

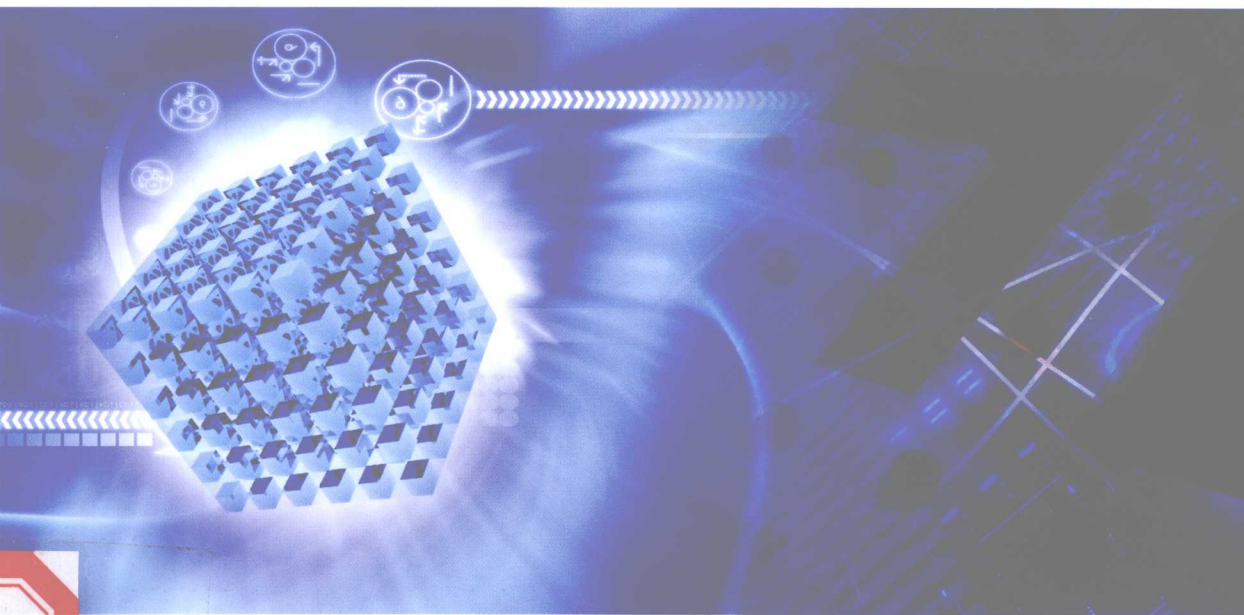


21世纪
全国高等教育应用型精品课规划教材

变频器操作与工程项目应用

bianpinqi caozuo yu gongcheng xiangmu yingyong

◆ 主 编 邓其贵 周 炳



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

变频器操作与工程 项目应用

主 编：邓其贵 周 炳

副主编：陶 权 于 生

参 编：周 旭 黄守宁 吴尚庆



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书内容以基本操作和工程应用为重点,以5个项目共19个学习性任务构成本教材内容,第一至第四项目分别设置有任务目标、任务引入、相关知识点、任务训练内容、巩固和扩展训练等环节,主要侧重变频器的操作和基本应用;第五项目以知名的西门子变频器MM440为机型进行介绍。本书可作为高等院校电气自动化专业、机电一体化专业以及机械工程与自动化专业等相关专业的实训教材,也可供工程技术人员使用参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

变频器操作与工程项目应用 / 邓其贵, 周炳主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-5640-2712-4

I. 变… II. ①邓…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(2009)第150292号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 山东新华印刷厂临沂厂

开 本 / 710毫米×1000毫米 1/16

印 张 / 10.25

字 数 / 189

版 次 / 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印 数 / 1~1500册

定 价 / 24.00元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

21 世纪是科技全面创新和社会高速发展的时代,面临这个难得的机遇和挑战,本着“科教兴国”的基本战略,我国已着力对高等学校进行了教学改革。为顺应国家对于培养应用型人才的要求,满足社会对高校毕业生的技能需要,北京理工大学出版社特邀一批知名专家、学者进行了本系列规划教材的编写,以期能为广大读者提供良好的学习平台。

本系列规划教材贴合实践。作者在编写之际,广泛考察了各校应用型学生的学习实际,本着“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,力求提高学生的实际运用能力,使学生更好地适应社会需求。

