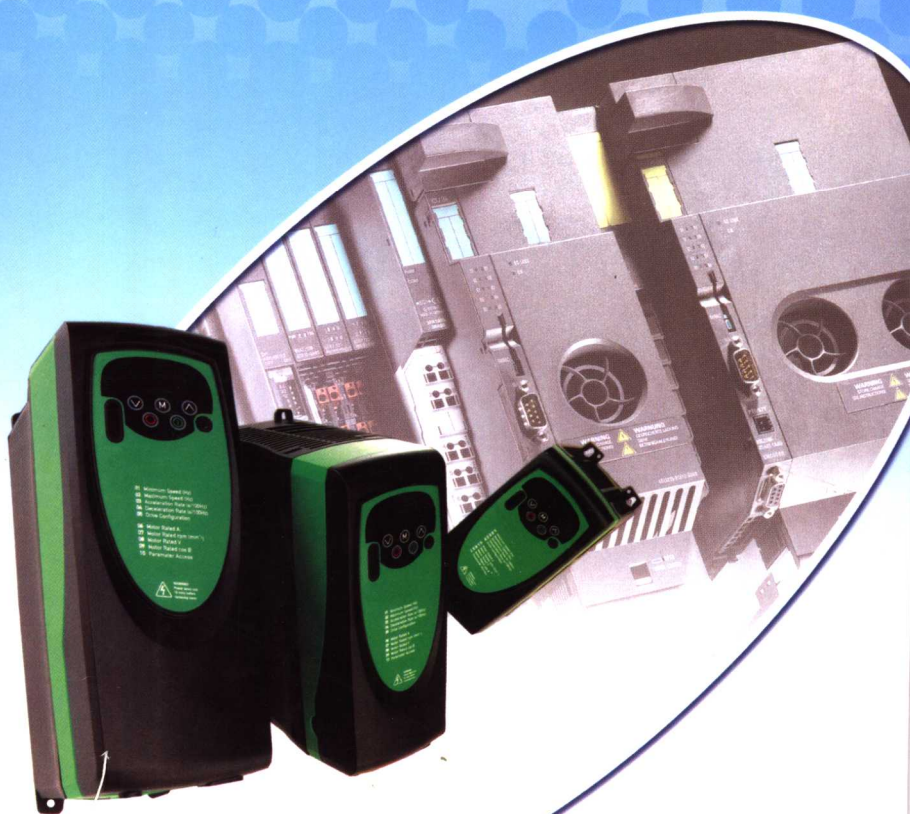


变频器

实用指南

冯垛生 主 编

杨 钧 郑誉煌 赵 慧 赵悦琳 编 著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

变频器实用指南

冯垛生 主 编

杨 钧 郑誉煌 赵 慧 赵悦琳 编 著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

变频器实用指南/冯垛生主编; 杨钧等编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2006. 5

ISBN 7-115-14370-6

I. 变 ... II. ①冯 ... ②杨 ... III. 变频器—基本知识
IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 015706 号

变频器实用指南

- ◆ 主 编 冯垛生
编 著 杨 钧 郑誉煌 赵 慧 赵悦琳
责任编辑 张 伟
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京密云春雷印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 850×1168 1/32
印张: 10.75
字数: 278 千字
印数: 1-5 000 册
- 2006 年 5 月第 1 版
2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-14370-6/TN · 2693

定价: 19.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223



主编简介

冯焱生，教授、硕士生导师，1958年毕业于浙江大学电机系，1987年~1989年由国家教委公派日本九州大学电气工学科任访问研究员，研究方向为电力电子与电气传动，1995年公派日本鹿儿岛大学任访问教授，2003年应聘任香港理工大学科研项目教授。现任广东工业大学华立学院机电系主任，广东省自动化学会理事，广东省教授级高工评委会委员，《变频技术应用》、《变频器世界》杂志编委。1993年“通用变频器开发研究”项目获广东省科技进步三等奖，《变频器的应用与维护》获中南地区大学图书二等奖。1995年获广东省南粤优秀教师特等奖、并获全国优秀教师奖章。公开出版著作6册、发表论文80篇。

内 容 提 要

本书分上下两篇共 14 章，主要介绍了变频器的基本结构与工作原理，优选了若干应用的案例，突出了变频器在机床加工中心、报纸印刷机和化纤工业上的应用。此外书中还收录了世界各知名厂家，如西门子、ABB、三菱、富士以及部分国产变频器的技术规格与功能特点。本书在介绍电磁兼容（EMC）方面给出了详细的国际标准和欧洲、美国标准。

