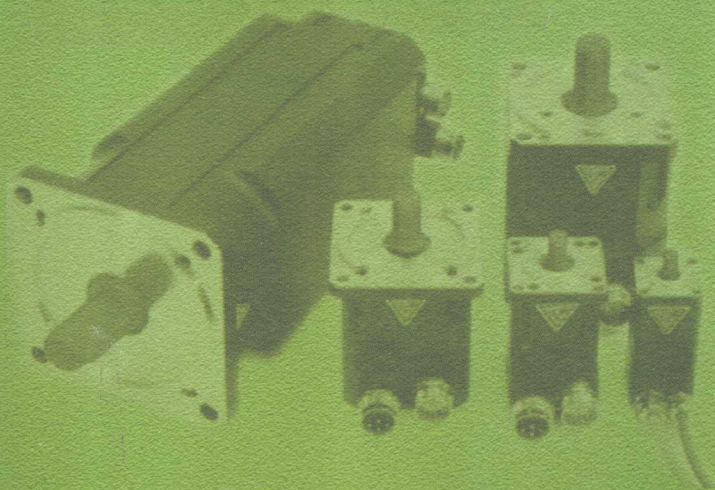


自动化专业系列教材

特种电动机 调速控制技术的应用

TEZHONG DIANDONGJI TIAOSU KONGZHI JISHU JI YIINGYONG

史步海 张选正 编著



自动化专业系列教材

特种电动机 调速控制技术的应用

史步海 张选正 编著

华南理工大学出版社

· 广州 ·

内容简介

本书主要从特种电动机的构造、调速控制原理及应用角度出发,以开关磁阻电动机、永磁同步电动机、普通同步电动机、直流无刷电动机、步进电动机、直线电动机、超声波电动机、绕线转子异步电动机等为对象介绍其调速控制原理及应用技术。

本书适合作为各类高等院校自动化专业、机电一体化及相关专业的教学用书,也可作为从事特种电动机变频调速以及特种运动控制应用研究的广大技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

特种电动机调速控制技术及应用/史步海,张选正编著. —广州:华南理工大学出版社, 2010. 3

(自动化专业系列教材)

ISBN 978-7-5623-3263-3

I. ①特… II. ①史…②张… III. 电动机—调速—控制系统—高等学校—教材
IV. ① TM35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 029370 号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

营销部电话:020-22236386 22236378 87111048(传真)

E-mail:scutcl3@scut.edu.cn

<http://www.scutpress.com.cn>

责任编辑:詹志青

印刷者:广东省农垦总局印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.75 字数:393 千

版次:2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

印数:1~2 000 册

定价:30.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

随着自动化技术、计算机技术、电力电子技术的发展，特别是高性能永磁材料的问世，电动机制造技术水平得到了极大的提高，也为特种电动机的制造、控制和应用提出了更高的要求，提供了更广阔的发展空间。

对于一般的三相鼠笼式交流电动机及其变频调速控制方式，大家都比较熟悉，同时也有较多的资料和书籍介绍这方面的内容。但对于具有特殊应用要求的特种电动机及其控制和应用，由于其应用面相对较窄使其需求应用较少，而且其控制装置较贵，相关的书籍较少，使得这方面的理论知识和应用经验较为缺乏。

本书旨在通过对特种电动机的构造、调速控制原理及应用的介绍，使读者达到快速学习特种电动机控制技术及应用的目的。笔者查阅了大量的国内外关于特种电动机调速控制的论文和书籍（见参考文献），重点选择了当今人们最为关心的、具有节能潜质的和具有特色的特种电动机（如开关磁阻电动机、永磁同步电动机、普通同步电动机、直流无刷电动机、步进电动机、直线电动机、超声波电动机）进行介绍。

本书既有理论论述，又有实际工程应用介绍，具有全面性、系统性、实用性、可读性的特点，避免繁琐的数学运算和高深的理论，从实际出发，深入浅出，涉及的范围广，内容丰富，特别是有具体的实例介绍，对于学习特种电动机应用具有重要的参考价值。

本书适合作为各类高等院校自动化专业、机电一体化等相关专业的教学用书，也可作为从事特种电动机变频调速以及特种运动控制应用研究的广大技术人员的参考用书。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者
2010年1月