一、教材定位

- ✚ 以就业为导向,培养学生的实际运用能力,以达到学以致用目的。
- ✚ 以科学性、实用性、通用性为原则,以使教材符合课程体系设置。
- ✚ 以提高学生综合素质为基础,充分考虑对学生个人能力的提高。
- ✚ 以内容为核心,注重形式的灵活性,以便学生易于接受。

二、编写原则

- ✚ 定位明确。为培养应用型人才,本系列教材所列案例均贴合工作实际,以满足广大企业对于应用型人才实际操作能力的需求,增强学生在就业过程中的竞争力。
- ✚ 注重培养学生职业能力。根据专业实践性要求,在完成基础课的前提下,使学生掌握先进的相关操作软件,培养学生的实际动手能力,提高学生迅速适应工作岗位的能力。

三、丛书特色

- ✦ 系统性强。丛书各教材之间联系密切,符合各个学校的课程体系设置,为学生构建牢固的知识体系。
- ✦ 层次性强。各教材的编写严格按照由浅及深,循序渐进的原则,重点、难点突出,以提高学生的学习效率。
- ✦ 先进性强。吸收最新的研究成果和企业的实际案例,使学生对当前专业发展方向有明确的了解,并提高创新能力。
- ✦ 操作性强。教材重点培养学生的实际操作能力,以使理论来源于实践,并最大限度运用于实践。

北京理工大学出版社

前 言

本书以基本操作和工程应用为重点，由 5 个章节共 19 个学习性任务构成，第 1 至第 4 章分别设置有任务目标、任务引入、相关知识点、任务训练内容、巩固和拓展训练等环节，主要侧重变频器的操作和基本应用；第 5 章作为综合训练项目，主要侧重学习者的对变频器的工程综合应用，培养学习者的综合应用和方法能力。在选型上，本书以知名的西门子变频器 MM440 为机型进行介绍。内容主要包括变频器和调速系统的认知、变频器的基本操作与控制、变频器的 PLC 控制、变频器的计算机上位机监控、变频器的综合应用。

本书力求以下特点：

(1) 编写以能力建设为核心，将知识、技能以及态度等要素进行重新整合，突破传统学科教育对学生技术应用能力培养的局限，以项目架构实训教学体系；

(2) 内容上涵盖国家标准对学科知识和技能的要求，从而准确把握理论知识。在教材建设中的“必需、够用”，又有足够技能实训内容的原则；

(3) 教材结构采用模块化，一个章节就是一个知识单元，重点突出，主题鲜明，由简入难，注重学生的实际情况以及知识的完整性，保证其通用性，打破原有教材的编写习惯；

(4) 以现行相关技术为基础，以项目任务驱动教学，突出工作过程的导向流程，提出训练目的和要求，设定训练内容，在“相关知识点”部分，将项目涉及的理论知识进行梳理，努力使实训脱离传统的理论教材。将每个实训项目的训练效果进行量化，在“考核评分标准”中对训练过程进行记录，并相应的给出量化参考标准；

(5) 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法，具有超前性和先进性。

本书可作为高等院校电气自动化专业、机电一体化专业以及机械工程与自动化等相关专业人才培养的实训教材，也可供工程技术人员使用参考。

本书由邓其贵、周炳任主编，陶权、于生任副主编。其中，第 1 章、附录 B、C 由周炳编写；第 2、4 章、附录 A 由邓其贵编写；第 3 章由周炳、于生共同编写；第 5 章中，5.1 由周旭编写，5.2 由邓其贵编写，5.3 由陶权编写，5.4 由

