

# 适用于大型变电站工作的双驱动电动四轮车控制系统设计

孟红强

(江苏省电力公司检修分公司苏州分部, 江苏 苏州 215004)

**摘 要:** 电动四轮车采用无刷直流电机作为执行元件, 该类电机具有噪声小、换相可靠、控制精度高以及维护方便等诸多优点。这些优点使它非常适合在大型变电站中工作, 以减轻运行人员操作和巡视的体力和精力支出, 大大提高工作效率。该论文阐述了无刷直流电机的工作原理, 并对其控制方法进行了研究, 提出了应用 DSP 芯片和无刷直流电机实现的适用于大型变电站的电动四轮车控制系统方案, 并完成其硬件和软件的基本设计。最后对总系统运行测试, 验证了该控制系统应用上的可行性。

**关键词:** 电动四轮车; DSP; 变电站; 双驱动; 无刷直流电机

## 0 引言

电动四轮车已经开始出现在人们的生活中, 它以噪声小、操控方便以及生产、运行成本低等优点获得了人们的青睐, 成为大家不可或缺的生活助手。然而, 我们运行值班员常年驻扎在城市郊外甚至远郊, 工作在远离人群的地方, 因此几乎与电动车绝缘。

但是, 随着国家电网三集五大的继续推进, 我们省检修分公司电力事业获得了蓬勃发展, 超大规模变电站不断的出现在我们的工作中, 如 500kV 常熟南、吴江变以及即将诞生的 1000kV 苏州变等。大规模变电站的出现推动电网优化发展的同时, 也给我们运行值班员带来了长距离的巡视和穿梭般跋涉操作。在无任何能动性工具的帮助下, 这大大消耗了值班员的体力和精力, 容易导致疲惫工作, 也不符合国家大型企业的现代化和专业化特征。应此需求, 适用于大型变电站工作的电动四轮车具有其鲜明的研发价值。

电动四轮车以电能为驱动能源, 便于就地获取能量, 因此可以终年在变电站内闭门效力, 提高其应用的安全性和专业化; 我们在电动四轮车上附加其他专业化的设计, 如防雨、防晒设施以及专业化的工器具摆放空间和钥匙箱等, 就可以为我们的日常工作提供更多的帮助(参考模型如图 1 所示)。本电动四轮车依靠锂电池工作, 依靠充电来获取能量, 是一个专门效力于变电站和值班员的电动四轮车。



图 1 大型变电站用电动四轮车参考模型

电动四轮车研发的重点在四轮转动装置的控制和驱动上, 此论文将针对该四轮电动车提出适合其特征的控制和驱动方案。

该文所论及电动四轮车是以无刷直流电机为转动机构, 以 Ti 公司生产的 DSP 芯片 TMS320LF2407 为控制芯片, 以三菱公司的 IPM PS2156 为驱动模块。电动四轮车前轮控制方向, 后面两个车轮各由一台电机驱动, 两台电机分别对应一组驱动电路。

两驱动电路分别做成两块驱动 PCB 电路板, 以防止一路驱动回路故障更换整个驱动电路板的情况, 从而节约了成本。控制电路以 DSP 芯片为核心, 两条控制回路由一片芯片控制, 这充分利用了单片 DSP 芯片本身的功能, 节约了芯片数量。同时控制回路为 3-5V 弱电回路, 其安全性能要远远大于驱动回路, 因此控制回路做成一块 PCB 电路即经济又安全, 而且也缩小了电动四轮车控制装置体积。

电动四轮车后面两个车轮分别由一台电动机提供动力, 两台电机驱动电路必须相互独立, 这是

设计电动双驱动四轮车的重要指导思想

在变电站内工作，我们忌讳使用易燃的铅酸蓄电池，因而必然采用安全可靠、使用寿命较长的锂电池。相比于铅酸蓄电池，锂电池虽然有诸多优点，但输出功率较弱，因此，仅采用一组锂电池控制一组电机为四轮车提供动力，结果会大大降低电动四轮车的动力，这使得本身重量就大于二轮电动车的四轮车可能无法载动两到三个值班员和必要的随车操作工具和其他必要工具。因此为了提高电动四轮车的动力使它能够适应各种各样的行车环境，我们就必须采用后轮双车轮驱动的双电机配置。

有了双电机提供动力，就必须为两台电机都要提供驱动。然而如果采用一条驱动电路的输出端分拆两条线路分别来驱动两台电机的话，这会导致由于电机的性能参数差异导致两台电机转速出现不同步现象，这非常不利于的四轮车行驶的稳定性 and 操控的方便性，因此两条驱动电路虽然设计雷同，但必须相互独立。

