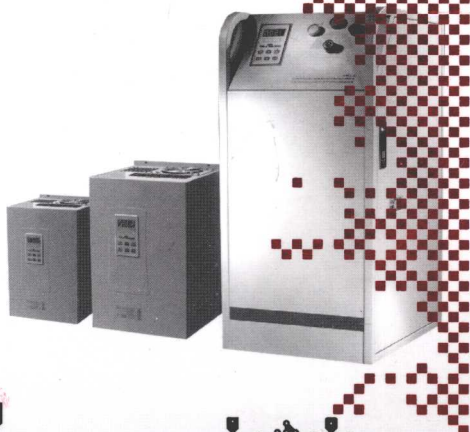
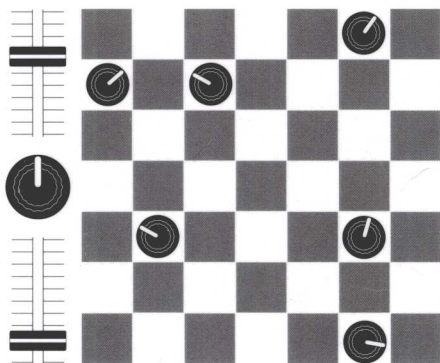
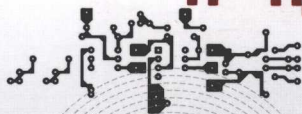


变频器应用
技术丛书



变频器 应用实践



李练兵 岳大为 申莉莉 编

BIANPINQI
YINGYONG

SHIJIAN

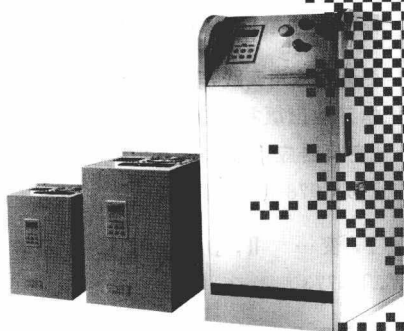


化学工业出版社

变频器应用
技术丛书

TN773/36

2009



变频器 应用实践

李练兵

一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四、二十五、二十六、二十七、二十八、二十九、三十、三十一、三十二、三十三、三十四、三十五、三十六、三十七、三十八、三十九、四十、四十一、四十二、四十三、四十四、四十五、四十六、四十七、四十八、四十九、五十、五十一、五十二、五十三、五十四、五十五、五十六、五十七、五十八、五十九、六十、六十一、六十二、六十三、六十四、六十五、六十六、六十七、六十八、六十九、七十、七十一、七十二、七十三、七十四、七十五、七十六、七十七、七十八、七十九、八十、八十一、八十二、八十三、八十四、八十五、八十六、八十七、八十八、八十九、九十、九十一、九十二、九十三、九十四、九十五、九十六、九十七、九十八、九十九、一百

BI JIAN DIAN DIAN JIAN



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是《变频应用技术丛书》中的一本。本书根据工程技术人员在变频器使用过程中的需要,首先介绍了变频器在不同行业中应用的要求和技术特点、变频器的选型和设计,然后具体介绍了变频器在流程工业、制造业,以及在空调系统和新能源领域中的应用,最后介绍了中高压变频器的应用。

全书涉及到的变频器应用案例范围广泛,内容丰富,可供工矿企业从事变频器应用的电气人员阅读及作为培训教材,也可作为相关职业技术学院的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

变频器应用实践/李练兵,岳大为,申莉莉编. —北京:
化学工业出版社, 2009. 4
(变频器应用技术丛书)
ISBN 978-7-122-04762-5

I. 变… II. ①李… ②岳… ③申… III. 变频器
IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 016952 号

责任编辑: 宋 辉
责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂
850mm×1168mm 1/32 印张 12 字数 309 千字
2009 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

