

30151

新编电机控制 专用集成电路与应用

谭建成 编

电气自动化
新技术丛书



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电气自动化新技术丛书

新编电机控制专用集成 电路与应用

谭建成 编

机械工业出版社

本书系统全面地介绍当今世界各知名半导体厂商生产的用于控制和驱动直流电动机、无刷直流电动机、步进电动机、异步电动机、单相交流通用电动机的专用集成电路,以及电动机驱动用 MOSFET/IGBT 开关器件的栅极驱动专用集成电路的技术参数、特点、引脚功能、内部电路框图、工作原理和应用技术等。其中无刷直流电动机专用集成电路部分占较大篇幅,以适应该种电动机日益广泛应用的需要。在附录中列出本书涉及的 900 多个电机控制专用集成电路型号索引,方便读者查阅。本书可作为《电机控制专用集成电路》一书的姐妹篇,结合使用。

本书适用于从事电机控制与运动控制、电气自动化、机电一体化、电子家电、计算机外设、办公自动化设备以及 ASIC 行业的研究开发、生产、使用和维修科技人员,也可供相关专业大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

新编电机控制专用集成电路与应用 / 谭建成编. — 北京: 机械工业出版社, 2005

(电气自动化新技术丛书)

ISBN 7-111-16462-8

I. 新... II. 谭... III. 电机—控制电路: 集成电路
IV. TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 033196 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 孙流芳 版式设计: 冉晓华 责任校对: 刘志文

封面设计: 姚毅 责任印制: 石冉

北京中兴印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·32.75 印张·813 千字

0 001—4 000 册

定价: 50.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

《电气自动化新技术丛书》

序 言

科学技术的发展，对于改变社会的生产面貌，推动人类文明向前发展，具有极其重要的意义。电气自动化技术是多种学科的交叉综合，特别在电力电子、微电子及计算机技术迅速发展的今天，电气自动化技术更是日新月异。毫无疑问，电气自动化技术必将在提高国民经济水平中发挥重要的作用。

为了帮助在经济建设第一线工作的工程技术人员能够及时熟悉和掌握电气自动化领域中的新技术，中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会联合成立了《电气自动化新技术丛书》编辑委员会，负责组织编辑《电气自动化新技术丛书》。丛书将由机械工业出版社出版。

本丛书有如下特色：

一、本丛书是专题论著，选题内容新颖，反映电气自动化新技术的成就和应用经验，适应我国经济建设急需。

二、理论联系实际，重点在于指导如何正确运用理论解决实际问题。

三、内容深入浅出，条理清晰，语言通俗，文笔流畅，便于自学。

本丛书以工程技术人员为主要读者，也可供科研人员及大专院校师生参考。

编写出版《电气自动化新技术丛书》，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希望广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

《电气自动化新技术丛书》
编辑委员会

第4届《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会成员

主任：王 炎

副主任：王兆安 王志良 赵相宾 牛新国

委员：王正元 王永骥 王兆安 王 旭
王志良 王 炎 牛新国 尹力明
刘宗富 许宏纲 孙流芳 阮 毅
李永东 李崇坚 陈伯时 陈敏逊
陈维均 周国兴 赵光宙 赵 杰
赵相宾 张 浩 张敬明 郑颖楠
涂 健 徐殿国 黄席樾 彭鸿才
霍勇进 戴先中

秘书：刘凤英

第4届《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会的话

自1992年本丛书问世以来，在学会领导和广大作者、读者的支持下，至今已出版发行丛书38种33万余册，受到广大读者的欢迎，对促进我国电气传动自动化新技术的发展和传播起到了很大作用。

许多读者来信，表示这套丛书对他们的工作帮助很大，希望我们再接再厉，不断推出介绍电气传动自动化新技术的丛书。因此，本届编委会决定选择一些大家所关心的新选题，继续组织编写出版，同时对受读者欢迎的已出版的丛书，根据技术的发展，我们将组织一些作者进行修订再版，以满足广大读者的需要。

我们诚恳地希望广大读者来函，提出您的宝贵意见和建议，以使本丛书搞得更好。

在本丛书出版期间，为加快与支持丛书出版，成立了丛书出版基金，得到了中国电工技术学会、天津电气传动设计研究所等单位的支持，在此我们对所有资助单位再次表示感谢。

第4届《电气自动化新技术丛书》编辑委员会

2002年10月12日

前 言

1997年出版的《电机控制专用集成电路》一书作为《电气自动化新技术丛书》之一，自出版以来，读者需求甚切，至今已印刷7次。经常有读者来电询问电机控制专用集成电路应用技术或查寻供货商。这也说明电机控制专用集成电路在我国有广阔应用市场。其后几年，世界各知名半导体厂商亦不断开发和更新它们的产品，产品层出不穷，日新月异，推出大量新的电机控制专用集成电路。鉴此，编者结合工作需要，对现有国内外电机控制专用集成电路和应用有关资料进行收集和整理，试图向读者提供一本较完整反映当今世界电机控制专用集成电路便查应用手册。本书可作为《电机控制专用集成电路》一书的姐妹篇而结合使用。

