

■ 可编程序控制系统应用案例系列丛书

变频器 应用案例

林育兹 谢炎基 等编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

■ 可编程序控制系统应用案例系列丛书

变频器应用案例

林育兹 谢炎基 等编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书从工程实践出发,以 OMRON 公司的 3G3MV 变频器为例,介绍变频器的基本原理、结构特点、使用方法、应用实例和维护知识。

全书以变频器应用案例为主线,在基本操作及其应用的基础上,详尽叙述变频器与 PLC 以及控制对象构成的系统应用实例,并根据不同案例的需要,穿插相关的理论知识,使读者快速入门,既知道如何使用,又理解为何这样使用,达到举一反三、触类旁通的效果。全书配套的插图丰富直观,内容编排由浅入深,文字叙述通俗易懂,应用案例具体生动,具有较强的实用性。

本书配有学习光盘,包括案例演示的视频录像、案例应用程序,便于教学和实践。

本书作为高等院校工业自动化、电气工程技术、机电一体化以及相关专业的教学用书,也可作为高职、高专以及“可编程控制系统设计师”职业资格的培训教材或自学用书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

变频器应用案例/林育兹等编著. —北京:高等教育出版社,2007.7

(可编程序控制系统应用案例系列丛书/林育兹主编)

ISBN 978-7-04-022172-5

I. 变… II. 林… III. 变频器 IV. TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第087446号

策划编辑 韩 颖 责任编辑 孙 薇 封面设计 张申申 责任绘图 尹 莉
版式设计 马静如 责任校对 张 颖 责任印制 毛斯璐

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	100011	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	北京宏伟双华印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2007年7月第1版
印 张	10.75	印 次	2007年7月第1次印刷
字 数	190 000	定 价	19.20元(含光盘)

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 22172-00

可编程序控制系统应用案例系列丛书

编审委员会

总策划：冯身媛 中国电工技术学会工业自动化
 高技能人才培养部主任

主 审：欧阳沪群 欧姆龙自动化（中国）统辖
 集团

编审委员会成员：

林育兹	厦门大学
曹 辉	北京联合大学
戴一平	浙江机电职业技术学院
韩 颖	高等教育出版社
欧阳舟	高等教育出版社
彭 涛、朱妙其	欧姆龙自动化（中国）统辖集团
钱 华、陈建瓴	欧姆龙自动化（中国）统辖集团
高国军、董燕霞	欧姆龙自动化（中国）统辖集团

编审委员会联系方式：PLCPX@126.com

021-5037222 转 1841

序

“可编程序控制系统应用案例系列丛书”，是在2006年“可编程序控制器原理及应用系列丛书”的基础上，应广大读者和用户要求，由多所高等院校教师、长期从事可编程序控制系统应用研究人员和本丛书编审委员会的通力合作，精心编撰完成的最新丛书。该系列丛书还得到欧姆龙自动化（中国）统辖集团总裁办市川畅男先生的亲自指导和学术交流部的策划，为该丛书的出版提供了有力保障。

全套丛书共6分册，读者可按实际需要选用下列不同分册。

PLC 逻辑控制案例

PLC 模拟量及 PID 算法应用案例

PLC 网络系统应用案例

变频器应用案例

可编程终端应用案例

PLC 位置控制应用案例

本套丛书有以下特色：

1. 机型新颖。丛书中涉及的 PLC 等设备，均以 OMRON 公司的 CP1H 型、CJ1 型和 CS1 型等主导产品和新产品为例，并兼顾不同用户对不同产品的需求。

2. 内容全面。系列丛书既包括应用最广泛的逻辑控制、过程控制和位置控制，还涵盖了变频器调速、可编程终端、通信和网络系统等方面的应用，信息量丰富，基本涵盖了“可编程序控制系统设计师”的职业需求内容和相关知识。