本书以“指南”为纲，叙述问题力求深入浅出、图文并茂，对此专业基础起点低的读者也能理解。本书可供从事机电和设备维修的技术人员以及相关专业的师生参考。

前 言

变频器技术是工业企业和家用电器中普遍使用的一种新技术，也是高科技领域的综合技术。目前中小型低压变频器已经非常普及和成熟，大功率的中压变频器也正在被人们关注和逐步应用。变频器除了有卓越的无级调速性能外，还有显著的节电和环保作用，是企业技术改造和产品更新换代的理想调速装置。

由于各行各业的读者对变频技术非常关注，很想去了解 and 熟悉它，因此，近十多年来，国内出版了有关变频技术的著作不下数十种。大体有下列几种类型：一是为机电类教学服务的“交流调速”教材；二是全面介绍变频器的控制系统（含软件和硬件配置），其实质是为设计和研制变频器服务的著作；三是介绍各种变频器功能的著作，例如，曾出版过一本著作，其中列举了国内外数十种变频器的功能和操作方法，资料收集十分齐全，可以作为手册使用，但对于不太了解变频器原理的技术人员和非电类专业人士来说，可能对其中若干专业术语和符号不理解。本书定名为“实用指南”，其目的是想让读者一书在手，既可全面地了解变频器的基本原理，又能通过书中的典型案例举一反三地对本企业的技术改造提出方案。至于设计变频器则应是制造厂家的事，本书叙述从略，读者可参阅其他有关著作。

本书给出的国内外厂家 2000 年以后新产变频器的技术规格也是从应用的角度来介绍的，以帮助读者选型和比较方案，而不是纠缠于其中某一功能如何操作的讲解。这样，既节省了篇幅，又增大了信息量。

本书的读者，起点只需中专以上学历，学习过“电工与电子技术”课程即可。因而在内容上深入浅出，大大精简了“电机与拖动

原理”与“数字与模拟电子”以及“微机原理”的重复叙述。即使电力电子器件，也主要是叙述 IPM 智能模块、IGBT、GTO、IGCT 等少数器件。

本书的另一特点是尽量减少公式推导，数学上甚至很少用到微积分，各章的公式（除第 3 章）极少；很少绘制特性曲线和微机时序图、程序流程图等，一切用文字的概念叙述和形象化的图形来阐明问题。最后，“维修技术”是一专门的学问和技术，本书没有涉及。

希望本书能对电专业甚至非电专业的技术人员、工人以及在校的大学生有所帮助，成为他们掌握变频技术的“指南”。

本书共分 14 章，前 7 章称为上篇（原理篇）；后 7 章称为下篇（应用篇）。编写的分工如下：绪论、第 1 章、第 3 章由冯垛生编写，第 2 章由赵慧编写（其中 2.4 节由冯垛生编写），第 4 章由赵悦琳编写，第 6 章由郑誉煌编写，第 5 章、第 7 章～第 14 章由杨钧编写。全书由冯垛生教授统稿。

在编写过程中，我们得到华立投资公司和广东工业大学华立学院领导的大力支持，获得了充分的写作和收集资料的时间，在此深表谢意。并感谢许海珠女士和冯顺哉同学在本书写作过程中给予的鼓励和帮助。

由于作者水平所限，书中错漏难免，恳请读者给予指正。在全书编写过程中，我们引用了许多已出版的中外著作和文献，谨此深表谢意。

主编 冯垛生
于广州 广东工业大学华立学院
2006 年 2 月

目 录

上篇 原 理 篇

绪论	2
第 1 章 异步电动机的变频调速原理	6
1.1 变频器的工作原理	6
1.2 半导体电力电子器件分类	8
第 2 章 变频器的构成	13
2.1 变频器的整流器	13
2.1.1 概述	13
2.1.2 不可控整流器	14
2.1.3 可控整流器	15
2.2 变频器的中间电路	23
2.2.1 滤波环节	23
2.2.2 动力制动环节	29
2.3 逆变器	30
2.3.1 六脉波方波逆变器	30
2.3.2 SPWM 逆变器	34
2.3.3 SPWM 波形成的方法	39
2.4 变频器的微机控制系统	43
2.4.1 微机控制的硬件结构概况	43
2.4.2 变频器微机控制的特点	45
第 3 章 变频器的控制系统	51
3.1 压频控制	51
3.1.1 变频器为什么要调压	51