本书系统全面地介绍当今世界各知名半导体厂商生产的用于控制和驱动直流电动机、无刷直流电动机、步进电动机、异步电动机、单相交流通用电动机的专用集成电路，以及电动机驱动用MOSFET/IGBT开关器件的栅极驱动专用集成电路的技术参数、特点、引脚功能、内部电路框图、工作原理和应用技术等。其中无刷直流电动机专用集成电路部分有较大篇幅，以适应该种电动机日益广泛应用的需要。在附录中列出本书涉及的约900个电机控制专用集成电路型号索引，可供读者查阅。

本书适用于从事电机控制与运动控制、电气自动化、机电一体化、电子家电、计算机外设、办公自动化设备以及ASIC行业的研究开发、生产、使用、维修科技人员和管理人员，也可供相关专业大专院校师生参考。

本书编写过程得到各大半导体公司或代理商提供的最新芯片资料和帮助，还引用了国内业界人士在书刊论文资料中的部分内容。对此，编者向各大半导体公司和代理商、诸位专家和学者表示衷心的感谢。

读者如果需要这些专用集成电路样品或有意采购，请参阅附录C，与相关半导体公司（中国办事处）或代理商、分销商联系，或通过互联网的电子元器件商务网查找，例如查www.ic.net.cn、www.21ic.com.cn、www.114ic.com等。

本书内容大多取自各公司资料（包括样本），因此相同含义的名称和符号各公司并不完全相同，为了与原资料衔接，本书不予统一。

编者学识水平有限，错误和不妥之处敬请读者给予批评指正，联系电子邮箱：tanjc04@sina.com。

编 者

2004年9月 于广州

目 录

《电气自动化新技术丛书》序言

第4届《电气自动化新技术丛书》编辑委员会的话

前言

| | |
|---|----|
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 电子电动机和电子电动机控制驱动器 | 1 |
| 1.2 电机控制集成电路 | 3 |
| 1.3 运动控制集成电路 | 8 |
| 1.4 全球电机控制专用集成电路和电子电动机驱动器市场的发展 | 10 |
| 第2章 直流电动机控制专用集成电路 | 14 |
| 2.1 概述 | 14 |
| 2.2 直流电动机控制器集成电路 | 22 |
| 2.2.1 CS4124 驱动高侧 MOSFET 的直流电动机 PWM 控制器集成电路 | 22 |
| 2.2.2 CS7054 驱动低侧 MOSFET 的直流电动机 PWM 控制器集成电路 | 25 |
| 2.2.3 TPIC2101 直流电动机速度控制器集成电路 | 27 |
| 2.3 直流电动机伺服控制器集成电路 | 31 |
| 2.3.1 M51660L/YT5166 直流伺服电动机控制器集成电路 | 31 |
| 2.3.2 TLE 4206G 直流电动机伺服控制 H 桥驱动器集成电路 | 34 |
| 2.3.3 NJM2611 直流伺服电动机控制器集成电路 | 36 |
| 2.4 直流电动机驱动器集成电路 | 38 |
| 2.4.1 A3959PWM 全桥直流电动机驱动器集成电路 | 38 |
| 2.4.2 A3958 PWM 全桥直流电动机驱动器集成电路 | 42 |
| 2.4.3 MC33886/MC33887 直流电动机控制用 H 功率桥驱动器集成电路 | 46 |
| 2.4.4 IR3220/IR3221 汽车用直流电动机大电流 H 桥驱动器集成电路 | 48 |
| 2.4.5 FAN8082D/KA3082D 双向低压直流电动机驱动器集成电路 | 52 |
| 2.4.6 BA6219 直流电动机可逆驱动器集成电路 | 54 |
| 2.4.7 BA6238/BA6239 双直流电动机可逆驱动器集成电路 | 55 |
| 2.4.8 LB1947 PWM 电流控制直流电动机驱动器集成电路 | 57 |
| 2.4.9 M54687FP 双向双速控制直流电动机驱动器集成电路 | 59 |
| 2.4.10 MLX10402 直流电动机驱动器集成电路 | 61 |
| 2.4.11 NCV7701 H 桥驱动器集成电路 | 63 |
| 2.5 直流电动机驱动模块集成电路 | 65 |
| 2.5.1 STK6877 双向直流电动机 8A H 桥驱动器混合集成电路 | 65 |
| 2.5.2 STK681-050 直流电动机 H 桥驱动器厚膜集成电路 | 70 |

