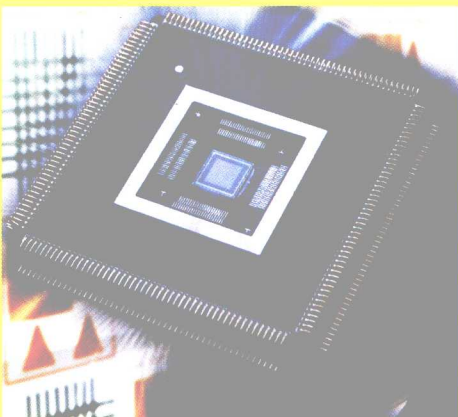


最新版

电动机驱动 与控制专用集成电路 应用手册

吴红星 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电动机驱动 与控制专用集成电路 应用手册

吴红星 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统、全面地介绍了目前广泛应用的电动机驱动与控制专用集成电路,内容包国内外电动机驱动与控制专用集成电路概况,直流电动机、步进电动机、感应电动机、无刷直流电动机控制与驱动专用集成电路,有较宽适用性的功率驱动电路、智能功率模块(IPM)和大规模集成的运动控制和电动机控制专用微处理器(DSP)。本书内容求新,资料丰富,并经编者整理和系统化后编写而成,其中还包括编者对电路的应用体会,既方便读者查找相关资料,又能从编者的应用经验中得到启发。

本书适合工业自动化工程技术人员阅读,也可供相关专业的科研人员与大中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电动机驱动与控制专用集成电路应用手册/吴红星编著. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8801-4

I. 电… II. 吴… III. ①电动机-驱动机构-集成电路-技术手册②电动机-控制电路:集成电路-技术手册 IV. TM32-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 067986 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 32.5 印张 841 千字

印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

电驱动控制系统是指以电能为能源,通过电动机本体、驱动器、传感器与控制器等,进行能量变换来驱动及控制电动机的系统,它与燃油(气)动力系统、液压动力系统及气压动力系统等组成动力群,在机械、交通、航空、航天、兵器等领域占有重要地位。电动机及其控制系统在工农业生产、国防航天、科学研究及日常生活中都大量使用。随着现代技术的进步,特别是电力电子技术、自动控制理论的发展,电动机在其实际应用中,已由过去简单的起停控制、提供动力上升到对其速度、位置、转矩等的精确控制,以使被驱动的机械运动符合预期的要求。特别是在工业自动化、办公室自动化和家庭住宅自动化方面使用大量的控制电动机,几乎都采用电力电子器件通过微处理器进行控制,在这种情况下,传统的“电动机控制”、“电气传动”已发展到“运动控制”、“远程控制”和“嵌入式操作系统”的新阶段。

用来控制电动机运动的电驱动控制系统,包括前级微功率控制电路、驱动电源和末级功率驱动部分。前级控制电路容易实现集成,通常是模拟数字混合集成电路。对于小功率系统,末级驱动电路也已集成化,称之为功率集成电路。功率集成电路可以将高电压、大电流、大功率的多个半导体开关器件集成在同一个芯片上,有些时还包括检测、控制、保护等功能电路,称之为智能功率集成电路。有一些更大规模的功率集成电路把整个控制器和驱动器都集成在一起,用一片集成电路就能控制一台甚至多台电动机。

电动机驱动与控制电路由分立单元电路向专用集成电路发展,不但给电动机控制带来极大方便,体积缩小,成本降低,性能改善,调整简便,而且可大大提高系统的可靠性和抗干扰能力,从而深受整机制造商的欢迎。因此,电动机驱动与控制专用集成电路作为专用集成电路的一个重要方面,引起了先进工业国家知名半导体厂商的重视,竞相研制开发电动机控制、运动控制专用集成电路。例如,美国的 Motorola、National semiconductor、Texas instrument、GE 公司,德国的 Siemens 公司,荷兰的 Philips 公司,日本的 Mitsubishi、Panasonic、Toshiba、Sanyo 公司。

电动机驱动与控制专用集成电路品种规格繁多,产品资料和应用资料十分丰富,但又很分散,加之不断有新产品涌现,考虑到资料的搜集整理、分析消化和系统化需要耗费大量时间,因此有必要时时更新相关材料。本书向读者较系统地介绍国内外著名半导体厂商生产的用于电动机控制、运动控制的专用集成电路及其应用技术,它是对有关文献资料整理和系统化后编写而成的,其中也包括编者对部分集成电路的应用体会。

本书共 8 章。第 1 章绪论,介绍国内外电动机驱动与控制专用集成电路发展情况,电动机控制和运动控制、智能功率集成电路概况,以及典型闭环控制系统可以集成的部分和要求。第 2~5 章分别叙述了直流电动机、步进电动机、感应电动机、无刷直流电动机驱动与控制专用集成电路,着重介绍它们的电路特点、运行、应用实例。在这几章中,首先归纳专用集成电路产品情况,然后分节介绍典型型号产品。在第 6 章介绍了有较宽适用性的功率驱动电路,主要对现有市场应用较为广泛的专用集成电路进行叙述,介绍不同集成电路的特点及典型应用电路。第 7 章介绍了智能功率模块(IPM)。为适应中大功率控制系统对半导体功率器件控制需要,近

