

基于 CAN 和 TMS320F2812 的永磁同步电机控制器的研究

梅义成, 俞建定*

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 基于永磁同步电机的矢量控制理论、CAN 总线和 TMS320F2812, 从硬件和软件提出了一种伺服控制器的设计方案及实施方法, 并自定义了电机控制的指令格式, 给出了具体的实施过程. 实验表明: 在这种设计架构下的伺服控制器能取得较好的效果.

关键词: CAN; TMS320F2812; 矢量控制; 永磁同步电机

中图分类号: TM351

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2011) 04-0101-05

近年来, 随着自动控制及加工制造业的发展, 对开放通用结构的伺服控制器呼声越来越高^[1], 笔者在此提出了一种基于 CAN 总线和 TMS320F2812 的永磁同步电机(PMSM)伺服控制器的设计, 该控制器可运用于具有 CAN 总线接口的平台.

1 PMSM 及其控制理论

永磁同步电动机具有体积小、损耗低、效率高、功率密度大等特点, 但其控制难度较大; 而 CAN 总线具有可靠、高速、实时等特性, 非常适合于实时控制等领域, 并且随着高速控制芯片的出现及先进算法不断被提出, 为此类问题的解决提供了越来越多的手段, 其控制性能日臻完善, 在伺服精度要求高的场合得到广泛的运用.

20 世纪 70 年代, 德国 Blaschke 等人首先提出了交流电动机的矢量控制(Transvector Control)理论, 奠定了交流电机控制理论的基础. 其基本思想是通过坐标变换, 将空间相差 120°电角度、时间相差 120°相位的三相交流电, 转换为两相垂直旋转坐标系 d/q 轴上的直流电, 旋转坐标系的角速度等于三相交流电的角频率. 这样 1 台三相交流电机在旋转坐标系上就等效为 1 台直流电机, 从而大大简化了电机的控制. 在忽略铁芯磁饱和、涡流、磁滞损耗和转子没有阻尼阻抗等情况下, 三相永磁同步电机在 d/q 旋转坐标系下的磁链方程为:

$$\begin{cases} \psi_d = L_d i_d + \psi_r, \\ \psi_q = L_q i_q, \end{cases} \quad (1)$$

其中, ψ_d, ψ_q 为定子磁链; ψ_r 为转子磁链; L_d, L_q 为 d/q 轴电感分量; i_d, i_q 为 d/q 轴电流分量.

定子线圈上的电压方程为:

$$\begin{cases} u_d = p\psi_d - \psi_q \omega + r i_d, \\ u_q = p\psi_q + \psi_d \omega + r i_q, \end{cases} \quad (2)$$

其中, u_d, u_q 为 d/q 轴上定子电压分量; ω 为转子角速度; r 为每相定子绕组电阻; p 为微分算子.

电磁转矩方程为:

$$T_e = p_n (\psi_d i_q - \psi_q i_d), \quad (3)$$

其中, p_n 为磁极对数; T_e 为电磁转矩. 永磁同步电机的控制方法主要有 $i_d = 0$ 控制、最大转矩控制、弱磁控制、 $\cos \varphi = 1$ 控制、最大效率控制等; 其中 $i_d = 0$ 控制简单易行, 对于面装式永磁同步电机具有最大转矩电流比, 且控制性能优良. 当采用 $i_d = 0$ 控制, 由(1)式和(3)式可得电磁转矩 T_e 为:

$$T_e = p_n \psi_r i_q, \quad (4)$$

由此可见, 在 $i_d = 0$ 的情况下, 通过调节 q 轴电流 i_q 就可调节转矩或转速.

2 系统硬件设计

硬件系统包括电源模块、光耦隔离及 IPM 逆变模块、电流检测和位置检测模块、TMS320F2812 最小系统板. 其中, 电源模块向 IPM 提供 300 V 直

收稿日期: 2011-06-19.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

第一作者: 梅义成 (1971 -), 男, 安徽郎溪人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统. E-mail: yicheng_mei@qq.com

*通讯作者: 俞建定 (1968 -), 男, 浙江宁波人, 高级实验师, 主要研究方向: 嵌入式系统. E-mail: yujianding@nbu.edu.cn

流及控制部分 4 路 15 V 独立直流, 向电流检测、位置检测及系统板提供±12 V、+5 V 直流. 系统具体硬件如图 1 所示.