| | |
|---|-----|
| 第3章 无刷直流电动机控制专用集成电路 | 72 |
| 3.1 概述 | 72 |
| 3.2 无刷直流电动机控制器集成电路 | 80 |
| 3.2.1 LS7560/LS7561 三相/四相无刷直流电动机控制器集成电路 | 80 |
| 3.2.2 A3932 三相无刷直流电动机 MOSFET 控制器集成电路 | 87 |
| 3.2.3 MC33033/MC33035/MC33039 无刷直流电动机控制器集成电路 | 90 |
| 3.2.4 MLX90401 三相无刷直流电动机控制器集成电路 | 100 |
| 3.2.5 NJM2625 三相无刷直流电动机控制器集成电路 | 105 |
| 3.2.6 RT992 三相无刷直流电动机换相控制器集成电路 | 106 |
| 3.2.7 Si9979 三相无刷直流电动机控制器集成电路 | 107 |
| 3.2.8 UCC3626 三相无刷直流电动机控制器集成电路 | 114 |
| 3.2.9 LB11690 三相无刷直流电动机 PWM 控制器集成电路 | 122 |
| 3.3 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 128 |
| 3.3.1 A3936 DMOS 三相无刷直流电动机 PWM 驱动器集成电路 | 128 |
| 3.3.2 BD6670FM CD-RW 三相主轴电动机驱动器集成电路 | 131 |
| 3.3.3 HA13565F 软盘驱动器三相主轴无刷直流电动机驱动器集成电路 | 133 |
| 3.3.4 KA2822D 三相主轴无刷直流电动机驱动器集成电路 | 136 |
| 3.3.5 TA84005F/TA84006F 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 139 |
| 3.3.6 L6235 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 142 |
| 3.3.7 LB1620 三相 DD 电动机驱动器集成电路 | 146 |
| 3.3.8 LB1695D/LB1696 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 147 |
| 3.3.9 LB1824/LB1921 OA 设备用无刷直流电动机驱动器集成电路 | 149 |
| 3.3.10 LB1825 三相无刷直流电动机 PLL 速度控制驱动器集成电路 | 153 |
| 3.3.11 LB11988 冰箱三相无刷风扇电动机驱动器集成电路 | 157 |
| 3.3.12 LB1975/LB1976 三相 DC 风机电动机驱动器集成电路 | 160 |
| 3.3.13 BA6444FP 三相全波准线性无刷直流电动机驱动器集成电路 | 162 |
| 3.3.14 BA6840/BA6842 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 164 |
| 3.3.15 SZA1015 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 167 |
| 3.3.16 FAN8403D3 有 PLL 速度控制的三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 172 |
| 3.4 高压三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 174 |
| 3.4.1 ECN3021/ECN3022 三相直流无刷电动机驱动器集成电路 | 175 |
| 3.4.2 ECN3067 高压三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 179 |
| 3.4.3 MSK 4310 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 181 |
| 3.4.4 STK6103/STK6105 三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 184 |
| 3.4.5 TPD410× 三相无刷直流电动机 PWM 控制高压智能功率集成电路 | 188 |
| 3.5 两相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 192 |
| 3.5.1 KA3084D 两相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 192 |
| 3.5.2 BA6825FS/BA6826FS 两相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 195 |
| 3.6 无传感器无刷直流电动机控制器和驱动器集成电路 | 197 |
| 3.6.1 TB6520P PWM 型三相全波无传感器无刷直流电动机控制器集成电路 | 200 |
| 3.6.2 TB6537P/F, TB6548F 无传感器三相全波无刷直流电动机控制器集成电路 | 205 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 3.6.3 | TDA5145 无传感器无刷直流电动机驱动器集成电路 | 212 |
| 3.6.4 | TDA5146T 无传感器三相全波无刷直流电动机驱动器集成电路 | 216 |
| 3.6.5 | ML4425 无传感器无刷直流电动机控制器集成电路 | 219 |
| 3.6.6 | Si9993CS 12V 大容量硬盘主轴/VCM 无刷直流电动机驱动器集成电路 | 228 |
| 3.6.7 | A8902CLBA 无传感器三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 234 |
| 3.6.8 | BA6966PV/BD6609FV/BD6653FV 无传感器主轴无刷直流电动机软开关驱动器集成 电路 | 241 |
| 3.6.9 | TB6515AP 无传感器三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 243 |
| 3.6.10 | LB1673M/LB1674M/LB1674V 无传感器低压三相半波无刷直流电动机驱动器集成 电路 | 244 |
| 3.6.11 | LB11981 无传感器三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 246 |
