

杨电功 主编
杨盼红 荆博 邵作轮 副主编



电气控制从理论到实践

变频器应用

一点通



电气控制从理论到实践

变频器应用一点通

主 编 杨电功
主 审 杨德印
副主编 杨盼红 荆 博 邵作轮
参 编 张海杰 董建华 王道川 贺国强
李欣科 崔 靖 夏 华 杨 鲁
赵晨昱 黄丽文



机械工业出版社

本书用通俗化的语言对变频器的知识进行解说,将变频器的内、外主电路、变频器对电动机的控制方式、变频器的功能参数及设置方法等知识给予介绍,并通过问答的形式,对一些变频器应用过程中常见的理论与实践问题以及关于时间和频率的名词术语给予简单明了的解答,以期对读者学习变频调速技术有所帮助。附录中还提供了诸多实用的信息技术资料。

本书可供工矿企业及农村机电运行维护人员阅读,也可供相关专业的大中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制从理论到实践:变频器应用一点通/杨电功主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-111-42447-5

I. ①电… II. ①杨… III. ①变频器—电气控制 IV. ①TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第097152号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吕潇 责任编辑:吕潇 版式设计:霍永明
责任校对:张征 封面设计:路恩中 责任印制:张楠
北京京丰印刷厂印刷

2013年6月第1版第1次印刷

148mm×210mm·10.75印张·316千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-42447-5

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

电动机的变频调速技术经过多年的推广普及，应用范围已经相当广泛，发挥了其无级调速、节约电能、改进生产工艺、提高产品质量的巨大效果，培养和造就了无数的专业技术人才。随着变频调速技术本身在不断地提高进步，应用变频器的技术人员队伍中又不断有新生力量进入，这些新生力量除了在学校掌握一定的专业知识外，在应用变频器的社会实践活动中，了解这一技术的重要途径可能就是阅读产品的使用手册或使用说明书。遗憾的是这些技术资料都是基于专业工程师和熟练技术人员的水平编写的，有的产品说明书，尤其是国外品牌的变频器，往往用词过于专业，甚至生涩难懂。这些问题不会给专业工程师理解变频器说明书的内容造成困难，而对于新进入这一行业的人来说可能就是障碍。本书针对这些问题，用通俗化的语言对变频器的知识进行解说，将变频器的内、外主电路，变频器对电动机的控制方式、功能参数及设置方法等知识给予介绍，并通过问答的形式，对一些应用过程中常见的理论与实践问题以及关于时间和频率的名词术语给以简单明了的解答，以期对读者学习变频调速技术有所帮助。

本书分为五章，另有内容丰富实用的若干附录。

第一章介绍变频器的基本结构与原理，包括变频器的内部主电路结构，外部主电路接线，变频器中使用的电力电子器件 IGBT 与功能模块，变频器配套使用的电抗器、滤波器以及变频器的功能参数等知识。

第二章主要介绍变频器对异步电动机的控制方式，变频器的电磁兼容性、制动方式、PID 控制、多段速运行以及变频器故障的显示、诊断与维护等方面的知识。本章还介绍了低压变频器和高压变频器的应用实例各一例。

第三章从变频器的应用实践出发，对变频器常用的功能及相关参数、应用技巧和操作技能进行剖析及介绍，试图帮助读者详尽地了解

相关知识，解决应用实践中遇到的技术难题。

第四章变频器实用技术问答是本书的特色内容，它通过六个主题用 41 个问答题的形式对变频器在操作、应用等实践活动中经常遇见的问题给予了解答，对变频器中大量与频率相关的概念、与时间相关的概念都给出了通俗易懂的解释。非常具有针对性地解决读者遇到的一些疑难问题。

第五章通过对三款国内外常见品牌系列变频器功能参数的通俗化描述与介绍，使读者对变频器的功能参数了解地更准确，更细致。有些名称相同或相近的功能参数在不同的变频器中定义区别较大；而有些定义与内涵相同的功能参数在几种变频器中却使用不同的参数名称。阅读本章内容可以将几种变频器的功能参数互相对比，举一反三，有利于正确地理解和设置功能参数。