目 录

1 开关磁阻电动机	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 开关磁阻电动机调速系统简介	(2)
1.2.1 开关磁阻电动机调速系统 (SRD) 原理	(2)
1.2.2 电动机结构	(2)
1.2.3 控制电路	(4)
1.2.4 开关磁阻电动机调速系统 SRD 的特点	(5)
1.3 开关磁阻电动机调速系统和交流变频调速系统的区别	(7)
1.3.1 主电路比较	(7)
1.3.2 控制策略比较	(8)
1.4 开关磁阻电动机技术参数及应用场合	(8)
1.4.1 开关磁阻电动机的外形及安装尺寸	(8)
1.4.2 性能曲线	(8)
1.4.3 开关磁阻电动机调速系统应用场合	(12)
1.4.4 SRD10 系列开关磁阻电动机调速系统的效率	(12)
1.5 开关磁阻电动机无位置传感器的 CGSM 驱动策略	(15)
1.5.1 CGSM 原理	(15)
1.5.2 CGSM 在开关磁阻发电机上的应用	(17)
1.5.3 应用	(18)
1.5.4 实验结果	(19)
1.5.5 启动	(20)
1.6 电动车用开关磁阻电动机全工况运行方案	(22)
1.6.1 SRD 的基本分析	(23)
1.6.2 SRM 全工况运行分析	(24)
1.6.3 SRM 全工况运行仿真结果	(26)
1.6.4 SRM 全工况运行试验结果分析	(26)
1.7 基于 DSP 的大功率开关磁阻电动机全数字控制系统在矿山绞车上的应用	(27)
1.7.1 开关磁阻电动机的数学模型	(27)
1.7.2 电流斩波控制 (CCC)	(28)
1.7.3 系统主回路	(29)
1.7.4 控制器硬件和软件设计	(29)

1.7.5 现场运行结果	(32)
1.8 开关磁阻调速电动机在煤矿上的应用	(33)
1.8.1 在煤矿中应用的几种调速方式的比较	(33)
1.8.2 开关磁阻电动机调速系统在煤矿中的应用实例	(34)
1.8.3 技术性能和特点	(34)
1.8.4 保护和故障诊断功能	(35)
1.8.5 开关磁阻电动机调速系统的维护	(35)
1.9 开关磁阻调速电动机在抽油机上的应用	(36)
1.9.1 主要特点	(37)
1.9.2 现场应用及效果分析	(38)
1.9.3 问题及对策	(39)
2 永磁同步电动机	(40)
2.1 永磁同步电动机的转子磁路结构及隔磁措施	(40)
2.1.1 转子磁路结构	(40)
2.1.2 隔磁措施	(43)
2.2 永磁同步电动机数学模型	(43)
2.3 永磁同步电动机的变频调速	(46)
2.3.1 永磁同步电动机及其运行控制方法	(46)
2.3.2 永磁同步电动机的恒压频比控制	(48)
2.4 永磁同步电动机空间电压矢量控制 (SVM)	(49)
2.4.1 永磁同步电动机的 SVM - DTC 控制	(50)
2.4.2 调速方式的比较	(52)
2.4.3 永磁同步电动机变频调速在化纤、玻璃行业中的应用	(53)
2.5 基于奇异摄动的永磁同步电动机无位置传感器控制	(55)
2.5.1 PMSM 驱动系统数学模型	(56)
2.5.2 双时间尺度分解	(56)
2.5.3 基于双时间尺度的位置及速度估计算法	(57)
2.5.4 仿真结果	(58)
2.6 永磁同步电动机变结构直接转矩控制及定子磁链的观测	(60)
2.6.1 PMSM 同步电动机变结构直接转矩控制器	(61)
2.6.2 数字化 PMSM 变结构直接转矩控制系统	(62)
2.6.3 实验结果	(62)
2.6.4 自适应滑模观测器	(64)
2.7 永磁同步电动机的直接转矩控制策略	(67)
2.7.1 永磁同步电动机的直接转矩控制基本方案	(68)
2.7.2 基于电磁转矩和定子电流直轴分量的直接转矩控制方案	(69)
2.7.3 基于电磁转矩和无功转矩的直接转矩控制方案	(70)
2.7.4 基于预测控制算法的直接转矩控制方案	(71)
2.8 永磁同步电动机的弱磁控制策略仿真研究	(72)

