

一种基于 TMS320F2812 的伺服电机控制的典型解决方案

冯仕锦, 曹鸣

(东南大学自动控制系, 江苏 南京 210096)

摘要: 本文先简单介绍了目前常见的几种电机控制方案, 然后给出了一种用 TI 公司的 TMS320F2812 DSP 和三菱系列第四代智能功率模块实现伺服异步电机调速系统的解决方案。在调速系统工作的同时实时的将数据传到上位机进行分析计算。软件设计部分重点介绍了如何进行转速的测量。

关键字: 交流调速; TMS320F2812; DIP-IPM; PS21564

中图分类号: TP271

文献标识码: A

0 引言

交流异步电机有结构简单、体积小、重量轻、价格便宜和维护方便等特点, 但由于变频装置昂贵及调速性能差, 所以在实际应用中的使用受到限制。随着计算机技术、电力电子技术和控制技术的发展, 原来限制它使用的原因已不复存在。当前伺服系统正朝着高精度化、集成化和全数字化方向发展。目前, 高精度伺服控制器产品都已普遍采用专用 DSP 控制芯片、专用集成电路(ASIC)和现场可编程门阵列(FPGA)等技术组成控制核心, 应用空间矢量脉宽调制理论对电机进行控制。本文就是基于空间矢量控制的基本原理, 介绍了一种典型的基于 TMS320F2812 实现的伺服控制方法, 采用 DSP 和智能功率模块 PS21564 组成全数字化的交流伺服驱动系统。

1 目前常见的电机控制方案

电机控制理论、电力电子技术的发展以及计算机技术在控制领域的应用取得的新进展, 特别是 DSP 和专用集成电路近年来取得的巨大发展, 给电机控制系统带来了新的契机。目前有的变频器采用单片机来控制。但是单片机的处理能力有限, 特别是采用矢量控制的系统, 由于需要的数据计算量大, 实时性和精度要求高。单片机往往不再能满足要求。而随着 DSP 的性能价格比的进一步提高, 已经有越来越多的用户开始选用 DSP 器件来提高产品的性能。控制算法方面, PWM 技术已经广泛的运用于电机控制。目前 PWM 控制信号中最常见的有正弦脉宽调制 (SPWM) 和空间矢量脉宽调制 (SVPWM)。而 SVPWM 方法具有的直流电压利用率高、电压谐波小、便于数字化实现的优点使得它具有了无可争议的优势^[1]。

电机控制领域常用的 DSP 多为定点 DSP, 所以对浮点数的运算要经过软件处理, 因此会增加软件的复杂性。而要完成电机的高性能控制, PWM 调制必须进行优化设计。这样以来一个 DSP 很难完成矢量控制和优化的 PWM 调制两项工作。所以有的设计方案就采用了双 DSP 的矢量控制方式。利用具有浮点计算功能的 DSP 完成矢量控制计算, 发挥了它浮点运算快的特点。而定点 DSP 则用来实现 PWM 调制功能^[2]。这种方式利用了两种 DSP 各自的特点, 使得控制的性能得到了很大的提升。但这种方式也会相应的增加系统的设计困难和成本。

本文介绍的是一种采用 TI 公司的 TMS320F2812 定点 DSP 和一个单片机实现的控制方案。方案的特点在于采用的也是双 CPU 的控制, 不同的是矢量控制的工作全部在 DSP 上完成, 而单片机则用于将 DSP 采集的实时信号上传到上位机进行分析, 同时单片机可以通过按键取得用户输入的电机运行参数。本系统在注重实用性的同时也兼顾了在实验室里对系统的数据进行分析的需要。

2 系统的硬件结构

本文设计的全数字控制系统的硬件结构如图 1 所示。系统主要包括电机定子电流、电压检测单元、速度检测单元, PWM 信号输出和保护单元、IPM 智能功率模块单元和 DSP 和上位机的数据通信单元, 下面分别对这些单元进行介绍。