附录中有较多实用知识内容及参考资料，均有重要参考价值。其中附录 B 二次回路接线图简介的意义在于，一些初学者，掌握了一些简单电路原理，也能画出或借鉴、读懂某资料中的电路图，但是如何将这些电路图转变成一个可以实际运行的产品往往比较困难。如果根据本文介绍的知识，把原理图先转换成盘后接线图，可能将电路图转变成一个可以实际运行产品的工作就简单多了。实际上附录 B 就是给初学者递上一根拐杖，使之向前迈出了一大步。附录 C 是电路简图常用图形符号和文字符号，其中图形符号摘自最新版本的国家标准 GB/T 4728—2005 ~ 2008 《电气简图用图形符号》，以及国家标准 GB/T 5465—2008 ~ 2009 《电气设备用图形符号》；文字符号摘自新版单字母代号国家标准 GB/T 5094—2003 ~ 2005 《工业系统、装置与设备以及工业产品 结构原则和参照代号》，以及双字母代号国家标准 GB/T 20939—2007 《技术产品及技术产品文件结构原则 字母代码 按项目用途和任务划分的主类和子类》。上述字母代号标准不但适用于电气行业，也适用于结构、工艺、发电、配电、加工机械、造船工业、海洋工程等。通过附录 C 可使读者对这些标准有一个较全面的了解，以便学习与使用。本书中尽可能地使用了这些国家标准，但由于本书的技术信息来源广泛，原产品的图样资料使用了不同的图形符号和文字符号，对于一些过于陈旧的符号，本书基本上用最新或

较新的标准符号给予替换，同时考虑到读者维修某些设备时对照参考的需求，保留了部分原有符号。附录 D 介绍了多个系列电动机的技术参数，可供电动机的运行控制维修人员及变频器专业的技术人员参考。附录 E 是 DW15 系列万能断路器的变通合闸解决方案，对于某些停电后再来电时允许自动合闸的场合实现自动合闸具有参考价值。附录 F 电动机整体结构的防护等级，是国家标准 GB/T 4942.1—2006《旋转电机整体结构的防护等级（IP 代码） 分级》的内容摘录（摘编），并给以必要的说明，供电动机运行和维护人员查阅。附录 G 是国家标准 GB/T 12668—2002《调速电气传动系统》的内容简介，可供变频器运行维护及操作人员阅读参考。

本书的姊妹篇《电气控制从理论到实践——电动机控制一点通》一书，对电动机起动控制使用的电器元件、一次主电路、二次控制保护电路，电动机的结构原理，高、低压电动机的各种起动控制方式及保护进行了较为详尽的介绍。感兴趣的朋友可以去阅读这本书。

本书由杨电功主编。杨德印为本书的编写提出了重要的指导性意见，并审读了全部书稿内容。副主编杨盼红、荆博、邵作轮为本书的编写付出了辛勤工作和巨大努力。参加本书编写的还有张海杰、董建华、王道川、贺国强、李欣科、崔靖、夏华、杨鲁、赵晨昱、黄丽文。

大连普传科技有限公司为本书提供了重要技术信息和图片资料。

张文生、杨永江等为本书的编写发挥了重要建设性作用。

本书可供工矿企业及农村机电运行维护人员阅读，也可供相关专业的大中专院校师生参考。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 4 月

目 录

前言

第一章 变频器的基本知识	1
第一节 变频器的分类	2
一、按工作电源的电压等级分类	2
二、按直流电源的性质分类	2
三、按电压的调制方式分类	3
四、按电能变换的方式分类	3
第二节 变频器的内部主电路	3
一、内部主电路结构	3
二、均压电阻和限流电阻	4
三、主电路的对外连接端子	4
四、变频系统的共用直流母线	5
第三节 变频器的外接主电路	6
一、外接主电路结构	6
二、相关元件的选择	7
三、变频器与电动机之间的允许距离	7
第四节 变频器中使用的电力电子器件 IGBT 与功能模块	9
一、IGBT 简介	9
二、变频器中的模块逆变电路	11
第五节 变频器配套使用的电抗器、滤波器	18
一、三相输入电抗器	18
二、三相输出电抗器	19
三、直流电抗器	21
四、能量回馈电抗器	21
五、输入、输出滤波器	21
第六节 变频器的功能参数	24
一、功能参数设置的意义	24
二、功能参数设置的方法	27

