

创新型人才培养“十二五”规划教材



变频器控制技术

◆ 钱海月 王海浩 主编



电子工业出版社

ISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

创新型人才培养“十二五”规划教材

变频器控制技术

主 编 钱海月 王海浩
副主编 宋 宇 李俊涛 于秀娜
主 审 关 健

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从变频器的实际应用角度出发,全书内容涵盖了变频器的基本原理、简单操作及其实际应用等多个方面。书中由浅入深地阐述了变频器的基础知识、变频器的基本构成及其主电路的检测方法、变频器的控制方法、变频调速系统主要器件的选用;详细介绍了变频器的主要功能、参数设置方法及变频器的操作、运行、安装、使用维护、应用实例等内容。

本书注重实际、强调应用,可作为高职高专院校电气工程及自动化、机电一体化、过程控制及其相关专业的教材,同时也可供相关领域的专业技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

变频器控制技术/钱海月,王海浩主编.——北京:电子工业出版社,2013.8

创新型人才培养“十二五”规划教材

ISBN 978-7-121-20497-5

I. ①变… II. ①钱… ②王… III. ①变频器-高等职业教育-教材 IV. ①TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第107800号

策划编辑:柴燕(chaiy@phei.com.cn)

责任编辑:柴燕

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:370千字

印 次:2013年8月第1次印刷

印 数:4000册 定价:33.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至zlbs@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

20世纪80年代变频器引入中国之后,变频调速技术以其调速精度高、性能好、内部软件齐全、价格低、应用方便等优点替代了直流调速和电磁调速,占据了调速领域的主导地位。因此,变频器被广泛应用于制造业、冶金、矿业、轻工等各个领域,有力地推进了生产力的发展,现已成为工业控制的标准设备。

本书根据高等职业教育“淡化理论,突出实践应用”的原则,在编写思路力求体现高职高专培养生产一线高技能人才的要求,在内容上根据本课程自身的特点,采用“原理—操作—应用”循序渐进的原则,符合学生的认知规律。本书写作过程中努力做到内容全面、语言简洁、重点突出、图文并茂,尽可能体现高职教育的特点。

本书从实用的角度出发,介绍了变频器中常用电力电子器件的结构、原理、参数、驱动电路及其检测方法,变频器的基本结构、工作过程及其各部分的检测,变频器的控制方法,三菱FR-700系列变频器的外部端子功能、常用控制功能及操作方法,西门子MM440变频器的外部端子功能、常用控制功能及操作方法,变频调速系统的构成、元器件的选择及常用控制线路等内容。其中,关于三菱FR-700系列变频器和西门子MM440变频器的使用可根据不同院校的实验实训条件决定具体讲解哪一章,而另一章可作为学生自学章节,以适应市场的需求。

本书既可以作为高职高专院校自动化、机电一体化、自动控制专业及其他相关专业的教学用书,也可作为企业培训人员和工程技术人员的参考书和自学教材。

本书由吉林电子信息职业技术学院钱海月、王海浩担任主编,宋宇、李俊涛、于秀娜担任副主编,刘伟、刘爽、董括参编。其中,第1章由于秀娜编写,第3、4章由钱海月编写,第2、7章由王海浩编写,第6章由宋宇编写,第5章由李俊涛编写,刘伟、刘爽、董括共同编写第8章、附录A和附录B。全书由钱海月统稿,由关键主审。

本书配有电子教学参考资料(电子教案和部分习题答案),需要的师生可在电子工业出版社旗下华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)下载。

在本书的编写过程中,编者参考了多位同行专家的著作和文献。关键教授以高度负责的态度审阅了全书,并提出了许多宝贵意见,在此一致表示谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 异步电动机的调速方式	(1)
1.2 变频器的发展与现状	(3)
1.3 变频器的分类	(5)
1.3.1 按照变换方式分类	(6)
1.3.2 按照直流电源的性质分类	(7)
1.3.3 按照输出电压的调制方式分类	(8)
1.3.4 按照功能用途分类	(8)
本章小结	(9)
练习题	(9)
第 2 章 变频器中常用的电力电子器件	(10)
2.1 晶闸管 SCR	(10)
2.1.1 SCR 的外形、结构与图形符号	(10)
2.1.2 SCR 的工作原理	(11)
2.1.3 SCR 的参数	(12)
2.1.4 SCR 检测	(14)
2.1.5 SCR 的驱动电路	(15)
2.2 门极可关断晶闸管 GTO	(16)
2.2.1 GTO 的外形、结构与图形符号	(16)
2.2.2 GTO 的工作原理	(17)
2.2.3 GTO 晶闸管的主要参数	(17)
2.2.4 GTO 检测	(18)
2.2.5 GTO 的驱动电路	(19)
2.3 电力场效应晶体管 MOSFET	(19)
2.3.1 MOSFET 的外形、结构与图形符号	(20)
2.3.2 MOSFET 的工作原理	(20)
2.3.3 MOSFET 的主要参数	(22)
2.3.4 MOSFET 检测	(22)
2.3.5 MOSFET 的驱动电路	(23)
2.4 绝缘栅双极型晶体管 IGBT	(24)
2.4.1 IGBT 的外形、结构与图形符号	(24)

