



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101860297 A

(43) 申请公布日 2010. 10. 13

(21) 申请号 201010182329. 6

(22) 申请日 2010. 05. 25

(71) 申请人 东南大学

地址 215123 江苏省苏州市工业园区独墅湖  
高教区林泉街 399 号

(72) 发明人 张艳飞

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限  
公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.

H02P 6/08 (2006. 01)

H02P 21/12 (2006. 01)

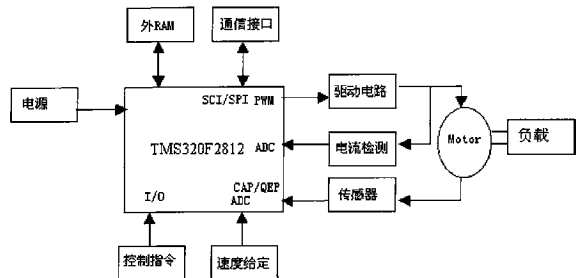
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统及方法

(57) 摘要

本发明公布了一种基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统及方法,所述系统包括电源、DSP 模块、驱动电路、电流检测电路和传感器组。所述方法根据检测到的电动机转速和输入的参考转速,根据转速与转距的关系,通过速度 PI 控制器计算得到定子电流参考输入。提取定子相电流 Ia 和 Ib,然后用 Clarke 变换将它们转换到定子两相坐标系中,使用 Park 变换再将它们转换到 d-q 旋转坐标系中。d-q 坐标系中的电流信号再与它们的参考输入相比较,通过 PI 控制器获得理想的控制量。控制信号再通过 Park 逆变换,送到 PWM 逆变器,从而得到控制定子三相对称绕组的实际电流。本发明简化了系统的外围设备,降低了系统的损耗。



1. 一种基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统,其特征在于包括电源、DSP 模块、驱动电路、电流检测电路和传感器组,其中 DSP 模块的输出端串接驱动电路后分别接永磁同步电机和电流检测电路的输入端,传感器组设置于永磁同步电机的转子上,电流检测电路和传感器组的输出端分别接 DSP 模块的输入端,电源的输出端接 DSP 模块的输入端。

2. 根据权利要求 1 所述的基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统,其特征在于所述传感器组包括分别设置于永磁同步电机的转子上的转子位置传感器和转子速度传感器。

3. 根据权利要求 2 所述的基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统,其特征在于 DSP 模块包括速度单位变换模块、减运算环、速度调节器、电流矢量变换模块、两个电流调节器、PWM 生成器和功率驱动电路,其中速度单位变换模块的输入端接转子速度传感器的输出端,减运算环的输入端分别接外部给定速度信号和速度单位变换模块的输出端,减运算环和转子位置传感器的输出端分别接电流矢量变换模块的输入端,电流矢量变换模块的输出端分别接两个电流调节器的正输入端,两个电流调节器的负输入端分别接电流检测电路的输出端,两个电流调节器的输出端分别接 PWM 生成器的输入端,PWM 生成器的输出端串接功率驱动电路后接驱动电路的输入端。

4. 根据权利要求 1 所述的基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统,其特征在于所述驱动电路由全波整流电路依次串接滤波电路、逆变器构成。

5. 一种如权利要求 1 所述的基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统的控制方法,其特征在于所述方法如下:

采用电流检测电路检测永磁同步电机三相输入电流的任意两相电流  $I_a$  和  $I_b$ ;然后采用速度单位变换模块读取转子速度传感器输出的速度信号计算得到永磁同步电机转子的实际转速,采用电流矢量变换模块读取转子位置传感器输出的电流信号计算得到永磁同步电机转子的转子的角位移  $\theta$ ,将实际转速与给定参考速度经过减运算环得到速度偏移量,采用电流矢量变换模块将所述速度偏移量经过速度调节器后的调节信号与角位移  $\theta$  利用 PI 控制算法,得到定子的参考输入电流;采用电流检测电路检测得到永磁同步电机的输入相电流矢量,调用 Clarke 变换模块把相电流矢量从三相定子 A-B-C 坐标系变换到两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系中;计算  $\sin \theta$  和  $\cos \theta$ ,进行 Park 变换,把相电流矢量从两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系变换到两相旋转 d-q 坐标中;然后分别根据 q 坐标轴和 d 坐标轴上的相电流分量与参考输入电流的偏差,进行电流环 PI 控制,把得到的新电流通过调用 Park 变换,将其变换回两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系中得到 PWM 生成器输入信号;调用 PWM 生成器,计算得到 PWM 信号的占空比,将产生的 PWM 信号经过功率驱动电路后得到驱动信号输出至驱动电路,驱动三相永磁同步电动机,实现完整的控制。

## 基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统及方法。

### 背景技术

[0002] 目前,电动机控制系统的实现方法主要有以下几种:

[0003] (1) 以模拟电路硬接线方式建立的电机控制系统。

[0004] (2) 以微控制器为核心的电机控制系统。

[0005] (3) 在通用计算机上用软件实现的电机控制系统。

[0006] (4) 利用专用芯片实现的电机控制系统。

[0007] (5) 用 FPGA/CPLD 等可编程逻辑器件实现的电机控制系统。

[0008] (6) 以可编程 DSP 控制器为核心构成的电机控制系统。

[0009] 在这 6 种主要的电机控制系统实现方式中,第一种实现方法为模拟控制系统,而其他 5 种都属于数字控制系统。这些方法各有优缺点,分别适合于不同的应用场合。

### 发明内容

[0010] 本发明目的是针对现有技术存在的缺陷提供一种基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统。

[0011] 本发明为实现上述目的,采用如下技术方案:

[0012] 本发明基于 DSP 控制的永磁同步电机控制系统,其特征在于包括电源、DSP 模块、驱动电路、电流检测电路和传感器组,其中 DSP 模块的输出端串接驱动电路后分别接永磁同步电机和电流检测电路的输入端,传感器组设置于永磁同步电机的转子上,电流检测电路和传感器组的输出端分别接 DSP 模块的输入端,电源的输出端接 DSP 模块的输入端。

[0013] 优选地,所述传感器组包括分别设置于永磁同步电机的转子上的转子位置传感器和转子速度传感器。

[0014] 优选地,DSP 模块包括速度单位变换模块、减运算环、速度调节器、电流矢量变换模块、两个电流调节器、PWM 生成器和功率驱动电路,其中速度单位变换模块的输入端接转子速度传感器的输出端,减运算环的输入端分别接外部给定速度信号和速度单位变换模块的输出端,减运算环和转子位置传感器的输出端分别接电流矢量变换模块的输入端,电流矢量变换模块的输出端分别接两个电流调节器的正输入端,两个电流调节器的负输入端分别接电流检测电路的输出端,两个电流调节器的输出端分别接 PWM 生成器的输入端,PWM 生成器的输出端串接功率驱动电路后接驱动电路的输入端。

[0015] 优选地,所述驱动电路由全波整流电路依次串接滤波电路、逆变器构成。

[0016] 所述方法如下:采用电流检测电路检测永磁同步电机三相输入电流的任意两相电流  $I_a$  和  $I_b$ ;然后采用速度单位变换模块读取转子速度传感器输出的速度信号计算得到永磁同步电机转子的实际转速,采用电流矢量变换模块读取转子位置传感器输出的电流信号计算得到永磁同步电机转子的转子的角位移  $\theta$ ,将实际转速与给定参考速度经过减运算环

