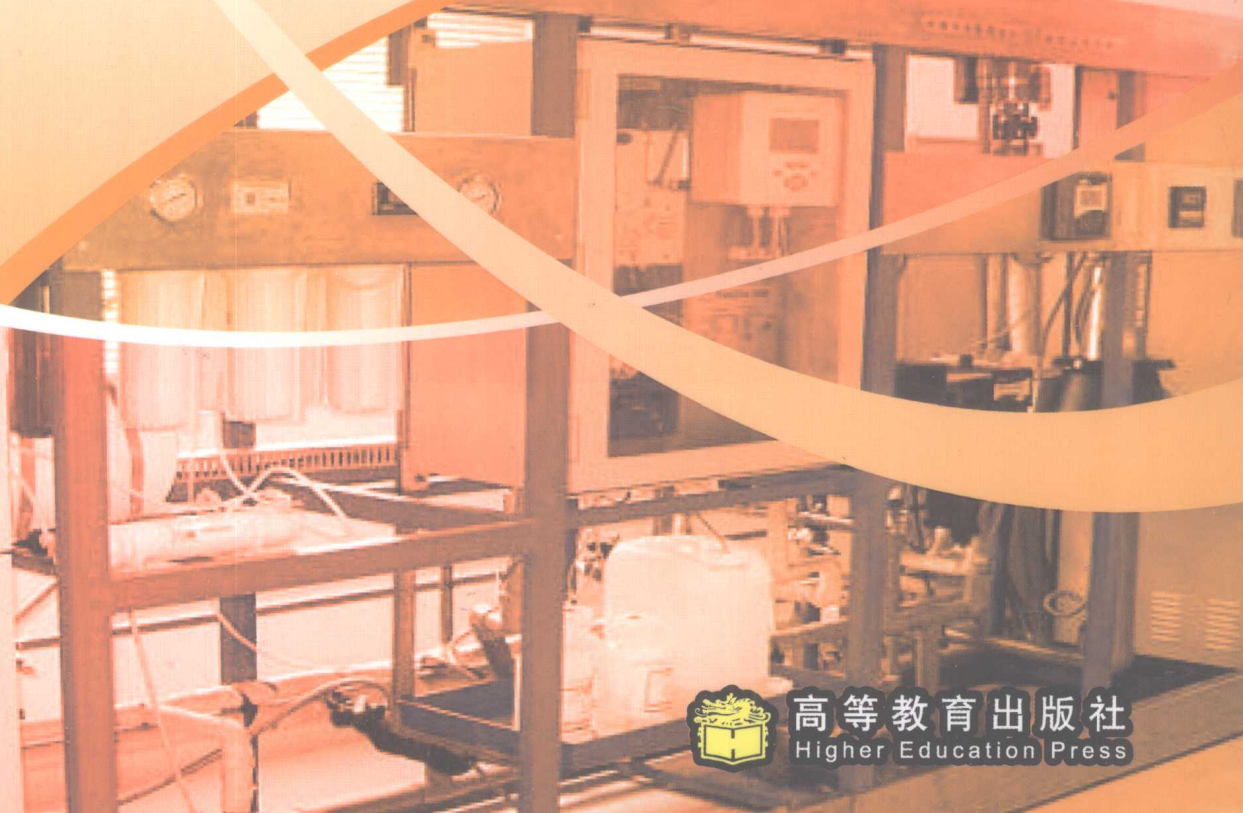




全国高职高专教育“十一五”规划教材

变频技术的应用

宋 爽 周乐挺 主编
高 梅 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高职高专教育“十一五”规划教材

变频技术的应用

宋 爽 周乐挺 主 编
高 梅 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书主要包括：变频器的基本组成原理，变频器的控制方式，变频器的基本操作，PLC 与变频器组成的调速系统，变频器的选择、安装与维护，变频器的工程应用实例等。

全书内容、结构合理，突出操作性和实用性。

本书可以作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电气自动化、生产过程自动化、计算机控制、机电一体化等专业的教材，并可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

变频技术及应用/宋爽，周乐挺主编. —北京：高等教育出版社，2008.12

ISBN 978-7-04-025566-9

I. 变… II. ①宋…②周… III. 变频器—高等学校：技术学校—教材 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 180850 号

策划编辑	刘 洋	责任编辑	魏 芳	封面设计	张志奇	责任绘图	尹 莉
版式设计	王艳红	责任校对	张 颖	责任印制	尤 静		

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京铭成印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2008 年 12 月第 1 版
印 张	13.75	印 次	2008 年 12 月第 1 次印刷
字 数	330 000	定 价	19.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25566-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