2.4.2	IGBT 的工作原理	(25)
2.4.3	IGBT 的主要参数	(25)
2.4.4	IGBT 的检测	(25)
2.4.5	IGBT 的驱动电路	(26)
2.5	新型电力电子器件	(27)
	本章小结	(28)
	练习题	(29)
第3章	变频器的基本结构与原理	(30)
3.1	变频器的基本结构	(30)
3.2	整流电路	(32)
3.2.1	不可控整流电路	(32)
3.2.2	可控整流电路	(35)
3.2.3	整流电路的检测	(38)
3.3	中间电路	(39)
3.3.1	滤波电路	(39)
3.3.2	限流电路	(40)
3.3.3	高压指示电路	(40)
3.3.4	制动电路	(41)
3.3.5	中间电路的检测	(43)
3.4	逆变电路	(44)
3.4.1	逆变电路的原理	(44)
3.4.2	电压型逆变电路	(45)
3.4.3	逆变电路的检测	(48)
3.5	PWM 控制技术	(49)
3.5.1	SPWM 控制的基本原理	(49)
3.5.2	SPWM 逆变电路及其控制方法	(50)
3.6	交—交变频器的基本原理	(54)
3.6.1	单相交—交变频器	(54)
3.6.2	三相交—交变频器	(55)
	本章小结	(56)
	练习题	(56)
第4章	变频器的控制方式	(58)
4.1	恒压频比 U/f 的控制方式	(58)
4.1.1	变频调速出现的问题	(58)
4.1.2	U/f 曲线的绘制	(60)
4.1.3	变频器的 U/f 控制功能	(62)
4.2	转差频率的控制方式 (SF)	(64)

4.2.1	转差频率控制的基本思想	(64)
4.2.2	转差频率控制的实现原理	(64)
4.3	矢量控制 (VC)	(65)
4.3.1	矢量控制的基本思想	(65)
4.3.2	变频器的矢量控制功能	(67)
4.3.3	变频器矢量控制系统的优点和应用范围	(68)
4.4	直接转矩控制 (DTC)	(69)
4.5	变频器的常用控制功能	(70)
4.5.1	变频器的频率给定功能	(70)
4.5.2	变频启动与加速功能	(76)
4.5.3	变频减速与制动功能	(77)
	本章小结	(78)
	练习题	(78)
第5章	三菱 FR-700 系列变频器的使用	(80)
5.1	认识 FR-700 系列变频器	(80)
5.1.1	外形、结构	(80)
5.1.2	面板的拆卸与安装	(82)
5.2	FR-700 系列变频器主回路	(84)
5.3	FR-700 系列变频器外部端子	(85)
5.3.1	FR-700 系列变频器外部端子图及其功能说明	(85)
5.3.2	FR-700 系列变频器的主电路端子	(87)
5.3.3	FR-700 系列变频器的控制回路端子	(89)
5.4	FR-700 系列变频器操作面板的组成和功能	(101)
5.4.1	操作面板介绍	(102)
5.4.2	操作面板 FR-DU07 的基本操作	(102)
5.5	三菱 FR-740 变频器的操作运行模式	(105)
5.5.1	运行模式功能	(105)
5.5.2	PU 操作模式	(106)
5.5.3	外部操作模式	(108)
5.5.4	组合操作模式	(110)
5.6	三菱 FR-A740 变频器的常用功能	(112)
5.6.1	设定 V/F 曲线	(112)
5.6.2	电动机启动、加/减速和制动	(116)
5.6.3	其他功能参数的使用	(120)
5.7	变频器故障显示信息	(121)
	本章小结	(123)