前言



电力电子与电力传动技术的突出特点是可实现系统的高效、节能、省材，已成为我国国民经济的重要基础技术，对现代科学、工业和国防都具有重要支撑作用。在诸多高技术应用领域，各种传统产业，乃至照明、家电等与人民生活密切相关的应用领域，电力电子产品已无所不在。这就决定了在今后相当长的一段时期内，我国国民经济的发展和巨大的用户对电力电子与电力传动应用技术具有巨大的、持久的需求。当前，我国电力电子与电力传动技术的发展与应用进入了一个重要时期，我国电力电子和电力传动产业正面临着良好的机遇和严峻的挑战。

国家中长期科学和技术发展规划纲要提出我国要全面建设小康社会，构建资源节约型、环境友好型和谐社会，其中明确了“自主创新，重点跨越，支撑发展，引领未来”的指导方针。我国与其他发达国家一样，电力电子与电力传动技术已日益广泛地渗透到能源、环境、航空航天、先进制造业、交通运输业、国防等许多重要领域。要达到我国政府提出的“十一五”时期“单位国内生产总值能源消耗降低 20% 左右”的目标，绝非易事。由于大型电机采用调速控制方式后的节能效果十分明显并已经得到大部分工矿企业的认同，因此，电力电子与电力传动技术应用于节能和工艺改进的市场前景十分广阔。

变频调速技术是当今节电、改善工艺流程以提高产品质量和改善环境、推动技术进步的一种主要手段。随着电力电子技术、微电子技术、信息技术和现代控制理论在调速系统中的应用，变频调速已逐渐取代过去的滑差调速、变极调速、定子调速、串极

调速及直流电机调速等调速方式，在工业生产中获得广泛的应用，被国内外公认为最有发展前途的调速方式。随着节能产品之一的变频调速产品在电气、机械、化工等各行业得到广泛应用，变频器产业被称为绿色朝阳产业，一经问世便引起了国内外电气传动界的普遍关注，显现出广阔的市场前景。

从 20 世纪 80 年代变频器引入中国，经过不断地推广和使用，变频器已经得到广大企业用户的认可，目前在市场上有近百个品牌，上千个系列。但是，由于大多变频器采用的原理不同，可设置功能和参数众多，不同公司的产品各有特点，且变频器说明书中对于产品各种功能的解释过于简单、专业化，描述有时不够准确，加之一些进口变频器的说明书在翻译上存在诸如名词术语不规范的问题，常常给用户们带来许多不便，使变频器在生产中并没有更好地发挥作用。随着变频器的应用日益广泛，了解变频器的基本原理，正确合理使用变频器，使采用变频器的传动系统达到最佳的性能指标，以及进行正确的维护使变频器安全稳定地运行，这些都对生产第一线的技术人员提出了更高的要求。

正是在这一背景下我们编写了《变频器应用技术丛书》，包括《电气传动与变频技术》、《变频器的使用与维护》、《变频器应用实践》三本书。这套丛书力求通俗易懂和结合实际，目的是使工程技术人员更好地了解、使用和维护变频器，使变频器在生产过程中发挥出最优的作用。

本书是《变频器应用实践》。本书根据工程技术人员在变频器使用过程中的需要，首先介绍了变频器在不同行业中应用的要求和技术特点、变频器的选型和设计，然后具体介绍了变频器在流程工业、制造工业，以及在空调系统和新能源领域中的应用，最后介绍了中高压变频器的应用。全书涉及到的变频器应用案例范围广泛，内容丰富，可供工矿企业从事变频器应用的电气人员阅读及作为培训教材，也可作为相关职业技术院校的教材和参考书。