双电机、双驱动的驱动模式必然要求控制回路具有同时控制两台电机的能力，这大大加大了控制回路设计的难度和工作量。

## 1 无刷直流电机简介

### 1.1 基本原理

无刷直流电机(后用 BLDCM 表示)的工作离不开电子开关电路，它由电机本体、转子位置传感器和电子开关电路三部分组成。其原理如图 2 所示。图中，直流电源通过开关电路向电机定子绕组供电，位置传感器随时检测到转子所处的位置，并根据转子的位置信号来控制开关管导通和截止，从而自动地控制了哪些绕组通电，哪些绕组断电，实现了电子换向<sup>[1]</sup>。

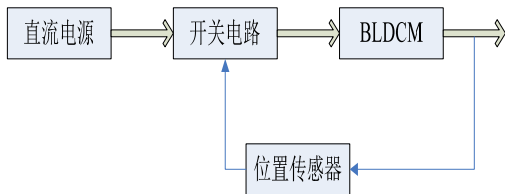


图 2 无刷直流电机的原理框图

### 1.2 控制方法

无刷直流电机典型结构示意图如图 3 所示。图中 A、B、C 是三相绕组的对称轴，HA、HB、HC 为霍尔位置传感器测量出来的信号。该三相信号在

相位上与三相绕组一一对应<sup>[2]</sup>。

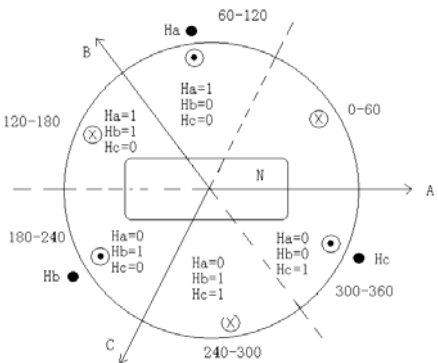


图 3 无刷直流电机结构示意图

转子转动时，霍尔传感器就根据转子位置的不同输出不同的高低电平。每转一极，电平信号变化六次，分别对应转子在 0-360° 之间的六个扇区。

无刷直流电机有二二导通和三绕组导通两种导通方式，二二导通是每次都有两个开关管导通。本次设计选用二二导通方式。为了说明 BLDCM 的控制逻辑，我们给出如图 4 所示主电路图<sup>[3]</sup>。

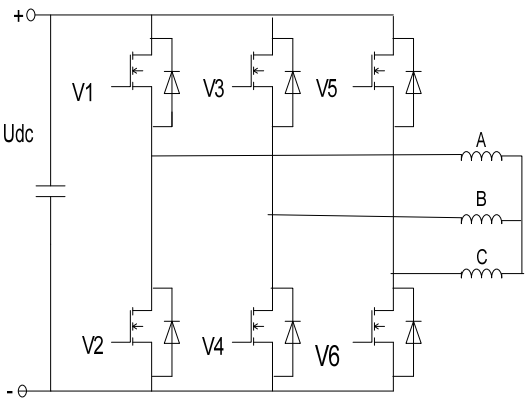


图 4 BLDCM 主电路

无刷直流电机每转 60°，霍尔传感器就改变一次输出信号。根据这个信号，控制器改变主电路导通的开关管，从而实现了无刷直流电机的换相，使电机继续转动。

## 2 控制系统的软、硬件设计

整个四轮车控制系统结构如图 5 所示。该系统由一个以 DSP 芯片 TMS320LF2407 为核心的总控制电路、两条驱动电路、两个位置传感器等组成。其中控制电路还包括按键处理电路（即四轮车的正转、反转、转向信号灯、喇叭、开关等按钮）。控制电路用于处理信号、执行算法和发出 PWM 波。保护电路具有电流过流保护、欠压保护、过压保护