第 6 章 西门子 MM440 变频器的使用	(124)
6.1 西门子 MM440 系列变频器的外部接线	(124)
6.1.1 主回路接线	(124)
6.1.2 控制回路接线	(125)
6.2 西门子 MM440 系列变频器的基本面板操作	(127)
6.2.1 基本操作面板 BOP 的显示、按键及其含义	(127)
6.2.2 基本操作面板的使用	(128)
6.3 MM440 系列变频器的快速调速与参数设置	(130)
6.3.1 变频器 SDP 状态显示屏的调试方法	(130)
6.3.2 变频器 BOP 基本操作面板调试方法	(132)
6.3.3 快速调试	(133)
6.4 MM440 变频器的基本操作	(147)
6.4.1 MM440 变频器的面板操作与运行	(147)
6.4.2 MM440 变频器的外部操作与运行	(149)
6.5 故障诊断	(153)
本章小结	(154)
第 7 章 变频调速系统的设计、安装与维护	(155)
7.1 变频调速系统主电路的结构	(155)
7.2 变频器的选择	(157)
7.2.1 变频器控制方式的选择	(157)
7.2.2 变频器容量的计算	(158)
7.3 变频器外围设备的选择	(160)
7.4 变频调速系统的典型控制电路	(164)
7.4.1 点动与连续运行变频调速控制电路	(166)
7.4.2 正、反转变频调速控制电路	(170)
7.4.3 多段速变频调速控制电路	(170)
7.4.4 声光报警电路	(172)
7.5 变频调速系统的抗干扰及抑制	(173)
7.5.1 变频器产生的干扰	(173)
7.5.2 抑制变频器干扰的措施	(175)
7.5.3 其他设备对变频器的干扰	(176)
7.6 变频器的安装、调试与维护	(177)
7.6.1 变频器的安装	(177)
7.6.2 变频器的接线	(181)
7.6.3 调试	(182)
7.6.4 变频器的维护	(184)
7.6.5 常见故障及原因	(184)

本章小结	(185)
练习题	(186)
第8章 变频器综合应用	(187)
8.1 变频器在恒压供水系统中的应用	(187)
8.1.1 恒压供水系统的基本原理	(187)
8.1.2 单泵恒压供水系统	(188)
8.2 变频器在中央空调节能中的应用	(193)
8.2.1 中央空调系统的组成原理及控制要求	(193)
8.2.2 中央空调变频调速控制方案	(196)
附录 A	(197)
附录 B	(213)

第1章 概 述

【知识目标】

1. 掌握异步电动机的调速方式及其特性。
2. 熟悉变频调速的基本原理及其优点。
3. 掌握变频器的分类及其性能比较。
4. 了解变频器的发展过程,认识变频器在现代化建设中的作用。
5. 了解变频器的应用领域。

【能力目标】

1. 能够分析比较不同厂家变频器的优缺点。
2. 会查阅变频器的相关文献。

电动机是电力拖动系统中的原动机,它将电能转化为机械能,去拖动各类型生产机械的工作机构运动,以实现各种生产工艺的要求。随着社会化大生产的不断发展,生产制造技术越来越复杂,对生产工艺的要求也进一步提高。而作为系统原动机的电动机则是实现这些要求的主体,因此提高电动机的调速技术对于整个电力拖动系统的性能具有十分重要的意义。

长期以来,在调速领域里,由于直流调速控制简单、调速性能好,一直占据统治地位,但它也具有下述缺点。

① 直流电动机结构复杂,成本高,故障多,维护困难,经常因火花大而影响生产。

② 换向器的换向能力限制了电动机的容量和速度。直流电动机的极限容量和速度之积约为 $10^6 \text{ kW} \cdot \text{r}/\text{min}$,许多大型机械的传动电动机已接近或超过该值,设计制造困难,甚至根本造不出来。

③ 为改善换向能力,要求电枢漏感小,转子短粗,导致转动惯量增大,影响系统动态性能。在动态性能要求高的场合,不得不采用双电枢或三电枢,带来造价高、占地面积大、易共振等一系列问题。

