主电路图。外接单相 220V 交流, 单相桥式整流后经滤波电路进行滤波, 滤波后的直流电经功率变换电路, 供给不同类型的电机。当被控对象是直流电机时, 可接 A、B、C、D、E 五点中的任意两点, 其他三点不接, 由四个 IGBT 构成 H- 桥式直流斩波电路, 实现桥式直流斩波调压, 通过控制电路产生的占空比可调的 PWM 脉冲, 经过测速电路及 DSP 处理后, 实现对直流电机的单闭环、带电流截止负反馈和电流内环转速外环调速系统, 并将高性能控制策略开展实验测试和研究; 当被控对象是异步电机时, 可接 A、B、C、D、E 中的任何 3 点, 其它两点不接, 经测速和 DSP 处理后, 可实现异步电机 VVVF、转差频率、矢量控制 FOC 及直接转矩控制 DTC 不同控制策略的实验测试、性能测试和高性能控制策略的研究; 当被控对象是正弦波永磁同步电机(包括表贴式永磁同步电机 SPMMSM 和内置式永磁同步电机 IPMSM)和方波永磁同步电机 BLDCM 时, 可接 A、B、C、D、E 中任意三点, 另外两点不接, 经测速检测和 DSP 处理后, 可实现矢量控制 FOC 与直接转矩控制 DTC 及高性能控制策略研究; 当被控对象是步进电机时, 接 A、B、C、D、E 中任意四点, 另外一点不接, 便可以开展步进电机的控制策略研究; 当被控对象是五相电机(五相异步电机或五相永磁同步电机)时, 与功率变换电路的 A、B、C、D、E 五点相接。

[0022] 本发明实验装置的应用方法:编写软件系统应用程序开展相应算法研究, 进行联机调试, 开展实验测试和研究。

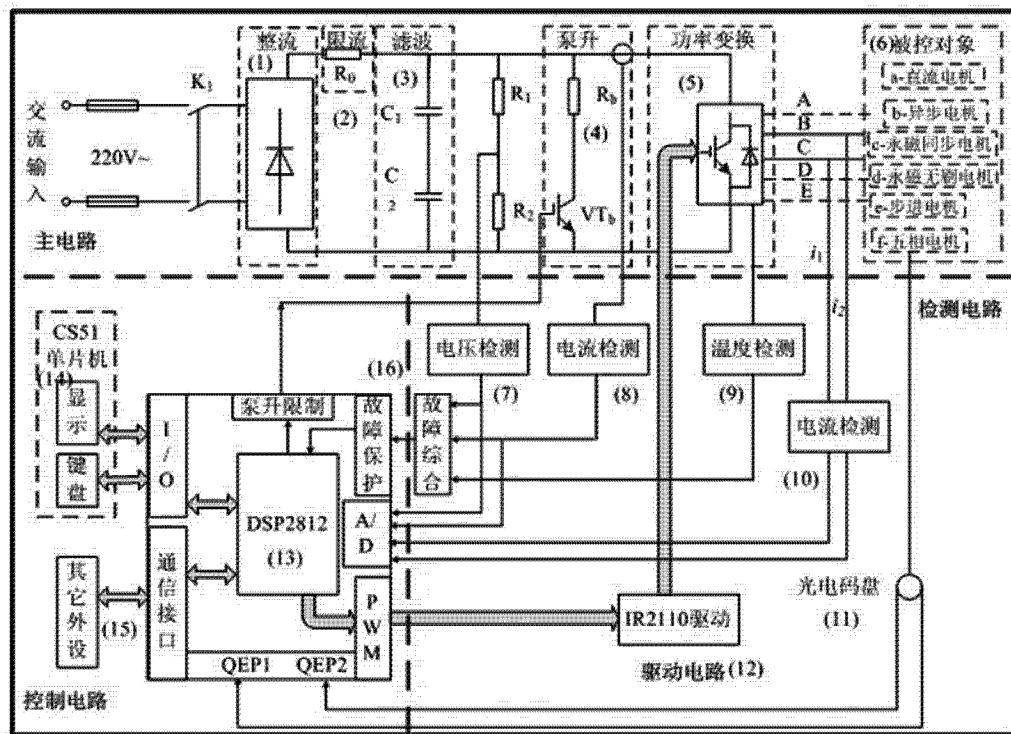
[0023] 六类不同的电机系统, 采用共性的硬件系统, 配置以个性化的接线方式, 组成相应的电机控制系统, 进行算法的软件编程调试, 便可完成不同类型电机的控制算法。包括直流电机转速负反馈、带电流截止负反馈、电流内环转速外环双闭环控制等; 异步电机 VVVF 控制、转差频率控制、矢量控制和直接转矩控制等; 永磁同步电机矢量控制和直接转矩控制等; 步进电机控制及五相异步电机或永磁同步电机矢量控制及直接转矩控制等。具体实现时, 先用 Matlab/Simulink 进行不同电机不同控制策略的系统仿真, 仿真实现后, 用 C 语言编写 DSP2812 系统程序, 然后在此平台上进行调试、测试和实验。