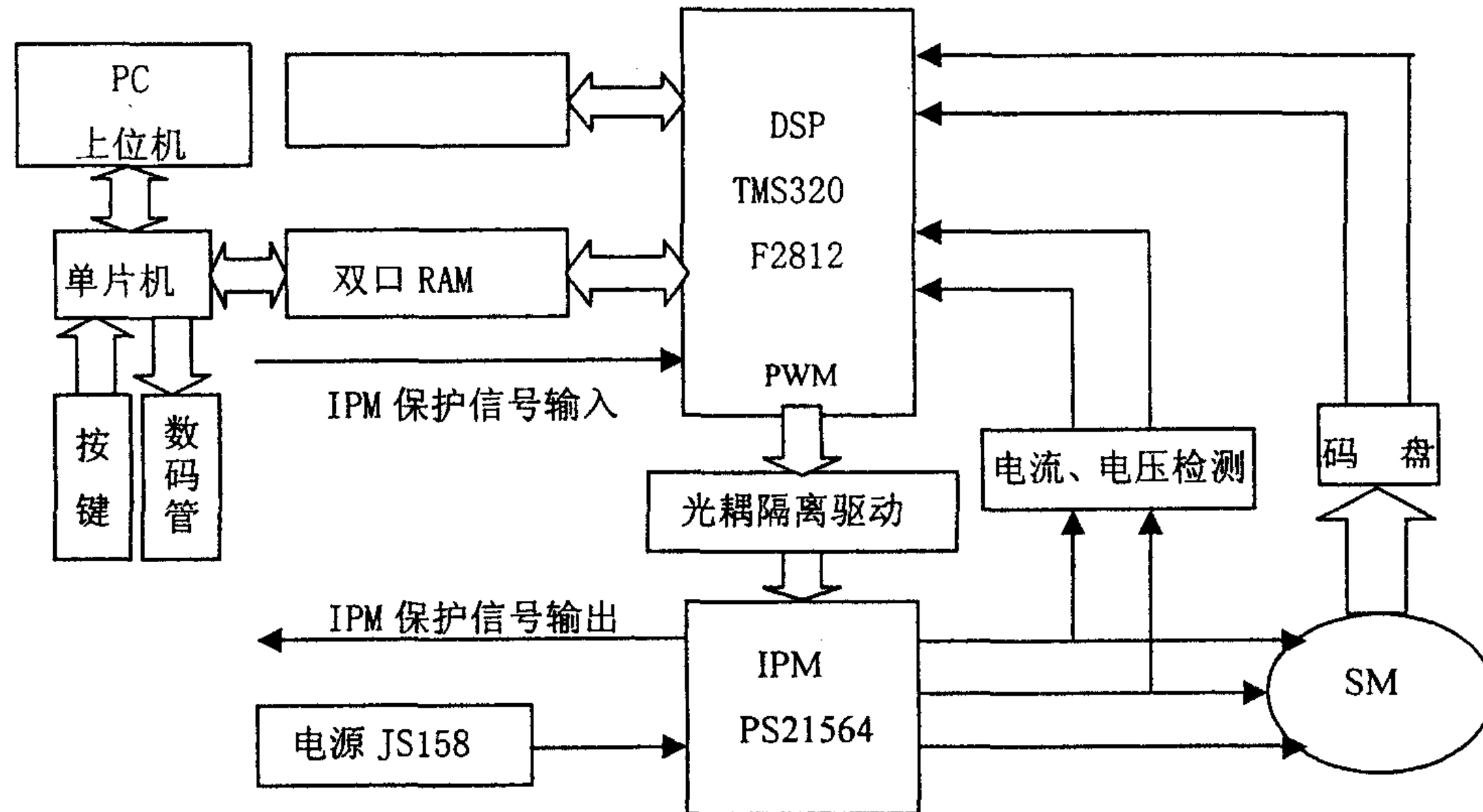


图 1 调速系统的硬件实现框图

2.1 定子电流、电压检测模块

矢量控制系统要求两相电流作为输入, 对于三相电动机通常需两路反馈信号。TMS320F2812 内部有 16 路 12 位 A/D 转换器, 转换时间可编程设置。利用电流、电压检测模块采样电机的两相电流、电压 (有正负), 由于 DSP 片内的 ADC 模块要求输入 0~3V 的单极信号, 因此首先需将模块输出的小电流信号转换为电压信号, 并且要进行放大和偏置调整, 然后送到 TMS320F2812 内进行高速 ADC 转换。用双 A/D 转换对 A、B 两相电流同时连续采样, 使采样到的为同一时刻电流, 并且缩短了采样时间, 提高了装置动态性能, 保证了系统精度。

2.2 正交编码脉冲测速模块

转速检测模块的转速反馈信号来自于伺服电机的增量式光电编码器。光电编码器输出 2 路相差 90° 的正交脉冲, 两路正交脉冲信号经整形后直接送入 DSP 的正交编码脉冲接口单元 (QEP)。光电编码器输出 A 相接入 DSP 的 CAP1/QEP1 引脚, B 相接入 CAP2/QEP2, 注意如果码盘输出和 DSP 引脚之间的距离比较长, 则接口之间最好经过差分驱动以去除共模干扰, 如果距离较短可以通过高速光耦来隔离。DSP 的编码脉冲接口单元将输入的两路光电编码器脉冲的 4 个边沿加工成 4 倍频的计数脉冲信号和计数方向信号, 从而获得电机的转速信息和转向信息。四倍频的计数脉冲信号提高了电机转速的分辨率。

2.3 主电路逆变模块

IPM (intelligent power module) 器件是比较先进的混合集成功率器件。它是将变频器主回路的功率器件 IGBT 全部集成在一个器件内。它不仅把功率开关器件和驱动电路集成在一起, 而且内置过电压、过电流和过热等故障检测电路, 并可将检测信号送到 DSP 作中断处理。它由高速低功耗的管芯和优化的门极驱动电路以及快速的保护电路组成, 即使发生负载事故或使用不当, 也可以 IPM 自身不