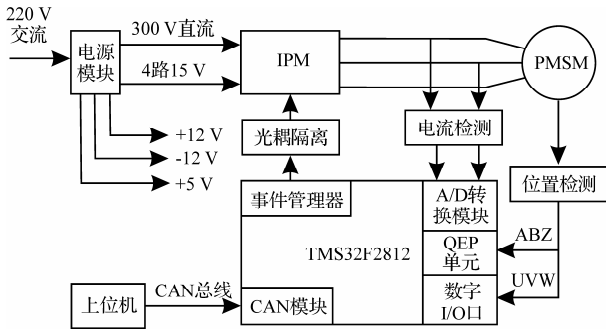


图 1 系统硬件框图

2.1 TMS320F2812 及最小系统板设计

TMS320F2812 是美国德州仪器生产的 32 位定点 DSP 芯片, 具有卓越性能: 运算能力强大; 主频高达 150 MHz; 有 2 个事件管理器(EVA、EVB)及 QEP 适合电机控制的模块; 外围中断丰富; 总线接口齐全, 有 I²C、SPI、CAN、SCI 等; 具有 16 个 12 位 A/D 转换通道.

该芯片包含电机控制所需的模块齐全, 采用该芯片能大大简化电路设计, 因此系统板设计采用最小系统设计即可满足需求, 最小系统板包括 TMS320F2812、3.3 V 和 1.8 V 电源转换芯片、30 MHz 晶振、系统仿真的 JTAG 接口, 512 K×16 外扩 FLASH 芯片 SST39VF800 等, 还有 CAN 总线接口芯片 SN65HVD230 以及一些少量电容电阻器件.

2.2 电机驱动逆变器设计

为提高电路的可靠性、简化电路设计, 缩短项目开发周期, 目前普遍选择智能功率模块(IPM)作为电机功率逆变器. IPM 不仅将功率开关器件和驱动电路集成在一起, 而且还内藏有欠电压、过流

和过热等故障检测电路, 并可将故障检测信号输出到控制单元, 功能非常完善. 本次设计采用三菱第五代 IPM 模块 PM50CL1B060. PM50CL1B060 输入最大电流 50 A, 最高电压 600 V, 推荐使用条件如下: 逆变电压不超过 400 V, 工作电流不超过 20 A, 控制部分四路独立供电电压(15±1.5)V, PWM 载波频率不高于 20 kHz, 死区时间不低于 2 μs [2].

由 DSP2812 送来的 PWM 需要光耦进行隔离. IPM 载波频率较高, 普通光耦不能满足要求, 因此需要高速光耦, 这里选用 6N137. 根据 F2812 的 I/O 口输入输出电流要求及 PM50CL1B060 输入逻辑电平的要求, 设计了驱动电路, 相关原理如图 2 所示, 而图 2 仅为 6 路 PWM 中的其中 1 路.

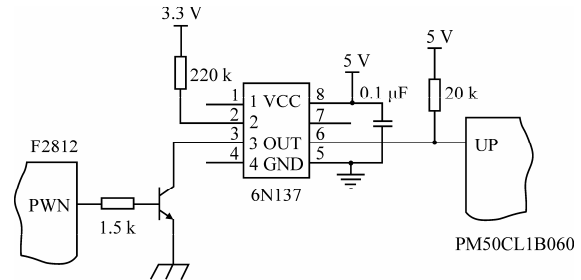


图 2 IPM 模块光耦隔离驱动电路

2.3 电流检测模块

在矢量变换中, 定子电流检测的精度和实时性是整个矢量控制系统精度的关键. 根据三相交流电流在时域的关系 $i_a + i_b + i_c = 0$, 只需测量 i_a, i_b , 通过 $i_c = -i_a - i_b$ 得出 i_c . 在伺服控制和变频器中通常用霍尔电流传感器(LEM)来测量电流. 本次设计采用 LA100P, LA100P 具有频带宽、精度高、线性度好的特性, 测量带宽 0 Hz~200 kHz, 测量精度 > 0.70%, 线性度 > 0.15%, 动态性能响应时间 < 1 μs, 跟踪速度 > 200 A·μs⁻¹, 变比 1:2 000 [3], 在供电电压