3. 案例典型实用。本系列丛书结合工程实践的需要，以实际应用案例为主线。各分册既可以独立使用，又可以交叉融合，形成联系紧密的完整应用体系。

4. 打破传统模式。本系列丛书力求打破从结构、原理到应用的纵向编写模式，力图从学习者的认知角度，采用横纵结合的编写方法，以典型案例为主线，将相关概念和原理等知识贯穿其中，使读者循序渐进地将理论与实践相结合。

5. 重视技能培养。丛书内容以职业技能训练需求为依据，以达到“可编程序控制系统设计师”为培养目标，层次分明，使读者学有所得，练有提高。

在 <http://edu.omron.com.cn/> 网站中，还列举了培训单位和联系方式，并提供各分册主编的电子邮箱，建议读者或用户通过以上方式进行联系，选择参加相应内容的职业技术培训，以收到更好效果。

丛书编审委员会

2007 年 3 月

前 言

在现代工业生产实践中,变频器起着极其重要的作用。它是计算机技术、现代控制技术和通信网络技术的有机结合,具有调速范围宽、调速精度高、动态响应快、运行效率高、应用操作方便、节能效果显著等优点。在当今改造传统工业、改善工艺流程、提高自动化水平和产品质量、实现绿色工业的进程中,变频器已经成为主要的技术手段。它的应用范围不断拓宽,从早期应用于风机、水泵、机床、机械加工、电力系统等工业控制领域,延伸到空调、洗衣机等家用电器,如今已发展到数控系统、航空航天等高科技领域。

变频器的技术含量高、功能强大、涉及的应用范围宽。如何最大限度发挥它的功能,正确使用和维护变频器,是广大用户最关心的问题。因此,本书以通用变频器的应用案例为主线,既介绍变频器的一般结构、基本操作与应用,还详尽叙述它与 PLC 以及控制对象构成的系统应用案例,并在不同案例中穿插相关理论知识,使读者在实践中比较轻松地了解变频器的原理。本书还配套了学习光盘,包括案例演示的视频录像、应用程序,直观性强,有利于教师示教和学生学习,也适合高校学生进行开放性课题的研究。由于通用变频器具有共通性,读者对照其他产品的技术说明,可做到举一反三、触类旁通的效果。

全书共分 4 章。第 1 章变频器综述,着重介绍变频器的硬件结构、分类、基本原理以及外围电路等内容,由林育兹编写;第 2 章变频器的基本应用案例,主要介绍变频器的一般操作流程及基本应用案例,由林育兹、谢炎基、陈李清合作编写;第 3 章变频调速系统应用案例,突出变频器在提升系统、恒压供水系统、PID 系统以及基于通信方式的应用实例,由谢炎基、林育兹、吴建东合作编写;第 4 章变频器的使用与维护,简要介绍变频器常见问题的处理方法,由林育兹编写。全书由林育兹统稿。书中提供的图片丰富直观,在层次编排上由浅入深,循序渐进;在文字叙述上力求通俗易懂,选择来自身边的生活和生产中的应用案例,以提高学习者的学习兴趣和解决实际问题的能力。所有程序都在设备上调试通过,便于读者对照使用。

本书在编写中,得到了欧姆龙自动化(中国)统辖集团、高等教育出版社、浙江天煌科技实业有限公司的大力支持和帮助。欧姆龙自动化(中国)统辖集团欧阳沪群先生、大连工业大学祖龙起教授审阅了全书,提出了许多宝贵意见和建议。同时,编者还参考和引用了参考文献中有关编者的部分资料。

在此，本书编者一并向他们表示衷心的感谢。

限于编者水平以及时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者通过电子邮箱 linyuzi@163.com 和电话 0592-2181687 (o) 进行联系，提出批评意见和建议，编者不胜感激。