第二章 变频器对电动机的控制	30
第一节 变频器对异步电动机的控制方式	30
一、V/F 恒定控制	30
二、转差频率控制	30
三、矢量控制	31
四、转矩控制	31
五、直接转速控制	32
第二节 变频器的电磁兼容性	32
一、变频器的谐波和电磁干扰	32
二、变频系统中的抗干扰措施	33
第三节 变频器的制动方式	34
一、变频器的再生制动	34
二、变频器的直流制动	35
三、变频器电容反馈制动	36
第四节 变频器的 PID 控制	37
一、如何使 PID 控制功能有效	37
二、目标信号与反馈信号	38
三、目标信号的输入通道与数值大小	38
四、PID 的反馈逻辑	39
五、反馈信号输入通道	40
六、参数值的预置与调整	41
第五节 变频器的多段速运行	41
一、端子控制的多段速运行	41
二、程序控制的多段速运行	44
第六节 变频器应用实例	46
一、变频器的广泛应用	46
二、具体应用案例	47
第七节 变频器故障的显示、诊断与维护	52
一、变频器故障的显示	52
二、变频器故障的逻辑图诊断	53
三、变频器主电路故障诊断	54
四、变频器的维护	58
第三章 变频器应用实践电路	60
第一节 变频器中闭环控制功能的应用	60

一、PID 控制的效能	60
二、PID 控制的实现	60
三、PID 应用实例	65
第二节 变频器的制动电阻与制动单元	67
一、制动电路工作原理	67
二、制动电阻的阻值和功率	68
三、制动电路异常的处理	69
第三节 变频器功率因数的改善	70
一、变频器的无功功率与功率因数	70
二、提高功率因数的措施	71
三、电抗器的选用	71
四、交流电抗器的相关应用	72
第四节 变频器的多挡频率运行实例	72
一、如何实现多挡频率控制	73
二、多挡频率运行的实例	74
第五节 变频器的频率检测	77
一、频率检测功能简介	78
二、频率检测的功能参数	79
三、频率检测的应用实例	81
第六节 变频器的跳跃频率	82
一、跳跃频率	83
二、跳跃频率幅度	84
三、应用举例	86
第七节 变频器的 V/F 控制	86
一、变频器的 U/f 曲线	87
二、V/F 控制的参数表	89
三、通过功能参数选用 U/f 曲线	91
第八节 变频器的显示功能	93
一、博世力士乐 CVF-G3 系列变频器	93
二、富士 G11S 系列变频器	94
三、森兰 SB61 系列变频器	95
第九节 变频器的故障查询	96
第十节 变频器的过载保护	99
一、过载保护的特点	100

二、过载保护的参数设置	101
第四章 变频器应用答疑	104
第一节 基本知识	104
一、什么是变频器?	104
二、变频器的内部主电路由几部分组成?	104
三、输出部分的每个逆变管两端,为什么都要反并联一个二极管? ..	105
四、变频器主电路对外连接有哪些端子?	105
五、变频器的控制端子有哪些?	106
六、使用变频器可以实现哪些功能?	106
七、变频器的主要技术参数有哪些?	107
第二节 变频器的键盘与功能预置	107
一、变频器键盘上配置有哪些按键?	107
二、如何预置变频器的功能参数?	109
三、变频器在运行状态下,能设置修改参数值吗?	109
第三节 变频器应用知识	109
一、为什么变频启动能减小起动电流?	109
二、什么是加速时间?如何设定?	110
三、什么是减速时间?如何设定?	110
四、什么是S形加速方式?如何设定?	111
五、什么情况需要设置起动频率?	112
六、什么是直流制动?意义如何?怎样设置相关参数?	112
七、一台风机采用变频调速运行,要求在现场和控制室都能调速, 怎样实现?	113
八、怎样用变频器实现电动机的点动控制?	113
九、什么情况需要使用变频器的下垂功能?	114
十、下垂功能的控制原理是什么?如何设置变频器的下垂功能 参数?	114
第四节 变频器的特殊功能应用	115
一、怎样使没有正反转功能的变频器驱动电动机正反转?	115
二、预置变频器的“自动节能”功能有效时能节能吗?	117
三、什么是变频器瞬时停电后的再起动功能?如何设置参数?	118
四、什么是变频器故障跳闸后的再起动(重合闸)功能?	119
五、55kW的风机采用变频调速后,最大工作频率在45Hz以下, 能否采用45kW的变频器?	120