受损坏。

本方案选用的是三菱 PS21564 (15A/600V/0.75KW), 它比较适合于小功率电机的驱动。关于 PS21564 的详细信息和具体使用方法请参考文献[6]。

2.4 PWM 脉冲输出和保护电路

在计算出了逆变器的导通时间后, 在 TMS320F2812 上实现 SVPWM 有两种方式, 可以利用 DSP 特有的硬件 SVPWM 功能实现, 也可以用软件编程的方法实现。但是在实际应用中可以发现硬件模式产生 SVPWM 时谐波分量比软件模式的多, 所以电机表现出来的转矩脉动也相应的增多, 但硬件模式比软件模式占用的 CPU 时间也少, 同时逆变器开关次数较少。因而, 软件模式适合应用于调速要求高的系统中, 本系统采用的是软件模式, 具体的软件流程见软件设计部分。输出的 PWM 信号经过光电耦合后用以驱动 IPM。

为了提高系统中功率转换电路及电机工作的可靠性, TMS320F2812 提供了 PDPINT 输入引脚, 利用它可方便地实现各种保护。IPM 本身有过(欠)压, 过流, 短路和过热探测等保护电路故障保护功能, 当故障出现时, 产生低电平信号进入 DSP 的 PDPINT 引脚, 产生保护中断, DSP 立即停止产生 PWM 控制信号, 这时 IPM 工作停止工作, 实现了保护功能。

2.5 DSP 和上位机的数据通信

为了对 DSP 采集到的数据进行显示并分析, 系统可以采用 PC 机作为上位机, 上位机可以向 DSP 发送控制参数, 并将 DSP 传送过来的电机实时信息用图表显示出来。DSP 需要上传给上位机的数据包括两路电流(电压)信号和电机速度信号。