编 者

2007 年 4 月

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：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 变频器综述	(1)
1.1 变频器的基本原理	(1)
1.1.1 变频器的基本框图	(1)
1.1.2 变频器的分类	(2)
1.1.3 变频器的控制方式及特点	(3)
1.1.4 变频器的内部结构	(6)
1.2 变频器的外围电路	(11)
1.2.1 主电路的外围电路	(11)
1.2.2 变频器控制端的连接	(14)
1.2.3 变频器的可选部件	(20)
1.3 变频器的主要功能	(21)
1.3.1 频率给定功能	(22)
1.3.2 节能功能	(26)
1.3.3 PID 调节功能	(27)
1.4 变频器的应用与选型	(27)
1.4.1 变频器的基本应用领域	(27)
1.4.2 变频器的选型	(31)
思考与练习	(33)
第 2 章 变频器的基本应用案例	(34)
2.1 变频器的指令功能	(34)
2.1.1 操作器的名称及功能	(34)
2.1.2 常用的指令功能	(37)
2.2 变频器的基本操作	(42)
2.2.1 指令功能的预置流程	(42)
2.2.2 用键盘操作实现调速案例	(48)
2.2.3 用频率指令旋钮实现调速案例	(48)
2.3 变频器的调速控制案例	(49)
2.3.1 多段速控制	(49)
2.3.2 使用控制电压调速	(52)
2.3.3 使用 S 形曲线调速	(54)
2.3.4 变频器的报警与保护功能	(60)
思考与练习	(62)

第 3 章 变频调速系统应用案例	(63)
3.1 变频器在提升系统中的应用案例	(63)
3.1.1 提升系统工况分析	(63)
3.1.2 硬件选择与外部接线	(65)
3.1.3 参数设置及程序调试	(66)
3.2 变频器在恒压供水系统中的应用案例	(69)
3.2.1 恒压供水系统的基本原理	(69)
3.2.2 实训装置简介	(70)
3.2.3 外部接线与 PLC 编程	(74)
3.2.4 参数设置及程序调试	(75)
3.3 PID 调速应用案例	(89)
3.3.1 PID 调速概述	(89)
3.3.2 外部电路与接线	(90)
3.3.3 参数设置及程序调试	(91)
3.4 基于通信方式的调速应用案例	(99)
3.4.1 系统基本原理	(99)
3.4.2 外部接线	(100)
3.4.3 参数设置及程序调试	(102)
思考与练习	(115)
第 4 章 变频器的使用与维护	(117)
4.1 变频器的使用	(117)
4.1.1 安装的环境条件	(117)
4.1.2 零部件的拆卸与安装	(118)
4.1.3 接线要求	(119)
4.1.4 变频器的试运行	(121)
4.2 变频器的维护	(124)
4.3 变频器常见问题的处理	(126)
4.3.1 辅助功能的应用	(126)
4.3.2 异常报警内容	(127)
4.3.3 常见故障原因及分析	(131)
思考与练习	(135)
附录 3G3MV 系列变频器的参数常数功能表	(136)
参考文献	(161)

第 1 章

变频器综述

变频器通常是指将频率固定的工频交流电,变换成频率可调的三相交流电的电力控制装置,实质上它是运动控制系统中的功率变换器。本章以通用变频器为例,简要介绍变频器的基本原理、内部结构、主要功能以及应用领域等内容,以便读者对变频器有一个整体的了解。

1.1 变频器的基本原理

1.1.1 变频器的基本框图

从结构上看,变频器分为间接变频和直接变频两大类。间接变频器先将工频交流电源(整流)变换为直流,再经过逆变器将直流电变换为电压和频率可控的交流电,简称为“交-直-交”变频器。直接变频器将工频交流电直接变换为电压和频率可控的交流电,不需要中间整流环节,简称为“交-交”变频器。目前在中小容量的变频器中,“交-直-交”变频器应用最为广泛,它的基本结构如图 1.1.1 所示。