年出现了许多触发和驱动专用混合集成电路，它们的性能和正确使用直接影响驱动系统的性能和可靠性，重要性是十分明显的。第8章介绍了几种大规模集成的运动控制和电动机控制专用微处理器（DSP）。它们将上位机指令、内置程序及传感器反馈信号转换成电动机驱动系统可以识别的位置控制、速度分布图、加减速等指令形式，使系统完成一个完整的运动。

全书由吴红星博士主编，编写过程中参考了有关厂商或代理商提供的资料，编者还参考了国内有关单位和个人撰写的资料和文献，在此一并致以深切谢意。

由于编者水平所限，加之编写时间比较仓促，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 电子器件的发展与应用 1

1.2 电动机驱动与控制系统基础 2

1.3 电动机驱动与控制系统
发展情况 31.4 电动机驱动与控制专用
集成电路 4第2章 直流电动机驱动与控制
集成电路 6

2.1 引言 6

2.2 UCX637 系列 PWM 直流电动机
驱动电路 82.3 TPIC2101 直流电刷
电动机控制器 112.4 TL598 小型直流电动机 PWM
调速电路 142.5 THMC40/41 直流风扇
电动机驱动器 162.6 TDA1085C 通用直流电动机
调速电路 19

2.7 TD340 直流电动机控制电路 22

2.8 SG2731 直流电动机控制电路 25

2.9 P82CF201 低功耗双风扇管理
控制电路 28

2.10 MC642 风扇转速控制电路 30

2.11 MAX1749 微型直流电动机驱动
控制电路 342.12 LMD18245 直流电动机功率驱动
集成电路 362.13 L290/L291/L292 直流电动机
驱动器 42

2.14 A3958SB 直流电动机控制器 46

2.15 ADM1034 风扇转速控制器 52

2.16 FAN8100 直流电动机控制器 66

2.17 FAN8460 直流电动机控制器 70

2.18 LB1948M 直流电动机控制器 80

2.19 TC648 直流电动机控制器 82

2.20 TL5002 直流电动机控制器 90

2.21 MC33887 直流电动机驱动器 94

第3章 无刷直流电动机驱动与控制
集成电路 99

3.1 引言 99

3.2 A3936SED 无刷直流电动机
控制电路 1013.3 ECN3022 无刷直流电动机
控制电路 1043.4 HA13536 无刷直流电动机
驱动电路 1073.5 LB11820M 无刷直流电动机驱动
集成电路 1103.6 MC68HC908GP32 无传感器直流
电动机控制电路 1143.7 MLX90401 无刷直流
电动机控制器 1193.8 Si9979Cs 三相无刷直流电动机
控制集成电路 1223.9 TDA5142T 无刷直流电动机
控制电路 1253.10 OM9369 无刷直流电动机
控制电路 1303.11 UCC3626 三相无刷直流
电动机控制器 135

3.12 A8906 无传感器无刷直流

电动机控制器	140
3.13 LB11981 无刷直流电动机 控制器	148
3.14 LS7362 无刷直流电动机 控制器	152
3.15 LS7560 无刷直流电动机 控制器	157
3.16 M63154 无刷直流电动机 控制器	165
3.17 ML4435 无刷直流电动机 控制器	171
3.18 MSK4462 无刷直流电动机 控制器	178
3.19 OMC506 无刷直流电动机 控制器	182
3.20 TA8499 无刷直流电动机 控制器	186
3.21 UDN2936 无刷直流电动机 控制器	193
3.22 ZXBM2004 无刷直流电动机 控制器	196
3.23 ST72141 无刷直流电动机 控制器	201
3.24 TB9060 无刷直流电动机 控制器	208
第4章 步进电动机驱动与 控制集成电路	214
4.1 引言	214
4.2 A3796 两极步进电动机驱动 集成电路	218
4.3 A3955SB 步进电动机驱动 集成电路	222
4.4 BL5060 两相四拍步进电动机 驱动器	226
4.5 CIPH9803 步进电动机控制 集成电路	227
4.6 FAN8200/FAN8200D 步进 电动机驱动器	229
4.7 HA13532NT 步进电动机控制 集成电路	232

4.8 L297/L298 步进电动机驱动器	234
4.9 LT494 专用脉宽调制集成电路 步进电动机驱动器	238
4.10 MC3479 步进电动机驱动 集成电路	242
4.11 MTD2005 步进电动机驱动 集成电路	244
4.12 PMM8713 步进电动机 脉冲分配器	247
4.13 SAA1042 两相步进电动机 驱动电路	249
4.14 SI-7502 五相步进电动机 驱动器	252
4.15 STK672-020 步进电动机驱动 集成电路	256
4.16 TDA1521 步进电动机桥式 驱动电路	259
4.17 UC3717 两相步进电动机 控制电路	261
4.18 UC3770 步进电动机驱动电路 ..	264
4.19 A3965 步进电动机控制器	267
4.20 ATA6830 步进电动机控制器	270
4.21 CS8441 步进电动机控制器	280
4.22 L6208 步进电动机控制器	283
4.23 L9935 步进电动机控制器	290
4.24 908E626 步进电动机控制	296
4.25 TMC428 步进电动机控制器	313
第5章 感应电动机驱动与 控制集成电路	318
5.1 引言	318
5.2 AD2S100 交流矢量处理器 专用集成电路	320
5.3 HEF4752V 生成 SPWM 专用集成电路	324
5.4 IRMCK201 应用于交流伺服 专用集成电路	327
5.5 MA818 脉宽调制集成电路	332
5.6 MC3PHAC 三相交流电动机 控制集成电路	335
5.7 SA868 三相正弦脉宽调制器	338

