

文章编号:1671-251X(2015)09-0022-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.09.007
李瑞金.矿用开关磁阻电机车控制系统设计[J].工矿自动化,2015,41(9):22-25.

矿用开关磁阻电机车控制系统设计

李瑞金

(安徽理工大学 电气与信息工程学院,安徽 淮南 232001)

摘要:为了改善蓄电池电机车在煤矿井下的工作性能,同时降低能耗、提高工作效率,设计了一种基于ARM的开关磁阻电机车控制系统。该系统采用角度位置控制与电压斩波控制相结合的控制方式,应用转矩分配函数控制策略,结合速度、电流双闭环系统实现对蓄电池电机车的控制。实验结果表明,该系统转矩脉动小,效率高,具有较强的鲁棒性和良好的调速性能。

关键词:矿用电机车;开关磁阻电动机;功率变换器;控制策略

中图分类号:TD642 文献标志码:A 网络出版时间:2015-08-29 15:40

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150829.1540.007.html>

Design of control system of mine-used switched reluctance electric locomotive

LI Ruijin

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology,
Huainan 232001, China)

Abstract:In order to improve performance of battery electric locomotive in coal mine, reduce energy consumption and improve work efficiency, a kind of control system of mine-used switched reluctance electric locomotive based on ARM was designed. The system uses control mode combing angular position control and chopped voltage control, adopts control strategy of torque distribution function, and achieves control of the battery motor vehicle combined with speed and current dual closed-loop system. The experimental results show that the system has small torque ripple, high efficiency, strong robustness and good performance of speed adjustment.

Key words: mine-used electric locomotive; switched reluctance motor; power converter; control strategy

0 引言

目前全国煤炭行业经济不景气,节能降耗、节约人力资源成本成为煤炭行业发展竞争的趋势,研究改进煤矿蓄电池电机车的动力装置主要出发点源于此。现有蓄电池电机车主要采用直流串激电动机作为牵引电动机,通常采用凸轮控制器切换串接于电动机枢回路的电阻,进行电机车的启动和调速控制。这种控制方式下,电动机启动和调速期间的大部分能量都消耗在电阻上,效率不高^[1]。有些煤矿

采用的改进型电机车利用电流斩波技术控制直流电动机或采用交流异步电动机作为动力装置,其与开关磁阻电动机(SRM)相比,有以下不足:① SRM较同型号异步电动机的制造成本低,制造难度小。② 从成本和简单性而言,SRM功率变换器比三相异步电动机PWM变频器略占优势。③ 具有双凸极结构的SRM是一种节能型的变速驱动系统,具有比异步电动机调速系统更高的转矩/电流比值和更优良的动态性能。因此,在煤矿恶劣的环境下,采用SRM作为牵引电动机是综合其应用特点所做的

收稿日期:2015-04-14;修回日期:2015-07-16;责任编辑:胡娴。

基金项目:安徽省教育厅科研基金项目(KJ2012A091)。

作者简介:李瑞金(1983—),男,安徽淮南人,助理实验师,硕士研究生,研究方向为电力传动控制技术,E-mail:li Ruijinrona@163.com。

选择。本文设计了一种基于 ARM 的矿用开关磁阻电机车控制系统。

1 SRM 的应用优势及策略

1.1 SRM 的应用优势及原理分析

SRM 综合了交流变频调速系统的坚固耐用、适用于恶劣环境和直流调速系统的可控性好等优良特性,因此,应用于煤矿井下环境具有明显优势。SRM 遵循磁阻最小原理,三相 12/8 极 SRM 工作原理如图 1 所示。当定子 C 极励磁时,产生的磁场力使转子旋转到 aa' 与 CC_2 相重合,即转子极轴线与定子极轴线重合,同时 C 相励磁绕组的电感最大。设图 1 所示定转子位置为初始位置,当依次给 $C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C$ 相绕组通电时,转子就会逆着励磁以顺时针方向旋转;当依次给 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 相绕组通电,转子就会逆时针方向旋转。由此可见,SRM 的转向只与相绕组通电顺序有关,与相绕组的电流大小无关。若改变相电流的大小,就会改变电动机的转矩,从而改变电动机的转速,因此,如果能控制 SRM 的换相、换相顺序和电流的大小,就能达到控制电动机的目的。