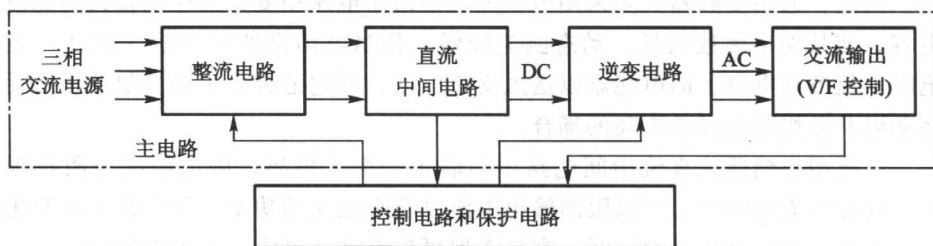


图 1.1.1 “交-直-交”变频器的结构示意图

变频器通常由整流电路、直流中间电路、逆变电路、可控频率三相交流电源输出电路、控制电路和保护电路等构成。其中,整流电路用于将工频交流电变换为直流电。直流中间电路用于提供稳定的直流电源(恒压或恒流),有的变频器还提供交流电动机反馈制动时的再生电流通路。逆变电路主要是将直流

电源变换为频率和电压均可控的三相交流电源。交流输出电路，一般包括输出滤波电路、驱动电路以及反馈电路等。上述这些电路部分通常称为主电路。控制电路的功能是按要求产生和调节一系列的控制脉冲来控制逆变器开关管的导通和关断，从而配合逆变电路完成逆变任务。在变频技术中，控制电路和逆变电路同样重要，都是衡量变频器质量的重要指标。控制电路大多采用计算机技术，以实现自动控制和增强变频器的功能。保护电路主要包括输入和输出的过压保护、欠压保护、过载保护、过流保护、短路保护、过热保护等。在不少应用场合，变频器自身还有过速保护、失速保护、制动控制等辅助电路。

1.1.2 变频器的分类

变频器的分类方法很多，除了上述按变换环节分为“交-直-交”类型和“交-交”类型之外，常见还有以下的几种分类方法。

1. 按直流环节的储能方式分类

当变频器为电动机负载时，根据负载与直流电源之间无功功率的交换方式，决定着中间环节中选择不同的储能元件。据此把变频器分为电压型和电流型两类。

电压型变频器的直流中间电路采用电容元件，则直流电源的内阻抗很小，具有恒压源特性。电动机的转速精度取决于逆变频率的精度及电动机的转差率，受负载电流变化的影响小，所以电压型变频器可以采用开环控制，即通过改变给定信号，经过控制环节来实现调速。若要求高精度调速，则应采用闭环控制，即在开环基础上增加速度等（负）反馈环节，使系统可以很快地消除各种干扰，电动机的转速不随外界的扰动而变化，以精确地保持在给定的数值上。因此，通用变频器大多采用电压型。但由于电压型变频器存在较大的滤波电容，使其功率因数较低，动态响应较慢，且当电动机处于再生（制动）发电时，反馈到电容上的电能难以送入交流电网，故它适合于不频繁启动、能耗制动以及对快速性要求不高的场合。

电流型变频器的直流中间电路中串联了一个大电感，则电源的内阻抗很高，具有恒流源特性，可以限制输出电流以及吸收无功功率，受负载电压变化的影响小。当负载为电动机时，容易实现再生制动，可将反馈到直流侧的再生电能直接送入交流电网。它适合于大、中功率的传动装置和要求频繁启动、急加减速、动态响应性能要求高的大容量电动机的单机拖动场合，但它的逆变范围稍窄，不能空载工作。

2. 按逆变环节的调制方式分类

根据改变逆变器输出电压大小（调制）的不同方式，变频器分为脉冲幅度调制（PAM）和脉冲宽度调制（PWM）两类。

PAM 变频器输出的交流电压是通过改变直流电压的大小,使逆变器输出脉冲的幅度发生改变来实现的。这种变频器要同时对整流电路和逆变器进行控制,其控制电路复杂,且低速运行时转速波动大,故目前的变频器几乎不再采用此类。