本书由李练兵、岳大为、申莉莉编写，参加编写的人员还有郑洪涛、李鹏、郝杰、万丽丽、李洁等。

限于编者的水平和经验，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，恳请广大读者指正。

编者

目 录



第 1 章 变频器应用基础

1

- 1.1 变频器概述 2
- 1.2 变频器的分类 4
 - 1.2.1 按主电路工作方式分类 4
 - 1.2.2 按输出电压调节方式分类 6
 - 1.2.3 按工作原理分类 7
 - 1.2.4 按用途分类 9
 - 1.2.5 按电压等级分类 10
- 1.3 变频器的控制原理与结构原理 11
 - 1.3.1 异步电动机的变压变频调速原理 11
 - 1.3.2 异步电动机的稳态等效电路和机械特性 12
 - 1.3.3 变频器的结构原理 18

第 2 章 行业应用的要求和技术特点

25

- 2.1 变频器的特点与应用领域 26
 - 2.1.1 变频器传动的特点 26
 - 2.1.2 变频器应用领域 27
- 2.2 负载的类型及特点概述 28
 - 2.2.1 按负载的机械特性分类 28
 - 2.2.2 按负载的运行工艺分类 29
- 2.3 不同类型负载对变频器的特殊要求 32
 - 2.3.1 轧机用变频器 32

2.3.2	电动汽车用变频器	35
2.3.3	空调用变频器	38
2.3.4	电梯用变频器	41

第3章 变频器设备选型与设计应用

47

3.1	变频调速系统的基本构成	48
3.1.1	电动机的机械特性	48
3.1.2	调速的性能指标	50
3.1.3	变频器调速系统的设计要点	50
3.2	变频器的应用范围和选择原则	59
3.2.1	根据变频调速控制系统的控制方式选择 通用变频器	59
3.2.2	根据不同的负载类型选择变频器	60
3.2.3	变频器容量的选择	66
3.2.4	变频器箱体结构的选择	68
3.3	变频调速系统电动机容量的选择	68
3.3.1	典型负载的计算	69
3.3.2	典型负载与节能的分析	73
3.3.3	三种负载特性变频调速的设计要点	75
3.4	变频器的过流保护	77
3.4.1	变频器内部集成的保护装置	77
3.4.2	外部保护设备	78
3.5	变频器的漏电保护	80
3.5.1	剩余电流保护器简介	80
3.5.2	影响剩余电流保护器的因素及措施	81
3.5.3	剩余电流动作保护器的选型和安装建议	86
3.6	变频器应用中的电磁兼容性	89
3.6.1	电磁兼容的定义	89
3.6.2	电磁兼容的标准	90
3.6.3	电磁兼容问题的解决方法	91

3.6.4	在电磁兼容方面的工作	93
3.6.5	变频器的主要电磁干扰途径	94
3.6.6	电磁兼容的措施	96

第4章 在流程工业中的应用实例

105

4.1	泵类负载的变频调速	106
4.1.1	泵类负载运行特点及变频器选型	106
4.1.2	恒压供水系统中的应用	108
4.1.3	变频器/软启动器在水处理控制系统中的 应用	113
4.1.4	在油田机械驱动中的应用	121
4.2	风机负载的变频调速	126
4.2.1	风机负载的运行特点及变频器选型	126
4.2.2	变频器在冷却塔风扇系统中的应用	129
4.2.3	变频器工业锅炉变频调速系统	134
4.2.4	变频器在煤矿上的应用	139
4.3	变频器调速在过程变量控制中的应用	145
4.3.1	变频调速器在液位控制中的应用	145
4.3.2	变频调速技术在流量标准装置中的 应用	152
4.3.3	变频调速在煤气发生炉/加热炉温度 控制中的应用	155
4.3.4	变频器在空压机上的压力控制应用	158
4.3.5	变频器在注塑机节能改造中的应用	162

第5章 在制造工业中的应用实例

171

5.1	变频器在机床传动中的应用	172
5.1.1	机床传动运行特点	172
5.1.2	变频器性能简介及选型	174
5.1.3	变频器在经济型数控机床上的应用	176