| 3.6.12 | ST72141K 无传感器无刷直流电动机微控制器集成电路 | 249 |
| 3.7 | 无刷直流风机专用集成电路 | 257 |
| 3.7.1 | FAN8404D 单相半波无刷直流电动机驱动器集成电路 | 263 |
| 3.7.2 | NJM2640 单相单极性无刷直流电动机控制器集成电路 | 265 |
| 3.7.3 | TA8473F/TA8473FN 单相半波直流风机驱动器集成电路 | 267 |
| 3.7.4 | NJU7328 单相全波无刷直流风机驱动器集成电路 | 270 |
| 3.7.5 | US79KUA 带霍尔传感器单相无刷直流风机驱动器集成电路 | 271 |
| 3.7.6 | ATS276/ATS277 互补输出霍尔开关集成电路 | 272 |
| 3.7.7 | CS2018 互补双输出霍尔开关集成电路 | 274 |
| 3.7.8 | ATS477 双向电流输出霍尔开关集成电路 | 275 |
| 3.7.9 | LB1964T 低压单相风机全波驱动器集成电路 | 277 |
| 3.7.10 | US90/US91 单相双绕组无刷直流风机驱动器集成电路 | 279 |
| 3.7.11 | US72/US73 单相单绕组无刷直流风机驱动器集成电路 | 280 |
| 3.7.12 | ZXBM2000 系列单相无刷直流电动机控制器集成电路 | 281 |
| 3.7.13 | THMC40/THMC41 无刷直流风机变速驱动器集成电路 | 284 |
| 3.8 | 无刷直流电动机正弦波控制器和驱动器集成电路 | 287 |
| 3.8.1 | L7250 正弦波主轴和 VCM 电动机驱动器集成电路 | 290 |
| 3.8.2 | VC2010/VC2100 高端硬盘驱动器电动机控制器集成电路 | 295 |
| 3.8.3 | TMP88CS40 系列正弦波驱动三相电动机微控制器集成电路 | 297 |
| 3.8.4 | TB6539N/TB6539F/TB6551F 三相正弦波 PWM 无刷直流电动机控制器集成电路 | 298 |
| 3.8.5 | TA8424F/TA8470AF 准正弦三相无刷直流电动机驱动器集成电路 | 305 |
| 第 4 章 | 步进电动机控制专用集成电路 | 308 |
| 4.1 | 概述 | 308 |
| 4.2 | 步进电动机逻辑控制器集成电路 (FT609) | 319 |
| 4.3 | 单极性步进电动机驱动器集成电路 | 323 |
| 4.3.1 | SLA7051M 单极性步进电动机脉冲分配器/PWM 驱动器集成电路 | 323 |
| 4.3.2 | MTD1110 四相步进电动机驱动器集成电路 | 326 |
| 4.3.3 | NJM3517 单极性步进电动机双电压驱动器集成电路 | 327 |
| 4.4 | 两相步进电动机驱动器集成电路 | 332 |
| 4.4.1 | LB1657M 两相步进电动机驱动器集成电路 | 332 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.4.2 | LB1945HPWM 电流控制步进电动机驱动器集成电路 | 333 |
| 4.4.3 | MC3479 两相步进电动机驱动器集成电路 | 336 |
| 4.4.4 | NJM3777 两相步进电动机双极性驱动器集成电路 | 339 |
| 4.4.5 | FAN8200/FAN8200D/FAN8200MTC 低压步进电动机驱动器集成电路 | 342 |
| 4.4.6 | TLE 4729 G 两相步进电动机驱动器集成电路 | 345 |
| 4.5 | 三相步进电动机驱动器集成电路——STK673-010 三相步进电动机正弦波驱动器厚膜混合集成电路 | 349 |
| 4.6 | 步进电动机微步距控制器和驱动器集成电路 | 356 |
| 4.6.1 | NJU39612 双 DAC 微步距控制器集成电路 | 356 |
| 4.6.2 | A3977/A3967 两相步进电动机驱动器集成电路 | 359 |
| 4.6.3 | L8219 两相步进电动机驱动器集成电路 | 365 |
| 4.6.4 | CS4161/CS8441 双 H 桥步进电动机驱动器集成电路 | 368 |
| 4.6.5 | L6258 PWM 控制 DMOS 步进电动机驱动器集成电路 | 370 |
| 4.6.6 | STK672-080 四相步进电动机正弦波驱动器厚膜混合集成电路 | 377 |
| 第5章 | 异步电动机控制专用集成电路 | 384 |
| 5.1 | 概述 | 384 |
| 5.2 | SA866 三相 PWM 波形发生器集成电路 | 387 |
| 5.3 | SA4828 三相 PWM 波形发生器集成电路 | 390 |
| 5.4 | SM2001 三相 SPWM 波形发生器集成电路 | 393 |
| 5.5 | 8XC196MC /MH /MD 电动机微控制器集成电路 | 399 |
| 5.6 | MC3PHAC 交流电动机微控制器集成电路 | 403 |
| 第6章 | 单相交流通用电动机控制专用集成电路 | 407 |
| 6.1 | LS73××系列 AC 通用电动机控制器集成电路 | 407 |
| 6.2 | MLX90804 交流通用电动机调速器集成电路 | 411 |
| 6.3 | MLX90805 智能 Triac 控制器集成电路 | 414 |
| 第7章 | MOSFET/IGBT 开关器件栅极驱动器专用集成电路 | 417 |
| 7.1 | 概述 | 417 |
| 7.2 | IR 公司有电流检测功能的栅极驱动器集成电路 | 429 |
| 7.3 | IR2133 /IR2135 /IR2233 /IR2235 系列三相桥栅极驱动器集成电路 | 432 |
| 7.4 | IR2136 系列三相桥栅极驱动器集成电路 | 435 |
| 7.5 | MC33883 H 桥栅极驱动器集成电路 | 437 |
| 7.6 | MC33395 三相桥栅极驱动器集成电路 | 441 |
| 7.7 | HIP4080A N 沟道 MOSFET 全桥栅极驱动器集成电路 | 443 |
| 7.8 | HIP4086 N 沟道 MOSFET 三相桥栅极驱动器集成电路 | 446 |
| 7.9 | INT201 /INT200 /INT202 高侧 /低侧栅极驱动器集成电路 | 449 |
| 7.10 | IX6R11 半桥 6A 栅极驱动器集成电路 | 451 |
| 7.11 | IXBD4410 /IXBD4411 ISOSMART 半桥栅极驱动器集成电路 | 453 |