PWM 变频器输出的交流电压是通过改变逆变器输出脉冲的占空比来实现的。目前普遍应用的是占空比按正弦规律排列的正弦波脉宽调制 (SPWM) 方式,使输出电压的平均值接近正弦波,大大削弱谐波成分的影响,使调速控制得到平稳变化。

3. 按控制方式分类

按控制方式的不同,变频器分为 V/F (或称 U/F) 控制方式、转差频率控制方式和矢量控制方式三类。它们的控制内容及特点见 1.1.3 小节的内容。

变频器还可以按逆变器主开关的器件分为普通晶闸管 (SCR)、可关断晶闸管 (GTO)、绝缘栅双极晶体管 (IGBT)、功率集成电路 (PIC) 等类型,它们的特点可参考其他书籍。

1.1.3 变频器的控制方式及特点

变频器控制方式是针对电动机的自身特性、负载特性以及运转速度的要求,控制变频器的输出电压 (电流) 和频率。

1. V/F 控制方式

从异步电动机的特性: 转速 $n = (1 - s) n_0 = \frac{60f_1}{p} (1 - s)$ 、磁通 $\Phi_m \approx \frac{U_1}{4.44N_1f_1}$ 、转矩 $T = K\Phi_m I_2 \cos\varphi_2$ 可知,当改变该电源频率 f_1 时,可改变旋转磁场的转速 n_0 ,也就改变转子的转速 n 。理论上 n 与 f_1 成正比,则通过改变电源频率就可以实现电动机的调速。但在维持定子电压 U_1 不变时,随着 f_1 的升高,电动机的磁通 Φ_m 减小,导致 T 下降,最大转矩 T_m 也降低,严重时将使电动机堵转 (停车);当减少 f_1 时,则使 Φ_m 增加,导致电动机的磁路过饱和,励磁电流增加,铁心过热。为此变频器在逆变过程中,在改变频率 f_1 的同时必须按一定比例改变 U_1 。例如 f_1 升高,则 U_1 随之升高,以避免出现上述问题。这种控制方式用 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 表示,简称 V/F 控制,其目的是维持 Φ_m 不变。

V/F 控制方式的简化原理,如图 1.1.2 所示。主电路的逆变器用 PWM 控制。控制电路中的 U/f 曲线发生器根据 f 的设定值来确定 U/f 的比例关系。控制脉冲发生器同时受控于频率指令 f 和电压指令 U ,并对逆变器的脉冲进行控制,以改变输出电源参数来实现变频调速。

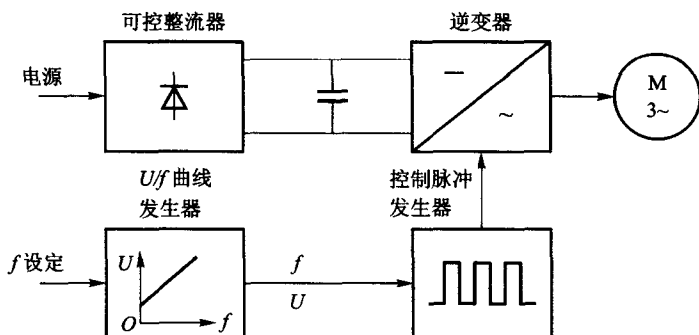


图 1.1.2 V/F 控制方式示意图

在基频 f_N （如 50 Hz）以下调速时，由于 U 和 f 都小，定子绕组的感抗也小，使得定子内阻的压降相对增加，则电动机转矩不仅无法维持 T_m ，反而下降。为此，必须通过检测定子电流来适当提高 U ，以补偿定子的电压损失来维持 T_m ，所以这种调速近似为恒转矩调速。