得到速度偏移量,采用电流矢量变换模块将所述速度偏移量经过速度调节器后的调节信号与角位移  $\theta$  利用 PI 控制算法,得到定子的参考输入电流;采用电流检测电路检测得到永磁同步电机的输入相电流矢量,调用 Clarke 变换模块把相电流矢量从三相定子 A-B-C 坐标系变换到两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系中;计算  $\sin \theta$  和  $\cos \theta$ ,进行 Park 变换,把相电流矢量从两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系变换到两相旋转 d-q 坐标中;然后分别根据 q 坐标轴和 d 坐标轴上的相电流分量与参考输入电流的偏差,进行电流环 PI 控制,把得到的新电流通过调用 Park 变换,将其变换回两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系中得到 PWM 生成器输入信号;调用 PWM 生成器,计算得到 PWM 信号的占空比,将产生的 PWM 信号经过功率驱动电路后得到驱动信号输出至驱动电路,驱动三相永磁同步电动机,实现完整的控制。

[0017] 本发明简化了系统的外围设备,降低了系统的损耗,目标控制系统效率变得更高,运行起来更安静,而且提高了系统的准确性和实时性,获得了更好的控制效果。DSP 控制器在实现全数字化电动机控制系统方面有着无可比拟的优势,尤其是在交流电动机的控制方面。TI 公司最新推出的 TMS320F2812 芯片,可用于各种数字伺服控制系统和嵌入式控制系统。是到目前为止用于数字控制领域性能最好的 32 位定点 DSP 芯片。TMS320F2812 不但把许多在马达控制中常用的硬件电路固化在芯片中,并且提供了充分的程序空间、外围口线和强大的运算能力,足以保证各种复杂控制算法能够在此平台上得以实现,从而满足人们对电动机控制越来越高的性能要求。DSP 能够实现诸如无传感器控制等各种实时算法,从而减少系统元器件,大大降低系统成本。

#### 附图说明

- [0018] 图 1:统原理框图;
- [0019] 图 2:永磁同步电动机控制功率驱动电路拓扑图;
- [0020] 图 3:基于 DSP 的永磁同步电动机调速控制系统硬件简图;
- [0021] 图 4:TMS320F2812 的基本外围电路;
- [0022] 图 5:软件主程序总体设计框图;
- [0023] 图 6:中断服务程序流程框图;
- [0024] 图 7:控制模块流程框图。

#### 具体实施方式

[0025] 下面结合附图对发明的技术方案进行详细说明:

[0026] 如图 1 所示,转速给定由 DSPs 的 ADC 口输入,DSP 提供 6 路 PWM 输出至三相功率逆变器。逆变器中的两相接有采样电阻,电阻上的分压被放大,通过 ADC 通路送入 DSP 控制器中。DSP 在每个 PWM 周期中采样电动机定子的相电流。电动机的轴上固定有光电编码器,从而可以获得电动机转子的转动角度。光电编码器的输出直接连到 DSP 的 QEP/CAP 口线上,DSP 可以通过读取 QEP 的脉冲值转子的位子角。这样,就可以实现永磁同步电动机的控制算法。

[0027] 本发明利用 TMS320F2812DSP 控制器实现电动机控制系统的设计。

[0028] 永磁同步电动机的速度控制过程可以简单描述为以下过程:

[0029] 首先,根据检测到的电动机转速和输入的参考转速,根据转速与转距的关系,通过

速度 PI 控制器计算得到定子电流参考输入。定子相电流  $I_a$  和  $I_b$  通过相电流检测电路被提取出来,然后用 Clarke 变换将它们转换到定子两相坐标系中,使用 Park 变换再将它们转换到 d-q 旋转坐标系中。d-q 坐标系中的电流信号再与它们的参考输入  $I_{sqref}$  和  $I_{sdref}$  相比较,其中  $I_{sdref} = 0$ ,通过 PI 控制器获得理想的控制量。控制信号再通过 Park 逆变换,送到 PWM 逆变器,从而得到控制定子三相对称绕组的实际电流。外环速度环产生了定子电流的参考值,内环电流环得到实际控制信号,从而构成一个完整的速度双闭环系统。