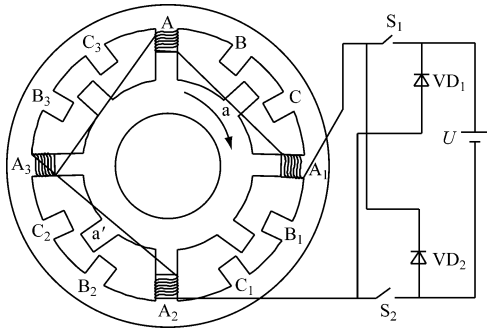


图 1 三相 12/8 极 SRM 工作原理

SRM 的电磁结构和工作原理非常简单,但是其内部磁场分布比较复杂,因此,传统的交流电动机的控制理论和方法不太适用于 SRM,要想对其进行控制,必须首先分析其控制策略。

1.2 SRM 应用策略分析

影响 SRM 调速的参数较多,在不同时区对这些参数进行控制会得到不同的控制效果,也即产生不同的控制方法。本文采用最常用的组合式控制方式:变角度电压 PWM 控制。该控制方式主要通过 PWM 脉宽调节电动机的转速和转矩,当转速较高时通过改变开通角 θ_{on} 使其提前,弥补绕组电流波形滞后较多的现象。但是,电压 PWM 控制在低速运行时转矩脉动较大,为了进一步抑制电压 PWM 控制在低速运行时的转矩脉动,采用了基于转矩分配

策略的 SRM 调速原理。其实质是用转矩分配函数合理地分配与调节各相电流所对应的电磁转矩分量,保证各瞬时转矩之和为一个定值,然后反演出各条相电流指令,并加以适当的控制策略来实现电动机的高性能控制^[2]。SRM 变角度电压 PWM 控制策略如图 2 所示。

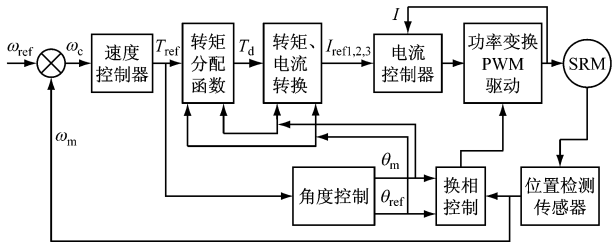


图 2 SRM 变角度电压 PWM 控制策略

由图 2 可知,外环为速度控制,内环为电流控制。系统根据速度外环反馈的速度与速度给定值的偏差来进行角度控制:低速时延后开通角,提前关断角,以减小通电时间,抑制电流峰值;高速时提前开通角,以减弱电流滞后作用。电流内环为速度控制器输出的给定转矩 T_{ref} ,经过转矩分配函数处理得到各相给定转速,然后经转矩电流公式转换成各相电流参考值,再与反馈后的电流值进行比较,通过控制 PWM 的占空比来调节电流,产生功率变换器的开关信号,实现输出转矩控制。

2 矿用开关磁阻电机车控制系统设计

2.1 系统架构

矿用开关磁阻电机车控制系统包括蓄电池、滤波电路、双开关型功率变换器、驱动电路、位置检测电路、温度检测电路、电流检测电路、故障与保护处理电路、键盘控制电路、串口及上位机显示电路,如图 3 所示。