5.1.4	变频器在龙门刨床上的应用	179
5.2	变频器在起重机方面的应用	184
5.2.1	变频器在起重领域应用的特点	184
5.2.2	在塔式起重机的应用	186
5.2.3	变频调速技术在桥式起重机上的应用 ...	192
5.2.4	变频调速技术在钢厂铸造起重机上的 应用	197
5.3	变频器在生产线上的应用	200
5.3.1	传送带对变频调速提出的要求	200
5.3.2	变频器在高速线材生产线中的应用	202
5.3.3	恒张力矢量专用变频器在凹印机张力 控制上的应用	207
5.3.4	彩涂钢板生产线固化炉应用变频的 控制	212
5.3.5	在化纤生产线中的应用分析	218
5.3.6	变频器在冶金上的应用	221
5.4	变频器在造纸行业上的应用	226
5.4.1	简介	226
5.4.2	变频器在造纸生产线中的应用	233
5.4.3	变频器在超级压光机上的设计应用	238
5.4.4	在高速复卷机中的应用	243
5.4.5	在长网纸机上的应用	247
5.5	变频器在纺织机械中的应用	251
5.5.1	应用背景	251
5.5.2	在并纱机上的应用	257

第6章 变频器在空调系统中的应用

261

6.1	空调系统的应用背景	262
6.1.1	空气调节	262
6.1.2	中央空调的概念	263

6.2	中央空调水循环系统的控制	265
6.2.1	中央空调系统控制方法概述	265
6.2.2	中央空调水循环系统控制实例	266
6.3	中央空调变频风机的控制	269
6.3.1	变频风机的静压 PID 控制方式	269
6.3.2	变频风机的恒温 PID 控制方式	271
6.3.3	变频风机的多段速变风量控制方式	272
6.4	中央空调末端送风机的变频控制	274
6.4.1	调节风量	274
6.4.2	控制方式的确定	274
6.4.3	应用方案的系统考虑	276
6.5	变频控制家用空调方面的应用	276
6.5.1	分体式一拖一的空调	277
6.5.2	分体式一拖三的空调	278
6.6	变频器在集中供热方面的应用	281
6.6.1	锅炉送、引风机风量调节	281
6.6.2	换热站循环水泵流量调节	283
6.6.3	供热系统补水泵补水定压控制	283

第7章 变频器在风力发电行业中的应用

287

7.1	变频器在风力发电行业的应用	288
7.2	风力发电概述	288
7.3	风力发电系统常用拓扑与方案	288
7.4	风力机的功率调节	291
7.5	风力发电的发展趋势	293
7.6	变速恒频风力发电技术	295
7.7	ABB 风力发电变频器	306

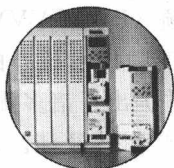
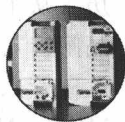
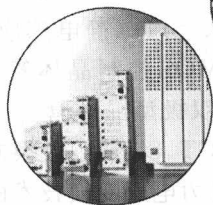
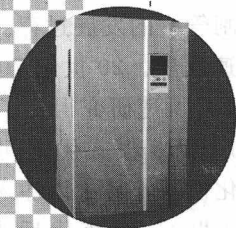
第8章 中高压变频器的应用

311

8.1	高压大功率交流变频调速技术的发展	312
-----	------------------------	-----

8.2 高压大功率交流变频调速技术问题	314
8.3 高压大功率交流变频器主要拓扑结构分析 比较	318
8.3.1 整流装置的主要拓扑结构	318
8.3.2 电流源型变频器	322
8.3.3 三电平 PWM 电压源型变频器	332
8.3.4 多电平 PWM 电压源型变频器	346

第1章 变频器应用基础





变频器是能够将直流电或交流电转换为电压、频率可调的交流电（变压变频控制，VVVF）的静止变流设备，它的主要功能是为交流电机等交流用电设备提供可控的电源，从而对电机进行控制。