2.8.1	永磁同步电动机弱磁扩速原理分析	(72)
2.8.2	电流控制器的饱和	(74)
2.8.3	永磁同步电动机弱磁控制区域的确定	(74)
2.8.4	基于最小端电压比的永磁同步电动机弱磁控制策略	(75)
2.8.5	永磁同步电动机的弱磁控制策略的仿真	(75)
3	大功率普通同步电动机	(78)
3.1	结构和工作原理	(78)
3.2	同步电动机变频调速	(79)
3.3	同步电动机的控制方式	(81)
3.3.1	工作原理	(81)
3.3.2	同步转速	(81)
3.3.3	运行方式	(81)
3.4	跟转子励磁有关的两种同步电动机	(82)
3.5	中高压变频器在大功率同步电动机上的应用	(82)
3.5.1	同步电动机的工频启动投励过程	(83)
3.5.2	变频器驱动同步电动机时的启动整步过程	(83)
3.5.3	电流型变频器用于大型风机的启动	(84)
3.5.4	同步变频启动的工作原理	(86)
3.5.5	实际使用效果	(86)
3.6	电压型 PWM 变频装置在同步电动机调速中的应用	(87)
3.6.1	同步电动机适宜变频调速的范围	(87)
3.6.2	同步电动机变频调速的特点	(87)
3.7	同步电动机变频启动中的典型故障	(88)
3.7.1	启动装置的基本组成及主要参数	(88)
3.7.2	启动过程	(89)
3.7.3	故障现象及原始处理过程	(90)
3.8	负载换相同步电动机(可控硅电动机)	(92)
3.8.1	系统结构	(92)
3.8.2	工作原理	(93)
3.8.3	机械特性和调速	(94)
3.9	PH 系列变频器在同步电动机上的应用	(96)
4	直流无刷电动机	(98)
4.1	直流无刷电动机的结构与工作原理	(98)
4.1.1	系统结构	(98)
4.1.2	工作原理	(99)
4.1.3	运行特性和调速原理	(100)
4.1.4	直流无刷电动机调速特性	(101)
4.1.5	直流无刷电动机调速器技术参数	(101)
4.2	一种新型永磁双凸极直流无刷电动机	(102)

4.2.1	DSPM—BLDC 电动机基本运行原理	(103)
4.2.2	变参数 PI 转速调节与单斩电流滞环相结合的双闭环控制	(105)
4.2.3	9kW DSPM - BLDC 电动机恒速系统	(107)
4.3	直流无刷电动机 EPS 系统的控制策略及一种 PWM 调制方法	(113)
4.3.1	EPS 系统概述	(113)
4.3.2	EPS 系统控制策略	(114)
4.3.3	一种低损耗的 PWM 调制方法	(116)
4.3.4	实验结果	(117)
4.4	直流无刷电动机的直接自控制	(121)
4.4.1	DSC 原理	(121)
4.4.2	BLDC - DSC 的实现	(123)
4.4.3	仿真及结果	(126)
4.4.4	实验及结果	(128)
4.5	集中绕组永磁无刷电动机	(131)
4.5.1	永磁无刷电动机的应用	(131)
4.5.2	集中绕组永磁无刷电动机的绕组构成	(131)
4.5.3	集中绕组永磁无刷电动机的转矩分析	(133)
4.6	基于 DSP 的无位置传感器的直流无刷电动机控制系统	(135)
4.6.1	基于 TMS320LF240x 芯片方案一	(135)
4.6.2	基于 MC56F8013 芯片方案二	(139)
4.7	雷达伺服系统中直流无刷电动机换相检测算法研究	(144)
4.7.1	反电势检测和预估结合算法	(144)
4.7.2	实验结果	(146)
4.8	开关电容变换器在直流无刷电动机驱动电路中的应用	(147)
4.8.1	自举电路工作原理	(147)
4.8.2	开关电容变换器工作原理分析	(148)
4.8.3	控制方法	(149)
4.8.4	仿真和实验结果	(149)
4.9	缝纫机用直流无刷电动机位置伺服系统设计	(151)
4.9.1	位置伺服系统控制框图	(151)
4.9.2	位置伺服系统的硬件组成	(152)
4.9.3	位置伺服系统的软件设计	(153)
4.9.4	实验结果	(154)
5	步进电动机及其控制	(155)
5.1	步进电动机的结构与工作原理	(155)
5.1.1	步进电动机的工作原理	(155)
5.1.2	反应式步进电动机	(157)
5.1.3	永磁式和感应子式步进电动机	(158)
5.1.4	步进电动机的特点	(160)