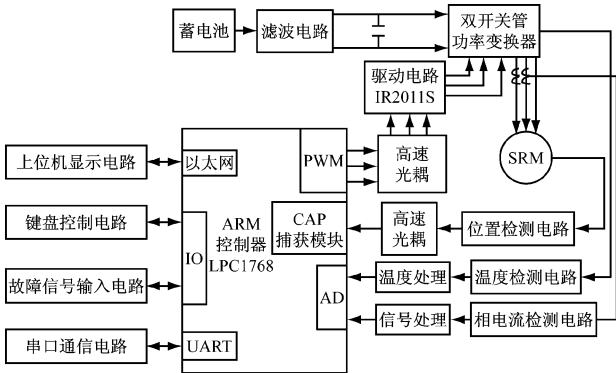


图 3 矿用开关磁阻电机车控制系统

2.2 功率变换器及驱动电路

SRM 功率驱动电路为电动机运行提供所需能

量,也是系统中成本较高的部分,因此,最优的驱动功率电路应采取的原则为器件少、效率高、工作可靠。本文采用的双开关管型功率变换电路如图 4 所示,电路每一相均由 2 个开关管和续流二极管组成。开关管与每相绕组串接,续流二极管与开关管并联。系统控制原理: V_{A1}, V_{A2} 同时导通,相绕组通电; V_{A1}, V_{A2} 同时关断,相绕组断电;磁场能经 D_1, D_2 完成续流和能量回馈。开关管 V_{A1}, V_{A2} 选用 IGBT。对于 ARM 控制器来说,其输出信号必须要加驱动电路才能使 IGBT 工作。因此,本文选择常用的驱动芯片 IR2110S,其输出可以驱动 2 个开关管独立工作,其驱动电路如图 5 所示(以一相为例)。

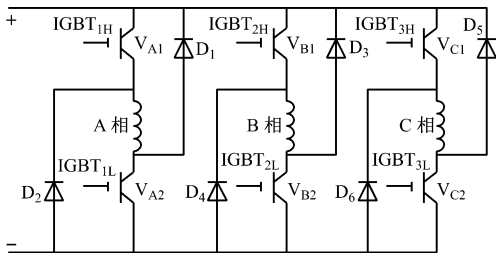


图 4 双开关管功率变换电路

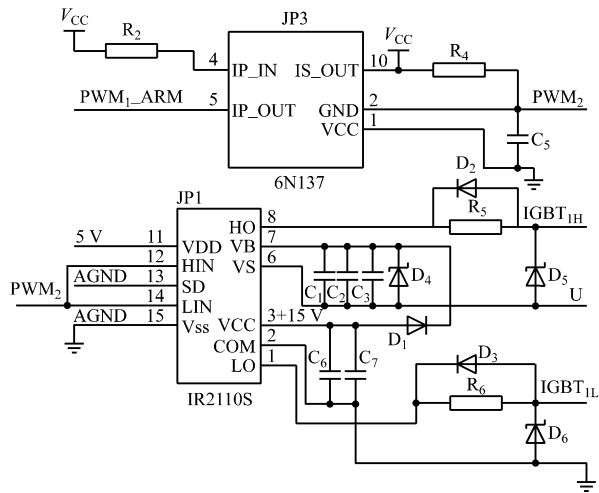


图 5 一相开关管驱动电路

2.3 系统检测及保护电路设计

检测电路主要包括位置检测电路、电流检测电路、温度检测电路,保护电路有过压欠压保护电路、过流信号处理电路等。

(1) 位置检测电路。位置检测的目的是确定定子、转子位置,然后将位置反馈信号输入控制器,用于判断相应相绕组的通断。位置检测装置由 3 个光电耦合器和 8 槽遮光盘构成,将光电耦合器安装在定子内部,光电耦合器彼此之间沿圆盘周围相隔 30° ,8 槽遮光盘固定在转子轴上,各光电耦合器的输出波形如图 6 所示。

