

一种新型的开关磁阻电机无位置控制策略研究

朱艺锋¹, 陈昊²

(1. 河南理工大学 电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003; 2. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 研究了一种无位置传感器的系统运行控制策略, 探讨了无位置控制的原理, 并以 DSP (digital signal processor) 为核心, 以三相 (12/8) 开关磁阻电机为执行对象, 设计了系统的硬件和软件。通过样机试验, 结果表明运用该控制策略的开关磁阻电机系统能够较快地预测转子位置, 并且在中低速范围内位置检测准确, 系统运行稳定。

关键词: 开关磁阻电机; 无位置传感技术; DSP

中图分类号: TM352

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)05-0045-03

The Study of A New Control Strategy about Switched Reluctance Motor Without Position Sensor

Zhu Yifeng¹, Chen Hao²

(1. College of Electrical Engineering & Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454003, China;

2. College of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221008, China)

Abstract: Studies a control strategy of SRD without position sensor and discusses its principle. With DSP as the core and three phases 12/8 SRM as the implementing object, designs software and hardware of SRD without position sensor. After the examination on the sample SRD without sensor, the results show that the sample SRD can fastly and correctly compute the rotor position, especially when the motor runs at mid-speed and low-speed.

Keywords: switched reluctance motor; sensorless method; DSP

开关磁阻电动机 (switched reluctance motor, SRM) 是一种新型电机, 具有结构简单、成本低、鲁棒性好和运行可靠性高的优点。由它构成的开关磁阻电机驱动系统 (switched reluctance motor drive system, SRD) 调速范围大且调节容易, 启动快, 容易实现直接传动。但它有 1 个缺点, 就是运行时需要位置传感器^[1]。引入位置传感器会带来较多的消极因素: 使电机结构变得复杂, 并增加整个系统的成本和潜在的不稳定性; 另外, SRD 在一些特殊应用场合无法使用位置传感器, 例如在微型的 SRD 中, 直接的位置传感器的尺寸太大, 不便于安装^[2]。因此, 研究开关磁阻电机的无

位置传感技术有着重大的理论意义和现实意义。

1 无位置传感 SRD 系统组成

典型的开关磁阻电机驱动系统主要由以下 5 个部分组成: 开关磁阻电机 (SRM)、功率变换器、位置检测器、电流检测器和控制器^[3]。本设计中的无位置传感 SRD 的结构组成与之类似, 但是其中的位置检测器有别于传统中用的位置传感器, 它是一种主要依靠控制策略和软件进行位置检测的方法。图 1 给出了无位置传感开关磁阻电机驱动系统组成的结构示意图。

收稿日期: 2009-07-20

基金项目: 河南理工大学自然科学基金资助项目 (Q2006-49)

作者简介: 朱艺锋 (1979-), 男, 河南南阳人, 河南理工大学讲师, 硕士, 主要从事电机及其控制方面的教学和研究工作,

E-mail: zyfn@hpu.edu.cn

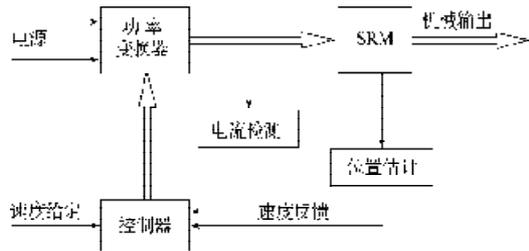


图1 无位置传感SRD的构成图

Fig. 1 Structure of SRD system without position sensor

2 无位置传感检测转子位置的原理

开关磁阻电机的磁链特性可表示为 $\psi(i, \theta)$ ，即电机的磁链是相电流和转子位置角的函数。如果给定转子位置角 θ ，那么磁链就变成相电流的单值函数。它对应1条 $\psi-i$ 曲线，将这一曲线按照一定的间隔进行采样，并把对应的数据做成表格储存在程序中，这些数据称为参考数据。而后如果实时检测电机的相电流，并在参考电流点处计算出当前磁链值 ψ 。如果这个磁链值与查表得到的参考磁链 ψ_{ref} 近似相等，就可以认为此时的转子位于给定转子位置角 $\theta^{[4]}$ 。将换相角作为给定转子位置角，那么根据这个方法就可以判断出换相位置，从而进行换相使电机运行下去。