5.2 反应式步进电动机的特性	(161)
5.2.1 步进电动机的静态特性	(161)
5.2.2 步进电动机的单步运行	(164)
5.2.3 步进电动机的连续运行和动特性	(165)
5.3 步进电动机驱动控制器的构成	(168)
5.4 步进电动机的功率驱动电路	(170)
5.4.1 单极性驱动电路	(170)
5.4.2 双极性驱动电路	(173)
5.5 步进电动机的角度细分控制	(175)
5.5.1 角度细分控制原理	(175)
5.5.2 角度细分控制的电路实现	(177)
5.5.3 细分控制专用集成电路	(178)
5.6 步进电动机的单片机控制	(179)
5.6.1 脉冲分配	(179)
5.6.2 步进电动机的速度控制	(183)
5.6.3 步进电动机的加减速与定位控制	(184)
6 直线电动机	(187)
6.1 概述	(187)
6.1.1 直线电动机的原理和分类	(187)
6.1.2 直线电动机的国内外发展概况	(189)
6.2 直线感应电动机	(190)
6.2.1 直线感应电动机的主要类型和基本结构	(190)
6.2.2 直线感应电动机的基本工作原理	(192)
6.2.3 直线感应电动机的工作特性	(193)
6.2.4 直线感应电动机的边缘效应	(193)
6.3 直线直流电动机	(194)
6.3.1 永磁式直线电流电动机	(195)
6.3.2 电磁式直线直流电动机	(196)
6.4 直线和平面步进电动机	(196)
6.4.1 直线步进电动机	(197)
6.4.2 平面步进电动机	(199)
6.5 直线感应电动机的应用	(200)
6.5.1 直线感应电动机的应用原则	(200)
6.5.2 直线感应电动机的应用情况	(201)
7 超声波电动机	(206)
7.1 超声波电动机概述	(206)
7.1.1 超声波电动机的基本原理	(206)
7.1.2 超声波电动机的发展	(207)
7.1.3 超声波电动机的优点及其应用	(208)

7.1.4 超声波电动机存在的问题及研究重点	(209)
7.2 超声波电动机的常见结构与分类	(210)
7.2.1 超声波电动机的常见结构	(210)
7.2.2 超声波电动机的分类	(213)
7.3 行波型超声波电动机的调速机理	(214)
7.3.1 行波的形成	(214)
7.3.2 超声波电动机的调速机理	(215)
7.4 行波型超声波电动机的驱动控制	(217)
7.4.1 行波型超声波电动机的调速控制方法	(217)
7.4.2 逆变器主回路	(218)
7.4.3 频率跟踪技术	(218)
8 其它型电动机调速及应用	(221)
8.1 绕线转子异步电动机调速控制	(221)
8.2 球磨机的调整	(222)
8.2.1 概况	(222)
8.2.2 负荷特性	(222)
8.2.3 选用新型的 U 形外特性变频器来实现节电	(222)
8.2.4 TM 系列球磨机用同步电动机	(224)
8.2.5 陶瓷行业球磨机节能改造	(225)
8.3 电磁离合器调速	(228)
8.3.1 电磁离合器概述	(229)
8.3.2 电磁离合器的效率	(229)
8.3.3 节电效率估算	(229)
8.4 单相电容电动机调速	(230)
8.4.1 单相电容电动机的工作原理	(230)
8.4.2 单相电容电动机变频逆变原理	(230)
8.4.3 单相电容电动机变频调速应用实例	(233)
8.5 双异步电动机组合移相调速	(234)
8.5.1 双电机移相调速的思路	(234)
8.5.2 组合移相调速电路的结构及控制方式	(235)
8.5.3 移相变流的调速原理	(236)
8.5.4 移相变流电路的参数选择及功率传输的分析	(236)
8.6 变频器调速对环境的影响	(237)
8.6.1 对电动机的影响	(237)
8.6.2 对电缆的影响	(237)
8.6.3 对于 EMC、绝缘、接地的影响	(237)
8.6.4 其它的影响	(238)
参考文献	(239)

1 开关磁阻电动机

1.1 概述

开关磁阻电动机 (Switched Reluctance Motor, SRM) 是 20 世纪 70 年代后发展起来的一种新型电动机。

开关磁阻电动机调速系统 (Switched Reluctance Driver, SRD) 是以现代电力电子与微机控制技术为基础的机电一体化产品。它由开关磁阻电动机 (SRM) 与微机智能控制器两部分组成, 其突出特点是效率高, 节能效果好, 调速范围广, 无启动冲击电流, 启动转矩大, 控制灵活; 此外, 还具有结构简单、坚固可靠、成本低等优点。除可以取代已有的电气传动调速系统 (如直流调速、变频调速系统) 外, SRD 还十分适用于运输车辆驱动、龙门刨床、各种机械等需要重载启动、频繁启动、正反转、长期低速运行等应用场合。

20 世纪 60 年代以前, 调速系统以直流机组为主。20 世纪 60 年代中期, 由晶闸管构成的 V-M (晶闸管-直流电动机) 系统逐步取代了直流机组。20 世纪 70 年代中期, 全球范围内的能源危机迫使世界各国投入了大量的财力来研究调速系统。由于交流异步电动机技术比较成熟, 人们将研究的重点放到变频调速技术上。到 20 世纪 90 年代初, 变频调速技术趋于成熟, 占据了调速市场的主导地位。