5.8	SLE4520 三相电动机速度 控制集成电路	346	驱动电路	422
5.9	ML4423 交流电动机 速度控制器	350	6.18 SKHI22AH4 功率 IGBT 驱动电路	425
5.10	SM2001 三相 SPWM 控制器	357	6.19 2ED300E17 大功率 IGBT 驱动电路	427
第 6 章	半导体驱动专用集成电路	363	第 7 章 智能功率模块 IPM	436
6.1	引言	363	7.1 引言	436
6.2	EXB840/841 IGBT 专用 驱动电路	364	7.2 智能功率模块基本知识	438
6.3	HH204 步进电动机驱动电路	366	7.3 小型封装智能功率模块	450
6.4	IR2130 三相电动机控制 MOSFET 驱动集成电路	369	7.4 7MBP100RA120 智能功率模块	456
6.5	MAX620 四路电动机驱动电路	374	7.5 MIG20J106L 智能功率模块	460
6.6	Si9976DY 桥式驱动器	377	第 8 章 专用电动机控制微 处理器 DSP	464
6.7	TC4469 电动机驱动器	382	8.1 引言	464
6.8	UDN2998W 电动机驱动器	386	8.2 DSP 技术的 ADMC328 电动机控制器	465
6.9	IR22381 三相 IGBT 驱动电路	388	8.3 DSP 技术的 ADMC401 电动机控制器	468
6.10	M54679 步进电动机驱动电路	397	8.4 DSP 技术的 TMS320LF2407 电动机控制器	472
6.11	IGD616 集成 IGBT 驱动电路	401	8.5 DSP 技术的 DSP56F805 电动机控制器	480
6.12	MSA260 功率驱动器	404	8.6 DSP 技术的 TMS320F2808 电动机控制器	481
6.13	SA12 功率放大器	408	参考文献	509
6.14	TPD720 功率驱动电路	410		
6.15	6ED00306 大功率 IGBT 驱动器	413		
6.16	PC929 功率 IGBT 驱动电路	420		
6.17	SKYPER TM 32 大功率 IGBT			



绪 论

1.1 电子器件的发展与应用

电力电子器件的全控化和高频化促进了电力电子变流技术的发展,高频场控型器件和采用高频处理技术是现代电力电子变流技术的主要特征,PWM 控制技术已逐渐成为电力电子变流技术的主要控制技术。现代电力电子变流技术不断朝着高电压、大电流、高频化、智能化、控制技术数字化的方向发展。

电力电子器件是电力电子变流技术发展的强大动力,电力电子变流技术的每一次飞跃都是以新器件出现为契机的。自 1958 年晶闸管在美国 GE 公司诞生以来,电气传动技术就进入电力电子的发展时代。1958 年第一代晶闸管(SCR)的问世,以及随后 20 年内 SCR 额定值及特性参数的提高和改进,开创了“SCR 及其应用”的传统电力电子技术第一阶段。由 SCR 派生出了快速晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管、不对称晶闸管和光控晶闸管等器件,其中光控晶闸管容量已达到 3800A/8000V 的水平。由于 SCR 无法实现自关断且开关频率低,除了某些大容量的应用场合中还在使用,中小容量场合已被全控型器件逐渐取代。

20 世纪 70 年代中期,大功率电力晶体管(GTR)、高压大功率门极关断(GTO)晶闸管及电力场效应晶体管(MOSFET)等器件的相继研制成功以及这些器件与微处理器的结合使用,使电力电子技术进入了“自关断器件”的第二阶段。GTR 是一种双极型大功率高反压晶体管,可分为单管、达林顿管和 GTR 模块三大系列,其中 GTR 模块在大功率开关场合应用最多。GTO 是一种电流控制型可关断器件,它的关断特性被认为是电力电子技术的一次突破。目前 GTO 容量已达到 3600A/6000V 的水平,但其关断电流增益差,关断损耗大,同时需要大功率的吸收电路,目前 GTO 主要用于数千 kW 以下大功率电流型逆变器。MOSFET 是一种电压控制型器件,具有较高的开关频率(几百 kHz)和较小功率的吸收回路。MOSFET 输入阻抗高,由于它的通态压降随器件阻断电压的提高而迅速升高,因而只应用于高频、低容量场合。

20 世纪 80 年代以来,微电子技术与电力电子技术在各自发展的基础上相结合,产生了一批工作频率高,具有栅极全控功能的功率集成器件,如静电感应晶体管(SIT)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)、场控晶闸管(MCT)、功率集成电路(PIC)、集成门极换流晶闸管(IGCT)和智能功率模块(IPM)等,使电力电子技术进入全新的“高频化、智能化”的第三阶段。SIT 是一种大功率结型场效应晶体管,其开关频率相当高,但通态压降较大,主要用于视听、感应加热等领域。最近推出的一种静电感应晶闸管(SITH),是在 SIT 漏极表面加上一层 P 型材料而成,这种器件除了关断电路增益低,还具有类似 GTO 的特性。目前已研制成 2000A/4000V 的 SITH 器件,应用于高频感应加热、高频 DC/DC 变流器和无噪声 PWM 逆变器中,成为高频电力变换装置中较为理想的器件之一。IGBT 是一种由 MOSFET 和 GTR 组成的复合电压控制型器件,IGBT 集中了 MOSFET 和 GTR 的优点,具有开关损耗小、耐压高、通态压降低等优点,其模块容量从 1990 年的 100A/1000V 提高到现在的 2400A/3500V。IGBT 采用单独驱动模块,使用极为方便,被视为最为理想的电力电子器件。IGBT 模块最新发展出电子注入增强栅晶体管(IEGT)