3.1.2	恒转矩调速和恒功率调速的控制	53
3.1.3	变压变频装置	55
3.1.4	数字控制的 SPWM 变压变频调速系统	58
3.2	转差频率控制	60
3.2.1	转差频率控制的基本概念	60
3.2.2	转差频率控制的变压变频调速系统	62
3.2.3	优点与不足	62
3.3	矢量控制	64
3.3.1	矢量控制的原理和应用范围	64
3.3.2	矢量控制系统的构想	69
3.3.3	无速度传感器矢量控制	71
3.4	直接转矩控制	75
3.4.1	直接转矩控制系统的原理和特点	75
3.4.2	直接转矩控制系统和矢量控制系统的比较	76
3.4.3	直接转矩控制实际应用举例	77
第 4 章	特殊用途的变频器	79
4.1	交流伺服系统用变频器	79
4.1.1	数控机床和伺服驱动技术	79
4.1.2	AC 伺服电动机与 DC 伺服电动机的比较	80
4.1.3	AC 伺服系统的构成及工作原理	82
4.1.4	三相 PMSM AC 伺服系统	84
4.2	直流无刷电动机专用变频器	88
4.2.1	直流无刷电动机结构	88
4.2.2	直流无刷电动机的微机控制	89
4.2.3	方波电流型直流无刷电动机交流伺服系统	94
4.3	电梯专用变频器	96
4.3.1	高速电梯变频器	97
4.3.2	中速电梯变频器	100
4.3.3	超高速电梯变频器	102

4.3.4	低速家用电梯变频器	104
4.4	变频空调专用变频器	105
4.4.1	变频空调的结构和特点	105
4.4.2	变频空调的实际效果	108
4.5	电动汽车专用变频器	109
4.5.1	电动汽车的传动系统	109
4.5.2	电气传动设备在电动汽车中的布置方式	110
4.5.3	电动汽车传动电动机	112
4.5.4	电动汽车交流调速	112
4.6	单相电容分相式电动机变频器	118
4.6.1	单相电容式电动机的工作原理	119
4.6.2	单相电容式电动机变频调速器控制系统	120
4.6.3	单相电容式电动机变频调速系统的实现	121
4.6.4	输出电流波形	121
4.7	轧钢机专用变频器	122
4.7.1	交-交直接变频器(无环流)	123
4.7.2	交-交直接变频器(有环流)	123
4.7.3	交-直-交电压型 PWM 变频器	124
4.7.4	IGBT PWM 变频器	126
4.7.5	轧钢机调速方案比较	126
4.8	高(中)压变频器	127
4.8.1	高压变频器的不同方案	127
4.8.2	高压变频器产品介绍	131
4.9	太阳能发电专用变频器	133
4.9.1	太阳能电池与系统并联的电压型 PWM 逆变器	134
4.9.2	太阳能发电用变频器的实用系统	135
4.9.3	输出特性	137
第 5 章	变频器的选型和容量计算	139
5.1	变频器的应用范围和选择原则	139

5.1.1	标准笼型异步电动机的单纯调速	140
5.1.2	软起动和软制动以及频繁起制动	140
5.1.3	电梯类负载	141
5.1.4	变频器运行中实现的电动机的电气制动	141
5.1.5	高频变频器的应用	143
5.1.6	多台同步电动机的并联运行	143
5.1.7	有功率因数补偿功能的变频器	143
5.2	变频器的种类和用途	143
5.2.1	通用变频器	144
5.2.2	工业系统用变频器	144
5.2.3	专用变频器	145
5.2.4	高频变频器	146
5.3	如何评价变频器的产品样本	146
5.4	变频器的容量选定	149
5.4.1	根据不同的负荷特性选择变频器	149
5.4.2	变频器的容量计算	152
第6章	国内外变频器的功能与运行方式	156
6.1	概述	156
6.1.1	变频器的分类	156
6.1.2	使用变频器的注意事项	156
6.1.3	变频器控制方式的合理选用	158
6.1.4	转矩控制型变频器的选型及相关问题	159
6.2	通用变频器的主要功能	161
6.3	进口变频器介绍	163
6.3.1	罗克韦尔变频器	163
6.3.2	西门子变频器	183
6.3.3	三菱变频器	193
6.3.4	富士变频器	196
6.3.5	日立变频器	207

6.3.6 安川变频器	209
6.4 国产变频器介绍	222
6.4.1 森兰变频器	224
6.4.2 佳灵变频器	227
6.4.3 科姆龙变频器	238
6.4.4 时代变频器	247
第7章 变频器的防干扰、故障及电磁兼容	258
7.1 由外因引起的干扰及防止对策	258
7.1.1 电磁干扰	258
7.1.2 工作环境	259
7.1.3 电源不正常	259
7.1.4 雷电影响	260
7.2 变频器自身抗干扰能力提高	261
7.3 变频器工作时对周边电气设备产生的干扰及其对策 ...	263
7.3.1 高次谐波电流进入交流电网	263
7.3.2 防止电动机变频调速后温升提高	263
7.3.3 降低振动和噪声	264
7.3.4 电力电子开关产生的浪涌电压使电动机绝缘劣化	264
7.4 变频器对无线电的干扰	265
7.4.1 高频噪声对影视和通信的影响	265
7.4.2 变频器的电磁兼容 (EMC) 标准	265
7.4.3 其他方面的防干扰项目	267