④ 直流电动机除励磁外,全部输入功率都通过换向器流入电枢,电动机效率低。由于转子散热条件差,因而冷却费用高。

相对于直流电动机,异步电动机并无上述缺点,而且具有结构简单、坚固耐用、使用寿命长、易于维修、价格低廉的优点。因此,在整个电力拖动领域中,异步电动机独占鳌头。

1.1 异步电动机的调速方式

当三相电动机定子绕组通入三相交流电后,定子绕组会产生旋转磁场,旋转磁场的转速 n_0 与交流电源的频率 f 和电动机的磁极对数 p 有如下关系,即

$$n_0 = 60f/p \quad (1-1)$$

电动机转子的旋转速度(即电动机的转速)略低于旋转磁场的旋转速度 n_0 (又称同步转速),两者的转速差称为转差率 s ,电动机的转速为

$$n = (1 - s)60f/p \quad (1-2)$$

由上式可知，若要改变电动机转速 n ，有如下三种方法。

- ① 变极调速：改变电动机绕组的磁极对数 p 。
- ② 改变转差率调速：改变电动机的转差率 s 。
- ③ 变频调速：改变供电电源的频率 f 。

目前常见的调速方式主要有降电压调速、转子串电阻调速、串级调速、变极调速、变频调速。其中前三项均属于变转差率调速方式。

1. 异步电动机的变极调速

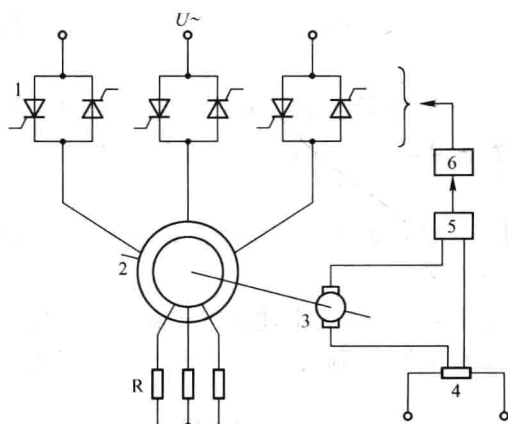
变极调速是通过改变定子绕组的磁极对数来改变旋转磁场同步转速进行调速的，是无附加转差损耗的高效调速方式。由于磁极对数 p 是整数，因此它不能实现平滑调速，只能是有级调速。在供电频率 $f = 50\text{Hz}$ 的电网中， $p = 1、2、3、4$ 时，相应的同步转速 $n_0 = 3000、1500、1000、750\text{r/min}$ 。变极调速只适用于变极电动机，现国内生产的变极电动机有双、三、四速等几类。

变极调速的优点是在每一个转速等级下都具有较硬的机械特性，稳定性好，控制线路简单，容易维护；缺点是有级调速，调速平滑性差，从而限制了它的使用范围。

2. 降电压调速

降电压调速是用改变定子电压的方法来改变电动机的转速的。调速过程中，它的转差功率以发热形式损耗在转子绕组中，属于低效调速方式。由于电磁转矩与定子电压的平方成正比，因此改变定子电压就可以改变电动机的机械特性，与某一负载特性相匹配就可以稳定在相应的转速上，从而实现调速功能。使用晶闸管是实现交流调压调速的主要手段，利用改变定子侧三相反并联晶闸管的移相角来调节转速，可以做到无级调速，如图 1-1 所示。

降电压调速的主要优点是控制设备比较简单，可无级调速，初始投资低，使用维护比较方便；缺点是机械特性软，调速范围窄，调速效率比较低。它适用于调速要求不高，在高速区运行时间较长的中小容量的异步电动机。



1—晶闸管装置；2—异步电动机；3—测速发电机；4—电压给定器；5—放大器；6—触发器

图 1-1 晶闸管调压调速系统的原理框图

3. 转子串电阻调速

转子串电阻调速适用于绕线式异步电动机，通过在电动机的转子回路中串入不同阻值的电阻，人为地改变转子电流从而改变电动机的转速，如图 1-2 所示。

转子串电阻调速的优点是设备简单，维护方便；控制方法简单，易于实现。其缺点是只能有级调速，平滑性差；低速时机械特性软，故静差率大；低速时转差大，转子铜损高，运

行效率低。这种调速方法适合于调速范围不太大和调速特性要求不高的场合。

4. 串级调速

串级调速方式是转子串电阻调速方式的改进，基本工作方式也是通过改变转子回路的有效阻抗从而改变电动机的工作特性，达到调速的目的。其实现方式是在转子回路中串入一个可变的电动势，从而改变转子回路的回路电流，进而改变电动机转速。

串级调速的优点是可以通过某种控制方式使转子回路的能量回馈给电网，从而提高效率，还可以实现无级调速。缺点是对电网干扰大，调速范围窄。

5. 变频调速

变频调速是通过改变异步电动机供电电源的频率 f 来实现无级调速的。从实现原理上考虑，变频调速是一个简捷的方法。从调速特性上看，变频调速的任何一个速度段的硬度均接近自然机械特性，调速特性好。如果能有一个可变频率的交流电源，则可实现连续调速，平滑性好。变频器就是一种可以实现变频、变压的变流电源的专业装置，其变频调速原理图如图1-3所示。