SRM的相电压平衡方程式为：

$$U = Ri + \frac{d\psi}{dt} \tag{1}$$

将式(1)进行变换，然后进行积分，可得磁链：

$$\psi = \int (U - Ri) dt \tag{2}$$

具体实现步骤如下：首先测试最大电感处的 $\psi-i$ 曲线，然后将这条曲线乘上1个系数 k ($0.7 < k < 1$)来逼近换相点处的 $\psi-i$ 曲线，事先要将这一曲线对应的数据做成表格储存在程序中。然后在程序执行时实时采样相电流和相电压，并按照公式 $\psi = \int (U - Ri) dt$ 估算实际磁链。与此同时，查询预存的磁链表，找出当前相电流对应的磁链，并把它作为参考磁链；最后，比较实际磁链(ψ)和参考磁链(ψ_{ref})的大小，从而确定出电机的换相点。图2给出了位置估测的流程示意图。

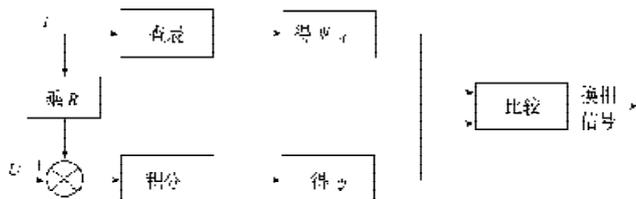


图2 位置估测流程图

Fig. 2 Flow chart of computing rotor position

3 控制器的实现

3.1 硬件设计

本文设计的控制器，其硬件部分包括控制电路、

保护电路、键盘显示电路、驱动电路和上位机通信电路等^[4]。其总体结构如图3所示。其中，控制器采用DSP(TMS320F240)作为核心，其指令周期仅为50 ns，包含12路比较/PWM输出、3个16位通用定时器、双十位A/D转换模块、6种外部中断、串行通信接口模块和串行外设接口模块等丰富的资源。其高度集成度大大简化了控制器的外围电路，其高速处理能力又为间接位置检测提供了强大的支持。利用莱姆模块(磁场平衡式霍尔电流传感器)进行电流检测，并将电流信号送到保护电路及控制器进行处理。驱动电路采用IR2110产生对功率管的驱动信号，实现对功率MOS(metal oxide semiconductor)管的驱动。

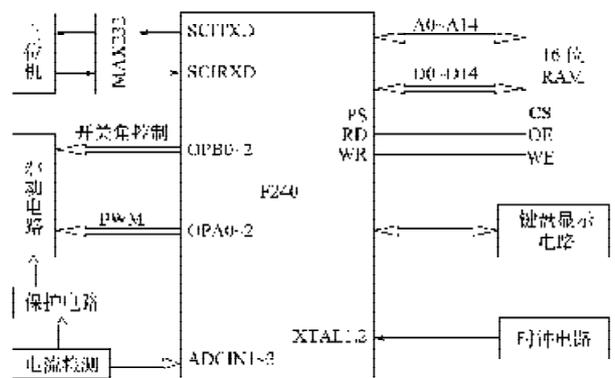


图3 控制系统结构图

Fig. 3 Structure of control system

功率变换器选用每相有2个主开关的不对称半桥式功率变换器作为主供电电路，该电路工作原理简单，各相相互独立，控制灵活，系统容错性好。开关管选用功率MOS管。主电路结构如图4所示。

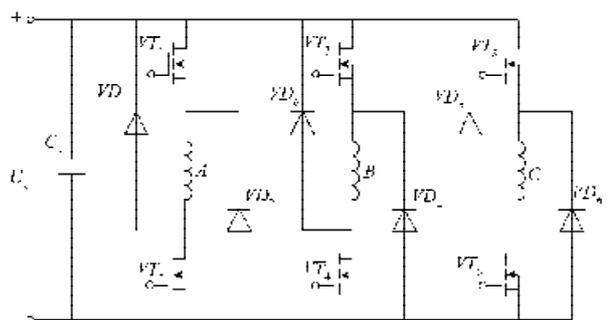


图4 不对称半桥功率变换器

Fig. 4 Asymmetry half-bridge power converter

3.2 软件设计

软件程序由主程序、子程序和中断服务程序组成。子程序主要有显示程序、速度调节程序、位置估计程序和电机驱动程序。中断服务程序包括键盘中断服务程序、A/D转换中断程序和定时器中断程序。

主程序的功能是：设置控制参数的初始值，初始

化 DSP, 初始化事件管理器, 速度调节, 查询运行状态, 要求改变状态及相应的处理, 转速计算及显示等。

键盘中断程序实现和各按键相对应的功能, A/D 转换中断程序用来实现电流跟踪控制, 并进行软位置检测和消脉动处理。定时器中断为电流采样和速度计算提供时基^[5]。