目 录

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.12 | TD350 1200V IGBT /MOSFET 栅极驱动器集成电路 | 456 |
| 7.13 | L6386 高侧和低侧栅极驱动器集成电路 | 462 |
| 7.14 | MIC5020 带电流检测的低侧 MOSFET 栅极驱动器集成电路 | 465 |
| 7.15 | MIC5014 /MIC5015 高侧 /低侧 MOSFET 栅极驱动器集成电路 | 468 |
| 7.16 | Si9976 半桥栅极驱动器集成电路 | 470 |
| 7.17 | FAN8800 单个 IGBT 栅极驱动器集成电路 | 476 |
| 附录 | | 481 |
| 附录 A | 电机控制专用集成电路型号索引 | 481 |
| 附录 B | 部分常见集成电路封装外形尺寸 | 494 |
| 附录 C | 主要半导体厂商及部分代理商信息 | 503 |
| 附录 D | 《电机控制专用集成电路》书中介绍过的主要集成电路 | 507 |

第 1 章 绪 论

1.1 电子电动机和电子电动机控制驱动器

已有百年历史的电机技术和现代电子技术相结合产生了机电一体化的电子电动机，其重要组成是为电子电动机赋予控制、驱动功能的电子控制器。近代电子控制技术改变了电机技术的面貌和内涵，注入了最新技术内容和新的发展动力。当代的电机工程师不仅要在电机方面，还必须在控制方面同时进行创新，以满足市场对电动机应用提出的千变万化的需求。

这里所说的电子电动机主要是：

- 电子变频器驱动的异步电动机（包括单相、两相和三相变频异步电动机）；
- 正弦电流驱动模式的永磁同步电动机（又称为无刷交流电动机）；
- 方波电流驱动模式的永磁无刷直流电动机；
- 步进电动机；
- 开关磁阻电动机；
- 有刷和换向器的直流电动机；
- 有刷和换向器的交直流两用电动机（又称为通用电动机、单相交流换向器电动机）。

近代电子技术（包括微电子集成电路技术、电力电子技术和微型计算机技术）的飞速发展以及现代电机控制理论、技术的完善，极大地推动了电机控制技术的发展。而电动机控制驱动器的集成化体现了这些技术发展的结晶。

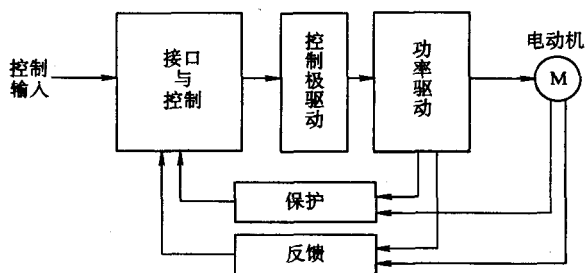


图 1-1 电子电动机控制驱动器的一般功能框图

电力电子技术（Power Electronics）即电力电子学，为电动机控制驱动器主电路提供最重要的电力电子器件。电力电子技术的迅猛发展，使电动机控制技术面貌有了很大变化。

从 20 世纪 60 年代第一代电力电子器件即普通晶闸管（SCR[⊙]）发明至今，已经历了第二代有自关断能力的电力电子器件 GTR、GTO 晶闸管、MOSFET，第三代复合场控器件 IGBT、SIT、MCT 等，和正蓬勃发展的第四代产品——功率集成电路（PIC）、IGCT 等。功率集成电路分为高压集成电路（HVIC）及智能功率集成电路（SPIC）两大类。功率集成电路的出现是电力电子器件发展中的第四次突破，它实现了电力电子技术和微电子技术的结合，实现了动力-信息一体化，将电子电动机控制技术推向了一个崭新的时代。但每一代的