周炳编写。全书的统稿由邓其贵和周炳共同完成，德力西（杭州）变频器有限公司研发部经理马永超和柳州欧锐自动化设备有限公司温传怀工程师对本书的大纲内容和编写提出了宝贵的意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，有不妥之处，请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 变频器和调速系统的认知	1
1.1 变频调速的认知	1
1.2 变频器的选用	10
1.3 变频器的安装	13
1.4 变频器的调试	21
1.5 变频器的维护与检修	29
第 2 章 变频器的基本操作与控制	35
2.1 变频器的面板操作与运行	35
2.2 变频器的外部运行操作	39
2.3 变频器的模拟信号操作控制	44
2.4 变频器的多段速运行操作	47
2.5 变频器的 PID 控制运行操作	51
第 3 章 变频器的 PLC 控制	57
3.1 PLC 与变频器的连接	57
3.2 变频器正反转的 PLC 控制	63
3.3 变频器多段速运行的 PLC 控制	67
3.4 变频器的 PLC 模拟量控制	71
第 4 章 变频器的计算机上位监控	78
第 5 章 变频器的综合应用	87
5.1 变频器在生产线传送带上的应用	87
5.2 变频器在风机系统中的应用	94
5.3 变频器在恒压供水系统中的应用	100
5.4 变频器在中央空调系统中的应用	110
附录 A 西门子 MM440 系列通用变频器功能参数表	122
附录 B MM440 故障信息及排除	143
附录 C MM440 报警信息及排除	149
参考文献	153

第 1 章 变频器和调速系统的认知

项目描述

近年来，随着电力电子、微电子和计算机等技术的发展，目前在调速传动领域交流电动机已有取代直流电动机的趋势。其中，变频调速以其优异的调速、启动制能、制动性能，高效率、宽范围、高精度和节能等特点，被国内外公认为最有发展前途的调速方式之一。本章中，以西门子 MM440 变频器为例，通过对变频器的选用、安装、调试及维护等任务的训练，使学生对变频器和调速系统有一定的认识。

项目目标

- (1) 了解通用变频器的基本结构、功能及其行业应用，理解其工作原理。
- (2) 了解常用电力电子器件方面的有关知识，能通过查询有关使用手册选择和使用有关电力电子器件。
- (3) 熟悉西门子变频器的选用、安装和调试。
- (4) 能进行变频器的日常维护和一般故障诊断。

1.1 变频调速的认知

任务目标

- (1) 了解变频器的行业应用。
- (2) 熟悉变频器的铭牌与结构。
- (3) 理解通用变频器的工作原理。

任务引入

随着工农业生产对调速性能要求的不断提高和电力电子、微电子及计算机控制等技术的迅速发展，变频调速技术日趋成熟，传统的直流调速系统将逐渐被变频调速系统所取代，其框图分别如图 1-1、图 1-2 所示，变频调速是通过变频器来实现的，那么变频器是由哪些部分组成的？它是如何实现变频调速的？

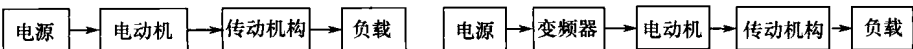


图 1-1 传统的直流调速框图

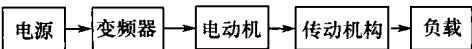


图 1-2 变频调速框图

相关知识点

一、通用变频器的组成

1. 变频器的外部特征

从外部结构来看,通用变频器有开启式和封闭式两种。开启式的散热性能较好,接线端子外露,适合于电气柜内的安装;封闭式的接线端子全在内部,须打开面盖才能看见。以西门子 MM440 封闭式系列变频器为例,变频器的外观如图 1-3 所示。

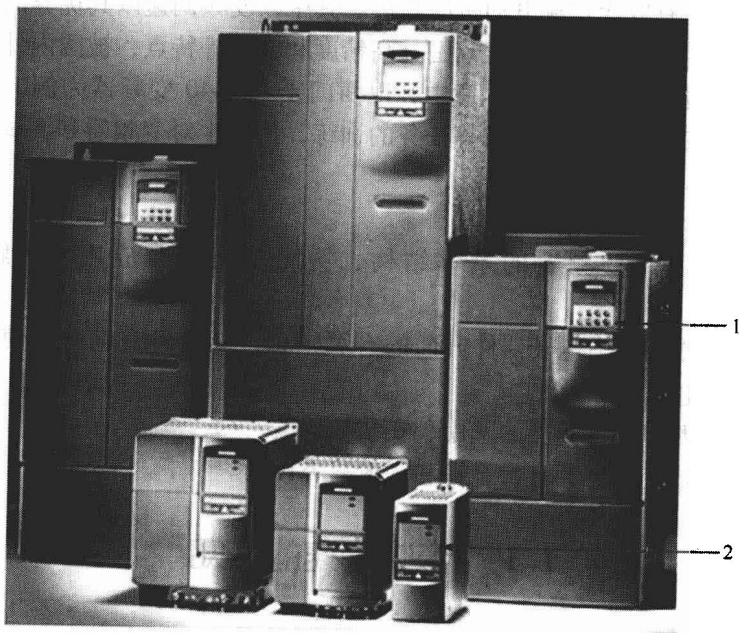


图 1-3 西门子 MM440 系列变频器前视图

1—操作面板(可选); 2—状态显示面板

2. 变频器的铭牌

通用变频器的铭牌主要包含型号(订货号)、输入电源规格、最大输出电流等内容,使用变频器必须遵循铭牌上的有关说明。以西门子 MM440 系列变频器为例,变频器的铭牌如图 1-4 所示。