前 言

本书根据高职高专的教育特点，以“理论知识够用为度，以就业为导向，以双证培养为目标”的高等职业教育指导思想，精选教学内容，体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，注重理论与实践的统一，侧重介绍变频器的实际操作及应用。

本书在内容编排上主次分明，重点突出。力求突出以下特点：

1. 针对性强。在变频器的选型上，选用目前国内自动化产品占有率比较高的西门子 MM 系列变频器，介绍 MM440 及 MM420 的主要特点及应用技巧。
2. 结构新颖。在变频器的使用环节，以项目任务驱动教学，设定项目内容，提出项目目的，侧重操作技能和工程意识的培养。
3. 密切联系工程实际，突出应用性。

本书可作为高职高专电气自动化、生产过程自动化、计算机控制和机电一体化等专业的教学用书，也可供相关工程技术人员参考。

本书由河北工业职业技术学院宋爽、周乐挺任主编，高梅任副主编，孙荟参编。其中，宋爽编写了第 1、4、5、6、7、8 章及每章的本章小结和思考与练习，高梅编写了第 3 章，孙荟编写了第 2 章，全书由周乐挺和宋爽统稿，北京联合大学童启明老师对本书进行了仔细审阅，并提出了宝贵意见。在编写过程中，编者参阅了许多同行、专家编著的文献及 MM 系列产品资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，不足之处敬请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月

目 录

第 1 章 变频调速基础	1
1.1 交流异步电动机的调速	1
1.2 变频调速的概念	3
1.3 变频器技术的现实意义和发展趋势	4
本章小结	5
思考与练习	6
第 2 章 变频器的类型及电力 电子器件	7
2.1 变频器的类型	7
2.2 电力电子器件	12
本章小结	19
思考与练习	20
第 3 章 变频控制技术原理 与实现	21
3.1 交 - 直 - 交变频技术	21
3.2 交 - 交变频技术	36
3.3 变频器的控制方式	41
本章小结	51
思考与练习	52
第 4 章 变频器的通用操作与 优化特性设置	53
4.1 变频器的操作运行方式	53
4.2 变频器的给定功能	63
4.3 变频器的优化特性设置	68
本章小结	71
思考与练习	72
第 5 章 变频器的基本运行项目	73
5.1 项目 1 变频器键盘面板的基本操作	73
5.2 项目 2 变频器的起、制动与快速 调试程序的运行	79
5.3 项目 3 变频器的外端子控制 变频器运行	86
5.4 项目 4 变频器的组合运行操作	90
5.5 项目 5 变频器的多段速运行操作	94
5.6 项目 6 变频器的变频 - 工频切 换运行	99
5.7 项目 7 变频器的 PID 闭环控制	102
本章小结	110
思考与练习	110
第 6 章 PLC 与变频器组成的 调速系统运行项目	112
6.1 项目 1 PLC 与变频器的连接	112
6.2 项目 2 PLC 和变频器联机实现电 动机的正反转运行	117
6.3 项目 3 PLC 和变频器联机实现电 动机的延时控制	121
6.4 项目 4 PLC 和变频器联机实现电 动机的模拟信号连续控制	124
6.5 项目 5 PLC 和变频器联机实现电 动机的多段速运行控制	127
本章小结	132
思考与练习	132
第 7 章 变频器的选择、安装 与维护	134
7.1 变频器的选择	134
7.2 变频器外围电器的选择	140
7.3 变频器的安装	145
7.4 变频器的测量	152
7.5 变频器的调试与维护	158
7.6 变频器的干扰及抑制	164
7.7 变频器常见故障及处理	169
本章小结	172
思考与练习	172

第 8 章 变频器的工程应用	173	8.4 变频器在风机控制中的节能应用	186
8.1 MM440 变频器在料车卷扬调速 系统中的应用	173	8.5 变频器在生产线上传送带上的应用	190
8.2 MM440 变频器在离心机调速系统中 的应用	179	本章小结	193
8.3 变频器在恒压供水控制系统中的应用 ...	181	思考与练习	194
		附录	195
		参考文献	210