和温度保护等作用。主电路如图 5 所示，为一个三相逆变电路。

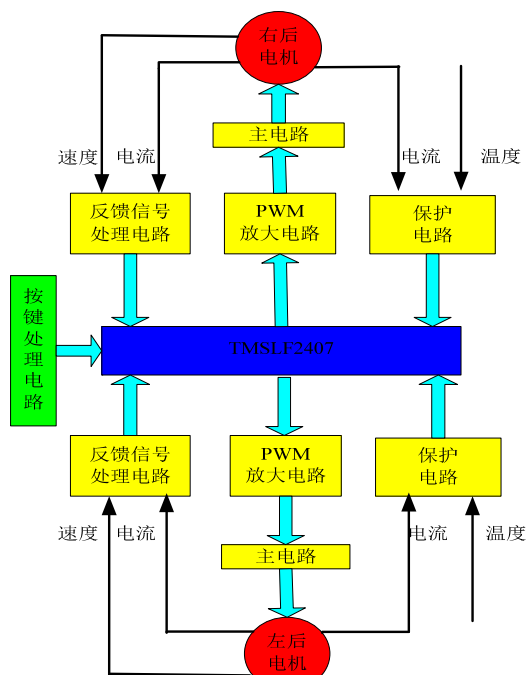


图 5 电动双驱动四轮车控制系统示意图

## 2.1 控制部分硬件设计

控制电路主控芯片采用 TI 公司的 TMS320LF2407，如图 6 所示。该 DSP 芯片具有足够高的指令执行速度以及专用于电机和运动控制的 EV 模块，可实现实时运算，能完成比较复杂的算法；两个 QEP 模块可以方便的实现两台电机霍尔信号捕获<sup>[4][5]</sup>。



图 6 Ti 公司 TMS320LF2407 芯片

控制电路部分具体包括信号处理电路、PWM 放大电路、保护电路、按键处理电路以及显示面板电路，参考上海讯特公司的 TMS320LF2407 控制板，如图 7 所示。现在对电路各部分分别进行介绍。



图 7 电机控制电路板

1) 信号处理电路。在进入 DSP 之前，电流信号和霍尔信号都要经过必要的处理，因为各种由电机过来的信号都带有很大的干扰，它们要经过放大、整形、滤波等环节，这样 DSP 才能得到准确纯净的信号。

2) PWM 放大电路。因为 DSP 输出的 PWM 信号只有 3.3V，达不到驱动 IGBT 的要求，因此必须经过放大，这样才能驱动开关管实现换相。

3) 保护电路。保护电路是为了保障系统安全可靠工作而设计的。在本系统中，保护电路分过流保护、过压保护、欠压保护和温度保护等，其中温度信号来自温度传感器 T255。

4) 按键处理电路。按键给控制器以指令，从而实现给 DSP 以控制信号，比如启动、正转、反转、转向信号、喇叭按钮信号等<sup>[6]</sup>。

## 2.2 控制系统软件设计

本系统软件采用 C 语言编程，采用模块化编程。程序分为主程序、功能程序块和中断程序三部分。该系统的软件控制原理如图 8 所示<sup>[7]</sup>。

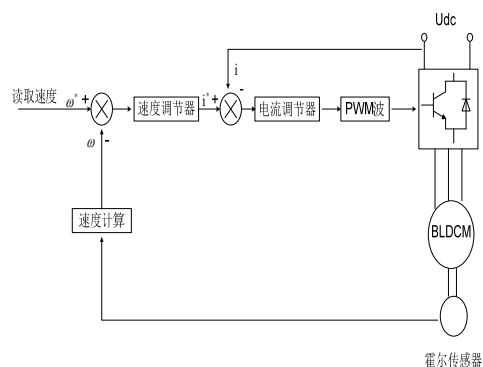


图 8 电动双驱动四轮车软件设计示意图

整个控制原理如下：由人工给出  $\omega^*$  用于速度给定，这个速度与反馈计算出来的速度  $\omega$  进行比较，求差后进行速度调节。速度调节的结果用于电流调节的给定  $i^*$ ，该给定信号与采样得到的反馈电流  $i$  求差，结果经过电流调节，其输出用来控制

PWM 的占空比, 改变占空比后的 PWM 波经驱动电路去控制主电路的开关管导通或者关闭。

主程序的功能是完成各种寄存器的初始化、复用引脚的定义、变量的初始化、设置中断以及判断电机正反转等。完成各种设置后, 主程序开始等待中断发生<sup>[8]</sup>。主程序流程图如图 9 所示<sup>[9]</sup>。