在 20 世纪 80 年代初, SRD 在全世界业界展开大规模的研究与应用, 同时, 自 1984 年起, 我国许多单位开展了 SRD 研究工作。由于 SRD 是机电一体化的高科技产品, 传统的电动机企业缺乏电力电子及微机控制技术开发力量, 而一些电力电子企业又不具备 SRM 设计和制造能力, 因此, 长期以来, 我国 SRD 实用化工作进展缓慢, 没有得到大量的推广应用。

我国在 1998 年就把发展电动机调速节能和电力电子节电技术写进《中华人民共和国节约能源法》中, 用法律形式强制改造电动机恒速运行为调速方法运行。国家发改委提出的“电动机系统节能计划”明确提出的目标是: 提高电动机 15%~20% 的效率, 实现节电 1000 亿 kW·h/年。

开关磁阻电动机调速系统 SRD 作为新一代调速产品, 具有高效、调速范围宽、适用范围广、简单、可靠、成本低等一系列优点。我国现已成功研制出 1.1~90kW 系列产品, 并于 2004 年通过国家中小型电动机质量监督检验中心的全面性能检验, 用户反映良好。

经过 20 多年的发展, SRD 技术已基本成熟, 相信 SRD 最终将取代直流调速、变频调速, 成为调速市场的主力军之一。

1.2 开关磁阻电动机调速系统简介

1.2.1 开关磁阻电动机调速系统（SRD）原理

开关磁阻电动机调速系统组成如图 1-1 所示。系统主要由磁阻式电动机、角位移传感器、电流检测器、功率驱动器（驱动电路、功率放大电路）和控制电路（操作电路）五部分组成。位置检测器装在电动机的内部，该检测器采用高性能红外光电元件，抗干扰能力强，寿命长，能够准确检测出转子位置及转速。电流检测器串接在三相线圈的每相绕组上，用以检测三相线圈的电流，并将检测结果反馈到控制器。目前多采用霍尔电流检测器，它具有精度高、线性比好等优点。功率驱动器的功能就是能够顺序给三相线圈供电，也就是说通过开关管来实现控制电流的关断。目前多采用大功率开关管（IGBT）控制线圈的通断，每相线圈串联在两个 IGBT 之间，两个开关管同时接通则线圈得电，同时断开则线圈失电，失电时能够通过续流二极管反向向母线释放电压。控制器是整个系统的核心部分，能综合处理给定信号及电流检测器和位置检测器的反馈信号，发出输出信号，控制功率驱动器通断线圈，使之达到规定的使用要求。

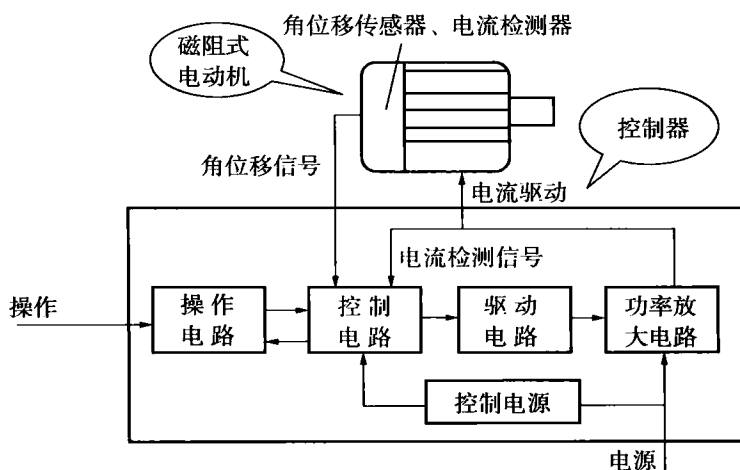


图 1-1 开关磁阻电动机调速系统组成图

1.2.2 电动机结构

SRM 是定子、转子双凸极可变磁阻电动机，定子、转子均由普通硅钢片叠压而成，转子上既无绕组也无永磁体，是无刷结构。定子极上绕有集中绕组，因此，它有很强的环境适用性，如图 1-2 所示。

作为电动机的结构特征：定子齿极数和转子齿极数与系统的相数相关。例如，三相方案有 6/4、6/8、12/8、24/16 等几种结构，四相方案有 8/6、16/12、32/24 等结构。