在基频 f_N 以上调速时，由于电动机受到定子绕组绝缘强度的限制， U 不允许超过 U_N （额定电压），所以 Φ_m （ $U/f = K\Phi_m$ ， K 为比例常数）随着 f 的升高（保持 $U = U_N$ ）反而下降，导致转矩 T 减小。同时，电动机的同步机械角速度 Ω （ $\Omega = 2\pi f/P_d$ ）随 f 升高而增加。由电动机的功率 $P_d = T\Omega$ （ T 和 Ω 随 f 的变化方向相反）可知，这种调速近似为恒功率调速。

V/F 控制方式的基本特点是通过使 U/f 的值保持一定而得到所需的转矩特性，属于开环控制，电路成本低，多用于精度要求不高的通用变频器。它的基本控制特性曲线，如图 1.1.3 所示。一般来说，若电动机需要低于额定转速运行时，可采用恒转矩调速。若电动机需要高于额定转速运行时，应采用恒功率调速，类似于直流电动机的弱磁调速情况。变频器提供有多种的 U/f （函数）曲线，用户可根据电动机的负载性质和运行状况加以设定。

2. 转差频率控制方式

转差频率控制方式是对 V/F 控制的一种改进。因为在 V/F 控制方式下，转速会随着负载的变化而改变，其变化量与转差率成正比。为了提高调速精度，就需要控制转差率。通常是用速度传感器检测电动机的运行速度，以求出转差角频率，再把它与 f 设定值叠加以得到新的逆变器的频率设定值 f_2 ，实现转差补偿。其简化的原理框图如图 1.1.4 所示。对应于频率设定值 f ，经过转差补偿后定子频率的实际值为 $f_2 = f + \Delta f$ ，以此进行调速控制，同时也在一定程度上对输出转矩进行控制，所以它与 V/F 控制方式相比，在负载发生较大变化时，仍能达到较高的速度精度和较好的转矩特性。但是，由于转差频率控制