[0030] 通过以上分析,大概可以确定系统设计的几大模块:

[0031] (1) DSP 本身与外围芯片接口的设计。

[0032] (2) 相电流检测部分的设计。

[0033] (3) 转子位置角度和速度信号的检测。

[0034] (4) PI 控制器的设计。

[0035] (5) 矢量在坐标系间的变换。

[0036] (6) 空间矢量 PWM 信号的产生。

[0037] (7) 电动机功率驱动模块的设计。

[0038] 本发明选用的是实验永磁同步电动机,其三相定子绕组采用星形(丫形)接法,反电动势为正弦波形,且具有以下电气结构:

[0039] 定子相感抗 :4.8mH

[0040] 额定转距 :2.2Nm

[0041] 额定转速 :3000r/min

[0042] 额定功率 :690W

[0043] 机械时间常数 :1.5ms

[0044] 电气时间常数 :2.3ms

[0045] 永磁体类型 :NdFeB

[0046] 电动机功率驱动板可以选用 ACPM750E,它集成了 IR 公司的 IRPT1056C,包含一个整流桥和三相高速 IGBT 逆边器。图 2 为这个转换电路的拓扑图。在实际设计时,还考虑了所有功率器件的安全保护,如断电、容错、反向二极管、电流峰值保护等。此外,这块板卡也可同时驱动增量式光电编码器,获得电动机转子位置信号;提供了两路电流反馈信号通路,可以测量定子的相电流;电动机的转速信号通过可调增益电路放大,直接送到 DSP 控制板中。控制电路可以选用 TI 公司的 TMS320F2812 板,它可以直接与电动机驱动板相连接。它包括一块型号为 TMS320F2812 的 DSP 控制芯片、晶振、JTAG 口、RS-232 串行接口以及预留的输出口线。电机控制系统的硬件简图如图 3。

[0047] TMS320F2812 的基本外围接口电路如图 4。

[0048] 系统的软件设计可简单分为两个部分:一个是系统的主程序模块,一个是电机的控制模块。其中第一个模块包括系统的初始化和参数的初始化,而在第二个中,完整的控制算法都将在 PWM 中断服务程序中得到执行,其运行的频率和 PWM 的频率完全一样。可以在 PWM 的等待循环中加入一些控制信息显示模块,从而更加方便地直接观测到系统运行的信息。

[0049] 图 5 是基于 TMS320F2812 电机控制系统软件主程序总体设计框图。从图中我们可以清楚的看到系统软件的主体流程。首先,系统进行对 TMS320F2812 以及其他外围器件

的初始化工作；然后设置允许中断 INT2 和 INT4，其中 INT4 响应光电编码器的零标记脉冲，INT2 在 TIMER1 计数溢出响应，执行系统的控制模块；此外还要进行一些运行参数和控制循环的标记的设置；最后就进入后台等待状态，随时响应各种中断，运行中断服务程序。

[0050] 中断服务程序的简单设计框图如图 6 所示。它们在结构上都比较类似，都遵循响应中断、系统状态保护、清中断标记、执行中断服务、恢复系统状态、结束这样的基本顺序。

[0051] 图 7 为系统控制主流程框图。首先，系统要提取相电流的检测量  $I_a$  和  $I_b$ ；然后读取光电编码器，计算转子的角位移  $\theta$  和实际转速，根据实际转速与参考速度的偏移量，利用 PI 控制算法，得到定子电流的参考输入；调用 Clarke 变换模块把相电流矢量从三相定子 A-B-C 坐标系变换到两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系中；计算  $\sin \theta$  和  $\cos \theta$ ，进行 Park 变换，把矢量从两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系变换到两相旋转 d-q 坐标中；然后分别根据 q 坐标轴和 d 坐标轴上的相电流分量与参考电流的偏差，进行电流环 PI 控制，把得到的新电流通过调用 Park 变换，将其变换回两相静止  $\alpha-\beta$  坐标系中；在调用空间矢量 PWM 产生模块，计算得到 PWM 信号的占空比，送到 TMS320F2812 的 PWM 控制寄存器中；将产生的 PWM 信号送入逆变桥，驱动三相永磁同步电动机，实现完整的控制。