变频调速基础

1.1 交流异步电动机的调速

1.1.1 交流异步电动机的调速特性

在工业生产系统的动力装置中，交流异步电动机已占了大约 90% 以上的份额。通过交、直流电动机的对比很容易看出，交流异步电动机具有以下优点：体积小、造价低、维护简单、可适应复杂的工作环境等。但在交流变频器推广使用之前，在需要进行连续调速或精确调速的应用方面，直流电动机具有很大的优势。原因在于常规的交流调速方式很难满足以上几种情况下的应用要求。交流异步电动机几种调速方式下的特性如图 1-1 所示。

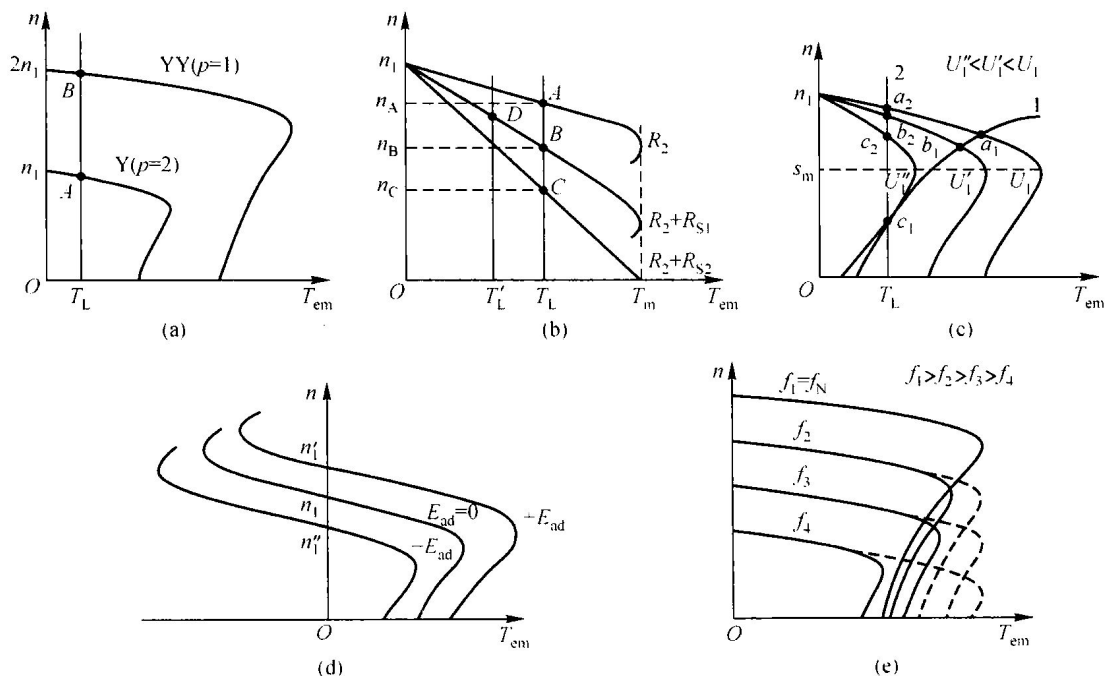


图 1-1 交流异步电动机的特性

(a) 变极调速特性 (b) 串电阻调速特性 (c) 降压调速特性 (d) 串级调速特性 (e) 变频调速特性

1.1.2 几种交流调速方式的特点

1. 变极调速

变极调速只适用于变极电机，在电机制造时安装多套绕组，在运行时通过外部的开关设备控制绕组的连接方式改变极数，从而改变电机的转速。其优点是：在每一个转速等级下，具有较硬的机械特性，稳定性好。其缺点是：转速只能在几个速度级上改变，调速平滑性差；在某些接线方式下最大转矩减小，只适用于恒功率调速；电机体积大，制造成本高。

2. 串电阻调速

串电阻调速适用于绕线式异步电动机，通过在电动机转子回路中串入不同阻值的电阻，人为改变电动机机械特性的硬度，从而改变在某种负载特性下的转速。其优点是：设备简单、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，静差率大，转子铜损高，运行效率低。

3. 降压调速

降压调速适用于专门设计的具有较大转子电阻的高转差率异步电动机。由特性曲线可以看出，当电机定子电压改变时，可以使工作点处于不同的工作曲线上，从而改变电机的工作速度。降压调速的特点是：调速范围窄；机械特性软；适用范围窄。为改善调速特性，一般要使用闭环工作方式，系统结构复杂。