模块。IEGT 利用“电子注入增强效应”，采用平板压接式电极引出结构，兼有 IGBT 和 GTO 的优点，具有饱和压降低、安全工作区宽、栅极驱动功率低、工作频率高和可靠性高的特点。MCT 是 1988 年美国 GE 公司生产的一种复合型器件，兼有 SCR 的高电压、大电流特性和 MOSFET 快速开关的性能。其特点是电压、电流容量大，可经受 di/dt 、 dv/dt 高，开关速度与 IGBT 相当，通态压降更小，开关损耗小。IGCT 是 ABB 公司最近推出的一种电压控制型器件，结合了晶体管的强关断能力和晶闸管的低通态损耗。IGCT 具有电流大、电压高、开关频率高、可靠性高、结构紧凑、损耗低等特点，适用于中、高电压的大功率应用场合，是一种极具发展潜力的新一代功率器件。PIC 是为了解决大功率电子器件应用时驱动保护困难而出现的，它把承受高电压、大电流的功率器件和用作控制的数字电路、模拟电路、保护电路及检测电路集成在一起，使器件具有自检测、智能控制和自保护功能。PIC 可分为高压集成电路（HVIC）和智能功率集成电路（SPIC），是目前功率电子学发展的最新方向。第三代 IPM 由高速、低耗的 IGBT 芯片和优化的栅极驱动电路、保护电路、报警电路等封装而成，具有高可靠性、低损耗、低噪声、低振动、故障自保护等优点。

1.2 电动机驱动与控制系统基础

随着科学技术的发展，出现了许多跨领域、跨学科的综合性学科，电动机驱动控制技术就具有这种高度综合的特点。电子技术、微电子技术、计算机技术给电动机系统以新的生命力。电动机驱动控制技术涉及机械学、电动力学、电动机学、自动控制技术、微处理器技术、电力电子学、传感器技术、计算机仿真学、计算机接口技术、软件工程学等学科与领域。

电动机驱动控制技术包括以下更为具体的内容。

(1) 执行机械技术。包括电动机的原理与设计，电动机及传感器一体化，机械机构的动力学分析，一体化电动机系统，电动机机构的新结构、新原理、新材料、新构成等。

(2) 逆变和电动机驱动技术。包括电力变换技术、功率驱动技术、精密驱动技术、驱动保护技术、电磁兼容与可靠性等。

(3) 运动信息及信号检测。包括传感器技术、信号处理技术、接口技术等。

(4) 自动控制技术。包括控制理论、控制方法及控制电路的模拟、仿真和调试技术。

(5) 电动机系统的集成。包括电动机系统的一体化设计，电动机系统的结构化设计，电动机系统的模拟、仿真和实现电动机系统的综合性能分析和评估。

(6) 以嵌入式数字信号微处理器（DSP）芯片为核心的单片电动机系统技术。将电动机系统的主要结构做在一个单芯片中，它以嵌入式 DSP 芯片为核心，采用面向对象的片中软件实现控制系统的可重构、可扩充和通用性功能，可以适用于无刷直流电动机、感应电动机、同步电动机、开关磁阻电动机、步进电动机的反馈控制、矢量控制、智能控制等高层次控制。

(7) 网络信息家电中的电动机控制技术。“网络信息家电”是一种概念，是一种新领域。它是信息技术与家用电器智能控制技术的结合，是信息时代的重要物质基础，是计算机、自动控制、信息技术、电工学等学科交叉融合产生的新兴领域。

按照 IEC 的分类，一般用途电动机是指常见的交流电动机（包括异步电动机和同步电动机）、直流电动机，还有交直流两用的通用电动机（其中包括小功率单相换向器电动机）。一般用途电动机将电能转换成机械能，向被驱动的机械部件提供动力来源。它们除了作为机电能量转换的一个部件外，实际上，相当一部分电动机在应用时还需要对其进行起停、正反转、制动

以及调速和保护等控制,通常将这些控制纳入“电气传动”范畴。

另一类电动机是特殊用途或特定用途电动机,其中控制电动机是它的重要分支。广义地说,控制电动机是指在自动控制装置或系统中使用的各种电动机,包括各种交直流伺服电动机、力矩电动机、无刷直流电动机、步进电动机等执行电动机,以及以测速发电电动机、自整角机、旋转变压器、感应同步器为代表的信号类电动机。控制电动机是伺服系统、解算系统、机电一体化装置的重要元件。现代控制电动机与微电子技术、电力电子技术的结合产生了新型的混合式电动机,如无刷直流电动机、步进电动机、交流伺服电动机、逆变器供电的交流电动机、开关磁阻电动机、超声波电动机等。新型电动机的电动机部分和电子控制部分有机地结合组成一个不可分割的整体,形成一个子系统,离开控制电路的电动机本身不能运行。很自然,人们希望这些电动机的控制部分能够集成化。同样,利用电子模拟开关等器件与电动机结合发明了无刷直流测速发电电动机、利用H形伺服环工作的跟踪型自整角机及数字转换器等都是信号类控制电动机与微电子技术结合的产物。