⊙ 普通晶闸管（Thyristor）曾称为硅可控整流器（SCR），因此为方便起见仍沿用 SCR 代表普通晶闸管。

电力电子器件也未停顿过，多年来其结构、工艺不断改进，性能都有迅速提高，在不同应用领域里，它们在相互竞争，新的应用不断出现。

晶闸管作为最早的电力电子器件自问世以来，至今其功率容量已提高了近 3000 倍。尽管有自关断能力的电力电子器件的出现使晶闸管的应用领域有所减少，但由于它有高电压、大电流特性，它在大功率直流驱动和大功率高电压的交流变频调速驱动应用中仍占有不可动摇的地位。自第二代 GTR、MOSFET 至第三代 IGBT 为代表的电力电子器件的发展中，除了自关断能力外，一个显著的特点是器件的开关频率不断提高，器件通态压降不断降低，在电动机控制中应用的结果是使电动机控制驱动器性能有了很大的提高。例如采用了 GTR 做成的通用型变频器，GTR 的开关频率约为 2kHz 左右，变频器输出的最低工作频率约为 3Hz，最高频率 120Hz 左右；而采用 IGBT 做成的通用型变频器，IGBT 的开关频率约达 20kHz 左右，变频器的最低输出频率可达 0.5Hz，最高工作频率可达 400~500Hz。用它控制电动机运行，则噪声更小，电动机运行更平稳。功率 MOSFET 的特点是开关频率高，最高可达几百千赫。但其初期产品的最大不足是通态压降较高，电流、电压容量低，故早期它主要在一些低电压、小容量的电动机控制场合使用。但近年来该类器件在结构、制造上有了重大改进，将微电子制造工艺引入该功率器件的制造中。IR 公司至今已推出了第八代功率 MOSFET 产品，器件体积大为缩小，容量大大提高，性能已大为改观。本来分工明确的功率 MOSFET 和 IGBT，现在也出现了新一轮的竞争。几年前，Warp IGBT 开关频率可达 150kHz，逼近了 MOSFET 的频率，现在又有垂直 P+ 结构的 MOSFET 来夺取更低的正向电阻，新一代的 NPT IGBT（非穿通型 IGBT）以其更好的耐用度夺走了 1200V IGBT 的市场。

这些高开关性能的器件问世是最新一代中小功率、高性能交直流调速系统和伺服控制系统的基本条件。

在开关器件发展的同时，控制极（门极、栅极或基极）驱动电路也获得了飞速的发展，目前，对每一类电力电子器件都有相应的专用控制极驱动集成电路可供选用。这些专用控制极驱动集成电路都是经过优化设计而定型的，它的使用可大大提高整机的可靠性，也为整机设计者带来极大的方便。现在已可以做到使用一片驱动集成电路、一个驱动电源来驱动三相逆变器的六个开关管，而不必为每个开关器件单独提供电源、隔离驱动等，大大简化了外围电路特别是驱动电路的设计。

可以预期，新的更高性能的电力电子器件还会出现，已有的各代电力电子器件还会不断地改进提高。除此以外，一个新的发展动向值得注意，这就是电力电子器件向集成化、智能化方向发展。智能功率模块（IPM）是向第四代器件功率集成电路（PIC）发展的过渡产品，它是微电子技术和电力电子技术相结合的产物，它不但提供一定的功率输出能力，并且具有逻辑、控制、传感、检测、保护和自诊断等功能。它内含驱动电路、保护电路，可实现过电流、短路、欠电压和过电压等保护，还可实现电动机的再生制动。外界只需提供 PWM 信号给智能功率模块，就可以实现以往复杂的主电路及其外围电路的功能。由于采用了隔离技术，散热更均匀，体积更加紧凑。如果与单片控制芯片结合，则可以实现两片式系统。故当今的电动机控制系统的开发者应首先考虑这种智能功率模块的选用，可提高系统可靠性，大幅度降低开发时间和费用。

总之，电子电动机控制驱动器是各种自动化系统的基本部件，它的发展是与微电子技术、电力电子技术和自动控制技术的发展密切相关的。可以预期，电动机控制驱动器将随电

子技术发展而有广阔的发展前景。

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变换控制方法,至今已获得迅猛的发展。这种理论的主要思想是通过坐标变换的方法,分别控制异步电动机的励磁电流分量与转矩电流分量,从而获得与直流电动机一样良好的动态调速特性。这种控制方法现已较成熟,矢量变换控制交流变频器已经产品化。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、处理能力等要求较高,微型计算机技术的发展为矢量变换控制的实现提供了良好的外部条件。

除此以外,基于现代控制理论的滑模变结构控制技术、采用微分几何理论的非线性解耦控制、模型参考自适应控制等方法的引入,使系统性能得到了改善。但这些理论仍然建立在对象精确的数学模型上,有的需要大量的传感器、观察器,因而结构复杂,有的仍无法摆脱非线性和电动机参数变化的影响,因而需要进一步探讨。

近年来,智能控制研究很活跃,并在许多领域获得了应用。典型的如模糊控制、神经网络控制和基于专家系统的控制等。由于智能控制无需对象的精确数学模型并具有较强的鲁棒性,因而许多学者将智能控制方法引入到电动机控制系统中进行研究,并预言未来的 10 年将开创电力电子和运动控制的新纪元。比较成熟的是模糊控制,它具有不依赖被控对象精确的数学模型、能克服非线性因素的影响、对调节对象的参数变化具有较强的鲁棒性等优点。模糊控制已在交直流调速系统和伺服系统中取得了满意的效果。

无速度传感器的交流异步电动机驱动系统、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、高可靠性而得到愈来愈多的关注。无刷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,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 MCU、DSP 的电动机控制驱动器。

