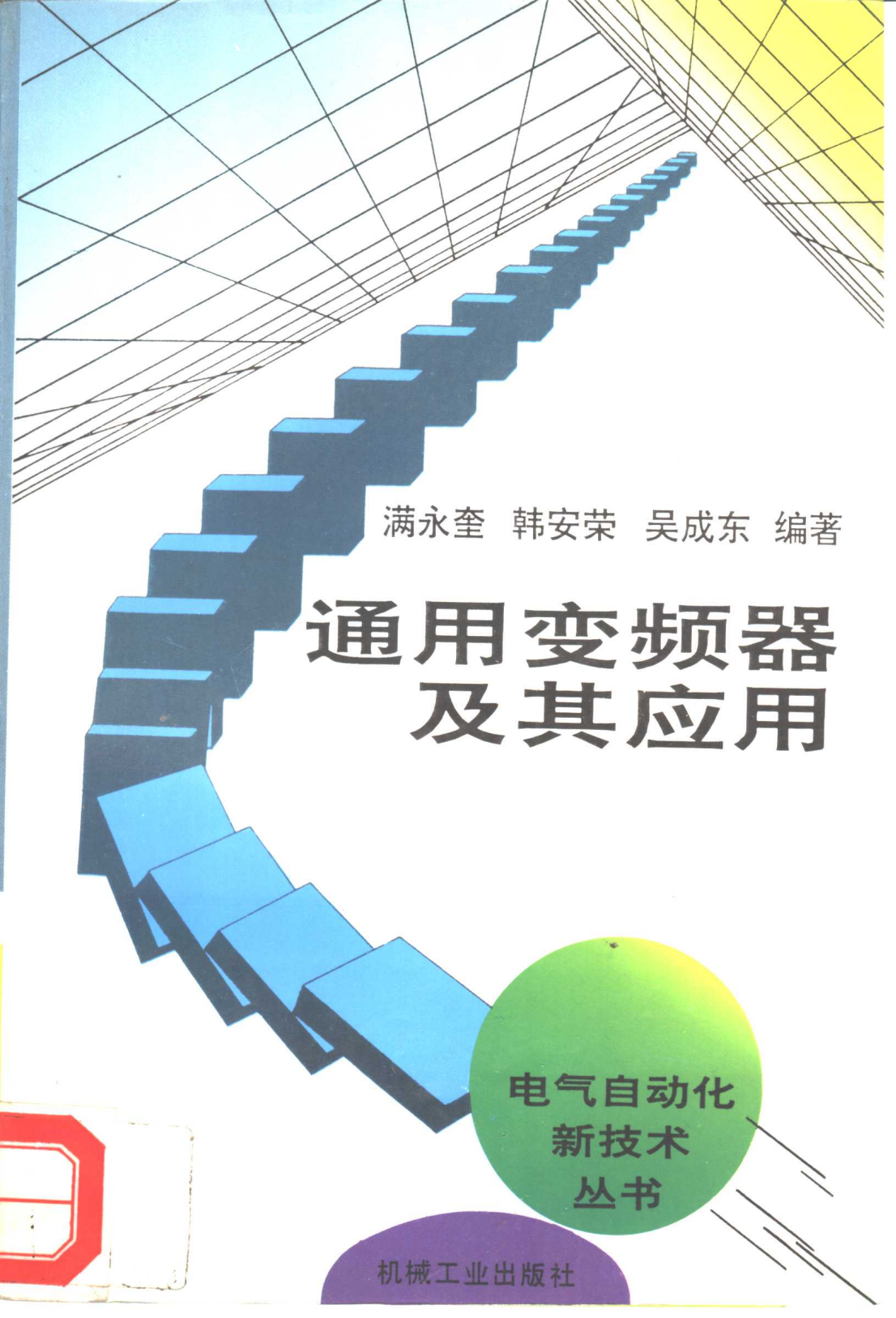


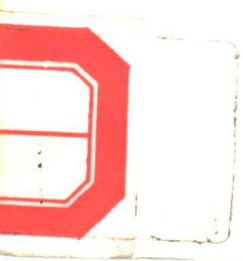


满永奎 韩安荣 吴成东 编著

通用变频器 及其应用



电气自动化
新技术
丛书



机械工业出版社

电气自动化新技术丛书

通用变频器及其应用

满永奎 韩安荣 吴成东 编 著
刘宗富 主 审



机械工业出版社

交流电动机调速用的通用变频器的性能日新月异,用途越来越广。但如何用好通用变频器,尚存在着大量理论问题和实际问题需要解决,本书根据作者多年研制变频器和帮助工厂引进消化、安装、维修变频器的经验,加上收集到的最新资料,经系统化而编写成本书。针对不同的生产工艺要求,对变频器、电动机、外部设备的选用,以及通用变频器的使用维护和各种应用实例都做了详细介绍。