1.3 电动机驱动与控制系统发展情况

(1) 直流驱动系统。以直流电动机为驱动电动机构成的驱动系统称为直流电动机驱动系统,通常简称为直流驱动系统。直流驱动系统中驱动器的功率电路通常采用斩波器控制方式,它具有控制较简单、效率较高、成本低、技术成熟等优点。但直流电动机具有电刷、换向器等易损件,需定期维护,同时直流电动机的效率低于交流电动机,价格高,质量及体积大等缺点,造成了使用不便。

(2) 交流驱动系统。以交流感应电动机为驱动电动机构成的驱动系统称为交流感应电动机驱动系统,简称交流驱动系统。交流电动机与直流电动机相比,具有效率高、体积小、质量小、易维护、结构坚固、易冷却、寿命长等优点,但控制电动机的逆变器较复杂。一方面控制用的大功率管数量要求比直流驱动系统中的多,另一方面要实现交流电动机良好调速性能通常需用矢量控制方法。对普通的三相感应电动机进行矢量控制,其逆变器中除用DSP外,控制软件也较复杂,但是随着电力电子技术的发展,这些问题都可得到解决。

交流驱动系统和直流驱动系统比较而言,交流电动机本身比直流电动机成本低,而逆变器比直流电动机控制系统成本高。随着电力电子技术的不断发展,两个系统的成本差距将越来越小。从目前来看,交流驱动系统总的成本高于直流驱动系统的成本。但是,由于交流驱动系统效率高,质量小,能更有效地实现再生制动,因此交流驱动的优点将使其成为电动汽车最佳驱动系统方案之一。

(3) 永磁同步电动机交流驱动系统。以永磁同步电动机包括无刷直流电动机(BLDC)和三相永磁同步电动机(PMSM)为驱动电动机的驱动系统称为永磁交流驱动系统。它与前两种驱动系统比较,效率较高、体积较小、质量最小且易维护,在电动车中也得到一定的使用。但是,目前该类型驱动系统存在成本太高的缺点,并且在可靠性和使用寿命等指标上也比交流电动机差。同时,对于大功率的BLDC和PMSM要做到体积小、质量小依然存在一定的技术难度。从发展角度看,我国是盛产永磁材料的国家,特别是稀土永磁材料,如钕铁硼等资源非常丰富,随着永磁电动机制造技术不断发展进步,成本不断降低,永磁同步电动机驱动系统在电动汽车上的应用将最具有前途。

(4) 开关磁阻电动机(SRM)驱动系统。开关磁阻电动机驱动系统具有电动机结构比感应

电动机更简单可靠的特点,特别适用于高、低速大转矩、小电流的系统,而且效率高,特别是转子无绕组,适合于频繁正反转及冲击负载等工况条件。功率驱动电路采用的功率开关器件少,电路较简单。功率器件与电动机绕组相串联,不易发生直通短路。SRM 驱动系统利用较简单控制电路能够实现较宽范围的调速、低速大转矩和制动能量反馈等特性,但该驱动系统也有不足之处,即振动及噪声较大。

1.4 电动机驱动与控制专用集成电路

开发一个电动机控制驱动器是一项烦琐的工作。设计一个电动机控制系统,一定要考虑许多参数,例如换相、速度、加速、减速和转矩等。过去,用逻辑集成电路、比较器、晶体管、二极管等电子元器件装配在一个面板上,并使用分立的 MOSFET 或绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 连接成的一个 H 桥或半桥输出电路;现在,只要根据任务需要选取一些成熟的控制集成电路和驱动模块就行,它们已经将所有需要的控制逻辑和驱动的功能集成好了。电动机控制专用集成电路在电动机控制中得到了大量应用。这些电路大多为模拟数字混合电路,大大提高了电动机控制器的可靠性和抗干扰能力,又缩短了新产品的开发周期,降低了研制费用,因而近年来发展很快。

随着电动机应用技术越来越复杂,系统设计者正在通过利用电动机控制集成电路简化设计工作。电动机控制集成化的一个目的是使应用者容易获得最佳的硬件及软件解决方案。人们可用最少的开发时间,就能将其最终产品在市场上销售。

现在,电动机控制电路集成有两个途径。其一,对于在功率管方面有设计专长的公司,目标是将电动机控制器和中等电流功率场效应晶体管 (FET) 集成在一个芯片上。对于高功率应用,厂商时常将电动机控制器和功率 FET 门极驱动电路集成在一个芯片上,可驱动外面的较大功率的 MOSFET 和绝缘栅双极晶体管 (IGBT)。其二,对于兼有高级集成电路能力和功率驱动专长的少数厂商来说,集成方法是将硬件和程序基础结构放在一个模块里。作为专用集成电路的一个重要方面,目前世界上多数大型半导体厂商都提供自己开发的电动机控制专用集成电路。

电动机控制集成电路市场主要包括:工业自动化设备、计算机与外围设备、汽车电子、家用电器、消费类电子产品、医学设备、军事和商用等,工业自动化设备仍是最普遍的应用市场,用于家用电器和消费类电子产品部分将会增加,更多的焦点放置在功率管理和功率转换上。