整个软件程序利用汇编语言和 C 语言混合编制, 并使用与 TMS320F240 配套的仿真器 XDS510 完成程序的调试和运行。

4 试验结果

笔者利用本文所提出的无位置方法制成了 1 台样机, 并以 1 台 220 W 三相 12/8 结构的 SRM 为对象进行了无位置控制试验。图 5 是样机控制器的照片, 图 6 是斩波电流上下限分为 8 A、7 A, 负载为 0.5 Nm、转速为 250 r/min 时的试验波形。图 7 是同种情况下采用光电式转子位置传感器所测位置信号与运用非直接式转子位置检测策略得到的转子位置估测信号之间的比较图。它表明, 两者波形接近, 差别较小, 证明所用位置估测策略是有效的。

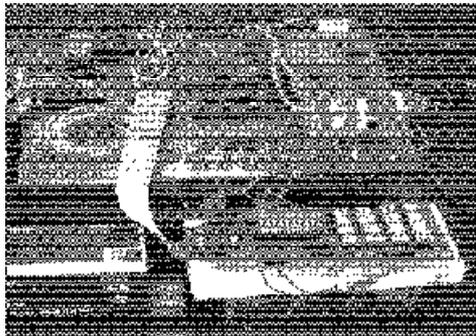


图 5 样机控制器照片

Fig. 5 Picture of sample controller

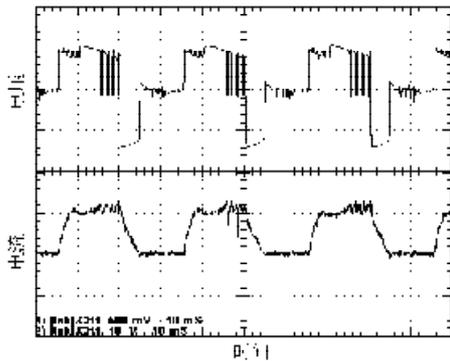


图 6 电机 A 相相电压/相电流波形图

Fig. 6 Voltage and current waveform of phase A

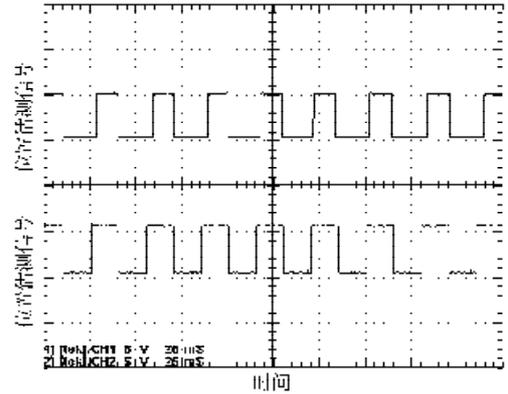


图 7 位置估测信号与传感器位置信号对比

Fig. 7 Comparison of estimated position signal and sensor's position signal

5 结语

本文研究了开关磁阻电机基于磁链的无位置转子检测方法, 并在 TMS320F240 的基础上, 以 12/8 三相开关磁阻电机为研究对象, 对整个无位置传感开关磁阻伺服系统进行了软硬件设计。最后对 1 台 12/8 样机进行了试验, 取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] Hong weigao. Inductance Model-Based Sensorless Control of the Switched Reluctance Motor Drive at Low Speed[J]. Power Electronics, IEEE Transactions, 2004, 19(6): 1568-1573.
- [2] Chen Hao, Wang Xing. Sliding Mode Control of Switched Reluctance Linear Generator System[C]//2009 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. Hangzhou: [s.n.], 2009: 779-782.
- [3] 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, 1995.
Wang Honghua. Speed Control Tecnology of Switched Reluctance Motor[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1995.
- [4] Chen H, Zhu Y F. Rotor Position Sensorless Control of the Switched Reluctance Motor Drive for the Direct-Drive Joint of the Robot[J]. Proceedings of 6th ICEMS, 2003, 12(11): 915-918.
- [5] 张 东, 陈 昊, 朱艺锋. DSP 控制的开关磁阻电机伺服传动系统[J]. 中小型电机, 2003, 30(1): 35-38.
Zhang Dong, Chen Hao, Zhu Yifeng. SRM Servo Drive System Based on DSP[J]. Small and Medium Motor, 2003, 30(1): 35-38.

(责任编辑: 罗立宇)