4. 串级调速

串级调速方式是转子回路串电阻方式的改进，基本工作方式也是通过改变转子回路的等效阻抗从而改变电动机的工作特性，达到调速的目的。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，进而改变电机转速。相比于其他调速方式，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到电网，从而提高效率；在适当的控制方式下，可以实现低同步或高同步的连续调速。缺点是：只能适用于绕线式异步电动机，且控制系统相对复杂。

5. 变频调速

由特性曲线可以看出，如果能连续地改变电动机的电源频率，就可以连续地改变其同步转速，电动机的转速则可以在一个较宽的范围内连续地改变。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，则可以实现连续的调速，平滑性好；其调速方式是通过改变电动机的定子电源实现的，可以适用于笼型电动机，因而应用范围广。

比较几种调速方式可以看出，单从调速性能考虑，变频调速在运行的经济性、调速的平滑性、调速的机械特性这几个方面都具有明显的优势。但其实现需要一个具有一定控制方式的可变交流电源，在大功率电子器件以及单片机广泛应用之前，这一实现需要极高的成本。目前，随着电力电子器件及单片机的大规模应用，交流异步电动机变频调速已成为交流调速的首选方案。

1.2 变频调速的概念

异步电动机变频调速系统与各种异步电动机调速系统比较, 由于在调速时转差功率不变, 效率高、性能好, 是交流调速的主要发展方向。

1.2.1 转速与频率的关系

三相交流异步电动机的旋转磁场转速和转子转速分别为

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (1-1)$$

$$n = \frac{60f}{p} (1-s) \quad (1-2)$$

式中, n ——电动机转速(r/min);

f ——定子交流电源的频率(Hz);

p ——磁极对数;

s ——转差率;

n_1 ——旋转磁场转速(r/min)。

由式(1-1)和式(1-2)可知, 旋转磁场转速和输入电源的频率成正比, 当改变电源频率时, 可以改变旋转磁场的转速, 因而转子转速也随之改变, 达到调速的目的。

1.2.2 变频调速的实现

1. 大功率的开关器件是实现变频调速的必要条件

大功率的开关器件是组成变频器的关键器件。在交流变频调速中, 变频器起着重要的作用, 要求变频器的功率单元开关器件必须满足以下要求:

- ① 能承受足够大的电压和电流;
- ② 允许长时间频繁地接通和关断;
- ③ 能十分方便地控制接通和关断。

从发明异步电动机的那天起, 人们就已经知道改变频率可以调速的道理, 但是大功率电力电子开关器件的应用技术问题, 限制了变频调速技术的发展。电力电子技术的不断发展以及高电压、大电流的新型电力电子器件的产生促进了高电压、大功率变频器的产生和应用。由此可见, 大功率的开关器件是实现变频调速的关键。

2. 高水平的控制是变频调速的基础

早期的变频调速系统基本上采用 U/f 控制方式, 矢量控制技术的发明一改过去传统方式中仅对交流电量(电压、电流、频率)的量值进行控制的方法, 实现了在控制量值的同时也控制其相位的新控制思想。使用坐标变换的方法, 实现定子电流的磁场分量和转矩分量的解耦控制, 可以使交流电动机像直流电动机一样具有良好的调速性能。

变频器的功能也从单一的变频调速功能发展为包含算术逻辑运算及智能控制在内的综合功

能。现代的变频器内置有参数辨识系统、PID 调节器、PLC 控制器和通信单元等，根据需要可实现拖动不同负载、宽调速和伺服控制等多种应用。

1.3 变频器技术的现实意义和发展趋势

1.3.1 变频器技术的现实意义

1. 变频器在自动化系统中的应用

由于控制技术的发展，变频器除了具有基本的调速控制之外，更具有了多种算术运算和智能控制功能，输出精度高达 $0.1\% \sim 0.01\%$ 。它还设置有完善的检测、保护环节，因此在自动化系统中得到了广泛的应用。例如，化纤工业中的卷绕、拉伸、计量、导丝；玻璃工业中的平板玻璃退火炉、玻璃窑搅拌、拉边机、制瓶机；电弧炉自动加料、配料系统以及电梯的智能控制等。