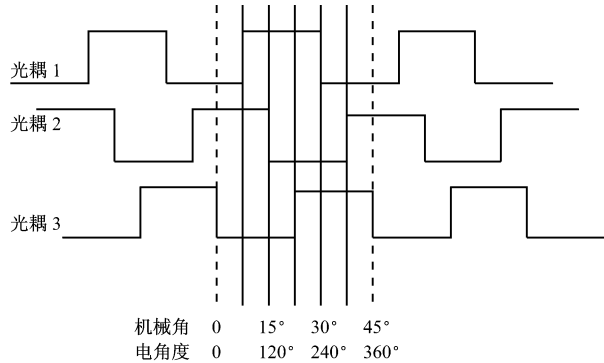


图 6 光电耦合器输出波形

由图 6 可知,机械旋转 7.5° 将产生一个光电耦合器上升或下降沿。机械旋转 45° 相当于 SRM 的一个电周期。根据机械角和电角度的对应关系,可通过机械角对电动机速度进行控制,通过电角度对换流进行控制。将 3 路光电耦合器的信号进行异或,得到一个周期为 15° 的方波信号,将这个信号分别输入到 LPC1768 的 CAP0.0, CAP0.1, CAP1.0 引脚,分别用于实现位置控制、速度控制、角度细分控制。

(2) 电流检测电路。系统需要采用电流闭环调节 PWM 脉宽的占空比,因此,必须对系统电流信号进行实时检测。系统采用 HBC-LSP 闭环系列霍尔电流传感器 HBC25LSP,其利用霍尔效应,能在电隔离条件下测量直流、交流、脉冲以及各种不规则波形的电流。HBC25LSP 工作电压为 $+5\text{ V}$,原边电流量程为 $-25 \sim +25\text{ A}$,对应输出电压为 $0.5 \sim 4.5\text{ V}$ 。信号经过限幅及低通滤波和 2 级运放后,被送到 LPC1768 的 A/D 模块 AD0.0 引脚,实现对电流的实时检测。相电流检测电路如图 7 所示。

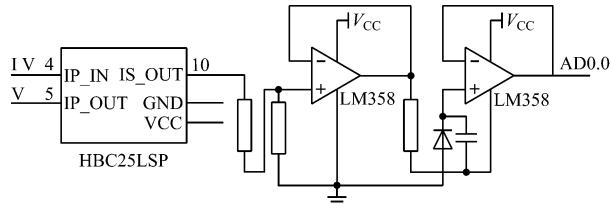


图 7 相电流检测电路

(3) 辅助电路。辅助电路包括温度检测电路、故障检测处理电路及过压、欠压、过热、过流保护电路等。温度检测电路采用非接触型 DS18B20 元件和单总线数字化的温度传感器,可以直接显示温度值,同时判断是否超温。欠压、过压保护电路将外部电流传感器的电流信号转换成电压信号并传至 LPC1768 的 AD 模块,经过程序分析处理后与给定值比较,最后执行相应的故障信号处理程序,关断各相 IGBT。

2.4 系统软件设计

矿用开关磁阻电机车控制系统软件包括主程序、初始化程序、检测模块程序、中断服务程序。初始化主要包括系统配置初始化、定时器初始化、AD 初始化、中断初始化、电动机 PWM 模块初始化、SRM 控制算法初始化。主程序主要包括速度检测和显示程序。中断服务程序包括电流检测、位置检测、角度控制、速度控制、换流控制等程序。系统初始化和角度控制流程如图 8 所示。

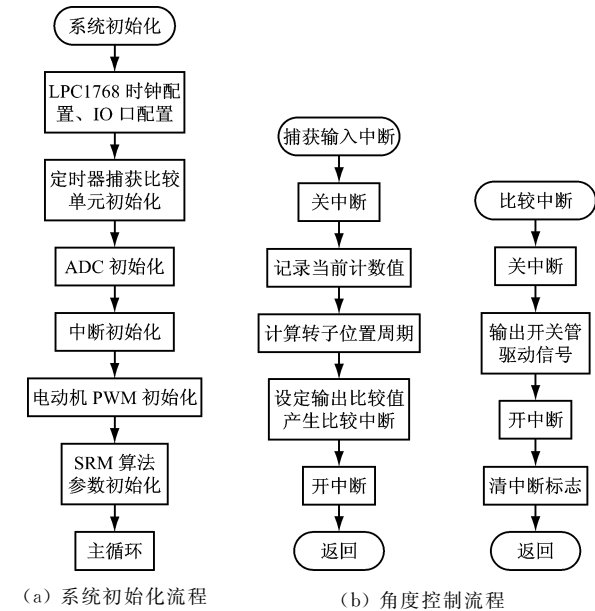


图 8 系统初始化和角度控制流程

位置控制程序分析:3 个光电耦合器每个电周期输出 6 种状态,分别为 001,010,011,100,101,110,分别对应于不同的角度,这些状态可定义为一个状态机。位置控制程序通过 ARM 采集单元,利用状态机光电耦合器的输出状态进行位置识别。