下篇 应 用 篇

第8章 变频器在水泵节能中的应用	272
8.1 泵的特性和对调速的要求	272
8.2 对变频器功能提出的要求	277
8.2.1 低噪声	277
8.2.2 可靠性	277

8.3	变频器用于泵负载的特点	278
8.4	变频调速系统举例	279
第9章	变频调速在风机中的应用	282
9.1	风机的风量-压力特性	282
9.2	应用变频调速的注意事项	283
9.2.1	保证运行的连续性	283
9.2.2	防止机械共振	285
9.2.3	润滑问题	286
9.3	风机变频调速举例	287
9.3.1	中、小容量风机	287
9.3.2	大容量风机	287
第10章	变频器在机床传动中的应用	289
10.1	普通机床的变频调速	289
10.1.1	平面磨床工作台的负荷特点	289
10.1.2	控制特性	291
10.2	NC 机床主轴变频调速	292
10.2.1	NC 机床概述	292
10.2.2	控制系统结构	292
10.2.3	测速传感器	294
10.2.4	NC 机床对电气控制的其他要求	295
10.2.5	新型 NC 机床的技术动向	297
第11章	变频器在生产线传送带上的应用	299
11.1	概述	299
11.2	传送带对变频调速提出的要求	299
11.3	变频器的选用原则	301
11.3.1	负荷特性	301
11.3.2	传送带的加速	302
11.3.3	传送带的减速	303
11.3.4	机械抱闸的使用	303

11.4	变频调速应用举例	304
11.4.1	穿梭式传送带	304
11.4.2	链式传送带的同步控制	304
第12章	变频器在起重机械上的应用	308
12.1	起重机械的特点	308
12.1.1	行走机构	309
12.1.2	提升机构	309
12.2	变频调速控制方案选择	309
12.3	变频调速应用注意事项	310
12.4	变频器的容量选择和有关问题处理原则	311
12.4.1	变频器容量选择	311
12.4.2	其他需考虑问题	312
12.5	应用举例	315
12.5.1	中、小容量桥式起重机	315
12.5.2	大型起重机	316
第13章	变频器在报纸印刷机上的应用	318
13.1	轮转机电力拖动发展概况	318
13.2	变频器在轮转机上的应用项目	319
13.2.1	单机运行	319
13.2.2	自动连接	319
13.2.3	伺服锁住功能	319
13.3	轮转机变频器的规格	319
13.3.1	调速范围	319
13.3.2	加减速特性	320
13.3.3	轴向传动方式的转矩平衡控制	321
13.4	轮转机的拖动系统举例	321
第14章	变频器在化纤机械上的应用	323
14.1	对变频器性能提出的要求	323
14.1.1	调速精度高	323

14.1.2 转差修正功能	323
14.1.3 瞬时停电时的自启动	323
14.2 卷绕机变频调速控制举例.....	325
参考文献	328

上 篇

原 理 篇

绪 论

近年来，变频器的应用日趋广泛，不仅用于工业企业的各个领域，而且家用电器如空调以及照明方面也应用了变频技术，变频器成为一种时尚的商品。本书仅限于变频器在异步电动机调速方面应用的论述，至于在永磁同步电动机、交流伺服电动机、直流无刷电动机等方面的应用只作一般性的介绍，读者可以参考有关变频器其他方面的专著去了解其原理和应用。

谈到变频器不得不提到电力电子的发展史，因为变频器从产生到发展与其息息相关。

众所周知，自从电被发明直到电动机实用化，由于能量转换的方便，电力拖动成为产业机械动力的主流。最初，绝大部分需要调节速度的机械设备都选用直流传动，最典型的是电枢调压调速，最原始的控制理论是反馈控制理论，最原始的放大器是交磁电机放大机和磁放大器，它们曾活跃在直流调速系统的舞台上，统治了相当长的时期。重要的机械设备如地铁传动、电梯传动甚至机器人都选用直流调速。

在交流调速的弱小阵地上，当时主要是绕线转子异步电动机转子串电阻调速和串接调速方案占主导地位，少数的纺织工业曾用高频发电机对一组笼型异步电动机进行变频调速。

上述的交、直流调速方案其共同的缺点是：效率低，成本高，装置占地面积大，噪声大。半导体电力电子器件的发明，则给交流调速带来了生机。

历史上最早用电力电子的例子是把可控水银整流器用于铁路电气传动和电镀工业上，不过应用面不广，但对半导体电力电子的发展起了启蒙和促进作用。因为可控水银整流器和后来发明的可控硅