1.2 电机控制集成电路

1. 电机控制专用集成电路 现在,电机控制专用集成电路正在广泛地在电动机控制中获得应用,赋予更多的功能,减轻设计任务,使电动机控制更为有效。

开发一个电动机控制驱动器是一个繁琐的工作。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,减速和转矩之类。在过去,用通用逻辑集成电路、比较器、晶体管、二极管等电子元器件,装配在一个面包板上,并使用分立的 MOSFET 或绝缘栅双极型晶体管(IGBT)连接成一个 H 桥或半桥输出电路。而现在,只要根据任务需要,选取一些成熟的电动机控制集成电路和驱动模块就行。事实上,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被大量在电机控制中使用,这些电路大多为模拟数字混合电路,它大大提高了电机控制器的可靠性、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寻求工作的简化。电动机控制集成化的一个理由是使应用者容易获得最佳的硬件-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。事实上,许多交流或直流电动机和步进电动机在消费、商业和工业应用的市场竞争中,以更短时间推向市场这个因素变得更具决定性。

现在,电动机控制电路集成有两个途径。一条途径是,对于在功率管理方面有设计专长的公司,目标为将电动机控制器和中等电流功率 FET 集成在一个芯片上。对于大功率应用,厂商时常将电动机控制器和功率 MOSFET 栅极驱动电路组合在一个芯片上,可驱动外面的较大功率的 MOSFET 和 IGBT。集成的另一个途径是,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,他们的集成方法是将硬件和程序基础结构放在一个模块里。

2. 一些半导体厂商的电机控制专用集成电路 作为专用集成电路 (ASIC—Application Specific Intergrated Circuit) 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机控制专用集成电路。下面简介一些半导体厂商的电机控制专用集成电路。

Allegro Microsystems 公司新推出了它的电动机驱动集成电路的系列产品——以 DMOS 为基础的 PWM 控制全桥驱动器。举例来说, A3958 型集成电路可处理 62A 的连续电流,运行电压为 50V, DMOS 输出开关管有低值的通态电阻 $R_{DS(ON)} = 270\text{m}\Omega$ 。而且,在这些电路中,采用了数字控制技术以增加被控参数的柔性。

图 1-2 表示 2.27 美元的 A3958 内部结构。该集成电路有一个分别接收时钟、选通脉冲和数据信号的三线串行口。数据信号用一个 20 位字设置电动机控制参数。其中, 2 位是控制一个电流检测比较器单元; 5 位是选择 PWM 波形的 OFF 时间; 4 位决定不同衰减模态操作中的 OFF 时间的部分,可由这 4 位选择快速的、慢速的和混合的电流衰减模态。内部一个同步-整流功能可减少 DMOS 功率消耗和免除外接钳位二极管的需要。当集成电路处于 PWM 的 OFF 时间,负载电流依照被选择的衰减模态以不同方式续流。在电流衰减期间,同步-整流的特点是将一对相反的 DMOS 输出接通,将体二极管短接,从而有效地降低通态电阻和开关功耗。

同样地, A3974 型芯片有两个 DMOS H 桥可分别驱动两个直流电动机。每个桥有 50V、 $\pm 1.5\text{A}$ 驱动能力。采用 44 引脚的 PLCC 封装,使用一个三线串行口控制。

Allegro 公司还提供 A3958 的一些派生产品。例如 A3972,它含有 A3958 的所有功能,另外,它是一个双通道步进电动机驱动器,它还增加两个 6 位的 D/A 转换器,以获得微步距控制功能,微步距增量是 1.56%。另一个 A3971 产品是一个双桥驱动器,本质上和 A3958 有相同的工作原理。

另外的一个 A3977 步进电动机驱动器,内置有译码器,不需要外接微控制器,设计使电动机可运转在一步、半步、1/4 步和 1/8 步等模态微步距驱动。它有 35V、 $\pm 2.5\text{A}$ 的驱动能力。

STMicroelectronics 公司的 L6206/6209 系列产品是驱动电流为 2.8A、增加功能的双全桥步进电动机驱动器,而 L6208 是 BCD (双极-CMOS-DMOS) 芯片,包括一个 PWM 电流控制器和一个产生步进顺序的顺序器。L6258 大电流 (1.2A) 微步距驱动器是独特的,它是包含一个四个象限的 PWM 和两个 4 位的 D/A 转换器的电流控制器。

下面是三相交流电动机驱动器集成电路的例子。

Intersil 公司推出使用外部 MOSFET 桥的三相驱动器系列产品, HIP4086 是一个用于电动机 PWM 控制的三相驱动器。它内部有充电泵电路产生给外接高侧 FET 栅极驱动。该集成电路有可编程的死区时间控制,解决上下桥臂交叉直通保护。这一点对驱动开关磁阻电动机是有益的。Intersil 公司提供一个 HIP4086 评估板,以供用户开发用。