速度控制程序分析:3 个光电耦合器每隔 7.5°机械角就会产生 1 个脉冲输出,单一的 1 个光电耦合器每隔 22.5°产生 1 个输出。在每个脉冲沿到来时,速度计算公式为 $\omega = \Delta\theta / \Delta t = 60\Delta\theta f_{\text{clk}} / N$,其中 $\Delta\theta$ 为光耦各边沿之间的距离, Δt 为光耦各边沿之间的时间, f_{clk} 为时钟频率, N 为 2 个边沿之间的计数。

3 实验验证

采用矿用隔爆型三相 12/8 极 15 kW,380 V 的 SRM 进行实验验证。电机车参数:装备质量为 5 t,牵引力为 7 kN,速度为 7 km/h,最大牵引力为 12 kN,蓄电池电压为 90 V,容量为 300 A·H,牵引动力功率为 15 kW。相绕组电流波形和转速波形如

图 9 所示。从图 9 可以看出,各相性能参数都在系统的允许范围内,体现出了系统良好的调速性、稳定性和抗干扰能力。

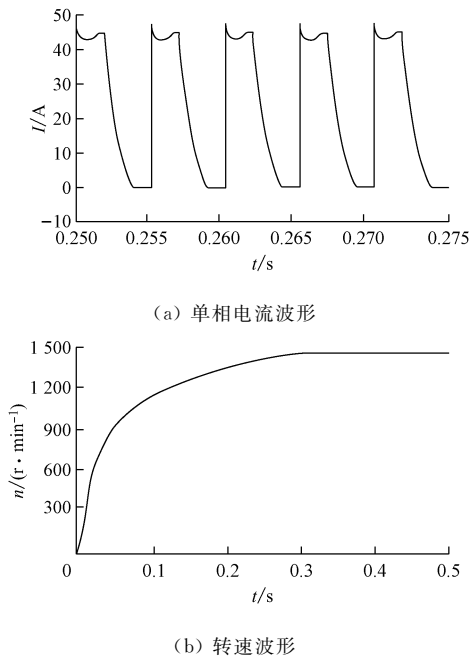


图 9 相电流波形和转速波形

4 结语

从 SRM 在矿用电机车上的具体应用出发,针对 SRM 转矩脉动大的问题,应用转矩分配函数控制策略,结合速度、电流双闭环系统实现对蓄电池电机车的控制;给出了矿用开关磁阻电机车控制系统硬件电路和软件设计思想,结合多种开关磁阻综合控制方式,实现最佳控制效果。

参考文献:

[1] 李瑞金,金林,燕翔,等.基于 ARM 的 SVPWM 蓄电池电机车变频调速控制系统设计[J].电机与控制应用,2012,39(10):34-37.

[2] 吴红星.开关磁阻电机系统理论与控制技术[M].北京:中国电力出版社,2010.

[3] 吴建华.开关磁阻电机设计与应用[M].北京:机械工业出版社,2000.

[4] 王宏华.开关型磁阻电动机调速控制技术[M].北京:机械工业出版社,1999.

[5] 谢方南,朱莉莉,刘俊纯.基于 MCF5213 的开关磁阻电机控制系统设计[J].电机与控制应用,2011,38(3):23-27.

[6] 张超,全力,朱孝勇,等.基于 DSP+CPLD 的车用开关磁阻电机驱动控制系统的设计[J].电机与控制应用,2013,40(1):13-21.