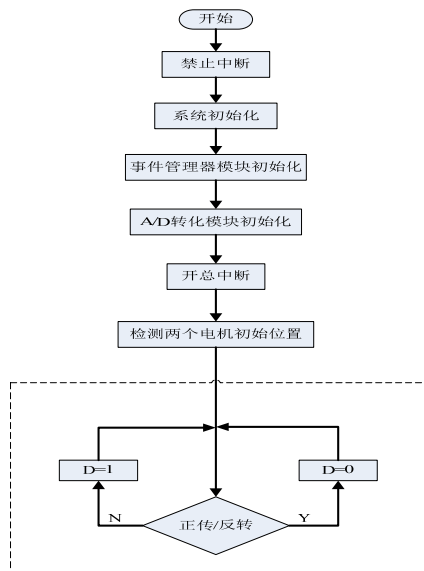


图 9 主程序流程图

中断程序包括 AD 中断和 CAP 中断。AD 中断每 100ms 进行一次, 完成电流的模数转换以实现电流比较和电流调节, 最终完成内环电流控制。CAP 中断用于检测当前的转子位置, 然后调用换相子程序以实现正确换相, 从而使电机持续运转。

功能程序块包括转速调节子程序和换相子程序。转速调节子程序每经过 20 个电流中断后执行。调用换相子程序实现电机换相以及 PWM 占空比的修改, 从而实现换相和调速<sup>[10]</sup>。

2.3 驱动部分硬件设计

电机选用 350W 锂电池用无刷直流电机, 如图 10 所示。根据电机的特性, 逆变器采用三菱的 IPM 模块, 型号为 PS21564, 如图 11 所示。该模块容量为 16A, 600V, 典型的开关频率为 5KHz, 死区时间为 1.5us。PS21564 里面封装了六只 IGBT 及其驱动电路, 该模块需要四组独立的电源供电, 其中上桥臂三路各采用一组独立电源, 下桥臂三路驱动电路共用一组电源<sup>[11]</sup>。



图 10 锂电池用无刷直流电机



图 11 三菱公司 PS21564 逆变模块

自主研发的基于 PS21564 的电动四轮车驱动电路板如图 12 所示。



图 12 电动四轮车驱动电路板

3 运行结果和分析

将控制电路、驱动电路及电机接线连接完好, 下载程序至 DSP 芯片 ROM 中, 经运行实际结果显示良好。将示波器上电, 对转速信号进行监测。

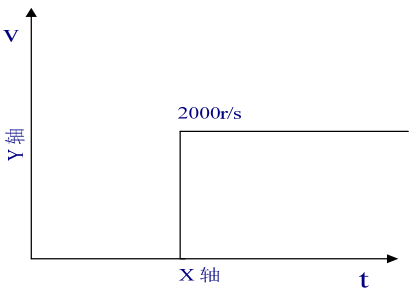


图 13 电机转速给定曲线

将速度给定按图 13 曲线给出, 得出转速电压



信号如图 14 所示。由监测信号可以看出,无刷直流电机的转速跟随性特别好,实际转速非常理想。

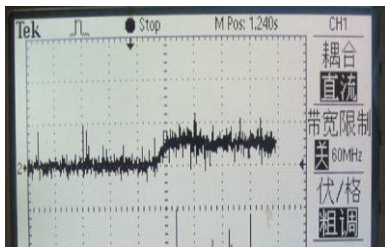


图 14 电机运行实际速度跟随曲线

#### 4 结论

经过对无刷直流电机控制原理的研究,提出了正确的控制方法,设计出了硬件电路和软件程序。通过控制板、驱动板和电机的成功运行及理想的转速波形,证明了双驱动电动四轮车控制系统的应用是一种极有现实意义的实践。

##### 参考文献:

- [1] 张琛. 直流无刷电机原理及应用[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [2] 郑吉,李学普.无刷直流电机控制技术综述[J].微特电机, 2002,30(3):11-13.
- [3] 孙建忠,白凤仙.特种电机及其控制(第一版)[M].北京:中

国水力水电出版社,2005.

- [4] 刘和平,严利平,张学峰,等.TMS320LF240xDSP 结构、原理及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [5] Texas Instruments Incorporated. TMS320LF240xA Datasheet, 2000.
- [6] 江思敏. TMS320LF240xDSP 硬件开发教程[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [7] 陈伯时.电力拖动自动控制系统(第3版)[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [8] 刘和平,王维俊,江渝,等.TMS320LF240x DSP C 语言开发应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [9] 王晓明,王玲.电机的DSP控制(第一版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [10] 谢宝昌,任永德.电机的DSP控制技术及其应用(第一版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [11] POWEREX.INC. PS21564 Datasheet, 2005.

##### 作者简介:

孟红强(1981—),男,河北人,工程师,电力电子与电力传动, E-mail: xiaomengsjtu@126.com。