[0024] 图 3 具体给出了基于 DSP 的 PWM 双闭环直流调速系统软件流程图, 结合调节器设

计、H型桥式双极性直流斩波控制算法、模数转换和故障保护,本调速系统的软件由3部分组成:主程序、初始化程序和中断服务子程序。主程序完成实时性要求不高的功能,完成系统初始化和其它外设通信等功能,其流程图如图3a所示。初始化后,实现CS51单片机键盘处理、刷新处理与DSP通信和其他程序完成硬件工作方式的设定、系统参数运行和变量的初始化等,其流程图如图3b所示,中断服务子程序主要完成实时性强的功能,如故障保护、PWM生成、状态监测和数字PI调节等。中断服务子程序由相应的中断源提出申请,CPU实时响应。它包括了3种中断服务申请,其中,转速调节中断服务子程序流程图如图3c所示。电流调节中断服务子程序如图3d所示,故障保护中断服务子程序如图3e所示。本系统的脉冲编码器在每个PWM周期(50us)都对直流调速系统进行一次电流采样和电流PI调节,因此电流采样周期与PWM采用定时器1周期中断标志来启动A/D转换,转换结束后申请ADC中断,图3f是ADC中断处理子程序框图。全部控制功能通过中断处理子程序来完成。

[0025] 其它五种电机不同控制策略的软件流程可类似编写,编写软件程序后,便可进行相应电机相应控制策略的实验测试和研究。以上五种不同电机实验系统平台上,只需DSP编程便可实现容错控制算法,可以开展缺相容错控制策略的研究,为新的控制策略研究打下实验基础。

[0026] 开展DSP评估板实验研究,DSP2812+CS51双CPU控制系统,可以进行DSP2812的基本实验,如I/O口实验、A/D实验、中断实验、PWM实验、SPI实验、eCAN实验、SCI实验,也可进行工业应用系统的控制板实验;还可进行《DSP原理及应用》、《电力电子技术》、《运动控制系统》课程的实验教学、课程设计和毕业设计及大学生创新实验室的创新实验装置。



冬 1

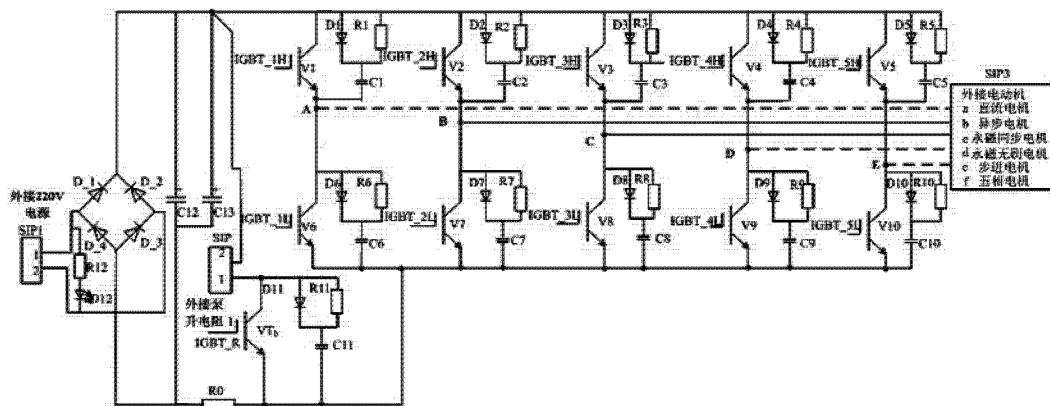


图 2

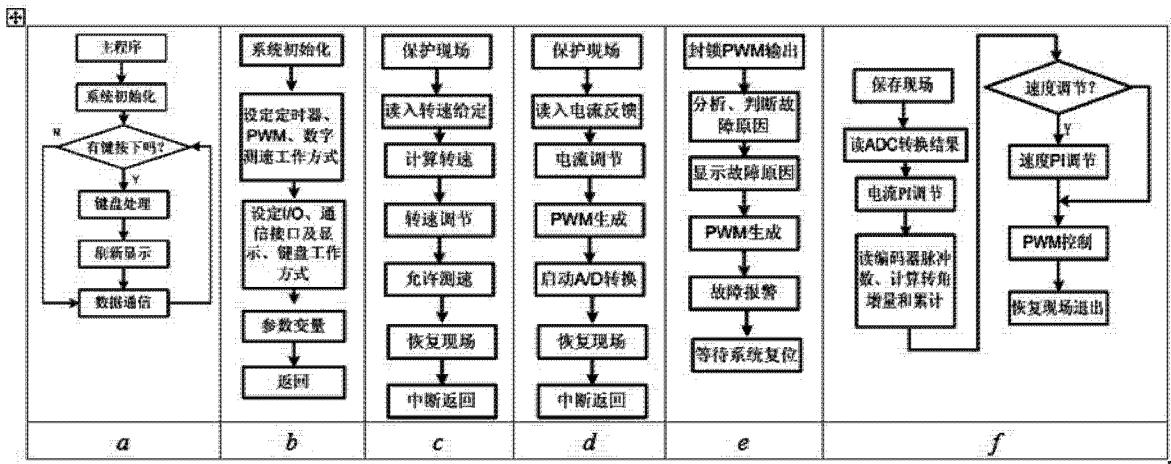


图 3