与串接电阻箱、电抗器等其他交流调速驱动方式相比，VVVF 控制具有调速范围宽、动态响应快、工作效率高、输出特性好、使用方便等优点，同时交流电动机对环境适应性强、维修简单、价格低、易于实现高速大容量，这些优势使得以前直流电动机占主要地位的调速传动领域逐渐被交流电动机变频调速所取代。目前，交流变频调速系统正在以其体积小、重量轻、通用性强、保护功能完善、可靠性高、操作简便等优点，在钢铁、有色金属、矿山、石油化工、纺织、电力、机械、建材、轻工、医药、造纸、自来水和卷烟等行业获得广泛的应用。



1.1 变频器概述

功率半导体技术对变频器的诞生和发展起了重要作用。20 世纪 60 年代以后，随着电力电子技术的发展，电力电子器件经历了从半控型的 SCR（晶闸管）、到全控型的 GTO（门极可关断晶闸管）、BJT（双极型功率晶体管）、MOSFET（金属氧化物场效应管）、SIT（静电感应晶体管）、SITH（静电感应晶闸管）、MGT（MOS 控制晶体管）、MCT（MOS 控制晶闸管）、IGBT（绝缘栅双极型晶体管）、HVIGBT（耐高压绝缘栅双极型晶闸管）、IGCT（集成门极换向晶闸管）的发展过程。功率器件变革促进了电力电子变换技术的快速发展。20 世纪 70 年代开始，脉宽调制变压变频（PWM-VVVF）调速研究得到了发展。20 世纪 80 年代，作为变频技术核心的 PWM 模式优化问题吸引着人们的浓厚兴趣，并提出了诸多优化模式，其中以注入三次谐波的鞍形波 PWM 模式效果最佳。20 世纪 80 年代后半期开始，美、日、德、英等发达国家的 VVVF 变频器已投入市场并获得了广

泛应用。

变频器的常规控制方法主要是维持气隙磁通恒定的恒压频比 (U/f) 控制和根据转差与力矩间局部线性关系实现的转差频率控制。与直流电机相比,交流电动机是多变量、强耦合的非线性系统,要实现良好的转矩控制非常困难。20 世纪 70 年代德国工程师 F. Blaschke 首先提出了异步电动机矢量变换控制理论,使得交流感应电机的励磁和转矩可以实现独立解耦控制,从原理上改善了交流电机转矩控制问题,使交流调速系统的性能可以与直流调速系统相媲美。为了适应系统快速性和运算量简化的要求,1985 年,德国的 Depenbrock 教授提出了基于电压空间矢量的异步电动机直接转矩控制方法。近年来,矢量控制和直接转矩控制技术不断发展,且有各自不同的应用领域,变频器通过上述算法对电机进行变压变频 (VVVF) 控制。

变频器内部的控制电路大多都是以单片机或 DSP 为核心设计实现的。早期应用较多的是 8096 系列芯片。随着变频器对 MCU 处理能力和实时性要求的不断提高,特别是矢量变换控制算法实现的需要,数字信号处理器 (DSP) 逐渐占据主导地位。为了协调高度实时的变频调速控制进程和慢速非实时的人机接口进程,分流检测、计算任务,双 CPU 的设计模式也被普遍采用。

与此同时,几乎所有先进工业国家的半导体厂商,都开发了电机控制专用集成电路 (ASIC-Application Specific Integrated Circuit),能够进一步简化硬件逻辑特别是驱动保护等电路。这些电机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。现场可编程门阵列 (FPGA) 是另一种解决方案,它可以方便地实现多次修改,可以实现非常复杂的逻辑,替代多块集成电路和分立元件组成的电路。借助于硬件描述语言 (VHDL 或 Verilog HDL) 可以按照 FPGA 的设计定做 ASIC 芯片,有效降低了成本,改善了可靠性和保密性。