六、电动机能否在变频调速和工频定速之间切换运行？	120
第五节 变频器在恒压供水中的应用	121
一、离心式水泵是否属于二次方率负载？其特点是什么？	121
二、单台水泵的变频调速恒压供水系统是如何工作的？	121
三、单泵恒压供水系统中用水量与 PID 调节量之间的关系如何？	122
四、多台水泵变频调速恒压供水系统是如何工作的？	123
五、多泵变频恒压供水系统的二次控制电路如何接线？	125
六、变频恒压供水的休眠与唤醒是怎么回事？	126
七、变频器能否进行供水定时控制？	128
第六节 综合应用知识	129
一、变频器接收到起动脉令后电动机不转动，或一加负载就停机是何原因？如何处理？	129
二、变频器的模拟给定信号，电压范围是 1 ~ 5V，电流范围是 4 ~ 20mA，为什么不从 0 开始？	130
三、什么是变频器的频率给定线和基本频率给定线？	130
四、什么是变频器的偏置频率和频率增益？作用如何？	130
五、某控制器的输出信号为 2 ~ 8V，要求变频器的对应频率是 0 ~ 50Hz，如何处理？	132
六、有一用户要求，当模拟量电流给定信号为 4 ~ 20mA 时，变频器输出频率为 50 ~ 0Hz，如何设置参数？	133
七、各种变频器说明书中有很多与频率有关的概念与术语，它们的定义是什么？	134
八、各种变频器说明书中有很多与时间有关的概念与术语，它们的定义是什么？	137
第五章 常用变频器功能参数	141
第一节 森兰 SB12 系列变频器功能参数	141
一、森兰 SB12 系列变频器功能参数表	141
二、森兰 SB12 系列变频器功能参数说明	141
第二节 普传变频器功能参数	161
一、普传 PI7800、PI7600 系列变频器功能参数表	161
二、普传 PI7800、PI7600 系列变频器功能参数说明	180
第三节 富士 5000G11S/P11S 系列变频器基本功能参数	229
一、富士 5000G11S/P11S 系列变频器基本功能参数表	229

二、富士 5000G11S/P11S 系列变频器基本功能参数说明	229
附录	243
附录 A 国际单位制词头表	243
附录 B 二次回路接线图简介	244
一、原理接线图	244
二、展开接线图	246
三、安装接线图	247
附录 C 电路简图用图形符号与文字符号	251
一、电气简图用图形符号	253
二、电气简图用文字符号	282
附录 D 电动机技术参数	289
一、Y 系列 380V 笼型异步电动机技术参数	289
二、YR (IP23) 系列 380V 绕线转子异步电动机	291
三、YR (IP44) 系列 380V 绕线转子异步电动机	292
四、Y 系列 6kV 三相笼型异步电动机	293
五、YR (YRKS) 系列 10kV 三相绕线转子异步电动机	298
六、TK、TDK 系列同步电动机	301
七、MCBP 系列 380V 变频异步电动机	307
八、YVF 系列变频调速三相异步电动机	311
附录 E DW15 系列万能断路器的变通合闸	312
一、操作按钮即可合闸的万能断路器	313
二、较大电流容量万能断路器来电时的自动合闸	314
附录 F 电动机整体结构的防护等级	317
一、防护等级中第一位表征数字的具体含义	318
二、防护等级中第二位表征数字的具体含义	319
三、第一位表征数字的试验	320
四、第二位表征数字的试验条件与认可条件	322
附录 G 变频器的国家标准 GB/T 12668《调速电气传动系统》	328
参考文献	331