本书可作为电气传动自动化专业的工程技术人员、大专院校师生的参考书,也可供变频器用户等作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

通用变频器及其应用/满永奎等编著. —北京:机械工业出版社, 1995

(电气自动化新技术丛书)

ISBN 7-111-04766-4

I. 通… II. 满… III. 变频器-基本知识 IV: TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 08619 号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 孙流芳 赖尚元 版式设计: 李松山

责任校对: 丁丽丽 封面设计: 姚毅

邯郸市新兴照排图像处理有限公司激光照排

河北水和印刷有限公司印刷 • 新华书店北京发行所发行

1995 年 8 月第 1 版 • 1995 年 8 月第 1 次印刷

850mm×1168mm_{1/32} • 12.375 印张 333 千字

0 001—5550 册

定价: 17.00 元

《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建设“四化”、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，希广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

本丛书选题将随新技术发展不断扩充，凡属电气自动化领域新技术均可作为专题撰写新书。我们也面向社会公开征稿，欢迎自列选题投稿，来稿或索取稿约请函寄 300180 天津市津塘路 174 号天津电气传动设计研究所转《电气自动化新技术丛书编辑委员会》。

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会

《电气自动化新技术丛书》
编辑委员会成员

主任委员：陈伯时

副主任委员：喻士林 夏德铃 李永东

委员：（按姓氏笔划顺序）

王 炎	王文瑞	王正元
刘宗富	孙 明	孙武贞
孙流芳	过孝瑚	许宏纲
朱稚清	夏德铃	陈伯时
陈敏逊	李永东	李序葆
张 浩	张敬明	周国兴
涂 健	蒋静坪	舒迪前
喻士林	霍勇进	戴先中

前 言

目前,交流调速传动已经上升为电气调速传动的主流。中、小容量范围内,采用自关断器件的全数字控制 PWM 变频器已经实现了通用化。全数字控制方式的软件功能不但考虑到通用变频器自身的内在性能,而且还融入了大量的使用经验和技巧,使得通用变频器的 RAS 三性(Reliability、Availability、Serviceability,即可靠性、可使用性、可维修性)功能得以充实。由于通用变频器具有调速范围宽、调速精度高、动态响应快、运行效率高、功率因数高、操作方便且便于同其他设备接口等一系列优点,所以应用越来越广泛,社会经济效益十分显著。

由于通用变频器知识含量高、技术复杂且资料不甚完善,所以,如何用好通用变频器,目前尚存在着大量的理论问题和实际问题需要解决。作者根据多年来研制变频器和协助工厂消化、安装、维护变频器的经验,加上收集到的最新资料,经系统化而编写成本书,试图为广大读者提供一本技术参考书。

本书第1章介绍电力电子器件的最新发展、原理及应用知识,着重介绍通用变频器中应用最多的 BJT 和 IGBT;第2章介绍通用变频器的一般原理,包括普通功能型 U/f 控制通用变频器、具有转矩控制功能的高功能型 U/f 控制通用变频器和高动态性能型矢量控制通用变频器;第3章介绍通用变频器构成的调速系统,包括通用变频器的功能、应用优势、变频器及其外围设备的选择等内容;第4章以一具体机种为例,介绍具体使用方法、维护要点及注意事项等;第5章通过一些具体的成功应用实例,介绍变频器的应用现状及其效益。

第1、4章由满永奎副教授编写;第2、3章由韩安荣副教授编写;第5章由吴成东副教授编写。

全书由刘宗富教授主审并定稿。

在本书编写过程中受到电气自动化新技术丛书编委会的关心与支持，还受到东北大学电机拖动教研室、东北大学变频器研究及应用中心和沈阳建筑工程学院自动化教研室全体同志的大力协助。富士公司、三肯公司、安川公司和西门子公司无偿提供了变频器和有关设备的技术资料，在此谨致谢意。