如果 DSP 在做大量数据运算的同时还需要实时上传数据给上位机, 那么 DSP 的负担是比较大的。可以采用单片机来进行和上位机的通信, 同时单片机可以给 DSP 发送电机运行的参数信息, 如转速等。DSP 则用来处理矢量控制所需的大量运算。单片机和 DSP 之间数据交换采用双口 RAM 实现。DSP 将采样到的定子电流和转速信息等输入双口 RAM, 为单片机提供上传数据。并且为了确保数据信息的准确, 在存取数据时首先要检测相应的标志位。这种双机信息共享和数据并行传输的方式能够满足系统的实时性高的要求。

3 系统的软件设计

对于全数字交流调速系统, 软件开发占据了很大部分的工作。下面主要介绍 DSP 上的软件部分。DSP 程序主要包括主程序和 SVPWM 中断程序。其中主程序完成 DSP 的初始化, 参数设定, 故障判断等功能, 而 SVPWM 中断驱动程序是在每一个 PWM 周期里完成电流采样, 计算出下一个 PWM 周期的三个比较寄存器的比较值, 并送入到比较寄存器中, 因此首先要计算出每个 PWM 周期中相邻两个矢量各自的作用时间。SVPWM 中断程序流程图见图 2。

转速测量是中断程序中很重要的一部分, 常用的数字测速方法有 M 法、T 法和 M/T 法。M 法测速原理是在一规定的时间内, 根据光电编码器所产生的脉冲数来计算转速, 它实际上是测量光电编码器所产生的脉冲频率, 因此适合于测量较高的转速; T 法测速是通过测量光电编码器所产生的相邻的两个脉冲之间的时间来确定被测转速, 这种方法实际上是测量脉冲的周期, 因而适合于测量较低的转速; 而 M/T 法则是前两种方法的结合, 它在整个速度范围内都有良好的准确性。但对于低速测量来说, 使用该方法需要较长的检测时间才能保持结果的准确性。因此无法满足一个转速检测系统快速动态响应的要求。

为了保证测速结果在整个转速范围内的准确性和分辨率并满足快速的动态响应要求, 将速度范围分为两部分, 并分别采用两种方式进行检测。电机运行在高速段时采用 M/T 法, 而运行在低速段时采用 T 法。程序设计的关键在于能够及时进行两种方式的转换, 以减小对速度采样的影响。这里采

用设置标志位的方法来实现。在程序中放置一个标志位变量，1表示下一次测量转速采用M/T法，而0表示下一次采用T法测量转速。为解决在速度测量中出现速度测量方式频繁切换的问题，方案设置了速度死区，在死区中速度检测方式不进行切换。设M/T法能够测量的最低转速为 n (r/min)，先根据标志位选择本次转速测量的方法。如果本次用的是M/T法测量转速，并且测得的转速小于 $n+n_1'$ (n_1' 为一小裕量)。则置标志位为0，表示下一次用T法测量转速。而如果本次用的是T法测量转速，并且测得的转速大于 $n+n_2'$ ，则置标志位为1，表示下一次采用M/T法测量转速。这里 $n_2' - n_1'$ 即为所设置的速度死区的宽度。