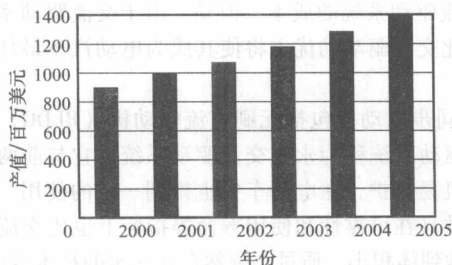


图 1-1 全球电动机控制集成电路产值

按照美国风险开发公司 Venture Development Corporation (VDC) 2001 年发表的“全球电动机控制集成电路市场”报告分析,2000 年世界电动机控制集成电路年度收入为 9 亿美元,而且以后 5 年将以 9% 的平均年增长率增长,如图 1-1 所示。这个市场的产品包括电动机控制器集成电路、电动机驱动器集成电路、控制器/驱动器组合集成电路和芯片组。电动机控制器集成电路的增长率将比电动机驱动器集成电路稍大些。最快速成长的将是控制器/驱

动器组合集成电路和芯片组,这表明更多功能整合的发展趋势。电动机控制集成电路大多数利用脉宽调制 (PWM) 输出,而在电动机控制应用中驱动器集成电路的输出级被新型功率半导体

开关器件 IGBT 所支配。

在过去几年里,电动机控制电路制造业发生了一些合并、收购和重组的情况。例如:

- 1) SiemensSemi 从 Siemens 分立,改名为 Infi-neon。
- 2) TI 收购了 Unitrode 和 Burr-Brown。
- 3) ONSemiconductor 从 Motorola 的 SCG 分立,并收购了 Cherry 的半导体部。
- 4) NJR 收购了 Ericsson 的 IC 系列。
- 5) FairchildSemiconductorCorp 收购了 Sam-sung 的功率器件业务和 MicroLinear 的管理业务。
- 6) Intersil 收购了 Harris 的半导体部。
- 7) DallasSemiconductor 被 Maxim 公司收购。

目前,全球电动机控制集成电路市场中主要的半导体厂商有:美国 Allegro Microsystems、Analog De-vicesInc、Fairchild Semiconductor Corp、Motorola、STMicroelectronics、TexasInstrumentsInc 以及日本的 Toshiba、Sanyo 等公司。

在电动机控制理论方面,最重要的是 20 世纪 70 年代提出的异步电动机矢量控制方法,至今已获得迅猛的发展,已较为成熟。矢量控制交流变频器已经商品化。因为这种方法采用了坐标变换,需要进行快速、复杂的数学运算,所以对控制器的运算速度和处理能力等要求较高。微型计算机技术的发展为矢量控制实现提供了良好的外部条件。无速度传感器的交流异步电动机驱动系统和永磁电动机驱动系统控制也是开发热点之一。永磁电动机驱动系统由于它的高效、高功率因数、高可靠性等优点而得到越来越广泛的关注。无刷直流电动机的无位置传感器控制和正弦波电流控制,在应用方面已趋成熟。近年来,开关磁阻电动机在许多领域应用取得进展,它们大多采用基于微控制器(MCU)、DSP 的电动机控制驱动器。



直流电动机驱动与控制集成电路

2.1 引言

直流电动机的驱动分为两种：绕线式励磁直流电动机和永磁体励磁直流电动机。前者有旋转的磁场并且磁场被直流电流所控制，而后者没有旋转的磁场，气隙也是不可控的。由于直流电动机的驱动技术成熟，控制简单，至今仍被广泛应用到各种不同的场合当中。

直流电动机的驱动已被广泛应用到电力拖动当中。最早的直流电动机驱动系统的结构是由一串与电动机串联或者并联的电阻组成。电动机的电压等于电池的电压减去流经电阻的电压降，能够通过控制电流接触器切掉一部分电阻来增加。伴随着能量的电子控制技术的快速发展，直流斩波电路凭借其体积小、质量小、效率高并且有很高的可控性优点，尤其在调速方面，可以提供平稳的加速度，已经被广泛应用到电力拖动当中。图 2-1 展示了一个降压直流斩波器的基本电路，该斩波器用于直流电动机驱动的速度控制。

应用于变化磁场直流电动机的名字常常由磁场和转子相互的连接来决定。图 2-2 所示普通类型可变磁场的直流电动机分为他励、串励、并励和积复励。没有外部的控制，它们的转矩转速特性曲线在不同的电压等级下有所不同。对于他励直流电动机，磁场和转子电压可以彼此独立地控制，转矩转速特性曲线是线性的，转速随着转矩的增加而增加，而且速度调节依靠转子回路的电阻大小。在串励的直流电动机当中，磁场电流和转子电流一样大，随着转矩的增大转子电流也增大，因此磁通量增加。为了保持供给电压和感应电压的平衡，速度必须下降，转速转矩特性成反比关系。在并励直流电动机当中，磁场和转子被连接到同一个电压源上，相应的特性曲线与他励发电电动机的相似。在积复励直流电动机当中，串励磁动势和并励磁动势方向相同，其特性曲线介于串励和并励之间，决定于串励磁场和并励磁场的相对强弱。需要注意的是串励直流电动机由于其在低速下有很大的转矩，已被广泛应用到传统场合的驱动当中。它们与其他直流电动机相比，被认为具有最高的转矩/电流比。电动机加速和爬坡的时候，这个特性能够大大降低电池的输出。