第一章 变频器的基本知识

在 20 世纪初期乃至其后的数十年时间里，直流调速一直统治着电气传动领域的电动机调速技术，但由于直流电动机使用换相器，使其维护工作量较大，而且它的单机容量和最高转速等技术性能在许多生产环境下都不能满足要求，于是从 20 世纪 30 年代开始，人们开始了交流调速技术的研究。直至 20 世纪 60 年代，电力电子技术开始快速发展，电力电子器件从 SCR（晶闸管）、GTO（门极可关断晶闸管）、BJT（双极型晶体管）、MOSFET（金属氧化物场效应管）、MCT（MOS 控制晶闸管），发展到后来的 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）、HVIGBT（耐高压绝缘栅双极型晶体管），这一进程极大地促进了电力变换技术的发展。在电力电子元器件制造技术快速发展的同时，微电子技术，信息与控制等多个学科领域也成为变频技术发展的重要推动力。20 世纪 70 年代，脉宽调制变压变频（PWM—VVVF）调速的研究引起了人们的重视。20 世纪 80 年代，科研人员对作为变频技术核心的 PWM 模式优化问题做了进一步研究，得出诸多优化模式，其中以鞍形波 PWM 模式效果最佳。在此研究成果的基础上，美、日、英、德等发达国家的 VVVF 变频器在 20 世纪 80 年代后期开始投放市场，并逐渐得到广泛推广和应用。

我国的变频调速技术紧跟世界科技发展潮流，在 20 世纪 90 年代以后获得了突飞猛进的发展，各种通用、专用变频器纷纷面市，规格齐全，性能优异。目前功率可以做到几千千瓦，工作电压最高可达 10kV，基本可以满足国民经济各行各业对变频调速装置的不同需求。变频器在调整电动机转速满足生产工艺要求的同时，还有明显的节电效益，尤其是在风机、水泵类负载的应用中。风机/水泵类负载在使用中，一般都需要经常调整其风量/水量，传统的方法是采用机械式风闸门/水闸门进行调节，这会带来很大的功率损耗，使用变频器之后，可以直接通过改变电动机转速达到调节目的，有效地减少了机械

闸门调节损耗，最佳效果可节能达 30% 左右，是国家重点推广的节能技术。变频器还兼有软起动和软停机功能，可以节约软起动设备的投资，消除设备起动时的机械冲击，延长设备寿命和维修周期；降低起动电流，消除起动时对相邻设备的影响；降低起动时对供电容量的要求。因此，变频器的应用具有节约运行成本、节能减排等综合社会效益。

第一节 变频器的分类

一、按工作电源的电压等级分类

变频器的工作电源分高压和低压两大类。高压变频器的电压等级有 3kV、6kV 和 10kV 等几种；低压变频器的电压等级有 220V、380V、660V 和 1140V 等几种。其中大部分变频器的输入和输出都是三相交流电，仅有少量小功率变频器采用单相输入、三相输出的结构形式。

上述低压变频器的电压规格中，任意相邻两种电压规格的数值关系都是相差 $\sqrt{3}$ 或 $1/\sqrt{3}$ 倍。

二、按直流电源的性质分类

1. 电压型变频器

电压型变频器的中间直流环节采用大电容器滤波，在波峰（电压较高）时，电容器储存电场能；波谷（电压较低）时，电容器释电场能进行补充，从而使直流环节的电压比较平稳，内阻较小，相当于电压源，常应用于负载电压变化较大的场合。其电路结构示意图如图 1-1 所示。

2. 电流型变频器

电流型变频器的中间直流环节采用电抗器作为储能元件进行滤波。在波峰（电流较大）时，电抗器储存磁场能；波谷（电流较小时），电抗器释放磁场能进行补充，从而使直流电流保持平稳。由于这种直流环节内阻较大，有近似电流源的特性，故将采用这种直流环节的变频器称做电流型变频器。常应用于负载电流变化较大的场合。其电路结构示意图如图 1-2 所示。