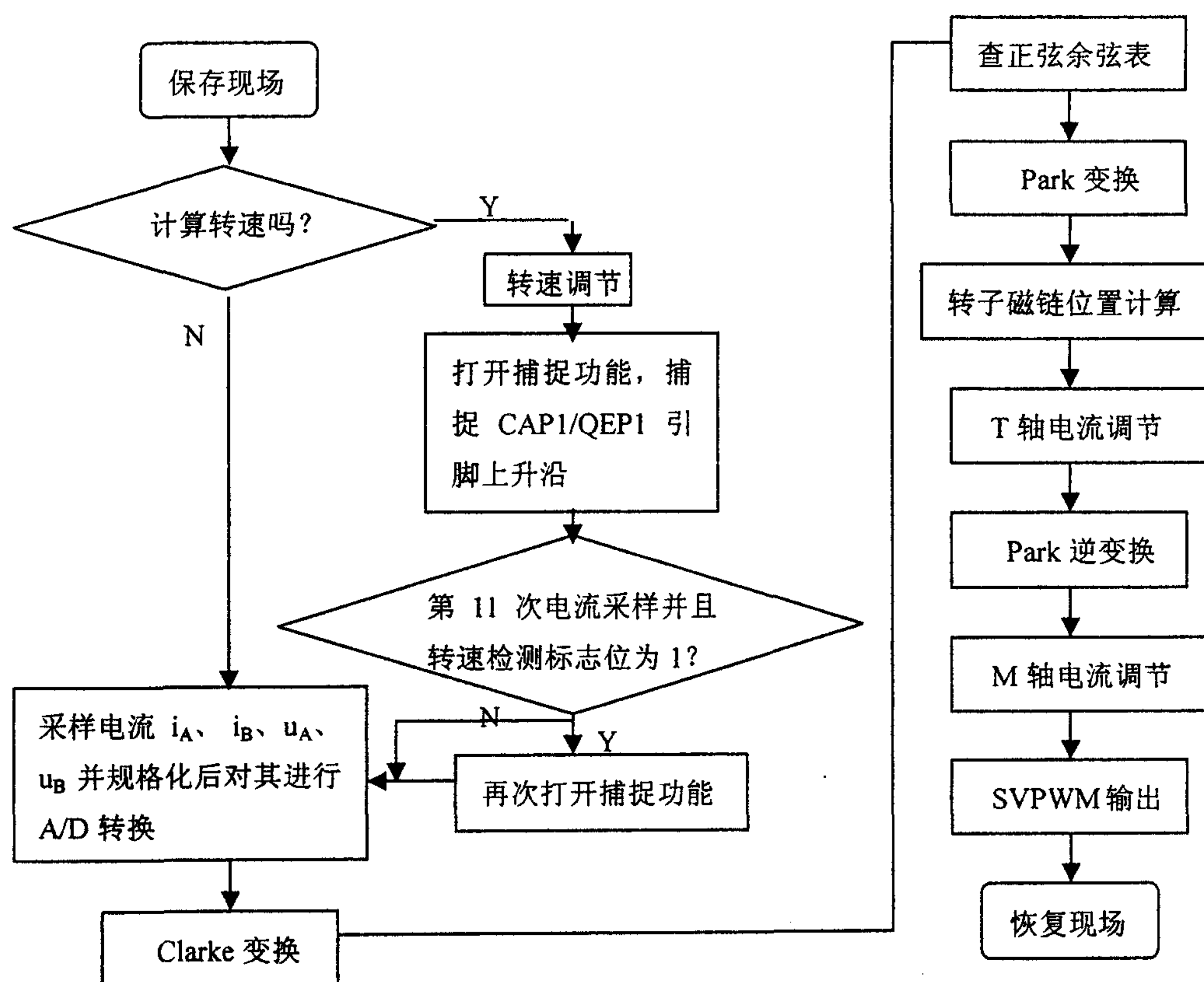


图 2 SVPWM 中断子程序

方案中DSP电流检测中断采样时间采用 $100\mu\text{s}$ 。每采样20次电流采样一次转速，即转速采样周期为 2ms 。先介绍一下M/T法的测速方式。每次电流采样时，如果需要测量转速，则先打开捕获。当捕捉到码盘输出脉冲上升沿时，同时启动高频时钟脉冲计时器T1和码盘输出脉冲计数器T2，然后立即关闭捕获功能。经过 1ms 时，完成M/T法中M法测量的部分，此时再打开捕获。当检测到码盘输出脉冲上升沿时，同时读取两个定时器的数值，完成M/T法中T法测量的部分。即在 2ms 中，分别在第1次和第11次两次打开捕捉功能。这样利用DSP对码盘输出脉冲沿的捕获实现了计数和计时的同步。脉冲计数器前后两次捕获值的差值代表码盘输出脉冲数，而高频时钟脉冲计数器两次捕获值的差值则表示时间。转速测速周期的后面一个 1ms 为等待时间，是为等待下一个码盘输出脉冲上升沿所预留的时间。该方法能够测量出来的最低转速与码盘的光栅数有关，即在采样周期的后 1ms 等待时间中，必须保证至少有一个完整的码盘输出脉冲。如果光电码盘每转输出2500个脉冲，则此方法能够计算出来的电机的最低转速为（码盘脉冲已经四倍频处理）：

$$\frac{60}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 \cdot 4} = 6 \text{ (r/min)}$$