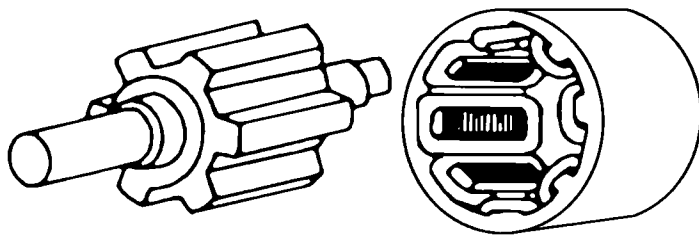


图 1-2 定子、转子结构

图 1-3 所示为三相 12/8 极结构。若以示意图中定子、转子的相对位置作为起始位置，依次给 $B \rightarrow C \rightarrow A$ 相绕组通电，转子即会逆着励磁顺序以逆时针方向连续旋转；反之，依次给 $C \rightarrow B \rightarrow A$ 相通电，则电动机会以顺时针方向转动。SRM 的转向与相绕组的电流方向无关，而取决于相绕组通电的顺序。

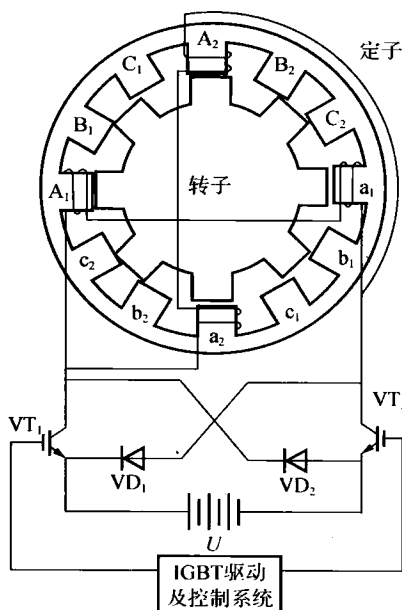


图 1-3 SRD 电动机三相 12/8 结构

通过控制相绕组的电子开关 (IGBT) VT_1 、 VT_2 的工作状态，就可以改变电动机的转向、转矩、转速、制动等工作状态。

当定子相绕组通电时，电动机内建立起磁场，当两凸极位置不对齐时，磁力线是弯曲的，如图 1-4 所示。转子受到弯曲磁力线的磁拉力，产生转矩，使转子转动，转子凸极向定子凸极趋近，当两凸极位置对齐时，转子达到平衡位置。

位置传感器安装于电动机内部（非出力端），向控制器提供转子相对位置信号，使控制器能够正确地判断和决定电动机定子绕组的导通和关断时刻，确保电动机的正常工作。

功率电路向电动机提供运转所需要的能量，原理见图 1-5。如果系统采用三相交流电

源供电时,由三相整流器和可控功率器件 IGBT 及其它相关器件组成功率开关电路。当 VT_1 、 VT_2 导通时,电动机定子绕组一相通电;当 VT_1 、 VT_2 关断时,绕组通过 VD_1 、 VD_2 续流向电容回馈能量,因此开关磁阻电动机调速系统具有节能的优势。

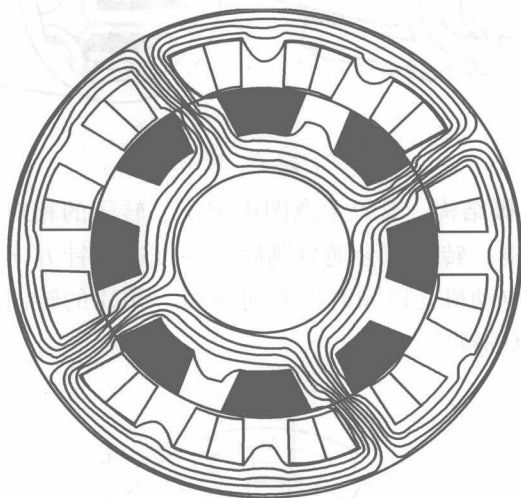


图 1-4 SRM 磁场磁力示意图

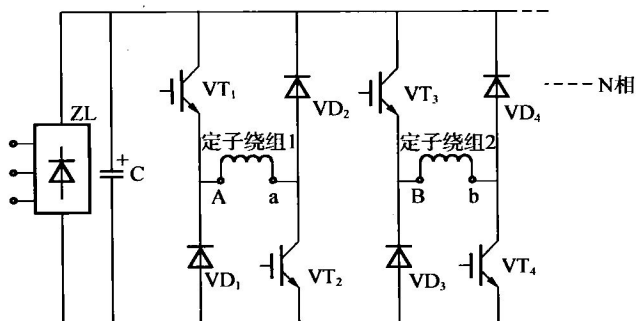


图 1-5 开关磁阻主电路示意图

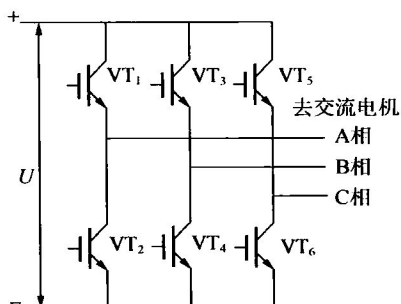


图 1-6 变频器主电路示意图

由于开关磁阻电动机定子绕组的电流是单向的,功率开关元件 IGBT 与电动机绕组相串联,这使得功率电路设计简单化,并且不会出现类似变频器(交变通电,见图 1-6)的上下桥臂因控制错误而造成直通短路的严重事故,因此开关磁阻电动机调速系统的主电路具有很高的工作可靠性。