其中,变频器型号说明如图 1-5 所示。

3. 变频器的内部结构

变频器是把电压、频率固定的交流电变成电压、频率可调的交流电的一种电力电子装置,其实际电路相当复杂,图 1-6 所示为变频器的内部组成框图。

从图 1-6 中可以看出,变频器内部主要由以下几部分组成。

1) 控制通道

(1) 面板①——主要用于近距离基本控制与显示;

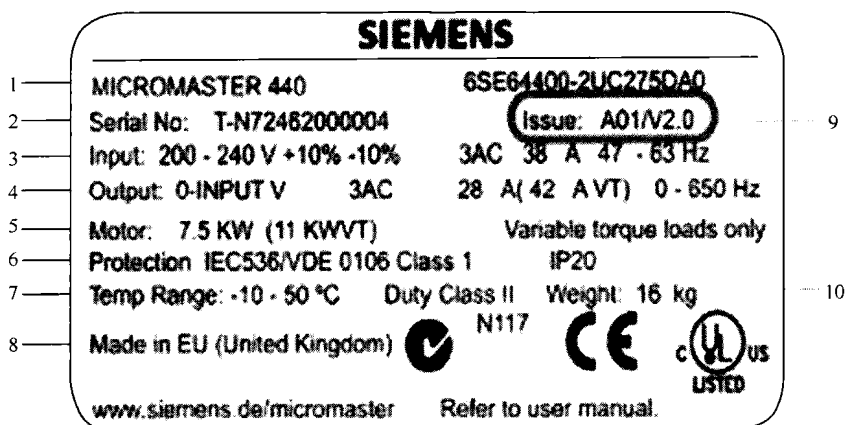


图 1-4 西门子 MM440 变频器的铭牌

1—变频器型号；2—制造序号；3—输入电源规格；4—输出电流及频率范围；
5—适用电动机及其容量；6—防护等级；7—运行温度；8—采用的标准；9—硬件/软件版本号；10—重量