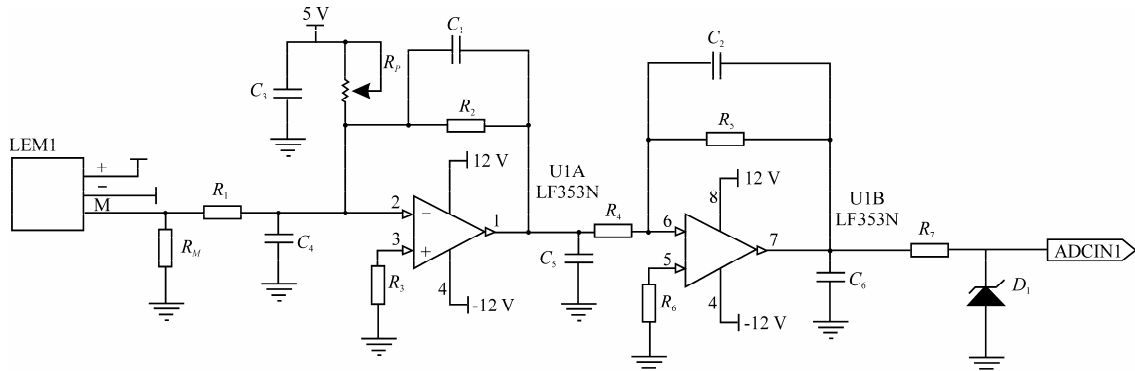


图 3 电流检测模块

±12 V 时, R_M 取 0~50 Ω. 由于其输出为正负电流, 而 TMS320F2812 电流检测端输入要求 0~3 V, 因此要求进行转换, 转换原理如图 3 所示^[4].

取 $R_2 = R_4 = R_5 = R$, 可得出 $U_{ADCIN1} = (I_M R_M / R_1 + 5 / R_p) R$, 当 $I_M = 0$ 时, 调节 R_p , 使其静态工作点保持在 1.5 V, 即 $U_{ADCIN1} = 1.5 V$.

2.4 光电码盘及磁极辅助定位接口电路

在初始阶段, 伺服控制器需要知道磁极初始位置; 在工作过程中, 需要准确知道磁极在任一时刻的位置. 对于大多数永磁同步伺服电机, 一般都装有磁极辅助定位霍尔器件和精确定位的增量式光电码盘. 磁极辅助定位输出差分信号的接口分别为 U+U-、V+V-、W+W-; 磁极精确定位的光电码盘输出差分信号接口分别为 A+A-、B+B-、Z+Z-. 为了与 TMS320F2812 引脚电平匹配, 需要将双端差分信号转换为单端输出信号送到 DSP 的 I/O 口和 QEP 模块. 此类转换芯片有很多, 如 DS3486、AM26LS32 等.

3 系统软件设计

程序设计分为主程序、中断程序和电机控制指令处理等, 程序流程如图 4 所示.

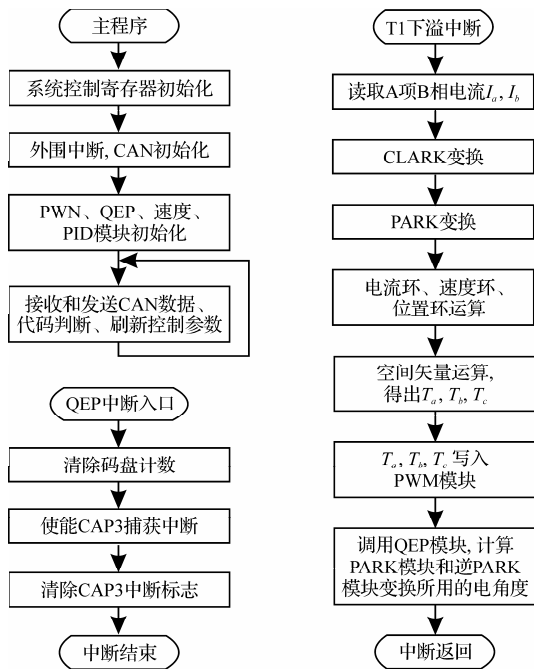


图 4 主程序和中断程序流程图

3.1 主程序设计

主程序中完成对系统、外围中断、CAN 总线

的初始化, 设置 EVA 的 T1 下溢中断和光电码盘起始位置捕获中断, 并对正交编码(QEP)、PID、CLARK、PARK、I_PARK 和 SVPWM 模块初始化, 然后进入死循环, 在死循环中通过查询方式对 CAN 总线收发数据进行处理, 并根据电机控制指令对电机控制数据实时刷新.