由于时间仓促，资料分散，加之作者水平有限，疏漏甚至谬误在所难免，敬请读者不吝指教。

作 者

1994 年 11 月

常用缩写符号

- AC——交流(Alternating Current)
- ARS——可靠性,可使用性,可维修性(Reliability, Availability, Serviceability)
- BJT——双极晶体管(Bipolar Junction Transistor)
- CPU——中央处理器(Central Processor Unit)
- DC——直流(Direct Current)
- DSP——数字信号处理器(Digital Signal Processor)
- GTO——可关断晶闸管(Gate Turn Off Thyristor)
- IGBT——绝缘栅双极晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor)
- IPM——智能型电力模块(Intelligent Power Module)
- MCT——场控晶闸管(MOS Control Thyristor)
- MOSFET——电力场效应晶体管(MOS Field-Effect Transistor)
- PWM——脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation)
- SPIC——智能型电力集成电路(Smart Power Integrated Circuit)
- SPWM——正弦脉冲宽度调制(Sinusoidal Pulse Width Modulation)
- VVVF——变压变频(Variable Voltage Variable Frequency)

目 录

《电气自动化新技术丛书》序言

前言

常用缩写符号

第 1 章 电力半导体器件及应用	1
1.1 概述	1
1.2 双极晶体管(BJT)	2
1.2.1 BJT 的发展	2
1.2.2 BJT 的主要参数	4
1.2.3 BJT 的安全工作区	6
1.2.4 BJT 的驱动	8
1.2.5 BJT 的保护	11
1.2.6 BJT 的并联运行	14
1.2.7 BJT 的选择	19
1.2.8 散热器的设计	21
1.3 绝缘栅双极晶体管(IGBT)	24
1.3.1 IGBT 产品介绍	25
1.3.2 IGBT 的构造说明	25
1.3.3 IGBT 的主要参数及基本特性	27
1.3.4 IGBT 使用注意事项	28
1.3.5 IGBT 的驱动	30
1.4 其他电力半导体器件	33
1.4.1 电力场效应晶体管(MOSFET)	33
1.4.2 可关断晶闸管(GTO)	37
1.4.3 场控晶闸管(MCT)	40
1.5 智能型电力集成模块的发展	41
1.6 应用举例	42
1.6.1 步进电动机驱动系统	42

1.6.2 开关磁阻电动机驱动系统	49
参考文献	56
第2章 通用变频器的原理	58
2.1 概述	58
2.1.1 变频调速的概况	58
2.1.2 通用变频器的概况	62
2.2 变频器的简单原理	68
2.2.1 变频调速的基本控制方式	68
2.2.2 变频器的基本构成	71
2.3 变频器的分类	72
2.3.1 按直流电源的性质分类	72
2.3.2 按输出电压调节方式分类	74
2.3.3 按控制方式分类	76
2.3.4 按主开关器件分类	79
2.4 6脉冲方波逆变器	82
2.5 PWM 逆变器	83
2.5.1 SPWM 控制	84
2.5.2 同步调制与异步调制	87
2.5.3 谐波分析与输出电压调节	88
2.5.4 谐波消去法	91
2.5.5 瞬时电流跟踪控制	93
2.6 二极管整流器	94
2.7 斩控式整流器	98
2.7.1 斩控式整流器的原理	100
2.7.2 调压原理	105
2.7.3 斩控整流电路的工作状态	106
2.8 变频器传动中的制动状态	108
2.8.1 动力制动	109
2.8.2 再生制动	110
2.8.3 采用共用直流母线的多电动机传动	111
2.8.4 直流制动	113
2.9 通用变频器的控制方式与性能	115
2.9.1 异步电动机变频调速时的转矩特性	116