1.2.3 控制电路

由微处理器组成的数字控制电路是系统的中枢,中枢的控制核心是控制软件,它综合处理操作指令、速度指令、速度及电流反馈信号、转子位置等反馈信息,来控制功率电路中主功率元件的相导通、关断角、电流幅值、绕组电压等工作参数,以实现开关磁阻电动机的调速、稳速运行、停止、正反转、制动等状态的控制。控制电路如图 1-7 所示。

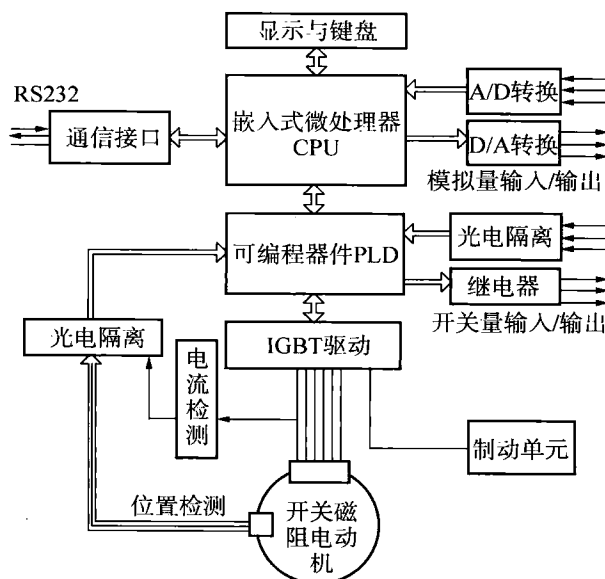


图 1-7 控制电路图

由于嵌入式 MCU 的软件改动简便易行，因此可以方便地修改控制程序来改变电动机的性能和功能，以满足不同用户、不同驱动方式的特别需求。

1.2.4 开关磁阻电动机调速系统 SRD 的特点

(1) 效率高，节能效果好。在所有的调速和功率范围内，SRD 整体效率比交流异步电动机变频调速系统（简称变频调速）至少高 3%，在低速工作的状态下其效率能够提高 10% 以上；与直流调速、串级调速、电磁调速等系统相比，SRD 节电效果更明显。

该电动机仅单一绕组，因此相电流既是励磁电流又是电枢电流，具有典型的串励特性。

(2) 启动转矩大，特别适合于那些需要重载启动和负载变化明显而频繁的场所。SRD 控制器从电源侧吸收较少的电流，在电动机侧可得到较大的启动转矩，启动转矩达额定转矩的 150% 时，启动电流仅为额定电流的 30%，比之交流电动机的 300% 电流获得 100% 的转矩的性能，优势非常明显。

(3) 调速范围广（见图 1-8）。SRM 电动机可以在低速下长期运行。由于效率高，在低速下的温升程度比额定工况时还要低，解决了变频调速低速运行下电动机发热问题。此外，SRM 电动机最高转速不会像交流电动机那样受极数的限制，可以根据实际需要灵活地设定最高转速。

(4) 可频繁正、反转，频繁启动、停止，系统调控性能好，四象限控制灵活（见图 1-9），因此，非常适合于龙门刨床、可逆轧机、油田抽油机、螺旋压力机等应用场合。制动性能好，能实现再生制动，节约电能效果显著。