3.2 中断程序设计

矢量变换在 1 个 PWM 周期中完成, 实时性要求高, 因此放在 EVA 的 T1 下溢中断中处理^[5]. 具体过程是通过 LEM 霍尔电流传感器模块, 检测驱动电机的三相电流, 经过坐标变换, 三相变两相 (CLARK 变换), 两相变旋转直流 i_d / i_q (PARK 变换), 通过算法模块 (PI) 和设定的 I_{dref} , I_{qref} 进行比较, 输出调节量, 再经旋转直流变两相静止 (I_PARK) 变换, 得出两相静止电压 U_{alfa} , U_{beta} , 输出到空间矢量脉宽调制模块 (SVPWM), 得出控制脉冲宽度的 T_a , T_b , T_c , 然后将 T_a , T_b , T_c 写入到 TMS320F2812 的 PWM 模块, 经过 IPM 功率驱动模块, 最终得出驱动电机的三相交流电流. 系统矢量控制框图如图 5 所示.

另一个中断是响应码盘初始位置信号捕获, 用来定位磁极每转的起始位置.

4 基于 CAN 总线的电机控制代码实现方案

一个复杂的控制系统一般是由多电机组成的, 要保持多电机协调一致工作, 可靠、高速、实时的网络成为关键. 控制器局域网 (Controller Area Network, CAN) 是由研发和生产汽车电子产品著称的德国 BOSCH 公司开发的. CAN 总线有如下显著特点: 多主工作、抗干扰能力强、实时性高、组网简单以及数据传输基于数据块编码 (邮箱方式). 由于 CAN 总线的上述特点, 其综合性能远胜于现在常用的 RS232 和 485 通讯, 已经广泛应用于汽车、工业控制、机器人等领域.

TMS320F2812 集成了 CAN 总线模块, 使得较为复杂的 CAN 总线使用大为简化, 按照其规定对相关的寄存器进行设定, 即可完成数据传输, 几乎不用详细了解 CAN 总线协议, 使用十分方便.

电机控制指令格式的设计及实现: CAN 每次最多传送 8 bit 数据, 本次设计中定义了这 8 bit 作为电机控制指令, 具体安排取头 2 bit 作为电机控

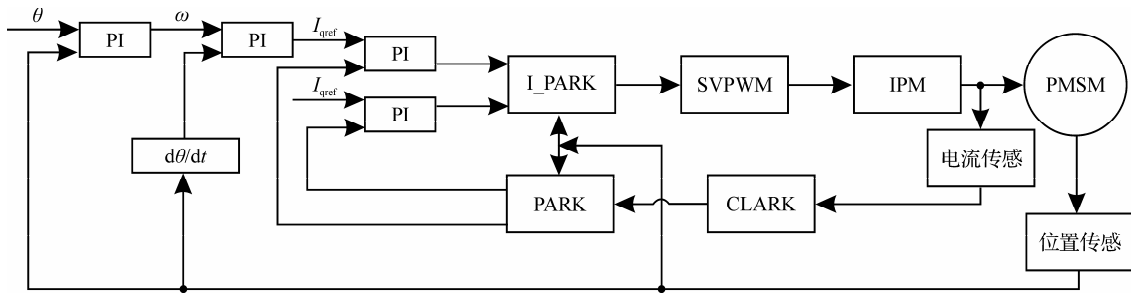


图5 PMSM 矢量控制

制代码, 后 6 bit 作为控制参数, 用来操作控制器完成相应的动作. 邮箱 16 设定为接收, 采用中断来接收电机控制指令, 存于指令队列, 在主程序死循环中依次取出指令进行处理; 邮箱 1 设定为发送, 根据上位机要求, 判断是否发送数据, 如发送, 则将数据写入到邮箱 1, 然后启动发送(TransSignal=1 为发送信号). 原理如图 6 所示.

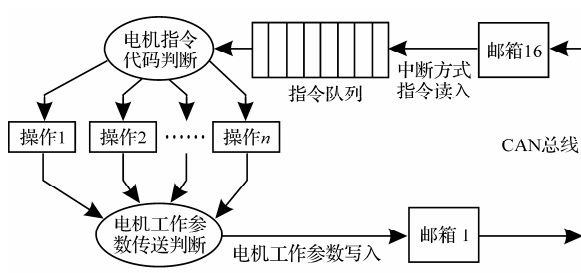


图6 电机控制指令实现

代码实现片段如下:

```

for(;;)
{
    .....
    if (i==j)//i为读取计数, 判断指令队列是否
    读完
    {
        QueueReadSignal=0;// 队列读取信号,
        读完置0, 停止读取
    }
    else
    {
        i++;
        i%=50;
        QueueReadSignal=1;
    }
    if (QueueReadSignal==1)
    {