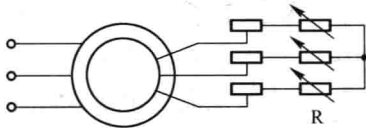


图 1-2 转子串电阻电路

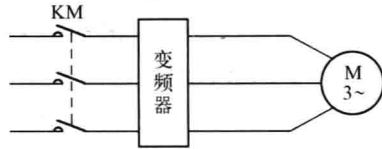


图 1-3 变频调速原理图

6. 比较几种调速方式

根据实际应用效果，将交流电动机的各种调速方式的一般特性和特点汇总于表1-1之中。

表 1-1 调速方式的一般特性和特点

调速方法 比较项目	变 极	变 转 差 率			变 频	
		转子串电阻	串级调速	降压调速		
是否改变同步转速	变	不变	不变	不变	变	
调速 指标	静差率	小 (好)	大 (差)	小 (好)	开环时大 闭环时小	小 (好)
	在一般静差率 要求下的调速 范围 D	较小 ($D=2\sim4$)	小 ($D=2$)	较小 ($D=2\sim4$)	闭环时较大 ($D=10$)	较大 ($D=10$)
	调速平滑性	差 (有级调速)	差 (有级调速)	好 (无级调速)	好 (无级调速)	好 (无级调速)
	适应负载类型	恒转矩 恒功率	恒转矩	恒转矩	通风机 恒转矩	恒转矩 恒功率
	设备投资	少	少	较多	较少	多
	电能损耗	小	大	较小	大	较小
运用电动机类型	多速电动机 (鼠笼型)	绕线型异步 电动机	绕线型异步 电动机	绕线型异步电动机、 鼠笼型异步电动机	鼠笼型电动机	

1.2 变频器的发展与现状

由于变频器具有体积小、重量轻、精度高、工艺先进、功能丰富、保护齐全、可靠性高、操作简便、通用性强、易形成闭环控制等优点，它优于以往的任何调速方式，如变极调速、调压调速、滑差调速、串级调速等，因而深受钢铁、有色金属、石油、石化、化工、化

纤、纺织、机械、电力、建材、煤炭、医药、造纸、卷烟、城市供水及污水处理等行业的欢迎。

当今变频器产业得到了飞速发展，变频器产品的产业化规模日趋壮大。交流变频器自20世纪60年代问世，到20世纪80年代在主要工业化国家已得到了广泛使用。20世纪90年代以来，随着人们节能环保意识的加强，变频器的应用越来越普及。

1. 变频器控制方式的发展和现状

变频技术是应交流电动机无级调速的需要而诞生的。20世纪80年代，作为变频技术核心的PWM模式优化问题引起了业内人士的浓厚科研兴趣，并因此得出了诸多优化模式，如鞍形波PWM模式、电压空间相量PWM模式等。从20世纪80年代后半期开始，欧美发达国家的VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 变频器已投入市场并得到了广泛应用。

低压通用变频器输出电压分380V级和660V级两种，输出功率为0.75 ~ 400kW，工作频率为0 ~ 400Hz，它的主电路都采用交—直—交电路。其控制方式经历了以下四代。

第一代，采用正弦脉宽调制 (SPWM) 的恒压频比控制。该方式控制电路结构简单、成本较低，机械特性硬度也较好，能够满足一般传动的平滑调速要求，已在各个领域得到了广泛应用。这种控制方式在低频时，因输出电压较小，受定子电阻压降的影响比较显著，故造成输出最大转矩减小。但是，其机械特性终究没有直流电动机硬，动态转矩能力和静态调速性能都还不尽如人意。而且，其系统性能不高，控制曲线会随负载的变化而变化，转矩响应慢，电动机转矩利用率不高，低速时因定子电阻和逆变器死区效应的存在而性能下降，稳定性会变差。

第二代，电压空间矢量 (磁通轨迹法) 控制方式，又称SVPWM控制方式。它是三相波形整体生成效果为前提，以逼近电动机气隙的理想圆形旋转磁场轨迹为目的，一次生成三相调制波形，以内切多边形逼近圆的方式而进行控制的。经实践使用后又有所改进：引入频率补偿，能消除速度控制的误差；通过反馈估算磁链幅值，消除低速时定子电阻的影响；将输出电压、电流构成闭环，以提高动态的精度和稳定度。但这种方式下的控制电路环节较多，并且没有引入对转矩的调节，所以系统性能没有得到根本改善。