(5) 启动电流小，避免了对电网的冲击。SRM 具有软启动特性，没有普通交流电动机启动电流大于额定电流 5~7 倍的现象。

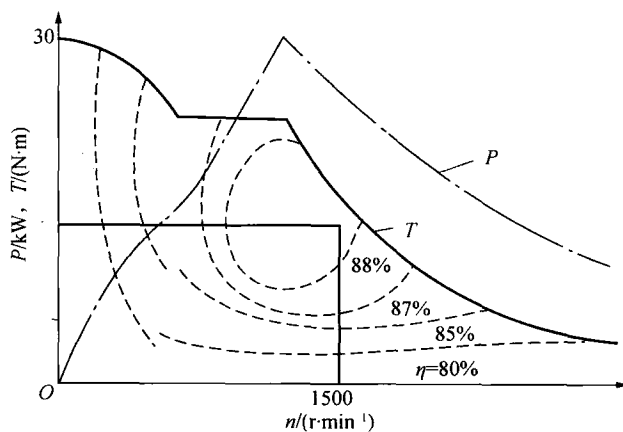


图 1-8 开关磁阻电动机调速系统的转矩、功率与效率

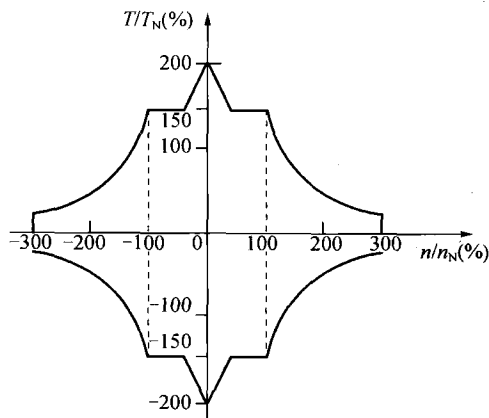


图 1-9 四象限运行图

(6) 功率因数高, 不需要加装无功补偿装置。普通交流电动机的功率因数空载时在 0.2~0.4 之间, 满载时在 0.8~0.9 之间; 而开关磁阻电动机调速系统在空载和满载下的功率因数均大于 0.98。

(7) 电动机结构简单、坚固, 制造工艺简单, 成本低, 工作可靠, 能适用于各种恶劣、高温甚至强振动环境。

(8) 缺相与过负载时仍可工作。出现电源缺相、电动机或控制器任一相出现故障时, SRM 电动机输出功率减小, 但仍然可以运行。当系统超过额定负载 120% 以上时, 转速只会下降, 而不会烧毁电动机和控制器。

(9) 由于控制器中功率变换器与电动机绕组串联, 因此不会出现变频调速系统功率变换器可能出现的直通故障, 可靠性大为提高。

表 1-1 所示为 7.5kW、1500r/min SRD 与其它调速系统的性能比较结果。

表 1-1 7.5kW、1500r/min SRD 与其它调速系统的性能比较

类 别		滑差电动机	直流电动机	交流感应电动机	开关磁阻电动机
效率	100% T 和 100% n	75	76	77	83
	100% T 和 50% n	38	65	65	80
价格*		0.8	1.0	1.5	1.2
单位体积功率*		0.8	1.0	0.9	>1.0
控制复杂性*		0.2	1.0	1.8	1.2
可靠性及可维护性*		1.6	1.0	0.9	1.1
噪声/dB		69	65	74	74

* 表示该项性能指标以直流电动机调速时为 1 作为比较基准。

(10) SRD 的不足之处是低速时转矩脉动；此外，电动机运行时有噪音，但噪音低于国家标准线。随着 SRD 技术的不断改进；这两个问题正逐步得到解决。

根据以上介绍的特点，SRD 可以在各行各业中应用，特别适用于以下场合：

- ①宽调速范围中长时间低速运行的场合；
- ②宽调速范围中高于交流电动机同步转速 3000r/min 以上的场合；
- ③频繁正、反转，频繁启动、停止的场合；
- ④要求有低速启动、重载启动，又不能有启动大电流的场合；
- ⑤取代变频调速系统、直流调速系统的使用场合；
- ⑥适合于在高粉尘、高速、易燃易爆等恶劣环境下运行。

1.3 开关磁阻电动机调速系统和交流变频调速系统的区别

1.3.1 主电路比较

变频器的主电路如图 1-10 所示，两个功率开关器件串联后接在正负母线间，若控制错误或干扰的存在有可能导致两个功率开关器件直通，导致短路，烧毁功率器件。

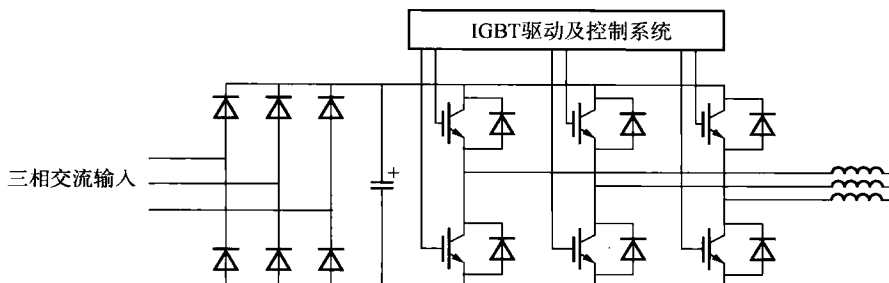


图 1-10 变频器主电路