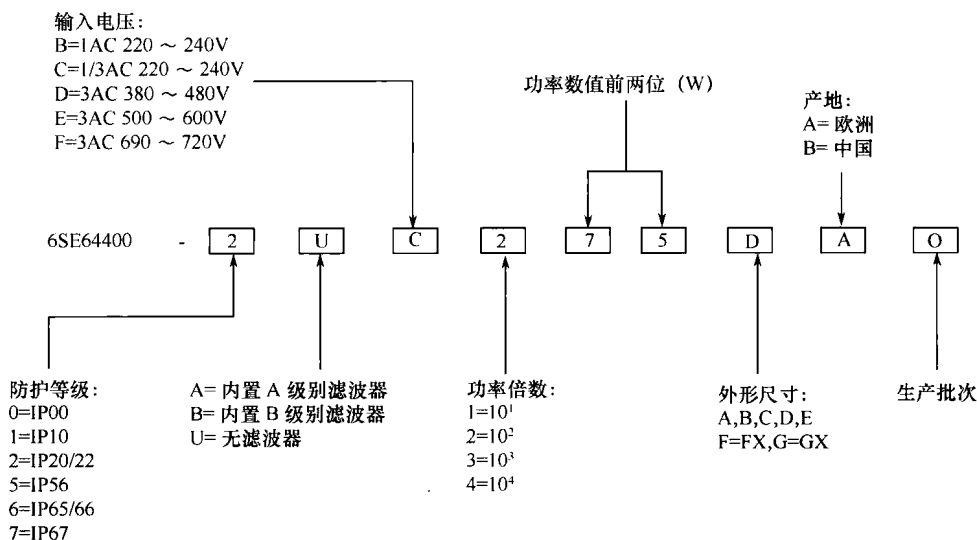


图 1-5 变频器的型号说明

(2) 外接控制端子②和③——主要用于远距离、多功能控制；

(3) 通信接口④——主要用于多电动机、系统控制。

2) 主控电路部分

主控电路部分主要用来处理各种外部控制信号、内部检测信号以及用户对变频器的参数设定信号等，实现变频器的各种控制功能和保护功能，是变频器的控制中心。

3) 控制电源部分

控制电源部分主要由主控电路、外控电路等部分提供稳压电源。

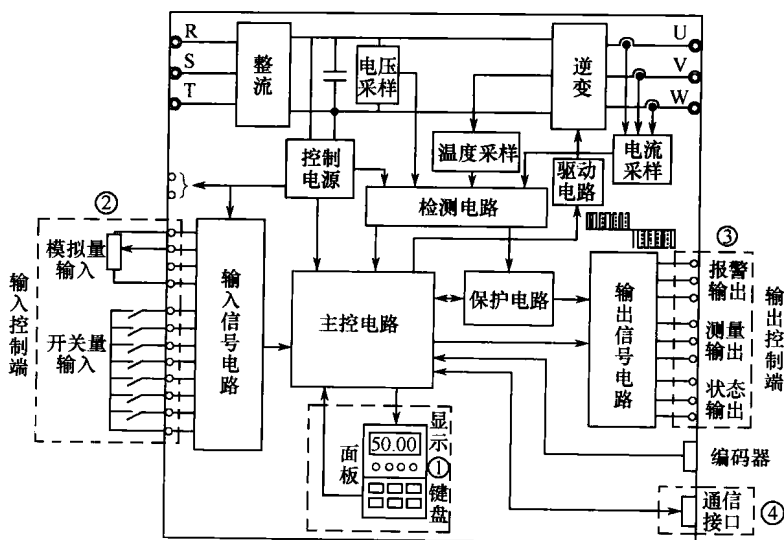


图 1-6 变频器的内部组成框图

4) 采样及检测电路部分

采样电路的主要作用是提供控制用数据和保护采样。尤其是在进行矢量控制时，必须测定足够的的数据，提供给主控电路部分进行矢量运算。

5) 驱动电路部分

驱动电路部分的主要作用是产生逆变器开关管的驱动信号，受主控电路控制。

6) 主电路部分

主电路部分主要包括整流和逆变两个主要功率变换部分，三相交-直-交变频器主电路的基本组成如图 1-7 所示，电网电压由输入端（R、S、T）接入变频器，经整流器整流成直流电压，然后由逆变器逆变成电压、频率可调的交流电压，从输出端（U、V、W）输出到交流电动机。

（1）整流单元（ $VD_1 \sim VD_6$ ）。三相不控整流电路由电力二极管 $VD_1 \sim VD_6$ 组成整流桥，将三相交流电整流成直流。滤波电容 C_d 起储能和滤波作用，其平均直流电压可用下式表示：

$$U_D = 1.35 U_L = 1.35 \times 380V = 513V \quad (1.1)$$

式中， U_L 为电源的线电压。

（2）逆变单元（ $VT_1 \sim VT_6$ ）。由逆变管 $VT_1 \sim VT_6$ 组成三相逆变桥， $VT_1 \sim VT_6$ 交替通断，将整流后的直流电压变成交流电压。目前常用的逆变管有功率晶体管（GTR）、绝缘栅双极晶体管（IGBT）等。