第三代，矢量控制 (磁场定向法)，又称VC控制方式。矢量控制变频调速的做法是将异步电动机在三相坐标系下的定子交流电流 I_a 、 I_b 、 I_c 通过三相—二相变换，等效成两相静止坐标系下的交流电流 I_α 、 I_β ，再通过按转子磁场定向旋转变换，等效成同步旋转坐标系下的直流电流 I_m 、 I_t (I_m 相当于直流电动机的励磁电流； I_t 相当于与转矩成正比的电枢电流)，然后模仿直流电动机的控制方法，求得直流电动机的控制量，经过相应的坐标反变换，实现对异步电动机的控制。

然而在实际应用中，由于转子磁链难以准确观测，系统特性受电动机参数的影响较大，并且在等效直流电动机控制过程中所用矢量旋转变换较为复杂，使得实际的控制效果难以达到理想分析的结果。

第四代，直接转矩控制，又称DTC控制。1985年，德国鲁尔大学的Depenbrock教授首先提出直接转矩控制理论 (Direct Torque Control, DTC)。直接转矩控制与矢量控制不同，它不是通过控制电流、磁链等量来间接控制转矩的，而是把转矩直接作为被控量来控制的。

转矩控制是控制定子磁链，在本质上并不需要转速信息；控制效果上，对除定子电阻外的所有电动机参数变化的鲁棒性良好；所引入的定子磁链观测器能很容易地估算出同步速度信息，因而能方便地实现无速度传感器化。这种控制方法被应用于通用变频器的设计之中，是很自然的

事,这种控制方式被称为无速度传感器直接转矩控制。然而,这种控制方式依赖于精确的电动机数学模型和对电动机参数的自动识别,通过 I_d 运行自动确立电动机实际的定子阻抗互感、饱和因数、电动机惯量等重要参数,然后根据精确的电动机模型估算出电动机的实际转矩、定子磁链和转子速度,并由磁链和转矩的 Band - Band 控制产生 PWM 信号对逆变器的开关状态进行控制。这种系统可以实现很快的转矩响应速度和很高的速度、转矩控制精度。

2. 电力电子器件的发展与现状

到了 20 世纪 60 年代,随着晶闸管 (SCR) 功率的不断增大,使变频调速具有了现实可能性。而使变频调速器达到普及应用的阶段 (欧美国家),则是在 20 世纪 70 年代,大功率晶体管 (GTR) 问世之后。20 世纪 90 年代,场效应晶体管、IGBT 的出现及其性能不断提高,又使变频调速器在各个方面前进了一步。可见,变频器的产生、成长和发展,是和电力电子功率器件的进步密不可分的。

电力电子技术是高新技术产业发展的基础技术之一,是传统产业改造的重要手段。自 1957 年第一个普通晶闸管诞生以来,电力电子器件产品的发展主要经历了以下四代。

第一代产品,主要标志是器件本身没有关断能力,如普通晶闸管。

第二代产品,主要标志是器件本身有关断能力,如大功率晶体管 (GTR)、可关断晶闸管 (GTO) 等。

第三代产品,主要标志是一些性能优异的复合型器件和功率集成电路,如绝缘栅极双极型晶体管等。

第四代产品,主要标志是集性能优异的复合型、集成电路及智能型的综合功能功率器件,如智能化模块 IPM 等。

3. 国产变频器的发展与现状

中国的变频器市场目前正处于一个高速增长的时期,在空调、电梯、冶金、机械等行业得到了广泛应用。据统计,在过去的几年内,中国变频器的市场保持着 12% ~ 15% 的增长率,这个速度已经远远超过了近几年的 GDP 增长水平,而且至少在未来的 5 年内可保持 10% 以上的增长率。

考虑到 4% ~ 6% 的价格下降,中国市场上变频器安装容量 (功率) 的增长实际上在 20% 左右。按照这样的发展速度和中国市场的需求计算,至少在 10 年以后市场才能饱和并逐渐成熟。因此,中国变频器市场具有广阔的发展空间。

4. 国产变频器发展的总趋势

变频器是运动控制系统中的功率变换器。当今的运动控制系统是包含多种学科的技术领域,总的发展趋势是:驱动的交流化,功率变换器的高频化,控制的数字化、智能化和网络化。因此,作为系统的重要功率变换部件,变频器的发展使得提供可控的高性能变压变频的交流电源得到了迅猛发展。