[0052] TMS320F2812 强大的片上外设功能（如 PWM 脉冲发生器、AD 转换器、数字 I/O 口等）使得它从硬件机制上可以很好的满足其电动机控制系统的要求。TMS320F2812 可以实时地执行一些高精度的复杂控制算法，减少传感器信号采样到控制命令输出之间的延迟，高效的处理能力使它可以减少转矩波动和谐波误差，改善速度控制中的动态行为。同时，该芯片采用深亚微米 CMOS 工艺制造，功耗极低。

[0053] 用 TMS320F2812DSP 芯片作为电机控制系统中的控制器，除了完成要求的功能外，还可以具有保护、故障监视、自诊断以及与上位管理机通信等功能。另外，改变控制策略、修正控制参数和模型也变得简单易行。这样就大大提高了整个系统的性能，可靠性及实用性。

[0054] 可以看到，基于 TMS320F2812 构成的电动机控制系统具有传统的单片机电动机控制系统和专用的芯片电动机控制系统的优势，即专用的电动机控制机制、用户可编程、扩展能力强、功能强大等；同时又克服了它们各自的缺点，如外设和存储器集成在芯片内，可节省印刷电路板面积、减少系统中器件的个数、提高了 CPU 的处理能力。另外，随着电子技术的不断发展，芯片的成本不断下跌，使得最终系统的性价比很高。