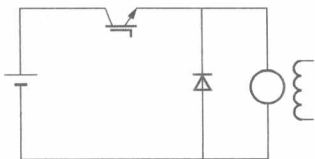


图 2-1 降压直流斩波控制电路

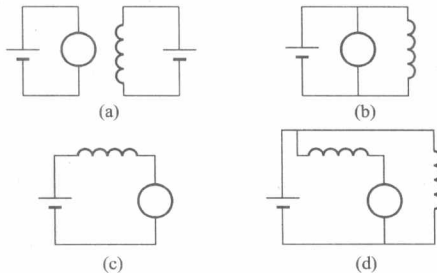


图 2-2 绕线式直流电动机

(a) 他励；(b) 串励；(c) 并励；(d) 积复励

以永磁体取代旋转磁场和磁极结构,永磁直流电动机能够很容易由绕线式直流电动机产生气隙磁场。与绕线式直流电动机相比,由于永磁体节省空间,磁场损失也小,永磁直流电动机可以产生相对较高的能量密度和较高的效率。由于永磁体的低磁导率,其与空气相近,电枢反应被减弱但换向却被改进了。然而,由于永磁直流电动机气隙磁场是不可控的,它们不容易实现与绕线式直流电动机相似的控制特性。

正如前面提到直流电动机的主要特点,就是其技术的成熟和简单。由于气隙磁通 Φ 和电枢电流 I_a 可以被独立地控制,使得电动机的速度 n 和转矩 T 可以被很容易地控制,从而使得电动机的控制技术简单。无论是绕线式直流电动机还是永磁体式直流电动机,它们都由下面几个基本方程所控制

$$E = K_e \Phi n \quad (2-1)$$

$$V_a = E + R_a I_a \quad (2-2)$$

$$T = K_t \Phi I_a \quad (2-3)$$

式(2-1)~式(2-3)中: E 为电动势; V_a 为电枢的电压; R_a 为电枢的电阻; K_e 为电动势常量; K_t 为转矩常量。对于绕线式磁场直流电动机来说, Φ 和励磁电流 I_f 呈线性关系,其中励磁电流 I_f 可以被独立控制。由于励磁方式的不同, I_f 的控制也各不相同。串励中 I_f 由 I_a 控制,在并励和复励当中则分别由 V_a 控制和 V_a 与 I_a 共同控制。相比之下,在永磁体式直流电动机中, Φ 在本质上是不可控的。

当直接直流—直流变换器采用了斩波方式的操作,它们通常被称为直流斩波器,广泛应用于直流电动机驱动电压控制当中。这些直流斩波电路被分为降压斩波电路、升压斩波电路、电流可逆的升压降压斩波电路和桥式可逆斩波电路。降压斩波电路适用于电动状态,能量是从电源流向负载,而升压斩波电路适用于再生制动,能量是从外部负载流向电源。对于有些场合来说,再生制动是十分必要的,它可以使电动机车的速度范围上升25%。如图2-3所示,升压降压直流斩波器不仅可以应用在电动状态,而且可以应用到再生制动的拖动场合。此外,桥式可逆斩波电路采用电力电子控制代替了机械接触器达到反转的操作,它能够被应用到正转、反转以及可电动又可制动的场合。

如图2-4所示,有三种可以改变斩波器输出电压的方式:脉冲宽度调制(PWM)控制、频率调制控制和混合限流型控制。在第一种控制中,斩波器的频率保持恒定而脉冲宽度是变化

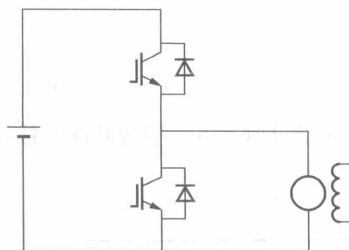


图2-3 电力拖动中电流可逆的升压降压斩波电路

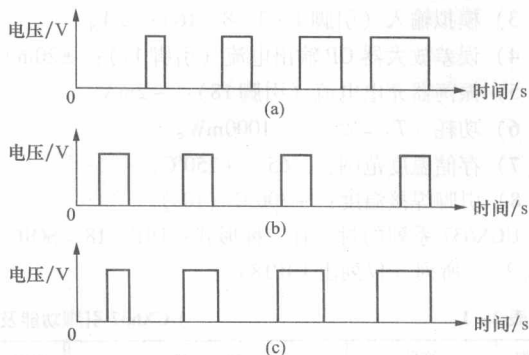


图2-4 直流斩波控制电路的输出电压
(a) 定频率变脉宽; (b) 定脉宽变频率; (c) 变频率变脉宽

的；第二种控制，脉冲宽度是恒定的而斩波频率是变化的；第三种控制，可以通过调节脉冲宽度和频率去控制负载电流在设计好的最大最小值之间变化。在一般电力拖动直流电动机的驱动系统当中，通常采用脉冲宽度调制的电流可逆的升压降压直流斩波器。脉宽的控制由变量导通比 δ 来决定，即

$$V_a = \delta V_s \quad (2-4)$$

$$I_a = \frac{V_a - E}{R_a} \quad (2-5)$$

式中： V_s 为直流供电电压。

因此，当 $\delta > (E/V_s)$ 时，工作在电动状态 ($I_a > 0$)；当 $\delta < (E/V_s)$ 时，工作在再生制动状态 ($I_a < 0$)；当 $\delta = (E/V_s)$ 时，工作在空载情况。由于电流方向可逆，中断的导通方式就不会产生。