1.3 变频器的分类

变频器是将固定频率的交流电变换为频率连续可调的交流电的电气装置。目前,变频器的类型多种多样,可以按照变换方式、直流电源的性质、输出电压的调节方式及用途进行分类。

1.3.1 按照变换方式分类

变频器按照工作时频率变换的方式主要分为两类，即交—直—交变频器和交—交变频器。

1. 交—直—交变频器

交—直—交变频器先将工频交流电通过整流电路转换成脉动的直流电，再把直流电逆变成频率任意可调的三相交流电，供给负载进行变速控制。

交—直—交变频器又称间接式变频器，由于把直流电逆变成交流电的环节比较容易控制，因此在频率的调节范围内及改善频率后电动机的特性等方面都有明显的优势。目前，此种变频结构广泛用于通用型变频器中。图 1-4 所示为交—直—交变频器的结构。

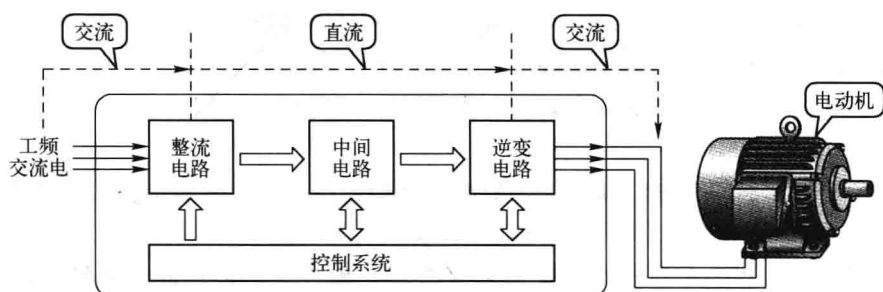


图 1-4 交—直—交变频器的结构

2. 交—交变频器

交—交变频器将工频交流电直接转换成频率和电压均可调的交流电，提供给负载进行变速控制。

交—交变频器又称直接式变频器，其主要优点是没有中间环节，故变换效率高，过载能力强。但其连续可调的频率范围窄，一般为额定频率的 1/2 以下，故它主要用于低速大容量的拖动系统中。图 1-5 所示为交—交变频器的结构。交—直—交变频器和交—交变频器的特点比较见表 1-2。

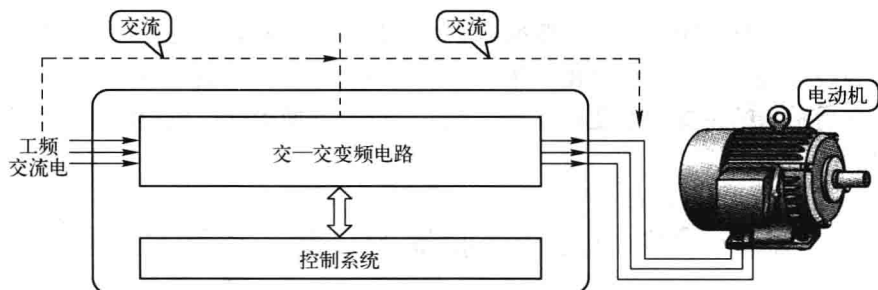


图 1-5 交—交变频器的结构

表 1-2 交—直—交变频器和交—交变频器的特点比较

变频器类型 比较项目	交—交变频器	交—直—交变频器
换能形式	一次换能，效率较高	两次换能，效率较低
换流方式	电源电压换流	强迫换流或负载换流
调频范围	最高频率为电源频率的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$	频率调节范围宽，不受电源频率限制
装置元器件数量	元器件较多，利用率较低	元器件较少，利用率高
电网功率因数	较低	移相调压、低频调压时功率因数低； 用斩波 PWM 调压，功率因数高
适用场合	特别适用于低速大功率拖动系统	可用于各种电力拖动装置、稳频、稳压电源和不停电电源

1.3.2 按照直流电源的性质分类

在交—直—交变频器中，根据中间部分的电源性质不同，又可以将变频器分为两大类，即电压型变频器和电流型变频器。

1. 电压型变频器

电压型变频器的特点是中间电路采用电容器作为直流储能元件，可缓冲负载的无功功率，直流电压比较平稳，直流电源内阻较小，相当于电压源，故称为电压型变频器，常用在负载电压变化较大的场合。图 1-6 所示为电压型变频器的结构。