整流单元和逆变单元的电力电子器件，是变频器主电路部分的核心，在使用时要参照有关使用手册。

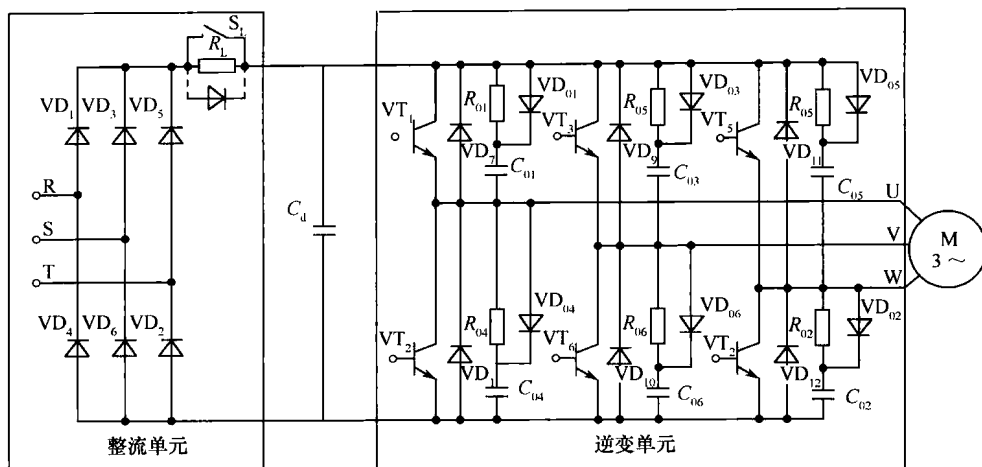


图 1-7 交-直-交变频器主电路的基本组成

二、变频调速基本原理

交流异步电动机的转速表达式

$$n = \frac{60f}{p} (1 - s) \quad (1.2)$$

式中, n 为异步电动机的转速 (r/min); f 为定子电源频率 (Hz); s 为电动机转差率; p 为电动机极对数。

由式 (1.2) 可知, 转速 n 与频率 f 成正比, 只要改变频率 f 即可改变电动机的转速, 当频率 f 在 $0 \sim 50\text{Hz}$ 的范围内变化时, 电动机转速调节范围非常宽。变频器就是通过改变电动机的电源频率实现速度调节的。

三、变频器的分类

变频器的分类方法很多, 下面简单介绍几种主要的分类方法。

1. 按变换环节分类

1) 交-交变频器

交-交变频器的原理框图如图 1-8 所示, 它把恒压恒频 (CVCF) 的交流电直接变换成变压变频 (VVVF) 的交流电。其主要优点是没有中间环节, 故变换效率高, 但其连续可调的频率范围较窄, 输出频率一般为额定频率的 $1/2$ 以下, 电网功率因数较低, 主要应用于低速大功率的拖动系统。

2) 交-直-交变频器

交-直-交变频器首先将工频交流电整流成直流电, 经过滤波, 再将平滑的直流电逆变成频率可调的交流电, 主要由整流电路、中间直流环节和逆变电路三部分组成。交-直-交变频器按中间环节的滤波方式又可分为电压型变频器和电

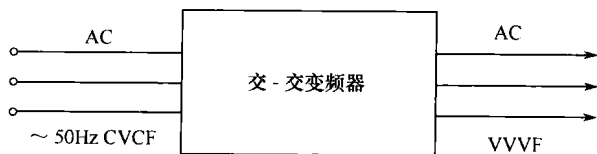


图 1-8 交-交变频器原理框图

流型变频器。

(1) 电压型变频器。

电压型变频器的主电路典型结构如图 1-9 所示。在电路中，中间直流环节采用大电容滤波，直流电压波形比较平直，使施加于负载上的电压值基本上不受负载的影响，基本保持恒定，类似于电压源，因而称之为电压型变频器。

(2) 电流型变频器。

电流型变频器与电压型变频器在主电路结构上基本相似，不同的是电流型变频器的中间直流环节采用大电感滤波，如图 1-10 所示，直流电流波形比较平直，使施加于负载上的电流基本不受负载的影响，其特性类似于电流源，所以称之为电流型变频器。

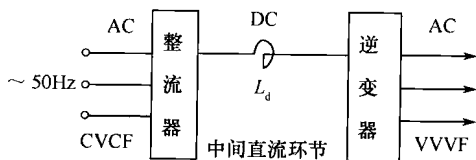


图 1-9 电压型变频器主电路结构

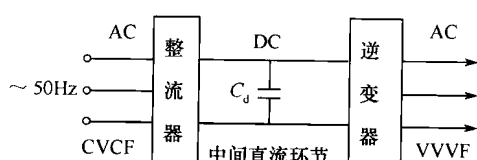


图 1-10 电流型变频器主电路结构

2. 按电压的调制方式分类

1) PAM（脉副调制）

它是通过调节输出脉冲的幅值来进行输出控制的一种方式。在调节过程中，整流器部分负责调节电压或电流，逆变器部分负责调频。

2) PWM（脉宽调制）

它是通过改变输出脉冲的占空比来实现变频器输出电压的调节，因此，逆变器部分需要同时进行调压和调频。目前，普遍应用的是脉宽按正弦规律变化的正弦脉宽调制方式，即 SPWM 方式。