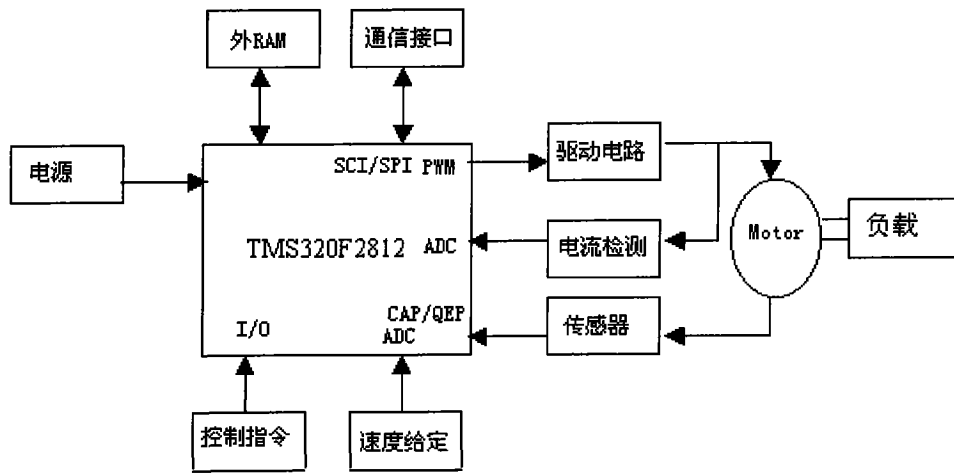


图 1

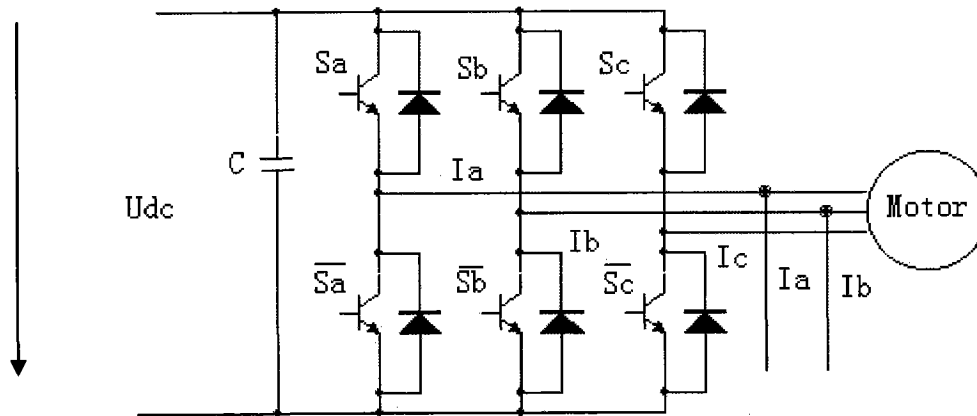


图 2