国际整流器 (IR) 公司开发了适于 115V、230V 和 460V 交流电动机驱动器使用的系列

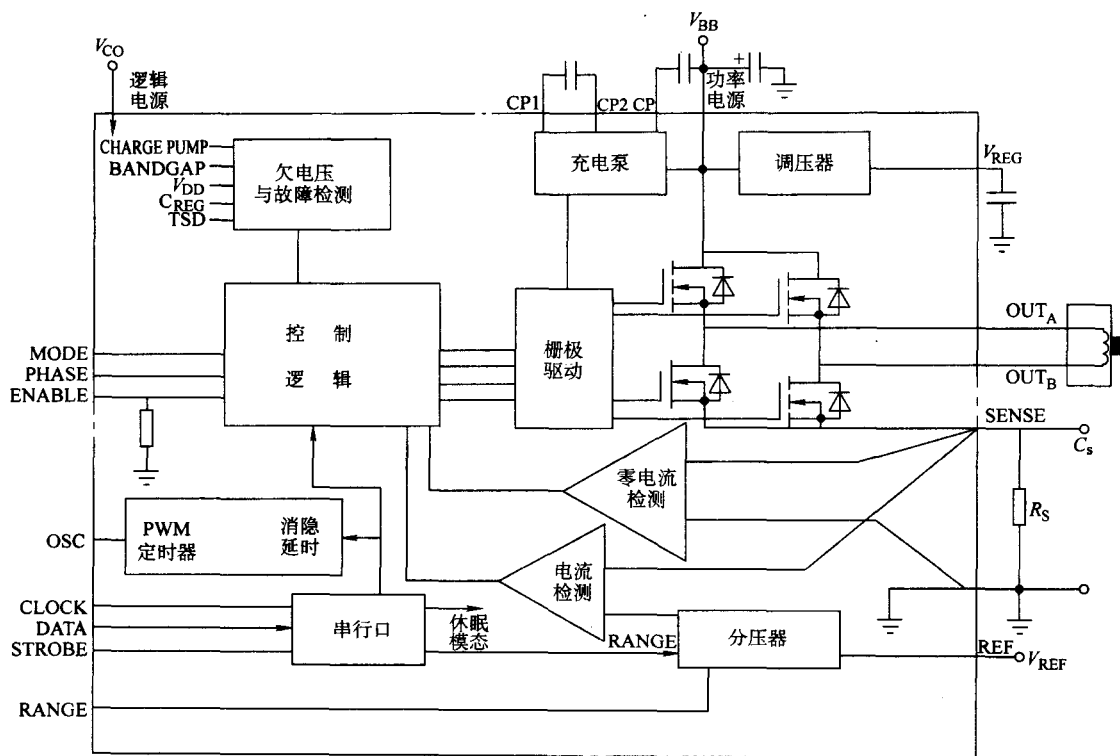


图 1-2 可用于直流电动机和步进电动机的 PWM 控制 H 桥驱动器

集成电路。图 1-3 给出一个三相交流电动机驱动器主电路示意图，左边是含晶闸管的整流桥，右边是三相 IGBT 逆变桥。它说明在大功率交流电动机驱动应用中所需要的功能，它们应包括 9 个控制功能单元：软启动单元、IGBT 栅极驱动单元、IGBT 保护单元、电流检测反馈单元、调节控制单元、PWM 功能单元、内部电源单元、EMI 单元和用户接口单元。IR 公司认为，IGBT 栅极驱动和保护功能一定要同时进行，并和电流检测反馈、调节控制、PWM 功能一定要匹配。在 IR1110 中实现了软起动功能。依照 IR 公司说法，该集成电路是在 PWM 逆变驱动器中采用调节 SCR 桥相位角实现总线充电电流控制的第一个。以 SCR 桥相位控制方法逆变驱动器的直流总线电压上升比常用电阻方法快速。

集成电路含有一个电流检测单元。例如，IR2171 是 600V IC，集成了整个电动机相电流检测、A/D 转换、噪声滤波和对上位机的接口。电动机相电流的精确测量是困难的，因为这个小的差模信号叠加在驱动电动机的大共模 AC 相电压上。IR2171 能同样地适应它的检测输入端上高达 600V 的共模电压。它是由测量串接在电动机相绕组中的一个电阻器的压降感知电动机电流的。这些集成电路系列产品中实现了栅极驱动和 IGBT 保护功能。600V 的 IR2237 驱动器将 IGBT 导通和关断最佳化，优化了 IGBT 的性能。假如引起过电流的条件一旦出现，集成电路开始一个软关机程序，所有的六个 IGBT 将一起关断。

Allegro MicroSystems 公司有从步进电动机到三相电动机驱动类型的芯片，在芯片内集成了 FET，适合较低电流的应用，也有集成栅极驱动电路的，可用于高达 3A 电流的应用。最近的产品是 A3936 高级三相无刷直流电动机控制驱动器，它有 50V、3A 驱动能力，适用在程序控制、医学设备和办公自动化设备中。这种驱动器，以 44 引脚的 PLCC 封装，PWM