2.9.2 普通功能型 U/f 控制通用变频器	122
2.9.3 高功能型 U/f 控制通用变频器	124
2.9.4 高动态性能型矢量控制通用变频器	133
参考文献	144
第3章 通用变频器构成的调速系统	145
3.1 使用通用变频器的目的及其效益	145
3.1.1 节能应用	147
3.1.2 提高生产率	153
3.1.3 提高产品质量	155
3.1.4 设备的合理化	157
3.1.5 适应或改善环境	159
3.2 使用通用变频器的技术优势	159
3.3 通用变频器的功能	164
3.4 生产机械的驱动	179
3.4.1 生产机械的转矩特性	181
3.4.2 生产机械的起动和制动	186
3.5 异步电动机的选择	190
3.5.1 异步电动机形式和容量的选择	190
3.5.2 负载功率的计算	194
3.5.3 异步电动机选用时的注意事项	198
3.6 变频器及其外围设备的选择	202
3.6.1 通用变频器的标准规格	202
3.6.2 变频器类型的选择	211
3.6.3 变频器容量的计算	212
3.6.4 变频器的外围设备及其选择	257
参考文献	263
第4章 通用变频器的运行及维护	264
4.1 通用变频器铭牌及面板操作	264
4.1.1 通用变频器的铭牌	264
4.1.2 通用变频器的面板	266
4.1.3 通用变频器的功能码	268
4.1.4 面板的显示和操作	277
4.2 通用变频器标准接线及端子功能	278

4.2.1 主电路连接	278
4.2.2 控制电路的连接	279
4.2.3 制动电阻的连接	283
4.2.4 基本原理接线图	284
4.3 通用变频器的安装环境与空间	284
4.3.1 安装环境	284
4.3.2 安装空间	286
4.4 变频器的运行	288
4.4.1 通电前的检查	289
4.4.2 设定数据码	289
4.4.3 试运行	292
4.4.4 控制端子外部信号操作运行	292
4.5 变频器的某些特殊功能	293
4.5.1 电动机转矩提升的设定	293
4.5.2 跳跃频率	293
4.5.3 瞬时停电再起动	294
4.5.4 转差补偿功能	296
4.6 变频器的维护及故障处理	297
4.6.1 日常维护与检查	297
4.6.2 变频器本身的保护功能	298
4.6.3 常见故障检查与处理	300
4.7 使用变频器的注意事项	301
4.7.1 接线及防止噪声的注意事项	301
4.7.2 关于输入和输出的注意事项	302
4.7.3 用于特殊电动机时的注意事项	306
4.8 变频器的测量与实验方法	307
4.8.1 目前常见的测量仪表	307
4.8.2 变频器的测量与仪表的选择	308
4.8.3 输入侧的测量	308
4.8.4 输出侧的测量	310
4.9 关于变频器的长期保管	311
4.10 富士系列变频器	312
4.11 三垦(SANKEN)系列变频器	314

参考文献	316
第 5 章 变频器的应用	317
5.1 引言	317
5.2 变频器的基本接线图	319
5.3 变频器在电梯上的应用	321
5.3.1 电梯传动控制系统概述	321
5.3.2 高速电梯的变频器控制	322
5.3.3 低速电梯的高载波频率变频器控制	323
5.3.4 液压电梯的传动控制系统	324
5.3.5 电梯门的传动控制系统	326
5.4 变频器在泵上的应用	327
5.4.1 泵的特性分析	327
5.4.2 变频器控制泵时的几个问题	329
5.4.3 应用实例	331
5.5 变频器在风机控制方面的应用	334
5.5.1 楼房空调外调扇的控制	334
5.5.2 冷却塔风扇的控制	336
5.5.3 发电厂锅炉鼓风机的控制	338
5.5.4 大电动机冷却扇的控制	339
5.5.5 集尘扇的控制	341
5.6 变频器在机床方面的应用	343
5.6.1 自动车床的变频器控制	343
5.6.2 数控车床的控制	344
5.6.3 立式车床的控制	346
5.6.4 立式万能机床的控制	347
5.6.5 旋转平面磨床的控制	348
5.6.6 剃齿机的控制	350
5.7 在装卸与搬运方面的应用	351
5.7.1 升降吊车的控制	351
5.7.2 输送平台车的控制	354
5.7.3 塔式起重机的控制	355
5.7.4 出料传送带与粉末供料器的控制	357
5.8 空调设备的变频器控制	359

5.8.1 多重分隔空调的控制	359
5.8.2 房间空调的控制	360
5.9 工业洗衣机的变频器控制	361
5.10 压缩机的变频器控制	364
5.11 在生产线上的应用	366
5.11.1 钢铁生产线的控制	366
5.11.2 胶片及造纸生产线的控制	367
参考文献	369
附录 生产销售通用变频器的部分厂商名录	370