T法的测速方式是检测一个编码脉冲周期来计算转速,如果采样时间为2ms,则必须保证在2ms中至少有一个完整的码盘输出脉冲。因此它能够测量的最低转速为:

$$\frac{60}{2 \times 10^{-3} \times 2500 \times 4} = 3 \text{ (r/min)}$$

关于T法计算转速的具体过程请参考相关文献。M/T法和T切换法测量转速的流程图见图3。两种测速方法都需要两次捕捉引脚的上升沿,不同之处在于T法的两次捕捉之间捕捉功能一直没有关闭。如果需要测量更低的转速,则可以适当延长速度采样时间,提高码盘的光栅数,或者采用硬件中断等待码盘脉冲的方法^[8]。

DSP电流检测中断采样时间采用100 μ S,当DSP工作在150MHZ时钟频率时,指令周期为6.67ns。这样每个中断过程总的计算不超过20 μ S。完全满足了系统的要求。

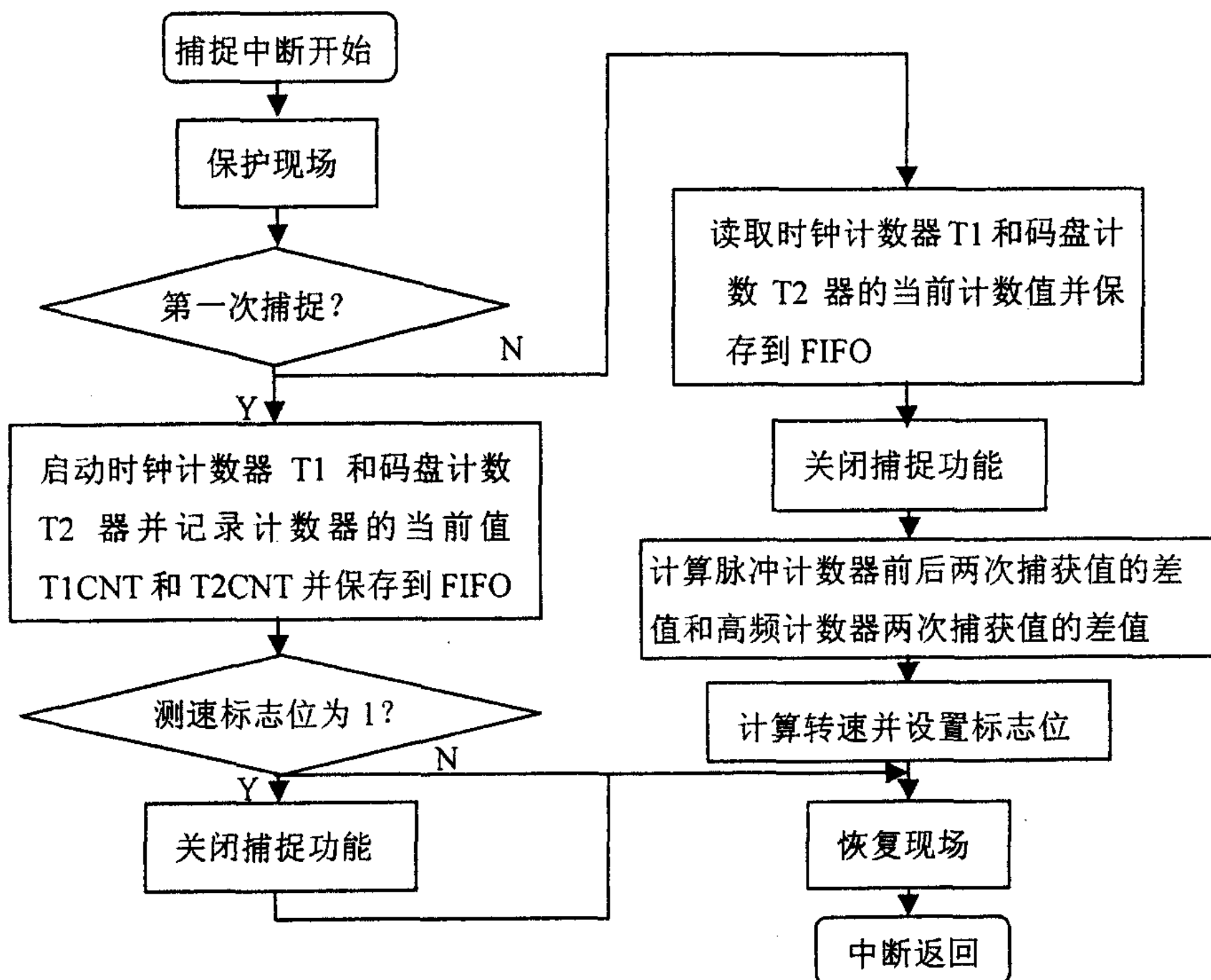


图3 M/T和T法切换测量转速中断流程

4 结束语

采用 DSP 和 IPM,硬件电路得到了简化,提高了系统控制性能。SVPWM 易于实现且电压利用率高,并且降低了电机的转矩脉动和电机噪声。M/T 和 T 法互相切换的转速测量方式则考虑到了准确性和快速性两个方面的要求。选用智能功率模块和数字信号处理器,可以减少设计时间,减少安装和布线时间,减小整个系统的体积,提高系统的可靠性。单片机的使用则可以减轻 DSP 与上位机的通信负担,同时可以向 DSP 发送电机运行参数信息。而上位机的使用则弥补了 DSP 人机界面不友好的缺点,并且能够将数据进行直观的图表显示。本解决方案典型实用,具有较好的研究和实用价值。

参考文献

- [1] 王庆利, 鞠大亮. 电动汽车中感应电机的数字控制系统[J]. 电气传动, 2005, 35(1): 13-15.
- [2] 赵镜红, 张俊洪, 杨涛. 异步电机双DSP矢量控制系统的研究[J]. 中小型电机, 2003, 30(2) : 31-33.
- [3] 林立, 李晓静, 蒋云峰. 基于 DSP 的 SVPWM 矢量控制数字化变频调速系统研究[J]. 电气传动自动化, 2004, 26(4): 5-8.