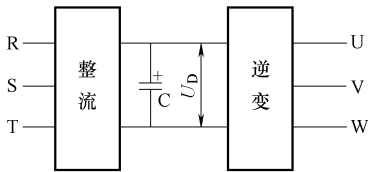


图 1-1 电压型

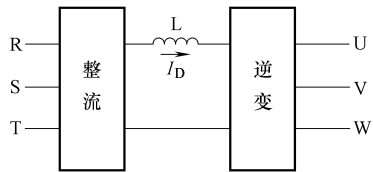


图 1-2 电流型

三、按电压的调制方式分类

1. 脉宽调制 (SPWM) 变频器

脉宽调制 (SPWM) 变频器电压的大小是通过调节脉冲占空比来实现的。中、小容量的通用变频器几乎全部采用这种调制方式。

2. 脉幅调制 (PAM) 变频器

脉幅调制 (PAM) 变频器电压的大小是通过调节直流电压的幅值来实现的。

四、按电能变换的方式分类

1. 交-直-交变频器

交-直-交变频器先把工频交流电通过整流器变换成直流电，然后再把直流电变换成频率电压可调的交流电。交-直-交变频器是目前广泛应用的通用型变频器。

2. 交-交变频器

交-交变频器中不设置整流器，它将工频交流电直接变换成频率电压可调的交流电，所以又称直接式变频器。

第二节 变频器的内部主电路

一、内部主电路结构

采用“交-直-交”结构的低压变频器，其内部主电路由整流和逆变两大部分组成，如图 1-3 所示。从 R、S、T 端输入的三相交流电，经三相整流桥（由二极管 VD1 ~ VD6 构成）整流成直流电，电压为 U_D 。电容器 C1 和 C2 是滤波电容器。6 个 IGBT（绝缘栅双极性晶体管）V1 ~ V6 构成三相逆变桥，把直流电逆变成频率和电

压任意可调的三相交流电。

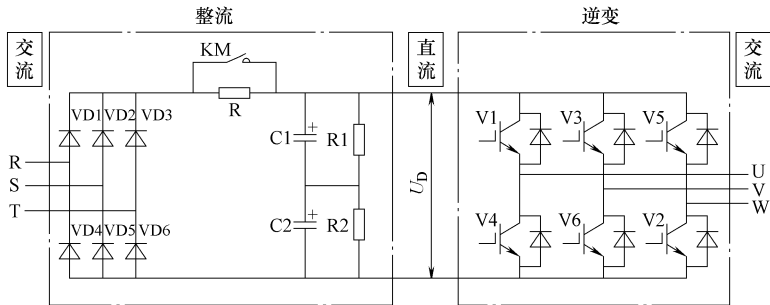


图 1-3 变频器内部主电路

二、均压电阻和限流电阻

图 1-3 中，滤波电容器 C1 和 C2 两端各并联了一个电阻，是为了使两只电容器上的电压基本相等，防止电容器在工作中损坏（目前，由于技术的进步，低压（380V）变频器的电解电容大多数可以不需要串联使用了）。在整流桥和滤波电容器之间接有一个电阻 R 和一对接触器触头 KM，其缘由是：变频器刚接通电源时，滤波电容器上的电压为 0V，而电源电压为 380V 时的整流电压峰值是 537V，这样在接通电源的瞬间将有很大的充电冲击电流，有可能损坏整流二极管；另外，端电压为 0 的滤波电容器会使整流电压瞬间降低至 0V，形成对电源网络的干扰。为了解决上述问题，在整流桥和滤波电容器之间接入一个限流电阻 R，可将滤波电容器的充电电流限制在一个允许范围内。但是，如果限流电阻 R 始终接在电路内，其电压降将影响变频器的输出电压，也会降低变频器的电能转换效率，因此，滤波电容器充电完毕后，由接触器 KM 将限流电阻 R 短接，使之退出运行。

三、主电路的对外连接端子

各种变频器主电路的对外连接端子大致相同，如图 1-4 所示。

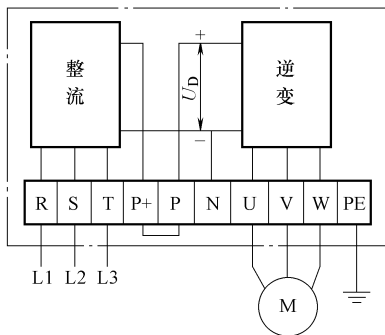


图 1-4 主电路对外连接端子