2. 变频器在提高生产设备的工艺水平及提高产品质量方面的应用

在电力拖动领域，广泛推广变频调速具有十分重要的现实意义，变频器能够大大提高生产设备的工艺水平、加工精度和工作效率，从而提高产品的质量。

变频器广泛地应用于传送、起重、挤压和机床等各种机械设备控制领域，它可以提高工艺水平和产品质量，减少设备冲击和噪声，延长设备使用寿命。采用变频控制后，可以使机械设备简化，操作和控制更具有人性化，有的甚至可以改变原有的工艺规范，从而提高整个设备的功能。例如，纺织和许多行业用的定型机，机内温度是靠改变送入热风的多少来调节的。输送热风通常采用的是循环风机，由于风机速度不变，风量的调节只有通过调节风门的开度实现。如果风门调节失灵或调节不当就会造成定型机失控，从而影响成品质量。循环风机高速起动，传送带与轴承之间的磨损非常厉害，使传送带成为一种易耗品。在采用变频调速后，温度调节可以通过变频器自动调节风机的速度实现，解决了产品质量问题；此外，变频器可以很方便地实现电机的平滑起动，减少了传送带与轴承的磨损，延长了设备的寿命，同时可以节能 40% 。

3. 变频器在节能方面的应用

风机、泵类负载采用变频调速后，节电率可达到 $20\% \sim 60\%$ 。这是因为风机、泵类负载的实际消耗功率基本与转速的三次方成比例，而其实际流量与转速成比例。由此可以计算，如果风机的实际流量为额定流量的 80% ，通过变频调速其实际功率为额定功率的 51.2% 。由此可以看出，当用户需要的平均流量较小时，风机、泵类采用变频调速使其转速降低，节能效果非常可观。传统的风机、水泵采用挡板和阀门进行流量调节，电动机转速不变，耗电功率下降很小。据统计，风机、泵类负载占全国用电量的 31% ，占工业总用电量的 50% 。因而从节能的角度出发，在此类负载中使用变频调速具有极大的经济效益。以节能为目的变频器的应用在最近几十年发展非常迅速，据有关方面统计，我国已经进行变频改造的风机、泵类负载的容量占总容量的 5% 以上，年节电量约为 $4 \times 10^{10} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。由于风机、泵类负载在采用变频调速后可以节省大量的电能，所需的投资在较短的时间内就可以收回，因此在这一领域的应用最广泛。目前应用较成功的有恒压供水、各类风机、中央空调和液压泵的变频调速。特别值得指出

的是恒压供水，由于使用效果极好，已成为城市和乡村供水的首选模式。另外，变频技术也应用于部分家用电器，如目前日益普及的变频空调、变频冰箱等。

1.3.2 变频器技术的发展趋势

在现代工业和经济生活中，随着电力电子技术、微电子技术及现代控制理论的发展，变频器技术作为高新技术、节能技术已经广泛应用于各个领域。

变频器技术是强弱电混合、机电一体化的综合性技术，既要处理巨大电能的转换(整流、逆变)问题，同时又要处理信息的收集、变换和传输问题。在巨大电能转换的功率部分要解决高电压、大电流的技术问题及新型电力电子器件的应用技术问题，而在信息的收集、变换和传输的控制部分，则主要解决控制的硬件、软件问题。目前变频器技术主要发展方向为：

1. 高水平的控制

微处理器的进步使数字控制成为现代控制器的发展方向。各种控制规律软件化的实施，大规模集成电路微处理器的出现，基于电动机、机械模型、现代控制理论和智能控制思想等控制策略的矢量控制、磁场控制、转矩控制、模糊控制等高水平控制技术的应用，使变频控制进入了一个崭新的阶段。

2. 结构小型化

紧凑型的变频系统要求功率和控制元件具有很高的集成度。主电路中功率电路的模块化、控制电路采用大规模集成电路和全数字控制技术，均促进了变频装置结构小型化。

3. 高集成化

提高集成电路技术及采用表面贴片技术，使装置的容量体积比得到进一步提高。

4. 开发清洁电能的变频器

随着变频技术的不断发展和人们对环境问题的重视，不断减少变频器对环境的影响已经是大势所趋。尽可能降低网侧和负载的谐波分量，减少对电网的公害和电动机转矩的脉动，实现清洁电能变换。

本章小结

1. 交流异步电动机的调速

变频器的调速方式有：变极调速、串电阻调速、降压调速、串级调速、变频调速。变频调速在运行的经济性、调速的平滑性、调速的机械特性这几个方面都具有明显的优势。目前，随着电力电子器件及单片机的大规模应用，交流异步电动机变频调速已成为交流调速的首选方案。