- [4] 赵文祥, 刘国海等. 基于DSP的全数字矢量控制SVPWM变频调速系统[J]. 电机与控制学报, 2004, 8(2): 175-178.
- [5] 王晓明, 王玲. 电动机的DSP控制——TI公司的DSP应用[M]. 北京航空航天大学出版社, 2004.166-167.
- [6] DIP-IPM 设计手册[M]. 上海嘉尚电子有限公司.
- [7] 陈云窗, 侯朝. TMS320C31 和 80C196 双 CPU 构成的高速实时控制系统[J]. 集成电路应用, 2001(8): 76-78
- [8] 江明. 新型高精度测速方法探讨[J]. 安徽机电学院学报, 1997, 12(3): 52-55.

A Typical Method of the Control of Induction-Motors

Based on TMS320F281

FENG Shi-jin, CAO Ming

(Department of Automatic Control, Southeast University, Nanjing
Jiangsu, 210096, China)

Abstract: This paper first simply introduces some Induction-Motors control method being used presently, then with TI's TMS320F2812 and Mitsubishi's forth generation IPM., an entire digital Induction-Motor variable speed system is introduced, which is practical and widely used in applications, and also the real-time data is uploaded to the PC to get to be analyzed.

Key words: TMS320F2812; DIP-IPM; PS21564