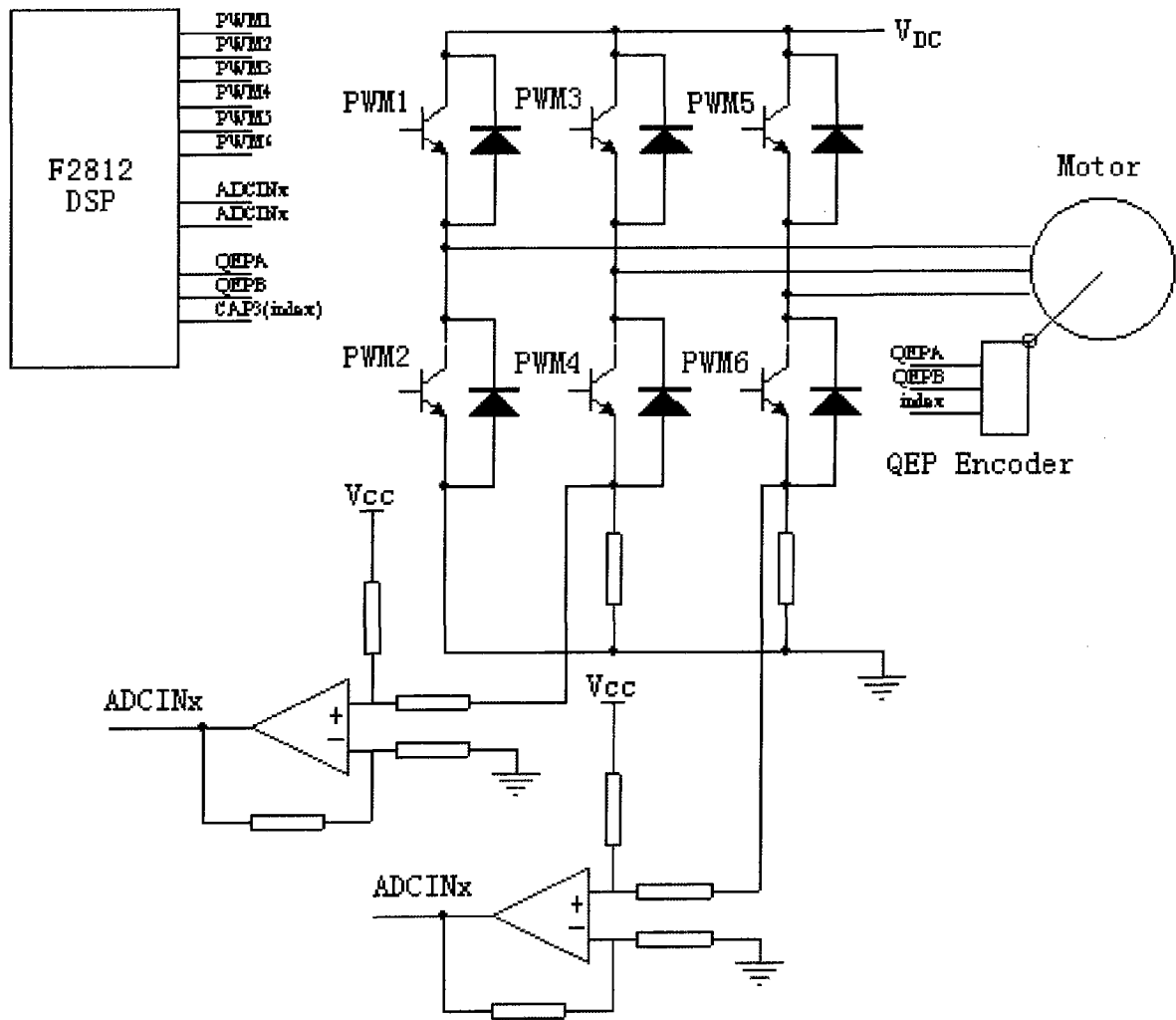


图 3



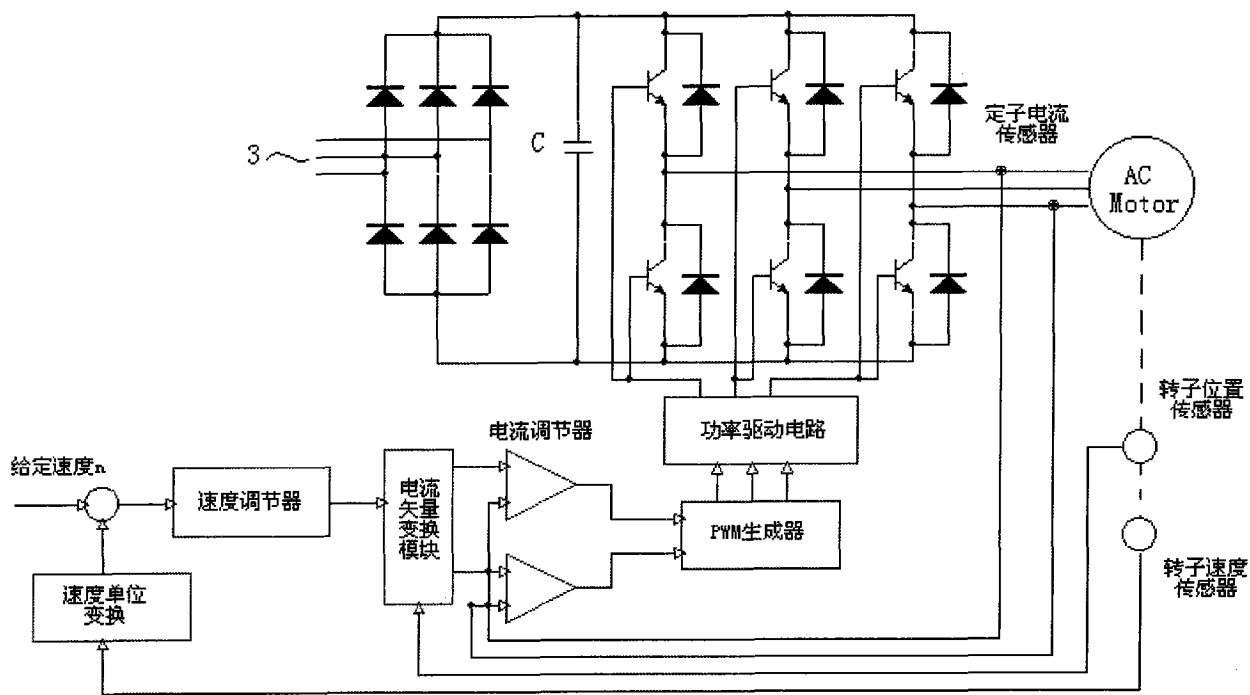


图 4