3. 按控制方式分类

1) U/f 控制变频器

U/f 控制是同时控制变频器输出电压和频率，通过保持 U/f 比值恒定，使得电动机的主磁通不变，在基频以下实现恒转矩调速，基频以上实现恒功率调速。它是一种转速开环控制，无需速度传感器，控制电路简单，多应用于精度要求不高的场合。

2) VC 控制变频器

VC 控制即矢量控制, 矢量控制是一种高性能的异步电动机控制方式, 其基本思想是模仿直流电动机的控制原理, 以三相交流绕组和两相直流绕组产生同样的旋转磁动势为准则, 将异步电动机的定子电流矢量分解为产生磁场的电流分量(励磁电流)和产生转矩的电流分量(转矩电流)分别加以控制, 即通过直/交变换和 2/3 变换来实现, 其控制示意图如图 1-11 所示。

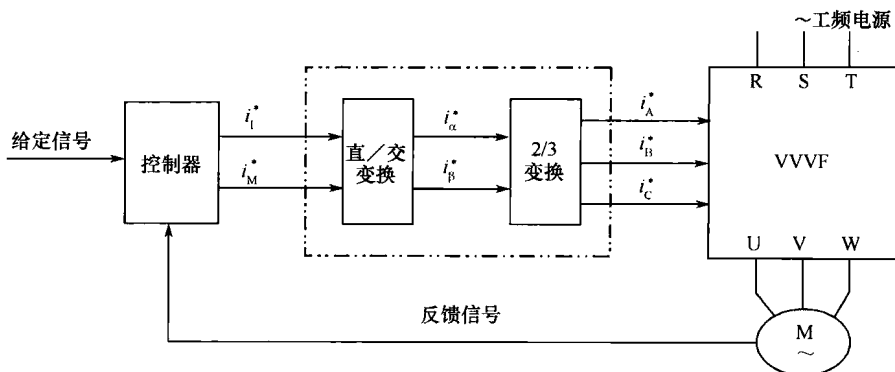


图 1-11 矢量控制的示意图

其中 i_M^* 是励磁电流分量, i_T^* 是转矩电流分量。它们都是由变频器的给定信号分解而成的 (* 表示变频器中的控制信号)。经过直/交变换, 将 i_M^* 和 i_T^* 变换成两个交流分量 i_α^* 和 i_β^* , 再经过 2/3 变换得到三相交流控制信号 i_A^* 、 i_B^* 、 i_C^* 去控制三相逆变器。可以看到, 控制 i_M^* 和 i_T^* 中的任意一个, 就可以控制 i_A^* 、 i_B^* 、 i_C^* , 也就控制了变频器的交流输出。通过以上变换, 将交流电动机的调速转化为控制两个控制量 i_M^* 和 i_T^* , 因此, 更接近直流电动机的调速。

一般的矢量控制系统均需速度传感器, 然而速度传感器使整个传动系统中最不可靠的环节, 安装也很麻烦, 因此, 现代的变频器又推广使用无速度传感器矢量控制技术, 它的速度反馈信号不是来自于速度传感器, 而是通过 CPU 对电动机的一些参数进行计算得到的一个转速的实在值。对于很多新系列的变频器都设置了“无反馈矢量控制”这一功能, 这里“无反馈”, 是指不需要用户在变频器的外部再加其他的反馈环节, 矢量控制时变频器内部还是存在反馈的。

本书中用到的西门子 MM440 变频器就是一款高性能矢量控制变频器。

3) DTC 控制变频器

DTC 控制即直接转矩控制, 是继矢量控制之后发展起来的另一种高性能的异步电动机控制方式, 其基本思想是在准确观测定子磁链的空间位置和大小并保持其幅值基本恒定以及准确计算负载转矩的条件下, 通过控制电动机的瞬时输入电压来控制电动机定子磁链的瞬时旋转速度, 改变它对转子的瞬时转差率, 从而达到直接控制电动机输出的目的。

不同于矢量控制, 直接转矩控制具有鲁棒性强、转矩动态响应好、控制结构

简单、计算简便等优点，它在很大程度上解决了矢量控制中结构复杂、计算量大、对参数变化敏感等问题。然而作为一种诞生不久的新理论、新技术，自然有其不完善不成熟之处，一是在低速区，由于定子电阻的变化带来了一系列问题，主要是定子电流和磁链的畸变非常严重；二是低速时转矩脉动大，限制了调速范围。