2. 变频调速的实现

① 大功率的开关器件是实现变频调速的关键。

② 高水平的控制是变频调速的基础。

3. 变频器技术的现实意义

① 变频器在自动化系统中的应用。

② 变频器在提高生产设备的工艺水平及提高产品质量方面的应用。

③ 变频器在节能方面的应用。

4. 变频器技术的发展趋势

变频器技术的发展趋势体现在高水平的控制、结构小型化、高集成化、开发清洁电能的变频器等方面。

思考与练习

1. 比较交流电动机几种调速特性的优、缺点。
2. 变频器技术的现实意义有哪些？
3. 总结变频器不同领域应用的特点。

第2章

变频器的类型及电力电子器件

2.1 变频器的类型

变频器的分类有六种方式：按变流环节分类，按直流电路的滤波方式分类，按电压的调制方式分类，按控制方式分类，按输入电流的相数分类，按用途分类。

2.1.1 按变流环节分类

从结构上看，变频器可分为间接变频器和直接变频器两类。目前应用较多的是间接变频器，所以主要介绍交-直-交间接变频器。

1. 交-直-交变频器

交-直-交变频器是把恒定电压恒定频率的交流电经过整流转换为直流电，再将直流电经过逆变转换为电压和频率均可调的交流电。图2-1给出了交-直-交变频装置的主要构成环节。

交-直-交变频装置按不同的控制方式又分三种：

(1) 用可控整流器整流改变电压、逆变器改变频率的交-直-交变频器

如图2-2所示。在图中，调节电压与调节频率分别在两个环节上进行，通过控制电路协调整合，使电压和频率在调节过程中保持压频比恒定。这种结构的变频器结构简单、控制方便。其缺点是由于输入环节采用可控整流形式，当电压和频率调得较低时，功率因数较小，输出谐波较大。

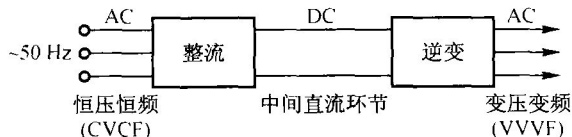


图 2-1 交-直-交变频装置

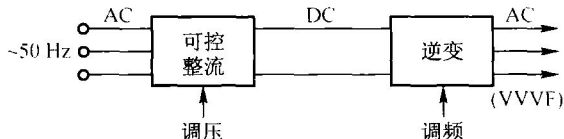


图 2-2 可控整流器变压、逆变器变频

(2) 用不可控整流器整流、斩波器变压、逆变器变频的交-直-交变频器

如图2-3所示。这种整流电路采用二极管不可控整流，直流环节加一个斩波器，用脉宽调压、逆变环节调频。恒压恒频的交流电经过整流环节转变为恒定的直流电压，再经过直流斩波器转变为可调的直流电压，最后经过逆变环节逆变为电压和频率都可调、压频比

恒定的交流电，作为电动机的供电电源，实现交流变频调速。从电路结构上看多了一个直流斩波环节，但输入侧采用不可控整流控制方式，使输入功率因数提高了。但输出仍存在谐波较大的问题。

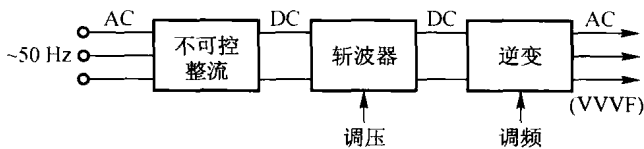


图 2-3 不可控整流整、斩波器变压、逆变器变频

(3) 用不可控整流器整流、SPWM 逆变器同时变压变频的交 - 直 - 交变频器

如图 2-4 所示。在图中，整流电路采用二极管不可控整流器，逆变器采用可控关断的全控式器件，称为正弦脉宽调制 SPWM 逆变器。电网的恒压恒频正弦交流电，经过不可控整流器转变为恒定的直流，再经过 SPWM 逆变器逆变成电压和频率均可调的正弦交流电，供给电动机，实现交流变频调速。

用不可控整流，可使功率因数提高；用 SPWM 逆变，可使谐波分量减少，由于采用可控关断的全控式器件，使开关频率大大提高，输出波形几乎为非常逼真的正弦波。这种交 - 直 - 交变频装置已成为当前最有发展前途的一种。