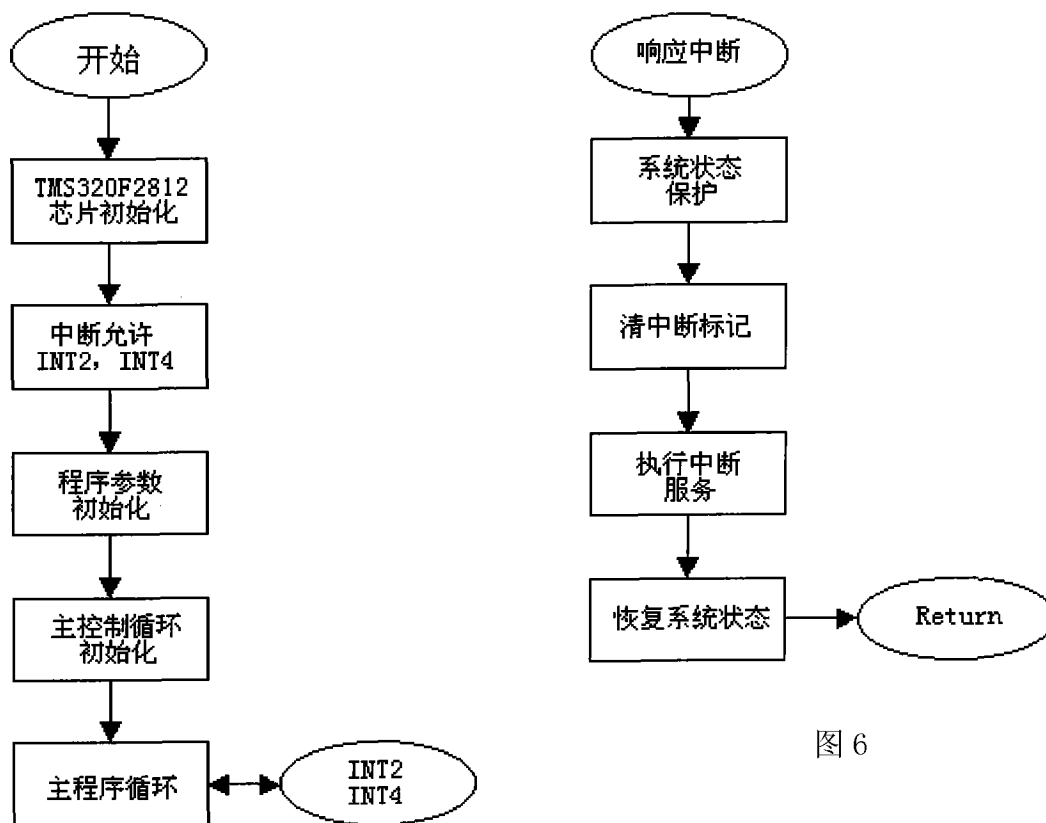


图 6

图 5

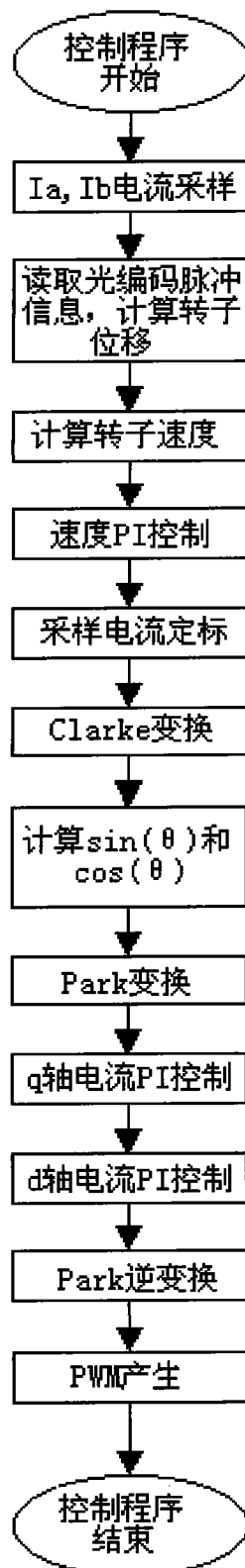


图7