2.2 UCX637 系列 PWM 直流电动机驱动电路

2.2.1 概述

UCX637 系列是 UNITRODE 公司研制的专用 PWM 直流电动机驱动电路，可以采用单向/双向两种控制模式工作，在自动化控制领域得到了广泛的应用。与以往的驱动电路（用通用器件构成）相比，它不仅提高了电路的可靠性，而且还降低了成本。UCX637 系列共有三个型号：UC1637/2637/3637，它们的功能完全相同，主要区别是工作的温度等级不同，依次为 $-55 \sim +125^\circ\text{C}$ （军品级）、 $-25 \sim +85^\circ\text{C}$ （工业品级）和 $0 \sim +70^\circ\text{C}$ （商业品级）。

PWM 直流电动机驱动电路的基本核心包括两个部分：一部分是模拟误差信号放大电路；另一部分是脉冲宽度调制（PWM）电路。为确保工程应用的可靠性，还设计有较为完善的保护措施。

2.2.2 UCX637 极限参数

- 1) 电源电压 ($\pm V_s$)： $\pm 20\text{V}$ 。
- 2) 输出电流（拉出/入）（引脚 4、11）： 500mA 。
- 3) 模拟输入（引脚 1~3、8~16）： $\pm V_s$ 。
- 4) 误差放大器 OP 输出电流（引脚 17）： $\pm 20\text{mA}$ 。
- 5) 振荡器充电电流（引脚 18）： -2mA 。
- 6) 功耗 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)： 1000mW 。
- 7) 存储温度范围： $-65 \sim +150^\circ\text{C}$ 。
- 8) 引脚焊接温度： $+300^\circ\text{C}$ (10s)。

UCX637 系列的封装有三种形式：DIP—18、SOIC—20 和 PLCC/LCC—20，引脚功能及符号见表 2-1 所列（仅列出 DIP18）。

表 2-1

UCX637 引脚功能及符号

引脚	符号	功 能	引脚	符号	功 能
1	$+V_{TH}$	锯齿波正峰值	3	$-V_{TH}$	锯齿波负峰值
2	C_T	外接振荡电容	4	A_{OUT}	A 路输出

续表

引脚	符号	功 能	引脚	符号	功 能
5	$-V_S$	电源负极	12	$+C/L$	比较器 COM4 同相输入
6	$+V_S$	电源正极	13	$-C/L$	比较器 COM4 反相输入
7	BOUT	B 路输出	14	SHUTDOWN	关断比较器输入
8	$+BIN$	比较器 - B 同相输入	15	$+E/A$	误差放大器同相输入
9	$-BIN$	比较器 - B 反相输入	16	$-E/A$	误差放大器反相输入
10	$-AIN$	比较器 - A 同相输入	17	$E/A\ OUT$	误差放大器输出
11	$+AIN$	比较器 - A 反相输入	18	I_{SET}	充电电流设置端

2.2.3 工作原理

UCX637 系列 PWM 直流电动机驱动电路原理框图如图 2-5 所示, 可分成以下三大部分: 锯齿波振荡电路、脉宽调制电路和保护电路。

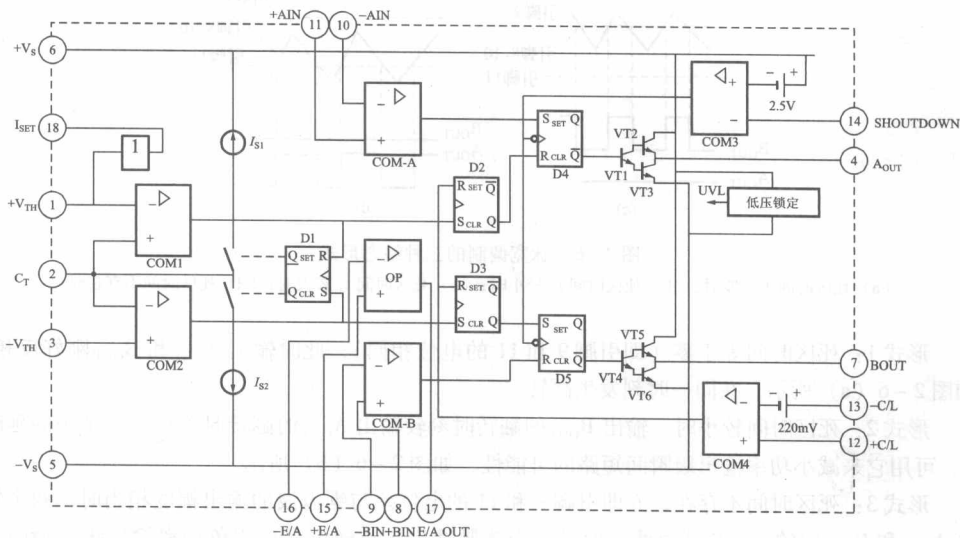


图 2-5 UCX637 系列 PWM 直流电动机驱动电路原理框图

锯齿波振荡电路由比较器 (COM1、COM2)、恒流源 (I_{S1} 、 I_{S2})、触发器 D1 及附属外围阻容元件组成 (参阅图 2-5 相关部分)。锯齿波输出的上/下限 ($+V_{TH}$ / $-V_{TH}$) 由外接电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 决定; 锯齿波的频率 f 则由外接阻容元件 R_T 和 C_T 决定, 按典型应用有以下关系式 (相关电路参见图 2-7)

$$+T_{TH} = -V_S + \frac{[(+V_S) - (-V_S)](R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2-6)$$

$$-T_{TH} = -V_S + \frac{[(+V_S) - (-V_S)]R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2-7)$$