2. 交 - 交变频器

交 - 交变频器的结构如图 2-5 所示。

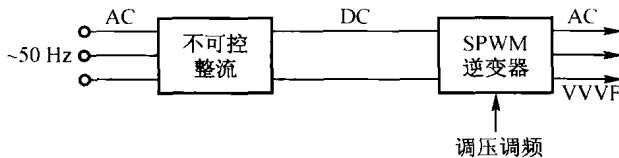


图 2-4 不可控整流 SPWM 逆变器变压变频

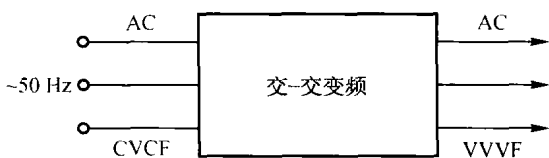


图 2-5 交 - 交变频器

由图 2-5 可知，交 - 交变频器只有一个变换环节，可以把恒压恒频 (CVCF) 的交流电源直接变换成电压和频率均可调的交流电源 (VVVF)，因此又称“直接”变压变频器或周波变换器。

交 - 交变频器输出的每一相都是一个两组晶闸管整流反并联的可逆线路，如图 2-6 (a) 所示。

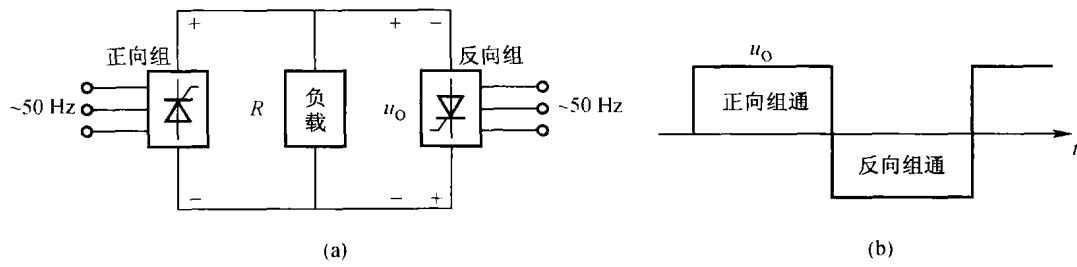


图 2-6 交 - 交变频器一相电路及波形
(a) 电路原理图 (b) 输出电压波形

正、反向两组晶闸管整流装置按一定周期相互切换，在负载上就得到了交变的输出 u_o ， u_o 的幅值决定于各组整流装置的控制角 α ， u_o 的频率决定于两组整流装置的切换频率。假设控制角 α 一直不变，则输出平均电压是方波，如图 2-6(b) 所示。如果想得到正弦波，就必须在每一组整流器导通期间不断改变其控制角 α 。

交-交变频器虽然在结构上只有一个变换环节，但所用元器件数量多，总设备较为庞大，最高输出频率不超过电网频率的 $1/3 \sim 1/2$ ，交-交变频器一般只用于低转速、大容量的调速系统，例如轧钢机、球磨机、水泥回转窑等。

2.1.2 按直流电路的滤波方式分类

当逆变器输出侧的负载为交流电动机时，在负载和直流电源之间将有无功功率的交换，在直流环节可加电容或电感储能元件用于缓冲无功功率。按照直流电路的滤波方式不同，变频器分成电压型变频器和电流型变频器两大类。

1. 电压型变频器

在交-直-交电压型变频器中，中间直流环节的滤波元件为电容器，如图 2-7 所示。当采用大电容滤波时，直流电压波形比较平直，相当于一个理想情况下的内阻抗为零的恒压源。输出交流电压是矩形波或阶梯波。对负载电动机而言，变频器是一个交流电源，可以驱动多台电动机并联运行。

在电压型变频器中，由于能量回馈给直流中间电路的电容，并使直流电压上升，应有专用的放电电路，以防止换流器件因电压过高而被破坏。

2. 电流型变频器

电流型变频器主电路的典型构成方式如图 2-8 所示。电流型变频器的中间直流环节采用大电感滤波方式，由于大电感的滤波作用，使直流回路中的电流波形趋于平稳，对负载来说基本上是一个恒流源，电动机的电流波形为矩形波或阶梯波，电压波形接近于正弦波。