由此可见交流变频调速技术是基于电力电子技术、微控制器



技术、电机控制理论和自动控制理论的综合技术，将随着上述技术的发展而不断发展。目前，交流调速已成为满足各种生产工艺要求和节约电能的重要措施。在多种交流调速方法中，变频调速的应用发展最快，尽管变频器的生产成本稍高，但其调速性能和装置效率始终处于各种调速方法之首。

1.2 变频器的分类

变频器的分类方法有多种，按照主电路结构，可以分为交-直-交（AC-DC-AC）和交-交（AC-AC）两大类，其中交-直-交型主回路又分为电压型变频器和电流型变频器；按照输出电压调节方式分类，可以分为脉幅调制（PAM）变频器和脉宽调制（PWM）变频器；按照工作原理分类，可以分为 U/f （电压/频率，即压频比）控制变频器、转差频率控制变频器和矢量控制变频器等；按照用途分类，可以分为通用变频器、高性能专用变频器、单相变频器、高频变频器；按照电压等级，可以分为低压、中压和高压变频器。下面就根据这几种分类方法对变频器进行简单介绍。

1.2.1 按主电路工作方式分类

(1) 交-直-交型变频器

交-直-交型变频器先将工频交流电源通过整流器转换成直流电压或电流再通过逆变器转换成可控的交流。

变频器一般具有感性负载，因此变频器的直流环节要使用电容或电感来提供无功功率。用于缓冲无功功率的中间直流环节的储能原件是电容或电感，它们将决定变频器的类型。

① 电压型变频器。在电压型变频器中，整流电路产生逆变电路所需要的直流电压，并通过直流中间电路的电容进行平滑后输出。整流电路和直流中间电路起直流电压源的作用，而电压源输出的直流电压在逆变电路中被转换为具有所需频率的交流电压。电压型变频器中，直流中间电路的储能元件采用大电容，负

载的无功功率将由它来缓冲。由于大电容的作用,主电路直流电压比较平稳,电动机端的电压为方波或者阶梯波。直流电源内阻比较小,相当于电压源,故称为电压型变频器,如图 1-1(a)所示。

在电压型变频器中,在回馈制动时能量从负载流向直流中间电路的电容,使直流电压上升,形成“泵升电压”现象,所以还需要有专门的放电电路,防止变频器因电压过高而被破坏。

② 电流型变频器。在电流型变频器中,整流电路给出直流电流,并通过中间电路的电抗将电流进行平滑后输出。整流电路和直流中间电路起电流源的作用,而电流源输出的直流电流在逆变电路中被转换为具有所需要频率的交流电流,并被分配给各输出相后作为交流电流提供给电动机。电流型变频器中,直流中间环节采用大电感作为储能元件,无功功率将由此电感来缓冲。由于电感的作用,主电路直流电流趋于平稳,电动机的电流波形为方波或阶梯波,电压波形接近于正弦波。直流电源的内阻较大,近似于电流源,故称为电流型变频器,如图 1-1(b)所示。

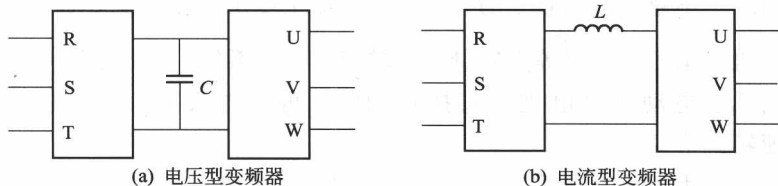


图 1-1 电压型与电流型变频器

用电流源型逆变器给异步电动机供电的电流型变压变频调速系统有一个显著的特征,就是容易实现能量的回馈,从而便于四象限运行,适用于需要回馈制动和经常正、反转的生产机械。而且在出现负载短路等情况时也更容易处理,电流型控制方式更适合于大容量变频器。

(2) 交-交型变频器

交-交型变频器只有一个变换环节,把恒压恒频(CVCF)