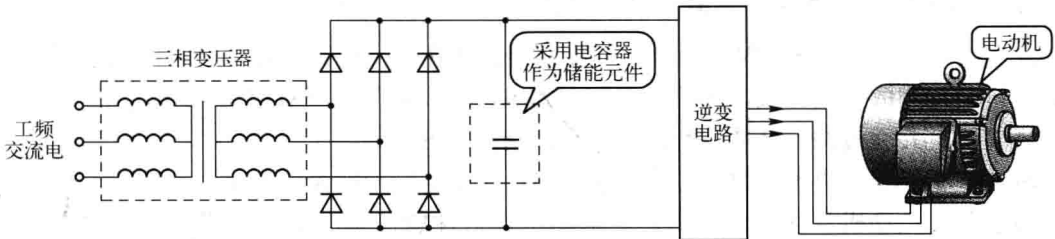


图 1-6 电压型变频器的结构

2. 电流型变频器

电流型变频器的特点是中间电路采用电感器作为直流储能元件，用于缓冲负载的无功功率，即扼制电流的变化，使电压接近正弦波。因该直流内阻较大，故称为电流型变频器。由于电流型变频器可扼制负载电流频繁而急剧的变化，因此常用在负载电流变化较大的场合，适用于需要回馈制动和经常正、反转的生产机械。图 1-7 所示为电流型变频器的结构。电压型变频器与电流型变频器的特点比较见表 1-3。

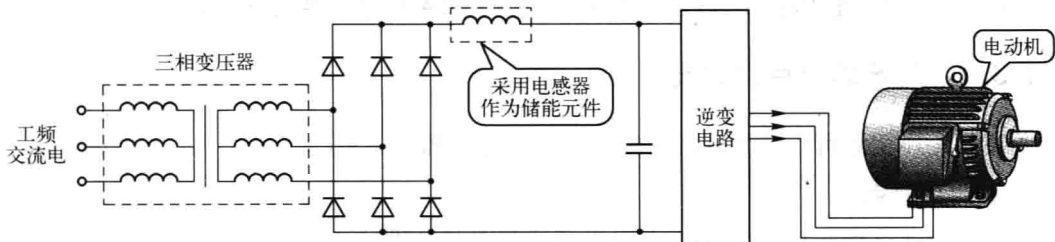


图 1-7 电流型变频器的结构

表 1-3 电压型变频器与电流型变频器的特点比较

变频器类型 比较项目	电压型变频器	电流型变频器
直流回路环节	电容器	电感器
负载无功功率	通过反馈二极管返还	用换流电容处理
输出电压波形	矩形波或阶梯波	取决于负载, 当负载为异步电动机时, 近似正弦波
输出电流波形	取决于逆变器电压与负载电动机的电势, 近似正弦波	矩形波
电源阻抗	小	大
再生制动	需要附加制动电路	方便, 不需附加设备
对晶闸管的要求	一般耐压较低, 关断时间要求短	耐压高, 对关断时间无严格要求
适用场合	适用于向多台电动机供电、不可逆拖动、稳速工作、快速性要求不高的场合	适用于电动机拖动, 频繁加、减速情况下运行, 以及需要经常反向的场合

1.3.3 按照输出电压的调制方式分类

按照输出电压的调制方式, 可以将变频器分为正弦波脉宽调制 (SPWM) 控制方式变频器和脉幅调制 (PAM) 控制方式变频器。

1. 正弦波脉宽调制 (SPWM) 控制方式变频器

正弦波脉宽调制 (SPWM) 控制方式变频器是指在逆变电路部分同时对输出电压的幅值和频率进行控制的控制方式。在这种控制方式中, 以较高的频率对逆变电路的半导体开关器件进行开闭, 并通过调节脉冲占空比来达到控制电压的目的。

SPWM 变频器的功率因数高, 调节速度快; 输出电压和电流波形接近正弦波, 改善了由矩形波引起的电动机发热、转矩降低等电动机运行性能, 适用于单台或多台电动机并联运行、动态性能要求高的调速系统。

2. 脉幅调制 (PAM) 控制方式变频器

脉幅调制 (PAM) 控制方式变频器将变压和变频分开完成, 即在整流电路部分对输出电压的幅值进行控制, 而在逆变电路部分对输出频率进行控制。因为在 PAM 控制的变频器中逆变电路换流器件的开关频率即为变频器的输出频率, 所以这是一种同步调速方式。在这种方式下, 当系统低速运行时, 谐波和噪声都比较大。

这两种变频器的区别在于: PAM 调速要采用可控整流器, 并对可控整流器进行导通角控制; 而 SPWM 调速则采用不控整流器, 工作时无需对整流器进行控制。

1.3.4 按照功能用途分类

变频器按照用途可以分为通用变频器和专业变频器两大类。

1. 通用变频器

通用变频器是指在很多方面具有很强通用性的变频器。该类变频器简化了一些系统功能, 并以节能为主要目的, 多为中小容量变频器, 一般应用在水泵、风扇、鼓风机等对于系