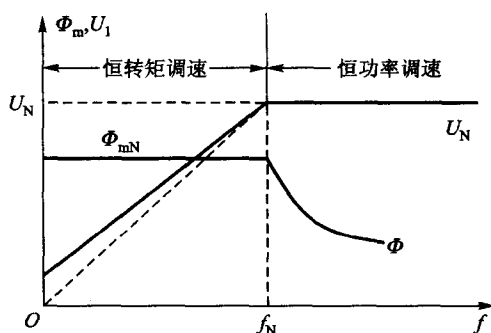


图 1.1.3 V/F 控制方式的调速特性

方式属于闭环控制，需要在电动机上安装速度检测器，并需要根据电动机的特性调节转差，通常用于厂家指定的专用电动机，故通用性较差。

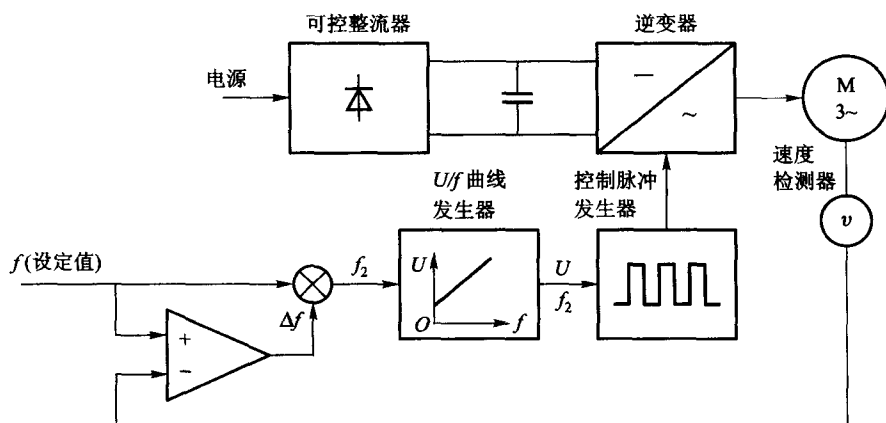


图 1.1.4 转差频率控制方式示意图

3. 矢量控制方式

上述两种控制方式共同存在着动态性能指标不高的问题，而且交流异步电动机是一个多变量、强耦合、非线性的时变参数系统，很难直接通过外加（设定）信号来准确控制其电磁转矩。20 世纪 70 年代，西德 F. Blaschke 等人首先提出了矢量控制理论，基本出发点是以转子磁通这一旋转的空间矢量为参考坐标，利用从静止坐标系到旋转坐标系的变换，将定子电流分为产生磁场的励磁电流和与其相垂直所产生转矩的转矩电流，并分别加以控制。在这种控制方式中，必须同时控制异步电动机定子电流的幅值和相位，即控制定子电流的矢量，故称为矢量控制。它通过坐标变换和重建方法，把交流电动机模型等效为直流电动机，以获得像直流电动机一样的动态性能。

图 1.1.5 所示是矢量控制方式的基本框图，它是在 VVVF 变频器的基础上增加了坐标变换及控制电路。控制器将给定信号分解成两个互相垂直且独立的直流信号 i_M^* 和 i_T^* 。然后通过“直/交变换”将 i_M^* 和 i_T^* 变换成两相交流电流信号 i_α^* 和 i_β^* （表示励磁电流和转矩电流）。再经过“2/3 变换”，将两相交流系统变换为三相交流系统，以得到三相交流控制信号 i_A^* 、 i_B^* 和 i_C^* ，去控制逆变器。对于电动机在运行过程中的三相交流系统的数据，又可以等效变换成两个相互垂直的直流信号，反馈到控制器，用于修正基本控制信号 i_M^* 和 i_T^* 。反馈信号包括电流和速度等信息，所以它属于闭环控制。其中的电流反应用于反映负载的状况，使直流信号中的转矩分量 i_T^* 能够跟随负载变化，从而模拟出类似于直流电动机的工作情况。速度反应用于反映拖动系统的实际转速和给定值之间的差异，并使之以最快的速度校正，从而提高系统的动态性能。

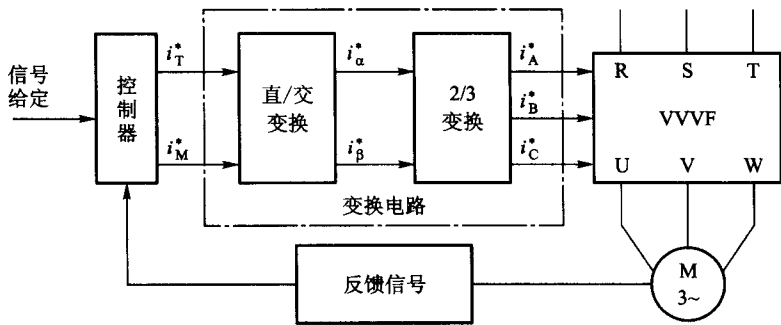


图 1.1.5 矢量控制方式示意图

由于在进行矢量控制时，需要准确掌握交流电动机的有关参数，所以这种控制方式过去主要用于厂家指定的变频器专用电动机的控制。目前许多新型的矢量控制变频器，已经增加了自整定（Auto-tuning）功能，可以自动对电动机的参数进行辨识，并根据辨识结果调整有关参数，使通用型异步电动机也能有效进行矢量控制。有的还设置了“无反馈矢量控制”功能，用户不需要在变频器的外部另行设置反馈环节，同样也能达到满意的效果。但总体上看，有反馈的变频器在动态性能上优于无反馈的矢量变频器。

1.1.4 变频器的内部结构

变频器的种类很多，但目前市场上主流变频器的基本结构大体相同。不同类型的变频器，主要区别是控制电路、检测电路以及控制算法不同而已。通用变频器的硬件结构如图 1.1.6 所示，概括为主电路、控制电路和电动机三大部分。下面分别对这几部分及其功能加以说明。