```

```

        Uint16 MotoCodeBuff;
        MotoCodeBuff=CanRecv[i].MDH.word.
        HI_WORD;
        switch(MotoCodeBuff)// 获取控制代码,
        转向相应的操作 {
            case 0x0:// 电机控制指令0
                .....执行相应的控制操作
                break;
            case 0x1:// 电机控制指令1
                .....执行相应的控制操作
                break;
            case 0x2:// 电机控制指令2
                .....执行相应的控制操作
                break;
            .....
        }
    }
    if(TransSignal==1)// 定义TransSignal发送
    信号, 为1数据发送, 邮箱1设置为发送
    {
        ECanaRegs.CANTRS.all = 0x00000002;//
        发送数据
        while(ECanaRegs.CANTA.all !=
        0x00000002);// 等待发送成功
        ECanaRegs.CANTA.all=0x00000002;// 清
        CanaRegs.CANTA.bit.TA0位
        TransSignal=0;
    }
}
interrupt void ECAN0INTA_ISR(void) // CAN
中断入口
{
    j=j%50; //指令队列长度50, j 为指令读入队

```

列计数

```

CanRecv[j].MDL.all=ECanaMboxes.MBOX16.
MDL.all;//读取指令低4字节
CanRecv[j].MDH.all=ECanaMboxes.MBOX16.
MDH.all;//读取指令高4字节
j++;
.....
}

```

CanRecv[i]为定义的消息接收队列结构体, 利用该结构体, 可以对接收的消息以 8 位、16 位或 32 位方式处理。

5 实验结论

电机采用华大 110-ST-M02030 型号, 额定功率 0.6 kW, 额定电压 220 V, 额定转速 $3\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, 转子惯量 $0.33 \times 10^{-3}\ \text{Kg}\cdot\text{m}^2$, 磁极对数 4, 电流环、速度环和位置环采用 PI 调节。空载条件下进行速度实验: 速度设定 $1\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$, 爬升最大值时间 0.3 s, 存在 16% 的超调, 当速度波动在 2% 范围内, 用时 1.7 s, 表明硬件设计可行。在速度环采用先进的算法, 可减小超调, 缩短锁定时间, 达到更好的控制效果。以上参数设定和读出都是通过 CAN 总线在 PC 机上 CAN 总线调试软 Embedded Debug 2.0 环境下完成。

6 小结

设计中考虑到伺服的高性能要求, 硬件设计采用先进的控制芯片 TMS320F2812、三菱第五代 IPM 模块; 电机控制基于矢量控制理论, 采用 $i_d = 0$ 控制方案; 鉴于通讯网络在开放伺服系统中的重要性, 采用可靠性和实时性很高 CAN 总线作为通讯网络, 并探究了基于 CAN 总线传输的代码控制电机的方式。

参考文献:

- [1] 林勇强, 王勇, 冯屹朝. 开放式运动控制技术现状与发展趋势[J]. 信息技术, 2010(5):184-186.
- [2] Mitsubishi. Intelligent Power Modules PM50CL1B060 [EB/OL]. [2009-05-20]. http://www.mitsubishielectric.com/semiconductors/content/product/powermod/powmod/intelligentpmod/11/pm50cl1b060_e.pdf.
- [3] LEM. Current transducer LA 100-P [EB/OL]. [2009-06-12]. <http://www.lem.com/docs/products/la%20100-p%20e.pdf>.
- [4] 辜小兵. 基于 DSP 的交流伺服驱动器的设计与实现[D]. 北京: 冶金自动化研究设计院, 2007.
- [5] Texas Instruments Inc. PMSM3_4 [EB/OL]. [2005-12-06]. <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/sprc179.html>.

PMSM Servo System Based on CAN Bus and TMS320F2812

MEI Yi-cheng, YU Jian-ding*

(Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) is characterized by its robust performance. However, it is difficult to control due to its non-linear, strong coupling and other factors. Controller Area Network (CAN) features in stability, high-speed and real-time, so it is suitable for real time control. This article provides hardware and software solution for PMSM servo system based on transvector control, in which the CAN bus and TMS320F2812. A new motor control code are defined, and the implementation scheme is also given. Experiment results show that the servo controller meets the desired technical requirements.

Key words: CAN; TMS320F2812; vector control; PMSM

(责任编辑 章践立)