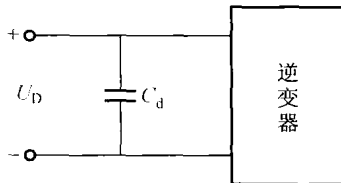


图 2-7 交-直-交电压型变频器

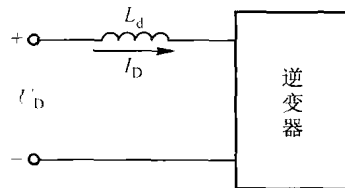


图 2-8 交-直-交电流型变频器

电流型变频器的优点是：当电动机处于再生发电状态时，回馈到直流侧的再生电能可以方便地回馈到交流电网，不需要在主电路内附加任何设备。这种电流型变频器可用于频繁急加、减速的大容量电动机的传动。

3. 电压型、电流型交-直-交变频器主要特点比较

对于变频调速系统来说，由于异步电动机是感性负载，不论它是处于电动状态还是处于发电制动状态，功率因数都不会等于 1.0，所以在中间直流环节与电动机之间总存在无功功率的交换，这种无功能量只能通过直流环节中的储能元件来缓冲，电压型和电流型变频器的主要区别是用什么储能元件来缓冲无功能量。

2.1.3 按电压的调制方式分类

按电压的调制方式分为交-直-交变频器，又可再分为脉幅调制和脉宽调制两种。

1. 脉幅调制(PAM)

PAM(Pulse Amplitude Modulation)方式，是一种改变电压源的电压或电流源的电流的幅值进行输出控制的方式。因此，在逆变器部分只控制频率，整流器部分只控制电压或电流。采用PAM调压时，变频器的输出电压波形如图2-9所示。

2. 脉宽调制(PWM)

PWM(Pulse Width Modulation)方式，指变频器输出电压的大小是通过改变输出脉冲的占空比来实现的。目前使用最多的是占空比按正弦规律变化的正弦波脉宽调制方式，即SPWM方式。用PWM方式调压输出的波形如图2-10所示。

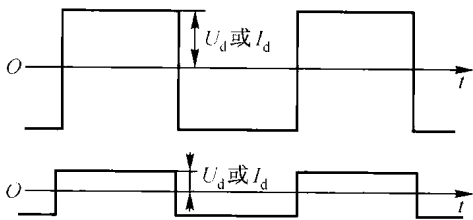


图 2-9 PAM 调压

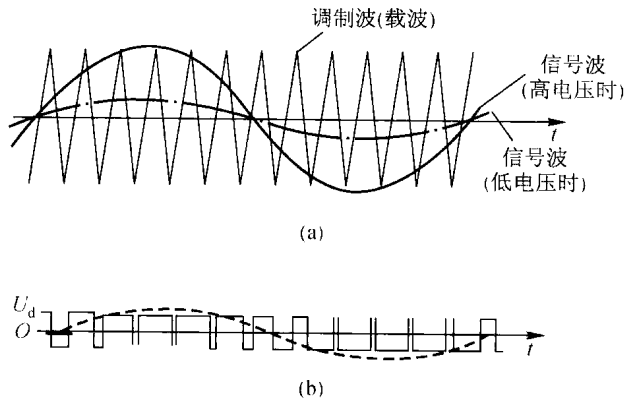


图 2-10 PWM 方式调压输出的波形
(a) 调制原理 (b) 输出电压波形

2.1.4 按控制方式分类

按控制方式分类，不同变频器可以分为 U/f 控制、转差频率控制和矢量控制三种类型。

1. U/f 控制

U/f 控制即压频比控制。它的基本特点是对变频器输出的电压和频率同时进行控制，通过保持 U/f 恒定使电动机获得所需的转矩特性。基频以下可以实现恒转矩调速，基频以上则可以实现恒功率调速。

U/f 控制是转速开环控制，无需速度传感器，控制电路简单，通用性强，经济性好，是目前精度要求不高的通用变频器产品中使用较多的一种控制方式。

2. 矢量控制(VC)

采用 U/f 控制方式和转差频率控制方式的控制思想都建立在异步电动机的静态数学模型上，因此动态性能指标不高。采用矢量控制方式可提高变频调速的动态性能。

根据交流电动机的动态数学模型，利用坐标变换的手段，将交流电动机的定子电流分解成磁场分量电流和转矩分量电流，并分别加以控制，即模仿直流电动机的控制方式对电动机的磁