随着现代科学技术的不断发展，直接转矩控制技术必将有所突破，具有广阔的应用前景。目前，该技术已成功地应用在电力机车牵引的大功率交流传动上。

以上三种控制方式性能比较见表 1-1。

表 1-1 变频器控制方式性能比较

控制方式		U/f 控制		VC 控制		DTC 控制
比较项目		开环	闭环	不带 PG	带 PG	
速度控制范围		<1: 40	<1: 60	1: 100	1: 1000	1: 100
启动转矩		3Hz 时 150%	3Hz 时 150%	1Hz 时 150%	0Hz 时 150%	0Hz 时 150% ~ 200%
静态速度精度%		±0.3	±0.3	±0.2	±0.2	±0.2
零速度运行		不可	不可	不可	可	可
控制响应速度		慢	慢	较快	快	快
特点	优点	结构简单、 调节容易	结构简单、 调速精度高	不需要速度 传感器、力 矩的响应好、 速度控制范 围广	力矩控制性 能良好，力 矩的响应好、 调速精度高、 速度控制范 围广	不需要速度传感器、力 矩的响应好、速度控制 范围广、结构较简单、 对于多拖动具有负荷平 衡功能
	缺点	低速力矩 难保证、 不能力矩 控制、调 速范围小	低速力矩 难保证、 不能力矩 控制、调 速范围小	实时性较差， 计算比较复 杂，控制精 度受到计算 精度的影响	需有高精度 速度传感器， 因此应用范 围受限	低速时转矩脉动，需设 定电动机的参数，需要 有自动测试功能

4) 其他控制方式

在实际应用中，还有一些其他非智能控制方式在变频器的控制中得以实现，例如转差频率控制、电压空间矢量控制、自适应控制、滑模变结构控制、差频控制、环流控制、频率控制等。

另外，一些智能控制方式如神经网络控制、模糊控制、专家系统、学习控制等在变频器的具体应用中也有一些成功的范例。

4. 按变频器用途分类

1) 通用变频器

通用变频器其特点是通用性，是变频器家族中应用最为广泛的一种。通用变

频器主要包含两大类：节能型变频器和高性能通用变频器。

(1) 节能型变频器。

是一种以节能为主要目的而简化了其他一些系统功能的通用变频器，控制方式比较单一，一般为 U/f 控制，主要应用于风机、水泵等调速性能要求不高的场合，具有其体积小、价格低等优势。

(2) 高性能通用变频器。

是一种在设计中充分考虑了变频器应用时可能出现的各种需要，并为这种需要在系统软件和硬件方面都做了相应的准备，使其具有较丰富的功能如：PID 调节、PG 闭环速度控制等。高性能通用变频器除了可以应用于节能型变频器的所有应用领域之外，还广泛应用于电梯、数控机床等调速性能要求较高的场合。

2) 专用变频器

是一种针对某一种（类）特定的应用场合而设计的变频器，为满足某种需要，这种变频器在某一方面具有较为优良的性能。如电梯及起重机用变频器等，还包括一些高频、大容量、高压等变频器。

任务训练

一、训练内容

认识变频器的铭牌、外观和结构。

二、训练工具、材料和设备

西门子 MM440 变频器一台、通用电工工具一套。

三、成绩评价表

成绩评价见表 1-2。

表 1-2 成绩评价表

序号	主要内容	考核要求	评分标准	配分	扣分	得分
1	铭牌的识读	能正确识读铭牌	(1) 一处错误扣 10 分 (2) 二处以上扣 30 分	30		
2	前盖板的拆卸与安装	能正确规范地进行拆卸与安装	(1) 一处不规范扣 10 分 (2) 二处以上扣 20 分	20		
3	操作面板的安装与拆卸	能正确规范地进行拆卸与安装	(1) 一处不规范扣 10 分 (2) 二处以上扣 20 分	20		
4	变频器类型的分析	能正确分析变频器的类型	错误扣 10 分	10		
5	安全文明生产	能保证人身和设备的安全	(1) 经提示后能规范操作 (2) 不能文明生产，不符合操作规范	20		