第1章 电力半导体器件及其应用

1.1 概述

双极晶体管 1948 年由贝尔实验室发明,由于它具有很强的放大能力,在电子学领域得到了极其广泛的应用。1957 年,第一只晶闸管的诞生,是电力半导体器件开发的雏型。几十年来,电力电子学取得了惊人的进步,同时在各个领域得到广泛应用,已经成为现代科学技术中不可缺少的重要分支。

伴随着电力半导体器件的发展,交流电动机的速度控制产生了一场深刻的革命,以各种电力半导体器件构成的变频器驱动交流电动机的调速系统正在取代着包括直流电动机调速系统在内的各种调速系统。由于交流调速系统不断显示出本身的优越性和巨大的社会效益,使变频器-交流电动机调速系统具有越来越旺盛的生命力。

在最近的 20 年时间内,以各种电力半导体器件构成的变频器已经发展了几代。纵观这几代产品,中小功率的变频器始终以系列化、批量化的规模向前发展,并且逐步达到高性能化。通常把这些系列化、批量化、占市场量最大的中小功率变频器称为通用变频器。

通用变频器的核心器件是电力半导体开关器件。在这些开关器件中,使用最多的是双极晶体管(BJT)和绝缘栅双极晶体管(IGBT)两种。从应用的角度出发,本章着重介绍这两种功率开关器件。对于其他的也具有一定的市场和一定发展前景的电力半导体器件仅给以简单的介绍。

1.2 双极晶体管(BJT)

1.2.1 BJT 的发展

作为大功率的开关器件，高击穿电压、大容量的双极晶体管称为电力晶体管。当在电力电子学的范围内讨论问题时，欧美国家习惯于用 BJT (Bipolar Junction Transistor) 来代表电力晶体管，而在我国和日本等国家的一些文献资料中，某些作者习惯于用 GTR 来代表电力晶体管，在本书中用 BJT 代表电力晶体管。BJT 的开发大约从 1974 年开始，至今，已经有 1400V/400A 的器件在应用中。值得一提的是，日本富士公司生产的 BJT 在 80 年代的销量占世界总销量的 40%，因此，从富士公司 BJT 的发展可以看出世界上 BJT 发展的概况，图 1-1 示出富士公司在不同年代的 BJT 产品开发情况。

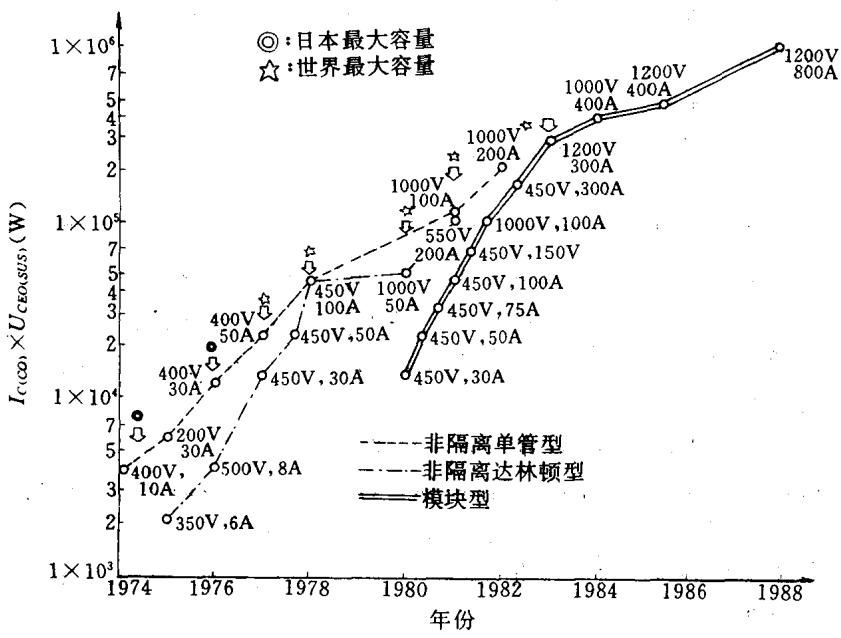


图 1-1 日本富士公司 BJT 的发展